



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΡΕΥΝΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ
ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Π. ΨΩΜΙΑΔΗ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ

2010



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΡΕΥΝΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ
ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Π. ΨΩΜΙΑΔΗ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ

2010

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΡΕΥΝΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Π. ΨΩΜΙΑΔΗΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων:

Γ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μέλη:

Α. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ε. ΓΚΑΡΤΖΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Α. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ε. ΓΚΑΡΤΖΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ε. ΛΕΚΚΑΣ, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ι. ΠΑΡΧΑΡΙΔΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Χαροκόπειου Πανεπιστημίου

Η έγκριση της παρούσας διατριβής από την Εξεταστική Επιτροπή και το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν προϋποθέτει και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, Άρθρο 202, παρ. 2).

Στη Βάσω
Στο Στέφανο
Στους Γονείς μου

ΑΝΤΙ ΠΡΟΛΟΓΟΥ

Η εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής, μου ανατέθηκε ύστερα από απόφαση της Γενικής Συνέλευσης Ειδικής Σύθεσης του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με επιβλέποντα τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη και μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Α. Παυλόπουλο και τον Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο.

Αισθάνομαι βαθιά την υποχρέωση να ευχαριστήσω κατά πρώτο λόγο το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την σημαντική οικονομική βοήθεια και στήριξη που μου παρείχε, με την χορήγηση υποτροφίας, για την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής, κατά το χρονικό διάστημα 1999-2002.

Με την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής επιθυμώ να εκφράσω τη βαθιά εκτίμηση και τις θερμές ευχαριστίες μου, σε όλους εκείνους που συνέβαλαν ποικιλότροπα στην πραγματοποίησή της και ιδιαίτερα:

Τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος, για την συνεχή παρότρυνση, τις πολύτιμες συμβουλές, την αμέριστη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξή του σε όλη τη διάρκεια της διατριβής, καθώς επίσης και την αгаστή συνεργασία του στις δημοσιεύσεις των εργασιών που έγιναν και αφορούσαν την παρούσα διατριβή.

Τα μέλη της Τριμελούς επιτροπής, καθηγητές κ. Ε. Γκάρτζο και Α. Παυλόπουλο, για τις συνεχείς παρατηρήσεις τους και την συμπαράστασή τους σε ολόκληρη την διάρκεια της διατριβής.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Το μέλος της Επταμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, Καθηγητή κ. Γ. Μιγκίρο για τις σημαντικότερες παρατηρήσεις και συμβουλές του, καθώς και την εποικοδομητική κριτική του, σε όλα τα θέματα της διατριβής, που συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωσή της.

Το μέλος της Επταμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, συνεργάτη και φίλο, Επίκουρο Καθηγητή κ. Ι. Παρχαρίδη καταρχήν για την συμβολή του στο να ασχοληθώ με το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και εν συνεχεία για την συνεχή καθοδήγησή και τις ουσιαστικές του υποδείξεις, καθώς και γενικότερα για τη βοήθεια και την στήριξη που μου παρείχε για την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής, καθώς και την στενή συνεργασία σε όλες τις δημοσιεύσεις των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν και αφορούσαν την παρούσα διατριβή.

Τα υπόλοιπα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, τους Καθηγητές κ. Ε. Λέκκα και Δ. Παπανικολάου για τις διορθώσεις και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις τους.

Όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, τους Επίκουρους Καθηγητές κ. Κ. Σερέλη, κ. Α. Τσαγκαλίδη και Ι. Παπανικολάου, για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή τους, τις χρήσιμες ανταλλαγές απόψεων, το συνεχές ενδιαφέρον τους για την πρόοδο της διατριβής.

Τους φίλους, συναδέλφους και υποψήφιους διδάκτορες του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, τον Δρ. Γεωπόνο Ι. Γατσή και τους υποψήφιους διδάκτορες Γεωλόγους Ε. Καυκαλά, Β. Αντωνίου και Θ. Καραμουσαλή για τις αμέτρητες εποικοδομητικές συζητήσεις, το ανιδιοτελές ενδιαφέρον και τις σημαντικές παρατηρήσεις τους πάνω σε θέματα τεχνικής υποστήριξης, που αφορούσαν τις μεθόδους Τηλεπισκόπησης και τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα, καθώς και άλλα σημεία που άπτονταν της διατριβής. Επίσης, θα

ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του Εργαστηρίου, Κ. Παρπόδη, Π. Χαμπίδη και Δ. Γαμβρουλά για την βοήθειά τους σε θέματα που αφορούσαν τις αναλύσεις των δειγμάτων νερού και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους.

Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών για τη δυνατότητα που μας παρέχει σχετικά με τη δωρεάν επικοινωνία και πρόσβαση σε ελληνικές και ξένες βάσεις βιβλιογραφικών δεδομένων μέσω του διαδικτύου.

Τις βιβλιοθήκες των ΤΕΕ, ΙΓΜΕ, ΙΔΡΥΜΑ ΕΘΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ.

Τους φορείς: ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ, ΙΓΜΕ, ΕΜΥ, ΕΘΙΑΓΕ, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΣΥΕ, ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ,

Τους φίλους μου και όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην πραγματοποίηση της διατριβής.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους γονείς μου, την σύζυγο και τον γιό μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν και την αξιοζήλευτη υπομονή και κατανόηση που επέδειξαν, κατά τη χρονική διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής.

Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής: «Έρευνα Γεωμορφολογικών και Περιβαλλοντικών Μεταβολών στην Υδρολογική Λεκάνη του Σπερχειού Ποταμού με Χρήση Νέων Τεχνολογιών».

Η τηλεπισκόπηση είναι σήμερα ο πλέον σύγχρονος τρόπος παρατήρησης του περιβάλλοντος, καθώς αναδεικνύεται σε ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την παρακολούθηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών της Γης. Η χρήση των δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ), μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη πληροφοριών που αφορούν την κάλυψη/χρήση γης, τις υφιστάμενες αλλαγές που έχουν λάβει χώρα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και τη δημιουργία ή ενημέρωση των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων, δεδομένου ότι τις περισσότερες φορές οι υπάρχοντες θεματικοί χάρτες δεν καλύπτουν τις σημερινές ανάγκες των χρηστών λόγω της παλαιότητας και των σοβαρών ανακρίβειών που εμπεριέχουν.

Οι παράκτιες ζώνες αποτελούν ένα από τα πιο πολύπλοκα και δυναμικά οικοσυστήματα της γης με έναν μεγάλο αριθμό έμβιων και μη πόρων. Για το λόγο αυτό οι παράκτιες ζώνες είναι περιοχές με αυξημένη κοινωνικοοικονομική σημασία, παγκόσμια. Μεταξύ των διαφόρων μορφολογικών τύπων των παράκτιων περιοχών, τα δέλτα των ποταμών αποτελούν ένα δυναμικό σύστημα στεριάς και θάλασσας, το οποίο επιδέχεται ισχυρές πιέσεις, τόσο από φυσικούς (κλιματικές αλλαγές) όσο και από ανθρωπογενείς (αστικοποίηση, μεταφορές, τουρισμός, καλλιέργειες) παράγοντες. Η τηλεπισκόπηση και τα ΓΠΣ αποτελούν ένα εύχρηστο εργαλείο για την έρευνα της χρήσης/κάλυψης γης των παράκτιων περιοχών και των δέλτα.

Στόχος της διατριβής ήταν, πρωτίστως, η διερεύνηση των δυνατοτήτων που έχουν τα δορυφορικά δεδομένα και οι αεροφωτογραφίες στην αναγνώριση τις υφιστάμενης γεωμορφολογικής και περιβαλλοντικής κατάστασης, στην μελέτη των διαχρονικών αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1984-2007, καθώς και τις αλλαγές της ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα 4.500 π.Χ. έως 2.007. Ακόμα, διερευνήθηκε ο καθορισμός των αιτιών που οδήγησαν στις αλλαγές αυτές και εξετάστηκε η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα, ιδιαίτερα στο φυσικό περιβάλλον.

Η περιοχή έρευνας είναι η λεκάνη απορροής και η παράκτια περιοχή του Σπερχειού ποταμού, ο οποίος χύνεται στον Μαλιακό κόλπο. Ο Μαλιακός είναι ένα ημίκλειστος κόλπος που βρίσκεται στις ανατολικές ακτές της ηπειρωτικής χώρας. Η λεκάνη καλύπτει έκταση, περίπου 1.828 km², έχει κατά προσέγγιση 60-80 km μήκος, 20-30 km πλάτος με το νότιο και δυτικό τμήμα της να παρουσιάζουν μεγαλύτερα υψόμετρα και απότομες κλίσεις, ενώ το βόρειο τμήμα παρουσιάζει μικρότερα υψόμετρα και ήπιες κλίσεις.

Η έρευνα γενικά αποτελείται από 3 κύρια μέρη, στη βάση της διαφοροποίησης των γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών.

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει την βασική μεθοδολογία σχεδιασμού και χρήσης των ΓΠΣ. Η δημιουργία της χωρικής γεωβάσης βοηθάει στην ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης και στον υπολογισμό των ευαίσθητων περιοχών σε πρόκληση κατολίσθησης, πυρκαγιάς και πλημμύρας. Επιπλέον, εκτιμήθηκε ο κίνδυνος που διατρέχει το ανθρώπινο περιβάλλον από την πρόκληση των προαναφερόμενων φυσικών καταστροφών.

Η ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης του ποταμού Σπερχειού, καθώς και ξεχωριστά των 4 κυριότερων υπολεκανών του νότιου και βόρειου τμήματος (8 συνολικά), έδειξε την σημαντική διαφοροποίηση των μορφολογικών και τεκτονικών χαρακτηριστικών κάθε τμήματος. Το βόρειο τμήμα χαρακτηρίζεται από λεκάνες σχήματος V με ήπιες κλίσεις και φαρδιές λεκάνες απορροής, Το κεντρικό τμήμα έχει παρόμοια υψόμετρα, που ξεκινούν από τα 650 m ακαι φτάνουν έως τα 200 m, από όπου οι χείμαρροι περνούν ήπια προς τα συμφυή αλουβιακά ριπίδια, μέχρι την συμβολή τους με τον Σπερχειό. Στο νότιο τμήμα, τα ανάντη των λεκανών είναι σχετικά πιο επίπεδα, ενώ το μεσαίο τμήμα τους είναι πολύ απότομες κλίσεις με πολύ απότομα φαράγγια. Στο σημείο που περνούν από το ορεινό τμήμα προς την πεδιάδα σχηματίζουν ευκρινή και μεγάλα αλουβιακά ριπίδια, που κατέρχονται απότομα προς τον Σπερχειό.

Για την δημιουργία του χάρτη Ευαισθησίας σε Κατολίσηση, 11 διαφορετικοί παράγοντες συνδυάστηκαν στο περιβάλλον του ΓΠΣ. Τα αποτελέσματα από αυτόν τον χάρτη έδειξαν ότι η λεκάνη, σε ποσοστό 2,48 % παρουσιάζει Ελάχιστη ευαισθησία, σε ποσοστό 11,81% Πολύ χαμηλή, σε 30,44% Χαμηλή, σε 29,84% Μέτρια, σε 19,25% Υψηλή και σε 6,18% της έκτασής της παρουσιάζει Πολύ υψηλή ευαισθησία σε εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Επιπρόσθετα, για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος που προέρχεται από την ευαισθησία της περιοχής σε κατολίσηση, πλημμύρα και πυρκαγιά, δημιουργήθηκε ένας χάρτης ανθρώπινης έκθεσης σε κίνδυνο, χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό της πληθυσμιακής πυκνότητας, της χρήση/κάλυψης γης και του οδικού δικτύου. Ο κίνδυνος από την εκδήλωση αυτών των φυσικών καταστροφών, έδειξε ότι 38,72% του ανθρώπινου περιβάλλοντος διατρέχει Ελάχιστο κίνδυνο, 26,60% Πολύ χαμηλό, 19,75% Χαμηλό, 9,94% Μέτριο, 3,64% Υψηλό και 1,36% Πολύ υψηλό κίνδυνο έκθεσης.

Το δεύτερο μέρος σχετίζεται με την επεξεργασία και διαχείριση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή ήταν οι εικόνες του Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ με ημερομηνίες λήψης στις 26/7/1984, 28/7/1999 και 26/7/2007 και εικόνες radar του ERS-2 radar με ημερομηνίες λήψης στις 18/06/1998, 14/1/1999 και 21/10/1999. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και αεροφωτογραφίες του 1945, 1960, 1986, 1997 και 2007.

Με την χρήση των εικόνων του Landsat, δοκιμάστηκαν 5 διαφορετικές τεχνικές για την καταγραφή των διαχρονικών αλλαγών της χρήσης/κάλυψης γης της λεκάνης, καθώς και των καθορισμό της φύσης αυτών των αλλαγών. Τελικά, προτιμήθηκαν η Επιλεκτική Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών και ο Συνδυασμός των Εικόνων Μετά-ταξινόμησης για την διάκριση των μεταβολών. Η πρώτη μέθοδος δεν έδωσε ικανοποιητικά στοιχεία για την φύση των αλλαγών, αλλά χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά, ως βοηθητικό στοιχείο για την ταξινόμηση της φύσης των μεταβολών στην εικόνα που προέκυψε από την σύγκριση των εικόνων της μετά-ταξινόμησης. Στην τεχνική της μετά-ταξινόμησης οι τρεις εικόνες Landsat ταξινομήθηκαν με την μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Η διαδικασία της ταξινόμησης, βοηθήθηκε και από τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν στην ύπαιθρο, καθώς και την φωτοερμηνεία των αεροφωτογραφιών, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια των τελικών χαρτών χρήσης/κάλυψης γης.

Ο συνδυασμός των τριών θεματικών χαρτών ανά ζεύγη, αποτύπωσε εντονότερα τις μεταβολές που έλαβαν χώρα κατά τα χρονικά διαστήματα 1984-1999 και 1999-2007. Οι μεταβολές που καταγράφηκαν είναι σημαντικές και αφορούν: (α) την αστική πύκνωση

και, επέκταση ιδιαίτερα στις περιαστικές ζώνες των μεγαλύτερων οικισμών (Λαμία, Ανθήλη, Μακρακώμη κλπ) και στην παράκτια ζώνη, (β) την ταχεία ανάπτυξη των καλλιεργειών εις βάρος κυρίως της φυσικής βλάστησης και την μετατροπή των χειμερινών αροτραίων καλλιεργειών σε θερινές και το αντίστροφο, ανάλογα με το υπάρχον καθεστώς επιδοτήσεων, (γ) την αποψίλωση των δασικών εκτάσεων, εξαιτίας των πυρκαγιών και των εκχερσώσεων, (δ) την εξαφάνιση της φυσικής βλάστησης, ιδιαίτερα στις παρά την όχθη περιοχές του Σπερχειού και (ε) την υποβάθμιση του φυσικού τοπίου με την επέκταση των γυμνών εδαφών και βοσκοτόπων εις βάρος της φυσικής βλάστησης.

Η χρήση των τριών εικόνων radar αφορούσε την εκτίμηση των εποχιακών μεταβολών των καλλιεργειών της παράκτιας ζώνης για το διάστημα από τον Ιούνιο του 1998 έως τον Οκτώβριο του 1999, καθώς και τον καλύτερο εντοπισμό των αβαθών στην περιοχή της ακτογραμμής. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μία σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα Εποχιακής Διαφοροποίησης και μία εικόνα Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών.

Επιπλέον, για την καταγραφή των μεταβολών της ακτογραμμής από το 4.500 π.Χ. μέχρι και το 2007, πραγματοποιήθηκε μία συγκριτική αποτύπωσή της με την βοήθεια παλιότερων τοπογραφικών χαρτών και αεροφωτογραφιών, στο περιβάλλον του ΓΣΠ. Ο ρυθμός μεταβολής κυμαινόταν από 0,31 έως 2,79 m/year, με εξαίρεση την περίοδο από το 1805 έως το 1852 όπου ήταν 8,95 m/year. Η σημερινή θέση του Σπερχειού, δημιουργήθηκε από την μετατόπιση βορειότερα, ύστερα από ένα μεγάλο πλημμυρικό συμβάν του 1889. Επίσης, η δημιουργία του Αγωγού Εκτροπής ή Υπερχειλιστή το 1957-58, συνέβαλε στην πρόσχωση του βόρειου τμήματος του κόλπου από το 1960 έως το 1986. Τα τελευταία 22 χρόνια (1986-2007), η ακτογραμμή έχει παραμείνει σχεδόν αμετάβλητη. Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που επηρέασαν την παράκτια περιοχή σε αυτό το διάστημα, είχαν να κάνουν με μεταβολές των καλλιεργειών και την κατασκευή έργων υποδομής (οδικό δίκτυο, κανάλια άρδευσης-στράγγισης κλπ).

Το τελευταίο τμήμα της μελέτης, περιελάμβανε τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα βροχόπτωσης από 8 μετεωρολογικούς σταθμούς και για τα υπόλοιπα μετεωρολογικά δεδομένα από 2 σταθμούς, για το διάστημα 1980-2001. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν μία μείωση των κατακρημνισμάτων και μία αύξηση της θερμοκρασίας (+0,5 °C), για τα τελευταία 40 και 30 χρόνια, αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις σε επιφανειακά (15 δείγματα) και υπόγεια νερά (57 δείγματα), το 2007. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων και η σύγκριση με μία παλαιότερη δειγματοληψία (1971), έδειξε μία αύξηση της συγκέντρωσης στα Cl^- , NO_3^- , SO_4^- και Na^+ σε αρκετά δείγματα. Επίσης, εντοπίστηκαν υψηλές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, στο Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^+ και Zn^{2+} .

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο, το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην ορθή διαχείριση της κάλυψης/χρήσης γης, τη διατήρηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, την μείωση της επικινδυνότητας πρόκλησης φυσικών καταστροφών και να ικανοποιήσει την επιτακτική ανάγκη για αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα, γεωμορφολογική εξέλιξη, ποσοτικές και ποιοτικές μεταβολές υδατικών πόρων, διαχρονικές μεταβολές ακτογραμμής, διαχρονικές μεταβολές χρήσης/κάλυψης γης, εκτίμηση της ευαισθησίας σε φαινόμενα φυσικού κινδύνου.

ABSTRACT

Thesis Title: "Research of Geomorphological and Environmental Changes in the Sperchios' River Basin Utilizing New Technologies".

Remote sensing is today the modernist manner of observation of environment, as it is set off in an effective tool for the monitoring of geomorphologic characteristics. The use of satellite images in combination with Geographical Information Systems (GIS), can help in the reception of information that concerns the land cover/use, the undergoing changes that have taken place in a specific time interval and the creation or updating of correspondent data bases, given that most times the existing thematic maps do not cover the current needs of users because of the age and the serious inaccuracies that they include.

Coastal zones are one of the most complicated and dynamic earth-ecosystems with a large number of living and non-living recourses; therefore, coastal zones are areas of major socio-economical importance, worldwide. Among the various morphological types of coastal zone, river deltas represent a highly dynamic land-water interface that is also subjected also to a strong pressure of several natural (e.g. climatic change) and anthropogenic (e.g. urbanization, transportation, tourism, cultivations) factors. Remote sensing satellite data and GIS provide a unique tool for research and monitoring land use/cover, coastal areas and deltaic environments.

The aim of the thesis was, mainly, the investigation of satellite and aerial photo data capabilities to detect the undergoing environmental and geomorphologic conditions, to study the diachronic changes of land cover/use at time interval 1984-2007 and the coastline changes at time interval 4.500 BC - 2007. Also, the determination of reasons that caused these changes, the monitoring and analyses of human pressure, especially to the natural environment are examined.

The area under investigation is the basin and the mouth area of the River Sperchios that debouches to the eastern coast of the Maliakos Gulf; the latter is a semi-enclosed embayment located on the east coast of the Greek mainland. The basin covers an area of some 1.828 km², is approximately 60-80 km long, 20-30 km wide with its southern and western flanks characterized by high elevations and steep slopes, whilst its northern flank presents lower elevations and more gently slopes.

The whole research generally consisted of 3 main parts, on the basis of the differentiation of the geomorphologic and environmental characteristics.

The first part contains the basic methodology of designing and using GIS. The creation of a spatial geodatabase helps to the analysis of the morphometric parameters of the basin and the computation of the susceptible areas to landslide, fire and flood events. Furthermore the risk of human environment to this kind of natural hazards is estimated.

The analysis of the morphometric parameters of the Sperchios river basin, and separately of the 4 main sub-basins of the northern and southern part (totally 8), shows the significant difference of the morphological and tectonic characteristics of each part. The shape and slope of the northern part is characterized by V-shaped valleys with

gentle slopes and broad watersheds. The central part has similar elevations, starting from about 650 m and reaching down to 200 m. Below this altitude, the tributaries gently pass into the coalescent alluvial fan surfaces till they join the Sperchios River. The southern part has flatter upper reaches while the middle parts are much steeper and some of them have cut deep gorges. Upon leaving the mountains, they form distinct alluvial fans, sloping steeply towards the Sperchios.

For the formation of the Landslide Susceptibility map (LS), 11 different factors were combined using GIS. The results revealed that the basin area has a 2,48 % with minimum landslide susceptibility, 11,81% with very low, 30,44% with low, 29,84% moderate, 19,25% with high and 6,18% with very high landslide susceptibility. Additionally, two maps of flood and fire susceptibility were created. Moreover, in order to estimate the risk that was derived from the susceptibility of the area to landslide, fire and flood events, a map of human exposure of the area was formed by using the combination of population density, land use/cover and road network layers. The risk from the infliction of these natural hazards to human environment, shows that a 38,72% of the basin area runs a minimum risk, 26,60% a very low, 19,75% a low, 9,94% a moderate, 3,64% high and 1,36% runs a very high risk.

The second part is related to the processing of remote sensing data. The remotely sensing data used in this study were Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ images with acquisition date of 26/7/1984, 28/7/1999 and 26/7/2007 and ERS-2 radar images with acquisition date of 18/06/1998, 14/1/1999 and 21/10/1999. Likewise, a data set of aerial photos from 1945, 1960, 1986 and 2007 was utilized.

Using Landsat images, five change detection techniques were employed to detect and analyze the kind of land use/cover changes. Selective Principal Component Analysis (SPCA) and Post-classification comparison techniques were finally selected to detect the changes. The SPCA method didn't give reliable results for the kind of changes, but was used as a supplementary tool for the determination of changes derived from the post-classification comparison image. In the post-classification technique, the three Landsat images were classified with the method of supervised classification and the application of maximum likelihood classifier. The process of classification was supported by the data collected from field surveys and the visual interpretation of aerial photos, for the improvement of the accuracy of land cover/use thematic maps that resulted and the reliability estimate of final data.

The combination of the three thematic maps in pairs, have enhanced the changes that took place over the periods 1984-1999 and 1999-2007. The changes that were recorded are important and rapid and they concern: (a) the intense urban growth and expansion that is observed mainly at the bigger settlements (Lamia, Anthili, Makrakomi etc.) and especially in the coastal area, (b) the most rapid advance of cultivations at the expense of natural vegetation and the conversion from winter to summer arable crops and reversely, according to the subsidies regime, (c) the deforestation of a big part of the forests, by means of the fires and land reclamations, (d) the disappearance of natural vegetation and replacement by cultivations especially in the river vicinity area and (e) the degradation and denudation of natural landscape (expansion of bare soils and rangeland).

The use of the three radar images concerns the assessment of the seasonal crop changes of the coastal deltaic plain for the time span of June 1998 to October 1999 and the mapping of the coastal shallow areas so as to assist the record of the coastline changes. For this reason a Temporal Differentiate false color image and a Principal Component Transform image were created.

Furthermore, having as a goal to assess the temporal coastline changes and the changing rate that have taken place in Sperchios R. from 4.500 BC to 2007, a comparative study of old topographic maps and aerial photos was accomplished (acquired in 1945, 1960, 1986, 1997 and 2007) assisted by the GIS. The rate of changes varies from 0,31 to 2,79 m/year; unlike to these values, during the period from 1805 to 1852 the changing rate was 8,95 m/year. The present position of the active mouth derived from the last major shift occurred in 1889 when, during a flood, a crevasse altered its flow to a northern direction. Moreover, the construction of the spillway in 1957-58 has definitely contributed to the accretion rate increase from 1960 to 1986. During the subsequent twenty two years (1986-2007) the coastline has remained relatively stable. The anthropogenic changes that influence the coastal changes during that period, concerns crop changes and the construction of several infrastructures such as drainage channels, flood protection works and road network.

The last part includes the computation of Sperchios basin hydrological balance, using the meteorological data of 8 different meteorological stations for the precipitation and 2 stations for the rest meteorological parameters, during the period 1980-2001. The results revealed an obvious reduction of the precipitations and an increase of the region temperature for 0,5 °C, during the last 40 and 30 years, respectively.

Additionally, chemical analysis of surface and spring waters (15 samples) and groundwater (57 samples) took place in 2007. The conclusions of this analysis and the comparison to older research (1971) show an increase of the concentrations of Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} and Na^+ in several samples. In addition, high concentrations of heavy minerals such as of Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^+ and Zn^{2+} were found.

The methodology developed in the present thesis constitutes an important tool in local or national level, which could potentially help in the proper land use/cover and coastal area management, the conservation and protection of natural environment, the reduction of appearance of natural hazards, and finally, to satisfy the imperative need for sustainable management of natural resources.

Key-Words: Remote Sensing, Geographical Information System, geomorphological evolution, quantitative and qualitative changes of water resources, long term coastline changes, temporal land use/cover changes, estimation of the susceptibility in natural disasters phenomena.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΠΕΡΙΛΗΨΗ- ABSTRACT	i
	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
	ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1	Περιοχή μελέτης	1
1.2	Σκοπός και Στόχοι της Διατριβής	2
1.3	Μεθοδολογία και Στάδια Εργασίας	3
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	
2.1	Κοινωνικά-Πολιτιστικά Στοιχεία	7
2.1.1	Γενικά ιστορικά στοιχεία	7
2.1.1.1	Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή	7
2.1.1.2	Η μάχη στα στενά των Θερμοπουλών	8
2.1.2	Ανθρωπολογία-Οικονομία	10
2.1.3	Έργα υποδομής-ανάπτυξης	12
2.1.3.1.	Οικιστικές συνθήκες-Δίκτυο οδικό-μεταφορών	12
2.1.3.2.	Αντιπλημμυρικά έργα	13
2.1.3.3.	Αρδευτικά έργα	14
2.2	Φυσικό Περιβάλλον	16
2.2.1	Γεωμορφολογία	16
2.2.1.1	Γενικά	16
2.2.1.2	Σπερχειός ποταμός-Δέλτα-Παράκτια ζώνη	18
2.2.1.3	Μαλιακός κόλπος	21
2.2.1.4	Εδάφη - Χλωρίδα - Πανίδα	23
2.2.2	Γενικά Υδρολογικά και Κλιματολογικά στοιχεία	25
2.2.2.1	Υδρολογικές συνθήκες	25
2.2.2.2	Κλιματολογία	25
2.2.3	Γεωλογία-Τεκτονική-Σεισμικότητα	25
2.2.3.1	Γεωλογικά στοιχεία	25
2.2.3.2	Γεωτεκτονική ένταξη	31
2.2.3.3	Σεισμική προϊστορία - Σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής	34
2.2.4	Γενικά Υδρογεωλογικά Στοιχεία	38
2.2.4.1	Υδρογεωλογία	38
2.2.4.2	Υδροφόροι ορίζοντες	39
2.2.4.3	Ποιότητα υδάτων	39
2.2.5	Περιβάλλον	40
2.2.5.1	Περιοχές με σημαίνουσα περιβαλλοντική σημασία	40
2.2.5.2	Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις	42
2.2.6	Φυσικές καταστροφές	43
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ	
3.1	Εισαγωγή	50
3.1.1	Μεθοδολογία	51
3.2	Δημιουργία θεματικών χαρτών	51
3.2.1	Γενικά στοιχεία-Οριοθέτηση περιοχής	51
3.2.2	Δεδομένα	53
3.2.3	Γενικοί θεματικοί χάρτες	56
3.2.3.1	Θεματικός χάρτης ορίων περιοχής μελέτης	56
3.2.3.2	Θεματικός χάρτης Δήμων - Δημοτικών Διαμερισμάτων και Οικισμών	57
3.2.4	Θεματικός χάρτης ισοϋψών - Χωρικά μοντέλα	58
3.2.4.1	Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο	59
3.2.4.2	Ισοβαθείς καμπύλες	62
3.2.4.3	Σκιασμένο ανάγλυφο	64
3.2.4.4	Χάρτης κλίσεων	64
3.2.4.5	Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων	67
3.2.4.6	Χάρτης υψομετρικών ζωνών	69

3.2.4.7	Χάρτης καμπυλότητας	70
3.2.5	Θεματικός χάρτης γεωλογικών ενοτήτων	70
3.2.5.1	Χάρτης τεκτονικών ασυνεχειών	72
3.2.5.2	Υδρολιθολογικός χάρτης	73
3.2.6	Θεματικός χάρτης υδρολογικών λεκανών και υπολεκανών	74
3.2.7	Θεματικός χάρτης υδρογραφικού δικτύου	76
3.2.8	Θεματικός χάρτης οδικού – σιδηροδρομικού δικτύου	77
3.2.9	Θεματικός χάρτης βάθους εδάφους	78
3.2.10	Θεματικός χάρτης περιβαλλοντικά προστατευόμενων περιοχών	80
3.2.11	Θεματικός χάρτης κατανομής ανθρωπογενών δραστηριοτήτων	81
3.3	Διασταύρωση θεματικών χαρτών	83
3.3.1	Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και κλίσεων	83
3.3.2	Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και βάθους εδάφους	85
3.3.3	Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και υψομετρικών ζωνών	88
3.3.4	Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και κατανομής της βροχόπτωσης	89
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4.	ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ	
4.1	Εισαγωγή	92
4.1.1	Ανίχνευση μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης – παράκτιας ζώνης	93
4.1.1.1	Χρήση/κάλυψη γης	93
4.1.1.2	Παράκτια ζώνη	94
4.1.2	Ανίχνευση μεταβολών με μεθόδους Τηλεπισκόπησης και ΓΠΣ	95
4.1.2.1	Τηλεπισκόπηση και ΓΠΣ στην ανίχνευση μεταβολών	95
4.1.2.2	Μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών	97
4.1.3	Δεδομένα-Μεθοδολογία	100
4.2	Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων Landsat	103
4.2.1	Επεξεργασία δεδομένων	103
4.2.1.1	Ατμοσφαιρικές διορθώσεις	103
4.2.1.2	Βελτίωση της αντίθεσης	103
4.2.1.3	Γεωμετρικές διορθώσεις	104
4.2.2	Δημιουργία σύνθετων ψευδέγχρωμων εικόνων	108
4.2.3	Συγχώνευση παγχρωματικών & πολυφασματικών δεδομένων του Landsat 7	109
4.2.4	Ανάλυση κύριων συνιστωσών	111
4.2.4.1	Εισαγωγή	111
4.2.4.2	Χρονική περίοδος 1984-1999	113
4.2.4.3	Χρονική περίοδος 1999-2007	115
4.2.5	Ταξινόμηση εικόνας	117
4.2.5.1	Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση	119
4.2.5.2	Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	120
4.2.5.3	Εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης	121
4.2.5.4	Καθορισμός των κλάσεων ταξινόμησης	121
4.2.5.5	Συλλογή δειγμάτων εδάφους	124
4.2.5.6	Εκπαίδευση ταξινομητή	126
4.2.5.7	Εφαρμογή αλγόριθμου μέγιστης πιθανοφάνειας	126
4.2.5.8	Επεξεργασία των δεδομένων μετά την ταξινόμηση (post-classification) για τη βελτίωση της ακρίβειας του χάρτη χρήσης/κάλυψης γης	133
4.2.5.9	Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης	136
4.3	Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων ERS-2 (SAR.PRI)	144
4.3.1	Εισαγωγή-Μεθοδολογία	144
4.3.2	Επεξεργασία δεδομένων	147
4.3.2.1	Μείωση του θορύβου	147
4.3.2.2	Βελτίωση της αντίθεσης	148
4.3.2.3	Γεωμετρικές διορθώσεις	148
4.3.3	Δημιουργία σύνθετης ψευδέγχρωμης εικόνας	149
4.3.4	Ανάλυση κύριων συνιστωσών	150
4.3.5	Συμπεράσματα	152
4.4	Ψηφιακή επεξεργασία αεροφωτογραφιών	152

	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
5.	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
5.1	Ανάλυση λεκάνης απορροής & υδρογραφικού δικτύου	154
5.1.1	Εισαγωγή	154
5.1.2	Μορφή λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού	154
5.1.3	Στατιστική ανάλυση γεωλογικής δομής και τεκτονικής της περιοχής	156
5.1.4	Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου	158
5.1.4.1	Τμηματοποίηση Σπερχειού	158
5.1.4.2	Αναβαθμίδες	160
5.1.4.3	Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου	162
5.1.5	Ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου	162
5.1.5.1	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού	163
5.1.5.2	Εφαρμογή 1 ^{ου} και 2 ^{ου} νόμου του Horton	167
5.1.5.3	Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου	168
5.1.6	Μορφομετρικές παράμετροι των κύριων υπολεκανών του ποταμού Σπερχειού	169
5.1.6.1	Λεκάνη ρέματος Βιτολιώτη	170
5.1.6.2	Λεκάνη ρέματος Αρχανόρρεμα	177
5.1.6.3	Λεκάνη ρέματος Δριμαρόρρεμα	183
5.1.6.4	Λεκάνη ποταμού Ξηριά Λαμίας	188
5.1.6.5	Λεκάνη ρέματος Ρουσιανίτη	194
5.1.6.6	Λεκάνη ποταμού Ίναχου	200
5.1.6.7	Λεκάνη ποταμού Γοργοπόταμου	207
5.1.6.8	Λεκάνη ποταμού Ασωπού	213
5.1.7	Ανάλυση μορφομετρικών παραμέτρων	220
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
6.	ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	
6.1	Κλίμα-Υδρολογία	223
6.1.1	Υδρομετεωρολογία	223
6.1.2	Κατανομή των βροχοπτώσεων	230
6.1.3	Υδρολογικό ισοζύγιο	231
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
7.	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΔΑΤΩΝ	
7.1	Ποιότητα Υδατικών Πόρων	239
7.1.1	Ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων	239
7.1.2	Πηγές ρύπανσης των υδάτων στην περιοχή μελέτης	242
7.1.3	Προσέγγιση-Μεθοδολογία	243
7.1.3.1	Δειγματοληψία	246
7.1.3.2	Μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις	246
7.2	Ανάλυση και Χωρική Κατανομή των Φυσικοχημικών και Χημικών Παραμέτρων	249
7.2.1	Φυσικοχημικοί παράμετροι	250
7.2.2	Αναλύσεις στοιχείων	254
7.2.3	Αναλύσεις βαρέων μετάλλων	268
7.3	Ταξινόμηση Υδάτων	275
7.3.1	Διάγραμμα Piper	275
7.3.2	Διάγραμμα Durov	277
7.3.3	Καταλληλότητα των υδάτων	278
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
8.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
8.1	Γεωμορφολογική εξέλιξη-μορφοτεκτονικά στοιχεία	282
8.1.1	Παλαιογεωγραφική εξέλιξη λεκάνης απορροής	282
8.1.2.	Νεοτεκτονική δομή λεκάνης απορροής και χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου	284
8.1.2.1	Εξέλιξη λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού	284
8.1.2.2	Επίδραση της γεωλογικής δομής και των νεοτεκτονικών κινήσεων στις λεκάνες και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής	287
8.2	Ανίχνευση μεταβολών της ακτογραμμής και της ροής του Σπερχειού ποταμού	288
8.2.1	Εισαγωγή	288
8.2.2	Μεθοδολογία	288

8.2.3	Ποιοτική καταγραφή – 4.500 π.Χ. έως 1852 μ.Χ.	291
8.2.3.1	Έτος 4.500 π.Χ.	292
8.2.3.2	Έτος 480 π.Χ.	292
8.2.3.3	Χρονική περίοδος 480 π.Χ. έως 1800	294
8.2.3.4	Έτος 1805	297
8.2.4	Ποιοτική και ποσοτική καταγραφή – 1852 έως 2007	300
8.2.4.1	Έτος 1852	300
8.2.4.2	Έτος 1908	301
8.2.4.3	Έτος 1945	302
8.2.4.4	Έτος 1960	304
8.2.4.5	Έτος 1986	306
8.2.4.6	Έτος 1997	307
8.2.4.7	Έτος 2007	308
8.2.5	Ποσοτικοποίηση μεταβολών	311
8.2.6	Μελλοντικές εκτιμήσεις	317
8.3	Ανίχνευση μεταβολών χρήσης/ κάλυψης γης	319
8.3.1	Ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης	319
8.3.2	Ανίχνευση μεταβολών	320
8.3.2.1	Χρονική περίοδος 1984-1999	320
8.3.2.2	Χρονική περίοδος 1999-2007	323
8.3.3	Ανθρώπινες χρήσεις και η επίδρασή τους στο φυσικό-γεωργικό και αστικό περιβάλλον	326
8.4	Εκτίμηση της ευαισθησίας της περιοχής σε φαινόμενα φυσικού κινδύνου	330
8.4.1	Εκτίμηση της ευαισθησίας σε κατολίσθηση	330
8.4.1.1	Εισαγωγή	330
8.4.1.2	Δημιουργία της γεωβάσης αναφοράς-Δείκτες βαρύτητας	332
8.4.1.3	Δημιουργία χάρτης ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LS)	333
8.4.2	Εκτίμηση της ευαισθησίας σε πυρκαγιά και πλημμύρα	338
8.4.1.1	Πυρκαγιές	338
8.4.1.2	Πλημμύρες	339
8.4.3	Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων (Landslide risk)	341
8.4.4	Εκτίμηση του κινδύνου (risk) από φυσικές καταστροφές (natural hazards) (κατολίσθησης, πλημμύρας και πυρκαγιάς)	342
8.5	Ανίχνευση ποσοτικών και ποιοτικών μεταβολών στους υδατικούς πόρους	345
8.5.1	Ποσοτικές μεταβολές	345
8.5.2	Μεταβολές ποιοτικής σύστασης υδάτων	346
8.5.2.1	Κύρια στοιχεία	346
8.5.2.2	Βαρέα μέταλλα	349
8.6	Ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις στο περιβάλλον	352
8.6.1	Ανθρώπινες δραστηριότητες και επιβάρυνση περιβάλλοντος	352
8.6.2	Επίδραση ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές	355
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	356
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	
10.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	367

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Απεικόνιση της περιοχής έρευνας στο χώρο (κόκκινο πλαίσιο): (α) σε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της Ελλάδας και (β) σε δορυφορική εικόνα του Landsat 5 (7,4,2 σαν RGB)	1
Διάγραμμα 1.2	Περιγράφει την μεθοδολογία για τον καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης κατά τα έτη 1984, 1999 και 2007 και την διερεύνηση των μεταβολών που έχουν επέλθει κατά τις περιόδους 1984-1999 και 1999-2007	5
Διάγραμμα 1.3	Περιγράφει την μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ευαισθησία της περιοχής έρευνα σε κατολισθήσεις-πυρκαγιές και πλημμύρες και την έκθεση του ανθρώπου στον κίνδυνο από την εκδήλωση αυτών των φαινομένων	
Εικόνα 2.1	Η εκστρατεία του Ξέρξη (480 π.Χ.). Η περιοχή των Θερμοπυλών. Το στρατόπεδο των Περσών ανάμεσα στους ποταμούς Μέλανα και Ασωπό. Οι Έλληνες στο τείχος των Φωκίων και η Ανοπαία ατραπός από όπου ο Εφιάλτης οδήγησε τους Πέρσες στα νώτα των Ελλήνων (Ηροδότου Ιστορία 1989)	9
Εικόνα 2.2	Φωτογραφίες (1,2) που απεικονίζουν τα έργα διαπλάτυνσης που πραγματοποιήθηκαν στον Αγωγό Εκτροπής-Υπερχειλιστή του Σπερχειού ποταμού το 2001	14
Εικόνα 2.3	Υδροσύστημα Σπερχειού. ΤΟΕΒ, Αρδευτικά κανάλια, Αντλιοστάσια και Έργα (Ζαρρής και αλ. 1999, ΕΜΠ- Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων)	17
Εικόνα 2.4	Προοπτική απεικόνιση της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού	18
Εικόνα 2.5	Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα	20
Εικόνα 2.6	Ταξινόμηση των δέλτα βάσει των τριών διεργασιών διαμόρφωσής τους: ποτάμια τροφοδοσία, κυματική ενέργεια και παλίρροιες (Galloway 1975)	20
Εικόνα 2.7α	Στοιχεία θέσης του παλιρροϊόμετρου στο λιμένα Στυλίδας (ΥΥΠΝ-Στοιχεία Παλίρροιας 1991β)	22
Εικόνα 2.7β	Στατιστικά στοιχεία παλίρροιας από το παλιρροϊόμετρο του λιμένα Στυλίδας, περίοδος 1955-1978 (ΥΥΠΝ-Στοιχεία Παλίρροιας 1991β)	22
Εικόνα 2.8	Εικόνα 2.8 . Στάδια της παλίρροιας μέσα σε μία ημέρα στην περιοχή του λιμανιού της Στυλίδας (Μαριολάκος και αλ. 2008)	22
Εικόνα 2.9	Μαλιακός κόλπος: Επιφανειακή κατανομή του κλάσματος ης άμμου, ιλύος και αργίλου, σαν ποσοστό του συνολικού βάρους (Roulos et al. 1997)	23
Εικόνα 2.10	Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen & Giger (1936)	26
Εικόνα 2.11	Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	26
Εικόνα 2.12	(α)στρωματογραφικές στήλες της Οίτης από τις σειρές Παρνασσού-Γκιώνας και της Υποπελαγονικής, του Καλλιδρόμου και της Όθρυς, από το γεωλογικό χάρτη Λαμία και (β)στρωματογραφική στήλη από το γεωλογικό χάρτη Καρπενήσιον	28
Εικόνα 2.13	Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (Μιγκίρος 1991). 1.Μάζα Ροδόπης, 2.Σερβομακεδονική μάζα, 3.Ζώνη Αξιού (υποζώνες:3α.Παιονίας, 3β.Πάικου, 3γ.Αλμωπίας), 4.Πελαγονική ζώνη, 5.Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (υποζώνες:5α.Θεόπετρας-Γρεβενών, 5β.Μαλιακή, 5γ.Βοιωτική, 5δ.Παρνασσού-Γκιώνας), 6.Ζώνη Ωλονού-Πίνδου (6α.Ενότητα Αττικοκυκλαδική), 7.Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως (7α. Ενότητες Ολύμπου-Όσσας και Αλμυροποτάμου), 8.Ζώνη Ιόνιος (8α.Ενότητα Μάνης, 8β. Ενότητα Φυλλιών-Χαλαζιτών), 9.Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος	33
Εικόνα 2.14α	Γενικευμένος χάρτης Μέγιστων Εντάσεων Σεισμών που παρατηρήθηκαν στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο από το 1700 έως το 1981	35
Εικόνα 2.14β	Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Ελλαδικού χώρου (ΟΑΣΠ 2004)	35
Εικόνα 2.15	Χάρτης του ρήγματος και των σεισμικών ζωνών της περιοχής της Αταλάντης (Λοκρίδας), που δημιουργήθηκε από τους 2 σεισμούς του Απριλίου 1894 (Bittner and Feller 1894)	37
Εικόνα 2.16	Απεικόνιση σε δορυφορική εικόνα Landsat 7 ETM+ (συνδυασμός καναλιών 7,4,1 – RGB, ημερομηνία λήψης 15/08/2000) της μεγάλης περιοχής που κήκε στα βορειοανατολικά της Μακρακώμης των Ιούλιο του 2000 (Psomiadis et al. 2005a)	45
Εικόνα 2.17α&β	Φωτογραφίες που απεικονίζουν την πολύ μεγάλη πλημμύρα που έγινε στην λεκάνη του Σπερχειού στις 14/01/1997 και η οποία κατέστρεψε εκτός των άλλων και 6 γέφυρες της περιοχής	46
Εικόνα 2.18	Τα κύρια τμήματα μια τυπικής κατολισθήσης (Varnes 1978)	48
Εικόνα 2.19	Απεικόνιση του αριθμού των σημαντικότερων κατολισθήσεων, που έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια, ανά 100 km ² (Koukis et al. 2005) στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού	49
Εικόνα 3.1	Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο Ελληνικό χώρο (πορτοκαλί πολύγωνο), καθώς και μέσω του μωσαϊκού των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000	52
Εικόνα 3.2	Χάρτης των 11 Δήμων που βρίσκονται εξολοκλήρου ή μερικώς εντός της περιοχής μελέτης	57
Εικόνα 3.3	Χάρτης των 102 Δημοτικών Διαμερισμάτων που βρίσκονται εξολοκλήρου ή μερικώς εντός της περιοχής μελέτης	57
Εικόνα 3.4	Χάρτης των Οικισμών που βρίσκονται εντός ή στα όρια της περιοχής μελέτης	58
Εικόνα 3.5	Χάρτης ισούψων και σημείων υψομέτρου της περιοχής μελέτης	59
Εικόνα 3.6	Για την απόδοση υψομέτρου στο εικονοστοιχείο p συνυπολογίζονται οι αποστάσεις d ₁ και d ₂ από την υψηλότερη και χαμηλότερη ισούψη (ILWIS 3.0 User's Guide 2001)	61

Εικόνα 3.7	Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (έγχρωμη μορφή)	63
Εικόνα 3.8	Χάρτης ισοβαθών καμπυλών και σημείων βάθους πυθμένα στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου	63
Εικόνα 3.9	Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης, με ΒΔ φωτισμό	65
Εικόνα 3.10	Περιγραφή των φίλτρων Dfdx (οριζόντιο) και Dfdy (κάθετο) που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των κλίσεων (ILWIS 3.0 User's Guide 2001)	66
Εικόνα 3.11	Θεματικός χάρτης κλίσεων (slope map)	67
Εικόνα 3.12	Θεματικός χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (aspect map)	68
Εικόνα 3.13	Θεματικός χάρτης κλίσεων (slope map)	69
Εικόνα 3.14	Θεματικός χάρτης καμπυλότητας (Curvature map)	70
Εικόνα 3.15	Γεωλογικός χάρτης λιθολογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης	72
Εικόνα 3.16	Χάρτης τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής μελέτης	73
Εικόνα 3.17	Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης	74
Εικόνα 3.18	Το ψηφιοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο και οι κύριες υπολεκάνες που απαρτίζουν την λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού	75
Εικόνα 3.19	Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο του Σπερχειού ποταμού.	76
Εικόνα 3.20	Απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής μελέτης στο χώρο (κόκκινο πλαίσιο) καθώς και αναπαράσταση της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού μέσω του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (Digital Elevation Model)	77
Εικόνα 3.21	Χάρτης οδικού-σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής μελέτης	78
Εικόνα 3.22	Χάρτης βάθους εδάφους της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	79
Εικόνα 3.23	Χάρτης Προστατευόμενων περιβαλλοντικά περιοχών της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	82
Εικόνα 3.24	Χάρτης ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού	82
Εικόνα 3.25	Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών και των κλίσεων της περιοχής	85
Εικόνα 3.26	Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών με το βάθος εδάφους της περιοχής	86
Εικόνα 3.27	Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών και των υψομετρικών ζωνών της περιοχής	89
Εικόνα 3.28	Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών με την κατανομή της βροχόπτωσης	91
Εικόνα 4.1	Απεικονίζεται αριστερά το αρχικό ιστόγραμμα φασματικού καναλιού TM1 του Landsat 5 TM (1984), στο οποίο είναι εμφανές ότι οι ψηφιακές τιμές της εικόνας συσσωρεύονται σε ένα μικρό εύρος των δυνατών διαβαθμίσεων του γκρι (0-255). Δεξιά απεικονίζεται το ιστόγραμμα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος (linear stretching) όπου οι τιμές ανακατανέμονται σε ένα μεγαλύτερο εύρος, βελτιώνοντας έτσι ραδιομετρικά την εικόνα	105
Εικόνα 4.2	Απεικονίζεται το κανάλι 1 του δορυφόρου Landsat 5 TM (1984), πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης της αντίθεσης	105
Εικόνα 4.3	Γεωμετρική διόρθωση εικόνας Landsat ETM+ (1999), με την κατανομή των εδαφικών σημείων ελέγχου στην περιοχή μελέτης	106
Εικόνα 4.4	Τα δύο μοντέλα γεωμετρικής διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκαν. Αριστερά το μοντέλο Landsat και δεξιά το μοντέλο Projective Transform του ERDAS	107
Εικόνα 4.5	Η Σύνθετη Ψευδέγχρωμη εικόνα (4,3,2 σαν RGB) του Landsat 7 ETM+, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την αναδόμηση των εικονοστοιχείων	108
Εικόνα 4.6	Σύνθετες Ψευδέγχρωμες εικόνες 432 (RGB) (επάνω) και 7,5,3 (RGB) (κάτω), της σκηνης του Landsat 5 TM του 2007. Είναι εμφανές στην επάνω εικόνα ότι με τον συνδυασμό αυτό καθίσταται πιο ευκρινείς ο διαχωρισμός των καλλιεγόμενων περιοχών, ενώ στην κάτω είναι περισσότερο διακριτός ο διαχωρισμός των δασικών περιοχών με φυλλοβόλα (πράσινο ανοιχτό χρώμα) από τις περιοχές με κωνοφόρα και πεύκα (πράσινο σκούρο χρώμα), στα νότια και δυτικά της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού	110
Εικόνα 4.7	Ψηφιακή μεγέθυνση σε δύο περιοχές (παράκτια περιοχή-πάνω και ΝΑ τμήμα της Λαμίας-κάτω) της συγχωνευμένης με την μέθοδο IHS εικόνας (αριστερά) και της αρχικής πολυφασματικής εικόνας δεξιά. Είναι εμφανής η βελτίωση που υπάρχει από την βελτίωση της χωρικής ανάλυσης, μετά την εφαρμογή της συγχώνευσης των δεδομένων	111
Εικόνα 4.8	Η κύρια συνιστώσα PC2 στην οποία απεικονίζονται, με άσπρο και μαύρο, οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1984-1999, ενώ με γκρι απεικονίζονται οι περιοχές που δεν επήλθαν αλλαγές	114
Εικόνα 4.9	Τμήματα της κύριας συνιστώσας PC2 που απεικονίζουν διάφορα είδη αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, (α) αλλαγές στις καλλιέργειες με αύξηση της βλάστησης (λευκό, σημείο 1), (β) κατασκευή δρόμων (γραμμικά στοιχεία), αποψίλωση βλάστησης (μαύρο, σημείο 2), (γ) επέκταση της αστικής δόμησης στα περίχωρα της Λαμίας, εκσκαφές και άνοιγμα ή επέκταση λατομείων (μαύρο, σημεία 3,4 και 5) και (δ) μεταβολές του Σπερχειού ποταμού, με αύξηση (λευκό) ή μείωση (μαύρο) της όχθης (σημείο 6) (Psomiadis et al. 2005b)	115
Εικόνα 4.10	Η κύρια συνιστώσα PC5 στην οποία απεικονίζονται, με άσπρο και μαύρο, οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1999-2007, ενώ με γκρι απεικονίζονται οι περιοχές που δεν επήλθαν αλλαγές	117
Εικόνα 4.11	Τμήματα της κύριας συνιστώσας PC5 που απεικονίζουν διάφορα είδη αλλαγών	118

	χρήσης/κάλυψης γης, (α) αλλαγές στις καλλιέργειες, (μείωση βλάστησης των καλλιεργειών ή οδικά έργα σε καλλιέργειες (με άσπρο, σημείο 1), (β) κατασκευή δρόμων (γραμμικά στοιχεία), επέκταση της αστικής δόμησης στα περίχωρα της Λαμίας και δημιουργία εκσκαφών και άνοιγμα ή επέκταση λατομείων (μαύρο, σημείο 2) και (γ) αποψίλωση βλάστησης από πυρκαγιές (λευκό, σημείο 3) ή αύξηση της βλάστησης λόγω αλλαγής είδους καλλιέργειας (μαύρο (σημείο 4)	
Εικόνα 4.12	Ελαιώνες με διαφορετική ανάπτυξη και πυκνότητα δένδρων, καθώς και διαφορετική καλλιεργητική φροντίδα, σε εικόνα του Landsat αριστερά και ΟΦΧ δεξιά. Στο επάνω ελαιοτεμάχιο (σημείο 1) είναι εμφανές ότι τα ελαιόδεντρα είναι μικρά και αραιά και για αυτό υπάρχει συνεισφορά στην ανάκλαση από το γυμνό έδαφος και συνεπώς πολύ ανοιχτό κόκκινο χρώμα. Στα δύο κάτω ελαιοτεμάχια, στο μεν αριστερά (σημείο 2) η φύτευση είναι ελαφρώς πυκνότερη και για αυτό εμφανίζεται λίγο πιο κόκκινο, ενώ το δεξιά (σημείο 3) εμφανίζεται ακόμα πιο κόκκινο, διότι έχει ακόμα πιο μεγάλα και πυκνά δέντρα και το έδαφος δεν έχει καθαριστεί από την βλάστηση	128
Εικόνα 4.13	Χαρακτηριστική καλλιέργεια με κερασιές (στην εικόνα Landsat αριστερά και στον ΟΦΧ δεξιά), όπου είναι εμφανής η πυκνότερη φύτευση που έχουν οι οπωρώνες και για το λόγο αυτό εμφανίζονται στην σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα με πιο έντονο κόκκινο, σε σχέση με τις ελιές	128
Εικόνα 4.14	Χαρακτηριστικές αροτραίες καλλιέργειες της περιοχής με βαμβάκι (σημείο 1, 2) και αραβόσιτο (σημείο 3) και 2-3 τεμάχια με ελιές (σημείο 4) και κερασιές (σημείο 5)	129
Εικόνα 4.15	Φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης. Είναι εμφανής ο διαχωρισμός των κωνοφόρων (έλατα, πεύκα) που απεικονίζονται με πολύ έντονο κόκκινο χρώμα (σημείο 1), των φυλλοβόλων (οξιές, δρυς, πλατάνια) που απεικονίζονται με κόκκινο ανοιχτό χρώμα (σημείο 2) και των αείφυλλων πλατύφυλλων που απεικονίζονται με ένα ενδιάμεσο κόκκινο χρώμα (σημείο 3)	129
Εικόνα 4.16	(α) Η περιοχή της Λαμίας στην σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα (4,3,2 σαν RGB) του 1984 και (β) του 2007. Είναι εμφανής η επέκταση του αστικού ιστού στο διάστημα αυτό (σημεία 1 & 2), καθώς και το ότι η πυκνή αστική δόμηση δεν διακόπτεται από μεγάλες νησίδες πρασίνου, όπως γίνεται στην οικιστική περιοχή ενός χωριού (γ) και οι οποίες εμφανίζονται με κόκκινες αποχρώσεις εντός του οικισμού (σημείο 3)	131
Εικόνα 4.17	Στην εικόνα αυτή απεικονίζονται (α) Κάλυψη γης με νερό (Αγωγός εκτροπής-σημείο 1), (β) καμένη περιοχή (σημείο 2), (γ) κατασκευή σιδηροδρομικού δικτύου και διαπλάτυνση δρόμου (σημεία 3 & 4 αντίστοιχα), (δ) λατομεία (σημείο 5), (ε) εκσκαφές και δανειοθάλαμοι υλικού εκατέρωθεν της Νέα Εθνικής οδού (σημείο 6), (ζ) παράκτιοι υδροβιότοποι (σημείο 7)	132
Εικόνα 4.18 α&β	Απεικονίζεται η διαδικασία της βελτίωσης του τελικού αποτελέσματος των χαρτών χρήσης/κάλυψης γης, που προέκυψε από την διαδικασία της ταξινόμησης, με την βοήθεια των ΟΦΧ, πολύ υψηλής ανάλυσης	134
Εικόνα 4.19	Χάρτης κάλυψης/χρήσης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνα του Landsat 5 TM του 2007	137
Εικόνα 4.20	Χάρτης κάλυψης/χρήσης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνα του Landsat 7 ETM+ του 1999	138
Εικόνα 4.21	Χάρτης κάλυψης/χρήσης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνα του Landsat 5 TM του 1984	139
Εικόνα 4.22.	Απεικονίζεται αριστερά ολόκληρη η σκηνή της εικόνας radar του Ιανουαρίου του 1999, ενώ δεξιά απεικονίζεται τμήμα της εικόνας αυτής, μετά από αναστροφή και αποκοπή στα όρια της παράκτιας περιοχής	146
Εικόνα 4.23	Η εικόνα του Εποχιακής Διάκρισης Μεταβολών (Seasonal Differentiate radar Image-SDI). Η εικόνα αυτή αναδεικνύει τις εποχιακές μεταβολές των καλλιεργειών της περιοχής, καθώς και τις αβαθείς περιοχές στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου	150
Εικόνα 4.24.	Η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα από τον συνδυασμό των συνιστωσών (PC1, PC2 και PC3 σαν RGB) που προέκυψαν από την μέθοδο του Μετασχηματισμού Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Transform radar Image-PCT)	151
Διάγραμμα 5.1	Διάγραμμα που δίνει τις υψομετρικές καμπύλες ύψους-αθριστικού εμβαδού (%)	155
Διάγραμμα 5.2	Διάγραμμα που δίνει τις υψομετρικές καμπύλες ύψους-αθριστικού εμβαδού (%)	156
Εικόνα 5.3	(α) Ροδοδιάγραμμα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας, (β) Ροδοδιάγραμμα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας. Μέση συνισταμένη διεύθυνση κανονικών ρηγμάτων: ΡΣ =88° & ΡΠ=94° (Δ-Α) και μέση συνισταμένη διεύθυνση ανάστροφων ρηγμάτων: ΡΣ =174° & ΡΠ=175° (NNA-BBA)	156
Εικόνα 5.4	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας στο κεντρικό, το νότιο και το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Μέση συνισταμένη διεύθυνση για το κεντρικό τμήμα: ΡΣ =102° & ΡΠ=104°, για το νότιο τμήμα: ΡΣ =94° & ΡΠ=130° και για το βόρειο τμήμα: ΡΣ =78° & ΡΠ=44°	157
Εικόνα 5.5	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης	157

	γωνίας στις αλλουβιακές αποθέσεις, στα ανθρακικά πετρώματα, στο φλύσχη και στους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους. Μέση συνισταμένη διεύθυνση κανονικών ρηγμάτων στις αλλουβιακές αποθέσεις: $P\Sigma = 122^\circ$ & $P\Pi = 106^\circ$, στα ανθρακικά πετρώματα: $P\Sigma = 96^\circ$ & $P\Pi = 92^\circ$, στο φλύσχη: $P\Sigma = 88^\circ$ & $P\Pi = 85^\circ$ και στους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους: $P\Sigma = 159^\circ$ & $P\Pi = 76^\circ$	
Εικόνα 5.6	Τα 5 τμήματα διαχωρισμού του Σπερχείου ποταμού, που τμηματοποιήθηκαν με βάση τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του (σαν υπόβαθρο απεικονίζεται ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της λεκάνης απορροής)	159
Εικόνα 5.7	Οι αναβαθμοί του Σπερχείου ποταμού (σημεία 1,2 και 3), με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM του 2007	161
Εικόνα 5.8	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (PΣ) και πυκνότητας (PΠ) του υδρογραφικού δικτύου του Σπερχείου ποταμού, για κάθε τάξη χωριστά	168
Εικόνα 5.9	Η κατανομή στην λεκάνη του Σπερχείου, των 8 υπολεκάνων (4 στο βόρειο τμήμα και 4 στο νότιο) στις οποίες πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική και μορφομετρική ανάλυση	169
Εικόνα 5.10	Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Βιτολιώτη (κλίμακα 1:40.000)	171
Διάγραμμα 5.11	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	171
Εικόνα 5.12.	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	171
Εικόνα 5.13	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Βιτολιώτη (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	173
Διάγραμμα 5.14	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	174
Διάγραμμα 5.15	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	174
Εικόνα 5.16	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (PΣ) και πυκνότητας (PΠ) ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και κάθε τάξης χωριστά του ρέματος Βιτολιώτη (Υπολεκάνη βόρειου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	175
Εικόνα 5.17	Κατά μήκος προφίλ του ρέματος Βιτολιώτη. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί	176
Εικόνα 5.18	Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Αρχανορρέματος (κλίμακα 1:40.000)	177
Διάγραμμα 5.19	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	177
Εικόνα 5.20	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος η σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	177
Εικόνα 5.21	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Αρχανορρέματος (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	179
Διάγραμμα 5.22	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος από τις ιδανικές τιμές, ανά τάξη	181
Διάγραμμα 5.23	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	181
Εικόνα 5.24	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη ξεχωριστά του ρ. Αρχανορρέματος (Υπολεκάνη βόρειου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	182
Εικόνα 5.25	Κατά μήκος προφίλ του Αρχανορρέματος. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί	182
Εικόνα 5.26	Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο του Δριμαρορρέματος (κλίμακα 1:40.000)	183
Διάγραμμα 5.27	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας της λεκάνης και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	183
Εικόνα 5.28	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	183
Εικόνα 5.29	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Δριμαρορρέματος (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	185
Διάγραμμα 5.30	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	187
Διάγραμμα 5.31	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	187
Εικόνα 5.32	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (PΣ) και πυκνότητας (PΠ) ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη χωριστά του Δριμαρορρέματος (Υπολεκάνη βόρειου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	187
Εικόνα 5.33.	Κατά μήκος προφίλ του Δριμαρορρέματος Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί	188
Εικόνα 5.34	Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Ξηριά Λαμίας (κλίμακα 1:50.000)	189
Διάγραμμα 5.35	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	188
Εικόνα 5.36	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας, σε σχέση με τους γεωλογικούς	189

	σχηματισμούς της λεκάνης	
Εικόνα 5.37	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ξηριά Λαμίας. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	191
Διάγραμμα 5.38	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	192
Διάγραμμα 5.39	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	192
Εικόνα 5.40	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη χωριστά του ποταμού Ξηριά Λαμίας (Υπολεκάνη βόρειου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	193
Εικόνα 5.41	Κατά μήκος προφίλ του Ξηριάς Λαμίας. Με μπλε βέλος εμφανίζονται τα τοπωνύμια και με μαύρο οι οικισμοί.	194
Εικόνα 5.42	Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Ρουσιανίτη (κλίμακα 1:50.000)	195
Διάγραμμα 5.43	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	194
Εικόνα 5.44	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	195
Εικόνα 5.45	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ρουσιανίτη. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	196
Διάγραμμα 5.46	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των ρεμάτων του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	198
Διάγραμμα 5.47	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των ρεμάτων του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	198
Εικόνα 5.48	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη ξεχωριστά του Ρουσιανίτη (Υπολεκάνη νότιου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	199
Εικόνα 5.49	Κατά μήκος προφίλ του Ρουσιανίτη. Με μπλε βέλος εμφανίζονται τα τοπωνύμια και με μαύρο οι οικισμοί	200
Εικόνα 5.50	Το κατά Strahler ταξινομημένο υδρογραφικό δίκτυο του Ίναχου (κλίμακα 1:100.000).	201
Διάγραμμα 5.51	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	202
Εικόνα 5.52	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	201
Εικόνα 5.53	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	203
Διάγραμμα 5.54	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των ρεμάτων του Ίναχου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	205
Διάγραμμα 5.55	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των ρεμάτων του Ίναχου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	205
Εικόνα 5.56	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη ξεχωριστά του ποταμού Ίναχου (Υπολεκάνη νότιου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	206
Εικόνα 5.57	Κατά μήκος προφίλ του Ίναχου. Με μαύρο βέλος εμφανίζονται οι οικισμοί	206
Εικόνα 5.58	Το κατά Strahler ταξινομημένο υδρογραφικό δίκτυο του Γοργοποτάμου (κλίμακα 1:50.000)	207
Διάγραμμα 5.59	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	207
Εικόνα 5.60	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοποτάμου, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	208
Εικόνα 5.61	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Γοργοποτάμου. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	210
Διάγραμμα 5.62	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοποτάμου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	211
Διάγραμμα 5.63	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοποτάμου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	211
Εικόνα 5.64	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη ξεχωριστά του Γοργοποτάμου (Υπολεκάνη νότιου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	212
Εικόνα 5.65	Κατά μήκος προφίλ του Γοργοποτάμου. Με μπλε βέλος εμφανίζονται τα τοπωνύμια και με μαύρο οι οικισμοί	213
Εικόνα 5.66	Το κατά Strahler ταξινομημένο υδρογραφικό δίκτυο του Ασωπού (κλίμακα 1:50.000)	214
Διάγραμμα 5.67	Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	214
Εικόνα 5.68	Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης	
Εικόνα 5.69	Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ	216
Διάγραμμα 5.70	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	218
Διάγραμμα 5.71	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού	218

	δικτύου του Ασωπού από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη	
Εικόνα 5.72	Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) ολόκληρου του υδρογραφικού δικτύου και για κάθε τάξη ξεχωριστά του Ασωπού ποταμού (Υπολεκάνη νότιου τμήματος λεκάνης Σπερχείου)	219
Εικόνα 5.73	Κατά μήκος προφίλ του Ασωπού ποταμού. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί	220
Εικόνα 6.1	Η κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας	224
Διάγραμμα 6.2	Συσχέτιση της βροχοπτώσης με το υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών	225
Διάγραμμα 6.3	Μέση μηνιαία πορεία των βροχοπτώσεων για την περίοδο αναφοράς	225
Διάγραμμα 6.4	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας σταθμού Λαμίας	226
Διάγραμμα 6.5	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας σταθμού Γραμμής Οξιάς	226
Διάγραμμα 6.6	Ομβροθερμικό διάγραμμα σταθμού Λαμίας	227
Διάγραμμα 6.7	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της σχετικής υγρασίας, σταθμού Λαμίας	228
Διάγραμμα 6.8	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της σχετικής υγρασίας, σταθμού Γραμμής Οξιάς	228
Διάγραμμα 6.9	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της ηλιοφάνειας από τα δεδομένα του σταθμού Λαμίας	229
Διάγραμμα 6.10	Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της έντασης του ανέμου, από τα δεδομένα του σταθμού Λαμίας	229
Εικόνα 6.11	Η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων στην λεκάνη του Σπερχείου ποταμού, υπολογισμένη με την μέθοδο Kriging	231
Εικόνα 6.12	Απεικονίζονται τα 4 διαφορετικά τμήματα, στα οποία χωρίστηκε η λεκάνη απορροής, προκειμένου να υπολογιστεί στο κάθε ένα από αυτά ξεχωριστά το υδρολογικό ισοζύγιο	232
Εικόνα 7.1	Η κατανομή του υπόγειου νερού κατά βάθος (http://kireas.org/smf/index.php?topic=685.0)	240
Εικόνα 7.2	Χάρτης που απεικονίζει την χωρική κατανομή υποβαθμισμένων περιοχών, καθώς και το είδος της επιβύθυνσης που έχει συντελεστεί στην παράκτια ζώνη τις τελευταίες δεκαετίες (Κακαβάς 1990)	243
Εικόνα 7.3	Η κατανομή στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχείου, των σημείων δειγματοληψίας, των επιφανειακών και υπόγειων νερών και των πηγών.	244
Εικόνα 7.4α	Θέση επιφανειακής δειγματοληψίας στη γέφυρα του Σπερχείου (Νέα κοίτη) στην διασταύρωση του με την ΠΑΘΕ.	244
Εικόνα 7.4β	Θέση επιφανειακής δειγματοληψίας στη γέφυρα του Αγωγού Εκτροπής, λίγο μετά το νεκροταφείο της Ανθήλης	244
Εικόνα 7.5	Η κατανομή στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχείου, των σημείων δειγματοληψίας, των επιφανειακών και υπόγειων νερών και των πηγών	246
Εικόνα 7.6	Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	252
Εικόνα 7.7	Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC στην περιοχή δειγματοληψίας για την περίοδο του 1971	253
Εικόνα 7.8	Χωρική κατανομή των ιόντων Ασβεστίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	255
Εικόνα 7.9	Χωρική κατανομή των ιόντων Μαγνησίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	257
Εικόνα 7.10	Χωρική κατανομή των ιόντων Καλίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	258
Εικόνα 7.11	Χωρική κατανομή των ιόντων Χλωρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	259
Εικόνα 7.12	Χωρική κατανομή των ιόντων Χλωρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971	259
Εικόνα 7.13	Χωρική κατανομή των ιόντων νατρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	260
Εικόνα 7.14	Χωρική κατανομή των ιόντων Νατρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971	260
Εικόνα 7.15	Χωρική κατανομή των οξυανθρακικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας για την περίοδο του 2007	261
Εικόνα 7.16	Χωρική κατανομή των Θεϊκών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	263
Εικόνα 7.17	Χωρική κατανομή των Θεϊκών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971	263
Εικόνα 7.18	Χωρική κατανομή των Νιτρικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	265
Εικόνα 7.19	Χωρική κατανομή των Νιτρικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971	265
Εικόνα 7.20	Χωρική κατανομή των Φωσφορικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	266

Εικόνα 7.21	Χωρική κατανομή των SiO ₂ (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007	267
Εικόνα 7.21α	Χωρική κατανομή του Fe (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	274
Εικόνα 7.21β	Χωρική κατανομή του Cu (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	274
Εικόνα 7.21γ	Χωρική κατανομή του Mn (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	274
Εικόνα 7.21δ	Χωρική κατανομή του Zn (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	274
Εικόνα 7.21ε	Χωρική κατανομή του Cd (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε., που είναι 0,05 mg/l).	274
Εικόνα 7.21ζ	Χωρική κατανομή του Pb (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	274
Εικόνα 7.21η	Χωρική κατανομή του Ni (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	275
Εικόνα 7.21θ	Χωρική κατανομή του Co (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.)	275
Εικόνα 7.23α	Διάγραμμα Piper των νερών των πηγαδιών της περιοχής μελέτης	276
Εικόνα 7.23β	Διάγραμμα Piper των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης	276
Εικόνα 7.23γ	Διάγραμμα Piper των νερών των πηγών της περιοχής μελέτης	276
Εικόνα 7.23 δ	Διάγραμμα Piper των επιφανειακών νερών της περιοχής μελέτης	276
Εικόνα 7.24 ^α	Διάγραμμα Duroν των νερών των πηγαδιών της περιοχής μελέτης	277
Εικόνα 7.24β	Διάγραμμα Duroν των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης	277
Εικόνα 7.24γ	Διάγραμμα Duroν των νερών των πηγών της περιοχής μελέτης	277
Εικόνα 7.24δ	Διάγραμμα Duroν των επιφανειακών νερών της περιοχής μελέτης	277
Εικόνες 7.25α-δ	Το δριγάγραμμα του Richards, που κατατάσσει τα νερά σε κατηγορίες ανάλογα με τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και την καταλληλότητά τους για άρδευση	280
Εικόνα 7.26	Κατανομή των νερών ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR	281
Εικόνα 8.1	Σχηματική παράσταση της θεωρίας των τεκτονικών δίπολων (Μαριολάκος 1976)	282
Εικόνα 8.2	Παλαιογεωγραφικοί χάρτες του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου που δείχνουν την εξέλιξη των ακτογραμμών. Στον χάρτη απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 18.000 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 125 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα. Στον χάρτη δεξιά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 12.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 70 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα	283
Εικόνα 8.3	Παλαιογεωγραφικοί χάρτες του Βόρειου Ευβοϊκού που δείχνουν την εξέλιξη των ακτογραμμών. Στον χάρτη αριστερά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 9.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 30 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα. Στον χάρτη δεξιά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 5.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου ίδια με τη σημερινή (Μαριολάκος & Μπαντέκας 2002)	284
Εικόνα 8.4	Οι 4 φάσεις του κύκλου του Davis (Κατσίκης 2004): (α) Στάδιο νεότητας, (β) & (γ) στάδια ωριμότητας και (δ) στάδιο γήρανσης	285
Εικόνα 8.5 α	Ο χάρτης κλίσεων της λεκάνης του Σπερχειού, στον οποίο απεικονίζεται η περιοχή που βρισκόταν η λίμνη (πολύγωνο), καθώς και το σημείο όπου η κλειστή αυτή λίμνη «στένυε» (μαύρο βέλος). Το σημείο αυτό αργότερα άνοιξε σταδιακά περισσότερο και το νερό της λίμνης άρχισε να διοχετεύεται προς τα κατάντη	285
Εικόνα 8.5 β	Δορυφορική εικόνα από το Google Earth στην οποία είναι εμφανής η διαφορετική υφή του υποβάθρου που παρουσιάζει η περιοχή, όπου πιθανά βρισκόταν η λίμνη (πολύγωνο).	286
Εικόνα 8.6	Εικόνες της παράκτιας περιοχής του Σπερχειού ποταμού (α) της Εποχιακής Διαφοροποίησης (Seasonal Differentiate Image-SDI) (β) της Μετατροπής των Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Transform-PCT) που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των εικόνων radar και (γ) η εικόνα του δορυφόρου Landsat 7 του 1999 (3,2,1 σαν RGB), (δ) ο τοπογραφικός χάρτης της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του πολεμικού ναυτικού. (Το βέλος 1 δείχνει τα πολύ ρηχά ύδατα του νότιου τμήματος, στους κόλπους των δύο παλαιών εκβολών, ενώ το βέλος 2 δείχνει τα λιγότερο ρηχά νερά του βόρειο τμήματος, στον κόλπο μεταξύ της εκβολής της Νέας Κοίτης και του Αγωγού Εκτροπής) (Psomiadis et al. 2004)	290
Εικόνα 8.7	Τμήμα από τοπογραφικό χάρτη, Φύλλο Στυλίας, κλίμακας 1:50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού	291
Εικόνα 8.8	Η ακτογραμμή όπως αυτή εκτιμάται ότι ήταν 4.500 χρόνια π.Χ.	292
Εικόνα 8.9	Η ακτογραμμή όπως αυτή υπολογίζεται ότι ήταν, το 480 π.Χ.	293
Εικόνα 8.10	Χάρτης του Μαλιακού κόλπου και του υδρογραφικού δικτύου με βάση τις περιγραφές του Στράβωνα. Είναι εμφανές ότι οι ποταμοί Δύρας (Γοργοπόταμος), Μέλας (Ξεριάς) και Ασωπός εξέβαλαν απευθείας στον Μαλιακό κόλπο (Στράβων-Γεωγραφικά 1994)	294
Εικόνα 8.11	Δύο χάρτες από την «Χάρτα» του Ρήγα Βελεστινλή, με ημερομηνία έκδοσης τα τέλη του 17ου αιώνα που απεικονίζουν τόσο την παράκτια περιοχή, όσο και την ευρύτερη περιοχή της Λεκάνης του Σπερχειού.	295

	(α) Απόσπασμα του φύλλου Νο 2 της Χάρτας όπου απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, ο Μαλιακός (Μελικός) κόλπος, καθώς και ο Σπερχειός ποταμός ο οποίος εξέβαλε στην βόρεια πλευρά του κόλπου. (β) Απόσπασμα από το Φύλλο Νο 3 της Χάρτας, όπου απεικονίζεται η μορφή του Μαλιακού κόλπου της νότια ορεινής περιοχής και του υδρογραφικού δικτύου κατά την περίοδο της μάχης των Θερμοπυλών το 480 π.Χ. (Χάρτα του Ρήγα 1797, εκδόσεις ΤΑ ΝΕΑ 2002)	
Εικόνα 8.12	Χάρτης του 17ου αιώνα Olivier που απεικονίζει την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού και τον ποταμό να εκβάλλει ακόμα στο βόρειο τμήμα του Μαλιακού κόλπου	297
Εικόνα 8.13	Χάρτης του 1825 του Laurencebergio, όπου απεικονίζεται η παράκτια ζώνη με τον ποταμό Σπερχειό να εκβάλλει, μετά από μια απότομη στροφή προς νότο στο ύψος του σημερινού οικισμού Κόμμα, στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου	298
Εικόνα 8.14	Χάρτης του 1836 του W.M. Leake, όπου απεικονίζεται η παράκτια ζώνη με τον ποταμό Σπερχειό να εκβάλλει στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου (Δακωρώνια και αλ. 2002)	299
Εικόνα 8.15	Γράφημα για την μορφή της παράκτιας περιοχής το 1805, σύμφωνα με την έρευνα των Zamani & Maroukian (1979), βασισμένη κυρίως στον χάρτη του W. Leake (Εικόνα 8.13)	299
Εικόνα 8.16	Χάρτης του 1852 (Imprime chez Karpelin Quai Voltaire 17 Paris), στον οποίο απεικονίζεται ο Μαλιακός κόλπος και οι πολλαπλές θέσεις εκβολής που είχε δημιουργήσει ο Σπερχειός ποταμός στο νότιο τμήμα του κόλπου	300
Εικόνα 8.17	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1852	301
Εικόνα 8.18	Χάρτης του 1908 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακα 1:75.000	302
Εικόνα 8.19	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1908	302
Εικόνα 8.20	Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτους 1945	303
Εικόνα 8.21	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1945.	304
Εικόνα 8.22	Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτους 1960	305
Εικόνα 8.23	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1960	305
Εικόνα 8.24	Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτους 1986	306
Εικόνα 8.25	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1986	307
Εικόνα 8.26	Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, του Υπουργείου Γεωργίας, έτους 1997.	307
Εικόνα 8.27	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1997	308
Εικόνα 8.28	Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, του Υπουργείου Γεωργίας, έτους 2007	309
Εικόνα 8.29	Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1997	310
Εικόνα 8.30	Στάδια κατασκευής του νέου μεριστή (Α' φάση), ανατολικά του χωριού Κόμμα το 2007 (Αραπάκη 2007)	311
Εικόνα 8.31	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 4500 έως το 480 π.Χ.. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι προσχώσεις (προέλαση ακτογραμμής). Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής, με την περιοχή που βρίσκεται σήμερα η Ηράκλεια να μετατρέπεται από θάλασσα σε στεριά	312
Εικόνα 8.32	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 480 π.Χ. έως το 1805. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι προσχώσεις (προέλαση ακτογραμμής). Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής, με την περιοχή που βρίσκεται σήμερα η Ανθήλη να μετατρέπεται από θάλασσα σε στεριά, ενώ ταυτόχρονα η περιοχή των «στενών» των Θερμοπυλών από μερικές δεκάδες μέτρα που ήταν να παρουσιάζει πλέον πλάτος μερικών χιλιομέτρων	313
Εικόνα 8.33	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1805 έως το 1852. Είναι εμφανής η μεγάλη πρόσχωση που παρουσιάζει το νότιο τμήμα του Μαλιακού λόγω της αλλαγής της ροής του Σπερχειού από το βόρειο τμήμα προς το νότιο στην περιοχή που παλιότερα χύνονταν ο Ασωπός, ο Δύρας (Γοργοπόταμος) και ο Μέλας (Ξηριάς)	313
Εικόνα 8.34	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1852 έως το 1908. Είναι εμφανής η πρόσχωση που πραγματοποιήθηκε στο βορειότερο από τα τμήματα εκβολής του Σπερχειού, στο κεντρικό τμήμα του κόλπου, με ταυτόχρονη υποχώρηση της ακτογραμμής στο νότιο εγκαταλελημένο πλέον τμήμα	314
Εικόνα 8.35	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1908 έως 1945. Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής τόσο στο σημείο εκβολής της Νέας κοίτης του Σπερχειού καθώς και μικρή αύξηση στο βόρειο τμήμα, όπου έχουν αρχίσει να μεταφέρονται σε μικρές ποσότητες τα νερά του Σπερχειού από την λειτουργία των πρώτων εγγειοβελτιωτικών έργων	314
Εικόνα 8.36	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1945 έως το 1960. Είναι εμφανής η κατά μήκος αύξηση της ακτογραμμής στο σημείο εκβολής της Νέας κοίτης του Σπερχειού και της περιοχής στο βόρειο τμήμα του κόλπου όπου πλέον εκβάλλει ο Αγωγός Εκτροπής	315
Εικόνα 8.37	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1960 έως 1986. Είναι εμφανής η υποχώρηση της ακτογραμμής στην περιοχή της Νέας κοίτης με ταυτόχρονη αδρανοποίηση του βόρειου στομίου εκβολής του Σπερχειού με ταυτόχρονη πολύ μεγάλη αύξηση στο βόρειο τμήμα που πλέον εκβάλλει ο Αγωγός Εκτροπής	315
Εικόνα 8.38	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1986 έως το 1997.	316

	Παρατηρείται μία πολύ μικρή αύξηση της ακτογραμμής των εκβολών τόσο της Νέας κοίτης όσο και του Αγωγού Εκτροπής	
Εικόνα 8.39	Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1997 έως το 2007. Παρατηρείται πλέον μία κατάσταση ισορροπίας του δυναμικού συστήματος διάβρωσης-πρόσχωσης της ακτογραμμής, με μηδενικές σχεδόν αλλαγές	316
Εικόνα 8.40	Σχηματική απεικόνιση των περιοχών που είναι πιθανό να κατακλυσθούν από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5-1 m το 2100 και κατά 4m το 2500	318
Εικόνα 8.41	Χάρτης μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης κατά την χρονική περίοδο από το 1984 έως το 1999	328
Εικόνα 8.42	Χάρτης μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης κατά την χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2007	329
Εικόνα 8.43α	Ποσοστό αρδευόμενων εκτάσεων και αριθμός νόμιμων-παράνομων γεωτρήσεων στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας (Μιγκίρος & Ψωμιιάδης 2009)	330
Εικόνα 8.43β	Περιοχές της Ελλάδας με έντονη υφαλμύρωση των υδροφορέων (www.geo.auth.gr). Στις περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνεται και η παράκτια περιοχή της λεκάνης του Σπερχείου ποταμού	330
Εικόνα 8.44	Οι θεματικοί χάρτες των παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ευαισθησίας σε κατολίθωση, στην λεκάνη απορροής του Σπερχείου: 1.Γεωλογία, 2.Κατανομή βροχοπτώσεων, 3.Χρήση/κάλυψη γης, 4.Κλίσεις, 5.Σχετικό ανάγλυφο, 6.Βάθος εδάφους, 7.Καμπυλότητα, 8.Προσανατολισμός κλίσεων, 9.Απόσταση από ρέματα, 10.Απόσταση από ρήγματα, 11.Απόσταση από δρόμους	334
Εικόνα 8.45	Απεικόνιση της εξίσωσης του πολλαπλασιασμού των δεικτών βαρύτητας με τους ψηφιακούς χάρτες των 11 παραγόντων που επιδρούν στην δημιουργία κατολισθήσεων, σε περιβάλλον ΓΠΣ	335
Διάγραμμα 8.46	Αθροιστικό διάγραμμα συχνότητας των τιμών του LSI	335
Εικόνα 8.47	Ο χάρτης Ευαισθησίας σε Κατολίθωση (Landslide Susceptibility map), μετά την ταξινόμηση που έγινε στις υπολογισθείσες τιμές και τον διαχωρισμό τους σε 6 κλάσεις δυναμικής ευαισθησίας (potential susceptibility)	337
Εικόνα 8.48	Χάρτης κατανομής των περιοχών που παρουσιάζουν ευαισθησία για εκδήλωση πυρκαγιάς, στην λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού	340
Εικόνα 8.49	Χάρτης κατανομής των περιοχών που παρουσιάζουν ευαισθησία για εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων, στην λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού	3,40
Εικόνα 8.50	Απεικονίζεται η κατανομή της της ανθρώπινης δραστηριότητας στην λεκάνη απορροής του Σπερχείου ποταμού	342
Εικόνα 8.51	Χάρτης που απεικονίζει την έκθεση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στον κίνδυνο από την δράση κατολισθητικών φαινομένων	343
Εικόνα 8.52	Χάρτης που απεικονίζει την έκθεση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στον κίνδυνο από την δράση κατολισθήσεων-πυρκαγιών και πλημμυρών	344
Διάγραμμα 8.53	Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των ιόντων Χλωρίου στα πηγάδια της περιοχής μελέτης, από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες)	347
Διάγραμμα 8.54	Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των ιόντων Νατρίου στα πηγάδια της περιοχής μελέτης, από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες)	347
Διάγραμμα 8.55	Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των Νιτρικών ιόντων στα πηγάδια της περιοχής από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες)	348
Διάγραμμα 8.56	Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των Θεϊκών ιόντων στα πηγάδια της περιοχής από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες)	349
Διάγραμμα 8.57	Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Μολύβδου (Pb) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας	350
Διάγραμμα 8.58	Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Καδμίου (Cd) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας	351
Διάγραμμα 8.59	Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Ψευδαργύρου (Zn) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας	351
Διάγραμμα 8.60	Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Νικελίου (Ni) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας	352
Εικόνα 8.61	Χάρτης όπου απεικονίζεται η κατανομή της επίδρασης της ανθρώπινης δραστηριότητας στις περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές της λεκάνης του Σπερχείου ποταμού	355

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης από το 1981 έως σήμερα (Πηγή: ΕΣΥΕ)	11
Πίνακας 2.2	Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού των Κύριων Δημοτικών Διαμερισμάτων των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης από το 1907 έως σήμερα (Πηγή: ΕΣΥΕ 1995)	11
Πίνακας 2.3	Αρδευόμενες εκτάσεις με βάση το έργο, το φορέας διαχείρισης και την πηγή υδροδότησης	17
Πίνακας 2.4	Κύριες βιομηχανικές μονάδες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή έρευνας	42
Πίνακας 2.5	Κυριότερες δασικές πυρκαγιές που έχουν συμβεί στην περιοχή τις τελευταίες τρεις δεκαετίες	44
Πίνακας 2.6	Κυριότερες πλημμύρες που έχουν συμβεί στην περιοχή έρευνας	46
Πίνακας 2.7	Ταξινόμηση των κατολισθήσεων κατά Varnes (1978)	47
Πίνακας 2.8	Κυριότερες κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στην περιοχή τις τελευταίες τρεις δεκαετίες	49
Πίνακας 3.1	Σύστημα συντεταγμένων με τα ελάχιστα και μέγιστα X, Y	53
Πίνακας 3.2	Οι γεωμετρικοί παράμετροι που περιλαμβάνονται στο σύστημα προβολής συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87	53
Πίνακας 3.3	Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΓΥΣ)	54
Πίνακας 3.4	Φύλλα Γεωλογικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΓΓΜΕ)	54
Πίνακας 3.5	Φύλλα Εδαφολογικών Χαρτών (Χάρτες Γαιών), κλίμακας 1:50.000 (ΕΘΙΑΓΕ)	54
Πίνακας 3.6	Φύλλα Χαρτών προστατευόμενων περιοχών, κλίμακας 1:250.000 (ΕΚΒΥ)	55
Πίνακας 3.7	Φύλλα Δασικών Χαρτών, κλίμακας 1:20.000 (ΕΘΙΑΓΕ)	55
Πίνακας 3.8	Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ)	55
Πίνακας 3.9	Χάρτες ναυσιπλοΐας (ΥΥΠΝ, 1954)	55
Πίνακας 3.10	Περίμετρος και εμβαδό της περιοχής μελέτης	56
Πίνακας 3.11	Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων	67
Πίνακας 3.12	Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης προσανατολισμού των κλίσεων	69
Πίνακας 3.13	Έκταση (Ε) και ποσοστό των τεσσάρων υψομετρικών ζωνών	70
Πίνακας 3.14	Εμβαδό των ενοποιημένων γεωλογικών ενοτήτων	71
Πίνακας 3.15	Εμβαδά και ποσοστά επί του συνόλου των Υδρολιθολογικών ενοτήτων της περιοχής	73
Πίνακας 3.16	Περίμετρος και εμβαδό των κύριων υπολεκάνων του ποταμού Σπερχείου	75
Πίνακας 3.17	Μήκη του δικτύου ανά κατηγορία	78
Πίνακας 3.18	Εμβαδό των ενοτήτων με βάση το βάθος εδάφους	80
Πίνακας 3.19	Οι Περιβαλλοντικά σημαντικές και προστατευόμενες περιοχές της λεκάνης του Σπερχείου ποταμού	81
Πίνακας 3.20	Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και κλίσεων	84
Πίνακας 3.21	Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και βάθους εδάφους	87
Πίνακας 3.22	Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και υψομετρικών ζωνών	88
Πίνακας 3.23	Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών με την κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή	90
Πίνακας 4.1	Συνοπτικός πίνακας των μεθόδων καταγραφής των αλλαγών (Lu et al. 2004)	99
Πίνακας 4.2	Τα κύρια χαρακτηριστικά τω δορυφορικών δεδομένων και αεροφωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή	101
Πίνακας 4.3	Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-5 (1984). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των καναλιών (από 0,88 έως 0,98) και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4	112
Πίνακας 4.4	Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-7 (1999). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των καναλιών και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4. Είναι επίσης εμφανές ότι η συσχέτιση των φασματικών καναλιών υπέρυθρου, είναι σαφώς μικρότερη από την συσχέτιση των αντίστοιχων καναλιών του Landsat 5	112
Πίνακας 4.5.	Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-5 (2007). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των δύο καναλιών (από 0,79 έως 0,97) και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4	112
Πίνακας 4.6	Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής του κάθε φασματικού καναλιού σε κάθε μία από τις κύριες συνιστώσες	114
Πίνακας 4.7	Οι τιμές του ποσοστού διακύμανσης των καναλιών στις νέες κύριες συνιστώσες	114
Πίνακας 4.8	Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής του κάθε καναλιού σε κάθε κύρια συνιστώσα	116
Πίνακας 4.9	Οι τιμές του ποσοστού διακύμανσης των καναλιών στις νέες κύριες συνιστώσες	116
Πίνακας 4.10	Οι κύριες χρήσεις γης που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης.	122
Πίνακας 4.11	Ποσοστά κάλυψης της κάλυψης/χρήσης γης στην περιοχή μελέτης, για την χρονική περίοδο του 2007	134
Πίνακας 4.12	Ποσοστά κάλυψης της κάλυψης/χρήσης γης στην περιοχή μελέτης, για την χρονική περίοδο του 1999	135
Πίνακας 4.13	Μήτρα σύγχυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1984, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας	142
Πίνακας 4.14	Μήτρα σύγχυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1999, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας	142

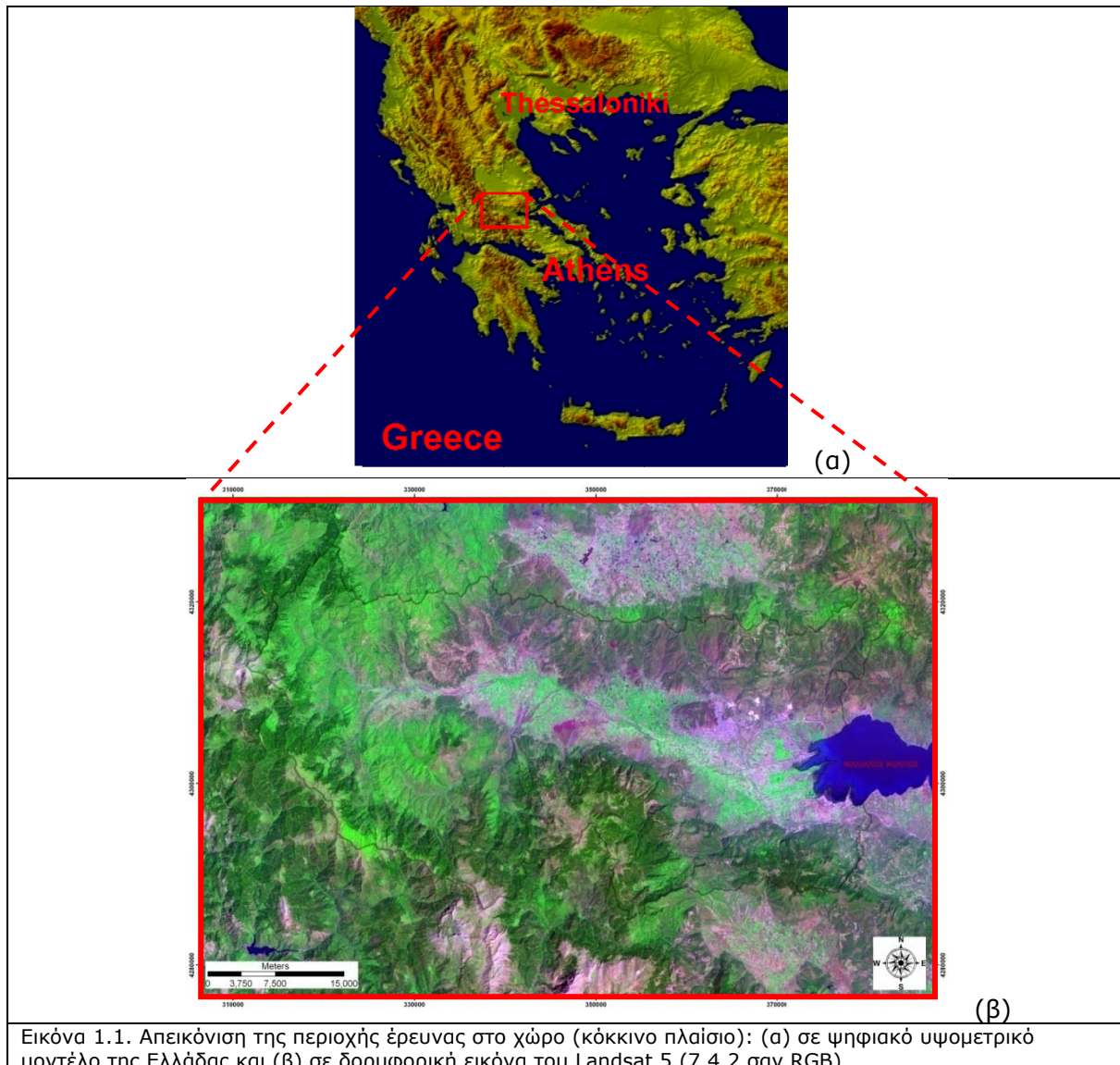
Πίνακας 4.15	Μήτρα σύγχυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 2007, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας	143
Πίνακας 4.14	Συνθήκες ανέμου (διεύθυνση και ένταση) στην παράκτια περιοχή, από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας, στις ημερομηνίες λήψης των εικόνων radar (πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)	146
Πίνακας 4.15	Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία της μείωσης του θορύβου	147
Πίνακας 4.16	Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής της κάθε εικόνας radar σε κάθε μία από τις κύριες συνιστώσες	151
Πίνακας 5.1	Μήκη ανά τάξη ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Σπερχείου ποταμού	162
Πίνακας 5.2	Βασικές μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης υδρογραφικού δικτύου	164
Πίνακας 5.3	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχείου	165
Πίνακας 5.4	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχείου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1 ^ο νόμο του Horton (αριθμού των κλάδων)	167
Πίνακας 5.5	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2 ^ο νόμο του Horton	167
Πίνακας 5.6	Τα ποσοστά της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	171
Πίνακας 5.7	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη	172
Πίνακας 5.8	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	173
Πίνακας 5.9	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος Βιτολιώτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	174
Πίνακας 5.10	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	174
Πίνακας 5.11	Τα ποσοστά της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	177
Πίνακας 5.12	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος	178
Πίνακας 5.13	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	179
Πίνακας 5.14	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	180
Πίνακας 5.15	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	181
Πίνακας 5.16	Η κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	183
Πίνακας 5.17	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος	184
Πίνακας 5.18	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	186
Πίνακας 5.19	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	186
Πίνακας 5.20	Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	188
Πίνακας 5.21	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας	190
Πίνακας 5.22	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	191
Πίνακας 5.23	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	192
Πίνακας 5.24	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	192
Πίνακας 5.25	Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.	194
Πίνακας 5.26	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη	196
Πίνακας 5.27	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	197
Πίνακας 5.28	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	198
Πίνακας 5.29	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος Ρουσιανίτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	198
Πίνακας 5.30	Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	202
Πίνακας 5.31	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου	202
Πίνακας 5.32	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	203
Πίνακας 5.33	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	204
Πίνακας 5.34	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	204
Πίνακας 5.35	Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις	207

	υψομετρικές ζώνες	
Πίνακας 5.36	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου	209
Πίνακας 5.37	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	210
Πίνακας 5.38	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	211
Πίνακας 5.39	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	211
Πίνακας 5.40	Η κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες	214
Πίνακας 5.41	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού	215
Πίνακας 5.42	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα	217
Πίνακας 5.43	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ασωπού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton	217
Πίνακας 5.44	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ασωπού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton	218
Πίνακας 5.45	Συνοπτικός πίνακας που αποδίδει τα κύρια χαρακτηριστικά των 8 υπολεκάνων που εξετάστηκαν, αλλά και της λεκάνης του Σπερχειού	221
Πίνακας 6.1	Μέσες μηνιαίες τιμές και μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης των 8 σταθμών αναφοράς	224
Πίνακας 6.2	Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή θερμοκρασία των 2 σταθμών αναφοράς	226
Πίνακας 6.3	Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή σχετικής υγρασίας των 2 σταθμών αναφοράς	228
Πίνακας 6.4	Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή ηλιοφάνειας (σε ώρες) από τον σταθμό της Λαμίας	228
Πίνακας 6.5	Μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές έντασης ανέμων (Beaufort) από τον σταθμό της Λαμίας	230
Πίνακας 6.6	Τιμή μέσης θερμοκρασίας στο σταθμό για την περιοχή μελέτης	233
Πίνακας 6.7	Τιμή Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής, όπως υπολογίστηκε από την εφαρμογή του εμπειρικού τύπου του Turc	235
Πίνακας 6.8	Υδρολογικό ισοζύγιο του κεντρικού τμήματος (1) της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	235
Πίνακας 6.9	Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 2α της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	236
Πίνακας 6.10	Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 2β της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	237
Πίνακας 6.11	Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 3 της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού	237
Πίνακας 6.12	Παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου για το σύνολο της λεκάνης απορροής στην περιοχή μελέτης	238
Πίνακας 7.1	Μεθοδολογία μετρήσεων και αναλύσεων των παραμέτρων (φυσικοχημικών και χημικών), των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των δειγμάτων νερού	247
Πίνακας 7.2	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των επιφανειακών υδάτων της περιοχής δειγματοληψίας (ΣΠ1-ΣΠ7)	248
Πίνακας 7.3	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των υπόγειων υδάτων, πηγαδιών (P1) και γεωτρήσεων AP & G, της περιοχής δειγματοληψίας	248
Πίνακας 7.4	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των πηγών (PH42), της περιοχής δειγματοληψίας	248
Πίνακας 7.5	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων του 1971 (Παπαδέας 1996)	249
Πίνακας 7.6	Ταξινόμηση της σκληρότητας των νερών σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, κατά Hölting (1980)	254
Πίνακας 7.7	Υδροχημικοί τύποι νερών της περιοχής μελέτης	275
Πίνακας 8.1	Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την διαδικασία ανίχνευσης των μεταβολών της ακτογραμμής	289
Πίνακας 8.2	Μεταβολή της ακτογραμμής σε Km ² ανά έτος, με αρχικό χρονικό σημείο μέτρησης το 4.500 π.Χ. και τελικό το 2007	311
Πίνακας 8.3	Το εμβαδό κάλυψης της κάθε μεταβολής χρήσης/κάλυψης γης, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης των αλλαγών για την περίοδο 1984-1999	321
Πίνακας 8.4	Εξέλιξη κάλυψης γης γεωργικών εκτάσεων στο Δ.Δ. Ανθήλης (Πηγή στοιχείων ΕΣΥΕ)	322
Πίνακας 8.5	Το εμβαδό της κάθε μεταβολής χρήσης/κάλυψης γης, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης των αλλαγών για την περίοδο 1999-2007	324
Πίνακας 8.6	Η εφαρμογή των δεικτών βαρύτητας και της σχετικής σημαντικότητας του κάθε παράγοντα που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία υπολογισμού της ευαισθησίας σε κατολίθωση	336
Πίνακας 8.7	Η εφαρμογή των δεικτών βαρύτητας και της σχετικής σημαντικότητας του κάθε παράγοντα που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία υπολογισμού της ευαισθησίας σε κατολίθωση	341
Πίνακας 8.8	Μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες ανά δεκαετία, τιμές βροχόπτωσης (mm), ξεκινώντας από το 1961, για τον σταθμό της Λαμίας	345

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή έρευνας, γεωγραφικά ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στο νομό Φθιώτιδας και βρίσκεται, με βάση το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87) μεταξύ των συντεταγμένων $X_{min}:311.450$ m, $X_{max}:382.500$ m στον άξονα Δ-Α και $Y_{min}:4.284.950$ m, $Y_{max}:4.326.270$ m στον άξονα Ν-Β. Ειδικότερα, οριοθετείται ουσιαστικά από την ακτογραμμή (Μαλιακός κόλπος) μέχρι και τα όρια του υδροκρίτη που οριοθετεί την λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού. Καταλαμβάνει έκταση 1.828 km² και καλύπτει το 42% του νομού. Συνορεύει βόρεια με τη λεκάνη της Ξυνιάδας, δυτικά με το Νομό Ευρυτανίας, νότια με το Νομό Φωκίδας και το Νομό Αιτωλοακαρνανίας, ενώ ανατολικά βρέχεται από τον Μαλιακό Κόλπο (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1. Απεικόνιση της περιοχής έρευνας στο χώρο (κόκκινο πλαίσιο): (α) σε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της Ελλάδας και (β) σε δορυφορική εικόνα του Landsat 5 (7,4,2 σαν RGB).

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, βρίσκεται η πόλη της Λαμίας, που είναι η πρωτεύουσα του νομού Φθιώτιδας. Έχει πληθυσμό 50.551 κατοίκους (απογραφή 2001) και βρίσκεται στις πλαγιές του όρους Όθρυς, κοντά στον Σπερχειό. Είναι κέντρο εύφορης αγροτικής και κτηνοτροφικής περιοχής και ένα δυναμικά αναπτυσσόμενο αστικό κέντρο. Αποτελεί έδρα της περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας, συσσωρεύοντας σχεδόν το σύνολο των δημόσιων υπηρεσιών.

Το πεδινό τμήμα της λεκάνης είναι μία κατά βάση γεωργική περιοχή η οποία καλλιεργείται κυρίως με θερινές (βαμβάκι, αραβόσιτο, ρύζι, καπνό κλπ) και χειμερινές (σιτάρι, κριθάρι κλπ) αροτραίες καλλιέργειες, ελαιόδενδρα, φιστικιές, κερασιές, ακτινίδια κ.α. Η γεωργία κατέχει σημαντική θέση στην τοπική οικονομία, δεδομένου ότι αποτελεί το κυριότερο οικονομικό στήριγμα της περιοχής. Το νότιο και δυτικό τμήμα της λεκάνης είναι ορεινό, και καλύπτεται κυρίως από δασική βλάστηση, ενώ το βόρειο τμήμα έχει πιο ήπιο ανάγλυφο και κυρίως θαμνώδη βλάστηση.

Η περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού επιλέχθηκε για τους εξής λόγους:

(α) η γεωμορφολογία της περιοχής έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων και σε συνδυασμό με την τεκτονική έχουν δημιουργήσει μία ισχυρή σχέση αλληλεπίδρασης ανάμεσα στη μορφολογία, την κάλυψη/χρήση γης και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Παράλληλα οι γεωμορφολογικές μεταβολές και η εξέλιξη της ακτογραμμής, σαν αποτέλεσμα ενός δυναμικά μεταβαλλόμενου συστήματος παράκτιας μορφολογίας, αποτελεί από αρχαιότατων χρόνων ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας,

(β) τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές που σχετίζονται με τον εκσυγχρονισμό του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου και οι οποίες έχουν ως άμεση συνέπεια την έντονη αστική ανάπτυξη και τις επακόλουθες αλλαγές στην κάλυψη/χρήση γης, τόσο στο περιαστικό, όσο και στο αγροτικό περιβάλλον,

(γ) αποτελεί μία γεωργική περιοχή με μεγάλη συνεισφορά στην εθνική οικονομία. Τα τελευταία χρόνια όμως, η γεωργία υφίσταται εκτεταμένες αλλαγές εξαιτίας των συνεχόμενων αλλαγών στο καθεστώς των επιδοτήσεων, αλλά και της εντατικοποίησης των καλλιεργειών και

(δ) αποτελεί μια περιοχή που αντικατοπτρίζεται έντονα η πίεση που ασκεί ο άνθρωπος στο φυσικό περιβάλλον και του τρόπου με τον οποίο εκδηλώνεται (συνύπαρξη της εντατικής γεωργίας και της αστικής ανάπτυξης με τις διαβαθμίσεις της φυσικής βλάστησης).

1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη και καταγραφή των γεωμορφολογικών μεταβολών που έχουν πραγματοποιηθεί σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού, όσο και στην ακτογραμμή, στις αλλαγές που έχουν επέλθει στη χρήση/κάλυψη γης, στις μεταβολές της ποιότητας και της υδρολογίας των υδατικών πόρων, καθώς και στην ευαισθησία σε φυσικά φαινόμενα, όπως κατολισθήσεις, πλημμύρες και πυρκαγιές. Εξετάζεται επιπλέον το μέγεθος της επίδρασης τόσο του φυσικού, όσο και του ανθρώπινου παράγοντα σε αυτές τις μεταβολές, καθώς και ο βαθμός έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα στον κίνδυνο από πιθανή πρόκληση κατολισθήσεων, πυρκαγιών και πλημμυρών.

Αναλυτικά οι στόχοι της διδακτορικής διατριβής αφορούν τα ακόλουθα:

(α) την διερεύνηση της γεωμορφολογικής εξέλιξης, τόσο του συνόλου της λεκάνης απορροής, όσο και ειδικότερα της ακτογραμμής.

(β) την διερεύνηση της δυνατότητας των δορυφορικών δεδομένων να καταγράψουν την υπάρχουσα κάλυψη/χρήσης γης, για τα έτη 1984, 1999 και 2007 και ακολούθως να εντοπιστούν οι αλλαγές που επήλθαν, καθώς και η χωρική τους κατανομή κατά τα χρονικά διαστήματα 1984-1999 και 1999-2007.

(γ) την καταγραφή της κατάστασης του συνόλου των υδατικών πόρων της περιοχής, μέσα από τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης, καθώς και της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Τον υπολογισμό της μεταβολής, της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων νερών, με βάση παλαιότερα αποτελέσματα.

(δ) την εξέταση των ευαίσθητων περιοχών σε κατολίσθηση, με συνδυασμό όλων των παραγόντων που επενεργούν στην εκδήλωση ενός τέτοιου φαινομένου, καθώς και των περιοχών με ευαισθησία σε πυρκαγιές και πλημμυρικά φαινόμενα.

(ε) την διερεύνηση της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα σε όλες τις παραπάνω μεταβολές, καθώς και την επιβάρυνση που προκαλεί στις περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές της λεκάνης. Τέλος, εξετάζεται ο βαθμός έκθεσης του ανθρώπου σε κίνδυνο από την εκδήλωση φυσικών καταστροφών, όπως κατολισθήσεις, πυρκαγιές και πλημμύρες.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας διατριβής, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε τα ακόλουθα στάδια εργασίας:

(α) το πρώτο στάδιο αφορούσε την χρησιμοποίηση ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος για την κατάλληλη προετοιμασία και δημιουργία των απαραίτητων θεματικών χαρτών και των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων. Οι πληροφορίες που παρείχαν οι ανωτέρω θεματικοί χάρτες αποτέλεσαν τη βάση επάνω στην οποία στηρίχθηκαν σε σημαντικό βαθμό τα επόμενα στάδια,

(β) το δεύτερο στάδιο περιλάμβανε όλα τα βήματα επεξεργασίας των τριών δορυφορικών εικόνων Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+, με ημερομηνίες λήψης το 1984, 1999 και 2007, με στόχο την καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης, με την μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Έπειτα, έγινε προσδιορισμός των αλλαγών που έλαβαν χώρα κατά τα χρονικά διαστήματα 1984-1999 και 1999-2007, με την μέθοδο της σύγκρισης των ταξινομημένων εικόνων. Ταυτόχρονα, έγινε περιγραφή του σχεδιασμού και της εκτέλεσης λήψης των δεδομένων υπαίθρου, των προβλημάτων φασματικής σύγχυσης που παρατηρήθηκαν κατά την ταξινόμηση της εικόνας, και της εκτίμησης της ακρίβειας όλων των παραγόμενων θεματικών χαρτών της χρήσης/κάλυψης γης και των αλλαγών που ανιχνεύτηκαν. Ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των αιτιών, που προκάλεσαν ή ευνόησαν τις αλλαγές αυτές και τον καθορισμό των πιθανών περιοχών όπου δύναται στο μέλλον να εκδηλωθούν οι αρνητικές συνέπειες της ανθρώπινης πίεσης προς το φυσικό και γεωργικό περιβάλλον (Διάγραμμα ροής 1.2),

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε και η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών, του 1945, 1960, 1986, 1997 και 2007, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, μαζί με τους παλαιότερους τοπογραφικούς χάρτες για την διερεύνηση των μεταβολών που επήλθαν στην ακτογραμμή

από το 4.500 π.Χ. έως και σήμερα. Παράλληλα, έγινε και υπολογισμός της μελλοντικής κατάστασης που πιθανά θα έχει η ακτογραμμή, με βάση εκτιμήσεις που έχουν γίνει από Διεθνείς Οργανισμούς. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των τριών δορυφορικών εικόνων ERS-2 (μείωση του speckle με την χρήση διαφορετικών φίλτρων, ραδιομετρική διόρθωση, γεωμετρική διόρθωση με χρήση DEM), με ημερομηνίες λήψης 06/1998, 01/1999 και 10/1999. Έπειτα, εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι, της δημιουργίας Σύνθετης Ψευδέγχρωμης Εικόνας και της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών, με στόχο την ανίχνευση των εποχιακών μεταβολών των καλλιεργειών στην ενδοχώρα, αλλά και την καλύτερη αποτύπωση των αβαθών περιοχών, για την καλύτερη οριοθέτηση της ακτογραμμής,

(γ) το τρίτο στάδιο, περιελάμβανε την γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής, με την μελέτη, τόσο συνολικά της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού, όσο και 8 κύριων υπολεκάνων, 4 στο βόρειο και 4 στο νότιο τμήμα. Η διαδικασία αυτή διευκόλυνε τον εντοπισμό των διαφορετικών μορφολογικών και τεκτονικών χαρακτηριστικών, που διαφέρουν αισθητά στα δύο τμήματα και δημιουργούν ένα τελείως διαφορετικό τοπίο,

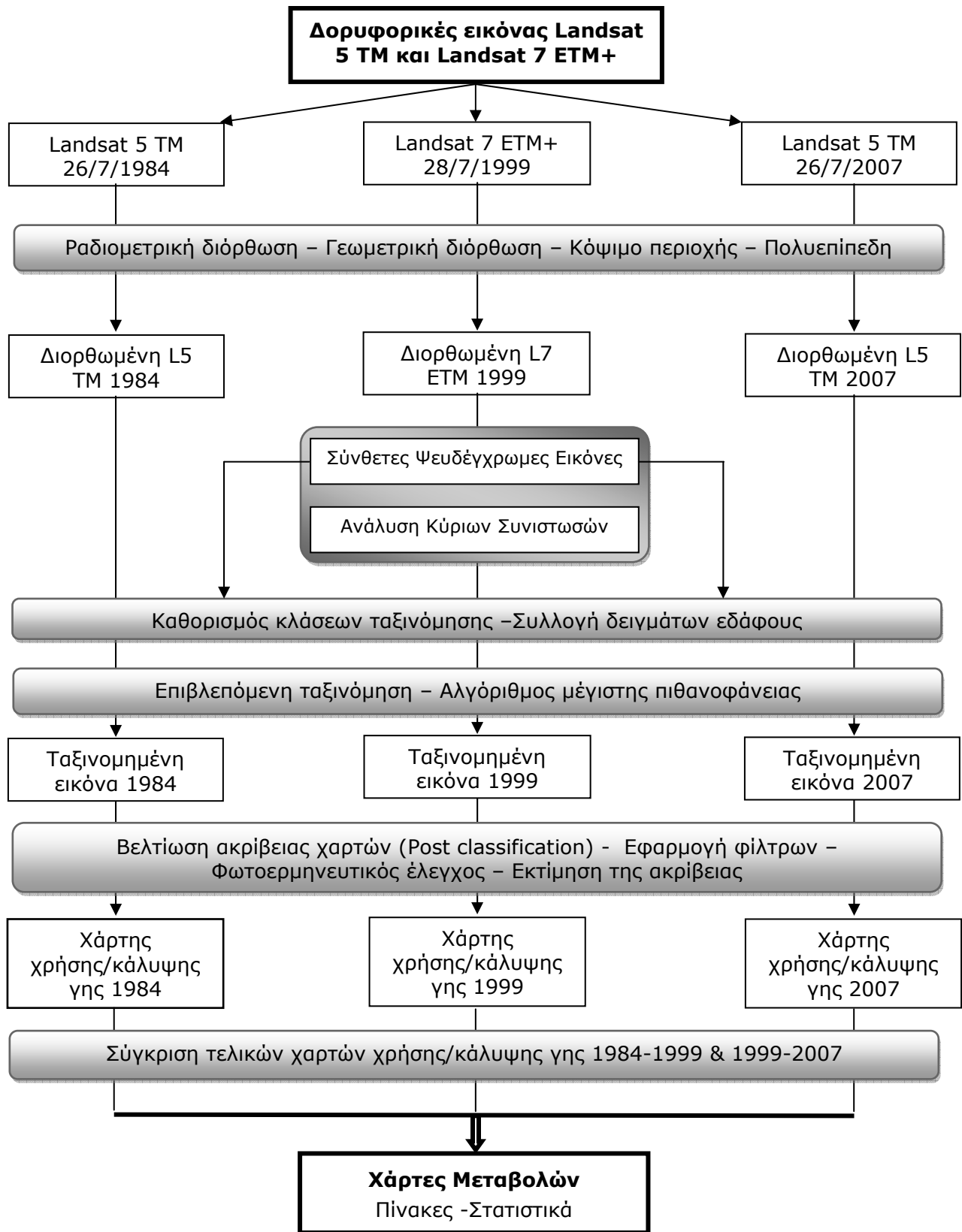
(δ) το τέταρτο στάδιο αφορούσε τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης και της πραγματοποίησης υδροχημικών αναλύσεων σε 7 δείγματα επιφανειακών νερών και 65 δειγμάτων από υπόγεια νερά και πηγές (ημερομηνία δειγματοληψίας Μάρτιος 2007). Εν συνεχεία, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα παλαιότερων αναλύσεων του ΙΓΜΕ για τα υπόγεια νερά (ημερομηνία δειγματοληψίας Μάρτιος 1971), πραγματοποιήθηκε σύγκριση και καταγραφή των μεταβολών που επήλθε στην ποιότητα των υπόγειων νερών για το διάστημα από το 1971 έως το 2007,

(ε) το πέμπτο στάδιο αφορούσε την χρησιμοποίηση 11 διαφορετικών παραγόντων (Γεωλογία, Κλίσεις, Χρήση/κάλυψη γης, Προσανατολισμός κλίσεων, Σχετικό ανάγλυφο) σε περιβάλλον ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος, προκειμένου να αποτυπωθεί η ευαισθησία της περιοχής σε πρόκληση κατολισθητικών δεδομένων Διάγραμμα ροής 1.3). Παράλληλα, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα δημιουργήθηκαν και οι χάρτες ευαισθησίας της περιοχής σε συμβάντα πυρκαγιών και πλημμυρών. Επίσης, με τον συνδυασμό της αστικής δόμησης, των χρήσεων γης και του οδικού δικτύου, δημιουργήθηκε χάρτης που αναπαριστά την κατανομή της πυκνότητας της ανθρώπινης δραστηριότητας σε ολόκληρη τη λεκάνη,

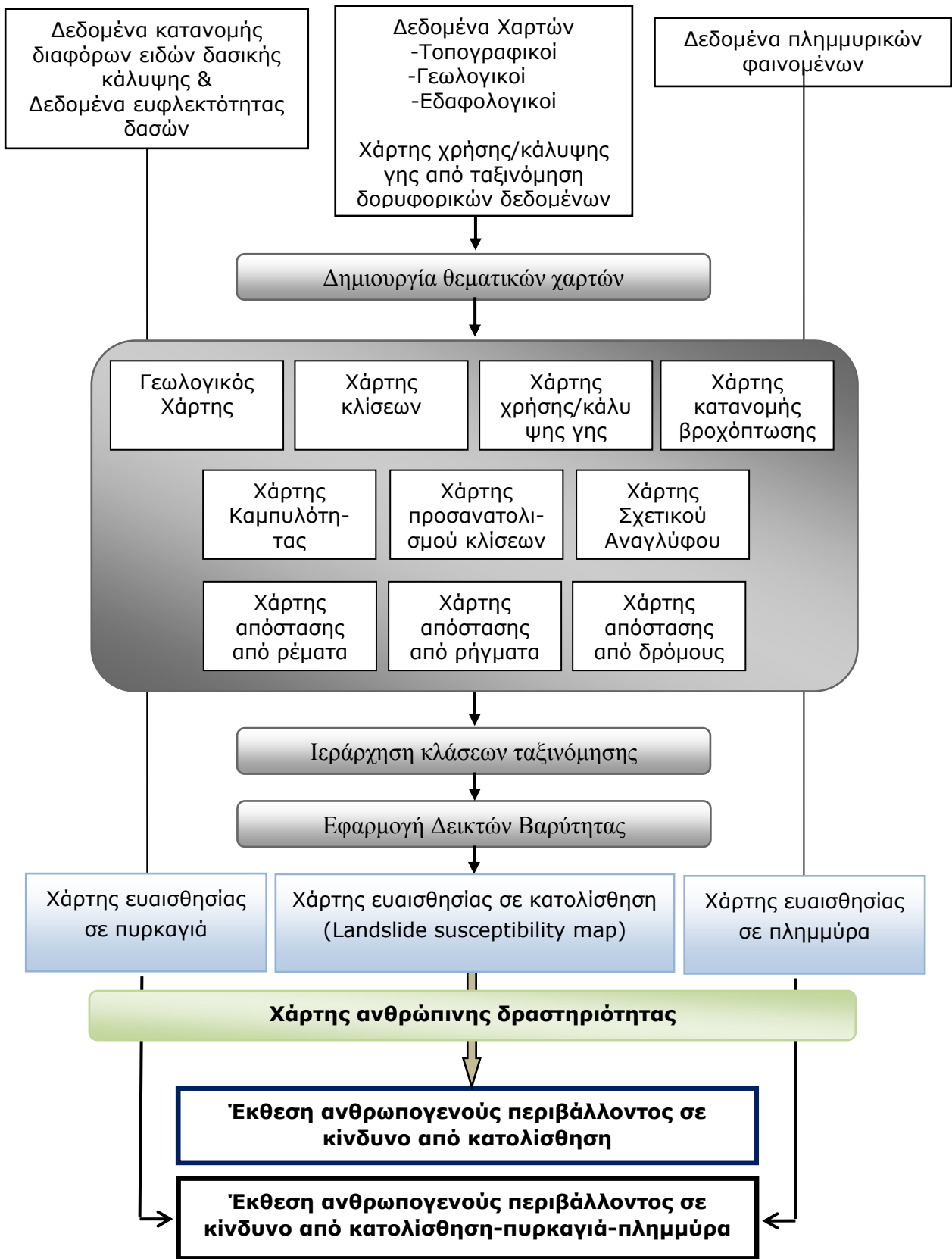
(ζ) Στο έκτο και τελευταίο στάδιο, εξετάστηκε η έκθεση του ανθρώπινου παράγοντα στον κίνδυνο από κατολίσθηση και στον συνδυασμό κινδύνου από πυρκαγιά, πλημμύρα και κατολίσθηση, συνδυάζοντας του χάρτες ευαισθησία της λεκάνης σε αυτές τις φυσικές καταστροφές και του χάρτη κατανομής της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Στο σύνολο της διατριβής πραγματοποιήθηκε εργασία πεδίου, τόσο για την συλλογή των δειγμάτων εδάφους, που χρησιμοποιήθηκαν στην διαδικασία της ταξινόμησης, όσο και για την συλλογή των δειγμάτων νερού (υπόγειου και επιφανειακού) για την ανίχνευση της ποιότητας του νερού. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν εργασίες εργαστηρίου για την ανάλυση των δειγμάτων νερού, ενώ στο τελικό στάδιο πραγματοποιήθηκαν υπαίθριες εργασίες τεκμηρίωσης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το ArcGIS της ESRI (v 9.2), το ERDAS Imagine της Leica (v. 9.1), το Georient (v. 9,1), το Aquachem (v. 3.7.42), το CH45.EXE, ο «Υδρογνώμονας» (v. 3.9) και το Grapher (v 2.0).



Διάγραμμα ροής 1.2. Περιγράφει την μεθοδολογία για τον καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης κατά τα έτη 1984, 1999 και 2007 και την διερεύνηση των μεταβολών που έχουν επέλθει κατά τις περιόδους 1984-1999 και 1999-2007.



Διάγραμμα ροής 1.3. Περιγράφει την μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ευαισθησίας της περιοχής έρευνα σε κατολισθήσεις-πυρκαγιές και πλημμύρες και την έκθεση του ανθρώπου στον κίνδυνο από την εκδήλωση αυτών των φαινομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ-ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1.1. Γενικά ιστορικά Στοιχεία

2.1.1.1. Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή

Φθιώτιδα

Τους αρχαίους χρόνους η Φθιώτιδα καταλάμβανε την έκταση βόρεια και νότια του Βουνού Όθρυς ως τον Παγασητικό και το Μαλιακό κόλπο. Η χώρα ονομαζόταν αρχικά Αχαΐα, επειδή ήταν κοιτίδα των Αχαιών. Οι Αχαιοί αναφέρονται από τον Όμηρο ως Μυρμιδόνες και Έλληνες. Μετά την εποίκηση των Αχαιών στην Πελοπόννησο ονομάστηκε Αρχαία Φθιώτις. Τον 3^ο αιώνα οι κυριότερες πόλεις που αναφέρονται είναι η Μελίτεια, οι Φθιωτικές Θήβες, στα κράσπεδα της Θεσσαλικής πεδιάδας, η Άκορρα, ο Θαυμακός, η Πρόερνα και η Κύπαιρα. Όλη η περιοχή κατακτήθηκε από τους Ρωμαίους το 191 π.Χ., ακολούθησαν οι Βυζαντινοί, οι Φράγκοι, οι Καταλανοί και οι Τούρκοι εναντίον των οποίων οι κάτοικοι εξεγέρθηκαν τον Απρίλιο του 1821 για να τους εκδιώξουν τελικά το 1832. Ο Στράβωνας (1994) επίσης αναφέρει, ότι την περιοχή απέναντι από την Εύβοια κατείχαν οι Μαλιείς και οι Αχαιοί της Φθιώτιδας. Στη μυθολογία και ιστορία της περιοχής αναφέρεται ότι έζησαν εκεί ο Αχιλλέας και ο Αϊαντας, όπου κατά τα αναφερόμενα από τον Όμηρου στην Ιλιάδα, πολέμησαν στην πόλη της Τροίας, καθώς επίσης και ο Ηρακλής. Σύμφωνα με τον Όμηρο, Φθίοι ονομάζονταν οι υπήκοοι του Αχιλλέα, του Πωτεσίλαου και του Φιλοκτήτη.

Σημαντική θέση στην ιστορία της περιοχής, καταλαμβάνει η μάχη των Θερμοπυλών, όπου το 480 π.χ. ο Λεωνίδας ο βασιλιάς των Σπαρτιατών, κατάφερε να αποκρούσει την εισβολή των Περσών, καθώς και κατά την διάρκεια της Ελληνικής Επανάστασης του 1821 όπου στο σημείο που σήμερα βρίσκονται τα ερείπια της ιστορικής γέφυρας της Αλαμάνας, 4 χιλιόμετρα δυτικά των Θερμοπυλών, πολέμησε και γνώρισε μαρτυρικό θάνατο ο ήρωας της Επανάστασης, Αθανάσιος Διάκος. Τέλος, η περιοχή του Γοργοποτάμου, ποταμού που πηγάζει από την Οίτη και είναι παραπόταμος του Σπερχειού, έγινε ιδιαίτερα γνωστή από την ανατίναξη της ομώνυμης σιδηροδρομικής γέφυράς από Έλληνες αντάρτες το Νοέμβρη του 1942. Η επιχείρηση αυτή στάθηκε ένα από τα λαμπρότερα κατορθώματα της ελληνικής εθνικής αντίστασης εναντίον της γερμανοϊταλικής κατοχής στην πατρίδα μας (1941-44) και είχε άμεσο αντίκτυπο στις εξελίξεις των πολεμικών επιχειρήσεων στο μέτωπο της Β. Αφρικής (http://el.wikipedia.org/wiki/Νομός_Φθιώτιδας, *Ηροδότου Ιστορία* 1989).

Λαμία

Η πόλη της Λαμίας είναι η πρωτεύουσα της Φθιώτιδας, κατέχει την θέση της αρχαίας ομώνυμης Φθιωτικής πόλης. Δεν είναι σαφές το πότε ακριβώς χτίστηκε, αναφέρεται όμως για πρώτη φορά σε σχέση με έναν σεισμό που έγινε το 424 π.Χ. Σύμφωνα με την παράδοση, η πόλη χτίστηκε από τον Λάμιο, γιο του Ηρακλή ή τη Λαμία θυγατέρα του Ποσειδώνα και βασίλισσα της Τραχίνιας. Ορθότερη μάλλον είναι η άποψη ότι η πόλη πήρε το όνομά της από αναγραμματισμό της λέξης Μαλία, ονομασία που έφερε η γύρω περιοχή. Ανήκε διαδοχικά

στους αρχαίους Φθιώτες και τους Μαλιείς, φαίνεται πάντως, ότι για μεγάλο χρονικό διάστημα η Λαμία εξαρτιόταν από τους βορειότερους Θεσσαλούς, δηλαδή τους Αχαιούς Φθιώτες, ενώ μετά το 344 π.Χ. περιέρχεται στους Μακεδόνες. Μετά το θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου, οι Έλληνες, πρωτοστατούντων των Αθηναίων, εξεγέρθηκαν κατά των Μακεδόνων ζητώντας την ανεξαρτησία τους. Στην περιοχή της Φθιώτιδας εξεγέρθηκαν οι Οιταοί (πλην Ηρακλειωτών), οι Αχαιοί της Φθιώτιδας (πλην Θηβαίων-σημερινού νομού Μαγνησίας), οι Μαλιείς (πλην Λαμιέων), οι Λοκροί και οι Αινιάνες. Το 190 π.Χ. και αφού προηγουμένως έχει περάσει μια εποχή ακμής, κυριεύεται από τους Ρωμαίους, οι οποίοι την καταστρέφουν. Με την διοικητική μεταρρύθμιση του Ρωμαίου Αυτοκράτορα Αυγούστου, η Λαμία ενώθηκε, το 27 π.Χ., με την Θεσσαλία και η νέα χώρα ονομάστηκε Φθιώτις. Το 869 μ.Χ. αρχίζει να αναφέρεται πλέον με το νέο όνομα Ζητούνιον. Μετά την επανάσταση του 1821, η πόλη επιδικάστηκε στους Έλληνες και οι Τούρκοι εγκατέλειψαν το Ζητούνι στις 28 Μαρτίου 1833, αφήνοντας σε αυτήν μόνο 24 ελληνικές οικογένειες. Για 50 χρόνια η Λαμία, που στα 1833 ξαναπήρε την παλιά της ονομασία, θα είναι μια ακριτική πόλη. Τα επόμενα χρόνια η πόλη αρχίζει να γίνεται ένα διοικητικό και πνευματικό ελληνικό ακριτικό κέντρο. Η προσάρτηση της Θεσσαλίας στην Ελλάδα (1881) ήταν καθοριστική για τη Λαμία, αφού έπαψε έτσι να είναι ακριτική πόλη.

Σήμερα η πόλη παρουσιάζει μια πληθυσμιακή έκρηξη αφού η Κατοχή και κυρίως ο Εμφύλιος Πόλεμος συνέβαλαν καθοριστικά στο φαινόμενο της αστυφιλίας, έτσι για παράδειγμα, ενώ ο πληθυσμός της πόλης το 1910 ανερχόταν σε 9.500 κάτοικους, σήμερα ογδόντα χρόνια αργότερα φτάνει τους 45.000 κατοίκους (<http://www.e-lamia.gr/history.php>).

Σπερχειός ποταμός

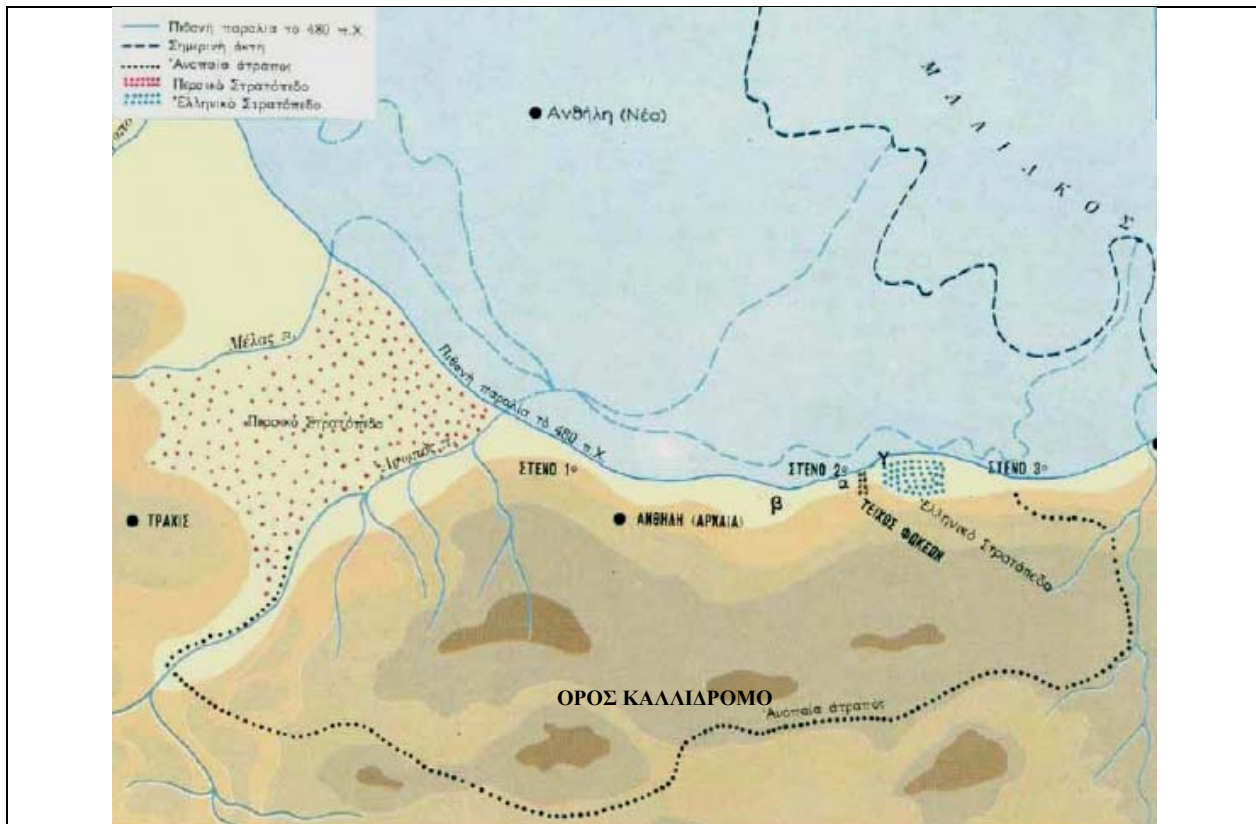
Ο ποταμός Σπερχειός πήρε το όνομά του από τον ομώνυμο ποτάμιο θεό της Ελληνικής Μυθολογίας, γιο του Ωκεανού και της Γης. Συνδέεται δε, με τον επιφανέστερο ήρωα των Ομηρικών ετών, τον Αχιλλέα, του οποίου ο πατέρας ο Πηλεύς είχε υποσχεθεί στους Ολύμπιους θεούς να προσφέρει στον Σπερχειό τα μαλλιά του παιδιού του, εάν εκείνος επέστρεφε ζωντανός από την Τροία.

2.1.1.2. Η μάχη στα στενά των Θερμοπυλών

Η μάχη των Θερμοπυλών πραγματοποιήθηκε το 480 π.Χ. μεταξύ Ελλήνων και Περσών και μαζί με μια σειρά άλλων μαχών αποτελούν τους Περσικούς πολέμους. Ως κύρια αιτία έναρξης των Περσικών πολέμων αναφέρεται το γεγονός ότι οι Αθηναίοι έστειλαν βοήθεια στους εξεγερμένους για ανεξαρτησία Ίωνες εναντίων των Περσών (Ατσάλης 1993).

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο, ο Ξέρξης αποφάσισε εκστρατεία κατά της Ελλάδας, με στρατό που έφτανε τα 5,3 εκατομμύρια άντρες. Από τους Έλληνες, ο Λεωνίδας μαζί με τους Φωκείς και τους Λοκρούς πήραν θέση στις Θερμοπύλες στην ξηρά, και στο Αρτεμίσιο στη θάλασσα (στόλος και 6.000 άντρες). Όταν έφτασε ο Ξέρξης στην περιοχή των Θερμοπυλών και μην μπορώντας να ακολουθήσει άλλο δρόμο για να προχωρήσει νοτιότερα ζήτησε αρχικά από τους Έλληνες να παραδώσουν τα όπλα τους, αλλά εισέπραξε την άρνησή τους (με την ιστορική φράση «Μολών Λαβέ»). Την πρώτη μέρα της μάχης, οι Πέρσες δεν κατάφεραν

τίποτα ιδιαίτερο, την δεύτερη προς την τρίτη μέρα της μάχης, κι ενώ ο Ξέρξης ήταν σε απόγνωση, δέχτηκε την βοήθεια του Εφιάλτη, που ζούσε στην Μαλιακή χώρα, ο οποίος του φανέρωσε το μονοπάτι που οδηγούσε από το βουνό στις Θερμοπύλες. Το μονοπάτι ονομαζόταν Ανοπαίο, όπως και το βουνό και ξεκινούσε από τον ποταμό Ασωπό, προχωρούσε από τη ράχη του βουνού και κατέληγε στην Αληηνό (χωριό λίγο πιο πέρα από την Α Πύλη), όπου ήταν και το πιο στενό τμήμα του. Από εκεί πέρασαν οι Πέρσες, με οδηγό τον Εφιάλτη και αφού απέκοψαν τους Φωκείς που φυλούσαν το πέρασμα, περικύκλωσαν τους Έλληνες. Λίγο πριν, ο Λεωνίδαας άφησε τους συμμάχους να φύγουν και έμειναν πίσω οι Λακεδαιμόνιοι, οι Θεσπείς και οι Θηβαίοι, σύνολο 300. Οι λιγοστοί πια Έλληνες πολέμησαν γενναία και τελικά αποδεκατίστηκαν, προλαβαίνοντας όμως να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες στους Πέρσες (*Ηροδότου Ιστορία* 1989 - Εικόνα 2.1). Παρά την τελική έκβαση, εκείνο που έμεινε τελικά στις μνήμες των μεταγενέστερων από την μάχη αυτή, δεν ήταν η νίκη των Περσών, αλλά ο ηρωισμός και η αυταπάρνηση των Ελλήνων καθώς και ο άδικος τρόπος με τον οποίο επήλθε η ήττα. Η μεγάλη ζημιά που έκανε μια χούφτα Ελλήνων στον αμέτρητο στρατό του Ξέρξη, τόνωσε το ηθικό των υπόλοιπων Ελλήνων που εξέλαβαν το αποτέλεσμα της μάχης ως νίκη.



Εικόνα 2.1. Η εκστρατεία του Ξέρξη (480 π.Χ.). Η περιοχή των Θερμοπυλών. Το στρατόπεδο των Περσών ανάμεσα στους ποταμούς Μέλανα και Ασωπό. Οι Έλληνες στο τείχος των Φωκέων και η Ανοπαία ατραπός από όπου ο Εφιάλτης οδήγησε τους Πέρσες στα νώτα των Ελλήνων (*Ηροδότου Ιστορία* 1989).

Το αξιοσημείωτο όσον αφορά το αντικείμενο της παρούσας μελέτης, αφορά την περιγραφή της περιοχής αυτής, του Δέλτα του Σπερχειού ποταμού, σαν ένα στενό πέρασμα όπου μπορούσαν με άνεση να φυλάξουν 300 άντρες, ενώ σήμερα και λόγω των προσχώσεων που έχουν επέλθει η περιοχή αυτή έχει πλέον έκταση περίπου 5 km σε πλάτος.

2.1.2. Ανθρωπολογία-Οικονομία

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού, γεωγραφικά ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στο νομό Φθιώτιδας και βρίσκεται μεταξύ των συντεταγμένων $X_{min}:311.450$ m, $X_{max}:382.500$ m στον άξονα Δ-Α και $Y_{min}:4.284.950$ m, $Y_{ax}:4.326.270$ m στον άξονα Ν-Β (συντεταγμένες του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς-ΕΓΣΑ '87). Καταλαμβάνει έκταση 1.828 km² και καλύπτει το 42% του νομού.

Ο Ν. Φθιώτιδος βρίσκεται στη Στερεά Ελλάδα και καταλαμβάνει το ΒΑ τμήμα της. Συνορεύει βόρεια με το Ν. Μαγνησίας, το Ν. Λάρισας και το Ν. Καρδίτσας, δυτικά με το Ν. Ευρυτανίας, νότια με το Ν. Φωκίδος και το Ν. Βοιωτίας ενώ ανατολικά βρέχεται από τον Ευβοϊκό και τον Μαλιακό Κόλπο. Έχει έκταση 4.368 km². Πρωτεύουσα είναι η Λαμία, ενώ χωρίζεται σε τρεις επαρχίες: την Επαρχία Δομοκού, την Επαρχία Λοκρίδος, και την Επαρχία Φθιώτιδος. Στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχειού ποταμού βρίσκονται συνολικά, είτε εξολοκλήρου είτε μερικώς, 9 Δήμοι και 2 Κοινότητες, οι οποίοι περιλαμβάνουν 102 Δημοτικά Διαμερίσματα εντός της περιοχής μελέτης. Η κατανομή του πληθυσμού στους 9 Δήμους και τις 2 Κοινότητες, από τις απογραφές του 1981, 1991 και 2001 καθώς και ο πληθυσμός των κυριότερων Δημοτικών Διαμερισμάτων των Δήμων από το 1907 έως και την τελευταία απογραφή του 2001, απεικονίζονται στους πίνακες 2.1 και 2.2 αντίστοιχα (ΕΣΥΕ 1985, 1994, 2002).

Από τα στοιχεία του πίνακα 2.1 είναι εμφανές ότι όλοι οι Δήμοι έχουν παρουσιάσει μέσα στα τελευταία 20 χρόνια αύξηση του πληθυσμού τους, εκτός από τον Δήμο Υπάτης που παρουσιάζει μία πολύ μικρή μείωση. Στο σύνολό τους οι 9 Δήμοι και οι 2 Κοινότητες της περιοχής παρουσιάζουν μία αύξηση πληθυσμού από το 1981 έως το 2001, της τάξης του 13,3%. Επίσης, από τα στοιχεία του πίνακα 2.2 φαίνεται ότι τα κύρια Δημοτικά Διαμερίσματα (Δ.Δ.), στα οποία ουσιαστικά εδρεύουν οι κυριότερες πόλεις της περιοχής έρευνας, στην πλειονότητά τους, κατέγραψαν αύξηση του πληθυσμού τους στο διάστημα των 100 περίπου ετών όπου υπάρχουν καταγεγραμμένα στοιχεία. Η αύξηση αυτή ήταν συγκριτικά σημαντικότερη σε αυτά που χωροθετούνται στο παράλιο τμήμα του νομού και μικρότερη σε ορισμένους πιο ορεινούς δήμους και κοινότητες, όπως η Παύλιανη και ο Άγιος Γεώργιος. Όσον αφορά τους δήμους των οποίων ο πληθυσμός μειώθηκε, η μείωση αυτή ήταν αρκετά σημαντική για το σύνολο των 100 ετών, ενώ για την τελευταία δεκαετία, ήταν σημαντική κυρίως για το Δ.Δ. Μακρακώμης (-18,0%) και το Δ.Δ. Υπάτης (-18,1%).

Το ποσοστό κατανομής της απασχόλησης στις διάφορες οικονομικές δραστηριότητες της περιοχής, κυμαίνεται περίπου στο 25-35% στον πρωτογενή τομέα, στο 20-25% στο δευτερογενή (κυρίως στους Δήμους Λαμίας και Στυλίδας) και 35-40% στον τριτογενή τομέα (κυρίως στους Δήμους Λαμίας και Υπάτης). Τέλος, με βάση τα αναλυτικά στοιχεία της απογραφής του 2001, ανά φύλο και ηλικία ο πληθυσμός της Στερεάς Ελλάδας και της περιοχής μελέτης εμφανίζει έντονες τάσεις γήρανσης, εντονότερες σε σύγκριση με το 1991,

με τιμές πληθυσμού που είναι αρκετά συρρικνωμένες στις ηλικίες έως 15 ετών κυρίως, ενώ είναι διογκωμένες στις ηλικίες από 60-75 ετών.

Πίνακας 2.1. Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης από το 1981 έως σήμερα (Πηγή: ΕΣΥΕ)

α/α	Δήμοι	1981	1991	2001
1	ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	3.240	3.167	3.278
2	ΓΟΡΓΟΠΟΤΑΜΟΥ	3.901	4.475	4.510
3	ΛΑΜΙΕΩΝ	50.716	55.445	58.601
4	ΛΕΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ	2.605	2.628	3.034
5	ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	7.125	7.267	7.132
6	ΜΩΛΟΥ	5.179	6.454	6.668
7	ΣΠΕΡΧΕΙΑΔΟΣ	9.108	8.573	10.594
8	ΣΤΥΛΙΔΟΣ	6.154	6.621	6.858
9	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	504	601	566
10	ΥΠΑΤΗΣ	6.910	6.795	6.855
11	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	455	518	574
Νομός Φθιώτιδας		162.005	171.274	178.771

Πίνακας 2.2. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού των Κύριων Δημοτικών Διαμερισμάτων των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης από το 1907 έως σήμερα (Πηγή: ΕΣΥΕ 1995)

α/α	Δημοτικά Διαμερίσματα	1907	1920	1928	1940	1951	1981	1991	2001
1	ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	-	482	686	878	956	936	896	921
2	ΓΟΡΓΟΠΟΤΑΜΟΥ	169	66	53	84	110	109	444	472
3	ΛΑΜΙΕΩΝ	14.029	11.895	15.591	16.542	25.288	41.846	44.084	46.406
4	ΛΕΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ	442	1.381	1.011	1.141	1.127	1.116	1.212	1.335
5	ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	6.669	1.288	1.436	1.766	1.956	2.374	2.717	2.226
6	ΜΩΛΟΥ	1.516	1.482	1.577	2.073	1.985	2.113	3.003	3.203
7	ΣΠΕΡΧΕΙΑΔΟΣ	5.210	1.381	1.572	1.988	2.299	2.607	2.957	2.875
8	ΣΤΥΛΙΔΟΣ	2.138	2.796	2.735	3.606	4.912	4.742	5.088	5.339
9	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΤΥΜΦΡΗΣΤΟΥ	6.213	-	743	849	727	504	601	566
10	ΥΠΑΤΗΣ	7.155	2.772	2.226	2.166	1.579	2.466	1.037	849
Νομός Φθιώτιδας							162.005	171.274	178.771

Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης, είναι τα δημητριακά, από τα οποία καλλιεργείται κυρίως το σιτάρι (κυρίως σκληρό), το κριθάρι, ο αραβόσιτος και το ρύζι, που καλλιεργείται στις εκβολές του ποταμού Σπερχειού, και τα βιομηχανικά φυτά, όπου καλλιεργούνται κυρίως βαμβάκι και καπνός. Από τι ετήσιες καλλιέργειες ιδιαίτερη ανάπτυξη παρουσιάζουν τα κτηνοτροφικά φυτά (κυρίως Μηδική). Όσον αφορά τις δενδρώδεις καλλιέργειες καλλιεργούνται ελιές, που εντοπίζονται κυρίως στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης, κυρίως στους Δήμους Στυλίδας και Μώλου, οπωροφόρα δένδρα όπως κερασιές, βερικοκιές και ροδακινιές οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στο νότιο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης (κυρίως στους Δήμους Γοργοποτάμου και Υπάτης), ενώ καλλιεργούνται και αρκετά δένδρα καρπών με κέλυφος, κυρίως φιστικιές που εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της λεκάνης και στον Δήμο Μακρακώμης, καστανιές κυρίως στα ορεινά και αμυγδαλιές. Τέλος, στο νότιο τμήμα της λεκάνης βρίσκεται υπό ανάπτυξη η καλλιέργεια του ακτινιδίου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από ολόκληρη την έκταση της Στερεάς Ελλάδας, το ρύζι καλλιεργείται αποκλειστικά στην περιοχή αυτή. Κατά την περίοδο 1991-1999 παρουσιάστηκε

μεγάλη μείωση της έκτασης με καπνό, πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μείωση σε επίπεδο χώρας. Αντιθέτως η έκταση με βαμβάκι αυξήθηκε κατά πολύ μεγάλο ποσοστό.

Η ζωική παραγωγή στην περιοχή έρευνα είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη με μεγαλύτερο αριθμό ζωικού κεφαλαίου στους Δήμους Λειανοκλαδίου, Τυμφρηστού, Γοργοποτάμου και Λαμίας και λιγότερο στους υπόλοιπους.

Στον τομέα της δασοπονίας, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στοιχεία της Διεύθυνσης Δασών, η παραγωγή δασικών προϊόντων, από τον τομέα της δημόσιας δασοπονίας, εμφανίζει υψηλά μεγέθη παραγόμενου προϊόντος σε m^3 . Η μεγαλύτερη παραγωγή καυσόξυλων πεύκης και δρυός εμφανίζεται στο Δασαρχείο Σπερχειάδας στη Φθιώτιδα, με $4.447m^3$. Στη μη δημόσια δασοπονία, η παραγωγή περιορίζεται σημαντικά. Στα όρια του Δασαρχείου Σπερχειάδας παράγονται $3.806 m^3$ καυσόξυλων από δρυ. Η αλιεία στην περιοχή είναι αρκετά αναπτυγμένη στον Μαλιακό κόλπο, με υψηλή συγκέντρωση μονάδων εντατικής ιχθυοκαλλιέργειας (ΥΠΑΝ 2006, ΕΣΥΕ 1981, 1985, 1991, 1994, 1995, 1998, 1999 α & β, 2001, 2002).

2.1.3. Έργα υποδομής - ανάπτυξης

2.1.3.1. Οικιστικές συνθήκες-Δίκτυο οδικό-μεταφορών

Το μοναδικό αστικό κέντρο της περιοχής έρευνας είναι η Λαμία, η οποία συγκεντρώνει περισσότερο από το 50% του πληθυσμού της περιοχής. Από τους υπόλοιπους οικισμούς της περιοχής οι αμέσως μεγαλύτεροι είναι η Σπερχειάδα, η Μακρακώμη, η Στυλίδα, η Υπάτη και ο Μώλος.

Οι βασικοί οδικοί άξονες της περιοχής είναι: (α) η Νέα Εθνική Οδός (ΝΕΟ-Αθήνας-Λαμίας-Θεσσαλονίκης), (β) η Παλιά Εθνική Οδός (ΠΕΟ-Ε65-Αθήνας-Λαμίας-Λάρισας), (γ) η Εθνική Οδός Λαμίας-Καρπενησίου (Ε952) και (δ) το κοινοτικό δίκτυο.

Στο υπάρχον οδικό δίκτυο, η ΝΕΟ πρόσφατα (2006-2008) ανακατασκευάστηκε, με αλλαγή χάραξης και διαπλατύνσεις όπου απαιτείτο και μετατράπηκε σε έναν οδικό άξονα ταχείας κυκλοφορίας σύγχρονου επιπέδου, που δεν έχει καμία σχέση με τον προηγούμενο απαρχαιωμένο και επικίνδυνο δρόμο. Επίσης, ανακατασκευάζεται, βελτιώνεται και διαπλατύνεται το τμήμα της ΠΕΟ-Ε65 από Λαμία προς Δομοκό. Τέλος, πολλοί δρόμοι του ενδοκοινοτικού δικτύου έχουν κατασκευαστεί και βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, νέοι οδικοί άξονες που δημιουργήθηκαν στην περιοχή είναι η Γέφυρα της Ανθήλης και ο παράπλευρος δρόμος, ο δρόμος από Γαρδίκι για Γραμμένη οξυά, ο δρόμος από Μάρμαρα για Ανατολή, από Καστανιά για Νεοχώρι.

Στην περιοχή έρευνας οι βασικοί οδικοί άξονες μετεξελίχθηκαν σε βασικούς αναπτυξιακούς άξονες. Στη ΝΕΟ και τον άξονα Λειανοκλαδίου-Λαμίας-Στυλίδας, έχουν εγκατασταθεί βιομηχανίες, βιοτεχνίες, εμπορικά κέντρα κλπ., δημιουργώντας έτσι κάποιους θύλακες βιομηχανικής ανάπτυξης, όπου βρίσκεται χωροθετημένη η ΒΙΠΕ (νομοθετημένη χωροθέτηση Ν 742/77). Ο τουρισμός της περιοχής είναι κυρίως παραθεριστικός και έχει αναπτυχθεί στα παράλια του Μαλιακού και ιαματικός στις περιοχές των Θερμοπυλών, Υπάτης και Δαμάστας.

Επίσης, το υφιστάμενο σιδηροδρομικό δίκτυο, το οποίο παλαιότερα στο τμήμα από Τιθορέα έως Δομοκό αποτελείτο από μονή γραμμή και διερχόταν από ορεινές περιοχές με μεγάλες κλίσεις και κλειστές στροφές με κατολισθήσεις κ.α., πρόκειται να αντικατασταθεί σύντομα

από τη νέα γραμμή Μώλου-Ανθήλης-Λειανοκλαδίου-Δομοκού με την διάνοιξη σιδηρών στο Καλλίδρομο και την Όθρυ. Στην περιοχή έρευνας ακόμη, υπάρχει ένα μικρό αεροδρόμιο στα νότια της Λαμίας (Στοιχεία διαδρόμου: ασφάλτινος, 1.100x50 m), συγκεκριμένα βρίσκεται στο 2^ο km ΠΕΟ Λαμίας, διπλά από το ΤΕΙ Λαμίας. Το αεροδρόμιο ανήκει στην Πολεμική Αεροπορία και δεν έχει καμιά εμπορική και επιβατική κίνηση. Η Αερολέσχη Φθιώτιδας το έχει ως έδρα και το χρησιμοποιεί για όλες τις δραστηριότητές της.

2.1.3.2. Αντιπλημμυρικά έργα

Τα εκτελεσθέντα αντιπλημμυρικά έργα, όπως συμπληρώθηκαν μέχρι σήμερα, είναι τα εξής:

α. Το 1957-58 πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη της νέας τεχνητής κοίτης του Σπερχειού, με παροχή 300 m³/sec και ολικό πλάτος κοίτης πλημμυρών περίπου 60 m. Η Νέα Τεχνητή Κοίτη, λεγόμενη και Εκτροπή Σπερχειού, έχει μήκος 9 km, αρχίζει στο ύψος της γέφυρας της Παλαιάς Εθνικής Οδού κοντά στο χωριό Κόμμα, και καταλήγει ευθύγραμμα στη θάλασσα, χωρίς να ακολουθεί το μεγάλο τόξο που διαγράφει ο Σπερχειός μετά τη στροφή του προς την παλαιά του φυσική κοίτη, της Αλαμάνας, αμέσως ανάντη της Νέας Εθνικής Οδού. Η εκτροπή Σπερχειού είχε σαν σκοπό να απαλλάσσει την κοίτη της Αλαμάνας από το μεγαλύτερο μέρος των πλημμυρικών υδάτων που φθάνουν στο χωριό Κόμμα, και να το οδηγεί μέσω της συντομότερης οδού στη θάλασσα. Επί της νέας αυτής κοίτης έχουν κατασκευασθεί δύο αναβαθμοί και δύο γέφυρες, η πρώτη επί της Εθνικής Οδού Αθηνών - Λαμίας και η δεύτερη σε αγροτικό δρόμο κοντά στο χωριό Ροδίτσα.

β. Η διάνοιξη της Τάφρου Λαμίας, γνωστής και ως Γερμανικής τάφρου, που είχε αρχίσει να διανοίγεται πριν από το τέλος του τελευταίου Πολέμου (1944). Η Τάφρος αυτή ακολουθεί τη γραμμή των χαμηλών υψομέτρων εδάφους ανάμεσα στο Λειανοκλάδι και στη Νέα Εθνική Οδό, διασχίζει την περιοχή του δικτύου Ανθήλης - Μεγάλης Βρύσης, ακολουθεί πορεία παράλληλη με την Νέα Εκτροπή του Σπερχειού, και εκβάλλει στο Μαλιακό κόλπο κοντά στο σημείο εκβολής της Νέας Εκτροπής Σπερχειού. Η τάφρος Λαμίας δεν αποχετεύει μόνο τα νερά που προκαλούν οι κατακλύσεις στη χαμηλή περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού από το χωριό Κομποτάδες έως τη θάλασσα, αλλά δέχεται και τη συμβολή των πλημμυρικών υδάτων απ' τους Βορεινούς λόφους και κυρίως απ' τη λεκάνη του χειμάρρου Ξηριά Λαμίας, ο οποίος συμβάλλει στην τάφρο Λαμίας σ' ένα σημείο Δυτικά της προεκτάσεως της Νέας Εθνικής Οδού προς Λαμία.

γ. Ο εγκιβωτισμός του Σπερχειού ποταμού μεταξύ της Σιδηροδρομικής Γεφύρας και της γέφυρας κοντά στο χωριό Κόμμα, που πραγματοποιήθηκε την 10ετία του 1950. Αποτελείται από ένα συνεχές αριστερό ανάχωμα σε μήκος 5 km περίπου, καθώς και από ένα δεξιό ανάχωμα, το οποίο όμως διακόπτεται στη συμβολή του Γοργοποτάμου. Το αριστερό ανάχωμα περιλαμβάνει ένα σημείο εσκεμμένης θραύσης, για την περίπτωση εξαιρετικά μεγάλων πλημμυρών και βρίσκεται σε απόσταση 700 m κατάντη της Σιδηροδρομικής Γέφυρας.

δ. Ορισμένα σποραδικά προστατευτικά αναχώματα στα ανάντη της Σιδηροδρομικής Γεφύρας και στην κοίτη της Αλαμάνας, τα οποία έχουν σκοπό να εξασφαλίζουν τοπική προστασία των πεδινών εκτάσεων της λεκάνης.

ε. Ο εγκιβωτισμός της κοίτης του ποταμού Ίναχου (Βίστριτσα), σε όλο το μήκος απ' τον Άγιο Σώστη μέχρι το Καστρί, μέσα σε ισχυρά υψηλά αναχώματα. Ο εγκιβωτισμός αυτός πραγματοποιήθηκε κατά τη δεκαετία του 1970 και έχει σαν σκοπό να μεταφέρει όλη την παροχή του Ίναχου, έτσι ώστε να απαλλάξει τον υπόλοιπο κώνο από τις πλημμύρες και τις αποθέσεις φερτών υλών.

ζ. Τα έτη 1980 -1981 έγιναν έργα συντηρήσεως, δηλαδή καθαρισμού, εκβαθύνσεως και διαπλατύνσεως της παλαιάς και της νέας κοίτης του Σπερχειού, καθώς και καθαρισμού των μπαγκινών απ' την υδροχαρή βλάστηση. Παρόμοια έργα εκτελέστηκαν στο τμήμα του Σπερχειού απ' τη Σιδηροδρομική Γραμμή μέχρι το ύψος του χωριού Αμούρι, και ανάντη αυτού μέχρι τη γέφυρα Λουτρών Υπάτης. Επίσης, κατασκευάστηκαν σποραδικά αναχώματα μικρού μήκους και επενδύσεις με συρματοκιβώτια σε διάφορες θέσεις του Σπερχειού και έγιναν καθαρισμοί της κοίτης του.

η. Την περίοδο 2000-2001 πραγματοποιήθηκε νέα διαπλάτυνση της Νέας τεχνητής κοίτης του Σπερχειού και πλέον το πλάτος της φτάνει τα 90 m (Εικόνα 2.2)

θ. Το 2007 ξεκίνησε η κατασκευή νέου μεριστή στο σημείο αφετηρίας του υπερχειλιστή του Σπερχειού (Νέα κοίτη) και κατασκευή πολλαπλών οχετών κάτω από το έργο της νέας σιδηροδρομικής γραμμής, με σκοπό να διασφαλιστούν η Νέα διπλή σιδηροδρομική γραμμή, η νέα ΠΑΘΕ, καθώς και οι οικισμοί της Ανθήλης, Μοσχοχωρίου και Κόμματος από κατάκλιση σε περιόδους έντονης παροχής του Σπερχειού ποταμού (*Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, 1995*).



Εικόνα 2.2. Φωτογραφίες (1,2) που απεικονίζουν τα έργα διαπλάτυνσης που πραγματοποιήθηκαν στον Αγωγό Εκτροπής-Υπερχειλιστή του Σπερχειού ποταμού το 2001.

2.1.3.3. Αρδευτικά έργα

Από το σύνολο της λεκάνης του Σπερχειού, περίπου τα 310 km² χρησιμοποιούνται ως γεωργική γη. Περίπου 110.000 στρ. από αυτά αρδεύονται ήδη, με σχεδόν εξαντλητική εκμετάλλευση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, δηλαδή της φυσικής ροής των ποταμών, των πηγών και των υπόγειων υδροφόρων, ενώ η καθαρά αρδεύσιμη έκταση ανέρχεται σε 220 km². Οι συνθήκες δεν ευνοούν την αρδευτική ανάπτυξη με τη μορφή μεγάλων συλλογικών έργων όπως αυτά που έχουν κατασκευασθεί σε άλλα Διαμερίσματα της Χώρας. Η φυσική θερινή ροή των διαφόρων ρευμάτων και πηγών είναι περιορισμένη, και υπόκεινται σε απρόβλεπτες και σημαντικές αυξομειώσεις. Εξάλλου, είναι πολύ δύσκολο να

εξασφαλισθούν οι αναγκαίοι αποθηκευτικοί όγκοι, για μια εποχιακή ρύθμιση των φυσικών απορροών, λόγω κυρίως των δυσμενών τοπογραφικών και γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην κοιλάδα του Σπερχειού. Τέλος, έναν ακόμα περιοριστικό παράγοντα αποτελεί το γεγονός, ότι η δυναμικότητα των υπόγειων υδροφόρων και ιδιαίτερα αυτών που επιδέχονται φθινή και τεχνικώς απλή αξιοποίηση, είναι μικρή σε σύγκριση με τις συνολικές ανάγκες.

Τα κυριότερα αρδευτικά δίκτυα της περιοχής είναι τα ακόλουθα:

α. Το μεγαλύτερο απ' τα συλλογικά αρδευτικά έργα που υπάρχουν στη περιοχή είναι το δίκτυο Ανθήλης-Μεγάλης Βρύσης, το οποίο καταλαμβάνει τις χαμηλότερες ζώνες της πεδινής περιοχής κοντά στις εκβολές του Σπερχειού και καλύπτει καθαρή έκταση περίπου 37.000 στρ. Η ανάπτυξη αυτή στηρίχθηκε αρχικά στην προοπτική της ρυζοκαλλιέργειας και της αξιοποίησης των παθογενών εδαφών που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα. Αργότερα η εκμετάλλευση επεκτάθηκε και σε άλλες καλλιέργειες πιο μακριά από τη θάλασσα, όπου τα εδάφη είναι επίσης παθογενή. Το δίκτυο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε το νερό να λαμβάνεται από διάφορες πηγές και να διανέμεται με ένα σύστημα επενδυμένων διωρύγων και προκατασκευασμένων αυλακιών. Κύρια πηγή υδροδότησεως είναι η θερινή ροή του Σπερχειού απ' το Γοργοπόταμο, η οποία συλλέγεται με ένα πρόχειρο έργο υδροληψίας κοντά στη γέφυρα της Νέας Εθνικής Οδού. Η διαθέσιμη θερινή ροή του Σπερχειού στο σημείο αυτό διαφέρει από χρόνο σε χρόνο και συμβαίνει συχνά, το νερό να επαρκεί μόνο για ένα μέρος της συνολικής εκτάσεως του αρδευτικού δικτύου. Άλλες συμπληρωματικές πηγές, μικρότερες αλλά σταθερότερες, είναι οι καρστικές πηγές Μαυρονέρι και Μεγάλη Βρύση οι οποίες καλύπτουν την άρδευση μέρους της συνολικής εκτάσεως, γεγονός που υποδηλώνει το δίκτυο αυτό είναι ένα έργο με προβλήματα, κυρίως εφόσον δεν παρέχει εγγύηση, ότι το απαιτούμενο νερό θα είναι πάντοτε διαθέσιμο όταν χρειάζεται.

β. Άλλα συλλογικά αρδευτικά έργα προς τα ανάντη μέσα στην κοιλάδα του Σπερχειού είναι το έργο Λειανοκλαδίου-Ζηλευτού-Αμουρίου, που καλύπτει έκταση περίπου 10.000 στρ. στα αριστερά του ποταμού. Το έργο τροφοδοτείται από τη θερινή ροή του Σπερχειού στο ύψος του Ζηλευτού, όπου γίνεται η παροχέτευση της διαθέσιμης ροής, και το νερό διανέμεται με ένα σύστημα ορθογωνικών διωρύγων. Είναι αξιοσημείωτο ότι σε μικρή απόσταση κατάντη της υδροληψίας του Ζηλευτού, ο Σπερχειός ξαναρχίζει να εμφανίζει ροή, διότι τροφοδοτείται συνεχώς απ' τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Έτσι, στη θέση της υδροληψίας του έργου Ανθήλης, έχει συνήθως ροή πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παροχετεύεται προς το δίκτυο Λειανοκλαδίου-Ζηλευτού-Αμουρίου, λόγω και του εμπλουτισμού του με τα νερά που προέρχονται από το Γοργοπόταμο.

γ. Πιο πάνω απ' το Λιανοκλάδι, υπάρχει το αρδευτικό δίκτυο του ποταμού Ίναχου, το οποίο είναι σωληνωτό, έχει έκταση περίπου 39.000 στρ. και το οποίο τροφοδοτείται από γεωτρήσεις και από πηγές, οι οποίες συλλέγονται στην κοίτη του χειμάρρου Ίναχου, στο ύψος του Αγίου Σώστη, όπου έχει κατασκευαστεί έργο υδροληψίας, διώρυγες δεξιά και αριστερά, και δεξαμενές αναρρυθμίσεως.

δ. Υπάρχει επίσης ένα σωληνωτό δίκτυο μέσης πίεσεως, 15.000 στρ., το οποίο αξιοποιεί τα νερά που αναβλύζουν στην περιοχή Μεξιατών καθώς και μερικών γεωτρήσεων.

Επίσης υπάρχουν δίκτυα, που τροφοδοτούνται απ' τη θερινή ροή του Γοργοποτάμου. Μεγάλο μέρος των δικτύων αυτών ευρίσκεται πάνω από τα όρια της κυρίως πεδινής

εκτάσεως, και καλύπτει τις λοφώδεις εκτάσεις της περιοχής Φραντζή - Γοργοποτάμου, Αλεπόσπιτων και Βαρδατών. Από τα δίκτυα αυτά 5.000 στρ. εμπίπτουν στην πεδινή έκταση. Από τη ροή του Γοργοποτάμου, παροχή περίπου 500 lt/sec οδηγείται στα δίκτυα αυτά, ενώ η υπόλοιπη ροή του Γοργοποτάμου χρησιμοποιείται είτε στην τροφοδότηση των δικτύων των πιο ορεινών περιοχών, είτε καταλήγει ως περίσσειμα στον Σπερχειό, τον οποίο εμπλουτίζει ανάντη του έργου υδροληψίας του δικτύου Ανθήλης.

Εκτός απ' τα προαναφερθέντα δίκτυα, που εξυπηρετούν πεδινές κυρίως εκτάσεις, υπάρχουν αρκετές μεμονωμένες διώρυγες, οι οποίες μεταφέρουν νερά από πηγαίες εμφανίσεις στους γύρω λόφους, ακόμη και στους πρόποδες των βουνών, και οι οποίες τροφοδοτούν μικρά δίκτυα, τα οποία καλύπτουν και επικλινή εδάφη. Τα δίκτυα αυτά είναι αυτοδύναμα από απόψεως τροφοδοτήσεως, και η διασπορά τους ή απλώς η υψομετρική τους θέση δεν επέτρεψαν την ένταξή τους σε γενικότερα αρδευτικά συστήματα, ενώ σε πολλές περιπτώσεις η διαθέσιμη ροή δεν καλύπτει την περίοδο της αιχμής. Σε αυτή την κατηγορία δικτύων υπάγεται και το σύστημα από διώρυγες που τροφοδοτείται από τη ροή του Ρουσιανίτη, και καλύπτει ορισμένες εκτάσεις στην περιοχή Λευκάδας και Φτέρης. Τέλος, έχουν κατασκευαστεί πολλές γεωτρήσεις, οι οποίες εκμεταλλεύονται την υπόγεια υδροφορία των προσχωματικών στρωμάτων στις πεδινές εκτάσεις. Περιοχές σημαντικής υδροφορίας είναι ο κώνος του ποταμού Ίναχου, η περιοχή της Στίρφακας και οι πυρήνες της πεδινής εκτάσεως και προς τις δύο όχθες του Κάτω Σπερχειού (*Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας 1995*).

Τα παραπάνω δίκτυα καλύπτουν μια έκταση περίπου 100.000 στρ. και αποτελούν την αρδευόμενη, έστω και πλημμελώς, έκταση της περιοχής. Οι συνθήκες ανταγωνισμού, που υπάρχουν στη χρήση του διαθέσιμου ύδατος, εμποδίζουν την κανονική εκτέλεση των αρδεύσεων, διότι αφενός δεν έχει εξασφαλιστεί μια εποχιακή ρύθμιση της ροής των κύριων ρεμάτων, αφετέρου η συνολική αρρυθμιστή θερινή ροή είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις απαιτήσεις της περιόδου αιχμής. Τα κυριότερα συστήματα άρδευσης της περιοχής απεικονίζονται στον πίνακα 2.3 που ακολουθεί (ΥΠΑΝ 2006-Εικόνα 2.3).

2.2. ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

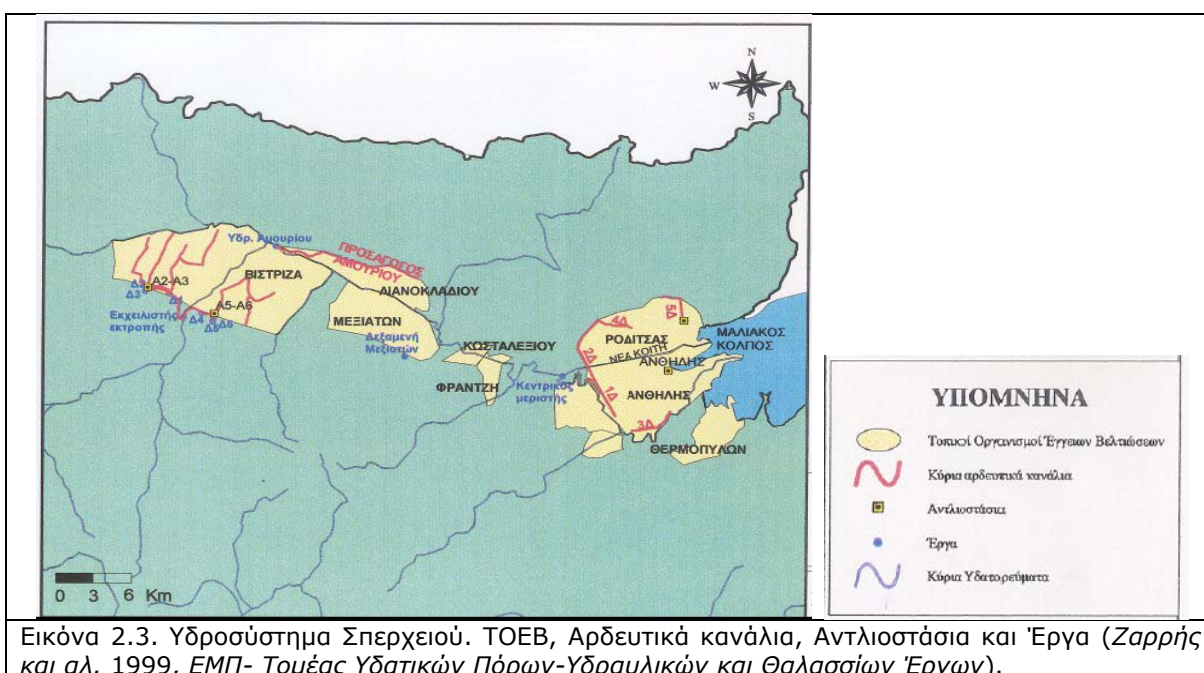
2.2.1. Γεωμορφολογία

2.2.1.1. Γενικά

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού περικλείεται ουσιαστικά από δύο σειρές βουνών. Οι ψηλότερες κορυφογραμμές βρίσκονται κατά μήκος του νότιου και δυτικού-βορειοδυτικού ορίου, των Βαρδουσιών (2.437 m), της Οίτης (2.152 m) και του Τυμφρηστού (2.316 m). Στο νοτιοανατολικό άκρο του υδροκρίτη βρίσκεται το όρος Καλλίδρομο (1.372 m), ενώ ο υδροκρίτης του βόρειου και βορειοανατολικού άκρου σχηματίζεται από αντερείσματα του όρους Όθρυς (1.727 m) (*Κακαβάς 1984α*). Οι κύριοι ορογραφικοί άξονες του Τυμφρηστού, της Οίτης και του Καλλίδρομου έχουν διεύθυνση περίπου ΒΒΔ-ΝΝΑ. Αυτός ο προσανατολισμός των ορογραφικών αξόνων, ασκεί αρκετά μεγάλη επίδραση στην κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και των υπολοίπων κλιματικών στοιχείων. Το μορφολογικό ανάγλυφο είναι ιδιαίτερα απότομο προς τα νότια, όπου σε μια μικρή σχετικά

Πίνακας 2.3. Αρδευόμενες εκτάσεις με βάση το έργο, το φορέας διαχείρισης και την πηγή υδροδότησης

α/α	ΕΡΓΟ	Φορέας Διαχείρισης	Πηγές υδροδότησης	Κυριότερο σύστημα άρδευσης	Αρδευόμενη έκταση 2001 (στρ.)
1	ΑΝΘΗΛΗΣ	ΤΟΕΒ Ανθήλης	Σπερχειός Ποταμός	Καταιονισμός	36.000
2	ΡΟΔΙΤΣΑΣ	ΤΟΕΒ Ροδίτσας	Σπερχειός Ποταμός	Καταιονισμός	14.000
3	ΦΑΚΙΤΣΑΣ	ΤΟΕΒ Φακίτσας	Σπερχειός Ποταμός	Καταιονισμός	3.900
4	ΛΕΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ	ΤΟΕΒ Λειανοκλαδίου	Σπερχειός Ποταμός	Επιφανειακή	10.000
5	ΣΥΚΑΣ	ΤΟΕΒ Συκά	Επιφανειακά νερά	Επιφανειακή	2.000
6	ΜΕΞΙΑΤΩΝ	ΤΟΕΒ Μεξιατών	Γεωτρήσεις (14)	Καταιονισμός	15.000
8	ΦΡΑΝΤΖΗ	ΤΟΕΒ Φραντζή	Π. Γοργοπόταμος	Επιφανειακή	2.600
9	ΔΑΜΑΣΤΑΣ	ΤΟΕΒ Δαμάστας	Στραγγιστικές τάφροι	Επιφανειακή	700
10	ΘΕΡΜΟΠΥΛΩΝ	ΤΟΕΒ Θερμοπυλών	Στραγγιστικές τάφροι	Επιφανειακή	1.100
11	ΜΟΣΧΟΧΩΡΙ	ΤΟΕΒ Μοσχοχωρίου	Π. Γοργοπόταμος	Επιφανειακή	8.100
12	ΝΕΟ ΚΡΙΚΕΛΛΟ	Δήμος Γοργοποτάμου	Π. Γοργοπόταμος	Καταιονισμός	1.900
13	ΗΡΑΚΛΕΙΑ	Δήμος Γοργοποτάμου	Π. Γοργοπόταμος	Καταιονισμός	2.200
14	ΑΝΩ ΒΑΡΔΑΤΕΣ	Δήμος Γοργοποτάμου	Π. Γοργοπόταμος	Καταιονισμός	1.000
15	ΚΩΣΤΑΛΕΞΙ	Δήμος Λαμιέων	Π. Γοργοπόταμος	Καταιονισμός	1.600
16	ΊΝΑΧΟΥ (Βίστριτσα)	Νέο*	Π. Ίναχος (Βίστριτσας)	Καταιονισμός	39.000
17	ΑΡΧΑΝΙΟΝ	Δήμος Μακρακώμης	Γεωτρήσεις, επιφανειακά νερά	Καταιονισμός	1.600
18	ΓΡΑΜΜΕΝΗ	Δήμος Μακρακώμης	Γεωτρήσεις, επιφανειακά νερά	Καταιονισμός	2.100
19	ΜΑΚΡΗΣ	Δήμος Μακρακώμης	Επιφανειακά νερά	Καταιονισμός	1.000
20	ΛΕΥΚΑΔΑΣ-ΦΤΕΡΗΣ-ΠΑΛΑΙΟΒΡΑΧΟΥ	Δήμος Σπερχειάδας	Π. Σπερχειός, Ρουσιανίτης	Καταιονισμός	10.000
21	ΠΛΑΤΥΣΤΟΜΟΥ	Δήμος Μακρακώμης	Επιφανειακά νερά	Καταιονισμός	1.000



απόσταση, παρουσιάζει υψομετρική διαφορά ακόμα και 300m, ενώ βόρεια παρουσιάζεται πιο ήπιο και χαμηλό. Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ανέρχεται σε 1.828 km², με μέσο υψόμετρο στα 626m (Εικόνα 2.4).

Τα όρια της λεκάνης, είναι σαφώς προσδιορισμένα, στο ορεινό τμήμα του υδροκρίτη προς τις γειτονικές λεκάνες που είναι, προς τα βόρεια οι λεκάνες των νοτίων παραποτάμων του Πηνειού ποταμού της Θεσσαλίας, προς τα νότια η λεκάνη του Μόρνου και του Βοιωτικού Κηφισού και προς τα δυτικά οι υπολεκάνες που συμβάλουν στον Αχελώο ποταμό. Προς τα ανατολικά η λεκάνη του Σπερχειού είναι ανοικτή προς τη θάλασσα και ορίζεται από τον Μαλιακό κόλπο και τις μικρές υπολεκάνες βόρεια και νότια του Μαλιακού κόλπου. Η τεκτονική τάφρος του Σπερχειού είναι ένα βύθισμα με διεύθυνση Δ-Α και με μεταβλητό πλάτος από 3 έως 12 km, σε μια απόσταση 50km περίπου μέχρι τον Μαλιακό κόλπο. Αυτή η τάφρος είναι γεμάτη με ιζήματα Ολοκαινικής και Πλειστοκαινικής ηλικίας και τέμνει τον φλύσχη της Πίνδου, τους γεωλογικούς σχηματισμούς της δυτικής Όθρυος και τον φλύσχη και τους ασβεστόλιθους της ζώνης Παρνασσού-Γκιώννας.



Εικόνα 2.4. Προοπτική απεικόνιση της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού.

2.2.1.2. Σπερχειός ποταμός - Δέλτα - Παράκτια ζώνη

Σπερχειός Ποταμός

Ο ποταμός Σπερχειός πηγάζει από τον Τυμφρηστό, ρέει από τα δυτικά προς τα ανατολικά, ενώ εκρέουν σε αυτόν περισσότεροι από 60 ποταμοί και χείμαρροι, παροδικής ή μόνιμης ροής, με τους περισσότερους, να εκβάλλουν στον Σπερχειό σχηματίζοντας δεξιές γωνίες. Το συνολικό υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου, αλλά αναπτύσσεται περισσότερο κατά τον επιμήκη άξονά του. Ο κύριος άξονάς του Σπερχειού αρχίζει στην θέση Άγιος Γεώργιος, έχει μήκος 85,2 km και παρουσιάζει μία μέση ετήσια παροχή νερού της τάξης των 62m³/s, κυμαινόμενη από 10-20 m³/s τον Αύγουστο, έως 110m³/s τον Ιανουάριο (Therianos 1974, Δαούλας 1986). Η κοίτη του Σπερχειού τροφοδοτείται από χείμαρρους μόνιμης και περιοδικής ροής, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Ρουσιανίτης, ο Ίναχος (Βίστριτσα), ο Γοργοπόταμος, ο Ασωπός και ο Ξηριάς Λαμίας. Κατά τα δύο τρίτα του μήκους της, η κοιλάδα του εμφανίζει έντονες κλίσεις που δίνουν στον ποταμό χαρακτήρα ορεινό-

χειμαρρικό, με οξείες αιχμές πλημμύρων και πολύ έντονη στερεοπαροχή. Αντίθετα, κατά το τελευταίο τρίτο της διαδρομής του, ο Σπερχειός μετατρέπεται σταδιακά σε πεδινό ποταμό και διασχίζει χαμηλές περιοχές. Η κεντρική κοίτη του ποταμού Σπερχειού παρουσιάζει μέση κλίση που κυμαίνεται από 0,5% στην περιοχή του δέλτα έως και 13% στο ορεινό τμήμα της λεκάνης απορροής.

Πλημμυρικά φαινόμενα (ιδιαίτερα τις προηγούμενες δεκαετίες) λαμβάνουν χώρα αρκετά συχνά, αφού η μέγιστη παροχή του ποταμού μπορεί εύκολα να δημιουργήσει υπερχειλίση. Για παράδειγμα στις 29 Ιουνίου του 1939 έλαβε χώρα μία πλημμύρα, η οποία προήλθε από το ξαφνικό λιώσιμο χιονιού, της οποίας η παροχή έφτασε τα 800m³/s (*Zamani & Maroukian 1980, Maroukián & Παυλόπουλος 1995*).

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί η στερεοπαροχή ανέρχεται σε περίπου 2,6-2,65x10⁶ m³/year (*Κωτούλας 1988, Κακαβάς 1984*), ενώ σύμφωνα με την μελέτη των Roulos & Chronis (1997) ανέρχεται σε 1,5x10⁶ tonnes/year. Τα υλικά που μεταφέρονται με την διαδικασία της στερεοπαροχής διευθετούνται στους κώνους προσχώσεων των χειμάρρων και στις ενδιάμεσες κοίτες, στην κεντρική κοίτη του Σπερχειού, στο δέλτα του ποταμού και στον υποθαλάσσιο χώρο.

Δέλτα

Γενικά, ο όρος δέλτα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Ηρόδοτο γύρω στο 450 π.Χ. για να περιγράψει τις αλουβιακές αποθέσεις του ποταμού Νείλου στο στόμιο της εκβολής του (*Moore & Asquith 1971*). Σήμερα με τον όρο αυτό περιγράφονται οι χαρακτηριστικές μορφές απόθεσης που δημιουργούνται σε περιοχές ποτάμιων εκβολών που σχηματίζονται στο μεταβατικό περιβάλλον λιμνών και θαλασσών. Η δημιουργία του δέλτα εξαρτάται από την κατάσταση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των παραγόντων που δρουν στον ηπειρωτικό χώρο δηλαδή στις λεκάνες απορροής των ποταμών και των παραγόντων που δρουν στον παράκτιο χώρο των εκβολών. Για να δημιουργηθεί ένα δέλτα πρέπει ο ρυθμός προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι να είναι ταχύτερος από το ρυθμό απομάκρυνσής του από τις θαλάσσιες διεργασίες. Αποτέλεσμα αυτού είναι να προελαύνει η ξηρά έναντι της θάλασσας (*Ψιλοβίκος και Χαχαμίδου 1987*). Τα δέλτα περιλαμβάνουν ένα επιφανειακό τμήμα και ένα υποθαλάσσιο. Η έκταση των δύο τμημάτων είναι άνιση και διαφορετική για κάθε δέλτα και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με κυριότερο τις θαλάσσιες διεργασίες (κύματα, παλίρροιες, θαλάσσια ρεύματα).

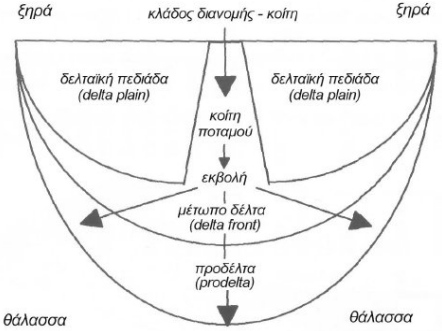
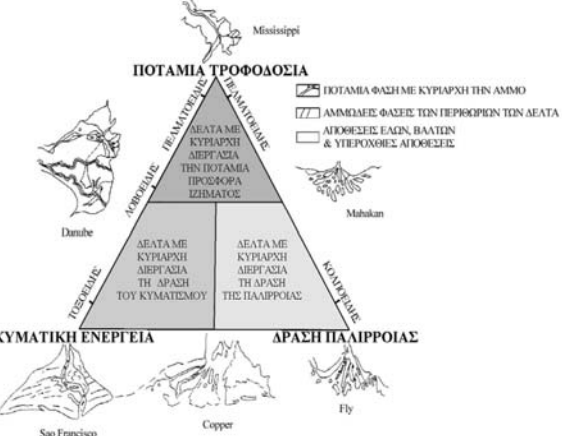
Το τμήμα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί τη δελταϊκή πεδιάδα, η οποία με άλλα λόγια είναι η προς τη θάλασσα συνέχεια της αλουβιακής κοιλάδας του ποταμού. Στην δελταϊκή πεδιάδα παρατηρούνται πολλές εγκαταλελειμμένες κοίτες (abandoned channels) οι οποίες αποτελούν τα παλαιά ίχνη ροής του ποταμού. Η δελταϊκή πεδιάδα διακρίνεται σε άνω ή εσωτερική δελταϊκή πεδιάδα και σε κάτω ή εξωτερική δελταϊκή πεδιάδα. Η άνω (ή εσωτερική) αποτελεί το εγκαταλελειμμένο ή ανενεργό τμήμα του δέλτα το οποίο κυριαρχείται από τις ποτάμιες διεργασίες. Το κάτω (ή εξωτερικό) τμήμα κυριαρχείται από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών (κυματισμός, παράκτια ρεύματα, κ.α.) και αποτελεί μια δυναμικά μεταβαλλόμενη περιοχή. Θα πρέπει να επισημάνουμε πως

δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημαντικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων.

Το μέτωπο του δέλτα περιλαμβάνει την εκβολή του ποταμού, τη δελταϊκή ακτογραμμή και την περιοχή που εκτείνεται από την ακτή προς τη θάλασσα. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ζώνης αυτής διαμορφώνονται κυρίως από τις θαλάσσιες διεργασίες (ποτάμιες διεργασίες, παλίρροια, κυματισμό).

Το τμήμα που βρίσκεται υποθαλάσσια ονομάζεται προδέλτα και αποτελείται από λεπτόκοκκα ιζήματα που αποτίθενται από το εν αιωρήσει υλικό του ποταμού που εισέρχεται στη θάλασσα. Το προδέλτα βρίσκεται κάτω από τη βάση των κυμάτων και συνεπώς δεν επηρεάζεται άμεσα από τον κυματισμό ενώ η επίδραση της παλίρροιας είναι αμελητέα. Στο προδέλτα του ποταμού εμφανίζονται εναλλαγές στρωμάτων με διαφορετική κοκκομετρία, οι οποίες οφείλονται σε διαφορετικά ενεργειακά καθεστώτα του ποταμού. (Εικόνα), (Καρύμπαλης 2004).

Η τελική μορφή των δέλτα είναι αποτέλεσμα της δράσης του ποταμού, δηλαδή της τροφοδοσίας με ίζημα, των κυμάτων- ρευμάτων της ακτής και των παλιρροιών. Ο Galloway το 1975 ταξινόμησε τα δέλτα με κριτήριο το ποια διεργασία είναι κυρίαρχη και υπεύθυνη για την τελική τους διαμόρφωση, σε: (α) πελματοειδή (ημισεληνοειδή), (β) λοβοειδή, (γ) τοξοειδή (επιμήκη) και (δ) κολποειδή (Εικόνες 2.5 και 2.6) (Καραγεωργίου 2005).

	<p>Εικόνα 2.5. Μορφολογικά χαρακτηριστικά των δέλτα.</p>
	<p>Εικόνα 2.6. Ταξινόμηση των δέλτα βάσει των τριών διεργασιών διαμόρφωσής τους: ποτάμια τροφοδοσία, κυματική ενέργεια και παλίρροιες (Galloway 1975).</p>

Το Δέλτα του ποταμού Σπερχειού καταλαμβάνει έκταση περίπου 196 Km² και εκτείνεται ανατολικά του οικισμού της Ανθήλης και νοτιοανατολικά της πόλης της Λαμίας. Αποτελεί το τέταρτο σε μέγεθος δέλτα, στις ακτές του Αιγαίου και το έκτο σε μέγεθος στον Ελλαδικό χώρο. Η δελταϊκή πεδιάδα του Σπερχειού αποτελείται από τα αναχώματα των

διακλαδιζομένων κοιτών, των μεταξύ αυτών δελταϊκών ελών και βάλτων, των παλιρροιακών επιφανειών, το μέτωπο του δέλτα και το προδέλτα. (*Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας* 1995).

Το δελταϊκό προσχωσιγενές του Σπερχείου ποταμού βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της κοιλάδας και έχει έκταση σχεδόν 200km². Ανήκει στον πελματοειδή τύπο των δέλτα (όπως ο Μισισσιππή) και εκβάλλει στον αβαθή και χαμηλής ενέργειας Μαλιακό κόλπο (*Zamani & Maroukian* 1979). Η ροή του ποταμού έχει αλλάξει αρκετές φορές, έχει όμως παραμείνει στο νότιο τμήμα της τάφρου προσχώνοντας την περιοχή μπροστά από τις Θερμοπύλες. Η τελευταία φορά που είχε εκτραπεί η κοίτη του Σπερχείου ήταν το 1889 όταν επήλθε ρήξη του φυσικού της αναχώματος μετά από μία καταστροφική πλημμύρα. Η αύλακα υπερχειλίσης που διανοίχθηκε το 1957-58 βόρεια της σημερινής κοίτης, έχει προσχώσει μια εκτεταμένη αβαθή περιοχή του βορειοδυτικού τμήματος του Μαλιακού κόλπου.

Παράκτια ζώνη

Η παράκτια ζώνη είναι ένα πολύπλοκο και ιδιαίτερα ευμετάβλητο οικοσύστημα, στο οποίο η θέση της ακτογραμμής μεταβάλλεται συνεχώς, ως αποτέλεσμα κυρίως της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διεργασιών του χέρσου (προσφορά ιζήματος) και της θαλάσσιας δράσης (κύματα, παράκτια ρεύματα κ.α.), (*Carter* 1988). Η οριοθέτηση της παράκτιας ζώνης δεν είναι αυστηρά καθορισμένη και εξαρτάται από το σκοπό που εξυπηρετεί κατά περίπτωση, δηλαδή για παράδειγμα όταν μελετάται η μορφολογία και η δυναμική της εξέλιξη, μπορεί να θεωρηθεί ακόμη και ολόκληρη η λεκάνη απορροής των ποταμών που τροφοδοτούν με ιζήματα, νερό, θρεπτικά στοιχεία κ.α. την ακτογραμμή. Σε μία όμως ειδικότερη προσέγγιση μπορεί να οριοθετηθεί μεταξύ της υψομετρικής καμπύλης των 200m και της ισοβαθούς των 200m (υφαλόριο), (*IGBP* 1995). Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στο 18% της επιφάνειας της γης και στο 8% της ωκεάνιας επιφάνειας (*Πούλος* 1998, 1999).

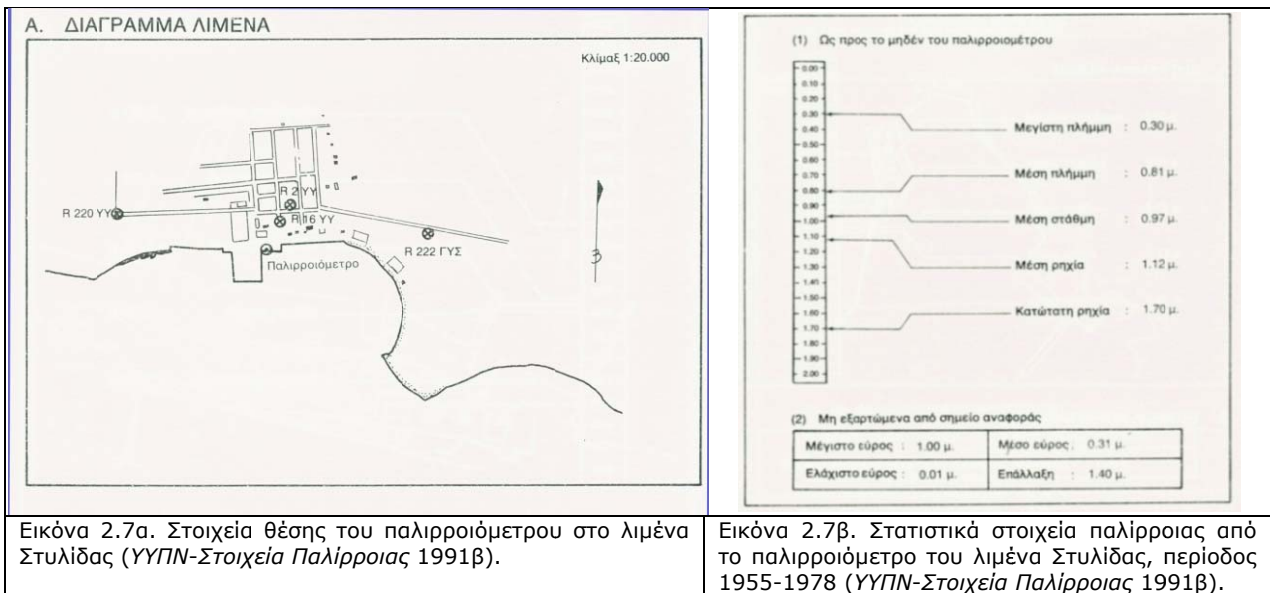
Το μήκος της Ελληνικής ακτογραμμής ξεπερνάει τα 18.000km, όταν η συνολική επιφάνεια της χώρας είναι 131.951km², αντιπροσωπεύοντας περίπου το 10% του συνολικού μήκους της Ευρωπαϊκής ακτογραμμής. Η σπουδαιότητα της παράκτιας ζώνης για την Ελλάδα φαίνεται από την πληθυσμιακή κατανομή, καθώς το 33% του πληθυσμού της χώρας βρίσκεται σε μία παράλια ζώνη εύρους 1-2km (*Πούλος* 1998).

2.2.1.3. Μαλιακός κόλπος

Ο Μαλιακός κόλπος είναι ένα ημίκλειστος, ρηχός, θαλάσσιος κολποειδής σχηματισμός με χαμηλό εύρος παλίρροιας και περιορισμένη κυματική δράση εξαιτίας κυρίως του περιορισμένου του μεγέθους και πλάτους. Το άνοιγμα του Μαλιακού κόλπου από 11,7km στην είσοδό του, ελαττώνεται εσωτερικότερα και φτάνει τα 3,2km στο στενότερο σημείο του μεταξύ της Άκρας Χιλιομίλι και της Άκρας Καραβοφάναρο, εσωτερικότερα δε αυξάνεται και φτάνει τα 10,2km περίπου στο μέσο του εσωτερικού του τμήματος (*ΥΓΠΝ-Πλοηγός* 1991α). Το μέσο μήκος του κόλπου από ανατολή προς δύση είναι περίπου 11 km,. Ο πορθμός που ενώνει τον κόλπο με τον βόρειο Ευβοϊκό κόλπο έχει πλάτος περίπου 2,5km (*Tzianos* 1977, *Poulos* 1989, *Poulos et al.* 1996. *Poulos et al.* 1997).

Οι άνεμοι που δέχεται είναι από ασθενείς έως μέτριοι, γεγονός που επιφέρει μικρή επίδραση της αιολικής διάβρωσης στην παράκτια περιοχή. Οι άνεμοι αυτοί ακόμα και στις

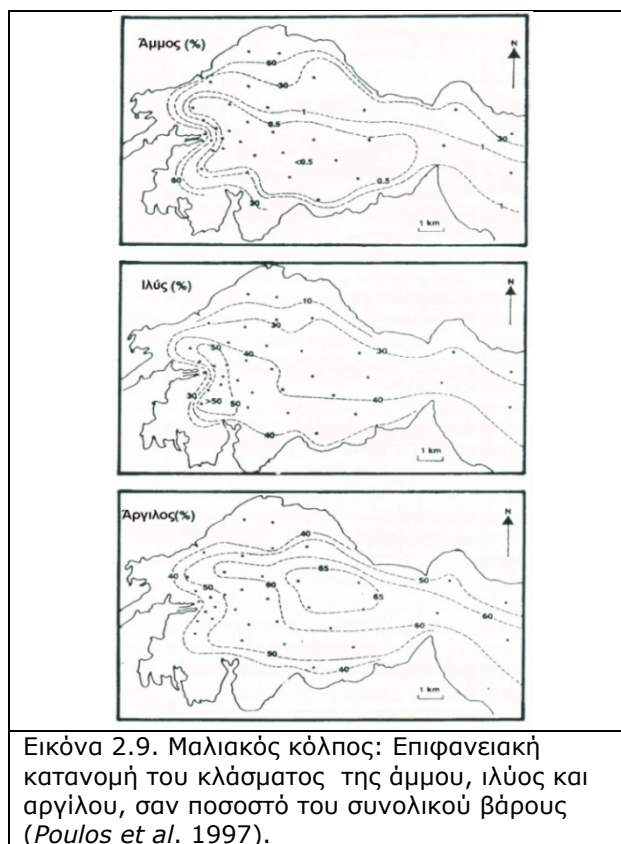
δυσμενέστερες συνθήκες δεν μπορούν να δημιουργήσουν κατάσταση θάλασσας χειρότερη από την ευθαλασσία (ΥΓΠΝ-Πλοηγός 1991α). Το μέγιστο εύρος της παλίρροιας κυμαίνεται από 0,95 έως 1m (κατά την άνοιξη) και το ελάχιστο κυμαίνεται 0,1 έως 0,15, με ένα μέσο εύρος 0,31m και επάλλαξη (δηλαδή η διαφορά των τιμών του ελάχιστου από το μέγιστο μιας παλίρροιας, κατά μία χρονική περίοδο, μεγαλύτερη των 19 ετών) 1,40m (Zamani & Maroukian 1980, ΥΓΠΝ-Στοιχεία Παλίρροιας 1991β), (Εικόνες 2.7 α & β, 2.8). Καλύπτει περίπου μία έκταση 9.000 ha (εκτάρια) και συνδέεται με το Αιγαίο πέλαγος και τον Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, στο ανατολικό άκρο του, μέσω δύο μικρών διαύλων, τον δίαυλο των Ωρεών και τον δίαυλο της Κνημίδας, αντίστοιχα. Στο εξωτερικό ανατολικό τμήμα του, το μέσο βάθος είναι 30 m, ενώ στο εσωτερικό δυτικό του τμήμα δεν ξεπερνά τα 25m (Χρυσοβέργη-Μπακογιάννη & Παναγιωτίδης 1993, ΕΚΒΥ 1997).



Η γενική κυκλοφορία των υδάτινων μαζών του Μαλιακού κόλπου φαίνεται να είναι δεξιόστροφη με εντονότερα ρεύματα στην περιφέρεια και ασθενέστερα στα κεντρικά σημεία του κόλπου. Η υδροδυναμική αυτή δίαιτα, επηρεάζεται τόσο από την παλινδρομική κίνηση των νερών του κόλπου λόγω των παλιρροιακών δυνάμεων, όσο και από την επιρροή έντονων μετεωρολογικών φαινομένων. Σύμφωνα δε με τα όσα αναφέρονται από τους *Zamani & Maroukian* (1980) έχει καταγραφεί ένα ασθενές θαλάσσιο ρεύμα που έχει διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά κατά μήκος του βόρειου τμήματος του κόλπου.

Η κατανομή των ιζημάτων άμμου, ιλύος και αργίλου απεικονίζονται στην Εικόνα 2.9. Το ποσοστό της άμμου είναι πολύ υψηλό (>60%) στο στόμιο εξόδου του ποταμού και μειώνεται στο 5% περίπου 500m προς το κεντρικό σημείο του κόλπου. Μεγάλο ποσοστό άμμου εντοπίζεται επίσης, στο βόρειο τμήμα του κόλπου, ιδιαίτερα κοντά στο λιμάνι της Στυλίδας. Το ποσοστό της ιλύος κυμαίνεται από 30-40% στο κεντρικό τμήμα του κόλπου και γύρω στο 50% στην περιοχή του δέλτα, ενώ το ποσοστό της πέφτει κάτω από 30% στο βόρειο τμήμα του κόλπου και κάτω από 10% κοντά στο λιμάνι της Στυλίδας.

Τέλος, η μέγιστη συγκέντρωση αργίλου εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του κόλπου (>60%), ενώ το ποσοστό της στο βόρειο τμήμα είναι μικρό (20%) και ακόμα πιο μικρό στην περιοχή του δέλτα, ενώ αυτό αυξάνεται προς τα ανοιχτά στο 50-60% (*Poulos et al.* 1996, 1997).



Εικόνα 2.9. Μαλιακός κόλπος: Επιφανειακή κατανομή του κλάσματος της άμμου, ιλύος και αργίλου, σαν ποσοστό του συνολικού βάρους (*Poulos et al.* 1997).

2.2.1.4. Εδάφη - Χλωρίδα - Πανίδα

Σε γενικές γραμμές τα εδάφη της περιοχής του Δέλτα και κυρίως της περιοχής μεταξύ παλαιάς και νέας κοίτης τα εδάφη είναι άργιλο-ιλυώδη βαριάς σύστασης (άργιλος & ιλύς 90%) πλούσια σε ασβέστιο και μαγνήσιο, μέτρια εφοδιασμένα με κάλιο και με pH που κυμαίνεται συνήθως από 7,5-7,9. Καλύτερα εδάφη θεωρούνται εκείνα που βρίσκονται κοντά στις κοίτες του Σπερχειού με σύσταση 30% άργιλο, 30% ιλύ και 30% άμμο. Επίσης, αρκετά μεγάλο ποσοστό των εδαφών των εκβολών παρουσιάζουν αρκετά σοβαρή παθογένεια και είναι αλατούχα, δηλαδή έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα και αλατούχα-αλκαλιωμένα, δηλαδή έχουν βαθμό αλκαλίωσης μεγαλύτερο του 15% και pH συνήθως κάτω από 8,5.

Η χλωρίδα της περιοχής μελέτης περιλαμβάνει στην παράκτια ζώνη, όπου υπάρχουν και τα προβλήματα αλατότητας, βλάστηση χαμηλή, αραιή και θαμνώδη, με είδη ανθεκτικά όπως αλόφυτα, αρμυρίκια, εκτάσεις με αλμυρόβαλτους και καλαμώνες (*Phragmites australis-*

Αγριοκάλαμο), διάφορα είδη βούρλων, καθώς και ορυζώνες. Στην ενδότερη πεδινή περιοχή κυριαρχούν οι αροτραίες καλλιέργειες και τα κηπευτικά καθώς και λίγες δενδρώδεις καλλιέργειες οπωροφόρων (κερασιές, ροδακινιές κλπ) και ακρόδρυων (φιστικιές), ενώ στην βορειοανατολική και νοτιοανατολική περιοχή της λεκάνης κυριαρχεί η καλλιέργεια της ελιάς. Κατά μήκος των αρδευτικών-στραγγιστικών καναλιών η βλάστηση γίνεται από λίγο έως αρκετά πυκνή και αποτελείται από διάφορα είδη υδροχαρών φυτών, όπως καλάμια, βάτα, νερόκρινα, βούρλα κ.α.).

Οι παρόχθιες περιοχές του Σπερχειού και των παραποτάμων του, καταλαμβάνονται από δενδρώδη βλάστηση (κυρίως φυλλοβόλα) που αποτελείται κυρίως από παραποτάμια είδη με πιο αντιπροσωπευτικά τη λευκή Λεύκη (*Populus alba L.*), την Ιτιά (*Salix alba*) το Σκλήθρο (*Alnus glutinosa*) και τον Πλάτανο (*Platanus Orientalis*) καθώς και από υγρούς λειμώνες και έλη γλυκού νερού. Εκτός από τα παραπάνω δασικά είδη που κυριαρχούν, φύονται επίσης σε περιορισμένο αριθμό η Γκορτσιά (*Pyrus amygdaliformis*), η Λυγαριά (*Vitex agnus-cactus*), η Ακακία (*Robinia psejdoacacia*), το Αρμυρικό (*Temarix cretica*) και η Πικροδάφνη (*Nerium oleander*), ενώ η παρεδάφια βλάστηση περιλαμβάνει διάφορα είδη όπως βάτα, αγριοτριανταφυλλιά, τσουκνίδα, τριφύλλι, καυρόχορτο, νερολάπαθο, δρακόντια, ραδίκι, περικοκλάδα κ.α. (Γώγουλος 2004). Στις νότιες και δυτικές ορεινές περιοχές επικρατούν δάση κωνοφόρων (πεύκα, έλατα) και οξιές (*Fagus sylvatica*), ενώ στην βόρεια ορεινή περιοχή επικρατούν κυρίως θαμνώδεις εκτάσεις με αείφυλλα πλατύφυλλα και λιβάδια στα πιο πεδινά και δασική βλάστηση στις πιο ορεινές περιοχές και κυρίως προς τα δυτικά.

Όσον αφορά την πανίδα, αυτή είναι ιδιαίτερα πλούσια, ιδιαίτερα στην περιοχή του Δέλτα όπου μετά την αποξήρανση των λιμνών της Κάρλας και Κωπαΐδας, θεωρείται ως εξαιρετικής σημασίας βιότοπος και σταθμός για πολλά μεταναστευτικά πουλιά το χειμώνα.

Υπάρχουν 260 είδη πουλιών στην περιοχή, αριθμός που αποτελεί περίπου το 62% των ειδών που έχουν παρατηρηθεί μέχρι τώρα σε ολόκληρη την Ελλάδα. Από τα 260 αυτά είδη, τα 100 αναπαράγονται, ενώ τα υπόλοιπα είτε περνούν από την περιοχή κατά την μετανάστευση, είτε ξεχειμωνιάζουν, είτε είναι επισκέπτες από τα γειτονικά βουνά, είτε είναι τυχαία ή σπάνια. Τα 85 είδη περιλαμβάνονται στο παράρτημα Ι της Οδηγίας της ΕΟΚ 79/409. "περί της διατήρησης αγρίων πτηνών", όπου και προστατεύονται. Επίσης από την περιοχή έχουν εκλείψει ορισμένα είδη, όπου μέχρι τα τέλη του '70 ήταν κοινά, όπως το Όρνιο, που ήταν διαδεδομένο στην κοιλάδα Σπερχειού και δεν έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια.

Είδη πτηνών μεγάλου εθνικού ενδιαφέροντος για τα οποία η περιοχή έχει μεγάλη σημασία σε εθνικό και διεθνές επίπεδο είναι η λαγγόνα, ο στικταετός (*Aquila clanga*), ο πελαργός (*Ciconia ciconia*), ο καλαμοκανάς (*Himantopus himantopus*), το νεροχελίδονο (*Glarrola pratincola*), οι μικροτσικνιάδες (*Ixobrychus minutus*), οι ερωδιοί, οι χουλιάρομυτες (*Dlatalea leucorodia*), οι αργυροτσικνιάδες (*Ergetta alba*) και το σπιτοκιρκίνεζο, ενώ τα είδη που έχουν κάνει την περιοχή να ενταχθεί στις σημαντικές Περιοχές για τα πουλιά σε Ελλάδα και Ευρώπη και στις Ζώνες Ειδικής Προστασίας είναι η βαλτόπαπια, η αβοκέτα, η λεπτομύτα (*Numerius temvirostis*) είδος που απειλείται παγκοσμίως με εξαφάνιση, ο Λεπτόραμφος γλάρος και το Νανογλάρονο (Μαζιώτης 1998, Χριστόπουλος 2004).

2.2.2. Γενικά υδρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία

2.2.2.1. Υδρολογικές συνθήκες

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης (2003), με βάση τα δεδομένα 14 βροχομετρικών σταθμών (κυρίως τα δύο δείγματα βροχόπτωσης στη θέση Κομποτάδες και την έξοδο της λεκάνης) για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1966-67 έως 1993-94 (*Κουτσογιάννης και αλ., 2003*) και το δείγμα απορροών στη θέση Κομποτάδες (έκταση λεκάνης 1.112 km²) εκτιμήθηκε ο ολικός όγκος απορροής.

Το τελικό δείγμα που καταρτίστηκε δείχνει ότι οι μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες απορροές εμφανίζονται από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο και κυμαίνονται από 64,6 hm³ τον Νοέμβριο έως και 132,6 hm³ τον Μάρτιο, ενώ οι μικρότερες απορροές εμφανίζονται από το ν Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο και κυμαίνονται από 9,4-15,9 hm³ (όπου 1 hm³ = 10⁶ m³).

2.2.2.2. Κλιματολογία

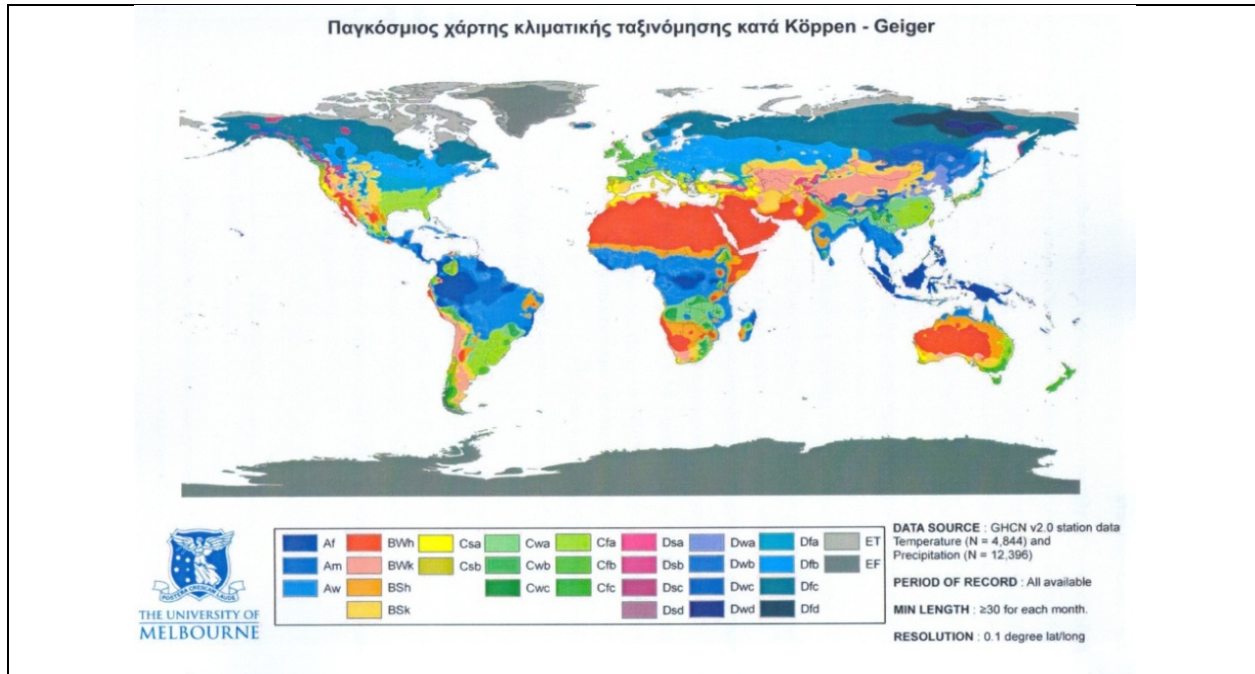
Το κλίμα στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ανήκει στην υποτροπική μεσογειακή ζώνη με τις θερμές και ξηρές (άνομβρες) περιόδους να αρχίζουν στα τέλη της Άνοιξης και να διαρκούν το καλοκαίρι μέχρι και τις αρχές του φθινοπώρου και τις βροχερές περιόδους να συμβαίνουν από τα μέσα του φθινοπώρου, το χειμώνα και τις αρχές της άνοιξης (*Ζαμπάκας 1981, Ρουλος et al. 1997, Ευθυμίου και αλ. 2005*). Ειδικότερα στον Μαλιακό κόλπο το κλίμα χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, ενώ στο εσωτερικό είναι πεδινό ηπειρωτικό στην κοιλάδα του Σπερχειού και ορεινό ηπειρωτικό με ψυχρό και δριμύ χειμώνα σε περιοχές με υψόμετρο πάνω από 500 m.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές με βάση το μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας κυμαίνονται από 7,1° έως 27°C και η μέση μηνιαία τιμή βροχόπτωσης, που υπολογίστηκε από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς της λεκάνης, κυμαίνεται από 575 mm/έτος έως 1.426 mm/έτος, εξαρτώμενη από το υψόμετρο, αλλά και από την ποσότητα του χιονιού που πέφτει συνήθως στα μεγαλύτερα υψόμετρα (*Stahl et al. 1975*). Βάση της κλιματικής υποδιαίρεσης του Köppen & Giger (1936), το κλίμα της περιοχής έρευνας ανήκει στον τύπο Csa που δηλώνει το εύκρατο κλίμα με ξηρό καλοκαίρι, με ύψος βροχόπτωσης για τον ξηρότερο μήνα λιγότερο από 30 mm και μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα υψηλότερη από 22 °C (Εικόνα 2.10).

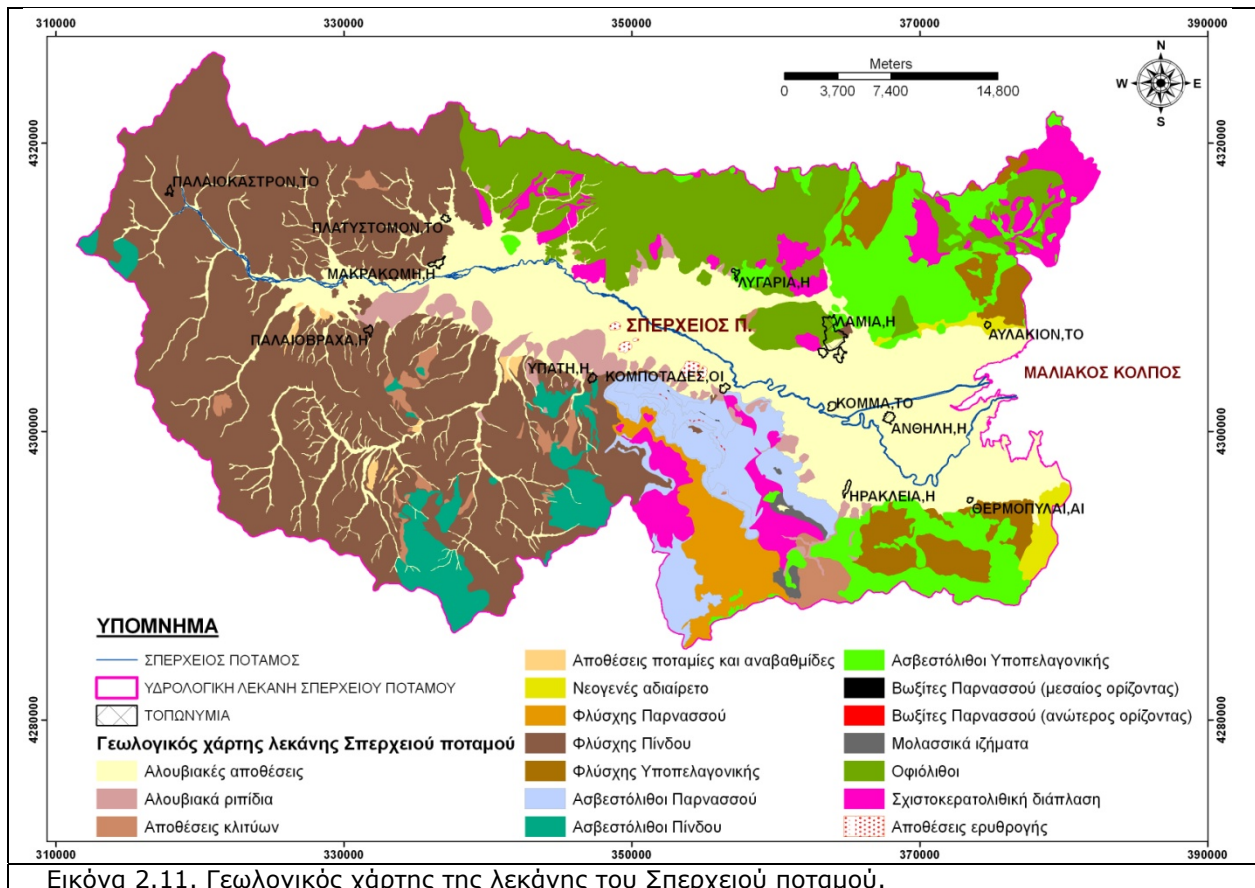
2.2.3. Γεωλογία - Τεκτονική - Σεισμικότητα

2.2.3.1 Γεωλογικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού, χωρίζεται σε τρεις μεγάλες λιθολογικές ενότητες: α) στην δυτική όπου συναντάται αποκλειστικά ο φλύσχος και η κλαστική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, β) στην βόρεια-βορειοανατολική, όπου συναντώνται ασβεστόλιθοι, οφιόλιθοι, και σχιστοκερατόλιθοι της Υποελαγονικής ενότητας και γ) στην νότια-νοτιοανατολική που κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι της ενότητας Παρνασσού-Γκιώνας (*Marinos 1956, Δούνας 1971, Ferrière 1977 & 1982, Dercourt et al. 1980, Wigniole & Ferrière 1980, Maroukian & Lagios 1987, Gartzos & Stamatis 1996*) (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.10. Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen & Geiger (1936).



Εικόνα 2.11. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή, αρχίζουν από το Μέσο Τριαδικό του Μεσοζωικού αιώνα με κλαστικά και ανθρακικά πετρώματα και συνεχίζουν μέχρι σήμερα με τις σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις και προσχώσεις.

Όσον αφορά την προέλευση των πετρωμάτων, αναφέρουμε ότι αυτά είναι Εκρηξιγενή και Ιζηματογενή ενώ εκλείπουν τα Κρυσταλλοσχιστώδη ή μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

Κατά το Μειόκαινο άρχισε η ταφροποίηση του χώρου αυτού, ο οποίος συμπεριλαμβάνεται οριακά στο σύστημα λεκανών της Κεντρικής Ελλάδας, η οποία έγινε με την επενέργεια ρηγμάτων Α-Δκής κυρίως διεύθυνσης. Αρκετά από αυτά τα ρήγματα συνεχίζουν να είναι ενεργά μέχρι και σήμερα κατά κανόνα στην περιοχή της Αταλάντης και των Καμένων Βούρλων. Τα αρχικά τεκτονικά βυθίσματα δέχτηκαν τα πρώτα ποταμοχερσαία ιζήματα, από τη διάβρωση των γύρω περιοχών και στη συνέχεια κυρίως στο Πλειόκαινο, ακολούθησε περίοδος λιμνοποίησης των βυθισμάτων με σχεδόν παράλληλη εξελικτική πορεία της λεκάνης. Σ' αυτή την περίοδο αποτέθηκαν λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία δέχτηκαν την επίδραση νεώτερων τεκτονικών δυνάμεων και ρηγματώθηκαν κυρίως κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου - Μέσου Τεταρτογενούς.

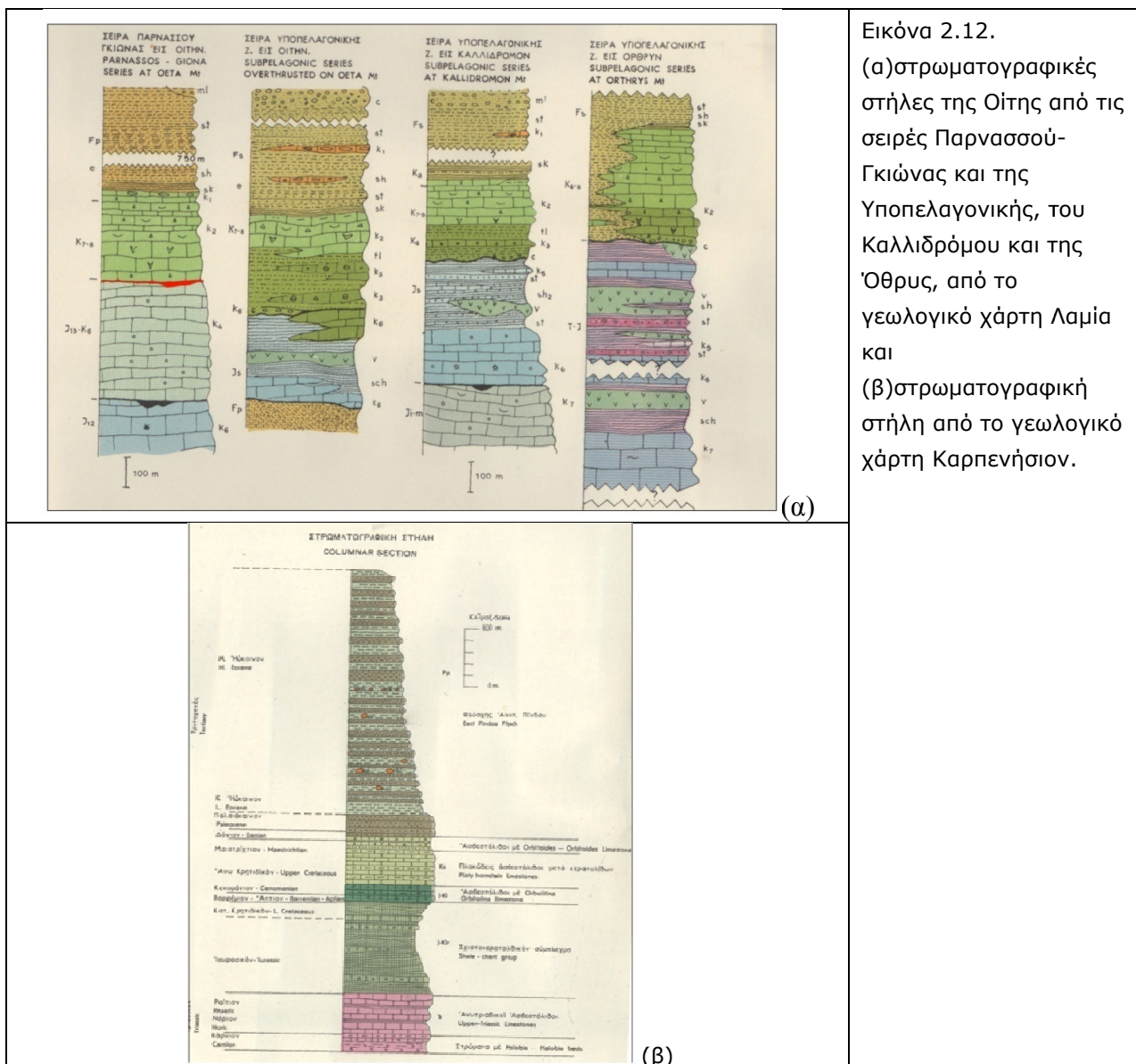
Τέλος, κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς η λιμναία ιζηματογένεση διακόπηκε, ακολούθησε αντίστοιχη λιμνοδελταϊκή και ποταμοχερσαία, ενώ πλευρικά ριπίδια κάλυψαν αρκετές περιοχές στα περιθώρια της λεκάνης. Μέσα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης αυτής, υπάρχουν οι ακόλουθες εμφανίσεις γεωλογικών σχηματισμών ή αποθέσεων:

i) Βωξίτες Υποπελαγονικής ζώνης ανωτέρου και μεσαίου ορίζοντα, υψηλής πηλολιθικής με υψηλή περιεκτικότητα σε SiO_2 και Al_2O_3 , κυρίως αδιάλυτου τύπου χρώματος ερυθροφαιού. Οι ανωτέρου ορίζοντα (τρίτος) είναι αδιάλυτου τύπου, έχουν σημαντικό επιφανειακό εύρος, αλλά παρουσιάζουν μικρό πάχος, μερικών μόνο μέτρων (Εικόνα 2.12, κόκκινο χρώμα). Οι βωξίτες του μεσαίου ορίζοντα (δευτέρος) είναι διαλυτού τύπου συνήθως, έχουν μικρότερο επιφανειακό εύρος και πάχος που κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως και λίγες δεκάδες μέτρα (Εικόνα 2.12, μαύρο χρώμα). Χρονολογικά τοποθετούνται κυρίως στο Νεοκρητιδικό του Μεσοζωικού, αν και κοιτάσματα χρονολογούνται στο Ιουρασικό. Γεωγραφικά αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα του Σπερχειού και στους πρόποδες της Οίτης. Οι βωξίτες αυτοί περιέχουν επίσης χημικά στοιχεία όπως Ni, Fe, Cr και Zn σε αρκετά σημαντικές ποσότητες (*Augustithis et al. 1978, Valetton et al. 1987*).

Βόρεια του Σπερχειού και σε έκταση που καταλαμβάνει περιοχές της Νότιας Θεσσαλίας και φτάνει έως το βόρειο μέρος τόσο της Ευρυτανίας όσο και της Φθιώτιδας και ανήκει στον ορεινό όγκο της Όθρυος, συναντάμε Βασικά και Υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος που περιλαμβάνουν διαβάσεις, μελαφύρες, σπιλιτικούς βασάλτες η βασάλτη και μελαφύρη, τόφφους, ηφαιστιακά λατυποπαγή καθώς και διαβασικούς πορφυρίτες, κεροστιλβίτες και διορίτες. Στη συνέχεια παρατηρούμε περιδοτίτες, δουνίτες με χρωμίτες, πυροξενικούς περιδοτίτες, ολιβινίτες, πυροξενίτες, γάββρους, γαββροαπλίτες, γαββροπηγματίτες και σερπεντινίτες. Επίσης, συναντούμε αμυγδαλόλιθους και προσκεφαλοειδείς λάβες. Όλα τα παραπάνω πετρώματα αποτελούν την "Οφιολιθική σειρά" (Εικόνα 2.12).

ii) "Σχιστοκερατολιθική διάπλαση", πρόκειται για ένα σύστημα αργιλικών σχιστόλιθων, κερατολίθων και μαργαϊκών ασβεστόλιθων σε λεπτά εναλλασσόμενα στρώματα, μέσα στα οποία απαντάται η "Οφιολιθική σειρά" και η οποία περιλαμβάνει στη σειρά ακολουθώντας την

ροή του Σπερχειού πετρώματα όπως μαξιλορειδιείς λάβες και σερπεντινίτες. Προχωρώντας βλέπουμε ότι η "σχιστοκερστολιθική διάπλαση", συγκροτείται από οφιόλιθους, πλακώδεις ή συμπαγείς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, και σπάνια κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί που παρατηρούνται στη συνέχεια και που το πάχος τους είναι 100m περίπου, αποτελούνται από φλυσχοειδή (μαργαϊκούς αργίλους, ψαμμίτες, ψηφίτοπαγίτες) και μικροκροκαλοπαγείς ασβεστόλιθους. Σε πάχος 500m περίπου και στην περιοχή Καστρί παρατηρούμε σχιστόλιθους μαρμαρυγιακούς, αργιλικούς και τοφφικούς καθώς και χαλαζιακούς ψαμμίτες και πυριτιούχους ασβεστόλιθους. Στον λόφο Καστρίου βλέπουμε ραδιολαρίτες, κερατόλιθους και σχιστόλιθους πάχους 20-50m και των οποίων η ηλικία προσδιορίζεται στο Βαλανζίνιο έως το Ωτερίβιο της Κρητιδικής περιόδου του Μεσοζωικού αιώνα. Για πάχος 400m του σχιστοκερατολιθικού συμπλέγματος υπάρχουν ψαμμίτες, ασβεστιτικοί ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, ραδιολαρίτες και τόφφοι, ενώ προς το ανώτερο μέρος ψαμμίτες υποπράσινοι με



Εικόνα 2.12. (α)στρωματογραφικές στήλες της Οίτης από τις σειρές Παρνασσού-Γκιώνας και της Υποπελαγονικής, του Καλλιδρόμου και της Όθρυς, από το γεωλογικό χάρτη Λαμία και (β)στρωματογραφική στήλη από το γεωλογικό χάρτη Καρπενήσιον.

ενστρώσεις αδρομερών κλαστικών ή κροκαλοπαγών ασβεστόλιθων οι οποίοι πολύ πιθανόν προέρχονται από υπερκείμενα στρώματα Ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Ξεκινώντας και έχοντας σαν βάση τις πηγές του Σπερχειού και καταλήγοντας στις εκβολές του, συναντούμε επίσης δολομίτες και ασβεστόλιθους, που βρίσκονται εντός της "Σχιστοκερατολιθικής διάπλασης" που είναι συνήθως συμπαγείς και άστρωτοι. Χαρακτηριστικά πρέπει να σημειωθεί ότι, οι μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες παρατηρούνται κυρίως στην Νότια πλευρά του Σπερχειού προς τη ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας όπως και στους πρόποδες της Όθρυος στα όρια Θεσσαλίας - Στερεάς Ελλάδας (*Μοιραλιώτης 2000*).

Συνεχίζοντας παρατηρούμε πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με απολιθώματα, καθώς και συμπαγείς ασβεστόλιθους. Σε ένα ορατό πάχος 200 m υπάρχουν ασβεστόλιθοι βιτουμειούχοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις και ωολιθικοί κατά θέσεις, ενώ για πάχος 150 m περίπου συναντούμε σκοτεινότεφρους έως τεφρούς, κατά θέσεις ωολιθικούς ασβεστόλιθους με καλή στρώση σε συνδυασμό με δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους.

Εξελισσόμενοι προς τα πάνω, υπάρχουν συμπαγείς ασβεστόλιθοι που προέρχονται από εκπλυσιγενείς πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Ανώτερου Κρητιδικού. Μεσοστρωματώδεις τεφροί ασβεστόλιθοι υπάρχουν για πάχος 20-40 m και η ηλικία τους προσδιορίζεται στο Τουρώνιο έως Σενώνιο του Νεοκρητιδικού. Ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι συναντώνται για πάχος 160 m που στα ανώτερα 20-60 m μεταβαίνουν πλευρικά σε αργιλοψαμμιτικά ιζήματα χαλαρής συνοχής. Παρατηρούνται, ανώτεροι ορίζοντες που αντιπροσωπεύουν το Κιμμερίδιο (Ιουρασικό) με ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις στιφρούς και "ενδιάμεσους" μεσοστρωματώδεις στιφρούς και κατά θέσεις ωολιθικούς. Οι "ενδιάμεσοι" ασβεστόλιθοι, περιλαμβάνονται μεταξύ του ανωτέρου και μεσαίου βωξιτικού ορίζοντα και βρίσκονται σε μικρή γωνιώδη ασυμφωνία με το υπερκείμενο ασβεστολιθικό σύστημα πάχους 250 m του ανωτέρου βωξιτικού ορίζοντα.

Αυτό το ασβεστολιθικό σύστημα, αποτελείται από μεσοστρωματώδεις, λατυποπαγείς σκοτεινότεφρους ασβεστόλιθους στο κατώτερο μέρος, ακολουθούν παχυστρωματώδεις βιτουμειούχοι ασβεστόλιθοι πάχους 60 m και πάνω από αυτούς συνεχίζουν μικρολατυποπαγείς και μικροκροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι πάχους 150 m που εξελίσσονται σε πελαγικούς αξιόλογου πάχους.

Στη συνέχεια απαντώνται κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμιτών πάχους 60m, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με ψαμμίτες, ασβεστόλιθους θραυσματογενείς ή με κερατόλιθους πάχους 50-100 m ενώ στη βάση τους υπάρχουν πράσινοι τόφφοι με πάχος περίπου 25 m και με ηλικία που προσδιορίζεται στο Μέσο - Ανώτερο Ιουρασικό. Ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις ραδιολαριτών, σχιστολίθων, πράσινων τόφφων βασικών εκρηξιγενών ηφαιστιτών, κερατολίθων, σχιστόλιθων και ασβεστιτικών ψαμμιτών εμφανίζονται για 400 m ενώ υπάρχουν επίσης ασβεστόλιθοι άστρωτοι και πλακώδεις με μεμονωμένες ταινίες κερατολίθων. Τελικά φτάνουμε σε κροκαλοπαγή που αποτελούνται από κερατολιθικές κροκάλες και σε ασβεστόλιθους κλαστικούς με θραύσματα ρουδιστών. Με νεώτερη ηλικία, συναντούμε ασβεστόλιθους πελαγικούς και μαργαϊκούς που είναι λεπτοστρωματώδεις έως άστρωτοι με κερατολιθικούς και κονδύλους στα ανώτερα στρώματα, ενώ στα μεσαία στρώματα είναι καλώς στρωμένοι μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι με τοφφίτικα και αμμούχα στρώματα καθώς και πλακώδεις κλαστικοί ασβεστόλιθοι. Τέλος στο

κατώτερο τμήμα, υπάρχουν λεπτά στρώματα ασβεστόλιθων και σχιστόλιθων που εναλλάσσονται σε πάχος 15 m (Εικόνα 2.11).

iii) Φλυσχικά ιζήματα παρατηρούνται τόσο στην περιοχή της Στυλίδας όνο και της Λαμίας και της Σπερχειάδας. Στην Στυλίδα συναντούμε κροκαλοπαγή μέσα στη διάπλαση του Ανωκρητιδικού φλύσχη, όπως και ψαμμιτικό φλύσχη με πολλές κροκάλες, αργιλικούς ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και παρενστρωμένους ασβεστόλιθους. Η περιοχή της Λαμίας έχει κυρίως φλύσχη αδιαίρετο, ο οποίος συνίσταται από αδρόκοκκους ψαμμίτες που εναλλάσσονται με αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμούχες μάργες. Συχνά μέσα στο φλύσχη παρατηρούνται κροκαλοπαγή μεγάλου πάχους από γνευσιακές και γρανιτικές κροκάλες.

Στο φλύσχη Παρνασσού-Γκιώνας και κυρίως της δυτικής παρυφής της Όθρου, μέχρι πάχος 600m, παρατηρούνται γραουβάκες και κροκαλοπαγή με ασβεστόλιθους καθώς και πολυάριθμες ενστρώσεις νουμουλιτοφόρων ασβεστολίθων ηλικίας Ηώκαινου της Τριτογενούς του Καινοζωικού αιώνα, ενώ στη βάση για 10-20 m πάχος, έχουμε ερυθρούς σχιστόλιθους με λεπτά στρώματα νουμουλιτοφόρων ασβεστόλιθων Παλαιοκαίνου του Καινοζωικού. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι το πάχος των στρωμάτων του φλύσχη ποικίλει και κατά τόπους είναι δυνατό να είναι σημαντικά μικρότερο (Εικόνα 2.12).

Στη βάση του φλύσχη, βλέπουμε σχιστόλιθους και συμπαγείς μάργες καθώς και γραουβάκες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ή ακολουθίες που αποτελούνται κυρίως από γραουβάκες με παρενστρωμένους νουμουλιτικούς ασβεστόλιθους. Αργιλίτες, συμπαγείς μάργες, γραουβάκες, ψαμμίτες, λεπτομερή κροκαλοπαγή και ιλυόλιθοι εναλλάσσονται με την εξής σειρά:

-Αργιλίτες - Συμπαγείς μάργες με συχνές εναλλαγές σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων γραουβάκων.

-Γραουβάκες, ψαμμίτες και λεπτομερή κροκαλοπαγή με παρεμβολές σχιστολίθων, όπου η τομή του φλύσχη από πάνω προς τα κάτω, δείχνει ότι για 500 m υπάρχουν σχιστόλιθοι και ιλυόλιθοι με ενστρώσεις γραουβάκων που φτάνουν τα 100m περίπου, 1000m σχιστόλιθοι και παχυστρωματώδεις γραουβάκες με στρώματα κροκαλοπαγών οι οποίοι εναλλάσσονται κάθε 5-10m, και το κατώτερο τμήμα πάχους 10-20 m αποτελείται από σχιστόλιθους με παρενστρωμένους γραουβάκες.

-Αργιλίτες, ιλυόλιθοι που συχνά εναλλάσσονται με λεπτές στρώσεις γραουβάκου.

Θα πρέπει δε, να τονιστεί ότι τα όρια του φλύσχη της Ανατολικής Πίνδου και του ορεινού συμπλέγματος Όθρου - Γκιώνας, είναι εντελώς συμβατικά.

iv) Στην περιοχή της Λαμίας, παρατηρούμε ιζήματα μολασσικού τύπου από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες με μαργαϊκές παρεμβολές. Επίκεινται των αλπικών σχηματισμών και είναι ελαφρώς πτυχωμένα. Αυτοί οι σχηματισμοί θεωρούνται προέκταση προς το νότο των ολιγοκαινικών ιζημάτων της Μεσοελληνικής Αύλακας, που αποτελεί μία από τις κυριότερες μολασσικές λεκάνες του Ελληνικού τόξου και παρουσιάζουν κατολισθητικά φαινόμενα, γιατί συνήθως δεν επικρατεί η αδρομερής φάση (κροκαλοπαγή με μεγάλο βαθμό συνοχής), αλλά υλικά με ασθενή συνοχή που εναλλάσσονται με συνεκτικότερους σχηματισμούς, όπως οι ψαμμίτες με κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Εικόνα 2.12).

v) Στο νοτιοανατολικότερο τμήμα της μελετούμενης περιοχής, συναντούμε Νεογενές αδιαίρετο, κατά το πλείστον Πλειόκαινου με μάργες, αργίλους, χαλίκια, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Παρατηρούμε επίσης Νεογενές λιμναίας φάσης

με λιγνίτες και κατά θέσεις Νεογενές θαλάσσιο, στα οποία περιέχονται αρκετά απολιθώματα. Στην περιοχή κοντά στα Ιαματικά λουτρά της Υπάτης, παρατηρούνται κατά θέσεις Αποθέσεις ερυθρογής, που ουσιαστικά είναι τοφφικά υλικά τα οποία έχουν αποτεθεί από τις θερμές πηγές. Λόγω των έντονων πλημμυρών του Σπερχειού, είναι πιθανό να έχουν χαθεί από τον επιφανειακό ορίζοντα και να έχουν επικαλυφθεί από τις αλουβιακές αποθέσεις και τις πρόσφατες προσχώσεις (Εικόνα 2.12).

Κοντά στις πηγές του Σπερχειού και κάπως Νοτιοδυτικά, συναντούμε ριπίδια και κώνους κορημάτων χειμαρρώδους προέλευσης καθώς και πλευρικά κορήματα. Έχουμε επίσης συσσώρευση ογκωδών τεμαχίων ασβεστόλιθου που προήλθαν από καταπτώσεις και κατακερματισμούς. Ενδιάμεσα και πάνω στα φλυσικά ιζήματα που προαναφέρθηκαν έχουμε αλουβιακά ριπίδια από αργίλους, άμμους, χάλικες στις κύριες κοιλάδες, ενώ στις δευτερεύουσες κοιλάδες, αλουβιακά ριπίδια από κώνους κορημάτων. Υπάρχουν ακόμη αδρομερείς αποθέσεις κλιτύων, που είναι κώνοι προβολής και παγετώδεις όγκοι, αποτελούμενοι από γωνιώδη τεμάχια διαφόρων μεγεθών κυρίως από ασβεστόλιθους και γραουβάκες. Επιπλέον, είναι δυνατό να παρατηρηθούν πλευρικά κορήματα, τα οποία είτε αποτελούνται από μικρά γωνιώδη τεμάχια καθώς και λεπτόκοκκες αμμούχες - αργιλούχες αποθέσεις, είτε μεταπίπτουν βαθμιαία σε αδιαβάθμητες μάζες από κατολισθαίνοντας υλικά και σε μη παγετώδεις ροές εδάφους και τα οποία αποτελούνται κυρίως από αργιλικό υλικό και ιδιαίτερα από αποθέσεις κλιτύων φλύσχη (Εικόνα 2.12).

Ολοκληρώνοντας την γεωλογική περιγραφή της περιοχής, αναφέρουμε τον σημαντικότερο και επικρατέστερο γεωλογικό σχηματισμό της περιοχής τον οποίο διασχίζει ο Σπερχειός και που είναι οι αποθέσεις αυτού και οι πρόσφατες προσχώσεις. Αναφερόμαστε σε Τεταρτογενές αδιαίρετο διλούβιο και αλούβιο, όπου έχουμε διάφορες προσχώσεις και κορήματα λόφων από αργίλους, άμμους, λατύπες και κροκάλες, ενώ παράκτια παρατηρούνται προσχώσεις κροκαλοπαγών. Σημαντική αναφορά θα πρέπει να γίνει στις ποτάμιες αποθέσεις αναβαθμούς, όπως και τις χερσαίες αποθέσεις που αποτελούνται από άμμους, αργίλους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και ερυθρό πηλό. Στην κοιλάδα του Σπερχειού γενικότερα, παρατηρούνται πρόσφατες προσχώσεις (άργιλοι, άμμοι, χάλικες, κροκάλες), ενώ σε αναβαθμούς οι οποίοι βρίσκονται 20m ψηλότερα από τον πυθμένα της κοιλάδας, παρατηρούνται αποθέσεις ερυθρού πηλού ανάμεικτες με άμμους και χάλικες.

Τέλος, συναντούνται παλαιότερες ποτάμιες αποθέσεις από αργίλους, άμμους και χαλίκια χωρίς να εμφανίζεται πρόσφατη εναπόθεση υλικών πάνω από αυτά και βέβαια νέες αποθέσεις που συνίστανται από αργίλους, άμμους και χαλίκια. Χαρακτηριστικά πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες παρατηρούνται κυρίως στην Νότια πλευρά του Σπερχειού προς τη ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας όπως και στους πρόποδες της Όθρυος στα όρια Θεσσαλίας - Στερεάς Ελλάδας (Εικόνα 2.12).

2.2.3.2. Γεωτεκτονική ένταξη

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού, όπως και ο Μαλιακός κόλπος αποτελούν την μορφολογική έκφραση ενός ασύμμετρου τεκτονικού βυθίσματος, το οποίο σχετίζεται με μια ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ, καθώς και διαρρήξεων ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης στο κέντρο της λεκάνης παράλληλων με το κανονικό ρήγμα της Αταλάντης.

Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης που καθορίζουν το βύθισμα της κοιλάδας του Σπερχειού τεμαχίζουν τους διάφορους σχηματισμούς των κρασπέδων κόβοντας σχεδόν κάθετα τους άξονες των πτυχώσεων και τις επαφές των διαφόρων τεκτονικών ενοτήτων που είχαν σχηματιστεί κατά τη διάρκεια της εφραπτομενικής τεκτονικής. Στο κέντρο της λεκάνης εμφανίζονται διαρρήξεις ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης που πιθανόν έχουν επηρεάσει τις προσχωσιγενείς αποθέσεις της πεδιάδας.

Στην περιοχή εμφανίζονται οι εσωτερικές γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων που είναι επωθημένες στις εξωτερικές. Η κοιλάδα, περιλαμβάνει τις γεωτεκτονικές ζώνες Πίνδου (εξωτερικές Ελληνίδες) και Υποπελαγονικής ή Ανατολικής Ελλάδας (εσωτερικές Ελληνίδες). Στο νότιο και κεντρικό τμήμα της εκτείνεται η υποζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, η Βοιωτική στο κεντρικό, η Μαλιακή στο βόρειο και βορειοανατολικό ενώ δυτικά εκτείνεται η ζώνη της Πίνδου (*Trippler et al. 1979, Παπανικολάου 1984, Μουντράκης 1985, Κατσικάτσος 1992, Μιγκίρος 1991; 1996, Μοιραλιώτης 2000*).

Ζώνη Πίνδου

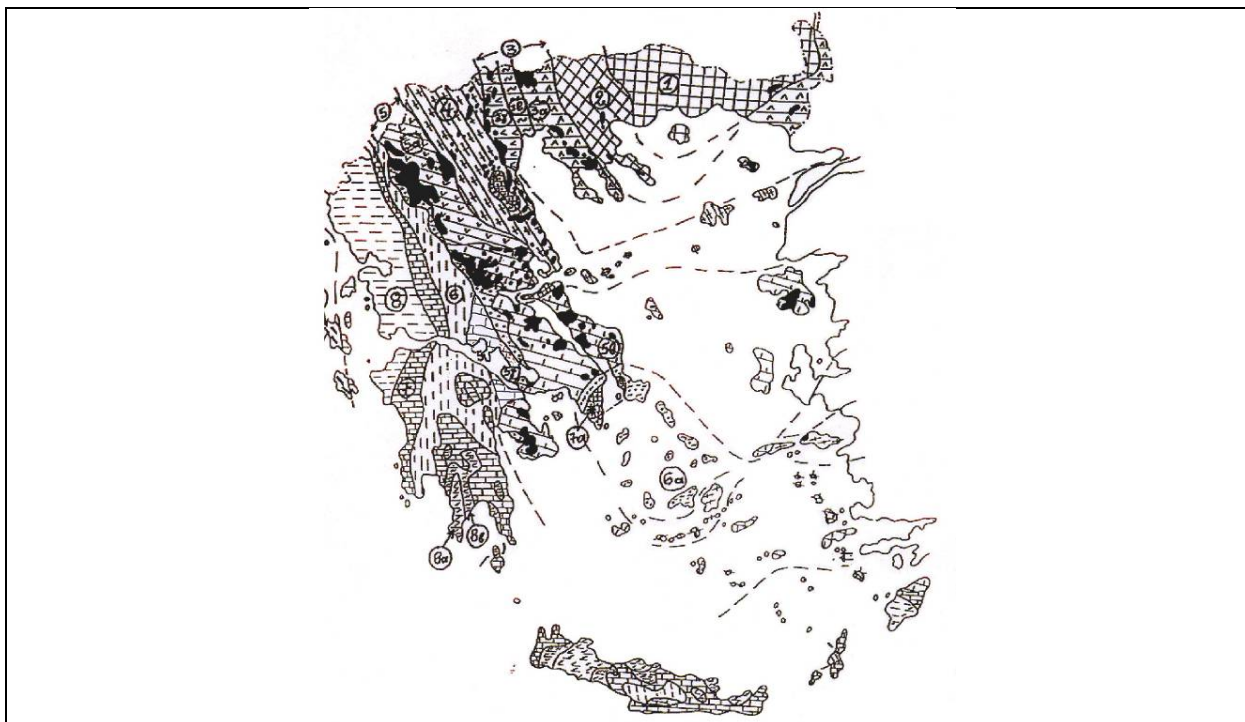
Η γεωτεκτονική αυτή ζώνη, αποτελεί τη ραχοκοκαλιά των Ελληνίδων οροσειρών τόσο γεωγραφικά όσο και γεωλογικά και εκτείνεται από την Βόρεια Πίνδο μέχρι και τη Ναυπακτία και στη συνέχεια περνάει στην Πελοπόννησο. Γεωτεκτονικά οι σχηματισμοί της ζώνης της Πίνδου βρίσκονται μεταξύ της ζώνης της Ανατολικής Ελλάδος και αυτής του Γαβρόβου-Τριπόλεως.

Χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής, που είναι αποτέλεσμα της μεγάλης πλαστικότητας των πετρωμάτων που την αποτελούν, είναι η έντονη πτύχωση που έχει υποστεί με παράλληλη παρουσία μεγάλων λεπιώσεων, δηλαδή προωθήσεις σχηματισμών επάνω στους ίδιους σχηματισμούς ρυθμικά, τοποθετώντας έτσι παλαιότερα πετρώματα επάνω σε νεότερα. Επίσης άλλο χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής αποτελεί το γεγονός ότι σε ολόκληρη την αλπική περίοδο αποτελούσε παλαιογεωγραφικά βαθιά θάλασσα.

Γενικά τα πρώτα αλπικά ιζήματα σε όλη την Πίνδο είναι δολομίτες και ασβεστόλιθοι Μεσοτριάδικης ηλικίας. Στο Ανώτερο Τριαδικό οι ασβεστόλιθοι γίνονται πελαγικοί και πλακώδεις με παρεμβολές και μικροενστρώσεις κερατόλιθων και λιγότερο αργιλικών σχιστόλιθων. Το Ιουρασικό εκφράζεται με κερατόλιθους, πελαγικούς πυριτικούς ασβεστόλιθους και ιάσπιδες και λιγότερο ψαμμίτες. Η όλη σειρά της ζώνης της Πίνδου συνεχίζεται προς τα επάνω, χωρίς καμιά διακοπή, σε πλακώδεις Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι, με την παρουσία ενός μεταβατικού ορίζοντα από πλακώδεις ασβεστόλιθους και ψαμμίτες, μεταβαίνουν σε ιζήματα φλύσχη. Ο Φλύσξης αυτός έχει μεγάλο πάχος και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων με παρεμβολές κροκαλοπαγών. Η ηλικία έναρξής του τοποθετείται στο τέλος του Ανωκρητιδικού – αρχές Παλαιοκαίνου.

Υποπελαγονική ζώνη – Ζώνη Ανατολικής Ελλάδος

Η ζώνη αυτή αναπτύσσεται δυτικότερα της Πελαγονικής και είναι ιδιόρρυθμη σε σχέση με τις άλλες ζώνες των Ελληνίδων, γεγονός το οποίο οφείλεται στον τρόπο ανάπτυξής της/ καθώς και στις έντονες λιθοστρωματογραφικές μεταβολές που παρουσιάζει κατά το μήκος της.



Εικόνα 2.13. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (Μιγκίρος 1991).

1.Μάζα Ροδόπης, 2.Σερβομακεδονική μάζα, 3.Ζώνη Αξίου(υποζώνες:3α.Παιονίας, 3β.Πάϊκου, 3γ.Αλμωπίας), 4.Πελαγονική ζώνη, 5.Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας ή Υποπελαγονική (υποζώνες:5α.Θεόπετρας-Γρεβενών, 5β.Μαλιακή, 5γ.Βοιωτική, 5δ.Παρνασσού-Γκιώνας), 6.Ζώνη Ωλονού-Πίνδου (6α.Ενότητα Αττικοκυκλαδική), 7.Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως (7α. Ενότητες Ολύμπου-Όσσας και Αλμυροποτάμου), 8.Ζώνη Ιόνιος (8α.Ενότητα Μάνης, 8β. Ενότητα Φυλλιών-Χαλαζιτών), 9.Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος.

Στην Υποπελαγονική ζώνη διακρίνουμε τις ακόλουθες τέσσερις υποζώνες: Υποζώνη Θεόπετρας-Γρεβενών, Υποζώνη Μαλιακή, Υποζώνη Βοιωτική και Υποζώνη Παρνασσού-Γκιώνας

Η κοιλάδα του Σπερχειού ποταμού διασχίζει τη Μαλιακή, τη Βοιωτική, καθώς και την υποζώνη Παρνασσού-Γκιώνας (Μιγκίρος 1991, Εικόνα 2.13).

Η Μαλιακή υποζώνη βρίσκεται νοτιοδυτικά της υποζώνης Θεόπετρας-Γρεβενών και αποτελούσε τα παλαιοπεριθώρια του δυτικού οφιολιθικού τόξου. Η λιθοστρωματογραφική σύνθεσή της εκφράζεται στη συνέχεια από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς:

α. Νεοπαλαιοζωϊκοί σχηματισμοί που αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτες, φυλλίτες και χλωριτικούς σχιστόλιθους.

β. Κάτω-Μεσοτριάδικούς σχηματισμούς που αποτελούνται κυρίως από κλαστικά πετρώματα (κυρίως ψαμμίτες), βασικά εκρηξιγενή πετρώματα (κυρίως υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικής σύστασης που κατά θέσεις έχουν μεγάλη έκταση) και ασβεστολιθικές ενστρώσεις ποικίλου πάχους.

γ. Μεσοτριάδικοί-Ανωιουρασιακοί ασβεστόλιθοι, πρόκειται για ιζήματα πλατφόρμας τα οποία προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα βαθύτερης θάλασσας που είναι πηλίτες και ραδιολαρίτες.

δ. Προ-Ανωκρητιδικοί οφιολιθικοί κυρίως σχηματισμοί, οι οποίοι καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση και διακρίνονται γενικά σε μία κατώτερη ενότητα από ηφαιστειοιζηματογενείς

κυρίως σχηματισμούς και σε μία ανώτερη, επωθημένη στην κατώτερη, από οφιολιθικούς σχηματισμούς οι οποίοι κατά θέσεις συγκροτούν οφιολιθικά συμπλέγματα (περιοχή Όθρυος)

ε. Κατωκρητιδικά κλαστικά (1ος Φλύσσης) πετρώματα από ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους, μέσα στους οποίους απαντούν ολισθόλιθοι και ολιθοστρώματα κυρίως οφιολιθικών πετρωμάτων.

ζ. Ανωκρητιδικοί σχηματισμοί από εκπλυσιγενείς ασβεστόλιθους, οι οποίοι προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα φλύσση Μαιστριχτίου-Παλαιόκαινου ηλικίας.

Η Βοιωτική υποζώνη εμφανίζεται κυρίως στα Γεράνεια, στη Βοιωτία, στον Παρνασσό, στη Δυτική Όθρυ, στον Κόζιακα και στη Βόρεια Πίνδο. Λιθοστρωματογραφικά, η Βοιωτική υποζώνη παρουσιάζει κυρίως μεγάλες λιθοφασικές μεταβολές, μπορεί όμως γενικά να αναλυθεί από κάτω προς τα επάνω σε:

α. Κατώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών, Περμοτριάδικής ηλικίας αποτελούμενη κυρίως από ψαμμίτες με αργιλικές και ασβεστολιθικές ενστρώσεις.

β. Ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι και αργιλικοί σχιστόλιθοι σε εναλλαγές ηλικίας Ανωκρητιδικής-Μεσοιουρασιακής.

γ. Ανωιουρασιακοί σχηματισμοί από ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή.

δ. Ανώτερη σειρά κλαστικών σχηματισμών (Βοιωτικός φλύσσης), ηλικίας Ανωιουρασιακής-Κατωκρητιδικής, από εναλλαγές κυρίως ασβεστόλιθων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών κυρίως από οφιολιθικά στοιχεία.

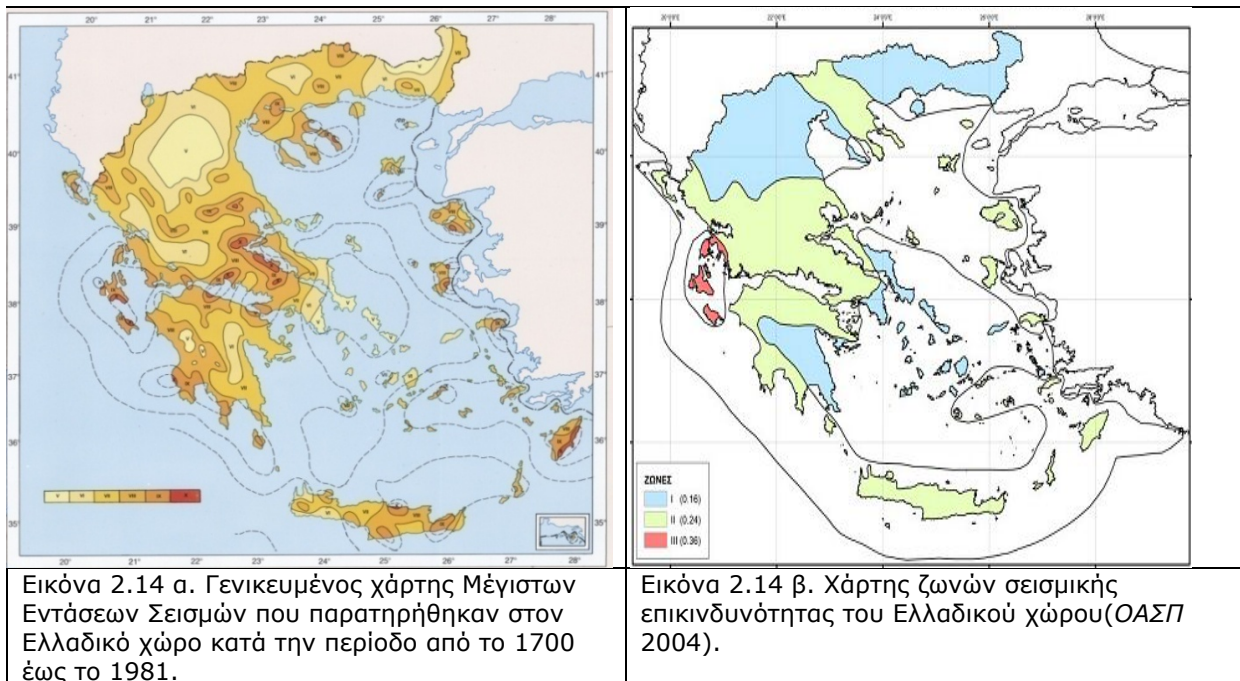
ε. Ασβεστόλιθοι Σενωνίου, οι οποίοι προς τα επάνω περνούν σε ιζήματα φλύσση ηλικίας Μαιστρίχτιου-Παλαιοκαινού.

Η υποζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, γεωτεκτονικά, παρεμβάλλεται μεταξύ της υποζώνης της Βοιωτίας και της ζώνης της Πίνδου και αποτελούσε ύβωμα κατά την Αλπική περίοδο. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία βωξιτικών οριζόντων μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων. Αυτοί εμφανίζονται σε τρεις διαφορετικούς στρωματογραφικούς άξονες, ανεξάρτητους μεταξύ τους, που καλούνται από τον παλαιότερο προς τον νεότερο σαν 1^{ος} (Ανωιουρασιακής ηλικίας), 2^{ος} (Κατωκρητιδικής ηλικίας) και 3^{ος} (Ανωκρητιδικής ηλικίας) βωξιτικός ορίζοντας. Η υποζώνη αυτή αποτελείται από μεγάλου πάχους ανθρακική ακολουθία πετρωμάτων, που στρωματογραφικά καλύπτει ολόκληρο το Μεσοζωικό και το Παλαιοτριτογενές. Το πάχος των ανθρακικών πετρωμάτων ξεπερνάει τα 1.800m. Η όλη ανθρακική ακολουθία της υποζώνης αυτής, περνάει προς τα επάνω σε ιζήματα φλύσση, των οποίων η έναρξη ιζηματογένεσης γίνεται με το τέλος του Ανωκρητιδικού – αρχές Παλαιοκαινού. Στην υποζώνη αυτή δεν έχει διαπιστωθεί προαλπικό υπόβαθρο. Επίσης, απουσιάζουν παντελώς τα εκρηξιγενή πετρώματα. Οι ασβεστόλιθοι και λιγότερο οι δολομίτες είναι εξολοκλήρου συμπαγείς και παχυστρωματώδεις έως κατά ορίζοντες μεσοστρωματώδεις.

2.2.3.3 Σεισμική προϊστορία-Σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα άμεσα συνδεδεμένη με τον ενεργό τεκτονικό χαρακτήρα του χώρου και χαρακτηρίζεται ως μέτριας έως υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 2.14 α). Οριοθετείται από δύο μεγάλους σεισμικούς άξονες, εκείνο που διατρέχει την κεντρική Ελλάδα σε διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ από την Λευκάδα μέχρι τον Παγασητικό κόλπο, και του ρήγματος της Αταλάντης. Σύμφωνα με το Νέο

Αντισεισμικό Κανονισμό η ευρύτερη περιοχή της Λαμίας και της πεδιάδας του Σπερχειού ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ (Εικόνα 2.14 β).



Τα κυριότερα καταγεγραμμένα σεισμικά γεγονότα της περιοχής είναι τα ακόλουθα (Λάγιος και αλ. 1987, Mougiaris 1988, Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989, Ambraseys & Jackson 1990, Pirazzoli et al. 1999, Αδάμ 2001).:

- i.Χειμώνας 426 π.Χ.: Πολυάριθμοι σεισμοί προκαλούν μεγάλες καταστροφές στην Βοιωτία, Ορχομενό και Λίμνη Κωπαΐδας.
- ii.Θέρος 426 π.Χ., 38.8° Β, 22.6° Α, h=n, M=7.0, Φθιώτιδα (Σκάρφεια): Νέες σεισμικές δονήσεις μεγάλου μεγέθους προκαλούν εδαφικές μεταβολές και προξενούν καταστροφές στις Ρομβίες, Σκάρφεια, Θρόνιο, Κόνο. Θύματα: 3.000 περίπου νεκροί. Ο Θουκυδίδης συγκεκριμένα αναφέρει ότι γίνονταν πολλοί σεισμοί. Στις Ροβιές της βόρειας Εύβοιας εισέβαλε θαλάσσιο κύμα (τσουνάμι) το οποίο κατόπιν υποχώρησε, ενώ ένα τμήμα της πόλης καλύφθηκε οριστικά από την θάλασσα. Το κύμα σκότωσε πολλούς ανθρώπους που δεν μπόρεσαν να φύγουν προς τα ψηλότερα μέρη. Το νησί που βρισκόταν κοντά στην Αταλάντη πλημμύρισε και δύο πλοία που την προηγούμενη τα είχαν βγάλει την ξηρά τα παρέσυρε το κύμα.
- iii.94 π.Χ.: Ο σεισμός αυτός έγινε έντονα αισθητός προς την κατεύθυνση της Χαλκίδας και της Εύβοιας. Στην Εύβοια στέρεψαν οι πηγές της Αρεθούσας για αρκετές μέρες, ενώ το ίδιο συνέβη και σε πηγές της Στερεάς Ελλάδας.
- iv.106-107 μ.Χ.: Ισχυρός σεισμός προκαλεί καταστροφή.
- v.Ιούλιος 551 μ.Χ., 38.9° Β, 22.7° Α, h=n, M=7.0, Φθιώτιδα (Αχινός): Την άνοιξη του 551μ.Χ., καταστρεπτικός σεισμός στον Μαλιακό (Κροισσιακό) Κόλπο προκαλεί καταστροφές στην Βοιωτία και την Λοκρίδα. Καταστροφή οκτώ πόλεων μεταξύ αυτών και η Χαϊρώνια. Δημιουργία επιφανειακών ρηγμάτων. Πρόκληση θαλάσσιου κύματος προξενεί καταστροφές

στις παραλιακές πόλεις Λοκρίδας και Μαλιακού κόλπου. Ο Προκόπιος ο Καισαρέας αναφέρει ότι στον πορθμό που βρίσκεται μεταξύ της Θεσσαλίας και της Βοιωτίας (Μαλιακός κόλπος) στην περιοχή της πόλης Σχιναιίο (Αχινός) και στη Σκάρφεια, η θάλασσα εισχώρησε στην ξηρά μέχρι τα βουνά και κατέστρεψε τα χωριά της περιοχής. Η θάλασσα επανήλθε στην αρχική της θέση και άφησε ψάρια στην ξηρά τα οποία είχαν ασυνήθιστη όψη(Προκοπίου, 1996). Ο σεισμός κατέστρεψε και τα τείχη των Θερμοπυλών. Επειδή την περιγραφή του θαλάσσιου κύματος ο Προκόπιος την έχει στο ίδιο κείμενο με την περιγραφή του σεισμού της Φωκίδας, που έγινε το ίδιο έτος, ορισμένοι θεωρούν τα μακροσεισμικά αποτελέσματα στις δύο περιοχές ως οφειλόμενα στον ίδιο σεισμό.

vi.22 Απριλίου 1544, 38.8° Β, 22.6° Α, h=n, M=6.8, (Λαμία): Ο Schreiner παραθέτει ενθυμίες όπου αναφέρεται ότι ο σεισμός κατέστρεψε το μεγαλύτερο μέρος της Λαμίας, έβλαψε τη Ναύπακτο και τη Νέα Πάτρα (Υπάτη) και έριξε και τα τείχη των πόλεων αυτών. Σκοτώθηκαν πολλοί άνθρωποι και οι δονήσεις κράτησαν πολλές μέρες. Ο σεισμός έγινε αισθητός σε όλη την Ελλάδα και τη Βλαχία (Θεσσαλία).

vii.21 Μαρτίου 1674, 39.2° Β, 23.5° Α, h=n, M=6.0, (Σκιάθος).

viii.23 Σεπτεμβρίου 1740 (Μαλιακός κόλπος), M=6.5: Ισχυρός σεισμός με επίκεντρο τον Μαλιακό κόλπο, λίγο πριν τα μεσάνυχτα και προκάλεσε μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινα θύματα. Πολλοί σκοτώθηκαν στη Λαμία, ενώ στο χωριό Ρεγγίνοι έπεσαν όλα τα σπίτια. Ο σεισμός έγινε επίσης έντονα αισθητός στην Ζαγορά του Πηλίου, καθώς και στα Μετέωρα (Pococke 1772).

ix.Μάϊος 1758, 38.9° Β, 22.7° Α, h=n, M=6.8, (Λαμία): Ο σεισμός με επίκεντρο τη Λαμία, εξαφάνισε τρία νησάκια κοντά στην Εύβοια (Λιχάδες νήσοι). Προκάλεσε επίσης την κατάρρευση και την εξαφάνιση κάτω από τα κύματα ενός μέρους από το Ποντικόνησο, τοποθεσία που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Εύβοιας. Πιθανότατα τα τρία νησάκια να κατακλύστηκαν από κάποιο τσουνάμι μεγάλου ύψους, και προκλήθηκε από μία απότομη μορφολογική μεταβολή του πυθμένα του Μαλιακού κόλπου.

x.29 Σεπτεμβρίου 1853: Ισχυρός σεισμός στην περιοχή Βοιωτίας προκαλεί σημαντικές καταστροφές στις πόλεις Αταλάντη και Χαλκίδα.

xi.3 Οκτωβρίου 1868, 23:30, 39.2° Β, 23.4° Α, h=n, M=6.2, (Σκιάθος): Ο σεισμός γκρέμισε 150 κτίρια στη Σκιάθο και προκάλεσε και άλλες ζημιές στη Σκόπελο και στο Βόλο. Τράνταξε δυνατά την Εύβοια και έγινε αισθητός στην Αθήνα. Οι μετασεισμοί κράτησαν μέχρι τις 27 Οκτωβρίου.

xii.31 Ιουλίου 1870, M=6.8, (ανατολικά της Αράχοβας): Ισχυρός προσεισμός έγινε αισθητός μέχρι την Εύβοια, την Αττική και την βόρεια Πελοπόννησο. Ο κύριος σεισμός που ακολούθησε τα μεσάνυχτα της επόμενης μέρας ήταν ισχυρότατος με μέγεθος 6,8R, και είχε σαν απολογισμό ένα μεγάλο αριθμό νεκρών, τραυματιών και κατεστραμμένων κτιρίων.

xiii.20 Απριλίου 1894, M=6,7 (Λοκρίδα) : Ισχυρότατος σεισμός (M=6,7) με επίκεντρο 38,6° Β, 23,2° Α, προκαλεί μεγάλες καταστροφές και πολυάριθμες διαρρήξεις: α) κατά μήκος της Σκάλας, β) Μεταξύ Πευκοχωρίου και Μαλεσίνας, γ) Μεταξύ Μαρτίνου-Αταλάντης και δ) Στο Φαρμακόρευμα μεταξύ Λιβανάτων και Σκεντέραγα. Ο σεισμολόγος Κ. Μητσόπουλος (1895) αναφέρει ότι η πτώση των τοίχων του κτίσματος της μονής Αγ. Γεωργίου έδειξε ως προς το είδος του σεισμού ότι είχε κυματοειδή μορφή και κατεύθυνση από ανατολή προς δύση.

xiv.27 Απριλίου 1894, M=6,9 (Άγιο Κωνσταντίνο) : Νέα ισχυρότατη δόνηση (M=6,9) με επίκεντρο (38,7 Β, 23,1 Α). Ακολουθούν πολλά δευτερογενή φαινόμενα (καταστροφή σπηλαίων, αποξήρανση ή γένεση νέων πηγών, κατολισθήσεις, αναβρασμός υδάτων, παλιρροιακά κύματα κ.λπ.). Εμφάνιση του ρήγματος της Λοκρίδας μήκους 55 km με δευτερογενείς κλάδους. Επίσης, καταγράφηκε μεγάλος αριθμός νεκρών και τραυματιών, καθώς και καταστροφή κτιρίων (3.783), (Εικόνα 2.15), (Skourhos 1894, Phillipson 1894, Mitzoroulos 1895).

xv.27 Σεπτεμβρίου 1916 : Ισχυρός σεισμός (M=5,9) με επίκεντρο (38,9 Β, 23,0 Α): προκαλεί βλάβες στις Λιχάδες.

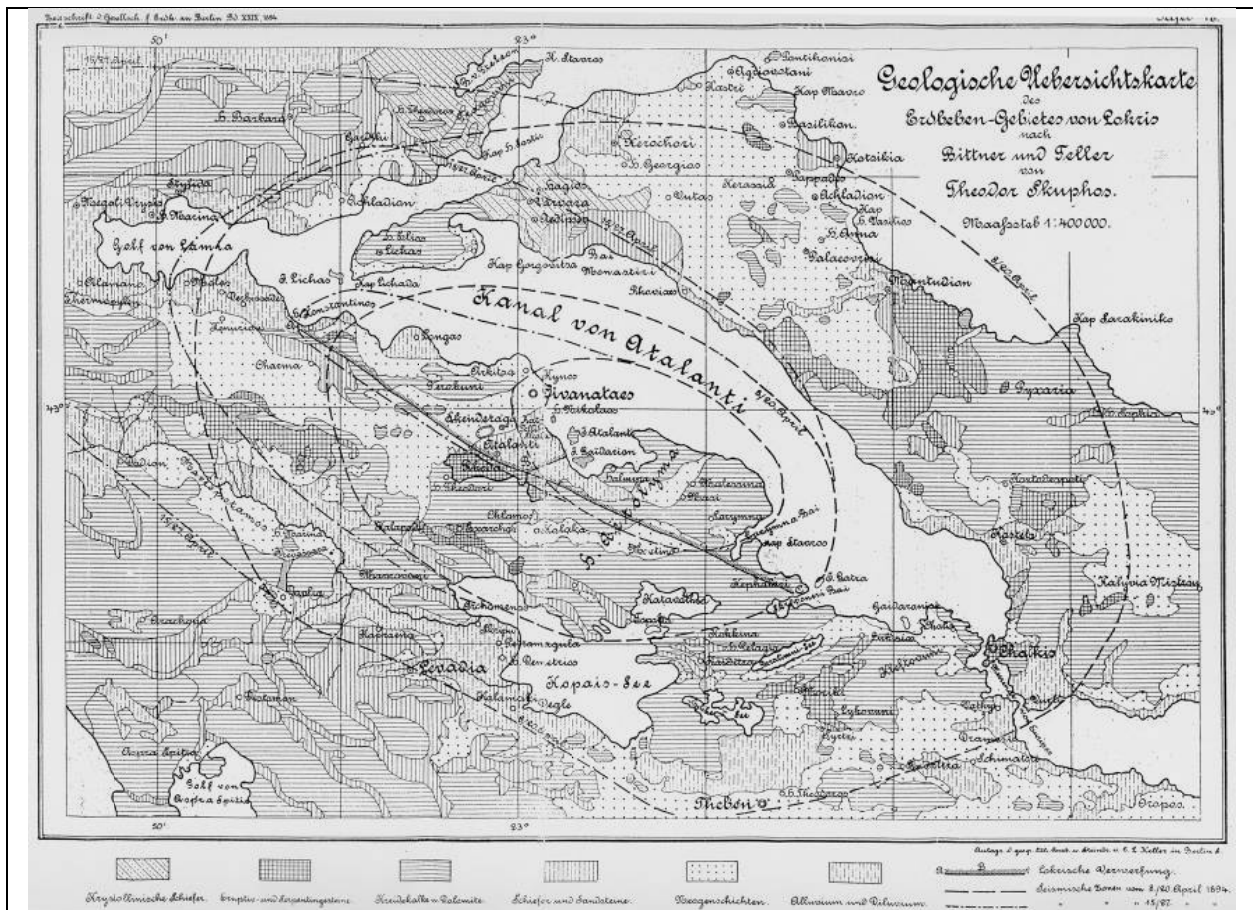
xvi.12 Σεπτεμβρίου 1952 : Σεισμός (M=4,5) με επίκεντρο (38,4 Β, 23,4 Α).

xvii.9 Μαρτίου 1965, 17:57, 39.2° Β, 23.8° Α, h=n, M=6.1, Αλόνησος (Πατητήρι).

xviii.14 Νοεμβρίου 1974 : Σεισμοί (M=5,1-5,2) με επίκεντρο (38,5 Β, 23,1 Α).

xix.1 Απριλίου 1975 : Σεισμός (M=4,5) με επίκεντρο (38,5 Β, 23,2 Α) προκαλεί βλάβες στην Αλιάρτο.

xx.2 Δεκεμβρίου 1979 : Σεισμική δόνηση (M=3,8) με επίκεντρο (38,4 Β, 23,1 Α).



Εικόνα 2.15. Χάρτης του ρήγματος και των σεισμικών ζωνών της περιοχής της Αταλάντης (Λοκρίδας), που δημιουργήθηκε από τους 2 σεισμούς του Απριλίου 1894 (Bittner and Feller 1894).

2.2.4. Γενικά υδρογεωλογικά στοιχεία

2.2.4.1. Υδρογεωλογία

Οι υδρογεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στη λεκάνη του Σπερχειού παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά που είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης, του πορώδους και της υδροπερατότητας τους. Με βάση τα στοιχεία αυτά οι σχηματισμοί της περιοχής διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

i) Υδροπερατοί σχηματισμοί. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα ανθρακικά πετρώματα, τα κροκαλοπαγή των Λιμναίων Πλειστοκαινικών ιζημάτων, τα αδρομερή υλικά των κώνων κορημάτων, τα παλαιά και σύγχρονα ριπίδια των χειμάρρων καθώς και οι σύγχρονες αποθέσεις της κοίτης.

ii) Ημιπερατοί έως περατοί σχηματισμοί. Σε αυτούς ανήκουν οι βαθιές αποθέσεις του δέλτα του Σπερχειού και οι περιοχές όπου εμφανίζονται εναλλαγές άμμων, αργίλων και ψηφιδών με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποαρτεσιανών και αρτεσιανών υδροφόρων οριζόντων όπως διαπιστώθηκε από γεωτρήσεις του ΙΓΜΕ. Παράλληλα στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται και οι σχηματισμοί των οφιολίθων που στη συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζουν αυξημένη υδροπερατότητα λόγω του δευτερογενούς πορώδους που έχουν εξαιτίας του έντονου τεκτονισμού.

iii) Ημιπερατοί σχηματισμοί. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι Τεταρτογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από ανάμικτα αδρομερή και λεπτομερή υλικά. Η ανομοιογένεια αυτή εμφανίζει περιορισμένη και ασυνεχή υδροφορία. Τέτοιοι σχηματισμοί θεωρούνται οι πλημμυρικές αποθέσεις του Σπερχειού που αποτελούνται από ιλύ με ενδιστρώσεις άμμων κατά θέσεις.

iv) Αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Θεωρούνται οι σχηματισμοί εκείνοι που παρουσιάζουν τιμές υδροπερατότητας από 10^{-6} έως 10^{-9} m/sec. Πρόκειται δηλαδή για πετρώματα πρακτικά υδατοστεγή που η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού απορρέει επιφανειακά, ένα άλλο ποσό εξατμίζεται και ένα πολύ μικρό ποσοστό κατεισδύει στη μάζα τους. Σε αυτούς κατατάσσονται οι σχηματισμοί της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, οι σχηματισμοί του φλύσχη εκτός των κροκαλοπαγών και των ασβεστολιθικών ενδιστρώσεων, οι παλαιότερες αποθέσεις ιλυοαργίλων του Σπερχειού και οι ασβεστολιθικοί τόφφοι των αποθέσεων των θερμών πηγών (Trippler 1979, Aust et al. 1980, Κακαβάς 1984β, Μαρίνος και αλ. 1997).

Αξιολογώντας από πλευράς υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος τους σχηματισμούς αυτούς το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού και πιο συγκεκριμένα οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι και οι μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες που υπόκεινται της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κώννοι κορημάτων και τα ριπίδια που συνίστανται από ανάμικτα λεπτομερή και αδρομερή υλικά, αργίλους, άμμους, κροκαλολατύπες και ψηφίδες. Σε περιοχές που υπερισχύουν τα αδρομερή υλικά το εκτελούμενα έργα υδροληψίας έχουν υψηλή απόδοση. Αξιόλογης σπουδαιότητας είναι και οι σχηματισμοί των Ολιγομειοκαινικών κροκαλοπαγών με τοπικό ενδιαφέρον καθώς και των κροκαλοπαγών των λιμναίων Πλειστοκαινικών ιζημάτων, ιδιαίτερα όταν εκτείνονται κάτω από τις νεώτερες προσχώσεις όπου και αποθηκεύονται σημαντικές ποσότητες υπόγειου ύδατος. Οι σύγχρονες προσχώσεις του ποταμού που αποτελούνται από κροκάλες και άμμους, παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή υδροπερατότητας. Το πάχος των σχηματισμών αυτών

σπάνια υπερβαίνει τα 30 μέτρα, το γεγονός όμως ότι αναπτύσσονται στη ζώνη που διέρχονται οι κύριες ροές του ποταμού, τους καθιστά αξιόλογους, που μπορεί να αποδώσουν μεγάλες ποσότητες νερού (*Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας 1995*).

2.2.4.2 Υδροφόροι ορίζοντες

Δυο μεγάλες κατηγορίες υδροφόρων οριζόντων διακρίνονται στην περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού:

i) Οι υδροφόροι ορίζοντες των προσχωσιγενών αποθέσεων που είναι τόσο ελευθέρως επιφανείας όσο και υπό πίεση. Ο ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας που σχηματίζεται σχεδόν σε όλη την επιφάνεια των προσχωματικών αποθέσεων χαρακτηρίζεται σαν ετερογενής. Η δυναμικότητά του χαρακτηρίζεται από μέτρια μέχρι ικανοποιητική. Ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας εμφανίζεται σε βαθύτερα υδροφόρα στρώματα και ιδιαίτερα όπου υπάρχουν συχνές εναλλαγές αδρομερών και λεπτομερών υλικών. Στις περιοχές Κόμμα και Ανθήλη όπου παρουσιάζουν μεγάλο πάχος και ανάπτυξη οι σχηματισμοί αυτοί, συναντώνται υδροφόροι υπό πίεση. Η δυναμικότητα των υπό πίεση υδροφόρων είναι πολύ ικανοποιητική και μάλλον σταθερή σύμφωνα με τις συνεχείς μετρήσεις υπαίθρου. Ο εμπλουτισμός των παραπάνω υδροφόρων οριζόντων εξασφαλίζεται από τα εξής:

- α. την άμεση κατείσδυση των βρόχινων νερών,
- β. την πλευρική και κατακόρυφη μετάγγιση και διήθηση υπογείων νερών που προέρχονται από τους μεγάλους κώνους κορημάτων και
- γ. την περιοδική πλευρική διήθηση των υδάτων του Σπερχειού ποταμού

Ο εμπλουτισμός αυτός γίνεται εντονότερος στις περιόδους των μεγάλων πλημμυρών.

ii) Υδροφόροι ορίζοντες ανθρακικών σχηματισμών. Οι ασβεστολιθικοί (σχηματισμοί της Όθρυος, του Καλλιδρομου και της Οίτης, είναι έντονα τεκτονισμένοι, κατακερματισμένοι και αποκαρστωμένοι με αυξημένο πορώδες και υδροπερατότητα. Από μελέτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) έχουν διαχωριστεί δύο καρστικά συστήματα και μια καρστική ενότητα. Το καρστικό σύστημα Λαμίας-Στυλίδας που περιλαμβάνει τους ασβεστολίθους της Όθρυος και εκφορτίζεται μέσω των πηγών Αγ. Παρασκευής, Σφαγείων και Μαυρομαντήλας. Το καρστικό σύστημα της Οίτης, με σημαντικότερες εκφορτίσεις στο συγκρότημα πηγών Κομποτάδων-Μεξιατών και η καρστική ενότητα Καλλιδρόμου-Οίτης, που εκφορτίζεται μέσω των πηγών Μαυρονέρια.

2.2.4.3. Ποιότητα υδάτων

Τα υπόγεια νερά της λεκάνης του Σπερχειού χαρακτηρίζονται ως ανθρακικά, καλής μέχρι μέτριας ποσιμότητας και εξαιρετικής ποιότητας για άρδευση (*Κακαβάς 1984α*). Εξαιρέση αποτελούν τα υπόγεια νερά του ανατολικού και του δελταϊκού τμήματος του Σπερχειού, που εμφανίζεται υποβαθμισμένο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επίδραση των νερών των θερμομεταλλικών πηγών που πιθανότατα επιδρούν με πλευρικές διαχύσεις προς τις προσχώσεις, καθώς και στη διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού παρατηρείται μια υποβάθμιση της ποιότητας τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου νερού. Για τα επιφανειακά νερά η ρύπανση αυξάνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και οφείλεται κύρια στην άφθονη χρήση λιπασμάτων και

φυτοφάρμακων καθώς και στη διάθεση των λυμάτων και αποβλήτων βιομηχανικών και βιοτεχνικών μονάδων. Σε ορισμένους ορεινούς οικισμούς της περιοχής παρατηρήθηκε ρύπανση των υδατικών πόρων λόγω έλλειψης αποχετευτικών δικτύων.

Από το χωριό Κόμμα μέχρι την Ανθήλη η συγκέντρωση σε χλωριόντα παρουσιάζεται αρκετά υψηλή και πιθανόν να οφείλεται τόσο στην αλατότητα των εδαφών όσο και στην προέλαση της θάλασσας σε αργό όμως ρυθμό.

Επίσης, στην περιοχή έρευνας υπάρχει αρκετά μεγάλος αριθμός θερμομεταλλικών πηγών, δηλαδή πηγών με ιδιαίτερα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού, αρκετές από τις οποίες είναι αξιοποιημένες και ιδιαίτερα σημαντικές για την ιαματική τους δράση.

Οι κυριότερες από αυτές είναι της Υπάτης (υδροθειοχλωρονατριούχος πηγή και οξυπηγή θερμοκρασίας 33,5°C και 0,11 μονάδων ραδιενέργειας), του Πλατυστόμου (που έχει δύο πηγές, η μία είναι αλκαλική θειοπηγή θερμοκρασίας 33,6° C και 0,14 μονάδων ραδιενέργειας και η άλλη υδροθειούχος θερμοκρασίας 25,5° C και 0,36 μονάδων ραδιενέργειας), των Θερμοπυλών (υδροθειοχλωρονατριούχος πηγή, θερμοκρασίας 41° C και ραδιενέργειας 0,6 μονάδων), του Αρχανίου (θειούχος πηγή, θερμοκρασίας 28° C), οι Σιδηροπηγές (υδροθειοχλωρονατριούχος πηγή θερμοκρασίας 30,9° C και ραδιενέργειας 0,1 μονάδων) και η Καλλυντική (υδροθειοχλωρονατριούχος πηγή) (Σφέτσος 1988, ΙΓΜΕ 1996, Gartzos & Stamatis 1996, ΥΠΑΝ 2006).

2.2.5. Περιβάλλον

2.2.5.1. Περιοχές με σημαίνουσα περιβαλλοντική σημασία

Το νομικό πλαίσιο το οποίο διέπει τις προστατευόμενες περιοχές διαφοροποιείται σε διατάξεις που προστατεύουν είδη χλωρίδας, πανίδας, ορνιθοπανίδας όπου και αν ευρίσκονται σύμφωνα με οδηγίες, συνθήκες και καθεστώτα (79/409 ΕΟΚ, συνθήκη Βέρνης κλπ.) και σε διατάξεις που οριοθετούν προστατευόμενες περιοχές και προσδιορίζουν το διαχειριστικό καθεστώς αυτών (Εθνικοί Δρυμοί, Υγρότοποι Ramsar, Καταφύγια Άγριας Ζωής κλπ.).

Οι σημαντικότερες διατάξεις που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία συνοψίζονται στην Οδηγία 92/43 ΕΟΚ για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας, στην οδηγία 79/409 ΕΟΚ περί της διατηρήσεως των αγρίων πτηνών, στους Ν. 1739/1987 για την προστασία και διαχείριση των υδάτινων πόρων, Ν. 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος, Ν. 966/1971 για τη δημιουργία καταφυγίων θηραμάτων, αισθητικών δασών, εθνικών δρυμών και τις απαγορεύσεις κυνηγιού, Ν.860/1976 περί χωροταξίας και περιβάλλοντος, Ν.998/1979 και Ν.Δ. 86/1969 περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας, το Π.Δ. 67/1981 περί προστασίας της αυτοφυούς χλωρίδας και άγριας πανίδας κ.ά.

Συγκεκριμένα οι κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών σύμφωνα με την παραπάνω νομοθεσία ορίζονται ως εξής:

- Εθνικοί Δρυμοί
- Αισθητικά Δάση
- Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης
- Καταφύγια Άγριας Ζωής

- Θαλάσσια Πάρκα
- Περιοχές Natura 2000 (Περιοχές Δικτύου Φύση 2000).

Το Δίκτυο Φύση 2000 ή Natura 2000, που αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών, τις Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ - Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ, και τους Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ - Sites of Community Importance - SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΚ. Οι ΖΕΠ, μετά τον χαρακτηρισμό τους από τα Κράτη Μέλη, εντάσσονται αυτόματα στο Δίκτυο Natura 2000, και η διαχείρισή τους ακολουθεί τις διατάξεις του άρθρου 6 της Οδηγίας 92/43/ΕΚ. Αντίθετα, για την ένταξη των ΤΚΣ πραγματοποιείται επιστημονική αξιολόγηση και διαπραγμάτευση μεταξύ των Κρατών Μελών και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των κατά οικολογική ενότητα Βιογεωγραφικών Σεμιναρίων. Οι δραστηριότητες στις περιοχές του Δικτύου Natura 2000 ρυθμίζονται μέχρι σήμερα από την Εθνική Νομοθεσία. Η Οδηγία 79/409/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με τις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις 414985/29-11-85 (ΦΕΚ 757/Β/18-12-85), 366599/16-12-96 (ΦΕΚ 1188/Β/31-12-96), 294283/23-12-97 (ΦΕΚ 68/Β/4-2-98). Η Οδηγία 92/43/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 33318/3028/11-12-98 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98) (http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300_03.html).

Οι περιοχές που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης και εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000 είναι οι ακόλουθες:

- α) Η κοιλάδα και οι εκβολές του Σπερχειού - Μαλιακός κόλπος (SCI), με κωδικό GR2440002, μέσο υψόμετρο 650m και έκταση 34.000 ha. Η σπουδαιότητά της περιοχής έγκειται στο ότι ο Μαλιακός υποστηρίζει σημαντική παραγωγή σε ψάρια και δίθυρα μαλάκια. Το Λιβάρι στο εσωτερικό τμήμα του κόλπου είναι ένα φυσικό θαλάσσιο πάρκο για την αναπαραγωγή ψαριών. Οι Εκβολές του Σπερχειού προσφέρουν ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες στην ορνιθοπανίδα, ενώ ο ποταμός υποστηρίζει και πολλά σημαντικά ενδημικά και προστατευόμενα είδη ψαριών.
- β) Το φαράγγι του Γοργοποτάμου (SCI), με κωδικό GR2440003, μέσο υψόμετρο 1.000m και έκταση 524 ha. Η σπουδαιότητα της περιοχής έγκειται στη γεωμορφολογική της δομή και στο γεγονός ότι, λόγω της δύσκολης πρόσβασης, είναι φυσικά προστατευμένη και προσφέρει καταφύγιο στα αρπακτικά πτηνά, ειδικά στον χρυσαετό και στον αίγαγρο.
- γ) Ο Εθνικός Δρυμός Οίτης (SCI), με κωδικό GR2440004, μέσο υψόμετρο 1.600m και έκταση 7.210 ha. Η σπουδαιότητα του συγκεκριμένου Εθνικού Δρυμού είναι τεράστια. Τουλάχιστον 50 ελληνικά ενδημικά είδη φύονται στην περιοχή, με 8 από αυτά να προστατεύονται από ελληνική νομοθεσία. Μεγάλης οικολογικής αξίας είναι μίας περιορισμένης έκτασης συστάδα μαύρης πεύκης, ενώ μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον έχουν και τα σπήλαιο του βουνού, με σημαντικότερο αυτό της Ανεμότρυπας.
- δ) Όρος Καλλίδρομο (SCI), με κωδικό GR2440006 και έκταση 6.685 ha.
- ε) Υγρότοπος εκβολών (δέλτα) Σπερχειού (SPA), με κωδικό GR2440005 και έκταση 3.966 ha. Σημαντική περιοχή για είδη χαρακτηριστικά των παραποτάμιων δασών, καλαμώνων και

ανοικτών υδάτινων εκτάσεων. Περιλαμβάνει είδη παγκοσμίου ενδιαφέροντος, ενώ φιλοξενεί κάθε χειμώνα πάνω από 20.000 υδρόβια πουλιά.

ζ) Εθνικός Δρυμός Οίτης - κοιλάδα Ασωπού (SPA), με κωδικό GR2440007 και έκταση 13.088 ha (*Grimmet & Jones 1989, Economidis 1991, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας 1992α & 1992β, <http://www.ornithologiki.gr/gr/sppe/gr103.php>*).

Επίσης, στην περιοχή υπάρχουν αρκετά Καταφύγια Άγρια Ζωής, Εκτροφεία Θηραμάτων, Διατηρητέα Μνημεία της φύσης και Υγροβιότοποι [όπως των Πηγών Αγίας Παρασκευής (Κωδ.244248000), το έλος της Σκάρφειας (Κωδ.244250000), καθώς και ο ποταμός και η περιοχή του Δέλτα του Σπερχειού (Κωδ. 244253000, 244249000 αντίστοιχα)], τα οποία καθιστούν γενικότερα ολόκληρη την περιοχή της λεκάνης του ποταμού Σπερχειού ως μία ιδιαίτερα σημαντική περιοχή όσον αφορά το περιβάλλον της (*ΥΠΕΧΩΔΕ 1992, Ντάφης και αλ. 1997*).

2.2.5.2. Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις

Ο Σπερχειός αποτελεί τον αποδέκτη των απορροών του μεγαλύτερου μέρους των γεωργικών εκτάσεων του νομού Φθιώτιδας, καθώς και τα απόβλητα ελαιοτριβείων (περίπου 50) και εργοστασίων τυποποίησης ελιάς. Στο Σπερχειό καταλήγουν επίσης τα λύματα της Λαμίας μετά από μερική επεξεργασία με απομάκρυνση άνθρακα και αζώτου και τα λύματα κάποιων μικρότερων πόλεων (όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα), καθώς και μερικώς επεξεργασμένα λύματα της Βιομηχανικής Περιοχής Λαμίας. Τέλος, αρκετές κτηνοτροφικές μονάδες, στάβλοι και τυροκομεία που βρίσκονται τόσο στην κοιλάδα του Σπερχειού, όσο και στην περιοχή της ΒΙΠΕ ρυπαίνουν την περιοχή.

Οι κυριότερες βιομηχανικές μονάδες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή μελέτης, ο βαθμός επεξεργασίας των αποβλήτων τους, καθώς και οι αποδέκτες των αποβλήτων τους, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4 (*ΥΠΑΝ 2006*).

Πίνακας 2.4. Κύριες βιομηχανικές μονάδες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή έρευνας

Όνομασία	Κλάδος κατά ΣΤΑΚΟΔ	Δραστηριότητα	Δήμος	Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Αποδέκτης υγρών αποβλήτων
CHIPITA INTERNATIONAL AE	158	Παραγωγή άλλων ειδών διατροφής	Λαμιέων	Άγνωστο	-	ΕΕΛ ΒΙΠΕ Λαμίας
ΑΘΗΝΑΪΚΗ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΗ ΑΡΤΟΠΟΙΪΑ Α.Β.Ε.Ε.	158	Παραγωγή άλλων ειδών διατροφής	Λαμιέων	Άγνωστο	-	ΕΕΛ ΒΙΠΕ Λαμίας
ΑΝ. ΚΕΡΑΜΙΔΑΣ & ΥΙΟΙ Ο.Ε.	158	Παραγωγή άλλων ειδών διατροφής	Υπάτης	Άγνωστο	-	Λεκάνη Σπερχειού
ΑΦΟΙ Δ. ΑΚΡΙΔΑ Α.Ε.	171	Προπαρασκευή και νηματοποίηση υφαντικών ινών	Σπερχειάδος	Ναι	1ου βαθμού	Υπεδάφια
ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΚΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ	154	Παραγωγή φυτικών και ζωικών ελαίων και λιπών	Γοργοποτάμου	Ναι	1ου βαθμού	Λεκάνη Σπερχειού
ΕΝΩΣΗ ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΩΝ ΣΤΥΛΙΔΑΣ	153	Επεξεργασία και συντήρηση φρούτων και λαχανικών	Στυλίδος	Ναι	1ου βαθμού	Μαλιακός κόλπος

ΠΑΚΟ- Α.ΒΛ.ΚΟΛΙΟΠΟΥΛΟΣ Α.Ε	211	Παραγωγή χαρτοπολτού, χαρτιού και χαρτονιού	Λαμιέων	Ναι	2ου βαθμού	Μαλιακός κόλπος
ΧΑΡΤΟΠΟΙΪΑ ΦΘΙΩΤΙΔΟΣ Α.Ε.	211	Παραγωγή χαρτοπολτού, χαρτιού και χαρτονιού	Γοργοποτάμ ου	Ναι	2ου βαθμού	Σπερχειός
ΑΦΟΙ ΧΡ. ΖΑΡΚΑΔΟΥΛΑ Α.Ε.	264	Κατασκευή τούβλων, πλακιδίων και λοιπών δομικών προϊόντων απο οπτή γη	Λαμιέων	Άγνωστο	-	-
ΑΦΟΙ ΚΥΡΙΤΣΗ- ΛΑΤΟΜΕΙΑ Α.Β.Ε.Ε.	265	Παραγωγή τσιμέντου, ασβέστη και γύψου	Λαμιέων	Άγνωστο	-	-
ΒΙΟΚΕΡΑΜ ΑΕΒΕ	264	Κεραμικά	Λαμιέων	Άγνωστο	-	-

2.2.6. Φυσικές καταστροφές

Μία φυσική καταστροφή είναι η συνέπεια ενός φυσικού κινδύνου (π.χ. μίας ηφαιστειακής έκρηξης, ενός σεισμού, μίας κατολισθησης) η οποία περνάει από το στάδιο της πιθανότητας σε μία ενεργή φάση και κατά συνέπεια έχει επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ανθρώπινη αδυναμία μπροστά στις φυσικές καταστροφές, οδηγεί σε οικονομικές, δομικές και ανθρώπινες απώλειες. Το μέγεθος της απώλειας εξαρτάται από την ικανότητα του πληθυσμού να υποστηρίξει ή να αντισταθεί στην καταστροφή, την ανθεκτικότητά του, την επάρκειά του σε κατάλληλο εξοπλισμό και είδη πρώτης ανάγκης. Έτσι ένας φυσικός κίνδυνος δεν θα καταλήξει ποτέ σε φυσική καταστροφή σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αδυναμία, (π.χ. ένας δυνατός σεισμός σε μία ακατοίκητη περιοχή), ([http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσική καταστροφή](http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσική_καταστροφή), Alexander 1993, Λέκκας 1996, Παπανικολάου & Σίδερης 2005)

Οι κύριες μορφές φυσικών καταστροφών είναι οι: (α) Δασικές πυρκαγιές, (β) Πλημμύρες, (γ) Κατολισθήσεις-καθιζήσεις, (δ) Σεισμοί-Εκρήξεις ηφαιστειών, (ε) Έντονα καιρικά φαινόμενα. Οι κυριότερες φυσικές καταστροφές που έχουν συμβεί στην περιοχή μελέτη τα τελευταία 25 χρόνια, αφορούν δασικές πυρκαγιές, πλημμύρες και κατολισθήσεις.

Δασικές Πυρκαγιές

Οι συχνές πυρκαγιές συντελούν στην απογύμνωση των εδαφών η οποία γίνεται εμφανής με την έντονη παρουσία βραχωδών εκτάσεων. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μέρος της οικολογίας των δασικών οικοσυστημάτων της χώρας μας και είναι φαινόμενο σύνθετο που ακολουθεί τους νόμους της φύσης.

Η πλήρης εξάλειψη των δασικών πυρκαγιών, είναι αδύνατη και αποτελεί ουτοπία έστω και αν υπήρχε ο πιο τέλειος αντιπυρικός σχεδιασμός. Οι δασικές πυρκαγιές, με τη δημιουργία τοπίων καταστροφής επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη ψυχολογία και έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες, γιατί συμβάλουν στη σταδιακή ερημοποίηση των πληγέντων περιοχών (Λυριντζής και αλ. 1998, Χρονοπούλου 2007, <http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/pirkagies.csp>).

Έχει διαπιστωθεί ότι οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να συμβάλουν θετικά στη φυσική ανανέωση και αύξηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων και αρνητικά,

προκαλώντας την πλήρη υποβάθμιση τους, όταν οι πυρκαγιές είναι επαναλαμβανόμενες σε μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα στον αυτό τόπο. Περισσότερο από το 10% της έκτασης της χώρας μας καλύπτεται σήμερα από άγονες και βραχώδεις εκτάσεις, γεγονός που οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στην επανάληψη του κύκλου των πυρκαγιών (*Wright & Baily 1982*).

Οι κυριότερες πυρκαγιές που έχουν σημειωθεί στην περιοχή έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες απεικονίζονται στον πίνακα 2.5 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.5. Κυριότερες δασικές πυρκαγιές που έχουν συμβεί στην περιοχή τις τελευταίες τρεις δεκαετίες

Ημερ/νια	Περιγραφή	Πηγή δεδομένων
07/1984	Πυρκαγιά στη Ζηλευτό, στη θέση Πηγαδούλια, Στρογγυλό κ.α., με καμένη έκταση περίπου 7.500 στρ., με Δημόσια δασική έκταση και καλλιεργημένους αγρούς.	Δασαρχείο Λαμίας
3/7/1984	Πυρκαγιά στο δάσος Καστρίου, 1.100 στρ., κυρίως με πουρνάρια	
05/1985	Πυρκαγιά στη Λυγαριά, στο πεδίο βολής με καμένη έκταση 1.330 στρ., με Δημόσια δασική έκταση και αγρούς	»»
12/1987	Πυρκαγιά στη Στίρφακα, στη θέση Μπαξαί, με καμένη έκταση 1.180 στρ., με Δημόσια και Ιδιωτική δασική έκταση και αγρούς	»»
29/6/1988	Πυρκαγιά στην περιοχή Γραμμένης-Καστρίου, 2.600 στρ., κυρίως με πουρνάρια	Δασαρχείο Σπερχειάδος
Απρίλιος 1989	Πυρκαγιά στην περιοχή Ροδώνιας-Ζηλευτού-Μοσχοκαρυάς, στις θέσεις Προφ. Ηλίας-Βοϊδόρεμα-Στρογγυλό, έκτασης 6.000 στρ., Δημόσια δασική έκταση και καλλιέργειες	Δασαρχείο Λαμίας
16/7/1989	Πυρκαγιά στην περιοχή Τσούκας-Μακρακώμης, 1.053 στρ., κυρίως με πουρνάρια	Δασαρχείο Σπερχειάδος
02/1992	Πυρκαγιά στη Κοινότητα Λουτρών Υπάτης, στα Υδροθεραπευτήρια, έκτασης 14.900 στρ., σε συνιδιόκτητο δάσος Δαμάστας στην περιοχή των ιαματικών λουτρών και καλλιέργειες	Δασαρχείο Λαμίας
1993	35 δασικές πυρκαγιές με συνολική καμένη έκταση 13.700 στρέμματα	»»
1994	29 δασικές πυρκαγιές με συνολική καμένη έκταση 26.000 στρέμματα	»»
1996	5 δασικές πυρκαγιές με συνολική καμένη έκταση 4.300 στρ.	»»
11/1997	Πυρκαγιά στην Κοινότητα Μοσχοκαρυάς, στη θέση Βοϊδόρεμα, με καμένη έκταση 4.425 στρ., από Δημόσια δασική έκταση και ιδιοκτησίες	Δ/νση Δασών Φθιώτιδας
15/07/1998	Πυρκαγιά στην περιοχή της Τσούκας και Βίτωσης με καταστροφή περίπου 2.000 στρεμμάτων βοσκότοπων και καλλιεργειών.	Δήμος Μακρακώμης
09/07/2000	Μεγάλη Πυρκαγιά στο Δήμο Μακρακώμης, Δ.Δ. Πλατύστομου και Τρίλοφου, με καταστροφή περίπου 50.000 στρ. δημόσιας δασικής έκτασης, αποτελούμενη κυρίως από δρυς και πουρνάρια (Εικόνα 2.16)	Δασαρχείο Σπερχειάδος
22/08/2000	Πυρκαγιά στο Δήμο Σπερχειάδος, Δ.Δ. Περιβόλι, Νικολίτσι και Δίλοφο, 13.960 στρ.	Δήμος Μακρακώμης

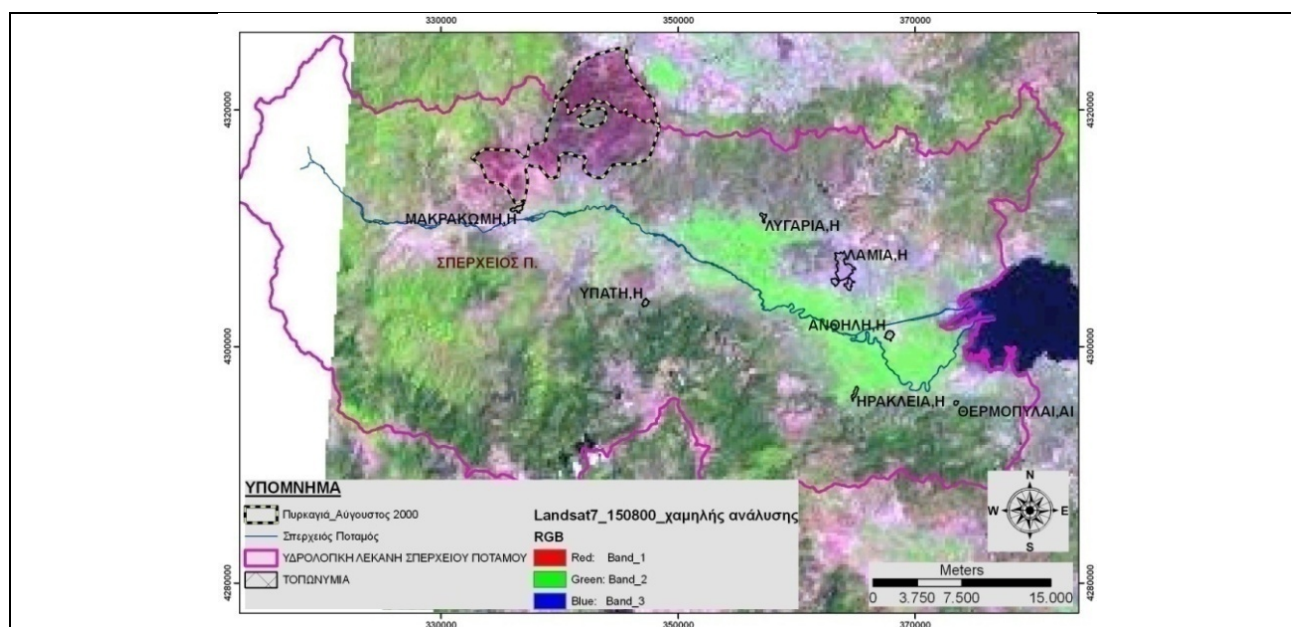
Πλημμύρες

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Πλημμύρα συμβαίνει λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων, από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών ή από το λιώσιμο χιονιού. Συμβαίνει επίσης από

υποχώρηση φραγμάτων και στην περίπτωση αυτή οι συνέπειες είναι πολύ μεγάλες. Η πλημμύρα από φυσικά αίτια είτε παρουσιάζει βραδεία εξέλιξη είτε ανήκει στην κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας, που είναι και το πιο συνηθισμένο φαινόμενο στην Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση υφέσεων (<http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/plimires.csp>.)

Η ξαφνική πλημμύρα είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προκαλούνται από καταιγίδες που κινούνται αργά ή κινούνται πάνω από την ίδια περιοχή. Στη ζώνη των τροπικών προκαλούνται επίσης από τυφώνες ή τροπικούς κυκλώνες (Abbott 1996, Parcharidis et al. 2001). Πολλοί παράγοντες συνηγορούν στην εκδήλωση μίας ξαφνικής πλημμύρας, όπως: η ένταση της βροχής και η διάρκεια της, η τοπογραφία, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών καθώς και η αστικοποίηση (Barry & Chorley 1982, Cooke & Doornkamp 1990, Alexander 1993). Οι πλημμύρες, που έχουν σαν αίτιο τις μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις εδαφών (λασποροές-mud slides). Τα περισσότερα θύματα εξαιτίας πλημμυρών προέρχονται από τις ξαφνικές πλημμύρες.

Οι κυριότερες πλημμύρες που έχουν σημειωθεί στην περιοχή έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες απεικονίζονται στον πίνακα 2.6 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.16. Απεικόνιση σε δορυφορική εικόνα Landsat 7 ETM+ (συνδυασμός καναλιών 7,4,1 – RGB, ημερομηνία λήψης 15/08/2000) της μεγάλης περιοχής που κήκε στα βορειοανατολικά της Μακρακώμης των Ιουλίου του 2000 (Psomiadis et al. 2005a).

Κατολισθήσεις

Οι κατολισθητικές κινήσεις στον ελληνικό χώρο, που χαρακτηρίζεται για την πολυσύνθετη δομή των γεωλογικών σχηματισμών, αποτελούν το σοβαρότερο από τα καταστροφικά γεωλογικά φαινόμενα. Τα αποτελέσματά τους έχουν σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, όπως η βιωσιμότητα πολλών οικισμών, οι επισφαλείς συνθήκες θεμελίωσης

Πίνακας 2.6. Κυριότερες πλημμύρες που έχουν συμβεί στην περιοχή έρευνας

Ημερομηνία	Πλημμύρες	Πηγή δεδομένων
1889	Μεγάλη πλημμύρα που άλλαξε την κοίτη εκβολής του Σπερχειού	Phillipson 1950
1984	Μεγάλη πλημμύρα	Δήμος Μακρακώμης
10/01/1985	Υπερχείλιση Σπερχειού (από βροχοπτώσεις-χιόνια) στο Δ.Δ. Κόμμα	»»
03/03/1987	Υπερχείλιση Σπερχειού, πλημμύρα στο Δ.Δ. Μύλοι Φραντζή	
23/03/1987	Υπερχείλιση Σπερχειού και Ίναχου (παραπόταμος) έπειτα από έντονες χιονοπτώσεις, πλημμύρα στα Δ.Δ. Μύλοι Φραντζή και Κόμμα, καταστροφές σε χειμερινά σιτηρά, μηδική και ζημιές σε ελαιόδεντρα από παγετό που ακολούθησε.	»»
12/12/1990	Υπερχείλιση Σπερχειού στο Δ.Δ. Κόμμα	»»
22/10/1994	Πλημμύρα στον κάμπο της Λαμίας και στο Δ.Δ. Κόμμα λόγω έντονης βροχόπτωσης	»»
12/11/1994	Πλημμύρα στο Δ.Δ. Συκάς, παραπόταμος Σπερχειού Λιασοβόρρεμα	»»
09-10/1996	Ζημιές σε θερινές καλλιέργειες μετά από πλημμύρα στο Σπερχειό	»»
14/01/1997	Πολύ μεγάλη Πλημμύρα με υπερχείλιση του Σπερχειού και πρόκληση μεγάλων καταστροφών με πλήρη κατάρρευση ή πρόκληση ζημιών σε πολλές γέφυρες (γέφυρα Διπόταμου-Παλιοβράχας-Σπερχειάδας-Λουτρών Υπάτης-Φραντζή). Κατολίσθηση σε πολλά σημεία εκατέρωθεν της κοίτης του Σπερχειού (Εικόνες 2.17 α & β)	»»
20-23/11/1998	Πλημμύρα στον κάμπο της Λαμίας, στη Ροδίτσα και στη Μ. Βρύση	»»
25/12/2001	Πλημμύρα από απότομο λιώσιμο χιονιού	»»
28/07/2002	Πλημμύρα έπειτα από έντονη βροχόπτωση	»»
31/01/2003	Υπερχείλιση του ποταμού λόγω βροχοπτώσεων. Διεκόπη η συγκοινωνία σε δύο δρόμους από Λαμία προς Υπάτη και από Λαμία προς Γοργοπόταμο. διότι διαπιστώθηκαν προβλήματα στατικότητας στις δύο γέφυρες. Πλημμύρισαν περίπου 1.000 στρέμματα στα χωριά Φραντζή και Κωσταλέξη	»»



α



β

Εικόνα 2.17 α & β. Φωτογραφίες που απεικονίζουν την πολύ μεγάλη πλημμύρα που έγινε στην λεκάνη του Σπερχειού στις 14/01/1997 και η οποία κατέστρεψε εκτός των άλλων και 6 γέφυρες της περιοχής.

τεχνικών έργων και ιδιαίτερα οι συχνές καταστροφές στο οδικό δίκτυο, η ακαταλληλότητα πολλών περιοχών για διάφορες χρήσεις ή και η συνεχής απώλεια πολύτιμης γης (Κούκης 1980, <http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/katolisthis.csp>).

Ο όρος κατολίσθηση (landslide) περιλαμβάνει την έννοια της ολίσθησης, της πτώσης, της ανατροπής και της ροής. Αν η εδαφική ή βραχώδης μάζα κινηθεί μόνο προς την κατακόρυφη διεύθυνση, το φαινόμενο ονομάζεται καθίζηση, κατάρρευση ή κατάρπωση. Αν υπάρχει και κίνηση κατά την οριζόντια διεύθυνση, τότε χρησιμοποιείται ο γενικός όρος κατολίσθηση. Το φαινόμενο της κατολίσθησης μπορεί να παρατηρηθεί τόσο στη ξηρά όσο και μέσα σε θάλασσες, λίμνες και ταμιευτήρες (Μπλιώνας 2008). Η κατολίσθηση δεν είναι τίποτε άλλο από τη φυσική τάση του εδάφους να επανακτήσει την ισορροπία του, που διαταράχτηκε για κάποιο λόγο. Έτσι, με εξαίρεση την περίπτωση όπου η κατολίσθηση οφείλεται σε ανθρώπινη παρέμβαση, το φαινόμενο αυτό αποτελεί μια φυσική γεωλογική εξέλιξη, όπως η διάβρωση ή οι τεκτονικές κινήσεις, αλλά με γενικά πολύ μεγάλες ταχύτητες, τουλάχιστον στην τελική φάση εκδήλωσης. Αυτό γιατί το φαινόμενο που συνήθως ονομάζεται κατολίσθηση (πτώση) δεν είναι παρά το τελικό στάδιο μιας διαδικασίας που έχει αρχίσει καιρό πριν, με πρόδρομα φαινόμενα, ορατά ή όχι και με εσωτερικές και εξωτερικές θραύσεις και παραμορφώσεις. (Στουρνάρας 2007α, Κοντάρη 2009).

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις των κατολισθήσεων, οι οποίες στηρίζονται σε ποικίλα κριτήρια, με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση των συστημάτων ταξινόμησης. Συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα 2.7 περιγράφεται μία από τις πιο σημαντικές ταξινομήσεις, κατά Varnes (1978), η οποία βασίζει την ταξινόμηση στον τύπο μετακίνησης και στο είδος του υλικού που μετακινείται, ενώ στην εικόνα 2.18 που ακολουθεί απεικονίζονται διάφορα είδη κατολίσθησης (Κούκης & Σαμπατακάκης 2007). Οι κύρια μέρη μιας τυπικής κατολισθήσεως διακρίνονται στην εικόνα 2.18. Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης είναι συνήθως το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης μορφολογικών, γεωλογικών, γεωτεχνικών, περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και ανθρώπινων παρεμβάσεων. Οι τελευταίες μπορούν κυρίως να επιταχύνουν την εκδήλωση του φαινομένου.

Πίνακας 2.7. Ταξινόμηση των κατολισθήσεων κατά Varnes (1978)

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ		
		ΥΠΟΒΑΘΡΟ	ΕΔΑΦΟΣ	
			ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΑΔΡΟΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ	ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Περιστροφική ολίσθηση υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετικές	Μεταθετική Ολίσθηση υποβάθρου	Μεταθετική Ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροές		Ροές-Ερπυσμός βραχώδους υποβάθρου	Ροή κορημάτων-Ερπυσμός Εδάφους	Ροή γαιών-Ερπυσμός Εδάφους
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης		



Οι παράγοντες που δημιουργούν συνθήκες οριακές για την κατάσταση ισορροπίας στα πρανή και αυτών που αποτελούν το έναυσμα της κατολίσθησης, ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά τους, τα οποία μπορούν να χαρτογραφηθούν ή να μετρηθούν (Pasek 1974, Varnes 1978; 1984, Καλλέργης & Κούκης 1985, Κούκης 1980, Killely et al. 1985, Koukis 1988):

- (α) Σύσταση και δομή των γεωλογικών σχηματισμών.
- (β) Γεωμετρικά γεωμορφολογικά στοιχεία πρανών και υδρογραφικού δικτύου.
- (γ) Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες, όπως μεταβολή των μορφολογικών χαρακτηριστικών, αύξηση του φορτίου, αύξηση της δονήσεως, μεταβολή του περιεχόμενου νερού, επιδράσεις του υπόγειου και επιφανειακού νερού, του παγετού, της αποσάθρωση και της βλάστησης.

Γενικά οι γεωλογικές-τεκτονικές δομές στον Ελληνικό χώρο που κατά κύριο λόγο ευνοούν την εκδήλωση κατολισθήσεων είναι οι εξής (Κούκης 1980, Κούκης & Ρόζος 1982):

- (α) Μάζες πετρώματος μεγαλύτερης αντοχής καλύπτουν σχηματισμούς μικρότερης αντοχής.
- (β) Στρώματα με διαφορετικές φυσικές-μηχανικές ιδιότητες σε εναλλαγές.
- (γ) Ζώνες που χαρακτηρίζονται για την έντονη σύγχρονη τεκτονική δραστηριότητα.

Οι περισσότερες κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε ιζήματα Κρητιδικής έως Τεταρτογενούς ηλικίας και οφείλονται οπωσδήποτε στη επίδραση και άλλων παραγόντων όπως η μορφολογία, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η σεισμική φόρτιση και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Ειδικότερα, στο χώρο της Δυτικής Ελλάδας επικρατούν πετρώματα λεπτομερή, κλαστικά καθώς και οι δομές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι κατολισθήσεις συνδέονται κυρίως με τους σχηματισμούς του φλύσχη και της μεταβατικής σειράς προς το φλύσχη, τα νεογενή, τα πλευρικά κορήματα, αλλά και τους σκληρούς σχηματισμούς που είναι κυρίως επωθημένοι στους μαλακούς.

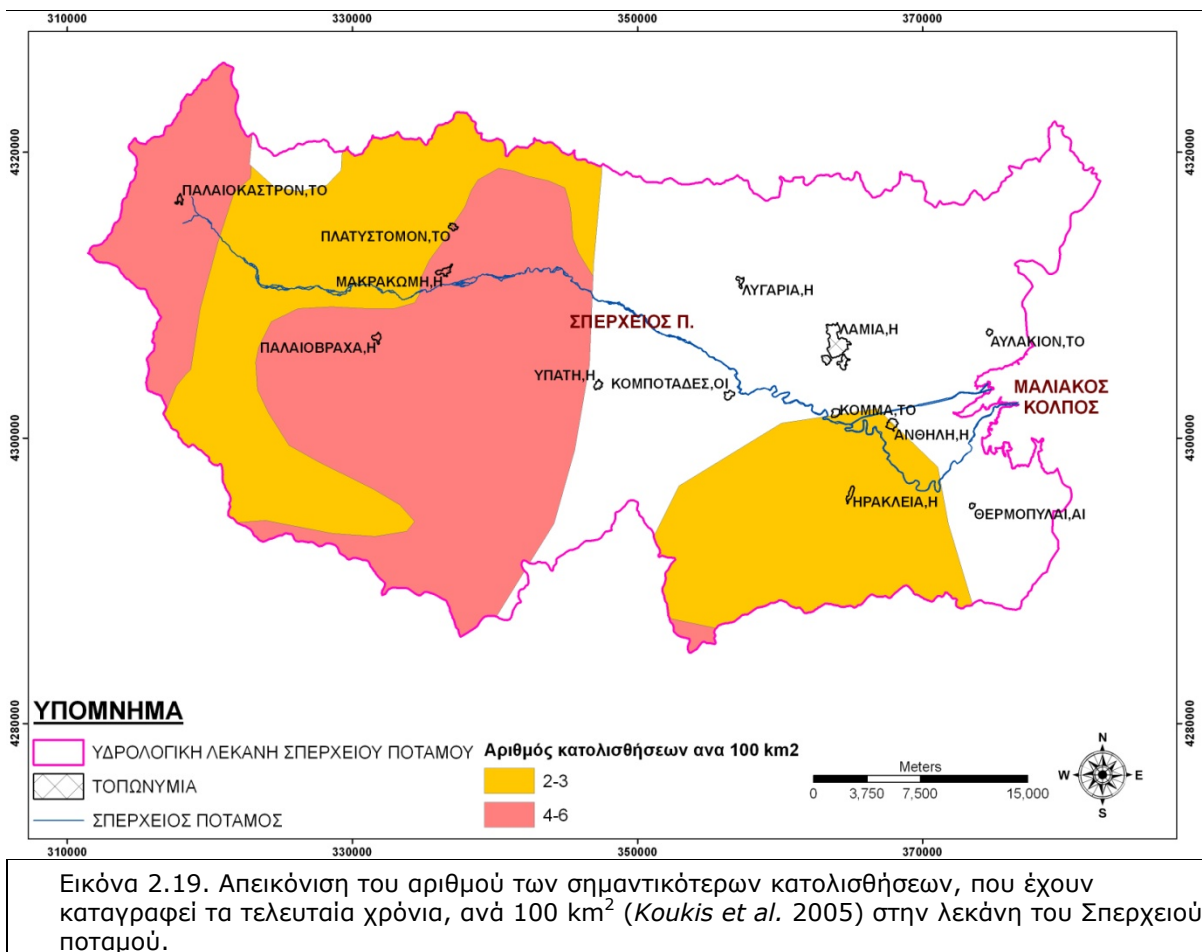
Στην περιοχή έρευνας τα προβλήματα κατολισθήσεων, στο ανατολικό τμήμα εντοπίζονται κυρίως στους νεότερους αλπικούς σχηματισμούς και τα νεογενή. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα αφορούν καταπτώσεις βράχων, οι ολισθήσεις στις χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις (ιδιαίτερα στα κορήματα) και στο φλύσχη, ενώ το δυτικό τμήμα χαρακτηρίζεται από μεγάλη αστάθεια, ιδιαίτερα στις περιοχές που παρατηρούνται κορήματα, η μεταβατική προς φλύσχη

σειρά από αργιολομική ιζημάτα και έντονα τεκτονισμένους ασβεστόλιθους – κερατόλιθους (Εικόνα 2.19).

Οι κυριότερες κατολισθήσεις που έχουν σημειωθεί στην περιοχή έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες απεικονίζονται στον πίνακα 2.8 που ακολουθεί (Ρόζος & Αποστολίδης 2004, Μπλιώνας 2008, Κούκης & Σαμπατακάκης 2007). Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ένας αρκετά σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων έχει λάβει χώρα στην περιοχή, ιδιαίτερα στο δυτικό τμήμα, αλλά λόγω της μικρής τους κλίμακας δεν καταγράφονται ως σημαντικές.

Πίνακας 2.8. Κυριότερες κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στην περιοχή τις τελευταίες τρεις δεκαετίες

Κατολισθήσεις		
Περιοχή/ Δημοτικό Διαμέρισμα	Δήμος	Υπόβαθρο
Δ.Δ. Καναλιών	Δήμος Σπερχειάδος	Φλύσχης
Άνω Καλλιθέα	Δήμος Σπερχειάδος	Φλύσχης
Δ.Δ. Αγίου Χαράλαμпу	Δήμος Μώλου	Ασβεστόλιθοι
Νέος Οικισμός Αγίου Χαράλαμпу	Δήμος Μώλου	Ασβεστόλιθοι
Άνω Παύλιανη,	Κοινότητα Παύλιανης	Φλύσχης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Με τον όρο Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ - Geographic Information System - GIS) περιγράφουμε ένα σύνολο διαδικασιών λήψης, αποθήκευσης, ανάλυσης, διαχείρισης και συσχετισμού δεδομένων με γεωγραφική αναφορά, δηλαδή δεδομένων που αναφέρονται σε πραγματικό χώρο. Με τη ευρεία έννοια του όρου, τα GIS είναι ένα εργαλείο όπου επιτρέπει στους χρήστες του να καταχωρούν, να διορθώνουν και να αναλύουν χωρικά δεδομένα και τέλος να δημιουργούν ερωτήματα (queries) τα οποία απαντώνται από το λογισμικό. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία χαρτών, έντυπων ή ηλεκτρονικών, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω διαδικασιών ή η δημιουργία διαδραστικών (interactive) εφαρμογών.

Όμως, η σημαντικότερη λειτουργία που αφορά στα ΓΠΣ σχετίζεται με τη βάση δεδομένων που δημιουργείται και λειτουργεί πίσω από κάθε ψηφιακό χάρτη. Η σωστή κατασκευή και ενημέρωση της βάσης δεδομένων, αποτελεί τη θεμελιώδη αρχή ενός ψηφιακού χάρτη, ο οποίος είναι σχεδιασμένος σε ένα ΓΠΣ. Η υπερβολική αύξηση του όγκου των γεωγραφικών δεδομένων, τα οποία αποτελούν την ουσία ενός ΓΠΣ, οδηγεί στην ανάγκη για πολύπλοκη διαχείριση τεραστίων βάσεων χωρικών δεδομένων με σύνθετες πληροφορίες (*Rigaux et al.* 2000). Ο κύριος σκοπός ενός ΓΠΣ είναι η διαχείριση του συνόλου της χωρικής πληροφορίας. Η δομή των δεδομένων μπορεί να παρομοιαστεί με ένα σύνολο «διαφανών» χαρτών με κοινή γεωαναφορά, που επιτρέπουν στο χρήστη να τους κοιτά ταυτόχρονα (*Berry* 1993).

Ταυτόχρονα, αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό μηχανισμό χρήσης και εκμετάλλευσης των δεδομένων που συλλέγονται από τα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης, παρέχει τη δυνατότητα συσχέτισης των δορυφορικών δεδομένων με δεδομένα από άλλες πηγές πληροφοριών και θεωρείται σήμερα ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για τον σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων (*Burrough* 1996).

Γενικότερα, τα γεωγραφικά δεδομένα σχετίζονται με κάθε είδους πληροφορία που αφορά κυρίως αντικείμενα ή χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας, περιλαμβάνοντας 3 διαστάσεις, τον χώρο (θέση), τον χρόνο και την ιδιότητα με την οποία περιγράφεται. Ένας απλός χάρτης θεωρείται μία κλασική μορφή απεικόνισης γεωγραφικών πληροφοριών και αναδεικνύει τις προαναφερόμενες διαστάσεις (*Juppenlatz & Tian* 1996). Η ακρίβεια με την οποία αυτή η πληροφορία καταγράφεται σε έναν χάρτη (ψηφιακό ή αναλογικό) αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων και είναι ένα ουσιαστικό και σημαντικό κριτήριο για την αξιοπιστία των γεωγραφικών δεδομένων.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το συνδυασμένο λογισμικό πακέτο επεξεργασίας εικόνας και ΓΠΣ, ILWIS 3.3 for Windows, καθώς και το λογισμικό ΓΠΣ ArcGIS 9.2, για την συλλογή των θεματικών επιπέδων, τη δημιουργία των απαραίτητων θεματικών χαρτών. Επίσης συνέβαλαν στη διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων (Landsat και ERS) και των αεροφωτογραφιών,

καθώς και στην πολυεπίπεδη συσχέτισή τους για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων που αφορούσαν τους στόχους της διατριβής.

3.1.1. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία δημιουργίας των ψηφιακών χαρτών, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής, με την βοήθεια των ΓΠΣ, αναλύεται πιο λεπτομερώς στη συνέχεια. Κάθε ένας από τους χάρτες αυτούς, χρησιμοποιήθηκαν μία ή και περισσότερες φορές κατά τα επόμενα στάδια. Έτσι για παράδειγμα, το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM), χρησιμοποιήθηκε στην ορθοδιόρθωση όλων των δορυφορικών δεδομένων και στην γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής. Οι θεματικοί χάρτες που προέρχονται από το DEM, όπως οι χάρτες κλίσεων (slope map) και προσανατολισμού των κλίσεων (slope aspect map), μαζί με τους χάρτες του βάθους εδάφους (soil depth), της καμπυλότητας των κλιτύων (curvature), του οδικού δικτύου, της γεωλογίας, των ρηγμάτων και του υδρογραφικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του Δείκτη Ευαισθησίας στις Κατολισθήσεις, καθώς και στην γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής.

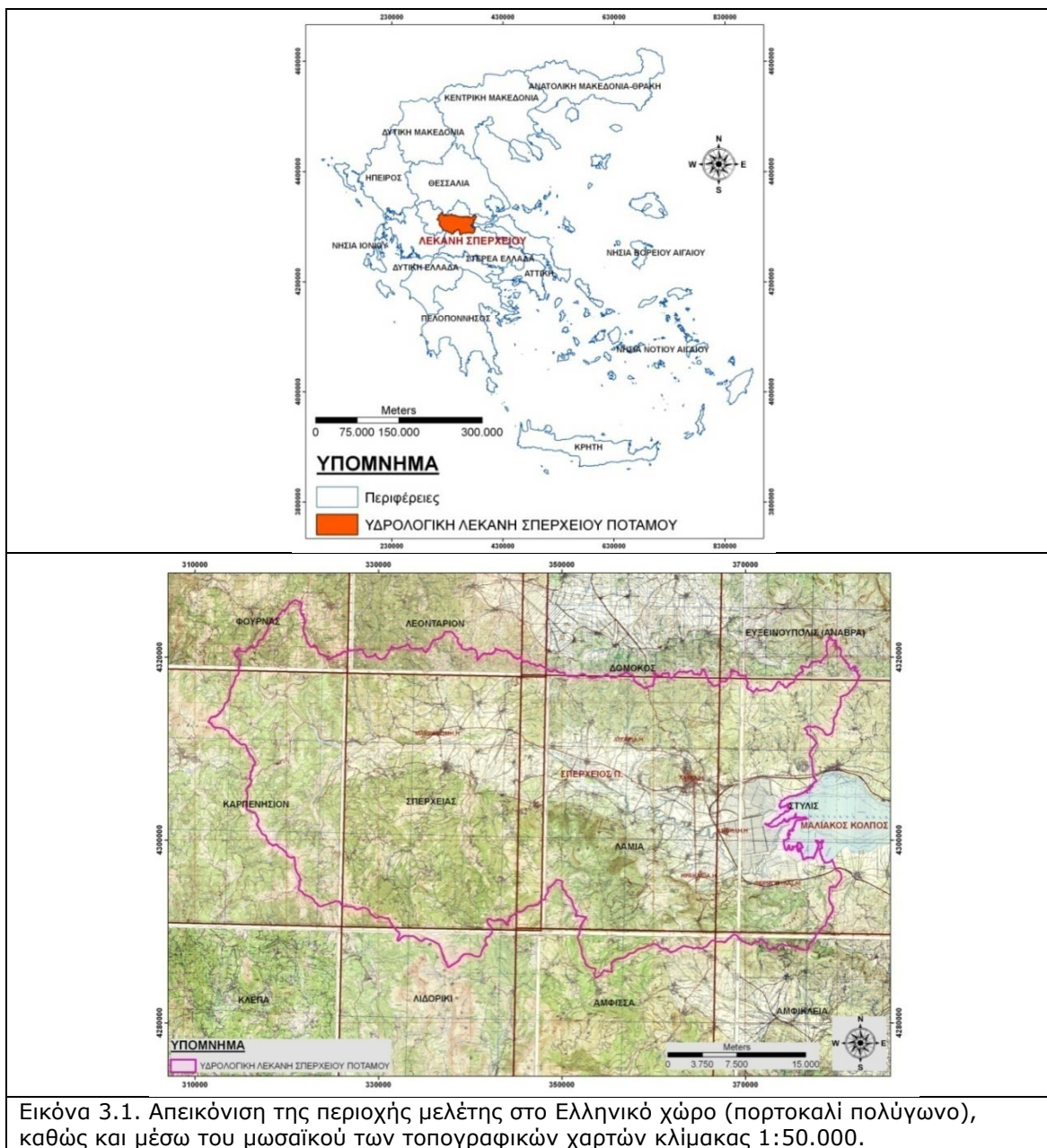
Οι χάρτες των υψομετρικών ζωνών και της υδρολιθολογίας, χρησιμοποιήθηκαν στον καθορισμό της περιοχής δειγματοληψίας των επιφανειακών και υπόγειων νερών, καθώς και στην διαδικασία της ανάλυσης των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Οι χάρτες του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών του ποταμού Σπερχειού, χρησιμοποιήθηκαν στην γεωμορφολογική ανάλυση. Ο χάρτης των περιβαλλοντικά προστατευόμενων περιοχών χρησιμοποιήθηκε σαν στοιχείο εισόδου κατά την δημιουργία του χάρτη της έκθεσης των περιβαλλοντικά προστατευόμενων περιοχών στις ανθρωπογενείς πιέσεις. Τέλος, ο χάρτης των ισοβαθών της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία της διερεύνησης της διαχρονικής μεταβολής της ακτογραμμής, με την χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών δεδομένων.

3.2 Δημιουργία θεματικών χαρτών

3.2.1. Γενικά στοιχεία-Οριοθέτηση περιοχής

Το πρώτο βήμα ήταν ο καθορισμός και η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης της διατριβής. Η περιοχή τοποθετείται στο ανατολικό τμήμα του νομού Φθιώτιδος και ορίζεται από τα όρια της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, ο οποίος εκβάλλει στον Μαλιακό κόλπο (Εικόνα 3.1).

Στη συνέχεια ορίστηκε ένα σύστημα συντεταγμένων (coordinate system), το οποίο αποτελεί το κοινό σύστημα αναφοράς για όλους τους θεματικούς χάρτες που κατασκευάστηκαν ακολούθως. Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε καθορίζοντας δύο σημεία (Min X,Y και Max X,Y) σε μετρικές συντεταγμένες, τα οποία σχηματίζουν αυτομάτως μία παραλληλόγραμμη περιοχή μέσα στην οποία περικλείεται η περιοχή μελέτης. Ο καθορισμός των σημείων αυτών έγινε με τη βοήθεια των τοπογραφικών χαρτών και με βάση την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα συντεταγμένων περιλαμβάνει τα στοιχεία που απεικονίζονται στους πίνακες 3.1 και 3.2.



Εικόνα 3.1. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο Ελληνικό χώρο (πορτοκαλί πολύγωνο), καθώς και μέσω του μωσαϊκού των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000.

Η πληροφόρηση των συντεταγμένων ενός θεματικού χάρτη αποθηκεύεται στο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο καθορίζει τις ελάχιστες και μέγιστες X και Y συντεταγμένες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα θεματικό χάρτη, ενώ ταυτόχρονα περιλαμβάνει και άλλες πληροφορίες όπως το ελλειψοειδές, το σημείο αναφοράς, το σύστημα προβολής, κ.α.

Το σφάλμα προς Ανατολάς (False easting) αποτελεί τη συνολική αύξηση των X-συντεταγμένων του χάρτη, επιδεικνύοντας την προς τα ανατολικά μετατόπιση της αρχικής προβολής σε σχέση με την επανακαθορισμένη προβολή, ενώ το σφάλμα προς Βορρά (False northing) αποτελεί την συνολική αύξηση των Y-συντεταγμένων του χάρτη, επιδεικνύοντας την προς τα βόρεια μετατόπιση της αρχικής προβολής σε σχέση με την επανακαθορισμένη

προβολή. Τα δύο αυτά σφάλματα και ο Κεντρικός Μεσημβρινός (Central Meridian) χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των X και Y συντεταγμένων του χάρτη.

Όλοι οι θεματικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν για την περιοχή μελέτης, έχουν το ίδιο σύστημα συντεταγμένων έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα η διαχείριση και η αλληλοσυσχέτιση των δεδομένων. Όπως είναι γνωστό, οι πρόσφατοι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. χρησιμοποιούν το Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) το οποίο προσομοιάζει με το διεθνώς αναγνωρισμένο Εγκάρσιο Μερκατορικό Σύστημα Προβολής (Transverse Mercator projection). Ως εκ τούτου, όλοι οι θεματικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν στη παρούσα διατριβή, γεωκωδικοποιήθηκαν σύμφωνα με το σύστημα ΕΓΣΑ'87.

Πίνακας 3.1. Σύστημα συντεταγμένων με τα ελάχιστα και μέγιστα X, Y

	X (μ)	Y (μ)
Min	311.450	4.284.950
Max	382.500	4.326.270

Πίνακας 3.2. Οι γεωμετρικοί παράμετροι που περιλαμβάνονται στο σύστημα προβολής συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87

Projection: Transverse Mercator
Ellipsoid: GRS 80
False Easting: 500.000
False Northing: 0
Central Meridian: 24.0.0 E
Central Parallel: 0.0.0 N
Scale factor: 0,9996

3.2.2. Δεδομένα

Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι χάρτες:

α) Τα φύλλα των Τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:50.000 (χάρτες ορίων περιοχής μελέτης, ισούψων, υδρογραφικού δικτύου και οδικού - σιδηροδρομικού δικτύου) που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3 που ακολουθεί.

β) Τα φύλλα των Γεωλογικών χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακας 1:50.000 (χάρτης γεωλογικών ενοτήτων) που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4 που ακολουθεί.

γ) Τα φύλλα των Εδαφολογικών χαρτών (χάρτες γαιών) του Υπουργείου Γεωργίας (χάρτης εδαφολογικών ενοτήτων και την περιγραφή των ζωνών φυσικής βλάστησης) που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5 που ακολουθεί.

ε) Τα φύλλα των χαρτών Προστατευόμενων περιοχών του ΥΠΕΧΩΔΕ που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6 που ακολουθεί.

δ) Τα φύλλα των Δασικών χαρτών του ΕΘΙΑΓΕ (Υπουργείο Γεωργίας) που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7 και που ακολουθεί.

ε) Τα φύλλα των Τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:5.000 που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8 που ακολουθεί.

ζ) Τα φύλλα των χαρτών Ναυσιπλοΐας της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.9 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3. Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΓΥΣ)

No.	Φύλλο	Έκδοση ΓΥΣ
1	Στυλίσ	1990
2	Λαμία	1988
3	Σπερχειάς	1988
4	Καρπενίσιον	1987
5	Αμφίκλεια	1988
6	Άμφισσα	1987
7	Λιδορίκιον	1988
8	Ευξεινούπολις	1987
9	Δομοκός	1987
10	Λεοντάριον	1971
11	Φουρνά	1985

Πίνακας 3.4. Φύλλα Γεωλογικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ)

No.	Φύλλο	Έκδοση ΙΓΜΕ	Συντάκτες
1	Στυλίσ	1963	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
2	Λαμία	1967	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β. (Βόρειο τμήμα) Παπασταματίου Ι., Τάταρη Α., Βετούλη Δ., Μπορνόβα Ι. Κατσικάτσου Γ., Μαραγουδάκη Ν., Λαλεχού Ν. (Νότιο τμήμα)
3	Σπερχειάς	1970	Καλλέργης Γ.Α., Koch Κ.Ε., Nicolaus Η.Ι.
4	Καρπενίσιον	1970	Καλλέργης Γ.Α., Koch Κ.Ε., Nicolaus Η.Ι.
5	Αμφίκλεια	1962	Παπασταματίου Ι., Τάταρης Α., Βετούλης Δ., Κατσικάτσος Γ., Λαλεχός Ν., Ελευθερίου Α.
6	Άμφισσα	1960	Παπασταματίου Ι., Τάταρης Α., Βετούλης Δ., Μπορνόβας Ι., Χριστοδούλου Γ., Κατσικάτσος Γ., Ακυκλοφόρητος
7	Λιδορίκιον		Ακυκλοφόρητος
8	Ευξεινούπολις (Ανάβρα)	1957	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
9	Δομοκός	1957	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
10	Λεοντάριον	1962	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
11	Φουρνά	1991	Αυδής Β., Μανάκος Κ.

Πίνακας 3.5. Φύλλα Εδαφολογικών Χαρτών (Χάρτες Γαιών), κλίμακας 1:50.000 (ΕΘΙΑΓΕ)

No.	Φύλλο	Έκδοση Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε	Συντάκτες
1	Στυλίσ	-	-
2	Λαμία	-	-
3	Σπερχειάς	-	-
4	Καρπενίσιον	-	-
5	Αμφίκλεια	1983	Νάκος Γ.
6	Άμφισσα	1983	Νάκος Γ.
7	Λιδορίκιον	1983	Νάκο Γ., Ζιάγκα Ε., Βαρδάκη Γ., Τσώνο Η.
8	Ευξεινούπολις	1985	Δασκαλάκη Τ., Χριστοδούλου Μ., Ζιάγκα Ε., Νάκο Γ.
9	Δομοκός	1985	Δασκαλάκη Τ., Τσώνο Η., Ζιάγκα Ε., Νάκο Γ.

10	Λεοντάριον	1985	Σχοινά Κ., Ζιάγκα Ε., Νάκο Γ.
11	Φουρνά	1979	Jurdant Μ., Νάκο Γ., Μαυρομάτη Γ., Ζιάγκα Ε., Κασιωτάκη Ε., Ανέστη Γ., Τσώνο Η., Βαρδάκη Γ., Σχοινά Κ.

Πίνακας 3.6. Φύλλα Χαρτών προστατευόμενων περιοχών, κλίμακας 1:250.000 (ΕΚΒΥ)

No.	Φύλλο	Ηλεκτρονική Έκδοση Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων	Φύλλο	Κλίμακα
1	Καρπενήσι	2000	62	1:250.000
2	Λαμία	2000	63	1:250.000
3	Στυλίδα	2000	64	1:250.000

Πίνακας 3.7. Φύλλα Δασικών Χαρτών, κλίμακας 1:20.000 (ΕΘΙΑΓΕ)

No.	Φύλλο	Έκδοση Α' Διεύθυνσης Δασών ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.	Φύλλο	Κλίμακα
1	Δρυμαία	1971	Θ7-24	1:20.000
2	Κομποτάδες	1991	Θ7-12	1:20.000
3	Μεσοχώρι	1991	Θ6-15	1:20.000
4	Μπράλος	1971	Θ7-23	1:20.000
5	Παύλιανη	1971	Θ7-22	1:20.000
6	Υπάτη	1991	Θ7-11	1:20.000
7	Καλλιδρομο	1971	Θ7-33	1:20.000

Πίνακας 3.8. Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ)

Κωδικός Φύλλου	
5363_1	5362_8
5363_2	5373_1
5363_3	5373_2
5363_4	5364_7
5363_5	5362_2
5363_6	5362_4
5363_7	5362_6
5363_8	

Πίνακας 3.9. Χάρτες ναυσιπλοΐας (ΥΥΠΝ, 1954)

No.	Φύλλο	Έκδοση Υδρογραφικής Υπηρεσίας Πολεμικού Ναυτικού	Συντάκτες
1	ΕΛΛΑΣ-ΑΝΑΤΟΛΙΚΑΙ ΑΚΤΑΙ ΕΥΒΟΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ ΔΙΑΥΛΟΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ-ΩΡΕΩΝ & ΜΑΛΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ (3131) - Χάρτης πλεύσης	1954	Ματθαϊόπουλος Μ. & Χαριτόπουλος Γ

Πριν την εκτέλεση όλων των ψηφιοποιήσεων που ακολούθησαν, οι χάρτες σαρώθηκαν με ανάλυση 300dpi, και αφού μετατράπηκαν σε ψηφιακά αρχεία, στη συνέχεια διορθώθηκαν γεωμετρικά με τη χρήση πολυωνυμικού μετασχηματισμού πρώτου βαθμού (αφαινικός-affine), αποδίδοντας συντεταγμένες σε όλη την έκτασή τους με βάση το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87), χρησιμοποιώντας 4 εδαφικά σημεία ελέγχου για τον καθένα. Κατά την εισαγωγή των εδαφικών σημείων ελέγχου στον υπολογιστή, λήφθηκε υπόψη η τυπική απόκλιση (σ) των σημείων. Σε κάθε περίπτωση η απόκλιση ήταν κατά πολύ κατώτερη της μονάδας και προσέγγιζε το 0.

3.2.3. Γενικοί θεματικοί χάρτες

Η πιο κοινή μέθοδος εισαγωγής των χωρικών δεδομένων σε ένα ΓΠΣ είναι η ψηφιοποίηση των χαρτών, η οποία πραγματοποιήθηκε επί της οθόνης (digitizing on-screen).

Με τη δημιουργία ενός νέου αρχείου ψηφιοποίησης, αυτόματα, κατασκευάζονται από το πρόγραμμα ILWIS δύο συμπληρωματικά αρχεία, το σύστημα ιδιοτήτων (domain) και το σύστημα απεικόνισης (representation). Το σύστημα ιδιοτήτων περιλαμβάνει την πληροφόρηση των ιδιοτήτων των χωρικών δεδομένων ενός θεματικού χάρτη. Έτσι, σε ένα χάρτη ισοϋψών θα περιλαμβάνει τα υψόμετρα, σε ένα χάρτη υδρογραφικού δικτύου θα περιλαμβάνει τις κλάσεις ταξινόμησης ενώ σε ένα χάρτη πολυγώνων θα περιλαμβάνει τις ιδιότητες των πολυγώνων αυτών. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ταυτόχρονα ένα σύστημα απεικόνισης για να καθορίσει τη γραφική αναπαράσταση ενός χάρτη. Το σύστημα απεικόνισης ορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι ιδιότητες των χωρικών δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη ή κατά την εκτύπωση (με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με την ιδιότητα, με διαφορετικό πάχος γραμμής, κ.α.).

Η διαδικασία της ψηφιοποίησης εκτελέστηκε με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να υπάρξει υψηλή ακρίβεια και η διαχείριση των δεδομένων να έχει καλή πιστότητα.

3.2.3.1. Θεματικός χάρτης ορίων περιοχής μελέτης

Τα όρια της περιοχής μελέτης αντιστοιχούν, ουσιαστικά, στην συνάθροιση των υδροκριτών των λεκανών που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης καθώς και στην ακτογραμμή της περιοχής.

Αφού ψηφιοποιήθηκε ο υδροκρίτης και η ακτογραμμή της περιοχής μελέτης (Εικόνα 4.1), στη συνέχεια με τη βοήθεια του προγράμματος διαχείρισης των πολυγώνων του ILWIS, οι γραμμές μετατράπηκαν σε ένα πολύγωνο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως βάση όλων των θεματικών χαρτών που δημιουργήθηκαν στη συνέχεια. Με τη δημιουργία του πολυγώνου αυτού, υπολογίστηκαν αυτόματα η περίμετρος και το εμβαδό της περιοχής (Πίνακας 3.10).

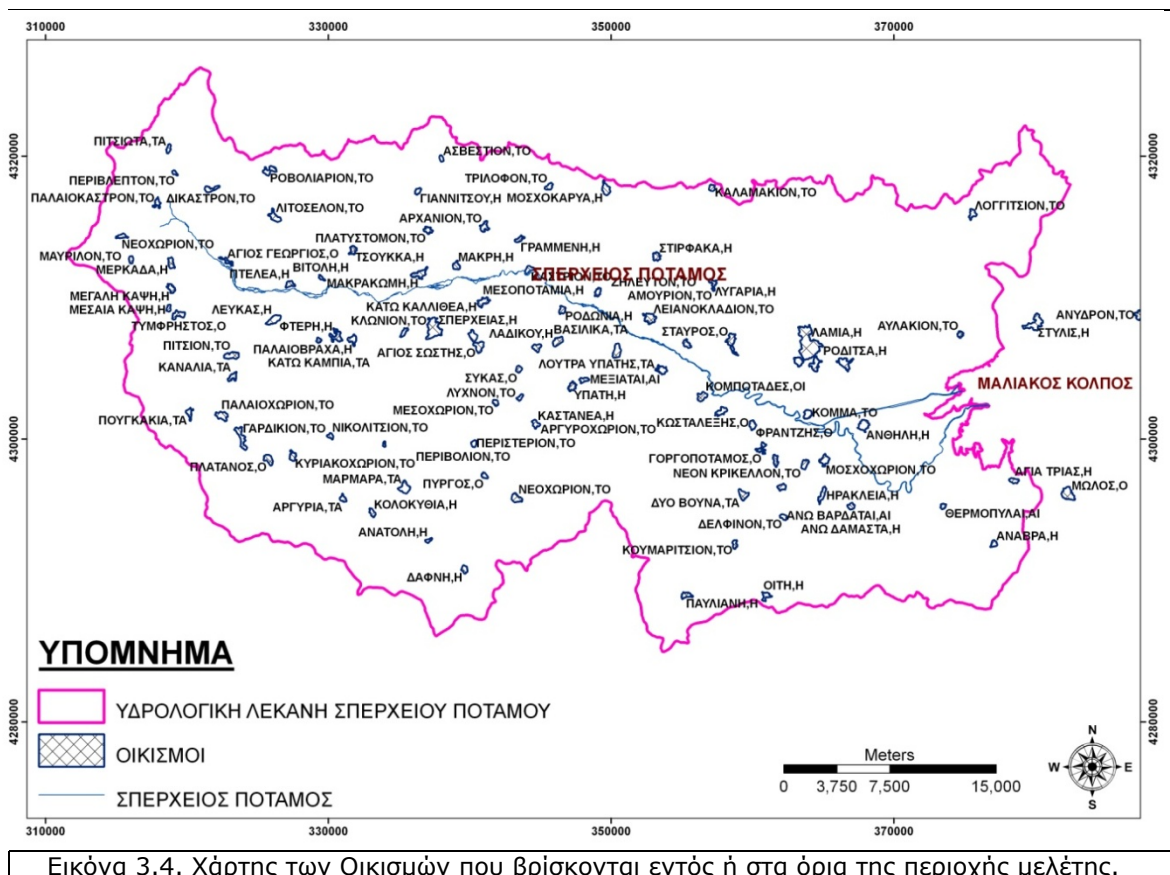
Πίνακας 3.10. Περίμετρος και εμβαδό της περιοχής μελέτης

	Περίμετρος περιοχής (km)	Εμβαδό περιοχής (km ²)
Περιοχή μελέτης	180.367	1.828,00

Στη συνέχεια έγινε η μετατροπή του χάρτη πολυγώνων σε ένα raster χάρτη, στον οποίο τα πολύγωνα αναπαρίστανται πλέον από εικονοστοιχεία (pixels). Κατά την μετατροπή αυτή, ένα πλέγμα με προκαθορισμένο μέγεθος εικονοστοιχείου «απλώνεται» επάνω στο χάρτη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καθοριστούν εκ των προτέρων το μέγεθος του εικονοστοιχείου, οι ελάχιστες και μέγιστες συντεταγμένες X και Y και ο αριθμός των γραμμών και στηλών του raster χάρτη.

3.2.3.2. Θεματικός χάρτης Δήμων - Δημοτικών Διαμερισμάτων και Οικισμών

Ψηφιοποιήθηκαν οι 11 Δήμοι και τα 102 Δημοτικά Διαμερίσματα που βρίσκονται ολόκληρα ή εν μέρει εντός της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχειού. Η χωρική αυτών των Δήμων απεικονίζεται στις εικόνες 3.2 & 3.3. Επίσης, ψηφιοποιήθηκαν από του τοπογραφικούς



3.2.4. Θεματικός χάρτης ισοϋψών - Χωρικά μοντέλα

Η ψηφιοποίηση των ισοϋψών έγινε απευθείας από τους σαρωμένους τοπογραφικούς χάρτες και περιορίστηκε μέσα στην περιοχή μελέτης, όπως αυτή οριοθετήθηκε κατά την έναρξη της διατριβής. Η ισοδιάσταση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών ήταν 20 m, ενώ στα πεδινά ψηφιοποιήθηκαν ορισμένες ισοϋψείς των 10 μέτρων. Επίσης, ψηφιοποιήθηκαν όλα τα σημεία υψομέτρου με βάση τα υψόμετρα που επιδεικνύονται στους τοπογραφικούς χάρτες (Εικόνα 3.5). Μετά το τέλος της ψηφιοποίησης ακολούθησε η διόρθωση των λαθών, που έγιναν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής.

Τα χωρικά μοντέλα που κατασκευάστηκαν είναι, το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital elevation model - DEM) και τα προϊόντα που προέρχονται από αυτό, όπως ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου (shaded relief map), ο χάρτης κλίσεων (slope map) και ο χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (aspect map).

Τα χωρικά μοντέλα παίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό εφαρμογών που σχετίζονται με την χαρτογράφηση όπως (Stefanovic 1988, Tempfli & Tuladhar 1991):

- την τοπογραφική χαρτογράφηση (χαρτογράφηση υψομέτρων, κλίσεων, κ.α.),
- την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου,
- την διόρθωση του αναγλύφου μιας εικόνας (π.χ. γεωμετρική διόρθωση δορυφορικών εικόνων, κ.α.),
- στη γεωλογία και τη γεωφυσική (οι σεισμικές και οι βαρυτικές μετρήσεις μπορούν να επεξεργαστούν με την εφαρμογή της τεχνολογίας των χωρικών μοντέλων),

Καθίσταται έτσι προφανές ότι η διαχείριση και επεξεργασία του αναγλύφου καταλαμβάνει μία σημαντική θέση στα συστήματα γεωπληροφόρησης και ειδικότερα στη χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας. Τα τελευταία χρόνια, τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου έχουν καταστεί μια πολύ σημαντική παράμετρος σε όλα τα ΓΠΣ και τα περισσότερα από αυτά περιλαμβάνουν κατάλληλους αλγόριθμους για την επεξεργασία των υψομετρικών τιμών, αναπαριστώμενες με μορφή αναλογική και ψηφιακή.

Ένα Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model - DEM) αποτελεί μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου αναγλύφου, η οποία περιγράφει την γεωμετρία της γήινης επιφάνειας. Οι υψομετρικές μεταβολές της επιφάνειας, π.χ. το εδαφικό ανάγλυφο, μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά με τη συνάρτηση του υψομέτρου σε σχέση με τη θέση του. Η θέση του μπορεί να οριστεί τόσο με γεωγραφικές συντεταγμένες (φ , λ) όσο και με ορθογώνιες συντεταγμένες (X , Y) σε μία χαρτογραφική προβολή. Για να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου είναι απαραίτητη η εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων σε ένα ΓΠΣ. Στη συγκεκριμένη διατριβή η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του DEM ήταν η χαρτογραφική ψηφιοποίηση. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, ο τοπογραφικός χάρτης (αναλογική μορφή) μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή. Η εισαγωγή των δεδομένων έγινε μέσω της ψηφιοποίησης, ενώ η επιλογή της ισοδιάστασης των ισοϋψών καθορίζεται από τον χρήστη ανάλογα με την κλίμακα του χάρτη, την κλίση του εδάφους και τον σκοπό της μελέτης. Η ακρίβεια του DEM εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την λεπτομέρεια των ισοϋψών που χρησιμοποιούνται και από την κλίμακα του τοπογραφικού χάρτη από τον οποίο ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα του τοπογραφικού χάρτη και όσο μικρότερη η ισοδιάσταση των ισοϋψών τόσο πιο ακριβές θα εμφανίζεται το DEM (Stefanovic 1988, Wise 1998).

Το DEM είναι η πιο κοινή μέθοδος για την εξαγωγή περαιτέρω πληροφοριών που αφορούν την τοπογραφία, μορφομετρικές παράμετρος, γεωλογικά χαρακτηριστικά, μετακινήσεις-ολισθήσεις πρανών κ.α. (Hutchinson 1988, Cadell 2002, Kamp et al. 2003, Gelabert et al. 2005)

Κατασκευή του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου

Η δημιουργία του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου από ένα χάρτη ισοϋψών πραγματοποιείται με την εφαρμογή της τεχνικής του γραμμικού συσχετισμού (contour interpolation). Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε δύο στάδια.

Με τη ψηφιοποίηση των ισοϋψών αυτό που ουσιαστικά επιτυγχάνεται είναι η εισαγωγή των δεδομένων και η αυτόματη δημιουργία ενός ανυσματικού (vector) χάρτη. Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας, ο ανυσματικός χάρτης ισοϋψών μετατρέπεται με μια συγκεκριμένη διαδικασία, με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος, σε ψηφιακό (raster) χάρτη στον οποίο όλες οι γραμμές αναπαριστώνται από τα εικονοστοιχεία. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να καθοριστούν εκ των προτέρων το μέγεθος του εικονοστοιχείου, οι ελάχιστες και μέγιστες συντεταγμένες X και Y και ο αριθμός των γραμμών και στηλών του raster χάρτη. Όλα τα στοιχεία περιλαμβάνονται στο κοινό σύστημα γεωαναφοράς που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μετατροπή, από vector σε raster χάρτη. Ο προκύπτων raster χάρτης έχει το ίδιο σύστημα ιδιοτήτων με τον ανυσματικό χάρτη, ενώ οι τιμές των υψομέτρων θα αποδοθούν μόνο σε εκείνα τα εικονοστοιχεία που θα καλύπτονται από τις ισοϋψείς, με τα υπόλοιπα

εικονοστοιχεία να μην έχουν κάποια τιμή (undefined). Λόγω του ότι, στα διαστήματα μεταξύ των ισοϋψών δεν έχουν αποδοθεί υψομετρικές τιμές κατά τη ψηφιοποίηση και την μετατροπή σε raster χάρτη, εφαρμόζεται ακολούθως ο γραμμικός συσχετισμός, ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός DEM και αποτελεί το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας. Η μέθοδος αυτή αποτελεί ουσιαστικά ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο, βασιζόμενο στα σημεία με τις γνωστές τιμές υψομέτρου που έχουν δοθεί μέσω της ψηφιοποίησης, αποδίδει ανάλογες τιμές στα σημεία μεταξύ των ισοϋψών και δημιουργεί έτσι μία φυσική συνέχεια των υψομέτρων σε όλη την έκταση της περιοχής. Με την διαδικασία αυτή, τα εικονοστοιχεία που δεν είχαν υψομετρική τιμή, αποκτούν πλέον μία τιμή υψομέτρου.

Η μέθοδος συσχετισμού του προγράμματος ILWIS βασίζεται στη μέθοδο απόστασης Borgforns (*Gorte & Koolhoven 1990, Ricchetti 2000*). Η μέθοδος αυτή υπολογίζει, για κάθε εικονοστοιχείο που βρίσκεται ανάμεσα στις ψηφιοποιημένες γραμμές και δεν του έχει αποδοθεί τιμή, την μικρότερη απόσταση προς τις δύο κοντινότερες ισοϋψείς (Εικόνα 3.6). Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τον τύπο (*ILWIS 3.0 User's Guide 2001*):

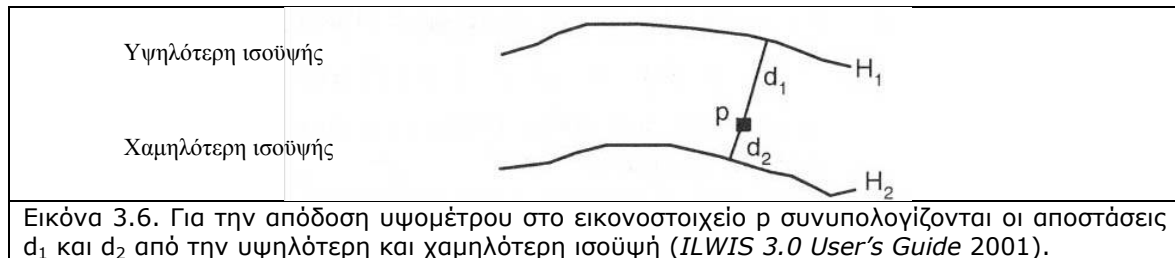
$$h = H_2 + (d_2 / (d_1 + d_2)) * (H_1 - H_2)$$

όπου:

h: τιμή του υψομέτρου της κυψελίδας

H₁ και H₂: τιμές υψομέτρου της υψηλότερης και χαμηλότερης ισοϋψούς

d₁ και d₂: απόσταση της κυψελίδας από την υψηλότερη και χαμηλότερη ισοϋψή



Κατά την κατασκευή του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα ορισμένα σημεία για την καλύτερη αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου. Όσον αφορά τις κορυφές των λόφων και των βουνών καθώς και τα χαμηλότερα σημεία των κοιλάδων-πεδιάδων, η γραμμική συσχέτιση των ισοϋψών θα δώσει λανθασμένα αποτελέσματα εφόσον αυτές δεν ενσωματωθούν με την ψηφιοποίηση μέσα στο αρχείο των ισοϋψών. Και αυτό διότι, οι περιοχές αυτές θα εμφανίζονται ως επίπεδες έχοντας ίδιο υψόμετρο με την τελευταία ισοϋψή που τις περιβάλλει. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης των σημείων υψομέτρου που είχε ψηφιοποιηθεί αρχικά. Ο χάρτης σημείων μετατράπηκε στη συνέχεια σε raster χάρτη, στον οποίο αποδόθηκαν τιμές υψομέτρου μόνο στα εικονοστοιχεία εκείνα που αντιστοιχούν στα ψηφιοποιημένα σημεία. Ακολούθως, ο χάρτης αυτός συνδυάστηκε με τον raster χάρτη των ισοϋψών και το τελικό προϊόν χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (*Burrough 1996*).

Το DEM που προέκυψε, απεικονίζεται σε έγχρωμη μορφή. Τα εικονοστοιχεία με πολύ χαμηλό ψηφιακό αριθμό αντιστοιχούν σε περιοχές με χαμηλά υψόμετρα, ενώ τα εικονοστοιχεία με υψηλό ψηφιακό αριθμό αντιστοιχούν σε περιοχές με μεγάλα υψόμετρα. Στο DEM αποδόθηκαν χρώματα από μία ψευδέγχρωμη παλέτα, σε αντιστοιχία με τα υψόμετρα, με σκοπό την καλύτερη και άμεση ανάδειξη των λεπτομερειών του ανάγλυφου. Η απόδοση αυτή έγινε με την τεχνική της τεμαχιοποίησης της πυκνότητας (colour density slicing). Στο έγχρωμο προϊόν τα μεγάλα υψόμετρα εμφανίζονται με έντονο κόκκινο ενώ τα χαμηλά με ανοιχτό μπλε (Εικόνα 3.7).

Εκτίμηση ακρίβειας Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM)

Η εκτίμηση της ακρίβειας του DEM εκτιμήθηκε, χρησιμοποιώντας 100 τριγωνομετρικά σημεία, τυχαία επιλεγμένα και καλά καταναμημένα σε ολόκληρη τη λεκάνη. Το υψόμετρο του κάθε τριγωνομετρικού σημείου συγκρίθηκε με το υψόμετρο που έδινε το DEM. Το συνολικό σφάλμα στο υψόμετρο μετρήθηκε, υπολογίζοντας την τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής σφάλματος (root mean square error-RMSE), χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum Z_i^2}{n}}$$

Όπου: $Z_i = Z_{dem} - Z_{\text{χάρτη}}$ και

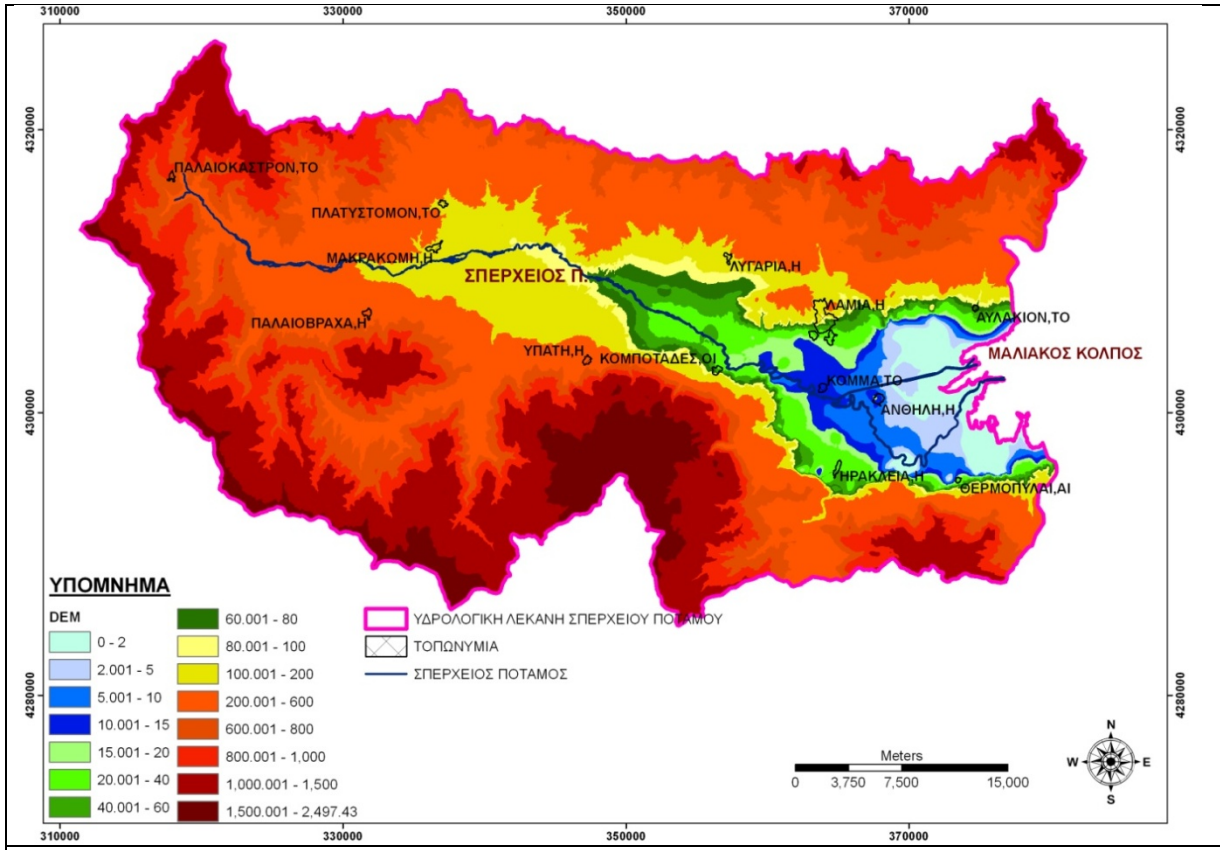
$n =$ ο συνολικός αριθμός των σημείων ελέγχου

Από τους υπολογισμούς που έγιναν βρέθηκε ότι το RMSE είναι 5,31 m, τιμή που αντιπροσωπεύει την κατακόρυφη ακρίβεια του DEM. Επιπροσθέτως, ο συντελεστής συσχέτιση (correlation coefficient) ανάμεσα στα υψόμετρα που δείχνει το DEM και των αντιστοιχων τιμών από τους τοπογραφικούς χάρτες βρέθηκε 0,98 (Πίνακας 3.11).

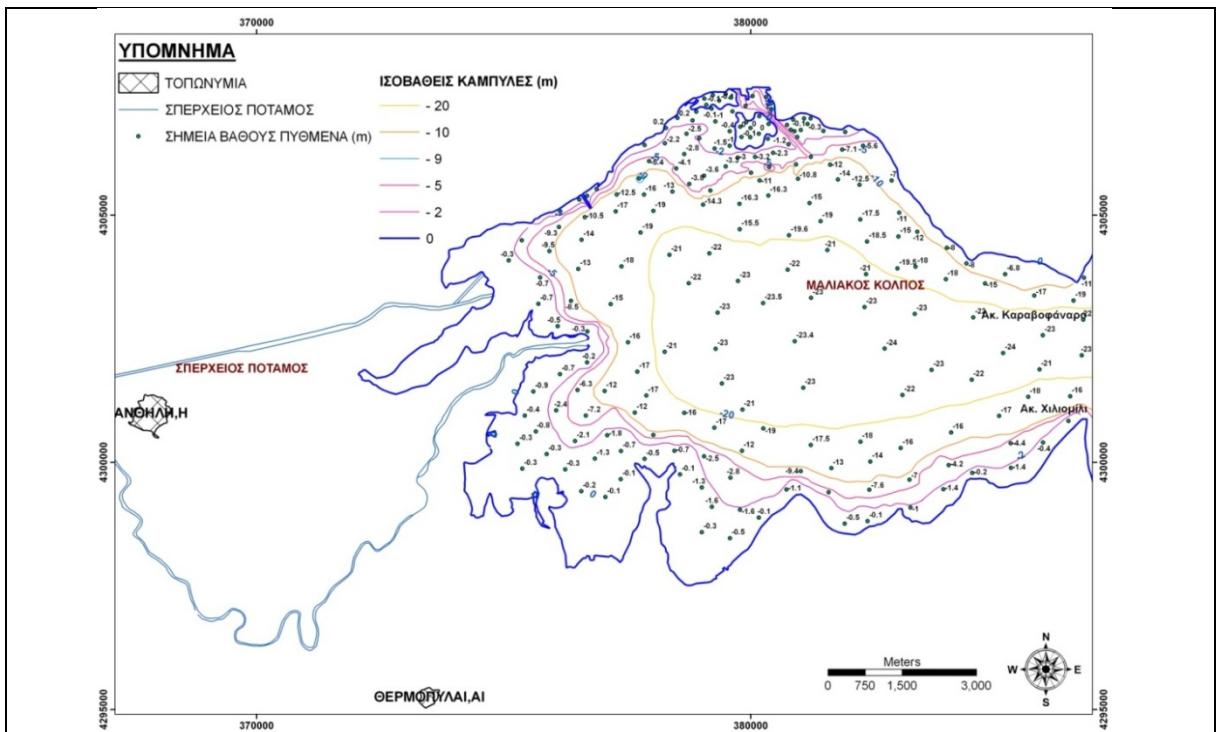
Γενικά, εξάγεται ως συμπέρασμα ότι η ποιότητα του DEM εξαρτάται κυρίως από την πηγή των δεδομένων, που στην συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω και του μεγάλου μεγέθους της λεκάνης, ήταν οι τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 και την τεχνική της παρεμβολής (interpolation) (Takagi 1996, Hutchinson and Gallant 1999). Για αυτό το λόγο η απόλυτη ακρίβεια είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί.

3.2.4.2. Ισοβαθείς καμπύλες

Με την βοήθεια του χάρτη ναυσιπλοΐας της Υδρογραφικής Υπηρεσίας, καθώς και του τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ (Φύλλο Στυλίας), ψηφιοποιήθηκαν οι ισοβαθείς καμπύλες της περιοχής μελέτης, όσο και τα σημεία βάθους, όπου υπήρχαν (Εικόνα 3.8). Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας αρκετά λεπτομερής χάρτης της υποθαλάσσιας παράκτιας ζώνης. Ο χάρτης αυτός βοήθησε σημαντικά κατά την διαδικασία της φωτοερμηνείας των παράκτιων μεταβολών, ώστε να γίνει ο σωστότερο διαχωρισμός των παράκτιων ελών και βάλτων και των αβαθών παράκτιων περιοχών.



Εικόνα 3.7. Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (έγχρωμη μορφή).



Εικόνα 3.8. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών και σημείων βάθους πυθμένα στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου.

3.2.4.3. Σκιασμένο ανάγλυφο

Το σκιασμένο ανάγλυφο (shaded relief) παράγεται από το DEM με την εφαρμογή κατάλληλου αλγόριθμου και αποτελεί ένα από τα παράγωγα χωρικά μοντέλα αναγλύφου, ως αποτέλεσμα μιας τεχνικής φιλτραρίσματος που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των ασυνεχειών οι οποίες παρουσιάζονται σε ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου.

Ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου παρουσιάζει τη γήινη επιφάνεια με ένα τρόπο όμοιο με αυτόν της κάθετης αεροφωτογραφίας χωρίς όμως να υπάρχει η βλάστηση, οι ανθρωπογενείς κατασκευές ή άλλα χαρακτηριστικά κάλυψης. Είναι δηλαδή μία απεικόνιση της τοπογραφίας της περιοχής στην οποία αποδίδονται μόνο τα χαρακτηριστικά του αναγλύφου χωρίς καμία άλλη λεπτομέρεια της επιφάνειας. Η δημιουργία του βασίζεται στην φαινομενική φωτεινότητα κάθε αντικείμενου που παρατηρείται στην επιφάνεια της γης και η οποία εξαρτάται από τον προσανατολισμό του, σε σχέση με την πηγή φωτός και τον παρατηρητή.

Ο τεχνητός φωτισμός του DEM γίνεται με διάφορες τεχνικές φιλτραρίσματος. Μία πολύ χρήσιμη δυνατότητα, είναι η αλλαγή της γωνίας φωτισμού της περιοχής μελέτης, που πραγματοποιείται αλλάζοντας κατοπτρικά τις τιμές του φίλτρου. Με την αλλαγή της γωνίας φωτισμού επιτυγχάνεται η ανάδειξη του αναγλύφου και η απόκτηση της μέγιστης πληροφόρησης. Η γωνία αυτή ορίζεται από τον χρήστη και μπορεί να είναι διαφορετική από την ηλιακή γωνία, κάνοντας έτσι εμφανείς λεπτομέρειες, οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες θα ήταν αόρατες.

Το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- την φύση της φωτεινής πηγής
- τη θέση (υψόμετρο, αζιμούθιο) της φωτεινής πηγής
- το σημείο (θέση, υψόμετρο) από το οποίο παρατηρείται

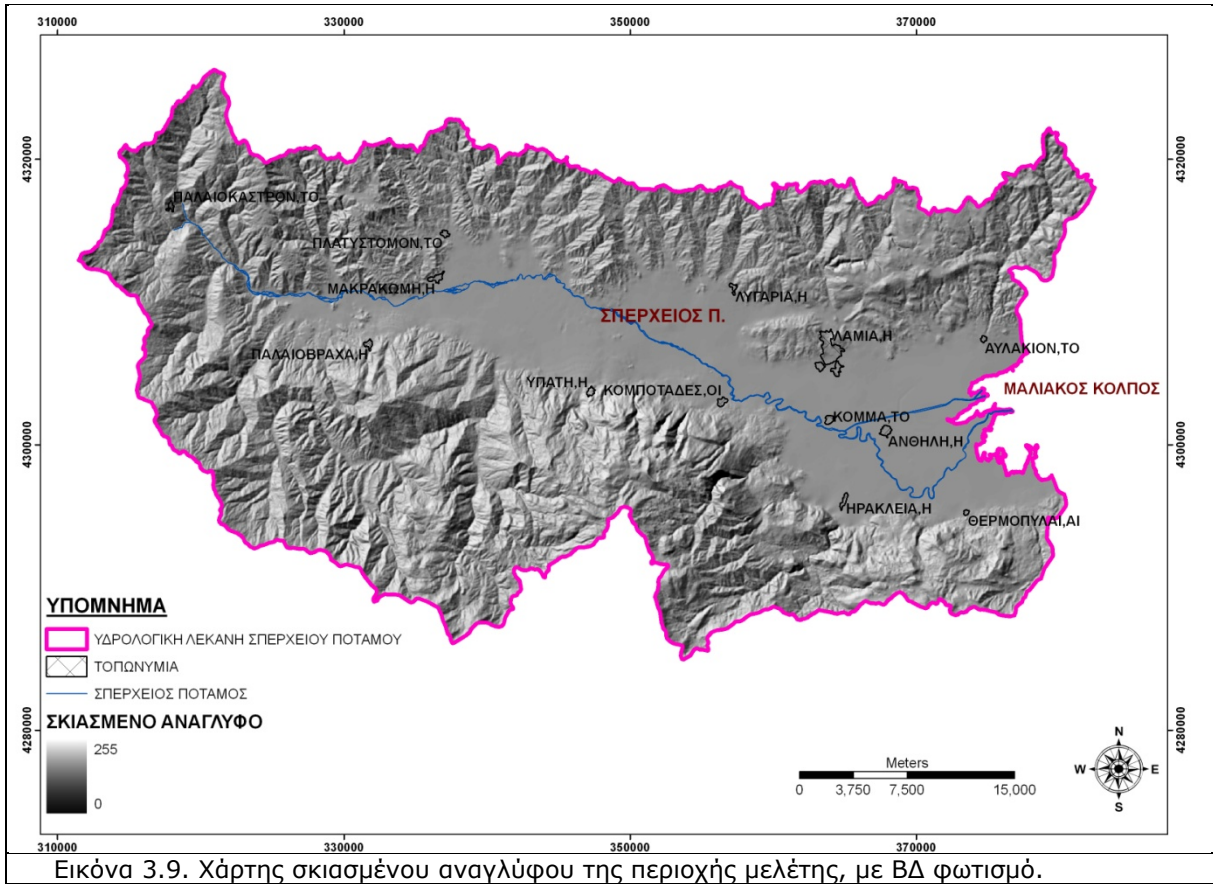
Στην παρούσα διατριβή έγινε εφαρμογή του γραμμικού φίλτρου Shadow (*ILWIS 3.0 User's Guide* 2001). Το φίλτρο αυτό έχει τις ακόλουθες τιμές (οι τιμές αυτές προσομοιάζουν τον ηλιακό φωτισμό, με τον ήλιο να βρίσκεται ΒΔ):

-3	-2	-1
-2	1	2
-1	2	4

Το προϊόν που προέκυψε είναι ένας χάρτης με αποχρώσεις του γκρι στον οποίο οι απότομες πλαγιές που κοιτάζουν προς τα ΝΑ εμφανίζονται σκοτεινές ενώ οι πλαγιές προς τα ΒΔ εμφανίζονται φωτεινές (Εικόνα 3.9). Το σκιασμένο ανάγλυφο θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και στη βελτίωση της ερμηνείας των εικόνων ERS-2, λόγω της "ομοιότητας" και των κοινών στοιχείων που παρουσιάζουν τα δύο προϊόντα.

3.2.4.4 Χάρτης κλίσεων

Ο πιο σημαντικός τύπος φίλτρων που μπορεί να εφαρμοστεί επάνω σε ένα DEM είναι τα φίλτρα κλίσεων (gradient filters). Ως κλίση γενικά ορίζεται η απόλυτη τιμή της κλίσης μιας



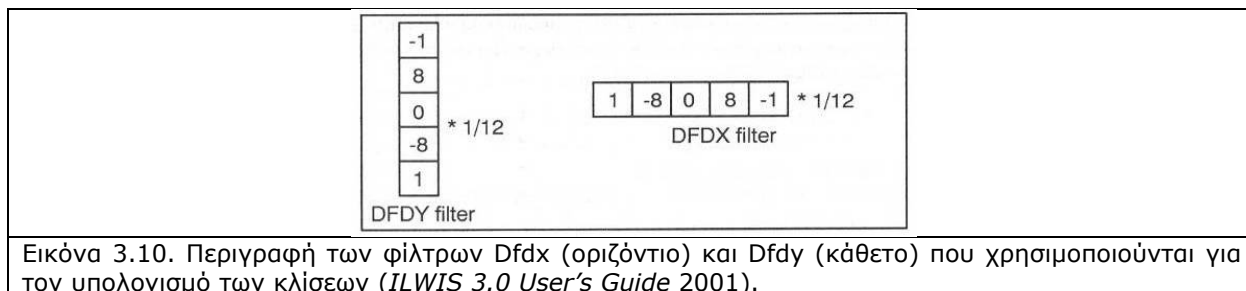
Εικόνα 3.9. Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης, με ΒΔ φωτισμό.

κεκλιμένης επιφάνειας στην πιο απότομη κατεύθυνσή της (Jenness 2007). Με τη βοήθεια αυτών των φίλτρων μπορούν να υπολογιστούν οι οριζόντιες και κάθετες κλίσεις για κάθε εικονοστοιχείο, οι οποίες στη συνέχεια θα δώσουν το χάρτη κλίσεων. Το φίλτρο κλίσης είναι ένας μαθηματικός πίνακας $n \times n$ (όπου n : περιττός αριθμός) με συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές. Κάθε τιμή του φίλτρου πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη τιμή του εικονοστοιχείου του χάρτη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για όλα τα εικονοστοιχεία του φίλτρου προστίθενται και το τελικό αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή (gain) και αποθηκεύεται στο κεντρικό εικονοστοιχείο. Στη συνέχεια ο πίνακας μετακινείται στο επόμενο εικονοστοιχείο προς τα δεξιά και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Αφού ο πίνακας διατρέξει όλη την πρώτη γραμμή μέχρι και την τελευταία κυψελίδα, μετακινείται στην πρώτη κυψελίδα της δεύτερης γραμμής. Με αυτόν τον τρόπο, μία νέα τιμή υπολογίζεται για κάθε κυψελίδα του νέου χάρτη (Jones 1998).

Για τη δημιουργία του χάρτη κλίσεων (slope map) χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα κλίσεων (Df_{dy} και Df_{dx}), τα οποία δίνουν έναν καλύτερο υπολογισμό της πρώτης παραγώγου (Εικόνα 3.10). Η διαδικασία για την κατασκευή του χάρτη κλίσεων περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- α) Υπολογισμός του χάρτη κλίσης προς την κατεύθυνση του X , με την εφαρμογή του οριζόντιου φίλτρου Df_{dx} στο DEM.
- β) Υπολογισμός του χάρτη κλίσης προς την κατεύθυνση του Y , με την εφαρμογή του κάθετου φίλτρου Df_{dy} στο DEM.

γ) Δημιουργία του τελικού χάρτη κλίσεων, που περιγράφει την κλίση κάθε σημείου στο χάρτη επί της εκατό (%), με τη βοήθεια ειδικού αλγόριθμου.

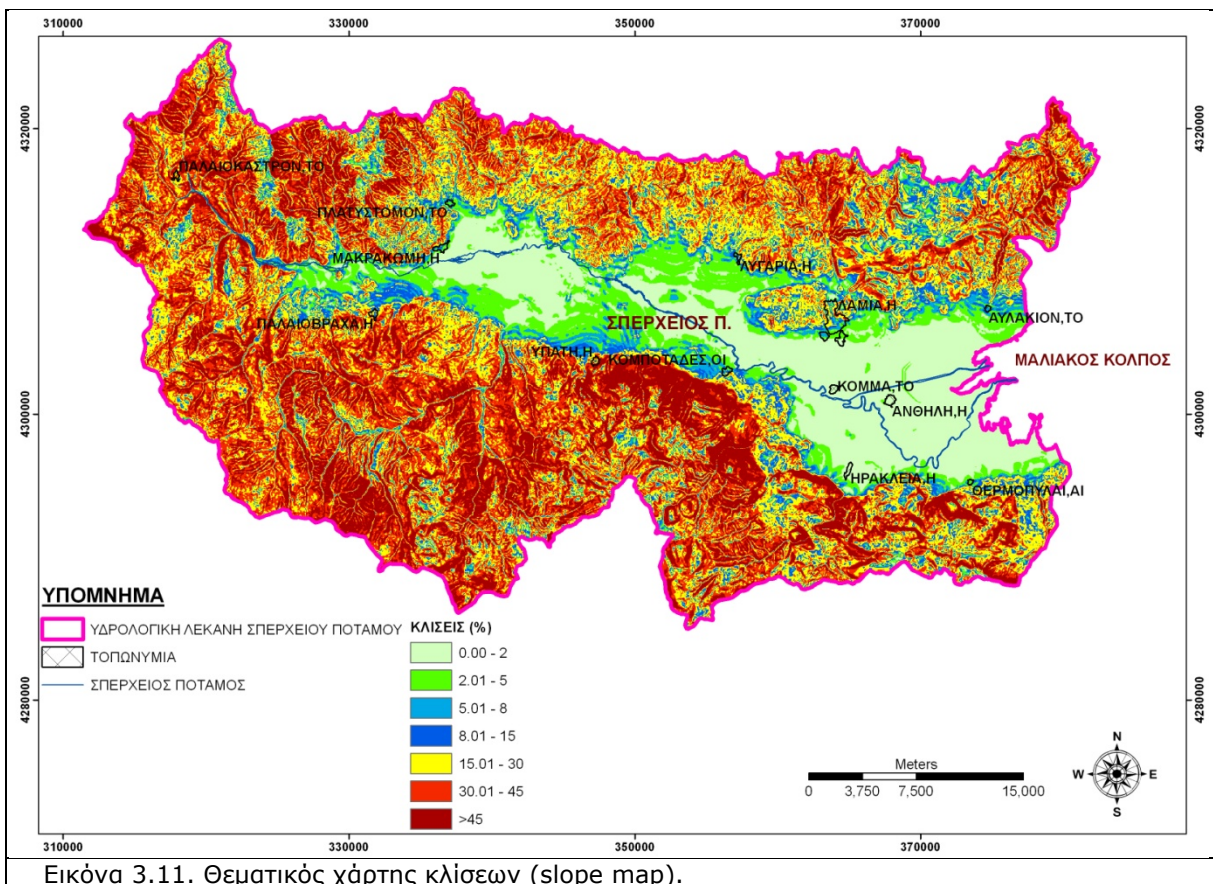


Για τη βελτίωση του οπτικού αποτελέσματος και της παρουσίασης του τελικού προϊόντος, έγινε η ταξινόμηση του χάρτη κλίσεων, η οποία βασίστηκε στην ομαδοποίηση των κλίσεων. Ο τελικός ταξινομημένος χάρτης αν και είναι λιγότερο λεπτομερής από τον αρχικό χάρτη, εντούτοις μπορεί να μελετηθεί και να αντληθεί η πληροφορία ευκολότερα λόγω του περιορισμένου αριθμού των κλάσεων.

Μελετώντας τις μεθόδους ταξινόμησης των κλίσεων, που έχουν αναφερθεί κατά το παρελθόν στη διεθνή βιβλιογραφία (*Evans 1980, Horn 1981, Karaska et al. 1986, Kok et al. 1995, Floras & Sgouras 1999, Kosmas et al. 2000, Haboudane et al. 2002*), σε συνδυασμό με τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται στην περιοχή της Φθιώτιδας και σχετίζονται με την κάλυψη/χρήση γης, την μορφολογία και την ανάδειξη συγκεκριμένων λεπτομερειών που αφορούν τους στόχους της παρούσας διατριβής, κρίθηκε απαραίτητη η χρησιμοποίηση 8 κλάσεων ταξινόμησης. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε ένα νέο σύστημα ιδιοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει την πληροφόρηση των 8 ομάδων ταξινόμησης των κλίσεων (επίπεδες περιοχές 0-2%, πολύ ήπια κλίση 2-5%, ήπια κλίση 5-8%, μέτρια κλίση 8-15%, μέτρια απότομη κλίση 15-30%, απότομη κλίση 30-45%, πολύ απότομη κλίση >45%), καθώς και το σύστημα απεικόνισης που καθορίζει τα χρώματα με τα οποία απεικονίζονται στον χάρτη οι ομάδες αυτές (Εικόνα 3.12). Στη συνέχεια έγινε η εφαρμογή του κατάλληλου αλγόριθμου για τη δημιουργία του ταξινομημένου χάρτη κλίσεων.

Η έκταση που καλύπτει κάθε κλάση κλίσεων στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.11, με τις μέτρια απότομες και απότομες κλίσεις να αποτελούν την κυρίαρχη κλάση με ποσοστό 24,67 και 24,53% αντίστοιχα, ενώ οι πολύ απότομες κλίσεις καλύπτουν το 30% της συνολικής έκτασης και βρίσκονται κυρίως στο νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Ο θεματικός χάρτης των κλίσεων θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την συσχέτισή του με την κάλυψη/χρήση γης και άλλους θεματικούς χάρτες, για τον καθορισμό ευαίσθητων περιοχών στη διάβρωση και σε μία πιθανή μελλοντική υποβάθμιση γης, λόγω της έντονης ανθρώπινης πίεσης που υφίσταται η περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα το φυσικό περιβάλλον.



Εικόνα 3.11. Θεματικός χάρτης κλίσεων (slope map).

Πίνακας 3.11. Έκταση και ποσοτό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων

Χαρακτηρισμός κλίσης	Κλίση (%)	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
επίπεδες περιοχές	0-2	238,76	13,06
πολύ ήπια κλίση	2-5	139,60	7,64
Ήπια κλίση	5-8	79,77	4,36
μέτρια κλίση	8-15	139,59	7,63
μέτρια απότομη κλίση	15-30	450,88	24,67
απότομη κλίση	30-45	448,42	24,53
πολύ απότομη κλίση	>45	330,98	18,11

3.2.2.5. Χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων

Για τη δημιουργία του χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων (slope aspect map) χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα κλίσεων (Dfdy και Dfdx) (Εικόνα 3.10). Η διαδικασία για την κατασκευή του χάρτη προσανατολισμού περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

α) Υπολογισμός του χάρτη κλίσης προς την κατεύθυνση του Χ, με την εφαρμογή του οριζώντιου φίλτρου Dfdx επάνω στο DEM.

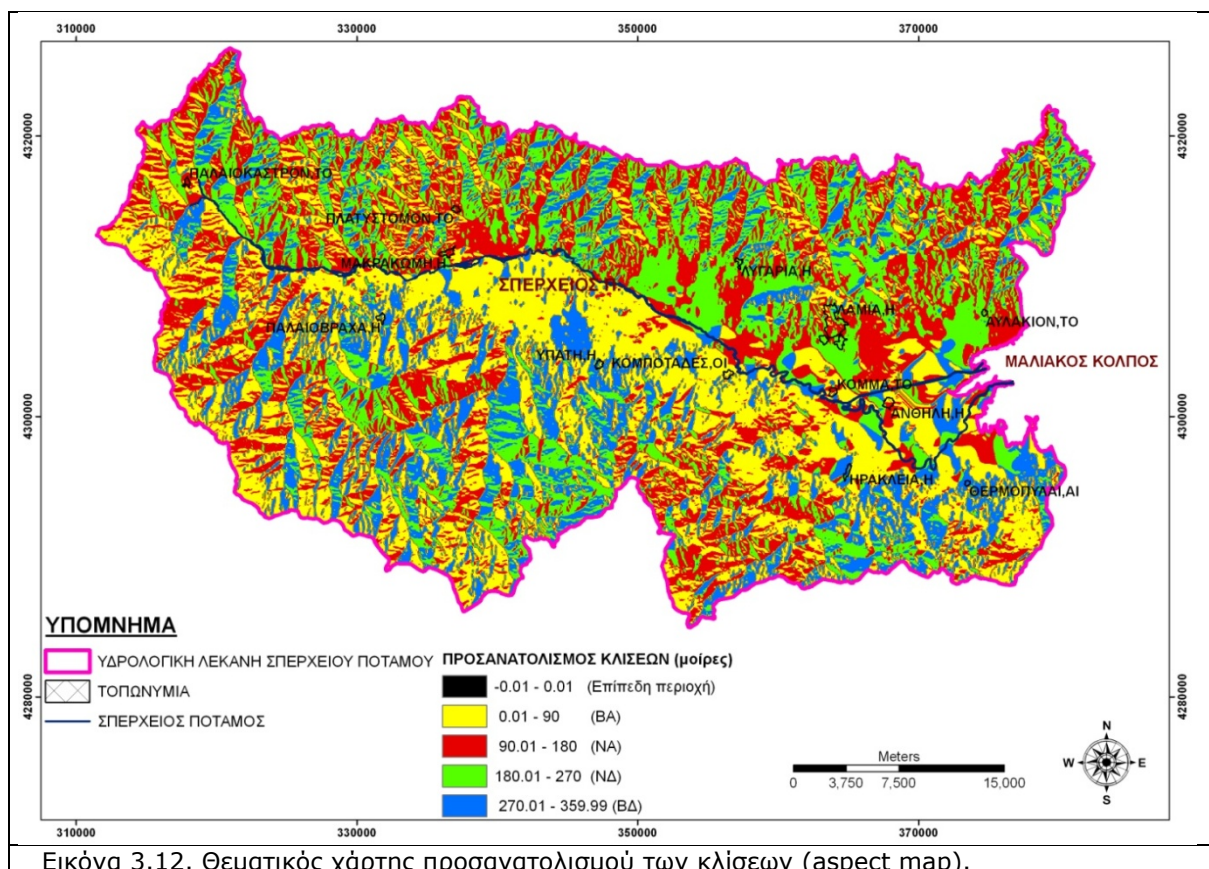
β) Υπολογισμός του χάρτη κλίσης προς την κατεύθυνση του Υ, με την εφαρμογή του κάθετου φίλτρου Dfdy επάνω στο DEM.

γ) Δημιουργία του τελικού χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων, που περιγράφει τον προσανατολισμό κάθε σημείου στο χάρτη, με τη βοήθεια ειδικού αλγόριθμου. Ο αλγόριθμος αυτός παράγει τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 360. Για τις επίπεδες περιοχές (με κλίση

0%) δεν υπολογίζεται ο προσανατολισμός (δεν υφίσταται) και επομένως τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία δεν παίρνουν κάποια συγκεκριμένη τιμή.

Για τη βελτίωση του οπτικού αποτελέσματος και της παρουσίασης του τελικού προϊόντος, έγινε η ταξινόμηση του χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων. Ο τελικός ταξινομημένος χάρτης αν και είναι λιγότερο λεπτομερής από τον αρχικό χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων, εντούτοις μπορεί να μελετηθεί ευκολότερα λόγω του περιορισμένου αριθμού των κλάσεων. Η ταξινόμηση αυτή βασίστηκε στην ομαδοποίηση των προσανατολισμών.

Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε νέο σύστημα ιδιοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει την πληροφόρηση των 5 κλάσεων ταξινόμησης του προσανατολισμού των κλίσεων (Επίπεδη περιοχή 0°, ΒΑ 0,01-90°, ΝΑ 90-180°, ΝΔ 180-270°, ΒΔ 270-359,99°), καθώς και το σύστημα απεικόνισης που καθορίζει τα χρώματα με τα οποία παρουσιάζονται στον χάρτη οι ομάδες αυτές. Στη συνέχεια έγινε η εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου για τη δημιουργία του ταξινομημένου χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12. Θεματικός χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (aspect map).

Η έκταση που καλύπτει κάθε κλάση προσανατολισμού των κλίσεων στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στον πίνακα 3.12, με τον ΝΑ προσανατολισμό να αποτελεί την κυρίαρχη κλάση, ενώ γενικότερα οι νότιοι προσανατολισμοί καλύπτουν το 56% της περιοχής μελέτης.

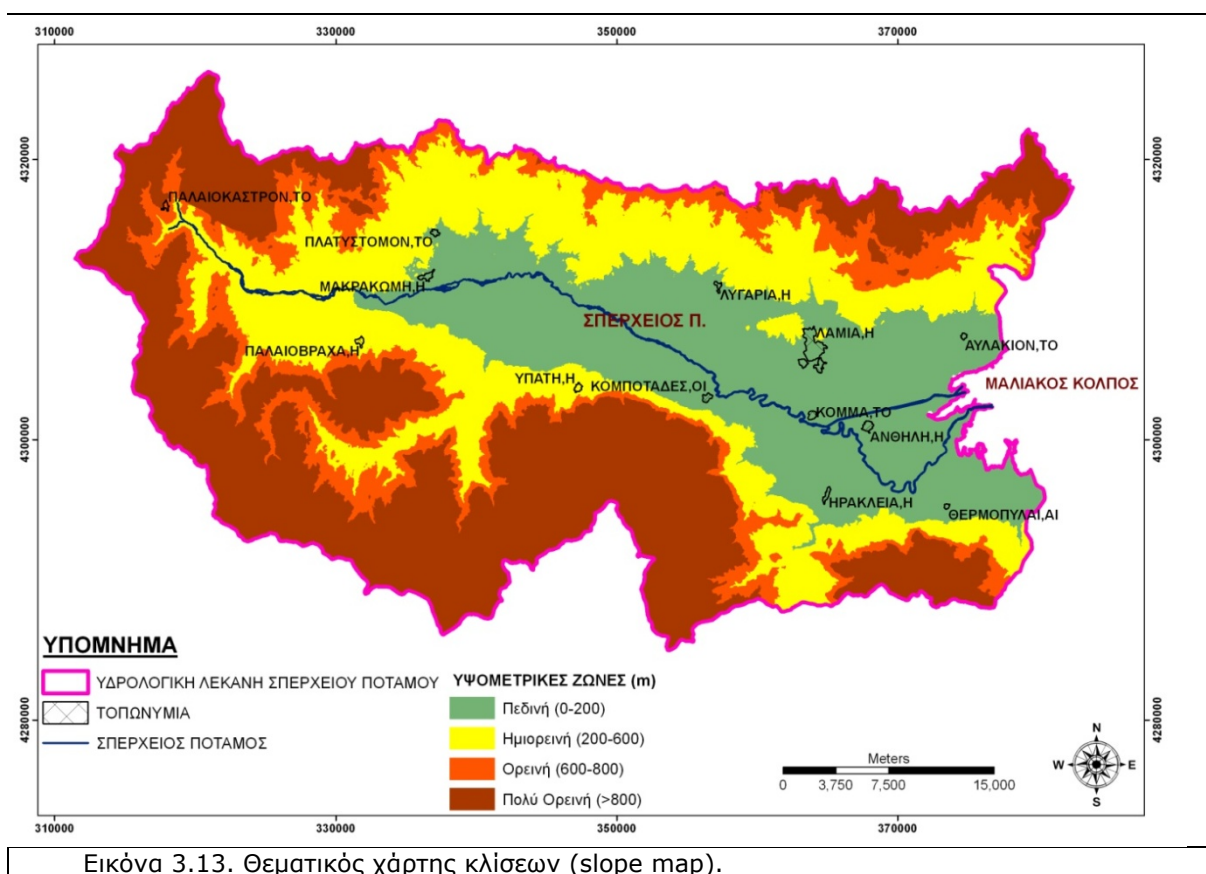
Ο θεματικός χάρτης του προσανατολισμού των κλίσεων θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τη διερεύνηση του καθορισμού μιας πιθανής σχέσης ανάμεσα στο είδος και την πυκνότητα της βλάστησης, καθώς και άλλων τύπων κάλυψης/χρήσης γης, και τον προσανατολισμό της επιφάνειας.

Πίνακας 3.12. Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης προσανατολισμού των κλίσεων

Κλίση	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Επίπεδη περιοχή	0,59	0,03
ΒΑ	498,32	27,26
ΝΑ	560,05	30,64
ΝΔ	463,87	25,38
ΒΔ	305,27	16,70

3.2.2.6. Χάρτης υψομετρικών ζωνών

Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά για την αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε δισδιάστατους χάρτες είναι η ομαδοποίηση των υψομέτρων και η παρουσίασή τους κατά ζώνες. Ο χάρτης αυτός μπορεί να παραχθεί πολύ εύκολα από το DEM και το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να μελετηθεί ευκολότερα λόγω και του περιορισμένου αριθμού ζωνών. Από την άλλη πλευρά, όμως, είναι λιγότερο λεπτομερές σε σχέση με τον αρχικό χάρτη. Για τη δημιουργία του χάρτη των πεδινών, ημιορεινών και ορεινών περιοχών δημιουργήθηκε ένα νέο σύστημα ιδιοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει την πληροφόρηση των ομάδων ταξινόμησης των υψομέτρων. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν 4 υψομετρικές ζώνες, η πεδινή (0-200 m), η ημιορεινή (201-600 m), η ορεινή (601-800 m) και η πολύ ορεινή (801-1600 m). Ακολούθως καθορίστηκε το σύστημα απεικόνισης, που καθορίζει τα χρώματα με τα οποία απεικονίζονται οι ζώνες (Εικόνα 3.13).



Στη συνέχεια έγινε η εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου για τη δημιουργία του χάρτη των τεσσάρων ζωνών. Η επεξεργασία των υψομετρικών δεδομένων έδωσε ορισμένα στοιχεία σχετικά με τις εκτάσεις που καλύπτουν αυτές οι υψομετρικές ζώνες (Πίνακας 3.13) και είναι εμφανές ότι η ορεινή ζώνη καλύπτει πολύ μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης (44,10%).

Πίνακας 3.13. Έκταση (E) και ποσοστό των τεσσάρων υψομετρικών ζωνών

Υψομετρική Ζώνη (m)	E (km ²)	E (%)	ΣΕ(%)
Πεδινή (0-200)	323,93	17,72	17,72
Ημιορεινή (200-600)	441,70	24,17	41,89
Ορεινή (600-800)	256,13	14,01	55,9
Πολύ Ορεινή (>800)	806,24	44,10	100,00

3.2.2.7. Χάρτης καμπυλότητας

Ένας ακόμη χρήσιμος χάρτης που προκύπτει από το DEM είναι ο χάρτης καμπυλότητας (curvature) των πρανών, ο οποίο αποδίδει πρακτικά την μορφολογία της τοπογραφίας. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ερμηνεία της εξέλιξης και λειτουργίας των διάφορων γεωμορφών (Zevenbergen & Thorne 1987, Lashermes et al. 2007, Istanbuluoglu et al. 2008). Η καμπυλότητα υπολογίζεται από την μαθηματική σχέση:

$$C = \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} \right)$$

όπου Z= το υψόμετρο,

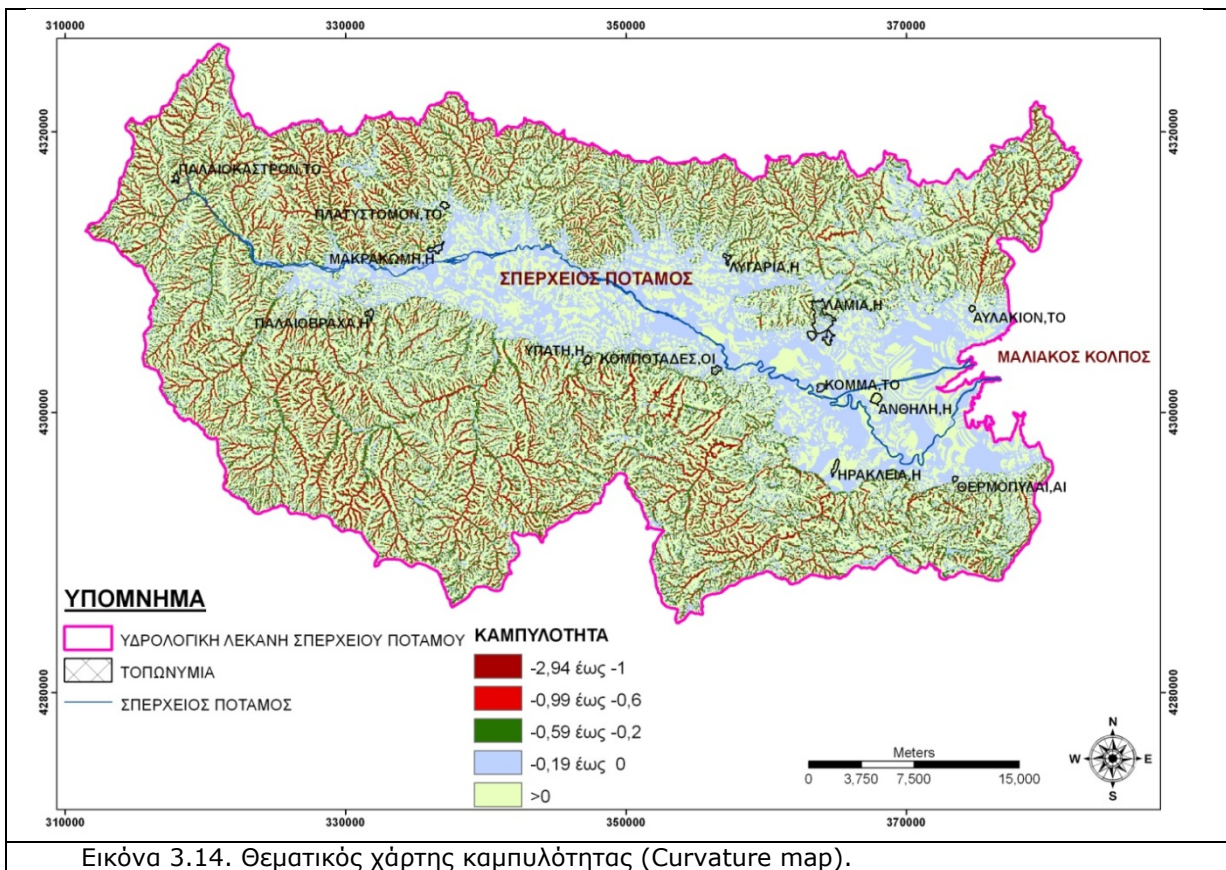
$\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2}$ = η επίπεδη καμπυλότητα που αναπαριστά το βαθμό σύγκλισης ή απόκλισης, κάθετα στην ροή

και $\frac{\partial^2 Z}{\partial y^2}$ = το προφίλ καμπυλότητας που δείχνει την κυρτή ή κοίλη επιφάνεια κατά μήκος της ροής

Σε γενικές γραμμές, οι συνθήκες απόκλισης και καμπυλότητας ($C < 0$), σχετίζονται με την επικράτηση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε λοφώδεις περιοχές. Αντίθετα οι συνθήκες σύγκλισης και κοίλης καμπυλότητας σχετίζονται με διαδικασίες διάβρωσης που λαμβάνουν χώρα σε ποτάμιες περιοχές (Tarolli & Fontana 2009). Στον χάρτη καμπυλότητας που προέκυψε, οι τιμές του μηδέν αντιστοιχούν σε επίπεδες περιοχές, ενώ για τις αρνητικές τιμές, όσο μικρότερη η τιμή τόσο περισσότερο είναι ευαίσθητη μία περιοχή σε κατολίσθηση (Φουμέλης και αλ. 2004) (Εικόνα 3.14)

3.2.5. Θεματικός χάρτης γεωλογικών ενοτήτων

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της ψηφιοποίησης, πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη ενοποίηση των γεωλογικών ενοτήτων που εμφανίζονται στους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής, με σκοπό τη διευκόλυνση της επεξεργασίας των δεδομένων, της ανάλυσης και της εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν για την συνένωση 10 χάρτες, ενώ για την περιοχή που βρίσκεται το φύλλο Λιδορίκι και στο οποίο αντιστοιχούσε ένα μικρό τμήμα της περιοχής έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία χαρτογράφησης του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι κατηγορίες που

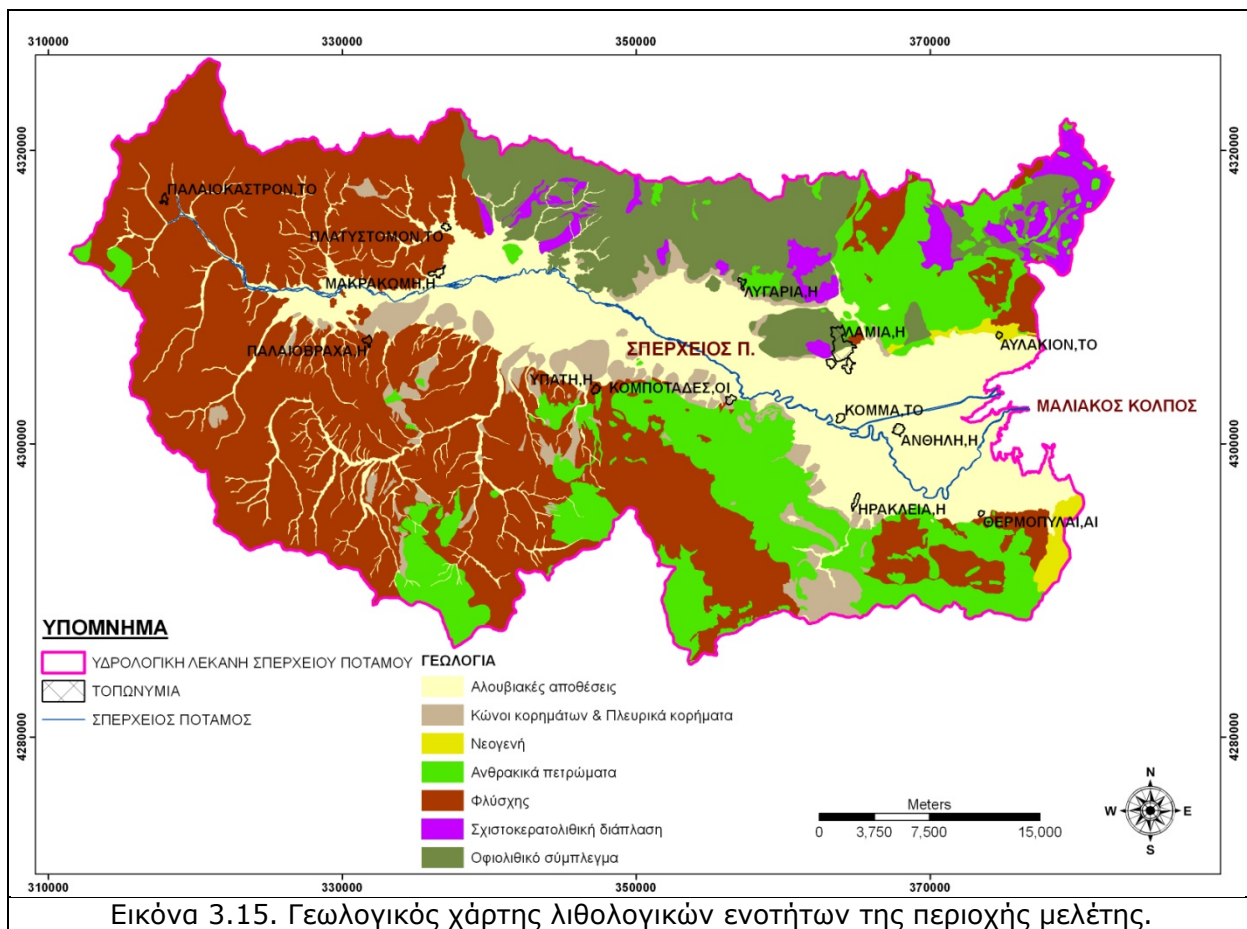


δημιουργήθηκαν είναι οι εξής: α) Αλουβιακές αποθέσεις, β) Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα, γ) Νεογενή, δ) Φλύσχος, ε) Ανθρακικά πετρώματα, ζ) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση και η) Οφιόλιθοι .

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του προγράμματος διαχείρισης των πολυγώνων του ILWIS, οι γραμμές που ψηφιοποιήθηκαν μετατράπηκαν σε πολύγωνα, τα οποία αντιστοιχούν στις ενοποιημένες γεωλογικές ενότητες της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.15). Με τη δημιουργία των πολυγώνων αυτών, αυτόματα, παρήχθησαν ορισμένα στοιχεία σχετικά με την έκταση που καταλαμβάνουν οι γεωλογικές ενότητες (Πίνακα 3.14). Ακολούθως έγινε η μετατροπή του χάρτη των πολυγώνων σε έναν raster χάρτη με το κοινό σύστημα γεωαναφοράς, για τη διευκόλυνση της μετέπειτα συσχέτισης της γεωλογίας με άλλους θεματικούς χάρτες.

Πίνακας 3.14. Εμβαδό των ενοποιημένων γεωλογικών ενότητων

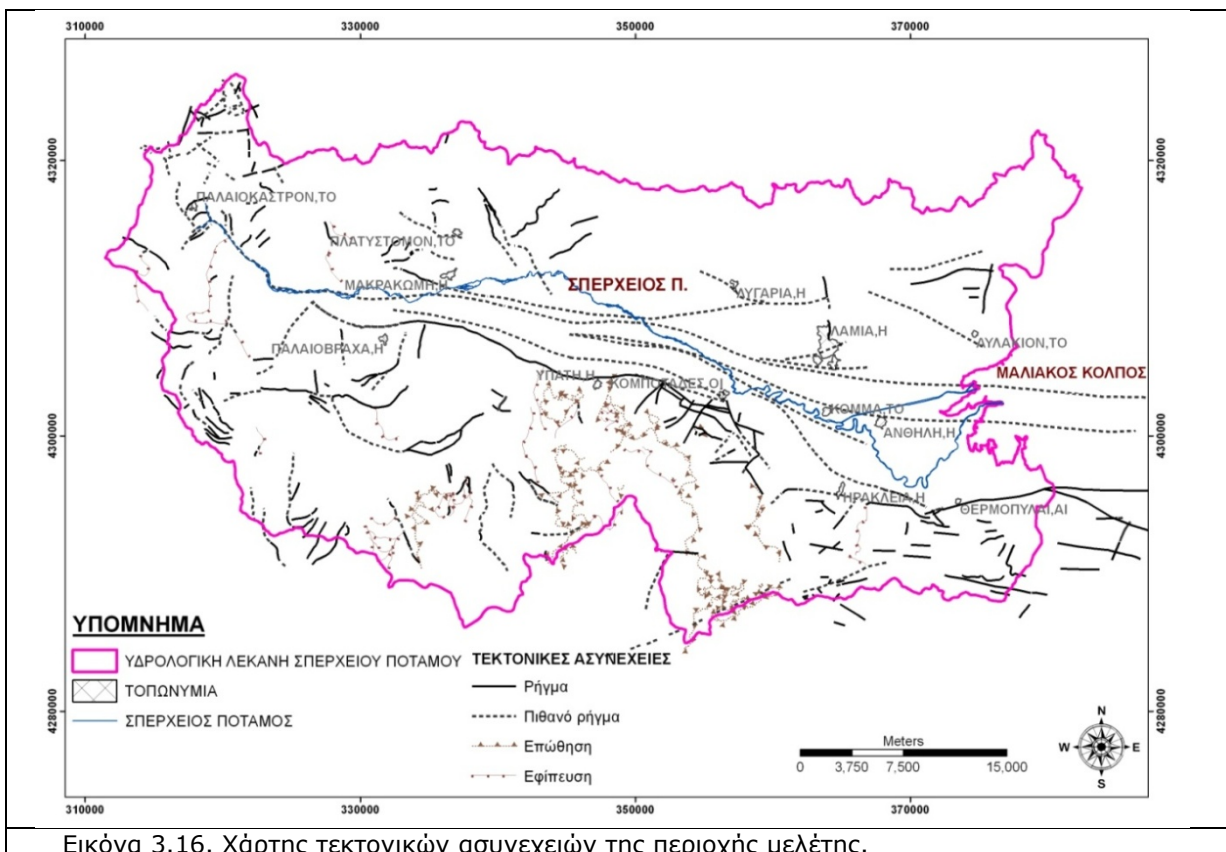
α/α	Γεωλογικός Σχηματισμός	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
1	Αλουβιακές αποθέσεις	401,37	21,96
2	Κώνοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	88,61	4,85
3	Νεογενή	296,81	0,74
4	Φλύσχος	13,44	42,83
5	Ανθρακικά πετρώματα	782,88	16,24
6	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	51,66	2,83
7	Οφιόλιθοι	193,23	10,57
	Σύνολο:	1.828,00	100,00



3.2.5.1. Χάρτης τεκτονικών ασυνεχειών

Δημιουργήθηκε ο χάρτης των τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τα στοιχεία (Εικόνα): (α) των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000, (β) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, (γ) των δορυφορικών εικόνων, (δ) των υπάρχοντων γεωλογικών χαρτών 1:50,000 του ΙΓΜΕ και (ε) αποτελέσματα γεωλογικών μελετών και ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή (Αποστολόπουλος 1993, *Eliet & Gawthorpe* 1995, *Marinos & Rondoyanni* 1998, *Pirazzoli et al.* 1999, *Jackson* 1999, *Jackson & McKenzie* 1999, *Zavoili et al.* 2004, *Van Andel & Perissoratis* 2006).

Η μελέτη του παραπάνω υλικού έγινε με σκοπό την αναγνώριση τεκτονικά ελεγχόμενων γεωμορφολογικών ασυνεχειών (πιθανών ή βέβαιων ρηγμάτων), την αναγνώριση λιθολογικών ασυνεχειών και την αναγνώριση χαρακτηριστικών ανωμαλιών στο υδρογραφικό δίκτυο, οι οποίες οφείλονται στην ευρύτερη ρηξιγενή ζώνη, μη αναγνωρίσιμους από άλλου είδους παρατηρήσεις. Καταβλήθηκε επίσης προσπάθεια, ώστε ο χάρτης να περιλαμβάνει το μικρότερο δυνατό ποσοστό ασυνεχειών αυξημένης αβεβαιότητας. Έτσι, αποφεύχθηκε η χάραξη ασυνεχειών οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν πιθανές, αλλά δεν είχαν επαρκώς σαφές μορφολογικό ίχνος (πάντα σε κλίμακα 1:50.000) (Εικόνα 3.16).

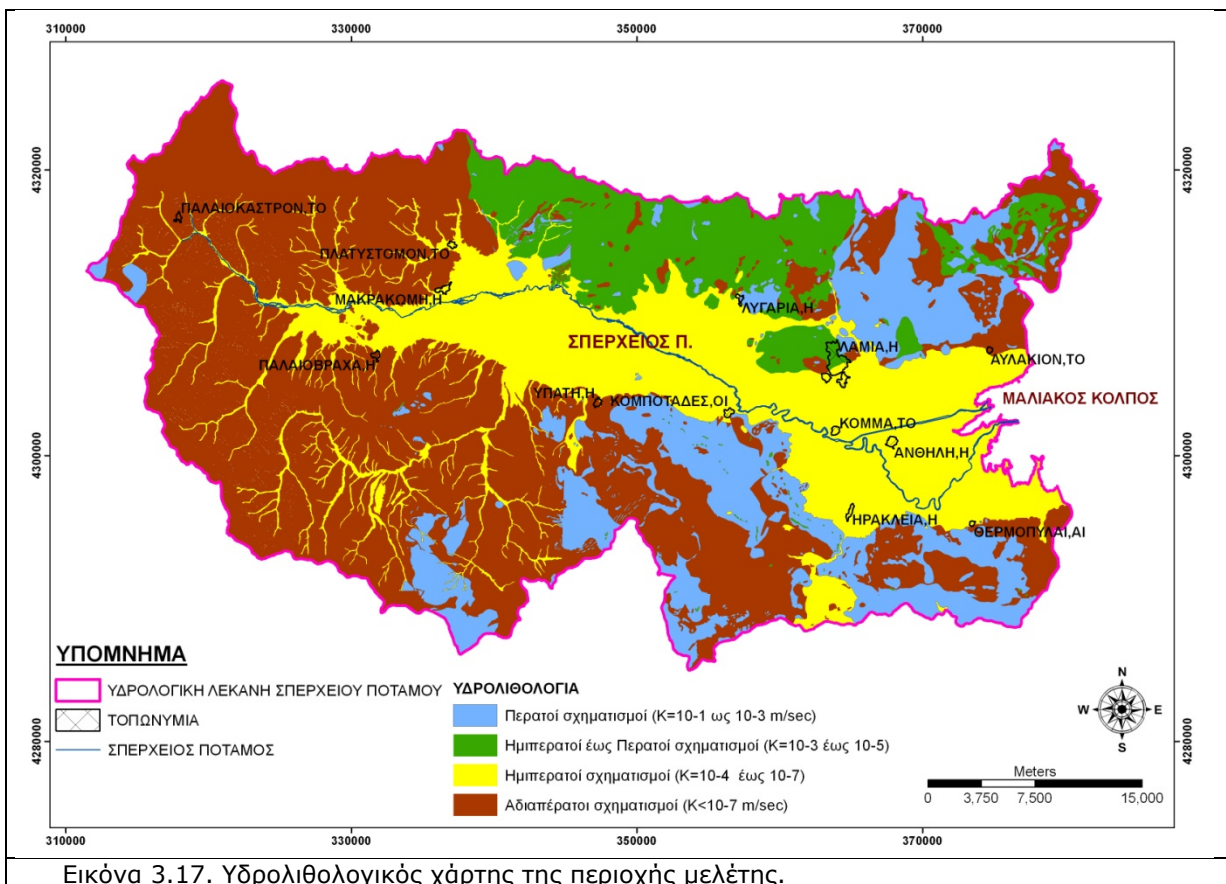


3.2.5.2. Υδρολιθολογικός χάρτης

Σύμφωνα με τις υδρογεωλογικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις λιθολογικές ενότητες που απαρτίζουν την περιοχή, δημιουργήθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης ο οποίος δείχνει την περατότητά τους. Έτσι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε περατούς, ημιπερατούς έως περατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους στο νερό. Στον πίνακα 3.15 παρουσιάζονται τα εμβαδά και τα ποσοστά των υδρολιθολογικών ενοτήτων καθώς και το ποσοστό που καταλαμβάνουν στο σύνολο της λεκάνης. Στην εικόνα 3.17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ενοτήτων αυτών.

Πίνακας 3.15. Εμβαδά και ποσοστά επί του συνόλου των Υδρολιθολογικών ενοτήτων της περιοχής

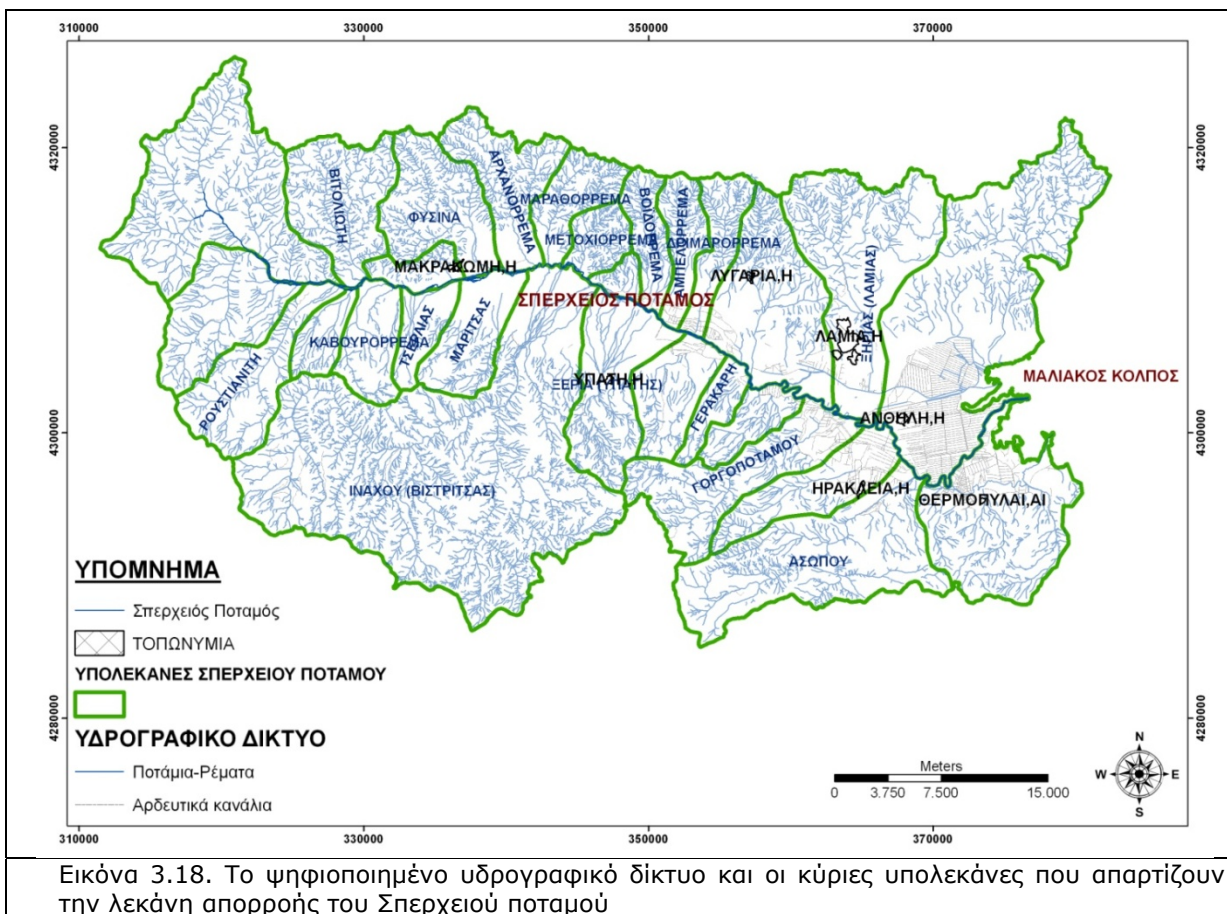
α/α	Γεωλογικός Σχηματισμός	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό % επί του συνόλου
1	Περατοί σχηματισμοί (Ανθρακικά πετρώματα)	284,10	15,54
2	Ημιπερατοί έως περατοί σχηματισμοί (Οφιόλιθοι)	207,31	11,34
3	Ημιπερατοί σχηματισμοί (Αλουβιακές αποθέσεις)	464,26	25,40
4	Αδιαπέρατοι σχηματισμοί (Φλύσχης, Σχιστοκερατολιθική, Κώνιοι κορημάτων)	872,33	47,72
Σύνολο:		1.828,00	100,00



3.2.6. Θεματικός χάρτης υδρολογικών λεκανών και υπολεκανών

Το δίκτυο των διαφόρων ρεμάτων που συμβάλλουν μεταξύ τους και δημιουργούν τελικά έναν μεγάλο ποταμό ή ρέμα, αποτελεί ένα δίκτυο (σύστημα) απορροής. Η έκταση που αποστραγγίζεται από ένα τέτοιο δίκτυο καλείται λεκάνη απορροής. Τα όρια της λεκάνης ορίζουν τα ψηλότερα σημεία που την περιβάλλουν και η τεθλασμένη γραμμή που προκύπτει ονομάζεται υδροκρίτης, η οποία διαχωρίζει τις γειτονικές λεκάνες μεταξύ τους (Παυλόπουλος 2003). Εκτός του υδρογραφικού δικτύου, ψηφιοποιήθηκαν και τα όρια των λεκανών απορροής της περιοχής μελέτης. Οι λεκάνες οριοθετούνται, ουσιαστικά, από τον υδροκρίτη τους και από την ακτογραμμή.

Το ψηφιακό αρχείο με τα όρια των λεκανών δημιουργήθηκε με τη χρησιμοποίηση του ίδιου συστήματος συντεταγμένων. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 18 κύριες υπολεκάνες, ενώ υπάρχουν και μερικές δευτερεύουσες, οι οποίες όμως λόγω του μικρού τους μεγέθους, ενσωματώθηκαν στις κύριες λεκάνες (Εικόνα 3.18). Με τη δημιουργία των λεκανών, αυτόματα υπολογίστηκαν το μήκος περιμέτρου και το εμβαδό τους (Πίνακας 3.16). Τα ονόματα των λεκανών απορροής δόθηκαν με βάση το όνομα του ποταμού ή του κυρίου ρέματος που τις αποστραγγίζει.



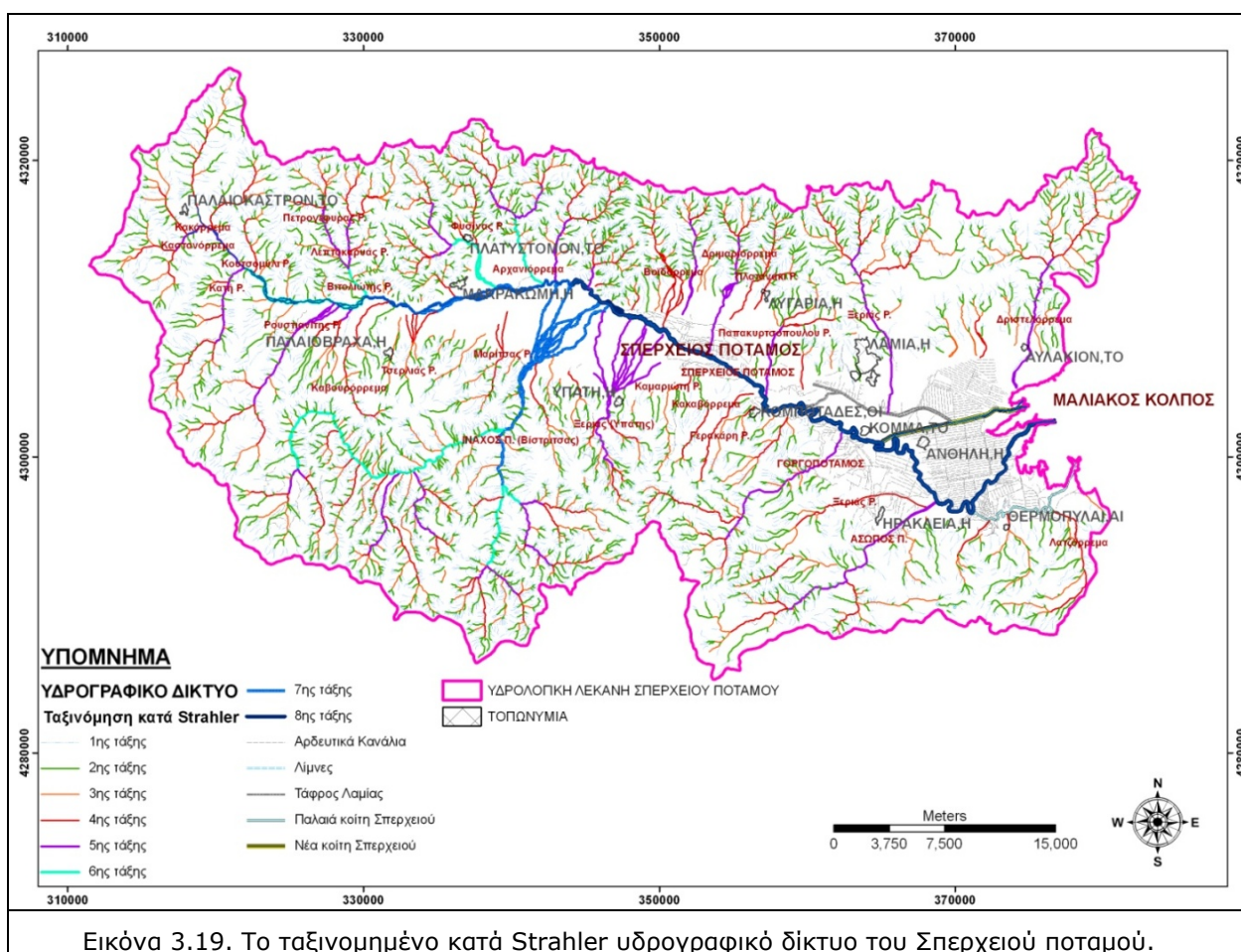
Πίνακας 3.16. Περίμετρος και εμβαδό των κύριων υπολεκανών του ποταμού Σπερχειού

Λεκάνη απορροής	Περίμετρος λεκάνης (km)	Εμβαδό λεκάνης (km ²)
π. Ίναχος (Βίστριτσας)	104,58	341,86
π. Ασωπός	58,98	112,97
π. Ξηριάς (Λαμίας)	56,42	108,91
π. Γοργοπόταμος	52,90	67,72
ρ. Ξεριάς (Υπάτης)	39,80	60,94
ρ. Βιτολιώτης	36,27	58,85
ρ. Φυσίνα	35,97	56,47
ρ. Ρουσιανίτης	39,67	53,11
ρ. Αρχανόρρεμα	38,54	47,40
ρ. Δριμαρόρρεμα	30,84	26,62
ρ. Μαρίτσας	27,84	38,09
ρ. Καβουρόρρεμα	24,40	30,47
ρ. Μαραθόρρεμα	25,74	28,77
ρ. Αμπελόρρεμα	26,63	24,43
ρ. Βοϊδόρρεμα	25,56	23,29
ρ. Τσερλιάς	21,96	19,82
ρ. Μετοχιόρρεμα	17,77	18,06
ρ. Γερακάρη	20,86	15,99

Ακολούθως έγινε η μετατροπή του χάρτη των πολυγώνων σε έναν raster χάρτη, με το κοινό σύστημα γεωαναφοράς, έτσι ώστε να είναι εφικτή η συσχέτιση του με δεδομένα άλλων θεματικών χαρτών.

3.2.7. Θεματικός χάρτης υδρογραφικού δικτύου

Αρχικά ψηφιοποιήθηκαν από τους τοπογραφικούς χάρτες (κλίμακας 1:50.000) όλα τα ποτάμια και ρέματα (μόνιμης και μη μόνιμης ροής) καθώς και τα αρδευτικά-στραγγιστικά κανάλια και συμπληρώθηκαν ή βελτιώθηκαν με την συνδρομή τόσο των ορθοφωτοχαρτών, όσο και των δορυφορικών εικόνων (Astaras 1985). Κατόπιν πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου με τη μέθοδο Strahler (1952, 1954, 1957, 1964) (Εικόνα 3.19).



Η συστηματική μελέτη της δομής του υδρογραφικού δικτύου ξεκίνησε από τον Horton (1932, 1945) στην δεκαετία του 1940 και συμπληρώθηκε από τον Strahler στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του υδρογραφικού δικτύου που έχουν προτείνει, σε κάθε κλάδο του δικτύου αποδίδεται ένας αριθμός που χαρακτηρίζει την τάξη του. Οι κλάδοι χωρίς ανάντη συμβολές αριθμούνται με τάξη 1. Όταν συμβάλλουν δύο

κλάδοι με τάξη 1, τότε ο κατάντη κλάδος αριθμείται με 2. Κατά τον ίδιο τρόπο, όταν συμβάλλουν δύο κλάδοι με την ίδια τάξη i , στον αμέσως κατάντη κλάδο αποδίδεται τάξη $i+1$. Στην περίπτωση όμως που συμβάλλουν κλάδοι με διαφορετικές τάξεις, ο κατάντη κλάδος διατηρεί τη μεγαλύτερη από τις δυο τάξεις των ανάντη κλάδων. Η τάξη του πιο κατάντη κλάδου i χαρακτηρίζει και την τάξη της λεκάνης που εξετάζεται (Παυλόπουλος 2003). Ο τρόπος αρίθμησης αυτός διασαφηνίζεται στην εικόνα 3.20.



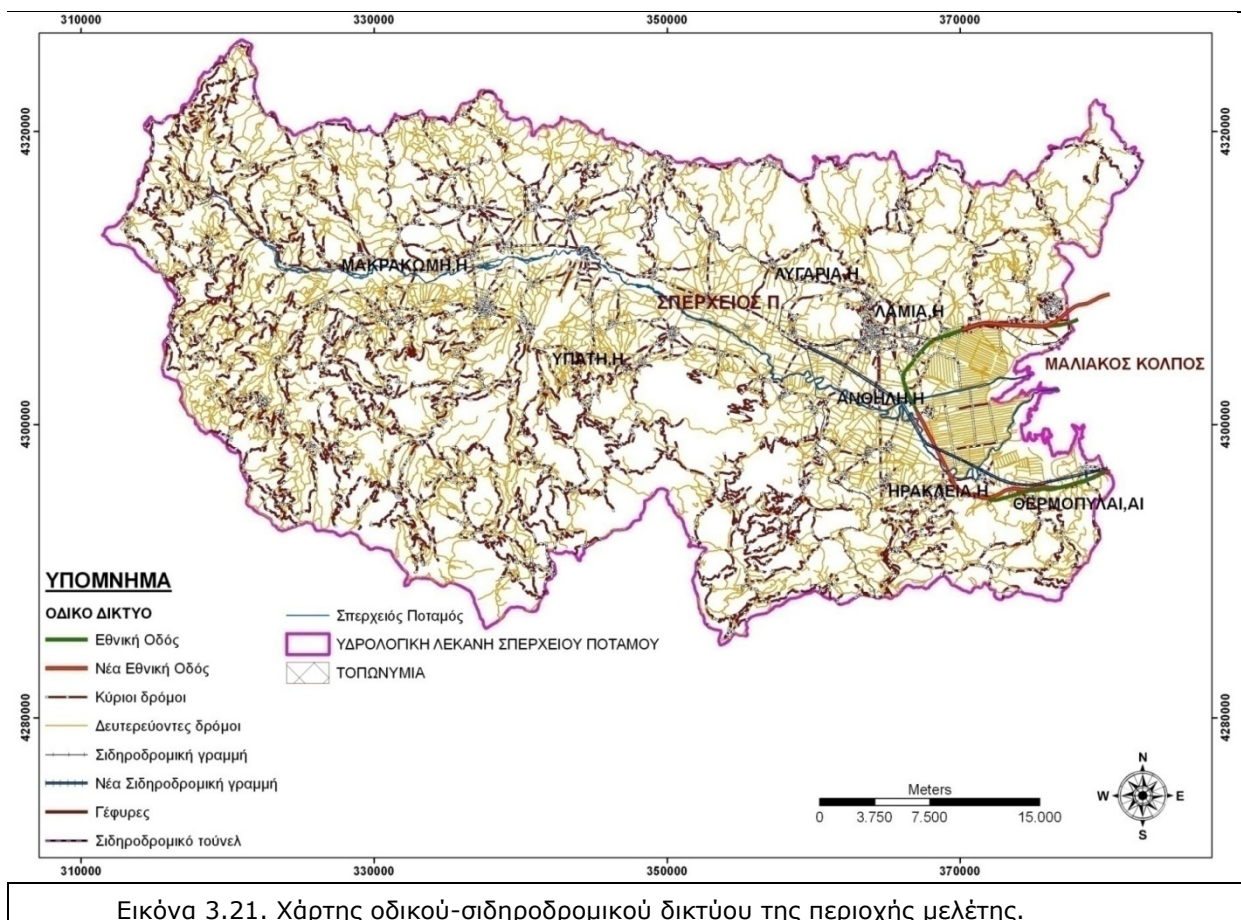
3.2.8. Θεματικός χάρτης οδικού – σιδηροδρομικού δικτύου

Η ψηφιοποίηση του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου περιορίστηκε μέσα στην περιοχή μελέτης, όπως αυτή οριοθετήθηκε κατά την έναρξη της διατριβής. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο δίκτυο που ψηφιοποιήθηκε, δεν αντιπροσωπεύει ακριβώς την σημερινή κατάσταση, λόγω της παλαιότητας των τοπογραφικών χαρτών, αλλά αποτελεί την υφιστάμενη κατάσταση της περιόδου 1989-1990. Τα βασικά στοιχεία που ψηφιοποιήθηκαν, από τους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000, ήταν η Εθνική Οδός και η Παλαιά Εθνική Οδός, το κύριο και δευτερεύων οδικό δίκτυο, η υπάρχουσα σιδηροδρομική γραμμή, καθώς και οι γέφυρες (οδικές και σιδηροδρομικές) και τα σιδηροδρομικά τούνελ που περνάνε από την περιοχή. Για την καλύτερη επικαιροποίηση του χάρτη, συμπληρώθηκαν για την περιοχή έρευνας, από τις πιο πρόσφατες αεροφωτογραφίες (2007) και την δορυφορική εικόνα Landsat (2007), η Νέα Εθνική Οδός και η Νέα Σιδηροδρομική Γραμμή που περνάνε από την παράκτια ζώνη, ενώ σε ορισμένα σημεία συμπληρώθηκαν παράλληλη με την υπάρχουσα Εθνική οδό, σημεία στα οποία έχει πλέον γίνει διαπλάτυνση του δρόμου.

Με τη δημιουργία του νέου ψηφιακού αρχείου, αυτόματα κατασκευάστηκαν δύο συμπληρωματικά αρχεία, το σύστημα ιδιοτήτων και το σύστημα απεικόνισης. Στο μεν πρώτο περιλαμβάνεται η πληροφόρηση των ιδιοτήτων των χωρικών δεδομένων του θεματικού χάρτη και πιο συγκεκριμένα οι κατηγορίες του δικτύου, στο δε δεύτερο καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο απεικονίζονται οι ψηφιοποιημένες γραμμές που αναπαριστούν τις διάφορες κατηγορίες του δικτύου (Εικόνα 3.21). Μετά το τέλος της ψηφιοποίησης, δημιουργήθηκε ο πίνακας της βάσης δεδομένων του ILWIS που περιλαμβάνει τα συνολικά μήκη του δικτύου ανά κατηγορία σε όλη την περιοχή μελέτης (Πίνακας 3.17).

Πίνακας 3.17. Μήκη του δικτύου ανά κατηγορία

Κατηγορία δικτύου	Μήκος (km)
Εθνική οδός	40,03
Κύριοι δρόμοι	2.386,05
Δευτερεύοντες δρόμοι	4.023,29
Σιδηροδρομικό δίκτυο	94,64
Γέφυρες-Τούνελ	17,93

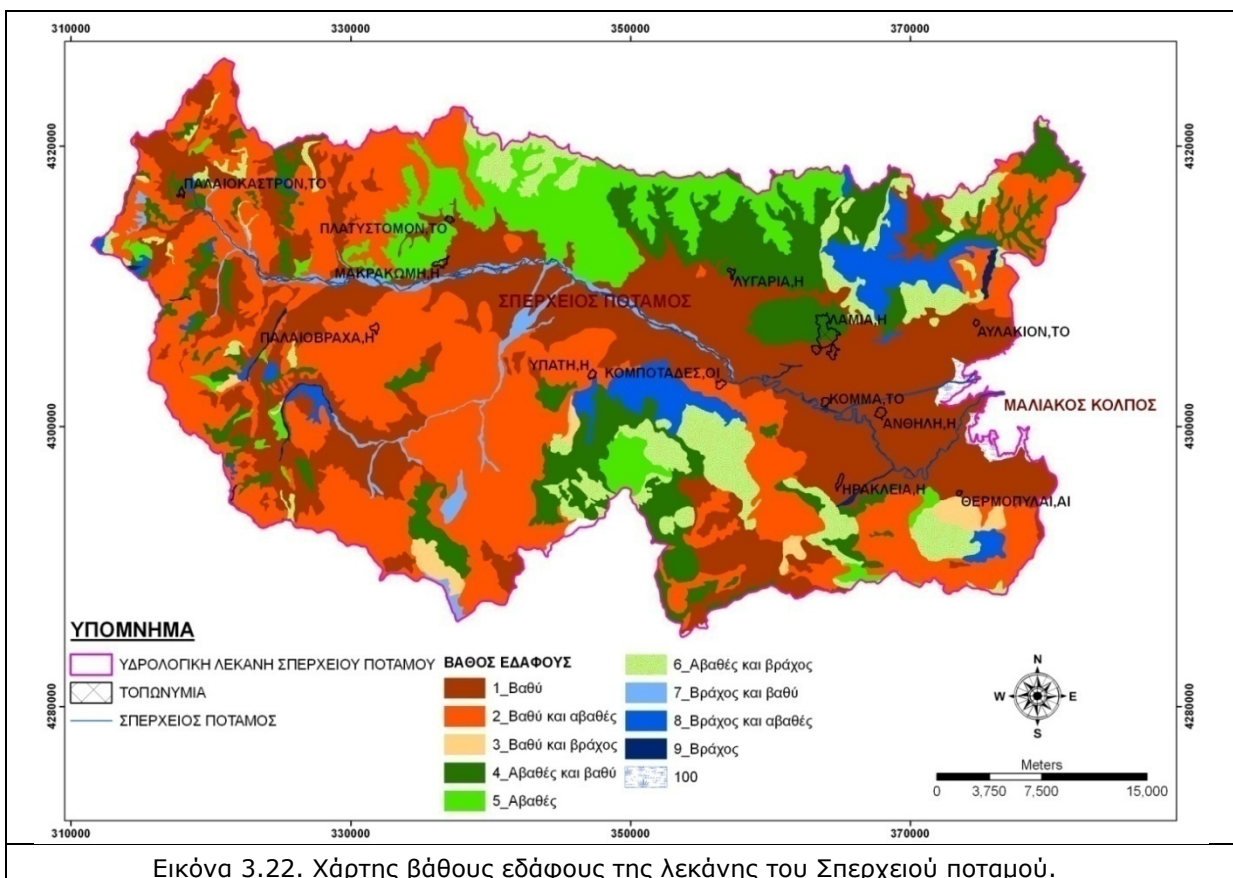


3.2.9. Θεματικός χάρτης βάθους εδάφους

Το βάθος των αυτόχθονων λοφώδων και ορεινών εδαφών έχει άμεση σχέση με τη φύση του μητρικού υλικού του εδάφους (γεωλογία), το βαθμό της ανθρωπογενούς επίδρασης στη φυσική βλάστηση και άλλους παράγοντες, όπως η κλίση, ο προσανατολισμός, το κλίμα, κ.α. Τα πετρώματα που αποσθρώνονται γρήγορα δίνουν γενικά πιο βαθιά εδάφη, σε αντίθεση με τα δύσκολα αποσθρούμενα. Οι επικλινείς περιοχές στις οποίες, η φυσική προστατευτική βλάστηση έχει καταστραφεί για σημαντικό χρονικό διάστημα, κυρίως από την επέμβαση του ανθρώπου, έχουν αβαθή εδάφη, λόγω της απόσπασης και μεταφοράς του επιφανειακού εδάφους. Η διάβρωση του εδάφους, που επιταχύνεται με τις δυσμενείς ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οδηγεί στην υποβάθμιση των εδαφών, στην μείωση

της παραγωγικής τους ικανότητας και στην απώλεια του πολύτιμου, αναντικατάστατου και μη ανανεώσιμου φυσικού πόρου. Γενικότερα, το βάθος του εδάφους αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της παραγωγικής ικανότητάς του.

Η ψηφιοποίηση των εδαφολογικών ορίων έγινε από τους σαρωμένους εδαφολογικούς χάρτες. Τα στοιχεία αυτά βοήθησαν σημαντικά στην μετέπειτα ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων και στην επεξεργασία - ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν σχετικά με την υποβάθμιση της βλάστησης που παρατηρήθηκε στην περιοχή μελέτης, την καταλληλότητα των εδαφών για την εγκατάσταση συγκεκριμένων καλλιεργειών και την επικινδυνότητα διάβρωσης των εδαφών σε σχέση με τον τύπο κάλυψης/χρήσης γης. Οι εδαφολογικές ενότητες ψηφιοποιήθηκαν ως πολύγωνα, με κριτήριο το βάθος του εδάφους (Εικόνα 3.22).



Ο χάρτης εδαφολογικών ενότητων περιλαμβάνει 3 κύριες κατηγορίες (βαθιά εδάφη >30cm, 5<αβαθή<30cm, βράχος <5cm) και 6 μικτές κατηγορίες, μέσα στις οποίες οι κύριες καλύπτουν ένα μεγάλο ποσοστό. Με τη δημιουργία των πολυγώνων αυτών, αυτόματα υπολογίστηκαν τα εμβαδά που καταλαμβάνουν οι εδαφολογικές ενότητες (Πίνακας 3.18). Τέλος, έγινε η μετατροπή του χάρτη των πολυγώνων σε έναν raster χάρτη με το κοινό σύστημα γεωαναφοράς.

Οι πληροφορίες που παρέχει ο χάρτης των εδαφολογικών ενοτήτων θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τον καθορισμό ευαίσθητων περιοχών στη διάβρωση και σε μία πιθανή μελλοντική υποβάθμιση γης, όσον αφορά κυρίως τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις που τοποθετούνται σε ακατάλληλες περιοχές, καθώς επίσης και τις περιοχές όπου παρατηρείται έντονη υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης. Το βάθος των 30 cm, για τα ελληνικά εδάφη, αποτελεί το κρίσιμο βάθος στο οποίο θα πρέπει να εγκαταλειφθεί η γεωργία για να μην συνεχιστεί η περαιτέρω υποβάθμισή του. Μετά από κάποια χρονική περίοδο τα εδάφη αυτά μπορούν με ορθολογική χρήση να χρησιμοποιηθούν για βόσκηση.

Πίνακας 3.18. Εμβαδό των ενοτήτων με βάση το βάθος εδάφους

Κατηγορίες	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
Βαθύ	543,66	29,74
Βαθύ (και αβαθές)	599,90	32,82
Βαθύ (και βράχος)	21,80	1,19
Αβαθές (και βαθύ)	243,09	13,30
Αβαθές	159,97	8,75
Αβαθές (και βράχος)	132,92	7,27
Βράχος (και βαθύ)	35,98	1,97
Βράχος (και αβαθές)	71,87	3,93
Βράχος	10,68	0,58
Μη χαρτογραφημένα	8,12	0,44
Σύνολο:	1.828,00	100,00

Στην περιοχή έρευνας τα πιο βαθιά εδάφη (>30cm) εμφανίζονται στην περιοχή των αλουβιακών αποθέσεων και κυρίως στο δυτικό τμήμα στον σχηματισμό του φλύσχη, όπου τα εδάφη είναι κυρίως αυτόχθονα, δεν καλλιεργούνται και φέρουν δασική βλάστηση, που δρα προστατευτικά στο φαινόμενο της διάβρωσης. Τα αβαθή εδάφη (5-30cm) καταλαμβάνουν μικρότερη έκταση και συναντώνται κυρίως στην νότια περιοχή επάνω σε σκληρούς ασβεστόλιθους, των οποίων η φυσική βλάστηση έχει καταστραφεί μερικώς ή στο σύνολό της από πυρκαγιές, υπερβόσκηση, εκχερσώσεις, κ.α., καθώς και στο βόρειο τμήμα στους σχηματισμούς των οφιολίθων και της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Αποτελούν, γενικότερα, εδάφη με μέτρια-έντονη διάβρωση, στα οποία είτε η φυσική βλάστηση έχει υποβαθμισθεί κυρίως σε θαμνώδη (υποβάθμιση Μεσογειακών δασών). Τέλος, τα βραχώδη εδάφη (<5cm) καταλαμβάνουν μικρό ποσοστό και προέρχονται κυρίως στα νότια από τους σκληρούς ασβεστόλιθους των οποίων η δασική βλάστηση έχει καταστραφεί ή υποβαθμισθεί σημαντικά.

3.2.10. Θεματικός χάρτης περιβαλλοντικά προστατευόμενων περιοχών

Στην περιοχή μελέτης καταγράφονται 3 περιοχές Natura 2000, 12 Καταφύγια Άγριας Ζωής, 3 Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης, 3 Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους, 2 σημαντικές για την Ορνιθοπανίδα Περιοχές, 1 περιοχή ως Εθνικός Δρυμός, καθώς και 4 περιοχές έχουν χαρακτηριστεί ως σημαντικοί βιότοποι (Corine Biotopes Project) (Ζαλίδης & Μαντζαβέλας 1994). Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε σημειακά και πολυγωνικά, με βάση τους χάρτες

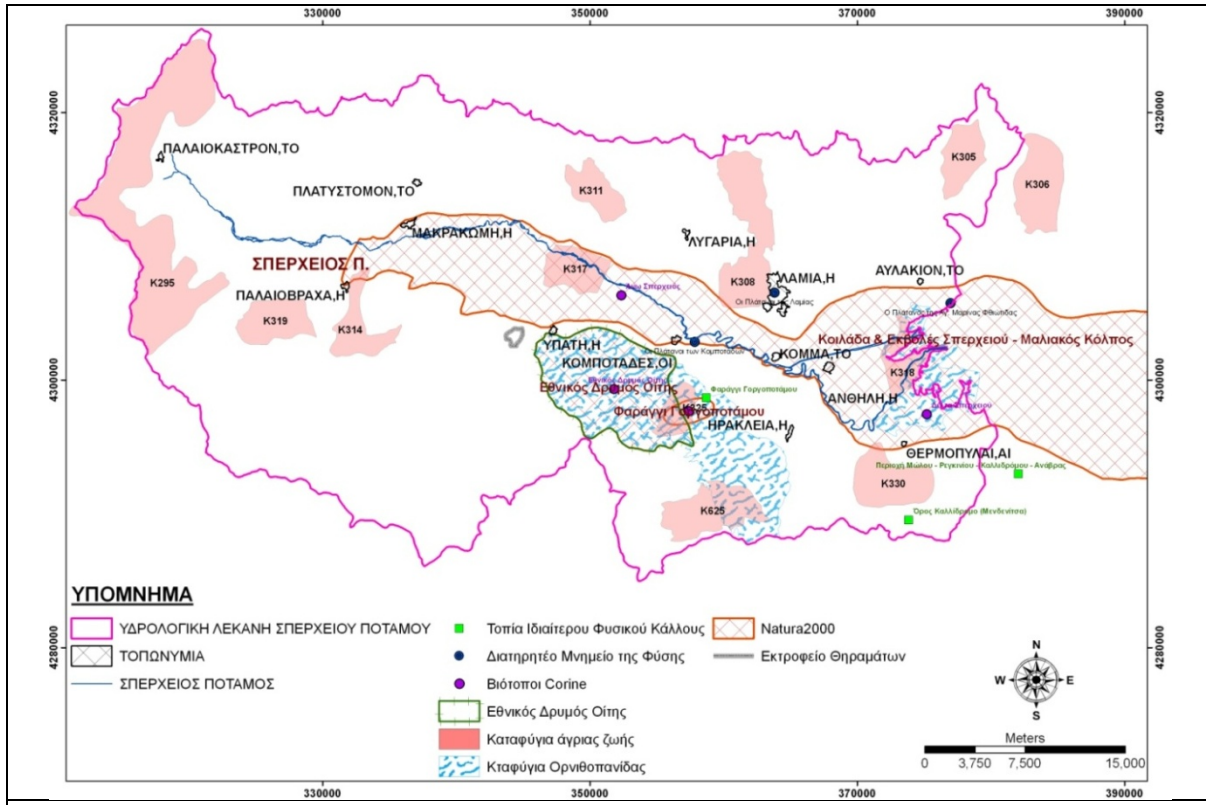
Προστατευόμενων περιοχών (παρ. 3.2.2, πίνακας 3.6) και καταχωρήθηκαν στο ΓΠΣ, όπως δείχνει ο πίνακας 3.19 και η εικόνα 3.23.

Πίνακας 3.19. Οι Περιβαλλοντικά σημαντικές και προστατευόμενες περιοχές της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού

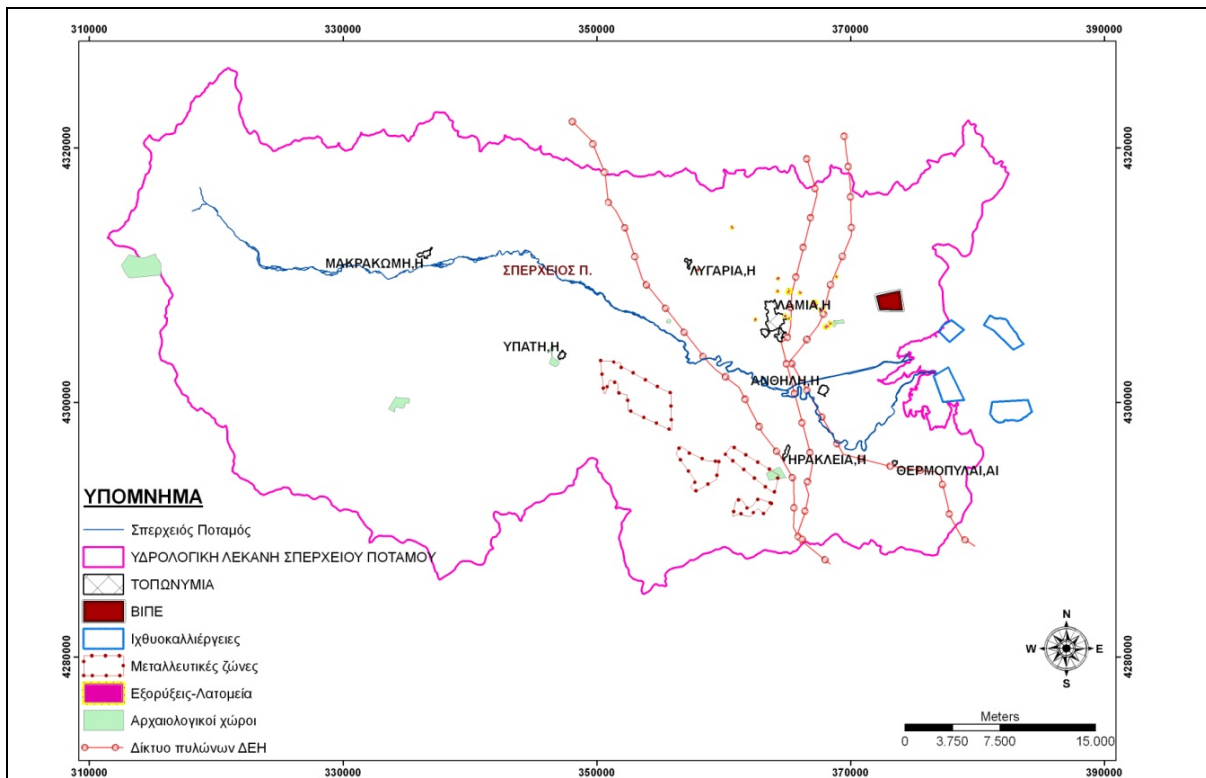
Κατηγορία	Κωδικός	Όνομασία	Έκταση (ha)	ΦΕΚ	Δασαρχείο
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K295	Αν. κλιτύς-Όρος Τυμφρηστός (Πιτσιωτών-Νεοχωρίου-Μαυρίλου-Μερκάδας	7.600	834/25-6-76	Σπερχειάδας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K308	Προφ. Ηλίας-Αφράτη (Λαμίας)	3.550	834/Β/76	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K305	Νεραϊάδας (Λογγιτισίου)	1.230	578/Β/87	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K306	Σαπουνά (Νεραϊάδας)	1.700	856/Β/76	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K311	Στύρφακας (Μοσχοκαρυάς)	1.003,6	698/Β/82	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K314	Γουλινά (Παλαιοβράχας-Καλλιθέας-Σπερχειάδας)	1.350	747/12-12-85	Σπερχειάδας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K317	Γέφυρα Σπερχειού (Λιανοκλαδίου-Λαδικού-Ζηλευτού-Ροδωνιάς)	600	856/Β/76	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K318	Εκβολές Σπερχειού-Ανθήλη-Ροδίτσα	1.225	343/Β/87	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K319	Αγ. Θεόδωρος-Γαύρος (Γαρδικίου-Λευκάδος-Καμπιών)	1.255	256/2-5-88	Σπερχειάδας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K325	Σκασμένη Φραντζή-Δύο βουνών	960	357/Β/87	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K330	Όρος Καλλιδρόμου (Θερμοπυλών)	2.000	856/Β/76	Λαμίας
Καταφύγιο Άγριας Ζωής	K625	Οίτη-Παύλιανη	2.950	644/Β/7-8-91	Λαμίας
Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης	M8	Οι πλάτανοι των Κομποτάδων	-	1113/Β/76	-
Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης	M29	Ο πλάτανος της Αγίας Μαρίας	-	121/Δ/80	-
Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης	M30	Οι πλάτανοι της Λαμίας	-	121/Δ/80	-
Εκτροφείο Θηραμάτων	E15	Ι.Μ. Αγάθωνος (Υπάτης)	111	245/Β/24-3-78	Λαμίας
Εθνικός Δρυμός	Δ5	Οίτη	7.210	56/Α/66	Λαμίας
Natura2000	GR244002	Κοιλιάδα και εκβολές Σπερχειού – Μαλιακός κόλπος	47.547	-	-
Natura2000	GR244004	Εθνικός Δρυμός Οίτης	7.151	-	-
Natura2000	GR244003	Φαράγγι Γοργοποτάμου	523	-	-
Καταφύγιο Ορνιθοπανίδας	GR244005	-	3.966	-	-
Καταφύγιο Ορνιθοπανίδας	GR244007	-	13.088	-	-
Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους	ΑΤ2011008	Φαράγγι Γοργοποτάμου	-	-	-
Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους	ΑΤ2011000	Όρος Καλλιδρομο (Μενδενίτσα)	-	-	-
Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους	ΑΤ900001	Περιοχή Μώλου-Ρεγγινίου-Καλλιδρόμου-Ανάβρας	-	-	-
Βιότοποι Corine	ΑG0010047	Δέλτα Σπερχειού	-	-	-
Βιότοποι Corine	ΑG0020015	Εθνικός Δρυμός Οίτης	-	-	-
Βιότοποι Corine	ΑG0060063	Φαράγγι Γοργοποτάμου	-	-	-
Βιότοποι Corine	ΑG0020014	Άνω Σπερχειός	-	-	-

3.2.11. Θεματικός χάρτης κατανομής ανθρωπογενών δραστηριοτήτων

Ο θεματικός χάρτης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων περιελάμβανε όλες τις περιοχές που έχουν να κάνουν με τις διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου στην περιοχή, όπως η βιομηχανική ζώνη (ΒΙΠΕ), οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, οι εξορύξεις και τα λατομεία, τα δίκτυα της ΔΕΗ και οι ιχθυοκαλλιέργειες (Εικόνα 3.24).



Εικόνα 3.23. Χάρτης Προστατευόμενων περιβαλλοντικά περιοχών της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού.



Εικόνα 3.24. Χάρτης ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού.

Αυτές οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτυπώθηκαν με σκοπό στη συνέχεια να συνδυαστούν με όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους που αφορούν των ανθρώπινο παράγοντα, όπως οι δομημένες περιοχές, οι δρόμοι και οι χρήσεις γης. Ο συνδυασμός όλων αυτών των παραμέτρων θα δημιουργήσει τον χάρτη πυκνότητας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, έτσι ώστε να αποτυπωθεί χωρικά η πίεση που δέχεται ολόκληρη η λεκάνη του Σπερχειού, καθώς και οι περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές, από τον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του.

3.3. Διασταύρωση θεματικών χαρτών

Η λειτουργία της διασταύρωσης (cross) εκτελεί μία αλληλεπίθεση δύο raster χαρτών, συσχετίζοντας τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στην ίδια θέση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία όλων των δυνατών συνδυασμών ανάμεσα τους. Η διαδικασία αυτή γίνεται με σκοπό να αποκτηθεί νέα πληροφορία από τον συνδυασμό και την συσχέτιση των δύο χαρτών. Για την εκτέλεση αυτής της λειτουργίας, θεωρείται απαραίτητο να έχουν και οι δύο χάρτες το ίδιο σύστημα γεωαναφοράς, ενώ όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί που προκύπτουν, αποθηκεύονται σε ένα πίνακα διασταύρωσης (*Pavlopoulos et al. 1997, Parcharidis et al. 1998, Psomiadis et al. 2005a*).

Οι πληροφορίες που εξάγονται από την διαδικασία της διασταύρωσης δύο θεματικών χαρτών, σε συνδυασμό με τα επιμέρους δεδομένα, θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την χαρτογράφηση ευαίσθητων περιοχών στη διάβρωση και την ανάδειξη περιοχών υψηλής επικινδυνότητας στην έντονη υποβάθμιση του τοπίου (απογύμνωση τοπίου και εμφάνιση του φαινομένου της ερημοποίησης).

3.3.1. Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και κλίσεων

Η διασταύρωση του θεματικού χάρτη των γεωλογικών ενοτήτων με τον χάρτη των κλίσεων έγινε με σκοπό την συσχέτιση των 7 κλάσεων των κλίσεων και των 7 γεωλογικών σχηματισμών και την καταγραφή των σχηματισμών εκείνων όπου παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες κλίσεις στην περιοχή μελέτης. Η πληροφορία που προέκυψε σχετίζεται άμεσα με την ανάδειξη της γεωμορφολογίας της περιοχής και την εμφάνιση του σημερινού τοπίου, είναι πολύ χρήσιμη και μπορεί να συνδυαστεί με άλλα θεματικά δεδομένα, όπως το θεματικό χάρτη της κάλυψης/χρήσης γης, για την μελέτη της αλληλεπίδρασης διαφορετικών παραμέτρων (μορφολογία, φυσικοί κίνδυνοι, ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβάσεις και τύποι κάλυψης/χρήσης γης) σε ένα αγροτικό/φυσικό περιβάλλον και τον τρόπο με τον οποίο η αλληλεπίδραση αυτή επηρεάζει τις παρατηρούμενες αλλαγές που έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 1984-2007. Παράλληλα, ο κατάλληλος συνδυασμός των πληροφοριών μπορεί να συνεισφέρει στην κατάλληλη διαχείριση της κάλυψης/χρήσης γης, στη διατήρηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και την αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων.

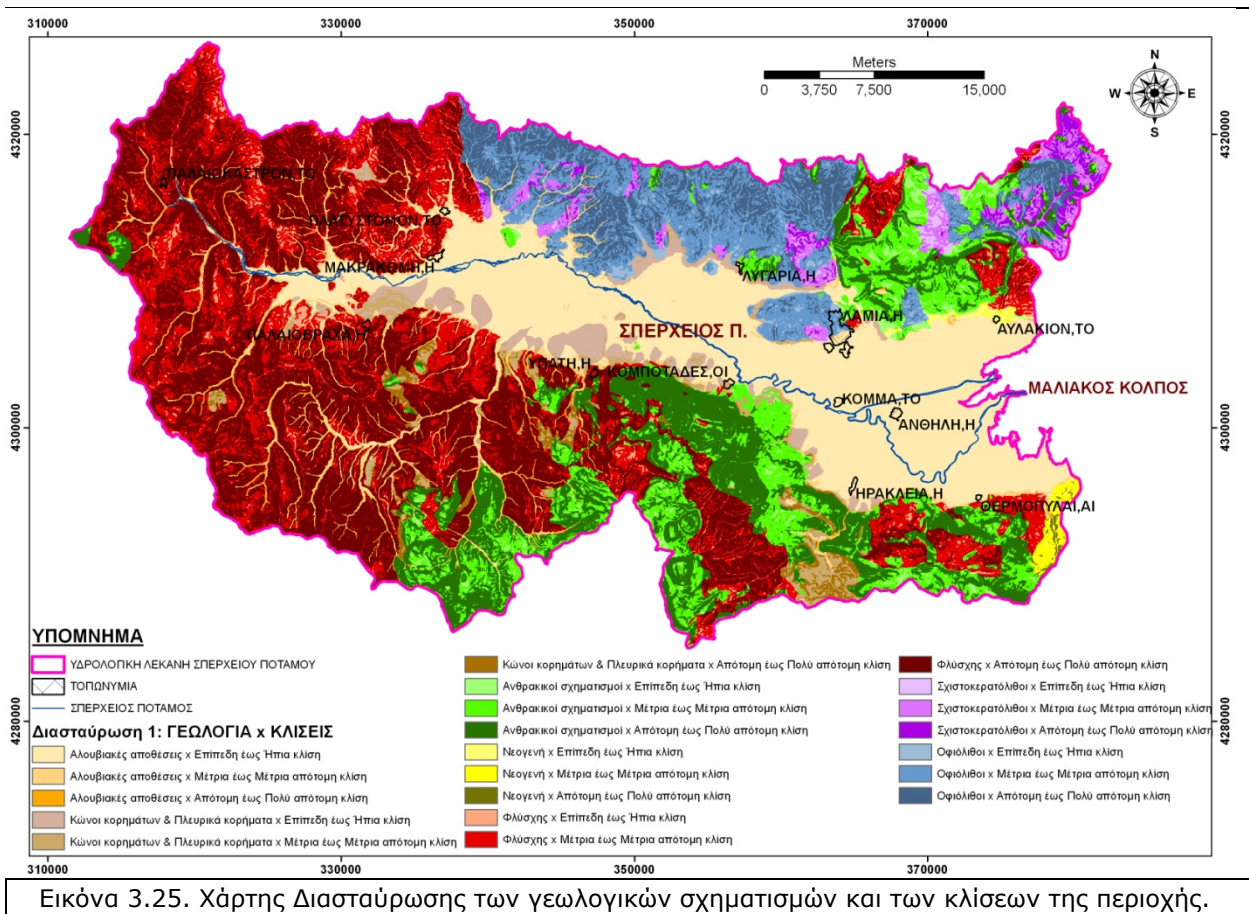
Τα αποτελέσματα της διασταύρωσης των δύο θεματικών χαρτών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.20 και στην εικόνα 3.25. Στην εικόνα αυτή (3.25) πραγματοποιήθηκε και μία

ενοποίηση των κλίσεων σε τρεις ομάδες, μία με τις επίπεδες έως μέτριας κλίσης περιοχές, μία δεύτερη με τις μέτριες έως μετρίως απότομες κλίσεις και μία τρίτη με τις απότομες και πολύ απότομες κλίσεις, για κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

Πίνακας 3.20. Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και κλίσεων

Γεωλογική ενότητα	Κλίση	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%) επί της ενότητας	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
Αλουβιακές αποθέσεις	επίπεδες περιοχές	228,12	56,87	12,48
	πολύ ήπια κλίση	88,19	21,98	4,82
	Ήπια κλίση	21,69	5,41	1,19
	μέτρια κλίση	20,19	5,03	1,10
	μέτρια απότομη κλίση	23,18	5,78	1,27
	απότομη κλίση	12,83	3,20	0,70
	πολύ απότομη κλίση	6,94	1,73	0,38
Κώνιοι Κορημάτων & πλευρικά κορήματα	επίπεδες περιοχές	3,27	3,69	0,18
	πολύ ήπια κλίση	22,17	25,01	1,21
	Ήπια κλίση	14,10	15,91	0,77
	μέτρια κλίση	13,96	15,75	0,76
	μέτρια απότομη κλίση	17,43	19,67	0,95
	απότομη κλίση	12,20	13,77	0,67
	πολύ απότομη κλίση	5,50	6,21	0,30
Ανθρακικά πετρώματα	επίπεδες περιοχές	2,87	0,82	0,16
	πολύ ήπια κλίση	10,18	2,92	0,56
	Ήπια κλίση	12,51	3,59	0,68
	μέτρια κλίση	35,15	10,08	1,92
	μέτρια απότομη κλίση	96,18	27,59	5,26
	απότομη κλίση	86,72	24,88	4,74
	πολύ απότομη κλίση	104,95	30,11	5,74
Νεογενή	επίπεδες περιοχές	0,14	1,04	0,01
	πολύ ήπια κλίση	1,61	11,98	0,09
	Ήπια κλίση	2,42	18,01	0,13
	μέτρια κλίση	2,43	18,08	0,13
	μέτρια απότομη κλίση	5,30	39,43	0,29
	απότομη κλίση	1,15	8,56	0,06
	πολύ απότομη κλίση	0,39	2,90	0,02
Φλύσχης	επίπεδες περιοχές	2,34	0,32	0,13
	πολύ ήπια κλίση	9,53	1,30	0,52
	Ήπια κλίση	13,37	1,83	0,73
	μέτρια κλίση	47,25	6,46	2,58
	μέτρια απότομη κλίση	206,81	28,29	11,31
	απότομη κλίση	260,27	35,61	14,24
	πολύ απότομη κλίση	191,38	26,18	10,47
Σχιστοκερατόλιθοι	επίπεδες περιοχές	0,59	1,14	0,03
	πολύ ήπια κλίση	2,28	4,42	0,12
	Ήπια κλίση	2,68	5,19	0,15
	μέτρια κλίση	7,82	15,16	0,43
	μέτρια απότομη κλίση	20,94	40,58	1,15
	απότομη κλίση	12,40	24,03	0,68
	πολύ απότομη κλίση	4,89	9,48	0,27
Οφιόλιθοι	επίπεδες περιοχές	1,37	0,71	0,07
	πολύ ήπια κλίση	5,52	2,86	0,30
	Ήπια κλίση	7,06	3,66	0,39
	μέτρια κλίση	20,78	10,77	1,14
	μέτρια απότομη κλίση	80,58	41,77	4,41
	απότομη κλίση	60,65	31,44	3,32
	πολύ απότομη κλίση	16,96	8,79	0,93

Από την συσχέτιση των δεδομένων προκύπτει ότι στην περιοχή μελέτης, οι απότομες και πολύ απότομες κλίσεις, εντοπίζονται στους σχηματισμούς του φλύσχη και των ανθρακικών πετρωμάτων. Στους συγκεκριμένους γεωλογικούς σχηματισμούς λόγω των ιδιοτήτων τους και σε περίπτωση επίδρασης και άλλων παραγόντων, όπως μεγάλος αριθμός βροχοπτώσεων, ρήγματα, καμπυλότητα πρηνούς κλπ., δημιουργούνται συχνά αρκετά προβλήματα κατολισθήσεων. Επίσης, προκύπτει, όπως ήταν αναμενόμενο ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό των αλουβιακών αποθέσεων βρίσκονται σε επίπεδες ως ήπιες κλίσεις, καθώς και το ότι, οι σχηματισμοί των σχιστοκερατόλιθων και των οφιόλιθων βρίσκονται κυρίως σε μέτρια απότομες κλίσεις, μιας και εντοπίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης που γενικότερα παρουσιάζει μικρότερες κλίσεις σε σχέση με το νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα.



Εικόνα 3.25. Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών και των κλίσεων της περιοχής.

3.3.2. Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών ενοτήτων και βάθους εδάφους

Η διασταύρωση του θεματικού χάρτη των γεωλογικών ενοτήτων με τον χάρτη των εδαφολογικών σχηματισμών, πραγματοποιήθηκε με σκοπό την συσχέτιση της γεωλογίας με το βάθος εδάφους, δίνοντας έμφαση στην καταγραφή των γεωλογικών ενοτήτων που εμφανίζουν σε μεγαλύτερο ποσοστό τα αβαθή και βραχώδη εδάφη.

Η πληροφορία που προέκυψε είναι πολύ χρήσιμη και μπορεί να συνδυαστεί με άλλα θεματικά δεδομένα, όπως το θεματικό χάρτη της κάλυψης/χρήσης γης και τον χάρτη

Πίνακας 3.21. Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και βάθους εδάφους

Γεωλογική ενότητα	Βάθος Εδάφους	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%) επί της ενότητας	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
Αλουβιακές αποθέσεις	Βαθύ	309,50	77,00	16,93
	Βαθύ (και αβαθές)	33,61	8,36	1,83
	Βαθύ (και βράχος)	1,66	0,41	0,09
	Αβαθές (και βαθύ)	5,54	1,38	0,30
	Αβαθές	9,18	2,28	0,50
	Αβαθές (και βράχος)	2,17	0,54	0,12
	Βράχος (και βαθύ)	29,13	7,25	1,59
	Βράχος (και αβαθές)	2,48	0,62	0,14
Κώνιοι Κορημάτων & πλευρικά κορήματα	Βαθύ	8,70	2,16	0,48
	Βαθύ	36,58	41,30	2,00
	Βαθύ (και αβαθές)	40,02	45,18	2,19
	Βαθύ (και βράχος)	2,50	2,82	0,14
	Αβαθές (και βαθύ)	4,22	4,77	0,23
	Αβαθές	1,05	1,19	0,06
	Αβαθές (και βράχος)	1,82	2,06	0,10
	Βράχος (και βαθύ)	0,35	0,40	0,02
Ανθρακικά πετρώματα	Βράχος (και αβαθές)	1,76	1,98	0,10
	Βράχος	0,28	0,31	0,02
	Βαθύ	14,95	4,31	0,82
	Βαθύ (και αβαθές)	91,32	26,34	5,00
	Βαθύ (και βράχος)	14,98	4,32	0,82
	Αβαθές (και βαθύ)	64,43	18,58	3,52
	Αβαθές	7,79	2,25	0,43
	Αβαθές (και βράχος)	88,31	25,47	4,83
Νεογενή	Βράχος (και βαθύ)	4,93	1,42	0,27
	Βράχος (και αβαθές)	58,37	16,83	3,19
	Βράχος	1,67	0,48	0,09
	Βαθύ	7,99	59,49	0,44
	Βαθύ (και αβαθές)	5,25	39,06	0,29
	Βαθύ (και βράχος)	0,00	0,00	0,00
	Αβαθές (και βαθύ)	0,07	0,52	0,00
	Αβαθές	0,00	0,00	0,00
Φλύσσης	Αβαθές (και βράχος)	0,11	0,84	0,01
	Βράχος (και βαθύ)	0,00	0,00	0,00
	Βράχος (και αβαθές)	0,01	0,11	0,00
	Βράχος	0,00	0,00	0,00
	Βαθύ	164,01	22,45	8,97
	Βαθύ (και αβαθές)	408,75	55,94	22,36
	Βαθύ (και βράχος)	3,63	0,50	0,20
	Αβαθές (και βαθύ)	72,82	9,97	3,98
Σχιστοκερατόλιθοι	Αβαθές	48,21	6,60	2,64
	Αβαθές (και βράχος)	20,60	2,82	1,13
	Βράχος (και βαθύ)	2,30	0,31	0,13
	Βράχος (και αβαθές)	9,34	1,28	0,51
	Βράχος	1,00	0,14	0,05
	Βαθύ	5,87	11,36	0,32
	Βαθύ (και αβαθές)	12,34	23,91	0,68
	Βαθύ (και βράχος)	0,00	0,00	0,00
Οφιόλιθοι	Αβαθές (και βαθύ)	22,95	44,46	1,26
	Αβαθές	8,69	16,83	0,48
	Αβαθές (και βράχος)	1,45	2,80	0,08
	Βράχος (και βαθύ)	0,00	0,00	0,00
	Βράχος (και αβαθές)	0,31	0,61	0,02
	Βράχος	0,02	0,03	0,00
	Βαθύ	5,70	2,96	0,31
	Βαθύ (και αβαθές)	7,09	3,67	0,39
	Βαθύ (και βράχος)	0,00	0,00	0,00

	Αβαθές (και βαθύ)	73,96	38,33	4,05
	Αβαθές	85,98	44,56	4,70
	Αβαθές (και βράχος)	19,36	10,03	1,06
	Βράχος (και βαθύ)	0,29	0,15	0,02
	Βράχος (και αβαθές)	0,58	0,30	0,03
	Βράχος	0,00	0,00	0,00

κλίσεων, και να δώσει σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με το βάθος των εδαφών που αναπτύσσεται σε κάθε γεωλογική ενότητα, την επικινδυνότητα διάβρωσης των εδαφών, τον υφιστάμενο βαθμό διάβρωσης των εδαφών, την συχνότητα εμφάνισης αβαθών εδαφών και γυμνών πετρωμάτων σε κάθε γεωλογική ενότητα και τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την απογύμνωση του τοπίου και την προέλαση του φαινομένου της ερημοποίησης. Παράλληλα, ο κατάλληλος συνδυασμός των πληροφοριών μπορεί να συνεισφέρει στην κατάλληλη διαχείριση της κάλυψης/χρήσης γης, στη διατήρηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και την αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων. Τα αποτελέσματα της διασταύρωσης των δύο θεματικών χαρτών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.21 και στην εικόνα 3.26.

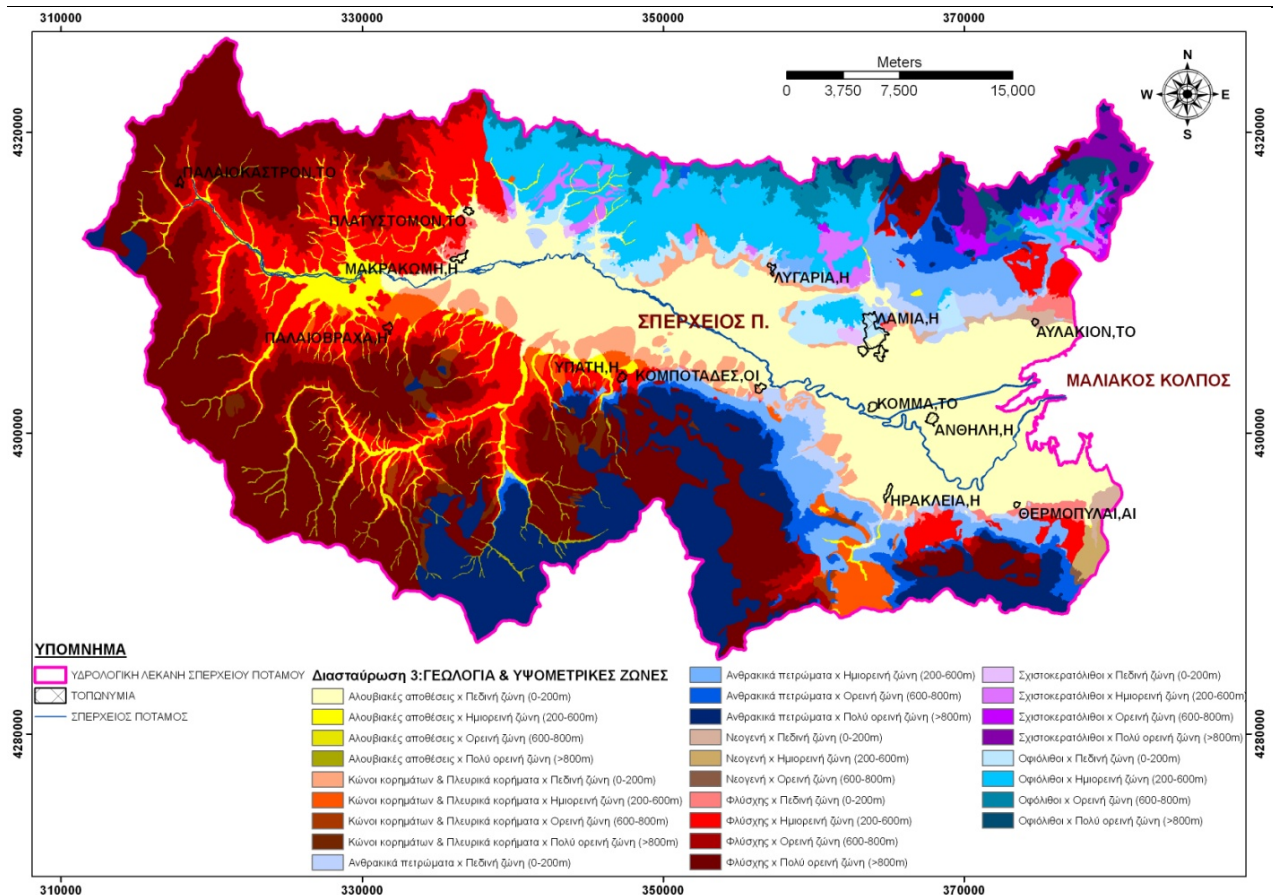
3.3.3 Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών σχηματισμών και υψομετρικών ζωνών

Η διασταύρωση του θεματικού χάρτη των γεωλογικών ενοτήτων με τον χάρτη των υψομετρικών ζωνών, πραγματοποιήθηκε με σκοπό την συσχέτιση της γεωλογίας με την υψομετρία της περιοχής, δίνοντας έμφαση στην καταγραφή των γεωλογικών ενοτήτων που εμφανίζονται, σε μεγαλύτερο ποσοστό, σε ορεινές ή πολύ ορεινές περιοχές που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά βροχόπτωσης και κλίσεων, παράγοντες δηλαδή που επηρεάζουν σημαντικά, ιδιαίτερα όταν δρουν ταυτόχρονα, τα φαινόμενα της διάβρωσης και της κατολίσθησης. Τα αποτελέσματα της διασταύρωσης των δύο θεματικών χαρτών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.22 και στην εικόνα 3.27.

Πίνακας 3.22. Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών και υψομετρικών ζωνών

Γεωλογική ενότητα	Υψομετρικές Ζώνες	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%) επί της ενότητας	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
Αλουβιακές αποθέσεις	Πεδινή περιοχή (0-200m)	329,21	82,17	18,01
	Ημιορεινή (200-600m)	49,87	12,45	2,73
	Ορεινή (600-800m)	9,43	2,35	0,52
	Πολύ ορεινή (>800m)	12,15	3,03	0,66
Κώνιοι Κορημάτων & πλευρικά κορήματα	Πεδινή περιοχή (0-200m)	40,77	46,03	2,23
	Ημιορεινή (200-600m)	29,22	32,99	1,60
	Ορεινή (600-800m)	6,21	7,01	0,34
	Πολύ ορεινή (>800m)	12,37	13,96	0,68
Ανθρακικά πετρώματα	Πεδινή περιοχή (0-200m)	31,40	9,01	1,72
	Ημιορεινή (200-600m)	77,11	22,12	4,22
	Ορεινή (600-800m)	44,42	12,74	2,43
	Πολύ ορεινή (>800m)	195,65	56,13	10,70
Νεογενή	Πεδινή περιοχή (0-200m)	29,12	8,35	1,59
	Ημιορεινή (200-600m)	76,74	22,02	4,20
	Ορεινή (600-800m)	45,18	12,96	2,47
	Πολύ ορεινή (>800m)	202,56	58,11	11,08
Φλύσσης	Πεδινή περιοχή (0-200m)	14,02	1,92	0,77
	Ημιορεινή (200-600m)	181,67	24,85	9,94

	Ορεινή (600-800m)	132,54	18,13	7,25
	Πολύ ορεινή (>800m)	402,74	55,10	22,03
Σχιστοκερατόλιθοι	Πεδινή περιοχή (0-200m)	3,47	6,72	0,19
	Ημιορεινή (200-600m)	20,63	39,95	1,13
	Ορεινή (600-800m)	9,12	17,66	0,50
	Πολύ ορεινή (>800m)	18,42	35,67	1,01
Οφιόλιθοι	Πεδινή περιοχή (0-200m)	33,01	17,00	1,81
	Ημιορεινή (200-600m)	110,56	56,95	6,05
	Ορεινή (600-800m)	36,99	19,05	2,02
	Πολύ ορεινή (>800m)	13,59	7,00	0,74



Εικόνα 3.27. Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών και των υψομετρικών ζωνών της περιοχής.

Από την συσχέτιση των δεδομένων προκύπτει ότι ο σχηματισμός του φλύσσης (73,23%), τα νεογενή (70,8%) και τα ανθρακικά πετρώματα (68,87%) βρίσκονται κυρίως στην ορεινή και πολύ ορεινή ζώνη. Οι αλουβιακές αποθέσεις και οι κώνιοι κωρημάτων-πλευρικά κορήματα, βρίσκονται, όπως αναμενόταν, κυρίως στην πεδινή και ημιορεινή ζώνη, ενώ οι οφιόλιθοι και οι σχιστοκερατόλιθοι βρίσκονται κυρίως στην ημιορεινή ζώνη, μιας και το βορειοανατολικό τμήμα, στο οποίο κυρίως απαντώνται, είναι λιγότερο ορεινό από το νότιο.

3.3.4 Διασταύρωση θεματικών χαρτών γεωλογικών σχηματισμών και κατανομής της βροχόπτωσης

Η διασταύρωση του θεματικού χάρτη των γεωλογικών ενοτήτων με τον χάρτη κατανομής της βροχόπτωσης, πραγματοποιήθηκε με σκοπό την συσχέτιση της γεωλογίας με το ύψος βροχής, δίνοντας έμφαση στην καταγραφή των γεωλογικών ενοτήτων που δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα της διασταύρωσης των δύο θεματικών χαρτών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.23 και στην εικόνα 3.28.

Πίνακας 3.23. Συσχέτιση γεωλογικών σχηματισμών με την κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή

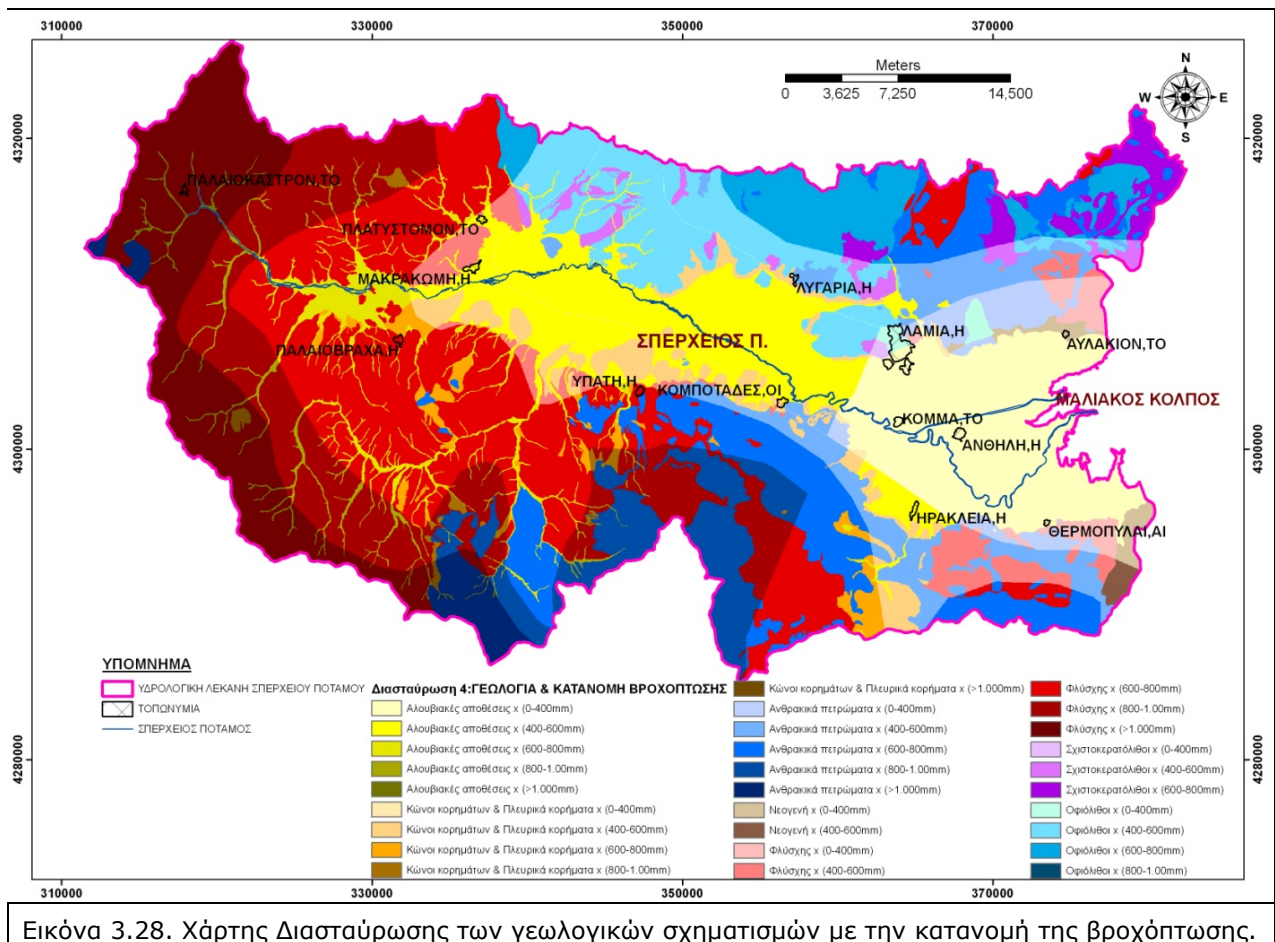
Γεωλογική ενότητα	Βροχόπτωση (mm)	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%) επί της ενότητας	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
Αλουβιακές αποθέσεις	0-400	162,80	0,41	8,91
	400-600	172,49	0,43	9,44
	600-800	46,29	0,12	2,53
	800-1.000	13,03	0,03	0,71
	>1.000	6,55	0,02	0,36
Κώνιοι Κορημάτων & πλευρικά κορήματα	0-400	1,78	2,01	0,10
	400-600	55,57	62,67	3,04
	600-800	23,72	26,75	1,30
	800-1.000	5,51	6,22	0,30
	>1.000	2,09	2,35	0,11
Ανθρακικά πετρώματα	0-400	29,86	8,57	1,63
	400-600	81,12	23,27	4,44
	600-800	129,21	37,07	7,07
	800-1.000	82,82	23,76	4,53
	>1.000	25,54	7,33	1,40
Νεογενή	0-400	9,36	69,64	0,51
	400-600	4,08	30,36	0,22
	600-800	0,00	0,00	0,00
	800-1.000	0,00	0,00	0,00
	>1.000	0,00	0,00	0,00
Φλύσχης	0-400	18,07	2,47	0,99
	400-600	46,70	6,39	2,56
	600-800	297,02	40,63	16,25
	800-1.000	195,06	26,68	10,67
	>1.000	174,12	23,82	9,53
Σχιστοκερατόλιθοι	0-400	1,07	2,07	0,06
	400-600	20,65	40,02	1,13
	600-800	29,88	57,91	1,64
	800-1.000	0,00	0,00	0,00
	>1.000	0,00	0,00	0,00
Οφιόλιθοι	0-400	5,98	3,10	0,33
	400-600	116,06	60,15	6,35
	600-800	70,89	36,74	3,88
	800-1.000	0,00	0,00	0,00
	>1.000	0,00	0,00	0,00

Από την συσχέτιση των δεδομένων προκύπτει ότι ο σχηματισμός του φλύσχη (73,23%) που βρίσκεται κυρίως στην πιο ορεινή δυτική πλευρά της λεκάνης, δέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό βροχόπτωσης. Το γεγονός αυτό έχει αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά την πρόκληση κατολισθητικών φαινομένων (κυρίως ολισθήσεις γαιών). Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ιδιότητες που έχει ο σχηματισμός του φλύσχη, ο οποίος συνήθως δίνει εδάφη με αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο η οποία έχει την ιδιότητα να συγκρατεί αρκετά

σημαντικές ποσότητες νερού, αλλά μέχρι ενός ορίου υδαρότητας, πέραν του οποίου αρχίζει να χάνει την συνοχή της, περνώντας έτσι από μία κατάσταση στερεή σε μία κατάσταση πιο υγροποιημένη, επιφέροντας έτσι ολισθήσεις γαιών.

Επίσης, σε περιπτώσεις μεγάλης έντασης βροχοπτώσεων (μεγάλη ποσότητα βροχής σε μικρό χρόνο), εξαιτίας του ότι ο φλύσχος είναι μη περατός σχηματισμός, ευνοείται η επιφανειακή απορροή που οδηγεί σε φαινόμενα πλημμυρών κυρίως στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης.

Αντίθετα, οι αρκετά μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης που δέχονται τα ανθρακικά πετρώματα, είναι πολύ σημαντικές, εξαιτίας της μεγάλης κατεισδυσης που παρουσιάζουν. Η ποσότητα νερού που κατεισδύει μέσω του δευτερογενούς κυρίως πορώδους των πετρωμάτων αυτών, βοηθάει στον εμπλουτισμό, τόσο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, όσο και των πηγών της περιοχής.



Εικόνα 3.28. Χάρτης Διασταύρωσης των γεωλογικών σχηματισμών με την κατανομή της βροχόπτωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

4.1. Εισαγωγή

Η Τηλεπισκόπηση (remote sensing) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από τη συλλογή δεδομένων από ειδικά όργανα, που φέρουν διάφορα αερομεταφερόμενα ή δορυφορικά μέσα και τα οποία δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα (*Gupta 1991, Avery & Berlin 1992, Mather 1999, Lillesand και Kiefer 2000*).

Τα συστήματα Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν ειδικά όργανα (αισθητήρες) που ανιχνεύουν επιλεκτικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σε συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος, στο ορατό τμήμα με μήκη κύματος από 0,4 έως 0,7 μm , στο υπέρυθρο τμήμα (IR – infrared) με μήκη κύματος από 0,7 μm έως 1000 μm , το οποίο διακρίνεται σε κοντινό (near IR, 0,7-1,5 μm), ενδιάμεσο (middle IR, 1,5-5,6 μm) και μακρινό (far IR, 5,6-1000 μm). Το υπέρυθρο χωρίζεται επίσης σε ανακλώμενο (reflected IR, από 0,7-3,0 μm) και θερμικό (thermal IR, 3-1000 μm ή 0,1 cm). Τέλος, χρησιμοποιεί το τμήμα των μικροκυμάτων, με μήκη κύματος από 0,1 cm έως 1 m, που περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται, στα διάφορα μήκη κύματος, με το δικό του χαρακτηριστικό τρόπο. Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιείται ως μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται ως φασματική ταυτότητα (spectral signature) ή φασματική απόκριση (spectral response) του αντικειμένου και καταγράφεται από τους δέκτες των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης (*Sabins 1997*).

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των μέσων Τηλεπισκόπησης περιγράφονται με την χωρική (spatial), φασματική (spectral), ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση των εικόνων.

Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μία εικόνα εξαρτάται από την χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί. Στις δορυφορικές ψηφιακές εικόνες που παράγονται από τους σαρωτές των οπτικών μέσων καταγραφής, η χωρική διακριτική ικανότητα ταυτίζεται με το "εικονοστοιχείο της εικόνας" (pixel), το οποίο είναι η "στοιχειώδης επιφάνεια" της Γης που καταγράφεται από τους δέκτες. Συνεπώς, η χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας, αφορά την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων, στην οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται χωριστά και καθαρά.

Η φασματική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί κάθε δορυφορικό σύστημα καταγραφής. Η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών, μπορούν να καθορίζουν την ικανότητα διάκρισης των διάφορων στόχων, ενώ και η χρήση των πολυφασματικών δεδομένων μπορεί

να προσφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι. Πολυφασματικά ονομάζονται τα συστήματα που καταγράφουν σε περισσότερες από μία φασματική ζώνη και υπερφασματικά αυτά που καταγράφουν σε δεκάδες φασματικές ζώνες πολύ μικρού εύρους.

Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το είδος της πληροφορίας που περιέχεται σε μία εικόνα. Κατά την αποτύπωσή της, η ευαισθησία στη ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει την ραδιομετρική ικανότητα. Τα δεδομένα μιας εικόνας αντιπροσωπεύονται από ψηφιακές τιμές που μεταβάλλονται από το 0 έως μία τιμή X παράγωγη στη δύναμη του 2 (2^X). Οι δορυφορικές εικόνες Landsat απεικονίζουν 256 διαβαθμίσεις του γκρι (ψηφιακές τιμές 0-255) επειδή τα όργανα καταγραφής του δορυφόρου λειτουργούν στα 8 bits. Αντίθετα, οι εικόνες του δορυφόρου ERS περιλαμβάνουν περισσότερες διαβαθμίσεις του γκρι λόγω της δυνατότητας λειτουργίας των οργάνων στα 16 bits (65.536 διαβαθμίσεις). Η αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας προκαλεί αντίστοιχη αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι στην εικόνα, και συνεπώς μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων.

Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος σχετίζεται με την συχνότητα λήψης εικόνων από το δορυφόρο, για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα είναι συνήθως της τάξης μερικών ημερών (4-25), για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης. Σε εφαρμογές που περιλαμβάνεται η διαχρονική ανάλυση και παρατήρηση, θα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα προκειμένου τα αποτελέσματα της μελέτης να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα: (α) οι διαχρονικές εικόνες θα πρέπει να λαμβάνονται από τα συστήματα καταγραφής την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, ώστε να εξαλειφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, διότι προκαλούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ιδιότητες ανάκλασης των αντικειμένων και (β) οι εικόνες θα πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίοδο του έτους, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι φαινολογικές διαφοροποιήσεις των διάφορων επιφανειακών χαρακτηριστικών (*Μιγκίρος και αλ.* 2003).

4.1.1. Ανίχνευση μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης – παράκτιας ζώνης

4.1.1.1. Χρήση/κάλυψη γης

Η συστηματική παρατήρηση και η λεπτομερής καταγραφή των αλλαγών της χρήσης/κάλυψης γης που έχουν παρατηρηθεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη, κυρίως για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους, σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στις ανθρώπινες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες εκδηλώνονται με διάφορους τρόπους και κατά δεύτερο λόγο στις κλιματικές αλλαγές. Οι επεμβάσεις, ιδιαίτερα τις τελευταίες 2-3 δεκαετίες, έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό προκαλώντας, πολλές φορές με γρήγορο ρυθμό, σημαντικές αλλαγές στο φυσικό τοπίο, με επακόλουθο τις δυσμενείς επιπτώσεις που υφίσταται ο ίδιος ο άνθρωπος. Η αύξηση του πληθυσμού, η άναρχη αστική ανάπτυξη και η ολοένα μειωμένη ανθεκτικότητα και προσαρμοστικότητα του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς και ανακριβείς βάσεις πληροφοριών σχετικά με την / χρήση/κάλυψη γης, επιδεινώνουν τις επιπτώσεις αυτές καθιστώντας έτσι τον άνθρωπο αρκετά ευάλωτο στο να τις αντιμετωπίσει.

Η σημασία της χρήσης/κάλυψης γης στη διαχείριση των φυσικών πόρων και την μελέτη των περιβαλλοντικών αλλαγών είναι ιδιαίτερα σημαντική και τα τελευταία χρόνια καθίσταται ολοένα και πιο απαραίτητη η διαθεσιμότητά της.

Οι δύο όροι, αν και σχετίζονται άμεσα αφού η χρήση εξαρτάται έντονα από τα χαρακτηριστικά της γης (κάλυψη, μορφή, θέση, υπέδαφος κ.α.), παρουσιάζουν μία σαφή διάκριση μεταξύ τους και δεν ταυτίζονται. Η κάλυψη γης (land cover) σχετίζεται με τον τύπο των βιοφυσικών χαρακτηριστικών που παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης. Οι δομημένες περιοχές, οι υδάτινες μάζες, η βλάστηση, οι παγετώνες είναι παραδείγματα διαφορετικών τύπων κάλυψης γης. Η χρήση γης (land use) σχετίζεται με τις κοινωνικό-οικονομικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν, την ανθρώπινη δραστηριότητα που εκδηλώνεται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα γης και τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες περιορίζουν αρκετές φορές συγκεκριμένες χρήσεις γης, παρότι η επίδρασή τους δεν είναι πάντα αποφασιστικής σημασίας. Ουσιαστικά, η χρήση γης αποτελεί το συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της κάλυψης γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που εκμεταλλεύονται και μεταμορφώνουν το τοπίο (*Barrett & Curtis 1992, Geist & Lambin 2002, Nagendra et al. 2004*).

Η διάκριση μεταξύ της κάλυψης και της χρήσης γης γίνεται όλο και πιο ευδιάκριτη, όσο η κλίμακα της μελέτης αυξάνεται και η λεπτομέρεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη. Μία κάλυψη γης είναι δυνατόν να περικλείει διαφορετικές χρήσεις γης (ένας βοσκότοπος μπορεί να χρησιμοποιείται για τη βόσκηση οικόσιτων ζώων ή για δραστηριότητες αναψυχής), ενώ από την άλλη πλευρά, μία συγκεκριμένη χρήση γης δεν αφορά απαραίτητα μόνο μία κάλυψη γης. Για παράδειγμα, μια περιοχή μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως προς την κάλυψη γης σαν φυλλοβόλο δάσος, ενώ ως προς την χρήση γης σαν περιοχή καταφυγίου άγριας πανίδας κλπ. (*Ψωμιάδης 2000*). Η χρήση/κάλυψη γης αποτελεί μία πολύ σημαντική πληροφορία, δεδομένου ότι η χρησιμοποίησή της στον αστικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό, την αειφορική διαχείριση των οικοσυστημάτων και γενικότερα των ευαίσθητων περιοχών, θεωρείται σήμερα επιτακτική ανάγκη. Είναι επίσης απαραίτητη πληροφορία για επιστημονικούς και πολιτικούς σκοπούς, στη διαχείριση των φυσικών πόρων, την εκτίμηση και πρόβλεψη των πλημμυρών, την μελέτη των κλιματικών αλλαγών καθώς και για τον σχεδιασμό σημαντικών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης αποτελούν σήμερα ένα από τα 4 κύρια παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, μαζί με την βιοποικιλότητα, την ρύπανση της ατμόσφαιρας και την αλλαγή του κλίματος (*Janssen & Di Gregorio 2003*). Ιδιαίτερη δε, είναι η σημασία των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης για τις παράκτιες περιοχές, οι οποίες είναι το πλέον πολύπλοκο και ενδιαφέρον γήινο οικοσύστημα, που συγκεντρώνει ένα μεγάλο μέρος τω φυσικών πλουτοπαραγωγικών πηγών. (*Πούλος 1998*)

4.1.1.2. Παράκτια ζώνη

Οι παράκτιες περιοχές ή ζώνες αποτελούν ένα από τα πιο πολύπλοκα οικοσυστήματα του πλανήτη, με ένα μεγάλο αριθμό ζώντων οργανισμών και αβιοτικών παραγόντων. Για το λόγο αυτό, οι παράκτιες ζώνες είναι περιοχές μεγάλης κοινωνικό-οικονομικής σημασίας, διεθνώς (*Constanza et al. 1997*). Για την μελέτη της φυσικής λειτουργίας του παράκτιου

οικοσυστήματος αλλά και των παρεμβάσεων που αυτό υφίσταται, είναι αναγκαίο να θεωρήσουμε την παράκτια ζώνη ως ένα υποσύνολο μιας ευρύτερης γεωγραφικής ενότητας (π.χ. υδρολογική λεκάνη), όπου οι διάφορες φυσικές διεργασίες επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα, τόσο το χερσαίο, όσο και το θαλάσσιο περιβάλλον της παράκτιας ζώνης.

Στην Ευρώπη σήμερα τα 200 από τα 680 περίπου εκατομμύρια του πληθυσμού της είναι εγκατεστημένα κατά μήκος των 143.000 km παραλίας της και μέχρι βάθους 50 km από αυτήν. Επιπλέον το 50% της παράκτιας ζώνης της Ευρωπαϊκής Ένωσης φιλοξενεί τις πιο πλούσιες και συχνά ποικιλόμορφες οικολογικά περιοχές, που απειλούνται όμως από την ανθρώπινη παρέμβαση με τη συνεχώς εντεινόμενη δημογραφική ανάπτυξη. Η σπουδαιότητα της παράκτιας ζώνης για την Ελλάδα φαίνεται από την πληθυσμιακή κατανομή, καθώς το 1/3 του πληθυσμού βρίσκεται σε μία παράλια ζώνη εύρους 1-2 km, ενώ μέχρι βάθους 50 km από την ακτή κατοικεί το 85% του πληθυσμού.

Μεταξύ των διαφόρων μορφολογικών τύπων παράκτιων ζωνών, τα ποτάμια δέλτα αποτελούν ένα μεγάλης δυναμικής σύστημα ξηράς και θάλασσας, το οποίο επιδέχεται ισχυρές πιέσεις τόσο από φυσικούς (π.χ. κλιματική αλλαγή), όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες (αστικοποίηση, μεταφορές, τουρισμό, γεωργία κ.α.) (Perillo 1995, Πούλος 1998; 1999, Ritter et al. 2002).

4.1.2. Ανίχνευση μεταβολών με μεθόδους Τηλεπισκόπησης και ΓΠΣ

4.1.2.1. Τηλεπισκόπηση και ΓΠΣ στην ανίχνευση μεταβολών

Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης και τα ΓΠΣ αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας και την διερεύνηση και καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης και των παράκτιων περιοχών (Ciavola et al. 1999, Yang et al. 1999, Gatsis et al. 2001, Shalaby & Tateishi 2007). Επιπροσθέτως, η χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης και της ακτογραμμής με την χρήση διαχρονικών δορυφορικών δεδομένων έχει αποδείξει ότι αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο εξαγωγής δεδομένων, ιδιαίτερα όταν οι υφιστάμενοι χάρτες δεν είναι ακριβείς και όχι πρόσφατα ενημερωμένοι, γεγονός που μερικές φορές τους καθιστά μη χρησιμοποιήσιμους στην παρακολούθηση απότομων αλλαγών μιας παράκτιας ζώνης (White & El Asmar 1999, Shaghude et al. 2003).

Οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις μεταβολές που συμβαίνουν και τη δημιουργία ή συμπλήρωση - ενημέρωση των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων (Baker et al. 1991, Johnsson 1994, Vinas & Baulies 1995, Ortiz et al. 1997, Foody & Boyd 1999). Επίσης, οι λεπτομερείς χαρτογραφήσεις ευαίσθητων και πολύπλοκων οικολογικά περιοχών μεγάλης έκτασης, με δύσκολη προσβασιμότητα, είναι πολλές φορές ανέφικτο να πραγματοποιηθούν με τις συμβατικές μεθόδους (εργασίες υπαίθρου) και ταυτόχρονα θεωρούνται πολυδάπανες. Τα δορυφορικά δεδομένα και οι αεροφωτογραφίες μπορούν να παρέχουν τις κατάλληλες πληροφορίες σε ψηφιακή μορφή, σε ένα ευρύ φάσμα χωρικής, φασματικής και χρονικής κλίμακας, με ταχύτερο ρυθμό και χαμηλότερο κόστος, συγκριτικά με άλλες συμβατικές μεθόδους.

Υπάρχουν αρκετοί σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της πληροφορίας που αφορά την καταγραφή των μεταβολών και είναι οι ακόλουθοι (Cihlar

2000): (α) ο σκοπός της χρήσης της πληροφορίας. Η πληροφορία των μεταβολών της χρήσης/κάλυψης γης και της παράκτιας ζώνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς (επιστημονικούς, πολιτικούς, σχεδιασμού ή διαχείρισης, πρόβλεψης, κ.α.), με τον καθένα από αυτούς να έχει διαφορετικές ανάγκες και να απαιτεί διαφορετικού τύπου πληροφορίες, (β) το θεματικό περιεχόμενο. Η απαιτούμενη πληροφορία μπορεί να αφορά έναν περιορισμένο αριθμό τύπων μεταβολών (π.χ. δασικές-καλλιεργούμενες εκτάσεις), ή έναν μεγαλύτερο αριθμό τύπων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, (γ) η κλίμακα. Η κλίμακα αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός θεματικού χάρτη μεταβολών, καθότι η λεπτομέρεια της πληροφορίας που περιέχει σχετίζεται άμεσα με αυτή. Η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας στην καταγραφή της κάλυψης είναι ένας πολύ ουσιαστικός παράγοντας για την επιτυχή πραγματοποίησή της και αποτελεί συνάρτηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, της απαιτούμενης πληροφορίας που επιζητείται, των μεθόδων ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν και της χωρικής δομής της εικόνας – τύπος περιβάλλοντος (*Woodcock & Strahler 1987*), (δ) τα δορυφορικά δεδομένα. Η ποιότητα (χωρική, φασματική, ραδιομετρική, χρονική ανάλυση) και η διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων πολλές φορές περιορίζουν την ακρίβεια και τον τύπο της πληροφορίας που μπορεί να αποκτηθεί σχετικά με την ανίχνευση των αλλαγών, επηρεάζουν την επιλογή του καταλληλότερου τύπου δεδομένων, ενώ η κλίμακα παρατήρησης εξαρτάται άμεσα από τη χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων και (ε) η επεξεργασία δεδομένων και η χρήση αλγορίθμων. Τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα και ακρίβεια της πληροφορίας της μεταβολής που θα εμπεριέχεται στο τελικό προϊόν.

Η χρησιμότητα των δορυφορικών δεδομένων και των αεροφωτογραφιών για την γενικότερη χαρτογράφηση και ανίχνευση των μεταβολών της χρήσης/κάλυψης γης και των ακτογραμμών σε πραγματικό χρόνο (real-time), έχει απασχολήσει πλήθος ερευνητών και αποτελεί σήμερα την πιο συχνή και σημαντική εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης. Ένας σημαντικός αριθμός μελετών έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση της χρησιμότητας, τόσο των τηλεπισκοπικών δεδομένων (*Sunar 1998, Li & Yeh 1998, Mas 1999, El-Gamily et al. 2001, El-Magd & Tanton 2003, Guerschman et al. 2003, Serra et al. 2003, Currit 2005, Gatsis et al. 2006, Kerkides et al. 2006, Mimides et al. 2007*), όσο και των μεθόδων προσέγγισης της καταγραφής των μεταβολών (*Zaki et al. 1995, Metternicht 1999, Zhao et al. 2004, Rashed et al. 2005*).

Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν διαχρονικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ (από το 1984 έως το 2007), αεροφωτογραφιών (από το 1945 έως το 2007), καθώς και εικόνων Radar (χρονική διάρκεια ενός χρόνου 1998-1999). Για τον τύπο των δεδομένων αυτών, έχει πραγματοποιηθεί πλήθος εργασιών, οι οποίες αναφέρονται στην διαχρονική καταγραφή των μεταβολών τόσο της χρήσης/κάλυψης γης (*Howarth & Wickware 1981, Lodhi et al. 1998, Kwarteng & Chavez 1998, Ulbricht & Heckendorff 1998, Oetter et al. 2000, Munyati 2000, Xiuwan 2002, Zhao et al. 2004, Gao et al. 2006,*), όσο και παράκτιων περιοχών (*El-Raey et al. 1995; 1999, Cracknell 1999, White & Asmar 1999, Yang et al. 1999, Vasconcelos et al. 2002, Shaghude et al. 2003, Li & Damen 2010*).

Ιστορικά, οι δορυφόροι της σειράς Landsat, ξεκίνησαν να λαμβάνουν δεδομένα το 1972, με την χρησιμοποίηση του ERTS-1, που αργότερα με την εκτόξευση του δεύτερου δορυφόρου της σειράς, μετονομάστηκε σε Landsat, το 1975. Η πρώτη σειρά των δορυφόρων Landsat (1, 2 και 3), έφεραν τον πολυφασματικό σαρωτή MSS, με 4 φασματικά κανάλια, με χωρική διακριτική ικανότητα 80 m. Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5, τέθηκαν σε τροχιά το 1982 και 1984, αντίστοιχα, έχοντας τόσο τον σαρωτή MSS, όσο και έναν καινούριο βελτιωμένο σαρωτή τον Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper-TM), ο οποίος είχε 6 φασματικά κανάλια, με χωρική ανάλυση 30 m και ένα θερμικό κανάλι, με χωρική ανάλυση 120 m. Ο Landsat 7, τέθηκε σε τροχιά το 1999 και μεταφέρει τον βελτιωμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper plus- ETM+), ο οποίος έχει εκτός των καναλιών που μετέφεραν οι Landsat 4 και 5, ένα παγχρωματικό κανάλι με χωρική ανάλυση 15 m, καθώς και ένα θερμικό κανάλι με χωρική ανάλυση 60 m (*Μιγκίρος και αλ. 2003, NASA 2005*).

Ο ERS-1, αντιπροσωπευτικός μιας γενεάς νέων δορυφόρων, εκτοξεύτηκε τον Ιούλιο του 1991, ενώ ο ERS-2 τέθηκε σε τροχιά τον Απρίλιο του 1995. Οι δορυφόροι αυτοί χρησιμοποιούν την τεχνολογία των radar, σε μήκος κύματος 5.6 cm (φασματική ζώνη C). Σκοπός τους είναι να συμβάλλουν στη μελέτη του περιβάλλοντος. Το όργανο καταγραφής με τα οποία είναι εξοπλισμένος ο ERS-2 είναι το AMI (Active Microwave Instrument), που περιλαμβάνει δύο διαφορετικά radar, το SAR (Synthetic Aperture Radar) και το Scatterometer (*Sabins 1997*).

Τα όργανα αυτά δίνουν τρεις τρόπους καταγραφής που είναι το SAR image, το SAR wave και το wave Scatterometer. Με το SAR image mode επιτυγχάνονται εικόνες υψηλής ανάλυσης, πλάτους 100 km στοχεύοντας προς τη δεξιά πλευρά της πορείας του δορυφόρου. Η κεραία, που έχει ύψος 10 m και είναι παράλληλη με την πορεία πτήσης, στέλνει λεπτή δέσμη σήματος radar στην επιφάνεια της Γης. Η εικόνα δημιουργείται από το χρόνο που απαιτείται για την επιστροφή και την ένταση του σήματος, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται κυρίως από το ανάγλυφο, τις διηλεκτρικές ιδιότητες της επιφάνειας και της απόστασής της από το δορυφόρο. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων SAR είναι 25 m.

4.1.2.2. Μέθοδοι ανίχνευσης μεταβολών

Για την διαδικασία καταγραφής των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των δορυφόρων Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+, έχουν αναπτυχθεί από πολλούς μελετητές, πλήθος μεθόδων προσέγγισης (*Lu et al. 2004*). Η ανίχνευση των μεταβολών αποτελεί μία διαδικασία αναγνώρισης διαφορών, σχετικά με ένα φαινόμενο ή ένα χαρακτηριστικό της γήινης επιφάνειας, μέσω της παρατήρησής του σε διαφορετικούς χρόνους. Μία ενδεχόμενη αλλαγή της χρήσης/κάλυψης γης προκαλεί αντίστοιχη αλλαγή των τιμών της ακτινοβολίας που καταγράφονται από τον αισθητήρα του δορυφόρου.

Σύμφωνα με τους Singh (1989) και Green et al. (1994) η ανίχνευση των αλλαγών μπορεί να επιτευχθεί με δύο προσεγγίσεις-μεθόδους: (α) τη συγκριτική ανάλυση δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων παραγόμενων προϊόντων-χαρτών ταξινόμησης, από διαφορετικές ημερομηνίες (map-to-map, classification). Βασίζεται στην αναγνώριση των διαφορών που παρουσιάζονται σε δύο ή περισσότερους θεματικούς χάρτες, οι οποίοι έχουν

παραχθεί κατά την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων. Με την εισαγωγή των GIS η σύγκριση γίνεται πλέον σε ψηφιακή μορφή και (β) την ταυτόχρονη ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων μέσω της διαχρονικής σύγκρισης (image-to-image comparison), με μεθόδους όπως η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (principal component analysis), η αφαίρεση εικόνων (image differencing), η διαίρεση εικόνων (image ratioing) και η αλληλεπίθεση εικόνων (image overlay).

Οι Yuan et al. (1998), χώρισε τις μεθόδους καταγραφής των αλλαγών με ταξινόμηση, σε τεχνικές προ-ταξινόμησης (pre-classification) και μετά-ταξινόμησης (post-classification). Οι τεχνικές pre-classification εφαρμόζουν αλγόριθμους που περιλαμβάνουν την αφαίρεση και διαίρεση απλών ή πολλών φασματικών καναλιών (image differencing & ratioing) και την ανάλυση κύριων συνιστωσών (principal component analysis), ώστε να δημιουργηθούν χάρτες με ή χωρίς αλλαγές. Οι τεχνικές αυτές εντοπίζουν τις αλλαγές, αλλά δεν παρέχουν πληροφορίες για την φύση των αλλαγών (Singh 1989, Ridd & Liu 1998). Αντίθετα, οι τεχνικές μετά-ταξινόμησης (post-classification), οι οποίες εφαρμόζουν την ταξινόμηση για κάθε εικόνα που χρησιμοποιείται ξεχωριστά, δίνουν πολύ καλή πληροφορία για την φύση των αλλαγών (Jensen 2004).

Οι Lu et al. (2004) κάνοντας μία ανασκόπηση όλων των προηγούμενων μελετών για τις τεχνικές καταγραφής των αλλαγών, συνόψισε και ομαδοποίησε τις τεχνικές αυτές σε δύο κυρίως τύπους: (α) αυτές που καταγράφουν δυαδικά την πληροφορία αλλαγή/όχι αλλαγή και (β) εκείνες που καταγράφουν λεπτομερώς τις αλλαγές «από-σε». Επίσης, χώρισαν τους δύο αυτούς τύπους αλλαγών σε 7 κατηγορίες: (i) άλγεβρας, που περιλαμβάνει την αφαίρεση και διαίρεση των εικόνων, (ii) μετασχηματισμού, που περιλαμβάνει την ανάλυση κύριων συνιστωσών, (iii) ταξινόμηση (σύγκριση post-classification), (iv) προχωρημένα μοντέλα, (v) προσέγγιση μέσω ΓΠΣ, (vi) φωτοερμηνεία, με αλληλεπίθεση εικόνων και (viii) άλλες προσεγγίσεις. Τα κύρια χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου ανίχνευσης αλλαγών, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί.

Επίσης, πολλοί επιστήμονες αναφέρουν ότι πριν την διαχρονική ταξινόμηση, οι εικόνες που χρησιμοποιούνται και συγκρίνονται, μπορούν αρχικά να ενισχυθούν με κάποια μέθοδο που ενισχύει την φωτεινότητα των ψηφιακών τιμών της κάθε εικόνας. Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων ενίσχυσης εικόνων περιλαμβάνουν: αφαίρεση, διαίρεση, αφαίρεση δεικτών βλάστησης, ανάλυση κύριων συνιστωσών, παλινδρόμηση, μετασχηματισμό tasseled cap κ.α. (Jensen & Toll 1982, Ridd & Liu 1998).

Στην πράξη βέβαια υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανίχνευση των αλλαγών χρήσης/κάλυψης. Η φύση της αλλαγής, για παράδειγμα μικρής έντασης αλλαγές δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμες, αν και πολλές φορές αποτελούν σημαντικούς δείκτες υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Η βαθμιαία και ανεπαίσθητη αραιώση της πυκνότητας ενός δάσους ή ενός θαμνότοπου, ουσιαστικά αποτελεί μία τροποποίηση της υπάρχουσας χρήσης/κάλυψης γης παρά μία αλλαγή του τύπου κάλυψης και μπορεί να οφείλεται σε περιβαλλοντικά αίτια). Επίσης σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα χωρικά - χρονικά χαρακτηριστικά της ανίχνευσης (εύρος κατανομής και χρόνος εκδήλωσης της αλλαγής σε σχέση με το χρονικό διάστημα παρατήρησης). Αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν σημαντικά τη δυνατότητα ανίχνευσης και υπό προϋποθέσεις μπορούν να αποτελέσουν μία σημαντική πηγή σφάλματος στον παραγόμενο θεματικό χάρτη.

Πίνακας 4.1. Συνοπτικός πίνακας των μεθόδων καταγραφής των αλλαγών (Lu et al. 2004)

Τεχνική	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Επίπεδο*	Παράμετροι κλειδιά
Αφαίρεση εικόνων (Image differencing)	Αφαίρεση pixel με pixel μιας εικόνας της 1 ^{ης} ημερομηνίας από την εικόνα της 2 ^{ης} ημερομηνίας	Απλή και ευθεία μέθοδος, με εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων	Δεν μπορεί να δημιουργήσει έναν λεπτομερή πίνακα αλλαγών, απαιτεί επιλογή των ορίων	1	Αναγνώριση του πιο κατάλληλου καναλιού και των ορίων
Διαίρεση εικόνων (Image ratioing)	Υπολογίζει τον λόγο των γεωαναφερμένων εικόνων των 2 ημερομηνιών κανάλι με κανάλι	Μειώνει την επίδραση της σκιάς και της τοπογραφίας, που οφείλονται στην ηλιακή γωνία	Μη κανονική κατανομή του αποτελέσματος	1	Αναγνώριση του πιο κατάλληλου καναλιού και των ορίων
Αλληλεπίθεση εικόνων (Image overlay)	Ένα κανάλι της εικόνας της 1 ^{ης} ημερομηνίας στο κόκκινο, το ίδιο κανάλι της εικόνας της 2 ^{ης} ημερομηνίας στο πράσινο και το ίδιο κανάλι της εικόνας της 3 ^{ης} ημερομηνίας στο μπλε. Η καταγραφή των αλλαγών γίνεται οπτικά με την σύγκριση των διαφορετικών χρωμάτων	Η εμπειρία και γνώση του χρήστη είναι χρήσιμα κατά την διαδικασία της φωτοερμηνείας. Δύο ή τρεις διαχρονικές εικόνες μπορούν να αναλυθούν κάθε φορά. Ο αναλυτής μπορεί να ενσωματώσει στη φωτοερμηνεία στοιχεία όπως υφή, σχήμα, μέγεθος και διάταξη που θα βοηθήσουν στην απόφαση των αλλαγών <u>χρήσης/κάλυψης γης</u>	Δεν διασφαλίζει λεπτομερή πίνακα με την πληροφορία των αλλαγών. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τις ικανότητες του φωτοερμηνευτή. Χρειάζεται πολύ χρόνο και παρουσιάζει αρκετή δυσκολία στην ενημέρωση των αποτελεσμάτων	1	Η επιδεξιότητα του αναλυτή και η εξοικείωση με την περιοχή έρευνας
Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA)	Προϋποθέτει ότι οι διαχρονικές εικόνες θα πρέπει να έχουν υψηλό βαθμό συσχέτισης και η πληροφορία που αφορά τις αλλαγές να μπορεί να εμφανιστεί στις νέες συνιστώσες. Η τεχνική πραγματοποιείται ενώνοντας τις 2 ή περισσότερες εικόνες των διαφορετικών ημερομηνιών σε μία και έπειτα εφαρμόζοντας την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών και αναλύοντας τις συνιστώσες που περιλαμβάνουν την πληροφορία που αφορά τις αλλαγές	Μειώνει τον κορεσμό και την κοινή πληροφορία μεταξύ των φασματικών καναλιών και τονίζει ιδιαίτερα διαφορετικές πληροφορίες στις κύριες συνιστώσες που προκύπτουν	Η ανάλυση κύριων συνιστωσών εξαρτάται από την σκηνή των εικόνων, έτσι τα αποτελέσματα εντοπισμού των αλλαγών μεταξύ διαχρονικών εικόνων είναι συχνά δύσκολο να ερμηνευτούν και να ταξινομηθούν. Δεν μπορεί να διασφαλίσει έναν ολοκληρωμένο πίνακα από κλάσεις πληροφορίας των αλλαγών και χρειάζεται καθορισμένα όρια για την αναγνώριση των αλλαγών	2	Η ικανότητα του αναλυτή να αναγνωρίσει ποια κύρια συνιστώσα αναπαριστά καλύτερα την πληροφορία για τις αλλαγές και η επιλογή των ορίων
Σύγκριση εικόνων μετά-ταξινόμησης (Post-classification comparison)	Ξεχωριστή ταξινόμηση των διαχρονικών εικόνων και καταχώρηση των αποτελεσμάτων σε θεματικούς χάρτες και έπειτα εφαρμογή σύγκρισης των ταξινομημένων εικόνων, pixel-pixel	Ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις από τις διαφοροποιήσεις της ατμόσφαιρας του αισθητήρα λήψης και του περιβάλλοντος μεταξύ των διαχρονικών εικόνων. Εξασφαλίζει έναν ολοκληρωμένο πίνακα πληροφόρησης για τις αλλαγές που έχουν γίνει	Απαιτεί αρκετό χρόνο και εμπειρία για να δημιουργηθούν τα προϊόντα της ταξινόμησης. Η τελική ακρίβεια εξαρτάται από την ποιότητα της ταξινομούμενης εικόνας κάθε ημερομηνίας	2	Επιλογή των αποτελεσματικότερων δειγμάτων εκπαίδευσης του ταξινομητή

*Το επίπεδο υποδεικνύει την πολυπλοκότητα της μεθόδου εντοπισμού των αλλαγών από την πιο απλή 1 έως και την πιο σύνθετη 3.

Σε κάθε περίπτωση η επιτυχής ανίχνευση των αλλαγών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την απόλυτη ταύτιση των δορυφορικών εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διαχρονική αυτή παρατήρηση και η οποία επιτυγχάνεται με μία σωστή και ακριβής διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης (image-to-image registration), καθώς και με την υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης των επί μέρους θεματικών χαρτών που πρόκειται να συγκριθούν. Οι επιπτώσεις της μη απόλυτης ταύτισης των εικόνων είναι μεγαλύτερες σε περιοχές χωρικά ετερογενείς (Townshend et al. 1992, Stow 1999) και όταν οι κλάσεις ταξινόμησης είναι αρκετά

λεπτομερείς. Αντίθετα σε περιοχές με υψηλή ομοιογένεια (π.χ. μεγάλες εκτάσεις με την ίδια κάλυψη γης, μικρή χωρική συχνότητα και χωρίς έντονες εναλλαγές) και με ένα επίπεδο ταξινόμησης μικρότερης λεπτομέρειας, η τυχόν κακή ταύτιση δύο διαχρονικών εικόνων θα προκαλέσει μικρότερες επιπτώσεις στην ακρίβεια της ανίχνευσης των αλλαγών.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά αποτελούν με τη σειρά τους μία συνέπεια πολλών παραγόντων που σχετίζονται κυρίως με τις κλάσεις ταξινόμησης (ευχέρεια φασματικής διάκρισης των κλάσεων), τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (τοπογραφία και ανάγλυφο, χωρική κατανομή κ.α.) και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται (αλγόριθμος ταξινόμησης, μέθοδος γεωμετρικής διόρθωσης, κ.α.).

4.1.3. Δεδομένα-Μεθοδολογία

Για την ανίχνευση και καταγραφή των μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέσης κλίμακας δορυφορικές σκηνές. Δύο του δορυφόρου Landsat Thematic Mapper (Landsat 5 TM) με ημερομηνίες λήψης το 1984 και το 2007 και μία εικόνα του Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (Landsat 7 ETM+), με ημερομηνία λήψης το 1999. Οι σκηνές δεδομένων κάλυπταν ένα χρονικό εύρος 24 ετών. Η εικόνα του 1984, χρησιμοποιήθηκε σαν εικόνα αναφοράς, ενώ η εικόνα του 2007 σαν η πιο επίκαιρη.

Για την καταγραφή των δεδομένων της παράκτιας ζώνης για την περίοδο μέχρι το 1945, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες, ενώ για την περίοδο από το 1945 και μετά χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες (ΑΦ), με ημερομηνίες λήψης το 1945, 1960 και 1986 και ορθοφωτοχάρτες (ΟΦΧ) του 1997 και 2007. Στο μωσαϊκό των αεροφωτογραφιών που δημιουργήθηκε για κάθε περίοδο, όσα σημεία δεν καλύπτονταν, συμπληρώθηκαν από τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες.

Επίσης, για την καλύτερη οριοθέτηση της ακτογραμμής και κατανομής των αβαθών περιοχών, χρησιμοποιήθηκαν τρεις εικόνες radar (SAR.PRI) του δορυφορικού συστήματος ERS-2, με ημερομηνίες λήψης των Ιούνιο του 1998, τον Ιανουάριο του 1999 και τον Οκτώβριο του 1999. Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν και για την εξαγωγή πιθανών συμπερασμάτων για εποχιακές μεταβολές των καλλιεργειών, στην παράκτια περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού. Τα κύρια χαρακτηριστικά όλων τα δορυφορικών δεδομένων και αεροφωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Από τις τρεις εικόνες Landsat, χρησιμοποιήθηκαν τα 6 φασματικά κανάλια, εκτός του θερμικού (φασματικό κανάλι 6), δημιουργώντας σε κάθε σκηνή ξεχωριστά μία πολυεπίπεδη συνένωση (layer stack) των καναλιών, προκειμένου να διευκολυνθούν όλες οι μετέπειτα επεξεργασίες. Για την καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και σύγκριση των προϊόντων της ταξινόμησης (post-classification comparison). Η προσέγγιση, αυτή, αποτελεί την συχνότερα εφαρμοσμένη μέθοδο για την καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης που έλαβαν χώρα σε μία περιοχή και παρουσιάζει το πλεονέκτημα της αναγνώρισης και αποτύπωσης όχι μόνο της θέσης και της έκτασης, αλλά και της φύσης της αλλαγής, δηλαδή αποτυπώνει την αντικατάσταση ενός συγκεκριμένου τύπου χρήσης/κάλυψης γης από κάποιον άλλο τύπο (Charbonneau et al. 1993, Foody 2002, Chen 2002, Yang & Lo 2002, Jensen 2004, Hung & Wu 2005).

Πίνακας 4.2. Τα κύρια χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων και αεροφωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή

Δεδομένα	Ημερομηνία λήψης	Φασματική & Χωρική ανάλυση ή κλίμακα		Κάλυψη με νέφη	Άλλα χαρακτηριστικά
		Κανάλια	Ανάλυση		
Landsat 5 TM	26/7/1984	1: 0,45-0,52 μm 2: 0,52-0,60 μm 3: 0,63-0,69 μm 4: 0,76-0,90 μm 5: 1,55-1,75 μm 6: 10,4-12,5 μm 7: 2,08-2,35 μm	30 m 30 m 30 m 30 m 30 m 120 m 30 m	0%	Path/row: 184/033 Ύψος ηλίου: 58,96° Ηλιακό αζιμούθιο: 118,10°
Landsat ETM+ 7	28/7/1999	1: 0,45-0,52 μm 2: 0,53-0,61 μm 3: 0,63-0,69 μm 4: 0,78-0,90 μm 5: 1,55-1,75 μm 6: 10,4-12,5 μm 7: 2,09-2,35 μm 8: 0,52-0,90 μm	30 m 30 m 30 m 30 m 30 m 60 m 30 m 15 m	5%	Path/row: 184/033 Ύψος ηλίου: 58,96° Ηλιακό αζιμούθιο: 118,10°
Landsat 5 TM	26/7/2007	1: 0,45-0,52 μm 2: 0,52-0,60 μm 3: 0,63-0,69 μm 4: 0,76-0,90 μm 5: 1,55-1,75 μm 6: 10,4-12,5 μm 7: 2,08-2,35 μm	30 m 30 m 30 m 30 m 30 m 120 m 30 m	0%	Path/row: 184/033 Ύψος ηλίου: 58,96° Ηλιακό αζιμούθιο: 118,10°
Αεροφωτογραφίες (ΑΦ)	1945	1:40.000		0%	
	1960	1:30.000		0%	
	1986	1:30.000		0%	
Ορθοφωτοχάρτες (ΟΦΧ)	1997	1:10.000		0%	
	2007	1:10.000		0%	
ERS-2 Ανερχόμενη τροχιά, φασματικό κανάλι C, λ=5,6 cm και VV το σύστημα πόλωσης.	18/6/1998	16 bits, 25 m		0%	Τροχιά:16530, Σκηνή: 0765, Lat.:N38.587, Long.:E22.896, Ώρα:22:45
	14/1/1999	16 bits, 25 m		0%	Τροχιά: 19536, Σκηνή: 0765, Lat.: N 38.587, Long.: E22.896, Ώρα:22:45
	21/10/1999	16 bits, 25 m		0%	Τροχιά: 23544, Σκηνή:0765, Lat.: N 38.587, Long.: E22.896, Ώρα:22:45.

Για τον εντοπισμό διαφόρων αλλαγών που έχουν υπεισέρθει στην περιοχή και να βοηθηθεί η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες βοηθητικές επεξεργασίες των εικόνων, με σκοπό την βελτίωση της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης:

(α) πραγματοποιήθηκε συγχώνευση του παγχρωματικού καναλιού της εικόνας του 1999 με τα πολυφασματικά κανάλια, προκειμένου να μειωθεί η χωρική ανάλυση στα 15 m και να είναι πιο εύκολη η γεωμετρική της διόρθωση και καλύτερη η οπτική ερμηνεία της και

(β) δημιουργήθηκαν Σύνθετες Ψευδεγχρωμες Εικόνες και για τις τρεις σκηνές, ώστε να είναι αποτελεσματικότερη η ανάλυση του τοπίου.

Για την καλύτερη αναγνώριση της φύσης των αλλαγών από τις ταξινομημένες εικόνες, εφαρμόστηκε η Επιλεκτική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών. Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε για τα διάστημα από 1984 έως 1999 και από 1999 έως 2007.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι με την χρησιμοποίηση δεδομένων από 2 μόνο δορυφόρους (Landsat 5 & 7), εξασφαλίζουμε την ομοιογένεια των παραμέτρων που παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της ταξινόμησης. Τέτοιοι παράμετροι είναι η χωρική ανάλυση, η ραδιομετρική ανάλυση και η φασματική ανάλυση των δεδομένων, που για τις εικόνες του Landsat 5 του 1984 και 2007 είναι ακριβώς ίδιες, ενώ για την εικόνα του Landsat 7 του 1999, είναι σχεδόν ίδιες.

Παράλληλα, η σημαντικότερη παράμετρος, που διαδραματίζει τον βασικότερο ρόλο στην διαδικασία της ταξινόμησης, είναι η χρονική ανάλυση, δηλαδή η ημερομηνία λήψης των εικόνων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για τις τρεις εικόνες του Landsat, η εποχή λήψης είναι ακριβώς ίδια, με μια μικρή απόκλιση 2 ημερών στην εικόνα του 1999, που όμως είναι αμελητέα. Η σημαντικότητα αυτού του παράγοντα οφείλεται στο γεγονός ότι σχεδόν όλα τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα όσα αφορούν την βλάστηση και τις καλλιέργειες, έχουν εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στις διάφορες εποχές του έτους (φυλλοβόλα δένδρα, θερινές ή χειμερινές καλλιέργειες, διαφορετική περίοδος ανάπτυξη της ίδιας καλλιέργειας κ.α.). Συνεπώς, με τις επιλεγμένες εικόνες, η χρονική ομοιογένεια εξασφαλίζεται πλήρως και συνεπώς κατά την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης δεν θα υπάρχει σύγχυση στον διαχωρισμό των διαφόρων τύπων χρήσης/κάλυψης γης.

Τέλος, λόγω του ότι τα δεδομένα προέρχονται από δορυφορικά συστήματα με σχεδόν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά, απαλείφεται η επίδραση της τοπογραφίας και της διαφορετικής γωνίας λήψης στην καταγραφή της ακτινοβολίας, που παρουσιάζουν τα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικά δορυφορικά συστήματα και δημιουργούν προβλήματα από την κλίση και τον προσανατολισμό μιας επιφάνειας ή από την ενδεχόμενη σκίασή της.

Για τον εντοπισμό και την καταγραφή των μεταβολών της παράκτιας περιοχής του δέλτα του ποταμού Σπερχειού, χρησιμοποιήθηκαν οι γεωμετρικά διορθωμένες αεροφωτογραφίες, οι οποίες έπειτα εισήχθησαν στο ΓΠΣ. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνεία για τον εντοπισμό και οριοθέτηση των αλλαγών που έχουν επέλθει στην ακτογραμμή. Για την πιο λεπτομερή οριοθέτηση της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα των εικόνων radar, οι οποίες βοηθούν στον διαχωρισμό των ρηχών περιοχών από τη στεριά, λόγω της ιδιοτήτων του μήκους κύματος που χρησιμοποιούν.

Στην παρούσα διατριβή, η ανίχνευση των αλλαγών της χρήσης/κάλυψης γης έγινε με την αλληλεπίθεση των τριών θεματικών χαρτών, που προήλθαν από την ταξινόμηση των τριών δορυφορικών εικόνων Landsat, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ERDAS Imagine (v. 9.1). Το ίδιο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε και για την ορθοδιόρθωση των αεροφωτογραφιών, ενώ για την διαδικασία της οριοθέτησης των ακτογραμμών, χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS (v. 9.2)

4.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ LANDSAT

4.2.1. Επεξεργασία δεδομένων

Η προεπεξεργασία ή αποκατάσταση της εικόνας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της ψηφιακής επεξεργασίας, διότι όλα τα επόμενα βήματα καταγραφής των αλλαγών, καθώς και η συσχέτιση με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφοριών, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε αυτήν. Οι πιθανές ατέλειες του πρώτου σταδίου θα μεγιστοποιηθούν στη συνέχεια, με αποτέλεσμα την μείωση ή απώλεια πληροφορίας στο τελικό προϊόν που τελικά θα δημιουργηθεί. Οι διορθώσεις και η αποκατάσταση της αρχικής εικόνας περιλαμβάνει ατμοσφαιρικές, ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις καθώς και την απομάκρυνση των "θορύβων" (Avery & Berlin 1992, Richards 1993).

4.2.1.1. Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι για την εφαρμογή των ατμοσφαιρικών διορθώσεων στις δορυφορικές εικόνες έχοντας ως σκοπό την εξάλειψη των επιδράσεων και την προσέγγιση της πραγματικότητας. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν ένα απαραίτητο στάδιο προεπεξεργασίας των δεδομένων, θα πρέπει όμως να γίνεται προσεκτικά, διότι είναι ένα δύσκολο κομμάτι της επεξεργασίας και είναι δυνατό να αλλοιωθούν τα πρωτογενή δεδομένα και να μην επιτευχθεί η βελτίωση που επιζητείται. Η χρήση των ατμοσφαιρικών διορθώσεων εξαρτάται από τον στόχο της εφαρμογής και τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την εξαγωγή της πληροφορίας που αφορά την εφαρμογή, ενώ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η διαθεσιμότητα στοιχείων που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα δορυφορικά δεδομένα κατά την ημερομηνία λήψης. Σε πολλές εφαρμογές που εμπεριέχουν την ταξινόμηση εικόνας και την ανίχνευση αλλαγών, οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις δεν κρίνονται απαραίτητες, όπως για παράδειγμα όταν τα δεδομένα εκπαίδευσης του ταξινομητή (training set) και η εικόνα που πρόκειται να ταξινομηθεί είναι της ίδιας σχετικής κλίμακας. Επίσης, οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις θεωρούνται ως μη απαραίτητες και στην περίπτωση όπου η ανίχνευση των αλλαγών γίνεται μετά την ταξινόμηση των επιμέρους εικόνων (post-classification) (Singh 1989), όταν δηλ. δύο ή περισσότερες εικόνες ταξινομούνται μεμονωμένα και οι παραγόμενοι θεματικοί χάρτες συγκρίνονται με σκοπό την αναγνώριση αλλαγών.

Με βάση τα ανωτέρω, στα πλαίσια της διατριβής αυτής έγιναν προσπάθειες για την εφαρμογή ατμοσφαιρικών διορθώσεων με το πρόγραμμα ATCOR του Erdas. Οι προσπάθειες αυτές δεν έδωσαν καλά αποτελέσματα εξαιτίας των πολλών παραμέτρων που ζητούσε το πρόγραμμα σαν στοιχεία εισαγωγής και τα οποία ήταν αδύνατο να προσδιοριστούν. Για το λόγο αυτό δεν πραγματοποιήθηκαν ατμοσφαιρικές διορθώσεις στις εικόνες Landsat, που όμως, όπως φάνηκε στην συνέχεια, δεν επέφεραν καμία επίδραση στην ακρίβεια ταξινόμησης.

4.2.1.2. Βελτίωση της αντίθεσης

Ο σκοπός της βελτίωσης της εικόνας, είναι η δυνατότητα καλύτερης οπτικής ερμηνείας, αυξάνοντας τη διάκριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, οι

ανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι ώστε να καταγράφουν 256 τιμές φωτεινότητας (8bits), οι εικόνες που αποκτώνται θα απεικονίζονται με 256 διαβαθμίσεις του γκρι (0-255) και επομένως στο ιστόγραμμα της εικόνας θα αποτυπώνονται οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων στο εύρος από 0 έως 255. Τα αρχικά όμως δεδομένα που λαμβάνονται από το δορυφόρο και δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία (raw data), δεν χρησιμοποιούν όλες τις διαβαθμίσεις του γκρι και οι τιμές είναι συγκεντρωμένες προς την κεντρο των αξόνων του ιστογράμματος. Έτσι οι αντιθέσεις μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων είναι πολύ μικρές, οι υφιστάμενες διαφορές καθίστανται δυσδιάκριτες και η ερμηνεία σχεδόν αδύνατη. Σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση της επέκτασης καθίσταται απαραίτητη για τη βελτίωση της αντίθεσης και τη δυνατότητα ευκολότερης ερμηνείας (Jensen 2004). Ο τελικός στόχος της βελτίωσης της αντίθεσης της εικόνας είναι να μετασχηματιστεί το αρχικό εύρος διακύμανσης των τιμών της εικόνας σε ένα εύρος το οποίο να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα τιμών του ιστογράμματος (0-255).

Για τη βελτίωση της αντίθεσης των εικόνων Landsat TM και ETM+, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής επέκτασης (linear contrast stretching), διότι θεωρείται ότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλες μεθόδους, όσον αφορά τη βελτίωση της οπτικής ερμηνείας των εικόνων και την μετέπειτα επεξεργασία τους με σκοπό την ταξινόμηση (Yocky 1996, Harvey & Hill 2001). Αποτελεί την πιο απλή μορφή βελτίωσης της εικόνας και περιλαμβάνει την αποτύπωση των τιμών των εικονοστοιχείων στην πλήρη κατανομή τους. Οι τιμές κατανέμονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα εικονοστοιχεία με τις χαμηλότερες τιμές, πριν την εφαρμογή της τεχνικής, να αποτυπώνονται στην τιμή 0 (μαύρο) ενώ τα εικονοστοιχεία με τις υψηλότερες τιμές στην τιμή 255 (λευκό). Οι ενδιάμεσες τιμές κατανέμονται γραμμικά ανάμεσα στα δύο άκρα (Εικόνες 4.1 & 4.2).

Με τη γραμμική επέκταση της αντίθεσης έχουμε αύξηση της αντίθεσης στην ψηφιακή εικόνα, ενώ διατηρούνται οι συσχετισμοί της αρχικής ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα σε εικόνες των οποίων τα ιστογράμματα ακολουθούν την κατανομή Gaussian, δηλαδή όλες οι τιμές φωτεινότητας συγκεντρώνονται σε ένα μικρό τμήμα του ιστογράμματος και η καμπύλη σχηματίζει μία μόνο κορυφή (Jensen 2004).

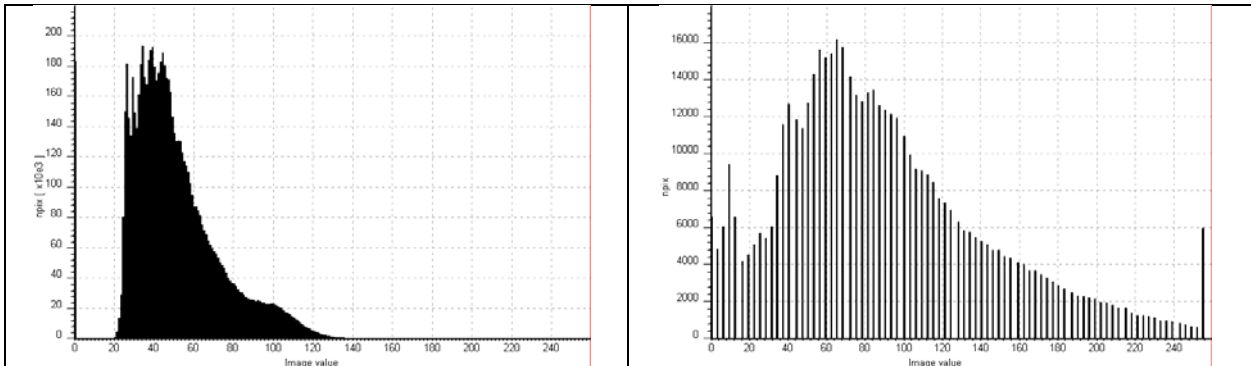
4.2.1.3. Γεωμετρικές διορθώσεις

Γενικά

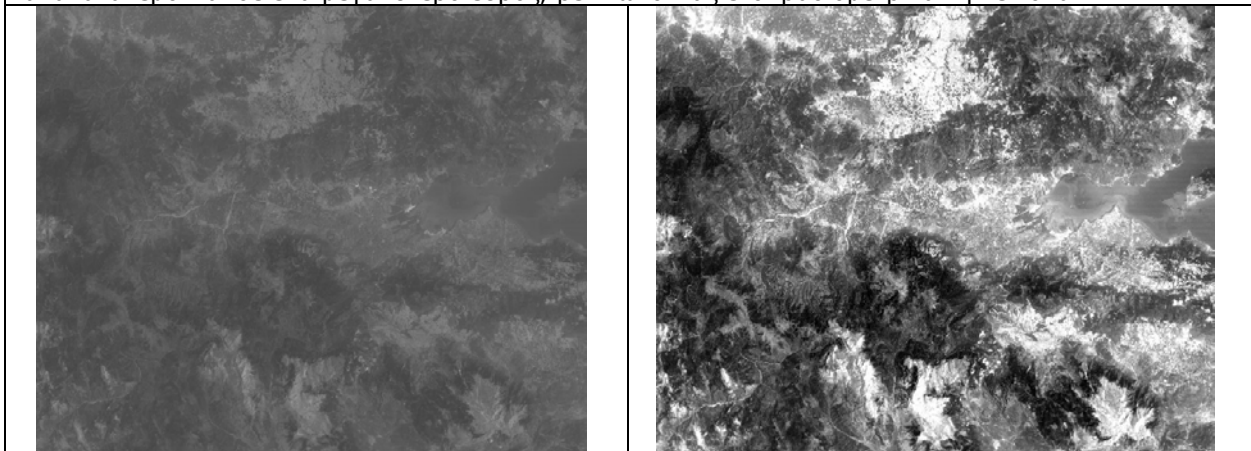
Τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα εμφανίζουν γεωμετρικές παραμορφώσεις (Richards 1993, Mather 1999). Οι παραμορφώσεις αυτές οφείλονται στα μη συστηματικά ή τυχαία σφάλματα και στα συστηματικά σφάλματα, όπως η απόκλιση σάρωσης, η διακύμανση ταχύτητας περιστροφής, η πανοραμική παραμόρφωση κ.α. Τα συστηματικά σφάλματα διορθώνονται απευθείας στους επίγειους σταθμούς λήψης των εικόνων (Συλλαιός 1990).

Οι δορυφορικές εικόνες στην πρωτογενή τους μορφή δεν περιέχουν καμία αναφορά σχετικά με την τοποθεσία την οποία καλύπτουν και συνεπώς δεν έχουν τις ιδιότητες ενός χάρτη. Η εισαγωγή των δορυφορικών δεδομένων σε ένα ΓΠΣ και η διαχείριση και συσχέτισή τους με άλλες ομάδες δεδομένων καθιστά απαραίτητη τη γεωμετρική διόρθωσή τους, έτσι ώστε να αποκτήσουν συντεταγμένες, κλίμακα και προσανατολισμό ως προς τον βορρά.

Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο να μετασχηματίσει το υπάρχον σύστημα συντεταγμένων της εικόνας, το οποίο συνήθως συνίσταται από τον αριθμό των εικονοστοιχείων σε σειρές και στήλες, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής



Εικόνα 4.1. Απεικονίζεται αριστερά το αρχικό ιστόγραμμα φασματικού καναλιού TM1 του Landsat 5 TM (1984), στο οποίο είναι εμφανές ότι οι ψηφιακές τιμές της εικόνας συσσωρεύονται σε ένα μικρό εύρος των δυνατών διαβαθμίσεων του γκρι (0-255). Δεξιά απεικονίζεται το ιστόγραμμα μετά την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης του ιστογράμματος (linear stretching) όπου οι τιμές ανακατανέμονται σε ένα μεγαλύτερο εύρος, βελτιώνοντας έτσι ραδιομετρικά την εικόνα.

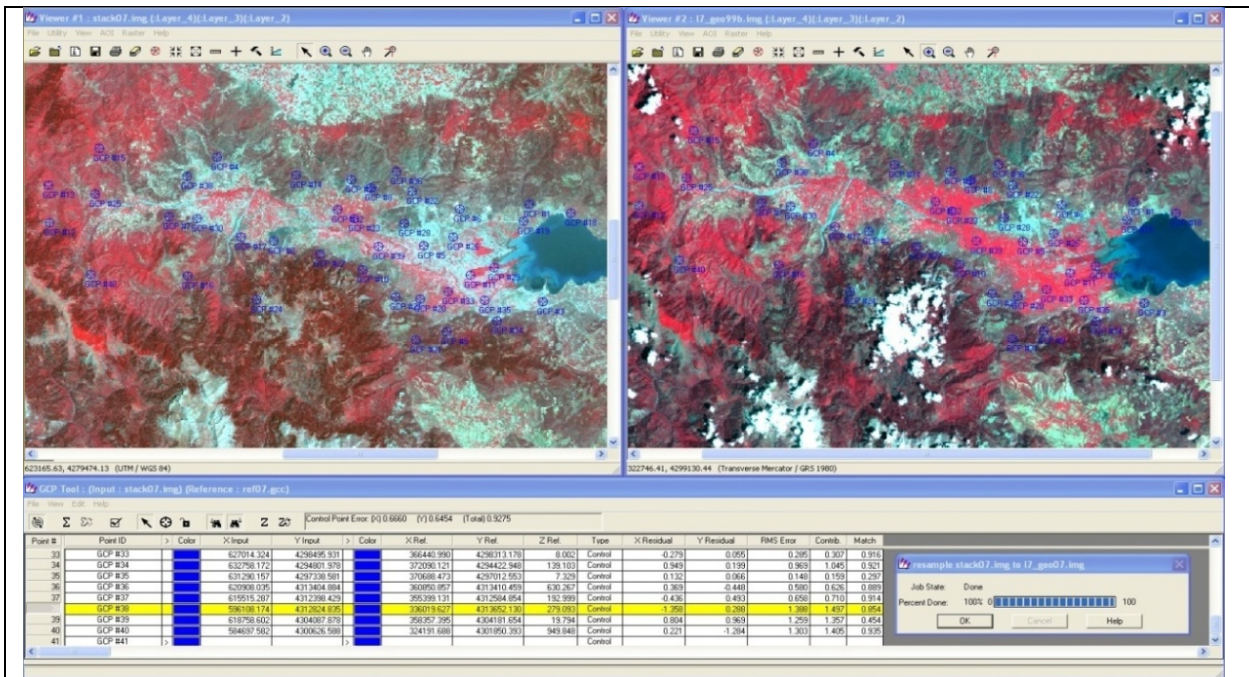


Εικόνα 4.2. Απεικονίζεται το κανάλι 1 του δορυφόρου Landsat 5 TM (1984), πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την εφαρμογή της γραμμικής επέκτασης της αντίθεσης.

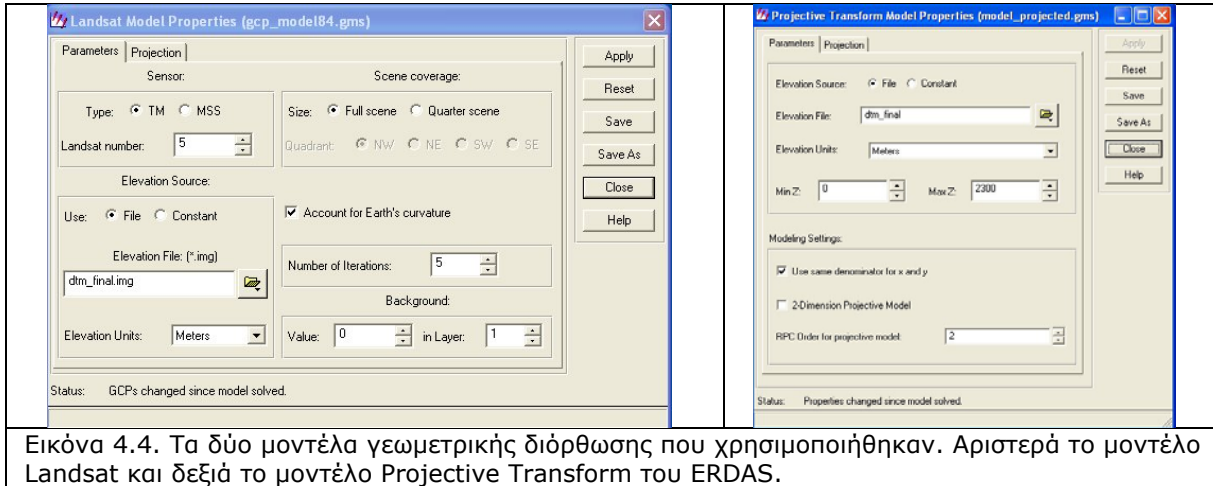
προβολής. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το μετρικό σύστημα προβολής (ΕΓΣΑ'87) (κεφ. 3, παρ. 3.2.1).

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη γεωμετρική διόρθωση των εικόνων Landsat είναι τα εξής: (α) επιλογή του κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί, (β) επιλογή του τύπου της διόρθωσης, η οποία περιλάμβανε την εισαγωγή των συντεταγμένων από τοπογραφικό χάρτη και τη σύγκριση εικόνας με εικόνα (image to image registration), (γ) επιλογή της μεθόδου μετασχηματισμού. Ο μετασχηματισμός, ουσιαστικά, αποδίδει συντεταγμένες σε όλη την υπό διόρθωση εικόνα, δημιουργώντας τις κατάλληλες συσχετίσεις με βάση την πληροφορία από τα εδαφικά σημεία ελέγχου, (δ) εντοπισμός των εδαφικών σημείων ελέγχου. Η αναγνώριση των γήινων χαρακτηριστικών και η αντιστοίχιση τους αποτελεί πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της διόρθωσης, (ε) επιλογή της τεχνικής της αναδόμησης και (ζ) δημιουργία της τελικής εικόνας μέσα από την αναδόμηση και τον σχηματισμό ενός νέου καννάβου.

Στη παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκε αρχικά η εγγραφή ή αναγωγή της εικόνας σε άλλη εικόνα (image to image registration). Αναφέρεται στο μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων μιας εικόνας σε κάποιον άλλο μιας δεύτερης εικόνας. Η δεύτερη εικόνα είναι γεωμετρικά διορθωμένη σε ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων και από αυτήν θα χρησιμοποιηθούν τα εδαφικά σημεία ελέγχου. Για τη διόρθωση της εικόνας LANDSAT-5 TM του 2007, χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή εύρεσης των εδαφικών σημείων ελέγχου οι ήδη διορθωμένοι γεωμετρικά ορθοφωτοχάρτες του 2007. Έπειτα, με βάση την διορθωμένη εικόνα του 2007, διορθώθηκε γεωμετρικά η εικόνα του 1999 και κατόπιν με βάση την εικόνα του 1999, διορθώθηκε η εικόνα του 1984. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό να είναι δυνατή η εύρεση κοινών εδαφικών σημείων ελέγχου, που δεν θα είχαν αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, στις εικόνες των διαφορετικών χρονικών περιόδων. Τα σημεία εδαφικού ελέγχου αποτελούν συγκεκριμένα εικονοστοιχεία, στα οποία αντιστοιχεί ένα ζεύγος τιμών συντεταγμένων X, Y. Η επιλογή των εδαφικών σημείων ελέγχου, τα οποία αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα της γεωμετρικής διόρθωσης και κατ'επέκταση την αξιοπιστία των τελικών προϊόντων, θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν μία κανονική διασπορά σε όλη την εικόνα, τόσο στα όρια της περιοχής μελέτης όσο και στα ενδότερα. Τα σημεία που επιλέχθηκαν για την εκτέλεση της γεωμετρικής διόρθωσης των δύο εικόνων αφορούσαν κυρίως διασταυρώσεις οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, χαρακτηριστικά σημεία επάνω στην ακτογραμμή (π.χ. ακρωτήρια, λιμενοβραχίονες, κ.α.), συμβολές ρεμάτων, στροφές δρόμου ή ρέματος, κ.α. (Εικόνα 4.3). Κατά την εκτέλεση της γεωμετρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα μετασχηματισμού, το μοντέλο του Landsat και το μοντέλο Projective Transform που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα ERDAS, όπου και τα δύο, χρησιμοποιούν σαν υπόβαθρο, για να πετύχουν καλύτερη ορθοδιόρθωση της εικόνας, το DEM (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.3. Γεωμετρική διόρθωση εικόνας Landsat ETM+ (1999), με την κατανομή των εδαφικών σημείων ελέγχου στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 4.4. Τα δύο μοντέλα γεωμετρικής διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκαν. Αριστερά το μοντέλο Landsat και δεξιά το μοντέλο Projective Transform του ERDAS.

Οι δύο μέθοδοι συγκρίθηκαν μεταξύ τους για να μελετηθεί η συμπεριφορά των αλγόριθμων στην συγκεκριμένη περιοχή, όσον αφορά την ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης και τελικά επιλέχθηκε εκείνη που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα. Η διαφορά μεταξύ των εισαγόμενων συντεταγμένων και αυτών που προέκυψαν μετά την εκτέλεση του μετασχηματισμού εκφράζει τις αποκλίσεις $X_{residual}$ και $Y_{residual}$.

Οι αποκλίσεις αυτές αναφέρονται σε αριθμό εικονοστοιχείων και θεωρητικά θα πρέπει να είναι μικρότερες του 1, έτσι ώστε η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης να είναι μεγαλύτερη. Η τιμή RMSE αποτελεί μία μέτρηση της συνολικής ακρίβειας του μετασχηματισμού και προκύπτει από τον συνυπολογισμό των ανωτέρω αποκλίσεων με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * (\sum_{i=1}^n Drow_i^2 + \sum_{i=1}^n Dcol_i^2)}$$

όπου: i : ένα συγκεκριμένο εδαφικό σημείο ελέγχου, n : ο συνολικός αριθμός των εδαφικών σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν, $Drow_i$: η απόκλιση του σημείου i στον άξονα Y , $Dcol_i$: η απόκλιση του σημείου i στον άξονα X .

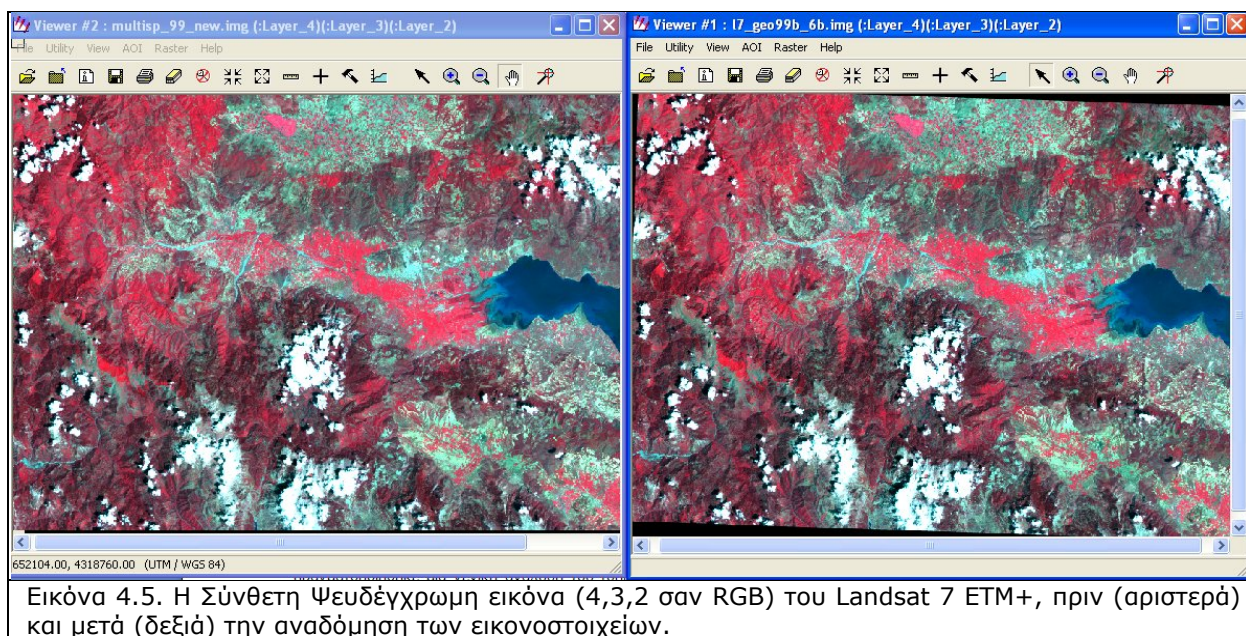
Η τιμή RMSE αναφέρεται στους πίνακες σε αριθμό εικονοστοιχείων. Το συνολικό σφάλμα θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι μικρότερο του ενός εικονοστοιχείου, και όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του σφάλματος τόσο καλύτερη θα είναι και η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης. Το RMSE από την γεωαναφορά των τριών εικόνων Landsat, για την εικόνα του 1984 ήταν 0,69 του εικονοστοιχείου, για την εικόνα του 1999 ήταν 0,82 του εικονοστοιχείου και για την εικόνα του 2007 ήταν 0,92 του εικονοστοιχείου, δηλαδή σε όλες τις διορθώσεις ήταν κάτω του 1.

Μετά τη γεωαναφορά της δορυφορικής εικόνας και την απόδοση συντεταγμένων σε κάθε εικονοστοιχείο, λόγω του ότι η εικόνα διατηρεί την αρχική της γεωμετρία, θα πρέπει να ακολουθηθεί η διαδικασία της γεωκωδικοποίησης. Κατά τη διαδικασία αυτή υπολογίζονται εκ νέου οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων, μέσω της αναδόμησης (resampling) της

εικόνας, έτσι ώστε οι ακριβείς χωρικές τους θέσεις να αντιστοιχούν στα κέντρα του νέου κάρναβου της διορθωμένης εικόνας. Οι νέες αυτές θέσεις των κέντρων των εικονοστοιχείων συνήθως δεν συμπίπτουν με τις αρχικές.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής για την αναδόμηση των εικόνων, ήταν η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor), διότι αλλοιώνει στο ελάχιστο τα αρχικά δεδομένα και θεωρείται η πιο κατάλληλη όταν οι εικόνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την ταξινόμησή τους. Μετά την αναδόμηση και γεωκωδικοποίηση της εικόνας παρατηρείται μία δεξιόστροφη στρέψη, έτσι ώστε η εικόνα να προσανατολιστεί ως προς το βορρά, ενώ το μέγεθος του εικονοστοιχείου ορίστηκε και στις τρεις εικόνες, στα 26 m (Εικόνα 4.5).

Με βάση τη μέθοδο αυτή η ψηφιακή τιμή του νέου εικονοστοιχείου καθορίζεται από την τιμή του πλησιέστερου εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας. Οι προκύπτουσες νέες τιμές (DN) παραμένουν ίδιες με αυτές της αρχικής εικόνας. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι απλή και γρήγορη, διατηρεί τις αρχικές τιμές και έτσι η εικόνα δεν υφίσταται την εξομάλυνση και δεν παρατηρείται σημαντική απώλεια πληροφοριών, αν και δημιουργούνται κάποιες ασυνέχειες κυρίως σε γραμμικά και καμπύλα στοιχεία της εικόνας. (Campbell 1996, Serra et al. 2003).



4.2.2. Δημιουργία Σύνθετων Ψευδέγχρωμων Εικόνων

Σαν αρχικό βήμα, πριν εφαρμοστούν οι διάφοροι μέθοδοι επεξεργασίας, πραγματοποιήθηκε μία γενική ανάλυση του τοπίου στις εικόνες των τριών περιόδων, με σκοπό να γίνει μια πρώτη αναγνώριση της κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης, αλλά και να επιλεγθούν οι κατάλληλοι συνδυασμοί που θα χρησιμοποιηθούν για την μετέπειτα ταξινόμηση των εικόνων.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν Σύνθετες Ψευδέγχρωμες Εικόνες (False Color Composites-FCCs), οι οποίες δημιουργούνται από την σύνθεση τριών απλών καναλιών,

αποδίδοντας κάθε ένα από αυτά, στο σύστημα χρωματικής απεικόνισης Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε (Red, Green, Blue - RGB). Σκοπός της δημιουργίας των συνδυασμών αυτών είναι, να βρεθούν εκείνοι οι συνδυασμοί καναλιών που θα έχουν τα πιο αποσυσχετισμένα δεδομένα, που υφίσταται λόγω της παραπλήσιας φασματικής ευαισθησίας που παρουσιάζουν, έτσι ώστε να εξαχθεί η καλύτερη δυνατή πληροφορία. Από τους συνδυασμούς αυτούς εξήχθησαν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για τις διάφορες χρήσεις/κάλυψης γης, καθώς και ποιά χρήση αναδεικνύεται περισσότερο με τον κάθε συνδυασμό (*Ρόκος και αλ.* 2002).

Με τον συνδυασμό 7,5,3 (RGB) εμφανίζεται καλύτερα ο διαχωρισμός των περιοχών με οξιές, μαύρη πεύκη και έλατα. Οι οξιές εμφανίζονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα, ενώ η μαύρη πεύκη και τα έλατα με σκούρο πράσινο χρώμα. Ο συνδυασμός 7,5,1 (RGB) δίνει μια πολύ καλή διάκριση ανάμεσα στο γυμνό έδαφος και τους βράχους. Ο συνδυασμός 4,3,2 (RGB) αναδεικνύει καλύτερα τις μικρές σε έκταση και διεσπαρμένες περιοχές καλλιεργειών. Καλός διαχωρισμός των καλλιεργούμενων εκτάσεων, επιτυγχάνεται και με τον συνδυασμό 5,3,2 (RGB), ο οποίος δίνει ταυτόχρονα και μία καλύτερη απεικόνιση της τοπογραφίας της περιοχής. Τέλος, ο συνδυασμός 1,2,3 (RGB) αναδεικνύει καλύτερα τα γραμμικά στοιχεία, ιδιαίτερα του οδικού δικτύου και τα όρια τω οικισμών (Εικόνα 4.6).

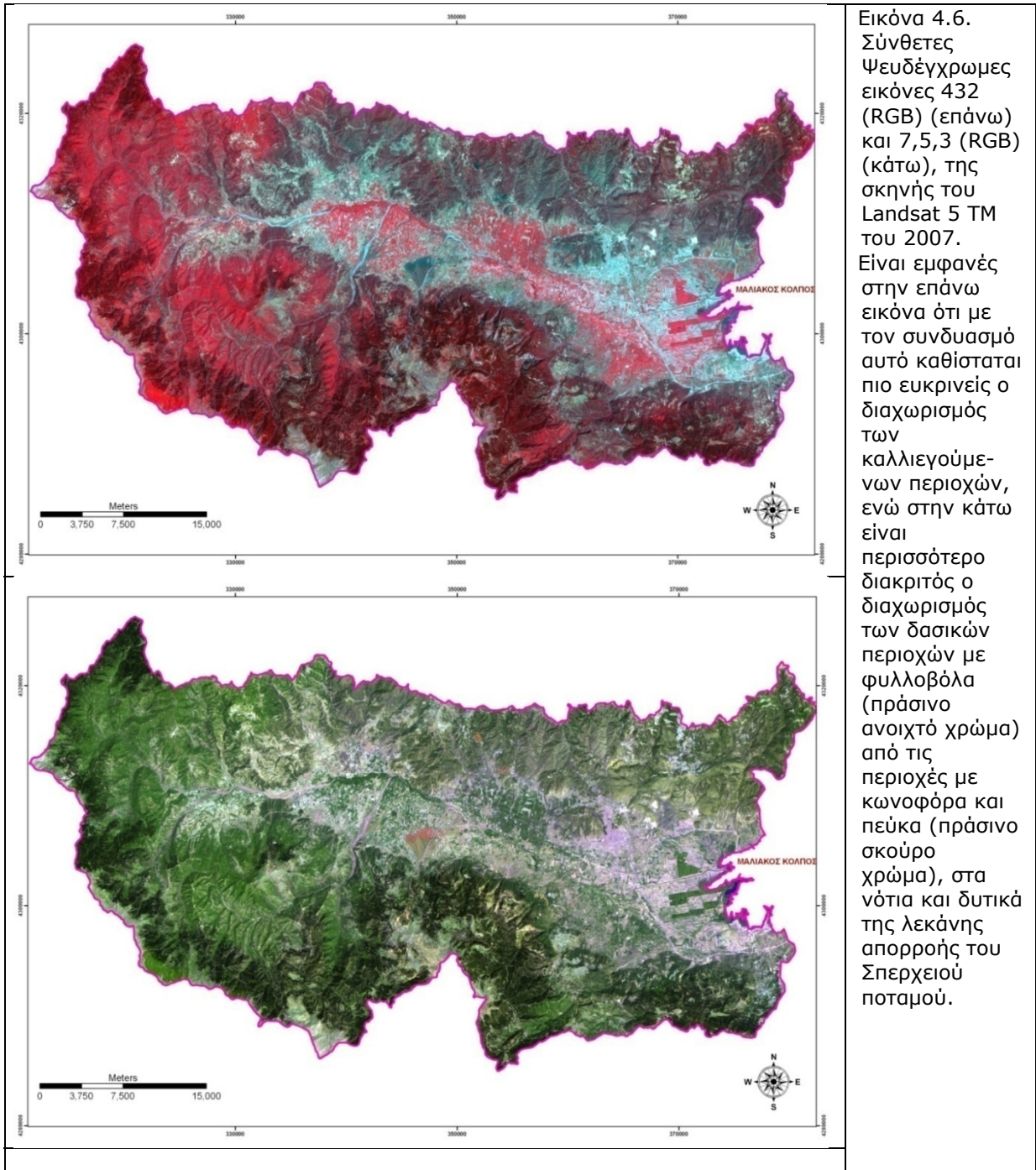
4.2.3. Συγχώνευση παγχρωματικών & πολυφασματικών δεδομένων του Landsat 7

Η συγχώνευση εικόνας (image fusion ή merging) ορίζεται ως η ενοποίηση ή ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων δορυφορικών εικόνων, χρησιμοποιώντας έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο, για τη δημιουργία μιας νέας εικόνας η οποία θα περικλείει την χωρική και φασματική πληροφορία των αρχικών εικόνων (*Pohl & van Genderen* 1998). Ο στόχος της συγχώνευσης εικόνων είναι η απόκτηση περισσότερης πληροφορίας σχετικά με το αντικείμενο της εφαρμογής, συγκριτικά με την χρησιμοποίηση δεδομένων από έναν μόνο δορυφορικό δέκτη. Οι εικόνες συγχώνευσης δύνανται να παρέχουν αυξημένες δυνατότητες ερμηνείας και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, αφότου συνδυάζονται δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά και η ποικιλία χωρικής, φασματικής και χρονικής ανάλυσης δίνει μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση της καταγραφής των παρατηρούμενων αντικειμένων.

Η τεχνική της συγχώνευσης μπορεί να βοηθήσει κυρίως στη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης, στην υποβοήθηση της γεωμετρικής διόρθωσης και βελτίωση της ακρίβειας, στη δημιουργία στερεοσκοπικών εικόνων, στην ανάδειξη επιφανειακών χαρακτηριστικών και μεγιστοποίηση της παροχής πληροφοριών μέσω της οπτικής ερμηνείας, στη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης των τύπων κάλυψης και στη διαχρονική παρατήρηση για την ανίχνευση αλλαγών (*Chavez et al.* 1991, *Rigol & Chica-Olmo* 1998, *Chibani & Houacine* 2002, *Amarsaikhan & Douglas* 2004). Γενικότερα, οι μέθοδοι συγχώνευσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες (*Pohl & Van Genderen* 1998):

α) Μέθοδοι που σχετίζονται με την χρωματική απεικόνιση και αφορούν:

- (i) τον συνδυασμό των φασματικών καναλιών και τη δημιουργία έγχρωμων εικόνων, με βάση τα τρία κύρια χρώματα, το ερυθρό, το πράσινο και το μπλε (color composites – RGB),
- (ii) τον χρωματικό μετασχηματισμό IHS (Intensity – Hue – Saturation), ο οποίος διαχωρίζει την χωρική (Intensity) και φασματική (Hue – Saturation) πληροφορία από μία



Εικόνα 4.6. Σύνθετες Ψευδέγχρωμες εικόνες 432 (RGB) (επάνω) και 7,5,3 (RGB) (κάτω), της σκηνής του Landsat 5 TM του 2007. Είναι εμφανές στην επάνω εικόνα ότι με τον συνδυασμό αυτό καθίσταται πιο ευκρινείς ο διαχωρισμός των καλλιεγούμενων περιοχών, ενώ στην κάτω είναι περισσότερο διακριτός ο διαχωρισμός των δασικών περιοχών με φυλλοβόλα (πράσινο ανοιχτό χρώμα) από τις περιοχές με κωνοφόρα και πεύκα (πράσινο σκούρο χρώμα), στα νότια και δυτικά της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού.

πολυφασματική εικόνα (RGB). Ο μετασχηματισμός IHS προσεγγίζει καλύτερα την ανθρώπινη αντίληψη περί χρωμάτων σε σύγκριση με τον συνδυασμό RGB.

β) Στατιστικές και αριθμητικές μέθοδοι που αφορούν:

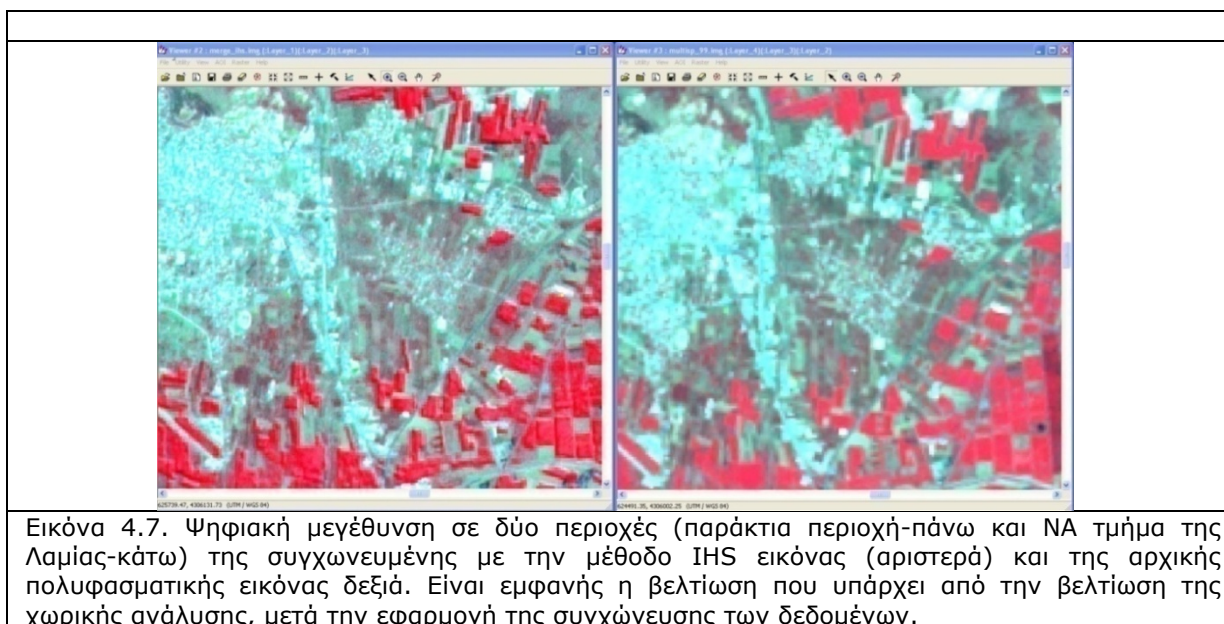
(i) τους αριθμητικούς συνδυασμούς (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός και λόγοι φασματικών καναλιών),

(ii) την ανάλυση κυρίων συνιστωσών - PCA (Chavez et al. 1991),

(iii) την εφαρμογή του φίλτρου διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (high pass filtering) σε συνδυασμό με την πρόσθεση φασματικών καναλιών (*Shettigara 1992*) και

(iv) την αντικατάσταση μεταβλητών παλινδρόμησης (regression variable substitution) (*Shettigara 1992*), (ε) τον μετασχηματισμό wavelet (*Ranchin & Wald 1993*) και (ζ) άλλες στατιστικές μεθόδους (*Ranchin & Wald 2000*).

Στην παρούσα διατριβή, καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος IHS. Με την μέθοδο αυτή, η σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα των φασματικών καναλιών 4,3,2 (RGB) μετασχηματίζεται στο χρωματικό σύστημα IHS. Το σύστημα αυτό έχει την ιδιότητα, όλη την χωρική πληροφορία να την συγκεντρώνει στο κανάλι I (Intensity), ενώ την υπόλοιπη φασματική πληροφορία την συγκεντρώνει στα κανάλια HS. Έτσι, η μέθοδος χρησιμοποιεί το παγχρωματικό κανάλι για να αντικαταστήσει το I και μετασχηματίζει ξανά την εικόνα στο σύστημα RGB. Έτσι, η καινούρια εικόνα διατηρεί την φασματική ανάλυση των αρχικών τριών καναλιών και την χωρική ανάλυση από το παγχρωματικό κανάλι, στα 15 από τα 26 m που είχε αρχικά (Εικόνα 4.7). Με αυτή την νέα εικόνα, διευκολύνονται όλες οι μετέπειτα επεξεργασίες, όπως η γεωμετρική διόρθωση, αφού τα εδαφικά σημεία ελέγχου μπορούν να βρεθούν ευκολότερα, αλλά και η διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.



4.2.4. Ανάλυση κύριων συνιστωσών

4.2.4.1. Εισαγωγή

Η μέθοδος της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών (principal components analysis-PCA), χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί μείωση του πλεονάσματος πληροφόρησης των πολυφασματικών δεδομένων. Κατά την διαδικασία αυτή βέβαια, διατηρείται το σύνολο σχεδόν της πληροφόρησης των αρχικών δεδομένων (*Lillesand & Kiefer 2000*). Για παράδειγμα, πολυφασματικές εικόνες ορατού-κοντινού υπέρυθρου σε περιοχές βλάστησης έχουν αρνητικούς συσχετισμούς μεταξύ NIR και VIS και θετικούς συσχετισμούς μεταξύ των υποπεριοχών του ορατού, λόγω του ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης είναι

τέτοια ώστε καθώς το πράσινο αυξάνει η κόκκινη ανάκλαση μειώνεται ενώ η ανάκλαση στο υπέρυθρο αυξάνει επίσης. Η παρουσία συσχετισμών μεταξύ των ζωνών μιας πολυφασματικής εικόνας σημαίνει ότι υπάρχει επικάλυψη των δεδομένων, γεγονός που αντανακλάται στους συσχετισμούς αυτούς (*Kwarteng & Chavez 1998, Cheng et al. 2006*). Στους πίνακες 4.3, 4.4, 4.5, παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των φασματικών καναλιών, της κάθε μία από τις τρεις σκηές του Landsat ξεχωριστά (1984, 1999 και 2007). Οι συντελεστές κυμαίνονται από -1 έως $+1$, με την συσχέτιση ανάμεσα σε δύο κανάλια να αυξάνει ανάλογα προς το $+1$.

Πίνακας 4.3. Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-5 (1984). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των καναλιών (από 0,88 έως 0,98) και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4.

Landsat TM 1984	Κανάλι 1	Κανάλι 2	Κανάλι 3	Κανάλι 4	Κανάλι 5	Κανάλι 7
Κανάλι 1	1	0,98	0,96	0,54	0,89	0,88
Κανάλι 2	0,98	1	0,98	0,58	0,93	0,92
Κανάλι 3	0,95	0,98	1	0,53	0,93	0,92
Κανάλι 4	0,54	0,59	0,53	1	0,64	0,46
Κανάλι 5	0,89	0,93	0,93	0,64	1	0,96
Κανάλι 7	0,88	0,92	0,92	0,46	0,96	1

Πίνακας 4.4. Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-7 (1999). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των καναλιών και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4. Είναι επίσης εμφανές ότι η συσχέτιση των φασματικών καναλιών υπέρυθρου, είναι σαφώς μικρότερη από την συσχέτιση των αντίστοιχων καναλιών του Landsat 5.

Landsat TM 1999	Κανάλι 1	Κανάλι 2	Κανάλι 3	Κανάλι 4	Κανάλι 5	Κανάλι 7
Κανάλι 1	1	0,97	0,92	0,35	0,69	0,78
Κανάλι 2	0,97	1	0,96	0,45	0,80	0,86
Κανάλι 3	0,91	0,96	1	0,35	0,86	0,92
Κανάλι 4	0,35	0,45	0,36	1	0,58	0,41
Κανάλι 5	0,69	0,80	0,85	0,58	1	0,96
Κανάλι 7	0,78	0,86	0,92	0,41	0,96	1

Πίνακας 4.5. Μήτρα συσχέτισης (correlation matrix) των φασματικών καναλιών της εικόνας LANDSAT-5 (2007). Αναδεικνύεται η υψηλή συσχέτιση όλων των δύο καναλιών (από 0,79 έως 0,97) και ιδιαίτερα του ορατού, με εξαίρεση το κανάλι 4.

Landsat TM 2007	Κανάλι 1	Κανάλι 2	Κανάλι 3	Κανάλι 4	Κανάλι 5	Κανάλι 7
Κανάλι 1	1	0,97	0,93	0,22	0,79	0,83
Κανάλι 2	0,97	1	0,98	0,32	0,88	0,91
Κανάλι 3	0,93	0,98	1	0,25	0,90	0,93
Κανάλι 4	0,23	0,32	0,25	1	0,48	0,29
Κανάλι 5	0,79	0,88	0,90	0,48	1	0,96
Κανάλι 7	0,83	0,91	0,93	0,28	0,96	1

Συνεπώς, η μέθοδος της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών, ουσιαστικά ενεργεί αναλύοντας την εικόνα στις κύριες συνιστώσες της. Οι συνιστώσες, ο αριθμός των οποίων είναι ίδιος με αυτόν των καναλιών της αρχικής απεικόνισης, χρησιμοποιούνται ως καινούργια κανάλια στην περαιτέρω επεξεργασία ή αποτελούν μία καινούργια πολυφασματική απεικόνιση. Μάλιστα η πληροφορία που περιέχουν αυτά τα κανάλια είναι διατεταγμένη με κάποια συγκεκριμένη σειρά, το πρώτο έχει την περισσότερη (περίπου το 90% της

πληροφόρησης που περιέχουν όλα τα κανάλια) ενώ το τελευταίο τη λιγότερη (*Crosta & Moore 1989, Sunar 1998*).

Το πλεονέκτημα αυτών των καναλιών είναι ότι η περισσότερη και πιο αξιοποιήσιμη πληροφορία βρίσκεται στα πρώτα δύο ή τρία κανάλια, ενώ τα τελευταία έχουν από ελάχιστη έως μηδενική. Αυτή η συμπίεση της πληροφορίας έχει σαν αποτέλεσμα τη δραστική μείωση του αριθμού των καναλιών από 7 σε 2 ή 3, ανάλογα με τις απαιτήσεις του μελετητή για τη συγκεκριμένη μελέτη, και άρα τη μείωση του χρόνου επεξεργασίας και του διατιθέμενου χώρου αποθήκευσης των δεδομένων.

Ουσιαστικά δηλαδή η PCA, είναι μια στατιστική τεχνική από πολλές μεταβλητές, που επιλέγει μη σχετιζόμενες φασματικές συνθέσεις (*eigenvectors*) μεταβλητών με τέτοιο τρόπο ώστε οι νέες εξαγόμενες συνιστώσες να έχουν την μικρότερη διακύμανση (*variance*). Αυτές οι μεταβλητές σε μια πολυφασματική εικόνα σχετίζονται με την φασματική απόκριση των διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών (*Fung & Le Drew 1987, Mather 1999*).

Για να εξαχθούν οι αλλαγές που έχουν επέλθει ανάμεσα σε δύο ημερομηνίες, από τις εικόνες των φασματικών του καναλιών των δύο σκηνών, δημιουργήθηκε μία πολυεπίπεδη συνένωση. Από την εφαρμογή σε αυτή τη συνένωση, της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, προκύπτουν οι κύριες συνιστώσες (όσος ο αριθμός των καναλιών, τόσες και οι συνιστώσες) από τις οποίες σε καμία, μία ή περισσότερες, η συνεισφορά πληροφορίας των φασματικών καναλιών της μίας χρονικής περιόδου παρουσιάζει μόνο θετικές ή αρνητικές τιμές, ενώ η πληροφορία των φασματικών καναλιών της εικόνας, της δεύτερης χρονικής περιόδου, παρουσιάζει αντίθετες τιμές. Συνεπώς, οι διαφορές των διαβαθμίσεων του γκρι σε αυτή την εικόνα, αντιστοιχούν σε διαφορές χρήσης/κάλυψης γης. Με την μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται ουσιαστικά μία διαχρονική ανάλυση των κύριων συνιστωσών και μία διαχρονική αποτύπωση των αλλαγών που έχουν επέλθει στο διάστημα που εξετάζεται.

4.2.4.2. Χρονική περίοδος 1984-1999

Για την χρονική περίοδο από το 1984 έως το 1999, χρησιμοποιήθηκαν για την πολυεπίπεδη συνένωση τα τρία πρώτα κανάλια των δύο εικόνων (ορατό τμήμα, κανάλια 1,2 και 3), δημιουργώντας μία νέα εικόνα 6 φασματικών καναλιών.

Η μέθοδος αυτή της χρησιμοποίησης των τριών φασματικών καναλιών από κάθε σκηνή, ουσιαστικά είναι μία επιλεκτική ανάλυση κύριων συνιστωσών (*Selective Principal Component Analysis-SPCA*). Από την εφαρμογή της SPCA, αρχικά εξήχθη ο πίνακας που παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής (*eigenvalues*) κάθε απλού φασματικού καναλιού σε κάθε κύρια συνιστώσα και της διακύμανσης των δεδομένων στις κύριες συνιστώσες (*variance*) (Πίνακες 4.6 και 4.7).

Στις νέες κύριες συνιστώσες που προκύπτουν και εξετάζοντας τις τιμές στους πίνακες 4.6 και 4.7, η συνιστώσα PC1 περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας και δίνει μία πολύ καλή απεικόνιση της τοπογραφίας της περιοχής. Η συνιστώσα PC2, περιέχει την πληροφορία των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, μιας και η συνεισφορά των φασματικών καναλιών της εικόνας του 1984 είναι θετική, ενώ η συνεισφορά των φασματικών καναλιών της εικόνας του 1999 είναι αρνητική.

Πίνακας 4.6. Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής του κάθε φασματικού καναλιού σε κάθε μία από τις κύριες συνιστώσες

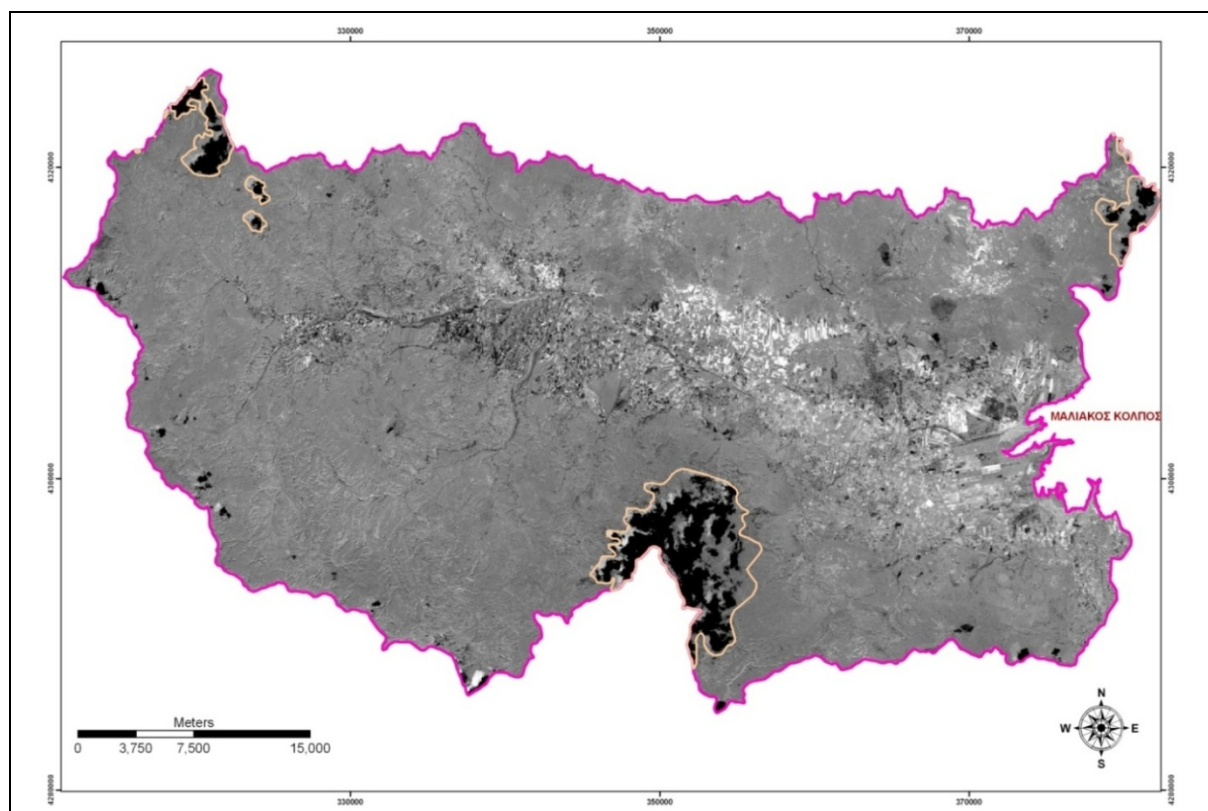
eigenvalues	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
TM1_84	0,46	0,30	-0,69	-0,39	-0,19	-0,19
TM2_84	0,48	0,31	0,07	0,15	0,70	0,39
TM3_84	0,51	0,33	0,49	0,32	-0,50	-0,20
TM1_99	0,28	-0,52	-0,37	0,51	-0,27	0,42
TM2_99	0,29	-0,47	-0,01	0,17	0,38	-0,73
TM3_99	0,38	-0,47	0,38	-0,65	-0,08	0,25

Πίνακας 4.7. Οι τιμές του ποσοστού διακύμανσης των καναλιών στις νέες κύριες συνιστώσες

eigenvectors	15410,9	4219,3	452,8	117,6	62,2	18,4
% Διακύμανση	75,99	20,80	2,23	0,58	0,31	0,09

Οι υπόλοιπες κύριες συνιστώσες περιέχουν πολύ μικρό ποσοστό πληροφόρησης, ενώ η συνιστώσα PC6 περιέχει τον «θόρυβο».

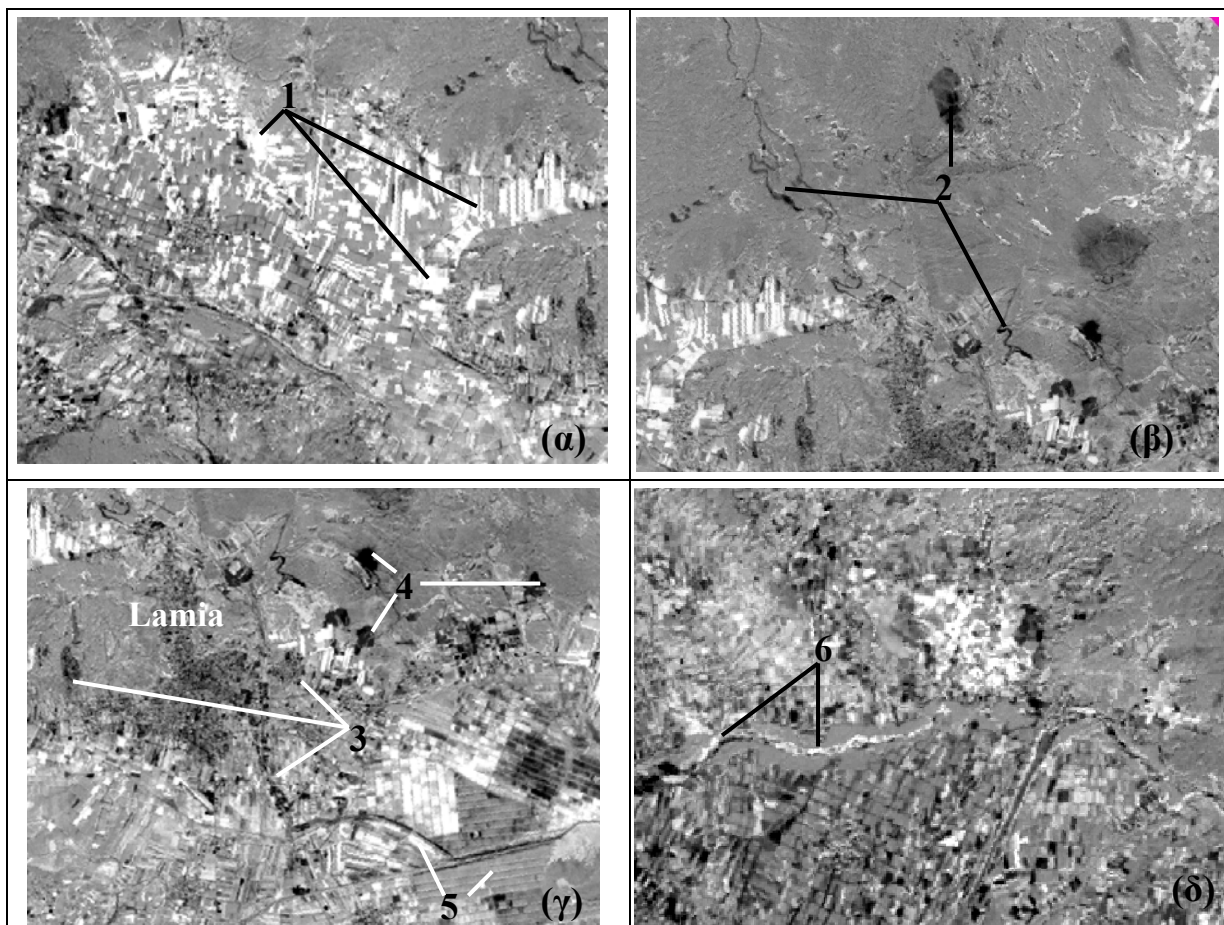
Στην συνιστώσα PC2, ουσιαστικά απεικονίζονται οι αλλαγές που έχουν επέλθει στο διάστημα των 16 ετών, από το 1984 έως το 1999 (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8. Η κύρια συνιστώσα PC2 στην οποία απεικονίζονται, με άσπρο και μαύρο, οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1984-1999, ενώ με γκρι απεικονίζονται οι περιοχές που δεν επήλθαν αλλαγές.

Στην εικόνα αυτή με άσπρο απεικονίζονται κυρίως η αύξηση της βλάστησης, είτε αυτή αφορά μεταβολή των καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα η αλλαγή των χειμερινών αροτραίων καλλιεργειών σε θερινές (Εικόνα 4.9α), καθώς και αύξηση κάποιων χαρακτηριστικών με μεγάλη ανάκλαση, όπως για παράδειγμα κάποια σημεία της κοίτης του

Σπερχειού, όπου παρουσιάζεται αύξηση με απόθεση φερτών υλών (Εικόνα 4.9δ). Με μαύρο απεικονίζονται εκσκαφές και λατομεία (που δημιουργήθηκαν ή επεκτάθηκαν), η επέκταση της αστικής δόμησης (Εικόνα 4.9γ), η κατασκευή δρόμων και η αποψίλωση της βλάστησης (Εικόνα 4.9β). Τέλος, με τις υπόλοιπες διαβαθμίσεις του γκρι απεικονίζονται μικροαλλαγές που έχουν επέλθει στα διάφορα επιφανειακά χαρακτηριστικά ή και καμία αλλαγή (μέση τιμή του γκρι) που αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό της εικόνα. Με μπεζ πολύγωνα έχουν επίσης αποτυπωθεί στην εικόνα 4.8, τα σημεία όπου το 1999 υπήρχε νεφοκάλυψη και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει αναγνώριση των αλλαγών.



Εικόνα 4.9. Τμήματα της κύριας συνιστώσας PC2 που απεικονίζουν διάφορα είδη αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, (α) αλλαγές στις καλλιέργειες με αύξηση της βλάστησης (λευκό, σημείο 1), (β) κατασκευή δρόμων (γραμμικά στοιχεία), αποψίλωση βλάστησης (μαύρο, σημείο 2), (γ) επέκταση της αστικής δόμησης στα περίχωρα της Λαμίας, εκσκαφές και άνοιγμα ή επέκταση λατομείων (μαύρο, σημεία 3,4 και 5) και (δ) μεταβολές του Σπερχειού ποταμού, με αύξηση (λευκό) ή μείωση (μαύρο) της όχθης (σημείο 6) (Psomiadis et al. 2005b).

4.2.4.3. Χρονική περίοδος 1999-2007

Για την χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2007, χρησιμοποιήθηκαν για την πολυεπίπεδη συνένωση τα πέντε πρώτα κανάλια των δύο εικόνων (κανάλια 1,2,3,4 και 5), δημιουργώντας μία νέα εικόνα 10 φασματικών καναλιών. Η μέθοδος αυτή της

χρησιμοποίησης των πέντε φασματικών καναλιών από κάθε σκηνή, αποτελεί επίσης μία επιλεκτική ανάλυση κύριων συνιστωσών (Selective Principal Component Analysis-SPCA).

Από την εφαρμογή της SPCA, αρχικά εξήχθη ο πίνακας που παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής (eigenvalues) κάθε απλού φασματικού καναλιού σε κάθε κύρια συνιστώσα και της διακύμανσης των δεδομένων στις κύριες συνιστώσες (variance) (Πίνακες 4.8 και 4.9).

Στις νέες συνιστώσες που προκύπτουν και εξετάζοντας τις τιμές στους πίνακες 4.8 και 4.9, η συνιστώσα PC1 περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας και δίνει μία πολύ καλή απεικόνιση της τοπογραφίας της περιοχής. Η συνιστώσα PC5, περιέχει την πληροφορία των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, μιας και η συνεισφορά των τριών πρώτων φασματικών καναλιών της εικόνας του 1999 είναι αρνητική και των δύο επόμενων θετική, ενώ η συνεισφορά των τριών πρώτων φασματικών καναλιών της εικόνας του 2007 είναι θετική, ενώ των δύο επόμενων αρνητική. Συνολικά δηλαδή η γενική συνεισφορά της κάθε σκηνής στην συνιστώσα PC5 είναι αντίθετη. Οι υπόλοιπες κύριες συνιστώσες περιέχουν πολύ μικρό ποσοστό πληροφόρησης, ενώ η συνιστώσα PC10 περιέχει τον «θόρυβο».

Πίνακας 4.8. Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής του κάθε καναλιού σε κάθε κύρια συνιστώσα.

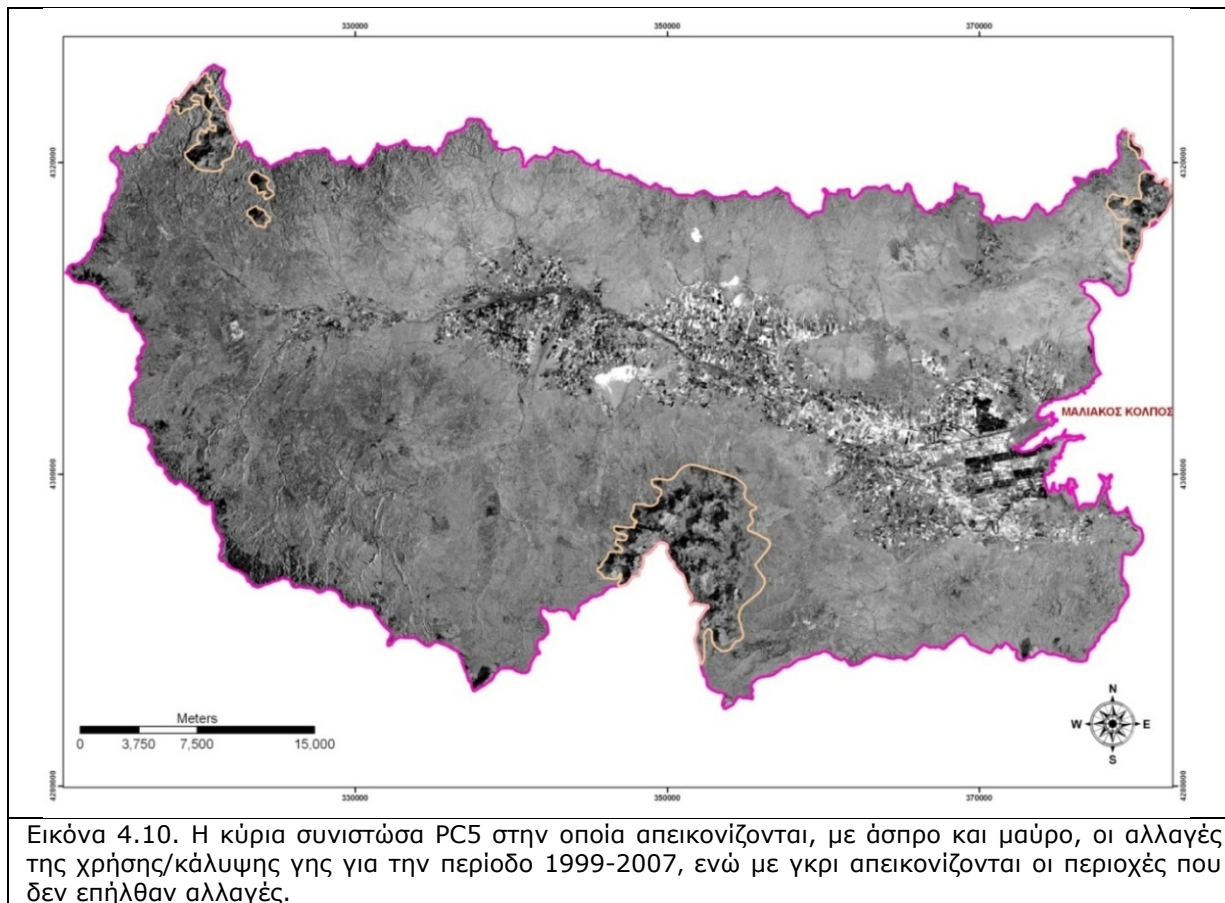
eigenvalues	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
TM1_99	0,43	-0,31	-0,35	0,33	-0,10	0,53	-0,09	-0,43	-0,09	0,03
TM2_99	0,43	-0,19	-0,21	0,14	-0,11	0,02	0,05	0,83	0,01	-0,08
TM3_99	0,52	-0,27	0,05	-0,14	-0,15	-0,68	0,19	-0,31	0,11	0,04
TM4_99	0,29	0,81	-0,38	0,18	0,19	-0,16	0,08	-0,08	0,02	0,01
TM5_99	0,47	0,19	0,32	-0,67	0,16	0,32	-0,25	0,02	-0,06	-0,00
TM1_07	0,07	-0,03	0,20	0,31	0,25	-0,12	-0,61	-0,01	0,57	-0,25
TM2_07	0,05	-0,01	0,15	0,19	0,10	-0,09	-0,27	0,10	-0,10	0,90
TM3_07	0,08	-0,02	0,27	0,28	0,21	-0,22	-0,22	-0,01	-0,77	-0,31
TM4_07	0,05	0,26	0,11	0,08	-0,89	0,02	-0,33	-0,01	-0,07	-0,04
TM5_07	0,19	0,15	0,65	0,39	-0,09	0,24	0,52	0,01	0,17	0,00

Πίνακας 4.9. Οι τιμές του ποσοστού διακύμανσης των καναλιών στις νέες κύριες συνιστώσες

eigenvectors	11230,8	2423,3	1178,0	518,7	119,4	85,3	56,3	10,4	6,4	0,8	0,0
% Διακύμανση	70,9	15,3	7,4	3,2	0,7	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0

Έτσι, στην συνιστώσα PC5, ουσιαστικά απεικονίζονται οι αλλαγές που έχουν επέλθει στο διάστημα των 9 ετών, από το 1999 έως το 2007 (Εικόνα 4.10). Στην εικόνα αυτή, θα υπάρχουν αλλαγές σε σχέση με την απεικόνιση που είχαν τα διάφορα είδη των αλλαγών στην εικόνα PC2 της χρονικής περιόδου 1984-1999. Αυτό συμβαίνει διότι τα τρία πρώτα κανάλια των δύο σκηνών του διαστήματος 1999-2007, έχουν τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά με τις αντίστοιχες του 1984-1999, σε αντίθεση με τα κανάλια 4 και 5 που έχουν ακριβώς την αντίθετη συμπεριφορά. Έτσι, πλέον με άσπρο απεικονίζεται η μείωση της βλάστησης, είτε αυτή αφορά μεταβολή των καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα η αλλαγή των θερινών αροτραίων καλλιεργειών σε χειμερινές, είτε μείωση λόγω κατασκευής οδικών έργων στην παράκτια ζώνη (Εικόνα 4.11). Επίσης, η αύξηση κάποιων χαρακτηριστικών με μεγάλη ανάκλαση, όπως για παράδειγμα κάποια σημεία της κοίτης του Αγωγού Εκτροπής τα οποία διαπλατύνθηκαν μέσα σε αυτό το διάστημα, εμφανίζονται ως λευκές. Με μαύρο απεικονίζονται και πάλι εκσκαφές και λατομεία (που δημιουργήθηκαν ή επεκτάθηκαν), η επέκταση του αστικού χώρου, η κατασκευή δρόμων, ενώ πλέον η αύξηση της βλάστησης απεικονίζεται με μαύρο. Τέλος, με τις υπόλοιπες διαβαθμίσεις του γκρι απεικονίζονται

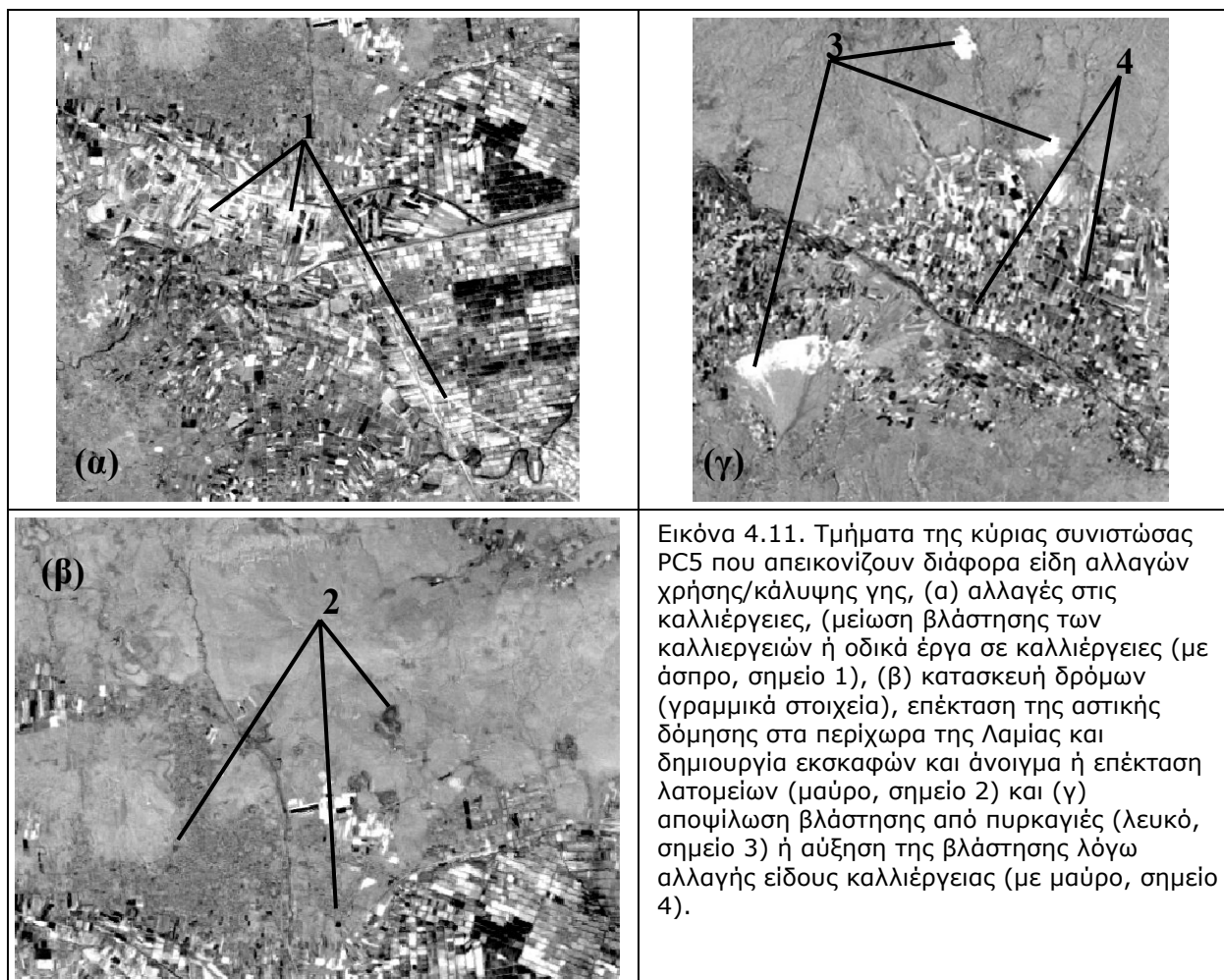
μικροαλλαγές που έχουν επέλθει στα διάφορα επιφανειακά χαρακτηριστικά ή και καμία αλλαγή (μέση τιμή του γκρι) που αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό της εικόνα (Εικόνα 4.11). Με μπεζ πολύγωνα έχουν επίσης αποτυπωθεί στην εικόνα 4.10, τα σημεία όπου το 1999 υπήρχε νεφοκάλυψη και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει αναγνώριση των αλλαγών.



Εικόνα 4.10. Η κύρια συνιστώσα PC5 στην οποία απεικονίζονται, με άσπρο και μαύρο, οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1999-2007, ενώ με γκρι απεικονίζονται οι περιοχές που δεν επήλθαν αλλαγές.

4.2.5. Ταξινόμηση εικόνας

Η θεματική χαρτογράφηση με τη χρήση της ταξινόμησης των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων έχει αναδειχθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο διαχείρισης και παρακολούθησης σε πολλές εφαρμογές, για την προστασία του περιβάλλοντος (Southworth *et al.* 2004). Η χρησιμότητα της ταξινόμησης εντοπίζεται στο ότι το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένας θεματικός χάρτης, ο οποίος μπορεί να εισαχθεί αυτόματα σε ένα ΓΠΣ για την περαιτέρω επεξεργασία και συσχέτισή του με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφοριών. Η ψηφιακή ταξινόμηση εικόνας (image classification) είναι μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της θεματικής πληροφορίας από τα δορυφορικά δεδομένα, και σχετίζεται με την κατανομή των εικονοστοιχείων μιας εικόνας σε κλάσεις, όπου σε κάθε εικονοστοιχείο αποδίδεται μια ιδιότητα ανάλογα με τις τιμές που παρουσιάζει στα διάφορα φασματικά κανάλια.



Η διαδικασία ταξινόμησης περιέχει ουσιαστικά δύο βήματα:

α) την αναγνώριση των κατηγοριών όλων των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Οι ομάδες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν για παράδειγμα δασικές περιοχές, υδάτινες μάζες, καλλιέργειες καθώς και άλλους τύπους κάλυψης γης, ανάλογα με το στόχο της εφαρμογής.

β) την απόδοση μιας ιδιότητας στα εικονοστοιχεία, τα οποία με αυτόν τον τρόπο ταξινομούνται με βάση την προαναφερόμενη κατηγοριοποίηση.

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας επηρεάζονται άμεσα από τη χωρική ανάλυση, τα φασματικά χαρακτηριστικά της χρήσης/κάλυψης γης που συναντώνται στην περιοχή μελέτης, τον αριθμό των μικτών εικονοστοιχείων και τη φασματική διακύμανση εντός της κλάσης ταξινόμησης (*Ioka & Masato 1986, Foody 2002, Dean & Smith 2003*).

Γενικά, όσο η χωρική ανάλυση γίνεται μικρότερη τόσο η αναλογία των μικτών εικονοστοιχείων που πέφτουν επάνω στα όρια των τύπων κάλυψης θα μειώνεται, ο αριθμός των καθαρών εικονοστοιχείων (pure pixels) θα είναι μεγαλύτερος με επακόλουθο την μείωση της φασματικής σύγχυσης, την σωστότερη κατανομή των εικονοστοιχείων στις κλάσεις και την αυξημένη ακρίβεια ταξινόμησης (*Foody 1996*). Ταυτόχρονα, όσο μικρότερη είναι η έκταση των γεωτεμαχίων ή της περιοχής που καλύπτει διαφορετικούς τύπους

κάλυψης και η περιοχή μελέτης είναι αρκετά ετερογενής (π.χ. συνεχής εναλλαγή βλάστησης και εδάφους), τόσο μεγαλύτερη θα είναι η επίδραση των μικτών εικονοστοιχείων στην ακρίβεια της ταξινόμησης (*Smith et al.* 2003). Όμως από την άλλη πλευρά, με τη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης αυξάνεται η φασματική διακύμανση που παρατηρείται μέσα σε μία κλάση ταξινόμησης, με φυσικό επακόλουθο την μείωση της φασματικής διάκρισης των κλάσεων και την μειωμένη ακρίβεια ταξινόμησης (*Shaban & Dikshit* 2001).

Ένα σύστημα ταξινόμησης της χρήσης/κάλυψης γης, το οποίο θεωρείται ότι χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τα δορυφορικά δεδομένα, θα πρέπει να επιτυγχάνει συνολική ακρίβεια που θα υπερβαίνει το 80-85%, θα πρέπει να μπορεί να εφαρμοστεί σε εκτεταμένες περιοχές και να είναι κατάλληλο προς χρήση σε διαφορετικές ημερομηνίες λήψης δορυφορικών δεδομένων (*Klemas* 2001).

4.2.5.1. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορεί να οριστεί ως η αναγνώριση και χαρτογράφηση φυσικών φασματικών ομάδων μέσα στα πολυφασματικά δεδομένα. Κατά την εκτέλεση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (isodata) δεν απαιτείται εκ των προτέρων καμία πληροφορία σχετικά με τους τύπους κάλυψης ή την κατανομή τους στην περιοχή μελέτης. Η μέθοδος αυτή ταξινομεί μία εικόνα σε ένα συγκεκριμένο αριθμό καθαρών (pure) φασματικών ομάδων (spectral clusters), με βάση τις προκαθορισμένες παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις στατιστικές ιδιότητες των ομάδων αυτών και τις σχέσεις μεταξύ των γειτονικών ομάδων (*Cihlar* 2000). Ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει εξαρχής τον αριθμό των φασματικών ομάδων και τον αλγόριθμο της ταξινόμησης. Η απόδοση της ιδιότητας ή της ταυτότητας στις φασματικές ομάδες γίνεται μετά τη διαδικασία ομαδοποίησης (clustering process), με βάση τις πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί από τις εργασίες υπαίθρου και τη συλλογή εδαφικών δειγμάτων ή από άλλους θεματικούς χάρτες. Στο στάδιο αυτό θα πρέπει να εκτιμηθεί η ανάγκη ενοποίησης ορισμένων φασματικών ομάδων που χαρακτηρίζουν ενδεχόμενα την ίδια κάλυψη/χρήση γης ή ο περαιτέρω διαχωρισμός μιας ομάδας σε υποομάδες (*Martinez-Casasnovas* 2000).

Κατά την εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην εικόνα του 1984, έγινε αντιληπτό ότι οι φασματικές ομάδες σπανίως αντιστοιχούν στους τύπους κάλυψης γης, ενώ η φασματική επικάλυψη και σύγχυση που παρατηρήθηκε σε αρκετούς επιμέρους τύπους (σε διαφορετικά είδη καλλιεργειών και γενικότερα τους τύπους βλάστησης), δεν έδωσαν τη δυνατότητα για μία ουσιαστική βοήθεια όσον αφορά τη διάκριση τους. Παρόλα αυτά βοήθησαν στην καλύτερη αντίληψη των προβλημάτων που πρόκειται να εμφανιστούν κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, σχετικά με τις φασματικές επικαλύψεις, και στο βέλτιστο σχεδιασμό των εργασιών υπαίθρου με σκοπό την συλλογή δεδομένων που θα αποτελέσουν μία ισχυρή βάση, επάνω στην οποία θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος ταξινόμησης. Η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης περιορίστηκε στην εικόνα του 1984, χωρίς να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω στις άλλες δύο εικόνες.

4.2.5.2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Επιβλεπόμενη ή ελεγχόμενη ταξινόμηση ορίζεται ως η διαδικασία που χρησιμοποιεί «δείγματα» γνωστής ταυτότητα, με σκοπό την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων, των οποίων δεν έχει προσδιοριστεί η ταυτότητα. Ουσιαστικά, χρησιμοποιείται η «εκ των προτέρων» γνώση (a priori knowledge) όλων των τύπων κάλυψης γης που πρόκειται να ταξινομηθούν στην περιοχή μελέτης, με σκοπό τον καθορισμό των φασματικών υπογραφών κάθε κλάσης ταξινόμησης. Τα δείγματα λαμβάνονται από περιοχές δειγματοληψίας που καθορίζει ο αναλυτής και συνήθως οριοθετούνται επί της εικόνας. Οι περιοχές αυτές αποτελούνται από ένα ή περισσότερα εικονοστοιχεία, θα πρέπει να έχουν γνωστή ταυτότητα και να εμπεριέχουν ένα και μοναδικό χαρακτηριστικό που αφορά την αντίστοιχη κλάση. Τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται μέσα σε αυτές τις περιοχές και χρησιμοποιούνται για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, είναι οι οδηγοί που θα χρησιμοποιηθούν από τον αλγόριθμο ταξινόμησης.

Οι φασματικές τιμές όλων των υπόλοιπων εικονοστοιχείων της εικόνας συγκρίνονται με τις τιμές των περιοχών δειγματοληψίας και καταχωρούνται στην πιο κοντινή κατηγορία. Έτσι, καθίσταται προφανές ότι η επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας είναι ουσιαστικά το κλειδί για την επιτυχία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Το βασικό πλεονέκτημα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης επικεντρώνεται στην υψηλή εξειδίκευση της διαδικασίας, η οποία οφείλεται στην επιλογή των περιοχών δειγματοληψίας, γεγονός που απλοποιεί την διαδικασία ταύτισης των φασματικών κλάσεων με τις κλάσεις πληροφόρησης, που ενδιαφέρουν τον χρήστη στον τελικό χάρτη.

Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, με την χρησιμοποίηση του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood classifier), έτσι ώστε να διερευνηθεί η χρησιμότητά του όσον αφορά την ταξινόμηση της χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τη διακρίνουν (μεγάλη έκταση, ετερογένεια χρήσης/κάλυψης γης, έντονη εναλλαγή μορφολογίας, μικρός και κατακερματισμένος αγροτικός κλήρος, κ.α.).

Ο ταξινομητής της μέγιστης πιθανοφάνειας αποτελεί την πιο συνήθη μέθοδο ταξινόμησης και έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον από πολλούς ερευνητές στην ανάλυση και επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων (Booth & Oldfield 1989, Cherrill et al. 1995, Salem et al. 1995, Lillesand & Kiefer 2000, Guerschman et al. 2003). Σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί ότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε ταξινομήσεις δορυφορικών δεδομένων που αφορούν την καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης (Gallup 1991, Su 2000).

Η μέθοδος βασίζεται στην προϋπόθεση που αναφέρει ότι, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ταξινομητή θα πρέπει να ακολουθούν μία πολυμεταβλητή κανονική κατανομή (multivariate normal distribution–Gaussian). Ο κανόνας απόφασης (decision rule) του ταξινομητή αποδίδει μία κλάση ταξινόμησης σε ένα εικονοστοιχείο με βάση την μικρότερη απόσταση Mahalanobis, μεταξύ της τιμής του εικονοστοιχείου και της μέσης τιμής της κλάσης. Η απόσταση αυτή αποτελεί ένα μέτρο της φασματικής ταύτισης του εικονοστοιχείου με την κλάση και αντιπροσωπεύει την πιθανότητα κατά την οποία ένα εικονοστοιχείο μπορεί να αποτελέσει μέλος μιας κλάσης. Με αυτή τη μέθοδο ένα εικονοστοιχείο, χρησιμοποιώντας την μέγιστη πιθανότητα, ταξινομείται στην αντίστοιχη κλάση (pixel-based classification). Ο αλγόριθμος ελέγχει το σχήμα, το μέγεθος

και τον προσανατολισμό των δειγματοληπτικών δεδομένων εκπαίδευσης και εφόσον η κανονική κατανομή στον χώρο (feature space) της κάθε κλάσης υφίσταται, τότε η ταξινόμηση θα έχει την ελάχιστη πιθανότητα σφάλματος και ο ταξινομητής θα αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή. Αρκετές φορές όμως η κανονική κατανομή των δεδομένων εκπαίδευσης του ταξινομητή δεν υφίσταται

Η μέθοδος αυτή δίνει πολύ καλά αποτελέσματα, όταν η κατανομή πληθυσμού των εικονοστοιχείων ακολουθεί την κανονική κατανομή (*Bolstad & Lillesand 1991*).

4.2.5.3. Εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Η εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην παρούσα διατριβή περιλάμβανε τα ακόλουθα στάδια: (α) τη συλλογή των δειγμάτων εδάφους (sampling) για την εκπαίδευση του ταξινομητή (training set), (β) την εκπαίδευση του ταξινομητή με την εισαγωγή των δεδομένων υπαίθρου στο πρόγραμμα, (γ) την εκτέλεση του ταξινομητή για την ταξινόμηση της εικόνας, (δ) την επεξεργασία των δεδομένων μετά την ταξινόμηση (post-classification) για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων, (ε) την συλλογή δειγμάτων εδάφους για την εκτίμηση της ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων της ταξινόμησης (ground truth) και (ζ) την εκτίμηση της ακρίβειας των θεματικών χαρτών χρήσης/κάλυψης γης με την εισαγωγή των δεδομένων υπαίθρου στο πρόγραμμα.

Η εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης στην εικόνα LANDSAT-5 TM περιλάμβανε τα ίδια ακριβώς στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την ταξινόμηση και των άλλων δύο εικόνων.

4.2.5.4. Καθορισμός των κλάσεων ταξινόμησης

Ένας από τους κύριους σκοπούς της διατριβής είναι η διερεύνηση της δυνατότητας των δορυφορικών δεδομένων Landsat να καταγράψουν την υφιστάμενη κάλυψη/χρήση γης και τις αλλαγές που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης. Για αυτό το λόγο, κατά τον σχεδιασμό της διαδικασίας της ταξινόμησης, έγινε μία προσπάθεια διάκρισης των σημαντικότερων τύπων χρήσης/κάλυψης γης, τόσο για τις καλλιέργειες (αροτραίες χειμερινές και θερινές, ελαιώνες και άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες), πέραν των άλλων τύπων κάλυψης (γυμνό έδαφος, θαμνώδεις-δασικές εκτάσεις, αστικές περιοχές, κ.α.), γεγονός το οποίο παρουσίαζε σημαντικό ενδιαφέρον για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις αλλαγές που έγιναν, και σε επίπεδο καλλιέργειας, μέσα στη περίοδο που μελετήθηκε (1984-2007). Παράλληλα, οι συγκεκριμένες καλλιέργειες παρουσιάζουν μεγάλη οικονομική σημασία για την περιοχή μελέτης και η ακριβής καταγραφή τους θεωρείται απαραίτητη για την ορθή διαχείριση της γεωργίας. Από την άλλη πλευρά, η καταγραφή της φυσικής βλάστησης που συναντάται στην περιοχή είναι επίσης απαραίτητη, για την αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων, την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και την λήψη των κατάλληλων μέτρων για την μείωση της πίεσης που ασκεί ο άνθρωπος προς το φυσικό τοπίο.

Οι κλάσεις αυτές καθορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν πλήρως όλους τους τύπους κάλυψης που συναντώνται στην περιοχή μελέτης. Ο αρχικός σχεδιασμός περιλάμβανε 23 κλάσεις ταξινόμησης και είχε ως σκοπό την λεπτομερή καταγραφή των υφιστάμενων τύπων κάλυψης της περιοχής και απεικονίζονται στον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10. Οι κύριες χρήσεις γης που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης.

α/α	Αριθμός Ταξινόμησης στην Γεωγραφική Βάση Πληροφοριών	Χρήση γης
1	10	Δάσος Κωνοφόρων
2	11	Δάσος Κωνοφόρων μικτό
3	12	Δάσος Φυλλοβόλων
4	13	Δάσος Φυλλοβόλων μικτό
5	14	Δάσος Αείφυλλων-Πλατύφυλλων
6	15	Δάσος Αείφυλλων-Πλατύφυλλων μικτό
7	20	Αστικό
8	21	Αστικό μικτό
9	30	Βοσκότοπος
10	31	Βοσκότοπος μικτό
11	40	Αροτραίες καλλιέργειες θερινές
12	41	Αροτραίες καλλιέργειες θερινές μικτό
13	44	Αροτραίες καλλιέργειες χειμερινές, γυμνά εδάφη και αγρανάπαυση
14	50	Δενδρώδεις καλλιέργειες
15	51	Δενδρώδεις καλλιέργειες μικτό
16	60	Ελαιώνες
17	61	Ελαιώνες μικτό
18	70	Αμπελώνες
19	71	Αμπελώνες μικτό
20	90	Κτίρια, κατασκευές, βιομηχανίες, εκσκαφές, λατομεία, χέρσες εκτάσεις, θερμοκήπια κλπ.
21	91	Δρόμοι-Νερά
22	98	Παράκτια ζώνη
23	00	Καμένες εκτάσεις

Αρχικά, όπως αναφέρθηκε, από την φωτοερμηνεία των αεροφωτογραφιών και τις υπαίθριες παρατηρήσεις καταγράφηκαν οι κύριες χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης. Ο διαχωρισμός των μικτών από τα καθαρά πολύγωνα χρήσης γης πραγματοποιήθηκε λόγω του πολυτεμαχισμού που παρουσιάζει ο αγροτικός κλήρος στον Ελλαδικό χώρο και της πολυπλοκότητας και έντονης ανάμειξης που παρουσιάζει γενικότερα στην περιοχή η χρήση/κάλυψη γης. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον εξαιρετικά δύσκολο διαχωρισμό τους στις εικόνες του δορυφόρου Landsat.

Έτσι πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των πολυγωνικών ενοτήτων ως εξής:

α) Σε εκείνες που περιλαμβάνουν μία «καθαρή» χρήση γης με ποσοστό μεγαλύτερο του 80% του συνόλου της έκτασής τους και

β) Σε εκείνες που χαρακτηρίζονται ως «μικτές» και περιλαμβάνουν μία κύρια χρήση γης που καταλαμβάνει ποσοστό έως 80% του συνόλου της έκτασης κάθε πολυγώνου ενώ το υπόλοιπο ποσοστό καταλαμβάνεται από διαφορετικές χρήσεις γης που είναι δύσκολο να διαχωριστούν.

Τα κριτήρια διαχωρισμού που χρησιμοποιήθηκαν για τις 23 κατηγορίες χρήσης/κάλυψης γης ήταν τα ακόλουθα:

Δάση και ημι-φυσικές περιοχές

Δάσος κωνοφόρων (κωδικός 10): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με δασική κάλυψη κωνοφόρων (Έλατα, πεύκα κλπ).

Δάσος μικτό κωνοφόρων (κωδικός 11): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με δασική κάλυψη κωνοφόρων, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης (κυρίως θαμνώδης κάλυψη) που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Δάσος φυλλοβόλων (κωδικός 12): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με δασική κάλυψη φυλλοβόλων (δρυς, οξιές, πλατάνια κλπ.)

Δάσος μικτό φυλλοβόλων (κωδικός 13): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με δασική κάλυψη φυλλοβόλων, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης (κυρίως θαμνώδης κάλυψη) που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Δάσος αείφυλλων-πλατύφυλλων (κωδικός 14): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με θαμνώδη κυρίως βλάστηση αείφυλλων –πλατύφυλλων, που θεωρούνται ως δασικές περιοχές. Αυτές θαμνώδεις εκτάσεις αφορούν σκληροφυλλική βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη που κυριαρχείται από θάμνους, χαμόδεντρα και ποώδη φυτά (χερσότοποι, ρείκια, αμμόχορτα, λιμπούρνο κ.α.).

Δάσος μικτό αείφυλλων-πλατύφυλλων (κωδικός 15): περιλαμβάνει τις εκτάσεις με θαμνώδη κάλυψη αείφυλλων-πλατύφυλλων, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Βοσκότοπος (θάμνοι-λιβάδια) (κωδικός 30): περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση χλόης ανθοκομικής σύνθεσης, αγρωστώδη και λιβάδια.

Βοσκότοπος μικτό (κωδικός 31): περιοχές που καλύπτονται από αραιά βλάστηση χλόης ανθοκομικής σύνθεσης, αγρωστώδη και λιβάδια, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Γεωργικό Περιβάλλον

Αροτραίες καλλιέργειες θερινές (κωδικός 40): περιλαμβάνει περιοχές που καλλιεργούνται με θερινές καλλιέργειες κτηνοτροφικών φυτών, βαμβακιού, αραβόσιτου, κηπευτικών κλπ, και γενικότερα όλων των αγροτεμαχίων αυτού του είδους που παρουσιάζουν ανάπτυξη βλάστησης στις εικόνες του Landsat, μιας και είναι καλοκαιρινές.

Αροτραίες καλλιέργειες θερινές μικτό (κωδικός 41): περιλαμβάνει τις ίδιες καλλιέργειες με την προηγούμενη κατηγορία, αλλά ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Αροτραίες καλλιέργειες χειμερινές, γυμνά εδάφη, αγρανάπαυση (κωδικός 44): γενικά περιλαμβάνει όλα τα εδάφη που δεν έχουν βλάστηση κατά την θερινή περίοδο και είναι καλλιέργειες.

Ελαιώνες (κωδικός 60): καλλιεργούμενες εκτάσεις με ελαιόδεντρα

Ελαιώνες μικτό (κωδικός 61): καλλιεργούμενες εκτάσεις με ελαιόδεντρα, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Δενδρώδεις καλλιέργειες (κωδικός 50): καλλιεργούμενες εκτάσεις με οπωροφόρα δέντρα, ακρόδρυα κ.α. όπως κερασιές, ροδακινιές, φιστικιές, ακτινίδια κ.α.

Δενδρώδεις καλλιέργειες μικτό (κωδικός 51): καλλιεργούμενες εκτάσεις με οπωροφόρα δέντρα, ακρόδρυα κ.α. όπως κερασιές, ροδακινιές, φιστικιές, ακτινίδια κ.α., ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Αμπελώνες (κωδικός 70): περιοχές που καλύπτονται από αμπέλια. Καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση στην περιοχή μελέτης, σχεδόν αμελητέα.

Αμπελώνες μικτό (κωδικός 71): περιοχές καλυμμένες από αμπέλια, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό (έως 25%) και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Τεχνητές επιφάνειες-Νερά-Άλλες εκτάσεις

Αστικό (κωδικός 20): περιλαμβάνει την συνεχή αστική οικοδόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από σπίτια. Τα σπίτια, οι οδικές αρτηρίες και οι τεχνητά καλυπτόμενες επιφάνειες καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το έδαφος. Μη γραμμικές εκτάσεις βλάστησης και ακάλυπτα εδάφη είναι σπάνια.

Αστικό μικτό (κωδικός 21): περιγράφει διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από κτίρια που συνυπάρχουν με περιοχές βλάστησης και ακάλυπτα εδάφη, που καλύπτουν εκτάσεις έως 25%.

Κτίρια, Κατασκευές, Εκσκαφές κλπ. (κωδικός 90): περιλαμβάνουν όλες τις τεχνητές επιφάνειες, βιομηχανικές περιοχές, κατασκευαστικά έργα και γενικότερα τεχνητά καλυπτόμενες εκτάσεις με σκυρόδεμα, άσφαλο ή σταθεροποιημένο, πεπαισμένο χώμα κ.α., χωρίς βλάστηση ή κατασκευές όπως οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, ζώνες λιμένων, αεροδρόμια, φράγματα, ορυχεία, θερμοκήπια, καθώς και αχαρακτήριστες χρήσεις γης, οι οποίες εάν δεν αποκατασταθούν, δύσκολα μπορούν να αλλάξουν χρήση.

Δρόμοι-Νερά (κωδικός 91): περιλαμβάνει τους δρόμους με πλάτος μεγαλύτερο το 4-5 m, τα ποτάμια με πλάτος επίσης μεγαλύτερο των 4-5 m, τα στραγγιστικά και αρδευτικά κ.α.

Παράκτιες περιοχές (κωδικός 98): περιλαμβάνει παράκτιες ζώνες, δηλαδή περιοχές που δεν είναι δασώσεις και είναι διαποτισμένες προσωρινά ή μόνιμα από υφάλμυρο ή αλμυρό νερό, όπως βάλτοι, έλη, αμμουδιές, αλυκές κ.α.

Καμένες περιοχές (κωδικός 00): περιλαμβάνει τις περιοχές που έχουν καεί και απεικονίζονται στις δορυφορικές εικόνες ως καμένη γη.

4.2.2.5. Συλλογή δειγμάτων εδάφους

Οι εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν για 3 κυρίως λόγους: (α) για την εκπαίδευση του ταξινομητή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση της εικόνας (training set), (β) για την επαλήθευση των τελικών αποτελεσμάτων που αφορούν την κάλυψη/χρήση γης και τις πιθανές αλλαγές (ground truth) και (γ) για την απόκτηση πληροφοριών οι οποίες δεν μπορούν να εξαχθούν από τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης.

Τα δεδομένα υπαίθρου επιλέχθηκαν συστηματικά από όλη την περιοχή μελέτης έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά και χωρικά διεσπαρμένα, και να περικλείουν όλες εκείνες τις φασματικές διακυμάνσεις και τις μεταβολές που παρατηρούνται και οι οποίες αποδίδονται σε εξωτερικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Από την άλλη πλευρά, τα φασματικά χαρακτηριστικά κάθε θέσης δειγματοληψίας δεν είναι σταθερά, όσον αφορά την ίδια κλάση ταξινόμησης,

αλλά ποικίλουν με βάση την ομοιογένεια της θέσης, τον τύπο βλάστησης και το ποσοστό κάλυψης.

Ανάλυση των εργασιών υπαίθρου – Θέσεις δειγματοληψίας

Η ταξινόμηση των δύο πιο πρόσφατων εικόνων του Landsat TM και ETM+, του 2007 και 1999 αντίστοιχα προηγήθηκε, λόγω της πληθώρας δεδομένων υπαίθρου που συλλέχτηκαν και επομένως υπήρχε μία καλύτερη αντίληψη της πραγματικότητας.

Πριν όμως, την έναρξη της συλλογής των δεδομένων υπαίθρου, έγινε μία αναλυτική καταγραφή των υφιστάμενων καλλιεργειών και των άλλων τύπων κάλυψης (π.χ. είδη φυσικής βλάστησης, δομημένες περιοχές, κ.α.) που συναντώνται στην περιοχή μελέτης, έτσι ώστε να καθοριστεί με μεγάλη προσοχή ο αριθμός και οι ιδιότητες των κλάσεων ταξινόμησης. Πραγματοποιήθηκε δηλαδή, ένας ορθολογικός σχεδιασμός των εργασιών υπαίθρου, της συλλογής των δειγμάτων και της μετέπειτα διαδικασίας ταξινόμησης, δεδομένου ότι υπάρχει μία αλληλεξάρτηση ανάμεσα στον αριθμό των κλάσεων και του όγκου των δεδομένων υπαίθρου.

Ταυτόχρονα, έγινε μία λεπτομερής μελέτη των εικόνων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την μορφολογία της περιοχής (σε συνδυασμό με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών) και τον καθορισμό των θέσεων δειγματοληψίας.

Το μεγαλύτερο μέρος δειγμάτων που ελήφθησαν αφορούσε γεωργικές εκτάσεις, με ποικιλία καλλιεργειών και, όπου ήταν εφικτό, αγροτεμάχια μεγάλου μεγέθους για την εξαγωγή «καθαρών» φασματικών υπογραφών. Τα βασικότερα προβλήματα που υπήρξαν κατά την διάρκεια της διαδικασίας συλλογής των δειγμάτων ήταν: (α) ο πολυτεμαχισμός και η μικρή μέση στρεμματική έκταση των αγροτεμαχίων, σε σχέση με την χωρική ανάλυση της εικόνας Landsat (15 m για την εικόνα του Landsat 7 ETM+ και 26 m για τις εικόνες του Landsat 5 TM), και η έντονη εναλλαγή των καλλιεργειών μεταξύ τους καθώς και άλλων τύπων κάλυψης και (β) η φασματική διακύμανση εντός του αγροτεμαχίου-γεωτεμαχίου. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων-γεωτεμαχίων, όπως η πυκνότητα φύτευσης των φυτών, θάμνων ή δένδρων, το ύψος, η φυλλική επιφάνεια κ.α. Έγινε μεγάλη προσπάθεια να συλλεχτούν δείγματα εδάφους από ομοιογενείς περιοχές, μεγάλης έκτασης και ομοιόμορφης κάλυψης, έτσι ώστε οι θέσεις δειγματοληψίας να αντιστοιχούν όσο το δυνατόν σε καθαρά εικονοστοιχεία (pure pixels) επί της δορυφορικής εικόνας. Στις περιπτώσεις όπου τα δείγματα εδάφους κρίθηκαν μη αξιόπιστα εξαιρέθηκαν από την χρησιμοποίησή τους κατά τη διαδικασία ταξινόμησης.

Το 80%, περίπου, των δεδομένων υπαίθρου συλλέχτηκαν πριν από την ταξινόμηση της εικόνας και ένα μέρος αυτών χρησιμοποιήθηκε στην εκπαίδευση του ταξινομητή, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύτηκε για την μελλοντική του χρήση κατά την εκτίμηση της ακρίβειας. Το υπόλοιπο 20% συλλέχτηκε μετά την ταξινόμηση για να καλυφθούν κάποια κενά, να εξαλειφθούν οι οποιοσδήποτε αμφιβολίες, να υποστηριχτεί με τον καλύτερο τρόπο η εκτίμηση της ακρίβειας των παραγόμενων θεματικών χαρτών της χρήσης/κάλυψης γης και να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων. Τέλος, ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες (μέγεθος εικονοστοιχείου: 1 m, έτος λήψης 1997) χρησιμοποιήθηκαν ως

συμπληρωματικά δεδομένα, κυρίως, για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας.

Όσον αφορά την παλαιότερη εικόνα Landsat 5 TM του 1984, η συλλογή των δεδομένων στην ύπαιθρο ήταν αδύνατη εκ των πραγμάτων και οι πληροφορίες, τόσο για την εκπαίδευση του ταξινομητή όσο και για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, συλλέχτηκαν σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις αεροφωτογραφίες (Α/Φ), κλίμακας 1:40.000, με έτος λήψης το 1986. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν με μεγάλη προσοχή δεδομένα υπαίθρου από την υφιστάμενη πραγματικότητα του 1999, τα οποία ταυτίζονταν με την κατάσταση του 1986, σε περιοχές όπου δεν υπήρχε κάποια σημαντική αλλαγή στην κάλυψη/χρήση γης.

4.2.5.6. Εκπαίδευση ταξινομητή

Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα εδάφους με σκοπό την «εκπαίδευση» του ταξινομητή (training), δηλαδή τον καθορισμό ενός περιορισμένου αριθμού εικονοστοιχείων (training set) με συγκεκριμένες φασματικές τιμές για κάθε κλάση ταξινόμησης, την οποία αντιπροσωπεύουν και προσδιορίζουν. Ουσιαστικά, τα εικονοστοιχεία αυτά αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα κάθε κλάσης, βάση του οποίου θα γίνει στη συνέχεια η ταξινόμηση και θα κατανεμηθούν ανάλογα όλα τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της δορυφορικής εικόνας.

Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων εδάφους ανά κλάση ποικίλει για κάθε ερευνητή, τόσο για την εκπαίδευση του ταξινομητή όσο και για την εκτίμηση της ακρίβειας, με τον αριθμό αυτό να κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 150 (*Martinez-Casasnovas 2000, Liu et al. 2002, Maingi & Marsh 2001*)

Γενικότερα, ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας, για την εκπαίδευση του ταξινομητή και για την επαλήθευση των δεδομένων ταξινόμησης, θα πρέπει να κυμαίνεται ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνουν οι κλάσεις στην περιοχή μελέτης, δηλ. όσο μεγαλύτερη η έκταση τόσο περισσότερα τα δείγματα.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης του ταξινομητή, παρατηρήθηκαν σημαντικά προβλήματα φασματικής σύγχυσης ορισμένων από τις 23 κλάσεις ταξινόμησης, που δημιουργήθηκαν αρχικά.

Ως εκ τούτου, κρίθηκε απαραίτητη η ενοποίηση σε όλες τις δενδρώδεις καλλιέργειες, πλην των ελαιώνων, σε μία κλάση. Επίσης, η κατά τόπους φασματική σύγχυση της πεύκης με την πυκνή θαμνώδη βλάστηση μεγάλου ύψους, συναντάται κυρίως σε περιοχές όπου η πυκνότητα του δάσους της πεύκης μειώνεται ή σε πλαγιές οι οποίες είναι σκιασμένες και η φασματική απόκριση αλλοιώνεται. Φασματική σύγχυση παρουσιάστηκε κατά τόπους και μεταξύ των ελαιώνων και της αραιής θαμνώδους βλάστησης. Για την εικόνα του 1984, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των ΑΦ με σκοπό την «εκπαίδευση» του ταξινομητή (training).

4.2.5.7. Εφαρμογή αλγόριθμου μέγιστης πιθανοφάνειας

Αφού ολοκληρώθηκε η εκπαίδευση του ταξινομητή, έγινε η εφαρμογή του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classifier) για τη δημιουργία του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης, αρχικά στην εικόνα του 2007, έπειτα στην εικόνα του 1999 και

τέλος στην εικόνα του 1984 (ERDAS 2002). Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου και αφορούν τη διάκριση των τύπων κάλυψης, που είχαν καθοριστεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό της διαδικασίας της ταξινόμησης, είναι τα ακόλουθα: (οι αποχρώσεις που αναφέρονται στην συνέχεια απεικονίζονται στην ψευδέγχρωμη εικόνα των δορυφόρων Landsat 4,3,2 σαν RGB).

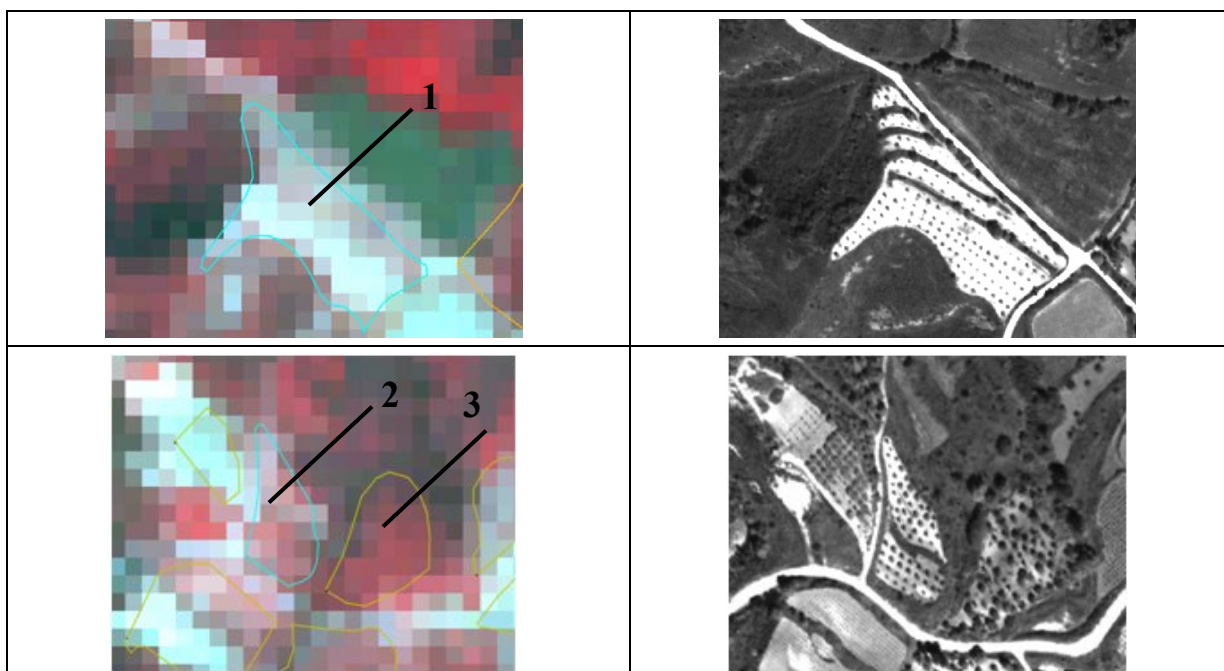
Γεωργικές καλλιέργειες

Γενικά, το γεωργικό περιβάλλον παρουσιάζει μεγαλύτερη φασματική ετερογένεια σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό προκαλεί πολλά προβλήματα κατά τη διάκριση των τύπων κάλυψης γης, δεδομένου ότι το ίδιο είδος καλλιέργειας μπορεί να καταγράφεται σε μία δορυφορική εικόνα με διαφορετικές φασματικές υπογραφές, καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος φασματικών τιμών. Άλλωστε, η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει έντονες εναλλαγές του αναγλύφου και αρκετές πεδινές εκτάσεις, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετικά φασματικά και χωρικά χαρακτηριστικά, όσον αφορά τα είδη των καλλιεργειών που φέρουν και των πρακτικών που εφαρμόζονται. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη φασματική διακύμανση που παρουσιάζουν οι ίδιες καλλιέργειες σε διαφορετικές περιοχές.

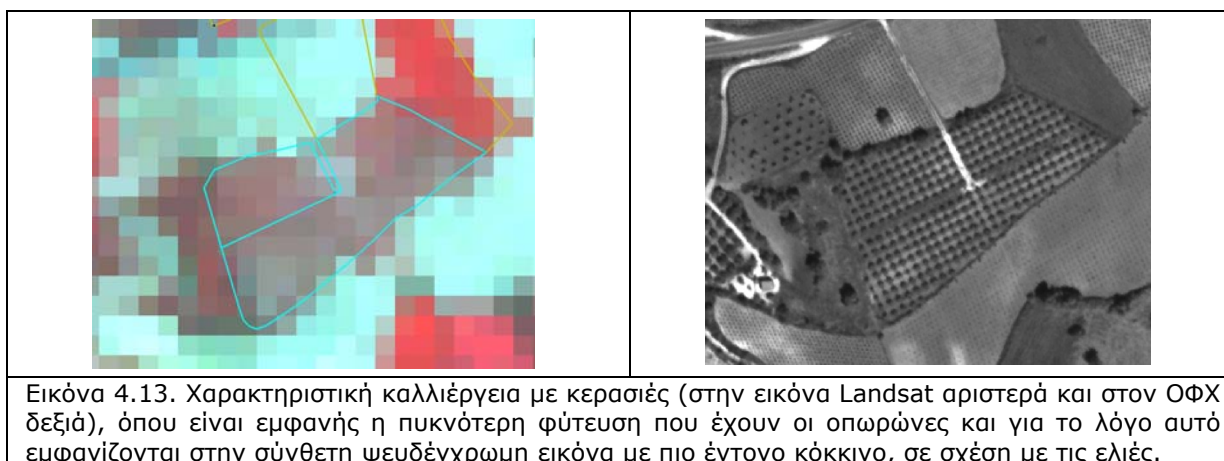
Όσον αφορά τις δενδρώδεις καλλιέργειες, η φασματική απόκρισή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία του δενδρώνα, την ανάπτυξη της κώμης (καλλιεργητικές πρακτικές, τρόπος μόρφωσης, κλάδεμα), την απόσταση φύτευσης και κατ'έπекταση την κάλυψη του εδάφους από την κώμη των δένδρων, το είδος του εδάφους, και το ποσοστό συνεισφοράς του εδάφους στην ανακλώμενη ακτινοβολία που καταγράφει ο δορυφόρος. Όσο πιο αραιή είναι η φύτευση του δενδρώνα τόσο πιο μεγάλη θα είναι η συμμετοχή του εδάφους, στη φασματική υπογραφή που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρείας φασματικής διακύμανσης αποτελούν οι ελαιώνες, οι οποίοι παρουσιάζουν μία ποικιλία όσον αφορά τις καλλιεργητικές πρακτικές (ξηρική ή ποτιστική καλλιέργεια), την απόσταση φύτευσης, το είδος του εδάφους και την κλίση του αγροτεμαχίου. Οι αυξημένες τιμές στα 3 κανάλια του ορατού και στο κανάλι 5 οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στο ακάλυπτο έδαφος το οποίο συνεισφέρει σημαντικά στην φασματική υπογραφή, δεδομένου ότι πολλοί ελαιώνες δεν παρουσιάζουν πυκνή φύτευση. Η φασματική σύγχυση που δημιουργήθηκε ανάμεσα στους ελαιώνες, την αραιή θαμνώδη βλάστηση-βοσκότοποι και τις περιστασικές περιοχές, αποτέλεσε ένα σημαντικό πρόβλημα κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου (Εικόνα 4.12). Οι άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες (ροδακινιές, κερασιές, φιστικιές κ.α.) καλλιεργούνται σχεδόν εξολοκλήρου σε πεδινές εκτάσεις και επομένως δεν υφίστανται την επίδραση της τοπογραφίας. Παρόλα αυτά, η απόσταση φύτευσης, το είδος του εδάφους, η συγκαλλιέργεια και η ηλικία του δενδρώνα, αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την φασματική απόκριση και πολλές φορές δημιουργούν σύγχυση με τους ελαιώνες, ιδιαίτερα όταν αυτοί βρίσκονται σε πυκνότερη φύτευση (Εικόνα 4.13).

Οι αρόσιμες καλλιέργειες τοποθετούνται κυρίως στην πεδινή περιοχή. Η φασματική απόκρισή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της καλλιέργειας, τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται (άρδευση, κ.α.), την απόσταση φύτευσης (συνήθως η φύτευση είναι πολύ πυκνή και καλύπτει εξολοκλήρου το έδαφος), το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας κατά την περίοδο λήψης της εικόνας (φαινολογικό στάδιο). Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι εικόνες του δορυφόρου Landsat, είχαν όλες ημερομηνία λήψης 26-28 Ιουλίου.

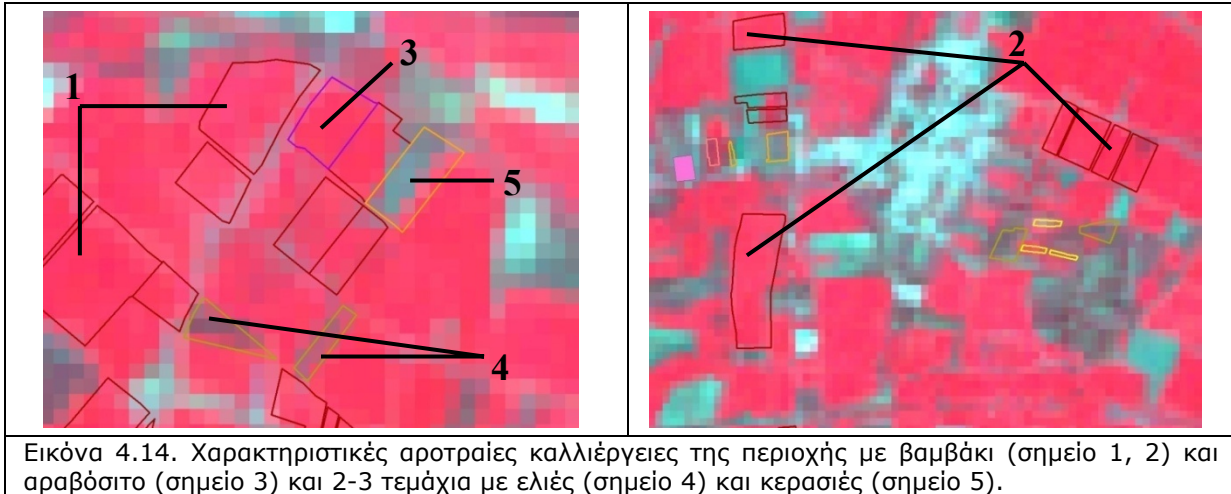
Αποτέλεσμα αυτής της χρονικής ομοιογένειας ήταν ότι, οι περισσότερες αροτράιες καλλιέργειες, είτε είχαν βλάστηση, οπότε ήταν θερινές αροτράιες καλλιέργειες (βαμβάκι, αραβόσιτος κλπ.), είτε δεν είχαν οπότε επρόκειτο για χειμερινές αροτράιες καλλιέργειες, κυρίως σιτηρών ή αγρανάπαυση (Εικόνα 4.14). Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι τα αγροτεμάχια με αραβόσιτο, λόγω της πυκνότερης φύτευσης και της πιο γρήγορης ανάπτυξής τους, εμφανίζονται συνήθως στις εικόνες με πιο έντονο κόκκινο χρώμα από την καλλιέργεια του βαμβακιού.



Εικόνα 4.12. Ελαιώνες με διαφορετική ανάπτυξη και πυκνότητα δένδρων, καθώς και διαφορετική καλλιεργητική φροντίδα, σε εικόνα του Landsat αριστερά και ΟΦΧ δεξιά. Στο επάνω ελαιοτεμάχιο (σημείο 1) είναι εμφανές ότι τα ελαιόδεντρα είναι μικρά και αραιά και για αυτό υπάρχει συνεισφορά στην ανάκλαση από το γυμνό έδαφος και συνεπώς πολύ ανοιχτό κόκκινο χρώμα. Στα δύο κάτω ελαιοτεμάχια, στο μεν αριστερά (σημείο 2) η φύτευση είναι ελαφρώς πυκνότερη και για αυτό εμφανίζεται λίγο πιο κόκκινο, ενώ το δεξιά (σημείο 3) εμφανίζεται ακόμα πιο κόκκινο, διότι έχει ακόμα πιο μεγάλα και πυκνά δέντρα και το έδαφος δεν έχει καθαριστεί από την βλάστηση.



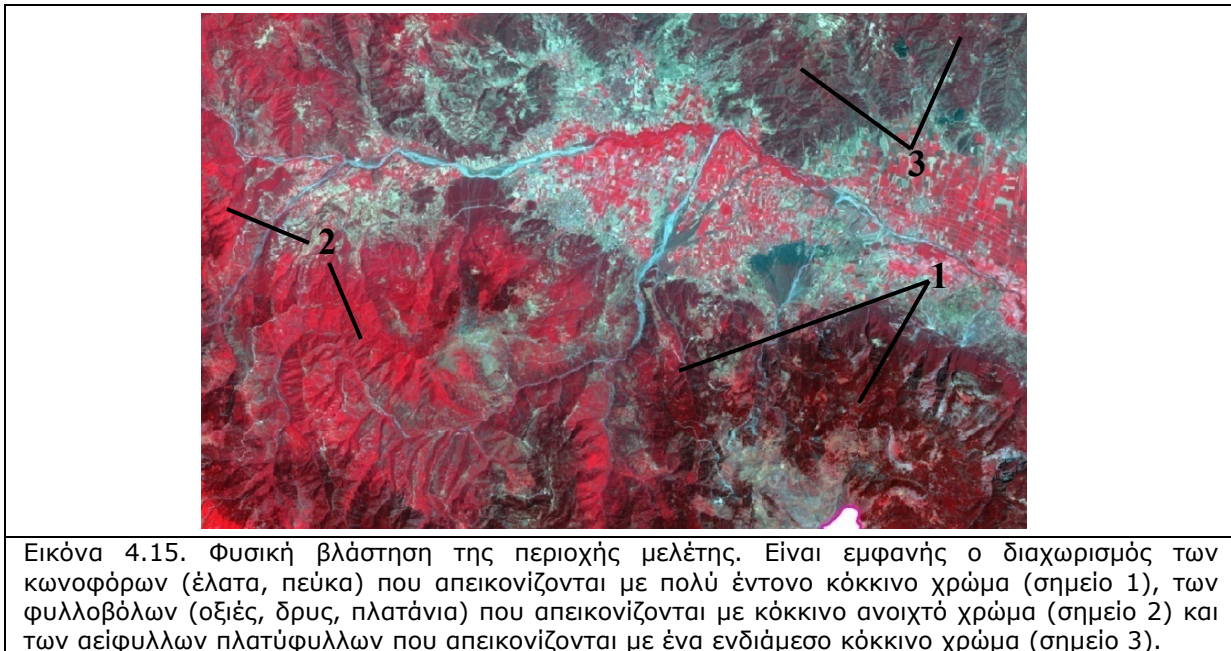
Εικόνα 4.13. Χαρακτηριστική καλλιέργεια με κερασιές (στην εικόνα Landsat αριστερά και στον ΟΦΧ δεξιά), όπου είναι εμφανής η πυκνότερη φύτευση που έχουν οι οπωρώνες και για το λόγο αυτό εμφανίζονται στην σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα με πιο έντονο κόκκινο, σε σχέση με τις ελιές.



Εικόνα 4.14. Χαρακτηριστικές αροτραίες καλλιέργειες της περιοχής με βαμβάκι (σημείο 1, 2) και αραβόσιτο (σημείο 3) και 2-3 τεμάχια με ελιές (σημείο 4) και κερασιές (σημείο 5).

Φυσική βλάστηση

Γενικά, η φυσική βλάστηση χωρίστηκε σε τέσσερα τμήματα. Το πρώτο είναι στη βόρεια-βορειοανατολική πλευρά της περιοχής όπου επικρατούν τα αείφυλλα-πλατύφυλλα και τα οποία χαρακτηρίζονται από μία σκούρα απόχρωση του κόκκινου, ενώ σε πολλά τμήματα όπου βρίσκονται σε αραιή διάταξη, υπάρχουν ενδιάμεσα αρκετές περιοχές με γυμνά εδάφη τα οποία απεικονίζονται με πράσινο χρώμα. Στη νότια και νοτιοδυτική περιοχή, κυριαρχούν τα κωνοφόρα και τα φυλλοβόλα. Τα κωνοφόρα (πεύκα) βρίσκονται κυρίως νοτιοανατολικά και στις περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο των 700 m (έλατα) και τα οποία εμφανίζονται με ένα πολύ σκούρο κόκκινο χρώμα (πολύ πιο σκούρο από τα αείφυλλα-πλατύφυλλα). Τα φυλλοβόλα βρίσκονται κυρίως στα νοτιοδυτικά και δυτικά και στα χαμηλότερα υψόμετρα και χαρακτηρίζονται από ένα ανοιχτό κόκκινο χρώμα (Εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.15. Φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης. Είναι εμφανής ο διαχωρισμός των κωνοφόρων (έλατα, πεύκα) που απεικονίζονται με πολύ έντονο κόκκινο χρώμα (σημείο 1), των φυλλοβόλων (οξιές, δρυς, πλατάνια) που απεικονίζονται με κόκκινο ανοιχτό χρώμα (σημείο 2) και των αείφυλλων πλατύφυλλων που απεικονίζονται με ένα ενδιάμεσο κόκκινο χρώμα (σημείο 3).

Αστικές-Δομημένες περιοχές

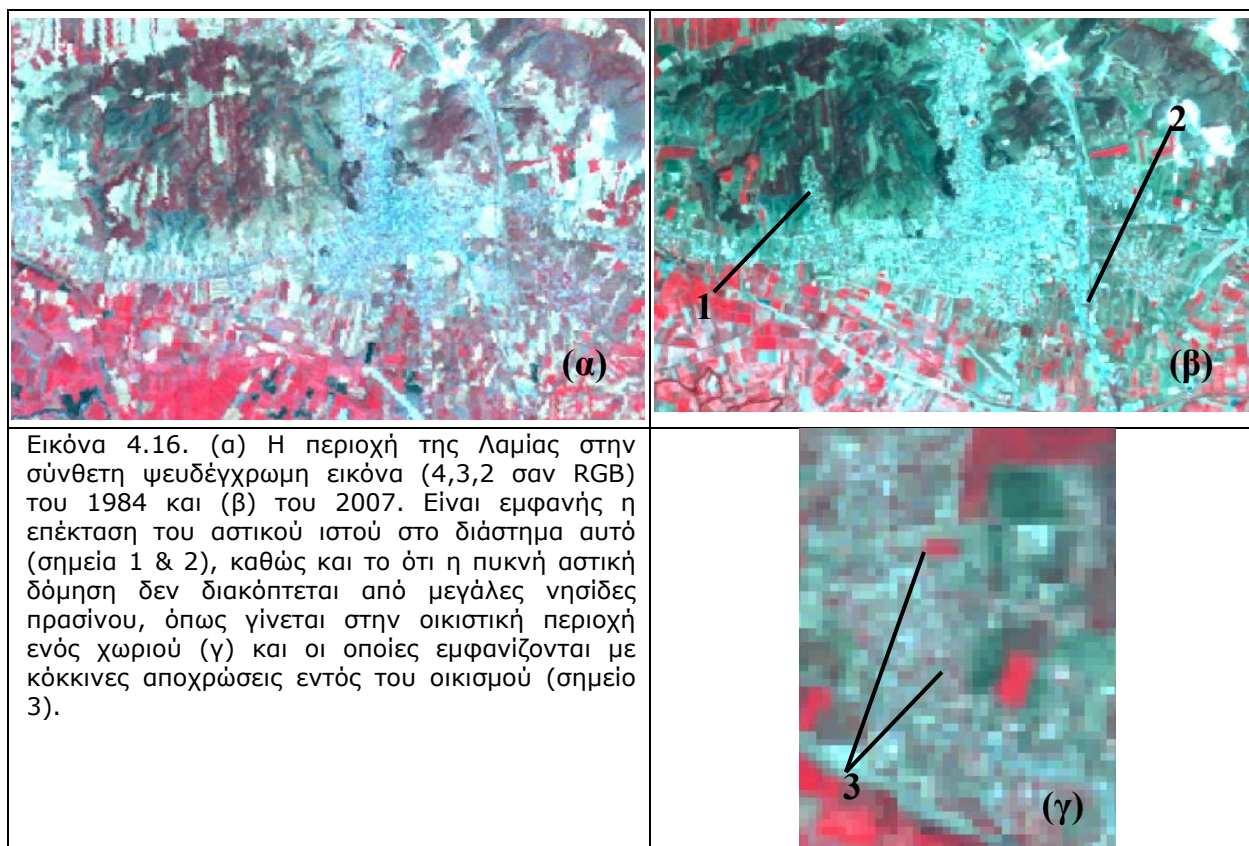
Οι αστικές περιοχές αποτελούν μικτές κλάσεις με πολύπλοκες φασματικές αποκρίσεις και μεγάλη ετερογένεια, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά που τις καθορίζουν, την κλίμακα παρατήρησης και τη χωρική ανάλυση της εικόνας. Συγκεκριμένα, αποτελούν μία μίξη διαφορετικών επιφανειακών χαρακτηριστικών, όπως κτίρια, δρόμοι, πάρκα, δένδρα, κ.α., τα οποία αναδεικνύονται περισσότερο όταν η κλίμακα παρατήρησης είναι μεγάλη και η χωρική ανάλυση είναι υψηλή, εντείνοντας έτσι τη φασματική σύγχυση κατά την ταξινόμηση της εικόνας, αφού η περιοχή θα περιλαμβάνει αρκετά μικτά εικονοστοιχεία. Σε μικρότερες κλίμακες, η συνολική εικόνα θα ήταν λιγότερο μικτή, με μικρότερη τοπική διακύμανση (local variance) και εξομάλυνση των φασματικών αποκρίσεων και συνεπώς περισσότερο ομοιογενής (σχετικά μεγέθη). Ταυτόχρονα, δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα στις περιαστικές περιοχές, όπου η μικτή κάλυψη γης, η οποία συνήθως περιλαμβάνει τις ζώνες μετάβασης από το αστικό, τμήμα προς το αγροτικό, δυσχεραίνει τη διάκριση της χρήσης/κάλυψης γης.

Σε γενικές γραμμές, οι αποχρώσεις που συναντώνται στην περιοχή μελέτης ποικίλουν σε γκρίζο – κυανό – λευκό αποχρώσεις του ερυθρού και του πράσινου (Εικόνα 7.69). Οι κυανές αποχρώσεις καλύπτουν σημαντικό μέρος των αστικών περιοχών και αποτελούν μία διακριτή φασματική υπογραφή της συγκεκριμένης κλάσης. Δημιουργούνται από τον συνδυασμό της μέτριας υψηλής ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο, της υψηλής ανάκλασης στο ερυθρό και της υψηλής-πολύ υψηλής στο πράσινο τμήμα του ορατού. Οι υψηλές φασματικές τιμές που παρατηρούνται στις δομημένες περιοχές είναι κάτι το σύνηθες, λόγω της έντονης ανάκλασης της ακτινοβολίας από τις ταράτσες, τις στέγες και τις άλλες τσιμεντένιες επιφάνειες.

Οι πολύ φωτεινές, λευκές αποχρώσεις συναντώνται κατά τόπους στις δομημένες περιοχές και οφείλονται στην πολύ ισχυρή ανάκλαση της ακτινοβολίας από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά (προσεγγίζουν την υψηλότερη φασματική τιμή του 255). Οι λευκές μονωμένες ταράτσες και στέγες, τα χωμάτινα γήπεδα, οι νέες διανοίξεις δρόμων, τα νεκροταφεία και σε ορισμένες περιπτώσεις οι γυμνές τσιμεντένιες επιφάνειες μπορούν να δώσουν πολύ φωτεινές αποχρώσεις. Τέλος, οι αποχρώσεις του ερυθρού και του πράσινου που παρατηρούνται, κυρίως, μέσα στις μικρές πόλεις και λιγότερο στις μεγάλες (Λαμία), οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη μικρών αλσυλλίων (συστάδες δένδρων) και των μη δομημένων οικοπέδων (γυμνά εδάφη), αντίστοιχα (Εικόνα 4.16).

Καμένες εκτάσεις

Η κλάση των καμένων εκτάσεων αναδεικνύει μία εντελώς διακριτή φασματική υπογραφή και αποτελεί μία από τις λίγες κλάσεις (μαζί με τις υδάτινες μάζες), που παρουσιάζουν την ελάχιστη φασματική σύγχυση. Ουσιαστικά, οι καμένες εκτάσεις απορροφούν σε μεγάλο βαθμό την ακτινοβολία όλων των φασματικών ζωνών και δίνουν τις σκοτεινές-μαύρες αποχρώσεις (Εικόνα 4.17β).



Εικόνα 4.16. (α) Η περιοχή της Λαμίας στην σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα (4,3,2 σαν RGB) του 1984 και (β) του 2007. Είναι εμφανής η επέκταση του αστικού ιστού στο διάστημα αυτό (σημεία 1 & 2), καθώς και το ότι η πυκνή αστική δόμηση δεν διακόπτεται από μεγάλες νησίδες πρασίνου, όπως γίνεται στην οικιστική περιοχή ενός χωριού (γ) και οι οποίες εμφανίζονται με κόκκινες αποχρώσεις εντός του οικισμού (σημείο 3).

Δρόμοι-Νερά

Η κλάση των νερών (ποτάμια), αν και χρησιμοποιήθηκαν δείγματα εδάφους για την εκπαίδευση του ταξινομητή, δεν έδωσαν τόσο καλά αποτελέσματα, εκτός από ορισμένα σημεία του Σπερχειού, όπου δεν καλύπτονται από βλάστηση. Επίσης, σε πολλά σημεία επειδή υπάρχουν γειτνιάζοντες δρόμοι ή αρδευτικά-στραγγιστικά υπάρχει μεγάλη δυσκολία στο διαχωρισμό τους. Για το λόγω αυτό ενσωματώθηκαν όλα σε μία κατηγορία χρήσης/κάλυψης γης (Εικόνα 4.17α).

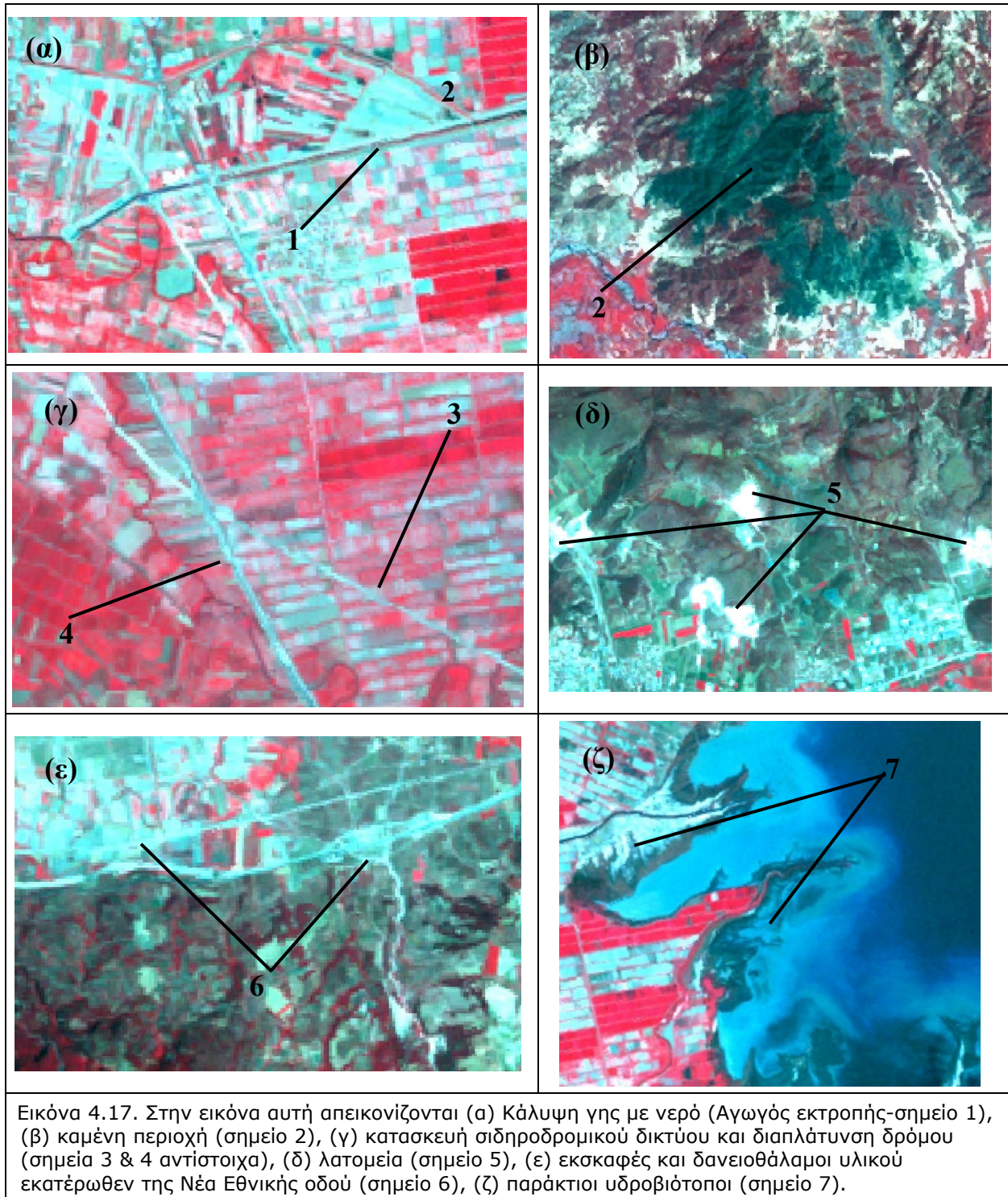
Κτίρια-Εκσκαφές-Κατασκευές-Λατομεία-Χέρσες εκτάσεις

Η κλάση αυτή περιλαμβάνει επιφανειακά χαρακτηριστικά με παρόμοια απεικόνιση στη δορυφορική εικόνα (φωτεινές-λευκές αποχρώσεις), τα οποία θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνονται σε διαφορετικές κλάσεις, όμως η αδυναμία διάκρισής τους από τον ταξινομητή δημιούργησε, εκ των προτέρων, την ανάγκη ομαδοποίησής τους (Εικόνες 4.17γ, 4.17δ και 4.17ε).

Έλη-Παράκτιοι Υδροβιότοποι

Η κλάση αυτή περιλαμβάνει ουσιαστικά την παράκτια περιοχή, η οποία περιλαμβάνει έλη, βάλτους που γενικότερα μπορούν να χαρακτηριστούν ως υδροβιότοποι (Εικόνα 4.17ζ).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία της νεφοκάλυψης την χρονική στιγμή λήψης της εικόνας του 1999, ξεπεράστηκε με την χρησιμοποίηση των δεδομένων που προσέφεραν οι ορθοφωτοχάρτες του 1997.



4.2.5.8. Επεξεργασία των δεδομένων μετά την ταξινόμηση (post-classification) για τη βελτίωση της ακρίβειας του χάρτη χρήσης/κάλυψης γης

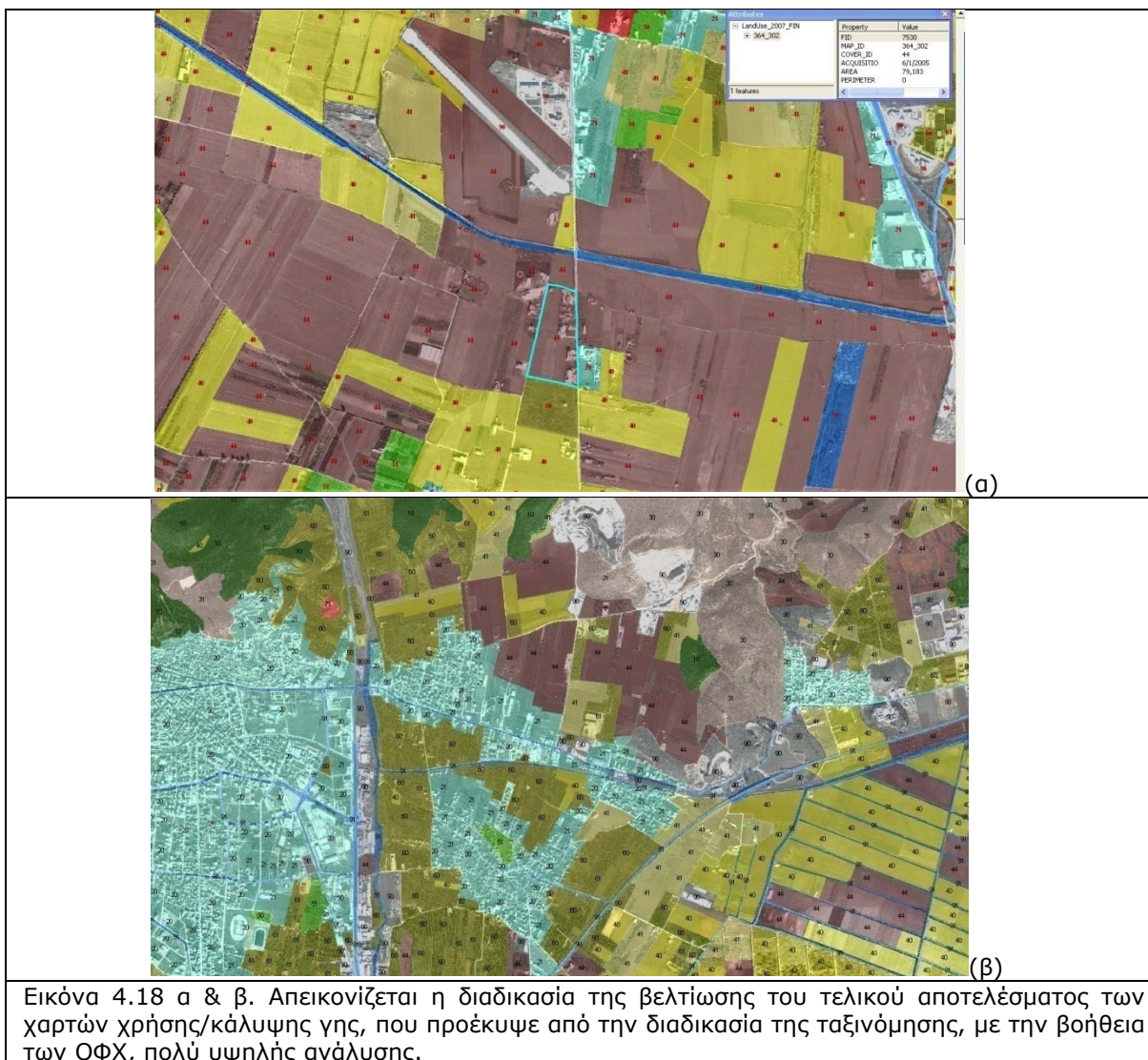
Στο θεματικό χάρτη χρήσης/κάλυψης γης που προέκυψε από την ταξινόμηση των τριών εικόνων, έγινε εφαρμογή του φίλτρου majority (3x3) για την ομογενοποίηση του τελικού προϊόντος, την μείωση των λανθασμένα ταξινομημένων εικονοστοιχείων και την εξαφάνιση των μεμονωμένων εικονοστοιχείων που εμφανίζονταν σε ομοιογενείς περιοχές (*Fuller et al. 1994, Ricchetti 2000, Maingi & Marsh 2001, Serra et al. 2003*). Η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φίλτρου θα πρέπει να γίνεται με πολύ μεγάλη προσοχή, διότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του παραθύρου τόσο μεγαλύτερο θα είναι το επίπεδο της ομογενοποίησης (*Fung & Chan 1994*).

Γενικά, σε περιοχές με έντονη ετερογένεια θα πρέπει να εφαρμόζονται μικρού μεγέθους φίλτρα. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε σκόπιμα το μικρότερο δυνατό μέγεθος του φίλτρου (3x3), έτσι ώστε να μην υποστεί ο τελικός χάρτης σοβαρές αλλοιώσεις και αλλαγές σε σχέση με το πρωτογενές προϊόν και να επιτευχθεί ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ της βελτίωσης της ακρίβειας και της απώλειας πληροφοριών, ιδιαίτερα σε περιοχές με γεωργικές καλλιέργειες μικρής έκτασης όπου η ετερογένεια παρουσιάζεται αυξημένη.

Η παρατήρηση αυτή ανέδειξε πολλά σφάλματα στην ταξινόμηση της χρήσης/κάλυψης γης, δεδομένου ότι η έντονη φασματική σύγχυση που καταγράφηκε σχεδόν σε όλες τις κλάσεις ταξινόμησης, δημιούργησε πολλά προβλήματα. Για τη βελτίωση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη, των εικόνων του 1999 και 2007, που προέκυψε από την αυτόματη ταξινόμηση, έγινε υποβοήθηση μέσω της οπτικής ερμηνείας (visual interpretation) για τη διόρθωση των σφαλμάτων που παρατηρήθηκαν κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου ταξινόμησης και κατανέμονται σε όλη την περιοχή μελέτης. (*Rasch 1994, Slater & Brown 2000*). Η πολύ καλή γνώση της περιοχής μελέτης, ο μεγάλος όγκος δεδομένων από τις εργασίες υπαίθρου, καθώς και η υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα των ΟΦΧ, διευκόλυναν σε πολύ μεγάλο βαθμό την οπτική ερμηνεία της εικόνας βελτιώνοντας σημαντικά τη διάκριση συγκεκριμένων κλάσεων ταξινόμησης, που παρουσίαζαν προβλήματα φασματικής σύγχυσης και την ακρίβεια του τελικού χάρτη της χρήσης/κάλυψης γης (Εικόνα 4.18 α & β).

Αντίθετα, η απουσία των δεδομένων υπαίθρου σε πραγματικό χρόνο, για την περίοδο του 1984, η αδυναμία διάκρισης των ειδών των καλλιεργειών στις ΑΦ και η μερική άγνοια της υφιστάμενης κατάστασης που επικρατούσε δεν διευκόλυνε σημαντικά την οπτική ερμηνεία της εικόνας, όσον αφορά την αξιόπιστη διάκριση των κλάσεων που σχετίζονταν κυρίως με τις καλλιέργειες. Συνεπώς, δεν ήταν εφικτή η παραγωγή ενός θεματικού χάρτη πολύ υψηλής ακρίβειας.

Τα στατιστικά στοιχεία του ποσοστού κάλυψης παρουσιάζονται στους πίνακες 4.11 έως 4.13 και αφορούν το σύνολο της περιοχής μελέτης, για τις περιόδους 2007, 1999 και 1984 αντίστοιχα. Επίσης, στις εικόνες 4.19 έως 4.21 εμφανίζονται οι χάρτες χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης, για τις περιόδους 2007, 1999 και 1984, αντίστοιχα.



Πίνακας 4.11. Ποσοστά κάλυψης της χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης, για την χρονική περίοδο του 2007

α/α	Περιγραφή	Κωδικός	Εμβαδόν (Km ²)	Ποσοστό (%)
1	Δάσος κωνοφόρων	10	461,50	25,25
2	Δασικό κωνοφόρων μικτό	11	31,76	1,74
3	Δάσος φυλλοβόλων	12	297,51	16,28
4	Δασικό φυλλοβόλων μικτό	13	22,72	1,24
5	Δάσος αείφυλλων-πλατύφυλλων	14	169,41	9,27
6	Δασικό αείφυλλων-πλατύφυλλων μικτό	15	36,00	1,97
7	Αστικό	20	22,49	1,23
8	Αστικό μικτό	21	10,73	0,59
9	Βοσκότοπος (λιβάδια)	30	94,86	5,19
10	Βοσκότοπος Θάμνοι-λιβάδια μικτό	31	159,83	8,74
11	Αροτραία	40	181,87	9,95

12	Αροτραίο μικτό	41	80,55	4,41
13	Αροτραία-έδαφος	44	84,36	4,61
14	Δενδρώδεις	50	33,10	1,81
15	Δενδρώδεις μικτό	51	27,09	1,48
16	Ελιές	60	34,48	1,89
17	Ελιές μικτό	61	15,43	0,84
18	Αμπελώνες	70	0,47	0,03
19	Αμπελώνες μικτό	71	0,90	0,05
20	Κατασκευές Εκσκαφές-Χέρσα	90	22,93	1,25
21	Νερά-Δρόμοι	91	29,81	1,63
22	Έλη-Παράκτιοι Υδροβιότοποι	98	9,40	0,51
23	Καμένες εκτάσεις	00	0,80	0,04
			1828,00	100,00

Πίνακας 4.12. Ποσοστά κάλυψης της χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης, για την χρονική περίοδο του 1999

α/α	Περιγραφή	Κωδικός	Εμβαδόν (Km ²)	Ποσοστό (%)
1	Δάσος κωνοφόρων	10	394,32	21,57
2	Δασικό κωνοφόρων μικτό	11	42,01	2,30
3	Δάσος φυλλοβόλων	12	333,52	18,25
4	Δασικό φυλλοβόλων μικτό	13	28,59	1,56
5	Δάσος αείφυλλων-πλατύφυλλων	14	201,14	11,00
6	Δασικό αείφυλλων-πλατύφυλλων μικτό	15	41,13	2,25
7	Αστικό	20	13,06	0,71
8	Αστικό αραιό	21	17,27	0,94
9	Βοσκότοπος (λιβάδια)	30	93,35	5,11
10	Βοσκότοπος Θάμνοι-λιβάδια μικτό	31	93,90	5,14
11	Αροτραία	40	261,25	14,29
12	Αροτραίο μικτό	41	138,37	7,57
13	Αροτραία-έδαφος	44	36,70	2,01
14	Δενδρώδεις	50	36,79	2,01
15	Δενδρώδεις μικτό	51	22,53	1,23
16	Ελιές	60	24,22	1,33
17	Ελιές μικτό	61	5,78	0,32
18	Αμπελώνες	70	0,00	0,00
19	Αμπελώνες μικτό	71	0,00	0,00
20	Κατασκευές Εκσκαφές-Χέρσα	90	10,13	0,55
21	Νερά-Δρόμοι	91	24,57	1,34
22	Έλη-Παράκτιοι Υδροβιότοποι	98	9,36	0,51
23	Καμένες εκτάσεις	00	0,00	0,00
			1828,00	100,00

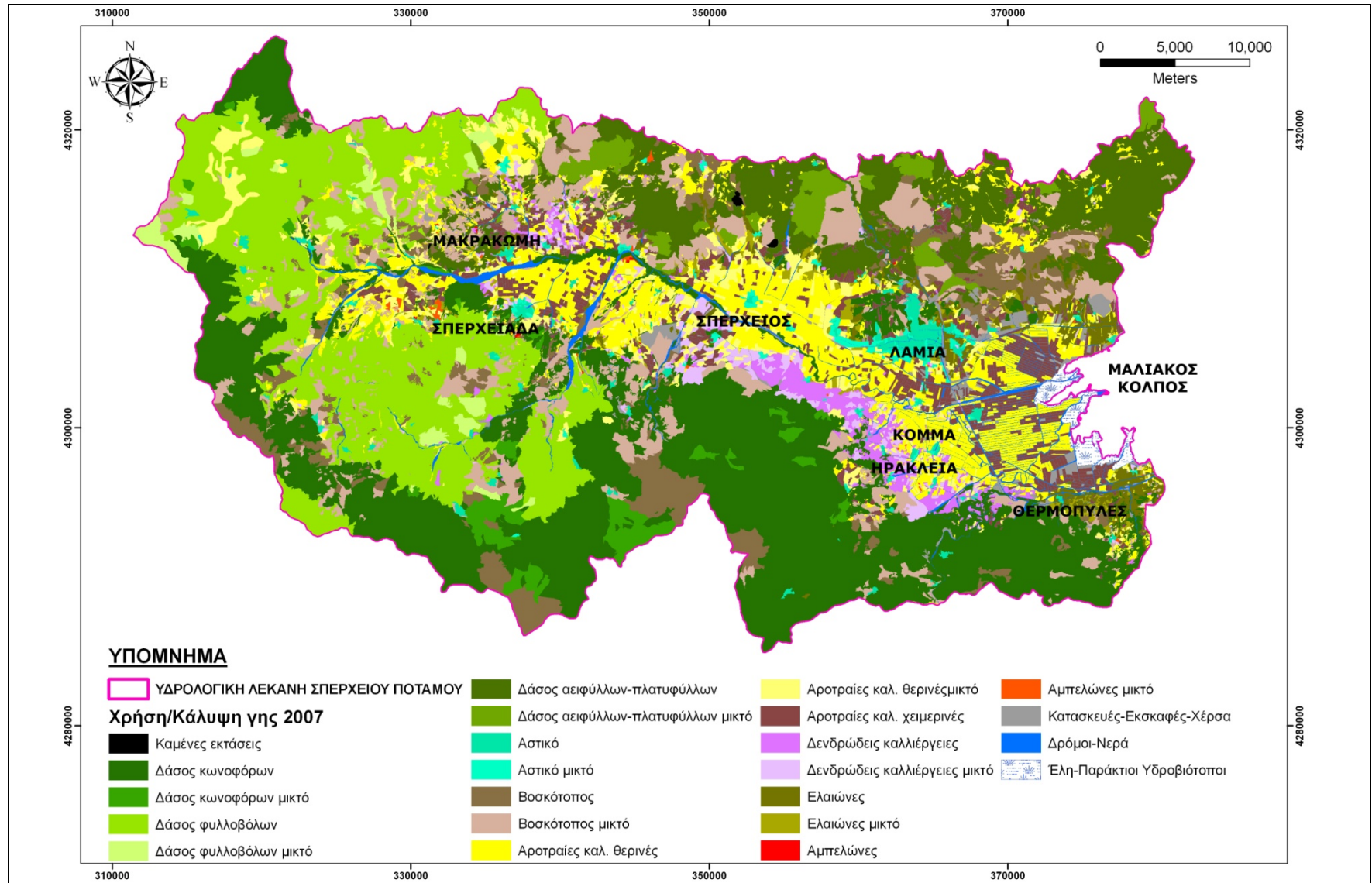
Πίνακας 4.12. Ποσοστά κάλυψης της χρήσης/κάλυψης γης στην περιοχή μελέτης, για την χρονική περίοδο του 1984

α/α	Περιγραφή	Κωδικός	Εμβαδόν (Km ²)	Ποσοστό (%)
1	Δάσος κωνοφόρων	10	405,66	22,19
2	Δασικό κωνοφόρων μικτό	11	45,33	2,48
3	Δάσος φυλλοβόλων	12	344,17	18,83
4	Δασικό φυλλοβόλων μικτό	13	40,29	2,20
5	Δάσος αείφυλλων-πλατύφυλλων	14	198,95	10,88
6	Δασικό αείφυλλων-πλατύφυλλων μικτό	15	38,76	2,12
7	Αστικό	20	10,81	0,59
8	Αστικό αραιό	21	16,06	0,88
9	Βοσκότοπος (λιβάδια)	30	77,49	4,24
10	Βοσκότοπος Θάμνοι-λιβάδια μικτό	31	86,18	4,71
11	Αροτραία	40	246,16	13,47
12	Αροτραίο μικτό	41	135,72	7,42
13	Αροτραία-έδαφος	44	54,49	2,98
14	Δενδρώδεις	50	29,25	1,60
15	Δενδρώδεις μικτό	51	17,09	0,93
16	Ελιές	60	24,30	1,33
17	Ελιές μικτό	61	5,96	0,33
18	Αμπελώνες	70	0	0,00
19	Αμπελώνες μικτό	71	0	0,00
20	Κατασκευές Εκσκαφές-Χέρσα	90	8,46	0,46
21	Νερά-Δρόμοι	91	23,67	1,29
22	Έλη-Παράκτιοι Υδροβιότοποι	98	9,95	0,54
23	Καμένες εκτάσεις	00	9,25	0,51
			1828,00	100,00

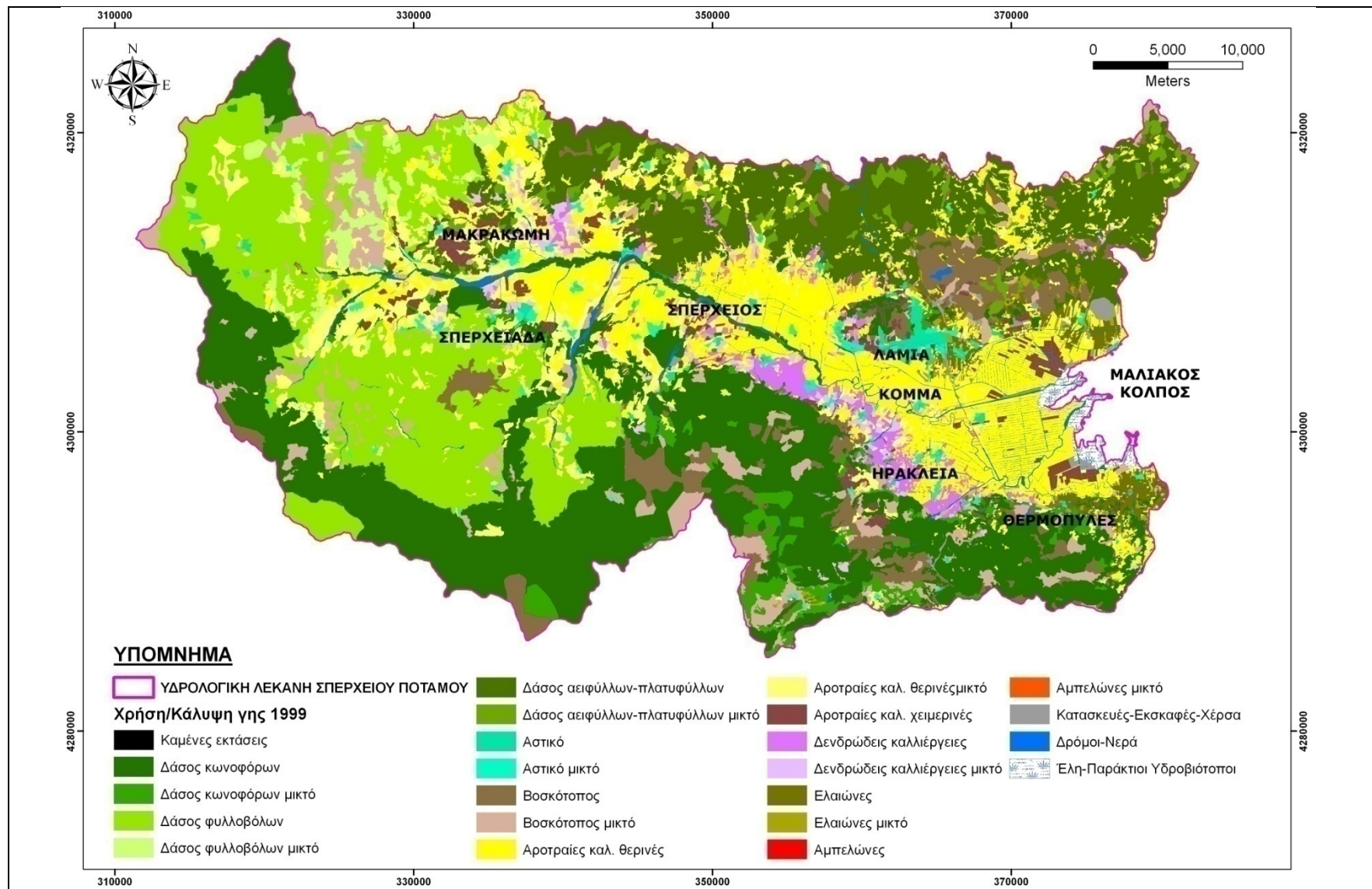
4.2.5.9. Εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης

Η χρησιμότητα ενός θεματικού χάρτη, ο οποίος ουσιαστικά αποτελεί μία γενίκευση της πραγματικότητας, εξαρτάται στο μέγιστο βαθμό από την ποιότητα της πληροφορίας που μεταφέρει και ουσιαστικά σχετίζεται άμεσα με την ακρίβεια της ταξινόμησης (*Smits et al.*, 1999). Ο χρήστης του χάρτη θα πρέπει να γνωρίζει την ακρίβειά του έτσι ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί αποτελεσματικά τα δεδομένα που του παρέχει.

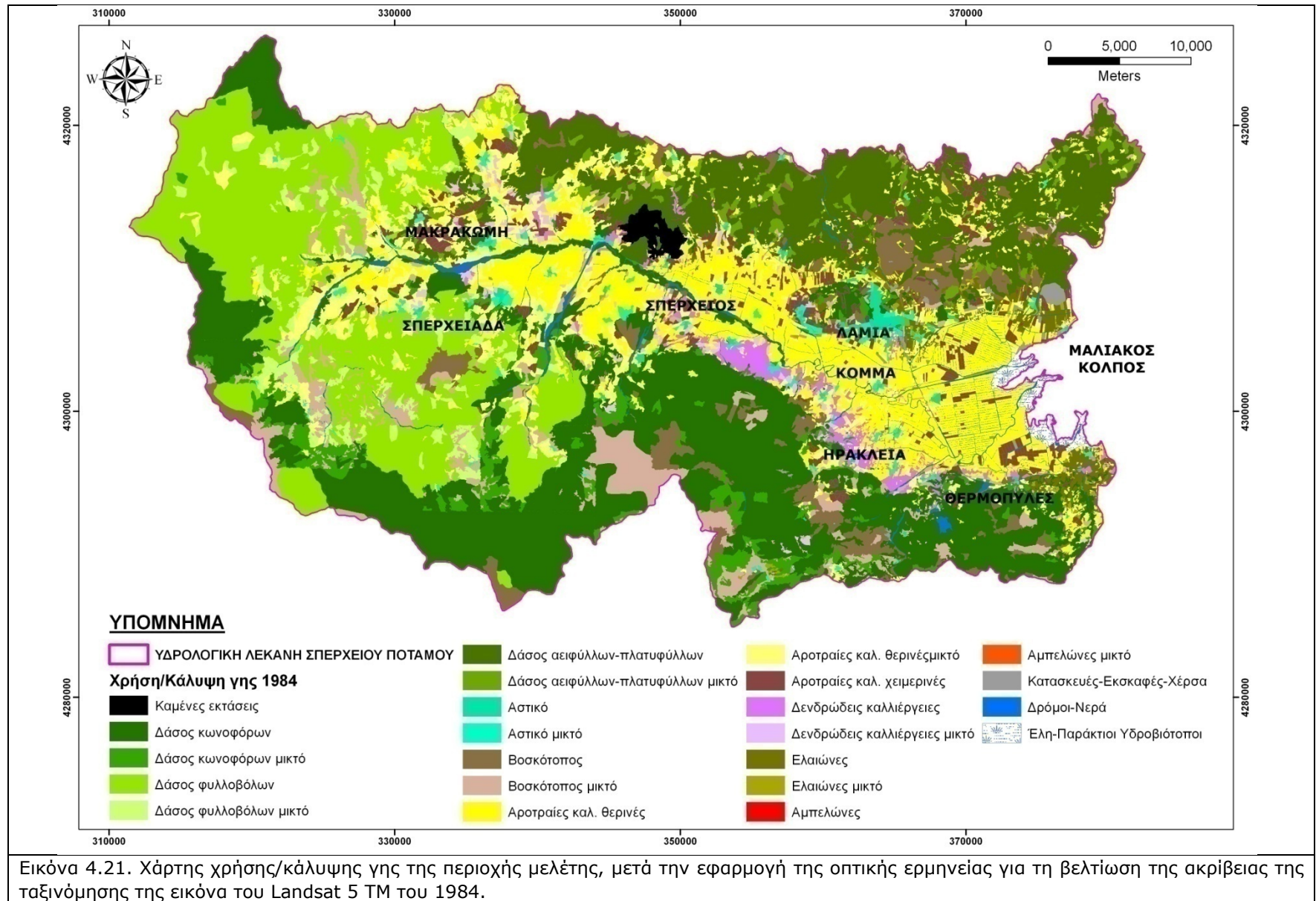
Η ακρίβεια ενός θεματικού χάρτη καταγράφεται μέσω της σύγκρισής του με την υφιστάμενη πραγματικότητα και αποτελεί ένα μέτρο του ποσοστού σφάλματος που αυτός εμπεριέχει. Εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των κλάσεων ταξινόμησης, τη μεθοδολογία που ακολουθείται, το είδος και τα χαρακτηριστικά των πολυφασματικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται, τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των δεδομένων υπαίθρου. Γενικότερα, η εκτίμηση της ακρίβειας των χωρικών δεδομένων που καταγράφονται σε ένα θεματικό



Εικόνα 4.19. Χάρτης χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνα του Landsat 5 TM του 2007.



Εικόνα 4.20. Χάρτης χρήσης/κάλυψης γης της περιοχής μελέτης, μετά την εφαρμογή της οπτικής ερμηνείας για τη βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης της εικόνα του Landsat 7 ETM+ του 1999.



χάρτη και η μεθοδολογία της δειγματοληψίας που ακολουθείται, έχει απασχολήσει πλήθος ερευνητών τα τελευταία χρόνια (*Story & Congalton 1986, Rosenfield 1986, Congalton 1991, Edwards et al. 1998, Smits et al. 1999*).

Ο έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης, πραγματοποιήθηκε με την λήψη δεδομένων υπαίθρου (ground truth data) και την σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα ταξινόμησης. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν από ομοιογενείς περιοχές, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η καθαρότητα των δειγμάτων και να είναι αντιπροσωπευτικά όλων των κλάσεων ταξινόμησης, δεδομένου ότι είναι αδύνατο να ελεγχθεί κάθε εικονοστοιχείο του θεματικού χάρτη.

Μέθοδος δειγματοληψίας

Η εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη πραγματοποιήθηκε με την τυχαία δειγματοληψία (simple random sampling) (*Toulios et al. 1990*), σε συνδυασμό με την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία (stratified random sampling), μία πρακτική η οποία ενδείκνυται ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη ετερογένεια στην κάλυψη/χρήση γης (*Dicks & Lo 1990, Martinez-Casasnovas 2000, Petit et al. 2001*).

Η τυχαία δειγματοληψία αποτελεί μία μέθοδο επιλογής ενός τυχαίου αριθμού δειγμάτων από το σύνολο της περιοχής. Αν και είναι απλή στην εφαρμογή της και εμφανίζει εξαιρετικές στατιστικές ιδιότητες (παρέχει επαρκείς εκτιμήσεις για τις στατιστικές παραμέτρους των πληθυσμών-κλάσεων), παρουσιάζει το μειονέκτημα της υποτίμησης (λήψη μικρού αριθμού δειγμάτων) εκείνων των κλάσεων που παρουσιάζουν μικρό ποσοστό κάλυψης στην περιοχή μελέτης, δεδομένου ότι απαιτεί μεγάλο μέγεθος δειγμάτων έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αντιπροσώπευση όλων των κλάσεων.

Η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία είναι μια μέθοδος κατά την οποία, η εκ των προτέρων καλή γνώση των χαρακτηριστικών που θα ταξινομηθούν, χρησιμοποιείται για τη διαίρεση ή στρωματοποίηση της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές, τα οποία είναι περισσότερο ομοιογενή σε σχέση με το σύνολο της περιοχής, με βάση τις κλάσεις ταξινόμησης. Στη συνέχεια η τυχαία δειγματοληψία εφαρμόζεται μέσα στα στρώματα για την λήψη των δειγμάτων. Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει ένα πλεονέκτημα όταν καθίσταται απαραίτητη η απόκτηση πληροφοριών για συγκεκριμένες κλάσεις ταξινόμησης.

Η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκε διότι σε ορισμένα τμήματα της περιοχής μελέτης υπήρχαν μεγάλες ομοιογενείς περιοχές, ενώ σε κάποια άλλα παρουσιάστηκε μεγάλη ετερογένεια με μικρά αγροτεμάχια και γεωτεμάχια και έντονη εναλλαγή της χρήσης/κάλυψης γης. Ταυτόχρονα, ένας δεύτερος λόγος ήταν η αδυναμία που παρουσιάζει η τυχαία δειγματοληψία να καλύψει με ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα τις κλάσεις ταξινόμησης που καταλαμβάνουν μικρή έκταση στην περιοχή μελέτης, ένα πρόβλημα το οποίο μπορεί να επιλυθεί με την χρήση της στρωματοποιημένης δειγματοληψίας. Επίσης, εξουδετερώνεται σε μεγάλο βαθμό το μειονέκτημα που χαρακτηρίζει την τυχαία δειγματοληψία και αφορά την αδυναμία συλλογής δεδομένων από περιοχές δύσβατες ή μη προσεγγίσιμες, μειώνοντας έτσι το κόστος και τον χρόνο δειγματοληψίας (*Foody 2002*).

Ο συνδυασμός της τυχαίας με την στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία παρέχει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ της στατιστικής εγκυρότητας και της εφαρμογής σε πρακτικό

επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα ενδείκνυται σε μικτές και ετερογενείς περιοχές (*Dicks & Lo 1990, Janssen & Di Grigorio 2003*).

Ως εκ τούτου, καθορίστηκε ένα ελάχιστο μέγεθος δείγματος ανά κλάση ταξινόμησης και η πυκνότητα δειγματοληψίας κυμάνθηκε ανάλογα, με τον μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων να λαμβάνονται στις περιοχές με έντονη ετερογένεια και το μικρό μέγεθος γεωτεμαχίων και ταυτόχρονα για εκείνες τις κλάσεις ταξινόμησης οι οποίες κάλυπταν την μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή. Στις κλάσεις με την μικρότερη κάλυψη τέθηκε ένα ελάχιστο μέγεθος δείγματος 30 εικονοστοιχείων, το οποίο αυξανόταν ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης στην περιοχή μελέτης. Στις περιπτώσεις όπου το ελάχιστο δείγμα δεν συμπληρώθηκε, χρησιμοποιώντας τον προαναφερόμενο τρόπο δειγματοληψίας, επιλέχθηκαν αυθαίρετα κάποια σημεία δειγματοληψίας, με την κατανομή των σημείων να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη. Τα σημεία δειγματοληψίας, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ελήφθησαν για τις μεν εικόνες του 1999 και 2007 τόσο στην ύπαιθρο, όσο και από τους ορθοφωτοχάρτες, ενώ για την εικόνα του 1984, μόνο από τις αεροφωτογραφίες.

Στατιστική ανάλυση της ακρίβειας της ταξινόμησης

Η ακρίβεια της ταξινόμησης εκφράζεται μέσα από την μήτρα σύγχυσης ή σφάλματος (confusion or error matrix) από την οποία υπολογίζονται η συνολική ακρίβεια (overall accuracy), η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) και η ακρίβεια του παραγωγού (producer's accuracy) (*Aronoff 1982, Story & Congalton 1986, Janssen & Van der Wel, 1994, Smits et al. 1999, Γατσής 2006, Kamh 2008*). Η ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) αφορά την πιθανότητα του δείγματος της ταξινομημένης εικόνας να αναπαριστά σωστά την κάλυψη/χρήση γης στην ύπαιθρο, ενώ η ακρίβεια του παραγωγού (producer's accuracy), αφορά την πιθανότητα ενός δείγματος υπαίθρου (τύπος χρήσης/κάλυψης γης) να έχει ταξινομηθεί σωστά στην εικόνα (*Story & Congalton 1986*). Σε κάθε περίπτωση κρίνεται απαραίτητη η αναφορά και των δύο μετρήσεων για την καλύτερη εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης, διότι η χρησιμοποίηση ενός από τις δύο μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Η μήτρα σύγχυσης αποτελεί μία τετράγωνη παράταξη αριθμών σε γραμμές και στήλες, όπου συνήθως οι πρώτες αναπαριστούν τα δεδομένα ταξινόμησης (classification data) και οι δεύτερες τα δεδομένα αναφοράς (reference data ή ground truth), παρουσιάζοντας τον αριθμό των δειγμάτων-εικονοστοιχείων που αποδίδονται σε μία συγκεκριμένη κλάση σε σχέση με την υφιστάμενη πραγματικότητα που επαληθεύεται από τα δεδομένα υπαίθρου. Ο πίνακας αυτός αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο αναπαράστασης της συνολικής ακρίβειας και ταυτόχρονα της ακρίβειας κάθε κλάσης, που περιγράφεται με τα σφάλματα συμπερίληψης ή διάπραξης (commission errors) και τα σφάλματα αποκλεισμού ή παράλειψης (omission errors). Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης (overall accuracy) αποτελεί μία απλή μέτρηση συμφωνίας και υπολογίζεται από τις τιμές των κελιών που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο της μήτρας σύγχυσης, και συγκεκριμένα, από το πηλίκο του αθροίσματος των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων προς τον συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στη μήτρα σύγχυσης.

Η μήτρα παρέχει μία συνολική εκτίμηση της ακρίβειας ενός θεματικού χάρτη, χωρίς όμως να δίνουν πληροφορίες σχετικά με το εύρος και την μεταβολή της ακρίβειας, την χωρική

κατανομή των σφαλμάτων σε κάθε σημείο του χάρτη, ή την σχέση ανάμεσα στα σφάλματα και τις κλάσεις της χρήσης/κάλυψης γης (Pathirana 1999) (Πίνακες 4.13, 4.14 και 4.15). Στις μήτρες σύγκυσης που δημιουργήθηκαν, για να απλοποιηθεί η διαδικασία εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης, ενοποιήθηκαν οι 6 κατηγορίες δασικής κάλυψης σε 2, δηλαδή σε δάσος και δάσος μικτό, ενώ οι αμπελώνες λόγω της πολύ μικρής εμφάνισής τους ενσωματώθηκαν στις αροτραίες καλλιέργειες.

Πίνακας 4.13. Μήτρα σύγκυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1984, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας.

Εικόνα 1984		Δεδομένα δειγματοληψίας																	
	Δ	ΔΜ	ΑΣ	ΑΣΜ	Β	ΒΜ	ΑΘ	ΑΘΜ	ΑΧ	ΔΕ	ΔΕΜ	Ε	ΕΜ	ΚΕ	ΔΝ	ΕΠ	Τ	ΑΠ	ΑΧ
Δ	81	9	0	0	5	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	98	92,0	82,7
ΔΜ	6	46	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	70,8	85,2
ΑΣ	0	0	51	4	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	59	98,1	86,4
ΑΣΜ	0	0	1	19	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	23	79,2	82,6
Β	0	3	0	0	45	7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	57	76,3	79,0
ΒΜ	0	4	0	0	5	42	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	53	65,6	79,2
ΑΘ	0	0	0	1	0	3	56	6	4	0	1	0	1	0	0	1	73	94,9	76,7
ΑΘΜ	0	0	0	0	0	2	3	41	1	1	0	0	1	1	0	0	50	78,9	82,0
ΑΧ	0	0	0	0	1	2	0	2	47	0	1	0	2	0	0	0	55	83,9	85,5
ΔΕ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	41	6	1	2	0	0	0	51	83,7	80,4
ΔΕΜ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	22	2	3	0	0	0	32	57,9	68,8
Ε	0	1	0	0	0	2	0	0	0	2	2	37	5	0	0	0	49	82,2	75,5
ΕΜ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	27	0	0	0	36	61,4	75,0
ΚΕΧ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	25	2	1	30	80,7	83,3
ΔΝ	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	28	1	34	90,3	82,4
ΠΥ	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	24	30	88,9	80,0
Τ	88	65	52	24	59	64	59	52	56	49	38	45	44	31	31	27	784		
Συνολική Ακρίβεια (Overall accuracy) = 80,6%																			
Δ=Δάσος, ΔΜ=Δάσος μικτό, ΑΣ=Αστικό, ΑΣΜ=Αστικό μικτό, Β=Βοσκότοπος, ΒΜ=Βοσκότοπος μικτό, ΑΘ=Αροτραίες θερινές, ΑΘΜ=Αροτραίες θερινές μικτό, ΑΧ=Αροτραίες χειμερινές, ΔΕ=Δενδρώδεις καλ., ΔΕΜ=Δενδρώδεις μικτό, Ε=Ελαιώνες. ΕΜ= Ελαιώνες μικτό, Α=Αμπελώνες, ΑΜ=Αμπελώνες μικτό, ΚΕ=Κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα, ΔΝ=Δρόμοι-νερά, ΕΠ=Έλη-Παράκτιες περιοχές, Τ=Σύνολο, ΑΠ=Ακρίβεια παραγωγού, ΑΧ=Ακρίβεια χρήστη.																			

Πίνακας 4.14. Μήτρα σύγκυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1999, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας.

Εικόνα 1999		Δεδομένα δειγματοληψίας																	
	Δ	ΔΜ	ΑΣ	ΑΣΜ	Β	ΒΜ	ΑΘ	ΑΘΜ	ΑΧ	ΔΕ	ΔΕΜ	Ε	ΕΜ	ΚΕ	ΔΝ	ΕΠ	Τ	ΑΠ	ΑΧ
Δ	122	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	93,8	93,9
ΔΜ	3	55	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	91,7	93,2
ΑΣ	0	0	62	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	67	96,9	92,5
ΑΣΜ	0	0	2	29	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	32	87,9	90,6
Β	1	1	0	0	65	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	91,6	92,9
ΒΜ	0	2	0	0	2	61	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	66	88,4	92,4
ΑΘ	0	0	0	1	0	1	66	1	1	0	0	0	0	0	0	0	70	97,1	94,3
ΑΘΜ	0	0	0	0	0	1	2	59	1	0	0	0	0	0	0	0	63	92,2	93,7
ΑΧ	0	0	0	0	0	1	0	1	55	0	1	0	2	0	0	0	60	94,8	91,7
ΔΕ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	2	0	2	0	0	0	53	98,0	92,5
ΔΕΜ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	38	1	1	0	0	0	41	86,4	92,7

E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	37	2	0	0	0	40	90,2	92,5
EM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	39	0	0	0	43	83,0	90,7
ΚΕΧ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	36	0	1	38	100,0	94,7
ΔΝ	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	56	98,1	91,1
ΠΥ	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	28	31	96,6	90,3
T	130	60	64	33	71	69	68	64	58	50	44	41	47	36	52	29	916		
Συνολική Ακρίβεια (Overall accuracy) = 93,0%																			
Δ=Δάσος, ΔΜ=Δάσος μικτό, ΑΣ=Αστικό, ΑΣΜ=Αστικό μικτό, Β=Βοσκότοπος, ΒΜ=Βοσκότοπος μικτό, ΑΘ=Αροτραίες θερινές, ΑΘΜ=Αροτραίες θερινές μικτό, ΑΧ=Αροτραίες χειμερινές, ΔΕ=Δενδρώδεις καλ., ΔΕΜ=Δενδρώδεις μικτό, Ε=Ελαιώνες. ΕΜ= Ελαιώνες μικτό, Α=Αμπελώνες, ΑΜ=Αμπελώνες μικτό, ΚΕ=Κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα, ΔΝ=Δρόμοι-νερά, ΕΠ=Έλη-Παράκτιες περιοχές, Τ=Σύνολο, ΑΠ=Ακρίβεια παραγωγού, ΑΧ=Ακρίβεια χρήστη.																			

Πίνακας 4.15. Μήτρα σύγχυσης για την εκτίμηση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη χρήσης/κάλυψης της γης του 2007, με την υποβοήθηση της οπτικής ερμηνείας.

Εικόνα 2007		Δεδομένα δειγματοληψίας																	
	Δ	ΔΜ	ΑΣ	ΑΣΜ	Β	ΒΜ	ΑΘ	ΑΘΜ	ΑΧ	ΔΕ	ΔΕΜ	Ε	ΕΜ	ΚΕ	ΔΝ	ΕΠ	Τ	ΑΠ	ΑΧ
Δ	144	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	96,0	96,0
ΔΜ	2	57	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	93,4	87,7
ΑΣ	0	0	52	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	56	92,9	96,3
ΑΣΜ	0	0	2	28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	31	90,3	90,3
Β	0	2	0	0	61	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	92,4	92,4
ΒΜ	1	1	0	0	2	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	92,7	85,0
ΑΘ	0	0	0	0	0	0	60	1	0	0	0	0	1	0	0	0	62	96,8	98,4
ΑΘΜ	0	0	0	0	0	0	1	55	0	0	0	0	0	0	0	0	56	98,2	100,0
ΑΧ	0	0	0	0	0	2	0	0	64	0	0	0	2	0	0	0	68	94,1	97,0
ΔΕ	0	1	0	0	0	0	0	0	1	49	1	0	1	0	0	0	53	92,5	96,1
ΔΕΜ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	37	0	1	0	0	0	39	94,9	94,9
Ε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	44	2	0	0	0	47	93,6	97,8
ΕΜ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	40	0	0	0	42	95,2	83,3
ΚΕΧ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	2	0	45	95,6	95,6
ΔΝ	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	53	92,5	94,2
ΠΥ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	28	30	93,3	100,0
T	150	65	54	31	64	60	61	55	66	51	39	45	48	45	52	28	914		
Συνολική Ακρίβεια (Overall accuracy) = 94,3%																			
Δ=Δάσος, ΔΜ=Δάσος μικτό, ΑΣ=Αστικό, ΑΣΜ=Αστικό μικτό, Β=Βοσκότοπος, ΒΜ=Βοσκότοπος μικτό, ΑΘ=Αροτραίες θερινές, ΑΘΜ=Αροτραίες θερινές μικτό, ΑΧ=Αροτραίες χειμερινές, ΔΕ=Δενδρώδεις καλ., ΔΕΜ=Δενδρώδεις μικτό, Ε=Ελαιώνες. ΕΜ= Ελαιώνες μικτό, Α=Αμπελώνες, ΑΜ=Αμπελώνες μικτό, ΚΕ=Κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα, ΔΝ=Δρόμοι-νερά, ΕΠ=Έλη-Παράκτιες περιοχές, Τ=Σύνολο, ΑΠ=Ακρίβεια παραγωγού, ΑΧ=Ακρίβεια χρήστη.																			

Όπως διαπιστώνεται και από την ανάλυση των στοιχείων στις μήτρες σύγχυσης από 4.11 έως 4.13, διαπιστώνεται ότι η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης για τον χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1984, για συνολικό αριθμό 784 εικονοστοιχείων που επιλέχθηκαν, είναι 80,6%. Η ακρίβεια του παραγωγού οι χαμηλότερες τιμές ακρίβειας παρουσιάστηκαν στην καταγραφή των μικτών περιοχών, κυρίως λόγω της δυσκολίας που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση σημείων δειγματοληψίας από τις αεροφωτογραφίες του 1986. Έτσι, οι χαμηλότερες ακρίβειες παρουσιάστηκαν στην κλάση ταξινόμησης, δενδρώδεις μικτές με 57,9%, στην κλάση Ελιές μικτό με 61,4%, στο βοσκότοπος μικτό με 65,0% και στο δάσος μικτό με 70,8%. Σε όλες τις υπόλοιπες κλάσεις το ποσοστό ακρίβειας ήταν μεγαλύτερο του

76%. Σύμφωνα με τις τιμές ακρίβειας χρήστη η μικρότερη τιμή αποτυπώθηκε στην κλάση δενδρώδεις μικτό με 68,8%, ενώ για τις υπόλοιπες κλάσεις ξεπέρασε το 75%.

Όσον αφορά την ακρίβεια του χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 1999, για συνολικό αριθμό 916 σημείων που επιλέχθηκαν, διαπιστώνεται ότι η συνολική ακρίβεια είναι 93%. Η ακρίβεια παραγωγού μόνο στην κλάση ταξινόμησης κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα είναι 83%, ενώ στις υπόλοιπες ξεπερνάει το 86%, ενώ στις τιμές της ακρίβειας του χρήστη, σε όλες τις κλάσεις ξεπερνάει το 90%. Τέλος, η ακρίβεια του χάρτη χρήσης/κάλυψης γης του 2007, για συνολικό αριθμό 914 σημείων που επιλέχθηκαν, διαπιστώνεται ότι η συνολική ακρίβεια είναι 94,3%, ενώ η ακρίβεια παραγωγού ξεπερνάει, για όλες τις κλάσεις, το 92% και για την ακρίβεια χρήστη ξεπερνάει το 83%.

Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι για τους δύο παραγόμενους χάρτες χρήσης/κάλυψης γης, του 1999 και 2007, η ακρίβεια ταξινόμησης ξεπερνάει το 93%, τιμή σχεδόν άριστη για την εφαρμογή της μεθόδου, ενώ για τον χάρτη του 1984 η ακρίβεια ταξινόμησης φτάνει το 83%, ποσοστό που θεωρείται ικανοποιητικό, με βάση την δυσκολία συλλογής σημείων δειγματοληψίας από τις ΑΦ.

4.3. Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων ERS-2 (SAR.PRI)

4.3.1. Εισαγωγή-Μεθοδολογία

Η απεικόνιση Radar αποτελεί μία εικόνα στην οποία η ισχύς του σήματος που επανασκεδάζεται (backscatter) από ένα αντικείμενο καθορίζει τον ψηφιακό αριθμό (DN) για κάθε εικονοστοιχείο. Η ισχύς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι οι παράμετροι παρατήρησης (όπως μήκος κύματος, συχνότητα, πόλωση, προσπίπτουσα γωνία του εκπεμπόμενου κύματος) και οι επιφανειακοί παράμετροι (όπως το ανάγλυφο-τραχύτητα, το γεωμετρικό σχήμα και οι διηλεκτρικές ιδιότητες των αντικειμένων). Επιπλέον, ανάλογα με το μήκος κύματος η ακτινοβολία διεισδύει στο επιφανειακό υλικό σε διάφορα βάθη.

Ένα σύστημα radar δεν στοχεύει κατευθείαν προς τα κάτω (στο ναδίρ της επιφάνειας), αλλά προς τα κάτω και πλαγίως (δεξιά) του τροχιακού επιπέδου, σε αντίθεση με έναν οπτικό αισθητήρα. Αυτό είναι απαραίτητο, έτσι ώστε οι εκπεμπόμενοι παλμοί να σαρώνουν την γήινη επιφάνεια σε αυξανόμενες αποστάσεις από το radar και συνεπώς να αποδίδουν στην εικόνα τη διάσταση στη διεύθυνση των μετρούμενων αποστάσεων.

Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας ανακλούν το σήμα του Radar με διαφορετικό ποσοστό, το οποίο χαρακτηρίζεται ως συντελεστής επανασκέδασης (σ^0). Το ποσό της ανάκλασης καθορίζει και την απόχρωση, στην κλίμακα του γκρι, σε μία εικόνα SAR. Η διηλεκτρική σταθερά περιγράφει την ικανότητα των υλικών να απορροφούν, ανακλούν και να μεταφέρουν την μικροκυματική ενέργεια, και αυξάνει με την παρουσία της υγρασίας στα υλικά, αλλάζοντας σημαντικά τις ιδιότητες ενός αντικειμένου για τον τρόπο που θα εμφανίζεται στην εικόνα radar. Η επανασκέδαση και επομένως η φωτεινότητα θα είναι έντονη όταν υπάρχει αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Επίσης, μία λεία επιφάνεια ενός υλικού με υψηλή διηλεκτρική σταθερά συμπεριφέρεται ως καθρέπτης και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η μικροκυματική ακτινοβολία να ανακλάται εξολοκλήρου προς διαφορετική κατεύθυνση από αυτή του δορυφόρου. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως κατοπτρικοί ανακλαστήρες (specular reflectors) και εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις του γκρι στην

εικόνα, αφού το σ^0 είναι πολύ χαμηλό. Επίσης, το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας παίζει σημαντικό ρόλο όταν αυτό έχει διαστάσεις που μπορούν να συγκριθούν με το προσπίπτον μήκος κύματος. Ο τρόπος που αποτυπώνεται η τραχύτητα του εδάφους σε μία εικόνα, ως ανάγλυφη ή λεία, εξαρτάται από το μέγεθος των αλλαγών στην επιφάνειά του, το μήκος του κύματος και την προσπίπτουσα γωνία. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης και το μήκος κύματος σε σχέση με το μέγεθος των επιφανειακών αλλαγών, τόσο περισσότερο λεία εμφανίζεται η επιφάνεια του αντικειμένου.

Η επεξεργασία των δεδομένων SAR αποτελεί μία δύσκολη εργασία λόγω της διαφορετικής φύσης των δεδομένων, σε σχέση με τα οπτικά συστήματα, και της αποτύπωσης της γήινης επιφάνειας σε μία εικόνα. Η ύπαρξη του θορύβου (speckle), η διαφορετική ραδιομετρία των εικόνων (16 bit) και ταυτόχρονα οι σοβαρές μετατοπίσεις αναγλύφου που παρατηρούνται κυρίως σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, καθιστούν την επεξεργασία ακόμη δυσκολότερη με άμεση επίπτωση στην ερμηνεία των δεδομένων.

Τα μικροκυματικά σήματα όταν επιστρέφουν από κάποιο στόχο βρίσκονται σε φάση (in phase) ή εκτός φάσης (out of phase) (Lillesand & Kiefer 2000). Η ποικιλία των κυματικών μορφών που λαμβάνονται από την κεραία του δορυφόρου προκαλεί μία τυχαία κατανομή φωτεινότερων ή σκουρότερων εικονοστοιχείων μέσα στην εικόνα, δίνοντας έτσι μία κοκκώδη εμφάνιση η οποία καθιστά δύσκολη την ερμηνεία της.

Η επεξεργασία μιας εικόνας SAR είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι το αρχικό προϊόν που παράγεται από το δορυφόρο εμπεριέχει σοβαρές παραμορφώσεις, μετατόπιση αναγλύφου και αρκετό θόρυβο, και συνεπώς η σωστή ερμηνεία της εικόνας και η εξαγωγή των κατάλληλων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων που αφορούν μία συγκεκριμένη εφαρμογή, βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για τη βελτίωση της εικόνας.

Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας των εικόνων του ERS-2 που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν την μείωση του θορύβου (speckle) της εικόνας, την συμπίεση των δεδομένων από 16 σε 8 bit, τις ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις. Η πρώτη επεξεργασία που εφαρμόστηκε αφορούσε την δημιουργία μίας Εποχιακής Εικόνας Διάκρισης Μεταβολών (Seasonal Differentiate Image-SDI) χρήσης/κάλυψης γης, μέσω της δημιουργίας μία σύνθετης ψευδέγχρωμης εικόνας (Kuntz & Siegert 1999). Η δεύτερη επεξεργασία αφορούσε την συνένωση των τριών εικόνων radar σε μία και την εφαρμογή του Μετασχηματισμού Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Transform-PCT), με σκοπό την διερεύνηση των αβαθών περιοχών με ρηχά νερά στην παράκτια ζώνη, καθώς και την σύγκρισή της με την μέθοδο SDI. Όλες οι εργασίες, πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα ERDAS Imagine (v.9.1).

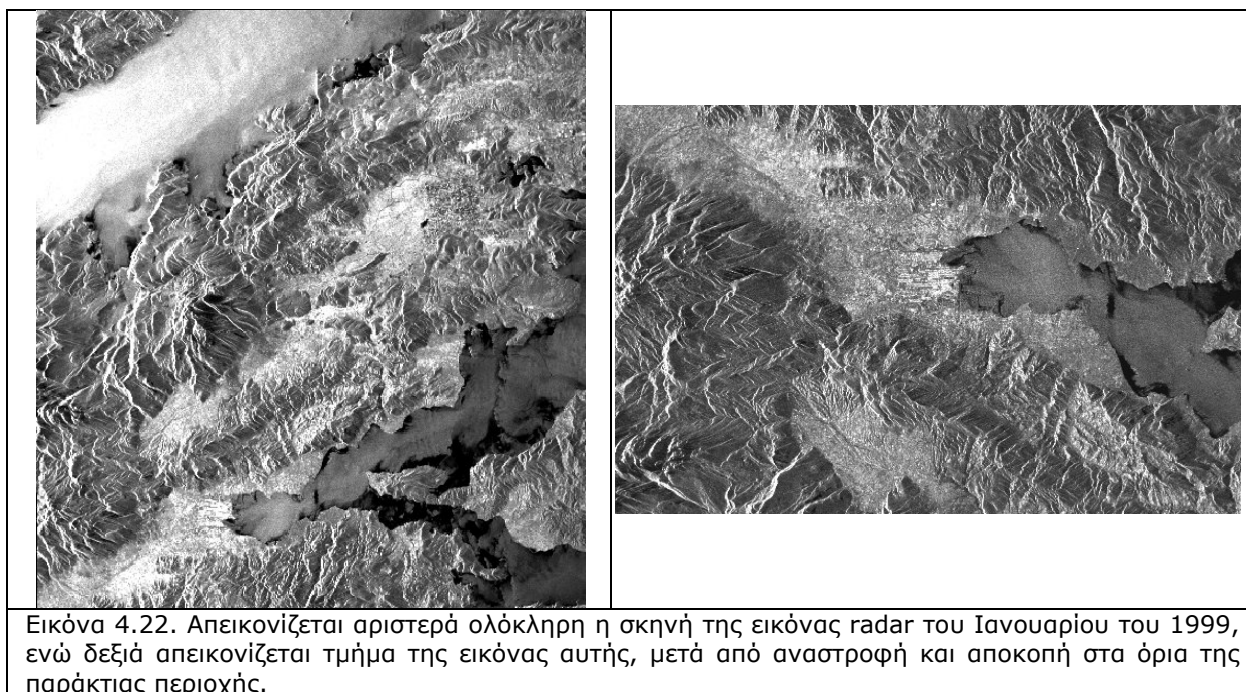
Δεδομένου ότι, η κύρια χρήση των εικόνων radar στην παρούσα διατριβή, είναι η εξέταση της παράκτιας ζώνης και ιδιαίτερα στην περιοχή της ακτογραμμής και των αβαθών περιοχών που υπάρχουν, ήταν απαραίτητη εξ αρχής η γνώση της διεύθυνσης και έντασης των ανέμων που επικρατούσαν στην περιοχή κατά την ημερομηνία λήψης των εικόνων (Rao et al. 1999). Αυτή η διαδικασία ήταν απαραίτητη διότι ο άνεμος προκαλεί κυματισμό στα νερά του κόλπου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τραχύτητα της επιφάνειας του νερού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ή να μειώνεται (ανάλογα με τον άνεμο) ο συντελεστής σ^0 (Πίνακας 4.14). Από τα στοιχεία του πίνακα παρατηρούμε ότι στην εικόνα με ημερομηνία λήψης τον Ιούνιο του 1998, η ένταση του ανέμου ήταν 3 μποφόρ και συνεπώς μπορεί να δημιουργούσε μία μικρή

ανατάραξη της θάλασσας, με μικρό κυματισμό, που όμως δεν επηρεάζει αισθητά την εικόνα, στην περιοχή του κόλπου. Στις άλλες δύο ημερομηνίες λήψης, επικρατούσε από νηνεμία έως ήρεμη και λίγο παραγμένη θάλασσα, γεγονός που σημαίνει ότι δεν δημιουργήθηκε κανένα πρόβλημα στην απεικόνιση της παράκτιας περιοχής. Τέλος, κατά τις ημερομηνίες λήψης των εικόνων δεν υπήρχε νεφοκάλυψη, ούτε και βροχή που θα μπορούσε να επηρεάσει τα δεδομένα.

Πριν την εφαρμογή των μεθόδων επεξεργασίας, ήταν απαραίτητη η αναστροφή της αρχικής εικόνας (τα raw data του δορυφόρου ERS-2 είναι ανεστραμμένα ως προς το νότο) και την απομόνωση ενός παραθύρου, το οποίο θα περιέχει μόνο την περιοχή μελέτης, μαζί με κάποια μικρά περιθώρια περιμετρικά αυτής. Με τη δημιουργία της νέας εικόνας μειώθηκε ο όγκος των δεδομένων και διευκολύνθηκε η επεξεργασία τους στα επόμενα βήματα (Εικόνα 4.22).

Πίνακας 4.14. Συνθήκες ανέμου (διεύθυνση και ένταση) στην παράκτια περιοχή, από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας, στις ημερομηνίες λήψης των εικόνων radar (πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

Ημερομηνία	Ώρα	Διεύθυνση ανέμου	Knots	m/sec	Μποφόρ	Χαρακτηρισμός ανέμου & θάλασσας
18-6-1998	20:00	110 (E)	7	3,4	3	Γλυκιά αύρα-Λίγο παραγμένη
18-6-1998	23:00	110 (E)	7	3,4	3	
14-1-1999	20:00	320 (NW)	8	4,0	3	Γλυκιά αύρα-Λίγο παραγμένη
14-1-1999	23:00	290 (W)	5	2,5	2	Ελαφριά αύρα-Ήρεμη
21-10-1999	20:00	0 (N)	0	0	0	Νηνεμία-γαλήνια
21-10-1999	23:00	0 (N)	4	1,6	2	Ελαφριά αύρα-Ήρεμη



4.3.2. Προεπεξεργασία δεδομένων

4.3.2.1. Μείωση του θορύβου

Η ύπαρξη του θορύβου σε μία εικόνα SAR αποτελεί ένα σύνηθες χαρακτηριστικό γνώρισμα, το οποίο οφείλεται στην φύση της διαδικασίας που ακολουθείται κατά την λήψη της από το δορυφόρο και είναι αποτέλεσμα της συμβολής των κυμάτων που βρίσκονται σε φάση (coherent) με τα κύματα εκτός φάσης (de-phased), που λαμβάνονται στην κεραία του δορυφόρου από τα διαφορετικά σήματα επανασκέδασης (backscattering). Ο θόρυβος δημιουργεί την κοκκώδη (granular) εμφάνιση της εικόνας και προσομοιάζει με το "αλάτι και πιπέρι", αυξάνει την στατιστική διασπορά των τιμών φωτεινότητας, ενώ παράλληλα υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας και καθιστά δύσκολη την οπτική ερμηνεία της, και την ανίχνευση διάφορων χαρακτηριστικών επί της γήινης επιφάνειας. Κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας αναπαριστά το άθροισμα των κυμάτων επανασκέδασης, τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικές φάσεις, από τους στόχους της γήινης επιφάνειας (Elachi 1987).

Το σημαντικό πρόβλημα του θορύβου στις εικόνες SAR, έχει μελετηθεί εκτεταμένα τα τελευταία 25 χρόνια και έχει δημιουργηθεί ένας σημαντικός αριθμός φίλτρων-αλγόριθμων για την μείωση ή την εξάλειψή του (Lee 1983; 1986, Martin & Turner 1993, Chunming et al. 2002, Xiao & Moody 2003, Vidal-Pantaleoni & Marti 2004).

Το τελικό αποτέλεσμα που θα προκύψει από την εφαρμογή των φίλτρων εξαρτάται και από το μέγεθος του παραθύρου που θα χρησιμοποιηθεί (3x3, 5x5, 7x7, κ.α.). Όσο μεγαλύτερο είναι το παράθυρο τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μείωση του θορύβου σε βάρος όμως της λεπτομέρειας της εικόνας, λόγω της εξομάλυνσης που θα υποστεί η εικόνα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι, ουσιαστικά, κατά την εφαρμογή του φίλτρου οι τιμές του θορύβου δεν εξαλείφονται παντελώς, αλλά διαχέονται στον όγκο των δεδομένων, λόγω της εξομάλυνσης που υφίσταται η εικόνα. Η εφαρμογή του φίλτρου για την μείωση του θορύβου θα πρέπει να εκτελείται στα πρωτογενή δεδομένα (raw data), πριν την εφαρμογή της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας SAR, έτσι ώστε να βελτιωθεί η οπτική ερμηνεία και να διευκολυνθεί η αναγνώριση και χρησιμοποίηση των εδαφικών σημείων ελέγχου (Parcharidis et al. 1999, Παρχαρίδης & Ψωμιάδης 2002)

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο Lee adaptive, εφαρμόζοντας 2 συνεχόμενα περάσματα με διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά, που αφορούσαν το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου καθώς και του πολλαπλασιαστή sigma (sigma multiplier) (Πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.15. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία της μείωσης του θορύβου

Πέρασμα	Τιμή sigma	Πολλαπλασιαστής sigma	Μέγεθος παραθύρου
1	Image 1: 0.269 Image 2: 0.268 Image 3: 0.261	0.5	3x3
2	Image 1: 0.246 Image 2: 0.266 Image 3: 0.255	1.0	5x5

Για την εφαρμογή του φίλτρου, καταγράφηκε στον πίνακα ο συντελεστής της τιμής διακύμανσης κάθε εικόνας, ενώ κάθε εικόνα χωρίστηκε σε περιοχές τριών κλάσεων. Η πρώτη κλάση περιελάμβανε τις ομοιογενείς περιοχές, όπου ο θόρυβος, μπορεί να

απομακρυνθεί με απλό τρόπο, η δεύτερη κλάση περιελάμβανε τις ετερογενείς περιοχές στις οποίες ο θόρυβος πρέπει να μειωθεί χωρίς να αλλοιωθεί η υφή της εικόνας και η τρίτη κλάση αφορούσε μεμονωμένα σημεία στόχους, στα οποία το φίλτρο διατήρησε τις ήδη υπάρχουσες τιμές. Η τεχνική αυτή έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την οπτική ερμηνεία της τελικής εικόνα μετά την απομάκρυνση του θορύβου (*Psomiadis et al.* 2004) .

4.3.2.2. Βελτίωση της αντίθεσης

Σκοπός της βελτίωσης της αντίθεσης της εικόνας radar είναι η διευκόλυνση της οπτικής ερμηνείας, εντείνοντας τη διάκριση μεταξύ των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Η χρήση των τεχνικών βελτίωσης της αντίθεσης της εικόνας, αναδεικνύει τις λεπτές διαφορές που εμφανίζουν τα χωρικά χαρακτηριστικά, οι οποίες πλέον είναι άμεσα διακριτές, ως επί το πλείστον, χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα φωτεινότητας.

Η βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας πραγματοποιήθηκε με τη γραμμική συμπίεση (linear compression) της εικόνας SAR, μέσω της μετατροπής της από 16-bit σε 8-bit, και την ενίσχυση της αντίθεσης της εικόνας (contrast enhancement).

Η γραμμική συμπίεση διαβάθμισε τις φασματικές τιμές των αρχικών εικόνων (κατά μέσο όρο από 50 έως 3195) στο εύρος τιμών 0-255. Η μετατροπή αυτή προκάλεσε κορεσμό στις υψηλές τιμές επανασκέδασης (υψηλό σ^0), ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρείται κυρίως στις δομημένες-αστικές περιοχές και στα πρηνή τα οποία "βλέπουν" προς το δορυφόρο, και λιγότερο στο υπόλοιπο φυσικό και γεωργικό περιβάλλον. Γενικότερα όμως, η γραμμική συμπίεση δεν προκάλεσε καμία απώλεια πληροφορίας σχετικά με τη διατήρηση εκείνων των χαρακτηριστικών που βοηθούν στην ανάδειξη της μορφολογίας και της παράκτιας ζώνης.

4.3.2.3. Γεωμετρικές διορθώσεις

Η πιο σημαντική επεξεργασία για τα μετέπειτα στάδια χειρισμού των τριών εικόνων, είναι η γεωμετρική τους διόρθωση. Η ακριβής χωρική τους καταχώρηση αποτελεί μία βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική μελέτη τόσο των εποχιακών μεταβολών όσο και της παράκτιας ζώνης.

Για την εφαρμογή της γεωμετρικής διόρθωσης χρησιμοποιήθηκε η εγγραφή εικόνας σε εικόνα (image to image registration). Συγκεκριμένα, για τη διόρθωση των εικόνων ERS-2 χρησιμοποιήθηκε ως πηγή πληροφόρησης (εύρεση των εδαφικών σημείων), η ήδη διορθωμένη εικόνα του Landsat 5 TM, με ημερομηνία λήψης το Ιούλιο του 1999.

Οι τρεις σκηνές γεωαναφέρθηκαν σε ένα κοινό σύστημα προβολής, το ΕΓΣΑ'87, χρησιμοποιώντας πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού και το DEM για να μπορέσουν να διορθωθούν οι έντονες μετατοπίσεις του αναγλύφου που παρουσιάζουν οι εικόνες radar. Το RSME ήταν και για τις τρεις εικόνες μικρότερο της μονάδας και η αναδόμηση των εικονοστοιχείων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της πλησιέστερου γειτονικού σημείου. Μετά την αναδόμηση και γεω-κωδικοποίηση της εικόνας παρατηρείται μία δεξιόστροφη στρέψη, έτσι ώστε η εικόνα να προσανατολιστεί ως προς το βορρά, ενώ το μέγεθος του εικονοστοιχείου ορίστηκε στα 25 m.

4.3.3. Δημιουργία σύνθετης ψευδέγχρωμης εικόνας

Στην περίπτωση των εικόνων SAR δεν υπάρχουν πολυφασματικά προϊόντα αφού τα radar χρησιμοποιούν συνήθως μία φασματική ζώνη. Παρά ταύτα, οι εικόνες SAR μπορούν να συνδυαστούν και να παράγουν ψευδέγχρωμες εικόνες για τη διαχρονική παρακολούθηση φαινομένων τα οποία σχετίζονται με φυσικές καταστροφές και όχι μόνο, όπως πλημμύρες, κίνηση πάγων στους πόλους, παλιρροιακά φαινόμενα, αποψίλωση δασών, αλλαγή χρήσεων γης, κ.α. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί 2 ή 3 παγχρωματικές εικόνες SAR από την ίδια περιοχή, με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης, πριν και μετά την έναρξη του φαινομένου, και στην κάθε μία αποδίδεται ένα από τα τρία βασικά χρώματα, κόκκινο, πράσινο και μπλε (RGB). Το αποτέλεσμα της σύνθεσης είναι μία ψευδέγχρωμη εικόνα, στην οποία τα τρία βασικά χρώματα ή τα παράγωγά τους που εμφανίζονται, αναπαριστούν περιοχές όπου τις αντίστοιχες ημερομηνίες το σ^0 ήταν υψηλό ή σχετικά υψηλό. Το τελικό προϊόν αποκαλύπτει τις υφιστάμενες αλλαγές μέσω της χρωματικής διαφοροποίησης.

Σε αρκετές μελέτες έχει χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία αυτή και έχει αποδειχτεί ότι ο διαχρονικός ή εποχιακός συνδυασμός εικόνων radar σε μορφή σύνθετης ψευδέγχρωμης εικόνας, δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τις απλές εικόνες (*Kattenborn et al.* 1993, *Leysen et al.* 1993, *Psomiadis et al.* 2004).

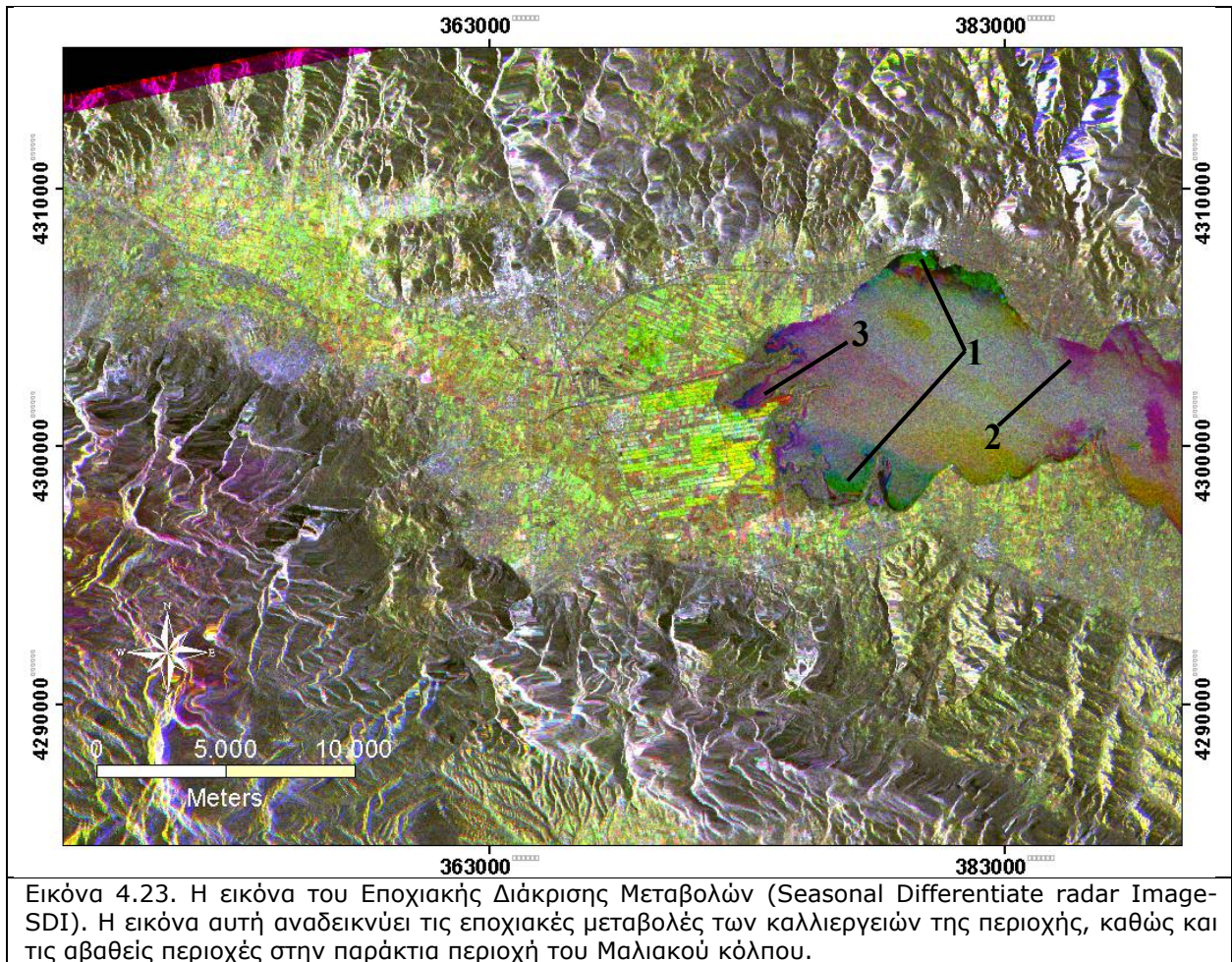
Με βάση τα παραπάνω, δημιουργήθηκε μία Εποχιακή Εικόνα Διάκρισης Μεταβολών (Seasonal Differentiate Image-SDI), χρησιμοποιώντας την εικόνα του Ιανουαρίου του 1999 στο κόκκινο, την εικόνα του Οκτωβρίου του 1999 στο πράσινο και την εικόνα του Ιουνίου του 1998 στο μπλε του χρωματικού συστήματος RGB. Ο σκοπός της δημιουργίας αυτής της εικόνας ήταν να εξεταστεί η αναγνώριση πιθανών εποχιακών μεταβολών στην παράκτια ζώνη. Καθώς και η φύση των αλλαγών αυτών, αλλά και για να χαρτογραφηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια κάποιες αβαθείς περιοχές στην παράκτια ζώνη του δέλτα.

Οι μεταβολές στην οπισθοσκέδαση που λαμβάνεται στις τρεις διαχρονικές (ουσιαστικά εποχιακές) εικόνες δίνουν μία ψευδέγχρωμη εικόνα, της οποίας κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε κάποια μεταβολή ή και σε διατήρηση της προϋπάρχουσας κατάστασης (Εικόνα 4.23).

Όσον αφορά την ενδοχώρα, στην εικόνα 4.23, οι περιοχές που εμφανίζονται με πράσινο χρώμα (Οκτώβριος 1999) αφορούν κυρίως τις καλλιέργειες και δείχνουν την μεγαλύτερη πυκνότητα και αύξηση της βλάστησης την περίοδο αυτή. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στις κύριες αροτραίες καλλιέργειες της περιοχής, δηλαδή το βαμβάκι και τον αραβόσιτο, που τον Οκτώβριο βρίσκονται στο τελικό στάδιο ανάπτυξης και έχουν το μεγαλύτερο μέγεθος και την πυκνότερη διάταξη. Αντίθετα η ανάπτυξη του τον Ιούνιο του 1998 είναι πολύ μικρότερη, ενώ τον Ιανουάριο του 1999 δεν υφίστανται καθόλου. Οι περιοχές με κίτρινο χρώμα είναι εκείνες που παρουσίαζαν ανάπτυξη βλάστησης, τόσο τον Ιανουάριο, όσο και τον Οκτώβριο του 1999, δηλαδή πρόκειται είτε για κτηνοτροφικά φυτά (μηδική, τριφύλλι κλπ) που βρίσκονται στο χωράφι όλο το χρόνο, είτε για αγραναπαύσεις ή εγκαταλελειμμένα αγροτεμάχια χορταριασμένα, τα οποία δεν έχουν αλλάξει κάλυψη μέσα στο χρόνο. Με κόκκινο και μωβ χρώμα, που αντιστοιχούν σε βλάστηση που υπήρχε μόνο τον Ιανουάριο του 1999 (σιτηρά) ή τον Ιανουάριο του 1999 και τον Ιούνιο του 1998 εμφανίζονται ελάχιστα στην εικόνα. Τέλος, με διαβαθμίσεις του γκρι έως ανοιχτού μωβ εμφανίζονται κυρίως στις ορεινές περιοχές και αναπαριστούν τις περιοχές που δεν έχουν υποστεί κάποια ιδιαίτερη εποχιακή μεταβολή. Με έντονες σκούρες γκρι διαβαθμίσεις έως μαύρο απεικονίζονται στην

εικόνα απεικονίζονται οι επιφάνειες που χαρακτηρίζονται από μικρή οπισθοσκέδαση του σήματος radar και πρόκειται για τις σκιασμένες πλευρές των βουνών, μεγάλους δρόμους και αρδευτικά-στραγγιστικά κανάλια.

Στην παράκτια, θαλάσσια περιοχή του Μαλιακού κόλπου, με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι ρηχές περιοχές, όπου πυθμένας έχει βάθος μικρότερο από 0,5 m (σημείο 1). Με μωβ απόχρωση εμφανίζονται περιοχές που είτε έχουν επηρεαστεί από τον κυματισμό (σημείο 2), είτε πρόκειται για λιγότερο ρηχά νερά, με βάθος λίγο μεγαλύτερο από 0,5 m (σημείο 3).



4.3.4. Ανάλυση κύριων συνιστωσών

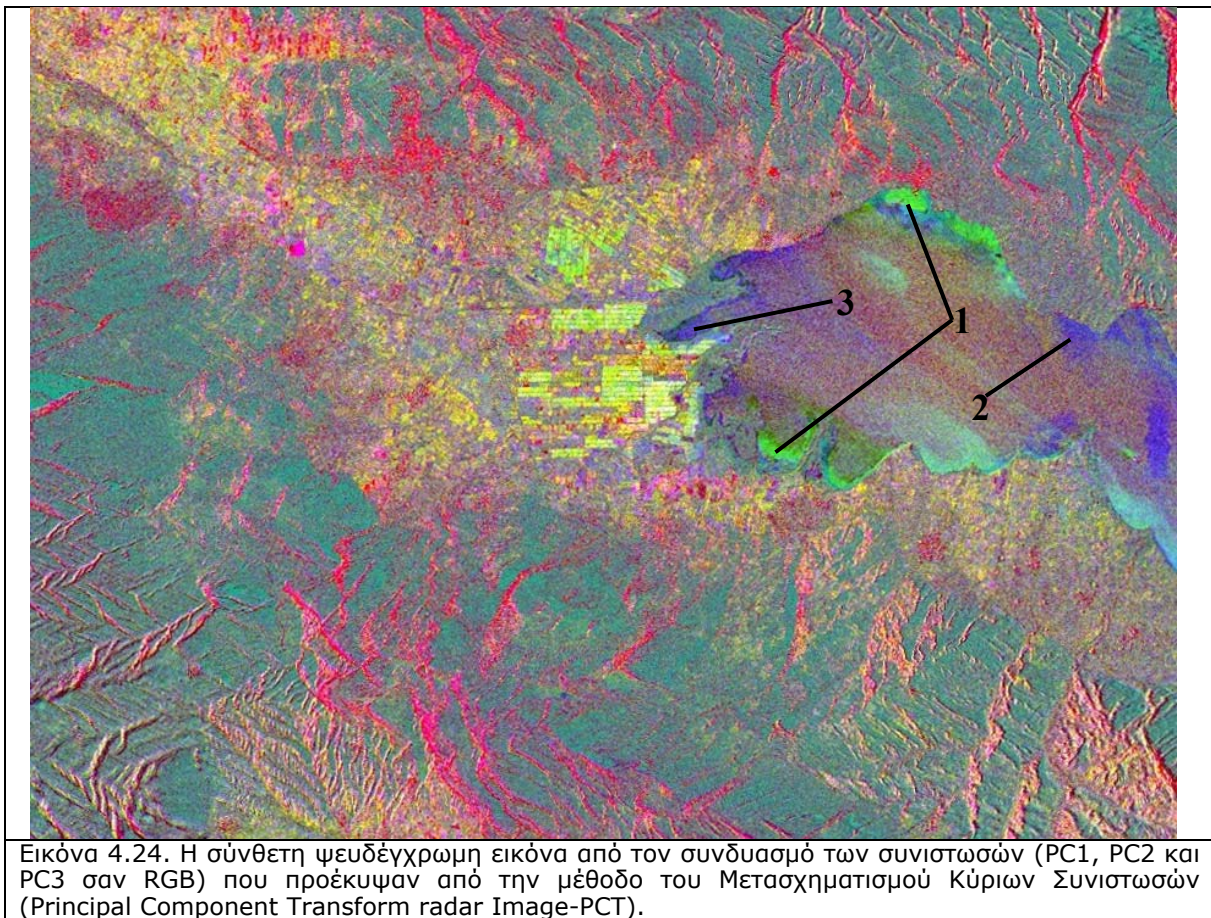
Μία άλλη μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την διερεύνηση της συμβολής της στην ανάδειξη των αβαθών περιοχών της παράκτιας περιοχής, ώστε να οριοθετηθεί καλύτερα η ακτογραμμή, είναι ο Μετασχηματισμός Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Transform-PCT). Η μέθοδος PCT είναι μία τεχνική στατιστικής πολλών μεταβλητών, η οποία επιλέγει τις μη-συσχετισμένες γραμμικές συνθέσεις (eigenvectors) από ένα πλήθος μεταβλητών, με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε νέα κύρια συνιστώσα εμφανίζει την μικρότερη διακύμανση. Οι μεταβλητές αυτές σχετίζονται με την οπισθοσκέδαση που

παρουσιάζει η κάθε αρχική εικόνα ξεχωριστά. Η εφαρμογή της μεθόδου PCT βελτιώνει σημαντικά την θεματική πληροφορία των εικόνων SAR.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, εφαρμόστηκε αρχικά στις τρεις εικόνες radar, η πολυεπίπεδη συνένωση (layer stack), ώστε να ενωθούν σε μία, χρησιμοποιώντας τις εικόνες κατά χρονολογική σειρά, δηλαδή πρώτη την εικόνα του Ιουνίου του 1998, μετά του Ιανουαρίου του 1999 και τέλος την εικόνα του Οκτωβρίου του 1999. Εν συνεχεία εφαρμόστηκε η μέθοδος PCT. Από τις τρεις κύριες συνιστώσες (Πίνακας 4.16) που εξήχθησαν δημιουργήθηκε μία σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα χρησιμοποιώντας αντίστοιχα την συνιστώσα PC1 στο κόκκινο, την συνιστώσα PC2 πράσινο και την PC3 στο μπλε (Εικόνα 4.24).

Πίνακας 4.16. Οι τιμές του ποσοστού συμμετοχής της κάθε εικόνας radar σε κάθε μία από τις κύριες συνιστώσες

eigenvalues	PC1	PC2	PC3
Εικόνα radar Ιούνιος 1998	0,30	-0,88	-0,38
Εικόνα radar Ιανουάριος 1999	0,70	0,47	-0,54
Εικόνα radar Οκτώβριος 1999	0,65	-0,10	0,75



Στην εικόνα αυτή, όσον αφορά την ενδοχώρα, τα βουνά εμφανίζονται με μία ουδέτερη πρασινωπή απόχρωση που απεικονίζει την μη ύπαρξη αλλαγών, ενώ με κόκκινο εμφανίζονται κυρίως οι μορφές που παρουσιάζουν έντονη τοπογραφία (PC1), όπως οι

οικιστικές περιοχές (Λαμία, Ανθήλη κλπ.) και κάποιες απότομες πλαγιές των ορεινών περιοχών. Στην πεδινή περιοχή κυριαρχεί το πράσινο και το κίτρινο χρώμα. Το πράσινο αντιστοιχεί, λόγω της συνιστώσας PC2, στην εικόνα του Ιανουαρίου και στα χωράφια που είχαν βλάστηση τότε (κυρίως σιτηρά και κτηνοτροφικά φυτά), ενώ με κίτρινο απεικονίζονται τα αγροτεμάχια που είχαν ίδιο ύψος καλλιέργειας ή και αγριόχορτων τόσο των Ιούνιο όσο και τον Ιανουάριο.

Στην παράκτια, θαλάσσια περιοχή της λεκάνης, στον Μαλιακό κόλπο, με έντονο ανοιχτό πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι αβαθής περιοχές τόσο στο νότιο όσο και στο βόρειο τμήμα του κόλπου (σημείο 1). Με μωβ χρώμα εμφανίζονται οι περιοχές που επηρεάστηκαν από τον κυματισμό ή οι περιοχές με λιγότερο αβαθή νερά (σημεία 2 & 3 αντίστοιχα).

4.3.5. Συμπεράσματα

Είναι εμφανές ότι και οι δύο μέθοδοι (PCT και SDI), έδωσαν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά την καταγραφή των αβαθών περιοχών στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου. Λίγο καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος PCT, λόγω των πιο έντονων χρωμάτων, με τα οποία σκιαγραφεί τις περιοχές αυτές. Αντίθετα, όσον αφορά τις εποχιακές μεταβολές της ηπειρωτικής παράκτιας περιοχής, σαφώς καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος SDI, αφού με τη μέθοδο PCT ο διαχωρισμός των διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών ήταν πιο ασαφής.

4.4. Ψηφιακή επεξεργασία αεροφωτογραφιών

Για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκαν ορθοφωτοχάρτες του 2007 και του 1997 για πολύ μεγάλο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού (σχεδόν τα 2/3 της περιοχής έρευνας), κλίμακας 1:10.000, καθώς και αεροφωτογραφίες του 1986, 1960 και 1945 κυρίως της παράκτιας περιοχής, με κλίμακες 1:30.000 για τις δύο πρώτες και 1:42.000 για την τελευταία.

Μετά την παραλαβή των αεροφωτογραφιών (ΑΦ) έγινε μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή, με κατάλληλο σαρωτή (scanner), μεγέθους A3. Η σάρωση έγινε στα 600 dpi, ώστε να αυξηθεί η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η επιλογή αυτή προτιμήθηκε, παρότι διπλασίαζε τόσο το χρόνο της σάρωσης όσο και το μέγεθος του παραγόμενου ψηφιακού αρχείου, για να μην χαθεί καμία πληροφορία χρήσιμη στο τελικό προϊόν. Για να έχουμε συνολικά την καλύτερη κατανομή των ραδιομετρικών τιμών επιλέχθηκαν μερικές αεροφωτογραφίες για προ-σκανάρισμα και αξιολόγηση της καμπύλης τονικής μεταφοράς (Total Transfer Curve). Η καμπύλη αυτή χρησιμοποιήθηκε στο σκανάρισμα κάθε εικόνας.

Για την διαδικασία της γεωμετρικής τους διόρθωσης ήταν απαραίτητη η χρησιμοποίηση του DEM κυρίως για να μην υπάρχουν λάθη τα οποία θα οφείλονταν στις έντονες υψομετρικές διαφορές της επιφάνειας του εδάφους. που υφίστανται στην περιοχή μελέτης.

Για την γεωαναφορά ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Ορίστηκαν αρχικά σαν εικόνες αναφοράς οι ορθοφωτοχάρτες (ΟΦΧ) του 2007 και του 1997. Με αυτούς τους ΟΦΧ και χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ορθοαναγωγής εικόνα προς εικόνα (image to image registration) πραγματοποιήθηκε ορθοαναγωγή πρώτα των ΑΦ του 1986. Έπειτα με βάση τις

ΑΦ του 1986, έγινε ορθοαναγωγή των ΑΦ του 1960 και τέλος με βάση τις ΑΦ του 1960, έγινε η γεωαναφορά των ΑΦ του 1945. Με αυτόν τον τρόπο ήταν ευκολότερος ο εντοπισμός κοινών σημείων εδαφικού ελέγχου, διότι οι αλλαγές που είχαν επέλθει στην περιοχή ήταν λιγότερες. Αντίθετα, οι διαφορές για παράδειγμα, μεταξύ των ΟΦΧ του 2007 με τις ΑΦ του 1945 ήταν τεράστιες και ήταν σχεδόν αδύνατος ο εντοπισμός κοινών σημείων αναφοράς.

Σαν σύστημα προβολής κατά την γεωαναφορά των ΑΦ χρησιμοποιήθηκε το Transverse Mercator, με κατάλληλο ορισμό παραμέτρων σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Τέλος, πραγματοποιήθηκε αναδόμηση των εικονοστοιχείων (pixel) της κάθε ΑΦ, με την μέθοδο της εγγύτερης ισοδυναμίας και το μέγεθος του εικονοστοιχείου κάθε μίας καθορίστηκε, σύμφωνα και με την αρχική κλίμακα λήψης της καθεμίας, σε 1,5 m για τις ΑΦ με κλίμακα 1:30.000 (1960 & 1986) και 2 m για τις ΑΦ με κλίμακα 1:42.000 (1945).

Μετά την γεωαναφορά, δημιουργήθηκε για την κάθε περίοδο μία εικόνα μωσαϊκού (mosaic image) των ΑΦ με σκοπό την ευκολότερη διαχείρισή τους.

Σημαντικό γεγονός στην προσπάθεια καταγραφής των αλλαγών ήταν η εύρεση αεροφωτογραφιών, οι οποίες να έχουν ληφθεί περίπου την ίδια εποχή του έτους, με σκοπό να μην διαφέρει ιδιαίτερα η απεικόνιση των διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών.

Οι διαδικασίες της γεωμετρικής διόρθωσης και της δημιουργίας των μωσαϊκών, πραγματοποιήθηκε στο ERDAS Imagine (v.9.1).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ & ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

5.1.1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του μέσα σε μία υδρολογική λεκάνη απορροής, επηρεάζονται και εξαρτώνται από πολλούς, πολύπλοκους και αλληλεπιδρώντες παράγοντες (*Deffontaines & Chorowicz 1991*). Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ομαδοποιηθούν σαν εσωτερικοί, εξωτερικοί και σύνθετοι. Οι σύνθετοι ουσιαστικά αποτελούν των συνδυασμό των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων (*Deffontaines 1986; 1988*).

Οι εσωτερικοί παράγοντες προέρχονται από την συμπεριφορά του υποβάθρου και ελέγχονται κυρίως από την λιθολογία και την δομή. Η λιθολογία επιδρά μέσω των φυσικών (περατότητα, ευαισθησία στις διαβρώσεις, σκληρότητα κ.α.) και χημικών ιδιοτήτων (διαγένεση, διάλυση, χημεία του υπόγειου νερού κ.α.) των πετρωμάτων. Ο παράγοντας της δομής εκδηλώνεται με ποικίλους τρόπους, όπως με την γεωμετρία, τη σύσταση και το πάχος των πετρωμάτων, καθώς και με την εναλλαγή στο τεκτονικό καθεστώς των πετρωμάτων, στα οποία μπορεί να δημιουργηθούν ρήγματα και πτυχές (*Ouchi 1985, Schumm 1986*).

Οι εξωτερικοί παράγοντες περιλαμβάνουν το κλίμα, την βλάστηση και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το κλίμα με τους βασικούς του παράγοντες, την βροχόπτωση και την θερμοκρασία, διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στον κύκλο της αποσάθρωσης και διάβρωσης, ενώ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η μεγάλη σημασία των παλαιοκλιματικών παραγόντων που διαδραμάτισαν και συνεχίζουν να διαδραματίζουν ρόλο στην αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η βλάστηση, η οποία συνδέεται άμεσα και με το κλίμα, διαδραματίζει ρόλο στα τοπικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, αλλά με σχετικά μικρή επίδραση, σε σχέση με τους άλλους παράγοντες. Τέλος, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι επίσης πολύ σημαντικές, διότι μπορούν να μεταβάλουν άμεσα το υδρογραφικό δίκτυο τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

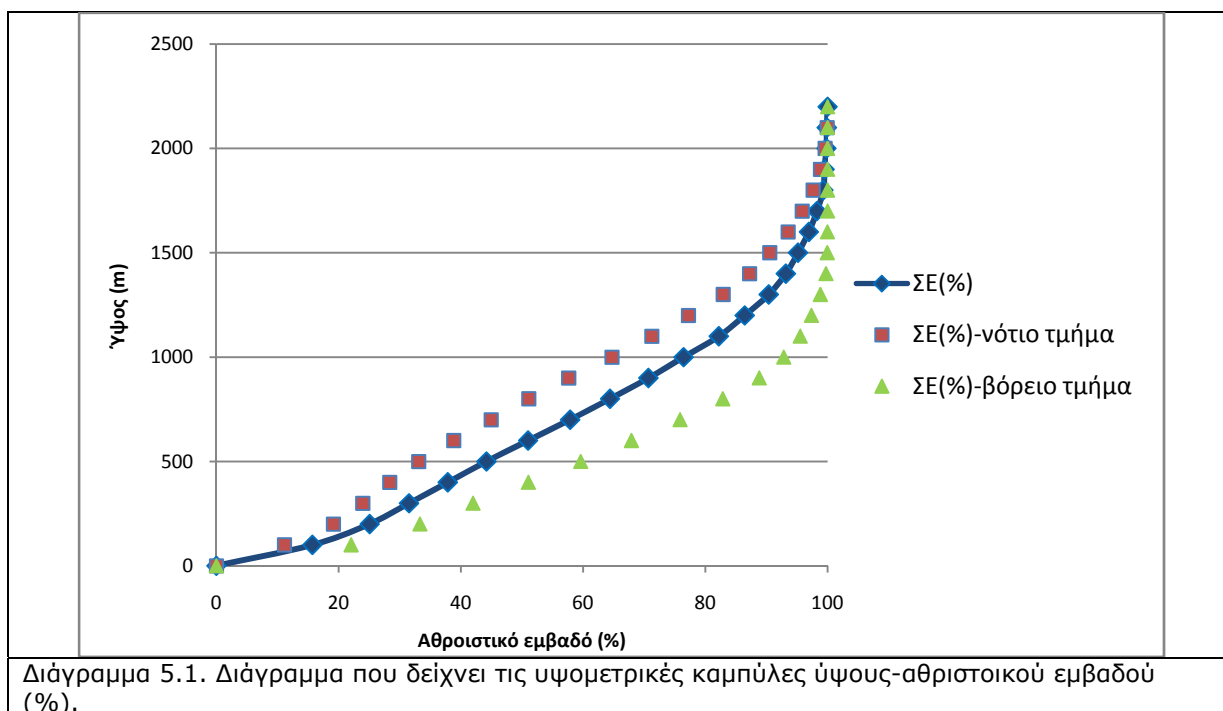
Οι σύνθετοι, αποτελούν συνδυασμό των εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ποσοτικά και στατιστικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού.

5.1.2. Μορφή λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών των ισοϋψών καμπυλών μιας περιοχής, μπορεί να δώσει αρκετά στοιχεία για την μορφή της υψομετρία μιας περιοχής, όπως τη σχέση επιφάνειας και υψομέτρου (*Dury 1966, Μαρουκιάν 1987*). Συγκεκριμένα βοηθάει στον προσδιορισμό των επιφανειών μεταξύ των ισοϋψών, στον υπολογισμό του εμβαδού του μέσου ύψους και του βαθμού κάθετης διάβρωσης.

Η σημαντικότερη μέθοδος, που απεικονίζει της σχέση υψομέτρου και εμβαδού είναι η Υψομετρική Καμπύλη που αντιπροσωπεύει τα απόλυτα εμβαδά μιας περιοχής μεταξύ ισοϋψών. Στο διάγραμμα 5.1 που ακολουθεί αναπαριστάται η σχέση μεταξύ υψομέτρου και αθροιστικού εμβαδού μεταξύ των ισοϋψών.



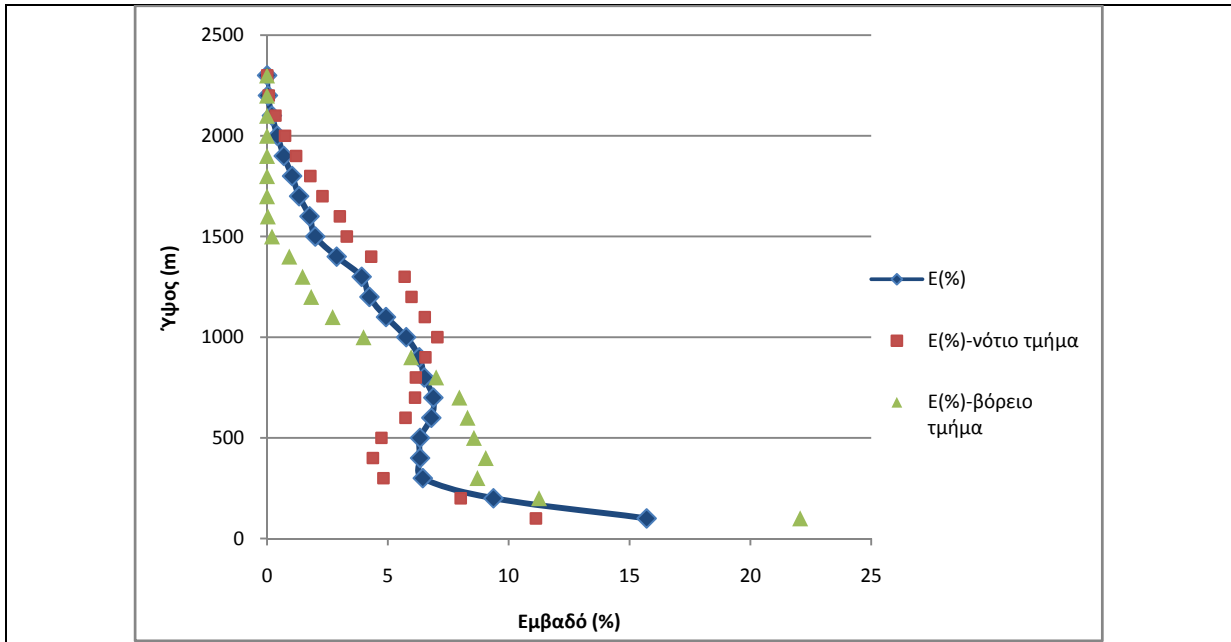
Διάγραμμα 5.1. Διάγραμμα που δείχνει τις υψομετρικές καμπύλες ύψους-αθριστικού εμβαδού (%).

Στην περίπτωση της λεκάνης του Σπερχειού, διαχωρίζοντας την λεκάνη, με βάση τον άξονα ροής του Σπερχειού, σε δύο τμήματα το βόρειο και το νότιο, παρατηρούμε σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Το νότιο τμήμα έχει σαφώς πιο μεγάλα υψόμετρα σε σχέση με το βόρειο τμήμα, ενώ παρουσιάζει πιο κυρτή καμπύλη για υψόμετρο από 200-1.000 m, σε σχέση με το βόρειο στο οποίο η καμπύλη που αντιστοιχεί είναι πιο κοίλη. Η καμπυλότητα αυτή της καμπύλης σημαίνει ότι από τα 200-1.000 m υψόμετρο, το εμβαδό παρουσιάζει αύξηση, ανάλογα με την αύξηση του υψόμετρου, ενώ θα έπρεπε να παρουσιάζει μείωση. Η αιτία αυτής της ανωμαλίας, οφείλεται κατά βάση στο έντονο τεκτονισμό της περιοχής και ιδιαίτερα του νοτίου τμήματος.

Μια σημαντική επίσης παρατήρηση, ανάμεσα στις τρεις καμπύλες του παραπάνω διαγράμματος, είναι το υπερβολικά μεγάλο εμβαδό που έχουν στην περιοχή με υψόμετρο μικρότερο από 100 m. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην μεγάλη επιμήκυνση της κεντρικής κοίτης του Σπερχειού ποταμού και στην μεγάλη εξάπλωση των δελταϊκών αποθέσεων.

Επίσης, δημιουργήθηκε το διάγραμμα 5.2 που αναπαριστά τα επί μέρους εμβαδά του κάθε υψόμετρου, ποσοστιαία. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στην εικόνα του νότιου από το βόρειο τμήμα. Στο βόρειο τμήμα τα ποσοστά επιφάνειας εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές μεταξύ 400-700 m, ενώ στη συνέχεια μειώνονται απότομα. Αντίθετα στο νότιο τμήματα τα εμβαδά αυξάνονται κανονικά μέχρι περίπου τα 1.000 m και έπειτα μειώνονται ομαλά στα μεγαλύτερα υψόμετρα.

Η διαφορά της υψομετρικής καμπύλης των δύο τμημάτων, του νότιο και του βόρειου, εξηγείται από το ότι η κεντρική κοίτη του Σπερχειού αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα, του οποίου το νότιο τμήμα ανυψώνεται ενώ το βόρειο βυθίζεται (Μαριολάκος 1976).

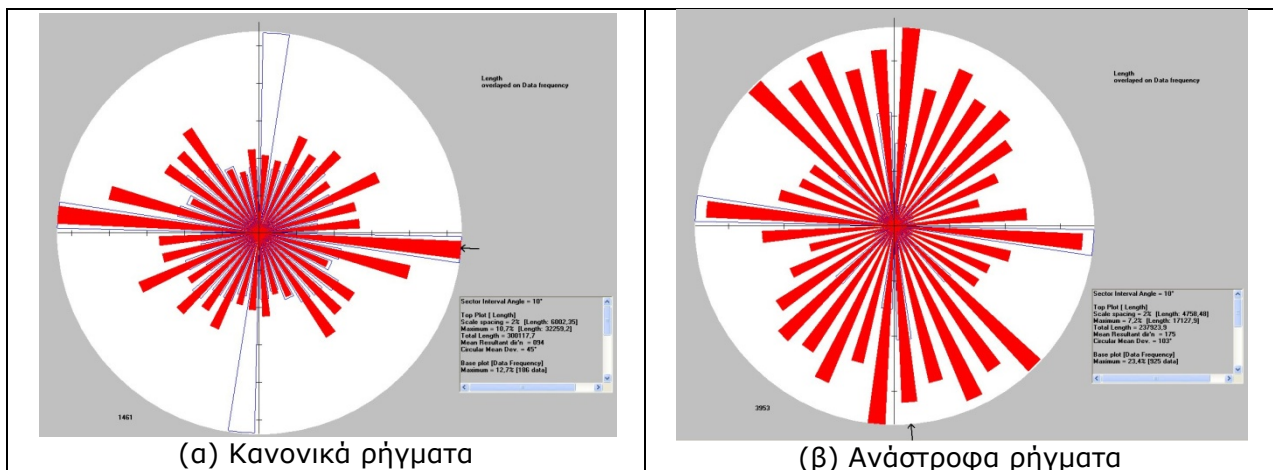


Διάγραμμα 5.2. Διάγραμμα που δίνει τις υψομετρικές καμπύλες ύψους-αθριστικού εμβαδού (%).

5.1.3. Στατιστική ανάλυση γεωλογικής δομής και τεκτονικής της περιοχής

Για την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ γεωλογικής δομής και τεκτονικής με την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής, πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση τόσο των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας, όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας (επωθήσεις-overthrust, επιπνεύσεις-thrust) (κεφ. 3, παρ 3.2.5.1).

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση αυτών των γραμμικών στοιχείων με την βοήθεια του λογισμικού Georient (v. 9,1) και δημιουργήθηκαν τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ), τόσο των κανονικών όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας (Εικόνα 5.3).

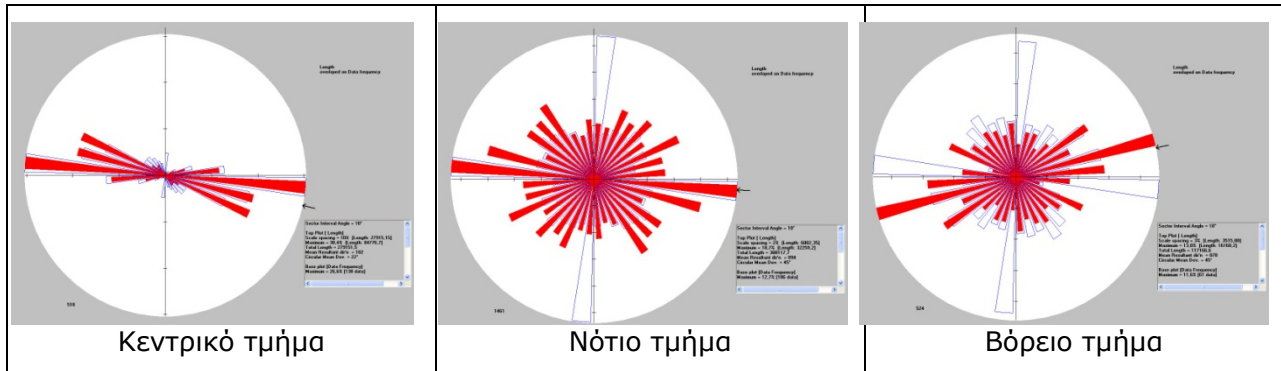


(α) Κανονικά ρήγματα

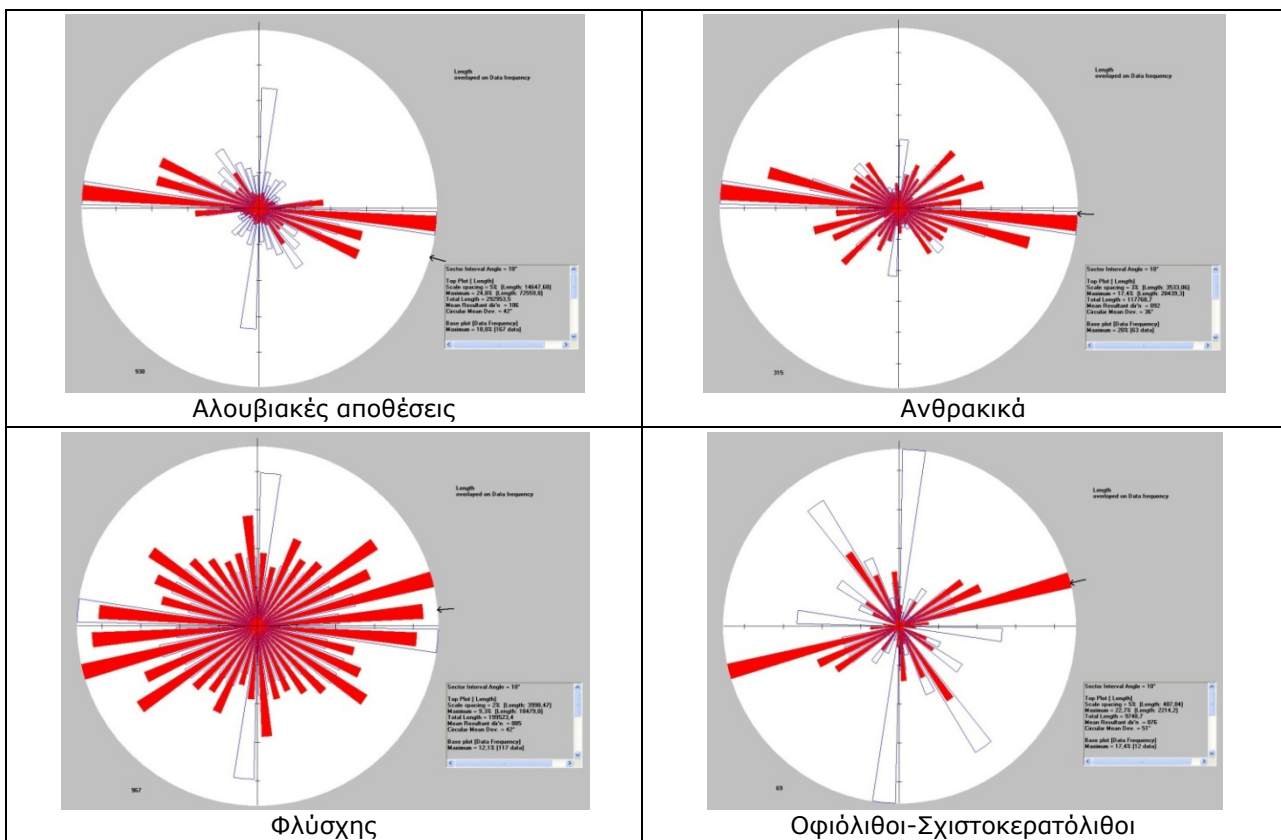
(β) Ανάστροφα ρήγματα

Εικόνα 5.3. (α) Ροδοδιάγραμμα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας, (β) Ροδοδιάγραμμα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας. Μέση συνισταμένη διεύθυνση κανονικών ρηγμάτων: ΡΣ = 88° & ΡΠ=94° (Δ-Α) και μέση συνισταμένη διεύθυνση ανάστροφων ρηγμάτων: ΡΣ = 174° & ΡΠ=175° (ΝΝΑ-ΒΒΔ).

Επίσης, κατασκευάστηκαν τα ροδοδιαγράμματα των κανονικών ρηγμάτων ξεχωριστά για το βόρειο, κεντρικό και νότιο τμήμα, όσο και για κάθε γεωλογικό σχηματισμό χωριστά (Εικόνες 5.4 & 5.5)



Εικόνα 5.4. Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας στο κεντρικό, το νότιο και το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Μέση συνισταμένη διεύθυνση για το κεντρικό τμήμα: ΡΣ =102° & ΡΠ=104°, για το νότιο τμήμα: ΡΣ =94° & ΡΠ=130° και για το βόρειο τμήμα: ΡΣ =78° & ΡΠ=44°



Εικόνα 5.5. Ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) για τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας στις αλουβιακές αποθέσεις, στα ανθρακικά πετρώματα, στο φλύσχη και στους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους. Μέση συνισταμένη διεύθυνση κανονικών ρηγμάτων στις αλουβιακές αποθέσεις: ΡΣ =122° & ΡΠ=106°, στα ανθρακικά πετρώματα: ΡΣ =96° & ΡΠ=92°, στο φλύσχη: ΡΣ =88° & ΡΠ=85° και στους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους: ΡΣ =159° & ΡΠ=76°

Παρατηρούμε από τα ροδοδιαγράμματα των εικόνων 5.3 έως 5.5, ότι τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας έχουν διεύθυνση κυρίως Δ-Α, ενώ τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας (επωθήσεις, επιπεύσεις) έχουν διεύθυνση Β-Ν και ΒΔ-ΝΑ.

Τα κανονικά ρήγματα στο κεντρικό και νότιο τμήμα έχουν κυριάρχη διεύθυνση Δ-Α και ΒΔ-ΝΑ, ενώ στο βόρειο τμήμα, έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Τέλος, τα κανονικά ρήγματα στις αλουβιακές αποθέσεις, τα ανθρακικά πετρώματα και το φλύσχη έχουν διεύθυνση κυρίως Δ-Α και λιγότερο ΒΔ-ΝΑ και ελέγχονται από τα κανονικά ρήγματα της περιοχής, ενώ στους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ, ελέγχονται δηλαδή τόσο από τα κανονικά ρήγματα, όσο και από τις δομές της Όθρυς (ανάστροφα ρήγματα, μικρής γωνίας).

5.1.4. Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

5.1.4.1. Τμηματοποίηση Σπερχειού

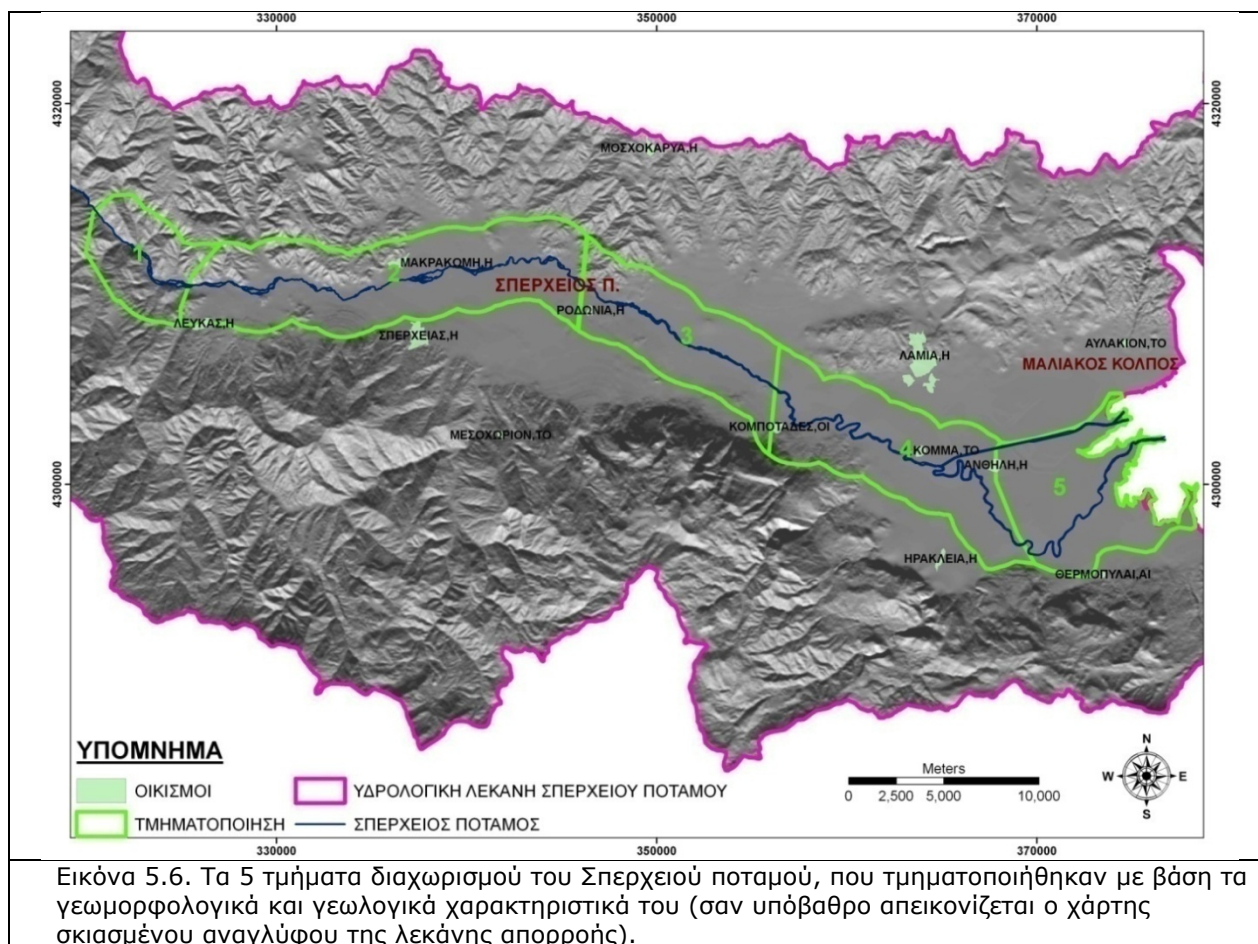
Από τα πρώτα στάδια της διατριβής έγινε αντιληπτό πως ο διαχωρισμός σε τμήματα του Σπερχειού ποταμού θα έκανε πιο ευχερή τη μελέτη του και θα βοηθούσε στην κατανόηση της παρούσας κατάστασης του που έχει προκύψει από την αλληλεπίδραση των διαφόρων παραγόντων που προαναφέρθηκαν. Όλοι αυτοί οι παράγοντες, αποτελούν ουσιαστικά τις παραμέτρους ενός εξαιρετικά δυναμικά μεταβαλλόμενου συστήματος και μπορούν από μόνοι τους να αποτελέσουν κριτήριο για ποικίλες επιμέρους τμηματοποιήσεις του Σπερχειού.

Με βάση τους θεματικούς χάρτες, ο Σπερχειός ποταμός παρουσιάζει τα ακόλουθα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, με βάση τα οποία μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες τμηματοποιήσεις: (α) με βάση το χάρτη των βροχομετρικών καμπυλών, στα ορεινά τμήματα δυτικά, όπου το ύψος των κατακρημνισμάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από το κεντρικό και ανατολικό τμήμα, (β) με βάση το χάρτη των υψομετρικών ζωνών, το δυτικό τμήμα του βρίσκεται σε ημιορεινό και ορεινό υψόμετρο, ενώ στο πεδινό το υψόμετρο είναι μικρότερο των 200 m. Στο δυτικό τμήμα οι κλίσεις κυμαίνονται από 15-20%, ενώ στο ανατολικό σταδιακά μειώνονται από 2-5% και τελικά φτάνουν στο δελταϊκό τμήμα να είναι μικρότερες από 0,5%, (γ) με βάση το γεωλογικό χάρτη, δυτικά η περιοχή καλύπτεται από τον σχηματισμό του φλύσχη, ενώ από το χωριό Βίτολη και μετά εισέρχεται στο τμήμα της αλουβιακής πεδιάδας και (δ) με βάση το χάρτη χρήσεων γης, ο Σπερχειός στο δυτικό τμήμα του διασχίζει δασική περιοχή και μετά εισέρχεται στο τμήμα με την καθαρά γεωργική εκμετάλλευση.

Καταυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μία ζώνη πλάτους 2,5 km εκατέρωθεν της κοίτης του Σπερχειού. Η ζώνη αυτή αποτελεί ουσιαστικά την ευρεία κοίτη ροής του ποταμού, η οποία χωρίστηκε σε 5 τμήματα (Εικόνα 5.6), σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

1) Τμήμα 1. Ξεκινάει από το χωριό Άγιος Γεώργιος και φτάνει μέχρι το χωριό Λευκάς, έχει μήκος ροής περίπου 8,3 km, οριζόντια απόσταση 6,5 km και καταλαμβάνει έκταση 27,5 km². Διαιρώντας το μήκος της ροής του ποταμού με την οριζόντια απόσταση, υπολογίζεται ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση έχει σχετικά μικρή τιμή, 1,28. Στο τμήμα αυτό ο Σπερχειός είναι κατά βάση ευθύς, δηλαδή η πορεία του προσεγγίζει την ευθεία γραμμή, ενώ προς το τέλος του τμήματος αυτού εμφανίζει χαρακτηριστικά διακλαδιζόμενης κοίτης. Το πλάτος της κοίτης για το ευθύ τμήμα είναι

περίπου 15-20 m, ενώ στο διακλαδιζόμενο τμήμα φτάνει και τα 200 m. Το υπόβαθρο αποτελείται από τον σχηματισμό του φλύσχη, ενώ η κλίση στο ευθύ τμήμα κυμαίνεται από 15-20% και στο διακλαδιζόμενο γύρω στο 10%.



2) Τμήμα 2. Ξεκινάει από την Λευκάς και φτάνει μέχρι την Ροδώνια, έχει μήκος ροής περίπου 25,6 km, οριζόντια απόσταση 20,6 km και καταλαμβάνει έκταση 91,7 km². Ο συντελεστής μαιανδρισμού έχει σχετικά μικρή τιμή, 1,24. Στο τμήμα αυτό ο Σπερχειός έχει καθαρά μορφή διακλαδιζόμενης κοίτης. Το πλάτος της κοίτης του κυμαίνεται από 40 έως και 400 m σε ορισμένα σημεία του. Το υπόβαθρο πλέον αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις, ενώ η κλίση του ποταμού κυμαίνεται από 2-5%.

3) Τμήμα 3. Ξεκινάει από την Ροδώνια και καταλήγει στους Κομποτάδες, έχει μήκος 12,6 km, οριζόντια απόσταση 11,4 km και καταλαμβάνει έκταση 49,8 km². Ο συντελεστής μαιανδρισμού έχει πολύ μικρή τιμή, 1,11. Στο τμήμα αυτό ο Σπερχειός έχει κυρίως ευθεία τμήματα, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν και μικρά τμήμα με διακλαδιζόμενη ροή αλλά και με ύπαρξη μικρών μαιανδρισμών. Το πλάτος της κοίτης του κυμαίνεται από 30 m στα ευθύγραμμα και μαιανδρικά τμήματα, ενώ στα διακλαδιζόμενα τμήματα το πλάτος φτάνει έως και 200 m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις, ενώ η κλίση του ποταμού κυμαίνεται από 1-2%.

- 4) Τμήμα 4. Ξεκινάει από τους Κομποτάδες και καταλήγει στην Ανθήλη, έχει μήκος 29,8 km, οριζόντια απόσταση 15,3 km και καταλαμβάνει έκταση 67,5 km². Ο συντελεστής μαιανδρισμού έχει πολύ μεγάλη τιμή, 1,95 και απεικονίζει την καθαρά μαιανδρική μορφή που έχει ο Σπερχειός στο τμήμα αυτό. Το πλάτος της κοίτης του κυμαίνεται από 25-30 m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις, ενώ η κλίση του ποταμού κυμαίνεται από 0,5-1%.
- 5) Τμήμα 5. Ξεκινάει από Ανθήλη και καταλήγει στην εκβολή του ποταμού στον Μαλιακό κόλπο. Έχει μήκος 14,2 km, οριζόντια απόσταση 9,3 km και καταλαμβάνει έκταση 50,5 km². Συνεπώς ο συντελεστής μαιανδρισμού έχει τιμή 1,53. Στο τμήμα αυτό ο Σπερχειός έχει κατά μορφή μαιανδρική στο πρώτο τμήμα, ενώ στο τμήμα πριν την εκβολή του γίνεται ευθύς και στο τέλος καταλήγει στον δελταϊκό τύπο. Το πλάτος της κοίτης του κυμαίνεται από 30 m στα τμήματα που είναι μαιανδρικός και ευθύς, ενώ στην εκβολή του φτάνει και τα 100 m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις, ενώ η κλίση του ποταμού κυμαίνεται από 0,1 -0,5%.

5.1.4.2. Αναβαθμίδες

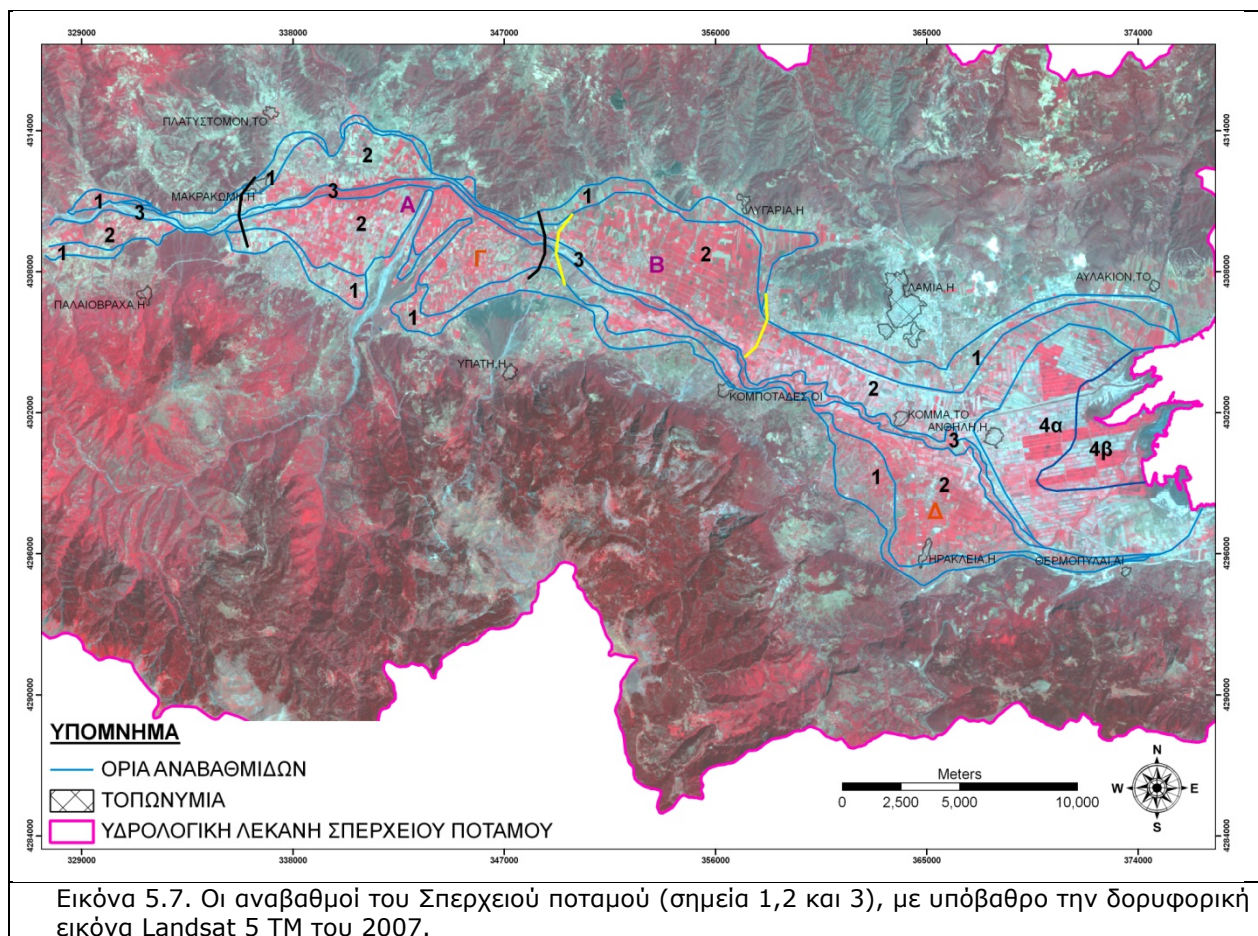
Αναβαθμίδες ενός ποτάμιου συστήματος, ονομάζονται οι κλιμακωτές, σχεδόν επίπεδες, παράλληλες ζώνες κατά μήκος της ροής του ποταμού. Κάθε βαθμίδα οφείλει τη δημιουργία της σε διάφορους φυσικούς παράγοντες. Στις ποτάμιες αναβαθμίδες διακρίνουμε δύο τύπους: (α) τις «τεκτονικές» αναβαθμίδες και (β) τις αναβαθμίδες «διάβρωσης».

Οι τεκτονικές αναβαθμίδες δημιουργούνται από τη δράση των ενδογενών δυνάμεων που προκαλούν ανόρθωση και καμπύλωση των πετρωμάτων, οπότε, όταν η μεταβολή συμβαίνει για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο ποταμός βαθαίνει την κοίτη του, ενώ ανεβαίνει το επίπεδο των προσχώσεών του. Όταν η δράση των τεκτονικών δυνάμεων είναι περισσότερο έντονη, ο ποταμός είναι δυνατό να φτάσει μέχρι το χαμηλότερο πέτρωμα της κοίτης του. Οι αναβαθμίδες διάβρωσης δημιουργούνται από τις διαβρωτικές, τις αποσασθρωτικές και τις μεταφορικές ικανότητες του νερού. Ο ποταμός, με το πέρασμα του χρόνου, επιδρά αφαιρετικά στα υψηλά και προσθετικά στα πιο χαμηλά σημεία, επειδή το υλικό που αποσασθρώνει και αφαιρεί από τα υψηλά σημεία του εδάφους το μεταφέρει και το αποθέτει στα χαμηλά. Αργότερα, λόγω των βροχοπτώσεων, αυξάνεται η παροχή σε νερό του ποταμού καθώς και η μεταφορική του ικανότητα, οπότε σκάβει πιο βαθιά την κοίτη του, επάνω στα υλικά που είχε αποθέσει. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται και σε νεότερα χρόνια, οπότε διακρίνονται οι διαδοχικές διαβρώσεις στις προσχωσιγενείς περιοχές με τις αντίστοιχες χρονολογικά αναβαθμίδες.

Στην περίπτωση της λεκάνης του Σπερχειού, έχουν επιδράσει και οι δύο παράμετροι (τεκτονική και διάβρωση) και έχουν σχηματιστεί τρεις αναβαθμίδες, οι οποίες απεικονίζονται στην εικόνα 5.7.

Η 1^η αναβαθμίδα, βρίσκεται παρά το κράσπεδο των ορεινών τμημάτων (σημείο 1, εικόνα 5.7) και η οποία είναι η παλιότερη. Η 2^η αναβαθμίδα είναι η πλέον εκτεταμένη από τις τρεις (σημείο 2, εικόνα 5.7). Σε ορισμένες θέσεις έχει προέλθει από την επιπέδωση-διάβρωση παλαιοκώνων (περιοχές Γ και Δ, εικόνα 5.7) και σε άλλες θέσεις έχει προέλθει σαν αποτέλεσμα πλημμυρικών διεργασιών (περιοχές που είχαν σχηματιστεί μικρές λίμνες)

(περιοχή Α, ανάμεσα στις δύο μαύρες καμπύλες και Β, ανάμεσα στις δύο κίτρινες καμπύλες, εικόνα 5.7). Η 3^η αναβαθμίδα βρίσκεται παρά την κοίτη του ποταμού Σπερχειού και είναι η νεότερη (σημείο 3, εικόνα 5.7). Τέλος, διαχωρίστηκε η παράκτια περιοχή (σημείο 4, εικόνα 5.7) των δελταϊκών αποθέσεων που αποτελούσαν ένα παλαιό-δέλτα (4α) και το σημερινό νέο-δέλτα (4β).



Εικόνα 5.7. Οι αναβαθμοί του Σπερχειού ποταμού (σημεία 1,2 και 3), με υπόβαθρο την δορυφορική εικόνα Landsat 5 TM του 2007.

Αναλυτικότερα ο 1^{ος} αναβαθμός ξεκινάει από την περιοχή δυτικά της Μακρακώμης και βρίσκεται περίπου στο ύψος των σπιτιών της, με εμφανή επιπέδωση 6-8 m, επάνω από την κοίτη. Ο 2^{ος} αναβαθμός έχει ύψος περίπου 1-1,5 m και ο 3^{ος} 0,5-0,8 m. Στο ύψος της Υπάτης ο 2^{ος} αναβαθμός βρίσκεται 3 m πάνω από την κοίτη και 6 m χαμηλότερα από τον 1^ο αναβαθμό. Ο 1^{ος} αναβαθμός σταδιακά ενοποιείται με τον 2^ο. Στην διαδρομή ανατολικά της Υπάτης ο 1^{ος} αναβαθμός παρουσιάζει μία επιπέδωση με κλίση της επιφάνειας του προς τα ανατολικά. Από τον Σταυρό και ανατολικά, παρατηρούμε μία μεγάλη επιπέδωση του 2^{ου} αναβαθμού, το ύψος του οποίου φτάνει τα 4 m. Στην διαδρομή Λαμίας-Μοσχοχωρίου ο 3^{ος} αναβαθμός έχει ύψος περίπου 1 m, και ο 2^{ος} έχει ύψος 2,5-3 m πάνω από την κοίτη, αντίστοιχα. Στην περιοχή αυτή ο 1^{ος} αναβαθμός καταλαμβάνει μικρή σχετικά έκταση και ενοποιείται με τα πλευρικά κορήματα (σημείο Δ, εικόνα 5.73). Στην περιοχή του Ασωπού ποταμού ο 3^{ος} αναβαθμός (Κάτω Δαμάστα) αποτελεί καλλιεργήσιμη έκταση. Τέλος, στη

γέφυρα της Αλαμάνας και δεξιά της Εθνικής οδού, ο 2^{ος} αναβαθμός βρίσκεται 1,5 m πάνω από την κοίτη.

Όσον αφορά την συμμετρία των αναβαθμών εκατέρωθεν της κοίτης του Σπερχειού, ο 1^{ος} αναβαθμός, παρουσιάζει μία σχετικά καλή συμμετρία σε όλο το μήκος του ποταμού. Αντίθετα, ο 2^{ος} αναβαθμός ενώ στο ύψος της Μακρακώμης παρουσιάζει συμμετρικότητα, στην περιοχή της Λυγαριάς, είναι πιο εκτεταμένος στο βόρειο από ότι είναι στο νότιο τμήμα. Το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει στην περιοχή του χωριού Κόμμα όπου ο 2^{ος} αναβαθμός είναι λίγο πιο εκτεταμένος στην νότια πλευρά.

5.1.4.3. Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου

Η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού, πραγματοποιήθηκε με το σύστημα ταξινόμησης κατά Strahler (1952, 1954). Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, σε κάθε κλάδο του δικτύου αποδίδεται ένας αριθμός που χαρακτηρίζει την τάξη του. Οι κλάδοι χωρίς ανάντη συμβολές αριθμούνται με τάξη 1. Όταν συμβάλλουν δύο κλάδοι με την ίδια τάξη i , στον αμέσως κατάντη κλάδο αποδίδεται τάξη $i+1$. Στην περίπτωση όμως που συμβάλλουν κλάδοι με διαφορετικές τάξεις, ο κατάντη κλάδος διατηρεί τη μεγαλύτερη από τις δυο τάξεις των ανάντη κλάδων. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχειού, έδειξε ότι αυτό φτάνει στην εκβολή του σαν 8^{ης} τάξης (κεφ. 3, παρ. 3.2.7). Αναλυτικότερα, τα μήκη ανά τάξη ρεμάτων απεικονίζονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1. Μήκη ανά τάξη ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου του Σπερχειού ποταμού

Τάξη ρεμάτων	Αριθμός κλάδων	Μήκος (km)
1η	8.222	2.766,3
2η	2.066	1.129,1
3η	467	557,8
4η	109	339,3
5η	30	210,5
6η	7	80,4
7η	2	36,5
8η	1	60,3
Σύνολο	10.904	5.180,2

Από την εξέταση του υδρογραφικού δικτύου και το ποσοστό που έχει κάθε τάξη σε σχέση με την επόμενη της τάξη, διαπιστώνεται ότι ένας σημαντικός αριθμός κλάδων κυρίως 3^{ης}, 4^{ης} και 6^{ης} τάξης χύνονται απευθείας σε κλάδους ανώτερης τάξης ή και κατευθείαν στον κύριο κλάδο 7^{ης} και 8^{ης} τάξης που είναι Σπερχειός. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από την μεγάλη επιμήκυνση που παρουσιάζει ο Σπερχειός, εξαρτώμενος άμεσα από την τεκτονική της περιοχής.

5.1.5. Ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

Τις δεκαετίες του 1930 και 1940 οι ιδέες του R.E. Horton οδήγησαν σε θεμελιώδεις αλλαγές θεώρησης της επιστήμης της επιφανειακής υδρολογίας. Αποτελούσαν δε την πρώτη προσπάθεια να εξηγηθεί η μορφή των ρεμάτων και των υδρολογικών λεκανών μέσα από

μαθηματική προσέγγιση, που οδήγησε έπειτα στην ποσοτικοποίηση της γεωμορφολογίας. Οι ιδέες του Horton αργότερα ενισχύθηκαν με ορισμένες ποσοτικοποιημένες γεωμετρικές παραμέτρους (γραμμικές, τοπικές και χαρακτηριστικών αναγλύφου) από τον Strahler (1954, 1957, 1958, 1964). Ως ποσοτική ανάλυση ενός υδρογραφικού δικτύου ορίζεται η μαθηματική έκφραση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του. Η ποσοτική ανάλυση παρέχει την δυνατότητα συγκρίσεων μεταξύ των δομικών στοιχείων ενός υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή των κλάδων του, των λεκανών απορροής του και των μεσολεκάνιων περιοχών. Επίσης, η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου βοηθάει στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στην πρόβλεψη της εξέλιξης και στον προσδιορισμό της υδρολογικής συμπεριφοράς των υδρογραφικών δικτύων (Παράσχου & Βουβαλίδης 2006, Kamh 2008).

Για την ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχειού και της υδρολογικής λεκάνης του, υπολογίστηκαν και επεξεργάστηκαν οι γεωμορφολογικές παράμετροι που κρίθηκαν απαραίτητες για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε ότι αφορά την εξέλιξη του δικτύου και τη διερεύνηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης. Ο πίνακας 5.2 που ακολουθεί περιλαμβάνει τις βασικές παραμέτρους, τον μαθηματικό τύπο, καθώς και τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν, τόσο για το υδρογραφικό δίκτυο όσο και για την λεκάνη απορροής (Chorley et al. 1984, Parcharidis et al. 2001, Γιαννόπουλος 2002, Ritter et al. 2002, Παυλίδης και αλ. 2004, Γιαννόπουλος και αλ. 2005, Κατσέλης 2008, Kamh 2008).

5.1.5.1. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού

Ο κύριος άξονας του ποταμού Σπερχειού αρχίζει στην θέση Άγιος Γεώργιος και έχει μήκος 85,2 km. Κατάντη του χωριού Κόμμα υπάρχει μεριστής ο οποίος διαχωρίζει την ροή του Σπερχειού σε δύο κοίτες, του Αγωγού Εκτροπής ή Υπερχειλιστή ο οποίος ευθύγραμμα σχεδόν, οδηγεί τα πλημμυρικά νερά του Σπερχειού από τον συντομότερο δρόμο στη θάλασσα και την φυσική κοίτη της «Αλαμάνας» ή Νέας κοίτης. Η κοίτη του Σπερχειού τροφοδοτείται από χείμαρρους μόνιμης και περιοδικής ροής, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Ρουσιανίτης, ο Ίναχος (Βίστριτσα), ο Γοργοπόταμος, ο Ασωπός και ο Ξηριάς Λαμίας. Κατά τα 2/3 του μήκους της, η κοιλάδα του εμφανίζει έντονες κλίσεις, που δίνουν στον ποταμό χαρακτήρα ορεινό-χειμαρρικό, με οξείες αιχμές πλημμυρών και πολύ έντονη στερεοπαροχή. Αντίθετα, κατά το τελευταίο 1/3 της διαδρομής του, ο Σπερχειός μετατρέπεται σταδιακά σε πεδινό ποταμό και διασχίζει χαμηλές περιοχές, όπου προκαλεί συχνά σημαντικές πλημμύρες.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου, αλλά αναπτύσσεται περισσότερο κατά τον επιμήκη άξονά του. Σημαντικός αριθμός παραποτάμων εκβάλλει απευθείας στον επιμήκη κύριο κλάδο του ποταμού, που ακολουθεί το ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα της λεκάνης του Σπερχειού.

Οι μορφομετρικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την λεκάνη απορροής και τον Σπερχειό ποταμό, απεικονίζονται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.2. Βασικές μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης υδρογραφικού δικτύου

Παράμετρος	Υπολογισμός	Μονάδες	Αναφορά	Περιγραφή
Υδρολογική λεκάνη απορροής				
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km ²	-	Το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής του ποταμού Σπερχειού
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	km	Apolloν 1963	Η ευθεία γραμμή από την έξοδο της λεκάνης μέχρι το πιο απομακρυσμένο σημείο της
Πλάτος (Br)	$Br = A/Lb$	km	-	Ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς μήκος της λεκάνης
Περίμετρος (P)	Μετρήθηκε	km	-	Το μήκος του υδροκρίτης που περικλείει την επιφάνεια της λεκάνης απορροής
Ολικό ανάγλυφο (Basin relief)	$H = H_{max} - H_{min}$	m	Strahler 1952	Η υψομετρική διαφορά του υψηλότερου σημείου της λεκάνης, όπως αυτό καθορίζεται από τον υδροκρίτη της και του στομίου (σημείου εξόδου)
Μέση τιμή υψομέτρου (hmedian)	Υπολογίστηκε	m	-	Υπολογίζεται από την υψομετρική καμπύλη έως εκείνο το υψόμετρο, για το οποίο το ποσοστό 50% της έκτασης της λεκάνης βρίσκεται πάνω από αυτό
Μέσο υψόμετρο (hmean)	Υπολογίστηκε	m	-	Υπολογίζεται από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο
Μέση κλίση λεκάνης	$BS = \sum Li * d / A$	%	Gregory & Walling 1973	Ο λόγος του συνολικού μήκους των ισοϋψών καμπυλών επί την ισοδιάσταση προς το εμβαδό της λεκάνης
Συντελεστής αναγλύφου (Relief ratio)	$RH = H / Lb$	m/km	Schumm 1956	Ο λόγος του ολικού αναγλύφου προς την οριζόντια απόσταση κατά μήκος της μεγαλύτερης διάστασης της λεκάνης, παράλληλη με την κύρια υδρογραφική γραμμή
Συντελεστής μήκους-πλάτους	$S = Lb / Br$	-	-	Ο λόγος του μήκους της λεκάνης προς το πλάτος της
Συντελεστής σχήματος	$R_f = A / Lb^2$	-	Horton 1932	Ο λόγος του εμβαδού προς τετράγωνο του μήκους της λεκάνης
Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	$R_c = 4\pi A / P^2$	-	Miller 1953	Ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς το λόγο του εμβαδού του κύκλου που έχει περίμετρο ίση με την περίμετρο της λεκάνης. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0 έως 1, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί σε λεκάνη μορφής τέλειου κύκλου
Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	$Re = 1,129(A)^{0,5} / Lb$	-	Schumm 1956	Ο λόγος της διαμέτρου κύκλου που έχει εμβαδό ίσο με αυτό της λεκάνης προς το μήκος αυτής
Δείκτης πυκνότητας	$C_o = 0,282P / (A)^{0,5}$	-	Luchisheva 1960	Ο λόγος της περιμέτρου της λεκάνης προς την περίμετρο κύκλου με εμβαδό ίσο με της λεκάνης
Υδρογραφικό δίκτυο				
Συνολικός αριθμός κλάδων (Nu)	Υπολογίστηκε	-	-	Συνολικός αριθμός κλάδων του υδρογραφικού δικτύου
Συνολικό μήκος ρεμάτων (L)	Μετρήθηκε	km	-	Άθροισμα του συνολικού μήκους των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου
Συντελεστής διακλάδωσης (Bifurcation ratio)	$R_b = Nu / Nu + 1$	-	Horton 1932, 1945	Ο λόγος του αριθμού των ρεμάτων της τάξης u προς τον αριθμό των ρεμάτων της επόμενης τάξης u+1
Μήκος κύριου ρέματος (Main stream length)	Lm	Km	-	Το μήκος του κύριου ρέματος που αποστραγγίζει την υδρολογική λεκάνη
Συχνότητα (Stream frequency)	$F = \sum N_u / A$	n/Km ²	Horton 1932, 1945	Εκφράζει τον αριθμό των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας.
Πυκνότητα (Drainage density)	$D = \sum L / A$	Km/km ²	Horton 1932, 1945	Εκφράζει το συνολικό μήκος των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας. Εξαρτάται από το κλίμα, τις γεωλογικές συνθήκες, τον εδαφικό μανδύα και την φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής

Συντελεστής υφής (Texture ratio)	$Rt = \Sigma Nu/P$	n/km	Smith 1950	Ο λόγος του συνολικού αριθμού των ρεμάτων προς την περίμετρο της λεκάνης
Συντελεστής μαιανδρισμού (Sinuosity index)	$C = Lm/Lb$	-	Leopold et al. 1964	Ο λόγος του μήκους του κύριου ρέματος προς την μικρότερη απόσταση μεταξύ της αρχής και της εξόδου της λεκάνης
Συντελεστής κλίσης (Slope index)	$Sr = H/Lm$	m/km	Taylor & Schwarz 1952	Ο λόγος του ολικού αναγλύφου προς το μήκος του κύριου ρέματος

Πίνακας 5.3. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχειού

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	1.828
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	65,89
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	30,01
Περίμετρος	(P)	km	300,20
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	2.437
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	0
Ολικό ανάγλυφο	$H = h_{max} - h_{min}$	m	2.437
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	520
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	626
Μέση κλίση λεκάνης	$BS = \Sigma Li d/A$	%	34
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	$RH = H/(Lb)$	m/km	36,99
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	$S = (Lb)/(Br)$	-	2,17
Συντελεστής σχήματος	$Rf = A/ Lb^2$	-	0,04
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	$Rc = 4\pi A/P^2$	-	0,26
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	$Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb$	-	0,73
Δείκτης πυκνότητας	$C_o = 0,282P/(A)^{0,5}$	-	1,98
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	10.904
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	5.246,40
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	85,2
Υδρολογική πυκνότητα (density)	$D = (L)/(A)$	km/km ²	2,87
Υδρολογική συχνότητα (frequency)	$F = (N)/(A)$	/km ²	5,97
Συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity)	$C = Lm/Lb$	-	1,29
Συντελεστής κλίσης	$Sr = H/Lm$	m/km	28,60

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.3, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού είναι μία αρκετά μεγάλη σε έκταση λεκάνη, με εμβαδόν 1.828 km² και αρκετά μεγάλο μήκος (65,89 km). Το μεγάλο μήκος της λεκάνης φαίνεται και από την μεγάλη τιμή του συντελεστή μήκους-πλάτους ($S=2,17$). Είναι μία αρκετά ορεινή λεκάνη με μέση τιμή υψομέτρου 626 m, με υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου πολύ μεγάλη (ολικό ανάγλυφο $H=2.437$ m) και μεγάλη μέση κλίση (34%). Η μέση κλίση της λεκάνης αποτελεί μία ποσοτική έκφραση της τραχύτητας του αναγλύφου. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο περισσότερο απότομο και τραχύ είναι το ανάγλυφο της κοιλάδας που έχει δημιουργήσει η κοίτη του συγκεκριμένου κλάδου. Στη διαμόρφωση των κλιτύων της λεκάνης απορροής σημαντικοί παράγοντες είναι η λιθολογία, ο τεκτονισμός, το κλίμα, η βλάστηση και άλλα.

Ο συντελεστής αναγλύφου έχει τιμή 36,99 m/km και ο συντελεστής κλίσης τιμή 28,60 m/km. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλές και οφείλονται στην διαφοροποίηση του βόρειου, τμήματος που έχει ηπιότερο ανάγλυφο και κλίσεις πρανών, σε σχέση με το νότιο.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει τιμή 1,98 και απεικονίζει μία υψηλή αναλογία περιμέτρου προς εμβαδόν. Όσο περισσότερο αυξάνει ο δείκτης πυκνότητας τόσο αυξάνουν και οι χρόνοι συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης, δηλαδή η επιφάνειά της εκτείνεται σε μήκος. Ο συντελεστής σχήματος της λεκάνης έχει τιμή 0,04 και λειτουργεί αντίστροφα από

τον δείκτη πυκνότητας, δηλαδή οι μικρές τιμές χαρακτηρίζουν επιμήκεις λεκάνες. Επίσης, τιμές του δείκτη επιμήκυνσης που πλησιάζουν το μηδέν χαρακτηρίζουν επιμήκεις λεκάνες. Η λεκάνη του Σπερχειού παρουσιάζει σχετικά χαμηλή τιμή (0,73) του δείκτη επιμήκυνσης. Τέλος, ο δείκτης κυκλικότητας παρουσιάζει σχετικά χαμηλή τιμή, γεγονός που δείχνει επίσης, την επιμήκυνση που χαρακτηρίζει την λεκάνη. Γενικά, οι κυκλικές λεκάνες ευνοούν τον γρήγορο σχηματισμό και κίνηση μιας πλημμύρας. Η επιμήκυνση της λεκάνης θα οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι η λεκάνη απορροής του Σπερχειού δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη επικινδυνότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα. Το γεγονός αυτό δεν δίνει την πραγματική διάσταση των χαρακτηριστικών της λεκάνης, διότι υπάρχει τεράστια διαφοροποίηση του νότιου απότομου τμήματος, το οποίο σε μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, παροχετεύει στον Σπερχειό σε μικρό χρόνο, μεγάλες ποσότητες νερού, τις οποίες είναι αδύνατο να διαχειριστεί το ανατολικό μαιανδρικό τμήμα του ποταμού.

Όσον αφορά την συχνότητα του υδρογραφικού δικτύου, αυτή αποτελεί μία πολύ σημαντική παράμετρο, που μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις διαδικασίες απορροής μιας λεκάνης. Έχει άμεση σχέση με τον κατακερματισμό του αναγλύφου και τα χαρακτηριστικά της γεωλογίας της περιοχής (αδιαπέρατοι επιφανειακοί σχηματισμοί και υψηλό ανάγλυφο). Γενικά οι υψηλές τιμές υδρογραφικής συχνότητας υποδηλώνουν υψηλές επιφανειακές απορροές με μεγάλους ρυθμούς διάβρωσης. Συνολικά, στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού, η υδρογραφική συχνότητα έχει τιμή 5,97 που είναι πολύ υψηλή και αναδεικνύει τα πλημμυρικά προβλήματα που παρουσιάζει.

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, αποτελεί επίσης μία πολύ σημαντική παράμετρο, τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη. Σχετίζεται άμεσα με πολλές άλλες παραμέτρους, όπως το κλίμα, τη βλάστηση, το έδαφος, τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών και το ανάγλυφο (*Melton 1958, Sotiriadis & Astaras 1977, Kelson & Wells 1989, Παυλόπουλος & Καρύμπαλης 2003, Lin & Oguchi 2004*). Η πυκνότητα διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στις διαδικασίες της απορροής, επηρεάζει την ένταση-σφοδρότητα των χειμαρρικών πλημμυρών και την συγκέντρωση του φορτίου των μεταφερόμενων ιζημάτων και εξασφαλίζει τον αριθμητικό υπολογισμό της διαδικασίας απορροής. Γενικά, παρουσιάζει χαμηλές τιμές σε περιοχές με περατά πετρώματα, πυκνή βλάστηση και ήπιο ανάγλυφο. Στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού, έχει τιμή 2,87. Η τιμή αυτή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή και αυτό οφείλεται στην μεγάλη ετερογένεια τόσο των πετρωμάτων της λεκάνης, όσο και του αναγλύφου, καθώς και στην πυκνή βλάστηση που παρουσιάζει σε πολύ μεγάλο τμήμα της.

Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity) απεικονίζει τον βαθμό μαιανδρισμού που παρουσιάζει ο κύριος κλάδος αποστράγγισης της λεκάνης και όσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει, τόσο πιο αυξάνεται η επικινδυνότητα πλημμυρικών συμβάντων. Στην λεκάνη του Σπερχειού έχει σχετικά μέτρια τιμή (1,29). Αυτό συμβαίνει γιατί το δυτικό κομμάτι έχει πολύ μικρή τιμή, η οποία μειώνει την συνολική, ενώ αντίθετα το ανατολικό κομμάτι είναι αυτό που δίνει πολύ μεγάλη τιμή μαιανδρισμού (sinuosity), λόγω του πολύ έντονου μαιανδρισμού που παρουσιάζει και ο οποίος σε συνδυασμό με τις πολύ μικρές κλίσεις, δημιουργεί τα πλημμυρικά προβλήματα της περιοχής.

5.1.4.2. Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Ο πρώτος νόμος του Horton (αριθμού των κλάδων), αναφέρεται στη σχέση του αριθμού των κλάδων κάθε τάξης ενός υδρογραφικού δικτύου. Για την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Σπερχείου ποταμού, υπολογίστηκαν οι λόγοι διακλάδωσης (Rb), ο ιδανικός αριθμός κλάδων κάθε τάξης και τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (πίνακας 5.4). Ο δεύτερος νόμος του Horton (μήκους των κλάδων) αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό τα μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και λόγος, ο λόγος του μήκους (Παυλόπουλος & Καρύμπαλης 2003, Βρουχάκης και αλ. 2004, Κατσέλης 2008) (Πίνακας 5.5).

Πίνακας 5.4. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχείου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton (αριθμού των κλάδων)

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \overline{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	8.222	3,98	3,73	10.045	-18,14
2	2.066	4,42		2.693	-23,28
3	467	4,28		722	-35,32
4	109	3,63		194	-43,81
5	30	4,29		52	-42,31
6	7	3,5		14	-50,00
7	2	2		4	-50,00
8	1			1	0,00

Πίνακας 5.5. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Σπερχείου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους \overline{RL}	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,34	1,62	2,17	0,34	0,00
2	0,55	2,16		0,74	-25,68
3	1,19	2,61		1,60	-25,63
4	3,11	2,26		3,47	-10,38
5	7,02	1,64		7,54	-6,90
6	11,49	1,59		16,36	-29,77
7	18,25	3,30		35,5	-48,59
8	60,3			77,04	-21,73

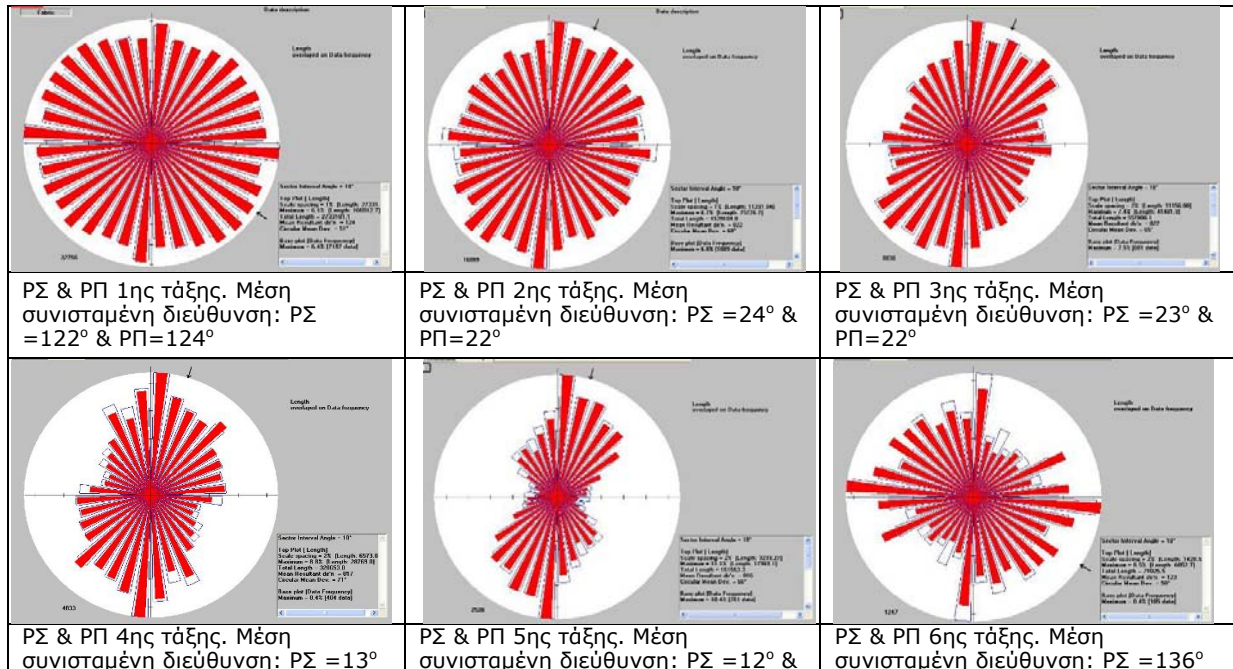
Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης,

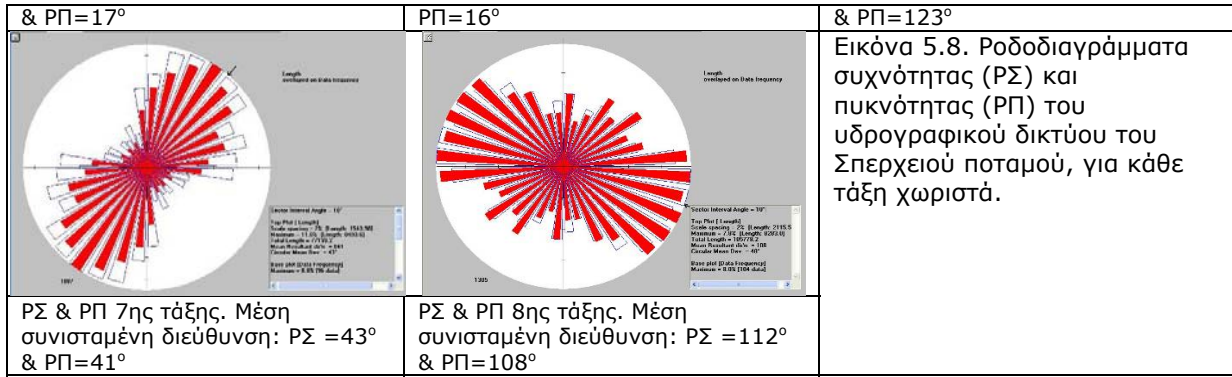
βρίσκεται σε στάδιο εξέλιξης και ότι αρκετά μεγάλο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από περατούς σχηματισμούς, που στην προκειμένη περίπτωση καλύπτουν περίπου το 50% (κεφ. 3, παρ. 3.2.5.2). Γενικά, οι αρνητικές τιμές, οφείλονται στη γεωλογική, τεκτονική και λιθολογική δομή της περιοχής. Τέλος, βλέπουμε ότι ο λόγος διακλάδωσης των ρεμάτων της λεκάνης, λαμβάνει τιμές από 3-5. Η μικρή αυτή τιμή δείχνει ότι, ναι μεν η τεκτονική της περιοχής επηρεάζει σημαντικά τον κεντρικό κλάδο, αλλά στο σύνολο της λεκάνης η επίδραση είναι μικρότερη.

5.1.4.3. Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου, ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.8). Σκοπός της δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της συχνότητας (διεύθυνση) και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής. Ο διαχωρισμός της τάξης των ρεμάτων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του ArcGIS (v. 9,1), ενώ η δημιουργία των ροδοδιαγραμμάτων με την βοήθεια του ειδικού λογισμικού Georient (v. 9,1).

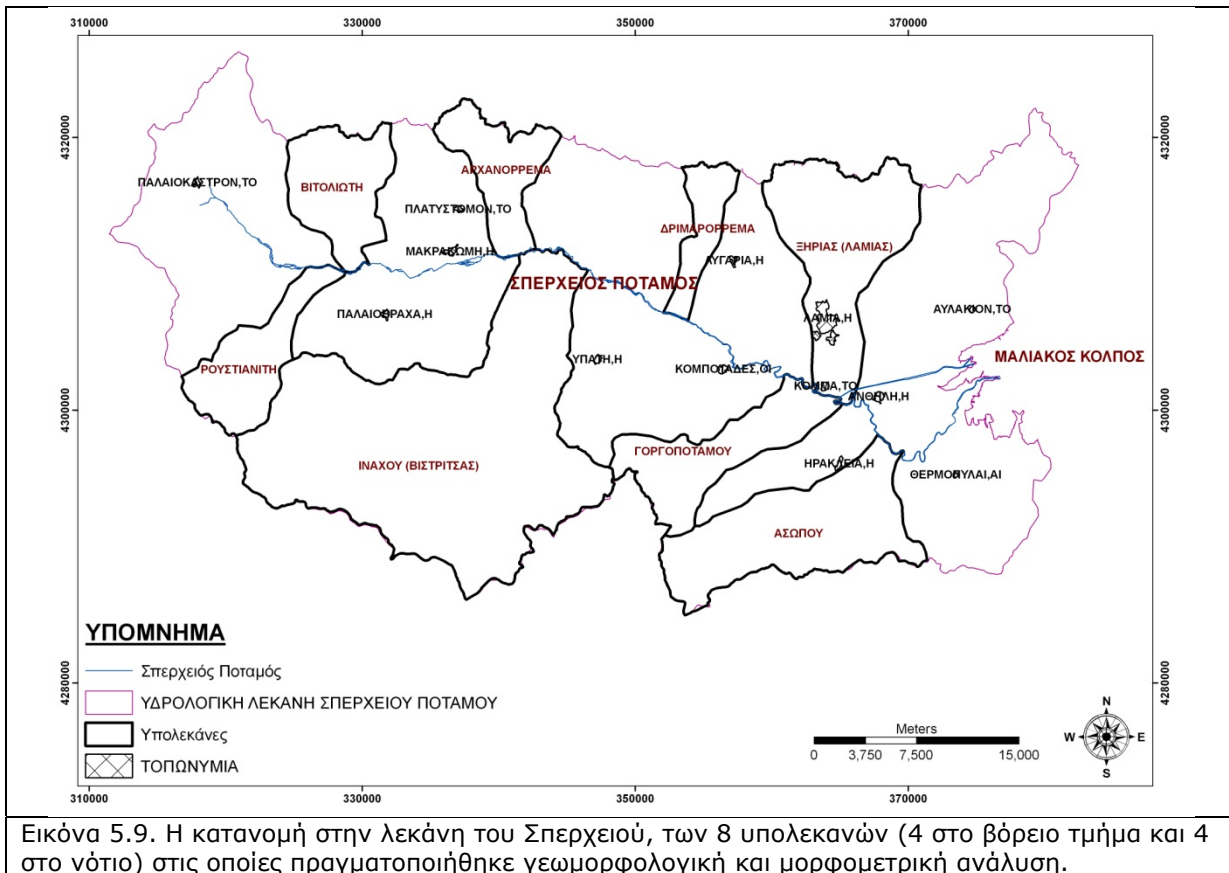
Η συχνότητα και η πυκνότητα, ουσιαστικά αντικατοπτρίζουν την διεύθυνση και ποσότητα ανά επιφάνεια των ρεμάτων. Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι στα ρέματα των τάξεων 2, 3, 4, 5 και 7 η επικρατούσα διεύθυνση των κλάδων είναι μεταξύ 12-43°, δηλαδή ΒΑ-ΝΔ και ακολουθεί τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις) ή παλαιότερα ρήγματα της περιοχής. Αντίθετα, στα ροδοδιαγράμματα των τάξεων 1, 6 και 8 (Σπερχειός) η επικρατούσα διεύθυνση τόσο της συχνότητας, όσο και της πυκνότητας κυμαίνεται μεταξύ 108-136°, δηλαδή Δ-Α και ΝΑ-ΒΔ και συμπίπτει με την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας (παρ. 5.1.3). Οι κλάδοι αυτοί δηλαδή, έχουν επηρεαστεί από την νεοτεκτονική της περιοχής.





5.1.6. Μορφομετρικές παράμετροι των κύριων υπολεκανών του ποταμού Σπερχείου

Πραγματοποιήθηκε η γεωμορφολογική και μορφομετρική ανάλυση των οκτώ κυριότερων υπολεκανών, τεσσάρων στη βόρεια πλευρά και τεσσάρων στη νότια πλευρά, της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού. Οι υπολεκάνες που μελετήθηκαν ήταν των ποταμών, Ίναχου, Γοργοπόταμου και Ασωπού και του ρέματος Ρουστιανίτη για το νότιο τμήμα της λεκάνης και του ποταμού Ξηριά Λαμίας και των ρεμάτων Βιτολιώτη, Αρχανόρρεμα Δριμαρόρρεμα και του Ξηριά Λαμίας για το βόρειο τμήμα της λεκάνης (Εικόνα 5.9).



Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου της κάθε λεκάνης ξεχωριστά, υπολογίστηκε ο 1^{ος} νόμος του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, υπολογίστηκαν οι λόγοι διακλάδωσης (Rb), ο ιδανικός αριθμός κλάδων κάθε τάξης και τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών. Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) και οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε η διασταύρωση (cross) του θεματικού χάρτη των γεωλογικών ενότητων με τον χάρτη του υδρογραφικού δικτύου, με σκοπό την καταγραφή της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογική ενότητα και, έμμεσα, την ανάδειξη της διαβρωσιμότητας της κάθε ενότητας, δεδομένου ότι το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί ουσιαστικά ένα δείκτη που αποκαλύπτει την ευκολία ή δυσκολία διάβρωσης μιας γεωλογικής ενότητας.

Ταυτόχρονα, υπολογίστηκε η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα, διότι αποτελεί έναν πιο ασφαλή δείκτη που παρέχει πληροφορίες για την διαβρωσιμότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Η ανάπτυξη πολλών κλάδων 1ης τάξης σε μία περιοχή αντικατοπτρίζει ουσιαστικά την ευκολία με την οποία το γεωλογικό υπόβαθρο διαβρώνεται (Γατσής 2006). Επίσης, δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας και πυκνότητας με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης τους με την τεκτονική και την γεωλογία της κάθε λεκάνης.

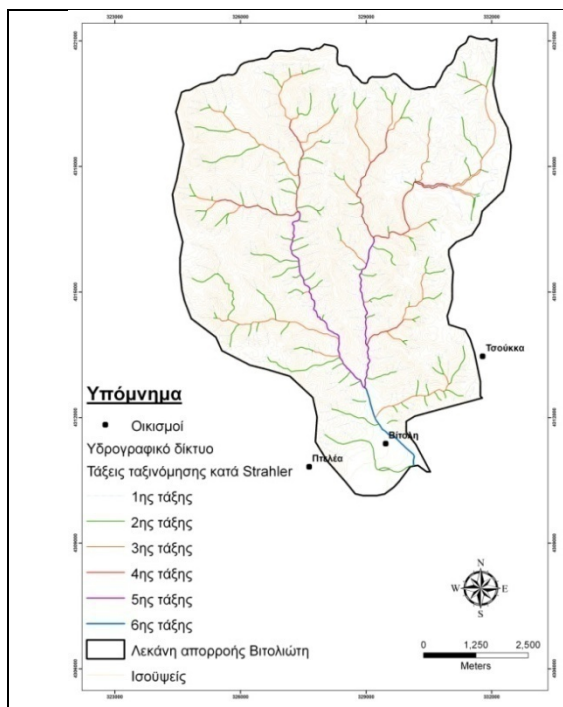
Τέλος, με την βοήθεια του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM) και το Spatial Profil του ERDAS Imagine, δημιουργήθηκε για κάθε λεκάνη, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη. Η μορφή αυτού του προφίλ ουσιαστικά, είναι η γραφική παράσταση του υψομέτρου σαν συνάρτηση της απόστασης κατά μήκος του κύριου ρέματος ή ποταμού και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η γεωλογία, το στάδιο παλαιογεωγραφικής εξέλιξης, ο τεκτονισμός, το ανάγλυφο κ.α. (Zavoianu 1985, Gelabert et al. 2005).

5.1.6.1. Λεκάνη ρέματος Βιτολιώτη

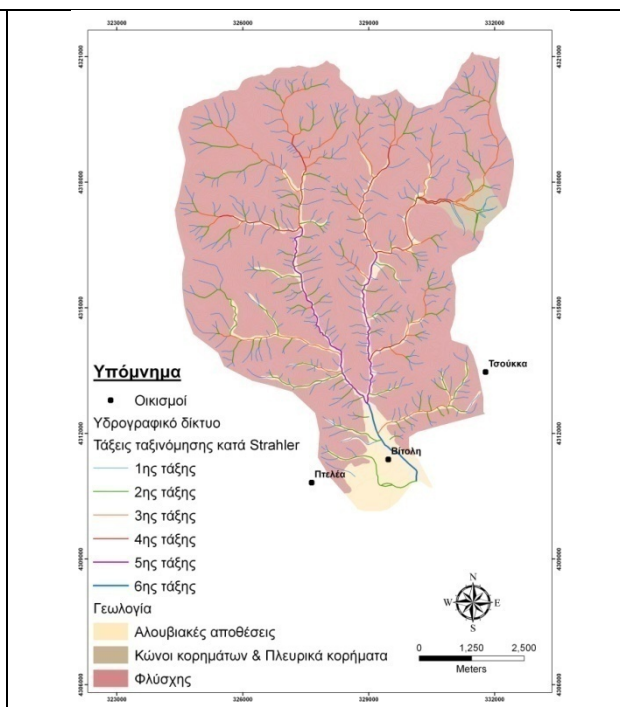
Η λεκάνη απορροής του ρέματος Βιτολιώτη βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού. Ο Βιτολιώτης, πηγάζει από τις κορυφές Μπιρμπιλιώ και Προφήτης Ηλίας και ρέει με διεύθυνση ΒΑ –ΝΔ. Διέρχεται δυτικά του οικισμού της Τσούκκας και της Βιτόλης. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος, έδειξε ότι ο κεντρικό κλάδος αποστράγγισης είναι 6^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 573 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 437 είναι πρώτης τάξης, 104 δεύτερης τάξης, 24 τρίτης τάξης, 5 τέταρτης τάξης, 2 πέμπτης τάξης και 1 κλάδος 6^{ης} τάξης (Εικόνα 5.10). Το 70% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, στο ορεινό και πολύ ορεινό τμήμα της λεκάνης (Πίνακας 5.6, Διάγραμμα 5.11).

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο μέρος της καταλαμβάνει ο σχηματισμός του φλύσχη (88,25%), που βρίσκεται

στα ανάντη της λεκάνης, ενώ τα κατόντη αποτελούνται από αλουβιακές αποθέσεις (9,72%), ενώ υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό με κώνους κορημάτων (2,03%) (Εικόνα 5.12).



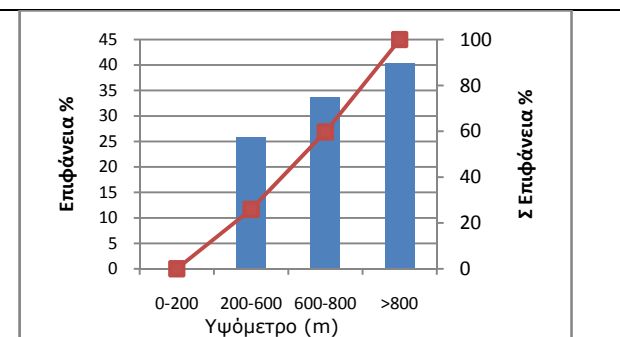
Εικόνα 5.10. Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Βιτολιώτη (κλίμακα 1:40.000).



Εικόνα 5.12. Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης.

Υψόμετρο	Ε (km ²)	Ε (%)	Σ(Ε%)
0-200	0	0,00	0,00
200-600	15,25	25,91	25,91
600-800	19,88	33,78	59,69
>800	23,72	40,31	100,00
Σύνολο	58,85	100,00	

Πίνακας 5.6. Τα ποσοστά της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.



Διάγραμμα 5.11. Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Βιτολιώτη

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του ρέματος Βιτολιώτη απεικονίζονται στον πίνακα 5.7, ενώ στην εικόνα 5.13 εμφανίζεται μια προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.7, η λεκάνη απορροής του Βιτολιώτη είναι μία σχετικά μικρή σε έκταση λεκάνη, με εμβαδόν 58,85 km². Πρόκειται για μία αρκετά ορεινή λεκάνη με μέση τιμή υψομέτρου 747,4 m, με αρκετά μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου

και ελάχιστου υψόμετρου (ολικό ανάγλυφο $H=1.066$ m) και μεγάλη μέση κλίση (44%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος έχουν πολύ μεγάλες τιμές 101,99 m/km και 92,24 m/km, αντίστοιχα.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει χαμηλή τιμή 1,33 και απεικονίζει μία υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν. Όταν ο δείκτης πυκνότητας είναι μικρός, τόσο μικραίνει και ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης, δηλαδή η επιφάνειά της εκτείνεται σε πλάτος. Το ίδιο υποδηλώνουν και οι τιμές του συντελεστή του σχήματος και του δείκτη κυκλικότητας, που είναι μεγάλες, καθώς και ο συντελεστής μήκους πλάτους, που είναι μικρός. Γενικά, όλες οι παραπάνω τιμές σκιαγραφούν μία λεκάνη όπου γενικά ευνοείται ο γρήγορος σχηματισμός και κίνηση μιας πλημμύρας. Αντίθετα, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι αναπάντεχα μεγάλη και δείχνει ότι, παρά την κυκλικότητα της λεκάνης, υπάρχει μία τάση επιμήκυνσής της.

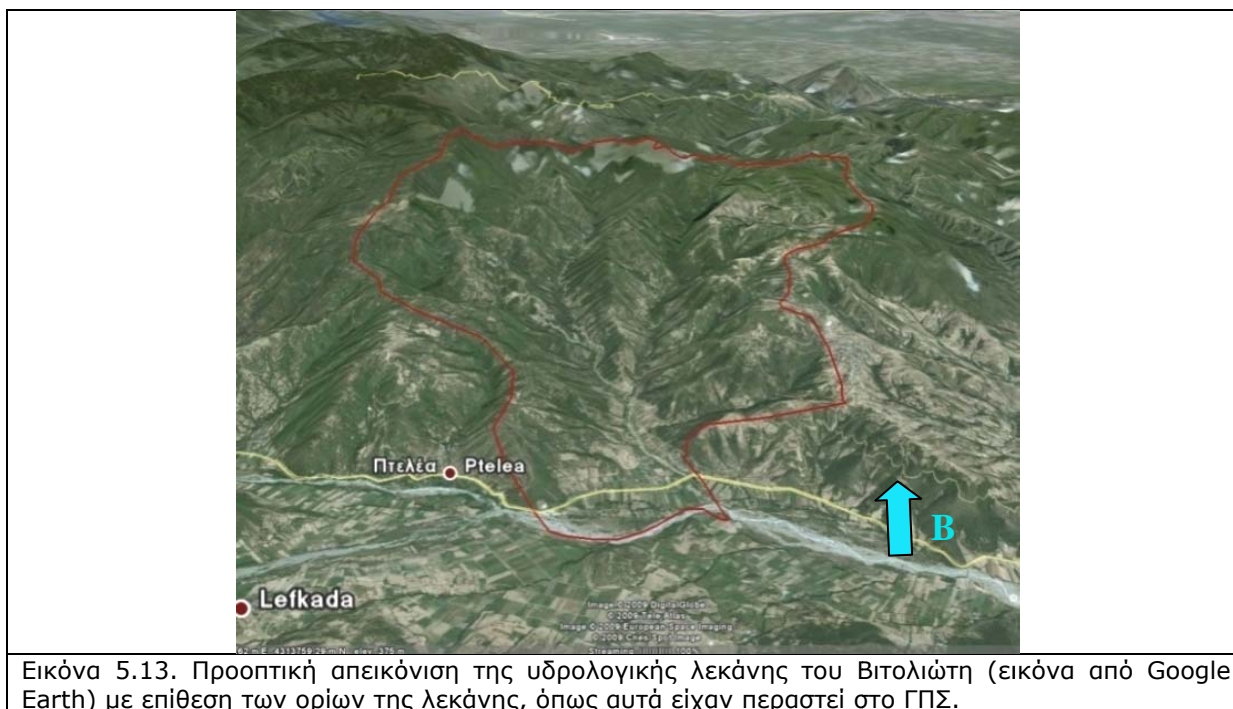
Πίνακας 5.7. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	58,85
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	10,47
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	5,62
Περίμετρος	(P)	km	36,28
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	1.281,31
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	215
Ολικό ανάγλυφο	$H = h_{max} - h_{min}$	m	1.066,31
Μέση τιμή υψόμετρου h _{median}	-	m	670
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	747,41
Μέση κλίση λεκάνης	$BS = \sum Li d/A$	%	44
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	$RH = H/(Lb)$	m/km	101,84
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	$S = (Lb)/(Br)$	-	1,86
Συντελεστής Σχήματος	$Rf = A/ Lb^2$	-	0,54
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	$Rc = 4\pi A/P^2$	-	0,56
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	$Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb$	-	1,54
Δείκτης πυκνότητας	$C_o = 0,282P/(A)^{0,5}$	-	1,33
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	573
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	219,77
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	11,56
Υδρολογική πυκνότητα	$D = (L)/(A)$	km/km ²	3,73
Υδρολογική συχνότητα	$F = (N)/(A)$	1/km ²	9,74
Συντελεστής μαιανδρισμού	$C = Lm/Lb$	-	1,10
Συντελεστής κλίσης	$Sr = H/Lm$	m/km	92,24

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν τιμές 3,73 και 9,74, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλές και δείχνουν μία λεκάνη με αδιαπέρατα πετρώματα (φλύσχης) και σχετικά υψηλό ανάγλυφο που ευνοεί τις μεγάλες επιφανειακές απορροές και τον σχηματισμό ενός πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και των κλάδων 1^{ης} τάξης με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.8).



Εικόνα 5.13. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Βιτολιώτη (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν, φαίνεται ότι ο φλύσχος, εμφανίζει τις μεγαλύτερες πυκνότητες του υδρογραφικού δικτύου και του δικτύου 1ης τάξης. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται φυσιολογικό, δεδομένου ότι ο φλύσχος χαρακτηρίζεται από την υψηλή του διαβρωσιμότητα και την χαμηλή του περατότητα, ιδιότητες που ευνοούν την ανάπτυξη ενός πυκνού δικτύου αποστράγγισης.

Πίνακας 5.8. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,92	0,13
Κώννοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,16	0,05
Φλύσχος	2,69	1,87

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

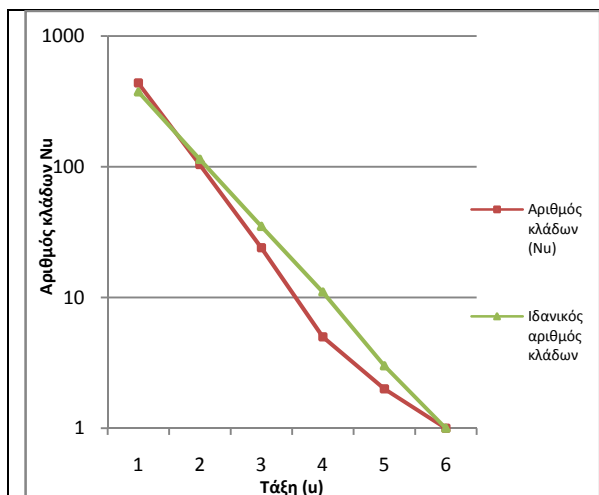
Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.9) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.14). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.10). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.15).

Πίνακας 5.9. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος Βιτολιώτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

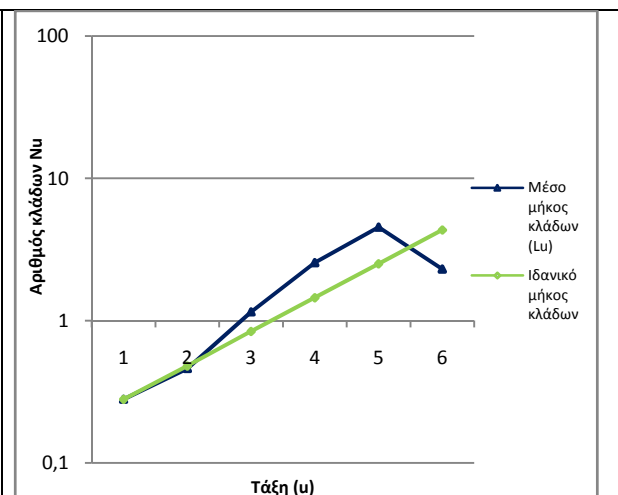
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \bar{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	437	4,20	3,27	374	+16,85
2	104	4,33		114	-8,77
3	24	4,8		35	-31,43
4	5	2,5		11	-54,55
5	2	2		3	-33,33
6	1	1		1	0

Πίνακας 5.10. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους \bar{RL}	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,28	1,64	1,73	0,28	0,00
2	0,46	2,50		0,48	-4,17
3	1,15	2,22		0,84	+36,91
4	2,55	1,78		1,45	+75,86
5	4,53	0,51		2,51	+80,48
6	2,30			4,34	-47,00



Διάγραμμα 5.14. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



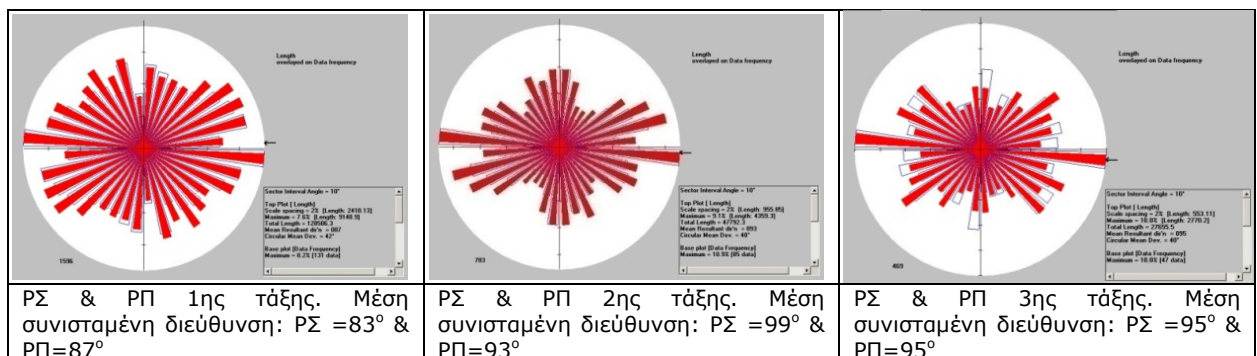
Διάγραμμα 5.15. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Βιτολιώτη από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

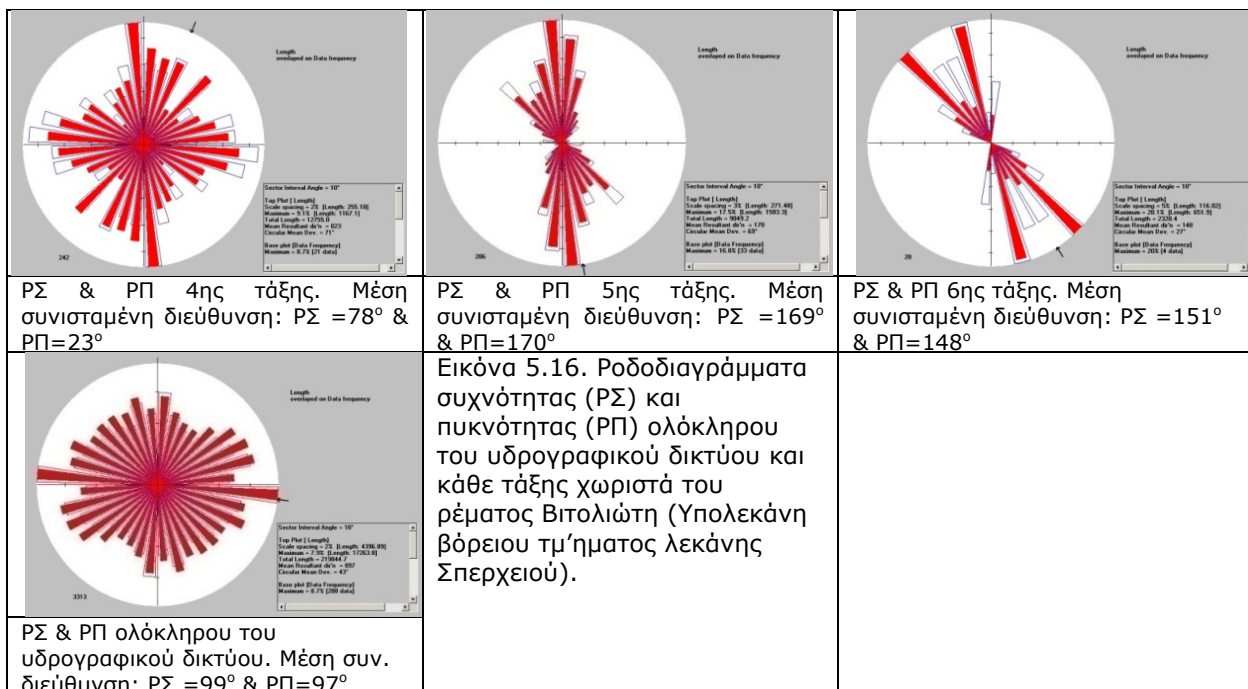
Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο νόμο υπάρχει γενικά μία σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές, που δείχνει το ότι η λεκάνη βρίσκεται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης. Εξαιρέση αποτελεί η 1^η τάξη όπου η τιμή είναι θετική και η 2^η τάξη, όπου η τιμή είναι ελάχιστα αρνητική. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κυριαρχία του σχηματισμού του φλύσχη, ο οποίος λόγω της πολύ χαμηλής του περατότητας, ευνοεί την ανάπτυξη πυκνότερου υδρογραφικού δικτύου. Σύμφωνα με τις τιμές του 2^{ου} νόμου, διαπιστώνουμε, με εξαίρεση τους κλάδους της 2^{ης} τάξης, ότι το μήκος των κλάδων είναι μεγαλύτερο τω ιδανικών τιμών, γεγονός που οφείλετε στη γενικότερη βύθιση που παρουσιάζει το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και η οποία οδηγεί στην δημιουργία πολλών και μικρών κλάδων. Τέλος, βλέπουμε ότι ο λόγος διακλάδωσης των ρεμάτων της λεκάνης, λαμβάνει τιμές από 3-5. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν μία μικρή επίδραση της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο και μία σχετικά ομοιογενή από πετρολογική άποψη περιοχή (Παυλόπουλος 2003, Βρουχάκης και αλ. 2004, Κατσέλης 2008).

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη ξεχωριστά, τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.16), με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης τους με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.

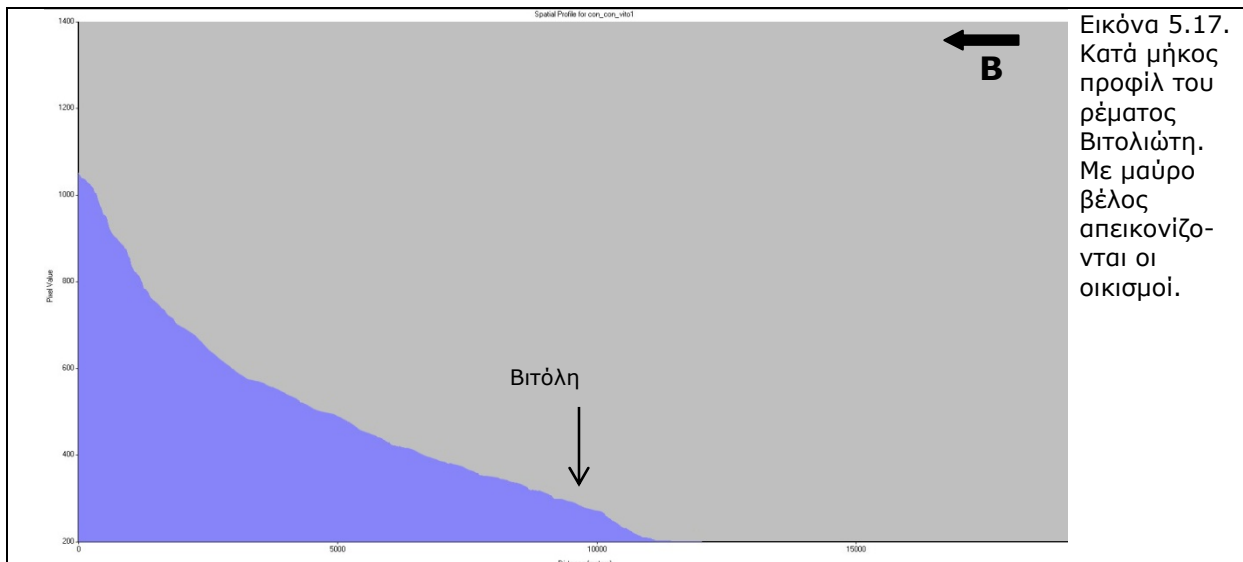
Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι στα ρέματα 4^{ης} τάξης η επικρατούσα διεύθυνση είναι 78°, δηλαδή ΒΒΑ-ΝΝΔ, από την οποία φαίνεται ότι ακολουθούν την διεύθυνση των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας. Αντίθετα τα ρέματα 5^{ης} και 6^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση 151-169°, δηλαδή ΝΑ-ΒΔ και να μεν ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας, αλλά φαίνεται ότι επηρεάζονται και από τα κανονικά ρήγματα. Στα ροδοδιαγράμματα των τάξεων 1, 2 και 3, όπως και για το σύνολο της λεκάνης, η επικρατούσα διεύθυνση τόσο της συχνότητας, όσο και της πυκνότητας κυμαίνεται μεταξύ 83-99°, δηλαδή Δ-Α και συμπίπτει με την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας. Συνεπώς τα ρήγματα μικρών τάξεων δείχνουν ότι έχουν επηρεαστεί από την νεοτεκτονική. Οι κλάδοι 4^{ης}, 5^{ης} και 6^{ης} τάξης επηρεάζονται κυρίως από τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας ή και από παλαιότερα ρήγματα της περιοχής.





Δημιουργία Προφίλ

Δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Βιτολιώτη, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.17). Είναι εμφανές στο προφίλ αυτό, το σχετικά ήπιο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη καθώς και η αρκετά μεγάλη υψομετρική διαφορά του μέγιστου από το ελάχιστο υψόμετρο.

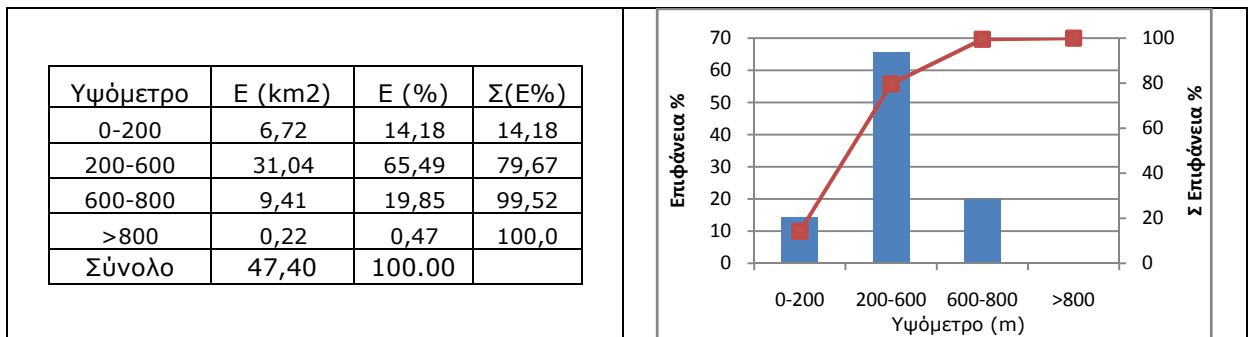


Εικόνα 5.17. Κατά μήκος προφίλ του ρέματος Βιτολιώτη. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί.

5.1.6.2. Λεκάνη ρέματος Αρχανόρρεμα

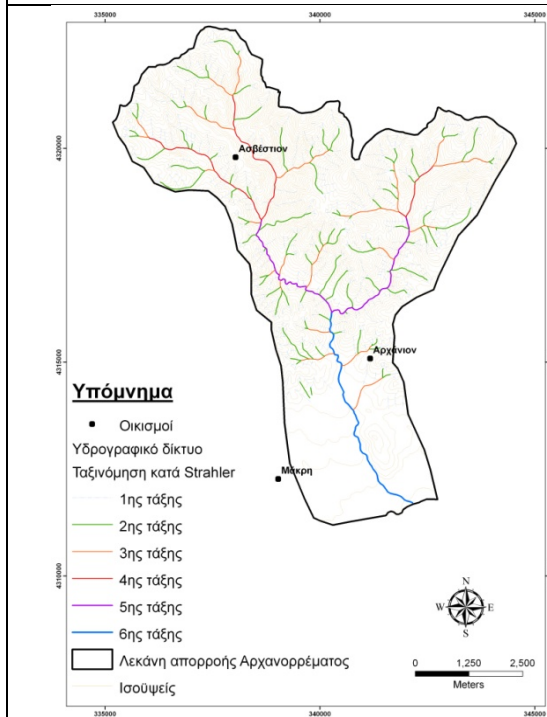
Η λεκάνη του Αρχανορρέματος βρίσκεται στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Πηγάζει από τις κορυφές «Κούτρα», «Μαυρότοπο» και «Κοκάλια». Διέρχεται από τον οικισμό Ασβέστιον, δυτικά από τον οικισμό Αρχάνιο και συμβάλει στον Σπερχειό. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος, έδειξε ότι ο κύριος κλάδος του είναι 6^{ης} τάξη. Συνολικά περιλαμβάνει 484 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 361 είναι πρώτης τάξης, 94 δεύτερης τάξης, 22 τρίτης τάξης, 4 τέταρτης τάξης, 2 πέμπτης τάξης, και 1 κλάδο 6^{ης} τάξης (Εικόνα 5.18).

Το 65% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μικρότερα των 600 m, στο ημιορεινό και πεδινό τμήμα της λεκάνης (Πίνακας 5.11, Διάγραμμα 5.19).

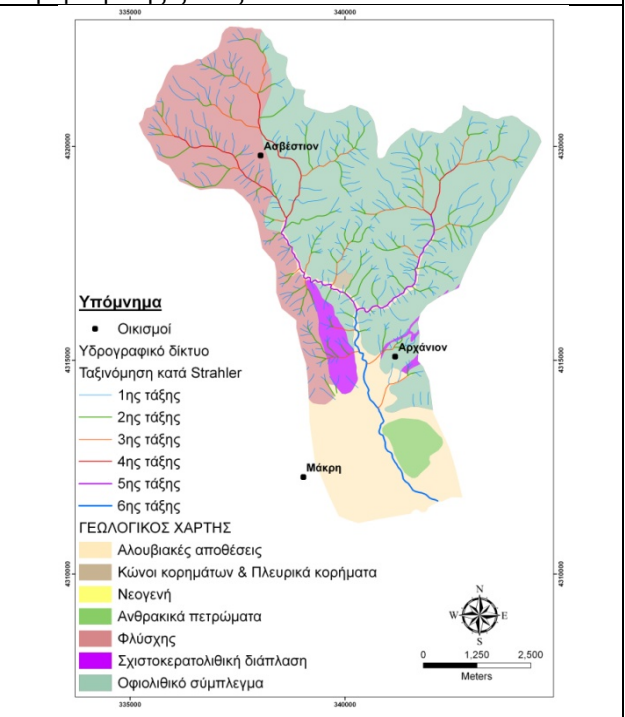


Πίνακας 5.11. Τα ποσοστά της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.

Διάγραμμα 5.19. Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.



Εικόνα 5.18. Το ταξινομημένο (κατά Strahler) υδρογραφικό δίκτυο του Αρχανορρέματος (κλίμακα 1:40.000).



Εικόνα 5.20. Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος η σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης.

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα πετρώματα των οφιόλιθων (53,10%), που δομούν το επάνω και ανατολικό κομμάτι της λεκάνης. Ο σχηματισμός του φλύσχη καταλαμβάνει ποσοστό 23,27% και βρίσκεται στο επάνω και δυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι αλουβιακές αποθέσεις που βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα της λεκάνης, έχουν έκταση 17,63%. Μικρές περιοχές καλύπτονται επίσης με τα ανθρακικά πετρώματα (2,59%), την σχιστοκερατολιθική διάπλαση (3,12%) και τους κώνους κορημάτων (0,29%) (Εικόνα 5.20).

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Αρχανορρέματος

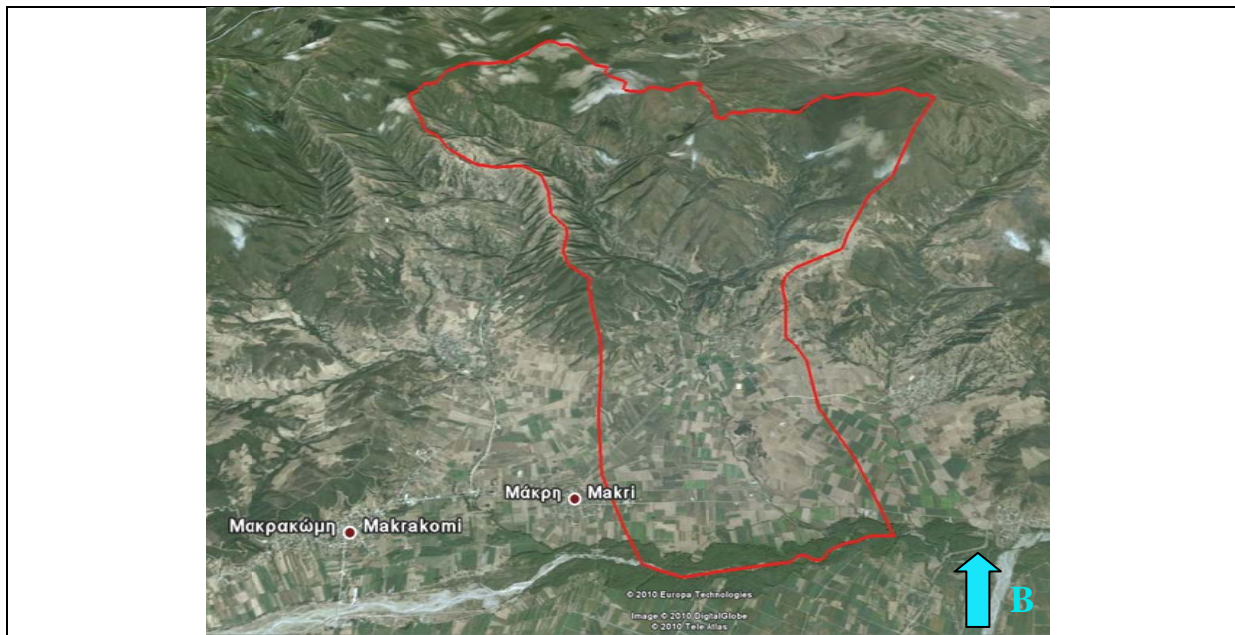
Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Αρχανορρέματος απεικονίζονται στον πίνακα 5.12, ενώ στην εικόνα 5.21 εμφανίζεται μια προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Πίνακας 5.12. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	47,40
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	12,22
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	3,88
Περίμετρος	(P)	km	38,54
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	826,45
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	100
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	726,45
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	420
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	452,64
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	%	32
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	59,45
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	3,15
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,32
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,40
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,64
Δείκτης πυκνότητας	C _o =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,58
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	484
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	180,78
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	14,46
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	3,81
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	10,21
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,18
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	50,23

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.12, η λεκάνη απορροής του Αρχανορρέματος είναι μία σχετικά μικρή σε έκταση λεκάνη, με εμβαδόν 47,40 km². Είναι μία ημιορεινή λεκάνη με μέση τιμή υψομέτρου 420 m, με μέτρια υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου, ειδικά σε σχέση με τις υπόλοιπες υπολεκάνες που εξετάζονται (ολικό ανάγλυφο H=726,5 m) και με μέτρια προς μεγάλη μέση κλίση (32%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος έχουν πολύ μικρές τιμές 59,45 m/km και 50,23 m/km, αντίστοιχα. Ο δείκτης πυκνότητας έχει χαμηλή τιμή 1,58 και απεικονίζει μία μέτρια προς υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν, δηλαδή η επιφάνεια της λεκάνης εκτείνεται σε μήκος και συνεπώς ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της μεγαλώνει. Το ίδιο υποδηλώνουν και οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας που είναι μικρές, ενώ αντίθετα ο συντελεστής μήκους-πλάτους έχει υψηλή

τιμή. Επίσης, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι μέτρια (0,64) και δείχνει μία μικρή τάση επιμήκυνσής της.



Εικόνα 5.21. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Αρχανορρέματος (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν τιμές 3,81 και 10,21, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλές και δείχνουν μία λεκάνη με ημιπερατά έως αδιαπέρατα πετρώματα (φλύσχης και οφιόλιθοι) που ευνοούν τον σχηματισμό ενός πυκνού υδρογραφικού δικτύου, με χαμηλό ανάγλυφο. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,18) και δείχνει την απουσία μαιανδρισμού.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.13). Με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν, φαίνεται ότι οι οφιόλιθοι και ο φλύσχης, εμφανίζουν τις μεγαλύτερες πυκνότητες του υδρογραφικού δικτύου και του δικτύου 1ης τάξης.

Πίνακας 5.13. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,36	0,04
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,01	0,01
Φλύσχης	1,06	0,64
Ανθρακικά πετρώματα	0,00	0,00
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	0,16	0,10
Οφιόλιθοι	2,05	1,23

Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται φυσιολογικό, δεδομένου ότι οι οφιόλιθοι είναι ημιπερατοί και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης, ενώ ο φλύσχος χαρακτηρίζεται επίσης από υψηλή διαβρωσιμότητα και πολύ χαμηλή περατότητα, ιδιότητες που ευνοούν την ανάπτυξη ενός πυκνού δικτύου αποστράγγισης 1ης τάξης.

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (R_b), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.14) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.22). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.15). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.23).

Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο νόμο υπάρχει γενικά μία σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές, που δείχνει το ότι η λεκάνη βρίσκεται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης. Σύμφωνα με τις τιμές του 2^{ου} νόμου, διαπιστώνετε, με εξαίρεση τους κλάδους της 2^{ης} και 3^{ης} τάξης, ότι το μήκος των κλάδων είναι μεγαλύτερο των ιδανικών τιμών, γεγονός που οφείλεται στη γενικότερη βύθιση που παρουσιάζει το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και η οποία οδηγεί στην δημιουργία πολλών και μικρών κλάδων. Τέλος, βλέπουμε ότι ο λόγος διακλάδωσης των ρεμάτων της λεκάνης (R_b), λαμβάνει τιμές από 3-5, που υποδηλώνουν μία μικρή επίδραση της τεκτονικής στο υδρογραφικό δίκτυο.

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

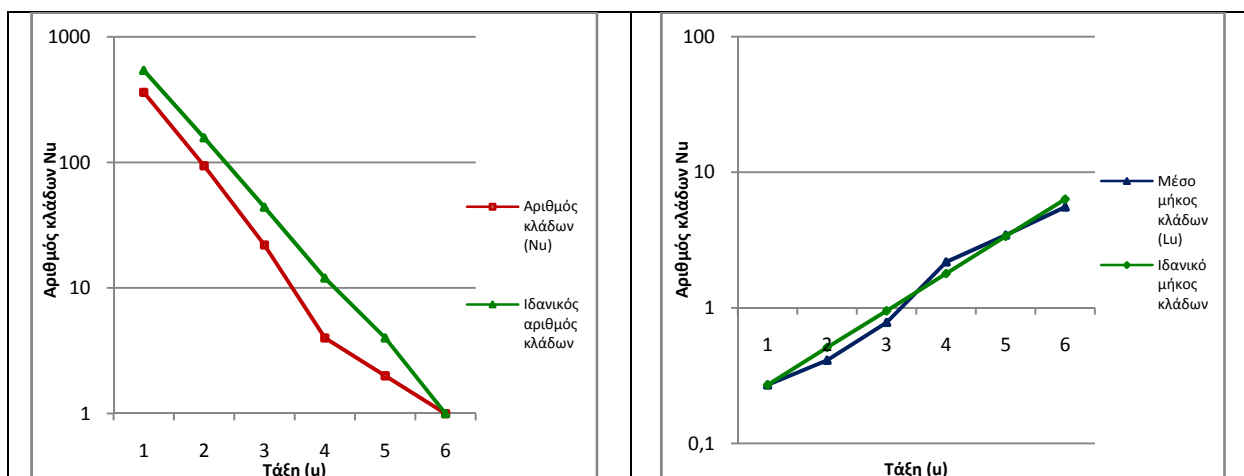
Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου, ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας ($P\Sigma$) και πυκνότητας ($P\Pi$) (Εικόνα 5.24), με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης του με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.

Πίνακας 5.14. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (R_b)	Μέσος λόγος διακλάδωσης $\overline{R_b}$	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	361	3,84	3,52	540	-33,15
2	94	4,27		157	-40,13
3	22	5,50		44	-50,00
4	4	2,00		12	-66,67
5	2	2,00		4	-50,00
6	1	2,00		1	0

Πίνακας 5.15. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (\overline{RL})	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,27	1,51	1,88	0,27	0,00
2	0,41	1,90		0,51	-19,61
3	0,78	2,80		0,95	-17,89
4	2,18	1,58		1,79	+21,79
5	3,44	1,61		3,37	+2,08
6	5,54			6,34	-12,62



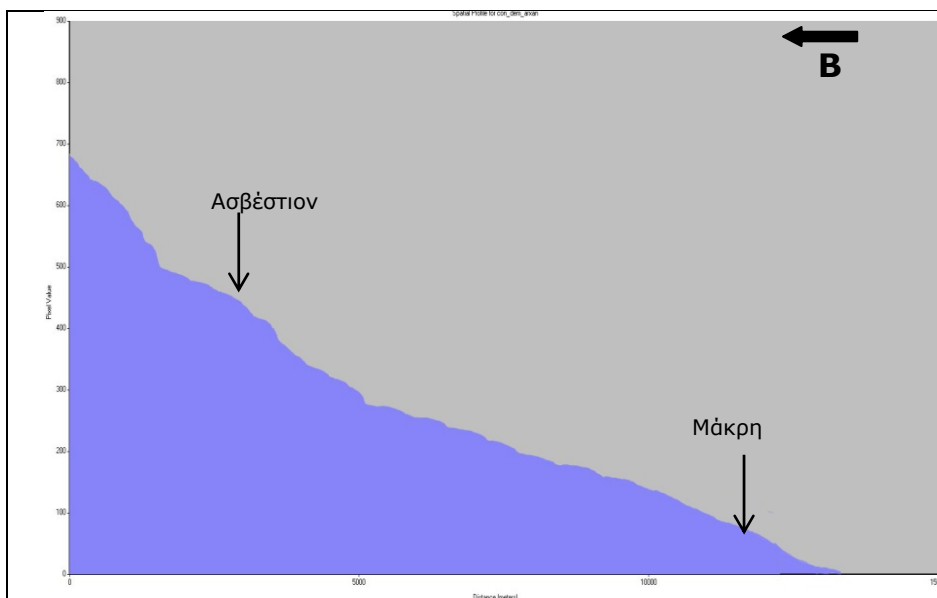
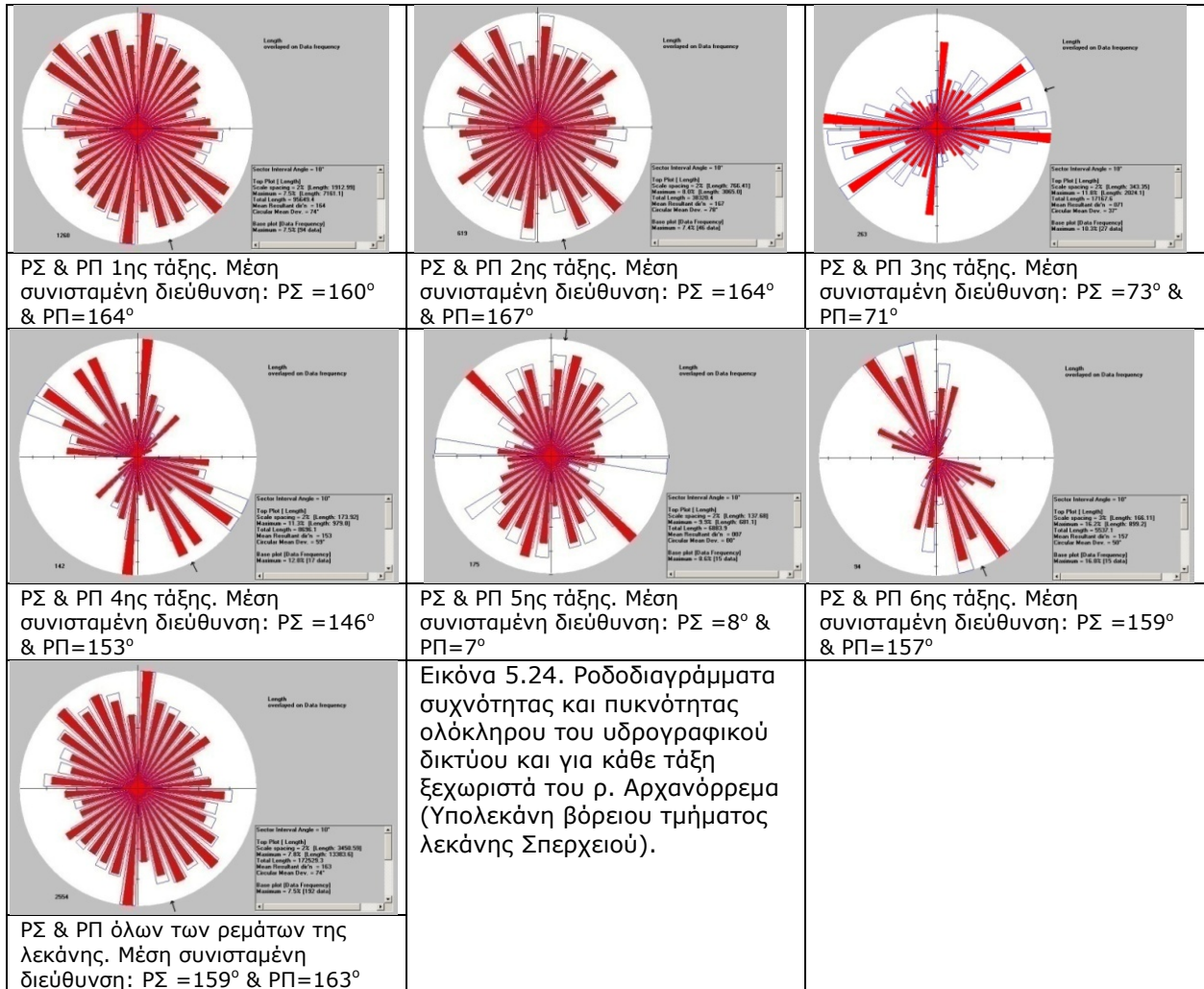
Διάγραμμα 5.22. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος από τις ιδανικές τιμές, ανά τάξη.

Διάγραμμα 5.23. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Αρχανορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

Από τα ροδιογράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης}, 2^{ης}, 4^{ης} και 6^{ης} παρουσιάζουν διεύθυνση από 146 έως 160°, δηλαδή διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ και ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας ή και παλαιότερα ρήγματα. Το ίδιο συμβαίνει και με τα ρέματα 5^{ης} τάξης (κλάδος Αρχανορρέματος) που παρουσιάζουν διεύθυνση 8° και έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Αντίθετα τα ρέματα 3^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση 73°, δηλαδή ΝΔ-ΒΑ και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας, επηρεαζόμενα από την νεοτεκτονική.

Δημιουργία Προφίλ

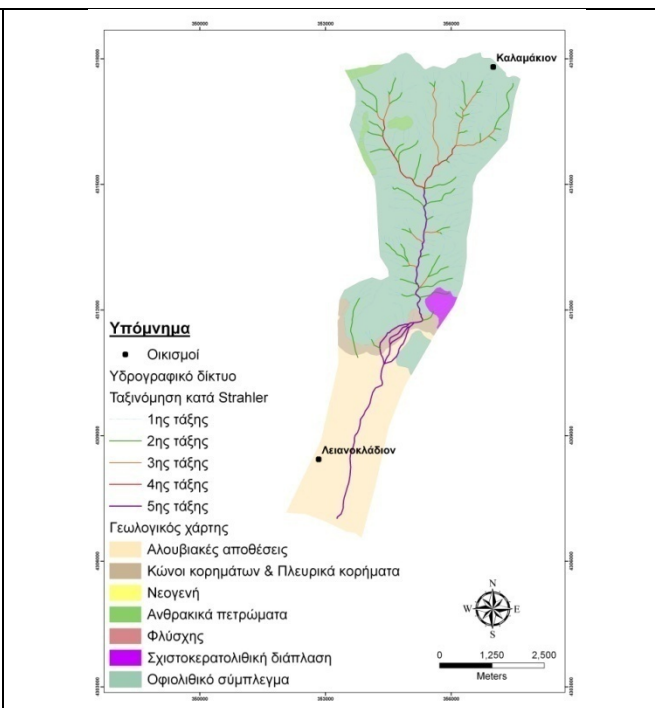
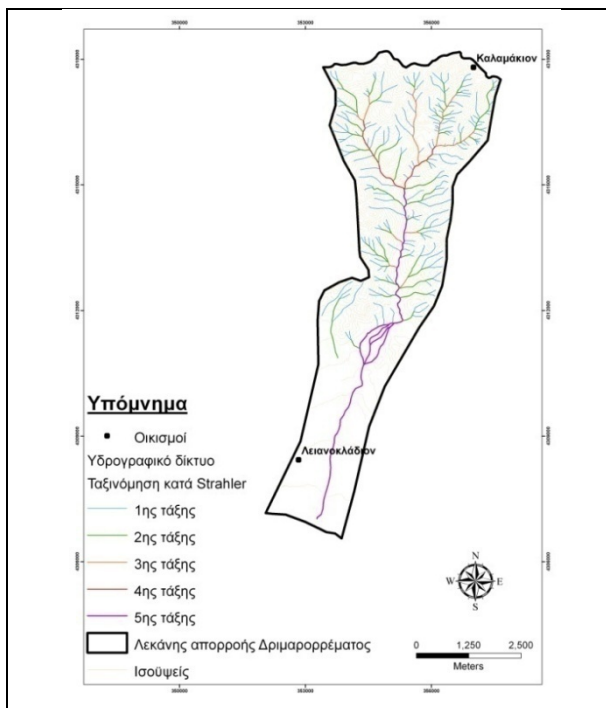
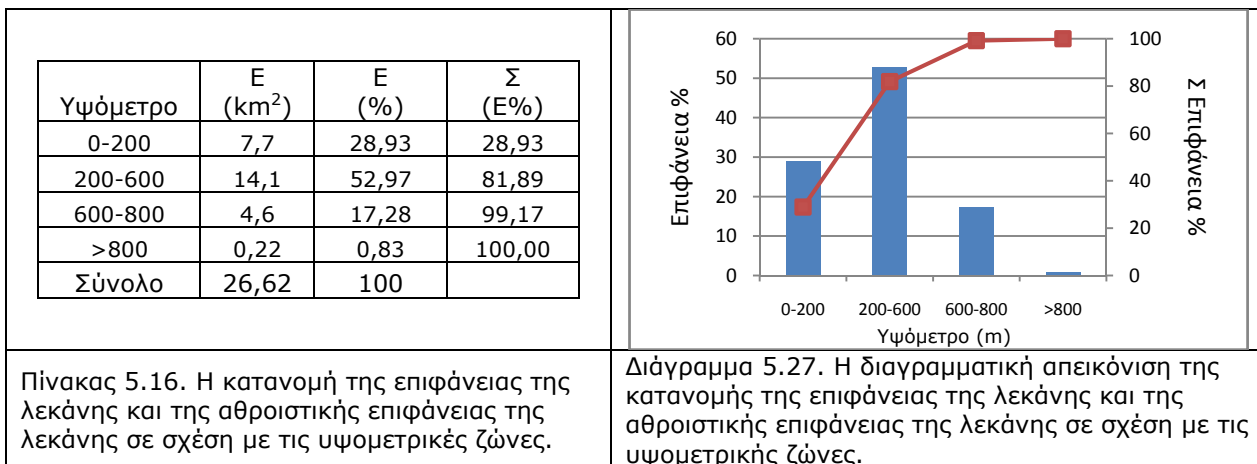
Δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Αρχανορρέματος, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.25). Είναι εμφανές το ήπιο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη, με μικρές κλίσεις καθώς και η σχετικά μικρή υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.



Εικόνα 5.25. Κατά μήκος προφίλ του Αρχανόρρεματος. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί.

5.1.6.3. Λεκάνη ρέματος Δριμαρόρρεμα

Η λεκάνη του Δριμαρορρέματος βρίσκεται στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και πηγάζει από τις κορυφές «Ψηλορράχη» και «Σκοπιά». Διέρχεται ανατολικά από τον οικισμό Καλαμάκι μέχρι και βορειοανατολικά του οικισμού Λιανοκλάδι, όπου εκβάλει στον Σπερχειό. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος, έδειξε ότι ο κεντρικός κλάδος του είναι 5^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 233 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 191 είναι πρώτης τάξης, 42 δεύτερης τάξης, 9 τρίτης τάξης, 2 τέταρτης τάξης και 1 κλάδος πέμπτης τάξης (Εικόνα 5.26). Το 82% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μικρότερα των 600 m, στο ημιορεινό και πεδινό τμήμα της λεκάνης (Πίνακας 5.6, Διάγραμμα 5.27).



Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνει ο σχηματισμός των οφιολίθων (66,42%) και ο οποίο καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρο το κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης. Το νότιο τμήμα καλύπτεται σχεδόν εξολοκλήρου από αλουβιακές αποθέσεις (26,42%), ενώ πολύ μικρές εμφανίσεις υπάρχουν από τα ανθρακικά πετρώματα (1,92%), τους κώνους κορημάτων (3,81%) και την σχιστοκερατολιθική διάπλασης (1,44%) (Εικόνα 5.28).

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Αρχανορρέματος

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Δριμαρορρέματος απεικονίζονται στον πίνακα 5.17, ενώ στην εικόνα 5.29 εμφανίζεται μια προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Πίνακας 5.17. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος

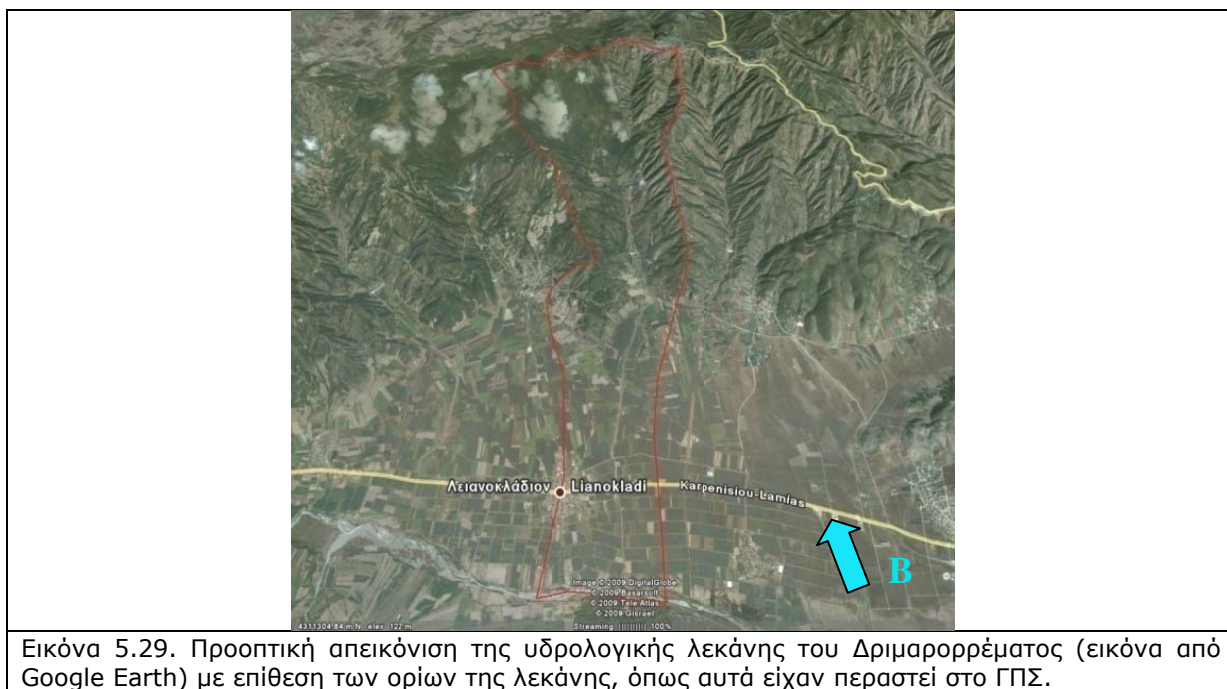
Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	26,62
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	11,84
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	2,18
Περίμετρος	(P)	km	30,84
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	820,5
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	30,8
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	789,70
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	285
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	456,14
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	-	0,28
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	66,70
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	5,43
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²		0,19
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,35
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,49
Δείκτης πυκνότητας	C ₀ =0,282P/(A) ^{0,5}		1,69
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	233
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	98,48
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	12,49
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	3,70
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	8,75
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,06
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	63,23

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.17, η λεκάνη απορροής του Δριμαρορρέματος είναι μία πολύ μικρή σε έκταση λεκάνη, η μικρότερη από τις εξεταζόμενες, με εμβαδόν μόλις 26,62 km². Έχει μικρή μέση τιμή υψομέτρου 285 m, με μέτρια υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου, ειδικά σε σχέση με τις υπόλοιπες υπολεκάνες που εξετάζονται (ολικό ανάγλυφο H=789,7 m) και μικρή μέση κλίση (28%).

Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν μικρές τιμές 66,70 m/km και 63,23 m/km, αντίστοιχα. Ο δείκτης πυκνότητας έχει σχετικά υψηλή τιμή 1,69 και απεικονίζει υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν, γεγονός που δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης είναι μεγάλος. Το ίδιο υποδηλώνουν και οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας που είναι πολύ χαμηλές (0,19 και 0,35 αντίστοιχα), ενώ αντίθετα ο συντελεστής μήκους-πλάτους έχει πολύ υψηλή τιμή (5,43). Επίσης, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι μέτρια και δείχνει μία

τάση επιμήκυνσής της. Όλοι οι παραπάνω παράμετροι δείχνουν ότι η λεκάνη του Δριμαρορρέματος είναι επιμήκης.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν τιμές 3,70 και 8,75, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλές και δείχνουν μία λεκάνη με ημιπερατά πετρώματα (οφιόλιθοι) που ευνοούν τον σχηματισμό ενός αρκετά πυκνού υδρογραφικού δικτύου και χαμηλό ανάγλυφο. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,06).



Εικόνα 5.29. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Δριμαρορρέματος (εικόνα από Google Earth) με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Από την συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της περιοχής προέκυψε ότι ένα ποσοστό μεγαλύτερο από το 95% του υδρογραφικού δικτύου διέρχεται από τους οφιόλιθους, ενώ ολόκληρο σχεδόν το τμήμα των αλουβιακών αποθέσεων διαρρέεται από τον κλάδο πέμπτης τάξης. Το μήκος των ρεμάτων 1^{ης} τάξης που διατρέχει άλλους σχηματισμούς έχει μήκος μόλις 2,53 σχεδόν αμελητέο σε σχέση με το συνολικό μήκος των ρεμάτων της λεκάνης. Συνεπώς, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου που διατρέχει τους οφιόλιθους ταυτίζεται με αυτό της λεκάνης που είναι 3,7 km⁻¹, ενώ η πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης στον ίδιο σχηματισμό, με μήκος 53,17 km, είναι 2,0 km⁻¹.

Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται φυσιολογικό, δεδομένου ότι οι οφιόλιθοι είναι ημιπερατοί και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη ενός πυκνού δικτύου αποστράγγισης 1ης τάξης.

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού

δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.18) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.30). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.19). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.31).

Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο νόμο υπάρχει γενικά μία σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές, που δείχνει το ότι η λεκάνη βρίσκεται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης. Σύμφωνα με τις τιμές του 2^{ου} νόμου, φαίνεται ότι το μήκος των κλάδων είναι μικρότερο των ιδανικών τιμών, γεγονός που πιθανά να οφείλεται σε βαθιές τεκτονικές δομές που επιδρούν στην περιοχή. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από το πολύ μικρό μήκος των κλάδων 3^{ης} τάξης, το οποίο φανερώνει την πιθανή ύπαρξη «θετικών δομών» (αντίκλινα), που ευνοούν την δημιουργία ρεμάτων μικρού μήκους (*Prud'Homme* 1972, *Griboulard* 1980, *Παυλόπουλος και αλ.* 1994).

Πίνακας 5.18. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

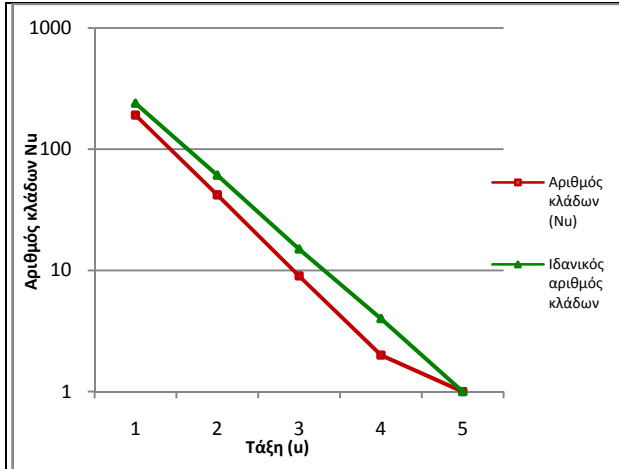
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \overline{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	191	4,54	3,93	239	-20,08
2	42	4,67		61	-31,14
3	9	4,5		15	-40,00
4	2	2		4	-50,00
5	1			1	0

Πίνακας 5.19. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

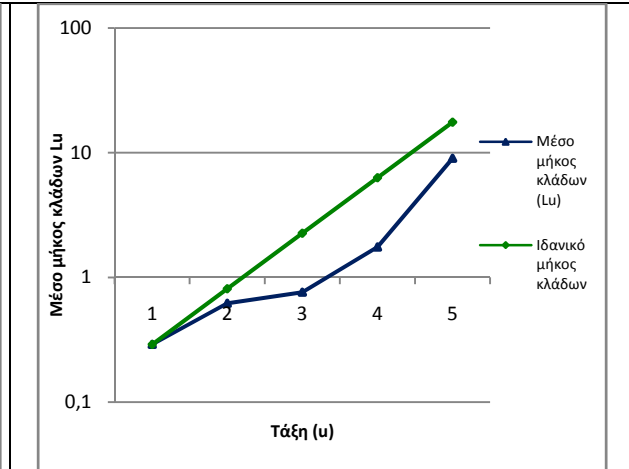
Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (\overline{RL})	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,29	2,48	2,79	0,29	0
2	0,62	1,23		0,81	-23,5
3	0,76	2,30		2,26	-66,4
4	1,75	5,14		6,30	-72,2
5	9,00			17,57	-48,8

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

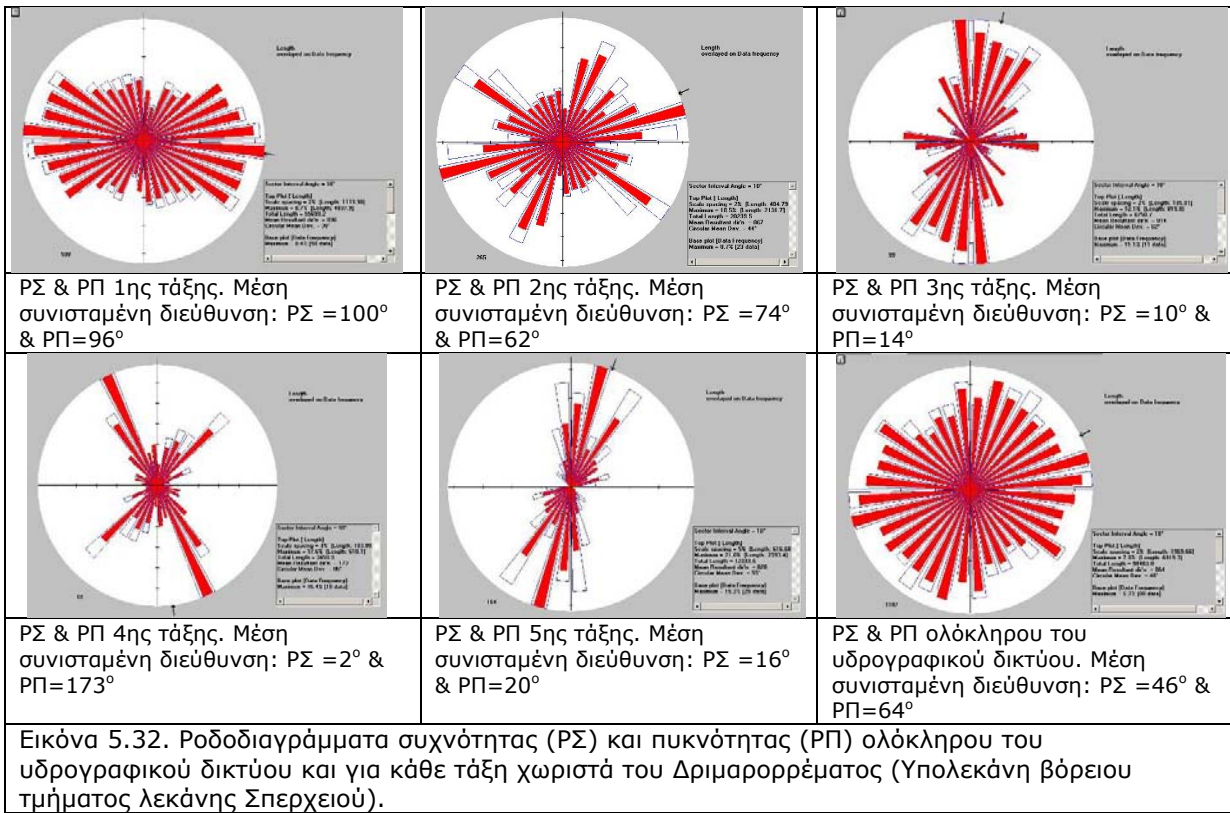
Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου, ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.32). Σκοπός της



Διάγραμμα 5.30. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



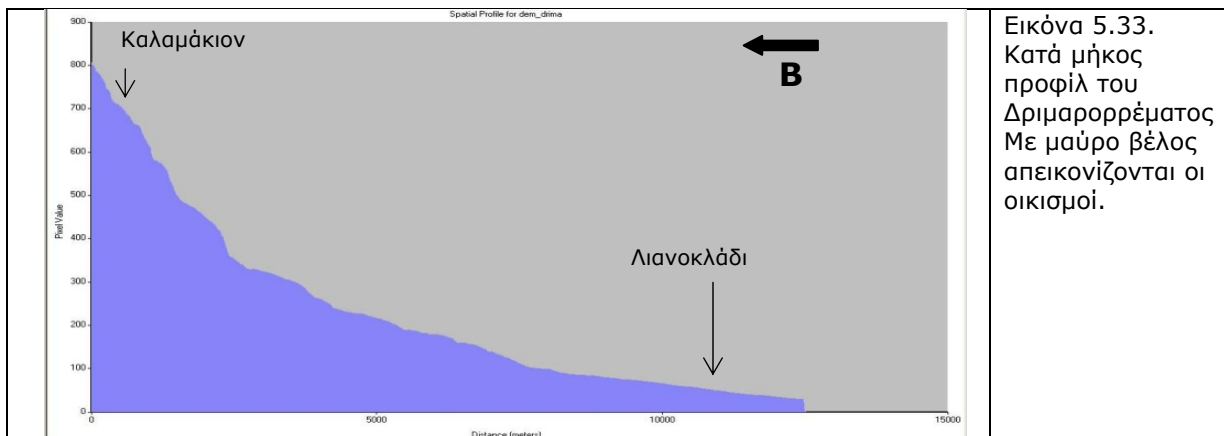
Διάγραμμα 5.31. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Δριμαρορρέματος από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων είναι, να διερευνηθεί η σχέση συχνότητας και πυκνότητας με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής. Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} τάξης (κύριος κλάδος) παρουσιάζουν διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ και ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας. Τα ρέματα 1^{ης} και 2^{ης} τάξης παρουσιάζουν διεύθυνση από 74-100° και έχουν διεύθυνση Δ-Α και ΒΑ-ΝΔ, αντίστοιχα, και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας, επηρεαζόμενα από την νεοτεκτονική της περιοχής.

Δημιουργία Προφίλ

Δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Δριμαρορρέματος, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.33). Είναι εμφανές το σχετικά ήπιο ανάγλυφο και οι μικρές κλίσεις που παρουσιάζει η λεκάνη, καθώς και η σχετικά μικρή υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.



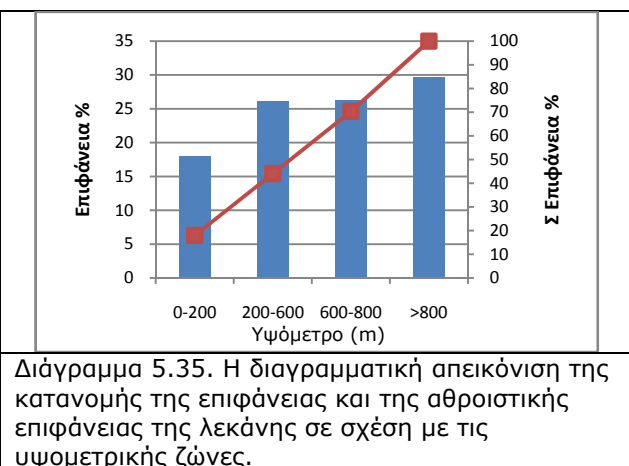
Εικόνα 5.33. Κατά μήκος προφίλ του Δριμαρορρέματος. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί.

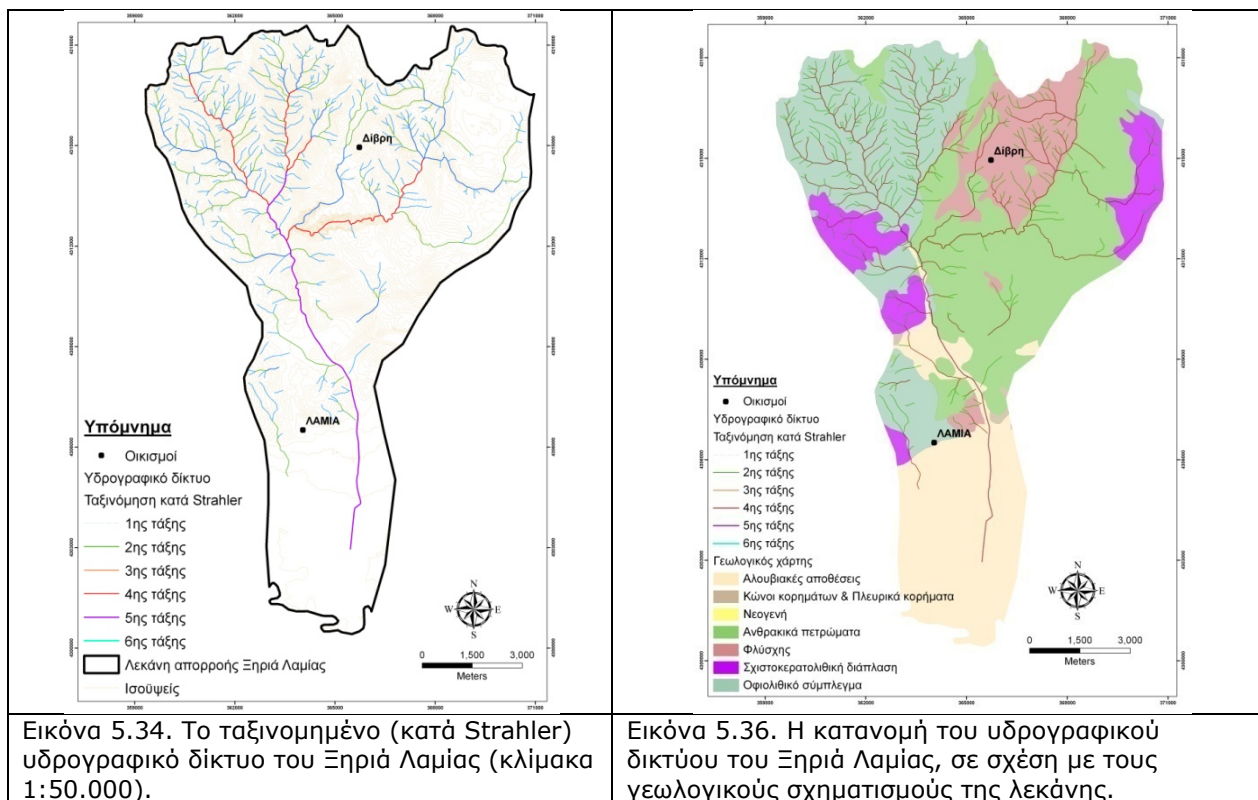
5.1.6.4. Λεκάνη ποταμού Ξηριά Λαμίας

Η λεκάνη του Ξηριά Λαμίας βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και πηγάζει από το δυτικό τμήμα της Όθρυς. Δημιουργείται από την συνένωση των ρεμάτων Φτέρης, Σιπετόρρεμα και Κουραδάς, που ξεκινάνε από τις κορυφές Αντινίτσης, Πυργάκι και Ξεροβούνι. Διέρχεται νοτιοδυτικά από τον οικισμό Ροδίτσα στα νοτιοανατολικά της Λαμίας, όπου και εκβάλλει πλέον μέσα στην τάφρο Λαμίας. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του, έδειξε ότι ο κεντρικός κλάδος είναι 5^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 452 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 346 είναι πρώτης τάξης, 81 δεύτερης τάξης, 20 τρίτης τάξης, 4 τέταρτης τάξης και 1 κλάδος πέμπτης τάξης (Εικόνα 5.34).

Υψόμετρο	Ε (km ²)	Ε (%)	Σ(Ε%)
0-200	19,71	17,96	17,96
200-600	28,67	26,13	44,09
600-800	28,81	26,26	70,35
>800	32,53	29,65	100,00
Σύνολο	109.72	100	

Πίνακας 5.20. Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.





Το 55% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, στο ορεινό και πολύ ορεινό τμήμα της λεκάνης (Πίνακας 5.20, Διάγραμμα 5.35).

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα (33,02%) που βρίσκονται κυρίως στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης. Το επάνω κεντρικό τμήμα δομείται από φλύσχη (10,94%), ενώ το βορειοδυτικό τμήμα δομείται από οφιόλιθους (26,06%) και την σχιστοκερατολιθική διάπλαση (8,56%). Το νότιο-κάτω τμήμα της λεκάνης αποτελείται από κώνους κορημάτων (0,26%) και αλουβιακές αποθέσεις (21,17%) (Εικόνα 5.36).

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Αρχανορρέματος

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Δριμαρορρέματος απεικονίζονται στον πίνακα 5.21, ενώ στην εικόνα 5.37 αποδίδεται μια προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.21, η λεκάνη απορροής του Ξηριά Λαμίας είναι μία μέτρια έως μεγάλη σε μέγεθος λεκάνη, η μεγαλύτερη από τις τέσσερις του βόρειου τμήματος, με εμβαδόν 109,74 km². Έχει μικρή μέση τιμή υψομέτρου 593,1 m, με μέτρια υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου, ειδικά σε σχέση με τις υπόλοιπες υπολεκάνες που εξετάζονται (ολικό ανάγλυφο H=1.073,5 m) και μικρή σχετικά κλίση (30%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές 60,89 m/km και 55,62 m/km, αντίστοιχα. Ο δείκτης πυκνότητας έχει σχετικά υψηλή τιμή 1,55 και απεικονίζει υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν, γεγονός που δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης, είναι

μεγάλος. Το ίδιο υποδηλώνουν και οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας που είναι πολύ χαμηλές (0,35 και 0,42 αντίστοιχα), ενώ αντίθετα ο συντελεστής μήκους-πλάτους έχει μέτρια υψηλή τιμή (2,83). Επίσης, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι αρκετά μεγάλη και δείχνει μία τάση επιμήκυνσής της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 5.21. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	109,74
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	17,63
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	6,22
Περίμετρος	(P)	km	57,63
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	1.085,51
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	12,00
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	1.073,51
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	593,14
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	540,00
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	%	30%
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	60,89
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	2,83
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,35
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,42
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,67
Δείκτης πυκνότητας	C _o =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,55
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	452
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	228,48
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	19,30
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	2,08
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	4,12
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,10
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	55,62

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν τιμές 2,08 και 4,12, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές και οφείλονται στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν στην περιοχή τα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία έχουν υψηλή περατότητα και δεν σχηματίζουν πυκνό υδρογραφικό δίκτυο. Επίσης, η χαμηλή συχνότητα, οφείλεται και στο χαμηλό ανάγλυφο και τις χαμηλές κλίσεις της περιοχής. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,10) και δείχνει την απουσία μαιανδρισμού.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό, καθώς και την πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.22).

Η μεγαλύτερη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και η πυκνότητα των κλάδων 1ης τάξης εμφανίζονται στον σχηματισμό των οφιολίθων και του φλύσχη. Η τιμή είναι αρκετά υψηλή και στα ανθρακικά πετρώματα, γεγονός όμως που δεν οφείλεται στις ιδιότητες του σχηματισμού, αλλά στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνει στην λεκάνη απορροής του Ξηριά. Για τον ίδιο λόγο, δηλαδή της αυξημένης εμφάνισης των οφιολίθων σε σχέση με τον φλύσχη, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και των κλάδων 1ης τάξης έχει ελαφρά

μεγαλύτερη πυκνότητα στους οφιόλιθους, ενώ από τις ιδιότητές αυτών των σχηματισμών αναμενόταν το αντίθετο.



Εικόνα 5.37. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ξηριά Λαμίας. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Πίνακας 5.22. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,13	0,01
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,00	0,00
Φλύσχης	0,37	0,22
Ανθρακικά πετρώματα	0,42	0,18
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	0,18	0,09
Οφιόλιθοι	0,99	0,58

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

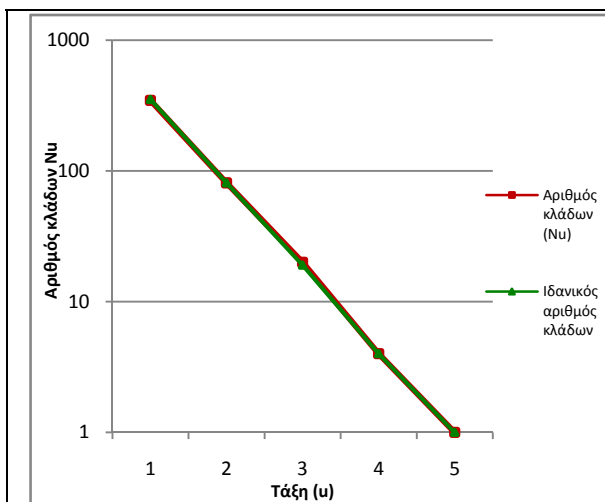
Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.23) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.38). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.24). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.39).

Πίνακας 5.23. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

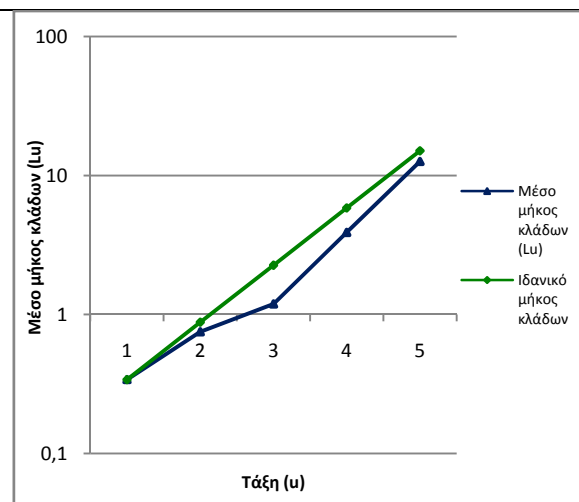
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης $\frac{\sum R_b}{R_b}$	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	346	4,27	4,33	352	-1,70
2	81	4,05		81	0
3	20	5,0		19	+5,26
4	4	4		4	0
5	1			1	0

Πίνακας 5.24. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (\overline{RL})	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,34	2,21	2,58	0,34	0
2	0,75	1,59		0,88	-14,8
3	1,19	3,27		2,26	-47,4
4	3,89	3,24		5,84	-33,4
5	12,60			15,07	-16,4



Διάγραμμα 5.38. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



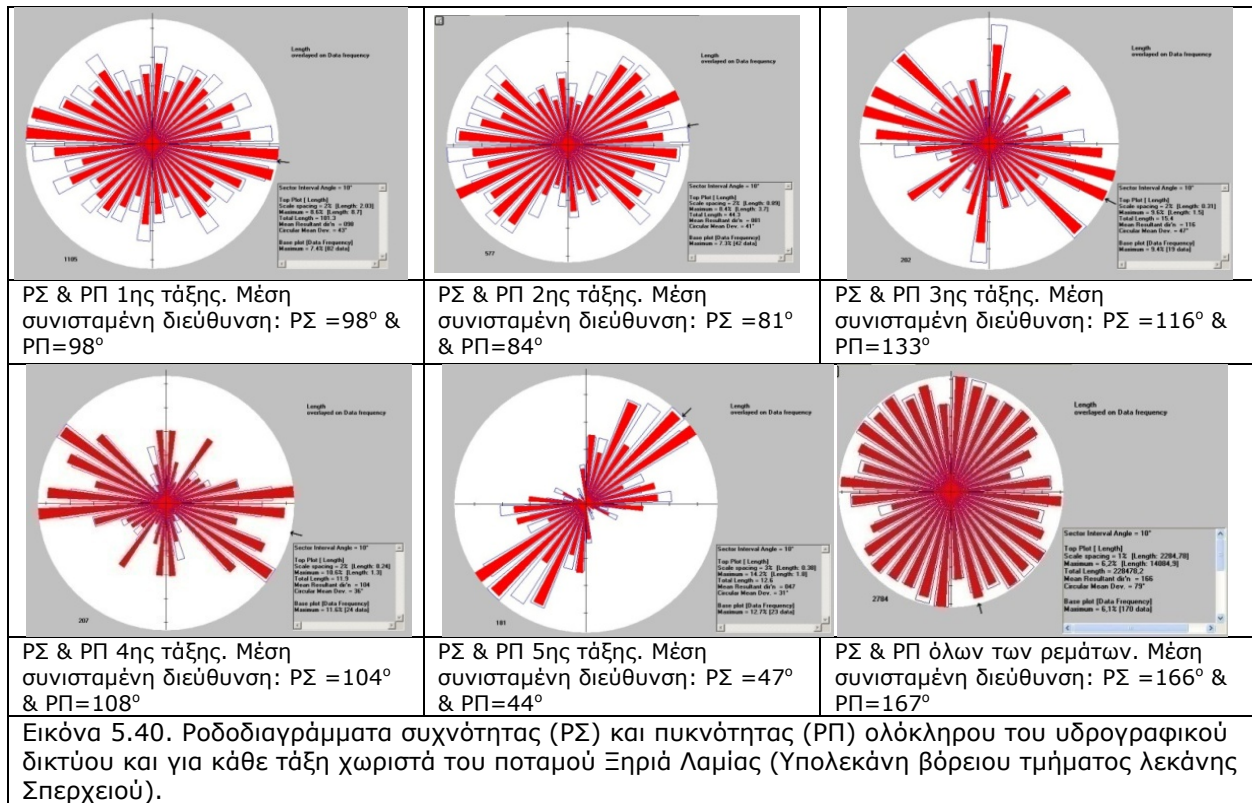
Διάγραμμα 5.39. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο νόμο υπάρχει, εκτός από τους κλάδους 1^{ης} τάξης, για τους υπόλοιπους κλάδους ο αριθμός τους είναι μεγαλύτερος (3^η τάξη) ή ίσος των ιδανικών τιμών. Αυτό οφείλεται στο ότι το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης

(σχεδόν 50%) καλύπτεται από αδιαπέρατα και ημιπερατά πετρώματα. Σύμφωνα με τις τιμές του 2^{ου} νόμου, φαίνεται ότι το μήκος των κλάδων είναι μικρότερο τω ιδανικών τιμών. Το γεγονός αυτό πιθανά να οφείλεται σε βαθιές τεκτονικές δομές που επιδρούν στην περιοχή. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από το πολύ μικρό μήκος των κλάδων 3^{ης} τάξης, το οποίο φανερώνει την πιθανή ύπαρξη «θετικών δομών» (αντίκλινα), που ευνοούν την δημιουργία πολλών ρεμάτων μικρού μήκους.

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

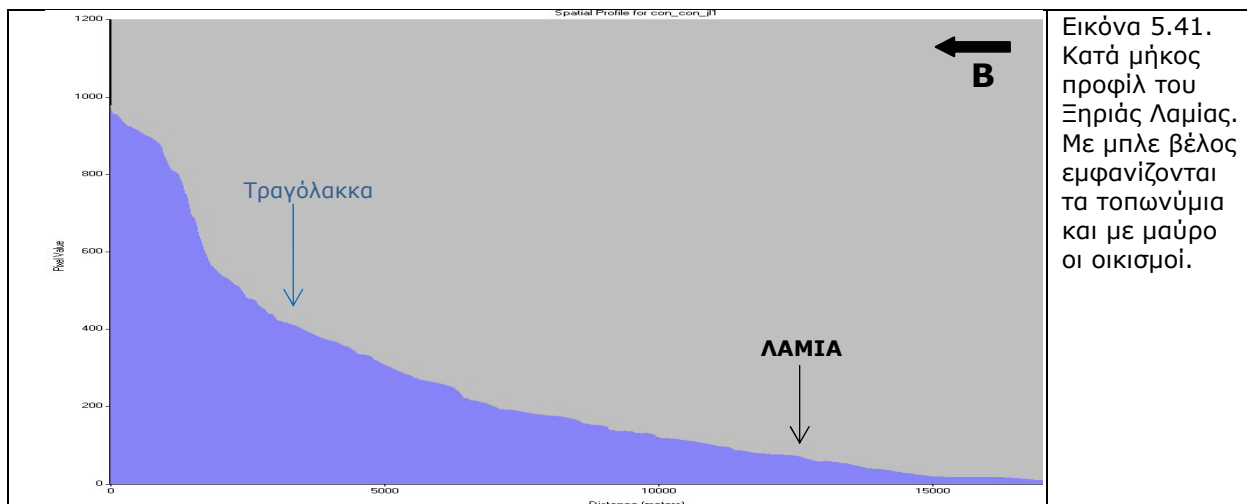
Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη ξεχωριστά, τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.40). Σκοπός της δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων είναι η διερεύνηση της σχέσης συχνότητας και πυκνότητας με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.



Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση Α-Δ και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας, επηρεαζόμενα από την νεοτεκτονική της περιοχής. Αντίθετα ο κύριο κλάδος (5^η τάξη) έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ακολουθεί την δομή των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις). Το σύνολο των ρεμάτων της λεκάνης χαρακτηρίζονται από ΝΑ-ΒΔ διεύθυνση και δείχνουν επίσης να ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα ή παλαιότερα ρήγματα.

Δημιουργία Προφίλ

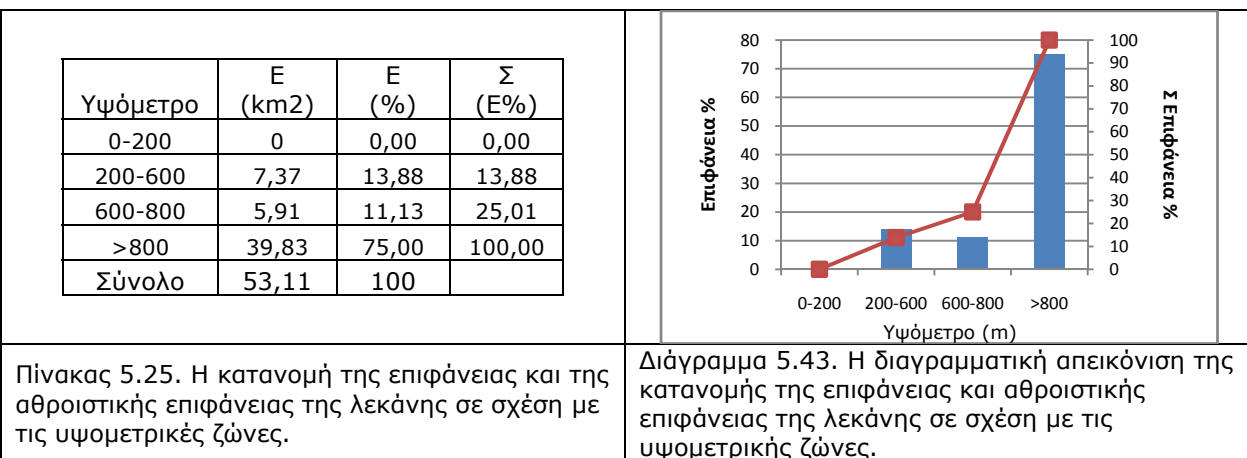
Δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Ξηριά Λαμίας, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.41). Είναι εμφανές το σχετικά ήπιο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη καθώς και η σχετικά μικρή υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.



Εικόνα 5.41. Κατά μήκος προφίλ του Ξηριάς Λαμίας. Με μπλε βέλος εμφανίζονται τα τοπωνύμια και με μαύρο οι οικισμοί.

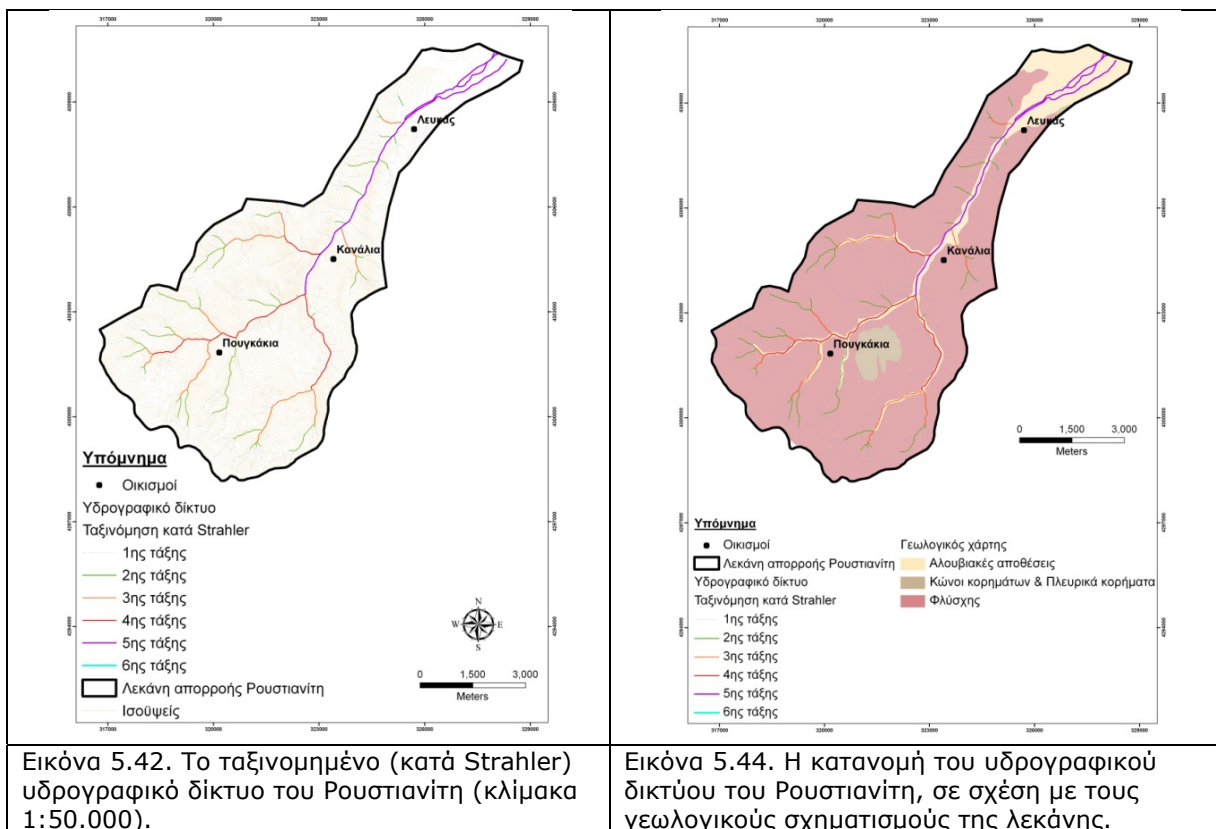
5.1.6.5. Λεκάνη ρέματος Ρουσιανίτη

Η λεκάνη του Ρουσιανίτη, βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Ο Ρουσιανίτης ξεκινάει από την περιοχή βόρεια του Παλιοχωρίου, περνάει δυτικά του χωριού Λευκάδα και συμβάλλει με το Σπερχειό νοτιοανατολικά του οικισμού Πτελέα. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του, έδειξε ότι ο κεντρικός κλάδος είναι 5^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 205 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 156 είναι πρώτης τάξης, 36 δεύτερης τάξης, 10 τρίτης τάξης, 2 τέταρτης τάξης και 1 κλάδος πέμπτης τάξης (Εικόνα 5.42).



Πίνακας 5.25. Η κατανομή της επιφάνειας και της αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.

Διάγραμμα 5.43. Η διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής της επιφάνειας και αθροιστικής επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με τις υψομετρικές ζώνες.



Το 85% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, εκ των οποίων, το 75% βρίσκεται στο πολύ ορεινό τμήμα (Πίνακας 5.25, Διάγραμμα 5.43).

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καταλαμβάνει ο σχηματισμός του φλύσχη (84,10%) και βρίσκονται στο επάνω τμήμα της λεκάνης, ενώ το κάτω τμήμα της λεκάνης αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις (13,11%). Τέλος υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό με κώνους κορημάτων (2,79%) (Εικόνα 5.44).

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Ρουσιανίτη

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Ρουσιανίτη απεικονίζονται στον πίνακα 5.26, ενώ στην εικόνα 5.45 αποδίδεται μία προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

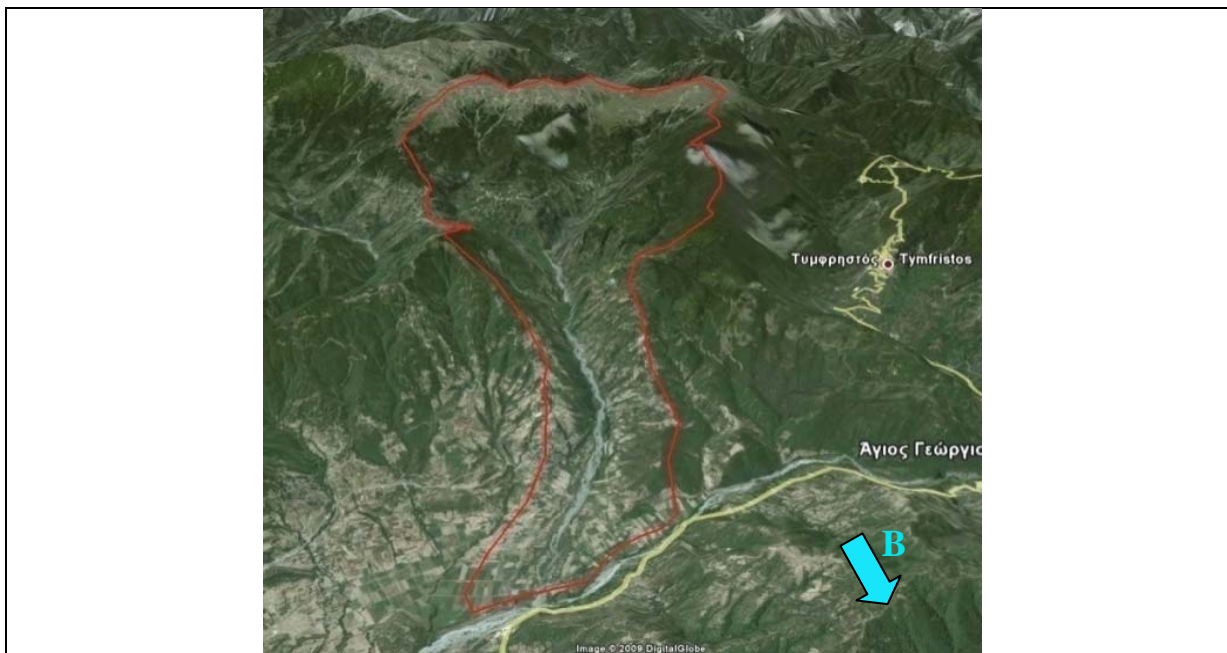
Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.26, η λεκάνη απορροής του Ρουσιανίτη χαρακτηρίζεται ως μία μετρίου μεγέθους λεκάνη, με εμβαδόν 53,11 km². Έχει μεγάλη μέση τιμή υψόμετρου (940 m), με μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου (ολικό ανάγλυφο H=1.484,1 m) και πολύ μεγάλη μέση κλίση (40%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν πολύ μεγάλες τιμές, 101,58 m/km και 95,75 m/km, αντίστοιχα.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει υψηλή τιμή 1,53 και απεικονίζει υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν. Η τιμή αυτή δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης είναι μεγάλος. Οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας είναι αρκετά χαμηλές (0,42 και 0,25 αντίστοιχα), ενώ αντίθετα ο συντελεστής μήκους-

πλάτους έχει υψηλή τιμή (4,01). Επίσης, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι μικρή. Οι παραπάνω συντελεστές και δείκτες δείχνουν μία αρκετά επιμήκη λεκάνη, που προφανώς επηρεάζεται από την νεοτεκτονική της περιοχής.

Πίνακας 5.26. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	53,11
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	14,61
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	3,64
Περίμετρος	(P)	km	39,67
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	1.724,61
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	240,50
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	1.484,11
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	940
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	998,70
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	-	0,40
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	101,58
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	4,01
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,25
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,42
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,21
Δείκτης πυκνότητας	C ₀ =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,53
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	205
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	123,64
Μήκος κύριου ρεματος	Lm	km	15,50
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	2,33
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	3,86
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,06
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	95,75



Εικόνα 5.45. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ρουσιανίτη. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν τιμές 2,33 και 3,86, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι σχετικά μικρές παρόλη την εκτεταμένη

εμφάνιση του φλύσχη στην περιοχή που υπό κανονικές συνθήκες θα έδινε μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας. Προφανώς, η χαμηλή πυκνότητα, οφείλεται κυρίως στο έντονο ανάγλυφο και τις μεγάλες κλίσεις που παρουσιάζει η λεκάνη, που εμποδίζουν τον σχηματισμό πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Μικρό ρόλο στις χαμηλές τιμές πυκνότητας και συχνότητας παίζει και η πυκνή βλάστηση που υπάρχει στην περιοχή. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,06) και δείχνει την απουσία μαιανδρισμού.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό, καθώς και την πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.27).

Η μεγαλύτερη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και η μεγαλύτερη πυκνότητα των κλάδων 1ης τάξης εμφανίζονται στον σχηματισμό του φλύσχη, γεγονός που οφείλεται στις ιδιότητες του σχηματισμού, που είναι πολύ χαμηλής περατότητας, αλλά στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνει στο σύνολο της λεκάνης (84,1%).

Πίνακας 5.27. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,67	0,06
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,01	0,01
Φλύσχη	1,71	1,25

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.28) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.46). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.29). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.47).

Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο και 2^ο νόμο, όλες οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου έχουν αριθμό κλάδων και μήκος, μικρότερο των ιδανικών τιμών. Λόγο της εκτεταμένης παρουσίας του φλύσχη, θα ήταν αναμενόμενο να έχει σχηματιστεί ένα πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο. Η ύπαρξη όμως ενός ατελούς υδρογραφικού δικτύου, οφείλεται στην τεκτονική εξέλιξη που συνεχίζει να δρα στην περιοχή και της ανύψωσης που συντελείτε, δραστηριότητα που οδηγεί στη δημιουργία λίγων και μικρών κλάδων αποστράγγισης, μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και απότομες κλίσεις των πρηνών. Επίσης,

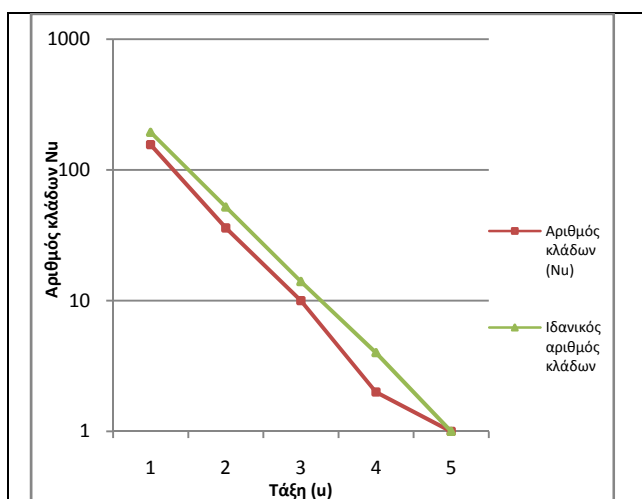
στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει, σε πολύ μικρότερο όμως βαθμό και η ύπαρξη της πυκνής βλάστησης που υπάρχει στην περιοχή.

Πίνακας 5.28. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ρουσιανίτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

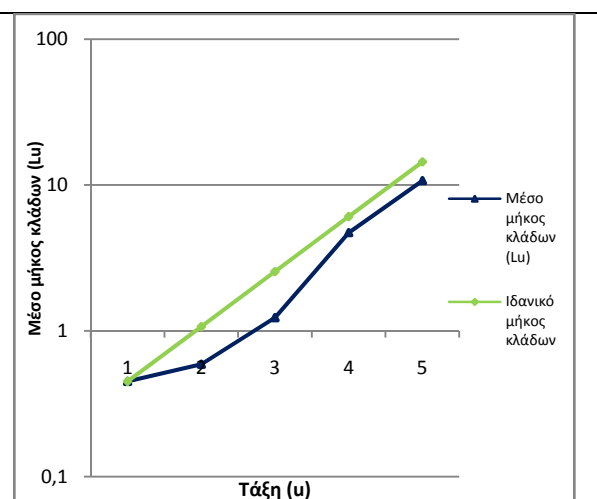
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \bar{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	156	4,33	3,73	194	-1,70
2	36			52	-30,72
3	10	3,60		14	-28,57
4	2	5,0		4	-50,00
5	1	2		1	0

Πίνακας 5.29. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ρεμάτος Ρουσιανίτη και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (RL)	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,45	1,31	2,38	0,45	0
2	0,59			1,07	-44,9
3	1,23	2,09		2,55	-51,8
4	4,71	3,83		6,07	-22,4
5	10,71	2,27		14,43	-25,8



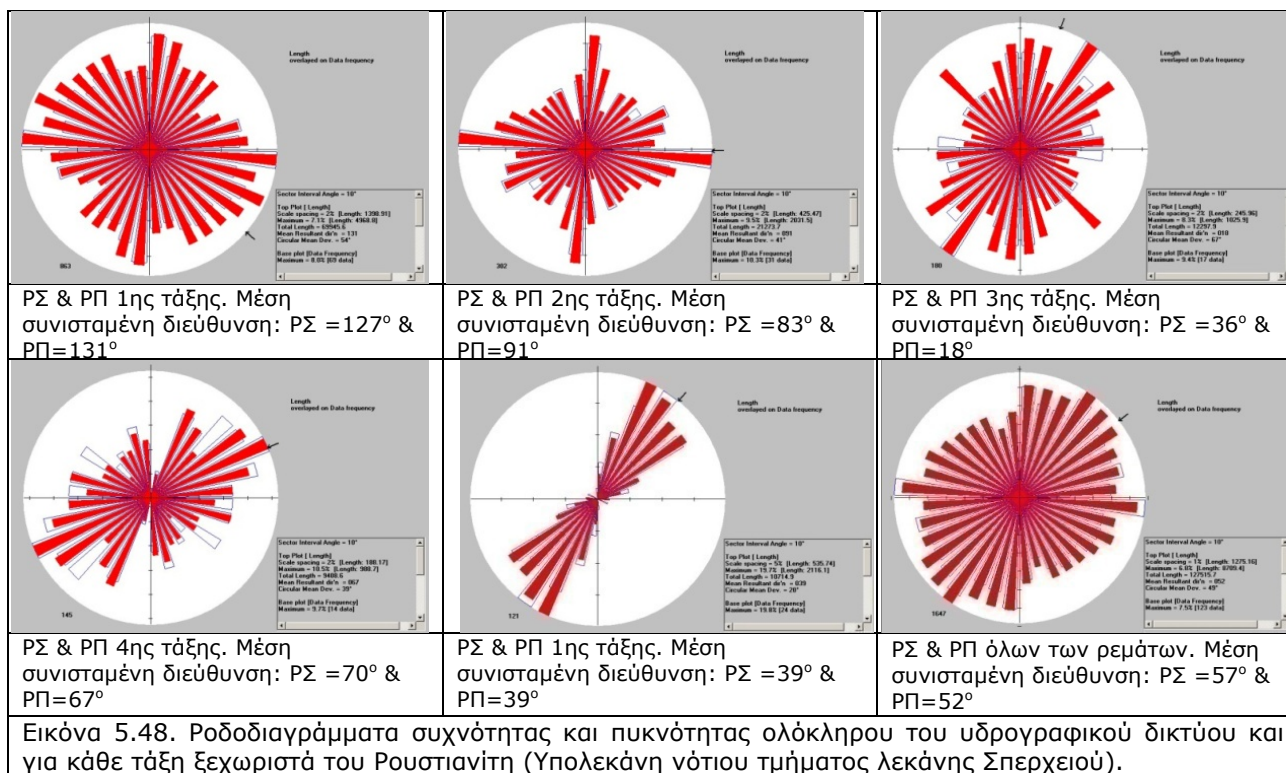
Διάγραμμα 5.46. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των ρεμάτων του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



Διάγραμμα 5.47. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των ρεμάτων του Ξηριά Λαμίας από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

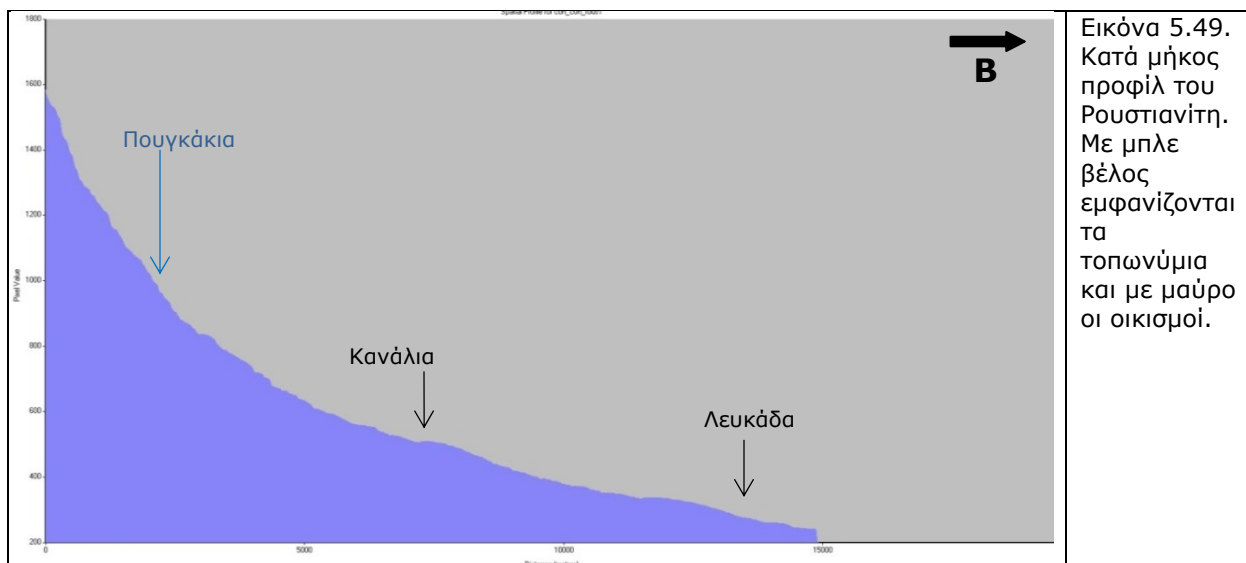
Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου ξεχωριστά, τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.48). Σκοπός της δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων είναι να διερευνηθεί η σχέση της συχνότητας (διεύθυνση) και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.



Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης} και 2^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ και Α-Δ, αντίστοιχα και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας. Αντίθετα οι κλάδοι 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} τάξης, όπως και το σύνολο των ρεμάτων της λεκάνης, έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ακολουθούν την δομή των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας (επωθήσεις, επιππεύσεις).

Δημιουργία Προφίλ

Δημιουργήθηκε, για την λεκάνη του Ρουσιανίτη, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.49). Είναι εμφανές το σχετικά έντονο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη και ιδιαίτερα η μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.



Εικόνα 5.49. Κατά μήκος προφίλ του Ρουσιανίτη. Με μπλε βέλος εμφανίζονται τα τοπωνύμια και με μαύρο οι οικισμοί.

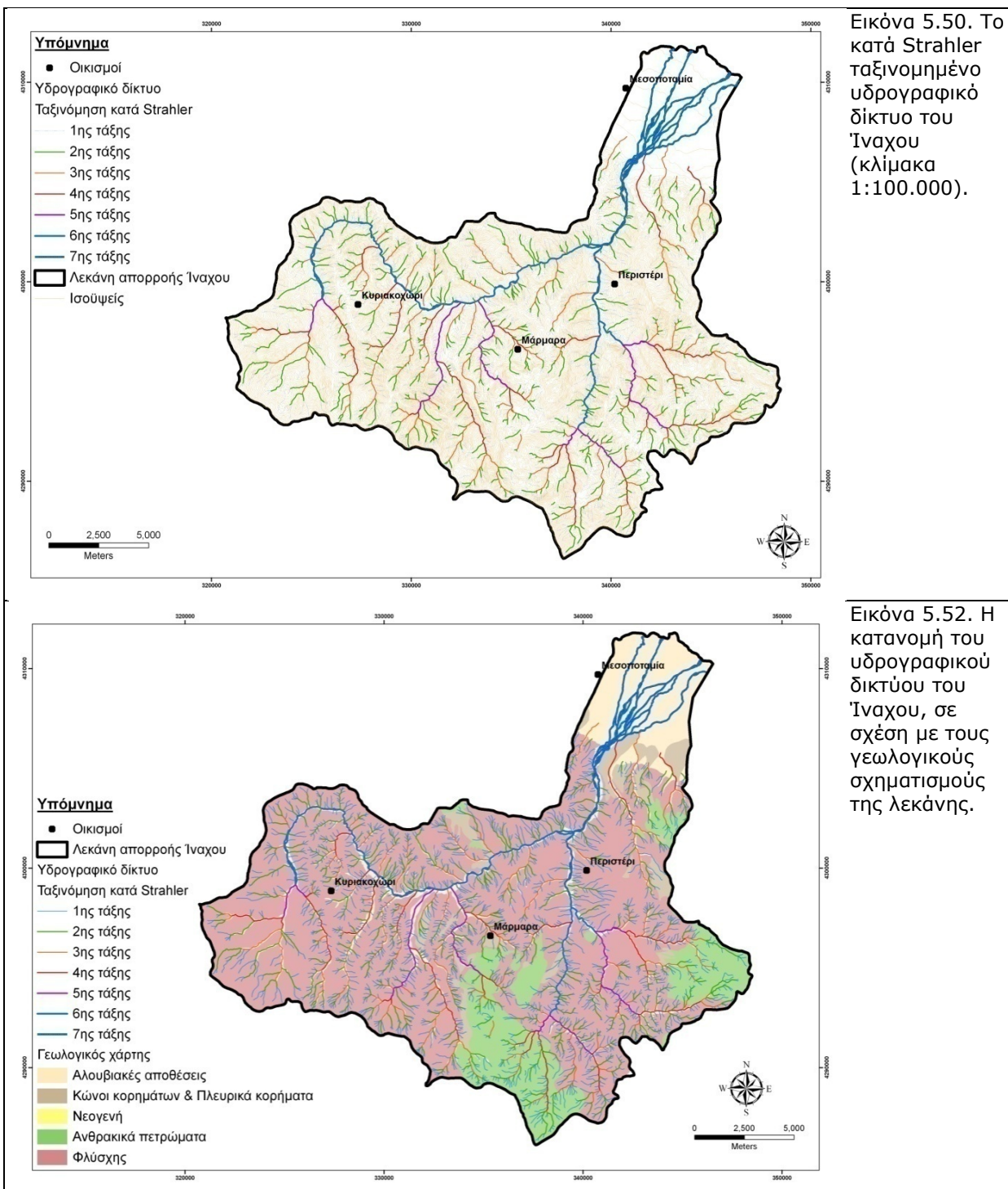
5.1.6.6. Λεκάνη ποταμού Ίναχου

Η λεκάνη απορροής του Ίναχου ποταμού καταλαμβάνει μία μεγάλη, επιμέρους έκταση στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Ο ποταμός Ίναχος (Βίστριτσα) έχει τις πηγές του στο δυτικό τμήμα του όρους Οίτη και στο βόρειο τμήμα των Βαρδουσιών, κοντά στα χωριά Νεωχώρι, Πλάτανο και Γαρδίκι. Εν συνεχεία διέρχεται νότια από τον οικισμό Νικολίτσιο και τον οικισμό Περιβόλιο και στην περιοχή του οικισμού Περιστέρι, συνενώνεται με άλλα μεγάλα ρέματα που έρχονται από τα νοτιοανατολικά. Πριν την συμβολή του με τον Σπερχειό διακλαδίζεται στους κλάδους Κλαδευτήρες, Καρατσάμη και Ξεροπόταμο και σχηματίζει έναν εκτεταμένο κώνο αλουβιακών αποθέσεων.

Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου, έδειξε ότι ο κεντρικός κλάδος του 7^η τάξης. Ο κλάδος αυτός μετά την συμβολή του με τον Σπερχειό, δημιουργεί την τελική 8^η τάξη του Σπερχειού που από εκεί και έπειτα δεν αλλάζει μέχρι την εκβολή του Σπερχειού στον Μαλιακό κόλπο. Συνολικά περιλαμβάνει 2.887 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 2.206 είναι πρώτης τάξης, 520 δεύτερης τάξης, 118 τρίτης τάξης, 30 τέταρτης τάξης, 9 πέμπτης τάξης, 3 έκτης τάξης και 1 κλάδο 7^{ης} τάξης (Εικόνα 5.50).

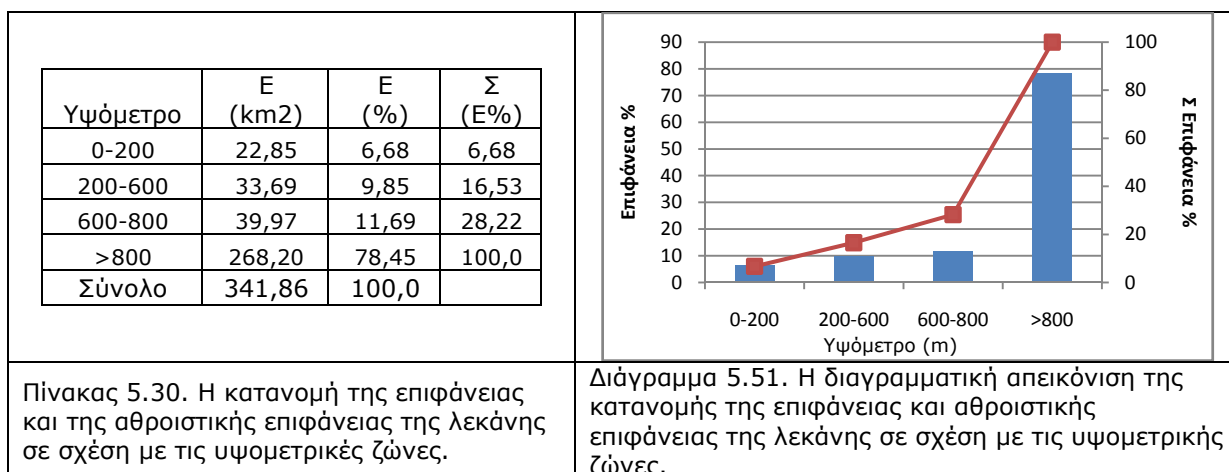
Το 89% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, εκ των οποίων, το 78,5% βρίσκεται στο πολύ ορεινό τμήμα (Πίνακας 5.30, Διάγραμμα 5.51).

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καταλαμβάνει ο σχηματισμός του φλύσχη (67,25%) και βρίσκονται στο επάνω τμήμα της λεκάνης, ενώ το κάτω τμήμα της λεκάνης αποτελείται από αλουβιακές αποθέσεις (15,35%). Στο επάνω τμήμα της λεκάνης εκτός του φλύσχη, κάποια τμήματα δομούνται από ανθρακικά πετρώματα (12,86%), ενώ υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό με κώνους κορημάτων (4,54%), που βρίσκονται διάσπαρτοι σε διάφορα σημεία της λεκάνης (Εικόνα 5.52).



Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Ίναχου

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Ίναχου απεικονίζονται στον πίνακα 5.31, ενώ στην εικόνα 5.53 αποδίδεται μία προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.



Πίνακας 5.31. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	341,86
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	29,21
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	11,70
Περίμετρος	(P)	km	104,58
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	2.293,64
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	90
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	2.203,64
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	962
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	1.155,36
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	-	0,42
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	75,44
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	2,50
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,40
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,39
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,72
Δείκτης πυκνότητας	C _o =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,60
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	2.887
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	1193,69
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	30,40
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	3,49
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	8,45
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,04
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	72,49

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.31, η λεκάνη απορροής του Ίναχου είναι η μεγαλύτερη από τις λεκάνες που εξετάζονται, με εμβαδόν 341,86 km² και αποτελεί ουσιαστικά μία δεύτερη επιμέρους λεκάνη, πολύ μεγάλης έκτασης, μέσα στη λεκάνη του Σπερχειού. Έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή υψομέτρου (1.155,36 m), την μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου (ολικό ανάγλυφο H=2.203,7 m) και πολύ μεγάλη μέση κλίση (42%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν επίσης μεγάλες τιμές, 75,44 m/km και 72,49 m/km, αντίστοιχα.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει υψηλή τιμή 1,60 και απεικονίζει υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν, που δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης είναι μεγάλος. Οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας είναι αρκετά χαμηλές (0,40 και 0,39 αντίστοιχα), όπως και ο συντελεστής μήκους-πλάτους (2,50). Αντίθετα, η τιμή του δείκτη επιμήκυνσης είναι αρκετά μεγάλη (0,72). Οι παραπάνω

συντελεστές και δείκτες δείχνουν μία αρκετά σημαντική επιμήκυνση της λεκάνης που προφανώς επηρεάζεται από την νεοτεκτονική της περιοχής.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές 3,49 και 8,45, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές οφείλονται στην εκτεταμένη εμφάνιση του φλύσχη στην περιοχή. Το γεγονός όμως ότι η λεκάνη είναι λιθολογικά ομοιόμορφη, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, οι πολύ υψηλές τιμές συχνότητας και ιδιαίτερα της πυκνότητας, οφείλονται στην τεκτονική δραστηριότητα των ρηξιγενών ζωνών της λεκάνης του Σπερχειού. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,06) και δείχνει την απουσία μαιανδρισμού.



Εικόνα 5.53. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ίναχου. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό, καθώς και την πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.32).

Από τις τιμές του πίνακα είναι εμφανές ότι, η μεγαλύτερη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και του δικτύου 1^{ης} τάξης, εμφανίζεται στον σχηματισμό του φλύσχη, αποτέλεσμα φυσιολογικό, λόγω της πολύ μικρής περατότητας που τον χαρακτηρίζει και της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει στην λεκάνη.

Πίνακας 5.32. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,88	0,13
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,00	0,00
Φλύσχος	2,20	1,56
Ανθρακικά πετρώματα	0,35	0,22

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Ίναχου, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.33) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.54). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.34). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.55).

Πίνακας 5.33. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

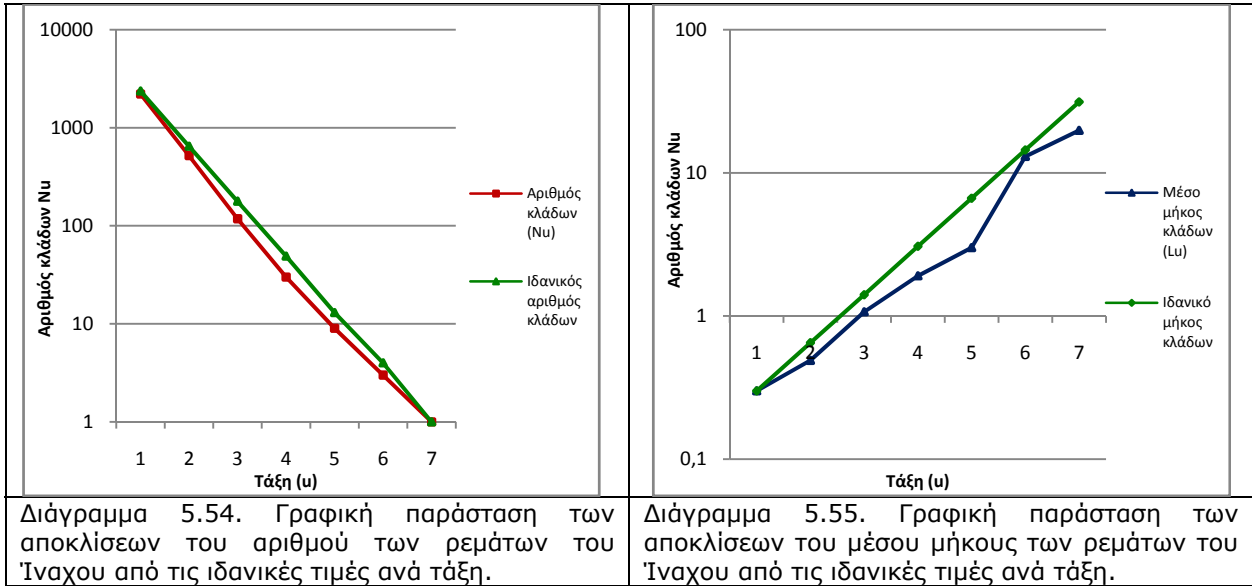
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \overline{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	2.206	4,24	3,65	2.365	-6,72
2	520	4,41		648	-19,75
3	118	3,93		178	-33,71
4	30	3,33		49	-38,78
5	9	3,0		13	-30,77
6	3	3,0		4	-25,00
7	1	3,0		1	0,00

Πίνακας 5.34. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ίναχου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu)	Λόγος μήκους	Μέσος λόγος μήκους (RL)	Ιδανικό μήκος	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,30	1,63	2,17	0,30	0,00
2	0,49	2,18		0,65	-24,62
3	1,07	1,79		1,41	-24,11
4	1,91	1,57		3,07	-37,79
5	3,00	4,34		6,65	-54,89
6	13,02	1,52		14,44	-9,83
7	19,80			31,32	-36,78

Από τις τιμές των πινάκων, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο και 2^ο νόμο, όλες οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου έχουν αριθμό κλάδων και μήκος, μικρότερο από τις ιδανικές τιμές. Λόγο της ύπαρξης του φλύσχη θα ήταν αναμενόμενο να έχει σχηματιστεί ένα πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο. Η ύπαρξη όμως του ατελούς υδρογραφικού δικτύου,

οφείλεται στην τεκτονική εξέλιξη που συνεχίζει να δρα στην περιοχή και την ανύψωση που συντελείτε στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού. Η δραστηριότητα αυτή, οδηγεί στη δημιουργία λίγων και μικρών κλάδων αποστράγγισης, μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και απότομες κλίσεις των πρानών. Επίσης, στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει, σε πολύ μικρότερο όμως βαθμό και η ύπαρξη της πυκνής βλάστησης, που υπάρχει στην περιοχή.



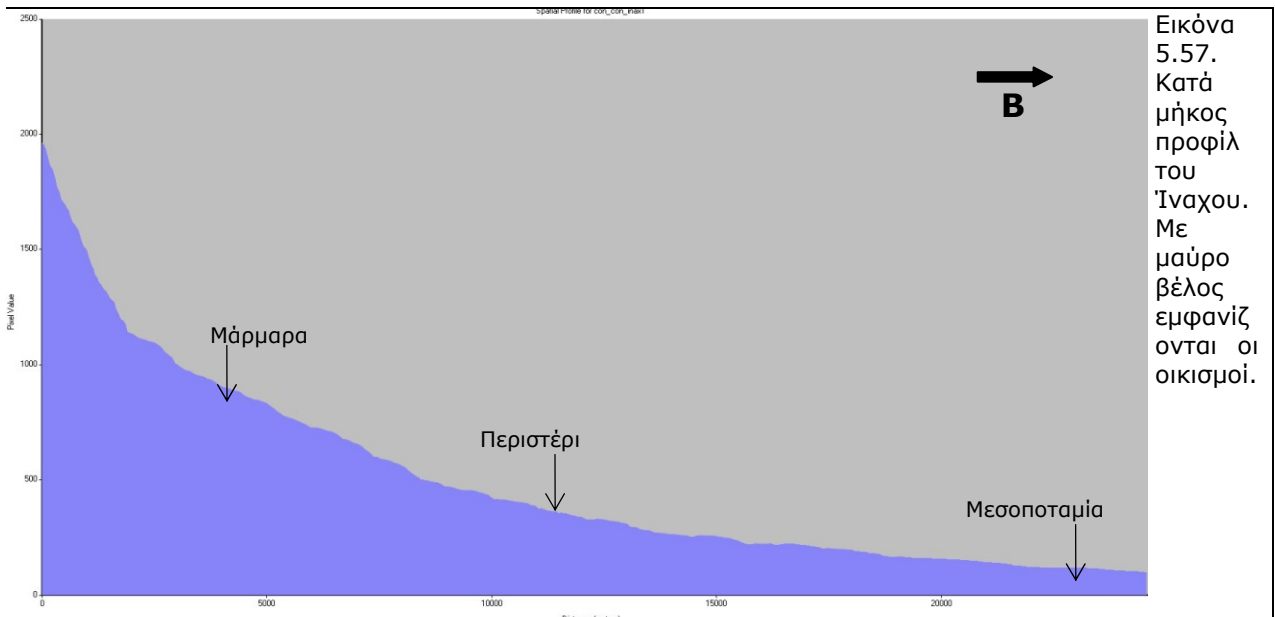
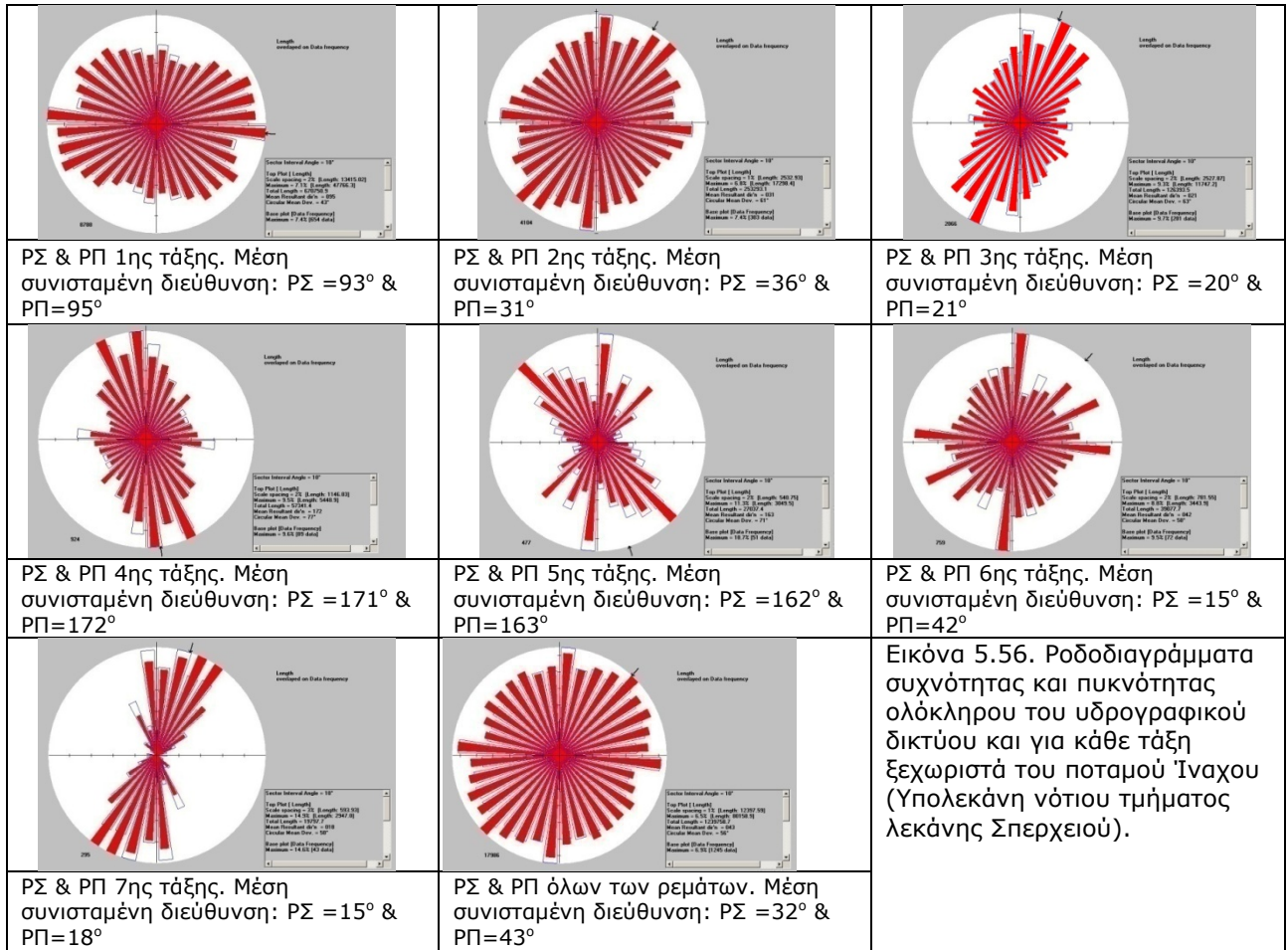
Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου ξεχωριστά, τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.56). Σκοπός της δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων είναι να διερευνηθεί η σχέση της συχνότητας (διεύθυνση) και πυκνότητας, με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.

Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση Α-Δ και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας. Οι κλάδοι 3^{ης} και 4^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση Ν ΝΑ- Β ΒΔ. Οι κλάδοι αυτοί ακολουθούν την δομή των ανάστροφων ρηγμάτων μικρής γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις). Οι κλάδοι 2^{ης}, 3^{ης}, 6^{ης} και 7^{ης} τάξης (κεντρικός κλάδος), όπως και το σύνολο των ρεμάτων της λεκάνης, έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ακολουθούν την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων, αλλά επηρεάζονται κυρίως από την έντονη γεωλογική δομή, η οποία σχετίζεται με την ύπαρξη ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή.

Δημιουργία Προφίλ

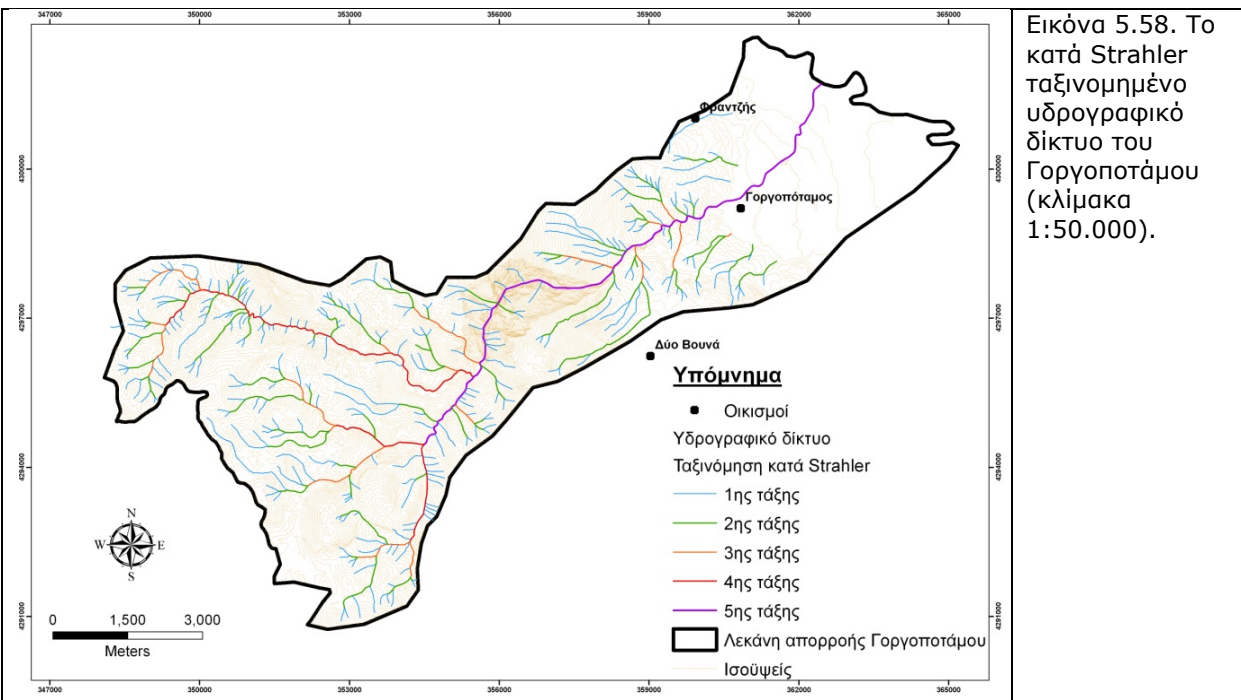
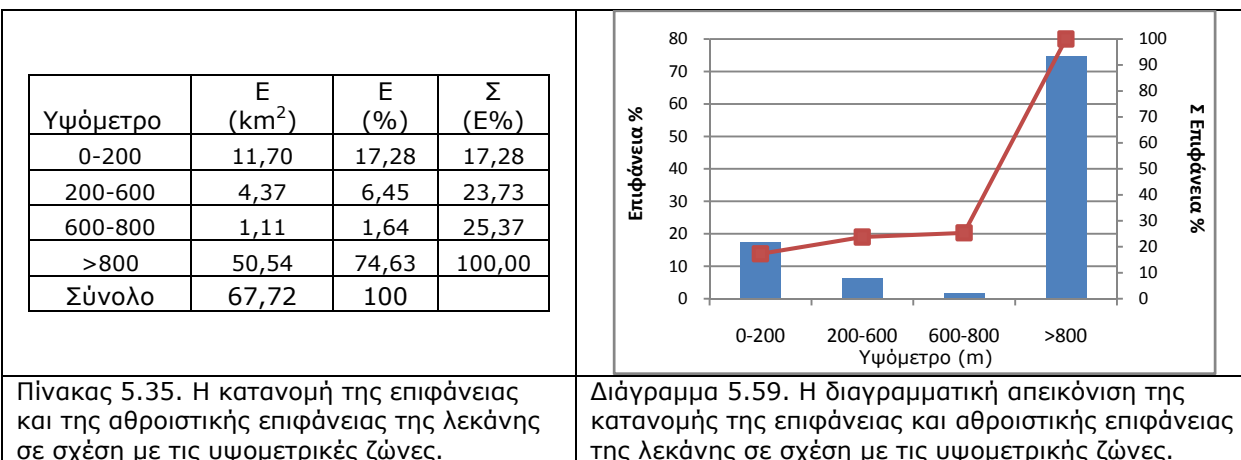
Με την βοήθεια του DEM, δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Ίναχου, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.57). Είναι εμφανές το σχετικά έντονο ανάγλυφο και οι μεγάλες, κατά τμήματα κλίσεις που παρουσιάζει η λεκάνη, καθώς και η μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.

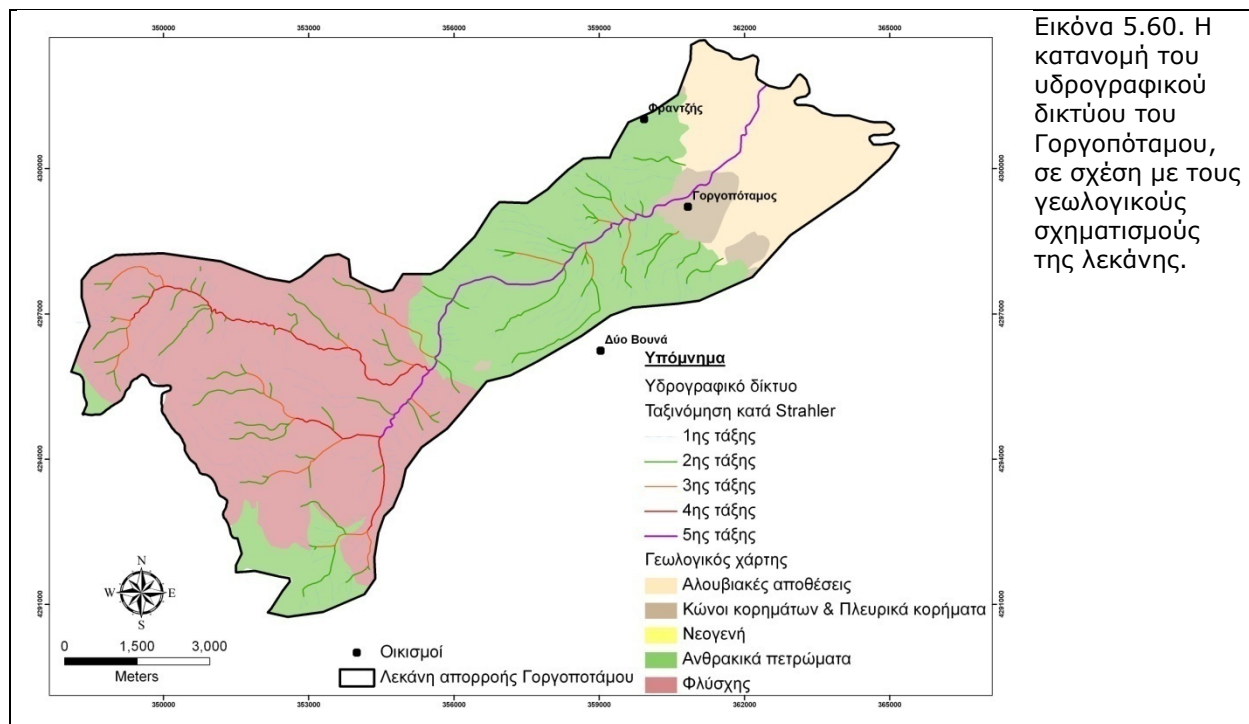


5.1.6.7. Λεκάνη ποταμού Γοργοποτάμου

Η λεκάνη του Γοργοποτάμου (Δύρας ποταμός) βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και πηγάζει από τις ανατολικές πλαγιές της Οίτης. Περνάει βόρεια από τον οικισμό Δύο Βουνά και καταλήγει στον οικισμό Κόμμα, στη συμβολή του με τον Σπερχειό. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του, έδειξε ότι ο κύριος κλάδος του είναι 5^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 397 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 304 είναι πρώτης τάξης, 71 δεύτερης τάξης, 18 τρίτης τάξης, 3 τέταρτης τάξης και 1 κλάδος πέμπτης τάξης (Εικόνα 5.58).

Το 76,3% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, εκ των οποίων, το 74,6% βρίσκεται στο πολύ ορεινό τμήμα (Πίνακας 5.35, Διάγραμμα 5.59).





Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της λεκάνης αυτής αποτελεί το μεγάλο φαράγγι που έχει σχηματιστεί περίπου στο μέσον της, δυτικά του οικισμού Δύο Βουνά, στη θέση «Ελαφοσπηλιές». Τα αίτια δημιουργίας αυτού του φαραγγιού έχουν να κάνουν με την μεγάλη κλίση που παρουσιάζει η λεκάνη, καθώς και με την παρουσία στο πρώτο μισό του φλύσχη και στο δεύτερο μισό των ανθρακικών πετρωμάτων. Το νερό των βροχοπτώσεων αποκτά αρκετά γρήγορη απορροή, λόγω των μεγάλων κλίσεων και της μικρής περατότητας του φλύσχη που καταλαμβάνει το ανώτερο τμήμα της λεκάνης. Έπειτα εισέρχεται από το φλύσχη στα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία διαβρώνει πολύ εύκολα, λόγω της μεγάλης διαβρωτικής δύναμης που έχει εξαιτίας της γρήγορης ροής τους, αλλά και της μεγάλης διαβρωσιμότητας που παρουσιάζουν τα ανθρακικά πετρώματα (Εικόνα 5.60). Με αυτή τη διαδικασία τα ανθρακικά πετρώματα διαβρώνονται με την πάροδο του χρόνου και δημιουργείται το φαράγγι. Η όλη διαδικασία ενισχύεται ακόμα περισσότερο και από τις διεργασίες ανύψωσης του περιοχής (ανύψωση του νότιου τμήματος της λεκάνης του Σπερχειού), οι οποίες ευνοούν την οπισθοδρομούσα διάβρωση.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.36, η λεκάνη απορροής του Γοργοπόταμου είναι μία μετρίου μεγέθους λεκάνη, με εμβαδόν $67,62 \text{ km}^2$. Έχει μεγάλη τιμή μέσου υψομέτρου ($1.089,7 \text{ m}$), μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου (ολικό ανάγλυφο $H=2.136,6 \text{ m}$) και πολύ μεγάλη μέση κλίση (41%). Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές από τις λεκάνες που εξετάζονται, με τιμές $141,87 \text{ m/km}$ και $134,54 \text{ m/km}$, αντίστοιχα.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει πολύ υψηλή τιμή $1,82$, την μεγαλύτερη από τις 8 υπολεκάνες και απεικονίζει την υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν. Η μεγάλη τιμή του δείκτη αυτού δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης είναι

μεγάλος. Στην πραγματικότητα βέβαια, οι μεγάλες κλίσεις της λεκάνης και η χαμηλή περατότητα του φλύσχη στα ανάντη, εξουδετερώνουν αυτό το χαρακτηριστικό.

Οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας είναι πολύ χαμηλές (0,30 και 0,30 αντίστοιχα). Αντίθετα, ο συντελεστής μήκους-πλάτους, με τιμή 3,35 και ο δείκτης επιμήκυνσης, με τιμή (0,62) απεικονίζουν το μεγάλο μήκος της λεκάνης. Γενικότερα, όλοι οι παραπάνω συντελεστές και δείκτες δείχνουν μία αρκετά σημαντική επιμήκυνση της λεκάνης που προφανώς επηρεάζεται από την νεοτεκτονική της περιοχής.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν μετρίως υψηλές τιμές 2,75 και 5,87, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές, οφείλονται στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία λόγω υψηλής περατότητας, δημιουργούν αραιό υδρογραφικό δίκτυο. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η πρόσφατη τεκτονική εξέλιξη της περιοχής με την ανύψωση που συντελείται και της δημιουργίας απότομων πρανών.

Τέλος, η τιμή της πυκνότητας είναι λίγο μεγαλύτερη λόγω της σημαντικής παρουσίας του φλύσχη, στα ανάντη της λεκάνης. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,05) και δείχνει την πλήρη απουσία μαιανδρισμού.

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Γοργοπόταμου

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Γοργοπόταμου απεικονίζονται στον πίνακα 5.36, ενώ στην εικόνα 5.61 αποδίδεται μία προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Πίνακας 5.36. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	67,62
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	15,06
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	4,50
Περίμετρος	(P)	km	52,90
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	2.150,61
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	14,00
Ολικό ανάγλυφο	H= h _{max} -h _{min}	m	2.136,61
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	1.320
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	1.089,70
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	-	0,41
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	141,87
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	3,35
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,30
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,30
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,62
Δείκτης πυκνότητας	C _o =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,82
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	397
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	185,74
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	15,88
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	2,75
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	5,87
Συντελεστής μαιανδρισμού	C= Lm/Lb	-	1,05
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	134,54



Εικόνα 5.61. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Γοργοπόταμου. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό, καθώς και την πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.37).

Από τις τιμές του πίνακα είναι εμφανές ότι η μεγαλύτερη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και του δικτύου 1^{ης} τάξης, εμφανίζεται στον σχηματισμό του φλύσχη, αποτέλεσμα φυσιολογικό, λόγω της πολύ μικρής περατότητας και της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει στην λεκάνη. Αρκετά μεγάλη τιμή πυκνότητας, εμφανίζεται και στα ανθρακικά πετρώματα, αποτέλεσμα που οφείλετε στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν.

Πίνακας 5.37. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,04	0,00
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,04	0,00
Φλύσχος	1,59	0,89
Ανθρακικά πετρώματα	1,07	0,61

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.38) και σχεδιάστηκε

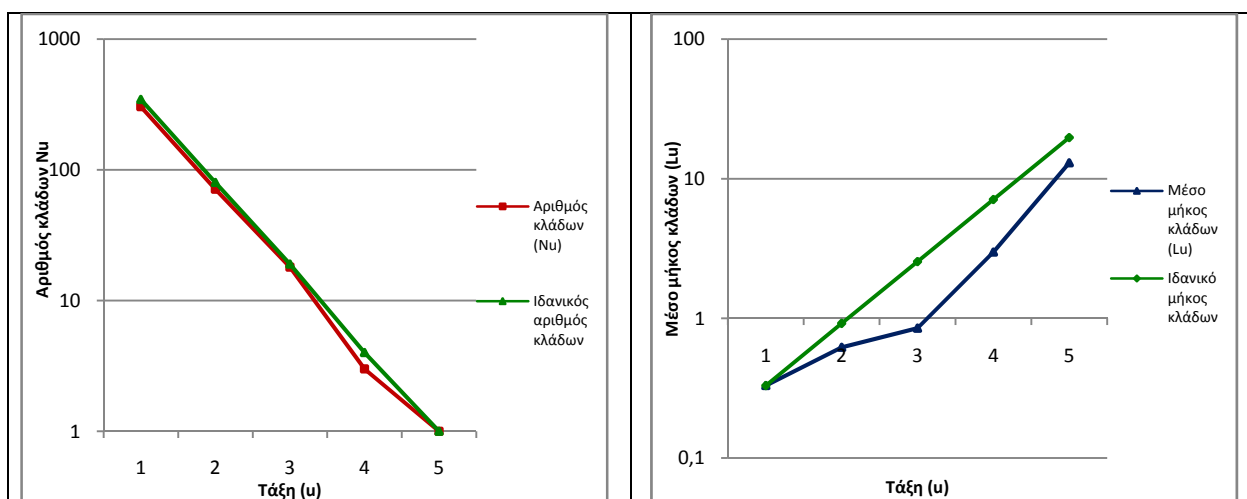
η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.62). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.39). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.63).

Πίνακας 5.38. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \overline{RB}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	304	4,28	4,31	345	-11,88
2	71	3,94		80	-11,25
3	18	6		19	-5,26
4	3	3		4	-25,00
5	1			1	0

Πίνακας 5.39. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (\overline{RL})	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,33	1,88	2,78	0,33	0
2	0,62	1,37		0,92	-32,61
3	0,85	3,51		2,55	-66,67
4	2,98	4,36		7,09	-57,97
5	13,00			19,71	-34,04



Διάγραμμα 5.62. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

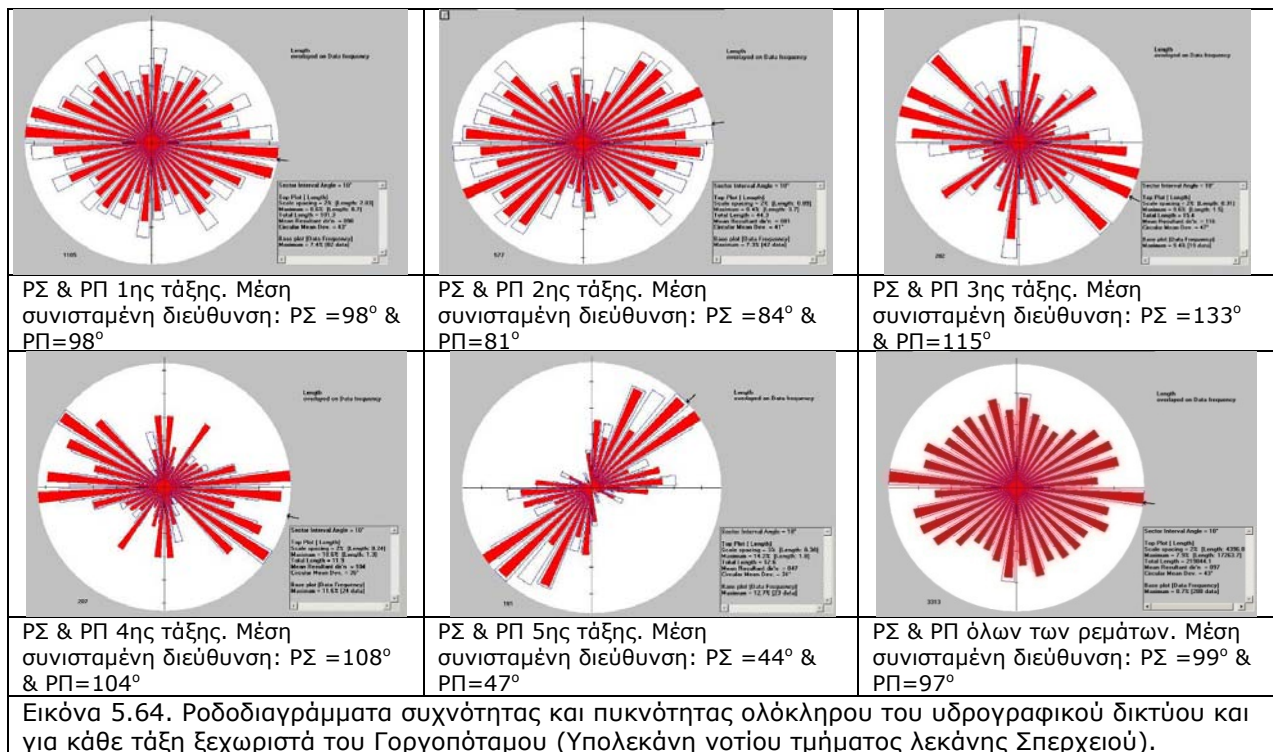
Διάγραμμα 5.63. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γοργοπόταμου από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

Από τις τιμές των πινάκων 5.38 και 5.39, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο και 2^ο νόμο, όλες οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου έχουν αριθμό κλάδων και μήκος, μικρότερο από τις ιδανικές τιμές. Η παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων στην περιοχή, περιορίζει τον σχηματισμό ενός πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Επίσης, η τεκτονική εξέλιξη που συνεχίζει να δρα στην περιοχή, ωθεί σε ανύψωση του νότιου τμήματος της λεκάνης του Σπερχειού. Η δραστηριότητα αυτή οδηγεί στη δημιουργία λίγων και μικρών κλάδων αποστράγγισης, μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και απότομες κλίσεις των πρανών. Επίσης, στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει, σε πολύ μικρότερο όμως βαθμό και η ύπαρξη της πυκνής βλάστησης που υπάρχει στην περιοχή.

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

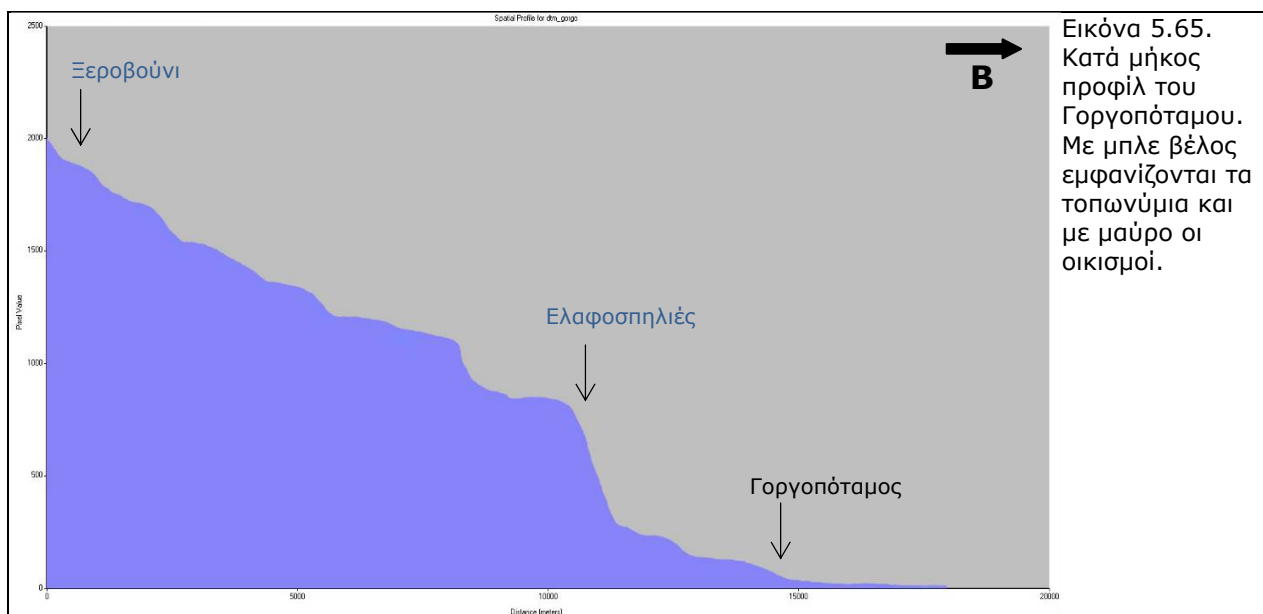
Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.64). Σκοπός της δημιουργίας των ροδοδιαγραμμάτων ήταν να διερευνηθεί η σχέση της συχνότητας (διεύθυνση) και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.

Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης} έως και 4^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση Α-Δ και λιγότερο ΝΑ-ΒΔ και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας. Μόνο ο κεντρικός κλάδος 5^{ης} τάξης έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, που ακολουθεί την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας, αλλά δείχνει να επηρεάζεται και από παλιότερα ρήγματα της περιοχής.



Δημιουργία Προφίλ

Με την βοήθεια του DEM, δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Γοργοπόταμου, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.65). Είναι εμφανές το σχετικά έντονο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη και ιδιαίτερα η μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου. Επίσης, αξιοσημείωτη είναι η μορφολογία στην περιοχή «Ελαφοσπηλιές» όπου και δημιουργείται το φαράγγι που προαναφέρθηκε με πολύ μεγάλο «βάθος».



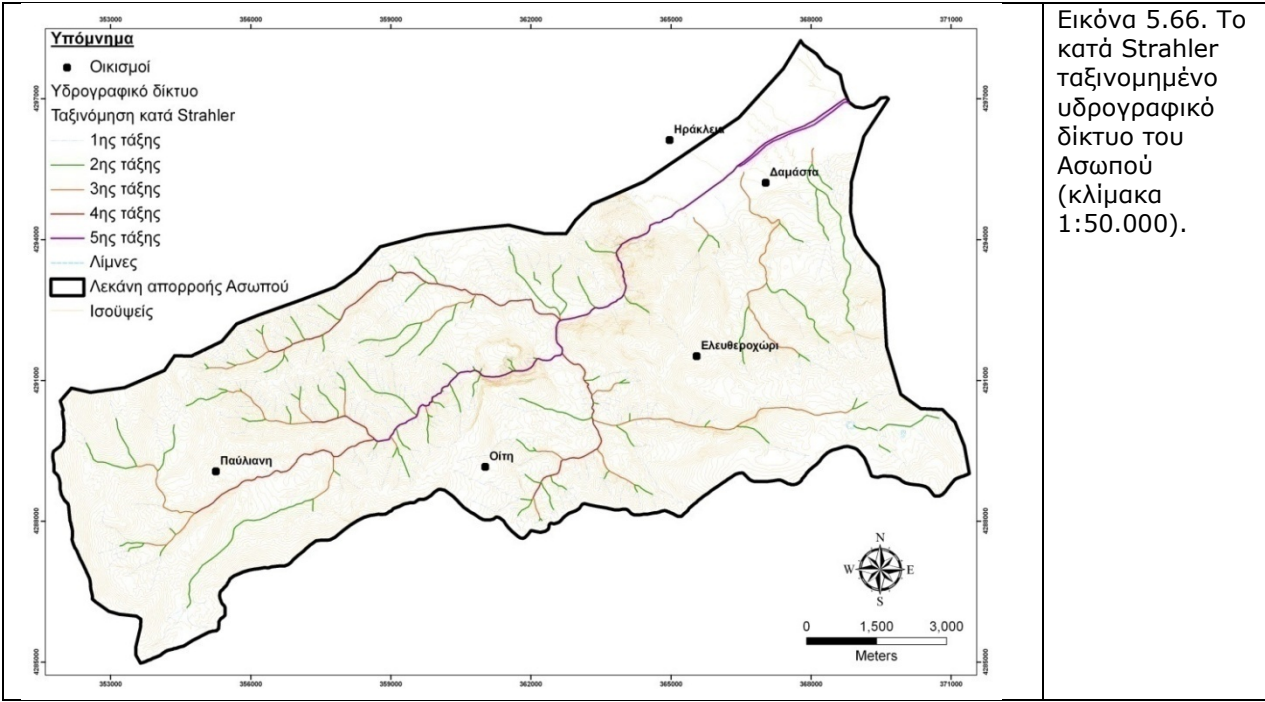
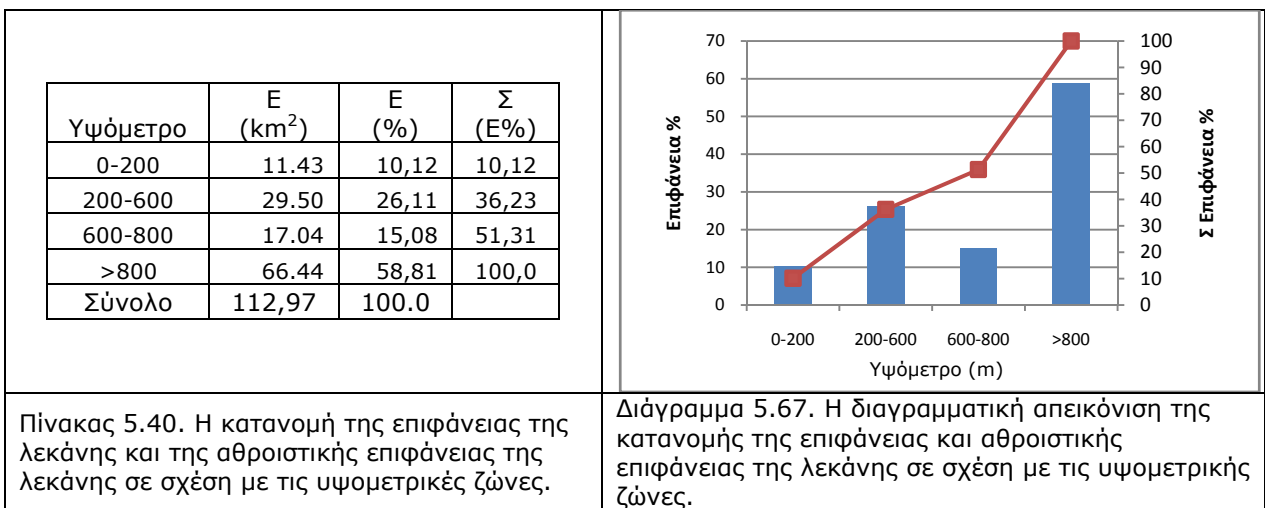
5.1.6.8. Λεκάνη ποταμού Ασωπού

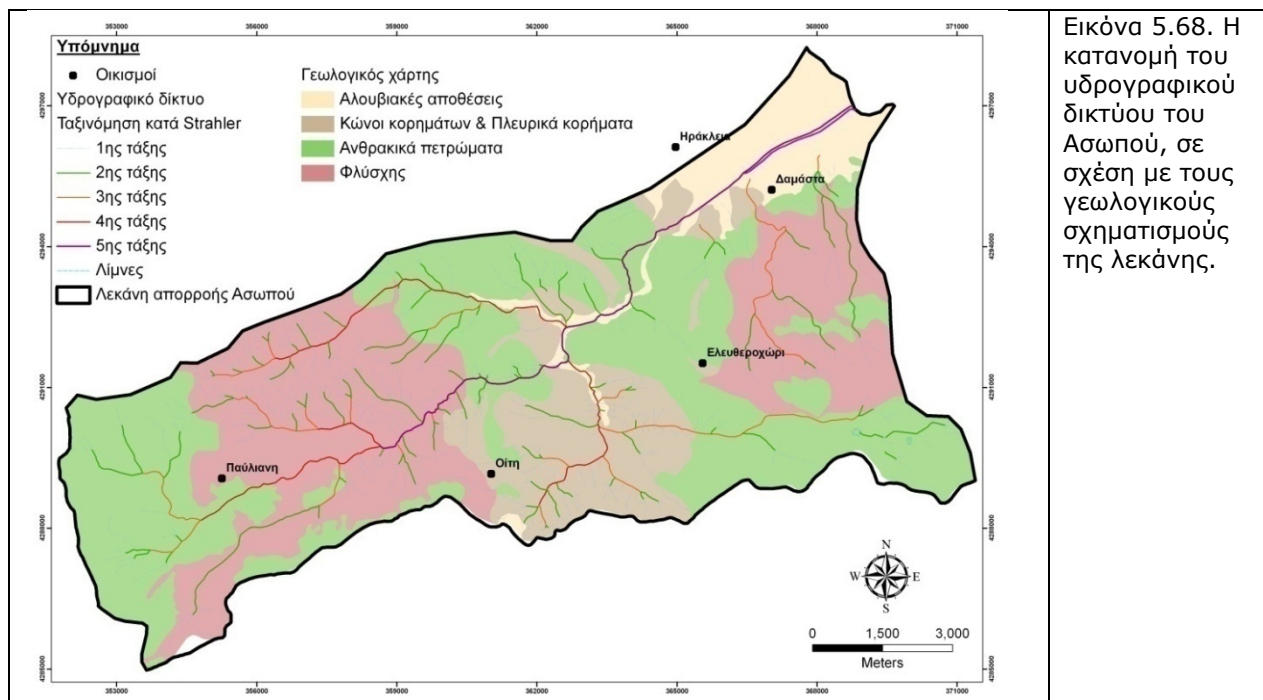
Η λεκάνη του ποταμού Ασωπού πηγάζει από το νοτιοανατολικό άκρο του όρους Οίτη, από τις κορυφές «Ξεροβούνι», «Μακρυράχη» και «Πυργάκι». Διασχίζει τον οικισμό της Παύλιανης, διέρχεται δυτικά του οικισμού Οίτη και αφού διασχίσει την Δαμάστα συμβάλει στον Σπερχειό. Ο Ασωπός είναι σήμερα, μετά τα έργα διευθέτησης του Σπερχειού που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια, το μοναδικό ποτάμι που δίνει την βασική παροχή του Σπερχειού από το σημείο συμβολής τους και κάτω. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ασωπού, έδειξε ότι αυτό φτάνει μέχρι και 5^{ης} τάξης. Συνολικά περιλαμβάνει 524 κλάδους ρεμάτων, εκ των οποίων 405 είναι πρώτης τάξης, 91 δεύτερης τάξης, 23 τρίτης τάξης, 4 τέταρτης τάξης, και 1 κλάδο 5^{ης} τάξης (Εικόνα 5.66).

Το 73,6% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m, εκ των οποίων το 58,8% βρίσκεται στο πολύ ορεινό τμήμα (Πίνακας 5.40, Διάγραμμα 5.67).

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την λεκάνη απορροής, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα (43,04%) και ο σχηματισμός του φλύσχη (34,09%). Στο κάτω τμήμα της λεκάνης υπάρχουν αλουβιακές αποθέσεις (8,16%), ενώ υπάρχουν και αρκετά σημεία με κώνους κορημάτων (14,71%) (Εικόνα 5.68).

Παρόμοιο χαρακτηριστικό με την λεκάνη του Γοργοποτάμου, αποτελεί το φαράγγι που έχει σχηματιστεί στο σημείο που το υδρογραφικό δίκτυο εισέρχεται από το φλύσχη στα ανθρακικά πετρώματα. Το φαινόμενο βέβαια είναι πολύ πιο ήπιο, σε σχέση με τον Γοργοπόταμο, γιατί κατά πρώτον επικρατούν μικρότερες κλίσεις και συνεπώς μικρότερη ταχύτητα νερού και δύναμη διάβρωσης από το νερό και κατά δεύτερον στα ανάντη ο σχηματισμός του φλύσχη έχει μικρότερη έκταση γεγονός που μειώνει την υψηλή επιφανειακή απορροή.





Εικόνα 5.68. Η κατανομή του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού, σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης.

Μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του Ασωπού

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Ασωπού απεικονίζονται στον πίνακα 5.41, ενώ στην εικόνα 5.69 αποδίδεται μία προοπτική απεικόνιση της λεκάνης.

Πίνακας 5.41. Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνη απορροής και υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού

Παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Εμβαδόν	(A)	km ²	112,97
Μήκος λεκάνης	(Lb)	km	19,45
Πλάτος λεκάνης	(Br=A/Lb)	km	5,81
Περίμετρος	(P)	km	58,95
Μέγιστο υψόμετρο h _{max}	-	m	1.804,25
Ελάχιστο Υψόμετρο h _{min}	-	m	8
Ολικό ανάγλυφο	H = h _{max} - h _{min}	m	1.796,25
Μέση τιμή υψομέτρου h _{median}	-	m	680
Μέσο υψόμετρο h _{mean}	-	m	946,94
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	-	0,46
Συντελεστής αναγλύφου (RH)	RH=H/(Lb)	m/km	92,35
Συντελεστής μήκους - πλάτους (S)	S=(Lb)/(Br)	-	3,35
Συντελεστής Σχήματος	Rf = A/ Lb ²	-	0,30
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	Rc = 4πA/P ²	-	0,41
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	Re = 1,129(A) ^{0,5} / Lb	-	0,62
Δείκτης πυκνότητας	C ₀ =0,282P/(A) ^{0,5}	-	1,56
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	524
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(L)	km	259,91
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	21,60
Υδρολογική πυκνότητα	D=(L)/(A)	km/km ²	2,30
Υδρολογική συχνότητα	F=(N)/(A)	/km ²	4,64
Συντελεστής μαιανδρισμού	C = Lm/Lb	-	1,11
Συντελεστής κλίσης	Sr=H/Lm	m/km	83,16

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.41, η λεκάνη απορροής του Ασωπού είναι μία αρκετά μεγάλη λεκάνη, με εμβαδόν 112,97 km². Έχει μεγάλο μέσο υψόμετρο (946,9 m),

μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου (ολικό ανάγλυφο $H=1.796,3$ m) και πολύ μεγάλη μέση κλίση (46%), ιδιαίτερα στο νότιο και ανατολικό τμήμα της. Ο συντελεστής αναγλύφου και ο συντελεστής κλίσης ρέματος παρουσιάζουν μεγάλες τιμές με 141,87 m/km και 134,54 m/km, αντίστοιχα.

Ο δείκτης πυκνότητας έχει υψηλή τιμή 1,56 και απεικονίζει την υψηλή τιμή της περιμέτρου σε σχέση με το εμβαδόν, η οποία δείχνει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στην έξοδο της λεκάνης είναι αρκετά μεγάλος. Οι τιμές του συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας είναι πολύ χαμηλές (0,30 και 0,41 αντίστοιχα). Αντίθετα, ο συντελεστής μήκους-πλάτους, με τιμή 3,35 και ο δείκτης επιμήκυνσης, με τιμή (0,62) δείχνουν το μεγάλος μήκος της λεκάνης. Γενικότερα, όλοι οι παραπάνω συντελεστές και δείκτες δείχνουν μία αρκετά σημαντική επιμήκυνση της λεκάνης που προφανώς επηρεάζεται από την νεοτεκτονική της περιοχής.

Όσον αφορά την συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, παρουσιάζουν μέτριες τιμές 2,30 και 4,64, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές οφείλονται κατά πρώτο λόγο στην εκτεταμένη ύπαρξη των ανθρακικών πετρωμάτων που μειώνει την πυκνότητα με αποτέλεσμα αυτή να περιορίζεται και να μην παίρνει τελικά πολύ μεγάλες τιμές. Κατά δεύτερον όμως η μεγαλύτερη τιμή που παρουσιάζει η συχνότητα οφείλεται και στην πρόσφατη εξέλιξη της περιοχής με την ανύψωση που συντελείται, εξαιτίας των τεκτονικών επιδράσεων. Η δραστηριότητα αυτή, οδηγεί στη δημιουργία λίγων κλάδων αποστράγγισης, μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και απότομες κλίσεις των πρηνών. Τέλος, ο συντελεστής μαιανδρισμού (sinuosity), έχει αρκετά μικρή τιμή (1,11) και δείχνει την απουσία κάποιου αξιοσημείωτου μαιανδρισμού.



Εικόνα 5.69. Προοπτική απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού. Εικόνα από Google Earth με επίθεση των ορίων της λεκάνης, όπως αυτά είχαν περαστεί στο ΓΠΣ.

Συσχέτιση υδρογραφικού δικτύου και γεωλογίας

Η συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου με την γεωλογία της λεκάνης μας έδωσε την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ανά γεωλογικό σχηματισμό, καθώς και την πυκνότητα των κλάδων 1^{ης} τάξης ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 5.42).

Από τις τιμές του πίνακα είναι εμφανές ότι η μεγαλύτερη πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και του δικτύου 1^{ης} τάξης, εμφανίζεται στον σχηματισμό του φλύσχη, αποτέλεσμα φυσιολογικό, λόγω της πολύ μικρής περατότητας και της αρκετά μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει στην λεκάνη. Αρκετά μεγάλη τιμή πυκνότητας, εμφανίζεται και στα ανθρακικά πετρώματα, αποτέλεσμα που οφείλετε στην μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν.

Πίνακας 5.42. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου - δικτύου 1ης τάξης ανά γεωλογική ενότητα

Γεωλογική ενότητα	Πυκνότητα (km/km ²)	Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)
Αλουβιακές αποθέσεις	0,13	0,03
Κώνιοι κορημάτων & Πλευρικά κορήματα	0,43	0,25
Φλύσχη	1,04	0,61
Ανθρακικά πετρώματα	0,70	0,36

Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton

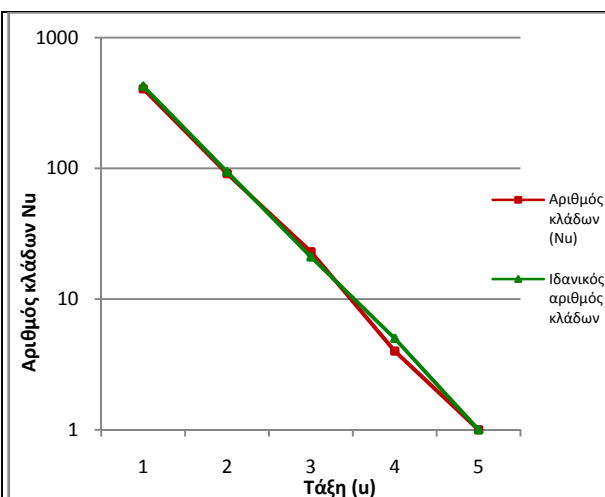
Για την διερεύνηση του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των ιδανικών τιμών κάθε τάξης. Υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης (Rb), τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.43) και σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.70). Επίσης, υπολογίστηκαν, σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Horton, που αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τα μέσα καθαρά μήκη των κλάδων ανά τάξη, οι λόγοι μήκους (RL) ανά τάξη, οι αποκλίσεις των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 5.44). Τέλος, σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση της σχέσης πραγματικών και ιδανικών τιμών (Διάγραμμα 5.71).

Πίνακας 5.43. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ασωπού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη κατά Horton

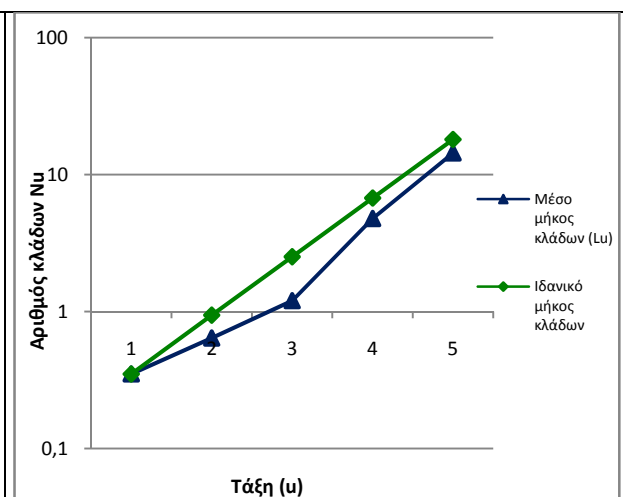
Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης \bar{Rb}	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	405	4,45	4,54	425	-4,71
2	91	3,96		94	-3,19
3	23	5,75		21	+9,52
4	4	4		5	-20,00
5	1	4		1	0

Πίνακας 5.44. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Ασωπού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, κατά Horton

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους (\bar{RL})	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,35	1,83	2,68	0,35	0
2	0,64	1,88		0,94	-31,91
3	1,20	3,98		2,51	-52,19
4	4,77	3,01		6,74	-29,23
5	14,37			18,06	-20,43



Διάγραμμα 5.70. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



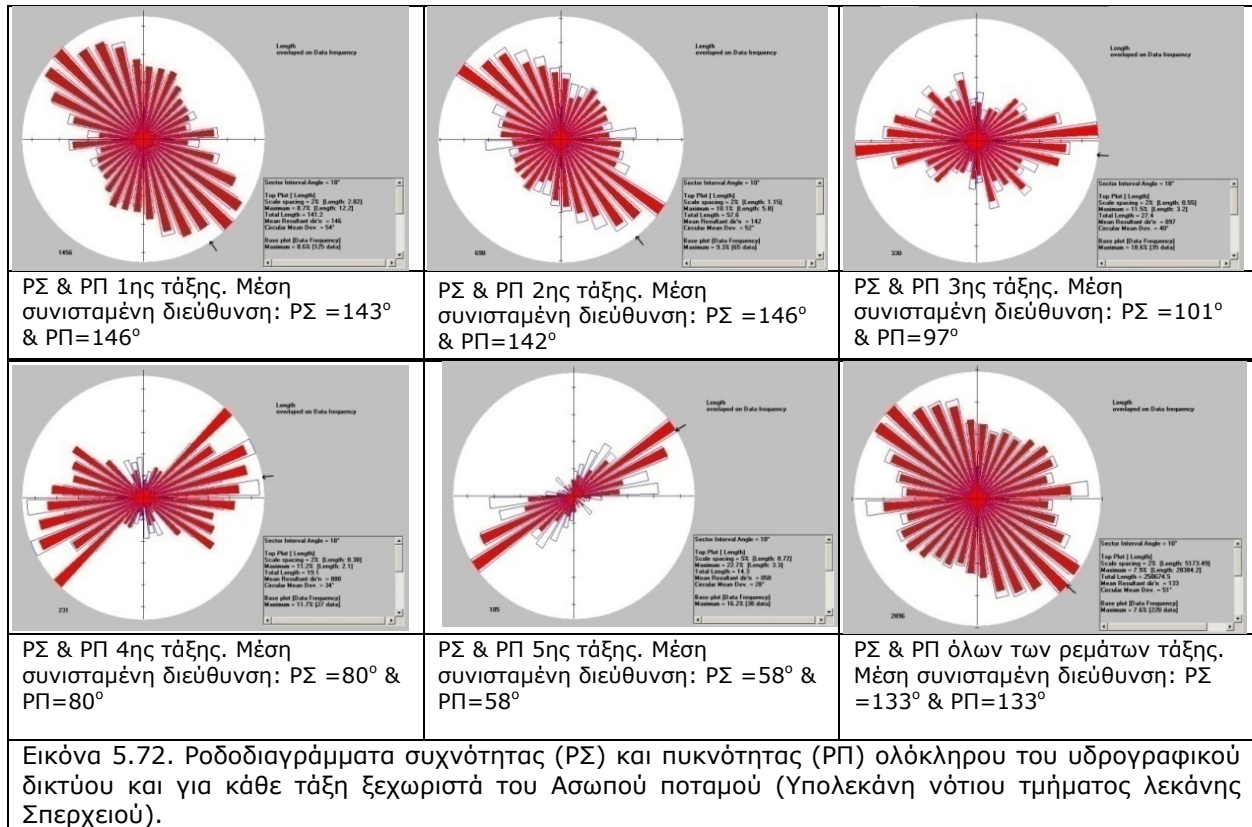
Διάγραμμα 5.71. Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Ασωπού από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

Από τις τιμές των πινάκων 5.43 και 5.44, διαπιστώνουμε ότι με βάση τον 1^ο και 2^ο νόμο, όλες οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου έχουν αριθμό κλάδων μικρότερο και μικρότερο μήκος από τις ιδανικές τιμές. Η αυξημένη παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων στην περιοχή, περιορίζει τον σχηματισμό ενός πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Επίσης, η ύπαρξη του ατελούς υδρογραφικού δικτύου, οφείλεται σημαντικά και στην τεκτονική εξέλιξη που συνεχίζει να δρα στην περιοχή και της ανύψωσης που συντελείτε, δραστηριότητα που οδηγεί στη δημιουργία λίγων και μικρών κλάδων αποστράγγισης, μεγάλη κατά βάθος διάβρωση και απότομες κλίσεις των πρηνών. Επίσης, στην κατεύθυνση αυτή βοηθάει, σε πολύ μικρότερο όμως βαθμό και η ύπαρξη της πυκνής βλάστησης που υπάρχει στην περιοχή.

Ροδοδιαγράμματα διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου

Δημιουργήθηκαν για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου ξεχωριστά τα ροδοδιαγράμματα συχνότητας (ΡΣ) και πυκνότητας (ΡΠ) (Εικόνα 5.72). Σκοπός της δημιουργίας των

ροδοδιαγραμμάτων ήταν να διερευνηθεί η σχέση της συχνότητας (διεύθυνση) και πυκνότητας με την τεκτονική και την γεωλογία της περιοχής.

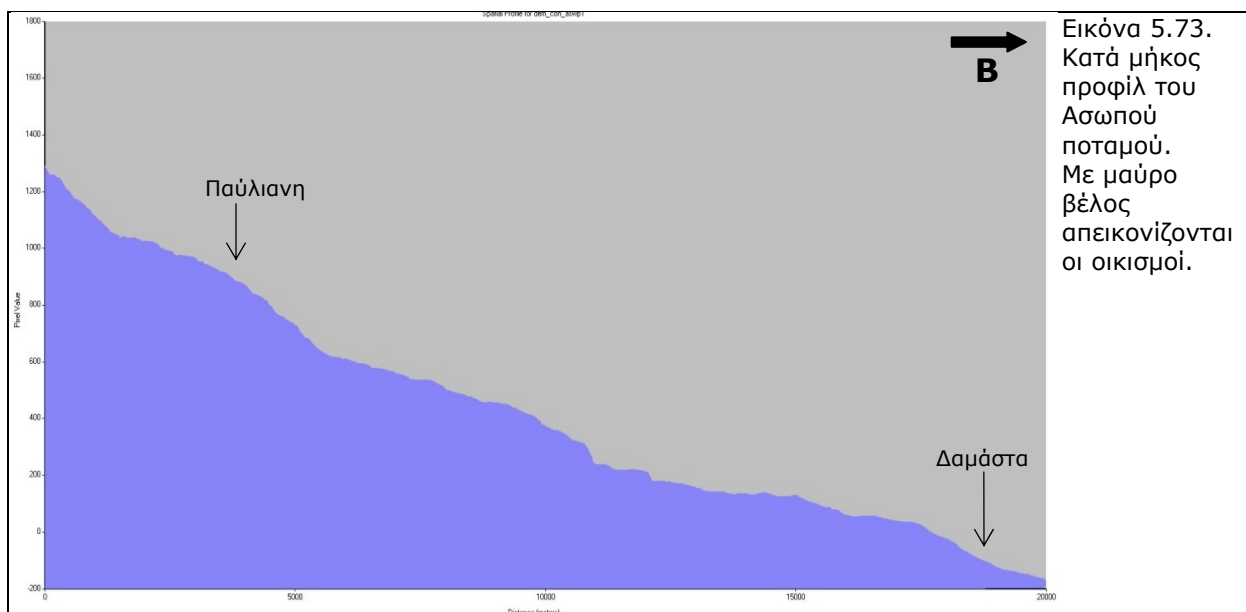


Από τα ροδοδιαγράμματα αυτά, όσον αφορά την συχνότητα και την πυκνότητα (ροδοδιαγράμματα συχνότητας-ΡΣ και πυκνότητας-ΡΠ), διαπιστώνεται ότι τα ρέματα 1^{ης} έως και 4^{ης} τάξης έχουν διεύθυνση Α-Δ και ΝΑ-ΒΔ και ακολουθούν τα κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας. Ο κεντρικός κλάδος 5^{ης} τάξης έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, που ακολουθεί την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας, αλλά δείχνει να επηρεάζεται και από παλιότερα ρήγματα της περιοχής.

Δημιουργία Προφίλ

Με την βοήθεια του DEM, δημιουργήθηκε για την λεκάνη του Ασωπού, ένα κατά μήκος προφίλ, που δίνει σημαντικές πληροφορίες τόσο από γεωμορφολογική, όσο και από υδρολογική άποψη (Εικόνα 5.73).

Είναι εμφανές το σχετικά έντονο ανάγλυφο που παρουσιάζει η λεκάνη και ιδιαίτερα η μεγάλη υψομετρική διαφορά μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου.



Εικόνα 5.73. Κατά μήκος προφίλ του Ασωπού ποταμού. Με μαύρο βέλος απεικονίζονται οι οικισμοί.

5.1.7. Ανάλυση μορφομετρικών παραμέτρων

Με βάση την εμπειριστατωμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τόσο η λεκάνη απορροής του Σπερχειού, όσο και οι 8 κύριες υπολεκάνες της περιοχής, μπορεί να εξαχθεί πλήθος χρήσιμων πληροφοριών για την μορφολογία της περιοχής (Πίνακας 5.45).

Συγκεκριμένα είναι εμφανές από τα στοιχεία του πίνακα 5.45 ότι οι υπολεκάνες του νότιου τμήματος, έχουν σαφώς μεγαλύτερο μήκος και σχετικά μικρότερο πλάτος σε σχέση με το μέγεθός τους, σε σχέση με τις υπολεκάνες του βόρειου τμήματος, οι οποίες έχουν μεγαλύτερο δείκτη κυκλικότητας. Επίσης, το ανάγλυφο στο νότιο τμήμα είναι πιο απότομο, με μεγαλύτερες κλίσεις και μεγαλύτερο ολικό ανάγλυφο και μέση τιμή υψομέτρου. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στην επίδραση της νεοτεκτονικής της περιοχής και της δράσης των ρηγμάτων Α-Δ, που συντελούν στην ανύψωση του νότιου τμήματος και βύθιση και διεύρυνση του βόρειου τμήματος.

Το υδρογραφικό δίκτυο ακολουθεί τις κινήσεις αυτές και έτσι οι κλάδοι των ρεμάτων στο νότιο τμήμα έχουν μεγαλύτερα μήκη και λίγους κλάδους, ενώ στο βόρειο έχουν μικρότερα μήκη και περισσότερους κλάδους. Στις τιμές βέβαια του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δίκτυο, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το υπόβαθρο της περιοχής. Στην λεκάνη του Σπερχειού, στο δυτικό και βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης, κυριαρχούν τα αδιαπέρατα και ημιπερατά πετρώματα (φλύσχη και οφιόλιθοι), που συντελούν στην δημιουργία πυκνότερου επιφανειακού δικτύου ρεμάτων.

Η υδρολογική συχνότητα και πυκνότητα, έχουν από μέτρια μεγάλες έως μεγάλες τιμές, για τις περισσότερες υπολεκάνες, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο γεωλογικό υπόβαθρο και στην πρόσφατη συνεχιζόμενη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, ενώ λιγότερο επιδρά η ύπαρξη της βλάστησης. Οι μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου των υπολεκάνων, αλλά και των κλάδων 1^{ης} τάξης, εντοπίζονται επίσης στους αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς του φλύσχη και των οφιολιθών, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.45. Συνοπτικός πίνακας που αποδίδει τα κύρια χαρακτηριστικά των 8 υπολεκάνων που εξετάστηκαν, αλλά και της λεκάνης του Σπερχειού.

Παράμετρος	B		Ar		Δ		ΞΛ		P		I		Γ		Ας		ΣΠ														
	Βόρειο Τμήμα																	Νότιο Τμήμα													
Εμβαδόν (km ²)	58,85		47,40		26,62		109,74		53,11		341,86		67,62		112,97		1.828														
Μήκος λεκάνης (km)	10,47		12,22		11,84		17,63		14,61		29,21		15,06		19,45		65,89														
Πλάτος λεκάνης (km)	5,62		3,88		2,18		6,22		3,64		11,70		4,50		5,81		30,01														
Περίμετρος (km)	36,28		38,54		30,84		57,63		39,67		104,58		52,90		58,95		300,20														
Μέγιστο υψόμετρο hmax (m)	1.281,3		826,5		820,5		1.085,5		1.724,6		2.293,7		2.150,6		1.804,3		2.437														
Ελάχιστο Υψόμετρο hmin (m)	215		100		30,8		12,00		240,50		90		14,00		8		0														
Ολικό ανάγλυφο (m)	1.066,3		726,5		789,7		1.073,5		1.484,1		2.203,7		2.136,6		1.796,3		2.437														
Μέση τιμή υψομέτρου hmedian (m)	670		420		285		593,14		940		962		1.320		680		520														
Μέσο υψόμετρο hmean (m)	747,41		452,64		456,14		540,00		998,70		1.155,36		1.089,70		946,94		626														
Μέση κλίση λεκάνης (%)	44		32		28		30		40		42		41		46		34														
Συντελεστής αναγλύφου (m/km)	101,84		59,45		66,70		60,89		101,58		75,44		141,87		92,35		36,99														
Συντελεστής μήκους - πλάτους	1,86		3,15		5,43		2,83		4,01		2,50		3,35		3,35		2,17														
Συντελεστής Σχήματος	0,54		0,32		0,19		0,35		0,25		0,40		0,30		0,30		0,04														
Δείκτης κυκλικότητας λεκάνης	0,56		0,40		0,35		0,42		0,42		0,39		0,30		0,41		0,26														
Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	1,54		0,64		0,49		0,67		0,21		0,72		0,62		0,62		0,73														
Δείκτης πυκνότητας	1,33		1,58		1,69		1,55		1,53		1,60		1,82		1,56		1,98														
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	573		484		233		452		205		2.887		397		524		10.904														
Συνολικό μήκος ρεμάτων (km)	219,8		180,8		98,5		228,5		123,6		1193,7		185,7		259,9		5.246,4														
Μήκος κύριου ρέματος (km)	11,56		14,46		12,49		19,30		15,50		30,40		15,88		21,60		85,2														
Υδρολογική πυκνότητα (km/km ²)	3,73		3,81		3,70		2,08		2,33		3,49		2,75		2,30		2,87														
Υδρολογική συχνότητα (1/km ²)	9,74		10,21		8,75		4,12		3,86		8,45		5,87		4,64		5,97														
Συντελεστής μαιανδρισμού	1,10		1,18		1,06		1,10		1,06		1,04		1,05		1,11		1,29														
Συντελεστής κλίσης (m/km)	92,24		50,23		63,23		55,62		95,75		72,49		134,54		83,16		28,60														
Κύριοι Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Φ		Ο,Φ,Α,λ		Ο, Αλ		Αν,Ο		Φ		Φ		Αν,Φ, Αλ		Αν, Φ		-														
1° & 2° νόμος Horton	Τάξη	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	-													
	1	+17,0	-33,0	-20,0	-2,0	-2,0	-7,0	-12,0	-5,0																						
	2	-9, -4	-40, -20	-31, -24	0, -15	-31, -45	-20, -25	-11, -33	-3, -32																						
	3	-31, +37	-50, -18	-40, -66	+5, -47	-29, -52	-34, -24	-5 -67	+10, -52																						
	4	-55, +76	-67, +22	-50, -72	0, -33	-50, 22	-39, -38	-25, -58	-20, -29																						
	5	-33, +80	-50, +2	0, -48	0, -16	0, -26	-31, -55	0, -34	0, -20																						
	6	0, -47	0, -13	-	-	-	-25, -10	-	-																						
	7	-	-	-	-	-	0, -36	-	-																						
8	-	-	-	-	-	-	-	-																							
Τιμές διεύθυνσης Συχνότητας & Πυκνότητας	Τάξη	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ	ΡΣ, ΡΠ														
	1	83°, 87° Δ-Α	160°, 164° NNA-BBA	100°, 96° Δ-Α	98°, 98° Δ-Α	127°, 131° NA-BΔ	93°, 95° Δ-Α	98°, 98° Δ-Α	143°, 146° NA-BΔ	122°, 124° NA-BΔ																					
2	99°, 93° Δ-Α	164°, 167° NNA-BBA	74°, 62° ΔΝΔ-ΑΒΑ	81°, 84° Δ-Α	83°, 91° Δ-Α	36°, 31° BBA-NNΔ	84°, 81° Δ-Α	146°, 142° NA-BΔ	24°, 22° BBA-NNΔ																						

	3	95°, 99° Δ-Α	73°, 71° ΑΒΑ-ΔΝΔ	10°, 14° ΒΒΑ-ΝΝΔ	116°, 133° ΔΒΔ-ΑΝΑ	36°, 18° ΒΒΑ-ΝΝΔ	20°, 21° ΒΒΑ-ΝΝΔ	133°, 115° ΔΒΔ-ΑΝΑ	101°, 97° Δ-Α	23°, 22° ΒΒΑ-ΝΝΔ
	4	78°, 23° ΒΒΑ-ΝΝΔ	146°, 153° ΝΑ-ΒΔ	2°, 173° ΒΒΑ-ΝΝΔ	104°, 108° ΔΒΔ-ΑΝΑ	70°, 67° ΔΝΔ-ΑΒΑ	171°, 172° ΝΝΑ-ΒΒΔ	108°, 104° Δ-Α	80°, 80° Δ-Α	13°, 17° ΒΒΑ-ΝΝΔ
	5	169°, 170° ΝΝΑ-ΒΒΔ	8°, 7° ΒΒΑ-ΝΝΔ	16°, 20° ΒΒΑ-ΝΝΔ	47°, 44° ΒΑ-ΝΔ	39°, 39° ΒΑ-ΝΔ	162°, 163° ΝΝΑ-ΒΒΔ	44°, 47° ΒΑ-ΝΔ	58°, 58° ΒΑ-ΝΔ	12°, 16° ΒΒΑ-ΝΝΔ
	6	151°, 148° ΝΝΑ-ΒΒΔ	159°, 163° ΝΑ-ΒΔ	-	-	-	15°, 42° ΒΒΑ-ΝΝΔ	-	-	136°, 123° ΝΑ-ΒΔ
	7	-	-	-	-	-	15°, 18° ΒΒΑ-ΝΝΔ	-	-	43°, 41° ΒΒΑ-ΝΝΔ
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	112°, 108° Δ-Α ΔΒΔ-ΑΝΑ
Λεκάνη		99°, 97° Δ-Α	159°, 163° ΝΝΑ-ΒΒΔ	46°, 64° ΒΑ-ΝΔ	166°, 167° ΝΝΑ-ΒΒΔ	57°, 52° ΑΒΑ-ΔΝΔ	32°, 43° ΒΒΑ-ΝΝΔ	99°, 97° Δ-Α	133°, 133° ΑΝΑ-ΔΒΔ	
Πυκνότητα δικτύου 1 ^{ης} τάξης (km/km ²)		1,87 Φ	1,23 Ο	2,00 Ο	0,99 Ο	1,25 Φ	1,56 Φ	0,89 Φ	0,61 Φ	
Μέσο μήκος κλάδων 3 ^{ης} τάξης (m)		236,4	206,8	146,8	294,0	384,3	215,3	256,0	293,9	

Όπου Β=Βιτολιώτης, Αρ=Αρχανόρρεμα, Δ=Δριμαρόρρεμα, ΞΛ=Ξηριάς Λαμίας, Ρ=Ρουσιανίτης, Ι=Ίναχος, Φ=Φλύσσης, Αν=Ανθρακικά πετρώματα, Ο=Οφιόλιθοι, Αλ=Αλουβιακές αποθέσεις

Οι τιμές που δίνουν ο 1^{ος} και 2^{ος} νόμος του Horton, δείχνουν επίσης το στάδιο νεότητας που βρίσκεται η περιοχή, γεγονός που οδηγεί κυρίως σε υδρογραφικά δίκτυα, με πολλούς κλάδους, μικρού μήκους στο βόρειο τμήμα και λίγους αλλά επιμήκεις κλάδους, στο νότιο τμήμα. Μικρό ρόλο στις διεργασίες αυτές διαδραματίζουν και τα παλαιά ρήγματα και οι δομές (ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας με επωθήσεις και εφιππεύσεις, καθώς και πτυχές με αντίκλινα και σύγκλινα) της περιοχής. Η επίδραση τους αυτή, εμφανίζεται και στο μήκος των κλάδων 3^{ης} τάξης, το οποίο όταν έχει μικρές τιμές χαρακτηρίζει εφελκυστικές τάσεις (αντίκλινα) που ευνοούν την ανάπτυξη πολλών και μικρών ρεμάτων. Αντίθετα οι μεγάλες τιμές μηκών ευνοούν στον σχηματισμών λίγων αλλά μεγαλύτερου μήκους ρεμάτων.

Από τις διευθύνσεις των ροδοδιαγραμμάτων συχνότητας και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου, προκύπτει ότι στις υπολεκάνες του νότιου τμήματος, όπως και στην συνολική λεκάνη του Σπερχειού η διεύθυνση είναι κυρίως Δ-Α και λιγότερο ΑΝΑ-ΔΒΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Οι διευθύνσεις αυτές συμπίπτουν με την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας που επιδρούν και διαμορφώνουν την λεκάνη. Μικρή εξαίρεση αποτελεί η λεκάνη του Ίναχου η οποία επηρεάζεται μεν από την νεοτεκτονική, αλλά δείχνει ότι δέχεται και μια μικρή επίδραση από παλιότερα ρήγματα της περιοχής. Συγκεκριμένα η λεκάνη παρουσιάζει μία περιστροφή προς τα ΒΑ, γύρω από έναν άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (*Παράσχου & Βουβαλίδης* 2006), που επηρεάζει την διεύθυνση των ρεμάτων.

Αντίθετα, οι διευθύνσεις του υδρογραφικού δικτύου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, είναι κυρίως ΝΝΑ-ΒΒΔ και λιγότερο ΒΑ-ΝΔ. Οι διευθύνσεις αυτές δείχνουν ότι ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα, μικρής γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις). Εξαίρεση αποτελεί το δυτικό τμήμα, το οποίο φαίνεται ότι επηρεάζεται κυρίως από τα κανονικά ρήγματα ή από παλαιότερα ρήγματα Α-Δ που επιδρούν τοπικά στην περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. ΚΛΙΜΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

6.1.1. Υδρομετεωρολογία

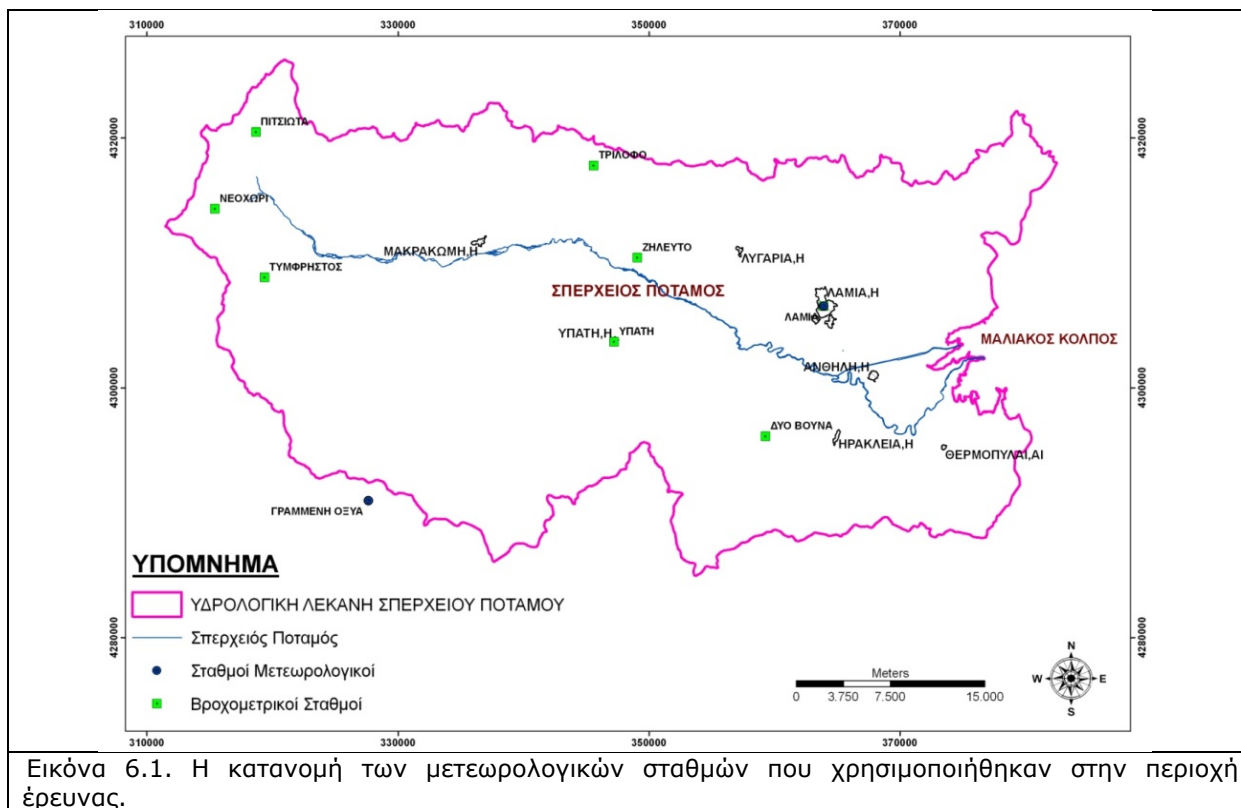
Η σωστή μέτρηση και επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων μιας περιοχής αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση και διαμόρφωση ενός σωστού συμπεράσματος για την υπόλοιπη υδρολογία μιας περιοχής (Παγώνης 1998, Παραϊοαννου et al. 2007, Kerkides et al. 2007). Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν τα υπάρχοντα για την περιοχή μελέτης μετεωρολογικά δεδομένα, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, την ΔΕΗ και από στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης (2006), που αφορούν τις βροχοπτώσεις, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ηλιοφάνεια και τον άνεμο για την περιοχή έρευνας. Επίσης, ελήφθησαν υπόψη μετεωρολογικά δεδομένα άλλων ερευνητικών εργασιών που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή, με σκοπό την σύγκριση και έλεγχο των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις διάφορες πηγές για την διατριβή (Δεληγεώργης & Δάλλας 1977, Κακαβάς 1984β, Μαρουκιάν 1987, Τσολακίδης 1992).

i) Κατακρημνίσματα

Με τον όρο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιγράφονται γενικά όλες οι μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.α.) με τις οποίες το νερό φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περιοχή έρευνας ενδιαφέρει κυρίως η βροχή και το χιόνι (Oliver 2005, Παγώνας 2009). Η χιονόπτωση στους γύρω ορεινούς όγκους (ιδιαίτερα στη νότια και δυτική πλευρά) είναι συχνή και διαρκεί συνήθως από τέλη Οκτώβρη μέχρι και τον Απρίλιο.

Για την ανάλυση της κατανομής της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 8 μετεωρολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης από τον σταθμό της Λαμίας (ΕΜΥ, Η:144 m, Χ:361050, Υ: 4306493), για την περίοδο 1957-2000, των σταθμών του ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπάτης (Η:286 m, Χ: 346524, Υ:4303061), Τρίλοφου (Η:580 m, Χ:345367, Υ:4317887) Ζηλευτού (Η:120 m, Χ:349557, Υ:4310404) και Τυμφρηστού (Η:850 m, Χ: 319174, Υ:4309189, καθώς και των σταθμών της ΔΕΗ, Νεοχωρίου (Η:800 m, Χ: 314969, Υ:4314839), Πιτσιώτα (Η:800 m, Χ: 317985, Υ:4320322) και Δύο Βουνών (Η:460 m, Χ: 359306, Υ:4296117, για την περίοδο 1980-2001 (Εικόνα 6.1).

Οι αναλυτικοί πίνακες των βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν απεικονίζονται στο Παράρτημα Ι. Η εκτίμηση των ελλিপών παρατηρήσεων των βροχομετρικών σταθμών έγινε με χρήση της μεθόδου κανονικού λόγου (normal ratio method), κατά την οποία η εκτίμηση της ελλείπουσας παρατήρησης ενός σταθμού, βασίζεται στις ταυτόχρονες παρατηρήσεις των σταθμών αναφοράς. Ο υπολογισμός του πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό επεξεργασίας και ανάλυσης υδρολογικών χρονοσειρών «Υδρογνώμονα» (έκδοση 3.9, ΙΤΙΑ-Ερευνητική ομάδα, Ε.Μ.Π, Τομέα Υδατικών Πόρων και



Εικόνα 6.1. Η κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας.

Περιβάλλοντος) (http://www.hydrognomon.org/index_el.html, Χριστοφίδης & Κοζάνης 2004).

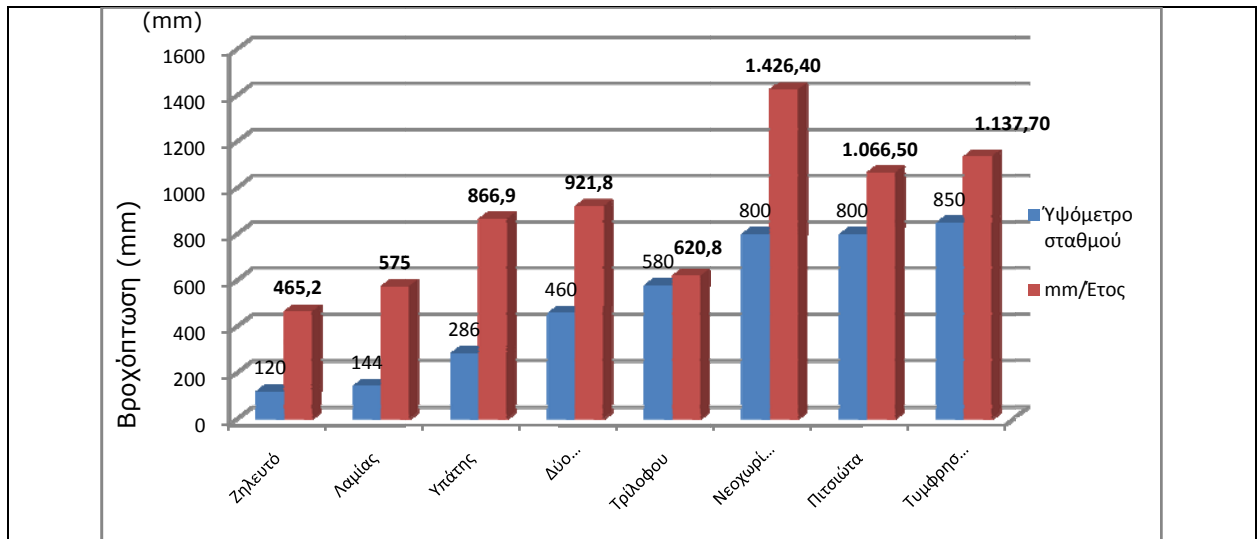
Οι μέσες μηνιαίες και η μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης (σε mm) των 8 σταθμών αναφοράς, για τα αντίστοιχα έτη που υπήρχαν μετρήσεις, απεικονίζονται στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί. Στα διαγράμματα 6.2 & 6.3 απεικονίζεται η συσχέτιση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο των σταθμών.

Πίνακας 6.1. Μέσες μηνιαίες τιμές και μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης των 8 σταθμών αναφοράς

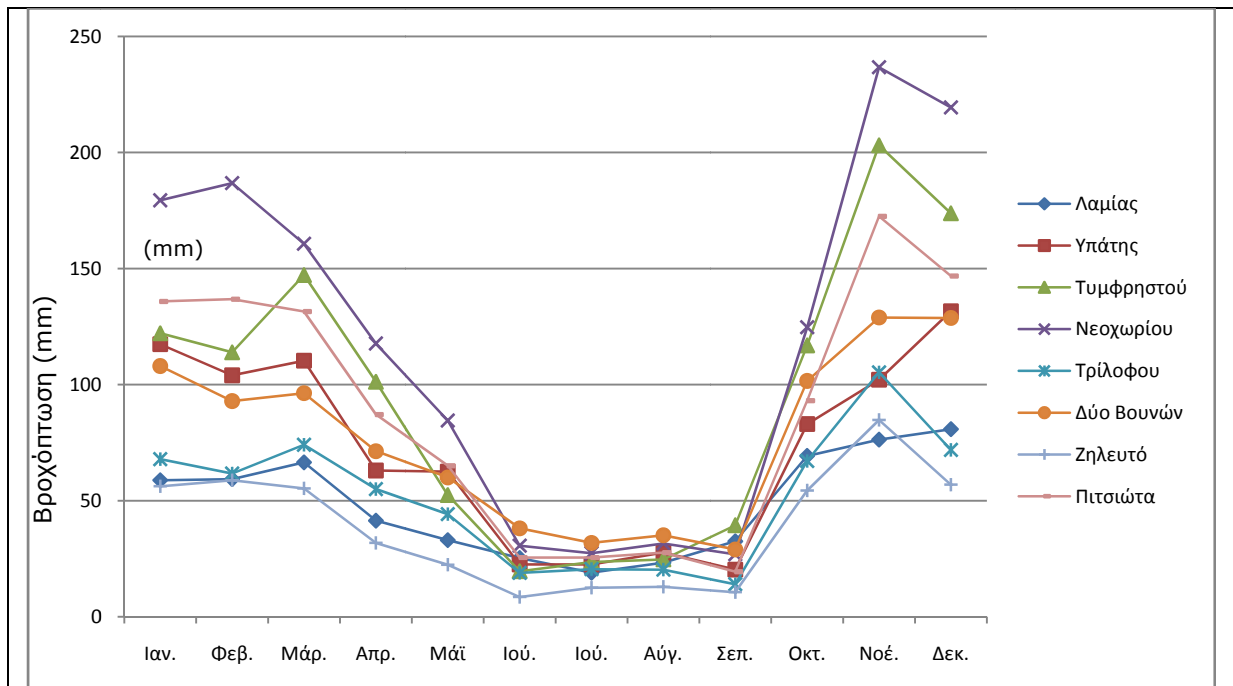
Σταθμός	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Λαμίας	58,8	59,3	66,5	41,4	33,0	25,3	19,0	23,3	32,5	69,3	76,3	80,8	585,5
Υπάτης	117,4	104,0	110,3	63,0	62,5	22,5	22,5	27,6	20,3	83,0	102,1	131,6	866,9
Τυμφρηστού	122,1	113,9	147,2	101,2	52,4	19,6	23,6	24,7	39,4	116,9	203,1	173,8	1.137,7
Νεοχωρίου	179,4	186,8	160,7	117,7	84,5	30,6	27,4	31,6	26,9	124,7	236,7	219,4	1.426,4
Τρίλοφου	67,9	61,7	74,1	55,0	44,2	18,9	20,5	20,3	14,0	67,1	105,3	71,9	620,8
Δύο	108,0	92,9	96,3	71,3	60,0	38,1	31,8	35,1	29,0	101,6	128,9	128,7	921,8
Ζηλευτό	56,2	58,8	55,3	31,8	22,4	8,5	12,5	12,9	10,6	54,4	84,8	56,9	465,2
Πιτσιώτα	135,8	136,8	131,5	87,1	65,0	25,5	25,5	27,6	19,4	93,1	172,5	146,8	1.066,5
Μ.Ο. περιοχής	109,3	106,4	103,4	68,7	54,6	25,1	23,1	26,4	23,1	87,7	133,6	127,4	

Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης έχουμε στο διάστημα από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο (μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση που φτάνει τα 236,7 mm το μήνα) , ενώ τις μικρότερες από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο (με ελάχιστη μηνιαία βροχόπτωση

που φτάνει και τα 10-12 mm το μήνα). Επίσης, προκύπτει ότι γενικά η βροχόπτωση αυξάνει με το υψόμετρο, παρόλο που φαίνεται ότι δεν υπάρχει απόλυτη συσχέτιση. Για παράδειγμα στην περίπτωση των σταθμών Νεοχωρίου και Τυμφρηστού, όπου ο σταθμός του Τυμφρηστού βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο (850 m) από τον σταθμό του Νεοχωρίου (800 m), η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη στο σταθμό του Νεοχωρίου ενώ θα έπρεπε να συμβαίνει το αντίστροφο. Επίσης, είναι φανερό ότι το σύνολο των κατακρημνισμάτων στο νότιο τμήμα της λεκάνης είναι μεγαλύτερο από ότι στο βόρειο. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο χαμηλότερο ανάγλυφο που παρουσιάζει το νότιο τμήμα, με χαμηλότερα υψόμετρα.



Διάγραμμα 6.2. Συσχέτιση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών.



Διάγραμμα 6.3. Μέση μηνιαία πορεία των βροχοπτώσεων για την περίοδο αναφοράς.

ii) Θερμοκρασία

Η Θερμοκρασία θεωρείται ένα από κυριότερα κλιματολογικά στοιχεία, διότι παίζει βασικό ρόλο στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, ακολουθεί με κάποια υστέρηση, την αντίστοιχη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Για την ανάλυση της κατανομής της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 2 μετεωρολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα θερμοκρασίας από τον σταθμό της Λαμίας (ΕΜΥ, Η:144 m, Χ:361050, Υ: 4306493), για την περίοδο 1970-2001, καθώς και από τον σταθμό στη θέση Γραμμένη Οξυά (ΔΕΗ, Η:1.160 m, Χ:325954, Υ: 4288680), που βρίσκεται πολύ κοντά στον υδροκρίτη στο νότιο τμήμα της λεκάνης) για την περίοδο 1980-2001 (Εικόνα 6.1).

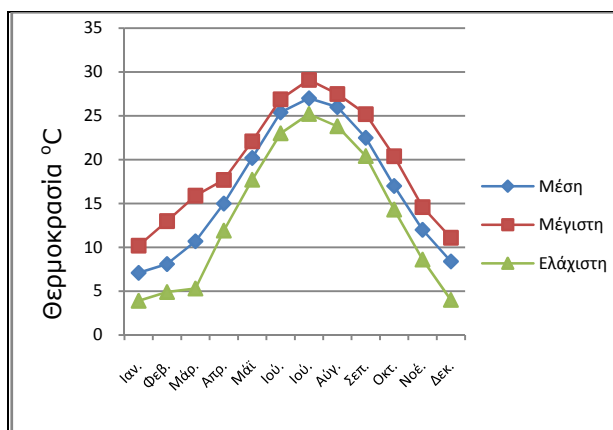
Από τα στοιχεία του πίνακα 6.2 φαίνεται ότι η μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, παρατηρείται τον Ιούλιο με 27,0 και 20,4 °C για τους σταθμούς της Λαμίας και Γραμμένης Οξυάς αντίστοιχα, ενώ η ελάχιστη τον Ιανουάριο για τον σταθμό της Λαμίας με 7,1 °C και τον Φεβρουάριο για τον σταθμό της Γραμμένης Οξυάς με 2,3 °C.

Στα παρακάτω διαγράμματα 6.4 & 6.5 δίνεται η απόλυτη μέγιστη, απόλυτη ελάχιστη και μέση τιμή θερμοκρασίας για κάθε σταθμό ξεχωριστά καθώς και το όμβρο-θερμικό διάγραμμα για το σταθμό της Λαμίας.

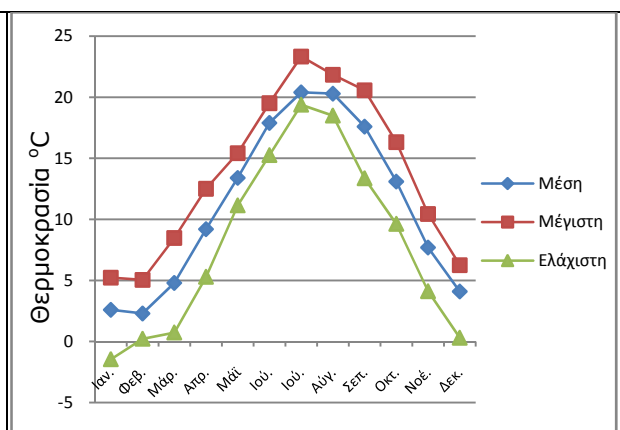
Από το όμβρο-θερμικό διάγραμμα 6.6 φαίνεται χαρακτηριστικά η ξηρή περίοδος του έτους που διαρκεί από τα μέσα Απριλίου έως και τις αρχές Οκτωβρίου και η υγρή περίοδος που διαρκεί από τα τέλη Οκτώβρη μέχρι και τέλη Μαρτίου. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει μεγαλύτερες παροχές στον ποταμό για την υγρή περίοδο του έτους, που δεδομένης και της ευδιάβρωτης λιθολογίας της λεκάνης, οδηγεί σε υψηλότερες τιμές στερεοπαροχής κατά την περίοδο αυτή.

Πίνακας 6.2. Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή θερμοκρασία των 2 σταθμών αναφοράς

Σταθμός	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Λαμίας	7,1	8,1	10,7	15,0	20,2	25,4	27,0	26,0	22,5	17,0	12,0	8,4	16,6
Γραμμένη Οξυα	2,6	2,3	4,8	9,2	13,4	17,9	20,4	20,3	17,6	13,1	7,7	4,1	11,1



Διάγραμμα 6.4. Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας σταθμού Λαμίας.

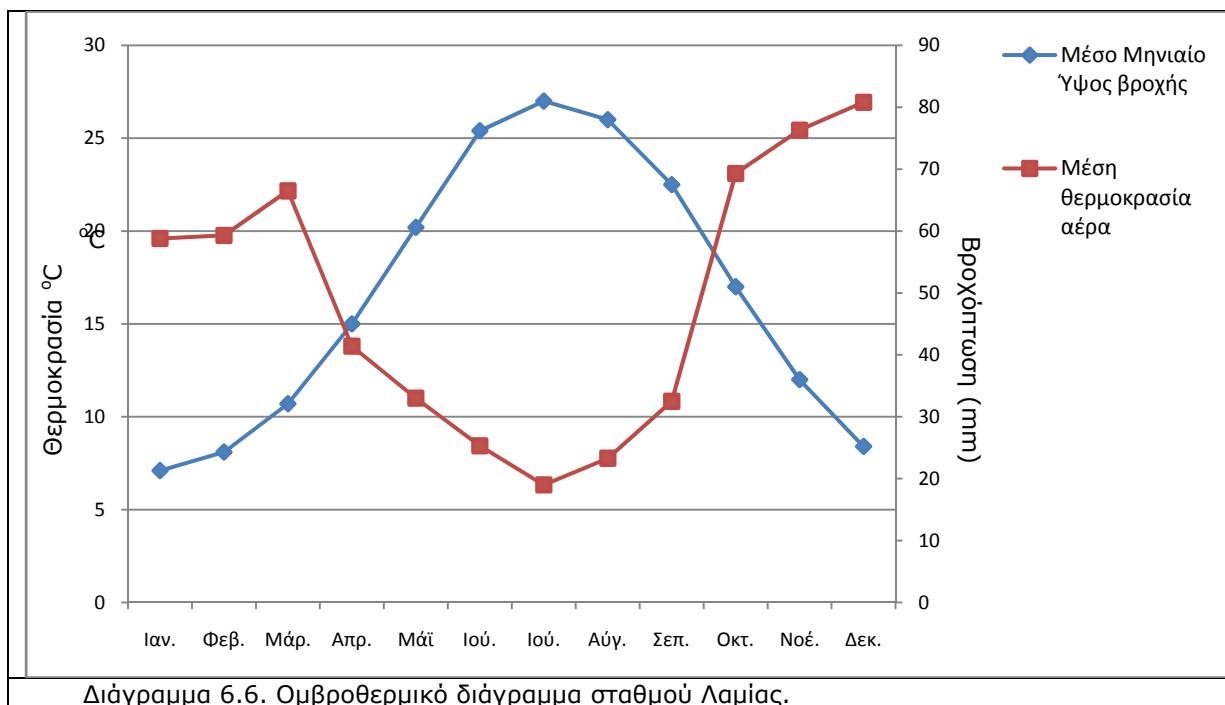


Διάγραμμα 6.5. Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας σταθμού Γραμμένης Οξυάς.

ι) Σχετική Υγρασία

Σχετική υγρασία είναι η επί της % αναλογία της ποσότητας των υδρατμών που υπάρχουν σε ένα χώρο, προς την ποσότητα των υδρατμών που ο χώρος αυτός θα μπορούσε να συγκρατήσει σε συνθήκες κορεσμού στην ίδια θερμοκρασία.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντοτε μία ποσότητα υδρατμών οι οποίες αποτελούν την ατμοσφαιρική υγρασία, που ασκεί αποφασιστική επίδραση στην πορεία του υδρολογικού κύκλου, γιατί αποτελεί πηγή τροφοδοσίας της βροχόπτωσης, αλλά επιδρά άμεσα και στην διαδικασία της εξάτμισης.



Για την ανάλυση της κατανομής της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 2 μετεωρολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον σταθμό της Λαμίας για την περίοδο 1970-2001, καθώς και από τον σταθμό στη θέση Γραμμένη Οξυά για την περίοδο 1980-2001 (Πίνακας 6.3).

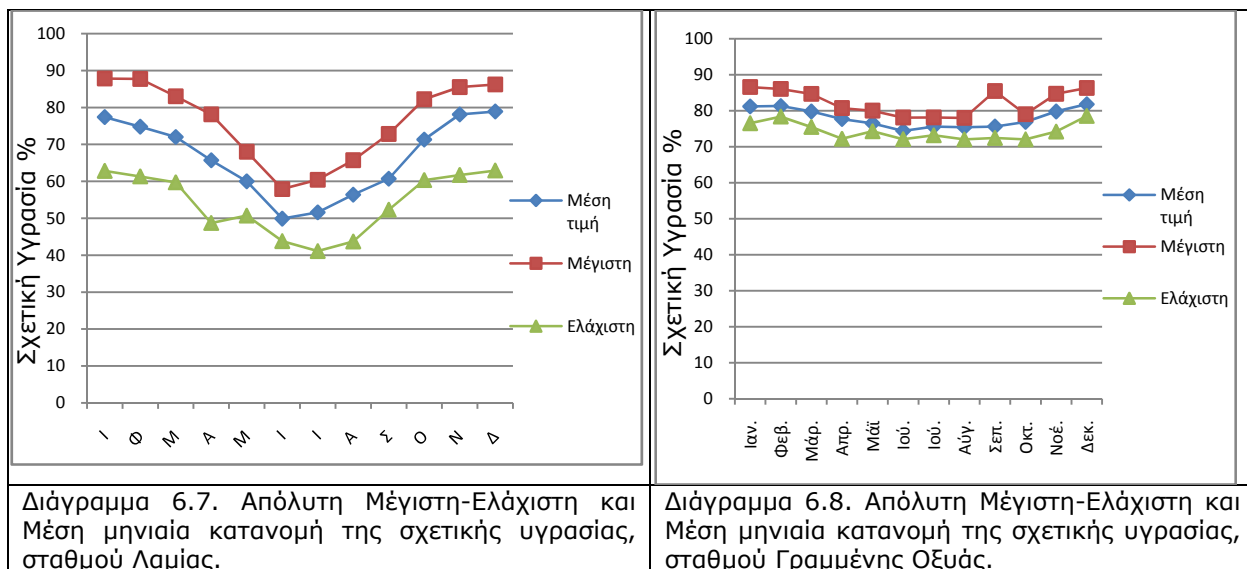
Από τα στοιχεία του πίνακα 6.3 φαίνεται ότι η μέγιστη μηνιαία τιμή σχετικής υγρασίας για τους σταθμούς της Λαμίας και της Γραμμένης Οξυάς, παρατηρείται το διάστημα από Νοέμβριο έως Ιανουάριο, με τιμές 77-78% και 81% αντίστοιχα, ενώ η ελάχιστη παρατηρείται από τον Ιούλιο έως τον Αύγουστο με τιμές από 49-51% για το σταθμό της Λαμίας και 74-75% για το σταθμό της Γραμμένης Οξυάς.

Στα παρακάτω διαγράμματα 6.7 & 6.8 δίνεται η απόλυτη μέγιστη, απόλυτη ελάχιστη και μέση τιμή θερμοκρασίας για κάθε σταθμό ξεχωριστά.

Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι, η σχετική υγρασία παρουσιάζει παρόμοια πορεία με αυτή των βροχοπτώσεων ιδιαίτερα για τον σταθμό της Λαμίας, ενώ αντίθετα είναι αντίστροφη σε σχέση με την πορεία των τιμών της θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει αύξηση της υγρασίας με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων και μείωσή της με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Πίνακας 6.3. Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή σχετικής υγρασίας των 2 σταθμών αναφοράς

Σταθμός	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Λαμίας	77,4	74,8	72,0	65,7	60,0	49,9	51,6	56,4	60,7	71,3	78,1	78,9	66,4
Γραμμένη Οξυα	81,2	81,3	79,8	77,7	76,5	74,4	75,6	75,4	75,6	76,9	79,8	81,8	78,0



ii) Ηλιοφάνεια

Η ηλιοφάνεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας θερμότητας της ετμόσφαιρας και του εδάφους, επηρεάζοντας την εξάτμιση του νερού. Για την ανάλυση της κατανομής της ηλιοφάνειας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό της Λαμίας για την περίοδο 1980-2001, διότι είναι ο μόνος με πλήρη στοιχεία μέτρησης της ηλιοφάνειας (Πίνακας 6.4). Στο παρακάτω διάγραμμα 6.9 δίνεται η απόλυτη μέγιστη, απόλυτη ελάχιστη και μέση τιμή ηλιοφάνειας για τον σταθμό της Λαμίας.

Ο μέγιστος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας παρατηρείται το μήνα Ιούλιος με 325,5 ώρες και η μικρότερη τον μήνα Δεκέμβριο με 103,1 ώρες, ενώ η μέση ετήσια ηλιοφάνειας είναι 203,4 ώρες. Επίσης, είναι εμφανές ότι η ηλιοφάνεια ακολουθεί την ίδια κατανομή με την θερμοκρασία της περιοχής.

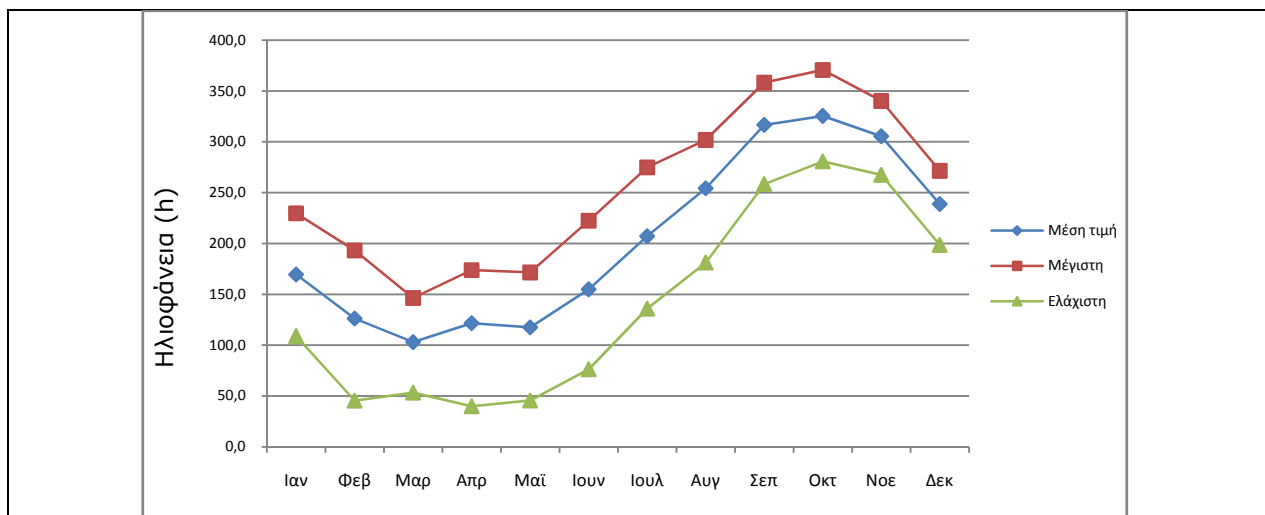
Πίνακας 6.4. Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια τιμή ηλιοφάνειας (σε ώρες) από τον σταθμός της Λαμίας

Σταθμός	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Λαμίας	121,7	117,6	155,0	207,2	254,3	316,7	325,4	305,5	238,7	169,6	126,2	103,1	203,4

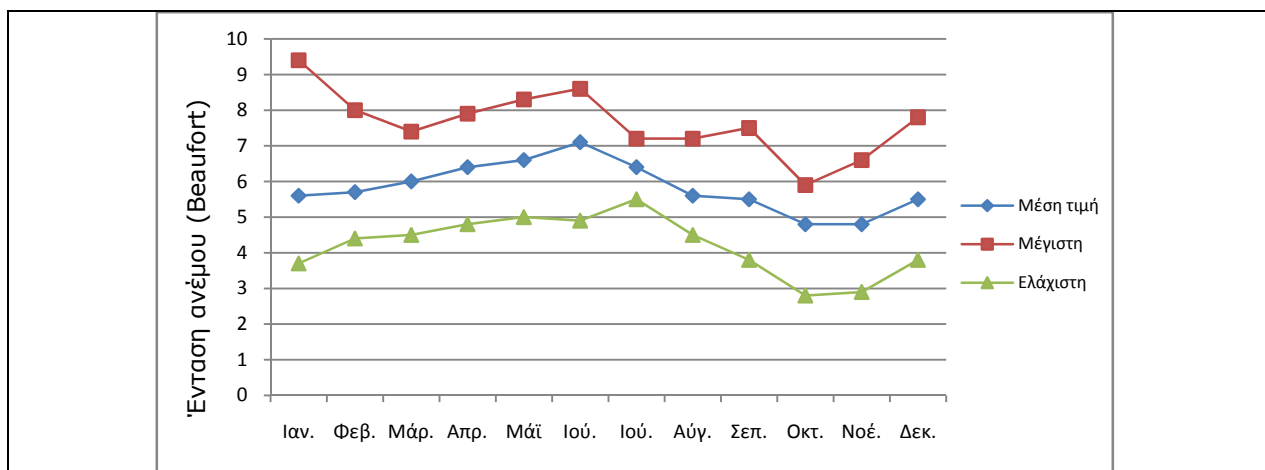
iii) Άνεμος

Ως άνεμος χαρακτηρίζεται η οριζόντια κίνηση των αερίων μαζών που οφείλεται στις διαφορές της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ δύο περιοχών. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό της Λαμίας για την περίοδο 1980-2001, διότι είναι ο μόνος με πλήρη στοιχεία μέτρησης του ανέμου (Πίνακας 6.5). Στο παρακάτω διάγραμμα 6.10 δίνεται

η απόλυτη μέγιστη, απόλυτη ελάχιστη και μέση τιμή ταχύτητας ανέμων για τον σταθμό της Λαμίας.



Διάγραμμα 6.9. Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της ηλιοφάνειας από τα δεδομένα του σταθμού Λαμίας.



Διάγραμμα 6.10. Απόλυτη Μέγιστη-Ελάχιστη και Μέση μηνιαία κατανομή της έντασης του ανέμου, από τα δεδομένα του σταθμού Λαμίας.

Η μέγιστη ταχύτητα ανέμων παρατηρείται το μήνα Ιούλιος με μέση τιμή τα 7,1 Beaufort, ενώ η ελάχιστη ένταση ανέμων παρατηρείται τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο με μέση τιμή 4,8 Beaufort. Η ετήσια μέση τιμή ταχύτητας είναι 5,8 Beaufort.

Οι κυριότερες διευθύνσεις ανέμων στην περιοχή μελέτης είναι από δυτικά και ανατολικά και λιγότερο από βόρεια και βορειοδυτικά, ακολουθώντας ουσιαστικά τον άξονα της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού. Επίσης, παρατηρείται κι ένας εποχιακός διαχωρισμός των διευθύνσεων των ανέμων, όπου στον χειμώνα και το φθινόπωρο επικρατούν οι βόρειοι-βορειοδυτικοί και δυτικοί άνεμοι, ενώ κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι επικρατούν κυρίως οι ανατολικοί και λιγότερο οι δυτικοί άνεμοι. Οι βόρειοι-βορειοδυτικοί άνεμοι της περιοχής οφείλονται στο χαμηλό μορφολογικό ανάγλυφο της βόρεια πλευράς που επιτρέπει το χειμώνα την διέλευση

των βόρειων ψυχρών ανέμων και υδρατμών, με συνέπεια την συσσώρευσή τους στο νότιο ορεινό όγκο, στον οποίο μετατρέπονται σε έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις.

Γενικά όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εντάσεις ανέμων μέσα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού, σπάνια ξεπερνούν τα 5-6 Beaufort (*Μαρουκιάν 1987, Πούλος και αλ. 2004*).

Πίνακας 6.5. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές έντασης ανέμων (Beaufort) από τον σταθμό της Λαμίας

Σταθμός	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάϊ	Ιού.	Ιού.	Αύγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Έτος
Λαμίας	5,6	5,7	6,0	6,4	6,6	7,1	6,4	5,6	5,5	4,8	4,8	5,5	5,8

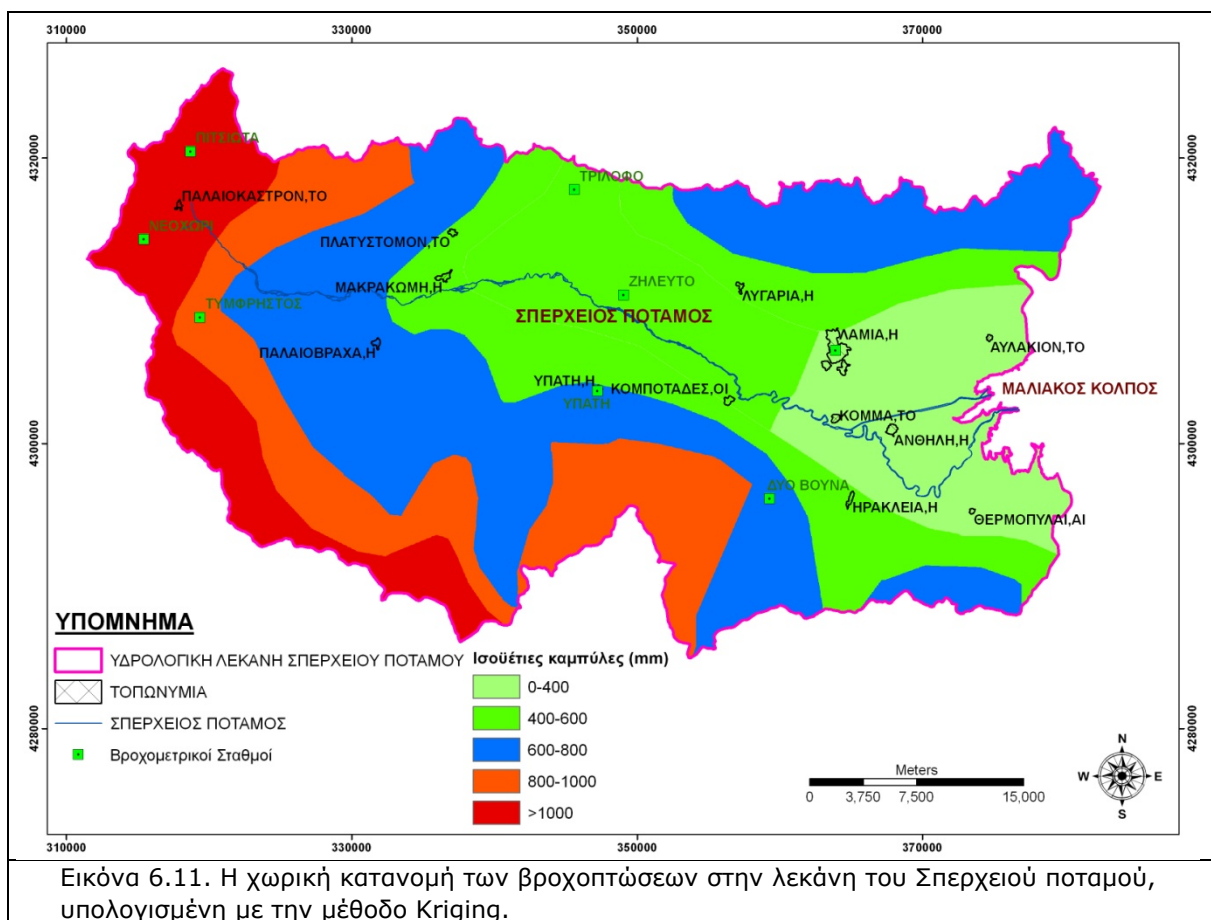
Από τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής, παρατηρείται ότι, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος (που είναι και οι ξηρότεροι μήνες) παρουσιάζουν μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης κάτω από 30 mm (εκτός από 1-2 σταθμούς που είναι 31-40 mm). Για τους ίδιους μήνες, που είναι και οι θερμότεροι, παρουσιάζουν θερμοκρασίες πάνω ή πολύ κοντά στους 22 °C (26-27 και 20,3-20,4 για τους σταθμούς Λαμίας και Γραμμένης Οξυάς).

6.1.2. Κατανομή των βροχοπτώσεων

Για να υπολογιστεί η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των 8 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής (Πίνακας 6.1).

Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν προσδιοριστικές μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών μετρήσεων, που προσαρμόζουν έναν τύπο επιφάνειας σε ένα σύνολο μετρημένων τιμών της μεταβλητής σε συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες. Διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις επιφανειακής χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν την επιφάνεια στα μετρημένα σημεία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο υπολογισμός της μεταβλητής σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι: (α) της Άμεσης Ολοκλήρωσης, που περιλαμβάνει τον αριθμητικό μέσο, τα πολύγωνα Thissen, των Δύο Αξόνων (Bethlahmy's) και την υψομετρική μέθοδο, (β) της Προσαρμογής των Επιφανειών με ισοπληθείς καμπύλες και (γ) της Προσαρμογής των Επιφανειών με ψηφιδωτή διαμέριση, που είναι της πολυτετραγωνικής παρεμβολής, των ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμα, των πολυωνύμων Lagrange, της παρεμβολής spline, των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων και η μέθοδος της βέλτιστης παρεμβολής (Kriging), (*Μαμάσης 2006, Αναγνωστοπούλου 2006*).

Στην διατριβή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της βέλτιστης παρεμβολής (kriging) η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι η διακύμανση μιας μεταβλητής στο χώρο είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιεί στατιστικές μεθοδολογίες για οποιαδήποτε εκτίμηση απορρέει από σημειακές μετρήσεις της μεταβλητής. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι ποσοτικοποιεί και τελικά ελαχιστοποιεί το σφάλμα εκτίμησης, πράγμα που δεν συμβαίνει με τις προηγούμενες εμπειρικές μεθόδους (Εικόνα 6.11).



6.1.2. Υδρολογικό Ισοζύγιο

Η υδροφορία των διαφόρων lithολογικών σχηματισμών, που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης, εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος και τη μεταβολή των διαφόρων υδρολογικών και κλιματικών παραμέτρων, όπως είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία, η υγρασία, η εξάτμιση, κλπ. Μεγάλο ρόλο στη διαίτα των υπόγειων υδάτων παίζει ο κύκλος νερού, στον οποίο υπεισέρχονται οι κλιματικοί παράγοντες και κυρίως η βροχόπτωση, η επιφανειακή απορροή, η εξατμισοδιαπνοή και η κατείσδυση. Οι παράγοντες αυτοί συνδέονται μεταξύ τους με την ακόλουθη εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου:

$$P = ET + A \text{ (mm)}$$

όπου: P = Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm), ET = Εξατμισοδιαπνοή (mm) και A = Ολική Απορροή (mm), με το A να δίνεται από την εξίσωση:

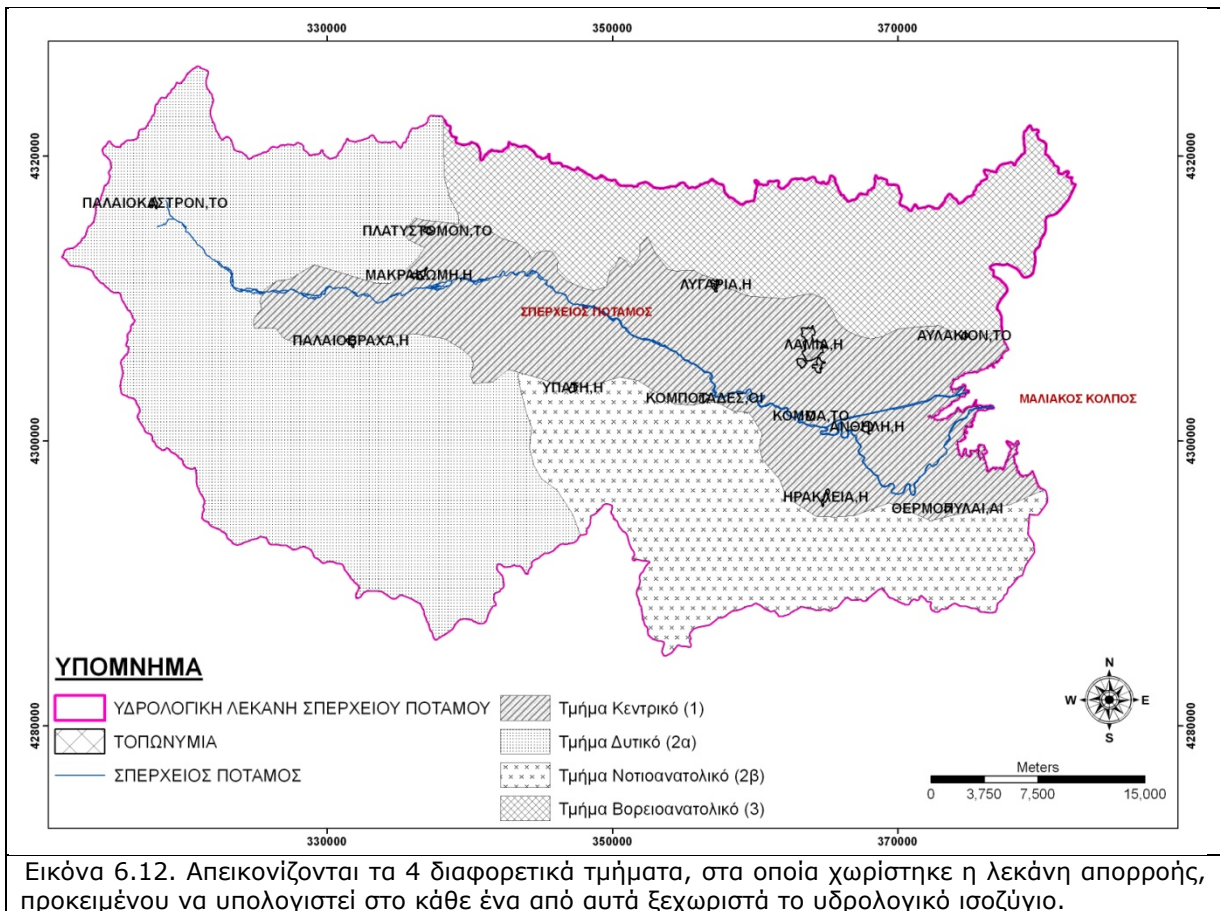
$$A = R + I \text{ (mm)}$$

όπου: R = Επιφανειακή Απορροή (mm) και I = Υπόγεια Απορροή (κατείσδυση) (mm)

Οι παράμετροι της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μεταβάλλονται ανάλογα με τις κλιματικές, υδρολιθολογικές, υδρογραφικές, γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες που

επικρατούν στην περιοχή, καθώς επίσης και με την καλλιέργεια και τη φυτοκάλυψη αυτής (Σούλιος και αλ. 1989, Mantoudi et al. 2004, Μιγκίρος και αλ. 2008; 2009).

Εξαιτίας της σημαντικής διαφοροποίησης που παρουσιάζει η κύρια υδρολογική λεκάνη τόσο ως προς τη γεωμορφολογία, όσο και ως προς τα κλιματολογικά δεδομένα, κρίθηκε σκόπιμος ο διαχωρισμός αυτής σε τρεις υπολεκάνες. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η διαφοροποίηση, ελήφθησαν υπόψη δεδομένα που αφορούν την μορφολογία της περιοχής, όπως το υψόμετρο, το ανάγλυφο, η γενίωση καθώς και η τάση των δεδομένων από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς/βροχομετρικούς σταθμούς. Έτσι η κύρια υδρολογική λεκάνη, χωρίστηκε στα τμήματα κεντρικό (1), νοτιο-νοτιοδυτικό (2) και βορειοανατολικό (3), με το τμήμα 2 να χωρίζεται επιμέρους σε τμήμα δυτικό (2α) και νοτιοανατολικό (2β), όπως απεικονίζονται στην εικόνα 6.11 (Kakavas 1984). Το κεντρικό τμήμα αντιστοιχεί στο πιο πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Σπερχιού. Το νότιο-νοτιοδυτικό αντιστοιχεί στο νότιο και δυτικό τμήμα της κύριας υδρολογικής λεκάνης, το οποίο είναι και το πιο ορεινό τμήμα της περιοχής. Εξαιτίας όμως τόσο της διαφορετικής μορφολογίας του, όσο και της διαφορετικής τάσης των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών, κρίθηκε σκόπιμος ο περαιτέρω διαχωρισμός του σε δυτικό (2α) και νότιοανατολικό τμήμα (2β). Το βορειοανατολικό τμήμα εκτείνεται στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της κύριας υδρολογικής λεκάνης και είναι ημιορεινό έως και ορεινό στην περιοχή του όρους Όθρυ (Εικόνα 6.12).



Εικόνα 6.12. Απεικονίζονται τα 4 διαφορετικά τμήματα, στα οποία χωρίστηκε η λεκάνη απορροής, προκειμένου να υπολογιστεί στο κάθε ένα από αυτά ξεχωριστά το υδρολογικό ισοζύγιο.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι περισσότεροι από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς δεν διέθεταν δεδομένα θερμοκρασίας, υπολογίστηκε η θερμοβαθμίδα για την περιοχή μελέτης (*Huggett & Cheesman 2002*). Έτσι η θερμοκρασία παρουσιάζει μια μείωση της τάξης των 0,54°C καθώς το υψόμετρο αυξάνεται κατά 100m (*Τσολακίδης 1992*). Στην συνέχεια και προκειμένου να υλοποιηθεί η κατάρτιση ενός γενικευμένου υδρολογικού ισοζυγίου για την υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού, θα υπολογιστούν αρχικά τα επί μέρους ισοζύγια των τμημάτων 1,2 και 3.

i) Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα (P,mm)

Από τα διαθέσιμα κλιματολογικά στοιχεία εκτιμήθηκε ότι τα βροχομετρικά στοιχεία που προέρχονται από τον βροχομετρικό σταθμό Λαμίας είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά για το κεντρικό τμήμα, τα στοιχεία που προέρχονται από τους βροχομετρικούς σταθμούς Νεοχώρι και Τύμφρηστος θεωρούνται τα πιο αντιπροσωπευτικά για το δυτικό τμήμα, ενώ για το νοτιοανατολικό τμήμα τα στοιχεία των βροχομετρικών σταθμών Υπάτη και Δύο Βουνά. Τέλος, τα βροχομετρικά στοιχεία που προέρχονται από τον βροχομετρικό σταθμό Τρίλοφο είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά για βορειοανατολικό τμήμα.

Από τα δεδομένα των σταθμών αυτών, για τους υπολογισμούς των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου θα χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές. Λεπτομερή δεδομένα που αφορούν στον βροχομετρικό σταθμό, ο οποίος αποτελεί και το σταθμό αναφοράς για την περιοχή, φαίνονται στον Πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6. Τιμή μέσης θερμοκρασίας στο σταθμό για την περιοχή μελέτης

a/a	Ονομασία Σ.Α.	Υψηροσία	Υψόμετρο Σ.Α. (m)	Διαθέσιμο Πρωτογενές Δείγμα
Κεντρικό τμήμα (1)	Λαμίας	ΕΜΥ	144	1980/81-2000/01
Δυτικό τμήμα (2 ^α)	Νεοχώρι, Τύμφρηστος	ΕΜΥ	800-850	1980/81-2000/01
Νοτιοανατολικό τμήμα (2 ^β)	Υπάτη, Δυο Βουνά	ΕΜΥ	373	1980/81-2000/01
Τμήμα 3	Τρίλοφο	ΕΜΥ	580	1980/81-2000/01

Θερμοκρασία του αέρα (T, °C)

Στον πίνακα 6.7 δίδονται οι τιμές θερμοκρασίας σε °C που ισχύουν για το κάθε ένα από τα τρία τμήματα. Παρατηρείται η ίδια εποχιακή μεταβολή αυτής, όπως παρουσιάζεται και στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

ii) Εξατμισοδιαπνοή (E, mm)

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής εφαρμόζεται ο εμπειρικός τύπος του Turc (1954):

$$ET_{\text{real}} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ (mm)}$$

όπου: ET_{real} = Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή σε mm, P = Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα, μέση ετήσια τιμή σε mm, $L = 300 + 25T + 0.05T^3$ και T = θερμοκρασία, μέση ετήσια τιμή σε °C

Γενικά, ο τύπος αυτός έχει καλύτερη εφαρμογή για υψηλό ετήσιο βροχομετρικό δείκτη (>700 mm). Σε πολλές περιπτώσεις που έχει εφαρμοστεί σε περιοχές της Ελλάδας, αποδεικνύεται ότι δεν είναι απόλυτα εφαρμόσιμος. Ανάλογα με τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται όχι η μέση θερμοκρασία T , αλλά η σιορθωμένη T_{Δ} που δίνεται από τον τύπο:

$$T_{\Delta} = \frac{P_1T_1 + P_2T_2 + \dots + P_{12}T_{12}}{P_1 + P_2 + \dots + P_{12}}$$

Όπου P_1, P_2, \dots, P_{12} = Τα ύψη των κατακρημνισμάτων σε κάθε ένα από τους 12 μήνες και T_1, T_2, \dots, T_{12} = η αντίστοιχη μέση θερμοκρασία του αέρα (Σούλιος 1996).

Συνεπώς, για τα μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών Λαμίας και Τρίλοφου, όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση βρίσκεται κάτω από το όριο των 700 mm, κρίνεται απαραίτητο για την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου, να εφαρμοστεί η προαναφερόμενη μέθοδος. Για τους σταθμούς Νεοχώρι, Τυμφρηστός και Υπάτη, Δύο Βουνά θα χρησιμοποιηθούν οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες που προέκυψαν με βάση τη θερμοβαθμίδα.

Από την εκτίμηση της παραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την λεκάνη του Σπερχειού προκύπτει ότι η μέση τιμή της ανέρχεται στα 69,5% της βροχόπτωσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.7.

iii) Ολική απορροή (A, mm)

Σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού του υδρολογικού ισοζυγίου $P = E + A$ μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της ολικής απορροής A , εφόσον γνωρίζουμε την τιμή ύψους κατακρημνισμάτων και εξατμισοδιαπνοής. Κατά την εξίσωση λοιπόν έχουμε: $A = P - E$ (mm)

Η τιμή της ολικής απορροής όπως υπολογίστηκε με τη βοήθεια του παραπάνω τύπου για την περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.7.

iv) Επιφανειακή απορροή (R, mm) – Υπόγεια απορροή (I, mm)

Ο ακριβής υπολογισμός της επιφανειακής απορροής (R) μιας υδρολογικής λεκάνης γίνεται συνήθως στο στόμιο της λεκάνης με την εγκατάσταση ανάλογων μετρητών.

Στην περίπτωση όμως της περιοχής μελέτης, δεν υπάρχουν τέτοιου είδους στοιχεία και κατά συνέπεια οι αριθμητικές τιμές των παραμέτρων αυτών του υδρολογικού ισοζυγίου, δηλαδή της επιφανειακής και υπόγειας απορροής, θα θεωρούνται ενδεικτικοί και όχι απόλυτοι. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, ο συντελεστής κατεΐσδυσης για τους

ανωτέρω σχηματισμούς είναι της τάξης του 45% για τα ανθρακικά πετρώματα, 10% για τον φλύσχη, 15% για τις νεογενείς αποθέσεις, 20% για τις αλουβιακές αποθέσεις, 25% για τα ριπίδια κλιτύων και αποθέσεις αναβαθμιδών, 8% για τους οφιόλιθους και τέλος 13% για τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Έτσι για κάθε ένα από τα τρία τμήματα και ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνει κάθε γεωλογικός σχηματισμός υπολογίζονται ο όγκος των κατακρημνισμάτων και οι μέσες τιμές υπόγειας και επιφανειακής απορροής.

Πίνακας 6.7. Τιμή Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής, όπως υπολογίστηκε από την εφαρμογή του εμπειρικού τύπου του Turc.

a/a	Ονομασία Σ.Α.	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Μέση ετήσια θερμοκρασία T (°C)	Διορθωμένη ετήσια θερμοκρασία T _Δ (°C)	Μέση ετήσια τιμή Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής(mm)		Ολική Απορροή (mm)
					Με βάση την T	Με βάση την T _Δ	
Τμήμα 1	Λαμίας	585,5	16,6	13,9	500,9	483,9 (82,6%)	101,6 (17,4%)
Τμήμα 2α	Νεοχώρι, Τύμφρηστος	1.282,1	12,7	-	633,5 (49,4%)	-	648,6 (50,6%)
Τμήμα 2β	Υπάτη, Δυο Βουνά	894,3	15,1	-	631,2 (70,6%)	-	263,1 (29,4%)
Τμήμα 3	Τρίλοφο	620,8	14,0	11,7	502,8	468,9 (75,5%)	151,9 (24,5%)

α) Κεντρικό τμήμα (1)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο τμήμα 1, είναι : (α) Αλουβιακές αποθέσεις, (β) Ανθρακικά πετρώματα, (γ) Φλύσχης, (δ) Νεογενή, (ε) Οφιόλιθοι, (ζ) Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμιδών και (η) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Έτσι, με βάση την επιφανειακή εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών, τα κατακρημνίσματα και την εξατμισοδιαπνοή, το υδρολογικό ισοζύγιο για το τμήμα αυτό, θα έχει τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8. Υδρολογικό ισοζύγιο του κεντρικού τμήματος (1) της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού

Σχηματισμός	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)	Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων
Αλουβιακές αποθέσεις	345,92	74,27	Vp1 = F1 x P = 345,9 x 585,5 = 202363,2 x 10 ³ m ³
Ανθρακικά πετρώματα	11,55	2,48	Vp2 = F2 x P = 11,6 x 585,5 = 6762,5 x 10 ³ m ³
Φλύσχης	25,55	5,49	Vp3 = F3 x P = 25,6 x 585,5 = 14988,8 x 10 ³ m ³
Νεογενή	3,52	0,76	Vp4 = F4 x P = 3,5 x 585,5 = 2049,3 x 10 ³ m ³
Οφιόλιθοι	26,76	5,75	Vp5 = F5 x P = 26,8 x 585,5 = 15691,4 x 10 ³ m ³
Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμιδών	48,62	10,44	Vp6 = F6 x P = 48,6 x 585,5 = 28455,3 x 10 ³ m ³
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	3,85	0,83	Vp7 = F7 x P = 3,9 x 585,5 = 2283,5 x 10 ³ m ³

Σύνολο επιφάνειας: $F_{ολ} = 465,8 \text{ km}^2$, Μέσο ύψος βροχής: $P = 585,5 \text{ mm}$,
 Μέσος ετήσιος όγκος βροχής: $V_p = E_{ολ} \times P = 465,8 \times 585,5 = 272,7 \times 10^6 \text{ m}^3$
 Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής: $483,9 \text{ mm}$,
 Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής: $V_E = F_{ολ} \times E = 465,8 \times 483,9 = 225,4 \times 10^6 \text{ m}^3$
 (82,7%)
 Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής: $V_A = 465,8 \times 101,6 = 47,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (17,3%)
 Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής: $V_R = 39,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (82,9%)
 Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής: $V_I = 8,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (17,1%)

β) Δυτικό τμήμα (2α)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρατηρούνται στο δυτικό τμήμα είναι: (α) Αλουβιακές αποθέσεις, (β) Ανθρακικά πετρώματα, (γ) Φλύσχης, (δ) Οφιόλιθοι, (ε) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση και (ζ) Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμίδων. Έτσι, με βάση την επιφανειακή εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών, τα κατακρημνίσματα και την εξατμισοδιαπνοή, το υδρολογικό ισοζύγιο για το τμήμα αυτό, θα έχει τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9. Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 2α της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού

Σχηματισμός	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)	Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων
Αλουβιακές αποθέσεις	45,54	6,46	$V_{p1} = F_1 \times P = 45,54 \times 1282,08 = 58386,17 \times 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικά πετρώματα	44,91	6,37	$V_{p2} = F_2 \times P = 44,91 \times 1282,08 = 57572,68 \times 10^3 \text{ m}^3$
Φλύσχης	597,63	84,76	$V_{p3} = F_3 \times P = 597,63 \times 1282,08 = 766214,37 \times 10^3 \text{ m}^3$
Οφιόλιθοι, Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	0,24	0,03	$V_{p4} = F_4 \times P = 0,24 \times 1282,08 = 307,70 \times 10^3 \text{ m}^3$
Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις	16,80	2,38	$V_{p5} = F_5 \times P = 16,80 \times 1282,08 = 21543,33 \times 10^3 \text{ m}^3$
<p>Σύνολο επιφάνειας: $F_{ολ} = 705,1 \text{ km}^2$, Μέσο ύψος βροχής: $P = 1282,1 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος βροχής: $V_p = E_{ολ} \times P = 705,1 \times 1282,1 = 904,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής: $633,53 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής: $V_E = F_{ολ} \times E = 705,1 \times 633,5 = 446,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (49,4%) Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής: $V_A = 705,1 \times 648,6 = 457,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (50,6%) Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής: $V_R = 399,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ (87,4%) Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής: $V_I = 57,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (12,6%)</p>			

γ) Νοτιοανατολικό τμήμα (2b)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρατηρούνται στο νοτιοανατολικό τμήμα είναι: (α) Αλουβιακές αποθέσεις, (β) Ανθρακικά πετρώματα, (γ) Φλύσχης, (δ) Νεογενή, (ε) Οφιόλιθοι, σχιστοκερατολιθική διάπλαση και (ζ) Κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμίδων. Έτσι, με βάση την επιφανειακή εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών, τα

κατακρημνίσματα και την εξατμισοδιαπνοή, το υδρολογικό ισοζύγιο για το τμήμα αυτό, θα έχει τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10. Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 2β της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού

Σχηματισμός	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)	Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων
Αλουβιακές αποθέσεις	4,88	1,46	$V_{p1} = F_1 \times P = 4,88 \times 894,32 = 4364,64 \times 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικά πετρώματα	165,90	49,60	$V_{p2} = F_2 \times P = 165,90 \times 894,32 = 148365,58 \times 10^3 \text{ m}^3$
Φλύσχος	131,93	39,45	$V_{p3} = F_3 \times P = 131,93 \times 894,32 = 117988,97 \times 10^3 \text{ m}^3$
Νεογενή	9,04	2,70	$V_{p4} = F_4 \times P = 9,04 \times 894,32 = 8080,46 \times 10^3 \text{ m}^3$
Οφιόλιθοι, Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	0,004	0,001	$V_{p5} = F_5 \times P = 0,0042 \times 894,32 = 3,77 \times 10^3 \text{ m}^3$
Κώνιοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμιδών	22,71	6,79	$V_{p6} = F_5 \times P = 22,71 \times 894,32 = 20306,49 \times 10^3 \text{ m}^3$
<p>Σύνολο επιφάνειας: $F_{ολ} = 334,5 \text{ km}^2$, Μέσο ύψος βροχής: $P = 894,3 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος βροχής: $V_p = E_{ολ} \times P = 334,5 \times 894,3 = 299,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής: $631,2 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής: $V_E = F_{ολ} \times E = 334,5 \times 631,2 = 211,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (70,6%) Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής: $V_A = 334,5 \times 263,1 = 88,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ (29,4%) Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής: $V_R = 64,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ (73,1 %) Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής: $V_I = 23,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (26,9%)</p>			

δ) Βορειοανατολικό τμήμα (3)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρατηρούνται στο τμήμα 3 είναι: (α) Αλουβιακές αποθέσεις, (β) Ανθρακικά πετρώματα, (γ) Φλύσχος, (δ) Νεογενή, (ε) Οφιόλιθοι, (ζ) Ριπίδια κλιτύων και αποθέσεις αναβαθμιδών, (η) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Με βάση την επιφανειακή εξάπλωση του υδρολιθολογικού σχηματισμού το ύψος των κατακρημνισμάτων και της εξατμισοδιαπνοής, το υδρολογικό ισοζύγιο για την υπό μελέτη περιοχή, θα έχει τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.11.

Πίνακας 6.11. Υδρολογικό ισοζύγιο του τμήματος 3 της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού

Σχηματισμός	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)	Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων
Αλουβιακές αποθέσεις	3,18	0,97	$V_{p1} = F_1 \times P = 3,18 \times 620,78 = 1976,57 \times 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικά πετρώματα	79,33	24,22	$V_{p2} = F_2 \times P = 79,33 \times 620,78 = 49248,44 \times 10^3 \text{ m}^3$
Φλύσχος	27,76	8,48	$V_{p3} = F_3 \times P = 27,76 \times 620,78 = 17234,06 \times 10^3 \text{ m}^3$
Νεογενή	1,94	0,59	$V_{p4} = F_4 \times P = 1,94 \times 620,78 = 1207,40 \times 10^3 \text{ m}^3$
Οφιόλιθοι	165,92	50,66	$V_{p5} = F_5 \times P = 165,92 \times 620,78 = 103001,80 \times 10^3 \text{ m}^3$

Σχιστοκερατολιθική διάπλωση	47,78	14,59	$V_{p6} = F_6 \times P = 1,60 \times 620,78 = 994,91 \times 10^3 \text{ m}^3$
Κώνιοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αποθέσεις αναβαθμιδών	1,60	0,49	$V_{p7} = F_7 \times P = 47,78 \times 620,78 = 29664,02 \times 10^3 \text{ m}^3$
<p>Σύνολο επιφάνειας: $F_{ολ} = 327,5 \text{ km}^2$, Μέσο ύψος βροχής: $P = 620,8 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος βροχής: $V_p = E_{ολ} \times P = 327,5 \times 620,78 = 203,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής: $468,9 \text{ mm}$ Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής: $V_E = F_{ολ} \times E = 327,53 \times 468,9 = 153,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (75,6%) Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής: $V_A = 327,5 \times 151,9 = 49,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (24,4%) Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής: $V_R = 41,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (83,9%) Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής: $V_I = 8,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ (6,1%)</p>			

Συνοπτικά στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου για το σύνολο της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού. Ο πίνακας αυτός αποτελεί προϊόν επεξεργασίας των διαθέσιμων δεδομένων, όπως πραγματοποιήθηκε ανωτέρω, και άθροισης των επί μέρους τιμών των παραμέτρων, οι οποίες προσδιορίστηκαν για κάθε ένα από τα τεσσερα επί μέρους τμήματα.

Πίνακας 6.12. Παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου για το σύνολο της λεκάνης απορροής στην περιοχή μελέτης.

Υπολεκάνη	Μέσος ετήσιος όγκος βροχόπτωσης P ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Μέσος ετήσιος όγκος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ET		Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής R ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής I ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	
		($\times 10^6 \text{ m}^3$)	(%)	($\times 10^6 \text{ m}^3$)	(%)	($\times 10^6 \text{ m}^3$)	(%)
Κεντρικό τμήμα (1)	272,7	225,4	82,7	39,2	14,4	8,1	2,9
Δυτικό τμήμα (2a)	904,0	446,7	49,4	399,5	44,2	57,8	6,4
Νοτιοανατολικό (2b)	299,1	211,1	70,6	64,3	21,5	23,7	7,9
Βορειοανατολικό τμήμα (3)	203,3	153,6	75,6	41,8	20,5	8,0	3,9
ΣΥΝΟΛΟ	1.679,1	1.036,8	69,6	544,8	25,2	97,6	5,3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

7.1.1. Ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων

Οι ποταμοί και οι λίμνες είναι αποδέκτες των νερών απορροής των λεκανών τους. Η φυσική ποιότητα και ποσότητα των νερών απορροής μιας λεκάνης εξαρτάται από τη γεωλογικές και τις κλιματικές συνθήκες της λεκάνης. Λεκάνες με ευδιάλυτα πετρώματα όπως, ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα, ασβεστιτικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, εβαπορίτες κλπ., έχουν νερό απορροής σκληρό και καθαρό, ενώ λεκάνες με συμπαγείς σχηματισμούς που είναι λιγότερο υδροπερατοί ή σχεδόν αδιαπέρατοι, όπως γρανίτες, γρανοδιορίτες κλπ., έχουν νερό μαλακό, ελαφρώς όξινο και θολό λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων που περιέχουν. Την φυσική αυτή σύσταση έχουν και τα νερά των ποταμών που υδρομαστεύουν τις λεκάνες αυτές, αντίστοιχα.

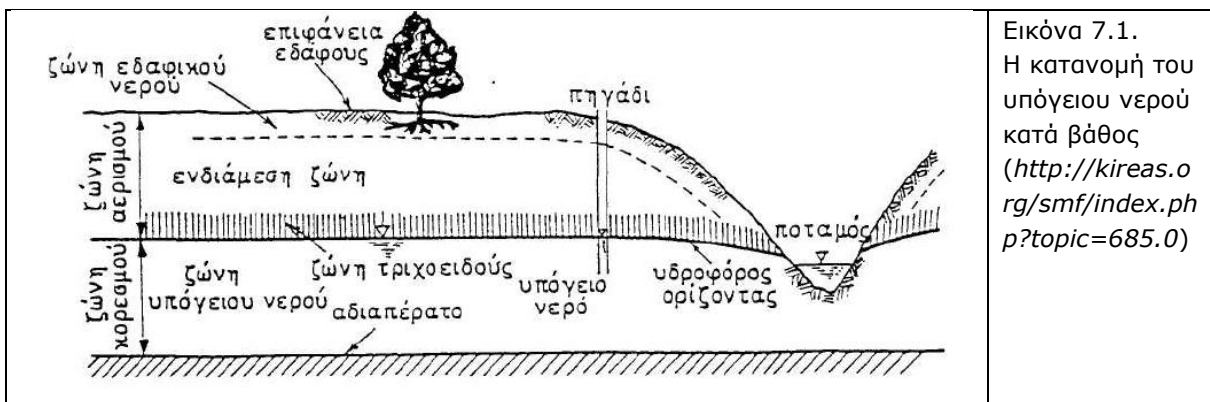
Οι ποταμοί μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες υδάτων και διαλυμένων ουσιών, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Η μετακινούμενη μάζα υπόκειται σε διαρκείς χημικές, βιολογικές και φυσικές μεταβολές, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό την φυσική ποιοτική σύσταση της, κατά τη διέλευσή της από περιοχή σε περιοχή. Οι μεταβολές αυτές σχετίζονται άμεσα με γεωγενείς παράγοντες, όπως τις γεωλογικές, τις μορφολογικές και υδρογραφικές συνθήκες που επικρατούν στη ευρύτερη περιοχή ενός επιφανειακού συστήματος, αλλά και με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (*Appelo & Postma 1996, Newson 1994, Τσακίρης 1995, Κουϊμτζή και αλ. 1998, Stamatis et al. 2000, Σταμάτης και αλ. 2002, Αντωνόπουλος 2000, Βουδούρης 2008, Δίκαρου 2009*). Η φυσική κατάσταση της ποιότητας των υδάτων ενός επιφανειακού συστήματος, ενός ποταμού ή μίας λίμνης, σπάνια διατηρείται, ενώ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την βιομηχανική ή αγροτική χρήση της γης της λεκάνης απορροής του. Η ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων σε κάθε τμήμα του ποταμού αντικατοπτρίζει πάντοτε τις συνθήκες του περιβάλλοντος, δηλαδή, των εδαφολογικών, των ατμοσφαιρικών, των κλιματολογικών αλλά και των ανθρωπογενών επιδράσεων. Ο εντοπισμός και η εκτίμηση αυτών των επιδράσεων είναι καθοριστικής σημασίας για την διαχείριση των εδαφικών και υδάτινων πόρων μιας περιοχής (*Drever 1997, Στουρνάρας 2007β*).

Οι πηγές ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων διακρίνονται σε μη σημειακές και σε σημειακές πηγές. Σημαντικές πηγές μη σημειακής ρύπανσης επιφανειακών νερών αποτελούν η επιφανειακή απορροή υδάτων, τα στραγγιστικά νερά αγροτικής γης και η κατακρήμνιση οργανικών κυρίως ρύπων με το νερό της βροχής. Αντιθέτως, σημαντικές πηγές σημειακής ρύπανσης αποτελούν αγροτικές και αστικές βιομηχανίες που απορρίπτουν τα απόβλητα τους στα νερά παρακειμένων ποταμών, μη ορθολογικές αγροτικές δραστηριότητες όπως, προετοιμασία ή καθαρισμός ψεκαστικών μηχανημάτων, μη ασφαλή αποθήκευση αγροχημικών κλπ. Κατά την διάρκεια της επιφανειακής απορροής, το νερό και τα διαλυμένα σε αυτό σωματίδια, μετακινούνται επιφανειακά από αγρούς και μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις σε παρακείμενα επιφανειακά υδροφόρα συστήματα (*Newson 1994, Στουρνάρας 2007β*).

Οι ποσότητες των ρύπων που μεταφέρονται με το νερό απορροής στα επιφανειακά υδροφόρα συστήματα εξαρτάται από: (α) τις συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες, όπως είναι

η σύσταση του εδάφους, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κλπ., (β) από τις κλιματικές συνθήκες όπως η διάρκεια το και ύψος της βροχόπτωσης, (γ) από τις αγροτικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται όπως επιφανειακή εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων ή ενσωμάτωση τους στο έδαφος, (δ) από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των διαφόρων χημικών ουσιών που εμπεριέχονται στους διάφορους τύπους φυτοφαρμάκων που εφαρμόζονται, όπως η πτητικότητα και η υδατοδιαλυτότητα των ουσιών και (ε) από την ποσότητα των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, κλπ. Οι παραπάνω παράγοντες δεν δρουν μεμονωμένα αλλά οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις ποσότητες των ρύπων που θα μεταφερθούν στα παρακείμενα υδατικά συστήματα.

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος. Το υπόγειο νερό είναι αποθηκευμένο ή κινείται μέσα στα διάκενα των εδαφών ή των πετρωμάτων (Εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1.
Η κατανομή του υπόγειου νερού κατά βάθος (<http://kireas.org/smf/index.php?p?topic=685.0>)

Οι όγκοι αυτοί των γεωλογικών σχηματισμών, στους οποίους υπάρχει η δυνατότητα να κινηθεί το υπόγειο νερό, λέγονται υδροφορείς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υδροφορέων αποτελούν οι αλλουβιακές αποθέσεις άμμων και χαλικών. Αντίθετα, υπάρχουν τα λεγόμενα αδιαπέρατα στρώματα τα οποία, ενώ έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν -έστω και σε μικρές ποσότητες- νερό, πρακτικά δεν έχουν καμιά ικανότητα μεταφοράς του. Κλασικό παράδειγμα στην κατηγορία αυτή αποτελούν τα διάφορα αργιλικά εδάφη. Ανάμεσα στις δύο παραπάνω ακραίες κατηγορίες εδαφών υπάρχουν και ενδιάμεσες που έχουν σημαντικά μικρότερη, σε σχέση με τα διαπερατά στρώματα, ικανότητα μεταφοράς νερού. Τα εδαφικά αυτά στρώματα χαρακτηρίζονται γενικά ως ημιπερατά και τυπικό παράδειγμα τους είναι φακοί αργίλου σε εναλλαγή με αμμώδη εδάφη.

Οι κατηγορίες ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι: (α) από βιομηχανικές δραστηριότητες, β) αγροτικές δραστηριότητες, (γ) αστικές και οικιακές δραστηριότητες, (δ) ραδιενεργές ουσίες και (ε) φυσικές διεργασίες.

Οι πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών είναι: (α) Ρύπανση υπόγειων νερών που δημιουργείται στην επιφάνεια του εδάφους, που περιλαμβάνει την διήθηση ακάθαρτου επιφανειακού νερού, την επιφανειακή διάθεση στερεών και ρευστών αποβλήτων, σκουπιδότοπους, την διάθεση αποβλήτων & λάσπης από σταθμούς επεξεργασίας, από λιπάσματα και

φυτοφάρμακα κ.α., (β) Ρύπανση υπόγειων νερών που δημιουργείται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, που περιλαμβάνει τις επιφανειακές δεξαμενές διάθεσης αποβλήτων, την διαρροή από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης, τους σηπτικούς και διηθητικούς βόθρους, τους χώρους ταφής απορριμμάτων, την ρίψη αποβλήτων σε εκσκαφές, τα νεκροταφεία κ.α. και (γ) Ρύπανση υπόγειων νερών που δημιουργείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, που περιλαμβάνει την διάθεση αποβλήτων σε εκσκαφές με νερό, αγροτικά πηγάδια στράγγισης και αρδευτικές διώρυγες, ορυχεία, ερευνητικές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα πηγάδια κ.α..

Τα σημαντικότερα προβλήματα που εμφανίζονται τις τελευταίες δεκαετίες στα υπόγεια νερά και για αυτό το λόγο έχουν θεσπιστεί νόμοι προστασίας τους, είναι η υπαλμύρωση, η νιτρορύπανση και τα βαρέα μέταλλα. Ο βασικός παράγοντας που ευθύνεται για την υπαλμύρωση των υπόγειων νερών είναι η υπερεκμετάλλευση τους από τις πολυάριθμες γεωτρήσεις που λειτουργούν ανεξέλεγκτα. Το υπάλυμο νερό που έρχεται στην επιφάνεια επιβαρύνει με πρόσθετα άλατα τα εδάφη, έχοντας ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση τους και τελικά την μείωση της παραγωγής. Σταδιακά τα εδάφη γίνονται αλατούχα με αποτέλεσμα την καταστροφή τους που οδηγούνται στην απερήμωση. Πέραν της αλάτωσης των εδαφών, μεγάλη επιβάρυνση δέχονται και τα υπόγεια νερά της περιοχής με αποτέλεσμα συνεχώς να υπαλμυρίζουν και να γίνονται ακατάλληλα όχι μόνο για ανθρώπινη χρήση αλλά και για άρδευση. Όταν η συγκέντρωση σε ιόντα χλωρίου ξεπεράσει τα ανώτερα επιτρεπτά όρια των 250 mg/l και τα ιόντα Νατρίου τα 175 mg/l, τότε το νερό δεν είναι πλέον πόσιμο (*EU Council directive 98/83 1998*).

Η νιτρορύπανση εμφανίζεται κυρίως σε περιοχές με έντονη γεωργική εκμετάλλευση. Η υπέρμετρη χρήση αζωτούχων και φωσφορούχων λιπασμάτων και διάφορα άλλα χημικά που χρησιμοποιούνται κατά τις τελευταίες δεκαετίες, επιβάρυναν σε σημαντικό βαθμό τα εδάφη και εν συνεχεία τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η αμμωνία (NH_3) των λιπασμάτων μετατρέπεται στο υπέδαφος μέσω βιολογικών διεργασιών σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-), τα οποία εισερχόμενα στο υδροφόρο ορίζοντα μπορούν να καταστήσουν το υπόγειο νερό ακατάλληλο για ανθρώπινη χρήση. Οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας προτείνουν για τα πόσιμα νερά, όσον αφορά τα Νιτρικά ως ανώτατο επιτρεπτό όριο την τιμή συγκέντρωσης των 50 mg/l και για την Αμμωνία την τιμή των 0,05 mg/l η ΕΕ, ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας την τιμή των 0,5 mg/l. Κανονικά τα υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη χρήση η συγκέντρωση σε Νιτρικά ιόντα δεν θα πρέπει να είναι υψηλότερη από τα 25 mg/l (*EU Council directive 98/83 1998*).

Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, ο όρος αναφέρεται σε εκείνα τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από αυτό του σιδήρου ή της τιμής των 5 g/cm³. Τέτοια είναι τα μέταλλα μόλυβδος, ψευδάργυρος, χαλκός, κάδμιο, υδράργυρος, χρώμιο κ.ά. Παρά το γεγονός ότι σε κατάλληλες συγκεντρώσεις ορισμένα βαρέα μέταλλα, όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος κ.α., είναι απαραίτητα για τις ενζυμικές λειτουργίες, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις κανονικές γίνονται τοξικά και επικίνδυνα με σοβαρές επιπτώσεις για το περιβάλλον. Σε αυτό συντελεί και το γεγονός ότι δεν αποικοδομούνται όπως οι οργανικοί ρύποι και παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον ακολουθώντας έναν καθορισμένο βιογεωχημικό κύκλο (*Sawidis and Voulgaropoulos 1986, Djingova et al. 1987, Μπέλλος 2004*).

Μερικά από τα βαρέα μέταλλα όχι μόνο δεν είναι απαραίτητα για τη ζωή αλλά αντίθετα δρουν βλαβερά και επικίνδυνα στον άνθρωπο, στα ζώα και στα φυτά. Το κυριότερο από αυτά τα μέταλλα είναι ο μόλυβδος. Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος και οι ενώσεις τους, σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εισέρχονται απλώς σε κάποιο μικρό ή μεγάλο βιογεωχημικό κύκλο. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες πολλές φορές διαταράσσουν την ισορροπία τέτοιων κύκλων και προκαλούν υπέρμετρες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε ζώντες οργανισμούς. Στις περιπτώσεις αυτές έχουμε εμφάνιση διάφορων διαταραχών στις βιολογικές δράσεις, που μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και στο θάνατο των οργανισμών.

Η υδροχημική έρευνα έχει ως στόχο να συμβάλει στη καλύτερη κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας και στον εντοπισμό περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με την ποιοτική υποβάθμιση τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου νερού. Η υποβάθμιση αυτή μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικά όσο και σε ανθρωπογενή αίτια.

7.1.2. Πηγές ρύπανσης των υδάτων στην περιοχή μελέτης

Τα κυριότερα προβλήματα ρύπανσης που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης και έχουν σαν αιτία προέλευσής τους τον άνθρωπο, είναι τα ακόλουθα:

i) Μεγάλος αριθμός λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τα οποία επιφορτίζουν τόσο το έδαφος, όσο και τα νερά με αμμωνιακά, νιτρικά και νιτρώδη στοιχεία, καθώς και με βαρέα μέταλλα (π.χ. κάδμιο και αρσενικό).

ii) Τα 50 περίπου ελαιοτριβεία που λειτουργούν σε ολόκληρη την περιοχή και τα οποία ρίχνουν χωρίς καμία επεξεργασία τα απόβλητά τους στους χειμάρρους αλλά και στον Σπερχειό.

iii) Αρκετές κτηνοτροφικές μονάδες, στάβλοι και τυροκομεία στην περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού επιβαρύνουν με τα απόβλητά τους τον Σπερχειό ποταμό και τους παραποτάμους του.

iv) Ο βιολογικός καθαρισμός της πόλης της Λαμίας λειτουργεί πλημμελώς, δεχόμενος μεγαλύτερο όγκο λυμάτων από όσα μπορεί να επεξεργαστεί, με αποτέλεσμα τα ανεπεξέργαστα να διοχετεύονται μέσω χειμάρρων ή καναλιών στον Μαλιακό κόλπο.

v) Μεγάλες επίσης κοινότητες, όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα διαθέτουν βιολογικό καθαρισμό, ο οποίος όμως δεν λειτουργεί ποτέ, ενώ άλλοι μικρότεροι οικισμοί δεν διαθέτουν καθόλου βιολογικό καθαρισμό, έχοντας σηπτικούς βόθρους. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η μεγάλη διοχέτευση κυρίως αμμωνίας, νιτρικών και νιτρωδών ιόντων στα νερά της περιοχής. Πολλά βυτιοφόρα βοθρολυμμάτων επίσης, ρίχνουν ανεξέλεγκτα το φορτίο τους σε διάφορους χειμάρρους ή και σε διάφορα άλλα σημεία.

vi) Η μερική ή ατελής επεξεργασία των λυμάτων από διάφορες μικρές βιομηχανίες, που βρίσκονται τόσο στην ΒΙΠΕ όσο και στην γύρω περιοχή (π.χ. εργοστάσιο παραγωγής κόλλας στην Ανθήλη) και οι οποίες επιβαρύνουν την περιοχή με διάφορα βαρέα μέταλλα.

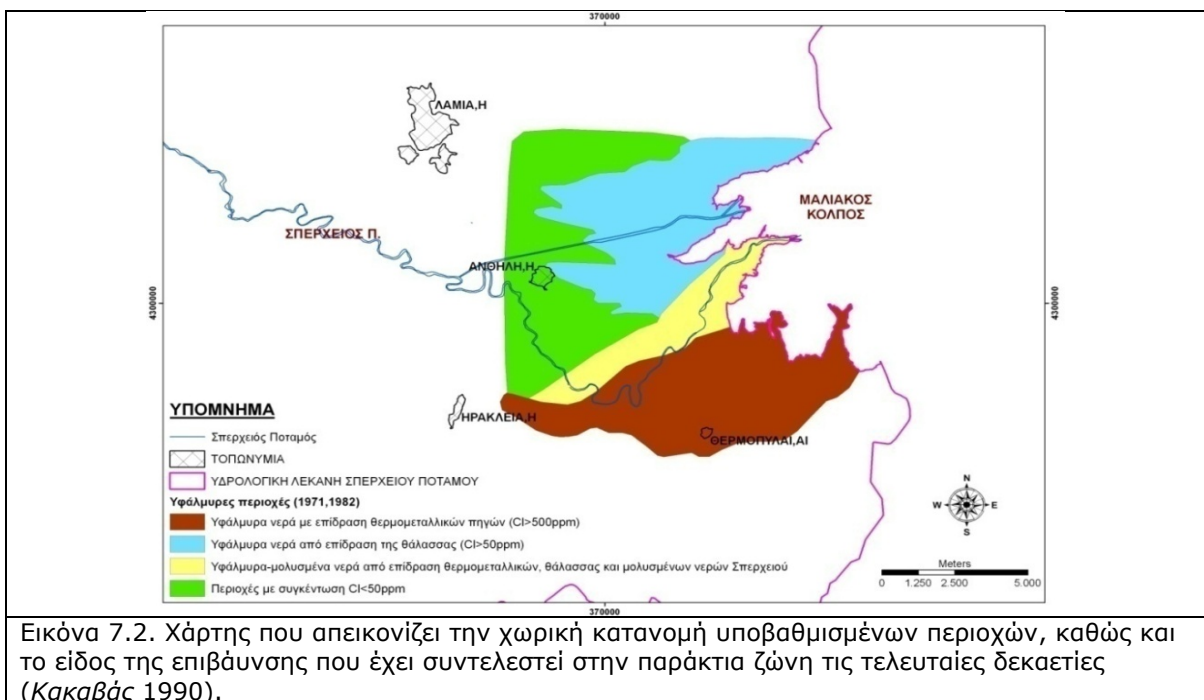
vii) Το εργοστάσιο επεξεργασίας ανακυκλώσιμου χαρτιού στην Δαμάστα και τα εργοστάσια επεξεργασίας υποπροϊόντων πυρηνολιουργείου, σπορelaiουργείου και τυποποίησης ελιάς

στην Δαμάστα και την Αγία Τριάδα, που ρίχνουν τα απόβλητά τους στον Ασωπό και στο Λατζόρρεμα αντίστοιχα.

Φυσικά υπάρχουν ακόμη αρκετές πηγές ρύπανσης της περιοχής, όμως η έλλειψη ελέγχου ή ακόμα και η έλλειψη καταγεγραμμένων στοιχείων από κάποιον φορέα διαχείρισης περιβαλλοντικών θεμάτων, καθιστά πολύ δύσκολο τόσο τον εντοπισμό τους, όσο και την εύρεση του ποσοστού συμμετοχής τους στην ρύπανση.

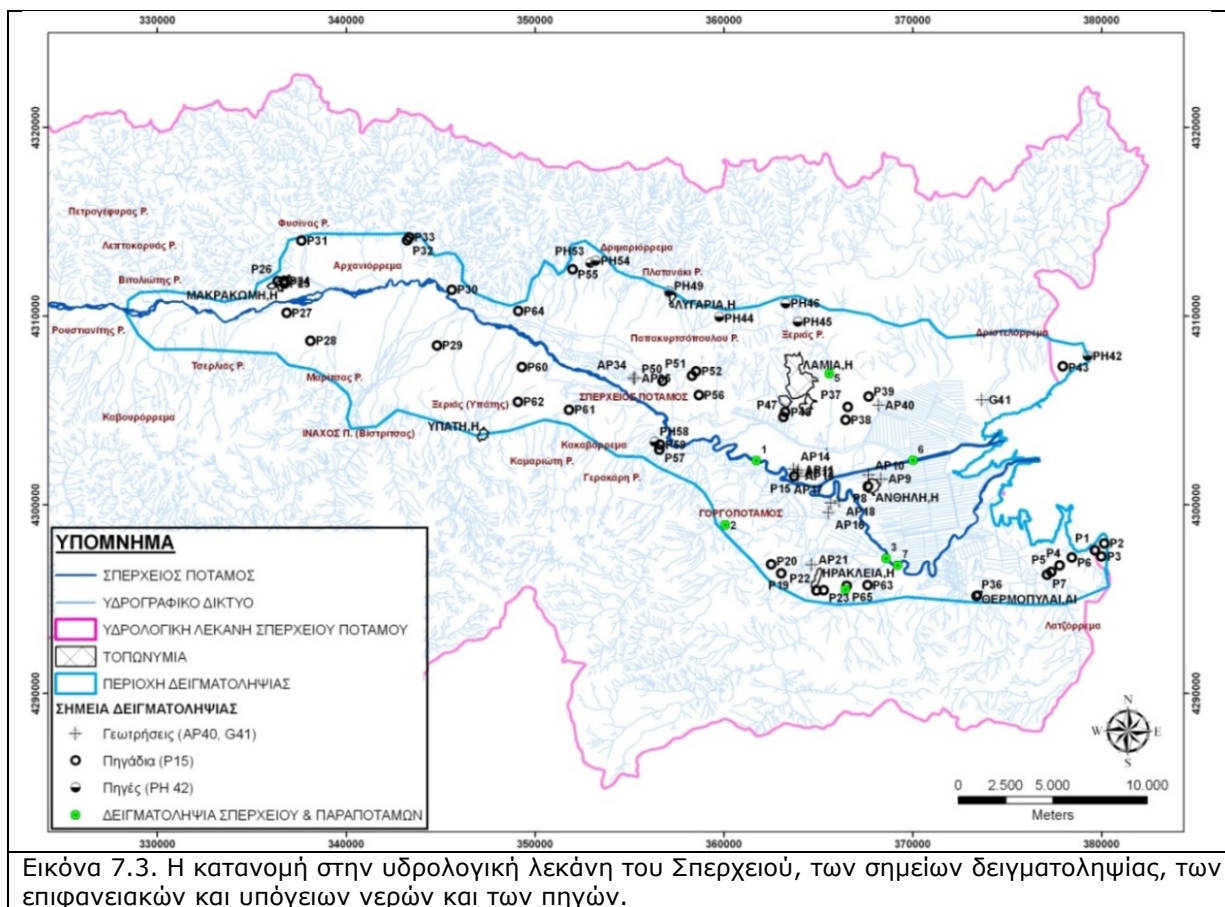
7.1.3. Προσέγγιση-Μεθοδολογία

Στην περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού έχει πραγματοποιηθεί ένα σημαντικός αριθμός ερευνητικών εργασιών που αφορούν την καταγραφή των υπαρχόντων σημείων νερού (Stahl et al. 1975, Κακαβάς 1978;1984α; 1984β; 1985α; 1985β, Παπαδέας 1996) γεωτρήσεων, πηγαδιών και πηγών, αλλά και χημικών αναλύσεων που αφορούν την ποιότητα, τόσο των επιφανειακών (Παπασταματάκη & Λεωνής 1982, Ιωαννίδης και αλ. 1990, Skoulikidis 1993, Μαργωμένου-Λεωνιδοπούλου 2001, Kormas et al. 2003, Δασενάκης και αλ. 2005, Rousselaki et al. 2007), όσο και των υπόγειων νερών (Stahl et al. 1975, Aust et. al 1980, Κακαβάς 1985α, 1985β, 1990, Gartzos & Stamatis 1996, Duriez et al. 2008, Psomiadis et al. 2008 - Εικόνα 7.2) και οι οποίες ελήφθησαν υπόψη στην παρούσα διατριβή, τόσο κατά το στάδιο της δειγματοληψίας, όσο και για την καλύτερη ερμηνεία και αξιολόγηση των τελικών αποτελεσμάτων.



Σκοπός της υδροχημικής έρευνας είναι να διαπιστωθεί η επιβάρυνση που έχει συντελεστεί στον ανώτερο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά λύματα, γεωργία, κτηνοτροφία, βιομηχανία κλπ), καθώς και το κατά πόσο έχει επιδεινωθεί αυτή η επιβάρυνση τις τελευταίες δεκαετίες.

Στο πλαίσιο της υδροχημικής έρευνας, μελετήθηκαν τα αποτελέσματα δειγματοληψίας που διενεργήθηκε σε 7 σημεία επιφανειακού ύδατος, τόσο στον Σπερχειό (Παλαιά και Νέα κοίτη), όσο και σε ορισμένους παραποτάμους του (Γοργοπόταμο-ΣΠ2, Ασωπό-ΣΠ4 και Ξεριά Λαμίας-ΣΠ5), 57 σημείων υπόγειων νερών με 43 πηγάδια και 14 γεωτρήσεις (13 αρτεσιανές) και 8 πηγών (Εικόνα 7.3). Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο τέλος της χειμερινής περιόδου τον Μάρτιο του 2007 (Εικόνες 7.4 α & β).



Εικόνα 7.4α. Θέση επιφανειακής δειγματοληψίας στη γέφυρα του Σπερχειού (Νέα κοίτη) στην διασταύρωση του με την ΠΑΘΕ.

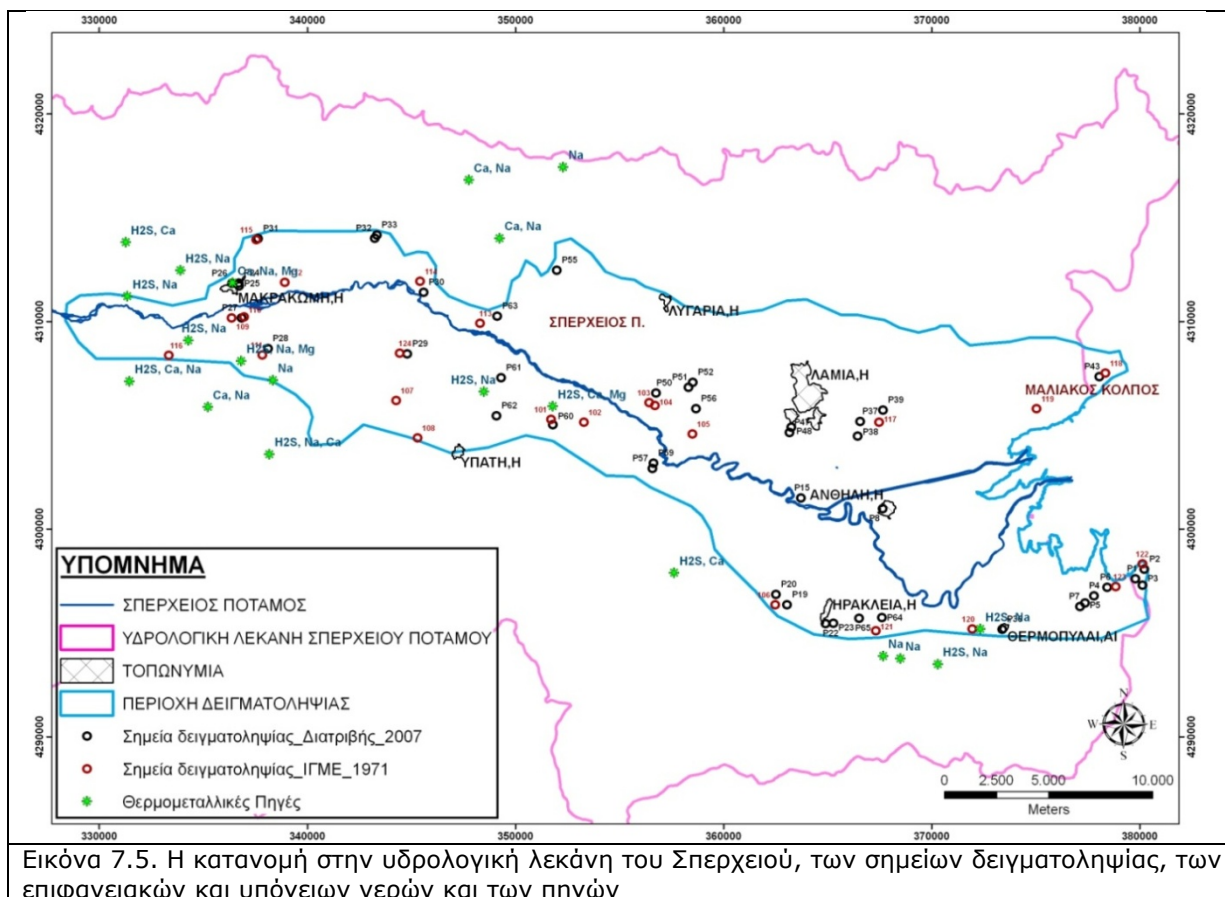


Εικόνα 7.4β. Θέση επιφανειακής δειγματοληψίας στη γέφυρα του Αγωγού Εκτροπής, λίγο μετά το νεκροταφείο της Ανθήλης.

Για την εξέταση της επιβάρυνσης του ανώτερου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα των πηγαδιών, διότι μπορούν και αντικατοπτρίζουν με μεγάλη ακρίβεια οποιαδήποτε επιβάρυνση συμβαίνει σε μια περιοχή. Αντίθετα, τα δείγματα των γεωτρήσεων επειδή προέρχονταν από υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα δεν παρείχαν πληροφορίες για αυτού του είδους τις επιβαρύνσεις.

Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων από τα πηγάδια της περιοχής, συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν με βάση παλαιότερες δειγματοληψίες πηγαδιών, που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή μελέτης τον Μάρτιο του 1971, από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Κακαβάς 1978, Παπαδέας 1996). Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων της παλιάς και της πρόσφατης δειγματοληψίας, 1971 και 2007, επιλέχθηκαν από την δειγματοληψία του 1971, τα δείγματα εκείνα που είχαν ως ημερομηνία δειγματοληψίας τον Μάρτιο του 1971, έτσι ώστε να συμπίπτει με την περίοδο δειγματοληψίας της διατριβής (τέλος υγρής περιόδου). Η κατανομή στο χώρο των πηγαδιών της παλιάς δειγματοληψίας σε συνάρτηση με τα σημεία δειγματοληψίας των πηγαδιών της διατριβής παρουσιάζονται στην εικόνα 7.5.

Τέλος, για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καταγράφηκαν και ταξινομήθηκαν οι θερμομεταλλικές πηγές της περιοχής, ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο μπορεί να επηρεάζουν γειτονικά σημεία δειγματοληψίας (Δούνας 1960, Stahl et al. 1975, Παπασταματάκη & Λεωνής 1982, Κακαβάς 1983, Ιωαννίδη και αλ. 1990, Gartzos & Stamatis 1996) (Εικόνα 7.5).



7.1.3.1. Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με βάση τα Διεθνή πρότυπα. Οι φιάλες πολυαιθυλαινίου της δειγματοληψίας είχαν προηγουμένως πλυθεί καλά με υδροχλωρικό οξύ (HCl) 5% κ.β., ενώ πριν τη λήψη του δείγματος ξεπλένονταν με το νερό της δειγματοληψίας. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε 2 φιάλες, η πρώτη, όγκου 1 lt, χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των ανιόντων και περιείχε δείγμα στο οποίο δεν εφαρμόστηκε καμία περεταιίρω επεξεργασία, ενώ η δεύτερη, όγκου 100 ml, περιείχε δείγμα που διηθήθηκε και οξινίστηκε [με 0,5 ml HNO₃, ώστε το pH να γίνει μικρότερο του 2 και να αποτραπεί η ανάπτυξη βακτηρίων, οι οξειδωτικές αντιδράσεις και η προσρόφηση ή καθίζηση (Lloyd & Heathcote 1985, Appelo & Postma 1996) επί τόπου και χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των κατιόντων και των μεταλλικών ιχνοστοιχείων.

7.1.3.2. Μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις

Κατά την συλλογή των δειγμάτων μετρήθηκαν οι ασταθείς φυσικοχημικοί παράμετροι του νερού, όπως η θερμοκρασία του νερού, T_w σε °C, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, E.C. σε μS/cm, το pH και το διαλυμένο O₂ (D.O.) σε mg/lt. Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν οι υδροχημικές αναλύσεις, που περιλαμβάνουν τη διερεύνηση των ακόλουθων χημικών παραμέτρων με χρήση των αντίστοιχων μεθόδων, όπως αυτά απεικονίζονται και στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί. Συγκεκριμένα έγινε ο ποσοτικός προσδιορισμός της ολικής σκληρότητας, της παροδικής σκληρότητας, των οξυανθρακικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου με τιτλοδότηση. Η ποσοτική ανίχνευση της ολικής σκληρότητας και των οξυανθρακικών έγινε με τιτλοδότηση, με EDTA 0,2N, ενώ για την ανθρακική σκληρότητα χρησιμοποιήθηκε HCl, 0,1N και για τα χλωριόντα AgNO₃. Τα φωσφορικά PO₄³⁻, τα θειικά SO₄²⁻, τα νιτρικά NO₃⁻, η αμμωνία NH₃, καθώς και τα οξείδια του πυριτίου SiO₂, προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000. Τα στοιχεία νάτριο Na⁺ και κάλιο K⁺ προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου CORNING Flame Photometer 410. Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn και Co ανιχνεύτηκαν με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Για κάθε δείγμα έγινε έλεγχος του ιοντικού ισοζυγίου ανιόντων – κατιόντων με βάση τον τύπο (Σούλιος 2006):

$$N = \frac{\text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)} - \text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)}}{\text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)} + \text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)}} * 100$$

Στην πλειοψηφία των δειγμάτων η διαφορά της παραπάνω εξίσωσης ήταν μικρότερη του 5% και συνεπώς τα αποτελέσματα θεωρούνται αποδεκτά. Μόνο σε 3 δείγματα το ισοζύγιο βρέθηκε λίγο μεγαλύτερο του 5%, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε μεγάλες αραιώσεις που έγιναν στα εν λόγω δείγματα κατά τη διαδικασία των χημικών αναλύσεων, αλλά σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασε το 7%. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται στους πίνακες 7.2, 7.3 7.4, ενώ τα αποτελέσματα των αναλύσεων της δειγματοληψίας του 1971, που χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση παλαιών και νέων τιμών και περιλαμβάνουν τα κύρια ανιόντα, κατιόντα και τα ολικά διαλυμένα στερεά, απεικονίζονται στον πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.1. Μεθοδολογία μετρήσεων και αναλύσεων των παραμέτρων (φυσικοχημικών και χημικών), των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των δειγμάτων νερού.

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Εφαρμοζόμενη μέθοδος μέτρησης	Οδηγίες		
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ					
Θερμοκρασία νερού	°C	Φορητό θερμόμετρο	DIN 38404-4-1		
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	μS/cm	Φορητό αγωγιμόμετρο, Mod. LF330/SET, WTW	DIN/EN 27888		
pH	-	Φορητό pH-μετρο, Mod. pH 330i/SET, WTW	DIN 38404-5		
ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΩΝ					
O ₂	mg/l	Φορητό οξυγονόμετρο, Mod. OXI 96, WTW	DIN / EN		
ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ					
α. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ					
Ολική σκληρότητα (ΟΣ)	°dH*	Τιτλοδότηση Method 8226 Manver 2 Buret Titration Hack	DIN 38404-4-1		
Παροδική σκληρότητα (ΠΣ)	°dH	Τιτλοδότηση με 0,1 N HCl παρουσία δείκτη ηλιανθίνης	DIN/EN 27888		
Μόνιμη σκληρότητα (ΜΣ)	°dH	Υπολογιστικά ΜΣ=ΟΣ-ΠΣ	DIN 38404-5		
β. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Κατιόντα	Εφαρμοζόμενη Μέθοδος		Όργανο μέτρησης	Οδηγίες	
Ca	AAS		GBC 908 AA	DIN/EN/1507980	
Mg	AAS		GBC 908 AA	DIN/EN/1507980	
Na	AES		Microprocessor Flame Photometer MOD. -1382, Intech	DIN/ISO/9964-3	
K	AES		Microprocessor Flame Photometer MOD. -1382, Intech	DIN/ISO/EN 9964-3	
Ανιόντα	Εφαρμοζόμενη Μέθοδος		Όργανο μέτρησης	Οδηγίες	
HCO ₃ ⁻	Τιτλοδότηση με 0,1 N HCl παρουσία δείκτη Ηλιανθίνης		-	DIN 38409-7-1-2	
Cl ⁻	Τιτλοδότηση με 0,1 N AgNO ₃ παρουσία δείκτη KCr ₂ O ₇		-	DIN 38405-1-1	
SO ₄ ²⁻	Φασματοφωτομετρικά sulfaver 4 Method 8051 HACK		Hack DR 3000	DIN 38405-5-1	
NO ₃ ⁻	Φασματοφωτομετρικά Calsium Reduction Method 8039 HACK		Hack DR 3000	DIN 38405-9-2	
PO	Φασματοφωτομετρικά Phosver 3 Method 8048 HACK		Hack DR 3000	DIN/EN 1189-HA6	
SiO ₂	Φασματοφωτομετρικά Silicomolybdate Method 8185 HACK		Hack DR 3000	DIN 38405-21	
γ. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Στοιχείο	Μέθοδος	Όργανο Μέτρησης	Μήκος κύματος (nm)	Ιδανική περιοχή εργασίας (ppm)	Ευαισθησία (ppm)
Fe (ολικός)	AAS	GBC 908 AA	248,3	2-9	0,05
Mn ²⁺	AAS	GBC 908 AA	279,5	1-3,6	0,02
Cu ²⁺	AAS	GBC 908 AA	324,7	1-5	0,025
Zn ²⁺	AAS	GBC 908 AA	213,9	0,4-1,5	0,008
Cr (ολικό)	AAS	GBC 908 AA	357,9	2-15	0,05
Ni ²⁺	AAS	GBC 908 AA	232,0	1,8-8	0,04
Pb ²⁺	AAS	GBC 908 AA	217,0	2,5-20	0,06
Cd ²⁺	AAS	GBC 908 AA	228,8	0,2-1,8	0,009
Co ²⁺	AAS	GBC 908 AA	240,7	2,5-9	0,05

* Γερμανικός βαθμός σκληρότητας

Πίνακας 7.2. Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των επιφανειακών υδάτων της περιοχής δειγματοληψίας (ΣΠ1-ΣΠ7)

Δείγμα	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θερμοκρασία	DO (%)	pH	Ολική	Παροδική	Ca	Mg	Na	K	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	NH ₃	SiO ₂	PO ₄	Zn	Pb	Cu	Co	Ni	Cd	Mn	Fe																
					Σκληρότητα (mg/l)	Καπνότητα (mg/l)																				Ανιόντα (mg/l)										Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία (mg/l)					
					241,0	271,5																				14,85	11,50	3,9	14,18	8,80	51,11	271,5	0,15	11,3	0,15	0,05	0,08	0,01	0,01	0,00	0,01
ΣΠ1	596	9,3	90	7,1	241,0	271,5	72,0	14,85	11,50	3,9	14,18	8,80	51,11	271,5	0,15	11,3	0,15	0,05	0,08	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,53																
ΣΠ2	412	9,9	94	7,8	182,0	231,8	59,2	8,28	8,22	5,8	7,09	7,04	7,00	231,8	0,02	5,8	0,13	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,25																
ΣΠ3	520	9,6	89	7,9	210,0	250,1	64,4	11,93	10,20	2,7	14,18	11,00	22,90	250,1	0,54	11,8	0,31	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,78																
ΣΠ4	532	8,7	91	7,9	196,0	237,9	60,8	10,71	9,20	2,9	11,35	7,04	27,00	237,9	0,25	12,1	0,15	0,03	0,12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,72																
ΣΠ5	556	9,3	91	8,1	188,0	250,1	52,8	13,63	19,50	2,5	23,05	10,12	13,50	250,1	0,10	17,6	0,11	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,68																
ΣΠ6	550	10	89	7,6	206,0	219,6	63,2	11,69	13,65	2,6	12,41	15,40	45,30	219,6	0,16	12,7	0,15	0,03	0,11	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	1,89																
ΣΠ7	592	10,1	89	7,6	224,0	262,3	68,0	13,15	13,13	1,7	8,87	8,80	39,90	262,3	0,10	12,5	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,11																

Πίνακας 7.3. Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των υπόγειων υδάτων, πηγαδιών (P1) και γεωτρήσεων AP & G, της περιοχής δειγματοληψίας

Δείγμα	EC (μS/cm)	Θερμοκρασία νερού (T °C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	NH ₃	SiO ₂	PO ₄	Zn	Pb	Cu	Co	Ni	Cd	Mn	Fe															
							Σκληρότητα (mg/l)	Καπνότητα (mg/l)	Ανιόντα (mg/l)																				Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία (mg/l)														
							707,6	680,0	27,6																				68,80	123,69	50,80	1,50	156,03	14,08	28,25	680,0	0,29	21,1	1,27	0,07	0,01	0,01	0,03
P1	1660	17,7	7,9	-33	4,7	61	707,6	680,0	27,6	68,80	123,69	50,80	1,50	156,03	14,08	28,25	680,0	0,29	21,1	1,27	0,07	0,01	0,01	0,03	0,12	0,03	0,05	0,04															
P2	1520	19,4	7,8	-31	6	73	728,0	646,6	81,4	70,40	134,40	47,80	1,00	148,94	47,96	110,00	646,6	0,45	22,2	0,61	0,06	0,01	0,01	0,03	0,09	0,02	0,04	0,05															
P3	1508	20	7,9	-33	6,6	84	792,0	658,0	134,0	79,20	144,63	43,50	0,70	219,86	40,48	74,40	658,0	0,50	23,3	0,29	0,04	0,01	0,01	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02															
P4	950	18	7,8	-30	5,3	68	408,0	524,6	0,0	63,20	60,87	39,00	1,80	76,24	10,56	26,00	524,6	0,29	28,0	0,32	0,06	0,01	0,01	0,02	0,06	0,02	0,04	0,02															
P5	693	17,6	8	-40	5,4	71	394,0	488,0	0,0	62,40	57,95	30,00	3,50	69,15	8,36	11,33	488,0	0,23	31,3	0,30	0,04	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,17	0,05															
P6	2340	19,8	7,7	-20	5,5	70	946,0	439,0	507,0	116,00	159,72	79,20	0,70	393,62	7,04	105,00	439,0	2,64	37,5	0,36	0,06	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,26	0,02															
P7	1226	17,1	7,9	-32	5,8	73	576,0	603,9	0,0	99,20	79,86	43,00	1,20	92,20	7,04	53,00	603,9	0,27	29,0	0,31	0,25	0,00	0,01	0,00	0,06	0,01	0,17	0,04															
P8	901	22,5	7,1	4	6,1	75	270,0	494,1	0,0	53,60	33,11	92,00	13,00	69,15	14,52	48,20	494,1	0,20	17,3	1,17	0,11	0,42	0,02	0,03	0,05	0,01	0,04	0,01															
AP9	520	18,4	7,2	-2	4,8	59	210	427	0,0	53,60	18,50	74,00	2,20	17,73	11,88	2,80	427	0,55	37,5	3,1	0,2	0,07	0,01	0,00	0,00	0,01	0,53	0,08															
AP10	475	18,4	7,2	-1	5,6	70	238	335,5	0,0	55,20	24,35	25,60	0,90	21,28	14,08	5,50	335,5	0,16	42	1	0,05	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,28	0,05															
AP11	275	16,5	7,5	-15	6,1	82	160	201,3	0,0	46,40	10,71	12,20	0,80	17,73	13,64	3,00	201,3	0,01	15,5	0,15	0,02	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,03	0,04															
AP12	293	15,6	7,5	-15	5,9	78	166	201,3	0,0	49,60	10,23	10,10	0,80	17,73	17,16	3,50	201,3	0,05	19	0,21	0,07	0,17	0,01	0,01	0,06	0,00	0,15	1,53															
AP13	294	16,5	7,5	-16	6,1	70	164	207,4	0,0	51,20	8,77	11,40	1,40	14,18	19,80	3,40	207,4	0,01	13,5	0,22	0,07	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02															
AP14	273	15,7	7,4	-11	5,2	68	156	195,2	0,0	47,20	9,25	10,30	0,80	14,18	17,60	3,60	195,2	0,01	14,6	0,11	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03															
P15	540	18	7,1	4	6	74	260,0	335,5	0,0	68,60	21,74	20,20	30,00	47,87	25,80	30,00	335,5	0,07	15,8	0,70	0,04	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02															
AP16	423	18,7	7,4	-11	5	64	226	298,9	0,0	49,60	24,83	23,20	0,80	17,73	17,60	3,30	298,9	0,01	25	0,27	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01															
AP17	380	19,1	7,3	-6	5,2	66	222	274,5	0,0	44,00	27,27	25,60	1,00	17,73	17,16	2,40	274,5	0,14	28	0,46	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,07	0,01															
AP18	408	18,8	7,5	-15	4,8	61	192	298,9	0,0	44,00	19,97	28,80	1,30	17,73	11,88	3,10	298,9	0,33	30,1	0,31	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,12	0,13															
P19	752	16	7,2	-1	5,9	72	468,0	475,8	0,0	95,20	56,00	10,00	1,80	31,91	37,84	58,00	475,8	0,32	28,0	0,22	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02															
P20	684	24,5	7,3	-6	4,4	58	404,0	420,9	0,0	82,40	48,21	19,60	2,60	28,37	40,04	32,50	420,9	0,28	2,6	0,19	0,27	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00															
AP21	401	17,3	7,4	-11	4,8	61	240	298,9	0,0	60,80	21,43	11,20	0,85	12,41	18,48	1,30	298,9	0,01	16,2	0,22	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00															
P22	385	16	7,3	-5	5	66	234,0	280,6	0,0	61,60	23,83	11,00	1,40	19,50	15,40	4,30	280,6	0,01	14,5	0,15	0,07	0,01	0,02	0,04	0,00	0,01	0,02	0,01															
P23	626	16,5	7,2	-1	5,1	68	380,0	402,6	0,0	104,00	29,22	12,60	3,40	15,96	27,72	40,40	402,6	0,08	16,6	0,21	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01															
P24	1022	22	7	12	6,6	83	572,0	518,5	53,5	176,00	32,14	44,00	1,80	46,10	69,52	69,50	518,5	0,48	21,2	0,12	0,14	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02															
P25	1002	19,4	6,9	18	5,1	64	528,0	439,2	88,8	167,20	26,78	40,30	3,20	46,10	132,00	67,50	439,2	0,28	21,6	0,32	0,08	0,14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03															
P26	1008	18,1	6,9	18	4,5	62	500,0	439,2	60,8	150,40	30,19	53,80	1,80	49,65	74,80	126,00	439,2	0,19	19,0	0,10	0,06	0,14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03															
P27	434	14,2	7,1	5	4,9	61	210,0	262,0	0,0	74,40	9,00	17,80	2,00	12,41	16,72	32,50	262,0	0,32	9,2	0,18	0,06	0,14	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00															
P28	819	16	6,9	17	5	64	462,0	390,4	71,6	156,80	17,04	24,80	4,00	24,82	40,48	158,00	390,4	0,10	13,7	0,17	0,04	0,21	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01															
P29	650	16,3	7	11	4,7	61	374,0	366,0	8,0	116,00	20,45	20,10	1,80	12,41	29,48	89,00	366,0	0,01	12,9	0,18	0,05	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01															
P30	660	18	7	11	4,6	56	370,0	335,5	34,5	100,00	29,22	29,40	1,60	21,28	51,48	97,50	335,5	0,06	24,3	0,20	0,06	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01															
P31	834	18	7	11	4,5	53	486,0	542,9	0,0	144,80																																	

Πίνακας 7.5. Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων του 1971 (Παπαδέας 1996).

Παλιά Ονομα-σία	Δείγμα	Αντίστοιχα Πηγάζια 2007	TDS	EC	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO ₃	NO3
Φ010	P101	Π61-Π62	331,1	509,4	66,1	7,9	5,3	0,8	8,5	3,4	235	6,2
Φ012	P102	Π60	488,7	751,8	85,0	19,0	9,9	5,5	21,3	13,5	301	33,5
Φ014	P103	Π50-Π51-Π52	502,4	772,9	70,9	26,6	16,8	0,7	7,1	11,1	345	24,
Φ015	P104	Π50-Π51-Π52	591,1	909,4	69,9	33,8	33,1	1,2	20,6	25,0	379	28,5
Φ023	P105	Π56	451,6	694,8	69,7	19,2	17,0	3,2	10,6	38,9	293	5,0
Φ042	P106	Π19-Π20	496,8	764,3	60,3	39,1	6,7	0,8	9,9	11,1	336	32,9
Φ076	P107	Π28-Π29	616,1	947,8	112,0	23,6	9,2	1,3	7,1	39,4	418	5,6
Φ077	P108	Π62	541,6	833,2	99,6	19,2	8,5	1,0	7,1	40,8	348	17,4
Φ082	P109	Π27	327,5	503,8	62,7	9,4	7,6	1,0	5,3	34,6	207	6,5
Φ084	P110	Π27	348,1	535,5	66,7	10,3	7,4	1,0	5,3	39,4	218	7,0
Φ086	P111	Π28	1547,6	2380,9	190,0	99,2	86,5	3,9	113,0	203,0	544	308
Φ087	P112	Π24-Π25-Π26	474,9	730,6	83,8	21,1	19,1	4,2	16,7	50,4	329	5,0
Φ091	P113	Π63	474,9	730,6	77,0	23,1	11,0	0,8	9,9	43,7	297	12,4
Φ095	P114	Π30	480,9	739,8	61,5	30,8	15,2	0,8	12,4	14,4	326	19,8
Φ104	P115	Π31	465,5	716,2	80,6	15,4	16,8	2,0	7,1	18,7	325	21,0
Φ124	P116	Π28	555,1	854,0	87,4	22,4	21,4	1,2	9,9	28,8	384	22,5
Φ158	P117	Π37-Π38-Π39	452,4	696,0	61,9	25,8	16,8	0,8	17,8	8,2	297	24,2
Φ163	P118	Π43	583,7	898,0	95,2	20,4	24,2	1,0	18,4	18,7	386	19,8
Φ170	P119	Π39-Π43	553,1	850,9	73,0	35,1	17,9	1,2	26,6	17,3	351	31,0
Φ183	P120	Π36	388,3	597,4	58,7	21,2	6,9	1,0	7,8	8,2	282	4,0
Φ188	P121	Π64-Π65	459	706,2	74,6	23,4	7,1	0,8	8,2	24,5	318	2,5
Φ198	P122	Π1-Π2-Π3	1231,8	1895,1	48,3	105,0	155,0	6,1	240,0	46,1	627	4,3
Φ235	P123	Π6	1316,8	2025,8	56,9	132,0	121,0	2,0	197,0	20,7	786	1,2
Φ70	P124	Π29	567,8	873,5	107,0	19,3	12,2	1,2	8,9	72,1	336	11,2

7.2. Ανάλυση και χωρική κατανομή των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων

Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των στοιχείων στο χώρο (ισοπερικεκτικές καμπύλες) προέκυψε με τη βοήθεια της εφαρμογής Spatial Analyst του προγράμματος ArcGIS χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμβολής Inverse distance weighted (IDW). Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται αμερόληπτη και βέλτιστη εκτίμηση των μεταβλητών ενός μεγέθους σε θέσεις που δεν έχουν προσδιοριστεί πειραματικά, χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες τιμές του ίδιου μεγέθους. Ο υπολογισμός της μέγιστης δύναμης που χρησιμοποιήθηκε στην εξίσωση υπολογισμού της μεθόδου, καθώς και των γειτονικών σημείων που λαμβάνονται υπόψη κατά την διαδικασία της παρεμβολής, για κάθε στοιχείο, υπολογίστηκε από την εφαρμογή Geostatistical Analyst του ArcGIS (Philip & Watson 1982, Watson & Philip 1985)

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Piper προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem (v. 3.7.42) (Calmbach 1997), λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των ανιόντων Cl⁻, HCO₃⁻ και SO₄²⁻ και κατιόντων Ca₂⁺, Na⁺ και Mg₂⁺ σε meq/l. Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Duroν προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος CH45.EXE και του Grapher 2.0, λαμβάνοντας υπόψη την θερμοκρασία, το

pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα στοιχεία Mg, Ca, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄ NO₃, CO₃, CO₂ και H₂S (Lambrakis 1991, Καραπάνος 2009). Τέλος, ο υπολογισμός της κατάλληλότητας των νερών για άρδευση υπολογίστηκε με την μέθοδο SAR.

7.2.1. Φυσικοχημικοί παράμετροι

Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγησή του, αφού μπορεί να υπολογισθεί ο κορεσμός του σε ότι αφορά το ανθρακικό ασβέστιο και να βρεθεί η πηγή προέλευσής του. Όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία, τόσο ευκολότερα διαλύεται το οξυγόνο. Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (*EU Council directive 98/83* 1998) για τα πόσιμα νερά, η ενδεικτική τιμή κυμαίνεται στους 12°C. Όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 15 °C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια κι ευνοείται η ανάπτυξη αλγών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων. (Παππά 2001, Χαμπίδη 2005). Για μεγάλες θερμοκρασίες (> 30°C) δεν υπάρχει ζωή (Foreman et al. 1997). Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει ακόμα κατά άμεσο τρόπο τα φαινόμενα της διαλυτότητας των στερεών ουσιών και αερίων. Έτσι η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο, η τιμή του pH και οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων ανόργανων αλάτων μεταβάλλονται ανάλογα με την θερμοκρασία (Friedrich 1965).

Οι τιμές θερμοκρασίας των δειγμάτων κυμαίνονται για τα μεν επιφανειακά νερά από 8,7 έως 10,1 °C, για τα νερά των γεωτρήσεων από 15,6-20,8 °C, για τα νερά των πηγών από 15,7-19,1 °C, ενώ για τα υπόγεια νερά από 14,2 έως 21-22 °C. Τα λιγοστά δείγματα που παρεκκλίνουν απ' τις συνήθεις θερμοκρασίες των υπόγειων νερών συλλέχθηκαν από πηγάδια μικρού βάθους που ήταν άμεσα εκτεθειμένα στην θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες των υπόγειων νερών που παρατηρούνται, σχετίζονται με την παρουσία του γεωθερμικού πεδίου που εντοπίζεται στην λεκάνη του Σπερχειού (Παπαδέας 1996).

pH

Η ενεργός οξύτητα (pH) εκφράζει την ενεργό συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου (H⁺), δηλαδή είναι ένας δείκτης που μας δείχνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι το νερό. Καθαρό νερό έχουμε όταν pH = 7. Όταν το pH έχει τιμές 4-7 το νερό είναι όξινο και είναι πιθανό να περιέχει ρυπαντικές ουσίες, όπως NO₂, NO₃, SO₄, PO₄. Όταν το pH έχει τιμές 7-14 το νερό είναι βασικό και μπορεί να περιέχει οργανοχλωριούχες ενώσεις, πετρελαιοειδή, απορρυπαντικά, χρώματα κ.λ.π. Το ενδεικτικό επίπεδο του pH στα πόσιμα νερά είναι, σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., μεταξύ 6,5 και 8,5 αλλά με επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και νερό με pH μεταξύ 5 και 9. Για τιμές pH πέρα απ' τα όρια αυτά, καθίσταται αντιοικονομική η επεξεργασία του νερού για την ουδετεροποίηση του pH (Καλλέργης 2000, Παππά 2001).

Η σχέση της τιμής pH με την ποσότητα του διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο νερό είναι η πιο σημαντική παράμετρος από βιολογική σκοπιά σε όλο το φάσμα των αλληλεπιδράσεων με τους υπόλοιπους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η τιμή του pH είναι καθοριστικής σημασίας για τις φυσιολογικές λειτουργίες των υδρόβιων φυτικών οργανισμών,

όπως η πρόσληψη των θρεπτικών αλάτων, ο μεταβολισμός, η δραστικότητα των ενζύμων κ.λ.π. Μεγάλες τιμές pH στα επιφανειακά νερά (αλκαλικό) συνοδεύομενες από μικρές τιμές οξυγόνου είναι ένδειξη ευτροφισμού (Sawidis 1997a, b).

Οι τιμές του pH των δειγμάτων κυμαίνονται για τα μεν επιφανειακά νερά από 7,1 έως 8,1 , για τα νερά των γεωτρήσεων από 7,1,-7,5 ,για τα νερά των πηγών από 7,3-8,0 , ενώ για τα πηγάδια από 6,8 έως 7,9. Γενικά τα νερά χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς αλκαλικά, πλην ορισμένων εξαιρέσεων με ελαφρώς όξινο χαρακτήρα, στην περιοχή της Μακρακώμης και της Σπερχειάδας.

Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Είναι η ποσότητα του μοριακού οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό, είναι απαραίτητο για την υδρόβια ζωή και αποτελεί δείκτη της μόλυνσης του νερού με απόβλητα. Η απόρριψη αποβλήτων σ' έναν υδάτινο αποδέκτη, προκαλεί τη σταδιακή μείωση του εν διαλύσει οξυγόνου λόγω της κατανάλωσής του από αερόβιους οργανισμούς που το χρησιμοποιούν για την οξειδωση των βιοαποικοδομήσιμων ουσιών των αποβλήτων. Η χαμηλή τιμή του διαλυμένου οξυγόνου (DO) στα φυσικά νερά φανερώνει την ύπαρξη ρύπανσης ή μόλυνσης. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει πάντα για τα υπόγεια νερά, εφόσον οι μόνοι τρόποι εμπλουτισμού τους με οξυγόνο είναι τα κατακρημνίσματα και το πορώδες του εδάφους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η ανατάραξη των επιφανειακών υδάτων από μεγάλη κλίση ροής και η ύπαρξη μικρότερων παραποτάμων και υδατοφραγμάτων συμβάλλει στον εμπλουτισμό τους σε οξυγόνο. Η υψηλή θερμοκρασία μειώνει τις τιμές του DO και δυσκολεύει τη διαδικασία του επαναερισμού. Το DO ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Η ιδανική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο πρέπει να είναι στο σημείο κορεσμού (δηλ. στο 100%) αλλά τιμές μεγαλύτερες του 75% θεωρούνται ικανοποιητικές. Χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου και χαμηλό pH στο νερό, σε συνδυασμό με υψηλές τιμές διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας, υποδηλώνουν μικροβιακή δραστηριότητα, που συνοδεύεται από δυσοσμία και αντιαισθητική εικόνα (Tait 1971, Rheinheimer 1975, Cox 2003).

Οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου (DO) στα επιφανειακά νερά κυμαίνεται από 89 έως 94%, οι οποίες είναι λογικές για τρεχούμενα επιφανειακά νερά, όπως για παράδειγμα του Γοργοποτάμου (ΣΠ2) που παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ποσοστό. Στα νερά των γεωτρήσεων το DO κυμαίνεται από 58-68%, γεγονός που δείχνει μικρή τροφοδοσία οξυγόνου στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Στα νερά των πηγών κυμαίνεται από 70-94%, με μέσο όρο 87%, ενώ στα πηγάδια κυμαίνεται από 53 έως 95%, με μέσο όρο 77%. Γενικά οι χαμηλότερες τιμές DO στα νερά των πηγαδιών παρουσιάζονται στις πιο επιβαρυνμένες από ρύπανση περιοχές.

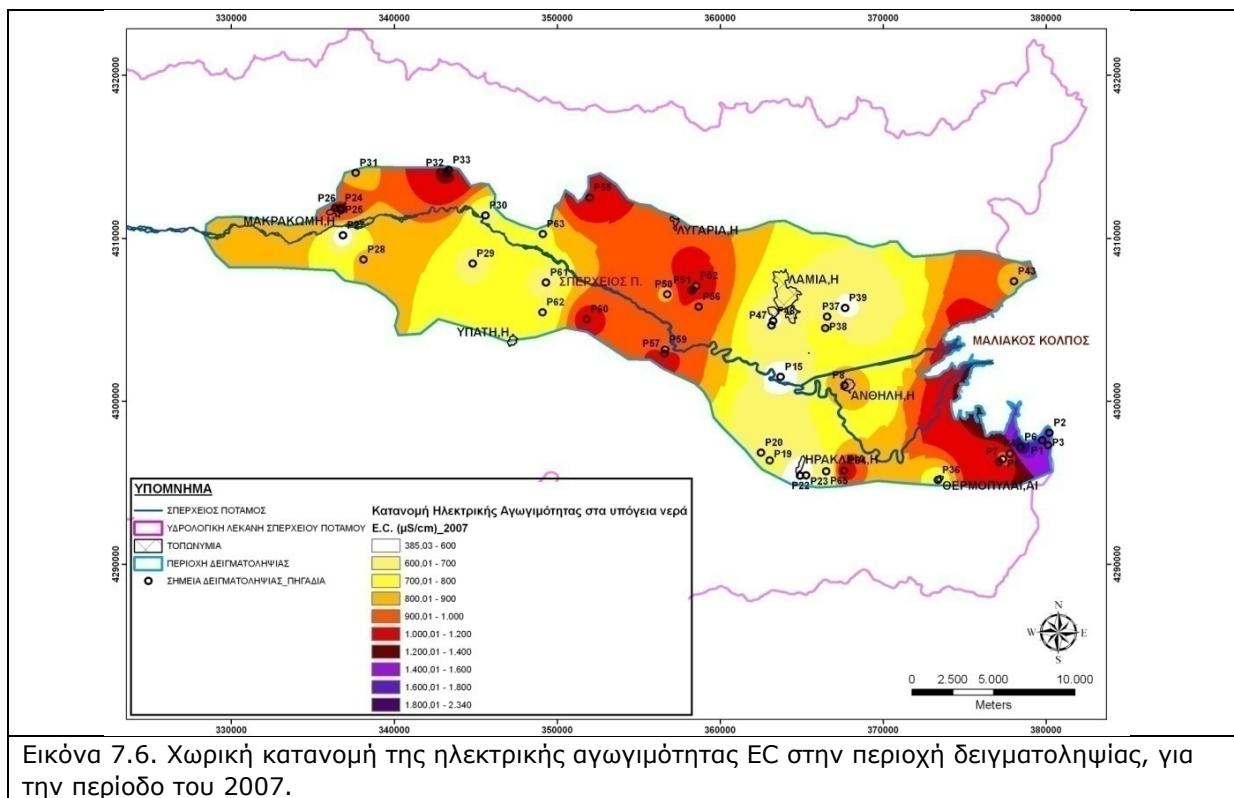
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

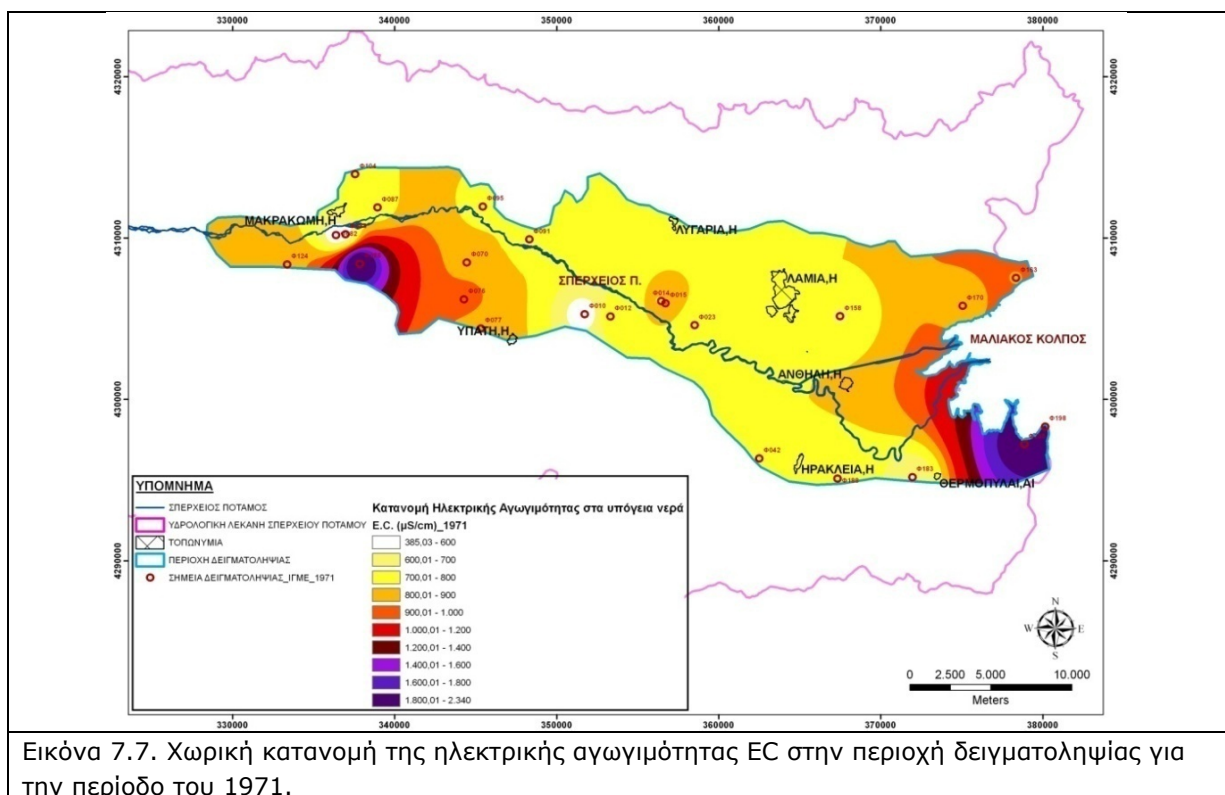
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται απ' την παρουσία ιόντων, απ' την ολική τους συγκέντρωση, το είδος τους και τη θερμοκρασία, μετριέται συνήθως σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ και σύμφωνα

με την οδηγία της Ε.Ε., το ενδεικτικό επίπεδο για τα πόσιμα νερά είναι τα 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (στους 20°C) (EU Council directive 98/83 1998). Η αγωγιμότητα παρέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στα νερά. Οι τιμές αγωγιμότητας εξαρτώνται από την παρουσία ιόντων στα νερά, την ευκινησία και το σθένος τους. Όσο μεγαλύτερη αγωγιμότητα τόσο πιο σκληρά νερά έχουμε. Από 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και πάνω τα νερά είναι ακατάλληλα για άρδευση (Pott 1986).

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στα δείγματα, κυμαίνονται για τα μεν επιφανειακά νερά από 412 (στον Γοργοπόταμο-ΣΠ2) έως 596 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (κάτω ρου του Σπερχειού, ΣΠ7). Στα νερά των γεωτρήσεων η EC κυμαίνεται από 273-738 $\mu\text{S}/\text{cm}$, γεγονός που σημαίνει ότι τα νερά αυτά, που προέρχονται κυρίως από αρτεσιανές γεωτρήσεις, δεν έχουν υποστεί επιβάρυνση. Στα νερά των πηγών κυμαίνεται από 463-995 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και δείχνουν μία πιθανή επιβάρυνσή τους, πιθανά από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Τέλος, στα πηγάδια η EC κυμαίνεται από 385-2.340 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέσο όρο γύρω στα 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα (εκβολές) λόγω κυρίως της επίδρασης της θάλασσας, καθώς και σε περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα, όπως στην περιοχή μεταξύ Λυγαριάς, Μεξιατών, Κωσταλέξη και Σταυρού, καθώς και γύρω από την περιοχή της Μακρακώμης και Σπερχειάδας (Εικόνα 7.6).

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με βάση την τιμή των ολικών διαλυμένων στερεών, στα δεδομένα της δειγματοληψίας του 1971, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση των Mandel & Shiftan (1981): $\text{TDS} \approx 0,65 \times \text{EC}$ (Εικόνα 7.7).





Με βάση την σύγκριση της χωρικής κατανομής των τιμών της δειγματοληψίας του 2003 σε συνάρτηση με την αντίστοιχη του 1971, είναι εμφανές ότι στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης έχει επεκταθεί η επιβάρυνση των νερών, ενώ πλέον οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχουν αυξηθεί τόσο στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, νότια της Λυγαριάς και μέχρι το ύψος της Υπάτης, καθώς και στο τμήμα ανατολικά της Μακρακώμης. Μία περιοχή με υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας το 1971, στα νότια της Μακρακώμης, στην περιοχή της Σπερχειάδας, πιθανότατα οφείλεται σε σημειακή επιβάρυνση διότι δεν δείχνει να συνάδει με τις τιμές στην υπόλοιπη περιοχή.

Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού προέρχεται από την παρουσία σε αυτό διασθενών μεταλλικών κατιόντων, κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου, που αντιδρούν με το σαπούνι σχηματίζοντας ίζημα (Μανδηλαράς 2005). Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική (ή ανθρακική), η οποία οφείλεται στη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου και σε μόνιμη που οφείλεται σε διάλυση του θειικού ασβεστίου και μαγνησίου. Το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας αποτελεί την ολική σκληρότητα. Εάν η σκληρότητα ξεπερνά την αλκαλικότητα του νερού, τότε η διαφορά τους συνιστά την μόνιμη σκληρότητα.

Με βάση την ταξινόμηση κατά *Höfting* (1980), τα επιφανειακά νερά λαμβάνουν τιμές από 10,2-13,4 °dH και χαρακτηρίζονται ως μέτριας σκληρότητας (Σούλιος 2006, Πίνακας 7.6). Στα νερά των γεωτρήσεων λαμβάνουν τιμές από 8,8-14,2 °dH και χαρακτηρίζονται ως μέτριας σκληρότητας, εκτός από το δείγμα ΑΠ34 που έχει 21,84 °dH και χαρακτηρίζεται ως σκληρό. Από τα δείγματα των πηγών, μόνο 2 δείγματα (ΡΗ45, ΡΗ58) λαμβάνουν τιμές από

8-18 °dH και χαρακτηρίζονται ως νερά μέτριας σκληρότητας, ενώ τα υπόλοιπα κυμαίνονται από 18,4-27,4 και χαρακτηρίζονται ως σκληρά νερά.

Τέλος, όσον αφορά τα δείγματα των πηγαδιών οι τιμές 9 (P8, 15, 22, 27, 47, 48, 59, 61 και 65) χαρακτηρίζονται ως μέτριας σκληρότητας, 23 δείγματα (P4, 5, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 36, 38, 39, 43, 50, 52, 56, 60, 62, 63 και 64) χαρακτηρίζονται ως σκληρά νερά, ενώ 11 δείγματα (P1, 2, 3, 6, 7, 32, 37, 51, 55 και 57) παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες από 30 °dH και χαρακτηρίζονται ως πολύ σκληρά νερά.

Πίνακας 7.6. Ταξινόμηση της σκληρότητας των νερών σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, κατά Hölting (1980)

Ολική σκληρότητα (°dH)	Χαρακτηρισμός
< 4	Πολύ μαλακά
4 – 8	Μαλακά
8 – 12	Μέτρια
12 – 18	Σχεδόν σκληρά
18 – 30	Σκληρά
> 30	Πολύ σκληρά

7.2.2. Αναλύσεις στοιχείων

Τα κύρια στοιχεία βρίσκονται στα πόσιμα νερά σε μεγάλες συγκεντρώσεις και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής και της σύνθεσης του ανθρώπινου σώματος. Τα περισσότερα από τα βασικά στοιχεία, σε αντίθεση με τα βαρέα μέταλλα, δεν παρουσιάζουν τοξικότητα σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ωστόσο η υπερβολική κατανάλωσή τους μπορεί να προκαλέσει διάφορες παρενέργειες. Η ύπαρξη μεγάλων συγκεντρώσεων στα υπόγεια νερά οφείλεται κυρίως στη διάλυση των ορυκτών των πετρωμάτων. Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως αποχετεύσεις, υπόνομοι, απόβλητα, σκουπίδια, ρίψη λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων κ.α. συμβάλλουν επίσης στην αύξηση ορισμένων στοιχείων.

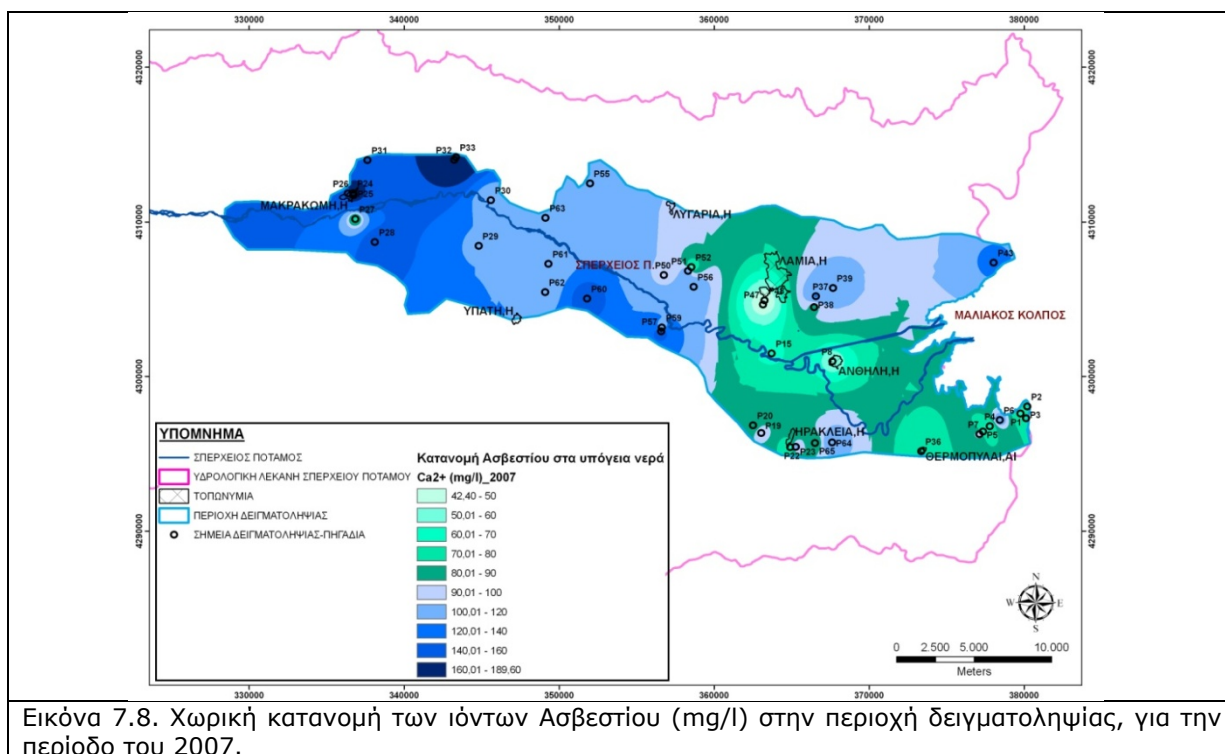
Ασβέστιο (Ca²⁺)

Η ύπαρξη Ασβεστίου στα υπόγεια νερά οφείλεται στη διάλυση ορυκτών, πλούσια σε Ca όπως ο ασβεστίτης (CaCO₃), ο δολομίτης, τα αργιλικά ορυκτά ή σε διάλυση πετρωμάτων όπως ο ασβεστόλιθος, τα κροκαλοπαγή, οι ασβεστολιθικοί ψαμμίτες κ.α. (Appelo & Postma 1996). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης Ca²⁺ στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της ΕΕ (ΦΕΚ 53/20-2-1986) είναι 100 mg/l. Το Ασβέστιο αποτελεί βασικό στοιχείο του ανθρώπινου σώματος, απαραίτητο για την υγεία των οστών, ρυθμίζει την λειτουργία της καρδιάς, ελέγχει την αύπνια, μειώνει την αρτηριακή πίεση, βοηθά στην κατάλληλη λειτουργία των μυών και των νεύρων, μειώνει τη χοληστερίνη και μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου (Σιμώνης 1998). Η έλλειψη ασβεστίου στην ανθρώπινη διατροφή μπορεί να προκαλέσει διάφορες ασθένειες όπως οστεοπόρωση, πρόωρες γεννήσεις, υπέρταση και ανάπτυξη πέτρας στα νεφρά.

Οι τιμές συγκέντρωσης ασβεστίου στα επιφανειακά νερά και τις πηγές της περιοχής κυμαίνονται από 52,8-72,0 και 58,4-126,0 mg/l, αντίστοιχα. Στις γεωτρήσεις κυμαίνεται από 20,0-104,0 mg/l και στα πηγάδια από 42,4 έως 189,6 mg/l. Καμία τιμή συγκέντρωσης Ca²⁺ δεν ξεπερνά τα 200 mg/l. Γενικά, τα πηγάδια και οι πηγές της περιοχής έχουν κατά μέσο όρο συγκέντρωση Ca²⁺ πολύ κοντά στην ενδεικτική τιμή συγκέντρωσης που ορίζει η Ε.Ε.

Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ιόντων Ca^{2+} στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας. Οι περιοχές που διακρίνονται για τις υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} είναι το δυτικό τμήμα της περιοχής με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 mg/l, καθώς και το νοτιοανατολικό με συγκεντρώσεις από 70-100 mg/l. Προφανώς στις περιοχές αυτές επικρατούν κυρίως ασβεστολιθικής προέλευσης κλαστικά υλικά και φλύσχης, που εμπλουτίζουν τα υπόγεια νερά με Ca^{2+} .

Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα και συγκεκριμένα πολύ κοντά στη Λαμία όπου οι συγκεντρώσεις Ca^{2+} μειώνονται στα επίπεδα των 70 mg/l (Εικόνα 7.8). Στις περιοχές αυτές υπερτερούν κλαστικά υλικά οφιολιθικής προέλευσης.



Εικόνα 7.8. Χωρική κατανομή των ιόντων Ασβεστίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.

Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Κύριες πηγές προέλευσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης, ο μαγνησίτης, ο καρναλίτης, ο ολιβίνης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι μαγνησίτες, οι σερπεντίνες, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε Μαγνήσιο είναι οι δολομιτικοί ψαμμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες (Καλλέργης 2000, Appelo & Postma 1996). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Mg^{2+} στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., είναι 30 mgr/l και το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι 50 mgr/l (EU Council directive 98/83 1998). Είναι το τέταρτο σε σειρά αφθονίας κατιόν στο ανθρώπινο σώμα με το 60% να βρίσκεται στα οστά και το υπόλοιπο 40% να κατανέμεται ισομερώς μεταξύ των μυϊκών και των υπόλοιπων ιστών. Παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της καρδιάς, στο μεταβολισμό του ασβεστίου και της βιταμίνης C και στη μετατροπή των σακχάρων σε ενέργεια.

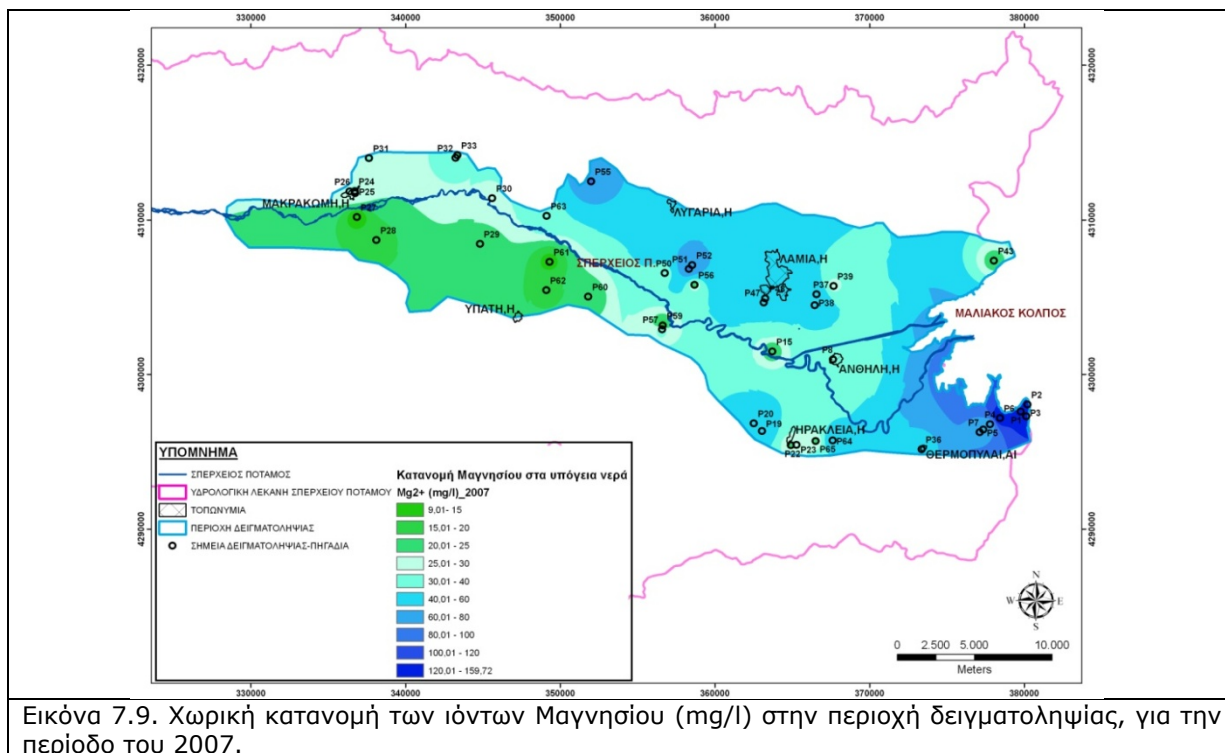
Συνδέεται με διεργασίες που χρειάζονται ενέργεια όπως η μεταβίβαση, η μυϊκή συστολή, η σύνθεση πρωτεϊνών, λιπών και νουκλεϊνικών οξέων (www.tjclarkinc.com/minerals). Το Mg^{2+} δρα ανταγωνιστικά του ασβεστίου καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το Κάλιο, τη βιταμίνη Β6 και το βόριο (Wacher 1980).

Η συγκέντρωση Mg^{2+} στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 9,74-52,59 mg/l. Από τις τιμές αυτές παρατηρούμε ότι στην πηγή ΡΗ53 που βρίσκεται στην περιοχή της Στίρφακας η συγκέντρωση του Mg^{2+} (52,59 mg/l) ξεπερνάει την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση που ορίζει η Ε.Ε., ενώ και άλλα δύο δείγματα, ένα στην Στίρφακα και ένα στην περιοχή Αγριλιά έχουν συγκέντρωση μαγνησίου πολύ κοντά στα ανώτατα επιτρεπτά όρια (44,31 και 46,75 mg/l, αντίστοιχα) (EU Council directive 98/83 1998). Η αυξημένη αυτή συγκέντρωση Mg^{2+} στα νερά αυτών των πηγών, πιθανόν να οφείλεται σε φυσική επιβάρυνση, διότι οι πηγές αυτές προέρχονται από πετρώματα οφιολίθων τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε μαγνήσιο.

Η συγκέντρωση Mg^{2+} στα επιφανειακά νερά και τις γεωτρήσεις κυμαίνεται σε φυσιολογικά όρια (από 9,74-34,09 mg/l), ενώ στα πηγάδια κυμαίνεται από 9,0 έως 159,72 mg/l. Οι υψηλές τιμές στα πηγάδια τις περιοχές οφείλονται σε τρεις βασικούς λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με τα πηγάδια που βρίσκονται κοντά στην παράκτια ζώνη, όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται στη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο, καθότι στην θάλασσα υπάρχουν συγκεντρώσεις Mg^{2+} μεγαλύτερες των 1.000 mg/l (Καλλέργης 2000). Ο δεύτερος αφορά τα πηγάδια που βρίσκονται στην βόρεια πλευρά, όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε φυσική επιβάρυνση, γεωγενούς προέλευσης. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται οφιολιθικοί σχηματισμοί οι οποίοι είναι πλούσιοι σε μαγνησιούχα ορυκτά. Η υδρόλυση αυτών των ορυκτών, κυρίως της ολιβίνης, συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών σε Mg^{2+} . Τέλος, ο τρίτος λόγος αφορά ορισμένες περιπτώσεις πηγαδιών στο κέντρο περίπου της περιοχής, όπου οι αυξημένες συγκεντρώσεις Mg^{2+} οφείλονται στην επίδραση του φαινομένου της κατιοανταλλαγής, όπως αυτό διαπιστώνεται μέσω του διαγράμματος Duroν, που περιγράφεται παρακάτω (παράγραφος 7.3.2). Στην εικόνα 7.9 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ιόντων Mg^{2+} στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Κάλιο (K^+)

Πηγή προέλευσης του Καλίου στα υπόγεια νερά αποτελούν τα πλούσια σε Κ ορυκτά όπως είναι ο μοσχοβίτης, το ορθόκλαστο, ο καρναλίτης κι ο πολυαλίτης. Το θαλασσινό νερό περιέχει 392 mg/kg Καλίου (Matthess 1973). Το Κάλιο θεωρείται το πιο απαραίτητο κατιόν των κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται στα μυϊκά κύτταρα παίζοντας σπουδαίο ρόλο στη μετάδοση της νευρικής ώσης και τη συσταλτικότητα των μυών. Η ποσότητά του είναι ενδεικτική της μυώδους μάζας. Αποτελεί την κύρια βάση για τους ιστούς και τα αιμοσφαίρια και μετέχει στη ρύθμιση της οξοβασικής ισορροπίας (Σιμώνης 1998). Το K^+ ρυθμίζει τη λειτουργία της καρδιάς και της αρτηριακής πίεσης και συνεισφέρει στην υγεία του δέρματος. Η ενδεικτική συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 10 mg/l με ανώτατο όριο τα 12 mg/l. Η αφθονία K^+ στην



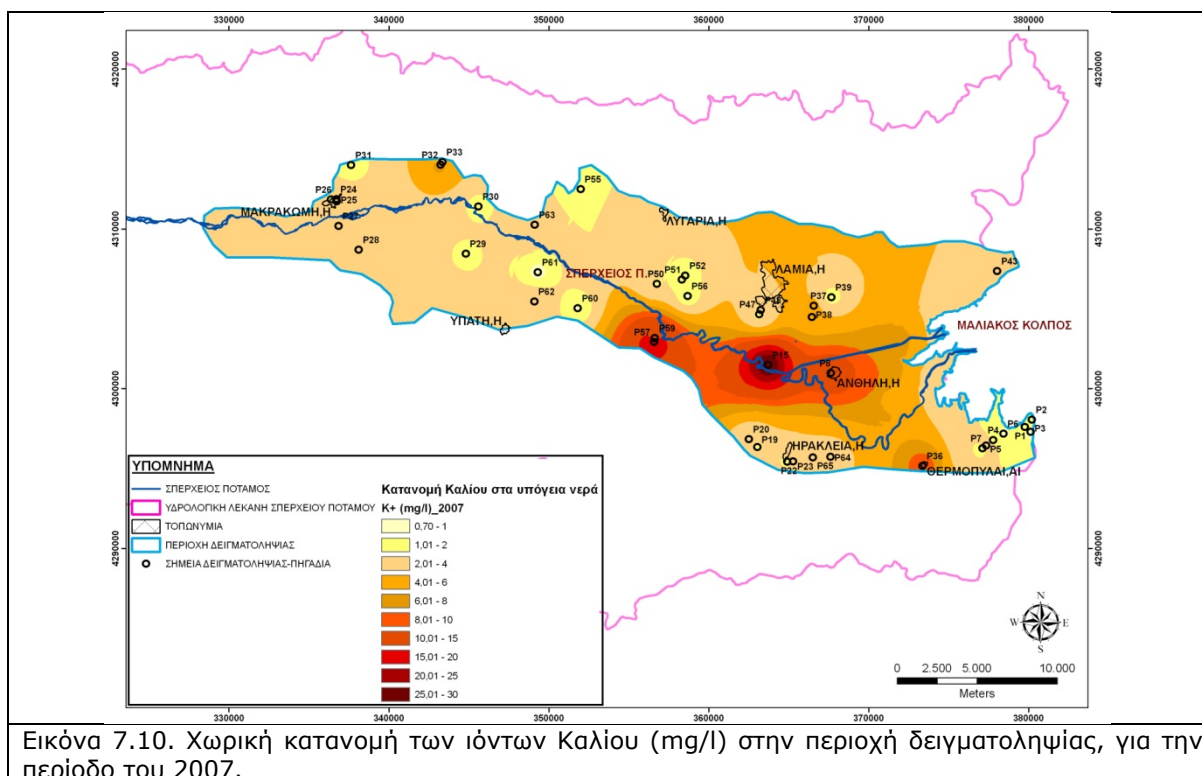
Εικόνα 7.9. Χωρική κατανομή των ιόντων Μαγνησίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.

ανθρώπινη διατροφή θεωρείται ευεργετική και συμβάλλει στη μείωση των αγγειακών επεισοδίων (www.tjclarkinc.com/minerals).

Η συγκέντρωση K^+ στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 0,3-3,4 mg/l, στα επιφανειακά νερά και τις γεωτρήσεις κυμαίνεται από 1,7-5,85 και 0,8-2,2 mg/l, αντίστοιχα. Στα πηγάδια η συγκέντρωση κυμαίνεται από 0,7 έως 30,0 mg/l, με μέσο όρο στα 4,27mg/l και μόνο 3 πηγάδια (P8, P15 και P59) παρουσιάζουν συγκέντρωση πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο (EU Council directive 98/83 1998). Η παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων καλίου στην περιοχή δυτικά της Ανθήλης σχετίζεται προφανώς με ανθρωπογενείς επιδράσεις. Στην εικόνα 7.10 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ιόντων Καλίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Νάτριο και Χλώριο (Na^+ , Cl^-)

Το χλώριο και το νάτριο εμπεριέχονται στα ορυκτά καρναλίτη, χλωρίτη, αλίτη, ολιγόκλαστο και μιραβιλίτη. Πέρα από το ορυκτό αλάτι, άλλες πηγές νατρίου αποτελούν οι άστριοι κι οι ζεόλιθοι. Η ύπαρξή τους παρατηρείται επίσης σε απόβλητα βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής προέλευσης. Η ύπαρξη πολλών ιόντων νατρίου και χλωρίου, σε συνδυασμό με χαμηλή τιμή του λόγου $Na:Cl$ στα φυσικά νερά, φανερώνει διείσδυση θαλασσινού νερού στον υδροφόρο και συνδέεται άμεσα με υψηλή αλατότητα κι αγωγιμότητα. Τα στοιχεία Na^+ και Cl^- συνήθως συνυπάρχουν στην πιο συνήθη μορφή του μαγειρικού άλατος ($NaCl$) και σπάνια κάποιο απ' τα δύο αυτά στοιχεία υπερτερεί του άλλου στην ανθρώπινη διατροφή. Το $NaCl$ σε υπερβολικές συγκεντρώσεις προκαλεί υπέρταση και κατακράτηση υγρών.



Εικόνα 7.10. Χωρική κατανομή των ιόντων Καλίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.

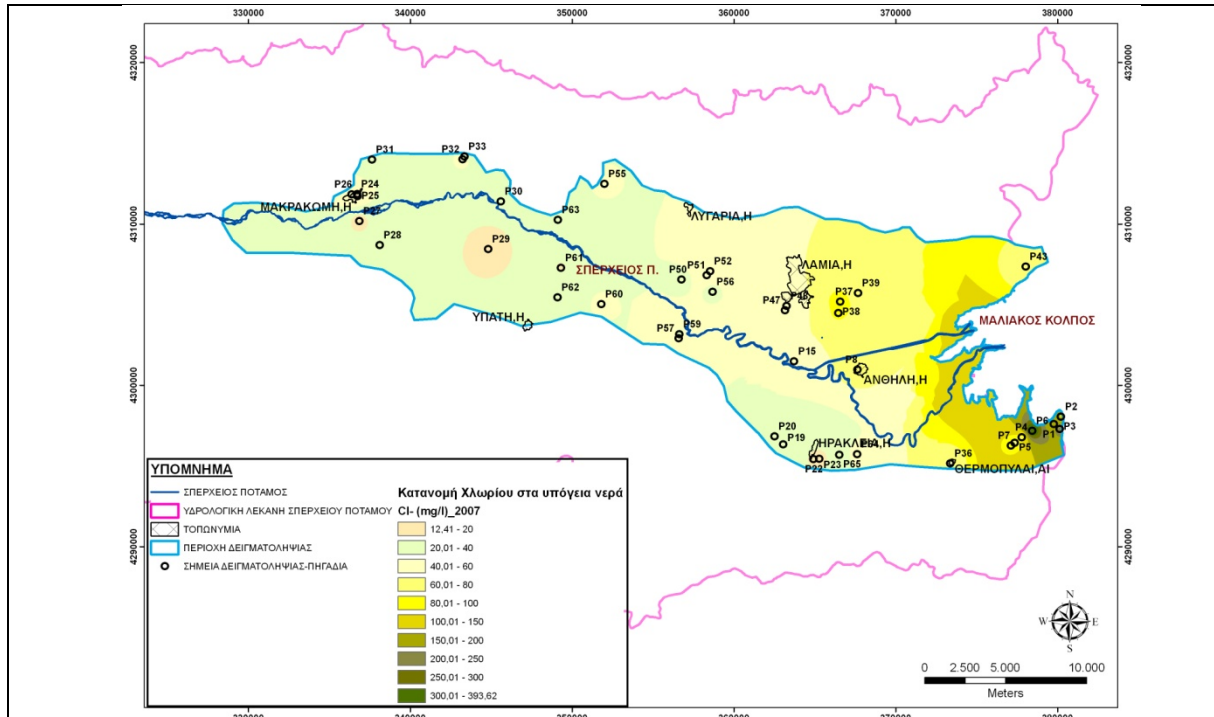
Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία EU Council directive 98/83 (1998), τα ενδεικτικά επίπεδα για τα ιόντα Na^+ και Cl^- είναι 20 και 25 mg/l, αντίστοιχα. Τιμές Cl^- μεγαλύτερες των 600 mg/l θεωρούνται τοξικές για την ανθρώπινη υγεία, ενώ συγκέντρωση πάνω από 100 mg/l δίνει αλμυρή γεύση στο νερό, ενώ η ανώτατη επιτρεπτή τιμή για το Na^+ είναι 175 mg/l (Καλλέργης 2000).

Η συγκέντρωση ιόντων Cl^- στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 14,8-75,5 mg/l, στα επιφανειακά νερά κυμαίνεται από 8,22-19,5 mg/l και στις γεωτρήσεις από 10,10-88,0 mg/l. Στα πηγάδια η συγκέντρωση κυμαίνεται από 10,0 έως 92,0 mg/l, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να παρουσιάζονται στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα της περιοχής, όπου 4 δείγματα (P1, P2, P3 και P6) ξεπερνούν τα 100 mg/l, ενώ ένα από αυτά ξεπερνάει σε συγκέντρωση και τα 300 mg/l (P6). Στις εικόνες 7.11, 7.12 και 7.13, 7.14 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ιόντων Cl^- και Na^+ στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, αντίστοιχα.

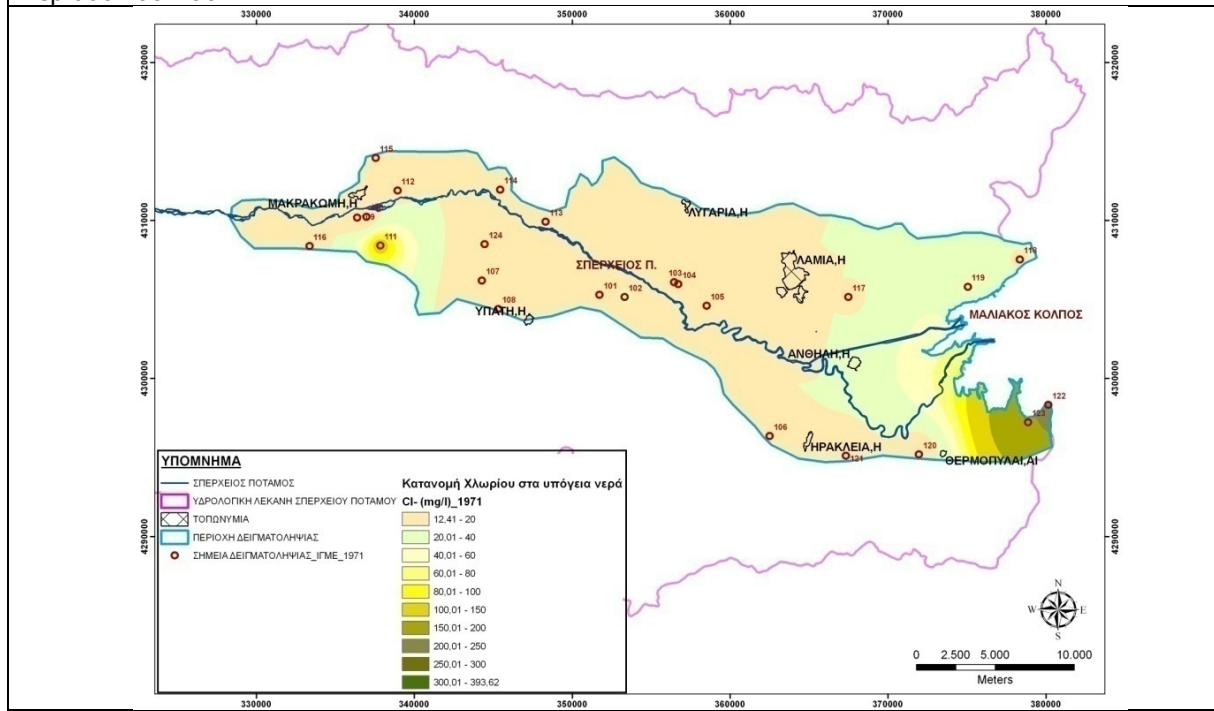
Η συγκέντρωση Na^+ στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 14,8-75,5 mg/l, στα επιφανειακά νερά και τις γεωτρήσεις κυμαίνεται από 8,22-19,5 και 10,10-88,0 mg/l, αντίστοιχα. Στα πηγάδια η συγκέντρωση κυμαίνεται από 10,0 έως 92,0 mg/l, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να παρουσιάζονται στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα της περιοχής, γεγονός που σχετίζεται με την θαλάσσια διείσδυση.

Με βάση την σύγκριση της χωρικής κατανομής των τιμών της δειγματοληψίας του 2007 για το χλώριο, σε συνάρτηση με την αντίστοιχη του 1971, είναι εμφανές ότι στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης έχει επεκταθεί η συγκέντρωση Cl^- στα νερά, με συγκεντρώσεις που φτάνουν τα 80-100 mg/l μέχρι σχεδόν και τη Λαμία, σε σχέση με το 1971, όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις περιορίζονταν μόνο στο νοτιοανατολικό τμήμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται

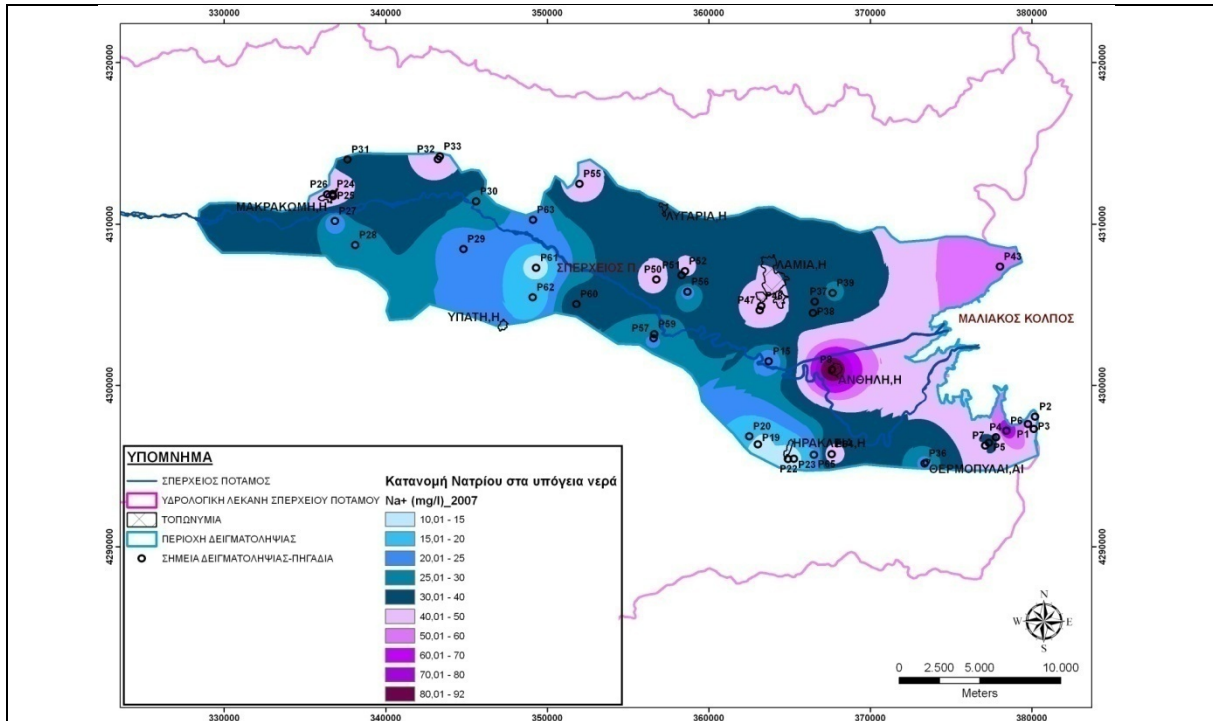
στην υπαλμύρωση των υπόγειων νερών, λόγω της υπερεκμετάλλευσης που γίνεται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς.



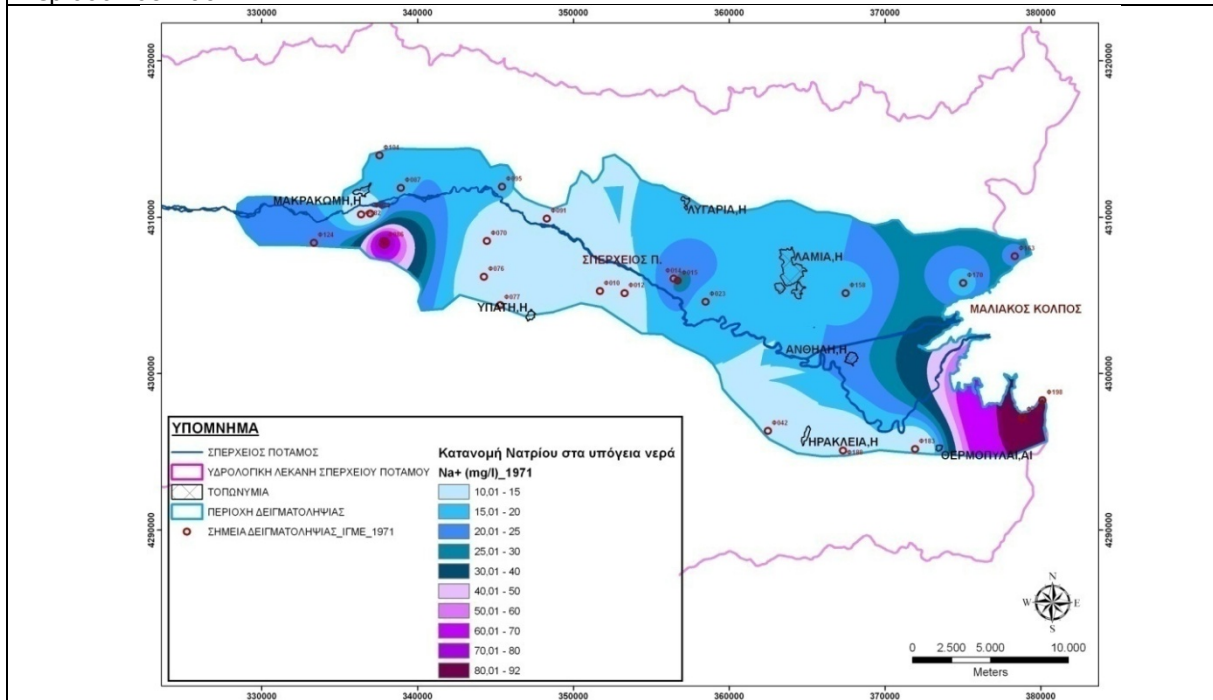
Εικόνα 7.11. Χωρική κατανομή των ιόντων Χλωρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.



Εικόνα 7.12. Χωρική κατανομή των ιόντων Χλωρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971.



Εικόνα 7.13. Χωρική κατανομή των ιόντων νατρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.



Εικόνα 7.14. Χωρική κατανομή των ιόντων Νατρίου (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971.

Όσον αφορά την συγκέντρωση των ιόντων Na^+ , στο ανατολικό τμήμα ακολουθεί φυσιολογικά την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου, ενώ παρουσιάζει και μία μικρή αύξηση τόσο στο κεντρικό όσο και βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης. Η παρουσία του

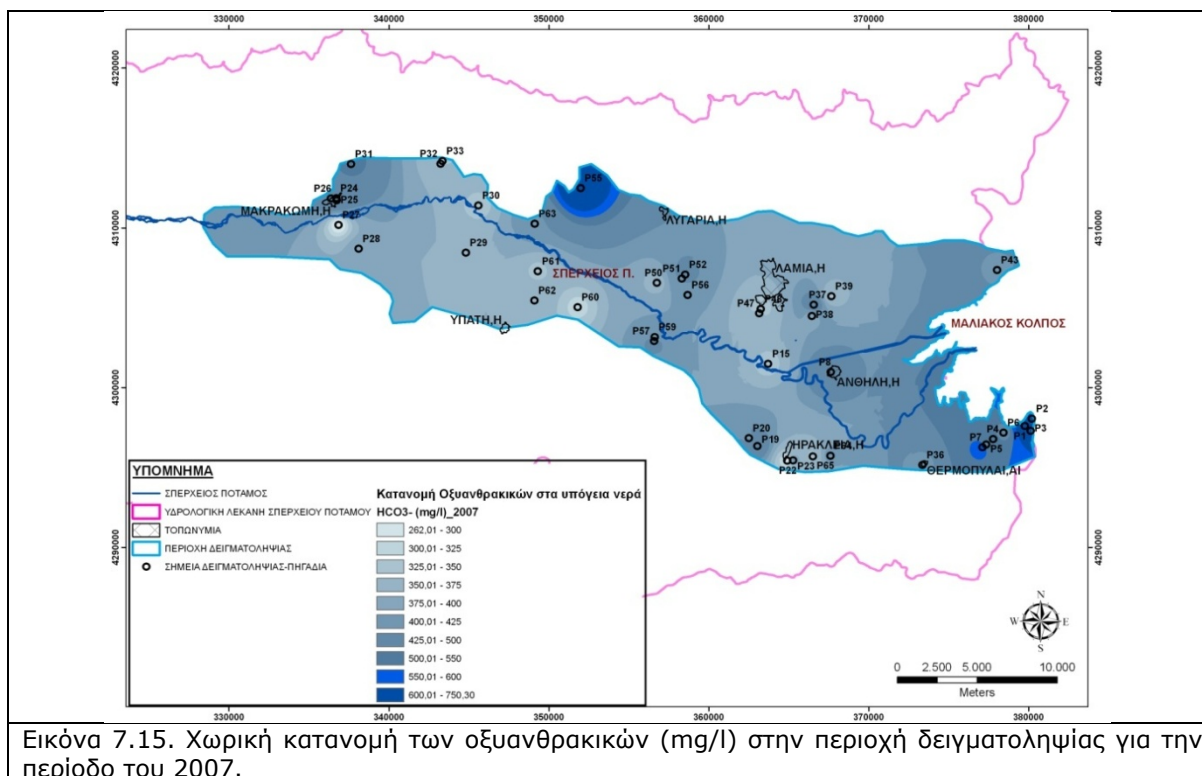
Na⁺ στις περιοχές αυτές, προφανώς σχετίζεται με την παρουσία θερμομεταλλικών πηγών που εντοπίζονται στην περιοχή της Σπερχειάδας.

Οξυανθρακικά (HCO₃⁻)

Τα Οξυανθρακικά ή όξινα διττανθρακικά HCO₃ αποτελούν δείκτη για την ύπαρξη οργανικών ουσιών στα νερά. Η συγκέντρωση των οξυανθρακικών στα ύδατα μπορεί να οφείλεται και στη διάλυση του ασβεστίτη προς Ca²⁺ και HCO₃⁻ (Appello & Postma 1994, Καλλέργης 2000).

Η συγκέντρωση των HCO₃⁻ στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 274,5-433,1 mg/l, στα επιφανειακά νερά κυμαίνεται από 219,6-271,45 mg/l και στις γεωτρήσεις από 195,2-427,0 mg/l. Στα πηγάδια η συγκέντρωση κυμαίνεται από 262,0 έως 750,3 mg/l, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να παρουσιάζονται στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα της περιοχής. Συνήθως στα φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις των HCO₃⁻ δεν ξεπερνούν τα 500 mg/l. Οκτώ δείγματα στην περιοχή μελέτης υπερβαίνουν αυτό το όριο, κάτι που μπορεί να οφείλεται στη διάλυση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που βρίσκονται σε αφθονία στο νοτιοανατολικό τμήμα, είτε στην ύπαρξη οργανικού φορτίου (ανθρωπογενής ρύπανση).

Από τα νερά αυτά, ορισμένα (P1, P2, P4, P7 και P31) παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου κάτι που ενισχύει την υπόθεση ύπαρξης οργανικού φορτίου σε αυτά τα δείγματα. Στην εικόνα 7.15, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των HCO₃⁻ στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.



Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

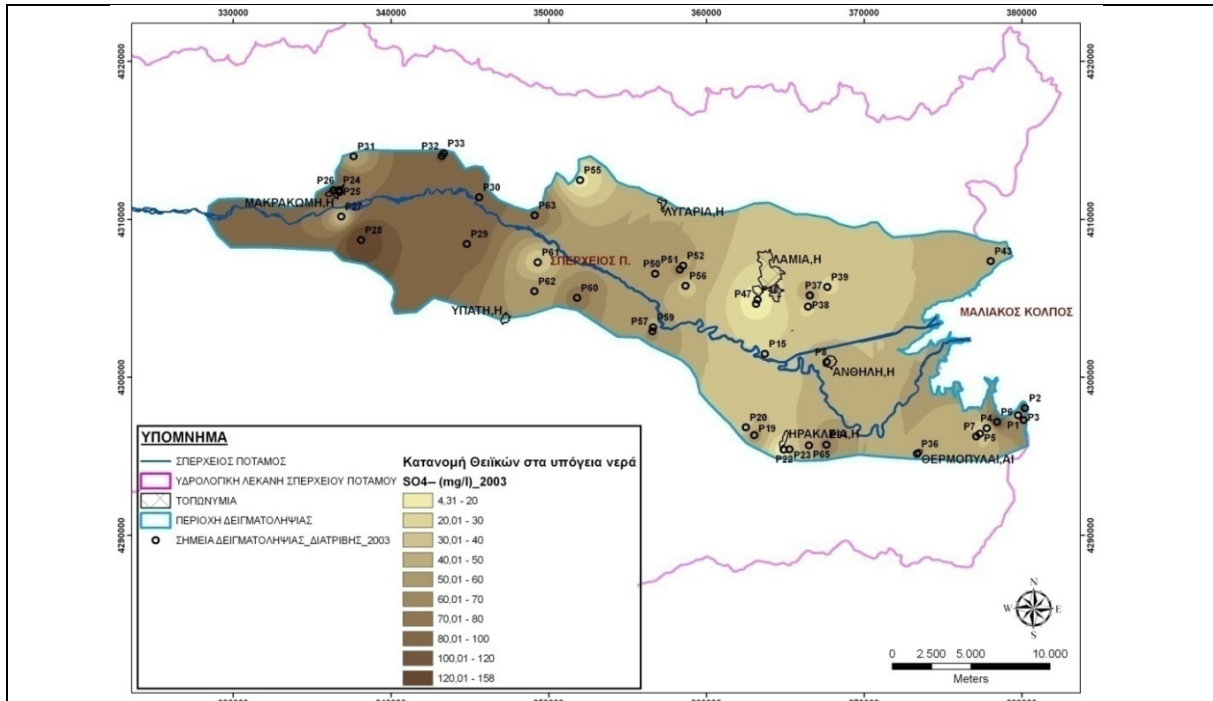
Τα Θειικά ιόντα στα υπόγεια νερά προέρχονται κυρίως από τη διάλυση των ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης, ο γύψος, ο ανυδρίτης κι ο πολυαλίτης. Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η προσθήκη λιπασμάτων, οι εκπομπές καυσαερίων από οχήματα κι εργοστάσια και η οικιακή θέρμανση ή φυσικές δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης όπως οι πυρκαγιές δασών και τα ηφαίστεια συμβάλλουν στην αύξηση των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά.

Γενικά στα φυσικά νερά τα SO_4^{2-} ιόντα δεν ξεπερνούν τα 300 mg/l. Η υπέρβαση αυτής της συγκέντρωσης οφείλεται είτε στην ύπαρξη γύψου και ανυδρίτη είτε σε φαινόμενα ρύπανσης (Καλλέργης 2000). Στα πόσιμα νερά, το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης Θεικών ιόντων (SO_4^{2-}) σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 25 mg/l με ανώτατο όριο τα 250 mg/l (EU Council directive 98/83 1998). Συγκέντρωση SO_4^{2-} ιόντων μεγαλύτερη των 250 mg/l κάνει τη χρήση του νερού προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση, ιδιαίτερα για τις βιομηχανίες γάλακτος, πάγου και ζάχαρης. Το Θείο είναι ένα αμέταλλο στοιχείο, αρκετά σημαντικό για τον ανθρώπινο οργανισμό εφόσον επιτελεί έναν μεγάλο αριθμό λειτουργιών σχετικά με τις μετατροπές των ενζύμων και τις συνθέσεις των πρωτεϊνών. Το Θείο περιέχεται επίσης στην κερατίνη, που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των τριχών και του δέρματος (www.tjclarkinc.com/minerals).

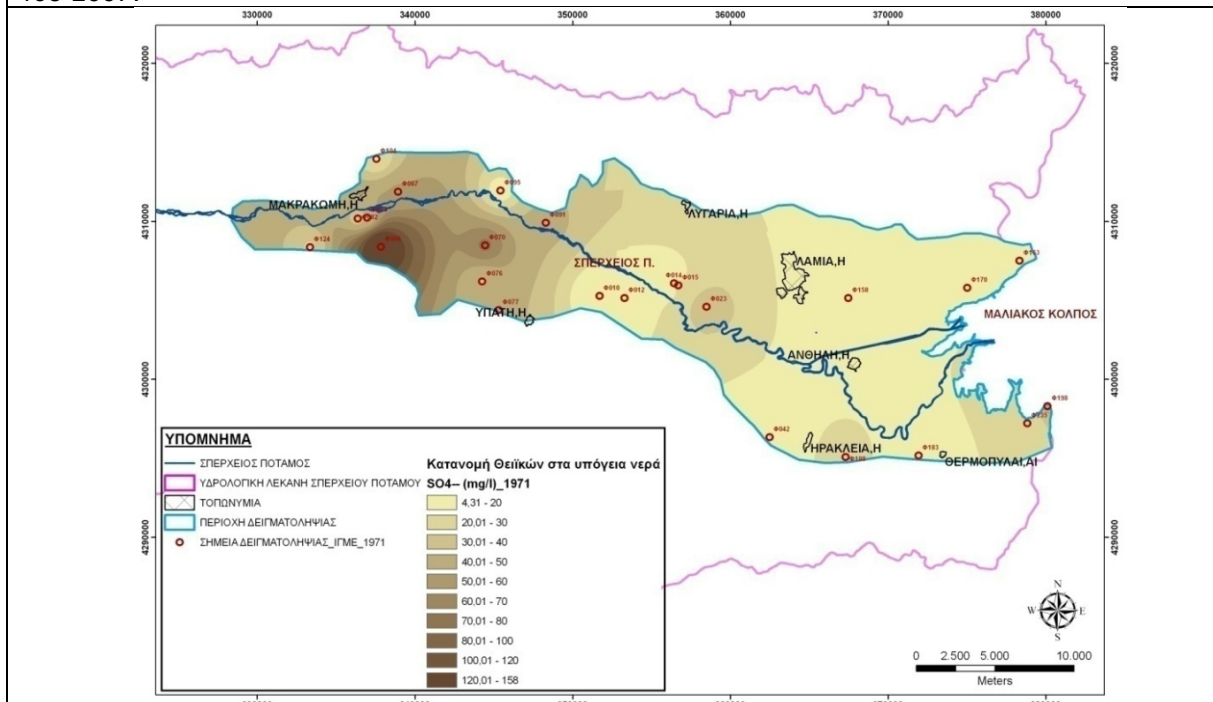
Η συγκέντρωση των SO_4^{2-} στις πηγές της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 7,0-51,1 mg/l, στα επιφανειακά νερά κυμαίνεται από 1,3-66,9 mg/l και στις γεωτρήσεις από 1,45-64,38 mg/l. Στα πηγάδια η συγκέντρωση κυμαίνεται από 4,3 έως 158,0 mg/l. Κανένα δείγμα δεν ξεπερνά τα 250 mg/l που τίθεται σαν ανώτατο όριο για τα πόσιμα νερά απ' την Ε.Ε (EU Council directive 98/83 1998). Η προέλευση των θειικών στα υπόγεια νερά αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες και στην επίδραση των θερμομεταλικών πηγών, και ίσως ένα ποσοστό να προέρχεται από ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η ύπαρξη σηπτικών βόθρων, η χρήση αγροχημικών κλπ. Στην εικόνα 7.16 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των SO_4^{2-} ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Με βάση την σύγκριση της χωρικής κατανομής των τιμών της δειγματοληψίας του 2007 σε συνάρτηση με την αντίστοιχη του 1971 (Εικόνα 7.17), είναι εμφανές ότι σε ολόκληρη σχεδόν την λεκάνη υπάρχει μία αύξηση της συγκέντρωσης των SO_4^{2-} σε σχέση με την συγκέντρωση που παρουσίαζαν τα νερά το 1971. Αυτό μπορεί να οφείλετε αφενός στην εντατική χρήση οργανικής προέλευσης λιπασμάτων και αφετέρου στην εκμετάλλευση υπόγειων υδροφόρων που επηρεάζονται από την κυκλοφορία θερμών νερών πλούσιων σε SO_4^{2-} . Τέτοιου είδους νερά, όπως είναι οι θερμές πηγές Υπάτης, Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας, βρίσκονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα βρίσκονται οι θερμές πηγές της Δαμάστας. Στην παράκτια ζώνη η παρουσία τους σχετίζεται με την θαλάσσια διείσδυση.

Επίσης, κατά την εξέλιξη της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού (σύμφωνα με την θεωρία του Davis – κεφάλαιο 8, παράγραφος 8.1.2) στο τμήμα δυτικά της Υπάτης υπήρξε λιμναίο περιβάλλον και συνεπώς απόθεση οργανικού υλικού. Η παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά της εν λόγω περιοχής μπορούν να συσχετιστούν με την ύπαρξη οργανικής ύλης η οποία αποδομούμενη παρέχει αρκετά μεγάλες ποσότητες Θειικής ρίζας στο έδαφος.



Εικόνα 7.16. Χωρική κατανομή των Θεϊκών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.



Εικόνα 7.17. Χωρική κατανομή των Θεϊκών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971.

Αμμωνία NH_3 & Νιτρικά NO_3^-

Το Ν λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς του σπανίζει στα πετρώματα, όμως λόγω της ευρείας χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων οι ενώσεις του αζώτου βρίσκονται σε αφθονία στα υπόγεια

νερά. Τα αζωτοβακτήρια, κάτω από αερόβιες συνθήκες μετατρέπουν το οργανικό άζωτο σε ανόργανο για να μπορέσει να αφομοιωθεί από τα φυτά. Η περίσσεια του ανόργανου αζώτου εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφόρους με το νερό αποστράγγισης (Καλλέργης 2000). Η σειρά αναγωγής των ενώσεων του αζώτου που συντελείται μέσω των αζωτοβακτηρίων, είναι η εξής: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 \uparrow (\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4^+$.

Η απονίτρωση δεν ανήκει στις αμφίδρομες αντιδράσεις. Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται υπό την μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνίας και καθώς περνάει ο χρόνος το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σταδιακά σε αμμωνία (NH_3). Κατόπιν, εάν υπάρχουν αερόβιες συνθήκες, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη και νιτρικά. Συνεπώς, νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικού αζώτου και αμμωνίας θεωρούνται ότι έχουν ρυπανθεί πρόσφατα και επομένως ενέχουν μεγάλο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Νερά στα οποία το άζωτο βρίσκεται υπό μορφή νιτρικών σημαίνει ότι έχουν ρυπανθεί πριν από αρκετό καιρό και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για τη δημόσια υγεία (Παππά 2001). Το N είναι βασικό στοιχείο όλων των φυτικών και ζωικών πρωτεϊνών (Σιμώνης 1998). Τα NO_3^- θεωρούνται φυσικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής αρκεί να μην υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια. Αν υπερβούν τα όρια θεωρούνται άκρως επικίνδυνα κι υπεύθυνα για πρόκληση σοβαρών ασθενειών όπως ο καρκίνος. Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., για τα NO_3^- , είναι 50 mg/l (EU Council directive 98/83 1998).

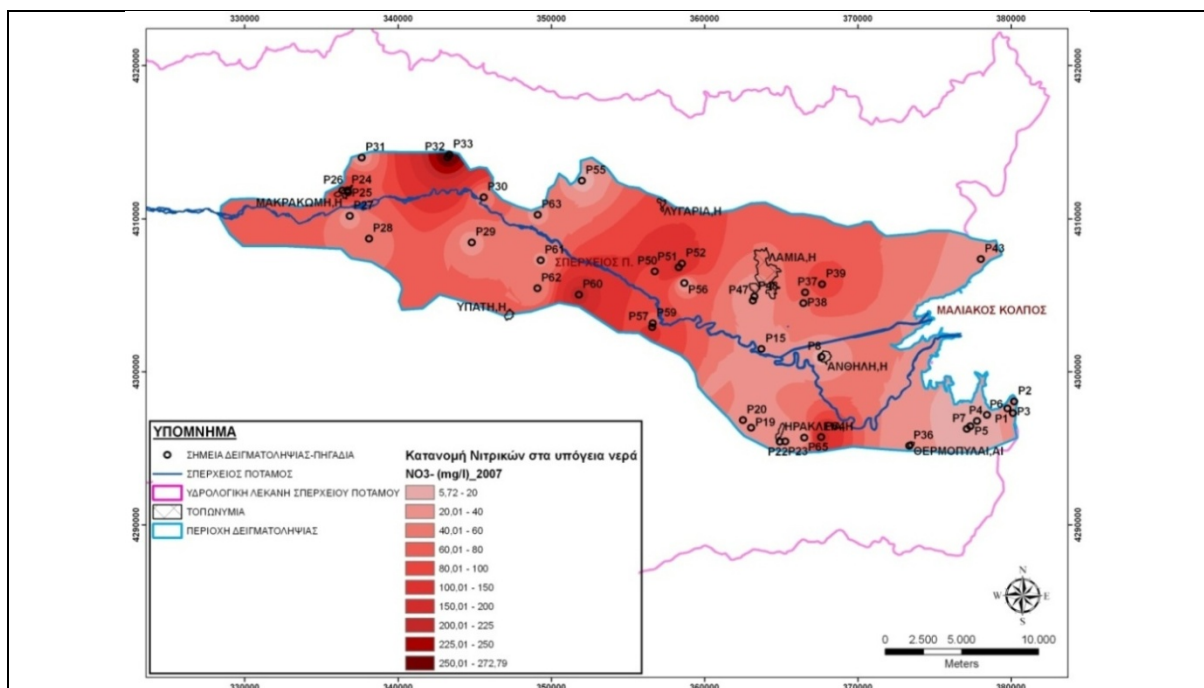
Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων στα υπόγεια νερά οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς. Πολλά νιτρικά μπορούν να βρεθούν επίσης στις απολήξεις των υπονόμων και των αποχετεύσεων αλλά μπορούν να προέλθουν κι από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα. Οι κίνδυνοι υγείας από την κατανάλωση νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε NO_3^- είναι μικροί συγκριτικά με τους κινδύνους πρόσληψης νιτρικών από άλλες πηγές του διαιτολογίου (Σιμώνης 1998).

Η συγκέντρωση των NO_3^- ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 7,0-15,4 mg/l. Στις πηγές κυμαίνεται από 12,32-92,40 mg/l και στις γεωτρήσεις από 11,88-66,88 mg/l. Συνολικά 3 πηγές (PH46, 49 και 53) και 2 γεωτρήσεις (AP34, 40) παρουσιάζουν τιμές πάνω από την ανώτατη επιτρεπτή και μέχρι 92,4 mg/l. Όσον αφορά τα πηγάδια, η συγκέντρωση κυμαίνεται από 5,72-272,80 mg/l, 15 δείγματα παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από την ανώτατη επιτρεπτή, με 4 δείγματα (P25, P39, P57 και P64) να παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από 100 mg/l και άλλα 4 δείγματα (P32, P33, P51 και P60) να παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη και από 200 mg/l.

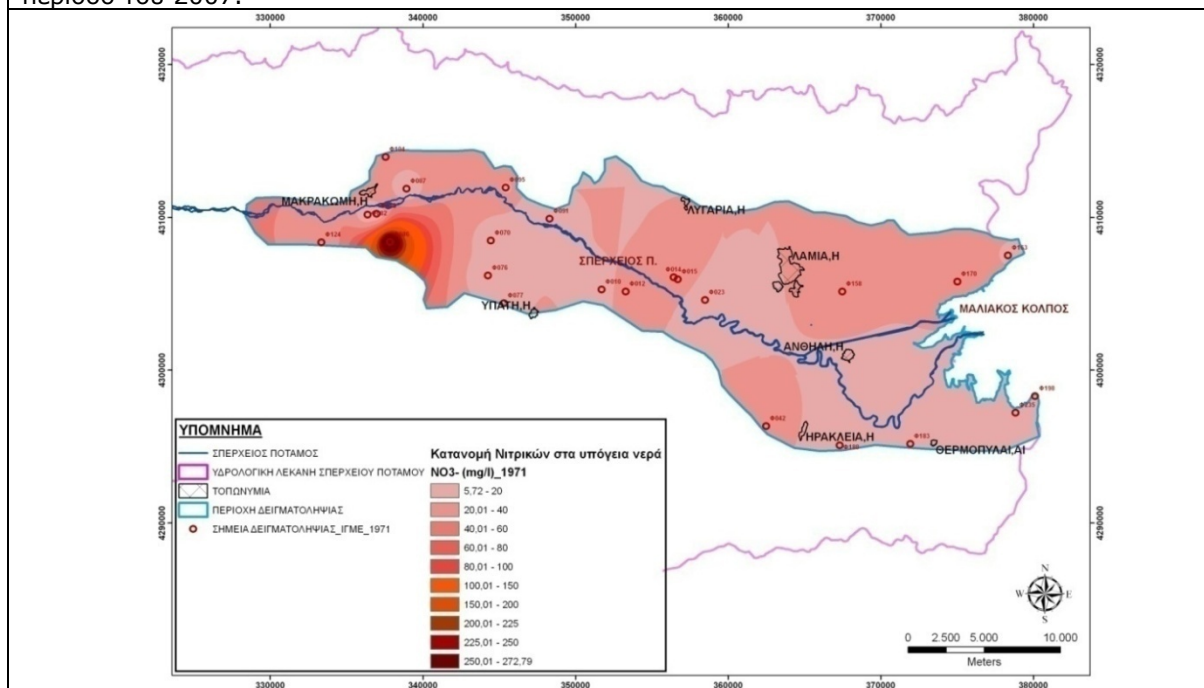
Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται, όπως ήταν αναμενόμενο, στα νερά περιοχών με έντονη καλλιέργεια. Τα νιτρικά ιόντα στα νερά της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο ανθρωπογενούς προέλευσης και σχετίζονται με την υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, την ύπαρξη σηπτικών βόθρων κλπ. Στην εικόνα 7.18 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των SO_4^{2-} ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Με βάση την σύγκριση της χωρικής κατανομής των τιμών της δειγματοληψίας του 2007 σε συνάρτηση με την αντίστοιχη του 1971 (Εικόνα 7.19), είναι εμφανές ότι σε ολόκληρη σχεδόν την λεκάνη υπάρχει μία αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών σε σχέση με την συγκέντρωση που παρουσίαζαν τα νερά το 1971 και ιδιαίτερα στο κεντρικό και βορειοδυτικό τμήμα.

Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση των αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες της περιοχής, στην κτηνοτροφία που είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη, αλλά βρίσκεται σε μέτρια ανάπτυξη από πλευράς υποδομών, καθώς και στην απουσία ή μη λειτουργία βιολογικών σταθμών ακόμα και στις μεγαλύτερες πόλεις της περιοχής, όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα.



Εικόνα 7.18. Χωρική κατανομή των Νιτρικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.



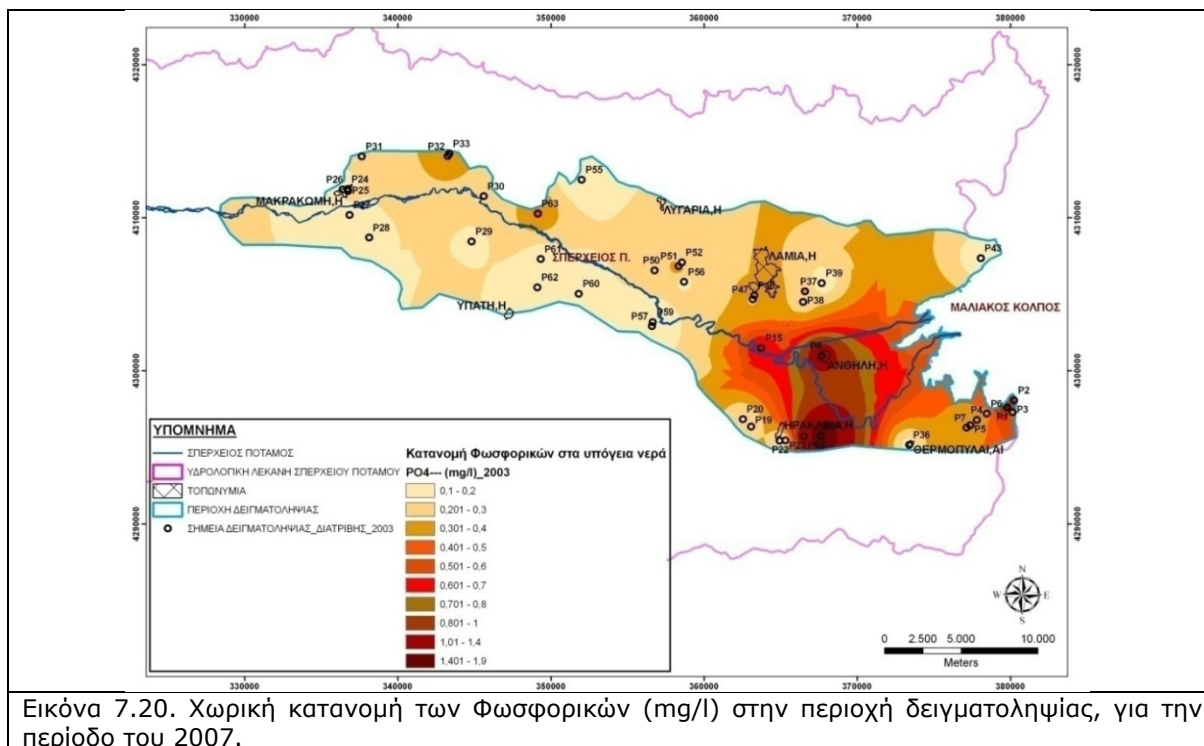
Εικόνα 7.19. Χωρική κατανομή των Νιτρικών (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 1971.

Φώσφορος (P)- Φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-})

Η ύπαρξη μεγάλης συγκέντρωσης Φωσφόρου στα φυσικά νερά αποδίδεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και μπορεί να προέρχεται από προσθήκη λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων στους αγρούς, σηπτικούς βόθρους, σκουπίδια, σαπούνια κι απορρυπαντικά, λάδια μηχανών και λοιπά λιπαντικά, κτηνοτροφικά απόβλητα (www.nhllakes.org/edbrochures/phosphoruspollution.html). Η τροφοδότηση των υπόγειων νερών με λύματα μη στεγανών σηπτικών βόθρων θεωρείται η κύρια αιτία ρύπανσης των υπόγειων νερών με υπερβολική ποσότητα P, ενώ η προσθήκη υπερβολικών ποσοτήτων φωσφορικών λιπασμάτων δεν θεωρείται ότι συμβάλλει σημαντικά στην ρύπανση του υδροφόρου με φωσφορικά ιόντα, καθώς ο φώσφορος είναι επιρρεπής στην απώλεια μέσω επιφανειακής απορροής κι όχι μέσω έκπλυσης προς τα κατώτερα στρώματα.

Ο Φώσφορος είναι ένα απαραίτητο στοιχείο που βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα στο ανθρώπινο σώμα. Περιέχεται κατά κύριο λόγο στα κόκαλα (σε ποσοστό 85%), στους μύες σε ποσοστό 14% καθώς επίσης και στις κυτταρικές μεμβράνες (www.tjclarkinc.com/minerals). Η έλλειψη P αν και σπάνια υφίσταται στην ανθρώπινη διατροφή, προκαλεί αναπνευστικές, μυϊκές, αιματολογικές, νευρολογικές, καρδιακές και νεφρικές δυσλειτουργίες (Allen & Wood 1994). Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. το ανώτατο όριο της συγκέντρωσης φωσφορικών είναι 5 mg/l PO_4^{3-} .

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 0,10-0,31 mg/l, με μέσο όρο τα 0,16 mg/l, στις πηγές κυμαίνεται από 0,09-0,45 mg/l και στις γεωτρήσεις από 0,11-3,10 mg/l. Όσον αφορά τα πηγάδια, η συγκέντρωση κυμαίνεται από 0,10-1,9 mg/l. Όπως είναι φανερό καμία συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων δεν ξεπέρασε την ανώτατη επιτρεπτή τιμή (Εικόνα 7.20).



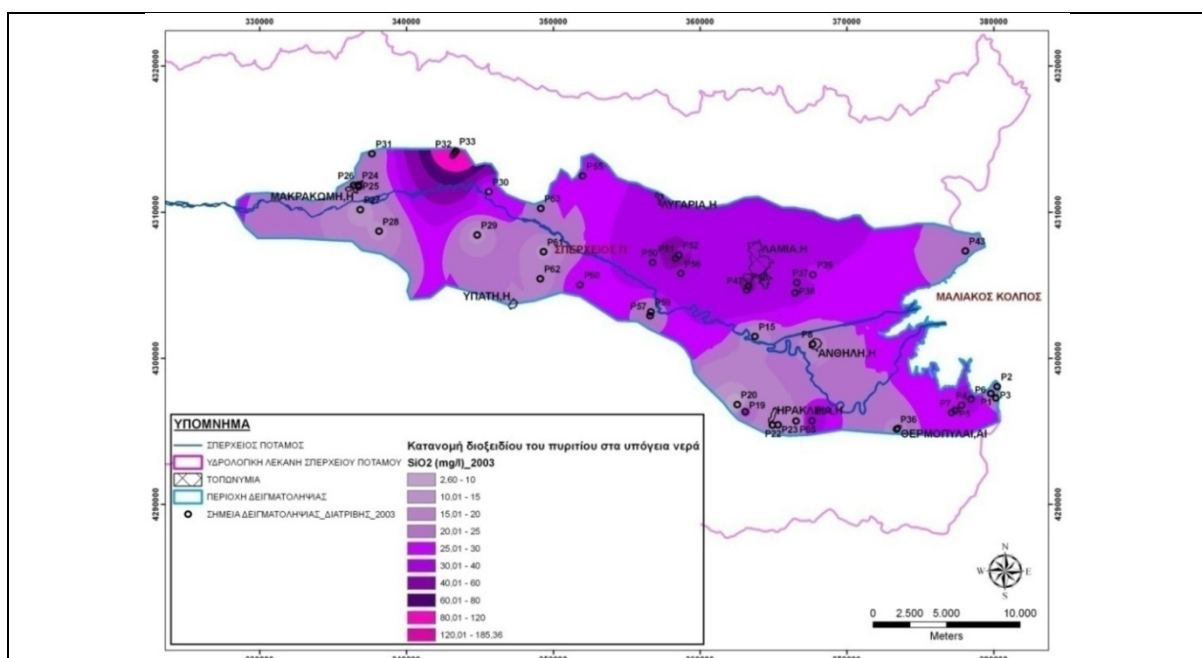
Στην εικόνα 7.19 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των PO_4^{3-} ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, όπου γίνεται έντονη γεωργική εκμετάλλευση και υπάρχουν περιφερειακά των οικισμών αρκετοί σηπτική βόθροι.

Διοξείδιο του Πυριτίου SiO_2

Βασική πηγή προέλευσης του πυριτίου στα νερά είναι τα πυριτικά ορυκτά όπως το επίδοτο, ο μοσχοβίτης, ο αλβίτης, ο ανορθίτης, το ορθόκλαστο, το ολιγόκλαστο, ο ολιβίνης και ο χαλαζίας. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι αδιάλυτο σε pH μεταξύ 6 και 8,5. Μαζί με το μαγνήσιο δημιουργεί κρούστα στους λέβητες και τους ατμοστρόβιλους κι εμποδίζει το βράσιμο. Γενικά, στα φυσικά υπόγεια νερά απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30 mg/l, σπάνια μέχρι 100 mg/l (Καλλέργης 2000, EU Council directive 98/83 1998).

Μεγάλο ποσοστό του πυριτίου που βρίσκεται στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνδετικούς ιστούς της αορτής, της τραχείας, των τενόντων, στα οστά και το δέρμα (www.tjclarkinc.com/minerals). Η ανεπάρκεια πυριτίου μπορεί να προκαλέσει μικρές, κακώς διαμορφωμένες αρθρώσεις κι ατελή ανάπτυξη των οστών.

Η συγκέντρωση των SiO_2 στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, κυμαίνεται από 5,8-17,6 mg/l, στις πηγές κυμαίνεται από 10,0-41,0 mg/l και στις γεωτρήσεις από 13,5-42,0 mg/l. Όσον αφορά τα πηγάδια, η συγκέντρωση κυμαίνεται από 2,6-185,5 mg/l, με μέσο όρο τα 28,98 mg/l. Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης παρουσιάζονται στα δείγματα P33, 47, 48 και 51, τα οποία βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, είναι γεωγενούς προέλευσης και σχετίζονται με φαινόμενα διάλυσης των πυριτικών ορυκτών των οφιολιθικών πετρωμάτων που επικρατούν στην περιοχή. Στην εικόνα 7.21 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των SiO_2 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.



Εικόνα 7.21. Χωρική κατανομή των SiO_2 (mg/l) στην περιοχή δειγματοληψίας, για την περίοδο του 2007.

7.2.3. Αναλύσεις βαρέων μετάλλων

Πολλά ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα στην ανθρώπινη διατροφή αλλά σε μικρές ποσότητες. Η υπέρβαση των ποσοτήτων αυτών μπορεί να αποβεί μοιραία για την ανθρώπινη υγεία. Η χαμηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα φυσικά νερά αποδίδεται στη γεωχημική τους κατανομή και τη δυσδιαλυτότητά τους. Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται μείζον πρόβλημα καθόσον: (α) δεν αποικοδομούνται σε αντίθεση με τις τοξικές οργανικές ενώσεις κι έτσι συμβάλλουν στο φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης και βιομεγέθυνσης με όλες τις αρνητικές συνέπειες που μπορεί να έχουν για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, (β) είναι σχετικά ακίνητα στο έδαφος και (γ) συσσωρεύονται στο ανώτερο εδαφικό στρώμα με μεγάλες πιθανότητες απορρόφησης τους απ' τα φυτά και τελική κατάληξη την κατανάλωση απ' τον άνθρωπο (www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs956.pdf).

Ολικός Σίδηρος (Fe^{2+} και Fe^{3+})

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο κατά βάρος στοιχείο που απαντάται στα πετρώματα και τα εδάφη του στερεού φλοιού της γης. Βρίσκεται κυρίως στα σκουρόχρωμα ορυκτά, όπως στους πυρόξενους, αμφιβόλους, βιοτίτη, μαγνητίτη, σιδηροπυρίτη, στους γρανάτες, ολιβίνες, στο επίδοτο κλπ.

Ο σίδηρος είναι πιο ευδιάλυτος σε όξινα νερά με pH μικρότερο του 4. Η ενδεικτική τιμή του για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., είναι 0,05 mg/l και το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 0,2 mg/l. Αν ξεπεραστεί το όριο αυτό, τα νερά γίνονται ακατάλληλα όχι μόνο για πόση αλλά και για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις (*Καλλέργης 2000*). Διαλυτές μορφές σιδήρου εμφανίζονται στα φυσικά νερά με χαμηλό pH. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα υπόγεια φυσικά νερά, νερά λιμνών και βαλτώδη νερά στερούνται οξυγόνου και επομένως μπορούν να περιέχουν ιόντα Fe^{2+} . Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται προς τρισθενείς ενώσεις και κατακρημνίζεται. Στα καλά αεριζόμενα νερά παρουσιάζονται σπάνια υψηλές συγκεντρώσεις. Όταν όμως επικρατούν αναγωγικές συνθήκες, καθώς και με απουσία ανθρακικών και θειούχων αλάτων, μπορούν να εμφανιστούν υψηλές συγκεντρώσεις ενώσεων δισθενούς σιδήρου. Η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια φυσικά νερά, που σπάνια ξεπερνά τα 1 mg/l, αποδίδεται στην διάλυση των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων που περιέχουν σίδηρο, σε επιφανειακές ανθρωπογενείς επιδράσεις κλπ.

Ο Σίδηρος είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό με βασική λειτουργία τη μεταφορά οξυγόνου και τη συμμετοχή στη δημιουργία πρωτεϊνών που μεταφέρουν οξυγόνο, όπως η αιμογλοβίνη στο αίμα κι η μυογλοβίνη στους μύες. Ο Σίδηρος συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα όργανα του σώματος όπως στο μυελό των οστών, το ήπαρ και το σπυκώτι (www.tjclarkinc.com/minerals).

Τα νερά των πηγών και των πηγαδιών της περιοχής χαρακτηρίζονται από χαμηλές συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου, 0-0,11 και 0,01-0,06 mg/l, αντίστοιχα. Αντίθετα, στα επιφανειακά νερά, όλα τα δείγματα, εκτός του SP7 ξεπερνούν το όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (συγκεντρώσεις από 0,11-1,89 mg/l), ενώ το ίδιο συμβαίνει και σε δύο δείγματα γεωτρήσεων, τα AP12 και AP18 (στο Κόμμα και το Μοσχοχώρι, αντίστοιχα). Στα

υπόλοιπα δείγματα οι συγκεντρώσεις δεν ξεπερνούν τα καθορισμένα όρια. Στην εικόνα 7.22α παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Fe στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.

Χαλκός (Cu)

Ο Χαλκός εμπεριέχεται σε μεγάλο αριθμό ορυκτών, μικτών θειούχων, οξειδίων και υδροξυλιούχων ανθρακικών. Τα πιο γνωστά ορυκτά είναι ο κυπρίτης, ο χαλκοσίνης, ο μαλαχίτης κλπ.

Η παρουσία του χαλκού στο νερό εξαρτάται από το pH και το Eh. Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται πολύ κάτω του 1,0 mg/l. Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,01-0,5 mg/l με ανώτατο επιτρεπτό όριο απ' την Ε.Ε. τα 0,10 mg/l. Στο νερό ύδρευσης παρατηρούνται συχνά υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (1,2 mg/l) λόγω της διάβρωσης των χρησιμοποιούμενων χαλκοσωλήνων. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,0009 mg/l (Matthess 1973), ενώ στα θερμομεταλλικά νερά και σε μεταλλοφόρες περιοχές παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 2,0 mg/l.

Ο Χαλκός είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανθρώπινη διατροφή όσο και στην ανάπτυξη των φυτών και των ζώων. Θεωρείται ότι αποτελεί μέρος των ενζύμων και των πρωτεϊνών που βοηθούν τις βιοχημικές μετατροπές σε κάθε κύτταρο. Η ανεπάρκεια Χαλκού προκαλεί αναιμία, υψηλά επίπεδα χοληστερίνης, τριγλυκεριδίων και γλυκόζης, μείωση του Οξυγόνου των κυττάρων, δερματικά προβλήματα και πρήξιμο στα πόδια. Η χρόνια ανεπάρκεια Χαλκού μπορεί να προκαλέσει καρδιακά προβλήματα. Αντίθετα, η πρόσληψη υπερβολικών ποσοτήτων Cu θεωρείται τοξική κι ιδιαίτερα επικίνδυνη και χρειάζεται περίπου 3 μήνες για να επανέλθουν τα επίπεδα Χαλκού στο σώμα στα φυσιολογικά επίπεδα. Τα συμπτώματα της υπερβολικής λήψης Cu είναι βλάβη στο συκώτι και τον εγκέφαλο, όργανα στα οποία υπερσυσσωρεύεται, ναυτία, πονοκέφαλοι, αυξημένοι χτύποι καρδιάς, βλάβη στα νεφρά, αναιμία, τριχόπτωση στις γυναίκες και ψυχολογικά συμπτώματα. Η υπερβολική λήψη Cu απ' τον άνθρωπο μπορεί να οφείλεται σε μεγάλη ποσότητα οιστρογόνων από κατανάλωση κρέατος, αντισυλληπτικά χάπια, κάπνισμα, υπερβολική ποσότητα Cu στο πόσιμο νερό, χαμηλά επίπεδα Zn και Mn (www.tjclarkinc.com/minerals). Στην εικόνα 7.22β παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Cu στα πηγάδια της περιοχής έρευνας

Οι τιμές των συγκεντρώσεων Cu στα νερά της περιοχής έρευνας είναι σχετικά χαμηλές (έως 0,04 mg/l) και δεν ξεπερνούν τα όρια που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

Η παρουσία Cu στα υπόγεια νερά της περιοχής είναι κυρίως γεωγενής. Οι κατά τόπους υψηλότερες συγκεντρώσεις συνδυάζονται και με την χρήση χαλκούχων σκευασμάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην καλλιέργεια της ελιάς ή και σε άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες, όπως φιστικιές κλπ. (Παναγόπουλος 1998).

Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο έχει ευρεία κατανομή στον στερεό φλοιό της γης και απαντάται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις, όπως στα μαγματικά πετρώματα, στα ιζήματα όπως στους αργίλους,

στους ψαμμίτες, στα ανθρακικά και στους εβαπορίτες. Η μέση συγκέντρωση του μαγγανίου στο έδαφος, σε παγκόσμια κλίμακα, είναι 437 ppm. Η διάλυση και η παρουσία του στοιχείου αυτού εξαρτάται από το pH και το Eh. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και τιμή pH=7, το μαγγάνιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή σε συγκεντρώσεις από 1-10 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα θερμομεταλλικά νερά, μέχρι 42 mg/l και στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων μέχρι 30 mg/l (*Matthess 1973*). Γενικά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα υπόγεια νερά βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτές του σιδήρου. Αυτό σχετίζεται με την γεωχημική κατανομή και ιδιαίτερα με την διαλυτότητα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις που έχουν κατά τόπους ανιχνευθεί στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σχετίζονται κυρίως με ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το Mn είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανάπτυξη του ανθρώπου όσο και στην ανάπτυξη των φυτών. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζει τοξικότητα γι αυτό κι η Ε.Ε. το συγκαταλέγει στις ανεπιθύμητες ουσίες. Η ανεπάρκεια μαγγανίου προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία του εγκεφάλου και στην ανάπτυξη των οστών, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε οστεοπόρωση, κώφωση, παράλυση και πεπτικά προβλήματα. Η υπερβολική λήψη Mn δεν οφείλεται τόσο στη διατροφή όσο σε έκθεση σε βιομηχανικά απόβλητα (για παράδειγμα εισπνοή σκόνης Mn από μεταλλωρύχους) ή από κατανάλωση ρυπασμένου νερού πηγής. Τα συμπτώματα της τοξικότητας του Mn αφορούν νευρικές διαταραχές και πρόκληση σχιζοφρένειας (www.tjclarkinc.com/minerals). Η ΕΕ καθορίζει σαν ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας του στο πόσιμο νερό τα 20 μg/l, ενώ σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 50 μg/l ή 0,05 mg/l (*EU Council directive 98/83 1998*).

Οι συγκεντρώσεις Μαγγανίου στα δείγματα των επιφανειακών νερών και των πηγών βρίσκονται σε ίχνη, κάτω απ' το ανώτατο όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Αντίθετα, 6 δείγματα γεωτρήσεων (AP9, AP10, AP12, AP16, AP17 και AP18) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις από 0,05-0,53 mg/l, καθώς και 7 δείγματα από πηγάδια (P1, P5, P6, P7, P15, P47 και P63) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις από 0,05-0,29, τιμές που είναι μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου. Στην εικόνα 7.22γ παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Mn στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.

Εντοπίζονται δύο περιοχές με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, στην Γραμμένη και στην νότιο τμήμα της παράκτιας ζώνης όπου εμφανίζονται τα θερμομεταλλικά νερά της Δαμάστας και των Θερμοπυλών.

Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο στοιχείο της λιθόσφαιρας και απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο, τον σίδηρο, το κάδμιο και τον χαλκό. Τα πιο συνήθη ορυκτά είναι ο σφαλερίτης, ο ζιγκίτης και ο σμιθωνίτης.

Στα όξινα εδάφη ο Zn είναι ευκίνητος, τα οξειδία, τα ανθρακικά και τα θειούχα άλατα του ψευδαργύρου είναι ελαφρώς διαλυτά στο νερό, ενώ τα πολύ διαλυτά χλωριούχα και θειικά άλατα του ψευδαργύρου τείνουν να υδρολύονται για να σχηματίσουν υδροξείδιο του ψευδαργύρου και ανθρακικό ψευδάργυρο. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φυσικά νερά. Η Ε.Ε. συγκαταλέγει τον ψευδάργυρο στην

κατηγορία των ανεπιθύμητων ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο πόσιμο νερό τα 100 $\mu\text{g/l}$ (0,10 mg/l) (*EU Council directive 98/83 1998*). Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο για τα φυτά όσο και για τον άνθρωπο. Συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, του παγκρέατος και των επινεφριδίων αδένων αλλά είναι παρόν σε όλα τα κύτταρα και κυρίως στον πυρήνα. Περισσότερα από 60 ένζυμα χρειάζονται την παρουσία Ψευδαργύρου για τη δραστηριότητά τους, συμπεριλαμβανομένων των πολυμερασών RNA. Η ανεπάρκεια Zn προκαλεί έμφραγμα του μυοκαρδίου, καθυστέρηση της ανάπτυξης του ανθρώπου και αλλεργίες κατά την παιδική ηλικία. Αντίθετα, η υπερεπάρκεια Zn θεωρείται τοξική και προκαλεί γαστρικά προβλήματα, ναυτία, ζαλάδες και τάσεις για εμετό (www.tjclarkinc.com/minerals).

Ο Zn ανιχνεύθηκε σε αρκετά δείγματα, σε υψηλές συγκεντρώσεις, πάνω από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια, τόσο στα πηγάδια με 6 δείγματα να παρουσιάζουν συγκέντρωση από 0,1 έως 0,27 mg/l , όσο και σε 10 δείγματα γεωτρήσεων που παρουσιάζουν συγκεντρώσεις από 0,1 έως 0,20 mg/l , καθώς και 4 δείγματα πηγών που έχουν συγκεντρώσεις 0,1-0,15 mg/l . Αντίθετα, στα επιφανειακά δεν ανιχνεύθηκε συγκέντρωση ψευδαργύρου. Στην εικόνα 7.22δ παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Zn στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.

Η εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων Zn συνδυάζεται στο νότιο τμήμα της περιοχής, με την παρουσία των θερμομεταλλικών πηγών της Δαμάστας και των Θερμοπυλών.

Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο της λιθόσφαιρας. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο και τον ψευδάργυρο (*Matthess 1973*). Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το κάδμιο στην κατηγορία των τοξικών ουσιών και δίνει σαν ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση καδμίου στο πόσιμο νερό τα 5 $\mu\text{g/l}$ ή 0,005 mg/l . Στο νερό άρδευσης δεν επιτρέπεται η συγκέντρωση καδμίου να υπερβαίνει τα 10 $\mu\text{g/l}$, λόγω της προσρόφησης του από τα καλλιεργούμενα φυτά.

Το Κάδμιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τα φυτά αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί τοξικότητες. Το Cd έχει μεγάλη ημιπερίοδο ζωής στο ανθρώπινο σώμα γι αυτό μεγάλες προσλαμβανόμενες ποσότητες μπορεί να οδηγήσουν σε υπερσυσσώρευση και βλάβη σε ορισμένα ευαίσθητα όργανα όπως τα νεφρά. Το Κάδμιο ενοχοποιείται για πολλές παθολογικές καταστάσεις όπως είναι η υπέρταση, η στείρωση των ανδρών, οι υπατικές και νεφρικές δυσλειτουργίες καθώς επίσης και η μετάλλαξη των χρωματοσωμάτων. Υψηλά ποσοστά του καδμίου παράγονται ως παραπροϊόν της χύτευσης του ψευδαργύρου, μολύβδου και χαλκού. Από την καύση των γαιανθράκων και των απορριμμάτων απελευθερώνονται στο περιβάλλον σημαντικές ποσότητες καδμίου. Στο καπνό των τσιγάρων ανιχνεύονται υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου. Χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, όπως στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στα χρώματα, σε σταθεροποιητές των πλαστικών, σε διάφορα κράματα με τον χαλκό, στην επιμετάλλωση κ.α. (*DVWK 1998*).

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δείχνουν ότι τα νερά της περιοχής περιέχουν σημαντικές ποσότητες Καδμίου που στα επιφανειακά νερά και στις πηγές ανέρχεται στα 0,01 mg/l , στις γεωτρήσεις κυμαίνεται από 0 έως 0,01 mg/l , και στα πηγάδια από 0-0,03 mg/l . Οι συγκεντρώσεις αυτές για το σύνολο σχεδόν των δειγμάτων είναι πάνω απ' το όριο που θέτει

η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Η προέλευσή του αποδίδεται πιθανότατα σε ανθρωπογενείς επιδράσεις καθότι το Cd αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο των φωσφορικών λιπασμάτων, αλλά και στους ανεξέλεγκτους σκουπιδότοπους που περιέχουν απόβλητα μπαταριών, σταθεροποιητές πλαστικών και επιμετάλλωμένα με Cd υλικά. Στην εικόνα 7.22ε παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Cd στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος παρουσιάζει περιορισμένη κατανομή στην λιθόσφαιρα. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα σχηματίζοντας διάφορα ορυκτά, όπως ο γαληνίτης, ο κερουσίτης και ο αγγλεσίτης. Στο περιβάλλον απαντάται κυρίως στην ανόργανη μορφή, εκτός μικρού ποσοστού που συνδέεται με την καύση της μολυβδούχου βενζίνης (*Matthess 1973*). Οι μορφές του μολύβδου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο εντοπίζεται. Μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή Pb^{2+} , $PbHCO_3^{3+}$, οργανικών συμπλόκων, οργανομεταλλικών ενώσεων και με τη μορφή αλάτων. Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το μόλυβδο στις τοξικές ουσίες και θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 50 $\mu\text{g/l}$ ή 0,05mg/l. Η τοξικότητα του μολύβδου είναι μεγαλύτερη στο μαλακό νερό και λιγότερη στο σκληρό νερό. Γενικά τα μαλακά νερά με χαμηλό pH εμπεριέχουν περισσότερους κινδύνους για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Η ανεπάρκεια Μολύβδου προκαλεί μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και προβλήματα στο μεταβολισμό του σιδήρου. Η υπερεπάρκεια του Μολύβδου έχει πιο εμφανή αποτελέσματα όπως αναιμία, βλάβη στα νεφρά και ανωμαλίες στο κεντρικό νευρικό σύστημα (www.tjclarkinc.com/minerals).

Ο Μόλυβδος χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει στη μορφοποίηση και στη σφυρηλάτηση, στις μπαταρίες, τα προσθετικά πετρελαίου και βενζίνης, τα κράματα μετάλλων, τις χρωματικές ύλες, τα καραβόσχοινα, τα υλικά φωτογραφίας, τα πυρομαχικά κ.α. δραστηριότητες που μπορούν να έχουν άμεση επίπτωση στο περιβάλλον(www.lenntech.com/heavy-metals.htm).

Η παρουσία του μολύβδου στα νερά της περιοχής ήταν έντονη. Οι τιμές συγκέντρωσης είναι σε πολλά δείγματα ανώτερες απ' τα όρια που τίθενται απ' την Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Συγκεκριμένα από τα επιφανειακά δείγματα, τα SP1, SP4, SP5 και SP6 παρουσιάζουν συγκεντρώσεις από 0,05-0,12mg/l. Στα νερά των πηγών, στο δείγμα PH45 βρέθηκε συγκέντρωση 0,11 mg/l. Στα νερά των γεωτρήσεων, τα δείγματα AP9, AP10, AP12 και AP34 παρουσιάζουν συγκεντρώσεις από 0,05-0,18 mg/l, ενώ στα νερά των πηγαδιών 12 δείγματα (τα P8, P15, P25, P26, P27, P28, P36, P37, P43, P48, P64 και P65), δηλαδή ποσοστό 24%, παρουσίασε συγκεντρώσεις από 0,05-0,42mg/l.

Στην εικόνα 7.22ζ παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Pb στα πηγάδια της περιοχής έρευνας. Εντοπίζονται δύο χαρακτηριστικές περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις Pb. Η μία βρίσκεται στην περιοχή Σπερχειάδας και Παλαιοβράχας και η άλλη στην περιοχή μεταξύ Υπάτης και Θερμοπυλών. Η παρουσία του Pb στις περιοχές αυτές, σχετίζεται προφανώς με την ύπαρξη των θερμομεταλλικών πηγών, αλλά και με τις πολλές χρήσεις του και την παρουσία του σε σκεύη, κοσμήματα, σωλήνες νερού, χρώματα, εξατμίσεις αυτοκινήτων, κονσέρβες, βιομηχανικά απόβλητα και μεταλλευτικά απορρίμματα κλπ.

Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα, στους ψαμμίτες, στους αργίλους με, στα ανθρακικά πετρώματα και στους εβαπορίτες. Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το νικέλιο στις τοξικές ουσίες και θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 0,05 mg/l.

Το Νικέλιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο και τα μεγαλύτερα ποσοστά του εμφανίζονται στους πνεύμονες και τα νεφρά. Η ανεπάρκεια Ni στον οργανισμό συνδέεται με χαμηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, μη φυσιολογική ανάπτυξη των οστών και γενικότερα μειωμένη ανάπτυξη. Συνεχής έκθεση σε σκόνη Νικελίου μπορεί να προκαλέσει άσθμα και δερματίτιδα. Η υπερβολική συγκέντρωση Ni στα κύτταρα αλλάζει τις ορμονικές και τις ενζυμικές δραστηριότητες και την κίνηση των ιόντων μεταξύ των κυτταρικών μεμβρανών με αποτέλεσμα την αλλαγή της αρτηριακής πίεσης, του ρυθμού ανάπτυξης, της ανάπτυξης των οστών και την ευαισθησία του ανοσοποιητικού συστήματος (www.tjclarkinc.com/minerals).

Το Ni χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, για την παραγωγή μπαταριών, στην μεταλλική επικάλυψη, στην ηλεκτρική επιμετάλλωση αποτελώντας κύριο συστατικό των βιομηχανικών αποβλήτων.

Η συγκέντρωση του νικελίου στα επιφανειακά νερά δεν ξεπερνάει τα ανώτερα επιτρεπτά όρια, ενώ στις πηγές δεν ανιχνεύθηκαν. Αντίθετα στα νερά των γεωτρήσεων, δύο δείγματα, τα AP11 και AP12 παρουσίασαν συγκέντρωση 0,06mg/l. Επίσης, στα νερά των πηγαδιών, 8 δείγματα (P1-P8) παρουσίασαν συγκεντρώσεις πάνω από τα επιτρεπτά όρια με μέγιστη συγκέντρωση 0,12 mg/l. Η παρουσία του στην περιοχή οφείλεται πιθανότατα σε βιομηχανικά απόβλητα ή σε ανεξέλεγκτους σκουπιδοτόπους που περιέχουν απόβλητα μπαταριών. Επίσης, ένα μικρό ρόλο ίσως να διαδραματίζουν και οι βωξιτικοί ορίζοντες της περιοχής, οι οποίοι κατά την διάλυσή τους, αποδίδουν ιόντα Ni στο περιβάλλον. Στην εικόνα 7.22ζ παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Ni στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.

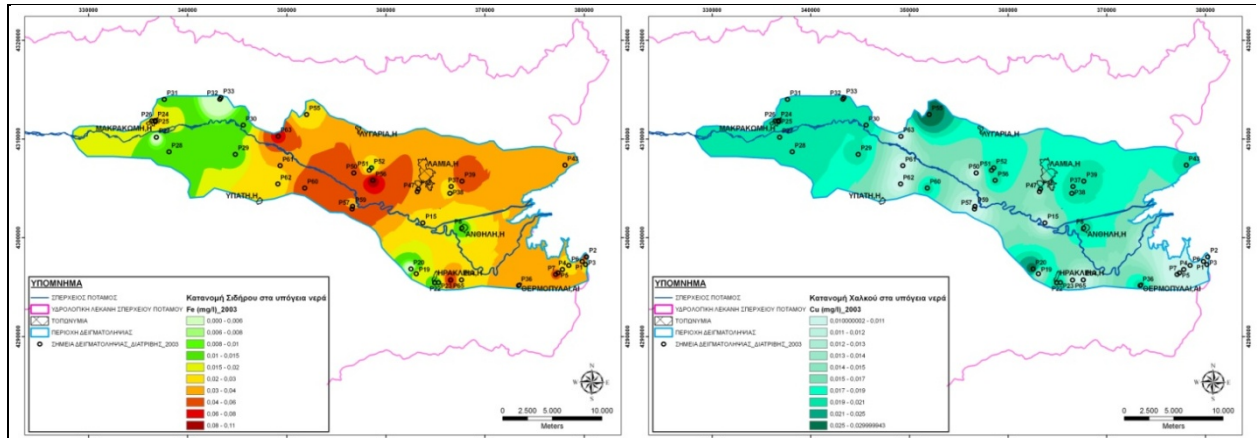
Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο (Co) βρίσκεται κυρίως στα μαγματικά πετρώματα και ιδιαίτερα στα υπερβασικά πετρώματα και στις μεταλλοφόρες περιοχές μαζί με άλλα μέταλλα. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ηλεκτρική επιμετάλλωση, όπως το νικέλιο και απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα βιομηχανικά απόβλητα και στους φυσικούς αποδέκτες.

Το Κοβάλτιο δεν θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό και συγκαταλέγεται από την Ε.Ε. στις ανεπιθύμητες ουσίες. Έχει διαπιστωθεί ότι η παροχή Co σε ανθρώπους για θεραπευτικούς σκοπούς αυξάνει τη χοληστερίνη στο αίμα ενώ δεν αποκλείεται να παίζει ρόλο στην εμφάνιση της αρτηριοσκλήρωσης και της καρκινογένεσης. Η χρόνια λήψη Co σε μικρές συγκεντρώσεις προκαλεί καρδιοαγγειακές παθήσεις. Για το νερό άρδευσης η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι τα 0,05 mg/l ενώ δεν δίνονται από την Ε.Ε. ανώτατα επιτρεπτά όρια για το πόσιμο νερό. Το Co απαντάται συνήθως με την δισθενή μορφή του.

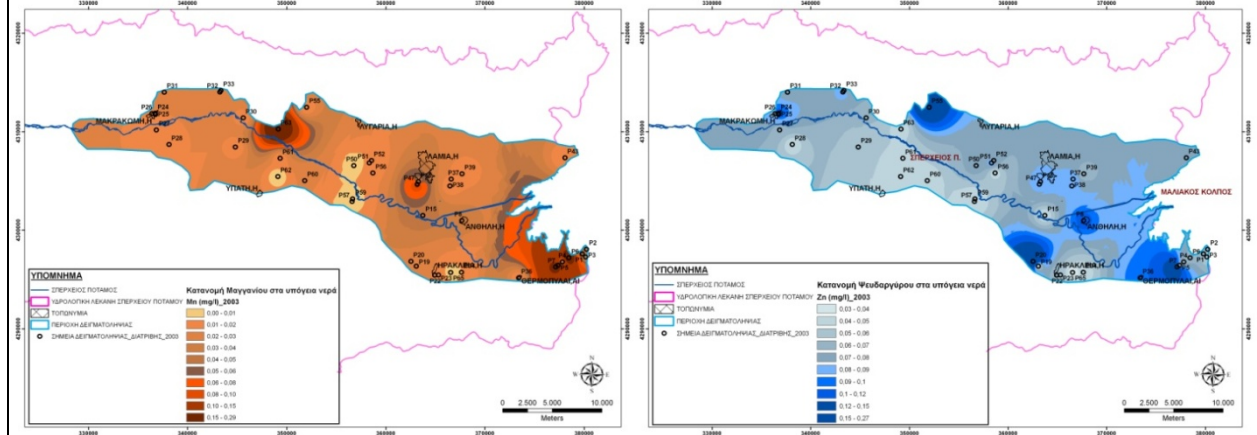
Η συγκέντρωση Κοβαλτίου στα νερά της περιοχής μελέτης είναι κάτω από την ανώτατη επιτρεπτή, όμως τόσο στα νερά των πηγών όσο και στα νερά των πηγαδιών ανιχνεύθηκαν μικροποσότητες σε 2-3 δείγματα, με 0,03 και 0,04 mg/l, αντίστοιχα.

Στην εικόνα 7.22ζ παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του Co στα πηγάδια της περιοχής έρευνας.



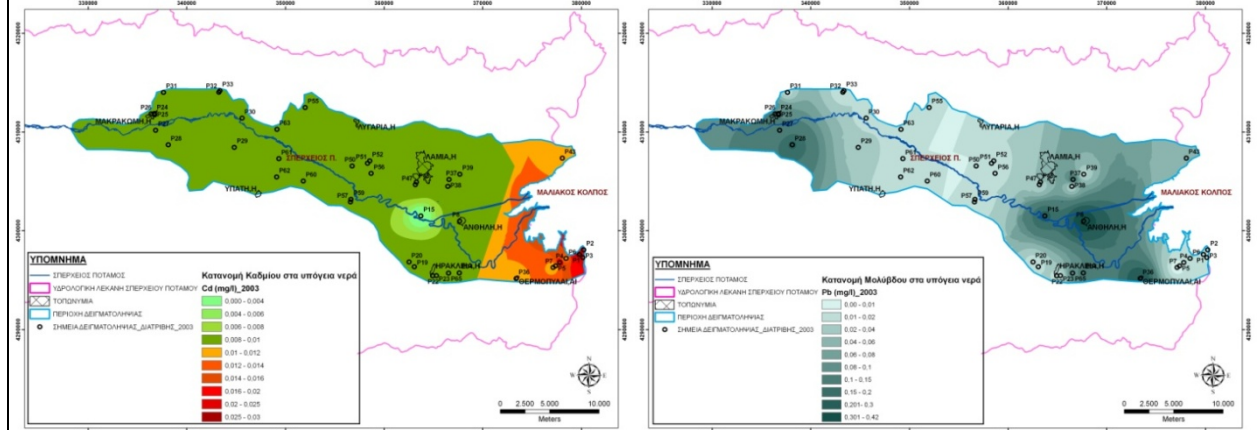
Εικόνα 7.21α. Χωρική κατανομή του Fe (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).

Εικόνα 7.21β. Χωρική κατανομή του Cu (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).



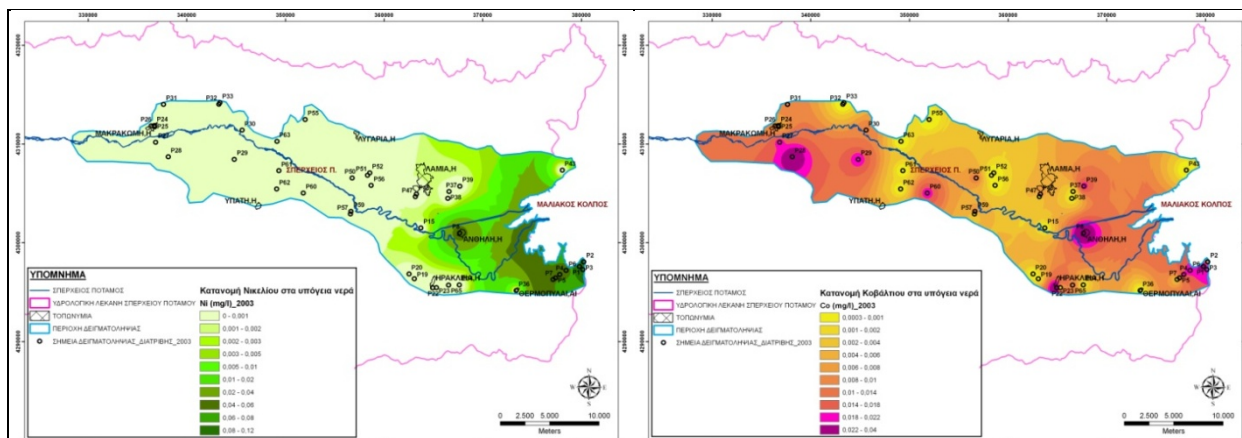
Εικόνα 7.21γ. Χωρική κατανομή του Mn (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).

Εικόνα 7.21δ. Χωρική κατανομή του Zn (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).



Εικόνα 7.21ε. Χωρική κατανομή του Cd (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε., που είναι 0,05 mg/l).

Εικόνα 7.21ζ. Χωρική κατανομή του Pb (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).



Εικόνα 7.21η. Χωρική κατανομή του Ni (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές > ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).

Εικόνα 7.21θ. Χωρική κατανομή του Co (mg/l), στην περιοχή δειγματοληψίας (Τιμές < ανώτερα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.).

7.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

7.3.1. Διάγραμμα PIPER

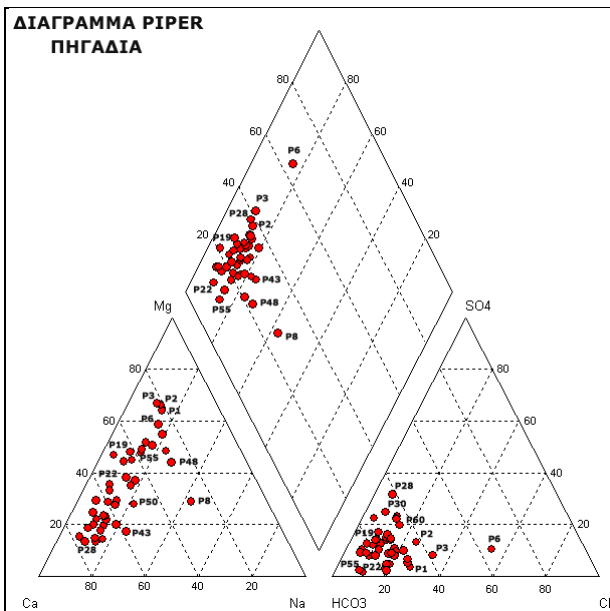
Το διάγραμμα Piper αφορά την ταξινόμηση των νερών με βάση τον υδροχημικό τους τύπο (Piper 1944). Στο διάγραμμα, τα κατιόντα Ca^{2+} , Na^+ και Mg^{2+} εκφρασμένα επί τοις εκατό (%) του συνόλου των κατιόντων προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο ενώ τα ανιόντα Cl^- , HCO_3^- και SO_4^{2-} , επίσης εκφρασμένα σε % του συνόλου των ανιόντων εμφανίζονται σαν ένα σημείο στο δεξιό τρίγωνο. Τα δύο αυτά σημεία (ένα σε κάθε τρίγωνο) προβάλλονται στη συνέχεια στον κεντρικό ρόμβο παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο μες στο ρόμβο μας παρουσιάζει μια ολική εικόνα της ιοντικής κατανομής (Καλλέργης 2000, www.ground-water-models.com).

Με βάση την ταξινόμηση του Piper, το μεγαλύτερο ποσοστό των νερών της περιοχής μελέτης ανήκει στην ομάδα των κανονικών γαιοκαλικών νερών. Αρκετά από αυτά χαρακτηρίζονται ως μαγνησιούχα ή μαγνησιούχα οξυανθρακικά, τέσσερα ως νιτρικά, τέσσερα ως θειικά και επτά ως νατριούχα. Από τα υπόλοιπα, τρία δείγματα χαρακτηρίζονται ως γαιοαλκαλικά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και ένα ως αλκαλικό-χλωριούχο (Εικόνες 7.23 α-δ). Οι υδροχημικοί τύποι (πίνακας 7.7) δείχνουν την κυριαρχία των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- και HCO_3^- στα νερά της περιοχής μελέτης. Στα νερά του νοτιοανατολικού τμήματος της παράκτιας περιοχής, παρατηρείται έντονη κυριαρχία των ιόντων Na^+ και Cl^- .

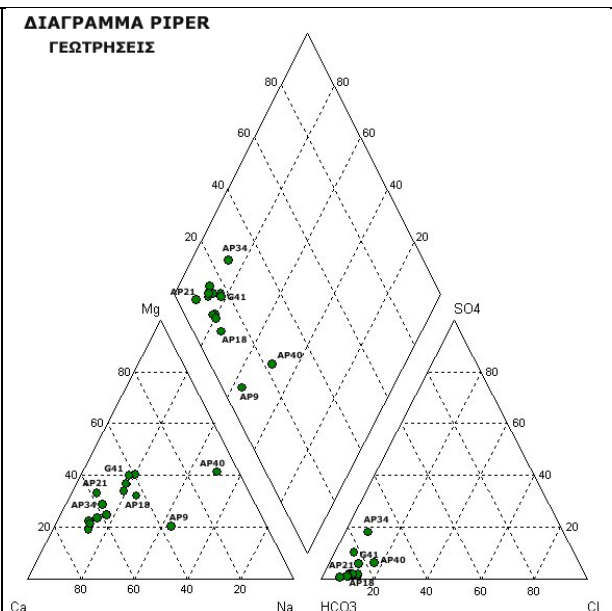
Πίνακας 7.7. Υδροχημικοί τύποι νερών της περιοχής μελέτης

No	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ PIPER
P25, P27, P43, P59, P61, P62, PH42, , PH58, SP1, SP2, SP3, SP4, SP6, SP7, AP13	Ca- HCO ₃	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
P5, P7, P15, P19, P20, P22, P23, P24, P31, P36, P37, P38, P39, P52, P55, P56, P57, P63, P65, PH44, PH45, PH53, PH54, SP5, AP10, AP11, AP12, AP14, AP16, AP21, AP34, AP35, G41(33)	Ca-Mg-HCO ₃	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά μαγνησιούχα, οξυανθρακικά
P32, P33, P51, P64 (4)	Ca-Mg-HCO ₃ -NO ₃	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά μαγνησιούχα, οξυανθρακικά-νιτρικά
P26, P30 (2)	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά μαγνησιούχα, οξυανθρακικά-θειικά

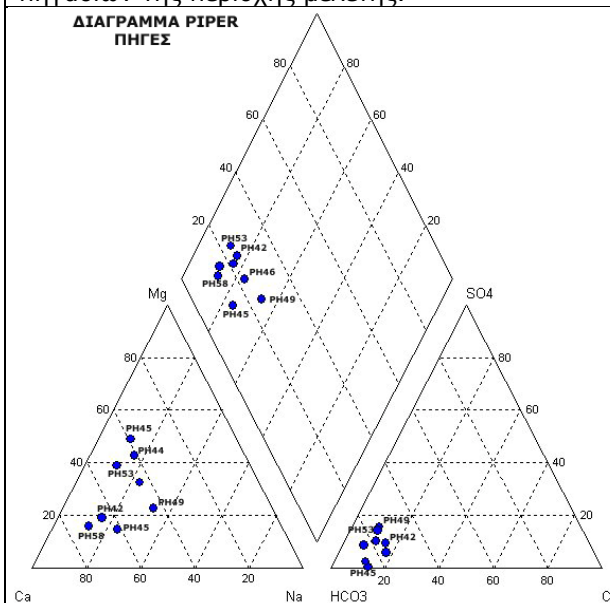
P28, P29 (2)	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά-θειικά
P47, P48, P50, PH46, PH49, AP17, AP18 (7)	Ca-Mg-Na-HCO ₃	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά μαγνησιούχα-νατριούχα, οξυανθρακικά
P60 (1)	Ca-HCO ₃ -NO ₃	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά-νιτρικά
P1, P2, P3, P4 (4)	Mg-Ca-HCO ₃ -Cl	Κανονικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά, χλωριούχα-θειικά
P6 (1)	Mg-Ca-Cl-HCO ₃	Αλκαλικά νερά-χλωριούχα
P8, AP9 (2)	Na-Mg-Ca-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, μαγνησιούχα, οξυανθρακικά
AP40 (1)	Na-Mg-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά



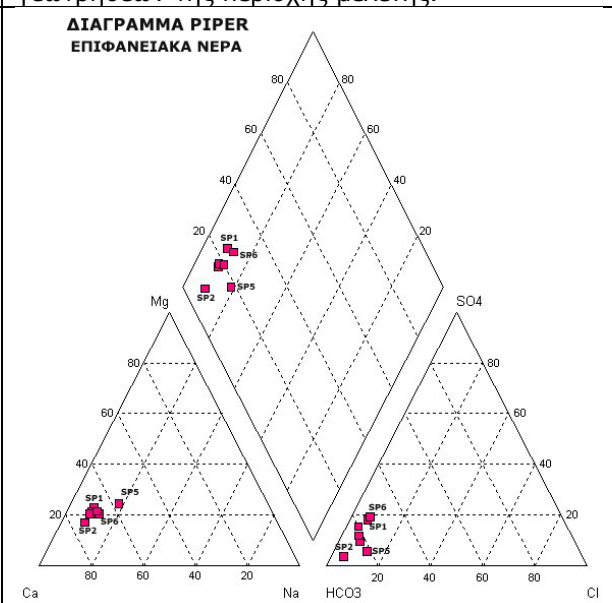
Εικόνα 7.23α. Διάγραμμα Piper των νερών των πηγαδιών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 7.23β. Διάγραμμα Piper των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.



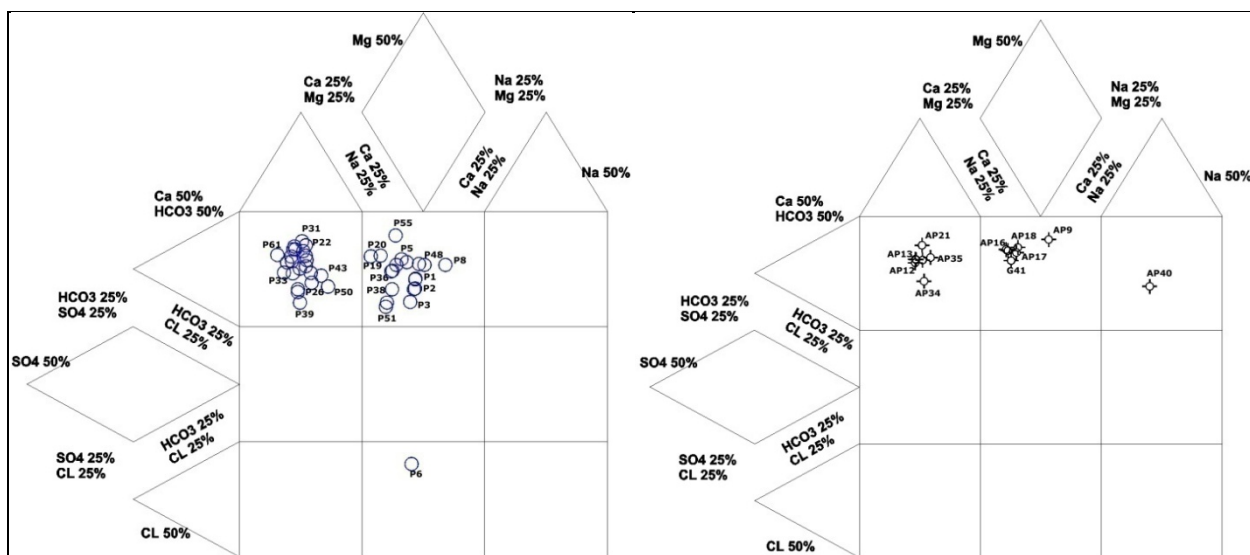
Εικόνα 7.23γ. Διάγραμμα Piper των νερών των πηγών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 7.23 δ. Διάγραμμα Piper των επιφανειακών νερών της περιοχής μελέτης.

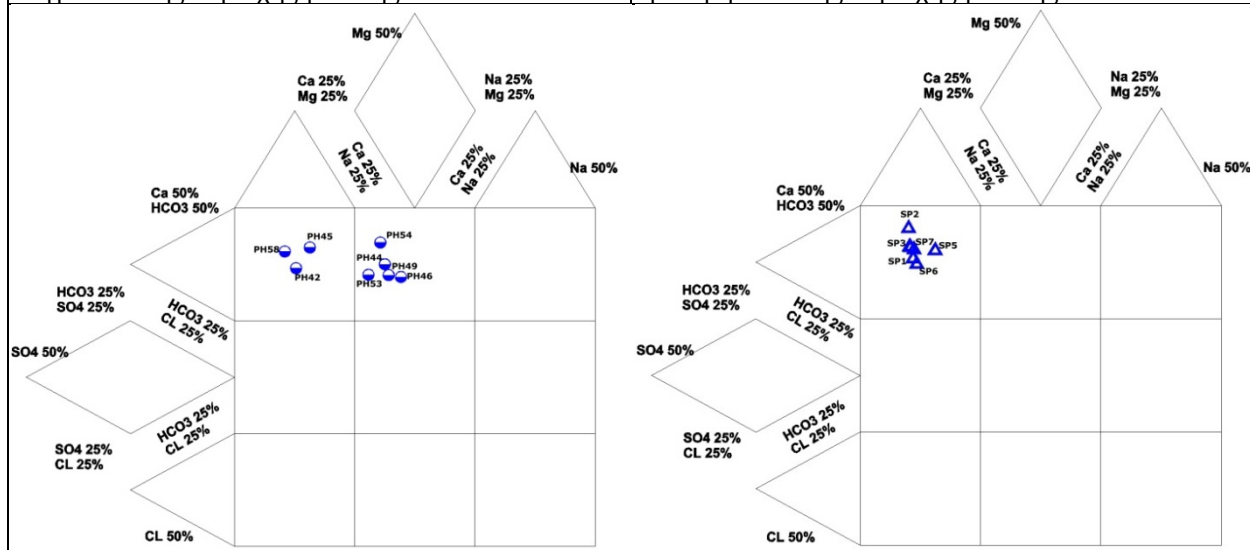
7.3.2 Διάγραμμα DUROV

Το διάγραμμα Durov αυτό παρουσιάζει 9 πεδία που μας διευκολύνουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα διάφορα φαινόμενα κατιοανταλλαγής και τις διαδικασίες μετασωματικών γραμμών εξέλιξης (Lloyd & Heathcote 1985). Η πλειοψηφία των νερών της περιοχής μελέτης εμφανίζονται στα πεδία 1 και 2, με χημικούς τύπους Ca-HCO₃ και Mg-HCO₃. Ένα δείγμα εμφανίζεται στο πεδίο 3 και ένα δείγμα στο πεδίο 8 (Εικόνες 7.24α-δ), με χημικούς τύπους Na-HCO₃ και Mg-Cl, αντίστοιχα.



Εικόνα 7.24α. Διάγραμμα Durov των νερών των πηγαδιών της περιοχής μελέτης.

Εικόνα 7.24β. Διάγραμμα Durov των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 7.24γ. Διάγραμμα Durov των νερών των πηγών της περιοχής μελέτης.

Εικόνα 7.24δ. Διάγραμμα Durov των επιφανειακών νερών της περιοχής μελέτης.

Συγκεκριμένα τα δείγματα των πηγαδιών εμφανίζονται στα πεδία 1, 2 και μόνο το δείγμα P6 βρίσκεται στο πεδίο 8, όπου κυριαρχεί το χλώριο και φανερώνει το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας στα νερά της παράκτιας ζώνης. Τα νερά των επιφανειακών νερών

εμφανίζονται όλα στο πεδίο 1, ενώ των πηγών και των γεωτρήσεων στα πεδία 1 και 2, εκτός από μία γεώτρηση (ΑΠ40), όπου εμφανίζεται στο πεδίο 3, όπου το φαινόμενο της κατιανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και κυριαρχούν τα Na^+ (Εικόνα 7.23α-δ)

7.3.3. Καταλληλότητα των υδάτων

Όσον αφορά την καταλληλότητα των επιφανειακών νερών της περιοχής, για χρήση από τον άνθρωπο, θα μπορούσε να πει κανείς, ότι λόγω των κανονικών συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν σε ανόργανα συστατικά, ότι κρίνονται κατάλληλα. Πλήθως από μελέτες όμως, στο παρεθόν, έχουν αναδείξει το πρόβλημα της ύπαρξης χλωριωμένων παρασιτοκτόνων και πολυχλωριωμένων διαφαινιλίων, ιδιαίτερα στην ανατολική περιοχή του Σπερχειού, μετά την συμβολή του Ίναχου (Βίστριτσα) (*ΕΜΠ-Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων 1992-τεύχος 36*). Επίσης, η έντονη κτηνοτροφία και η έλλειψη κατάλληλου αποχετευτικού δικτύου, ιδιαίτερα στο δυτικό τμήμα της λεκάνης, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και μικροβιακό φορτίο των νερών θα είναι υψηλό. Άρα συνεπάγεται ότι στην ουσία τα περισσότερα από τα νερά αυτά είναι ακατάλληλα για υδρευση ή τουλάχιστον απαιτείται έλεγχος προκειμένου να χρησιμοποιηθούν.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής διαχωρίζονται στα νερά των πηγαδιών που παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Χλωρίου, Νιτρικών, Θεικών κ.λπ., καθώς και αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και συνεπώς, δεν ενδείκνυται η χρήση τους από τον άνθρωπο. Αντίθετα, τα νερά των γεωτρήσεων έδειξαν ότι έχουν πολύ καλή ποιότητα και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν άφοβα για όλες τις χρήσεις. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με τα νερά των πηγών που δεν έδειξαν να έχουν κάποια ιδιαίτερη μεγάλη επιβάρυνση (*Stamatis 1999*).

Όσον αφορά την κατάλληλότητα του νερού της περιοχής για αρδευτικούς σκοπούς, τα σταθερότυπα του αρδευτικού νερού βασίζονται (*Richards 1954, Wilcox 1955*):

- α) Στην ολική συγκέντρωση αλάτων του νερού, διότι αυτή επιδρά στην καρποφορία, επηρεάζοντας την οσμωτική πίεση
- β) Στη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων, τα μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα της καρποφορίας
- γ) Στη συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων, που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στη δομή του εδάφους και εξ αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις αρδευτικού νερού ποικίλουν ανάμεσα στα είδη των καλλιεργειών, τους τύπους των εδαφών, τη στράγγισή τους και το κλίμα. Έτσι δεν υπάρχουν αυστηρά σταθερότυπα και ένα νερό χαμηλής ποιότητας για την άρδευση μιας περιοχής μπορεί να είναι καλής ποιότητας για μια άλλη περιοχή.

Από την άλλη μεριά, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων, από τη χρήση αλατούχου νερού π.χ. καλλιέργεια σε αυλάκια και μάλιστα πλευρικά και όχι στην κορυφή τους ώστε τα φυτά να βρίσκονται μακριά από τη ζώνη συγκέντρωσης των αλάτων, ανάπτυξη καλλιεργειών ανθεκτικών σε υψηλές περιεκτικότητες αλάτων στο νερό, εφαρμογή της «στάγδην άρδευσης» κ.λ.π. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, όμως, είναι η στράγγιση των εδαφών (*Καλλέργης 2000*). Εάν ένα έδαφος στραγγίζεται και αερίζεται καλά, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση του νερού

υψηλής αλατότητας. Κακή στράγγιση επιτρέπει τη συγκέντρωση αλάτων στη «ριζική ζώνη», όπου σχηματίζεται μια «τοξική ζώνη».

Επιτακτική είναι η ανάγκη διατήρησης ενός «ισοζυγίου αλάτων» (salt balance), όπου τα διαλυμένα άλατα (TDS) που εισάγονται ετήσια στην περιοχή, με το νερό της άρδευσης, πρέπει να υπολείπεται του συνόλου των αλάτων, που απομακρύνονται με το «στραγγιζόμενο νερό» (drainage water), (Καλλέργης 2000).

Ο κυριότερος παράγοντας λοιπόν, που καθορίζει την καταλληλότητα του νερού για άρδευση είναι η χημική του σύσταση. Δευτερεύοντες παράγοντες είναι το έδαφος, το είδος των φυτών και το κλίμα.

Ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για άρδευση αποτελεί ο Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.: Sodium Absorption Ratio), ο οποίος εκφράζει την σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων (meq/l) του Na^+ και των $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$. Έτσι λοιπόν ο συντελεστής S.A.R. υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{S.A.R.} = \text{Na} / \sqrt{\text{Ca} + \text{Mg} / 2}$$

Για την ποιοτική ταξινόμηση των νερών της περιοχής έρευνας, τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, όσον αφορά στην καταλληλότητά τους για άρδευση, χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Richards (1954), το οποίο κατατάσσει τα νερά σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών σύμφωνα με την ειδική αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 25°C) (Εικόνες 7.25α-δ).

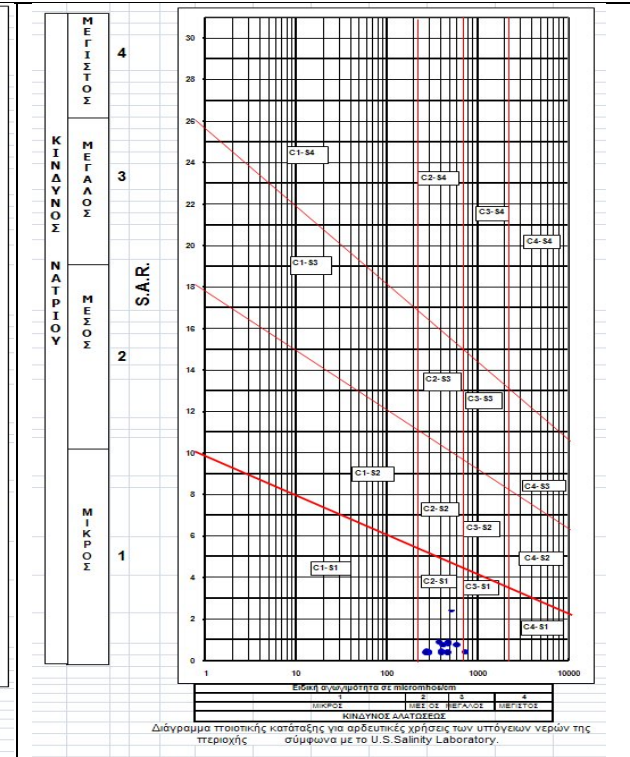
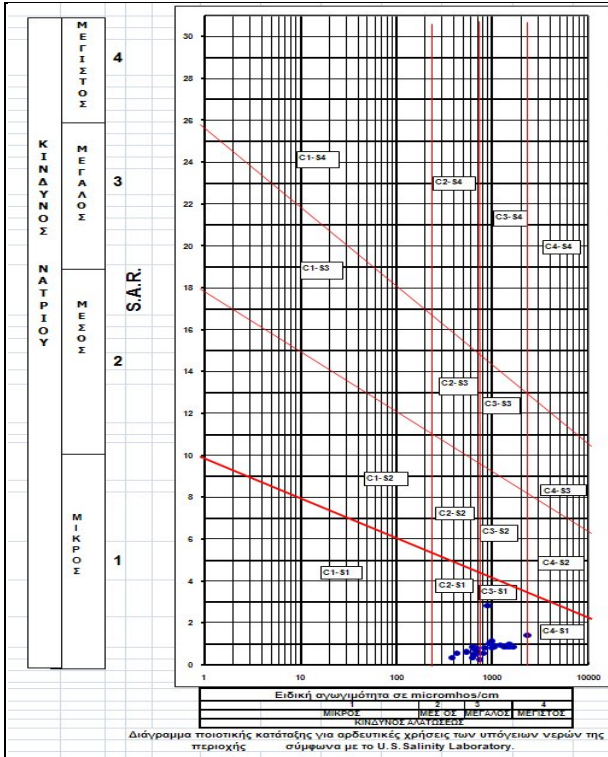
Η ταξινόμηση απεικονίζεται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα στο οποίο είναι τοποθετημένες οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το ποσοστό του προσροφημένου νατρίου του αρδευτικού νερού.

Με βάση αυτή την ταξινόμηση τα νερά κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (Καλλέργης 2000):

α) C2-S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά τα οποία παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Τα νερά αυτά απαιτούν εδάφη με μέτρια απόπλυση που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα P15, P20, P22, P23, P25, P27, P29, P30, P33, P36, P37, P39, P47, P61, P62, P65, PH45, PH49, PH54, PH58, SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6, SP7, AP9, AP10, AP12, AP13, AP16, AP17, AP18, AP21, AP34, AP35, AP40, G41.

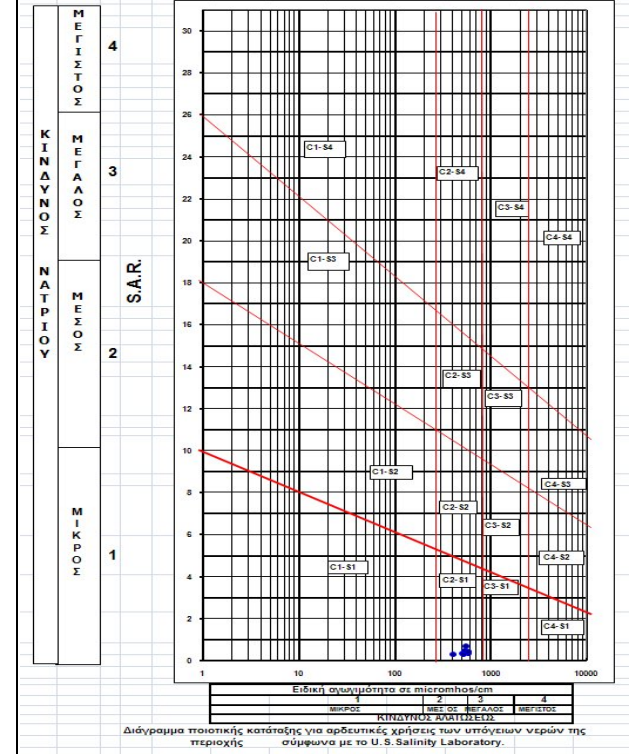
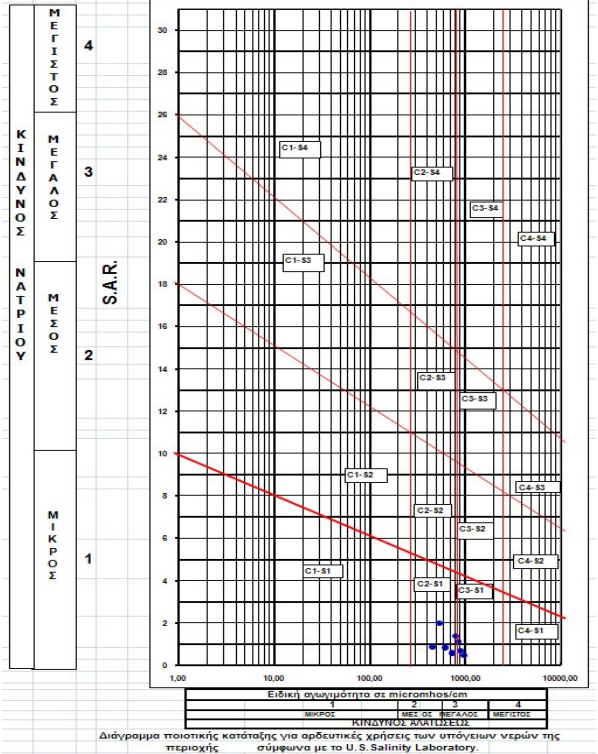
β) C3-S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά τα οποία παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Είναι ακατάλληλα για καλλιέργεια ευαίσθητων φυτών και για άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P24, P26, P31, P32, P43, P48, P50, P51, P52, P55, P56, P57, P60, P64, PH42, PH46, PH53.

γ) C2-S1 & C3-S1: Τα νερά αυτά ανήκουν και στις δύο παραπάνω κατηγορίες και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και των δύο κατηγοριών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα P38, P59, P63, PH44, AP11, AP14.



α. Νερά από ηγαδιά

β. Νερά από γεωτρήσεις

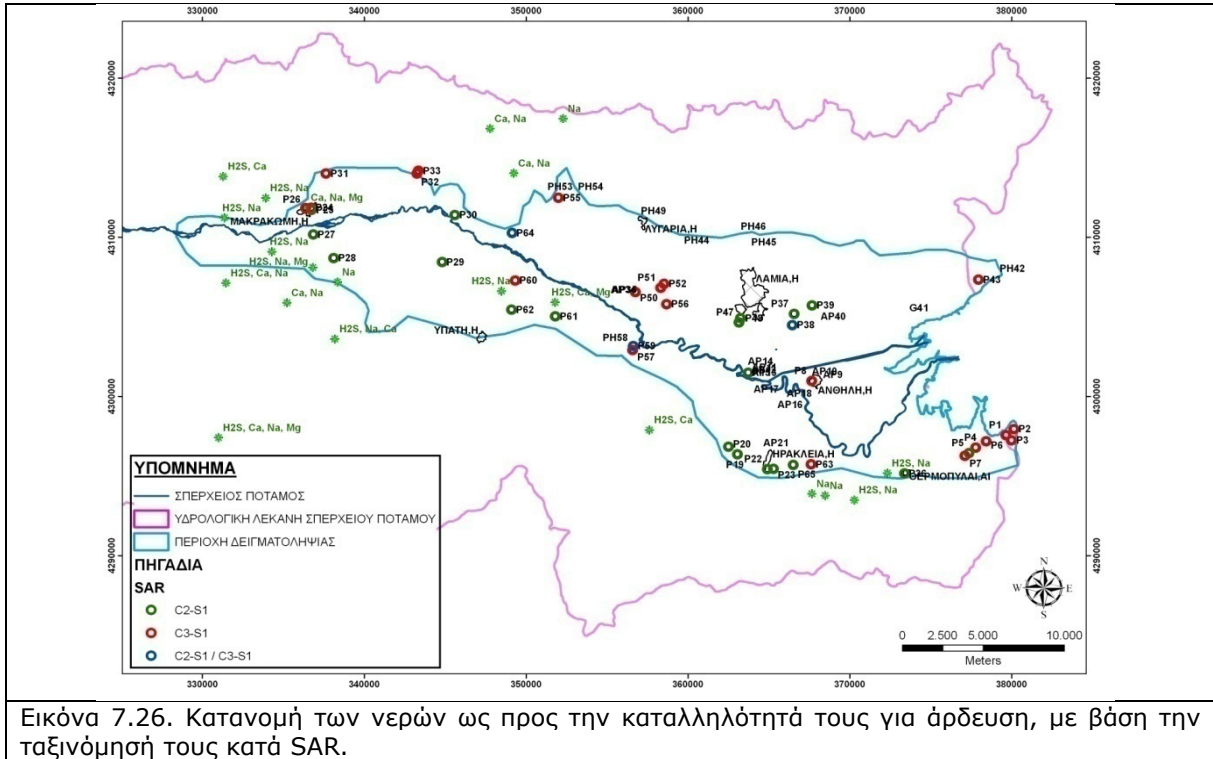


γ. Νερά από πηγές

δ. Επιφανειακά νερά

Εικόνες 7.25α-δ. Το διάγραμμα του Richards, που κατατάσσει τα νερά σε κατηγορίες ανάλογα με τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και την καταλληλότητά τους για άρδευση.

Η χωρική κατανομή των υδάτων ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR, απεικονίζεται στην εικόνα 7.26.



Εικόνα 7.26. Κατανομή των νερών ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR.

Από την κατανομή αυτή συμπεραίνουμε ότι τα πλέον ακατάλληλα για άρδευση νερά (κατηγορία C3-S1) εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της παράκτιας περιοχής, στο κεντρικό τμήμα, βορειοανατολικά της Υπάτης και δυτικά της Λαμίας, καθώς και στην περιοχή βόρεια και βορειοανατολικά της Μακρακώμης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

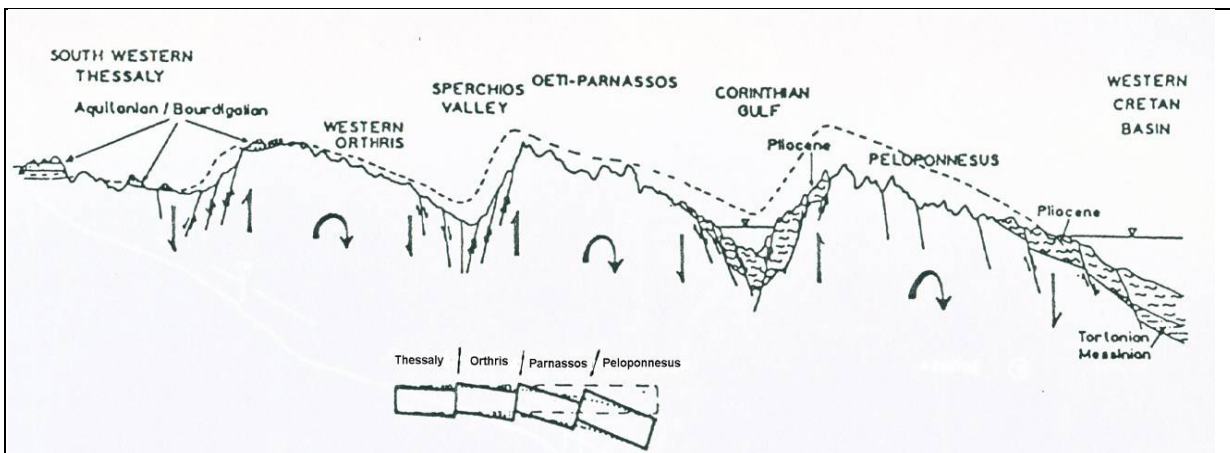
8.1. Γεωμορφολογική εξέλιξη-μορφοτεκτονικά στοιχεία

8.1.1. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη λεκάνης απορροής

Η ρηγματογόνος τεκτονική στην περιοχή έρευνας έλαβε χώρα στα τέλη του Πλειόκαινου με αρχές του Πλειστόκαινου. Τα Πλειοκαινικά ιζήματα, στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου ανυψώθηκαν περισσότερο από 500 m. Τα ορεινά τμήματα στο νότιο όριο της λεκάνης του Σπερχειού, υπέστησαν την τεκτονική δραστηριότητα για ακόμα μεγαλύτερη περίοδο, κατά την διάρκεια του Τεταρτογενούς, γεγονός που προκάλεσε μια κατακόρυφη ανύψωση περίπου 1.800 m. Παρόμοια, Πλειοκαινικές αποθέσεις στη νότια πλευρά του Μαλιακού βρίσκονται σήμερα ανυψωμένες περισσότερο από 500 m (Muhlfeld 1975, Lagios et al. 1988, Αποστολόπουλος 1993, Πούλος και αλ. 2004).

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού, όπως και ο Μαλιακός κόλπος αποτελούν την μορφολογική έκφραση ενός ασύμμετρου τεκτονικού βυθίσματος, το οποίο σχετίζεται με μια ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ και διαρρήξεων ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης στο κέντρο της λεκάνης, παράλληλων με το κανονικό ρήγμα της Αταλάντης. Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης, τα οποία καθορίζουν το βύθισμα της κοιλάδας του Σπερχειού, τεμαχίζουν τους διάφορους σχηματισμούς των κρασπέδων, κόβοντας σχεδόν κάθετα τους άξονες των πτυχώσεων και τις επαφές των διαφόρων τεκτονικών ενοτήτων που είχαν σχηματιστεί κατά τη διάρκεια της εφαιπτομενικής τεκτονικής. Στο κέντρο της λεκάνης εμφανίζονται διαρρήξεις ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης που πιθανόν έχουν επηρεάσει τις προσχωσιγενείς αποθέσεις της πεδιάδας.

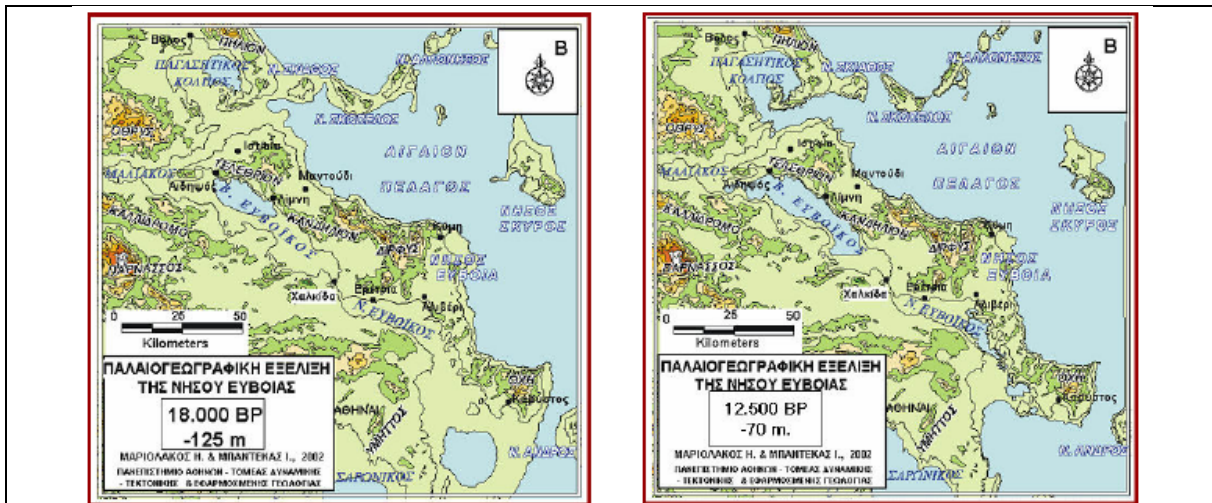
Μια προσπάθεια ερμηνείας των τεκτονικών αυτών κινήσεων γίνεται με την θεωρία των τεκτονικών δίπολων (Εικόνα 8.1) (Μαριολάκος 1976, Dermitzakis & Papanikolaou 1979, Κατσικάτσος 1992). Σύμφωνα με την θεωρία αυτή η Όθρυς περιστρέφεται προς τα νοτιοδυτικά, γεγονός που προκαλεί ανύψωση του βορειοανατολικού τμήματος και βύθιση του νοτιοδυτικού. Η Οίτη περιστρέφεται προς τα νοτιοδυτικά με ανύψωση του βορειοανατολικού και βύθιση του νοτιοδυτικού τμήματος.



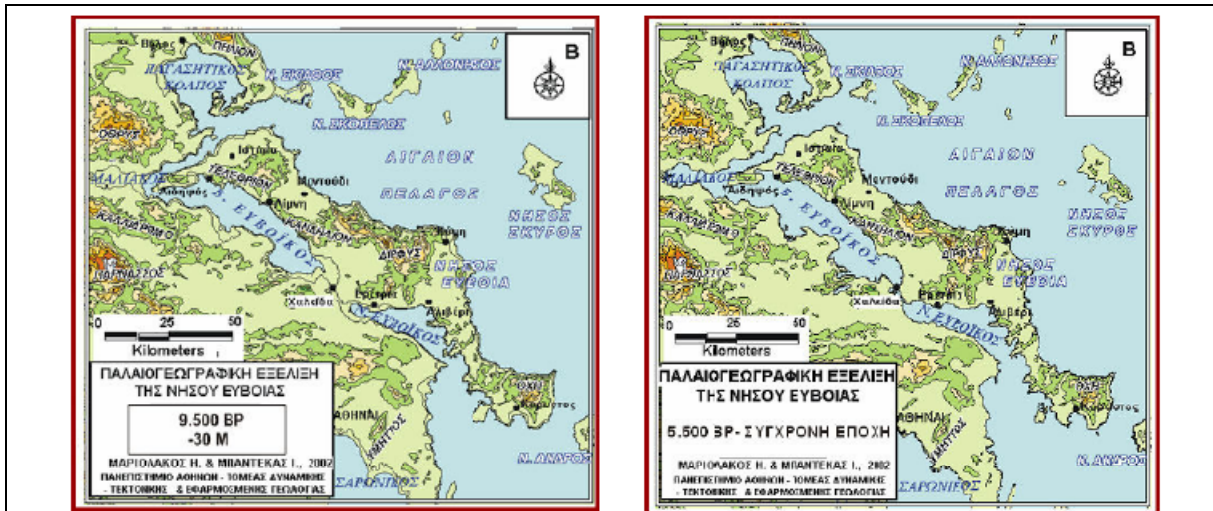
Εικόνα 8.1. Σχηματική παράσταση της θεωρίας των τεκτονικών δίπολων (Μαριολάκος 1976).

Οι δύο ορεινοί όγκοι διαχωρίζονται από το σύνθετο ενεργό τεκτονικό βύθισμα του Σπερχειού ποταμού. Το βασικό ρήγμα της λεκάνης του Σπερχειού που έχει διεύθυνση Α-Δ, εμφανίζεται στο νότιο όριο της λεκάνης, είναι δεξιόστροφο, με κανονική συνιστώσα και χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα, όπως για παράδειγμα το ρήγμα των Κομποτάδων (*Leeder & Jackson 1993, Eliet & Gawthorpe 1995, Zovoili et al. 2004, Densmore et al. 2005, Παράσχου και Βουβαλίδης 2006*).

Ο Μαλιακός κατακλύστηκε από το θαλασσινό νερό και έγινε κόλπος, μόλις πριν 8.000 χρόνια περίπου. Έκτοτε, τον σημαντικότερο ρόλο στην εξέλιξή του παίζει ο Σπερχειός ποταμός με τις προσχώσεις, τις πλημμυρικές παροχές και το δέλτα του (*Dakui et al. 1998, Μαριολάκος και αλ. 2008*). Σύμφωνα δε με πολλούς ερευνητές, τον κυριότερο ρόλο στην διαδικασία απόθεσης ιζημάτων, διαδραμάτισαν κυρίως τα ιζήματα του ποταμού και των παραποτάμων του (*Vita-Finzi 1969, Kraft et al. 1975*) και λιγότερο η διάβρωση που προκαλούσαν οι αλλαγές της στάθμης της θάλασσας (*Bruun 1962, Schwartz 1967*). Τα αρχικά τεκτονικά βυθίσματα δέχτηκαν τα πρώτα ποταμοχερσαία ιζήματα, από τη διάβρωση των γύρω περιοχών και στη συνέχεια κυρίως στο Πλειόκαινο, ακολούθησε περίοδος λιμνοποίησης των βυθισμάτων με σχεδόν παράλληλη εξελικτική πορεία της λεκάνης. Σ' αυτή την περίοδο αποτέθηκαν λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία δέχτηκαν την επίδραση νεώτερων τεκτονικών δυνάμεων και ρηγματώθηκαν κυρίως κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου - Μέσου Τεταρτογενούς. Η συνεχής προέλαση της θάλασσας με την κατάκλιση των παραθαλάσσιων πεδινών περιοχών, ανάγκασε τον προϊστορικό άνθρωπο να ανεβεί σε οροπέδια και να ζήσει δίπλα σε λίμνες και ποταμούς, όπου επικρατεί σχετική περιβαλλοντική ηρεμία. Η ανύψωση της στάθμης θάλασσας κατά 150 μέτρα σε χρονικό διάστημα 12.000 ετών (που προκλήθηκε λόγω της τήξης των παγετώνων) άλλαξε δραματικά το παράκτιο κυρίως τοπίο. Στους παλαιογεωγραφικούς χάρτες που ακολουθούν σημειώνονται οι μετατοπίσεις των ακτογραμμών από τα 18.000 έως τα 5.500 έτη π.Χ. (Εικόνες 8.2 & 8.3 –*Μαριολάκος και αλ. 2008*).



Εικόνα 8.2. Παλαιογεωγραφικοί χάρτες του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου που δείχνουν την εξέλιξη των ακτογραμμών. Στον χάρτη απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 18.000 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 125 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα. Στον χάρτη δεξιά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 12.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 70 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα.



Εικόνα 8.3. Παλαιογεωγραφικοί χάρτες του Βόρειου Ευβοϊκού που δείχνουν την εξέλιξη των ακτογραμμών. Στον χάρτη αριστερά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 9.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 30 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα. Στον χάρτη δεξιά απεικονίζεται η μορφολογία της περιοχής πριν 5.500 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου ίδια με τη σημερινή (Μαριολάκος & Μπαντέκας 2002).

8.1.2. Νεοτεκτονική δομή λεκάνης απορροής και χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου

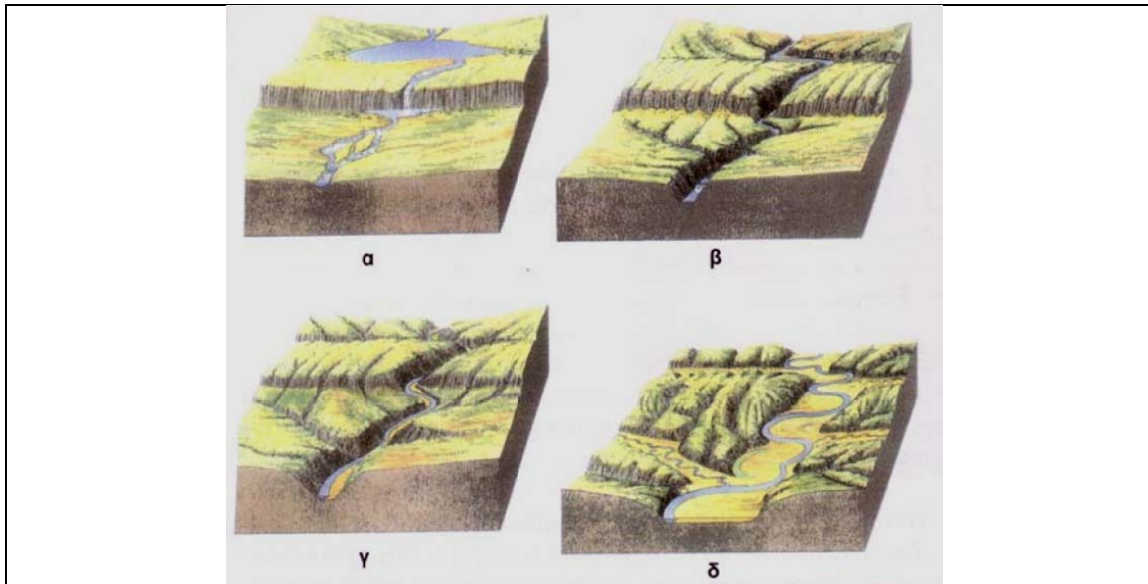
8.1.2.1. Εξέλιξη λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού

Όπως αναφέρθηκε, από την στιγμή που δημιουργήθηκε ο Μαλιακός κόλπος και η ύπαρξη στεριάς στην περιοχή (5.500 π.Χ), ξεκίνησε και η διεργασία δημιουργίας της υδρολογικής λεκάνης.

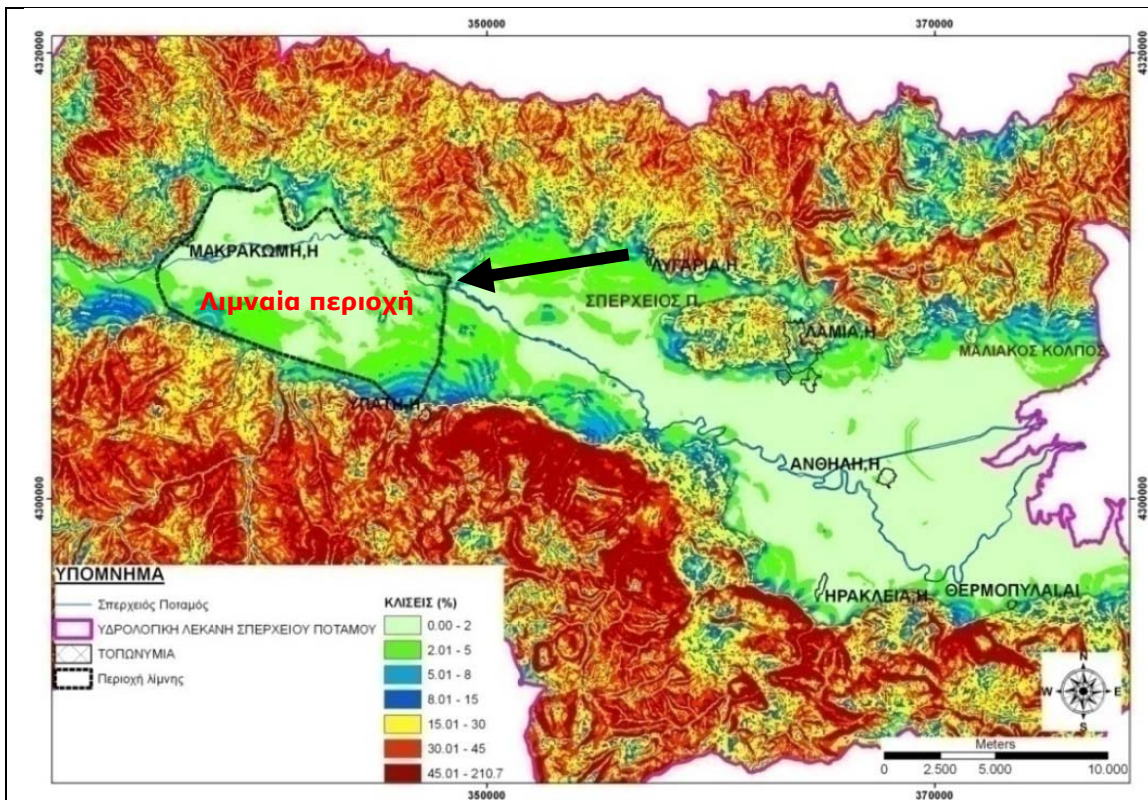
Με βάση τις φωτοερμηνευτικές παρατηρήσεις της περιοχής, είναι πολύ πιθανό η αρχική εξέλιξη του αναγλύφου της λεκάνης να ακολουθήσε τον κύκλο του *Davis* (1899), (Εικόνα 8.4). Με βάση τη θεωρία αυτή αρχικά το ποτάμι βρίσκεται στο στάδιο νεότητας και διαμορφώνει την κοίτη του μέσω της οπισθοδρομούσας διάβρωσης (Εικόνα 8.4 α). Το στάδιο νεότητας λαμβάνει χώρα κυρίως σε ορεινές περιοχές και είναι ένα στάδιο διάβρωσης. Κατόπιν διανύει στάδια ωρίμανσης και σιγά-σιγά οι μορφές του αναγλύφου χάνουν τον οξύληκτο χαρακτήρα τους και εμφανίζονται αποστρογγυλεμένες (Εικόνες 8.4 β & γ). Ως στάδιο ωριμότητας ενός ποταμού λαμβάνεται μία πλημμυρική πεδιάδα. Η απώλεια της μεταφορικής ενέργειας του ποταμού, λόγω των κλιματικών και τεκτονικών μεταβολών, αποτελούν βασικούς παράγοντες για αυτήν την τάση. Τελικά, το ποτάμιο σύστημα ρέει σε πλατιές κοιλάδες, δημιουργώντας μαιάνδρους. Η τελική αυτή μορφή της λεκάνης και του ποταμίου συστήματος, ονομάζεται στάδιο γήρανσης (Εικόνα 8.4 δ), (*Allen 1965, Reineck & Singh 1973, Tziavos 1977, Gawthrop & Leeder 2000, Μισθός 2006*). Σήμερα ο Σπερχειός ποταμός βρίσκεται σε στάδιο ωριμότητας, ενώ αντίθετα οι ποταμοί του νότιου τμήματος, όπως ο Γοργοπόταμος και ο Ασωπός βρίσκονται σε στάδιο νεότητας.

Σύμφωνα με την θεωρία αυτή (*Davis 1899*) και παρατηρώντας ταυτόχρονα τον χάρτη κλίσεων, διαφαίνεται ότι στην περιοχή που βρίσκεται στο σημερινό δυτικό τμήμα της λεκάνης, κατά το στάδιο νεότητας του ποταμίου συστήματος, υπήρχε μία αρκετά μεγάλη

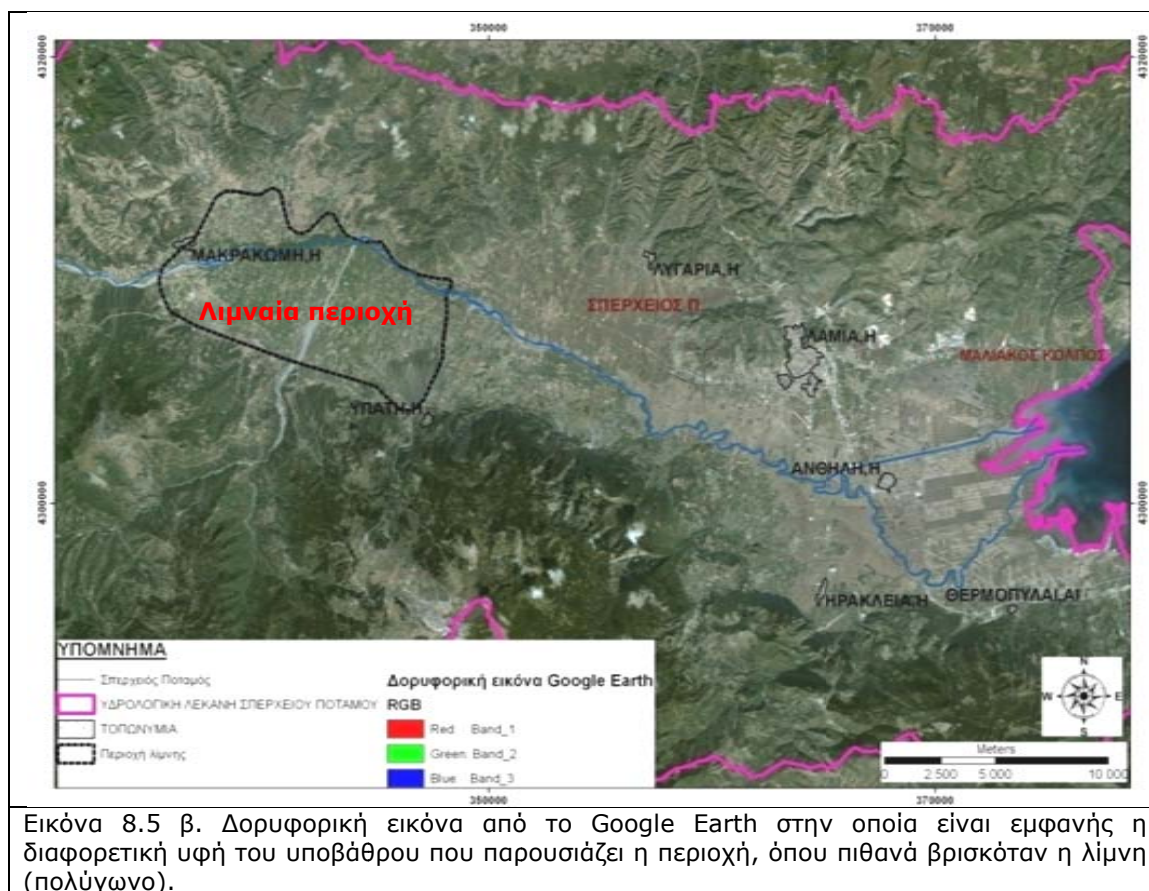
λίμνη η οποία είχε μία στενή έξοδο στο σημείο όπου υπάρχει μία αύξηση των κλίσεων (σημείο που δείχνει το βέλος, Εικόνες 8.5 α & β).



Εικόνα 8.4. Οι 4 φάσεις του κύκλου του Davis (Κατσίκης 2004): (α) Στάδιο νεότητας, (β) & (γ) στάδια ωριμότητας και (δ) στάδιο γήρανσης.



Εικόνα 8.5 α. Ο χάρτης κλίσεων της λεκάνης του Σπερχειού, στον οποίο απεικονίζεται η περιοχή που βρισκόταν η λίμνη (πολύγωνο), καθώς και το σημείο όπου η κλειστή αυτή λίμνη «στενέυε» (μαύρο βέλος). Το σημείο αυτό αργότερα άνοιξε σταδιακά περισσότερο και το νερό της λίμνης άρχισε να διοχετεύεται προς τα κατάντη.



Το ίδιο αποδεικνύει και η παρατήρηση της δορυφορικής εικόνας (Google Earth), όπου η περιοχή που βρισκόταν η λίμνη, απεικονίζεται με τελείως διαφορετική υφή. Παράλληλα, τα ποτάμια που συμβάλλουν στην περιοχή (κυρίως ο Ίναχος) δείχνουν την πιθανή παρουσία ενός παλαιοδέλτα. Η μορφή εκβολής του ποταμού Ίναχου καθώς και η μορφή των ριπιδίων που έχει αποθέσει, αντικατοπτρίζουν και μια πιθανή αλλαγή της εκβολής του, από τα ανατολικά προς τα δυτικά κατά την χρονική περίοδο που άνοιξε περισσότερο αυτή η κλειστή λίμνη και άρχισαν πλέον τα νερά της να παροχετεύονται σε μεγαλύτερες ποσότητες σταδιακά, προς την κατάντη περιοχή. Αυτή η μετατόπιση, πιθανόν να οφείλεται στην κατακόρυφη μετατόπιση ολόκληρης της λεκάνης του Ίναχου, είτε λόγω της δυναμικής που δημιούργησε το άνοιγμα της λίμνης στην περιοχή, είτε λόγω της επίδρασης των νεοτεκτονικών διεργασιών.

Επίσης, σε σχέση και με το υπόλοιπο τμήμα της σημερινής λεκάνης, φαίνεται ότι επικρατούν κυρίως καλλιέργειες σιτηρών και όχι άλλες καλλιέργειες υψηλών απαιτήσεων (για παράδειγμα θερινών αροτραίων καλλιεργειών). Αυτό συμβαίνει διότι η περιοχή περιέχει φτωχά-άγονα εδάφη λιμναίων αποθέσεων, που δίνουν μικρές αποδόσεις όταν επιδέχονται απαιτητικές καλλιέργειες. Τέλος, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής αυτής, συνηγορεί στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας που μπορεί να συνδυαστεί με την ύπαρξη εσθην περιοχή ενός λιμναίου περιβάλλοντος (κεφ. 7, παρ. 7.2.2).

8.1.2.2. Επίδραση της γεωλογικής δομής και των νεοτεκτονικών κινήσεων στις λεκάνες και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής

Οι νεοτεκτονικές κινήσεις που επιδρούν στην περιοχή, επηρεάζουν ολόκληρη την λεκάνη. Όπως απέδειξε η μορφομετρική ανάλυση της περιοχής (κεφ. 5, παρ. 5.1.7), λόγω της βύθισης που υπάρχει στη βόρεια πλευρά της λεκάνης, η κατά βάθος διάβρωση είναι ασήμαντη στις νότιες απολήξεις της Όθρυς. Οι λεκάνες του βόρειου τμήματος είναι σχήματος V, με μικρές κλίσεις, σχετικά φαρδιές λεκάνες και μικρού μήκους. Τα υψόμετρα αυτών των λεκανών ξεκινούν περίπου από τα 650 m και κατέρχονται στην έξοδο τους περίπου στα 200 m, όπου τα ρέματα καταλήγουν ήπια στην αλουβιακή πεδιάδα και στην συμβολή τους με τον Σπερχειό. Τα ριπίδια που σχηματίζονται στην έξοδο των λεκανών αυτών, είναι πολύ μικρής έκτασης και σήμερα είναι ανενεργά, εξαιτίας της πολύ μικρής τροφοδοσία νερού που παρουσιάζουν τα ρέματα. Αντίθετα, στο νότιο τμήμα της λεκάνης, στους ορεινούς όγκους του Καλλίδρομου, της Οίτης και του Τυμφρηστού, η μορφολογία είναι εντελώς διαφορετική, λόγω της έντονης τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής. Τα ανάντη αυτών των λεκανών είναι πιο επίπεδα και διευρυμένα σε σχέση με τα κατόντη, ενώ προς το κέντρο τους είναι πολύ πιο απότομες, με μεγάλες κλίσεις, έντονη διάβρωση και βαθιά φαράγγια (canyons), όπως για παράδειγμα ο Γοργοπόταμος, με κατολισθήσεις και καταπτώσεις. Επίσης, οι ανυψωτικές κινήσεις οδηγούν στην δημιουργία επιμήκων, μικρών λεκανών, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται απότομα τριγωνικά πρηνή (*Burbank & Anderson 2001*). Στην έξοδο αυτών των λεκανών σχηματίζονται εκτεταμένα αλουβιακά ριπίδια που κλίνουν απότομα προς τον Σπερχειό. Αυτά τα ριπίδια, σε αντίθεση με του βόρειου τμήματος, είναι σήμερα ενεργά.

Το μικρό σχετικά μήκος και η μεγάλη κλίση αυτών των λεκανών, σε περίοδο έντονων βροχοπτώσεων, οδηγεί στην παροχέτευση μεγάλων ποσοτήτων νερού απότομα στον Σπερχειό. Αυτός, λόγω και των έντονων μαιανδρισμών που παρουσιάζει στον κάτω ρου του, δεν έχει την δυνατότητα να διοχετεύσει γρήγορα τα νερά αυτά προς τον Μαλιακό κόλπο, με άμεσο αποτέλεσμα την δημιουργία πλημμυρών. Παράλληλα, η έντονη διάβρωση, εξαιτίας των μεγάλων κλίσεων, αυξάνει σημαντικά τις στερεοπαροχές των ορεινών κλάδων κατά την διάρκεια μεγάλων καταιγίδων. Η διαδοχική όμως μείωση της κλίσης προς τα χαμηλότερα μέχρι την κεντρική κοίτη, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μέσα σε αυτήν. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανύψωση της στάθμης των υδάτων και η υπερχείλιση τους. Η αυξημένη στερεοπαροχή επιπλέον συντελεί στην μείωση της ταχύτητας ροής της κεντρικής κοίτης, επιβραδύνοντας την αποστράγγιση των υδάτων και αυξάνοντας την υπερχείλιση.

Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι σε ολόκληρη την λεκάνη του ποταμού Σπερχειού υπάρχουν τρία είδη ποτάμιων αποθέσεων: (α) τα αλουβιακά ριπίδια, τα οποία βρίσκονται κατά μήκος των απολήξεων των ορεινών όγκων και χαρακτηρίζονται από αδρόκοκκα υλικά, ελάχιστα στρωματοποιημένα και τα οποία περιέχουν κροκάλες και μικρούς ογκόλιθους, (β) οι πλημμυρικές αποθέσεις πεδιάδας, τα οποία αναπτύσσονται από το ποτάμιο σύστημα του Σπερχειού που βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας και αποτελούνται από κροκάλες και αιωρούμενα στερεά σωματίδια καλά στρωματοποιημένα, (γ) τα παράκτια ιζήματα του δέλτα, που αποτελούνται από λεπτόκοκκα κυρίως υλικά, όπου κυριαρχούν τα αιωρούμενα στερεά, ενώ η άμμος βρίσκεται μόνο στον πυθμένα. Τα λασπώδη αυτά ιζήματα είναι πολύ καλά στρωματοποιημένα.

8.2. Ανίχνευση μεταβολών της ακτογραμμής και της ροής του Σπερχειού ποταμού

8.2.1. Εισαγωγή

Αρκετοί ιστορικοί όπως ο Ηρόδοτος (*Ηρόδοτου Ιστορία* 1989 - 480 π.Χ.), γεωγράφοι-περιηγητές όπως ο Στράβωνας και ο Πausανίας (*Στράβων- Γεωγραφικά* 1994 - 50 π.Χ. έως 20 μ.Χ., *Πausανίας-Ελλάδος Περιήγησις* 1981 -2^{ος} αιώνας μ.Χ.) και πολλοί νεώτεροι επιστήμονες (*Leake 1835, Gordon 1838, Phillipson 1950, Marinatos 1951, Pritchett 1958, Tziavos 1977, Zamani & Maroukian 1979 & 1980, Habicht 1985, Kraft et al 1987, Kraft & Rapp 1988, Πούλος και αλ. 2004, Psomiadis et al. 2005b, Σίγαλος & Αλεξούλη-Λειβαδίτη 2006α, Vouvalides et al. 2009*) έχουν ασχοληθεί, από αρχαιότατων χρόνων μέχρι και σήμερα, με τις διεργασίες και την εξέλιξη που είχε στο πέρασμα του χρόνου, τόσο ο Σπερχειός ποταμός, όσο και η παράκτια περιοχή και το δέλτα του στον Μαλιακό κόλπο.

Η υποχώρηση ή προέλαση της ακτογραμμής και γενικότερα η ιστορική εξέλιξη της οφείλεται, με βάση τις ιστορικές περιγραφές, αναφορές και χάρτες, στους εξής παράγοντες: (α) στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας από το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου, μέχρι σήμερα και ιδιαίτερα κατά τον τελευταίο αιώνα λόγω της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, (β) στις τεκτονικές κινήσεις (ανοδικές και καθοδικές) που χαρακτηρίζουν την περιοχή, (γ) στη διάβρωση από τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την κυματική δράση και τα παράκτια ρεύματα, (δ) στην απόθεση ιζημάτων χερσαίας προέλευσης και (ε) στις άμεσες και έμμεσες ανθρώπινες επεμβάσεις.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την διαδικασία ανίχνευσης των μεταβολών της ροής του Σπερχειού ποταμού και της ακτογραμμής, είναι ιστορικές βιβλιογραφικές αναφορές και καταγραφές, χάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες (Landsat, Quickbird και ERS), όπως παρουσιάζονται στο πίνακα 7.1.

8.2.2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία προσέγγισης των μεταβολών που έχουν επέλθει στην παράκτια περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού, χωρίστηκε, με βάση την επεξεργασία και αξιολόγηση των υπάρχοντων δεδομένων, σε τρεις περιόδους προσέγγισης και μελέτης, οι οποίες είναι:

α) Η ποιοτική προσέγγιση των μεταβολών, που αφορά την περίοδο από το 18.000 π.Χ. έως το 1852, όπου τα στοιχεία ελήφθησαν από αναφορές κειμένων και παλαιούς χάρτες, οι οποίοι δίνουν χρήσιμα αλλά ελεγχόμενα ακριβή στοιχεία για την περιοχή. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός της εξέλιξης της παράκτιας περιοχής με βάση αυτά τα στοιχεία δεν παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια.

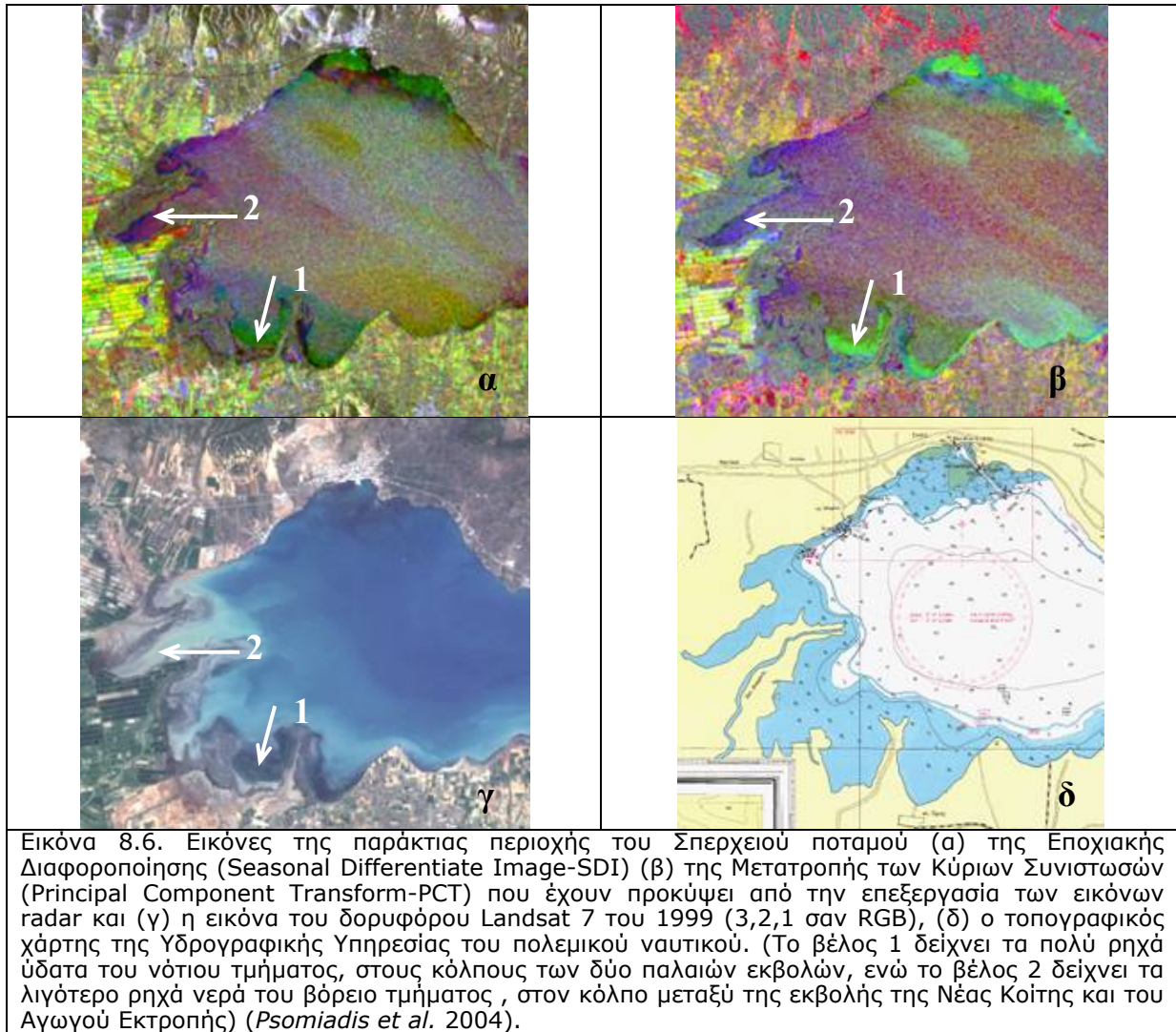
β) Η ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση των μεταβολών, που αφορά την περίοδο από το 1852 έως σήμερα και η οποία βασίζεται σε χάρτες με σύστημα συντεταγμένων, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, που δίνουν την δυνατότητα της ποσοτικής εκτίμησης των μεταβολών, καθώς και του υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Ειδικότερα από το 1945 έως και σήμερα, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Οι δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Landsat χρησιμοποιήθηκαν για την συμπλήρωση των αεροφωτογραφιών στα σημεία που οι αεροφωτογραφίες δεν κάλυπταν την ακτογραμμή, διότι η μικρή χωρική διακριτική τους

ικανότητα (28 m) δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια κατά την φωτοερμηνεία. Τέλος, οι εικόνες radar του ERS-2, όπως και οι εικόνες του Landsat (φασματικά κανάλια 1, 2 και 3), χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την καλύτερη οριοθέτηση της ακτογραμμής, στα σημεία των αβαθών περιοχών (Εικόνα 8.6), διότι τα υπόλοιπα δεδομένα δεν αποτυπώνουν τόσο καλά αυτές τις διαφοροποιήσεις.

γ) Η εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης που θα έχει η περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, λόγω των βιοκλιματικών αλλαγών, στις χαμηλές παράκτιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας κατά τον επόμενο αιώνα.

Πίνακας 8.1. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την διαδικασία ανίχνευσης των μεταβολών της ακτογραμμής.

Τύπος δεδομένων	Ημερομηνία Έκδοσης/Λήψης	Κλίμακα	Πηγή
Χάρτες Παλαιογεωγραφικής εξέλιξης	18.000-4.500 π.Χ.	άγνωστη	Μαριολάκος και αλ. 2008
Χάρτης μάχης Θερμοπυλών	480 π.Χ.	άγνωστη	Ηροδότου Ιστορία 1989, Zamani & Maroukian 1979, Μαριολάκος και αλ. 2008
Χάρτης Στράβωνα	1 ^{ος} αιώνας	άγνωστη	Στράβωνα-Γεωγραφικά 1994
Χάρτης του G.A. Olivier	17 ^ο αιώνα (αναφορά στην περίοδο πριν το 997)	άγνωστη	Βασισμένος σε χάρτη του B. Du Bocage (17 ^ο αιώνα)
Χάρτες του Ρήγα Βελεστινλή (Φεραίου)	1797 (αναφορά στην περίοδο της μάχης των Θερμοπυλών (480 π.Χ.))	άγνωστη	Έκδοση από την εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ (2002)
Χάρτης William Martin Leake	1805	άγνωστη	Zamani & Maroukian 1979
Χάρτης του I. Laurengabrio	1825	άγνωστη	Αδάμ 2001, Δαβανέλλος & Σταυρόπουλος 2005
Γαλλικός Γεωγραφικός Χάρτης (Imprime chez Karpelin Quai Voltaire 17 Paris)	1852	1:200.000	Αρχείο Εργαστηρίου Ορυκτολογίας & Γεωλογίας Γ.Π.Α.
Τοπογραφικός Χάρτης	1908	1:75.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Φύλλο Λαμία)
Αεροφωτογραφίες	1945	1:42.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
Αεροφωτογραφίες	1960	1:30.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
Τοπογραφικός χάρτης	1971	1:50.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Φύλλο Στυλίσ)
Δορυφορική εικόνα Landsat 5	26/7/1984	1:100.000	http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
Αεροφωτογραφίες	07/07/1986	1:30.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
Τοπογραφικός χάρτης	1990	1:50.000	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Φύλλο Στυλίσ)
Ορθοφωτοχάρτες	1997	1:10.000	Τοπογραφική Υπηρεσία Υπουργείου Γεωργίας
Δορυφορική εικόνα Landsat 7	28/7/1999	1:100.000	http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
Δορυφορικές εικόνες radar ERS-2	18/6/1998 14/1/1999 21/10/1999	1:75.000	Αρχείο κ. Παρχαριδής
Δορυφορική εικόνα Quickbird	30/7/2007	1:20.000	Google Earth
Ορθοφωτοχάρτες	2007	1:10.000	Υπουργείο Γεωργίας
Δορυφορική εικόνα Landsat 5	26/7/2007	1:100.000	http://veryspatial.com/2008/04/landsat-archive



Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εμβαδών, που βασίζεται στη μέτρηση των εμβαδών των περιοχών που είτε έχουν προσχωθεί είτε έχουν διαβρωθεί. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής στην παράκτια ζώνη, με μέτρηση των εμβαδών των περιοχών που προσχώθηκαν ή διαβρώθηκαν σε μια χρονική περίοδο και του μήκους της ακτογραμμής. Ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής, υπολογίστηκε με βάση τη σχέση (Δουκάκης 2005):

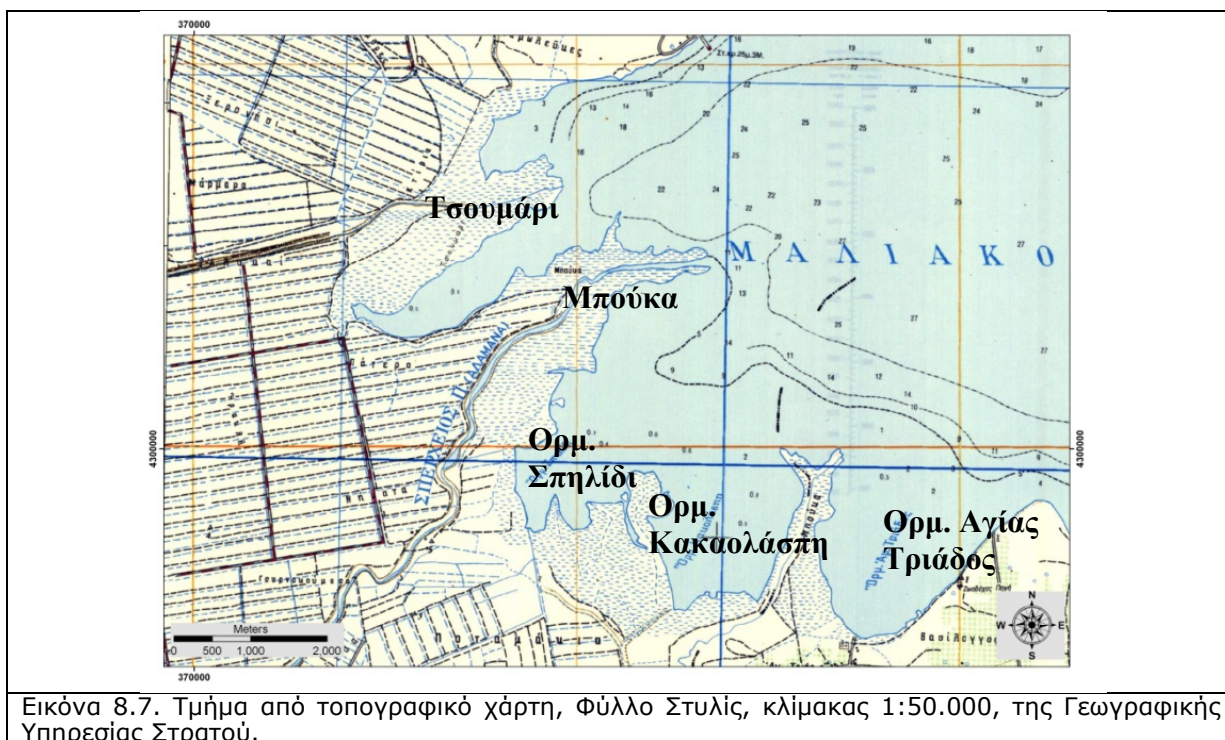
$$R = \frac{\Sigma E_{\pi} - \Sigma E_{\delta}}{L} * T$$

Όπου: ΣE_{π} = Το συνολικό εμβαδόν των περιοχών που προσχώθηκαν, ΣE_{δ} = Το συνολικό εμβαδόν των περιοχών που διαβρώθηκαν, L = το μήκος μιας μέσης ακτογραμμής, μεταξύ δύο χρονικών στιγμών (κατά προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως το μικρότερο εκ των δύο μηκών της ακτογραμμής στις αντίστοιχες περιόδους), T = η χρονική περίοδος μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών.

Με την μέθοδο αυτή υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της παράκτιας περιοχής με την μέτρηση των εμβαδών των περιοχών που προσχώθηκαν ή διαβρώθηκαν σε μια χρονική περίοδο και το μήκος της ακτογραμμής. Ως αρχική θέση ακτογραμμής ορίστηκε η εποχή του 4.500 π.Χ. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω από το 4.500 π.Χ. μέχρι και το 1852 γίνεται μία ποιοτική προσέγγιση, ενώ από το 1852 έως και σήμερα γίνεται μία ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση του ρυθμού μεταβολής.

Για την εκτίμηση των περιοχών που θα κατακλειστούν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στο μέλλον, χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και ο χάρτης κλίσεων.

Σαν σημεία αναφοράς στην παράκτια περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν με βάση τους Τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, η σημερινή θέση των πόλεων Λαμίας, Ανθήλης, Αγίας Μαρίνας, Θερμοπυλών και Ηράκλειας. Επίσης, στο υπόμνημα αναφέρονται: α) ως Παλιά Κοίτη του Σπερχειού, η παλιά εκβολή κοντά στην Αγία Τριάδα, ανάμεσα στον όρμο «Αγίας Τριάδος» και στον όρμο «Κακολάσπη», β) ως Νέα Κοίτη η σημερινή θέση εκβολής του, βόρεια του Όρμου «Σπηλίδι», στη θέση «Μπούκα» και γ) ως Εκβολή Αγωγού Εκτροπής ή Υπερχειλιστής, η τεχνητή εκβολή του ποταμού στο βόρειο άκρο του κόλπου στη θέση «Τσουμάρι» (Εικόνα 8.7).



Εικόνα 8.7. Τμήμα από τοπογραφικό χάρτη, Φύλλο Στυλίσ, κλίμακας 1:50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.

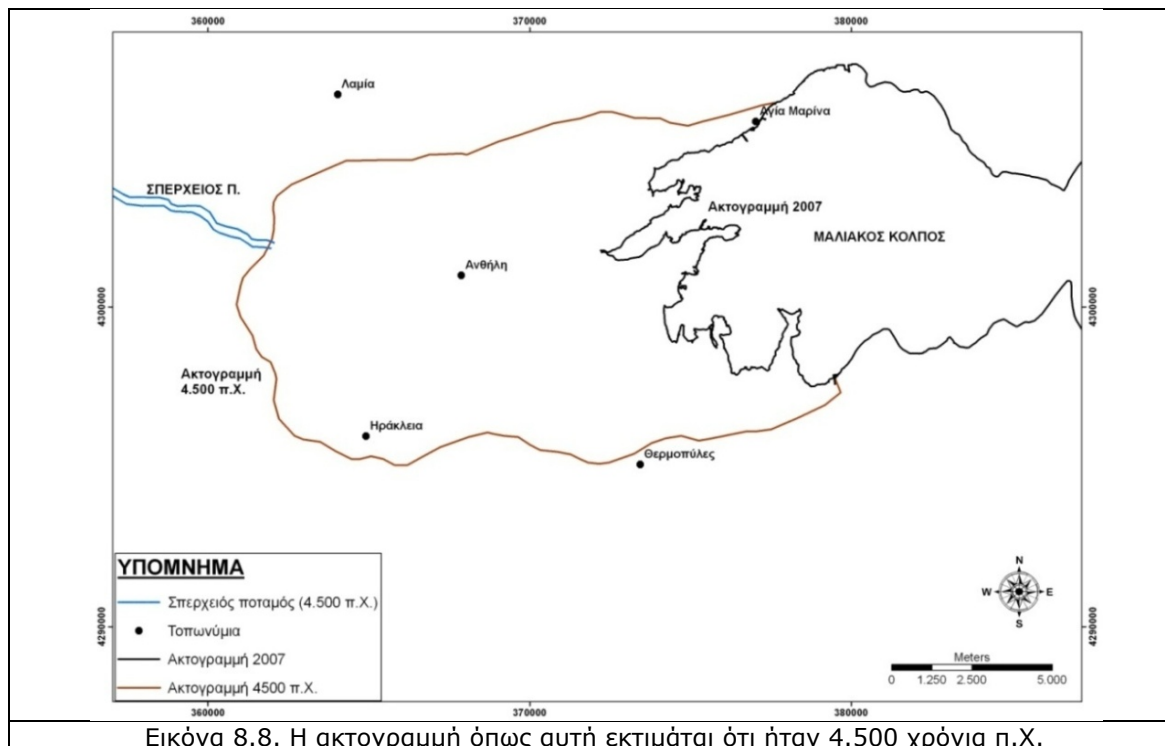
8.2.3. Ποιοτική καταγραφή – 4.500 π.Χ. έως 1852 μ.Χ.

Η ποιοτική προσέγγιση των μεταβολών, αφορά την περίοδο από το 18.000 π.Χ. έως το 1852, όπου τα στοιχεία ελήφθησαν από αναφορές κειμένων και παλαιούς χάρτες, οι οποίοι δίνουν χρήσιμα αλλά ελεγχόμενα ακριβή στοιχεία για την περιοχή. Με βάση αυτά τα στοιχεία πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των δεδομένων και εκτιμήθηκαν τα βήματα εξέλιξης του

ποταμού Σπερχειού και του δέλτα που σχηματίζεται στην παράκτια περιοχή. Συνεπώς, οι ποσοτικοί υπολογισμοί για αυτή την περίοδο πραγματοποιήθηκαν κατά προσέγγιση και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν σχετική ακρίβεια, ανάλογα και με την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων.

8.1.3.1. Έτος 4.500 π.Χ.

Το γεγονός της ανόδου της θάλασσας που έλαβε χώρα κατά την τήξη των παγετώνων, την χρονική περίοδο του 18.000 π.Χ., αποδεικνύεται και από έρευνες πολλών ερευνητών όπως των Wace & Thomson (1912), οι οποίοι, με στοιχεία που βρήκαν από την περιοχή, υπολόγισαν ότι η κοιλάδα του Σπερχειού κατοικήθηκε από την 6^η χιλιετία π.Χ., την Νεολιθική εποχή, και υποστηρίζουν ότι ο Νεολιθικός οικισμός Λιανοκλαδίου – Αμουρίου, θα πρέπει να ήταν πολύ κοντά στη θάλασσα (Πλατής 1973, Καπνιάς 2000). Σύμφωνα με τις παραπάνω περιγραφές, η πιθανή θέση της ακτογραμμής και της κοίτης του Σπερχειού ποταμού το 4.500 π.Χ., απεικονίζεται στην εικόνα 8.8.



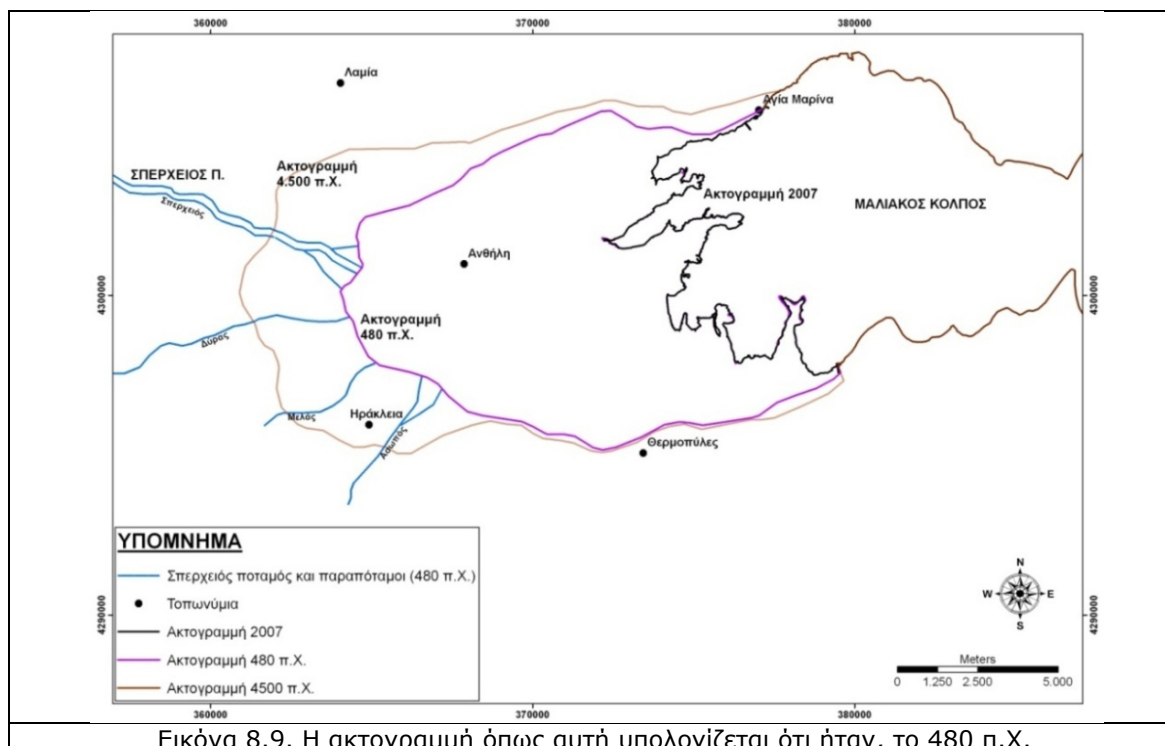
8.1.3.2. Έτος 480 π.Χ.

Στις περιγραφές του Ηρόδοτου αναφέρεται ότι ο Σπερχειός ποταμός εξέβαλε στην βόρεια πλευρά του Μαλιακού κόλπου, ενώ περίπου 3,5 km (20 στάδια) νότια του ποταμού Δύρα (σημερινός Γοργοπόταμος) βρισκόταν ο ποταμός Μέλας (σημερινό ρέμα Ξεριάς). Περίπου 1 km (5 στάδια) πιο μπροστά βρισκόταν η πόλη της Τραχίνας. Η Τραχίνα είναι η μοναδική πόλη της περιοχής η οποία αναφέρεται, αν και υπάρχουν αμφιβολίες από τον Όμηρο, και τοποθετείται στα υψώματα γύρω από τον Ασωπό, στα νοτιοανατολικά κράσπεδα της κοιλάδας (Δακορώνια 1990). Οι Πέρσες, όπως αναφέρεται σε αρκετά ιστορικά κείμενα που

περιγράφουν την μάχη των Θερμοπυλών, στρατοπέδευαν στην περιοχή αυτή διότι ήταν η πιο πλατειά περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού. Όχι πολύ μακριά από αυτό το σημείο ο Ηρόδοτος περιγράφει την ύπαρξη του Ασωπού ποταμού (Εικόνα 8.9).

Τα τρία αυτά ποτάμια (Δύρας, Μέλας και Ασωπός) εκείνη την εποχή, χύνονταν απευθείας στον Μαλιακό κόλπο σε αντίθεση με σήμερα, όπου αποτελούν παραπόταμους του Σπερχειού. Μετά την κοιλάδα του Ασωπού ποταμού, σε απόσταση 4 km, ξεκινούσε το πέρασμα των Θερμοπυλών. Συγκεκριμένα ο Ηρόδοτος αναφέρει τρία αλληπάλληλα στενά περάσματα, τα οποία ονομαζόντουσαν (από πολλούς συγγραφείς) ως «Πύλες». Η δυτική Πύλη ήταν τόσο στενή που μόνο μία άμαξα μπορούσε να περάσει. Προς τα ανατολικά, 3 km (15 στάδια) νοτιότερα, υπήρχε η μεσαία πύλη, όπου οι Σπαρτιάτες οργάνωσαν την άμυνά τους κατά την διάρκεια της μάχης των Θερμοπυλών. Το πέρασμα αυτό ήταν λίγο πιο πλατύ από τα άλλα δύο, αλλά επιλέχθηκε ως πέρασμα από τον Λεωνίδα, διότι ήταν το πιο καλά προστατευόμενο. Στην περιοχή ανάμεσα σε αυτές τις δύο Πύλες, βρισκόταν η αρχαία πόλη της Ανθήλης. Η ανατολική Πύλη βρισκόταν 2,5 km ακόμα πιο ανατολικά. Επίσης, στην γενική περιγραφή που δίνει ο Ηρόδοτος, για τις Θερμοπύλες αναφέρει ότι προς τα δυτικά υπωνόταν βουνό, απρόσιτο, ψηλό και απότομο που εκτεινόταν μέχρι την Οίτη, ενώ προς τα ανατολικά ο δρόμος εφάπτονταν σχεδόν με τη θάλασσα που είχε ρηχά νερά (Green 1970, Tziavos 1977, Ηροδότου Ιστορία 1989, Μαργωμένου-Λεωνιδοπούλου 2001).

Περίπου τα ίδια αναφέρει στις περιγραφές του και ο Στράβωνας (έζησε από το 67 π.Χ. έως το 23 μ.Χ.), ο οποίος αναφέρεται συχνά στο Σπερχειό ποταμό που εξέβαλε ανάμεσα στη Λαμία και τις Θερμοπύλες και απείχε από τη Λαμία περίπου 7km (30 στάδια) διασχίζοντας μια πεδιάδα που κατεβαίνει έως τον Μαλιακό κόλπο. Αναφέρει επίσης ότι οι Θερμοπύλες απείχαν εβδομήντα στάδια από το Κήναιο και οι εκβολές του Σπερχειού



Εικόνα 8.9. Η ακτογραμμή όπως αυτή υπολογίζεται ότι ήταν, το 480 π.Χ.

απέιχαν μέσω θάλασσας από τις Πύλες, 10 στάδια (Εικόνα 8.10). Η αποτύπωση της περιοχής των εκβολών του Σπερχειού για αυτήν την περίοδο (480 π.Χ.), επιχειρήθηκε από πολλούς ιστορικούς και γεωγράφους, με βασικότερο παράδειγμα τον χάρτη του Στράβωνα (Στράβωνα-Γεωγραφικά 1994) καθώς και τον χάρτη του Ρήγα Βελεστινλή (Φεραίου), ο οποίος δημιουργήθηκε περίπου το 1796, βασισμένος σε παλαιότερες περιγραφές και απεικονίζει την περιοχή του κόλπου κατά την περίοδο της μάχης των Θερμοπυλών (Εικόνα 8.11 α & β).



Εικόνα 8.10. Χάρτης του Μαλιακού κόλπου και του υδρογραφικού δικτύου με βάση τις περιγραφές του Στράβωνα. Είναι εμφανές ότι οι ποταμοί Δύρας (Γοργοπόταμος), Μέλας (Ξεριάς) και Ασωπός εξέβαλαν απευθείας στον Μαλιακό κόλπο (Στράβων-Γεωγραφικά 1994).

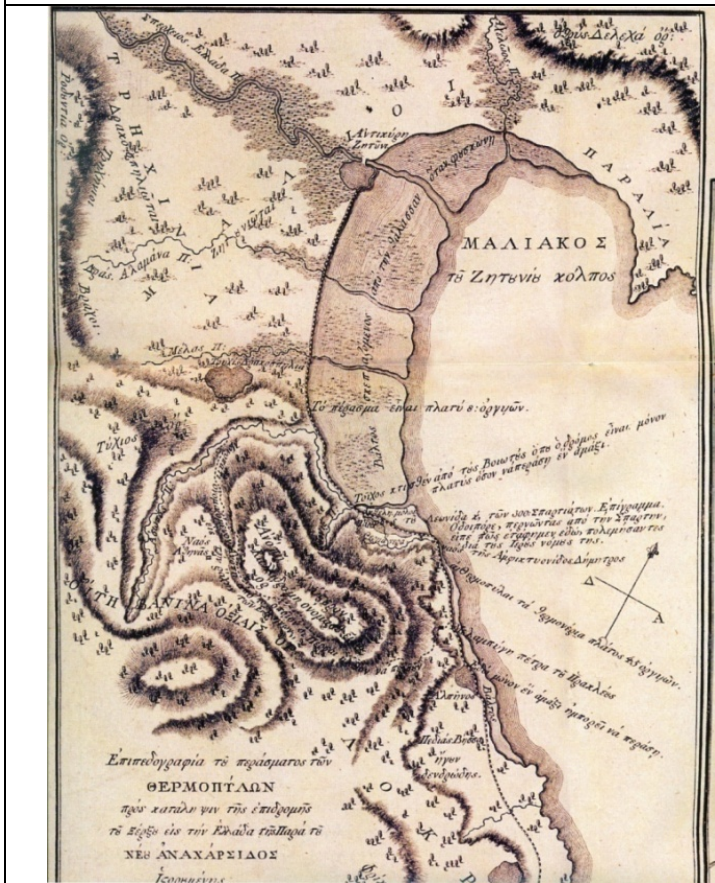
8.1.3.3. Χρονική περίοδος από 480 π.Χ. έως 1800

Για την περίοδο που ακολούθησε και μέχρι τις αρχές του 18^{ου} αιώνα, αναφορές για την περιοχή της παράκτιας ζώνης γίνονται περίπου τον 10^ο αιώνα με την μάχη του Σπερχειού μεταξύ των Βυζαντινών του Αυτοκράτορα Βασιλείου Β' (Βουλγαροκτόνου) και των Βουλγάρων του Τσάρου Σαμουήλ (997 μ.Χ.), ο οποίος έληξε με νίκη των Βυζαντινών (Πανταζής 2005). Η μάχη αυτή αναφέρεται κατά κύριο λόγο από το έργο του Ιωάννη Σκυλίτζη ενός ανώτατου Βυζαντινού υπαλλήλου που συνέγραψε προς τα τέλη του 11^{ου} αιώνα τη χρονογραφία "Σύνοψις Ιστοριών" η οποία καλύπτει την εποχή από το 811 έως το 1057.

Σύμφωνα με τις περιγραφές που υπάρχουν κατά την περίοδο της μάχης, αναφέρεται ότι οι ποταμοί Ασωπός, Μέλας (σημερινό ρέμα Ξεριάς) και Δύρας (σημερινός Γοργοπόταμος) ήταν πλέον παραπόταμοι του Σπερχειού. Με τελείως πρόχειρους υπολογισμούς, αναφέρεται ότι η ακτογραμμή προχώρησε με τις προσχώσεις προς τα ανατολικά με βήμα 2.200 m κάθε 500 χρόνια (μιας και σήμερα έχει προχωρήσει περίπου 11km), συνεπώς το 997 θα πρέπει να μετακινήθηκε 6.500m περίπου προς τα ανατολικά, πολύ κοντά δηλαδή στο σημείο που βρίσκεται η σημερινή Ανθήλη. Την ίδια προέλαση ακτογραμμής αναφέρει και ο Βορτσέλας (1973) που εκτιμά ότι από την περίοδο των περσικών πολέμων μέχρι τη μάχη του 997, η παραλία του Μαλιακού κόλπου μετατοπίστηκε 6 χιλιόμετρα και πλέον προς ανατολάς.



(α)



(β)

Εικόνα 8.11. Δύο χάρτες από την «Χάρτα» του Ρήγα Βελεστινλή, με ημερομηνία έκδοσης τα τέλη του 17^{ου} αιώνα που απεικονίζουν τόσο την παράκτια περιοχή, όσο και την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού.

(α) Απόσπασμα του φύλλου Νο 2 της Χάρτας όπου απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, ο Μαλιακός (Μελικός) κόλπος, καθώς και ο Σπερχειός ποταμός ο οποίος εξέβαλε στην βόρεια πλευρά του κόλπου.

(β) Απόσπασμα από το Φύλλο Νο 3 της Χάρτας, όπου απεικονίζεται η μορφή του Μαλιακού κόλπου της νότια ορεινής περιοχής και του υδρογραφικού δικτύου κατά την περίοδο της μάχης των Θερμοπυλών το 480 π.Χ. (Χάρτα του Ρήγα 1797, εκδόσεις ΤΑ ΝΕΑ 2002).

Επίσης, αναφέρεται ότι στα δυτικά αυτής της ακτογραμμής υπήρχαν εκτεταμένοι βάλτοι και συνεπώς ήταν αδύνατο να υπάρχει δρόμος που θα συνέδεε απευθείας την δυτική έξοδο των Θερμοπυλών με τη Λαμία, η οποία τότε ονομαζόταν Ζητούνι. Για το λόγο αυτό ο Σαμουήλ κατά την επιστροφή του και επειδή χρειαζόταν ένα δρομολόγιο πεδινό και ομαλό, εικάζεται ότι ακολούθησε την διαδρομή Αταλάντη-Ελάτη-Σκάρφεια και μέσω των Θερμοπυλών. Το δρομολόγιο αυτό ήταν μέρος Ρωμαϊκού στρατιωτικού δρόμου, τον οποίο διατήρησαν και οι Βυζαντινοί, καθώς και διάφορες βαρβαρικές φυλές για την εισβολή τους στην κυρίως Ελλάδα. Από την δυτική έξοδο ο αρχαίος δρόμος έβγαινε νοτίως του Ασωπού και περνώντας τον ποταμό αυτό έφθανε στην αρχαία πόλη Ηράκλεια, η οποία κτίστηκε το 426 π.Χ. από τους Σπαρτιάτες. Η Ηράκλεια χτίστηκε στα ερείπια της αρχαίας πόλης Τραχίνας, της οποίας η συγκεκριμένη θέση ήταν εκεί που βρίσκεται το σημερινό χωριό Άνω Βαρδάτες, από όπου διέρχεται σήμερα η σιδηροδρομική γραμμή (Εικόνες 8.12).

Η θέση της σημερινής Ηράκλειας είναι αρκετά πιο μακριά από τη θέση της αρχαίας Ηράκλειας. Στη συνέχεια περνούσε τους ποταμούς Μέλα και Δύρα και έφτανε στην αρχαία πόλη Αντικύρα, η οποία βρισκόταν στις εκβολές του Σπερχειού.

Από την Αντικύρα ο δρόμος, έστριβε ανατολικά περνούσε το Σπερχειό και έφθανε στη Λαμία (Ζητούνι). Το σημείο διέλευσης από το Σπερχειό ήταν στη θέση της σημερινής γέφυρας «Σανίδα» (στο δρόμο Λαμία-Φραντζή), όπου είναι και το στενότερο σημείο του ποταμού στην περιοχή αυτή. Τη γέφυρα αυτή πρέπει να την είχαν φτιάξει οι Ρωμαίοι και την διατήρησαν οι Βυζαντινοί. Από την Αντικύρα τέλος, ένας δεύτερος δρόμος διακλαδιζόταν προς τα δυτικά και περνούσε από εκεί όπου είναι τα σημερινά χωριά Κωσταλέξι, Κομποτάδες και Μεξιάτες. Είναι αξιοσημείωτο και πολύ χαρακτηριστικό το γεγονός ότι ο σημερινός δρόμος Θερμοπύλες-Γοργοπόταμος-Φραντζόμυλος-Λαμία, είναι χαραγμένος επάνω στα χνάρια του αρχαίου δρόμου.

Κατά το διάστημα που μεσολαβεί και μέχρι τον 18^ο αιώνα, υπάρχουν αναφορές από διάφορους γεωγράφους-περιηγητές οι οποίοι περιγράφουν με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο την παράκτια περιοχή.

Ο Ρομπέρ Ντρό το 1674, αναφέρει ότι διασχίζοντας την περιοχή, συνάντησε το πέρασμα των Θερμοπυλών, το οποίο του φάνηκε τόσο στενό, που θαύμασε το θράσος του Ξέρξη, που επιχείρησε να περάσει τη στρατιά του από ένα τόσο στενό, δύσκολο και επικίνδυνο πέρασμα. Η περιγραφή αυτή αποδεικνύει ότι ο Σπερχειός ποταμός εκείνη την περίοδο συνέχιζε να εκβάλλει στην βόρεια πλευρά του κόλπου και συνεπώς δεν είχε στραφεί προς το νότιο τμήμα, ώστε να αρχίσει η πρόσχωση αυτής της περιοχής και να διευρυνθεί το πέρασμα στην περιοχή των Θερμοπυλών (Δαβανέλλος & Σταυρόπουλος 2005).

Για την περίοδο του 17ου αιώνα, υπάρχει ο γενικευμένος χάρτης του Olivier (αρχές 17^{ου} αιώνα), ο οποίος βασίστηκε σε προγενέστερο χάρτη του Bocage (Σαμψών 1997, Εικόνα 8.11). Στον χάρτη αυτό αποτυπώνεται τόσο η Λίμνη Ξυνιάδα, όσο και ο Σπερχειός ποταμός ο οποίος συνεχίζει να εκβάλλει στο βόρειο τμήμα του Μαλιακού κόλπου.

Ο Richard Pococke την περίοδο του 1740 αναφέρει ότι το Ζητούνι (Λαμία), απέχει 4 μίλια βορειοδυτικά του Μαλιακού κόλπου και άλλη τόση απόσταση από το Σπερχειό ποταμό. Επίσης, αναφέρει ένα πολύ σημαντικό σεισμό ο οποίος σημειώθηκε κατά την παραμονή του στο Ζητούνι (M=6.5), ο οποίος έγινε αισθητός σε ολόκληρη την γύρω περιοχή. Αναφέρει όμως, ότι ενώ προκλήθηκαν πάρα πολλές ζημιές στο βόρειο τμήμα της κοιλάδας, στο νότιο

Για την περίοδο αυτή (αρχές του 18^{ου} αιώνα) υπάρχουν χάρτες τόσο από μελέτες (*Zamani & Maroukian* 1979-Εικόνα 8.13), όσο και από διάφορες αποτυπώσεις χαρτών του Ελληνικού χώρου, όπως ο χάρτης του William Martin Leake (1805) ή ο Γαλλικός χάρτης του 1825, του Laurencebergio (*Αδάμ* 2001) (Εικόνες 8.13 & 8.14).

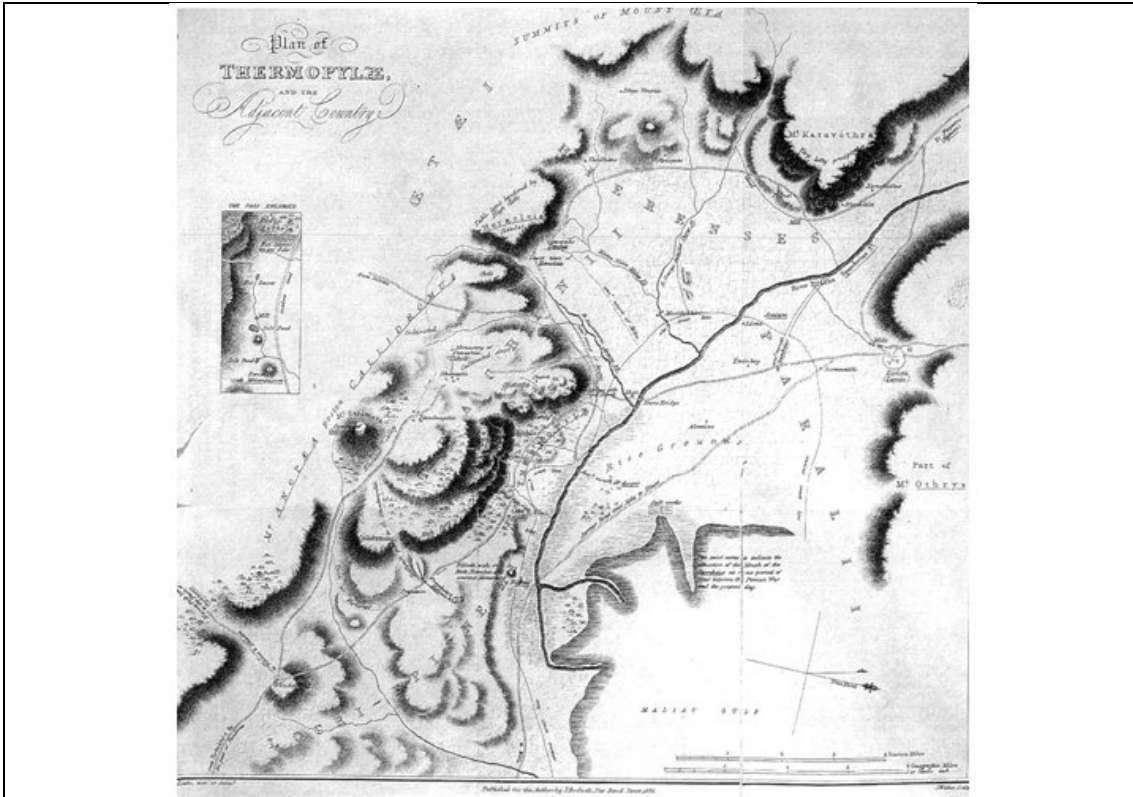
Κατά την αποτύπωση της ακτογραμμής και του Σπερχειού ποταμού το 1805, παρατηρούμε την αλλαγή της ροής του Σπερχειού ποταμού και την μετατόπισή του από την βόρεια πλευρά του κόλπου στη νότια πλευρά, πολύ κοντά στην σημερινή θέση των Θερμοπυλών, με την παρουσία πολλών μαιανδρισμών.

Τα κύρια ποτάμια και ρέματα, τα οποία παλιότερα εξέβαλαν απευθείας στον Μαλιακό κόλπο, όπως ο Ασωπός, ο Γοργοπόταμος (Δύρας), ο Ξηριάς (Μέλας) και τα υπόλοιπα ρέματα της περιοχής, εκβάλλουν πλέον απευθείας στον Σπερχειό. Λόγω αυτής της μεταβολής στη ροή του ποταμού, έχει αρχίσει πλέον να προσχώνεται με υλικά η νότια πλευρά και αρχίζουν να σχηματίζονται εντονότερα οι προεξοχές του μετώπου του δέλτα, αρχίζοντας πλέον αυτό να λαμβάνει καθαρή μορφή πελματοειδούς δέλτα. Ο Σπερχειός, με την πάροδο του χρόνου και την κάμψη που έκανε προς τα νότια, δείχνει ότι έχει αρχίσει να εισέρχεται σε φάση ωριμότητας, δημιουργώντας ολοένα και περισσότερους μαιάνδρους, οι οποίοι αλλάζουν ριζικά την μορφή και τις ιδιότητες του ποταμού, στο τμήμα αυτό.

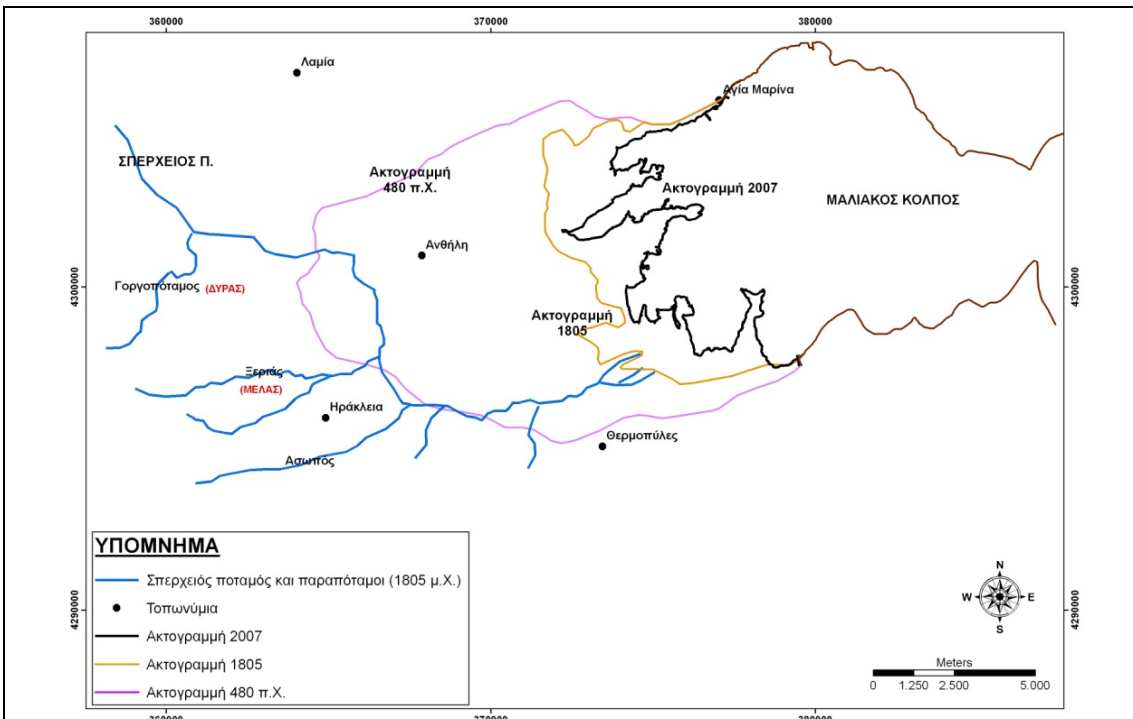
Επίσης, στην εικόνα του 1825 είναι εμφανής η μετατόπιση του Σπερχειού ακόμα πιο νότια, όπου εκβάλλει αρκετά πιο ανατολικά, ανάμεσα στις Θερμοπύλες και τον Μώλο (θέση παλαιάς κοίτης). Τέλος, είναι εμφανή δύο αποστραγγιστικά κανάλια (όπως αναφέρει και ο Γκέλ-1805) στα νότια της Ανθήλης (Emir Bei) τα οποία προφανώς είχαν κατασκευαστεί, σαν μία από τις πρώτες προσπάθειες να παροχετεύονται και να εκτονώνονται μέσω αυτών, οι πλημμυρικές παροχές του Σπερχειού (Εικόνα 8.15).



Εικόνα 8.13. Χάρτης του 1825 του Laurencebergio, όπου απεικονίζεται η παράκτια ζώνη με τον ποταμό Σπερχειό να εκβάλλει, μετά από μια απότομη στροφή προς νότο στο ύψος του σημερινού οικισμού Κόμμα, στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου.



Εικόνα 8.14. Χάρτης του 1836 του W.M. Leake, όπου απεικονίζεται η παράκτια ζώνη με τον ποταμό Σπερχεΐο να εκβάλλει στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου (Δακωρώνια και αλ. 2002).



Εικόνα 8.15. Γράφημα για την μορφή της παράκτιας περιοχής το 1805, σύμφωνα με την έρευνα των Zamani & Maroukian (1979), βασισμένη κυρίως στον χάρτη του W. Leake (Εικόνα 8.13).

8.2.4. Ποιοτική και ποσοτική καταγραφή–περίοδος 1852 έως 2007

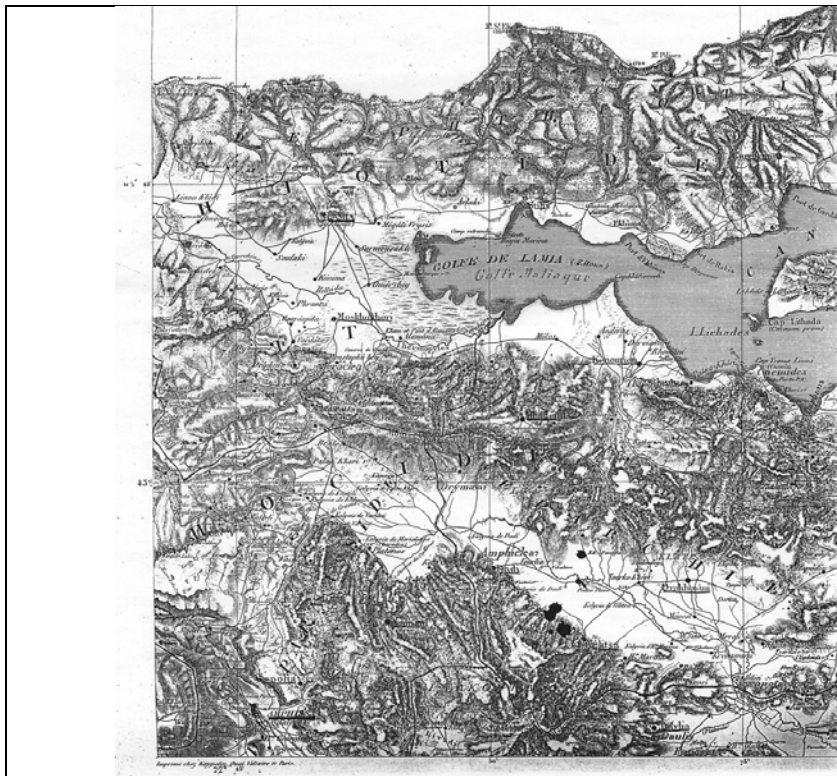
Η ποσοτική προσέγγιση των μεταβολών, αφορά την περίοδο από το 1852 έως και το 2007, βασίζεται σε χάρτες με σύστημα συντεταγμένων, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, που δίνουν την δυνατότητα της ποσοτικής εκτίμησης των μεταβολών, καθώς και του υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

8.2.4.1. Έτος 1852

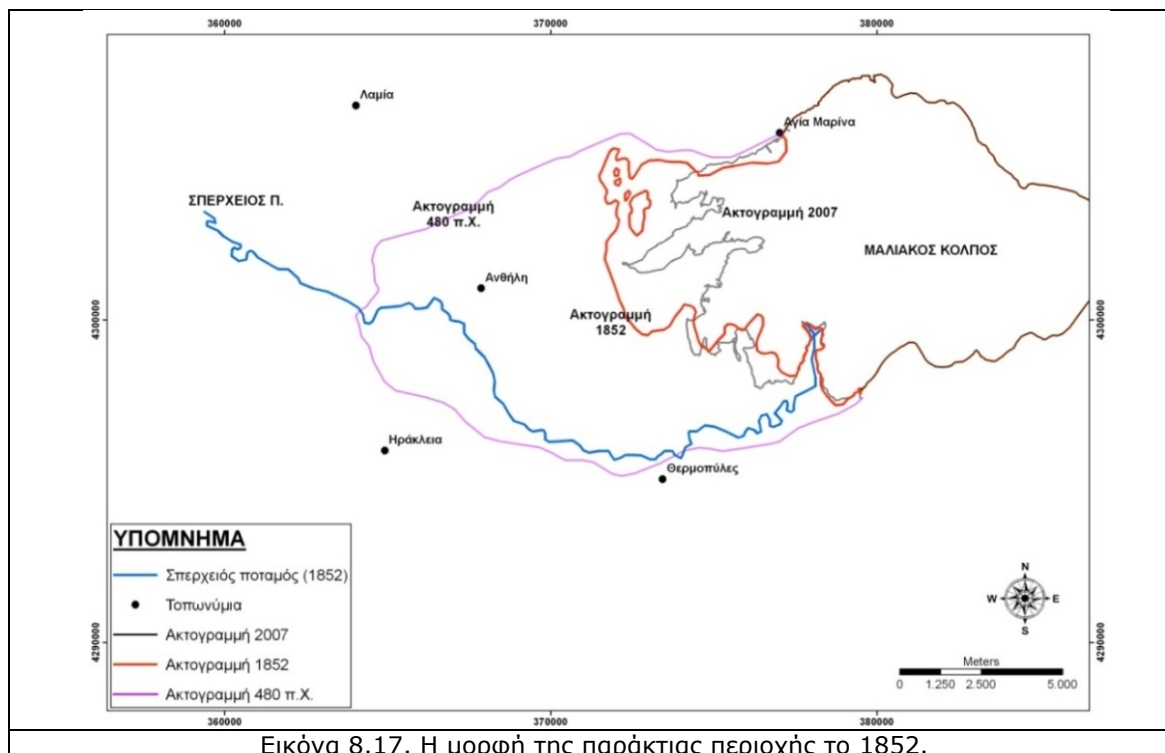
Χρησιμοποιώντας ως βάση τον τοπογραφικό Γαλλικό Γεωγραφικό Χάρτη (Imprime chez Karpelin Quai Voltaire 17 Paris – Εικόνα 8.16) και αφού πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά του, ψηφιοποιήθηκε η ακτογραμμή, ο Σπερχειός ποταμός και οι παραπόταμοί του.

Στον χάρτη αυτό εμφανίζεται και πάλι, η νέα πορεία του Σπερχειού, ο οποίος ακολουθώντας πλέον μία μεγάλη καμπή, η οποία ξεκινάει αμέσως μετά το χωριό Κόμμα και σχηματίζοντας προς τα νότια αρκετούς μαιάνδρους, καταλήγει στο νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου (Εικόνα 8.17).

Στην περιοχή αυτή των εκβολών παρατηρούμε ότι υπάρχουν τουλάχιστον 3 σημεία, στα οποία σταδιακά εξέβαλε ο Σπερχειός και τα οποία από την απόθεση των φερτών υλικών έχουν προσχώσει, αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο, τις περιοχές αυτές. Τα σημεία αυτά, επειδή βρίσκονται αρκετά κοντά μεταξύ τους, δείχνουν ότι πιθανά ο ποταμός λόγω κάποιων πλημμυρικών φαινομένων, άλλαζε συνεχώς το σημείο εκβολής του, σε αυτή την νέα ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 8.16. Χάρτης του 1852 (Imprime chez Karpelin Quai Voltaire 17 Paris), στον οποίο απεικονίζεται ο Μαλιακός κόλπος και οι πολλαπλές θέσεις εκβολής που είχε δημιουργήσει ο Σπερχειός ποταμός στο νότιο τμήμα του κόλπου.



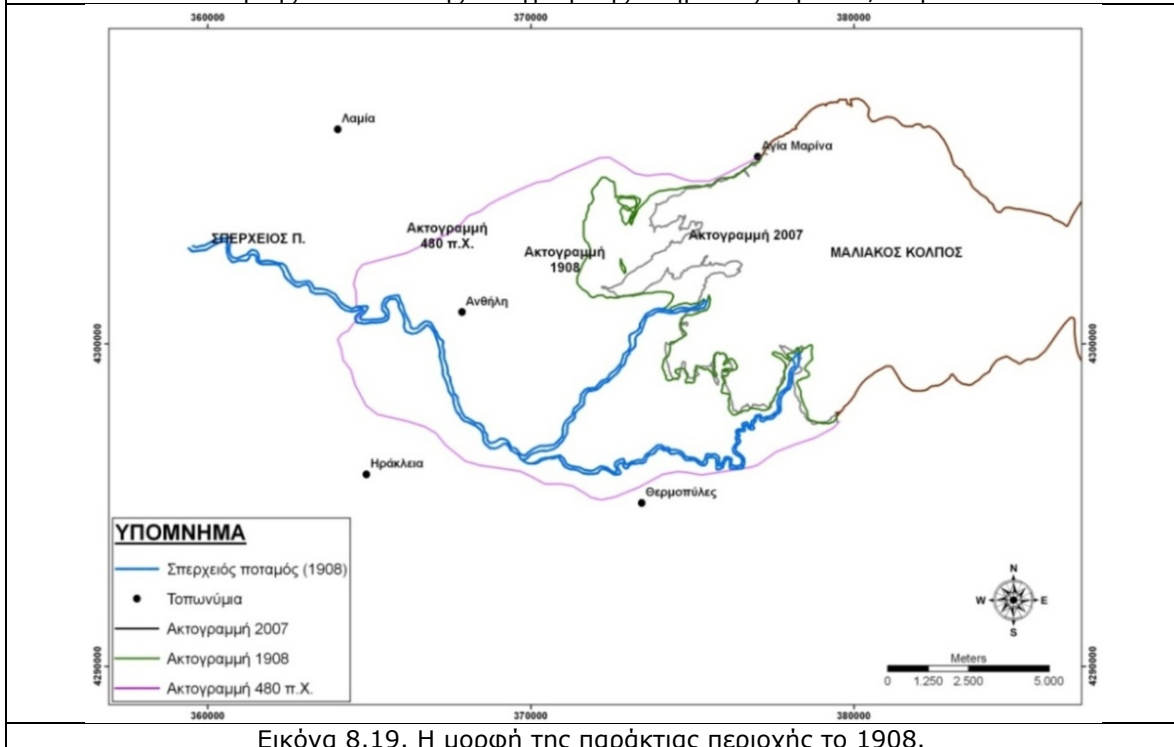
8.2.4.2. Έτος 1908

Στο διάστημα που μεσολάβησε από το 1852 έως το 1908 μεσολάβησαν δύο πολύ σημαντικά φυσικά φαινόμενα. Η μεγάλη πλημμύρα που σημειώθηκε το 1889 στην περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού ποταμού και ο μεγάλος σεισμός στην περιοχή της Αταλάντης το 1894. Κάποιο από τα δύο αυτά γεγονότα ή και τα δύο μαζί, διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του δέλτα. Σύμφωνα με την προγενέστερη βιβλιογραφία, η μεγάλη πλημμύρα του 1889, ήταν η αιτία που άλλαξε εκ νέου την πορεία του Σπερχειού ποταμού προς τα βόρεια, στο σημείο της σημερινής Νέας Κοίτης (*Phillipson 1950-p. 239, Zamani & Maroukian 1980*).

Στον χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού του 1908 (Εικόνα 8.18), παρατηρείται για πρώτη φορά μετά από το 17^ο αιώνα η επιστροφή της εκβολής του Σπερχειού προς τα βόρεια (σημείο Νέας Κοίτης), διατηρώντας όμως ένα κλάδο της παλαιάς κοίτης που εκβάλλει νοτιότερα, στον οποίο παροχετεύονται μικρές ποσότητες νερού από το Σπερχειό, ενώ δέχεται απευθείας και διάφορα τοπικά μικρά ρέματα (όπως το Λατζόρρεμα) (Εικόνα 8.19). Επίσης, είναι εμφανείς οι διάφορες προσπάθειες δημιουργίας εγγειοβελτιωτικών έργων στην παράκτια ζώνη ώστε να περιορίζονται τα φαινόμενα πλημμυρών που δημιουργούσαν κυρίως οι πολλαπλοί μαιανδρισμοί του ποταμού και το πολύ χαμηλό και ήπιο ανάγλυφο. Σε αυτά τα εγγειοβελτιωτικά έργα φαίνεται να περιλαμβάνεται και η εκτροπή του ρέματος Ξηριά (Μέλας), όπου πλέον χύνεται στον Ασωπό ποταμό και όχι στον Σπερχειό. Παράλληλα διακρίνονται και κάποια έργα εγκιβωτισμού του Σπερχειού, με την δημιουργία πλευρικών αναχωμάτων στις όχθες του. Τέλος, στα ανατολικά της Ανθήλης (Ιμίρμπεη) εμφανίζονται οι αλυκές «Γάντζου» στις οποίες το θαλασσινό νερό εισέρρεε μέσω μίας αύλακας από τον Μαλιακό κόλπο.



Εικόνα 8.18 . Χάρτης του 1908 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακα 1:75.000.



Εικόνα 8.19. Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1908.

8.2.4.3. Έτος 1945

Για την παρατήρηση της παράκτιας ζώνης, για την περίοδο του 1945 χρησιμοποιήθηκε το μωσαϊκό των γεωαναφερμένων αεροφωτογραφιών που απεικονίζεται στην εικόνα 8.20. Από το μωσαϊκό αυτό είναι εμφανής η μεγάλη πρόσχωση που έχει συντελεστεί στην περιοχή της

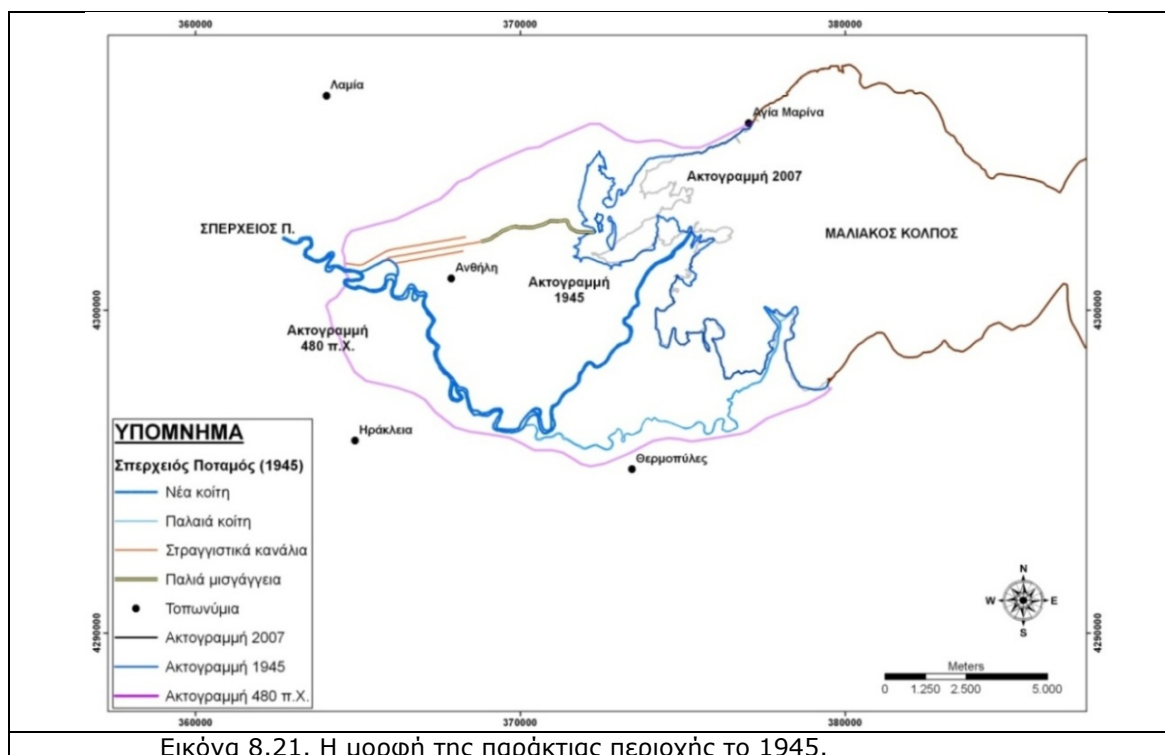
κύριας εκβολής της Νέας κοίτης του Σπερχειού ποταμού. Η έντονη αυτή πρόσχωση βασίζεται τόσο στην μεγάλη μεταφορά ιζημάτων από τον ποταμό, όσο και στο γεγονός ότι η περιοχή αυτή ήταν αρκετά ρηχή ιδιαίτερα κοντά στην ακτογραμμή, εξαιτίας της παλαιάς εκβολής του ποταμού στο βόρειο τμήμα του κόλπου.

Στο σημείο εκβολής ο ποταμός διακλαδίζεται σε 2-3 τμήματα, σχηματίζοντας ένα μεγάλο πελματοειδές δέλτα. Επίσης, είναι εμφανής η εντονότερη χρήση της παράκτιας ζώνης από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως καλλιέργειες, δημιουργία καλύτερου και πυκνότερου οδικού δικτύου κλπ. Παράλληλα είναι ακόμα πιο προφανής η προσπάθεια περιορισμού των πλημμυρικών παροχών του Σπερχειού με την δημιουργία στραγγιστικών τάφρων και αγωγού εκτροπής των νερών του ποταμού από την περιοχή, όπου αρχίζουν οι έντονοι μαιανδρισμοί του, καθώς και η αλλαγή της πορείας του προς τα νότια, στο χωριό Κόμμα (δυτικά της Ανθήλης). Συγκεκριμένα, διαπιστώνεται η δημιουργία νέων και η βελτίωση των υπαρχόντων στραγγιστικών καναλιών, τα οποία οδηγούν το νερό στην βόρεια πλευρά του κόλπου, στο σημείο της παλαιάς εκβολής του Σπερχειού (480 π.Χ.) (Εικόνα 8.21).

Το νερό, μέσω των στραγγιστικών αυτών καναλιών, διοχετεύεται προς το βόρειο τμήμα και όπως δείχνουν οι αεροφωτογραφίες παροχετεύεται στη θάλασσα, μέσω της παλιάς μισγάγγειας που υπήρχε εκεί από τη παλιά εκβολή του ποταμού. Οι δύο παλιές περιοχές εκβολής και ιδιαίτερα η νοτιότερη, λόγω της μείωσης του νερού που φτάνει πλέον εκεί και συνεπώς την μείωση των ιζημάτων και φερτών υλικών, παρουσιάζουν έντονα σημάδια διάβρωσης και υποχώρησης.



Εικόνα 8.20. Μωσαϊκό ορθοαναηγμένων αεροφωτογραφιών, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτους 1945.



Εικόνα 8.21. Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1945.

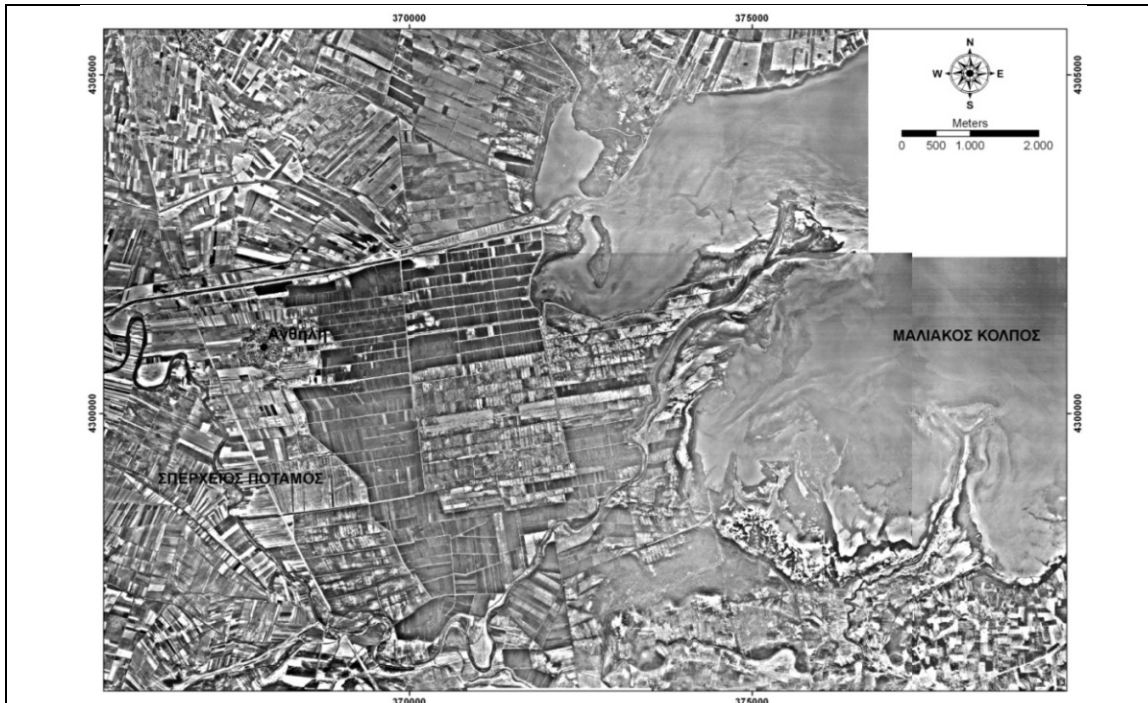
8.2.4.4. Έτος 1960

Για την περιγραφή της παράκτιας ζώνης για την περίοδο του 1960, χρησιμοποιήθηκε το μωσαϊκό των αεροφωτογραφιών που απεικονίζεται στην εικόνα 8.21. Το χρονικό διάστημα μεταξύ του 1945 και του 1960, δημιουργήθηκε το πρώτο μεγάλο τεχνικό εγχειροβελτιωτικό έργο της περιοχής, που ουσιαστικά άλλαξε ριζικά έως και σήμερα την όψη της παράκτιας ζώνης. Συγκεκριμένα την περίοδο 1957-58, βελτιώθηκε και διανοίχτηκε το ήδη υπάρχων στραγγιστικό κανάλι και μετατράπηκε σε μεγάλο Αγωγό Εκτροπής (Υπερχειλιστής) του Σπερχειού ποταμού, με πλάτος σχεδόν 15m, ενώ παλαιότερα το πλάτος του δεν ξεπερνούσε τα 7m. Ο αγωγός αυτός ξεκινάει από την περιοχή που βρίσκεται το χωριό Κόμμα και φτάνει πλέον μέχρι τον Μαλιακό κόλπο στο βόρειο τμήμα του, στο σημείο δηλαδή που εξέβαλε ο ποταμός κατά τους ιστορικούς χρόνους (Εικόνες 8.22 & 8.23).

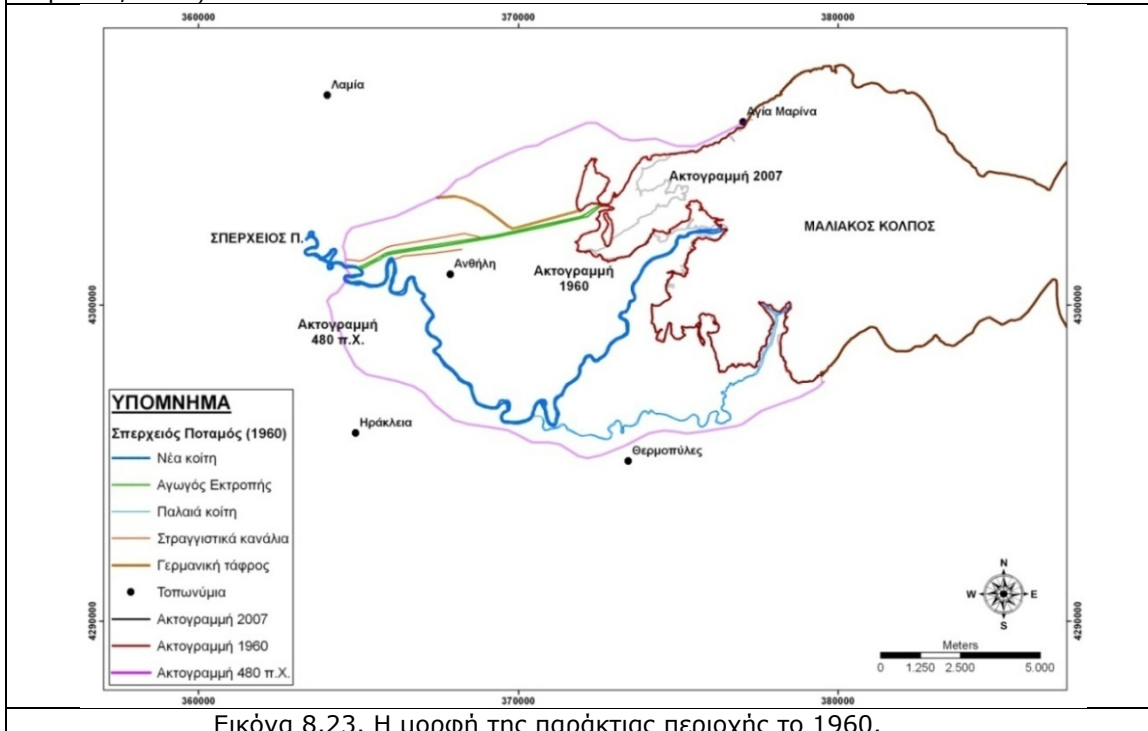
Με την κατασκευή του αγωγού εκτροπής ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας νερού και συνεπώς ιζημάτων που μετέφερε ο Σπερχειός πηγαίνει πλέον στο βόρειο τμήμα του κόλπου και όχι στη Νέα Κοίτη. Συνέπεια αυτού είναι η διάβρωση κατά πλάτος της εκβολής στο σημείο της Νέας Κοίτης (0,31 km² στο βόρειο τμήμα και 0,13 km² στο νότιο τμήμα του) και πρόσχωση κατά μήκος (περίπου 0,77 km²), καθώς και έντονη πρόσχωση στο νέο σημείο εκβολής του Αγωγού Εκτροπής (περίπου 0,94 km²). Στο σημείο της πελματοειδούς εκβολής της Νέας Κοίτης απεμείναν μόνο δύο κλάδοι που εκβάλουν στον κόλπο. Παράλληλα, ολοκληρώθηκε η διάνοιξη της Τάφρου Λαμίας, η οποία συλλέγει κυρίως τα νερά του Ξηριά, αλλά και άλλων ρεμάτων ανατολικά της Λαμίας και τα παροχετεύει στον Αγωγό Εκτροπής.

Το τμήμα της παλιάς κοίτης δείχνει ότι διαβρώνεται, ακόμα περισσότερο, λόγω του ότι πλέον ελάχιστο νερό και συνεπώς λιγότερα ιζήματα, καταλήγουν εκεί και το νερό που εκβάλει προέρχεται κυρίως από μικρά ρέματα (όπως το Λατζόρρεμα) που χύνονται απευθείας

στον παλιό κλάδο του Σπερχειού. Τέλος, η παράκτια ζώνη έχει περάσει σε μία άκρως γεωργική χρήση με την επέκταση των αροτραίων καλλιεργειών και την δημιουργία αρδευτικών και στραγγιστικών καναλιών για την βελτίωση της παραγωγής, ενώ παράλληλα είναι εμφανής η αύξηση της αστικής δόμησης κυρίως στην περιοχή της Λαμίας, αλλά και στους υπόλοιπους παράκτιους οικισμούς.



Εικόνα 8.22. Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, έτους 1960.



Εικόνα 8.23. Η μορφή της παράκτιας περιοχής το 1960.

8.2.4.5. Έτος 1986

Για την περιγραφή της παράκτιας ζώνης για την περίοδο του 1986, χρησιμοποιήθηκε το μωσαϊκό των αεροφωτογραφιών που απεικονίζεται στην εικόνα 8.24. Στο διάστημα από το 1960 έως το 1986, αρχίζει να γίνεται ιδιαίτερα εμφανής η πρόσχωση στο βόρειο τμήμα του κόλπου, στην περιοχή που εκβάλει ο Αγωγός Εκτροπής (Υπερχειλιστής) του Σπερχειού. Ιδιαίτερα έντονη είναι και η διάβρωση στην περιοχή της Νέας Κοίτης, λόγω της μείωσης του νερού που εκβάλει πλέον εκεί και της μείωσης των φερόμενων ιζημάτων (Εικόνα 8.25).

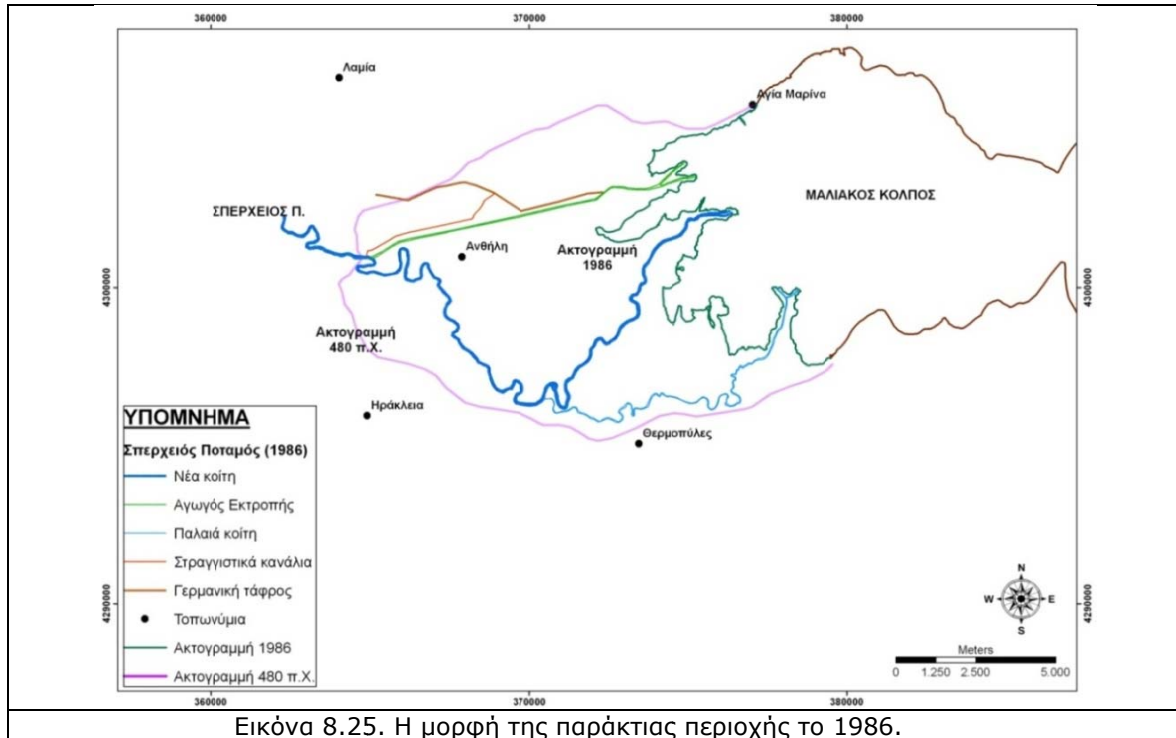
Συγκεκριμένα, στο σημείο εκβολής του Αγωγού Εκτροπής έχει δημιουργηθεί ένα μεγάλο τμήμα ξηράς από τις προσχώσεις. Στο σημείο εκβολής ο αγωγός διακλαδίζεται σε δύο τμήματα, τα οποία προσχώνουν το καθένα ξεχωριστά την περιοχή, σχηματίζοντας μία μορφή «ψαλιδιού».

Αντίθετα στο σημείο εκβολής της Νέας Κοίτης, από τα δύο τμήματα εκβολής που υπήρχαν παλαιότερα το βόρειο έχει διαβρωθεί εντελώς και ο ποταμός έχει πλέον μονάχα έναν εμφανή κλάδο εκβολής.

Παράλληλα στις δύο παλιές εκβολές, στην νότια πλευρά, υπάρχουν δείγματα μικρής διάβρωσης, αλλά γενικότερα η εικόνα της περιοχής δίνει μία σαφή ένδειξη ότι τα επόμενα χρόνια πιθανόν να υπάρξει μεγαλύτερη υποχώρηση της ακτογραμμής.

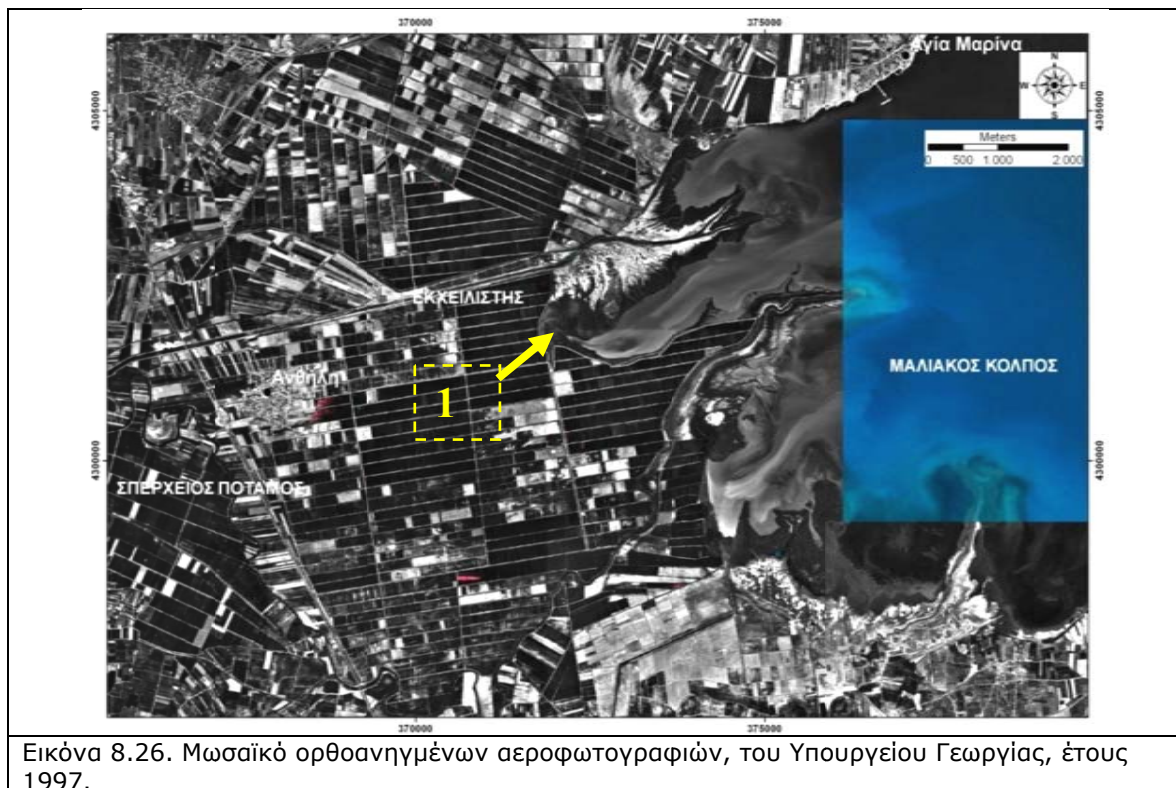
Επίσης, παρατηρείται μεγαλύτερη εντατικοποίηση των καλλιεργειών της παράκτιας ζώνης με βελτίωση τόσο των καλλιεργητικών συνθηκών (περισσότερα αρδευτικά και στραγγιστικά κανάλια, δρόμοι) καθώς και αύξηση της αστικής δόμησης και των κατασκευών, όπως κτίρια, αποθήκες, γεωργικές μονάδες κ.α.



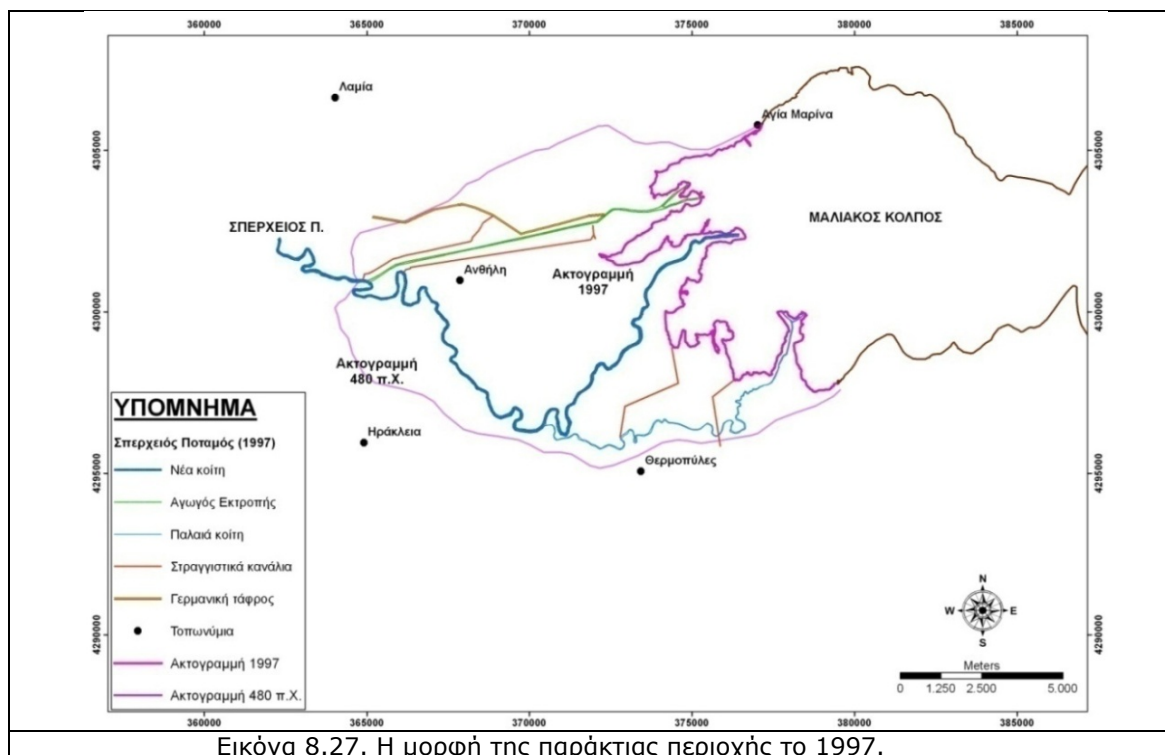


8.2.4.6. Έτος 1997

Για την παρατήρηση της παράκτιας ζώνης για την περίοδο του 1997, χρησιμοποιήθηκε το μωσαϊκό των αεροφωτογραφιών που απεικονίζεται στην εικόνα 8.26.



Στο διάστημα από το 1986 έως το 1997, παρατηρούμε ελάχιστες αλλαγές στην ακτογραμμή. Οι αλλαγές που παρατηρούνται αφορούν την πολύ μικρή πρόσχωση κατά μήκος της εκβολής τόσο της Νέας κοίτης, όσο και του Αγωγού Εκτροπής, καθώς και στο σημείο 1, στη θέση «Πάτερα» (Εικόνα 8.26), ενώ παρατηρείται πολύ μικρή διάβρωση κυρίως στις πλευρές των εκβολών, τόσο του Αγωγού Εκτροπής, όσο και της Νέας και Παλαιάς κοίτης (Εικόνα 8.27).



8.2.4.7. Έτος 2007

Για την περιγραφή της παράκτιας ζώνης για την περίοδο του 2007, χρησιμοποιήθηκε το μωσαϊκό των αεροφωτογραφιών που απεικονίζεται στην εικόνα 8.28. Στο διάστημα από το 1997 έως το 2007, παρατηρούμε ελάχιστες αλλαγές στην ακτογραμμή. Οι μόνες αλλαγές που εντοπίζονται, αφορούν την πολύ μικρή πρόσχωση κατά μήκος των εκβολών τόσο της Νέας κοίτης, όσο και του Αγωγού Εκτροπής στο νότιο κλάδο του, ενώ παρατηρείται πολύ μικρή διάβρωση κυρίως στο βόρειο τμήμα, στην εκβολή του Αγωγού Εκτροπής.

Τόσο η περιοχή εκβολής της Νέας, όσο και της Παλαιάς Κοίτης, δείχνουν γενικά μία σταθεροποίηση. Εξαιρέση αποτελεί μία μικρή αύξηση κατά μήκος του νότιο κλάδου της Νέας Κοίτης, διότι λόγω της διαδικασίας της διάβρωσης, ο βόρειος κλάδος εκβολής διαβρώθηκε εντελώς με αποτέλεσμα όλο το νερό και η ιζηματοπαροχή να πηγαινει στο νότιο κλάδο. Τα πλευρικά κυρίως τμήματα της περιοχής εκβολής τείνουν να γίνουν αβαθή (Εικόνες 8.28 & 8.29). Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα κυρίως στο νότιο πλευρικό τμήμα της Νέας και Παλαιάς Κοίτης.

Παράλληλα, στην παράκτια περιοχή, την περίοδο αυτή συντελέστηκε και συνεχίζει να συντελείτε πλήθος έργων, τα οποία ήδη έχουν επηρεάσει άμεσα και έμμεσα την παράκτια



Εικόνα 8.28. Μωσαϊκό ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών, του Υπουργείου Γεωργίας, έτους 2007.

ζώνη και όλα δείχνουν ότι η επίδρασή τους σε βάθος χρόνου θα αποτελέσει βασικό παράγοντα εξέλιξης της ακτογραμμής.

Συγκεκριμένα, ολοκληρώθηκαν τα έργα νέας χάραξης και βελτίωσης της ΠΑΘΕ από τον Άγιο Κωνσταντίνο μέχρι και την Ανθήλη. Επίσης, τείνει να ολοκληρωθεί και το υπόλοιπο τμήμα (σε ορισμένα σημεία έχει ολοκληρωθεί) και το τμήμα από την Ανθήλη μέχρι την Στυλίδα. Την ίδια στιγμή κατασκευάζεται και βρίσκεται περίπου στο ύψος της Ανθήλης, ξεκινώντας από το όρος Καλλίδρομο, κοντά στο χωριό Ρεγκίνι, η νέα σύγχρονη σιδηροδρομική γραμμή που θα επιταχύνει την διέλευση προς την βόρεια Ελλάδα, αφού παρακάμπτει το δύσκολο παλιό τμήμα διέλευσης, από το φαράγγι του Γοργοποτάμου.

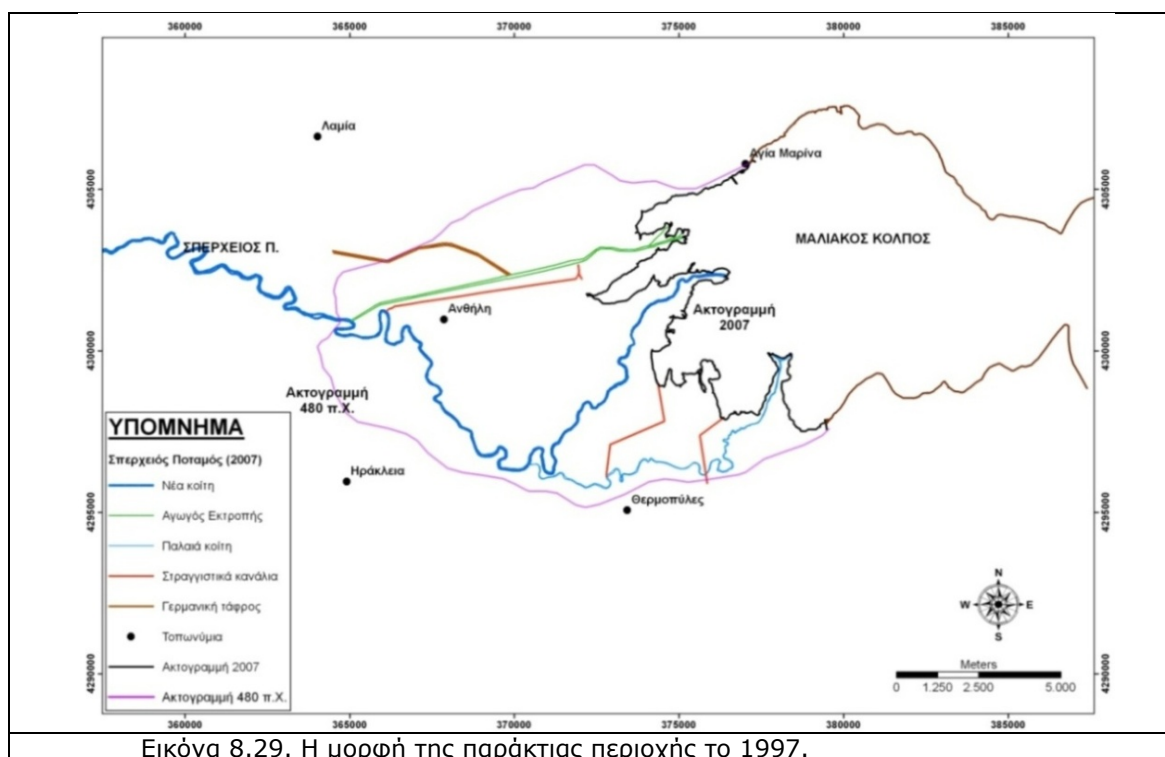
Επίσης, πραγματοποιήθηκαν σημαντικότερα εγχειροβελτιωτικά έργα, όπως η διαπλάτυνση του Αγωγού Εκτροπής (από 15 σε 30 m), που πραγματοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας (2001-2003), με σκοπό την μετατροπή του σε κύριο «τεχνητό» κλάδο ροής του Σπερχειού. Στην περιοχή που μέχρι σήμερα ονομαζόταν Νέα κοίτη Σπερχειού παροχετεύεται μικρότερη ποσότητα νερού και εμπλουτίζεται κυρίως από τον ποταμό Ασωπό και τον Ξηριά.

Τέλος, για την υποστήριξη των έργων του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, κατασκευάστηκαν πολλαπλοί οχετοί αποστράγγισης, κάτω από το σιδηροδρομικό έργο, για την διόδευση των πλημμυρικών παροχών. Επίσης, στο σημείο εκκίνησης του Αγωγού Εκτροπής, ανατολικά του χωριού Κόμμα, στην περιοχή «Βάρα», κατασκευάστηκε νέος μεριστής που διοχετεύει την μεγαλύτερη ποσότητα νερού με συνεχή ροή, καθώς και τις πλημμυρικές παροχές από το Σπερχειό, στον Αγωγό εκτροπής (Αραπάκη 2007). Ο σχεδιασμός του μεριστή πραγματοποιήθηκε, έτσι ώστε να περιορίζονται δραστικά τα πλημμυρικά φαινόμενα και οι συνθήκες κατάκλισης που μπορεί να επιφέρουν προβλήματα τόσο στα παραπάνω έργα, όσο και στους οικισμούς της περιοχής (Ανθήλη, Μοσχοχώρι,

Κόμμα). Για το λόγο αυτό, σε όλο το μήκος του αγωγού εκτροπής, πραγματοποιήθηκε νέα διεύρυνση της διατομής με κατασκευή νέου νότιου αναχώματος από τον υγροβιότοπο μέχρι την συμβολή της τάφρου Λαμίας.

Ο νέος μεριστής περιορίζει δραστικά την περαιτέρω απόθεση φερτών υλών στην εκβολή του ποταμού και του αγωγού εκτροπής στον Μαλιακό, αφού στα ανάντη του, υπάρχει πρόφραγμα από συρματοκιβώτια για συγκράτηση των αδρομερών φερτών. Το πρόφραγμα αυτό έχει τέτοια διάταξη, ώστε να υπάρχει δυνατότητα εύκολης πρόσβασης, για τον καθαρισμό του με την απομάκρυνση των φερτών (Εικόνα 8.30). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τις μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής, τα έργα διόδευσης των υδάτων, δεν έχουν λειτουργήσει ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα στα χωριά που βρίσκονται πάνω από την Εθνική και πολύ κοντά στα έργα (όπως το Μοσχοχώρι), να παρουσιάζονται φαινόμενα κατάκλισης των χωραφιών, διότι κάποια ρέματα και νερά από πηγές (όπως για παράδειγμα οι πηγές στα «ψωρονέρια») δεν βρίσκουν πλήρη διέξοδο προς την θάλασσα.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής τις τελευταίες δεκαετίες, οφείλεται και στο γεγονός ότι πλέον η εκβολή του ποταμού Σπερχειού έχει προσεγγίσει βαθύτερα σημεία του Μαλιακού κόλπου, τα οποία χρειάζονται πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να προσχωθούν. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τα οποία έχουν μειωθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες, όπως δείχνει και η ανάλυση του υδρολογικού ισοζυγίου (παρ. 8.5.1), καθώς και το ότι η χρήση του επιφανειακού και υπόγειου νερού, τόσο για γεωργική (αύξηση θερινών υδροβόρων καλλιεργειών) όσο και για αστική χρήση (αύξηση πληθυσμού, τουρισμού, βιομηχανικών δραστηριοτήτων), έχει αυξηθεί δραματικά με αποτέλεσμα να έχουν μειωθεί κατά πολύ, οι ποσότητες νερού και τα ιζήματα, που φτάνουν στα κατάντη της λεκάνης.





Εικόνα 8.30. Στάδια κατασκευής του νέου μεριστή (Α΄ φάση), ανατολικά του χωριού Κόμμα το 2007 (Αραπάκη 2007)

8.2.5. Ποσοτικοποίηση μεταβολών

Με βάση τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, σύμφωνα με την εξίσωση 8.1 που αναπτύχθηκε στην μεθοδολογία, προκύπτει ο πίνακας 8.2, όπου καταγράφεται ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 8.2. Μεταβολή της ακτογραμμής σε Km² ανά έτος, με αρχικό χρονικό σημείο μέτρησης το 4.500 π.Χ. και τελικό το 2007.

Χρονικό διάστημα	4.500-480 π.Χ.	480 π.Χ. - 1805	1805-1852	1852-1908	1908-1945	1945-1960	1960-1986	1986-1997	1997-2007
Αριθμός Ετών	4.020	2.285	48	57	38	16	27	12	10
Πρόσχωση (+) (Km ²)	43,93	69,72	12,79	6,19	4,69	2,13	3,99	0,21	0,08
Διάβρωση (-) (Km ²)	0	0	2,16	3,95	0,83	0,66	0,79	0,14	0,07
Εμβαδόν διαφοράς Ε (km ²)	43,93	69,72	10,64	2,24	3,86	1,47	3,20	0,07	0,01
Μήκος ακτογραμμής L (km)	34,5	24,78	24,78	35,44	42,63	48,69	42,43	41,32	41,32
Μεταβολή ακτογραμμής (Ε/Λ) (m)	1.273,3	2.813,6	429,38	63,21	90,55	30,19	75,41	1,69	0,24
Ετήσιος ρυθμός μεταβολής (m/γ)	0,31	1,23	8,95	1,11	2,38	1,89	2,79	0,14	0,02

Με βάση αυτή την καταγραφή παρατηρούμε ότι ο ρυθμός μεταβολής κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα για όλα τα χρονικά διαστήματα, από 0,31-2,79 m/year, με μέσο όρο 1,62 m/year. Εξαιρεση αποτελεί η περίοδος από το 1805 έως το 1852, όπου η τιμή του ρυθμού μεταβολής είναι 8,95 m/year, πολύ μεγαλύτερη από το μέσο όρο (πενταπλάσια).

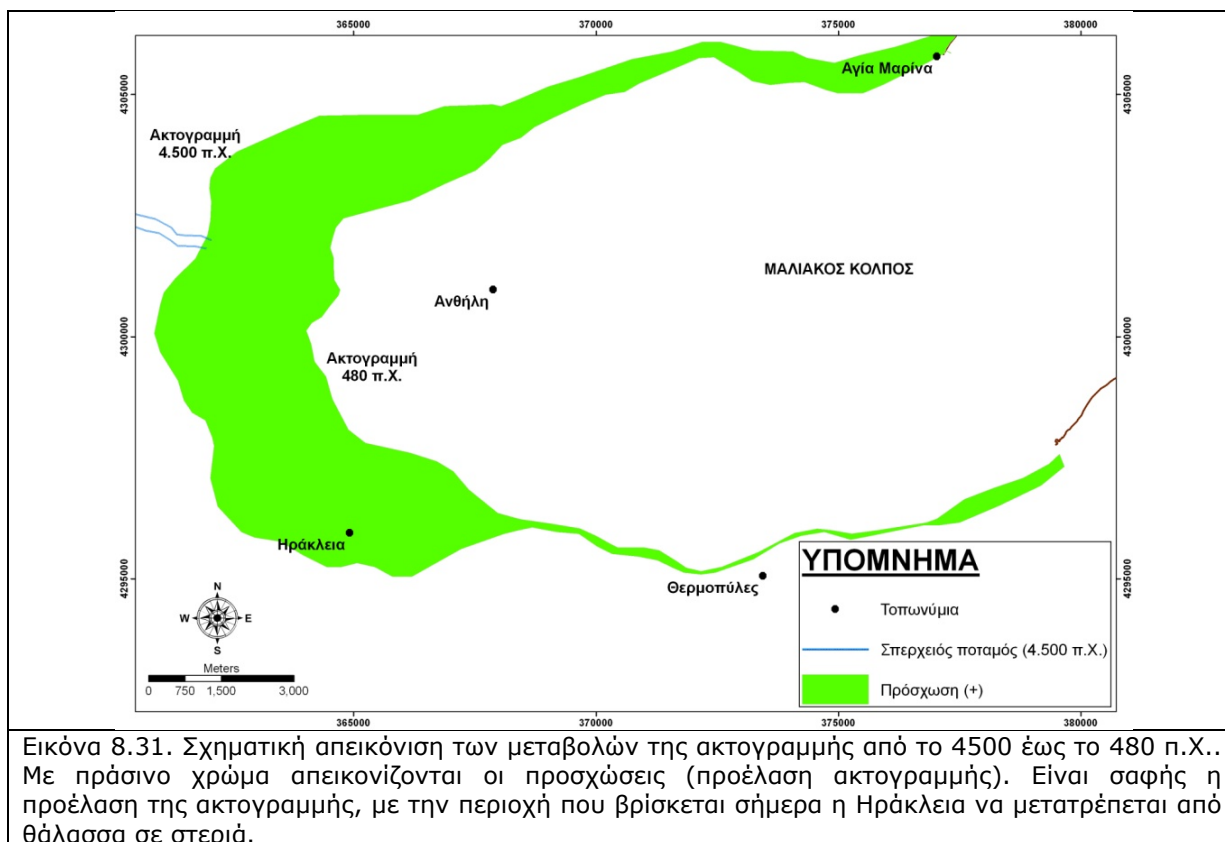
Την περίοδο από το 4.500 έως το 480 π.Χ., ο ρυθμός μεταβολής εμφανίζεται μικρός, γιατί είναι τα πρώτα στάδια πρόσχωσης της περιοχής, με αποτέλεσμα η προέλαση της ακτογραμμής και ο ρυθμός να είναι μικροί.

Το διάστημα από το 480 π.Χ. έως το 1805 ο ρυθμός κυμαίνεται κοντά στο μέσο όρο, ενώ το διάστημα από το 1805 έως το 1852 ο ρυθμός αύξησης αυξάνεται πολύ, κυρίως γιατί ο Σπερχειός πραγματοποίησε την μεγαλύτερη αλλαγή που είχε κάνει μέχρι τότε και από το βόρειο τμήμα του κόλπου, άλλαξε την πορεία του και άρχισε να εκβάλλει στο νότιο τμήμα, όπου η περιοχή ήταν πολύ ρηχή και συνεπώς η πρόσχωση της περιοχής ήταν ευκολότερη.

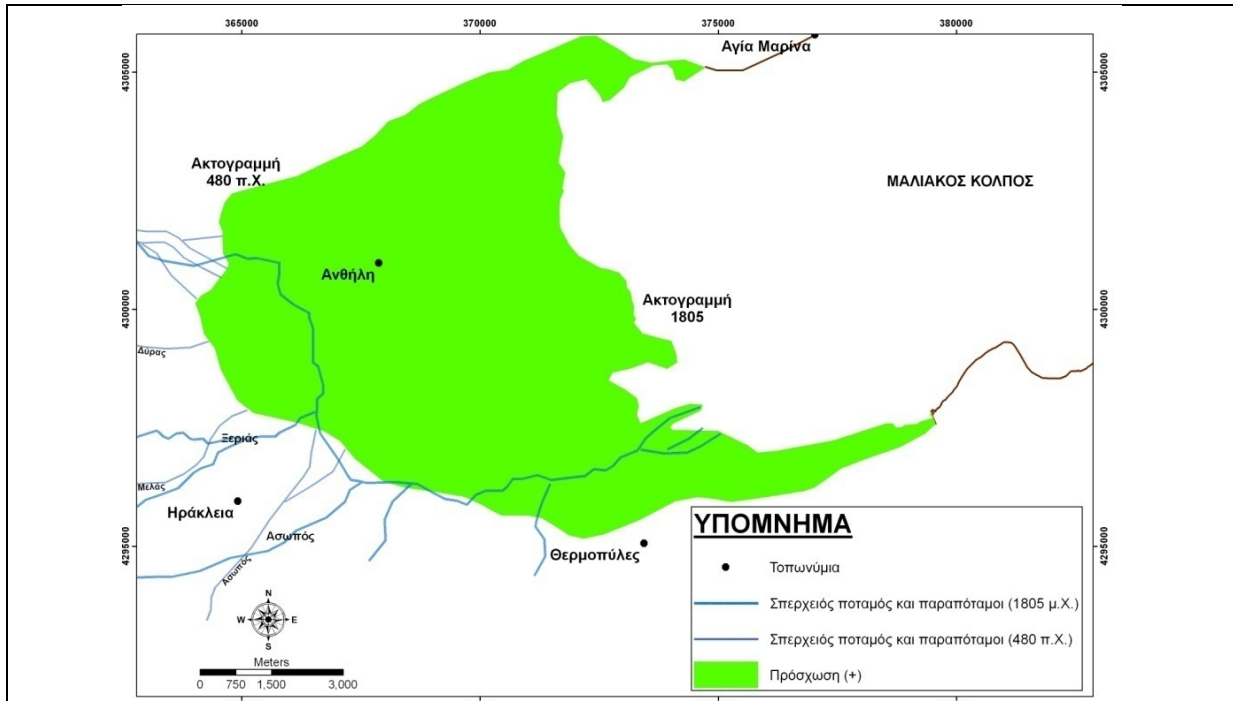
Έπειτα όταν το 1908 η εκβολή του μετακινήθηκε εκ νέου βορειότερα, σε πιο αβαθή περιοχή, ο ρυθμός μεταβολής μειώθηκε κατά το διάστημα από 1852 έως το 1908. Σε επίπεδα λίγο μεγαλύτερα του μέσου όρου κυμάνθηκε ο ρυθμός μεταβολής από το 1908 έως και το 1986. Αυτό σχετίζεται με την δημιουργία του Αγωγού Εκτροπής (1957-58) που διοχέτευε μεγάλο μέρος των νερών του Σπερχειού στο βόρειο τμήμα, όπου ήταν αρκετά ρηχό από τις παλαιότερες προσχώσεις (παλιά εκβολή Σπερχειού μέχρι τον 17^ο αιώνα). Αποτέλεσμα αυτού ήταν η ευκολότερη περεταίρω πρόσχωση της περιοχής.

Είναι εμφανές επίσης, ότι από το 1986 και μέχρι το 2007, ο ρυθμός μεταβολής έχει μειωθεί δραστικά, φτάνοντας το χρονικό διάστημα από το 1997 έως το 2007 να έχει σχεδόν μηδενιστεί, πράγμα που αναμένεται πλέον να γίνει εντονότερο τα επόμενα χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που έχουν επέλθει στην παράκτια ζώνη και οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω.

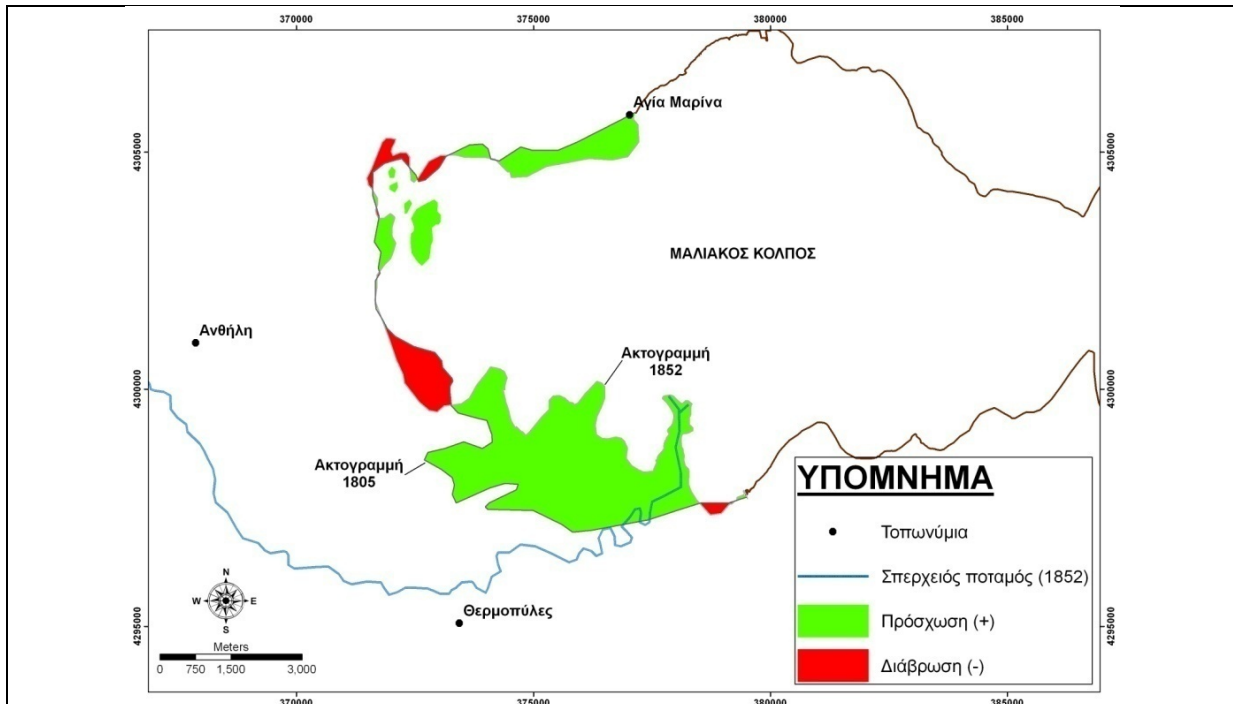
Η σχηματική απεικόνιση των μεταβολών που επήλθαν στην παράκτια περιοχή κατά τα χρονικά διαστήματα που εξετάστηκαν, απεικονίζονται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνες 8.31 έως 8.39).



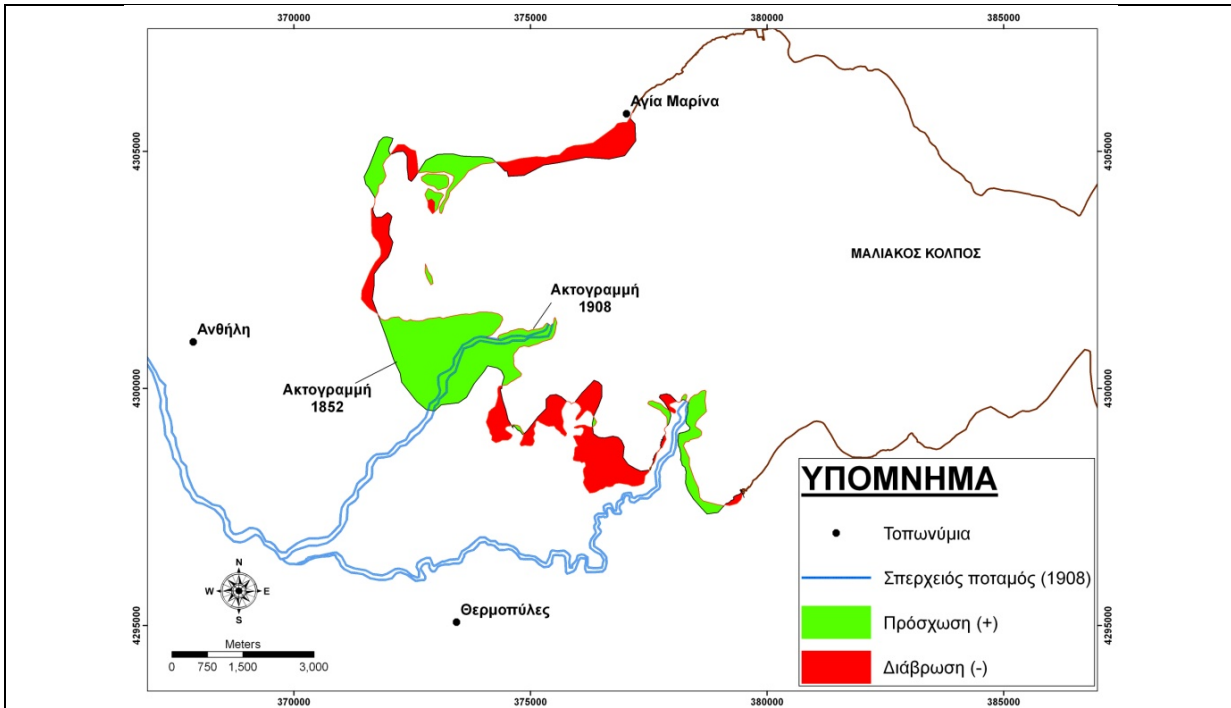
Εικόνα 8.31. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 4500 έως το 480 π.Χ.. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι προσχώσεις (προέλαση ακτογραμμής). Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής, με την περιοχή που βρίσκεται σήμερα η Ηράκλεια να μετατρέπεται από θάλασσα σε στεριά.



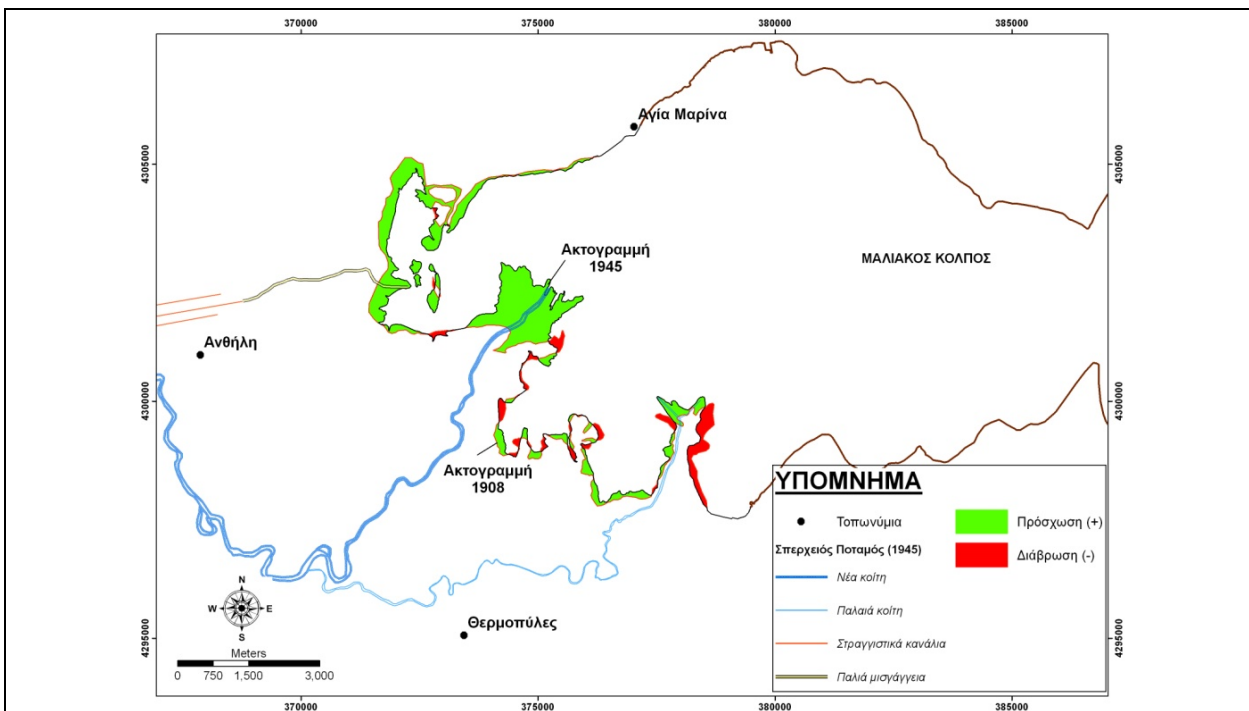
Εικόνα 8.32. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 480 π.Χ. έως το 1805. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι προσχώσεις (προέλαση ακτογραμμής). Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής, με την περιοχή που βρίσκεται σήμερα η Ανθήλη να μετατρέπεται από θάλασσα σε στεριά, ενώ ταυτόχρονα η περιοχή των «στενών» των θερμοπυλών από μερικές δεκάδες μέτρα που ήταν να παρουσιάζει πλέον πλάτος μερικών χιλιομέτρων.



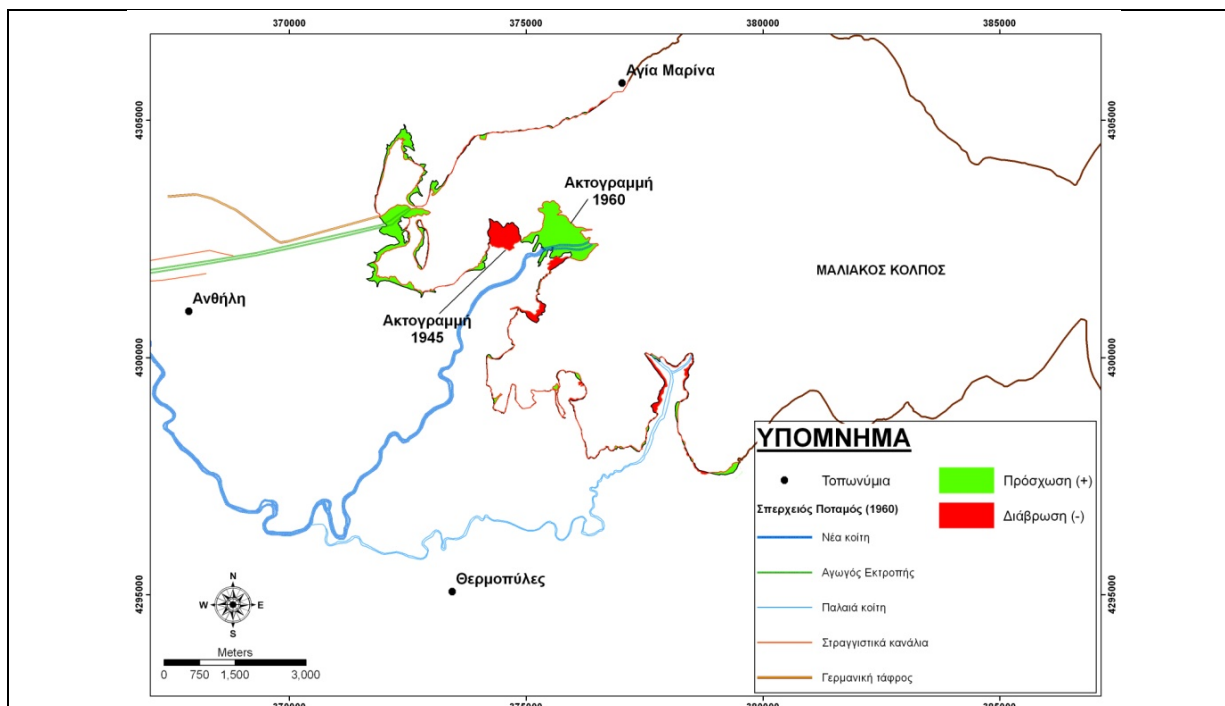
Εικόνα 8.33. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1805 έως το 1852. Είναι εμφανής η μεγάλη πρόσχωση που παρουσιάζει το νότιο τμήμα του Μαλιακού λόγω της αλλαγής της ροής του Σπερχειού από το βόρειο τμήμα προς το νότιο στην περιοχή που παλιότερα χύνονταν ο Ασωπός, ο Δύρας (Γοργοπόταμος) και ο Μέλας (Ξηριάς).



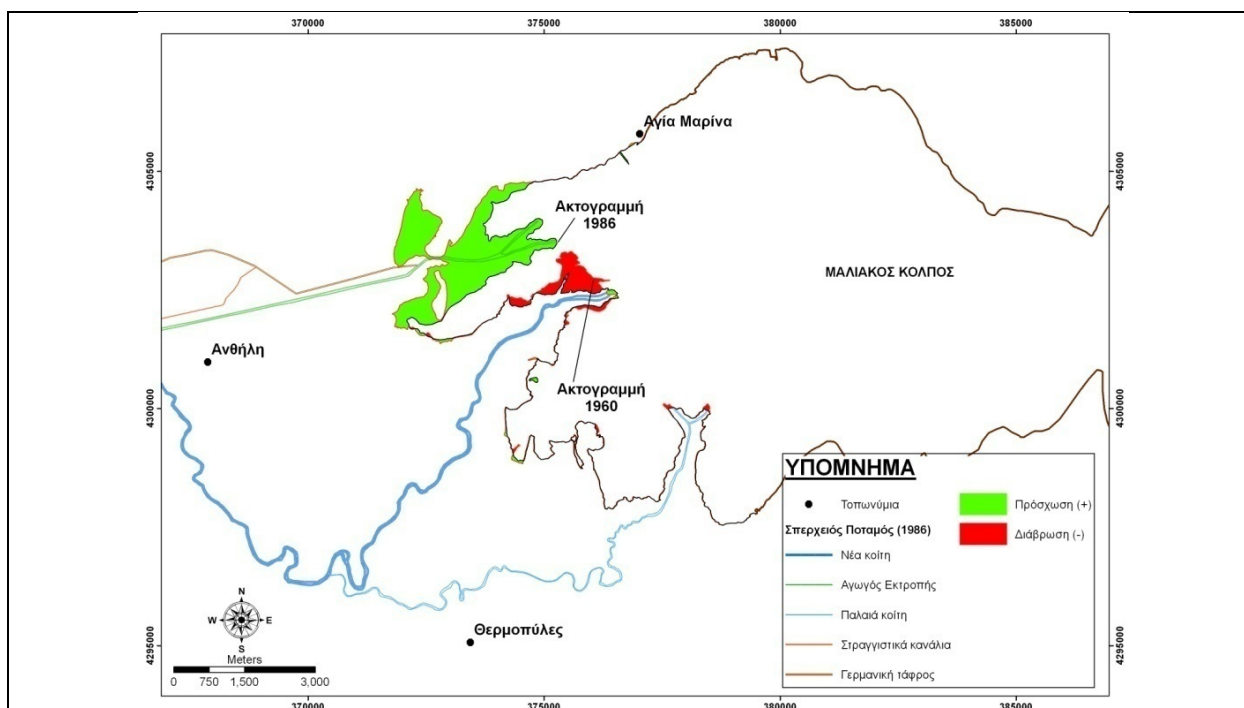
Εικόνα 8.34. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1852 έως το 1908. Είναι εμφανής η πρόσχωση που πραγματοποιήθηκε στο βορειότερο από τα τμήματα εκβολής του Σπερχειού, στο κεντικό τμήμα του κόλπου, με ταυτόχρονη υποχώρηση της ακτογραμμής στο νότιο εγκαταλελημένο πλέον τμήμα.



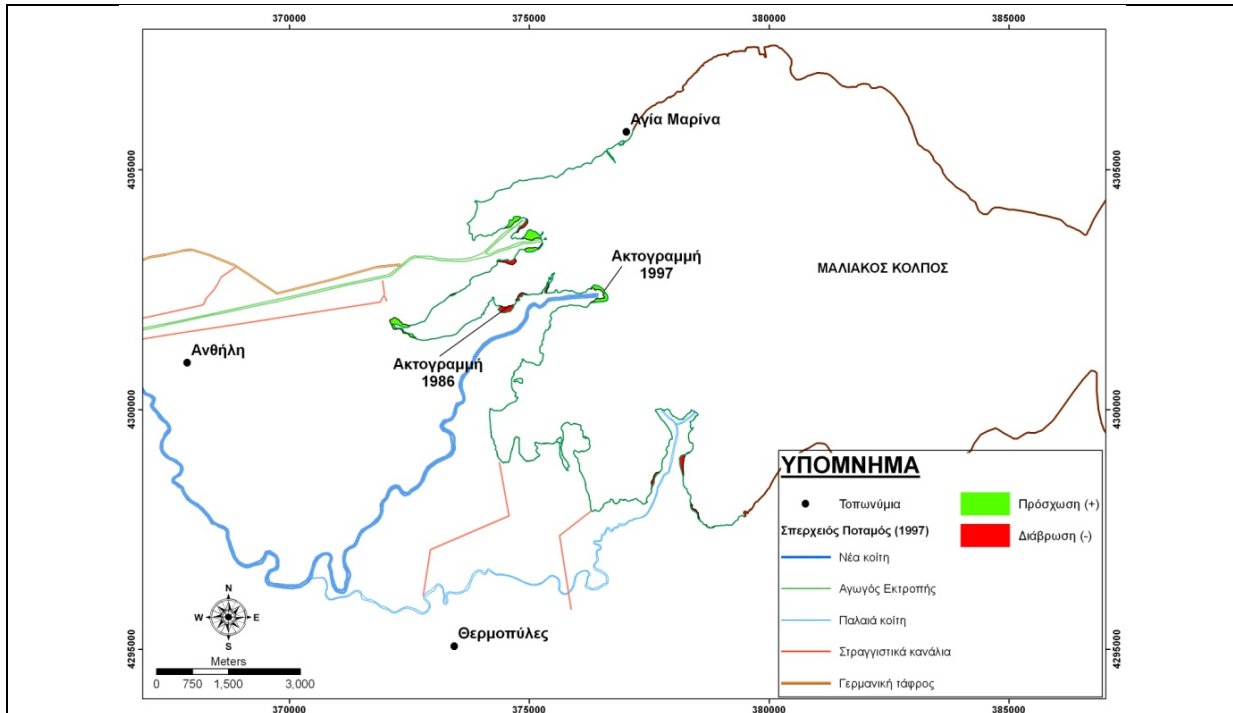
Εικόνα 8.35. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1908 έως το 1945. Είναι σαφής η προέλαση της ακτογραμμής τόσο στο σημείο εκβολής της Νέας κοίτης του Σπερχειού καθώς και μικρή αύξηση στο βόρειο τμήμα, όπου έχουν αρχίσει να μεταφέρονται σε μικρές ποσότητες τα νερά του Σπερχειού από την λειτουργία των πρώτων εγχειοβελτιωτικών έργων.



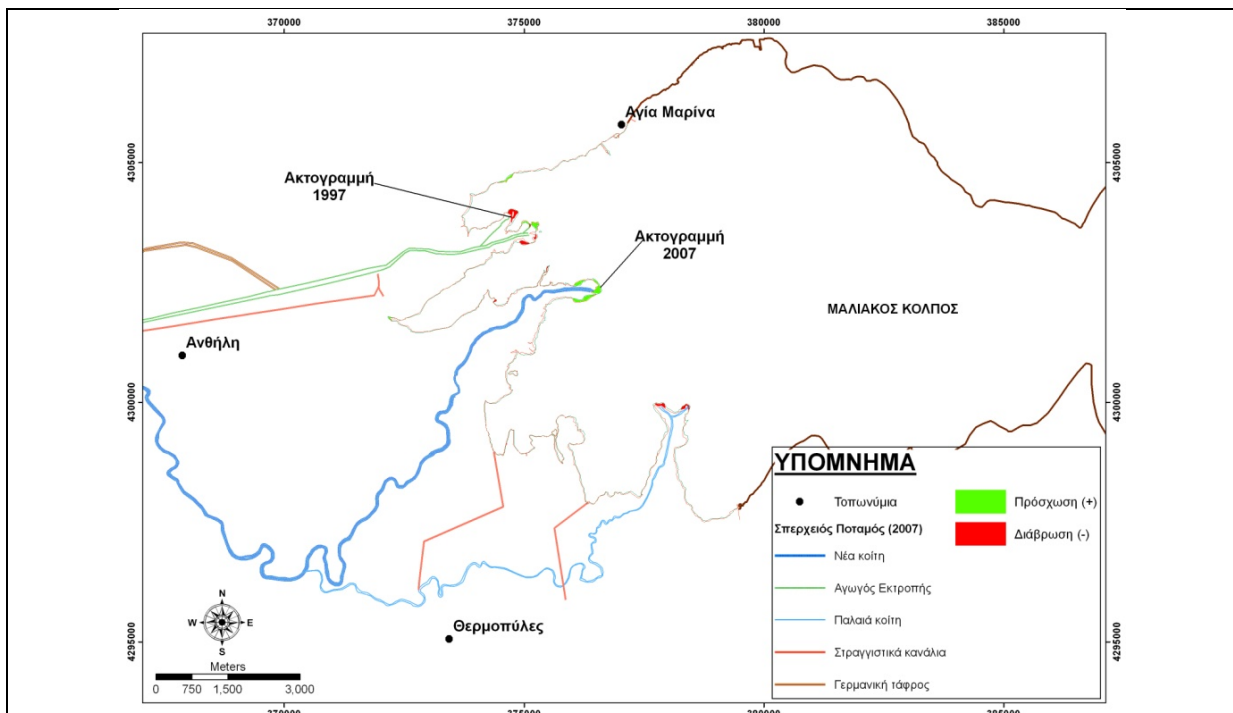
Εικόνα 8.36. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1945 έως το 1960. Είναι εμφανής η κατά μήκος αύξηση της ακτογραμμής στο σημείο εκβολής της Νέας κοίτης του Σπερχειού και της περιοχής στο βόρειο τμήμα του κόλπου όπου πλέον εκβάλλει ο Αγωγός Εκτροπής.



Εικόνα 8.37. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1960 έως 1986. Είναι εμφανής η υποχώρηση της ακτογραμμής στην περιοχή της Νέας κοίτης με ταυτόχρονη αδρανοποίηση του βόρειου στομίου εκβολής του Σπερχειού με ταυτόχρονη πολύ μεγάλη αύξηση στο βόρειο τμήμα που πλέον εκβάλλει ο Αγωγός Εκτροπής.



Εικόνα 8.38. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1986 έως το 1997. Παρατηρείται μία πολύ μικρή αύξηση της ακτογραμμής των εκβολών τόσο της Νέας κοίτης όσο και του Αγωγού Εκτροπής.



Εικόνα 8.39. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών της ακτογραμμής από το 1997 έως το 2007. Παρατηρείται πλέον μία κατάσταση ισορροπίας του δυναμικού συστήματος διάβρωσης-πρόσχωσης της ακτογραμμής, με μηδενικές σχεδόν αλλαγές.

8.2.6. Μελλοντικές εκτιμήσεις

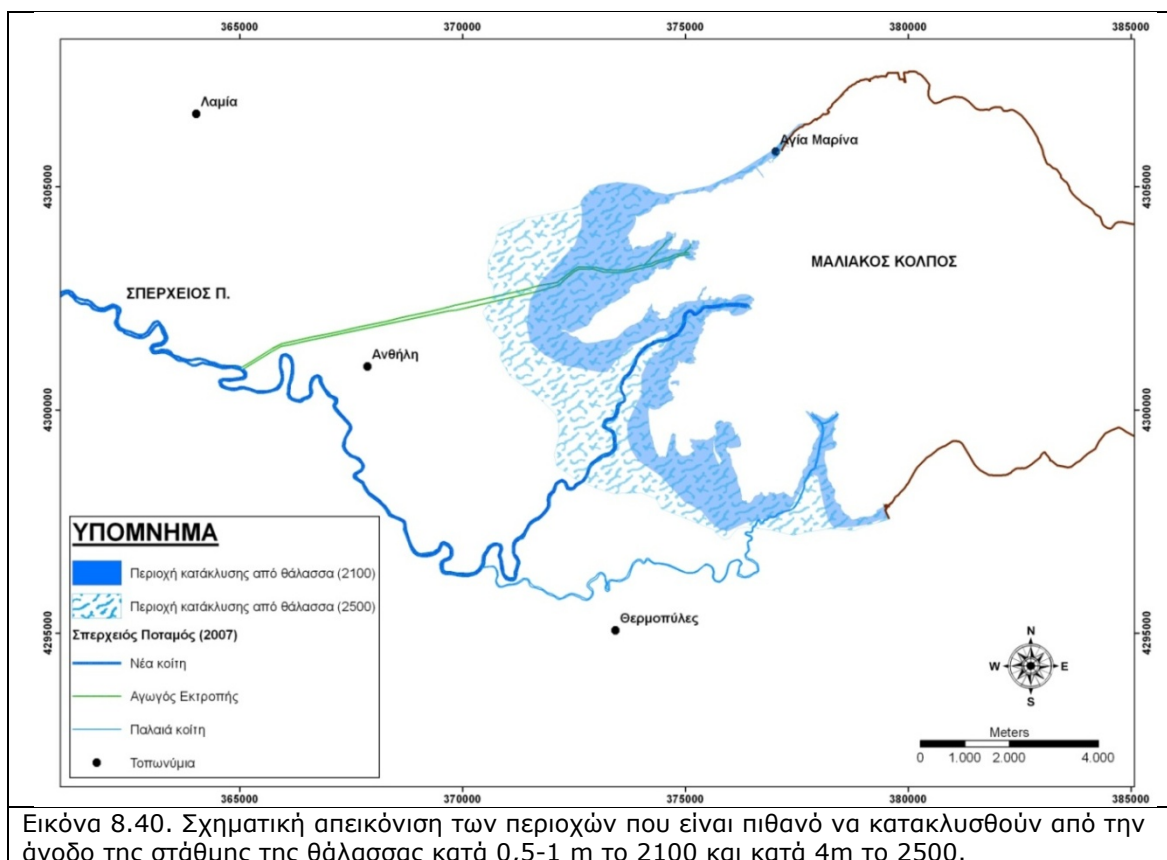
Μία από τις φυσικές μεταβολές που αναμένεται να επηρεάσει σε παγκόσμια κλίμακα τη Γη στο κοντινό μέλλον είναι η αναμενόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης, από το λιώσιμο των αλπικών παγετώνων και των πάγων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής και την διαστολή της μάζας του νερού των ωκεανών, που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, που είναι αποτέλεσμα κυρίως του φαινομένου του θερμοκηπίου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 0,4-0,8 °C τα τελευταία 140 χρόνια είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης στάθμης των ωκεανών κατά 10-20 cm (*Gaki-Papanastasiou et al.* 1997).

Με βάση τα στοιχεία αυτά και τις εκτιμήσεις της U.S. Environmental Protection Agency (EPA), το 2050 η θερμοκρασία θα έχει αυξηθεί κατά 1°C και η θαλάσσια στάθμη θα είναι κατά 15 cm υψηλότερη, ενώ το 2100 η θερμοκρασία θα είναι 2°C υψηλότερη από τη σημερινή και η θαλάσσια στάθμη θα έχει αυξηθεί κατά περίπου 34 cm (*Μαρουκιάν και αλ.* 2001). Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία της IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* 2001) η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας τον επόμενο αιώνα θα είναι 15-95 cm, ενώ μετά από 500 χρόνια, σύμφωνα με διάφορα μοντέλα πρόβλεψης μπορεί να φτάσει τα 2-4 m (*Hands* 1983, *Pranzini & Rossi* 1995, *Titus & Richman* 2000, *Cooper & Pilkey* 2004).

Με δεδομένη την έντονη εξάπλωση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στις χαμηλές παράκτιες περιοχές, όπως και στην παράκτια περιοχή του Σπερχειού, η οποία παρουσιάζει τις τελευταίες δεκαετίες τόσο αγροτική και τουριστική, όσο και βιομηχανική ανάπτυξη, οι επιπτώσεις από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης θα δημιουργούσε σημαντικότερα προβλήματα και καταστροφές (φυσικές και υλικές).

Με βάση την βιβλιογραφία, οι παράκτιες περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο μικρότερο των τεσσάρων μέτρων (<4m) είναι αυτές που θα πληγούν περισσότερο από την μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας μακροπρόθεσμα. Για την εκτίμηση της περιοχής που θα κατακλυσθεί, χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, από τους οποίους ψηφιοποιήθηκε η ισοϋψείς ανά 4 μέτρα. Εντοπίστηκαν επίσης, με την βοήθεια και του χάρτη κλίσεων, οι περιοχές με υψόμετρο μικρότερο από 0,5-1 m, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως οι περιοχές που πιθανότατα θα κατακλυσθούν από θάλασσα μέσα στον αιώνα που διανύουμε, δηλαδή σε βραχυπρόθεσμη κλίμακα (Εικόνα 8.40).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν οι περιοχές που βραχυπρόθεσμα κινδυνεύουν να κατακλυσθούν μέχρι το 2100 με άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5-1 m, καταλαμβάνουν έκταση 15,27 km², ενώ οι περιοχές που είναι πιθανό να κατακλυσθούν μακροπρόθεσμα μέχρι το 2500, καταλαμβάνουν έκταση 27,29 km². Σε σχέση με την συνολική έκταση της λεκάνης του ποταμού Σπερχειού, οι περιοχές που θα κατακλυσθούν από θάλασσα το 2100 και 2500 αποτελούν το 0,83 και 1,49%, αντίστοιχα. Επίσης, αν υποθέσουμε ότι το εμβαδόν των δελταϊκών πεδιάδων του Σπερχειού καταλαμβάνουν, με βάση την ισοϋψή των 200 m, μία έκταση περίπου 350 Km², τότε οι περιοχές που θα κατακλυσθούν από την θάλασσα το 2100 και το 2500, αποτελούν το 4,36 και 7,80%, αντίστοιχα.



Από την άνοδο της στάθμης τα βασικότερα προβλήματα που αναμένονται στην παράκτια περιοχή του Σπερχειού είναι:

- (α) η κατάκλιση καλλιεργήσιμων εκτάσεων,
- (β) η αχρήστευση πολλών αρδευτικών και αποστραγγιστικών δικτύων και
- (γ) η περεταίρω υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφόρου, που θα υποβαθμίσει ακόμα περισσότερο την ποιότητα των υπόγειων νερών (πηγαδιών, γεωτρήσεων) και θα επιφέρει προβλήματα αλατότητας των εδαφών στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πραγματική εικόνα της παράκτιας ζώνης και της ακτογραμμής που παρουσιάζεται στην εικόνα 8.40, μετά την προβλεπόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, είναι πολύ πιθανό να διαφέρει από τις εκτιμήσεις που έγιναν. Αυτό μπορεί να συμβεί, εξαιτίας του ότι η περιοχή θα επιδέχεται στην πράξη την ταυτόχρονη συνεχή δράση διαφόρων παραγόντων, όπως οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, η μεταβολή της ακτογραμμής (λόγω μείωσης των ιζημάτων που φτάνουν πλέον στην παράκτια ζώνη), ο τεκτονισμός κ.α. Για παράδειγμα, αξίζει να σημειωθεί ότι η έντονη παρέμβαση που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια στην παράκτια ζώνη, με τα οδικά έργα που έχουν κατασκευαστεί, έχουν οδηγήσει σε μία μεταβολή στην υδρολογία της περιοχής. Συγκεκριμένα πολλά ρέματα, αλλά και πηγές της περιοχής, έχουν ουσιαστικά «αποκοπεί», με τα νερά τους να αδυνατούν να φτάσουν πλέον στην θάλασσα. Η κατάσταση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των ιζημάτων που φτάνουν στην παράκτια ζώνη και την εμφάνιση τοπικών φαινομένων οπισθοδρόμησης της ακτογραμμής, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα του κόλπου (παλαιό δέλτα).

8.3. Ανίχνευση μεταβολών χρήσης/ κάλυψης γης

8.3.1. Ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης

Το βασικό πλεονέκτημα κατά την διαδικασία της ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων έχει να κάνει με το γεγονός ότι, οι τρεις εικόνες Landsat είχαν ακριβώς την ίδια ημερομηνία λήψης (26/7/1984 και 26/7/2007, με απόκλιση μόλις 2 ημερών της εικόνα του 1999, που είχε ημερομηνία λήψης 28/7). Το γεγονός ότι η βλάστηση και ιδιαίτερα οι καλλιέργειες βρίσκονται στο ίδιο φαινολογικό στάδιο αποτέλεσε ουσιαστικό παράγοντα, για την καταγραφή των τύπων χρήσης/ κάλυψης γης, την αποτύπωσή τους στη δορυφορική εικόνα και τελικά την ανίχνευση των αλλαγών και την ερμηνεία της κατανομής τους.

Κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης των εικόνων αντιμετωπίστηκαν ορισμένα προβλήματα, τα οποία επηρέασαν την συμπεριφορά του αλγόριθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης και κατά συνέπεια την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα προβλήματα αυτά οφείλονταν κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες:

α) τον πολυτεμαχισμό του κλήρου και η μικρή στρεμματική έκταση πολλών αγροτεμαχίων (1-2 στρέμματα). Οι δύο αυτοί παράγοντες ευνοούν την αύξηση των μικτών εικονοστοιχείων και μειώνουν την αποτελεσματικότητα της ταξινόμησης.

β) το υψηλό επίπεδο συσχέτισης μεταξύ των φασματικών καναλιών. Η υψηλή συσχέτιση, μειώνει την αποτελεσματικότητα των δεδομένων, σχετικά με τη διάκριση των διαφορετικών ειδών χρήσης/ κάλυψης γης, αφού ουσιαστικά το ένα φασματικό κανάλι είναι αντίγραφο του άλλου και δεν προσφέρει συμπληρωματική πληροφορία.

γ) την ύπαρξη μικτών εικονοστοιχείων, τα οποία εμφανίζονται στα όρια δύο διαφορετικών κλάσεων. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται σε περιοχές με μεγάλη ετερογένεια στην κάλυψη/χρήση γης, όπως είναι η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

δ) την διαδικασία αναγνώρισης των διαφόρων τύπων χρήσης/ κάλυψης γης και τον σωστό διαχωρισμό τους, ο οποίος επηρεάζεται από το ότι: (i) η μέτρια αραιή θαμνώδης βλάστηση-βοσκότοποι, εμφάνισε έντονη φασματική σύγχυση με τους ελαιώνες και την πυκνή θαμνώδη βλάστηση. Όπως γίνεται αντιληπτό, η σύγχυση οφείλεται κυρίως στη συνδυασμένη φασματική συμπεριφορά της βλάστησης και του εδάφους, είτε αυτή αφορά την φυσική βλάστηση, είτε τις καλλιέργειες (ελαιώνες), και σε μικρότερο βαθμό στον προσανατολισμό και την κλίση της επιφάνειας (επικλινείς και σκιασμένες επιφάνειες), (ii) οι αρόσιμες καλλιέργειες παρουσιάζουν φασματική σύγχυση με τα γυμνά εδάφη, (iii) οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν φασματική σύγχυση με τα γυμνά εδάφη, τους ελαιώνες και τις εκτάσεις με χέρσα εδάφη. Η σύγχυση αυτή παρατηρείται κυρίως σε περιοχές, οι οποίες επιδεικνύουν έντονη φωτεινότητα (έντονη ανάκλαση), καθώς και στις περιστατικές περιοχές όπου υπάρχει έντονη ανάμειξη πολλών διαφορετικών τύπων χρήσης/ κάλυψης γης, (iv) οι δενδρώδεις καλλιέργειες εμφανίζουν έντονη φασματική σύγχυση κυρίως με τους ελαιώνες. Η σύγχυση των δενδρωδών καλλιεργειών με τις υπόλοιπες κλάσεις οφείλεται στην κατά τόπους διαφοροποίηση των φασματικών υπογραφών η οποία εξαρτάται, κυρίως, από τις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται και την πυκνότητα φύτευσης και (v) οι ελαιώνες, παρουσιάζουν φασματική σύγχυση κυρίως με τις δενδρώδεις καλλιέργειες και σε μικρότερο βαθμό με την αραιή θαμνώδη βλάστηση, τις αστικές περιοχές και τα γυμνά καλυμμένα με πώδη βλάστηση εδάφη.

8.3.2. Ανίχνευση μεταβολών

8.3.2.1. Χρονική περίοδος 1984-1999

Η καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, που επήλθαν στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού κατά το χρονικό διάστημα από το 1984 έως το 1999, πραγματοποιήθηκε με την αλληλεπίθεση των δύο θεματικών χαρτών, που προέκυψαν από την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Σημαντική βοήθεια, κατά το στάδιο καταγραφής και ανάλυσης των μεταβολών, προσέδωσε και η χρησιμοποίηση της εικόνας των μεταβολών που είχε προκύψει από την Επιλεκτική Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Selective Principal Component Analysis-SPCA). Τέλος, πραγματοποιήθηκε συγκριτική αλληλεπίθεση των μεταβολών με τους χάρτες υψομετρικών ζωνών, γεωλογίας κλίσεων, με σκοπό να διερευνηθούν οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η συνύπαρξη καθενός τέτοιου παράγοντα με τις διάφορες μεταβολές.

Ο χάρτης των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, ο οποίος επεξεργάστηκε και τροποποιήθηκε χρωματικά για την ανάδειξη των μεγαλύτερων και σημαντικότερων αλλαγών που έλαβαν χώρα στην περιοχή, απεικονίζεται στην εικόνα 8.41. Το εμβαδό κάλυψης της κάθε μεταβολής, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης των αλλαγών, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 8.3.

Αναλυτικότερα, και με βάση τα αποτελέσματα που καταγράφονται στον πίνακα 8.3, προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

α) οι δασικές εκτάσεις παρουσιάζουν μείωση της έκτασής τους (3,02%). Οι βασικές μεταβολές που πραγματοποιούνται προς άλλη χρήση/κάλυψη, είναι 1,99 km² προς αστική δόμηση (0,11%) και 15,32 km² προς καλλιέργειες (0,83%), με το μεγαλύτερο ποσοστό να μετατρέπεται σε αροτράιες θερινές καλλιέργειες (0,76%). Η αστική επέκταση εντοπίζεται κυρίως στην περιαστική περιοχή της Λαμίας. Επίσης, παρουσιάζει μία αρκετά μεγάλη μεταβολή προς βοσκότοπους με έκταση 61,03 km² (3,34%), γεγονός που απεικονίζει μία σημαντική υποβάθμιση της βλάστησης, η οποία οφείλεται κυρίως σε πυρκαγιές και υλοτομήσεις-εκχερσώσεις που έχουν επέλθει κατά το διάστημα αυτό. Τέλος, υπάρχει μία μικρή μεταβολή της σε δρόμους (0,91 km²) και κατασκευές-εκκαφές (0,15 km²),

β) οι καμένες εκτάσεις που υπάρχουν στην εικόνα του 1984 και αποτελούσαν κυρίως δασική έκταση, βοσκότοπους και λίγες καλλιέργειες, στην εικόνα του 1999 αναδασώθηκαν σε έκταση 0,09 km² (0,01%), ή μετατράπηκαν σε καλλιέργειες κατά 1,21 km² (0,07%),

γ) οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν μία σημαντική αύξηση των εκτάσεων τους (12,88%). Όπως ήταν αναμενόμενο, δεν παρουσιάζονται μεταβολές του αστικού προς άλλη χρήση, ενώ οι κύριες μεταβολές από άλλη χρήση προς αστικό, αφορούν κυρίως την μετατροπή δασικών εκτάσεων, καλλιεργειών (1,24 km², 0,07%), βοσκότοπων (0,12 km², 0,01%) και περιοχών με χέρσες εκτάσεις (0,08 km²),

δ) οι καλλιέργειες παρουσιάζουν μία γενική αύξηση των εκτάσεων τους (2,47%). Η βασική μεταβολή που παρατηρείται σε αυτό το διάστημα, είναι των χειμερινών σε θερινές αροτράιες καλλιέργειες (Πίνακας 8.4). Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην μεγάλη αύξηση των επιδοτήσεων σε θερινές αροτράιες καλλιέργειες (όπως το βαμβάκι και ο αραβόσιτος), που ώθησαν πολλούς καλλιεργητές να αλλάξουν τις καλλιέργειές τους, ώστε να αυξήσουν το εισόδημά τους. Επίσης, παρατηρείται μία μικρή μεταβολή των αροτράιων καλλιεργειών προς

δενδρώδεις καλλιέργειες (0,57%) και ελιές (0,07%), ιδιαίτερα στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 8.3. Το εμβαδό κάλυψης της κάθε μεταβολής χρήσης/κάλυψης γης, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης των αλλαγών για την περίοδο 1984-1999.

Είδος μεταβολής χρήσης/κάλυψης γης Χρονική περίοδος 1984-1999	Έκταση μεταβολής (Km²)	Ποσοστό μεταβολής % του εμβαδού	Ποσοστό μεταβολής % του συνόλου των αλλαγών
Καμία Αλλαγή	1629.06	89.12	-
Καμένα σε Δάσος	0.09	0.01	0.03
Καμένα σε Αροτράιες καλλιέργειες	1.11	0.06	0.54
Καμένα σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	0.10	0.01	0.07
Βοσκότοποι σε Δάσος	32.29	1.77	16.23
Αροτράιες καλλιέργειες σε Δάσος	2.62	0.14	1.32
Δάσος σε Αστικό	1.99	0.11	1.00
Βοσκότοποι σε Αστικό	0.12	0.01	0.06
Καλλιέργειες σε Αστικό	1.24	0.07	0.63
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αστικό	0.08	0.00	0.04
Δάσος σε Βοσκότοπο	61.03	3.34	30.69
Δενδρώδεις καλλιέργειες σε Βοσκότοπο	0.11	0.01	0.06
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Βοσκότοπο	1.13	0.06	0.57
Δάσος σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	13.91	0.76	6.99
Βοσκότοποι σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	0.19	0.01	0.09
Αροτράιες χειμερινές σε Αροτράιες θερινές	38.50	2.11	19.35
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αροτράιες θερινές	0.13	0.01	0.07
Δάσος σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	0.06	0.00	0.03
Αροτράιες θερινές σε Αροτράιες χειμερινές	17.69	0.97	8.89
Δενδρώδεις σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	0.06	0.00	0.03
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αροτράιες χειμερινές	0.14	0.01	0.07
Δάσος σε Ελιές	0.96	0.05	0.48
Αροτράιες καλλιέργειες σε Ελιές	1.27	0.07	0.64
Δενδρώδεις καλλιέργειες σε Ελιές	2.70	0.15	1.36
Δάσος σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	0.39	0.02	0.20
Αροτράιες σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	10.33	0.57	5.19
Ελιές σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	4.93	0.27	2.48
Δάσος σε Δρόμους-Νερά	0.91	0.05	0.46
Βοσκότοποι σε Δρόμους-Νερά	0.58	0.03	0.29
Αροτράιες καλλιέργειες σε Δρόμους-Νερά	0.21	0.01	0.10
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Δρόμους-Νερά	0.97	0.05	0.49
Δάσος σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	0.15	0.01	0.07
Βοσκότοποι σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	0.83	0.05	0.42
Καλλιέργειες σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	2.11	0.12	1.06
Σύνολο:	1828.00	100.00	100.00

Τέλος, υπάρχει μία μικρή μεταβολή από τις αροτραίες καλλιέργειες προς την κατηγορία δρόμοι-νερά (0,21 km², 0,01%), ιδιαίτερα στην παράκτια περιοχή, διότι πραγματοποιήθηκαν αρκετά έργα οδοποιίας και αρδευτικά-στραγγιστικά έργα.

ε) οι βοσκότοποι (αραιή θαμνώδη και ποώδη βλάστηση) παρουσιάζουν μία αρκετά μεγάλη αύξηση των εκτάσεων τους (12,89%). Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της υποβάθμισης των δασικών εκτάσεων έπειτα από πυρκαγιές, αλλά και την εγκατάλειψη ή αγρανάπαυση ορισμένων ορεινών κυρίως αροτραίων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αυτές, με την πάροδο του χρόνου, καλύπτονται με φυσική θαμνώδη και ποώδη βλάστηση, που κατά την ταξινόμηση χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι.

ζ) όσον αφορά τις κατηγορίες κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα και δρόμοι-νερά παρουσιάζουν σημαντική ποσοστιαία αύξηση της έκτασής τους (16,49 και 3,66%, αντίστοιχα). Η αύξηση αυτή οφείλεται στην μεγάλη ανάπτυξη που υπάρχει στο διάστημα αυτό, κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, με την κατασκευή αρδευτικών και στραγγιστικών έργων, την διάνοιξη ή διαπλάτυνση αγροτικών δρόμων και την δραστηριοποίηση νέων ή την επέκταση παλιότερων λατομικών δραστηριοτήτων. Σε αυτή την ανάπτυξη, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής τα τελευταία χρόνια.

Πίνακας 8.4. Εξέλιξη κάλυψης γης γεωργικών εκτάσεων στο Δ.Δ. Ανθήλης (Πηγή στοιχείων ΕΣΥΕ)

Περίοδος	1968-1969 (%)	1982-1984 (%)	1995-1997 (%)	2005-2007 (%)
Σιτάρι	21,2	24,3	0,4	0,0
Σιτάρι σκληρό	4,8	0,3	28,3	13,1
Κριθάρι	16,0	1,5	0,9	0,1
Βρώμη	0,4	0,0	0,0	0,0
Καλαμπόκι	1,1	0,9	0,1	0,8
Ρύζι	37,0	28,1	22,3	27,3
Βαμβάκι	12,9	39,2	46,3	58,2
Τριφύλλι	3,7	2,7	0,8	0,2
Αγρανάπαυση	2,4	8,7	0,7	8,0
Αρδευόμενα	56,8	71,0	66,4	86,7
Σύνολο (εκτάρια)	2.386	3.234	3.536	2.822

Σύμφωνα με την συσχέτιση των κύριων μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης, με τις υψομετρικές ζώνες, την γεωλογία και τις κλίσεις, προέκυψε ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής των δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους λαμβάνει χώρα στην ορεινή και πολύ ορεινή περιοχή (69,3%). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ποσοστό 55,6% σε μεγάλες κλίσεις (>30%), κυρίως επάνω σε φλύσχη (53,7%) και ασβεστόλιθους (39,0%). Όλες αυτές οι παράμετροι συνηγορούν στο ότι οι περιοχές αυτές είναι από τις πλέον ευαίσθητες σε φαινόμενα διάβρωσης και απώλειας των εδαφών τους, κάτι που μπορεί να οδηγήσει στο μέλλον σε ερημοποίηση της περιοχής.

Επίσης η μεταβολή των χειμερινών σε θερινές αροτραίες καλλιέργειες λαμβάνει χώρα σε ποσοστό 38,6% στο ορεινό και πολύ ορεινό τμήμα, ενώ σε ποσοστό 19,3% βρίσκεται σε

κλίσεις μεγαλύτερες από 30%. Αυτές οι καλλιέργειες λόγω έλλειψης βλάστησης κατά τους χειμερινούς μήνες, διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο για διάβρωση.

8.3.2.2. Χρονική περίοδος 1999-2007

Η καταγραφή των αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης, που επήλθαν στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού κατά το χρονικό διάστημα από το 1999 έως το 2007, πραγματοποιήθηκε με την αλληλεπίθεση των δύο θεματικών χαρτών, που προέκυψαν από την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Σημαντική βοήθεια, κατά το στάδιο καταγραφής και ανάλυσης των μεταβολών, προσέδωσε και η χρησιμοποίηση της εικόνας των μεταβολών που είχε προκύψει από την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA). Τέλος, πραγματοποιήθηκε συνδυασμός των μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης, με τους χάρτες υψομετρικών ζωνών, γεωλογίας και κλίσεων, με σκοπό να διερευνηθούν οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρουν αυτές οι μεταβολές.

Ο χάρτης των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης, ο οποίος επεξεργάστηκε και τροποποιήθηκε χρωματικά για την ανάδειξη των μεγαλύτερων και σημαντικότερων αλλαγών που έλαβαν χώρα στην περιοχή, παρουσιάζεται στην εικόνα 8.42. Το εμβαδό κάλυψης της κάθε κλάσης μεταβολής, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της έκτασης των αλλαγών παρουσιάζονται στον πίνακα 8.5.

Αναλυτικότερα, και με βάση τα αποτελέσματα που καταγράφονται στον πίνακα 8.5, προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

α) οι δασικές εκτάσεις παρουσιάζουν μία περαιτέρω μείωση της έκτασής τους κατά 2,12%. Οι βασικές μεταβολές που πραγματοποιούνται προς άλλη χρήση/κάλυψη είναι προς αστική δόμηση κατά 2,08 km² (0,11%) και 35,54 km² (1,95%) προς καλλιέργειες, με το μεγαλύτερο ποσοστό να μετατρέπεται σε αροτραίες θερινές καλλιέργειες (21,22 km², 1,16%). Η αστική επέκταση εις βάρος της δασικής κάλυψης, εντοπίζεται κυρίως στην περιφερειακή περιοχή της Λαμίας. Την μεγαλύτερη όμως μεταβολή, παρουσιάζουν οι δασικές εκτάσεις προς βοσκότοπους με 130,21 km² (7,13%). Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στις πυρκαγιές, με πιο σημαντική την μεγάλη πυρκαγιά που εκδηλώθηκε το καλοκαίρι του 2000, βορειανατολικά της Μακρακώμης (κεφ. 2., παρ. 2.2.6), καθώς και στην επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα, με πολλές εκχερσώσεις και υλοτομήσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή. Τέλος, υπάρχει μία αρκετά μεγάλη μεταβολή της δασικής κάλυψης προς δρόμους και κατασκευές-εκσκαφές με έκταση 3,85 (0,21%) και 4,72 km² (0,26%), αντίστοιχα.

β) οι καμένες εκτάσεις συνοψίζονται σε δύο μικρές περιοχές που κήκαν το 2007 και οι οποίες αποτελούνταν από δάσος και καλλιέργειες με εκτάσεις 0,72 και 0,08 km², αντίστοιχα.

γ) οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν μία σημαντική αύξηση (8,70%). Οι κύριες μεταβολές από άλλη χρήση προς αστικό, αφορούν κυρίως την μετατροπή δασικών εκτάσεων, καλλιεργειών (7,51 km²), βοσκότοπων (1,24 km²) και χέρσων (0,6 km²).

δ) οι καλλιέργειες παρουσιάζουν μία αρκετά σημαντική μείωση των εκτάσεων τους (12,82%) (Πίνακας 8.4). Η σημαντική αυτή μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων οφείλεται σε πολλούς λόγους. Ο βασικότερος λόγος είναι η μείωση των επιδοτήσεων ορισμένων καλλιεργειών, καθώς και η αποσύνδεση σε ορισμένες από αυτές, της παραγωγής από την επιδότηση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, πολλά είδη, όπως ο καπνός και το βαμβάκι,

Πίνακας 8.5. Το εμβαδό της κάθε μεταβολής χρήσης/κάλυψης γης, το ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης των αλλαγών για την περίοδο 1999-2007.

Είδος μεταβολής χρήσης/ κάλυψης γης Χρονική περίοδος 1999-2007	Έκταση μεταβολής (Km²)	Ποσοστό μεταβολής % του εμβαδού	% του συνόλου των αλλαγών
Καμία Αλλαγή	1301.22	71.18	
Δάσος σε καμένα	0.72	0.04	0.14
Καλλιέργειες σε καμένα	0.08	0.00	0.02
Βοσκότοποι σε Δάσος	92.85	5.08	17.63
Καλλιέργειες σε Δάσος	50.26	2.75	9.54
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα-Νερά σε Δάσος	3.13	0.17	0.59
Δάσος σε Αστικό	2.08	0.11	0.40
Βοσκότοποι σε Αστικό	1.24	0.07	0.24
Καλλιέργειες σε Αστικό	7.51	0.41	1.43
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αστικό	0.60	0.03	0.11
Δάσος σε Βοσκότοπο	130.35	7.13	24.74
Καλλιέργειες σε Βοσκότοπο	41.07	2.25	7.80
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Βοσκότοπο	1.46	0.08	0.28
Δάσος σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	21.22	1.16	4.03
Βοσκότοποι σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	3.52	0.19	0.67
Αροτράιες χειμερινές σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	9.08	0.50	1.72
Ελιές-Δενδρώδεις σε Αροτράιες θερινές καλλιέργειες	8.88	0.49	1.69
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αροτράιες θερινές	2.02	0.11	0.38
Δάσος σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	3.05	0.17	0.58
Βοσκότοποι σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	1.58	0.09	0.30
Αροτράιες θερινές σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	61.70	3.38	11.71
Ελιές-Δενδρώδεις σε Αροτράιες χειμερινές καλλιέργειες	1.71	0.09	0.32
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Αροτράιες χειμερινές	0.89	0.05	0.17
Δάσος σε Ελιές	4.51	0.25	0.86
Βοσκότοποι σε Ελιές	1.45	0.08	0.27
Αροτράιες καλλιέργειες σε Ελιές	11.02	0.60	2.09
Δενδρώδεις καλλιέργειες σε Ελιές	9.63	0.53	1.83
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Ελιές	0.63	0.03	0.12
Δάσος σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	6.76	0.37	1.28
Βοσκότοποι σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	1.75	0.10	0.33
Αροτράιες σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	13.61	0.74	2.58
Ελιές σε Δενδρώδεις καλλιέργειες	1.68	0.09	0.32
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Δενδρώδεις	0.38	0.02	0.07
Δάσος σε Δρόμους-Νερά	3.85	0.21	0.73
Βοσκότοποι σε Δρόμους-Νερά	1.01	0.06	0.19
Καλλιέργειες σε Δρόμους-Νερά	7.47	0.41	1.42
Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα σε Δρόμους-Νερά	0.80	0.04	0.15
Δάσος σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	4.72	0.26	0.90
Βοσκότοποι σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	1.73	0.09	0.33
Καλλιέργειες σε Κατασκευές-Εκσκαφές-Χέρσα	10.79	0.59	2.05
Σύνολο:	1828.00	100.00	100.00

να μην καλλιεργούνται και τα χωράφια να μπαίνουν σε αγρανάπαυση ή να μένουν ακαλλιέργητα και να απεικονίζονται στις εικόνες σαν βοσκότοποι ή χέρσα εδάφη. Επίσης, σημαντικός λόγος είναι η μείωση της παραγωγικότητας ή η διάβρωση πολλών εδαφών, ιδιαίτερα σε πιο ορεινές περιοχές, λόγω της μεγάλης εντατικοποίησης της γεωργίας που συνέβει τις τελευταίες δεκαετίες.

Η μεταβολή που παρατηρείται ανάμεσα στις καλλιέργειες σε αυτό το διάστημα, είναι η μεγάλη μετατροπή των θερινών αροτραίων καλλιεργειών σε χειμερινές ή ακαλλιέργητα εδάφη (61,70 km², 3,38%). Η διαφορά του ακαλλιέργητου δεν ήταν δυνατόν να διαχωριστεί από την χειμερινή καλλιέργεια, διότι όλες οι δορυφορικές εικόνες, έχουν ημερομηνία λήψης κατά τον μήνα Ιούλιο, όπου τα χωράφια είναι άδεια από καλλιέργεια. Επίσης, παρατηρείται μία μικρή μεταβολή των αροτραίων καλλιεργειών προς δενδρώδεις καλλιέργειες (13,61 km², 0,74%) και ελιές (11,02 km², 0,60%), ιδιαίτερα στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ υπάρχει και μια πολύ μικρότερη αλλαγή από ελιές και δενδρώδεις προς αροτραίες καλλιέργειες. Αυτή η μεταβολή, πιθανόν να οφείλετε σε πολλά προβλήματα από παγετό που σημειώθηκαν στα δένδρα της περιοχής, στις αρχές της δεκαετίας, καθώς και σε μία σοβαρή ασθένεια που έπληξε την αρκετά εκτεταμένη καλλιέργεια της φιστικιάς. Τέλος, υπάρχει μία σημαντικότερη μεταβολή των καλλιεργειών προς τις κατηγορίες δρόμοι-νερά (7,47 km², 0,41%) και κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα (10,79 km², 0,59%). Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στα έργα του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου (διάνοιξη και διαπλάτυνση της ΠΑΘΕ), που πραγματοποιήθηκαν σε ολόκληρη την παράκτια ζώνη, καθώς και στην γενικότερη ανάπτυξη του αγροτικού οδικού δικτύου, που τα τελευταία χρόνια ήταν εντονότερη. Επίσης, σημαντική συνεισφορά είχε και η δημιουργία ή η βελτίωση των αρδευτικών-στραγγιστικών καναλιών της περιοχής, που περιελάμβανε την διαπλάτυνση του Αγωγού Εκτροπής, την δημιουργία του νέου μεριστή ανατολικά του χωριού Κόμμα και αρκετά άλλα εγγειοβελτιωτικά έργα.

ε) οι βοσκότοποι (αραιή θαμνώδη και ποώδη βλάστηση) παρουσιάζουν μία αρκετά μεγάλη αύξηση των εκτάσεων τους (+ 26,48%). Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της υποβάθμισης των δασικών εκτάσεων, έπειτα από πυρκαγιές, αλλά και την εγκατάλειψη ή αγρανάπαυση ορισμένων ορεινών κυρίως αροτραίων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αυτές, με την πάροδο του χρόνου, καλύπτονται με φυσική θαμνώδη και ποώδη βλάστηση, που με βάση την ταξινόμηση χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι.

ζ) όσον αφορά τις κατηγορίες κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα και δρόμοι-νερά παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποσοστιαία αύξηση της έκτασής τους (+17,58 και +55,82%, αντίστοιχα). Η αύξηση αυτή, όπως προαναφέρθηκε, οφείλεται στην τεράστια αύξηση των αναπτυξιακών έργων στην παράκτια ζώνη, με την κατασκευή της ΠΑΘΕ, αλλά και του νέου σιδηροδρομικού δικτύου. Εκτός, όμως από αυτά τα έργα, παρατηρείται μία γενικότερη ανάπτυξη στην περιοχή στο διάστημα αυτό, με την κατασκευή αρδευτικών και στραγγιστικών έργων, την διάνοιξη ή διαπλάτυνση αγροτικών δρόμων, λόγω της εντατικοποίησης των καλλιεργειών, την δραστηριοποίηση ή επέκταση των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, αλλά και την μεγάλη επέκταση, εκατέρωθεν κυρίως της ΠΑΘΕ, νέων βιομηχανικών και εμπορικών κτιρίων και εγκαταστάσεων, καθώς και την επέκταση της βιομηχανικής περιοχής (ΒΙΠΕ).

Σύμφωνα με την συσχέτιση των κύριων μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης με τις υψομετρικές ζώνες, την γεωλογία και τις κλίσεις, προέκυψε ότι το μεγαλύτερο μέρος της

μεταβολής των δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους λαμβάνει χώρα στην ορεινή και πολύ ορεινή περιοχή (46,8%). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ποσοστό 55,4% σε απότομες κλίσεις (>30%), κυρίως επάνω σε φλύσχη (34,1,7%), ασβεστόλιθους (26,6%) και οφιόλιθους (25,5%). Όλες αυτές οι παράμετροι συνηγορούν στο ότι οι περιοχές αυτές είναι από τις πλέον ευαίσθητες για διάβρωση και απώλεια των εδαφών τους στο μέλλον.

8.3.3. Ανθρώπινες χρήσεις και η επίδρασή τους στο φυσικό-γεωργικό και αστικό περιβάλλον

Οι γενικές τάσεις που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης είναι η αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, των γυμνών (ακαλλιέργητων) εδαφών και βοσκοτόπων, η μείωση της φυσικής δασικής βλάστησης και η σημαντική αύξηση τόσο των αστικών-δομημένων περιοχών, όσο και των κατασκευών-εκσκαφών και δρόμων. Το μεγαλύτερο μέρος των μεταβολών έγινε προς τα τέλη της δεκαετίας του '90 και μέχρι το 2007, με ορόσημο την ανακατασκευή της νέας εθνικής οδού (ΠΑΘΕ) στο «πέταλο» του Μαλιακού κόλπου, που βελτίωσε σημαντικά τον ρόλο της περιοχής στην ανάπτυξη της χώρας.

Τα κυριότερα αίτια των αλλαγών της κατανομής της χρήσης/κάλυψης γης ήταν η έντονη αστικοποίηση, η αύξηση του πληθυσμού στις πεδινές περιοχές και ο εκσυγχρονισμός του οδικού δικτύου, το οποίο έχει ως άμεση συνέπεια την έντονη αστική επέκταση και τη βελτίωση των μεταφορών. Επίσης, η Ευρωπαϊκή αγροτική πολιτική των επιδοτήσεων συγκεκριμένων καλλιεργειών οδήγησε στην αντικατάσταση πολλών μη προσοδοφόρων πλέον καλλιεργειών, ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία (όπως για παράδειγμα ο καπνός και το βαμβάκι), προς άλλες πιο προσοδοφόρες καλλιέργειες ή σε κατάσταση αγρανάπαυσης και ακαλλιέργησίας. Επίσης, ενώ στο διάστημα από το 1984 έως το 1999, παρατηρείται μία μικρή αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, κυρίως σε βάρος της φυσικής βλάστησης, την περίοδο 1999-2007 παρατηρείται μία μείωση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εντατικοποίηση των καλλιεργειών που καταγράφηκε τις τελευταίες δεκαετίες, η οποία άρχισε σιγά-σιγά να οδηγεί σε δημιουργία άγονων εδαφών. Τα εδάφη αυτά είτε δεν μπορούν πλέον να καλλιεργηθούν, είτε δίνουν πολύ χαμηλές αποδόσεις, με αποτέλεσμα να εγκαταλείπονται και να μετατρέπονται σε χέρσες εκτάσεις ή σε βοσκότοπους.

Αστική ανάπτυξη και επέκταση

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια, σε παγκόσμιο επίπεδο, και αφορά άμεσα το γεωργικό και φυσικό περιβάλλον, είναι η αστική ανάπτυξη και επέκταση σε βάρος των γόνιμων καλλιεργήσιμων εκτάσεων και των ζωνών φυσικής βλάστησης, καθώς και οι επιπτώσεις που έχει προκαλέσει στις περιοχές όπου λαμβάνει χώρα (Kressler & Steinnocher 2001, Small 2002, Maktav et al. 2005).

Όπως προέκυψε από την μελέτη των αλλαγών, κατά το χρονικό διάστημα 1984-2007, παρατηρείται μία έντονη αστική ανάπτυξη σε ολόκληρη την περιοχή, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στους ακόλουθους παράγοντες: (α) στον εκσυγχρονισμό και τη βελτίωση του οδικού δικτύου, (β) στην αύξηση του πληθυσμού στις πεδινές αστικές-δομημένες περιοχές κεφ. 2, παρ. 2.1.2), (γ) στην ταχεία οικονομική ανάπτυξη της Λαμίας κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η αρκετά μεγάλη αλλά σημαντική ανάπτυξη της βιοτεχνίας-βιομηχανίας και οι

υψηλές επιδοτήσεις των καλλιεργειών (κυρίως του βαμβακιού) και (δ) στη μεγαλύτερη ενασχόληση του τοπικού πληθυσμού με τον τουρισμό. Η μελλοντική επέκταση των δομημένων περιοχών προβλέπεται να συνεχιστεί με τους ίδιους ρυθμούς (ενδεχομένως και μεγαλύτερους), κυρίως όσον αφορά την παράκτια ζώνη, δεδομένου της βελτίωσης του οδικού δικτύου, καθώς και της λειτουργίας της νέας σιδηροδρομικής γραμμής.

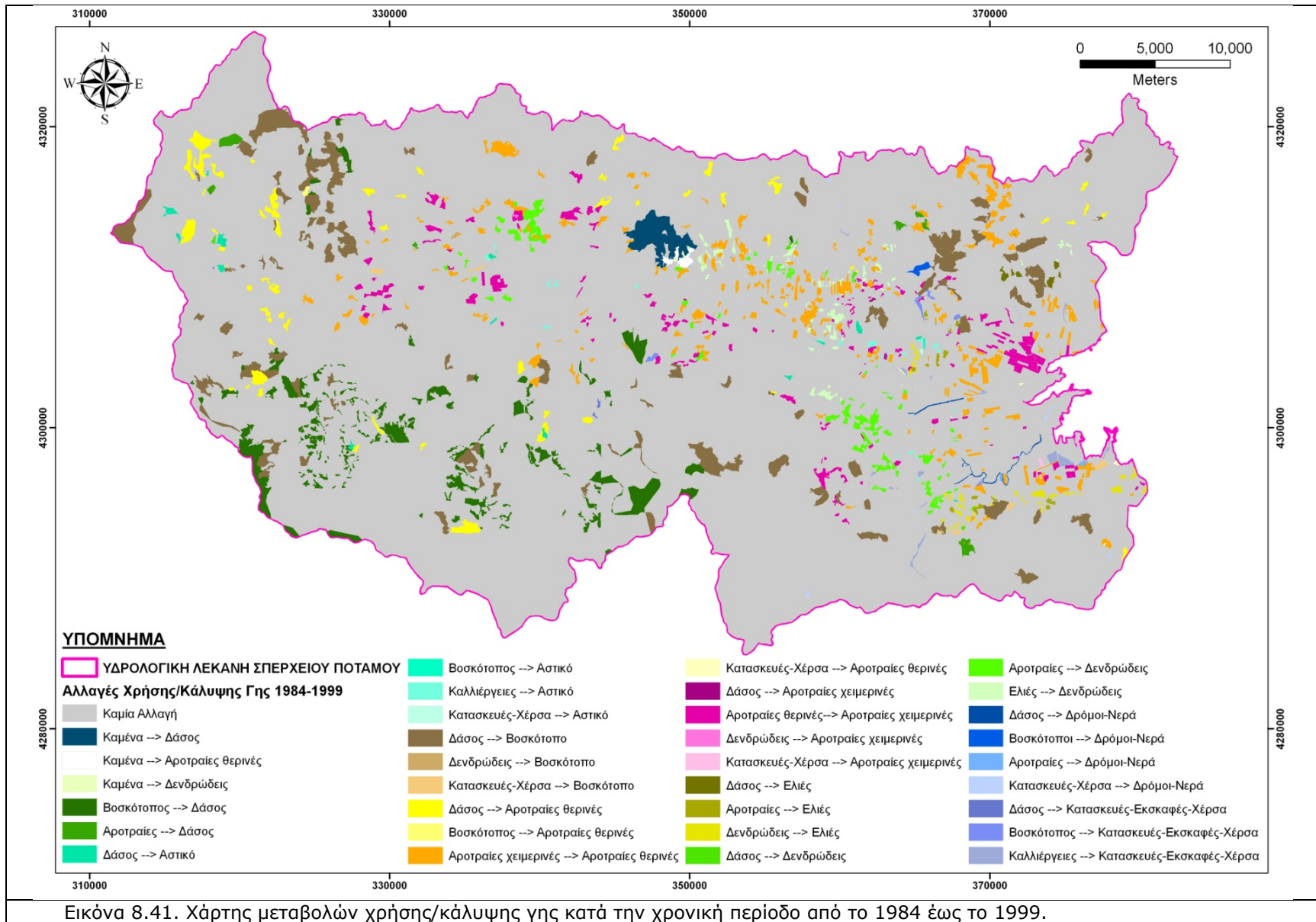
Επέκταση των καλλιεργητικών ζωνών εντός της φυσικής βλάστησης

Κατά την ανίχνευση των αλλαγών, αναδεικνύεται μία σημαντική επέκταση των καλλιεργητικών ζωνών εντός της φυσικής βλάστησης. Η προέλαση των καλλιεργούμενων εκτάσεων αποτελεί ουσιαστικά έναν από τους πιο σημαντικούς τρόπους εκδήλωσης της ανθρώπινης πίεσης προς το φυσικό περιβάλλον, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ανάγκη βελτίωσης του εισοδήματος του τοπικού πληθυσμού, δεδομένου ότι η περιοχή μελέτης είναι, σε πολύ μεγάλο βαθμό, αγροτική και το γεωργικό εισόδημα θεωρείται ως το κύριο εισόδημα σε μεγάλο τμήμα του πληθυσμού. Η συνήθης πρακτική που ακολουθείται για την αποψίλωση της φυσικής βλάστησης είναι, αρχικά, το κάψιμο της βλάστησης, μέσω των πυρκαγιών, η διάνοιξη νέου οδικού δικτύου και ακολούθως η καταπάτηση της γης και η εγκατάσταση νέων καλλιεργειών.

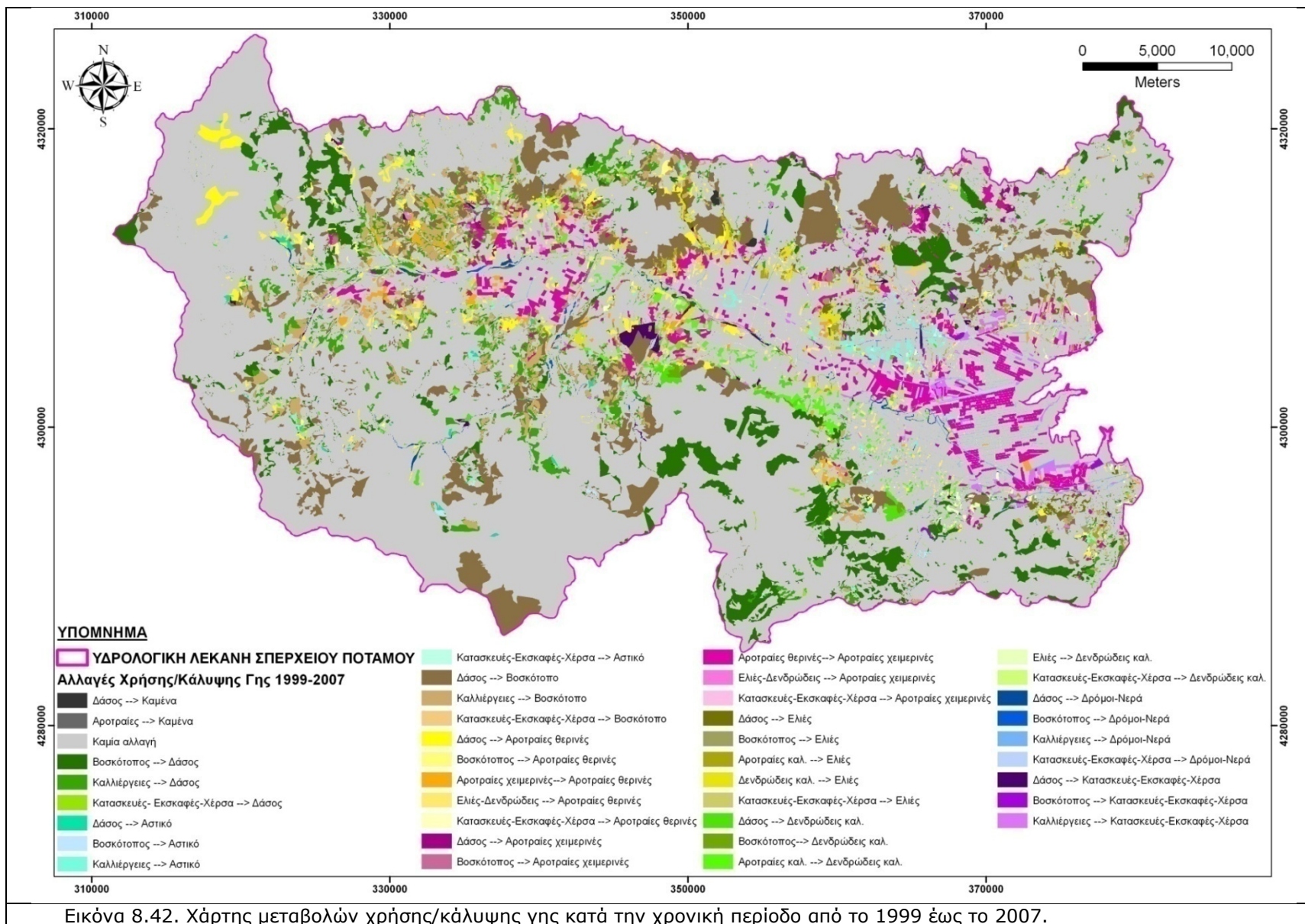
Η αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων έχει ευνοηθεί και από την επέκταση της άρδευσης και την μετατροπή των ξηρικών καλλιεργειών σε αρδεύσιμες, γεγονός το οποίο έχει βοηθήσει στην αύξηση της παραγωγής, πολλές φορές όμως σε βάρος της ποιότητας. Η επέκταση της χρήσης του νερού στις ολοένα αυξανόμενες καλλιεργούμενες εκτάσεις θα προκαλέσει αλυσιδωτές αντιδράσεις και επιπτώσεις στο φυσικό και γεωργικό περιβάλλον, καθώς δημιουργεί νέες ανάγκες σε νερό άρδευσης. Η διάνοιξη νέων γεωτρήσεων στις πεδινές εκτάσεις, πολλές από τις οποίες είναι παράνομες (δεν πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις που θέτει η νομοθεσία) οδηγούν σε υπερβολική άντληση του υπόγειου νερού για την κάλυψη των αναγκών σε νερό άρδευσης και κατά συνέπεια στην υποβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου (Εικόνα 8.43α). Η υποβάθμιση αυτή έχει να κάνει με την πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, τη διείσδυση της θάλασσας στα υπόγεια νερά, στο ανατολικό παράκτιο τμήμα και την αλλοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους (αλατούχα νερά) (Εικόνα 8.43β). Σαν συνέπεια αυτής της διαδικασίας, επέρχεται και η υποβάθμιση των εδαφών από την χρήση ακατάλληλου νερού και η μείωση της ποσότητας και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Αποψίλωση και υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης

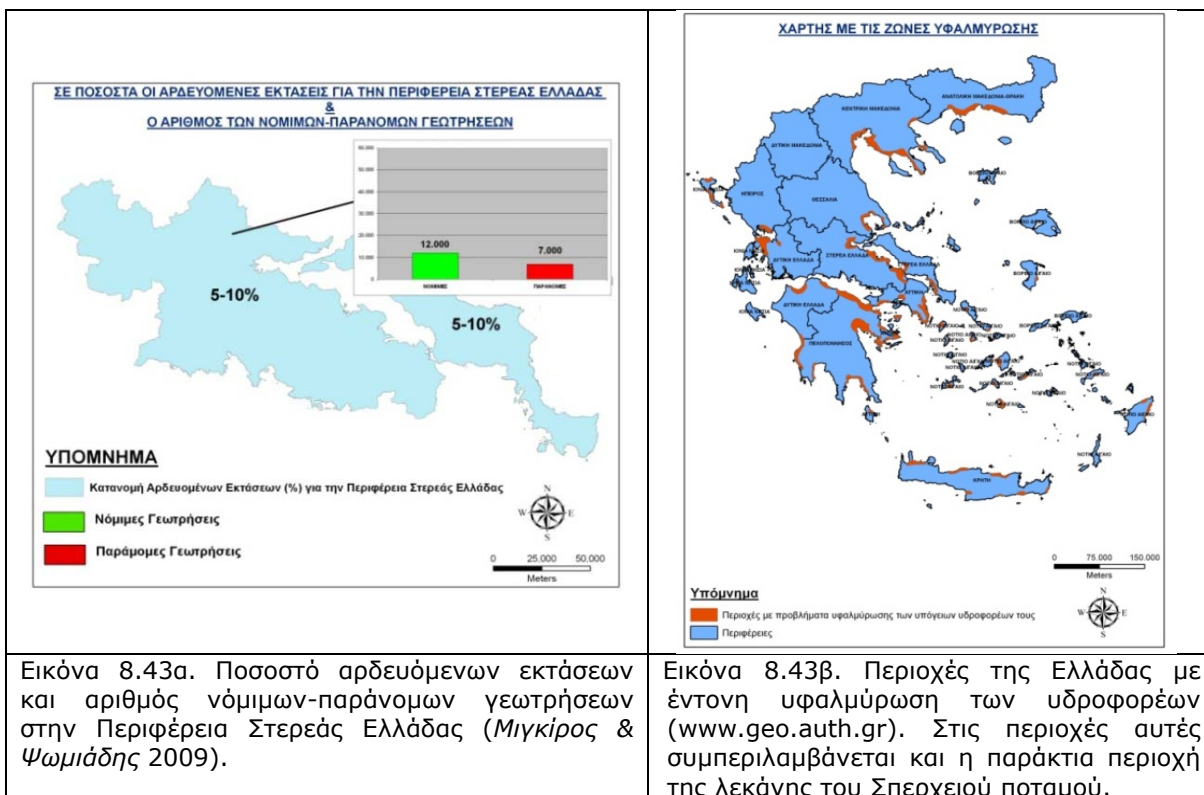
Η αποψίλωση και υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται άμεσα με τη θέση και την έκταση που καταλαμβάνει η βλάστηση στην περιοχή μελέτης. Αναλυτικότερα, όπως προέκυψε από την ανίχνευση των αλλαγών, παρατηρείται μία εκτεταμένη υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης, η οποία οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη πίεση, η οποία εκδηλώνεται ποικιλοτρόπως, με τις πυρκαγιές, την αποψίλωση της βλάστησης και την προέλαση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, τη διάνοιξη νέου οδικού δικτύου εντός των ζωνών βλάστησης, την αστικοποίηση (σε μικρότερο βαθμό) και την υπερβόσκηση.



Εικόνα 8.41. Χάρτης μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης κατά την χρονική περίοδο από το 1984 έως το 1999.



Εικόνα 8.42. Χάρτης μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης κατά την χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2007.



Εικόνα 8.43α. Ποσοστό αρδευόμενων εκτάσεων και αριθμός νόμιμων-παράνομων γεωτρήσεων στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας (Μιγκίρος & Ψωμιάδης 2009).

Εικόνα 8.43β. Περιοχές της Ελλάδας με έντονη υπαλιμύρωση των υδροφορέων (www.geo.auth.gr). Στις περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνεται και η παράκτια περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού.

8.4. Εκτίμηση της ευαισθησίας της περιοχής σε φαινόμενα φυσικού κινδύνου

8.4.1. Εκτίμηση της ευαισθησίας σε κατολισθήση

8.4.1.1. Εισαγωγή

Από τα διάφορα φαινόμενα φυσικών κινδύνων, οι κατολισθήσεις θεωρούνται μεταξύ των σημαντικότερων, διότι είναι δυνατόν να επιφέρουν μεγάλες ανθρώπινες απώλειες και καταστροφές. Η αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες, η επέκταση και δημιουργία νέων οικιστικών περιοχών, η κατασκευή τεχνικών έργων, καθώς και η αναζήτηση νέων φυσικών πόρων για εκμετάλλευση, έχουν ωθήσει τις ανθρώπινες δραστηριότητες στο να επεκταθούν σε απότομα πρηνή και σε ζώνες με μαλακά πετρώματα, όπου η διατάραξη της οποιασδήποτε φυσικής ισορροπίας, είναι δυνατόν να επιφέρει κατολισθήσεις (Koukis 1988).

Τα άμεσα αποτελέσματα των κατολισθήσεων, μπορεί να είναι η απώλεια ζώων, η καταστροφή περιουσιών, ενώ τα έμμεσα, μπορεί να είναι η απόφραξη ρεμάτων και ποταμών, η πλήρωση λεκανών-ταμιευτήρων, η καταστροφή αγροτικής γης κ.α. Τα αίτια των κατολισθήσεων είναι πολλά και κατά σύνθετο τρόπο αλληλοεξαρτώμενα και περιλαμβάνουν τις μετεωρολογικές συνθήκες, την τοπογραφία, την λιθολογία, την παλαιά και νέα τεκτονική δραστηριότητα, την κατανομή των πετρωμάτων, τη βλάστηση, την κλίση των πρηνών, τη διάβρωση, τις διαρρήξεις κλπ.

Εξαιτίας αυτού του εύρους και της πολυπλοκότητας των παραγόντων, που επηρεάζουν τις διαδικασίες και τον μηχανισμό των κατολισθήσεων, αρκετοί μελετητές προσπάθησαν στο

παρελθόν, χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας μεθόδους τηλεπισκόπησης, ΓΠΣ, στατιστικής επεξεργασίας και δεδομένων υπαίθρου, να αποδείξουν τον βαθμό επίδρασης του κάθε παράγοντα στις κατολισθήσεις (*Carrara et al.* 1991; 1995, *Dai et al.* 2000, *Lee & Min* 2001, *Saha et al.* 2002, *Lee et al.* 2004, *Foumelis et al.* 2004, *Ayalew & Yamagishi* 2005, *Fall et al.* 2006, *Park & Chi* 2007, *Kouli et al.* 2009).

Στην παρούσα διατριβή, έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η ευαισθησία (*susceptibility*) που παρουσιάζει η λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού, στην επίδραση των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν στην πρόκληση κατολισθήσεων. Η καταγραφή της ευαισθησίας σε κατολισθήσεις (*Landslide Susceptibility*), εκφράζει την διαίρεση της επιφάνειας του εδάφους σε ζώνες διαφορετικού βαθμού ευαισθησίας, βασισμένη στην εκτίμηση της σημασίας του κάθε παράγοντα που επενεργεί. Σκοπός επομένως ήταν, να εντοπιστεί και να χαρτογραφηθεί ο βαθμός ευαισθησίας αυτών των ζωνών, διερευνώντας ουσιαστικά τον κρίσιμο συνδυασμό των παραγόντων, που είναι δυνατό να επιφέρει κατολίσηση.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι προσέγγισης, για την εκτίμηση της ευαισθησίας σε κατολίσηση, χρησιμοποιώντας τις τεχνικές διαχείρισης των δεδομένων με ένα ΓΠΣ. Είναι οι ποιοτικές ή ημι-ποσοτικές και οι ποσοτικές.

Οι ποσοτικές χρησιμοποιούν μαθηματικές εκφράσεις που εκφράζουν την συσχέτιση που έχει κάθε αιτιολογικός παράγοντας στις κατολισθήσεις (*Carrara et al.* 1995, *Aleotti & Chowdhury* 1999, *Komac* 2006, *Caniani et al.* 2008). Οι ποιοτικές, βασίζονται στην γνώμη και την εμπειρία των ειδικών. Οι βασικοί τύποι των ποιοτικών μεθόδων χρησιμοποιούν τον δείκτη κατολίσησης, για να αναγνωρίσει περιοχές με όμοια γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά που είναι ευαίσθητα σε κατολίσηση (*Atkinson & Massari* 1998, *Fall et al.* 2006). Τέλος, υπάρχουν οι ποιοτικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούν δείκτες βαρύτητας και κατηγοριοποίησης των διαφόρων παραγόντων και ονομάζονται ημι-ποσοτικές. Στην πράξη έχει αποδειχτεί ότι οι ποιοτικές και ημι-ποσοτικές μέθοδοι έχουν δώσει σημαντικότερα συμπεράσματα, ιδιαίτερα σε μικρής κλίμακας περιοχές.

Η ημι-ποσοτική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή για να εξαχθεί ο δείκτης ευαισθησίας σε κατολίσηση (*Landslide Susceptibility Index-LSI*) της περιοχής. Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά περιλαμβάνει τον συνδυασμό πολλών παραγόντων που επενεργούν στην διαδικασία δημιουργίας μιας κατολίσησης. Αρχικά γίνεται μία ιεράρχηση σημαντικότητας των κλάσεων, του κάθε χάρτη ξεχωριστά. Συγκεκριμένα η ιεράρχηση ξεκινάει από το 1 και αφορά κλάσεις που δεν ευνοούν την δημιουργία κατολίσησης και όσο μεγαλώνει ο αριθμός ταξινόμησης, τόσο περισσότερο η κλάση αυτή επιδρά στην δημιουργία κατολίσησης.

Η προσπάθεια χρησιμοποίησης κλάσεων ταξινόμησης, που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιοχές, δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, διότι οι τοπικές συνθήκες είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή.

Έπειτα, σε κάθε παράγοντα δίνεται ένας δείκτης βαρύτητας, ανάλογα με την σημαντικότητα που διαδραματίζει στην δημιουργία κατολίσησης, σε συνάρτηση με την σημαντικότητα και των υπόλοιπων παραγόντων. Στο τέλος, όλοι οι χάρτες συνδυάζονται με ψηφιακή αλληλεπίθεση, ώστε να προκύψει ο χάρτης ευαισθησίας σε κατολίσηση.

8.4.1.2. Δημιουργία της γεωβάσης αναφοράς – Δείκτες βαρύτητας

Για την δημιουργία του χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LS), δημιουργήθηκαν στο ΓΠΣ, 11 χάρτες που περιλαμβάνουν όλους εκείνους τους παράγοντες που επιδρούν στην περιοχή έρευνας. Η δημιουργία αυτών των χαρτών, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, έγινε χρησιμοποιώντας ως βάση τους Τοπογραφικούς, Γεωλογικούς και Εδαφολογικούς χάρτες της περιοχής μελέτης. Για την εξαγωγή του χάρτη χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκε το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, της δορυφορικής εικόνας του Landsat 5 TM του 2007, με την εφαρμογή του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classifier) (ERDAS 2002). Αναλυτικά, οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του τελικού χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση ήταν:

α) Γεωλογία: αποτελεί έναν από του σημαντικότερους παράγοντες για την δημιουργία κατολίσθησης. Οι βασικές κλάσεις ταξινόμησης του τελικού γεωλογικού χάρτη, περιλαμβάνουν τους ασβεστόλιθους, τα νεογενή, τους οφιόλιθους-σχιστοκερατόλιθους, τις αλουβιακές αποθέσεις-κώνους κορημάτων και τον φλύσχη (Εικόνα 8.44).

β) Κλίσεις: οι κλίσεις παρουσιάζουν πολλαπλή επίδραση στην διαδικασία της κατολίσθησης. Άμεσα επιδρούν στον βαθμό συνάφειας των εδαφών, αλλά και έμμεσα ελέγχουν την ταχύτητα ροής του νερού. Οι κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις, με κλίση από 0-5%, 5-15%, 15-30%, 30-45% και >45% (Εικόνα 8.44).

γ) Χρήση/κάλυψη γης: η παρουσία ή απουσία της βλάστησης από μία περιοχή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ευαισθησία σε κατολίσθηση. Η πυκνή βλάστηση μειώνει την διαβρωτική ισχύ του νερού της βροχής, ενώ με το ριζικό της σύστημα (ιδιαίτερα σε δασικές περιοχές), συγκρατεί το έδαφος και ισχυροποιεί την αντίσταση του εδάφους στην διάβρωση (Montgomery et al. 2000, Kouli et al. 2009). Η χρήση/κάλυψη γης, κατηγοριοποιήθηκε σε 7 κλάσεις, οι οποίες χωρίζονταν σε δάση κωνοφόρων και αείφυλλων-πλατύφυλλων, σε δάση φυλλοβόλων, σε δενδρώδεις καλλιέργειες, σε δομημένες περιοχές, σε αροτραίες καλλιέργειες, σε γυμνά εδάφη καλλιεργούμενα και αμπέλια, καθώς και σε ορεινές περιοχές με χορτολίβαδα, με πολύ αραιή βλάστηση και καμένες περιοχές (Εικόνα 8.44).

δ) Βροχόπτωση: η κατανομή της βροχόπτωσης επιδρά άμεσα σε μία περιοχή, διότι μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες αυξημένης υγρασίας στα εδάφη, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, σε συνθήκες ευνοϊκές για κατολίσθηση. Η κατηγοριοποίηση της βροχόπτωσης έγινε με βάση το ύψος βροχής και χωρίστηκε σε 5 κλάσεις, με ύψη βροχής από 0-400 mm, 400-600 mm, 600-800 mm, 800-1.000 mm και >1.000 mm (Εικόνα 8.44).

ε) Βάθος εδάφους (soil depth): το βάθος εδάφους επηρεάζει τον βαθμό απορρόφησης της υγρασίας και την μορφή των κλίσεων. Η ιεράρχηση των κλάσεων έγινε με βάση το πάχος του εδαφικού καλύμματος και διαχωρίστηκαν σε βαθιά εδάφη, αβαθή και τελείως γυμνά από έδαφος (βράχος) (Εικόνα 8.44).

ζ) Σχετικό ανάγλυφο (relative relief): το σχετικό ανάγλυφο αποδίδει την απόλυτη μέγιστη διαφορά υψόμετρου σε ένα σημείο, υπολογισμένη σε ένα πίνακα 5x5. Σε κλίσεις με πανομοιότυπες γεωμηχανικές και γεωμετρικές παραμέτρους, το μεγαλύτερο υψόμετρο θα είναι πιο ευαίσθητο στη διάβρωση, αφού θα παρουσιάζει υψηλότερη απορροή και μικρότερη κατείσδυση του νερού (Singh 1989, Anbalagan 1992, Chauhan et al. 2010) (Εικόνα 8.44).

η) Καμπυλότητα/κυρτότητα (curvature): η καμπυλότητα εκφράζει πρακτικά την μορφολογία και την τοπογραφία μιας περιοχής (Zevenbergen & Thorne 1987). Οι θετικές τιμές δείχνουν ανοδικά κυρτές επιφάνειες και οι αρνητικές τιμές δείχνουν ανοδικά κοίλες. Η τιμή μηδέν αναπαριστά τις επίπεδες περιοχές (Ohlmacher 2007, Clerici et al. 2010). Για τις αρνητικές τιμές, όσο μικρότερη η τιμή τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία σε κατολίσθηση. Η ταξινόμηση των κλάσεων του χάρτη καμπυλότητας περιελάμβανε τις κλάσεις με τιμές $> -0,19$, $-0,2$ έως $-0,59$, $-0,6$ έως $-0,99$ και < -1 (Εικόνα 8.44).

θ) Προσανατολισμός των κλίσεων (slope aspect): ορίζει την κατεύθυνση των κλίσεων και εκφράζεται σε μοίρες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκαν οι κλάσεις από $0,5$ έως 90° σαν ΒΑ, από 90 έως 180° σαν ΝΑ, από 180 έως 270° σαν ΝΔ, από $270-359,5^\circ$ σαν ΒΔ και από $359,5-0,5^\circ$ σαν επίπεδες περιοχές. Ουσιαστικά ο προσανατολισμός των κλίσεων, επηρεάζει έμμεσα την δράση της κατολίσθησης, διότι ελέγχει την έκθεση στα διάφορα κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως η έκθεση στον ήλιο, η βροχόπτωση κλπ. και σαν αποτέλεσμα αυτών, την κάλυψη από βλάστηση (Dai et al. 2002, Cevik & Topal 2003) (Εικόνα 8.44).

ι) Απόσταση από ρέματα: η γεινίαση με ρέματα, των οποίων η ροή μπορεί να δημιουργήσει χαραδρωτική διάβρωση, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην εκδήλωση κατολίσθησης (Pachauri et al. 1998). Επίσης, στα σημεία που γεινιάζουν με ρέματα παρατηρείται και η μεγαλύτερη κατείσδυση νερού, διότι υπάρχουν υλικά με μεγάλη περατότητα. Χρησιμοποιήθηκαν τα ρέματα 3^{ης} τάξης και μεγαλύτερα, διότι αυτά έχουν περισσότερο την δυναμική να επιφέρουν προβλήματα κατολίσθησης. Σε αυτά τα ρέματα δημιουργήθηκε μία ζώνη πλάτους 50 m, από τον κλάδο του κάθε ρέματος και χωρίστηκε η περιοχή, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 8.44).

κ) Απόσταση από ρήγματα: η απόσταση από τεκτονικές δομές δημιουργεί την πιθανότητα να λάβει χώρα ένα κατολισθητικό φαινόμενο. Αυτό συμβαίνει διότι, η επιλεκτική διάβρωση, καθώς και η κίνηση του νερού κατά μήκος ενός ρήγματος, μπορούν να προκαλέσουν τέτοια φαινόμενα. Δημιουργήθηκε για τα ρήγματα, μία ζώνη πλάτους 200 m και χωρίστηκε η περιοχή, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 8.44).

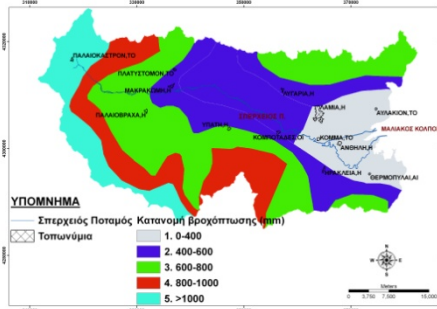
λ) Απόσταση από δρόμους: εκτεταμένες εκσκαφές και αποψίλωση της βλάστησης, είναι μερικές από τις βασικές ενέργειες που γίνονται κατά την κατασκευή των δρόμων. Οι διαδικασίες αυτές σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες που επιδρούν σε μια περιοχή, μπορούν να επιφέρουν σημαντικά προβλήματα κατολισθήσεων. Χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διατριβή οι ασφαλοστρωμένοι και οι μεγαλύτεροι χωμάτινοι δρόμοι (αγροτικό οδικό δίκτυο) και δημιουργήθηκε μια ζώνη πλάτους 50 m. Έπειτα η περιοχή χωρίστηκε, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 8.44).

8.4.1.3. Δημιουργία χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LS)

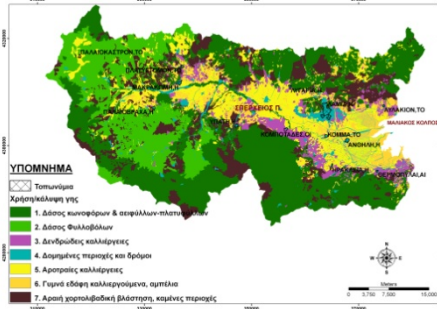
Όλες οι παραπάνω παράμετροι, μετατράπηκαν στο τελικό στάδιο σε ψηφιακή μορφή στο ΓΠΣ, με κάθε μία να αναπαριστά έναν ανεξάρτητο παράγοντα στην βάση δεδομένων (spatial database) που δημιουργήθηκε. Ανάλογα με την σημασία που παρουσιάζει κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες, στην αστάθεια των πρανών της περιοχής, ορίστηκαν δείκτες



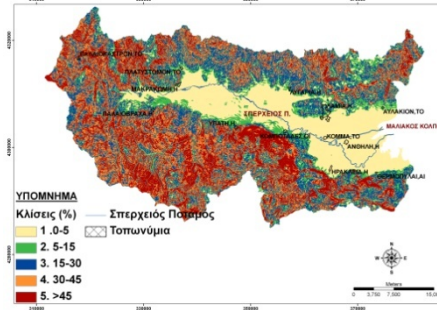
1



2



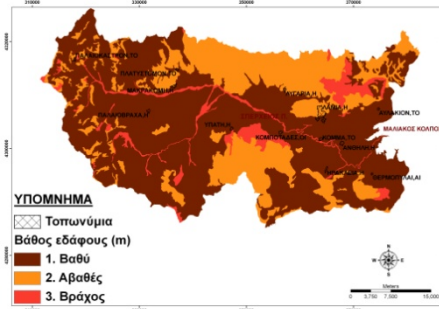
3



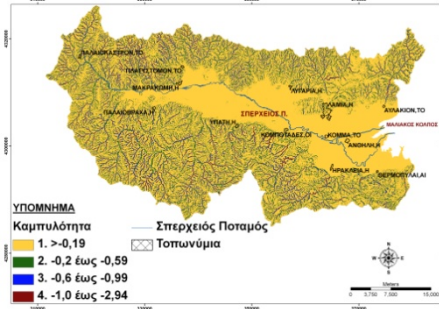
4



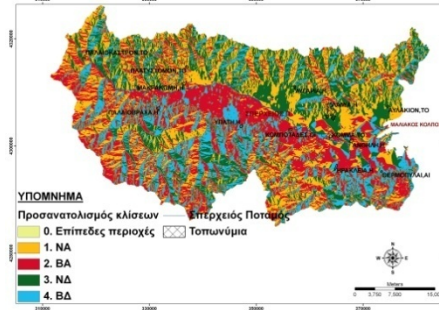
5



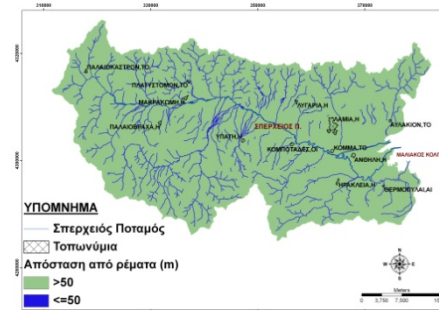
6



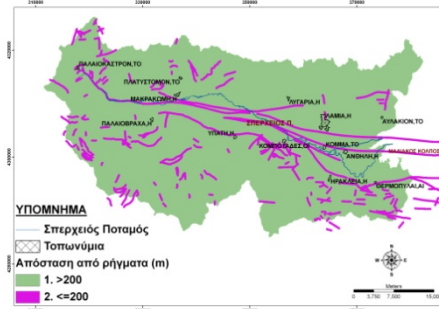
7



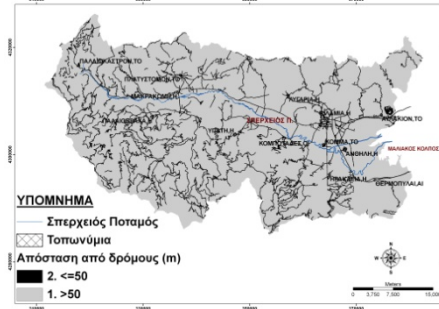
8



9



10

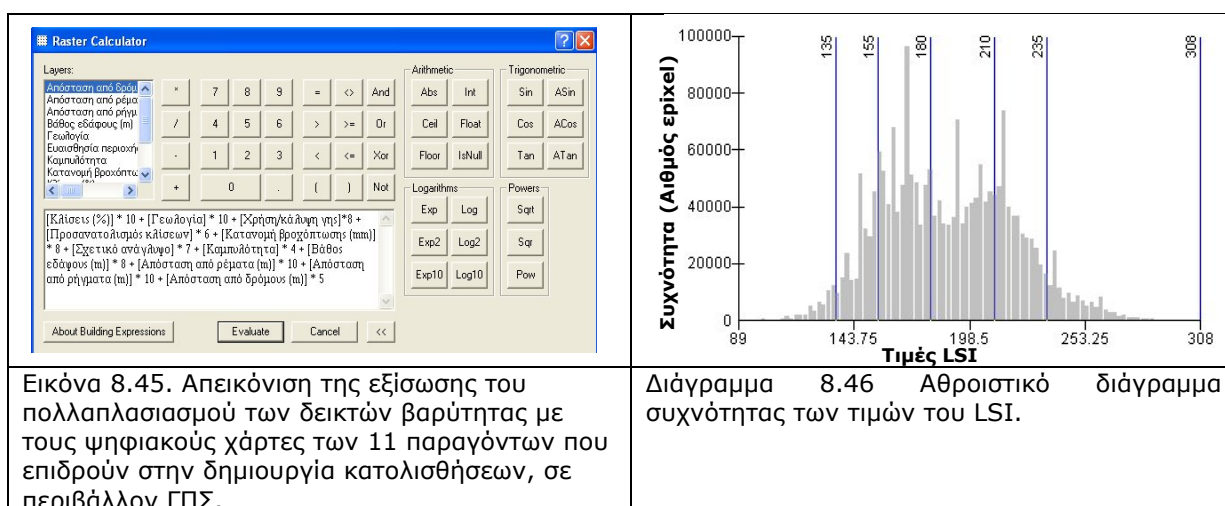


11

Εικόνα 8.44. Οι θεματικοί χάρτες των παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ευαισθησίας σε κατολισθήση, στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού: 1.Γεωλογία, 2.Κατανομή βροχοπτώσεων, 3.Χρήση/κάλυψη γης, 4.Κλίσεις, 5.Σχετικό ανάγλυφο, 6.Βάθος εδάφους, 7.Καμπυλότητα, 8.Προσανατολισμός κλίσεων, 9.Απόσταση από ρέματα, 10.Απόσταση από ρήγματα, 11.Απόσταση από δρόμους.

βαρύτητας από το 1-10. Η σημασία της κάθε ταξινομημένης κλάσης, του κάθε παράγοντα, στην πρόκληση κατολισθήσεων, εξάγεται πολλαπλασιάζοντας τον κάθε δείκτη βαρύτητας με τον βαθμό ιεράρχησης της κάθε κλάσης (Εικόνα 8.45, Πίνακας 8.6).

Στην πραγματικότητα βέβαια, η εφαρμογή του κάθε δείκτη βαρύτητας, περιέχει και μία δόση αυθαίρετης επιλογής, αφού ουσιαστικά επιχειρείται ο υπολογισμός μίας σχετικής εκτίμησης της ευαισθησίας σε κατολίωση και όχι μιας απόλυτης. Οι τελικοί δείκτες βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν, βελτιώθηκαν με την επαναλαμβανόμενη εξέταση του τελικού χάρτη που προέκυπτε από τον συνδυασμό των 11 παραγόντων και με τελικό σκοπό την βελτιστοποίηση του χάρτη ευαισθησίας σε κατολίωση. Ο τελικός χάρτης αναταξινομήθηκε, με βάση το αθροιστικό διάγραμμα συχνότητας των τιμών που προκύπτουν από την εφαρμογή των πράξεων μεταξύ των 11 παραγόντων στο ΓΠΣ (Διάγραμμα 8.46) και αποδόθηκαν τελικά 6 κλάσεις ταξινόμησης (Εικόνα 8.47).



Οι κλάσεις αυτές διαχωρίζουν την περιοχή σε τμήματα με Ελάχιστη (2,48 %), Πολύ χαμηλή (11,81%), Χαμηλή (30,44%), Μέτρια (29,84%), Υψηλή (19,25%) και Πολύ υψηλή (6,18%) ευαισθησία σε κατολίωση. Οι περιοχές δηλαδή, που παρουσιάζουν από μέτρια έως πολύ υψηλή ευαισθησία σε εκδήλωση φαινομένων κατολίωσης, αποτελούν το 55,25% της λεκάνης, ποσοστό ιδιαίτερα μεγάλο.

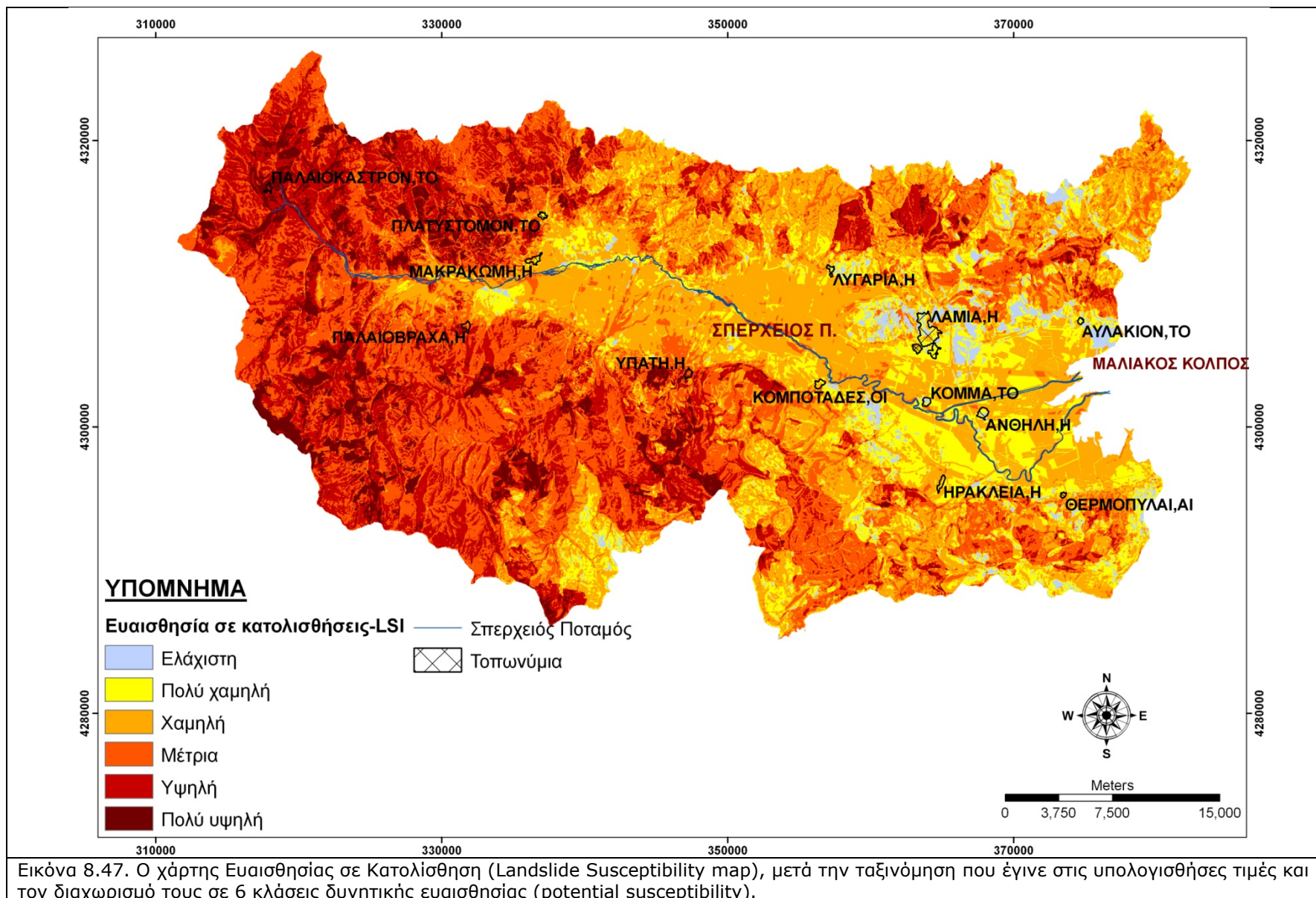
Στον χάρτη ευαισθησίας σε κατολίωση (LS) που προέκυψε, είναι εμφανές ότι οι πιο ευαίσθητες περιοχές για κατολίωση εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής και λιγότερο στο πεδινό και παράκτιο τμήμα της.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, υπό το πρίσμα ότι οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο της κατολίωσης εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει κυρίως τον σχηματισμό του φλύσχη, ο οποίος χαρακτηρίζεται από φαινόμενα κατολισθήσεων. Στον σχηματισμό του φλύσχη σχηματίζονται βαθειά εδάφη, πλούσια σε άργιλο, όπου σε παρατεταμένες συνθήκες υγρασίας (έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις) έχουν την ιδιότητα να απορροφούν και να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες υγρασίας. Όταν η ποσότητα υγρασίας που περιέχουν τα εδάφη αυτά, ξεπεράσει ένα «όριο υδαρότητας» τότε τα εδάφη αυτά «ολισθαίνουν», δίνοντας κατολισθήσεις. Επίσης, στις

περιοχές αυτές εντοπίζονται μεγάλες κλίσεις και υψηλό σχετικό ανάγλυφο, ιδιότητες δηλαδή που ευνοούν τις κατολισθήσεις.

Πίνακας 8.6. Η εφαρμογή των δεικτών βαρύτητας και της σχετικής σημαντικότητας του κάθε παράγοντα που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία υπολογισμού της ευαισθησίας σε κατολίθιση.

Παράγοντας	Κλάσεις	Ιεράρχηση κλάσεων ταξινόμησης	Βάρος	Σπουδαιότητα
Κλίσεις (%) (Slope gradient)	0-5	1	10	10
	5-15	2		20
	15-30	3		30
	30-45	4		40
	>45	5		50
Γεωλογία	Ανθρακικά πετρώματα	1	10	10
	Νεογενή	2		20
	Οφιόλιθοι-Σχιστοκερατόλιθοι	3		30
	Αλουβιακές αποθέσεις-Κώνιοι κορημάτων	4		40
	Φλύσσης	5		50
Χρήση/Κάλυψη γης	Δάση Κωνοφόρων & Αείφυλλων-Πλατύφυλλων	1	8	8
	Δάσος Φυλλοβόλων	2		16
	Δενδρώδεις καλλιέργειες- Ελιές	3		24
	Οικισμοί & Δρόμοι	4		32
	Αροτραίες καλλιέργειες	5		40
	Γυμνά Εδάφη-Αμπέλια-Χέρσα-Εκκαφές	6		48
	Βοσκότοποι-Αραιή ποώδης βλάστηση & καμένες εκτάσεις	7		56
Προσανατολισμός κλίσεων (Slope aspect)	Επίπεδες περιοχές	0	6	0
	ΝΑ	1		6
	ΒΑ	2		12
	ΝΔ	3		18
	ΒΔ	4		24
Βροχόπτωση (mm)	0-400	1	8	8
	400-600	2		16
	600-800	3		24
	800-1.000	4		32
	>1.000	5		40
Σχετικό ανάγλυφο (Relative relief) (m)	<20	1	7	7
	20-40	2		14
	>40	3		21
Καμπυλότητα/ Κυρτότητα (m ⁻¹)	>-0,19	1	4	4
	(-0,2) - (-0,59)	2		8
	(-0,6) - (-0,99)	3		12
	< -1	4		16
Βάθος εδάφους (m)	Βαθύ	1	8	8
	Αβαθές	2		16
	Βράχος	3		24
Απόσταση από ρέματα (m)	>50	1	10	10
	≤50	2		20
Απόσταση από ρήγματα (m)	>200	1	10	10
	≤200	2		20
Απόσταση από δρόμους (m)	>50	1	5	5
	≤50	2		10



Εικόνα 8.47. Ο χάρτης Ευαισθησίας σε Κατολίσηση (Landslide Susceptibility map), μετά την ταξινόμηση που έγινε στις υπολογισθήσες τιμές και τον διαχωρισμό τους σε 6 κλάσεις δυνητικής ευαισθησίας (potential susceptibility).

8.4.2. Εκτίμηση της ευαισθησίας σε πυρκαγιά και πλημμύρα

8.4.2.1. Πυρκαγιές

Η πυρκαγιά αποτελεί έναν οικολογικό παράγοντα ο οποίος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατανομή, οργάνωση και εξέλιξη των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (*Koutsias & Karteris 2003*). Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή, πολλές φορές ευνοούν την εκδήλωση πυρκαγιών, και ιδιαίτερα κατά τους ξηρούς θερινούς μήνες, όπου οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες και μικρής διάρκειας. Οι πυρκαγιές αυτές προκαλούν την δημιουργία περιοχών με γυμνά εδάφη, με ταυτόχρονη αύξηση της διάβρωσης, της επιφανειακής απορροής (πλημμυρικά φαινόμενα) και της μεταφοράς φερτών υλών προς τις κατάντη πεδινές περιοχές. Ταυτόχρονα, οι απώλειες σε νερό αυξάνονται, λόγω της μεγαλύτερης εξάτμισης του εδάφους που οφείλεται στην απουσία βλάστησης, τις αυξημένες θερμοκρασίες και την μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου, ενώ παρατηρείται μείωση των υπόγειων αποθεμάτων νερού που είναι διαθέσιμα για άντληση κατά τα επόμενα χρόνια.

Η κλασική διαδοχή της βλάστησης μετά από πυρκαγιά, που παρατηρείται στις Μεσογειακές περιοχές, χαρακτηρίζεται από την αρχική γρήγορη μείωση των ειδών σε μία απογυμνωμένη περιοχή. Στη συνέχεια με την φυσική αναγέννηση της βλάστησης, με το πέρασμα των χρόνων, αυξάνονται τα είδη φθάνοντας μία μέγιστη τιμή και ακολούθως μειώνονται με την ωρίμανση των φυτικών κοινωνιών (*Whelan 1995*).

Όλοι σχεδόν οι σημερινοί τύποι της θαμνώδους βλάστησης των αείφυλλων πλατύφυλλων (*maquis, garrigue*) αποτελούν υποβαθμισμένες μορφές των γνήσιων και αρχέγονων μικτών Μεσογειακών δασών. Η αποψίλωση των δασών από τις πυρκαγιές μπορεί να προκαλέσει τη διατάραξη των υδατικού καθεστώτος στις κατάντη περιοχές, να οδηγήσει στη διάβρωση και στη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών (έντονα πλημμυρικά φαινόμενα), και να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τοπικό μικρόκλιμα. Επίσης, η έντονη διάβρωση του εδάφους, οδηγεί τελικά την τέλεια υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του τόπου, με τελική κατάληξη την διάβρωση του εδάφους και την εμφάνιση του φαινομένου της ερημοποίησης (<http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/pirkagies.csp>).

Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν (*Κατσάνος 1970*) για την διερεύνηση της ευφλεκτικότητας των διαφόρων ειδών, τα οποία συγκροτούν τα Ελληνικά δάση, προέκυψε ότι το πλέον εύφλεκτο είδος είναι η χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*) και τα λιγότερο εύφλεκτα είναι τα ψυχρόβια κωνοφόρα, όπως το δασόπευκο (*Pinus silvestris*), η λευκόδερμη πεύκη (*Pinus leucodermis*) και το Έλατο (*Picea abies*) και από τα πλατύφυλλα η Καστανιά (*Castanea vesca*). Ειδικότερα η κατάταξη των δασών με βάση την ευφλεκτικότητα τους είναι (*Κατσάνος 1970*): (1) Δάση υψηλής ευφλεκτικότητας: (α) Χαλεπίου Πεύκης, (β) Τραχείας πεύκης, (γ) Λοιπά κωνοφόρα (κυπαρίσσι κλπ.) και (δ) Αειφύλλων πλατυφύλλων, (2) Δάση λιγότερο εύφλεκτα: (α) Μαύρης πεύκης, (β) Δρυός, (γ) Οξιάς, (δ) Λοιπών φυλλοβόλων και (3) Δάση λίγο εύφλεκτα: (α) Ελάτης-ερυθρελάτης, (β) Ψυχρόβιων κωνοφόρων, (γ) Καστανιάς.

Με βάση αυτά τα δεδομένα και τον χάρτη χρήσης/κάλυψης γης που προέκυψε από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας Landsat 5 TM, του 2007, δημιουργήθηκε ο χάρτης ευαισθησίας της περιοχής σε εκδήλωση πυρκαγιάς (Εικόνα 8.48). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι ήταν αδύνατος ο διαχωρισμός, μέσω της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, μεταξύ

της ελάτης και των διαφόρων ειδών πεύκων που υπάρχουν στην περιοχή. Επειδή όμως η έκταση που καταλαμβάνουν τα έλατα στην ορεινή κυρίως περιοχή, είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη, υπολογίστηκε για τις περιοχές αυτές ένας μέσος όρος, της υψηλής ευφλεκτικότητας των πεύκων και της χαμηλής ευφλεκτικότητας της ελάτης.

Τέλος, στην δημιουργία του χάρτη, ελήφθησαν υπόψη και οι περιοχές που καταγράφηκαν φαινόμενα πυρκαγιάς, τόσο μέσα από την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων, όσο και από τα στοιχεία που καταγράφηκαν από τις διάφορες αρμόδιες υπηρεσίες του Νομού (κεφ. 2, παρ. 2.2.6). Οι κλάσεις ταξινόμησης του χάρτη περιελάμβαναν περιοχές με Χαμηλή (30,61%), Μέτρια (18,82%). Υψηλή (31,35%) και Πολύ υψηλή (19,22%) ευαισθησία στην εκδήλωση πυρκαγιάς. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος των περιοχών εντοπίζεται στο ΒΑ τμήμα όπου υπάρχουν τα αείφυλλα-πλατύφυλλα, το νότιο και λιγότερο το δυτικό, όπου υπάρχουν τα κωνοφόρα δάση.

8.4.2.2. Πλημμύρες

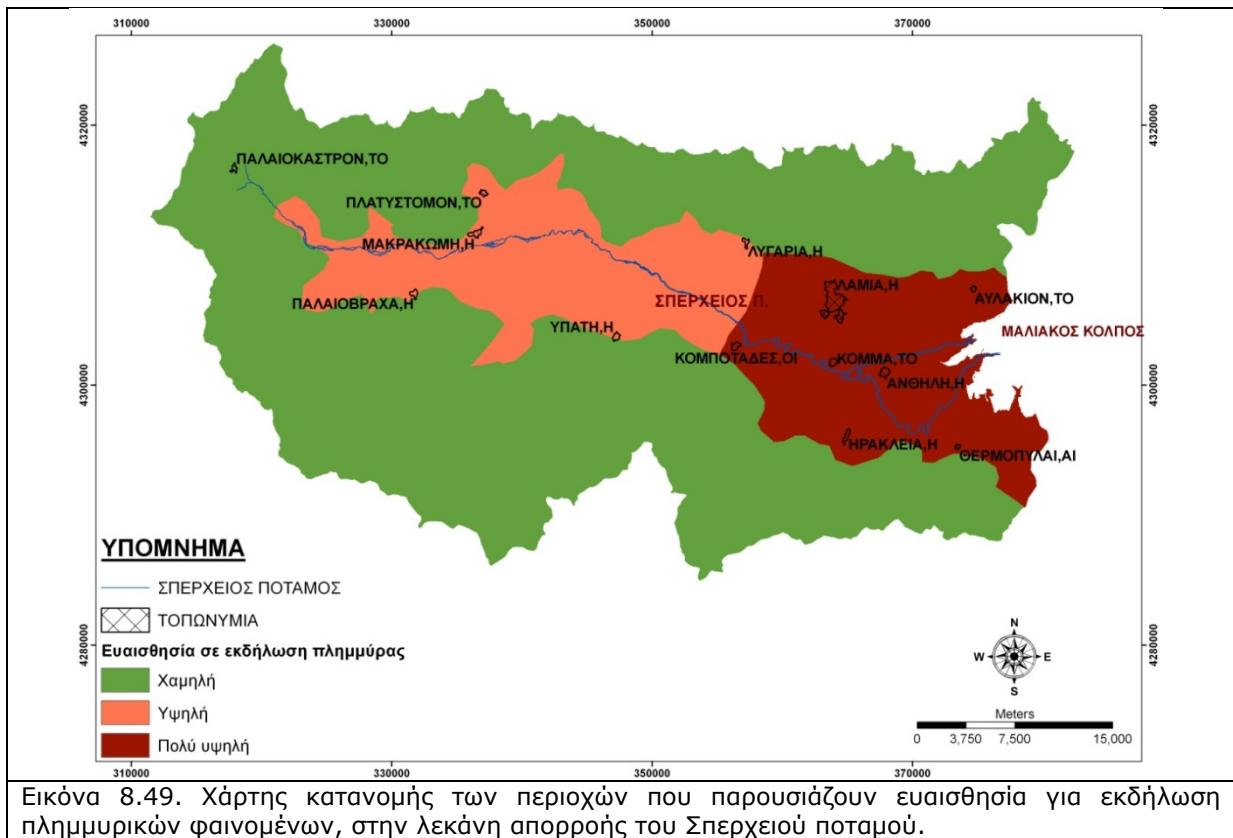
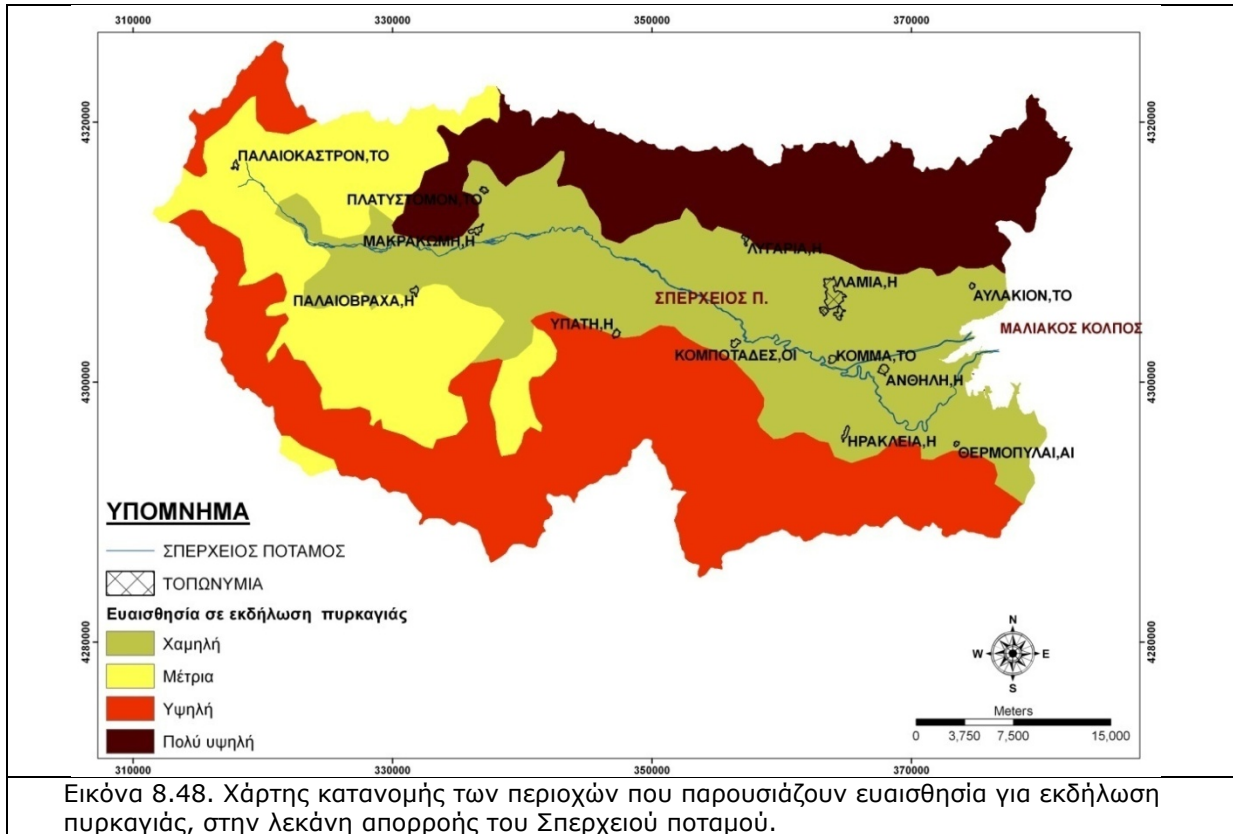
Τα πλημμυρικά προβλήματα της λεκάνης απορροής του Σπερχειού οφείλονται στην ανεπάρκεια των υφιστάμενων κοιτών, της Νέας Κοίτης του Σπερχειού, του Αγωγού Εκτροπής, της Τάφρου Λαμίας, καθώς και των υπόλοιπων ποταμών και ρεμάτων της γύρω περιοχής, στο να διοχετεύσουν τις μεγάλες ποσότητες των πλημμυρικών παροχών που επέρχονται σε μικρό χρονικό διάστημα. Παλαιότερα, που υπήρχε μόνο η μία κοίτη του Σπερχειού, η οποία παρουσιάζει πολύ έντονο μαιανδρισμό στο ανατολικό της τμήμα, τα πλημμυρικά φαινόμενα ήταν πολύ πιο έντονα. Σήμερα, με το ευθύγραμμο τμήμα του Αγωγού Εκτροπής ή Υπερχειλιστή που έχει δημιουργηθεί αμέσως μετά το χωριό Κόμμα και της ακόμα μεγαλύτερης διαπλάτυνσής του που έγινε πρόσφατα, η κατάσταση βελτιώθηκε αρκετά, αλλά δεν απαλείφθηκε.

Οι πλημμύρες αυτές επαναλαμβάνονται σε συχνά χρονικά διαστήματα και προκαλούν συνήθως, αρκετά μεγάλες ζημιές σε μεγάλο τμήμα της κοιλάδας του Σπερχειού και ιδίως στις πεδινές εκτάσεις, κατάντη της σιδηροδρομικής γέφυρας. Τέτοιες μεγάλης έκτασης πλημμύρες, έχουν καταγραφεί τα έτη 1889, 1954, 1984, 1987, 1994, 1997, 2001 και 2003 με πάρα πολύ μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες.

Οι εκτάσεις που κατακλύζονται συνήθως από τις πλημμύρες του ποταμού Σπερχειού ανέρχονται σε περίπου 50-100.000 στρέμματα καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Ο χρόνος κατάκλισης των περιοχών αυτών με νερά είναι της τάξης των 4-5 ημερών, εκτός από ορισμένα σημεία με τοπικά χαμηλότερα υψόμετρα, που η κατάκλιση τους μπορεί να φτάσει και τις 8-10 ημέρες.

Με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα και τα στοιχεία που συλλέχτηκαν τόσο από τις δορυφορικές εικόνες, όσο και από τους θεματικούς χάρτες, δημιουργήθηκε ο χάρτης ευαισθησίας της περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα (Εικόνα 8.49).

Οι κλάσεις ταξινόμησης του χάρτη περιλαμβάνουν περιοχές με Χαμηλή (69,40%), Υψηλή (15,14%) και Πολύ υψηλή (15,46%) ευαισθησία στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα, εντοπίζεται στο ανατολικό παράκτιο τμήμα της λεκάνης απορροής.



8.4.3. Εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων (Landslide risk)

Για την εκτίμηση του κινδύνου από κατολισθήσεις, στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού, δημιουργήθηκε αρχικά ο χάρτης κατανομής της ανθρώπινης δραστηριότητας στην περιοχή. Ο χάρτης αυτός βασίστηκε στον συνδυασμό των παραγόντων της αστικής πυκνότητας, της χρήσης γης και του οδικού δικτύου. Οι παράγοντες αυτοί ταξινομήθηκαν και οι κλάσεις τους ιεραρχήθηκαν με βάση την έκθεση στον κίνδυνο του ανθρώπου και των δραστηριοτήτων του. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η ταυτόχρονη απόδοση της τρωτότητας (vulnerability) της περιοχής και των δεικτών βαρύτητας για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες (Πίνακας 8.7).

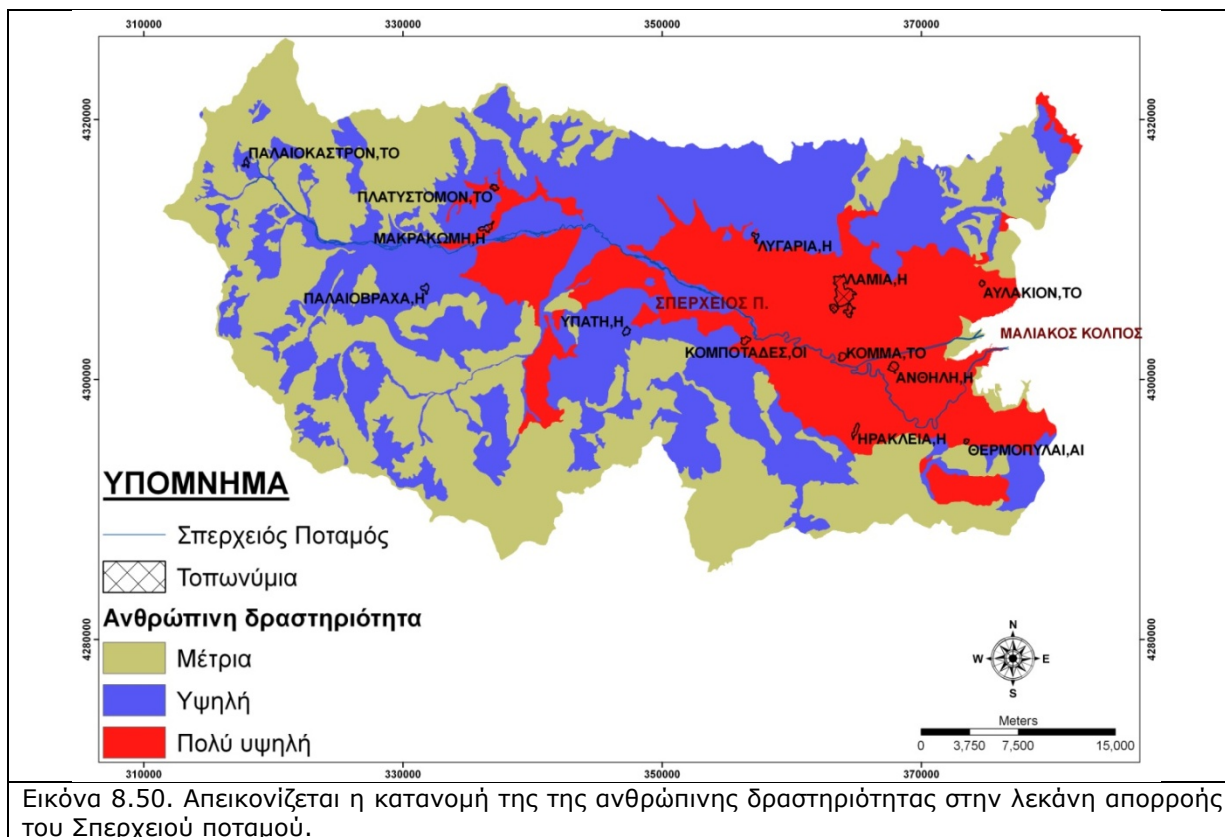
Γενικά, μεγαλύτερες τιμές αποδόθηκαν σε περιοχές, όπου η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα είναι έντονη και επομένως η σημασία τους και πιθανή συμμετοχή τους στην επίδραση μιας κατολίσθησης είναι μεγάλη (Πίνακας 8.6). Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε ο χάρτης «ανθρώπινης δραστηριότητας», ο οποίος ταξινομήθηκε σε τρεις κατηγορίες με Μέτρια, Υψηλή και Πολύ υψηλή εμφάνιση του ανθρώπινου παράγοντα (Εικόνα 8.50).

Πίνακας 8.7. Η εφαρμογή των δεικτών βαρύτητας και της σχετικής σημαντικότητας του κάθε παράγοντα που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία υπολογισμού της ευαισθησίας σε κατολίσθηση.

Παράγοντας κινδύνου	Κλάσεις	Τρωτότητα	Ιεράρχηση κλάσεων	Δείκτης βαρύτητας
Πυκνότητα πληθυσμού (km ²)	Χαμηλή	Μέτρια	1	10
	Μέτρια	Μέτρια έως Υψηλή	2	
	Υψηλή	Υψηλή	3	
	Πολύ Υψηλή	Πολύ Υψηλή	4	
Χρήση γης	Περιοχές με χαμηλή ανθρώπινη παρέμβαση (Δάση, βοσκότοποι κλπ.)	Χαμηλή	1	8
	Καλλιεργήσιμες περιοχές	Μέτρια	2	
	Αστικές και βιομηχανικές περιοχές	Πολύ υψηλή	3	
Οδικό δίκτυο	Απόσταση από δρόμο >50 m	Χαμηλή	1	6
	Απόσταση από δρόμο ≤50 m	Υψηλή	2	

Με βάση τα δεδομένα αυτά και σε συνδυασμό με τον χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LS), δημιουργήθηκε ο χάρτης εκτίμησης της έκθεσης του ανθρώπου στον κίνδυνο κατολίσθησης (Landslide Risk Map) (Εικόνα 8.51). Ο χάρτης αυτός ταξινομήθηκε σε κλάσεις, οι οποίες περιελάμβαναν Ελάχιστο κίνδυνο (38,72%), Πολύ χαμηλό (26,60%), Χαμηλό (19,75%), Μέτριο (9,94%), Υψηλό (3,64%), και Πολύ υψηλό κίνδυνο (1,36%) έκθεσης. Είναι φανερό από τα παραπάνω ποσοστά, ότι ο κίνδυνος έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα στις κατολισθήσεις είναι αρκετά μικρός.

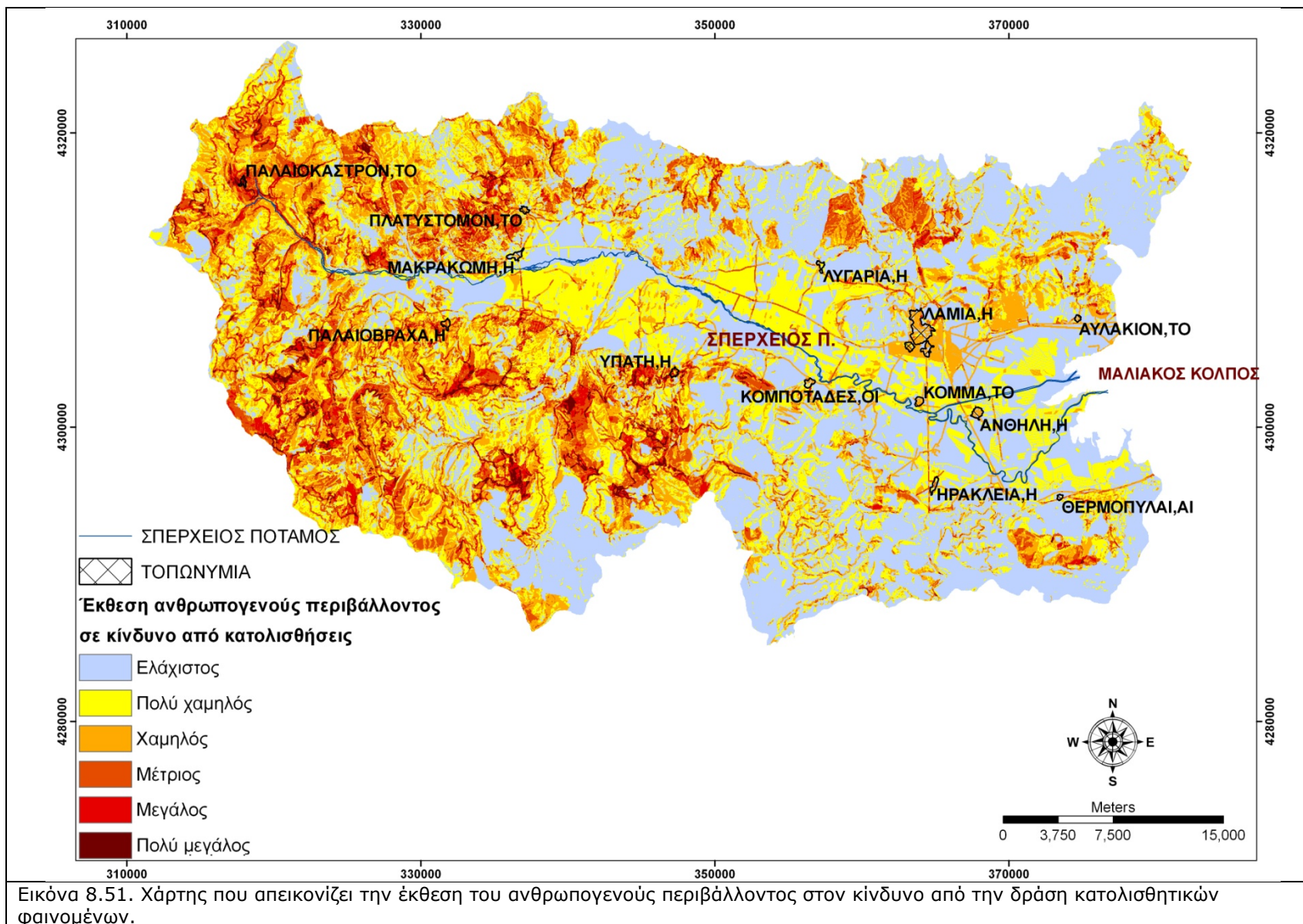
Συνολικά, η έκθεση από τον μέτριο έως τον πολύ υψηλό κίνδυνο ανέρχεται μόλις στο 15%. Αυτό συμβαίνει γιατί η ανάπτυξη τόσο της οικιστικής δόμησης, όσο και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων συγκεντρώνεται κυρίως στην πεδινή και παράκτια ζώνη, όπου τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι πιο περιορισμένα, σε σχέση με τις πολύ ορεινές, νότιες και δυτικές περιοχές, που παρουσιάζουν αυξημένη εμφάνιση.

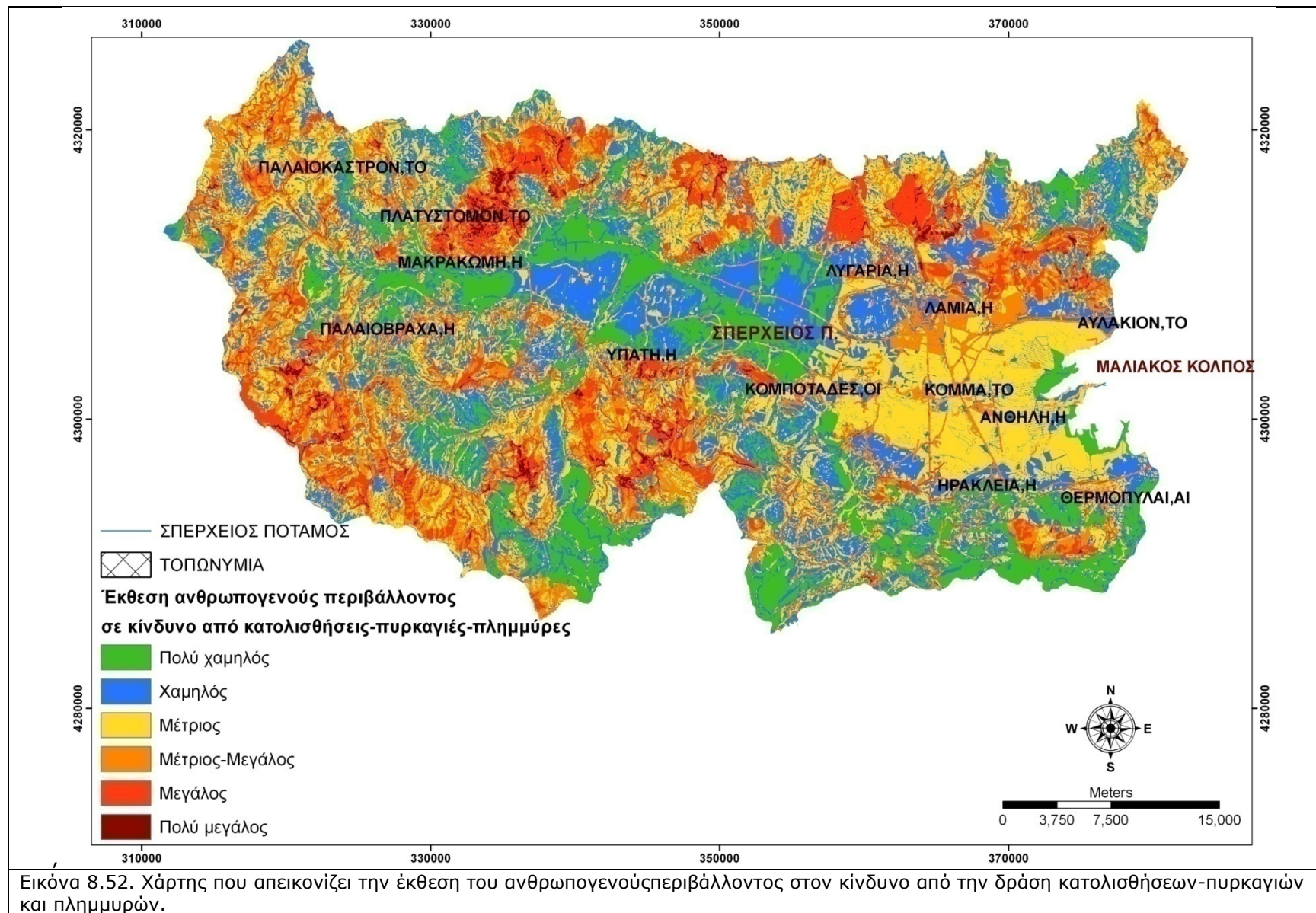


8.4.4. Εκτίμηση του κινδύνου (risk) από φυσικές καταστροφές (natural hazards) (κατολισθησης, πλημμύρας και πυρκαγιάς)

Η ίδια διαδικασία, που πραγματοποιήθηκε για την έκθεση του ανθρώπινου παράγοντα στον κίνδυνο από δράση κατολισθητικών φαινομένων, εφαρμόστηκε και για την δράση παράλληλα, τόσο πλημμυρικών φαινομένων, όσο και για την εκδήλωση πυρκαγιών. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε εκ νέου ο χάρτης «ανθρώπινης παρουσίας», ο οποίος εκφράζει την πυκνότητα εμφάνισης του ανθρώπινου παράγοντα, με βάση όλες τις δραστηριότητες που τον αφορούν, στην περιοχή (Εικόνα 8.50).

Με βάση τα δεδομένα του χάρτη «ανθρώπινης παρουσίας», πραγματοποιήθηκε ο συνδυασμός του με τους υπόλοιπους τρεις παράγοντες φυσικών καταστροφών, που κυρίως εμφανίζονται στην περιοχή, δηλαδή των κατολισθήσεων, των πυρκαγιών και των πλημμυρών, χρησιμοποιώντας κατάλληλους δείκτες βαρύτητας. Ο δείκτης βαρύτητας για τις πλημμύρες, τις κατολισθήσεις και τις πυρκαγιές, ήταν 10, 8 και 7, αντίστοιχα. Έτσι, δημιουργήθηκε ο χάρτης εκτίμησης της έκθεσης του ανθρώπου στον κίνδυνο κατολισθησης-πυρκαγιάς και πλημμύρας (Hazard Risk Map) (Εικόνα 8.52). Οι τιμές στον χάρτη αυτό εκφράζουν την έκθεση του ανθρώπου σε έναν, δύο ή και στους τρεις παράγοντες. Ο βαθμός της έκθεσης αυτής, όπως είναι φυσικό, εξαρτάται κάθε φορά από τον βαθμό δράσης του κάθε παράγοντα ξεχωριστά για κάθε περιοχή της λεκάνης. Ο χάρτης αυτός ταξινομήθηκε σε κλάσεις, οι οποίες περιελάμβαναν, Πολύ χαμηλό κίνδυνο (16,65%), Χαμηλό (29,05%), Μέτριο (24,81%), Μέτριο έως Υψηλό (16,10%), Υψηλό (12,10%), και Πολύ υψηλό κίνδυνο (1,28%), έκθεσης του ανθρώπου στους τρεις παράγοντες.





8.5. Ανίχνευση ποσοτικών και ποιοτικών μεταβολών στους υδατικούς πόρους

8.5.1. Ποσοτικές μεταβολές

Οι τιμές του υδρολογικού ισοζυγίου που υπολογίστηκαν στην παρούσα διατριβή, με μετεωρολογικά δεδομένα από το 1980 έως το 2001, δίνουν τις ακόλουθες τιμές στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου (σε m^3):

$$P = ET + R + I \Leftrightarrow 1.679,1 \times 10^6 = 1.036,8 \times 10^6 + 544,8 \times 10^6 + 97,6 \times 10^6 \Leftrightarrow$$

$$100\% = 69,6 + 23,7 + 13,8$$

Οι αντίστοιχες τιμές του υδρολογικού ισοζυγίου, όπως είχαν υπολογιστεί στην λεπτομερή διδακτορική διατριβή του Κακαβά (1984), με μετεωρολογικά δεδομένα από το 1972 έως το 1982, δίνουν ότι (σε m^3):

$$P = ET + R + I \Leftrightarrow 1.806,5 \times 10^6 = 1.129,1 \times 10^6 + 501,1 \times 10^6 + 249,3 \times 10^6 \Leftrightarrow$$

$$100\% = 62,5 + 23,7 + 13,8 (\%)$$

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο περιόδων, διαπιστώνεται ότι οι τιμές βρίσκονται σε πολύ καλή σύμπτωση. Μικρές διαφορές που παρατηρούνται, οφείλονται κυρίως στην μείωση που παρατηρείται στο ύψος των βροχοπτώσεων κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

Η μείωση αυτή των βροχοπτώσεων εξάγεται από την σύγκριση των δεδομένων βροχόπτωσης του σταθμού της Λαμίας, ανά δεκαετία, με αφετηρία το 1961 (Πίνακας 8.8). Με βάση τις τιμές αυτού του πίνακα, διαφαίνεται ότι τα τελευταία 40 έτη, παρατηρείται μία σταδιακή μείωση του συνολικού μέσου ετήσιου ύψους βροχής που δέχεται η περιοχή. (Psomiadis et al. 2005b). Η πτώση αυτή αγγίζει τα 152,1 mm βροχής, για τα τελευταία 40 χρόνια.

Πίνακας 8.8. Μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες ανά δεκαετία, τιμές βροχόπτωσης (mm), ξεκινώντας από το 1961, για τον σταθμό της Λαμίας.

Χρονική περίοδος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέση ετήσια ολική βροχόπτωση (mm)
1961-70	61,2	62,0	85,3	28,7	47,2	25,8	25,7	9,2	32,9	74,8	63,2	102,2	618,2
1971-80	72,5	83,2	51,0	55,7	36,2	25,7	19,8	25,0	26,2	78,7	61,2	65,8	601,0
1981-90	62,7	56,2	67,8	50,4	19,6	31,7	15,5	18,0	13,9	71,0	78,4	73,2	558,4
1991-00	55,4	37,6	42,7	34,7	32,0	12,6	13,5	31,8	10,9	58,4	73,1	63,4	466,1

8.5.2. Μεταβολές ποιοτικής σύστασης υδάτων

8.5.2.1. Κύρια στοιχεία

Πραγματοποιήθηκε η σύγκριση υδροχημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών (πηγάδια), της παρούσας διατριβής (2007) και της μελέτης του ΙΓΜΕ (1971) (Παπαδέας 1996) (κεφ. 7, παρ. 7.2.1), για 24 πηγάδια, σε σύνολο 43, διότι στα υπόλοιπα δεν βρέθηκαν σε κοντινή απόσταση αντίστοιχα πηγάδια για να συγκριθούν.

Η συσχέτιση των τιμών έδειξε ότι σε πολλά από τα κύρια στοιχεία, υπάρχουν αξιοσημείωτες μεταβολές των συγκεντρώσεων, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε ανθρωπογενείς και λιγότερο σε φυσικούς παράγοντες.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι εντατικές γεωργικές καλλιέργειες (λιπάσματα κλπ), η υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων, η αλόγιστη διάθεση των αστικών λυμάτων, οι βιομηχανικές και οι αγροτικές μονάδες, αποτελούν τις πιο σημαντικές αιτίες για την αύξηση της συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων. Στις φυσικές διεργασίες, συγκαταλέγονται κυρίως η διάλυση των ορυκτών των πετρωμάτων, καθώς και οι θερμομεταλλικές πηγές. Οι διεργασίες αυτές εμπλουτίζουν σε ορισμένα στοιχεία τα υπόγεια νερά της περιοχής.

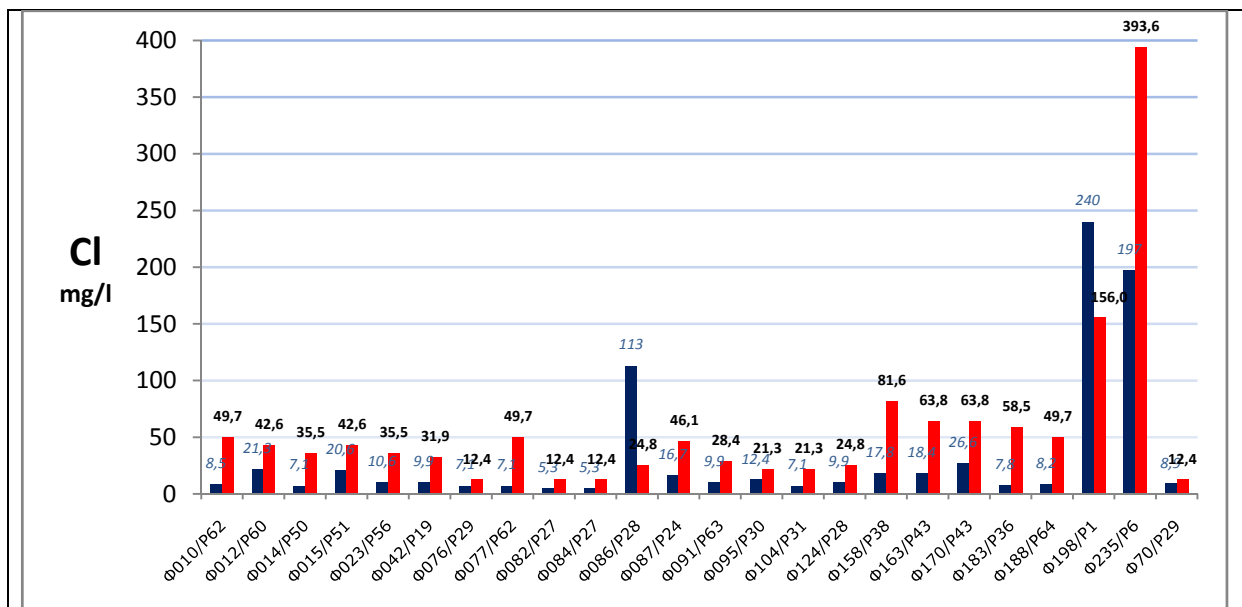
Χλώρια και Νάτριο (Cl^- & Na^+)

Στα ιόντα Χλωρίου, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 22 από τα 24 δείγματα, με μέσο όρο αύξησης τα 33,9 mg/l (Διάγραμμα 8.53). Η μεγαλύτερη αύξηση, όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρείται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, με αύξηση που φτάνει μέχρι και τα 196,6 mg/l.

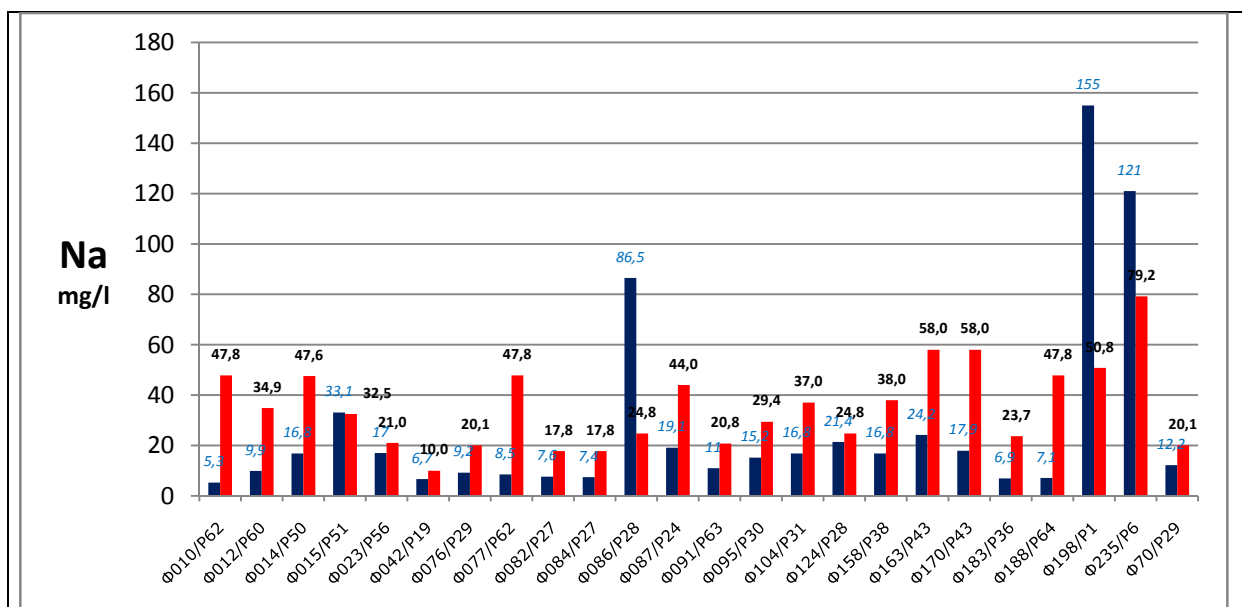
Σε 14 από αυτά τα δείγματα, η συγκέντρωση του Χλωρίου υπερβαίνει τις ανώτερες επιτρεπτές τιμές που ορίζονται από την Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (50 mg/l), ενώ σε 2 από αυτά ξεπερνάει τα 100 mg/l, όριο πάνω από το οποίο το νερό γίνεται γλυφό (*EU Council directive 98/83 1998*).

Η αύξηση των συγκεντρώσεων, ιδιαίτερα στο νοτιοανατολικό τμήμα, οφείλεται στην διείσδυση του θαλασσινού νερού στα υπόγεια νερά της παράκτιας περιοχής. Οι υψηλές συγκεντρώσεις Χλωρίου στα νερά της ενδοχώρας, είναι γεωγενούς κυρίως προέλευσης.

Στα ιόντα Νατρίου, παρατηρήθηκε αύξηση σε 20 από τα 24 δείγματα, με μέσο όρο αύξησης 20,5 mg/l (Διάγραμμα 8.54). Ωστόσο στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, η αύξησή τους δεν ακολουθεί αναλογικά την αύξηση των ιόντων Χλωρίου, όπως θα ήταν αναμενόμενο. Το γεγονός αυτό πιθανά να οφείλεται σε διεργασίες κατιοανταλλαγής που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του υπεδafικού νερού και των αργιλικών κυρίως ορυκτών.



Διάγραμμα 8.53. Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των ιόντων Χλωρίου στα πηγάδια της περιοχής μελέτης, από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες).



Διάγραμμα 8.54. Διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης των ιόντων Νατρίου στα πηγάδια της περιοχής μελέτης, από τις αναλύσεις του 2007 (κόκκινες στήλες) και των αντίστοιχων αναλύσεων του 1971 (μπλε στήλες).

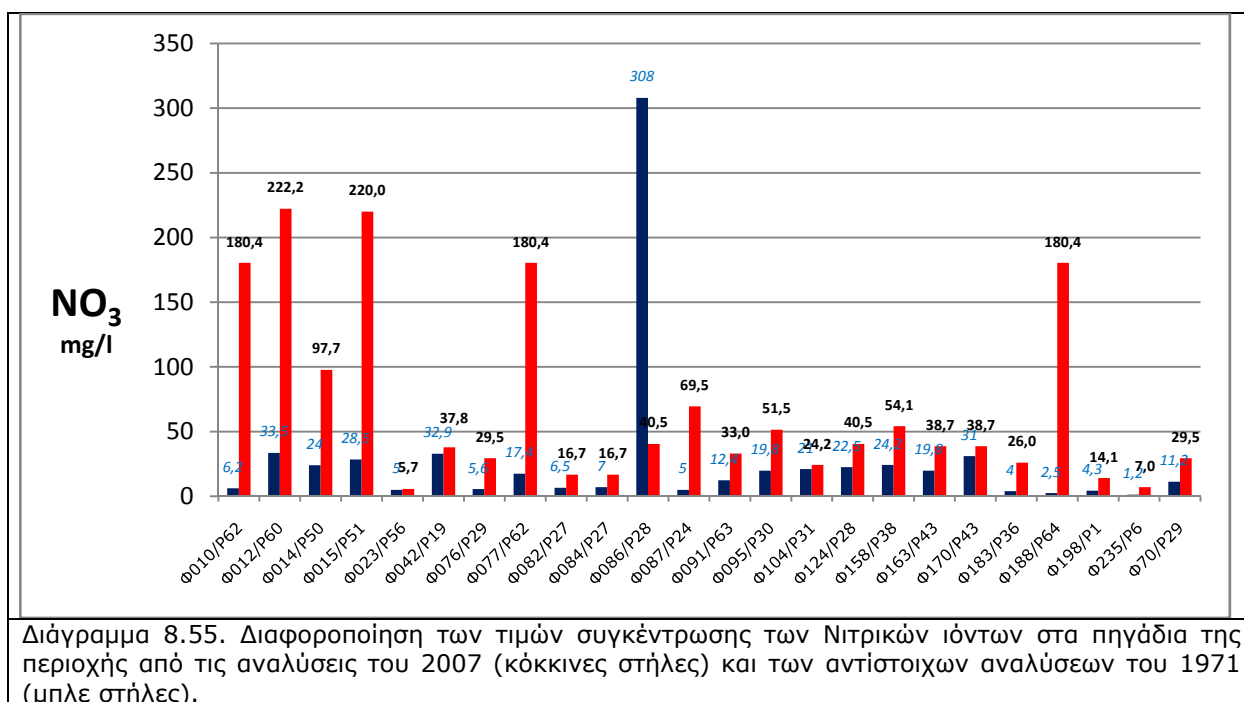
Νιτρικά (NO₃⁻)

Στη συγκέντρωση των Νιτρικών στα υπόγεια νερά, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 23 από τα 24 δείγματα, με μέσο όρο αύξησης τα 55,2 mg/l (Διάγραμμα 8.55). Μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης παρατηρείται σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής δειγματοληψίας, με την μεγαλύτερη αύξηση να εντοπίζεται στην περιοχή της Ηράκλειας και Δαμάστας,

ανατολικά της Μακρακώμης και στην ευρύτερη περιοχή της Υπάτης, όπου η αύξηση φτάνει μέχρι και τα 191,5 mg/l. Σε 9 από τα 24 δείγματα του 2007 (ποσοστό 37,5%), η συγκέντρωση των Νιτρικών ξεπερνάει αρκετά την ανώτερη επιτρεπόμενη τιμή που ορίζει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (50 mg/l) (EU Council directive 98/83 1998).

Η αύξηση αυτή των νιτρικών οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής και στην μεταστροφή σε πιο απαιτητικές σε γόνιμα εδάφη, θερινές αροτραίες καλλιέργειες, που οδήγησε σε αύξηση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η κτηνοτροφία, η οποία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη, αλλά βρίσκεται σε μέτρια ανάπτυξη από πλευράς υποδομών, καθώς και στην απουσία ή μη λειτουργία βιολογικών σταθμών ακόμα και στις μεγαλύτερες πόλεις, όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα. Οι σηπτικοί βόθροι που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα χωριά, δεν είναι απολύτως στεγανοί, με αποτέλεσμα μέρος των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων να περνάει στα υπόγεια νερά. Πέραν αυτών των κύριων πηγών, πρόσθετες σημειακές πηγές νιτρορυπάνσεως είναι οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα νεκροταφεία και τα οικιακά απόβλητα.

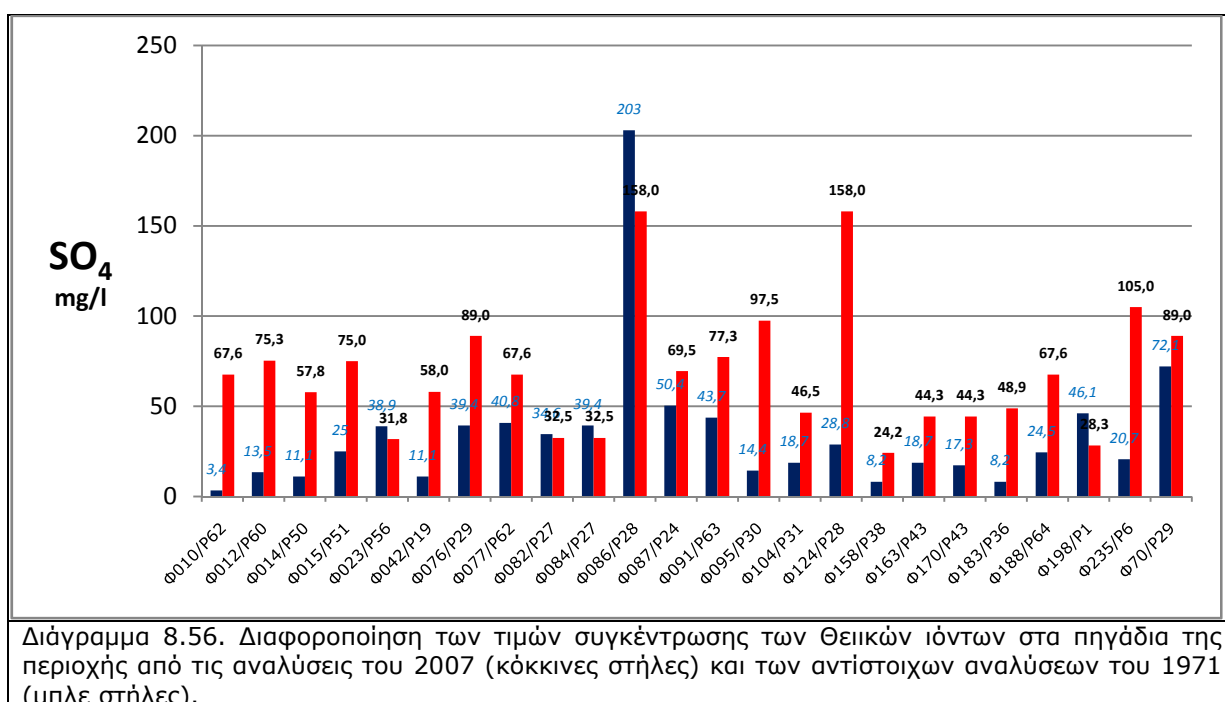
Αξιίζει να σημειωθεί ότι οι χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας, σε συνδυασμό με τις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών συνδέεται με έλλειψη αναγωγικών συνθηκών στον υδροφόρο ορίζοντα.



Θειικά (SO₄²⁻)

Στη συγκέντρωση των Θειικών στα υπόγεια νερά, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 19 από τα 24 δείγματα, με μέσο όρο αύξησης τα 47,0 mg/l (Διάγραμμα 8.56). Κανένα όμως δείγμα από την περιοχή δειγματοληψίας, δεν υπερβαίνει την ανώτερη τιμή που καθορίζει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (250 mg/l) (EU Council directive 98/83 1998).

Η αύξηση της συγκέντρωσης των Θεικών το διάστημα 1971-2007, σχετίζεται με την εντατική χρήση οργανικής προέλευσης λιπασμάτων, καθώς και στην εκμετάλλευση υπόγειων υδροφόρων που επηρεάζονται από την κυκλοφορία θερμών πηγών, πλούσιων σε SO_4^{2-} . Τέτοιου είδους νερά, όπως είναι οι θερμές πηγές Υπάτης, Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας, βρίσκονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα βρίσκονται οι θερμές πηγές της Δαμάστας. Στην παράκτια ζώνη η παρουσία τους σχετίζεται με την θαλάσσια διείσδυση. Επίσης, κατά την εξέλιξη της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού (παρ. 8.1.2), στο τμήμα δυτικά της Υπάτης, υπήρξε λιμναίο περιβάλλον και συνεπώς απόθεση οργανικού υλικού. Η παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά της εν λόγω περιοχής μπορούν να συσχετιστούν με την ύπαρξη οργανικής ύλης η οποία αποδομούμενη παρέχει αρκετά μεγάλες ποσότητες Θεικής ρίζας στα υπόγεια νερά.



8.5.2.2. Βαρέα Μέταλλα

Όσον αφορά την συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των πηγαδιών, δεν πραγματοποιήθηκε σύγκριση, λόγω έλλειψης αντίστοιχων αποτελεσμάτων υδροχημικών αναλύσεων στο παρελθόν. Ορισμένες όμως εργασίες που αναφέρουν στοιχεία αναλύσεων για βαρέα μέταλλα στην περιοχή (*Psyllidou-Giouranovits et al.* 1997, *Σάλτα Φ.* 2002, *Δασενάκης και αλ.* 2005), είτε στα επιφανειακά νερά, είτε στον Μαλιακό κόλπο, δεν αναφέρονται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις. Οι τιμές αυτές δεν ξεπερνούσαν τις ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις που ορίζει η Ε.Ε. για τα νερά (*EU Council directive 98/83* 1998).

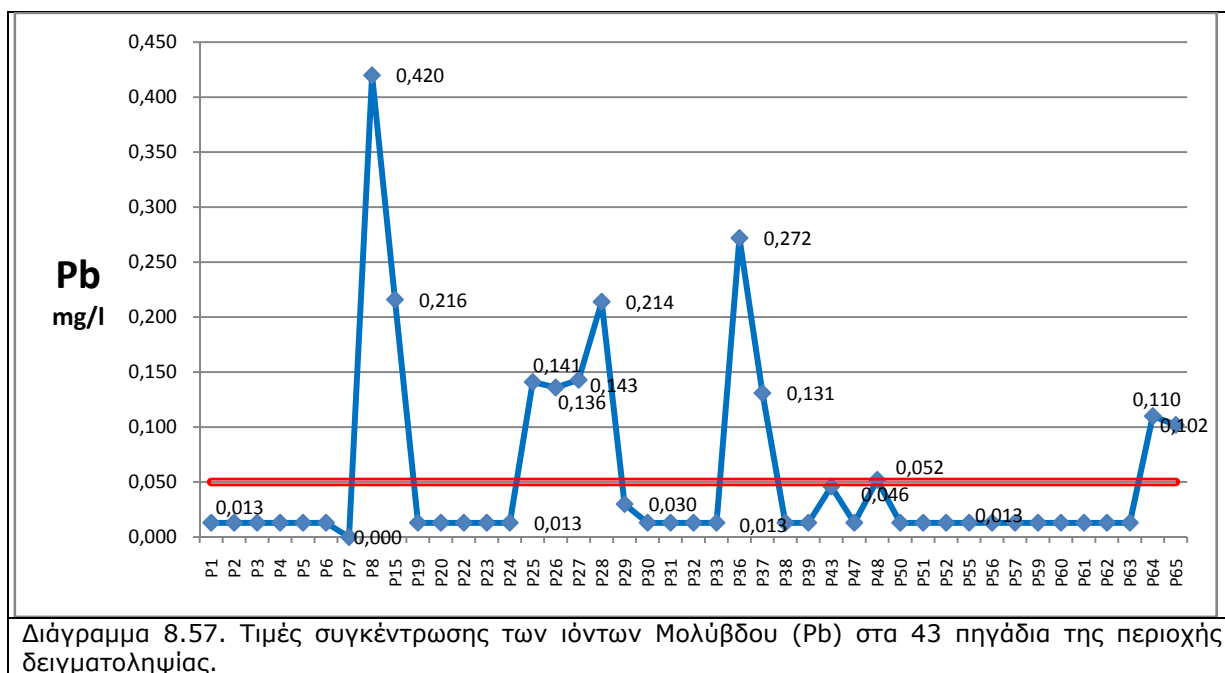
Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων των βαρέων μετάλλων, της παρούσας διατριβής, βρέθηκε ότι σε 4 στοιχεία, στο Κάδμιο (Cd), στο Μόλυβδο (Pb), στο Νικέλιο (Ni) και στον

Ψευδάργυρο (Zn), οι τιμές συγκέντρωσης, βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα και ξεπερνούν τις ανώτερες επιτρεπτές τιμές που ορίζει η Ε.Ε. (EU Council directive 98/83 1998).

Συγκεκριμένα, 11 δείγματα, έχουν συγκέντρωση Pb μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή που ορίζει η Ε.Ε. και είναι 0,05 mg/l (Διάγραμμα 8.57) (EU Council directive 98/83 1998). Τα δείγματα αυτά βρίσκονται κυρίως στο δυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Η παρουσία του Pb στις περιοχές αυτές, σχετίζεται προφανώς με την ύπαρξη των θερμομεταλλικών πηγών, αλλά και με τις επιφανειακές ανθρωπογενείς επιδράσεις.

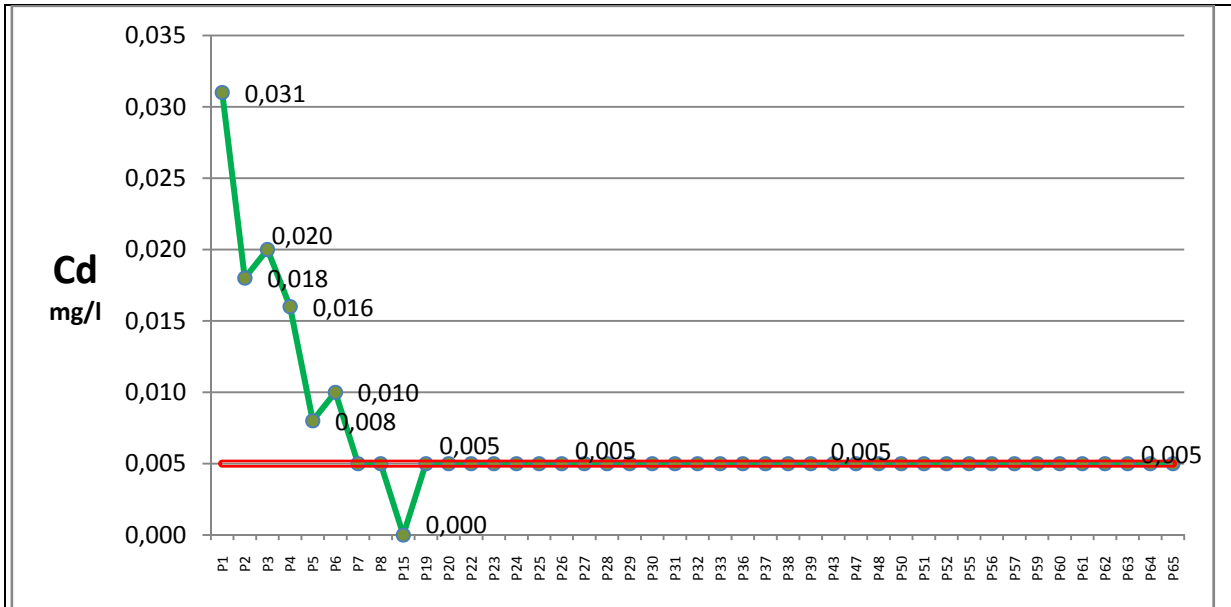
Όσον αφορά το Cd, 5 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή που ορίζει η Ε.Ε. και είναι 0,05 mg/l (Διάγραμμα 8.58) (EU Council directive 98/83 1998). Τα δείγματα αυτά βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Η πρόελευσή του αποδίδεται πιθανότατα σε ανθρωπογενείς επιδράσεις καθότι το Cd αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο των φωσφορικών λιπασμάτων, αλλά και στους ανεξέλεγκτους σκουπιδότοπους που περιέχουν απόβλητα μπαταριών, σταθεροποιητές πλαστικών και επιμεταλλωμένα με Cd υλικά.

Επίσης, για τον Zn, 5 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή που ορίζει η Ε.Ε. και είναι 0,10 mg/l (Διάγραμμα 8.59) (EU Council directive 98/83 1998). Τα δείγματα αυτά βρίσκονται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Η εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων Zn συνδυάζεται με την παρουσία των θερμομεταλλικών πηγών της Δαμάστας και των Θερμοπηλών.

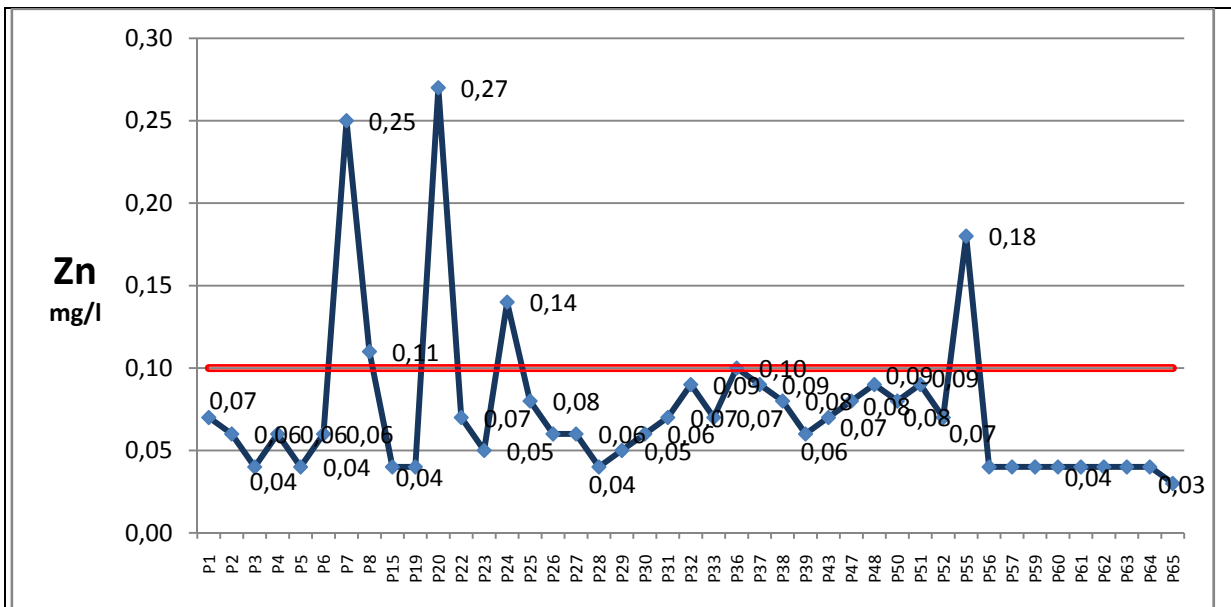


Τέλος, όσον αφορά το Ni, 7 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση ίση ή μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή που ορίζει η Ε.Ε. και είναι 0,05 mg/l (Διάγραμμα 8.60). Τα δείγματα αυτά βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Πηγή πρόελευσής του αποτελεί η βιομηχανία, η ηλεκτρική επιμετάλλωση κ.α. Επίσης, ένα μικρό

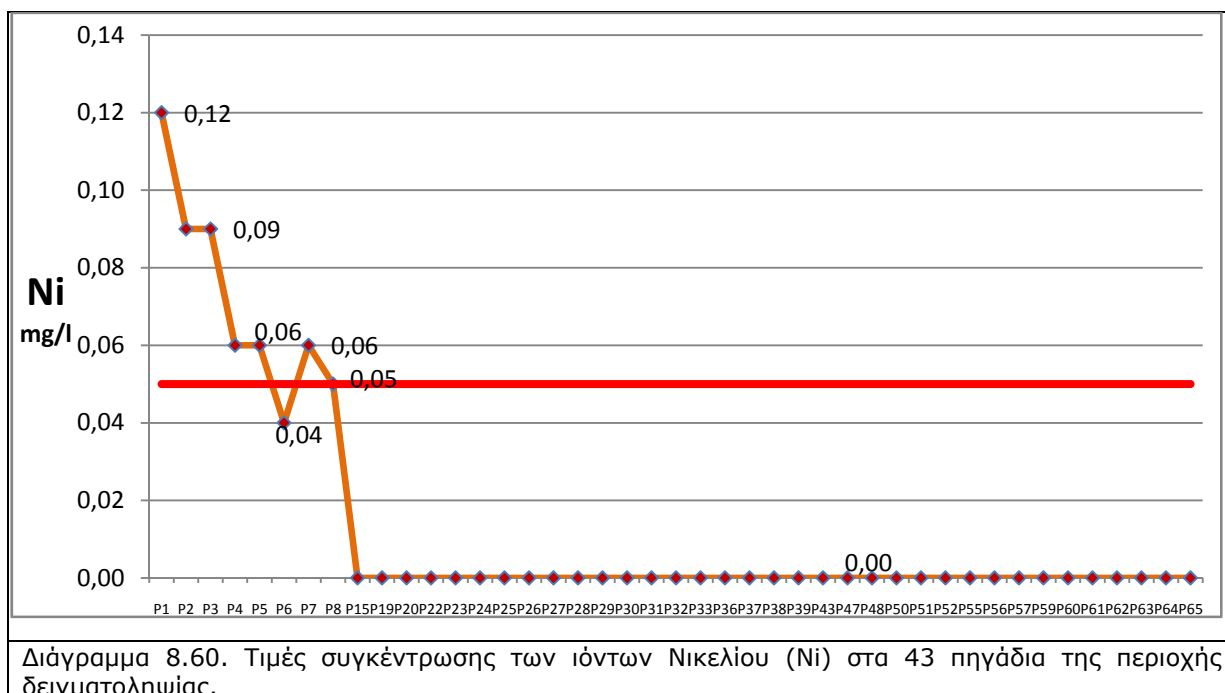
ρόλο ίσως να διαδραματίζουν και οι βωξιτικοί ορίζοντες της περιοχής, οι οποίοι κατά την διάλυσή τους, αποδίδουν ιόντα Ni στο περιβάλλον.



Διάγραμμα 8.58. Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Καδμίου (Cd) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 8.59. Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Ψευδαργύρου (Zn) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 8.60. Τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Νικελίου (Ni) στα 43 πηγάδια της περιοχής δειγματοληψίας.

8.6. Ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις στο περιβάλλον

8.6.1. Ανθρώπινες δραστηριότητες και επιβάρυνση περιβάλλοντος

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, μεγάλα τμήματα της λεκάνης του Σπερχειού και πολύ περισσότερο το ανατολικό παράκτιο τμήμα, μέχρι και το ύψος της Μακρακώμης, ανήκει στις προστατευόμενες περιοχές Natura. Ταυτόχρονα, σαν περιοχές Natura, αναφέρονται ο Εθνικός Δρυμός της Οίτης και το φαράγγι του Ασωπού, το Φαράγγι του Γοργοποτάμου, το όρος Καλλιδρομο, οι οποίες μαζί με τις προστατευόμενες περιοχές Ορνιθοπανίδας και τα καταφύγια άγριας ζωής, δημιουργούν ένα πολύ ευαίσθητο οικοσύστημα που χρήζει ιδιαίτερης προστασίας (κεφ. 2, παρ. 2.2.5 & κεφ 3, παρ. 3.2.10).

Η εντατικοποίηση όμως των ανθρωπογενών επεμβάσεων, σε ολόκληρη την περιοχή και ιδιαίτερα στο ανατολικό παράκτιο τμήμα, από την δεκαετία του '70 και μετά, έχουν επηρεάσει έντονα το φυσικό αυτό οικοσύστημα. Ουσιαστικά στο ανατολικό τμήμα, το οποίο χαρακτηρίζεται σχεδόν ολόκληρο ως περιοχή Natura, αναπτύσσεται η κύρια παραγωγική και οικονομική δραστηριότητα σχεδόν ολόκληρου του Νομού Φθιώτιδας. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η οικοδομική ανάπτυξη (αστική επέκταση-για παράδειγμα ο οικισμός του Σταυρού έχει δομηθεί εξολοκλήρου εντός της περιοχής Natura), η γεωργική εκμετάλλευση, οι μεταποιητικές επιχειρήσεις, υπηρεσίες παροχής υπηρεσιών κλπ. Είναι επίσης, η περιοχή στην οποία εκτελέστηκαν και συνεχίζουν να εκτελούνται μεγάλα έργα υποδομής, όπως η νέα ΠΑΘΕ, η νέα διπλή σιδηροδρομική γραμμή και ο αυτοκινητόδρομος Ε65.

Οι βασικότερες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και επιβαρύνσεις στο περιβάλλον της περιοχής είναι:

α) Οι γεωργικές δραστηριότητες που έχουν επεκταθεί σε βάρος της φυσικής βλάστησης στο ημιορεινό και πεδινό τμήμα της λεκάνης αλλά και στην παρόχθια βλάστηση του Σπερχειού

ποταμού. Το παρόχθιο δάσος του Σπερχειού, αποτελείται από πλατάνια, ιτιές, λεύκες, κλήθρα, αρμυρίκια, αναρριχώμενα φυτά, θάμνους και αγριολούλουδα. Μέσα σε αυτό το οικοσύστημα βρίσκει καταφύγιο ένας πολύ μεγάλος αριθμός ζώων, πουλιών και εντόμων. Αποτελεί δηλαδή ουσιαστικά έναν παράδεισο βιοποικιλότητας. Στα περισσότερα όμως τμήματα της παρόχθιας ζώνης του Σπερχειού, η βλάστηση έχει μειωθεί δραματικά, ενώ σε ορισμένα τμήματα έχει εξαφανιστεί εντελώς ή έχει περιοριστεί σε μία μικρή λωρίδα βλάστησης κατά μήκος του ποταμού. Συνέπεια της εκτεταμένης καταστροφής της παρόχθιας βλάστησης είναι η μείωση της βιοποικιλότητας του οικοσυστήματος.

Επίσης, η συνεχώς αυξανόμενη εντατικοποίηση των καλλιεργειών, δημιουργεί προβλήματα στην περιοχή με ποικίλους τρόπους. Σημαντική είναι η επιβάρυνση της περιοχής από την χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και ισχυρών φυτοφαρμάκων, που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της παραγωγής και την μείωση των ασθενειών και προσβολών από ασθένειες και έντομα.

Η εφαρμογή μεγάλων ποσοτήτων από λιπάσματα, έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά αμμωνιακών, νιτρικών και νιτρωδών ιχνοστοιχείων, καθώς και βαρέων μετάλλων (π.χ. κάδμιο και αρσενικό), τόσο στον υπόγειο υδροφόρο, όσο και στη θάλασσα. Ιδιαίτερα, μετά την δημιουργία του Αγωγού εκτροπής του Σπερχειού και την διόδευση της μεγαλύτερης ποσότητας νερού απευθείας και με μεγαλύτερη ταχύτητα προς τη θάλασσα, υπάρχει μικρότερη συγκράτηση των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων από του καλαμιώνες που υπάρχουν στα τελευταία τμήματα των μαιανδρισμών της Νέας Κοίτης του Σπερχειού.

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση νερού, κυρίως για άρδευση αλλά και ύδρευση, έχει οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση των επιφανειακών και ιδιαίτερα των υπόγειων υδάτων που έχει οδηγήσει σε υφαλμύρωση και υποβάθμιση του ανατολικού παράκτιου τμήματος.

Η επεξεργασία και τυποποίηση των γεωργικών προϊόντων, επιφέρει αρκετά προβλήματα ρύπανσης στο περιβάλλον της περιοχής. Τα 50 περίπου ελαιοτριβεία που λειτουργούν σε ολόκληρη την περιοχή, ρίχνουν χωρίς καμία επεξεργασία, τα πλούσια σε οργανικά υλικά, απόβλητά τους σε διάφορους χειμάρρους. Για παράδειγμα τα εργοστάσια επεξεργασίας υποπροϊόντων πυρηνελαιουργείου, σπορελαιουργείου και τυποποίησης ελιάς στην Δαμάστα και την Αγία Τριάδα, τα οποία ρίχνουν τα απόβλητά τους στον Ασωπό και στο Λατζόρρεμα αντίστοιχα. Το δεύτερο, δείχνει να εμπλέκεται πρόσφατα (βρίσκεται σε δικαστική διαμάχη), με ρύπανση που επήλθε στη θαλάσσια περιοχή και η οποία θεωρήθηκε ως αιτία θανάτου των ψαριών στην παραλία της Αγίας Τριάδας.

Τέλος, αρκετές κτηνοτροφικές μονάδες, στάβλοι και τυροκομεία στην περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού επιβαρύνουν με τα απόβλητά τους τον Σπερχειό ποταμό και τους παραποτάμους του, ενώ κάποιες βιομηχανίες, όπως η Αγροτική βιομηχανία γάλακτος Λαμίας, συμβάλει με τα απόβλητά της στην περεταίρω ρύπανση του ποταμού.

β) η ανεξέλεγκτη διάθεση αστικών, οικιακών λυμάτων και απορριμμάτων, καθώς και των υγρών και στερεών βιομηχανικών αποβλήτων, που επιβαρύνουν, την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Ο βιολογικός καθαρισμός της πόλης της Λαμίας λειτουργεί πλημμελώς, δεχόμενος μεγαλύτερο όγκο λυμάτων από όσα μπορεί να επεξεργαστεί, με αποτέλεσμα τα ανεπεξέργαστα να διοχετεύονται μέσω χειμάρρων ή καναλιών στον Μαλιακό κόλπο.

Μεγάλες επίσης κοινότητες, όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα διαθέτουν βιολογικό καθαρισμό, ο οποίος όμως δεν λειτούργησε ποτέ, ενώ άλλοι μικρότεροι οικισμοί δεν διαθέτουν καθόλου βιολογικό καθαρισμό, έχοντας σηπτικούς βόθρους. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η μεγάλη διοχέτευση κυρίως αμμωνίας, νιτρωδών και νιτρικών ιόντων στα νερά της περιοχής. Πολλά βυτιοφόρα βοθρολυμμάτων επίσης, ρίχνουν ανεξέλεγκτα το φορτίο τους σε διάφορους χειμάρρους ή και σε διάφορα άλλα σημεία.

Η μερική ή ατελής επεξεργασία των λυμάτων από διάφορες μικρές βιομηχανίες, που βρίσκονται τόσο στην ΒΙΠΕ, όσο και στην γύρω περιοχή, επιβαρύνουν το έδαφος και τα νερά με διάφορα βαρέα μέταλλα. Το εργοστάσιο παραγωγής κόλλας στην Ανθήλη, το εργοστάσιο επεξεργασίας ανακυκλώσιμου χαρτιού στην Δαμάστα, το εργοστάσιο κεραμικών και το εργοστάσιο παραγωγής ασβέστη, τσιμέντου και γύψου του Δήμου Λαμιέων, είναι ορισμένα παραδείγματα βιομηχανιών της περιοχής που επιβαρύνουν το περιβάλλον.

γ) οι αμμοληψίες (χονδρόκοκκων ή λεπτόκοκκων) υλικών από την κοίτη του ποταμού, διαταράσσουν σημαντικά την ισορροπία του ποτάμιου και παράκτιου συστήματος, αφού επηρεάζουν τόσο την υδραυλική του ποταμού, όσο και την δίαιτα των ιζημάτων του παράκτιου χώρου. Σημαντικές επίσης, είναι και οι απολήψεις αδρανών υλικών για την κατασκευή των πολλών έργων του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου που έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται στην περιοχή. Για παράδειγμα, μέχρι σήμερα υπολογίζεται ότι για την κατασκευή της νέας σιδηροδρομικής γραμμής έχουν χρησιμοποιηθεί 4.000.000 m³ αδρανών υλικών, από διάφορους «δανειοθαλάμους», κυρίως εκατέρωθεν της χάραξής της.

δ) η εκτεταμένη διάνοιξη και διαπλάτυνση του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, σε συνδυασμό με την κατασκευή αρδευτικών και στραγγιστικών καναλιών και αναχωμάτων, δημιούργησε μία χαρακτηριστική ενότητα στην παράκτια ζώνη που επηρεάζει δραματικά το περιβάλλον και την προστατευόμενη περιοχή Natura. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι στα σημεία που η νέα σιδηροδρομική γραμμή προχωρεί παράλληλα με τον Ε65 (Αυτοκινητοδρόμου Κεντρικής Ελλάδας, μήκους 175 km, που θα ξεκινάει από την ΠΑΘΕ-ημικόμβος κοντά στη Σκάρφεια-και θα φτάνει μέχρι την Εγνατία Οδό) έχει δημιουργηθεί τόσο για τις ανάγκες των έργων, όσο και για θέματα προστασίας, επίχωμα και περίφραξη. Η μορφή αυτής της κατασκευής ουσιαστικά δημιουργεί «νεκρές» οικολογικά ζώνες για την πανίδα της περιοχής.

Επίσης, για την κατασκευή των παραπάνω δικτύων μεταφοράς, δεν υπάρχει σχεδόν καμία εφαρμογή των περιβαλλοντικών κριτηρίων που επιβάλουν οι πρόδρομες Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Για παράδειγμα, προβλέπεται ότι τα νερά που ξεπλένουν την ασφαλτο, θα πρέπει να οδηγούνται σε βιολογικούς καθαρισμούς πριν καταλήξουν μέσω των χειμάρρων στη θάλασσα, προκειμένου να απαλλάσσονται κυρίως από τα βαρέα μέταλλα, κάτι που πρακτικά δεν γίνεται.

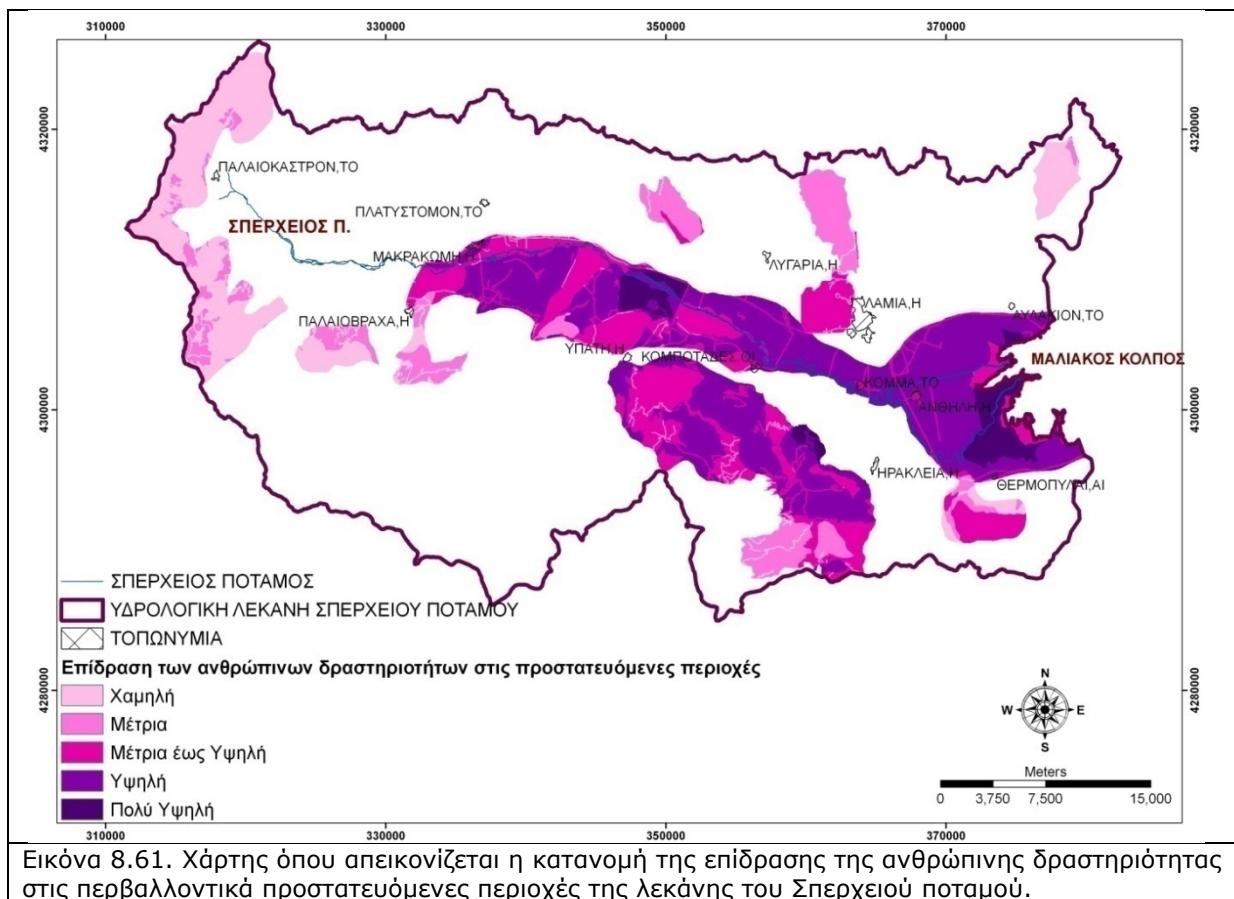
ε) τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν και διάφορες άλλες αιτίες, όχλησης του περιβάλλοντος, όπως είναι οι διάσπαρτοι σκουπιδότοποι, οι λαθροϋλοτομίες και εκχερσώσεις, η υπερβόσκηση (κυρίως στις πιο ορεινές περιοχές), καθώς και οι εμπρησμοί από αμέλεια (ειδικά σε χωράφια που καίγονται τα υπολείμματα των καλλιεργειών και γειτνιάζουν με περιοχές που έχουν θαμνώδη ή δασική βλάστηση).

8.6.2. Επίδραση ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές

Έγινε προσπάθεια να διαπιστωθεί ο βαθμός επίδρασης και ουσιαστικά επιβάρυνσης των περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του χάρτη «ανθρώπινης παρουσίας» (παρ. 8.4.3) και πραγματοποιήθηκε ο συνδυασμός του με τον χάρτη που περιλαμβάνει τις περιοχές Natura, τις περιοχές προστασίας της Ορνιθοπανίδας και τα καταφύγια άγριας ζωής.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ο χάρτης της επίδρασης και επέμβασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εντός των προστατευόμενων περιοχών (Εικόνα 8.61).

Ο χάρτης αυτός ταξινομήθηκε σε κλάσεις, οι οποίες περιελάμβαναν, Χαμηλή, Μέτρια, Μέτρια έως Υψηλή, Υψηλή, και Πολύ υψηλή επίδραση του ανθρώπου στις προστατευόμενες περιοχές. Παρατηρούμε ότι οι προστατευόμενες περιοχές που δεν δέχονται πολύ έντονη επίδραση από τον άνθρωπο, βρίσκονται κυρίως στις ορεινές δυσπρόσιτες περιοχές, ενώ τόσο το ανατολικό παράκτιο τμήμα, όσο και ο Εθνικός δρυμός της Οίτης, δέχονται μία πολύ υψηλή επίδραση που επιφέρει έντονες αλλοιώσεις στον περιβαλλοντικό χαρακτήρα της περιοχής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο συνδυασμός των τεχνικών και δυνατοτήτων της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στην διαδικασία του εντοπισμού και καταγραφής των αλλαγών που επέρχονται στις χρήσεις γης και την γεωμορφολογία μιας περιοχής με το πέρασμα του χρόνου, εξαιτίας φυσικών, περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών (οικονομικών και κοινωνικών) ωθήσεων. Η διαδικασία του να αντιληφθούμε την φύση αυτών των αλλαγών, αποτελεί μια ουσιαστική γνώση που διευκολύνει σημαντικά την κατάλληλη διαχείριση, τον σχεδιασμό και τη δημιουργία κανονισμών που θα διέπουν την ολοκληρωμένη διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής αλλά και της παράκτιας ζώνης.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή περιελάμβανε :

(α) την χρησιμοποίηση ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος για την κατάλληλη προετοιμασία και δημιουργία των απαραίτητων θεματικών χαρτών και των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων,

(β) τα βήματα επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+, με στόχο την καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης χρησιμοποιώντας την μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, καθώς και των αλλαγών που έλαβαν χώρα κατά τα χρονικά διαστήματα 1984-1999 και 1999-2007,

(γ) την διερεύνηση των μεταβολών που επήλθαν στην ακτογραμμή από το 4.500 π.Χ. έως και σήμερα, χρησιμοποιώντας παλιούς τοπογραφικούς χάρτες και αεροφωτογραφίες, καθώς και εκτίμηση της πιθανής μελλοντικής κατάστασης,

(δ) την χρησιμοποίηση δορυφορικών εικόνων radar, του ERS-2, για την καταγραφή των αβαθών περιοχών στην παράκτια ζώνη για την καλύτερη οριοθέτηση της ακτογραμμής, καθώς και την μελέτη των εποχιακών μεταβολών των καλλιεργειών,

(ε) την γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής, με την μελέτη της λεκάνης απορροής του Σπερχειού αλλά και 8 κύριων υπολεκάνων, 4 στο βόρειο και 4 στο νότιο τμήμα,

(ζ) τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης και της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς και της μεταβολής της ποιότητας των υπόγειων υδάτων για το διάστημα από το 1971 έως το 2007,

(η) τον υπολογισμό της κατανομής της ευαισθησία της περιοχής σε πρόκληση κατολισθήσεων, πυρκαγιών και πλημμυρών, καθώς την κατανομή της πυκνότητα της ανθρώπινης δραστηριότητας σε ολόκληρη τη λεκάνη και

(θ) την έκθεση του ανθρώπινου παράγοντα στον κίνδυνο από κατολίσθηση και στον συνδυασμό κινδύνου από πυρκαγιά, πλημμύρα και κατολίσθηση.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή έρευνας, συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ✓ Σύμφωνα με τον χάρτη κλίσεων, τα πρηνή με κλίση μεγαλύτερη από το 30% καταλαμβάνουν ποσοστό 67,3%, γεγονός που αναδεικνύει το έντονο ανάγλυφο της περιοχής.

- ✓ Από τον γεωλογικό χάρτη, εξάγεται ότι το 21,96% της περιοχής καλύπτεται από αλουβιακές αποθέσεις (κεντρικό τμήμα), το 4,85% από Κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, το 16,24% από ανθρακικά πετρώματα (ανατολικό βόρειο και νότιο τμήμα), το 42,83% από φλύσχη (δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα) το 10,57% και 2,83% από οφιόλιθους και την σχιστοκερατολιθική διάπλαση, αντίστοιχα (βορειοανατολικό τμήμα), ενώ με ένα μικρό ποσοστό (0,74%) εμφανίζονται τα νεογενή. Με βάση την περατότητα αυτών των σχηματισμών, το 15,54% της λεκάνης καλύπτεται από περατούς σχηματισμούς (ανθρακικά πετρώματα), το 11,34% από ημιπερατούς έως περατούς σχηματισμούς, το 25,40% από ημιπερατούς σχηματισμούς (αλουβιακές αποθέσεις), ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό, 47,72%, καλύπτεται από αδιαπέρατους σχηματισμούς (φλύσχης, σχιστοκερατόλιθοι).
- ✓ Η καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης και των μεταβολών που έχουν επέλθει κατά τα χρονικά διαστήματα 1984-1999 και 1999-2007 με την χρησιμοποίηση εικόνων δεδομένων του ίδιου δορυφορικού συστήματος (Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM), εξασφάλισε την ομοιογένεια της χωρικής, ραδιομετρικής και φασματικής ανάλυσης των δεδομένων. Παράλληλα, η ομοιόμορφη χρονική ανάλυση των δεδομένων (ημερομηνία λήψη στις 26/7 και 28/7) μείωσε στο ελάχιστο τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των εικόνων, αφού τα διάφορα είδη βλάστησης καθώς και η επίδραση της ηλιακής γωνίας ήταν ίδια σε όλες τις εικόνες. Έτσι, βελτιώθηκε αισθητά η ακρίβεια της ταξινόμησης.
- ✓ Οι μέθοδοι που δοκιμάστηκαν για την καταγραφή των αλλαγών ήταν η αφαίρεση εικόνων (image differencing), η διαίρεση (image ratioing), η αλληλεπίθεση (image overlay), η ανάλυση κύριων συνιστωσών (principal component analysis) και η σύγκριση των εικόνων μετά-ταξινόμησης (post-classification comparison). Από τις μεθόδους αυτές, ως η πιο αποτελεσματική κρίθηκε η τεχνική της σύγκρισης των εικόνων μετά-ταξινόμησης, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα της μεθόδου της επιλεκτικής ανάλυσης κύριων συνιστωσών (selective principal component analysis), γιατί παρόλο που δεν δίνουν ακριβή στοιχεία για την φύση των αλλαγών, εντούτοις βοηθούν στον προσδιορισμό των αλλαγών μέσω της σύγκρισης τους με τις εικόνες μετά-ταξινόμησης.
- ✓ Η εφαρμογή του αλγόριθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood classifier) έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση των τριών εικόνων. Στις εικόνες χρήσης/κάλυψης γης που προέκυψαν, η εφαρμογή του φίλτρου majority (3x3) ομογενοποίησε κάποιες ενότητες του τελικού προϊόντος, μειώνοντας τα λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία καθώς και την εμφάνιση μεμονωμένων εικονοστοιχείων σε ομοιογενείς περιοχές.
- ✓ Η βελτίωση της ακρίβειας του θεματικού χάρτη, των εικόνων του 1999 και 2007, που προέκυψε από την αυτόματη ταξινόμηση, πραγματοποιήθηκε μέσω της οπτικής ερμηνείας (visual interpretation), προκειμένου να γίνει διόρθωση των σφαλμάτων που παρατηρήθηκαν κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου ταξινόμησης. Η πολύ καλή γνώση της περιοχής μελέτης, ο μεγάλος όγκος δεδομένων από τις εργασίες υπαίθρου, καθώς και η υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα των ορθοφωτοχαρτών, διευκόλυναν σε πολύ μεγάλο βαθμό την οπτική ερμηνεία της εικόνας, βελτιώνοντας σημαντικά την ακρίβεια του τελικού χάρτη της κάλυψης/χρήσης γης. Αντίθετα, η απουσία δεδομένων υπαίθρου

σε πραγματικό χρόνο, για την περίοδο του 1984, μείωσε την τελική ακρίβεια της εικόνας ταξινόμησης.

- ✓ Για τους παραγόμενους χάρτες χρήσης/κάλυψης γης, του 1999 και 2007, η ακρίβεια ταξινόμησης ξεπέρασε το 93%, τιμή σχεδόν άριστη για την εφαρμογή της μεθόδου, ενώ για τον χάρτη του 1984 η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 83%, ποσοστό που θεωρείται ικανοποιητικό, με βάση την έλλειψη δεδομένων υπαίθρου και την δυσκολία συλλογής σημείων δειγματοληψίας από τις αεροφωτογραφίες.
- ✓ Οι κύριες μεταβολές χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1984-1999 αφορούσαν την μετατροπή μίας αρκετά σημαντικής έκτασης δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους (61,03 Km², 3,34%), σε καλλιέργειες (15,32 km², 0,83%) και σε αστική κάλυψη (1,99 km², 0,11%). Επίσης, λόγω της αύξησης των επιδοτήσεων στις θερινές ετήσιες καλλιέργειες (βαμβάκι), παρατηρήθηκε μία μεγάλη μετατροπή των αροτραίων χειμερινών σε αροτραίες θερινές καλλιέργειες (38,5 km², 2,11%). Εξαιτίας της μείωσης της γονιμότητας ορισμένων εδαφών, καθώς και της μείωσης των επιδοτήσεων σε άλλες καλλιέργειες (π.χ. καπνός), καταγράφεται η μετατροπή πολλών, χειμερινών κυρίως καλλιεργειών, σε αγρανάπαυση (γυμνά εδάφη), δενδρώδεις καλλιέργειες και ελιές. Τέλος, έκταση 2,11 km² (0,12%) καλλιεργειών στην πεδινή περιοχή, μετατράπηκαν σε κατασκευαστικά έργα και βιομηχανικά κτίρια.
- ✓ Οι κύριες μεταβολές χρήσης/κάλυψης γης για την περίοδο 1999-2007 αφορούσαν την μετατροπή μίας σημαντικής έκτασης δασικών εκτάσεων προς αστική δόμηση (2,08 km², 0,11%) και 35,54 km² (1,95%) προς καλλιέργειες. Η αστική επέκταση εις βάρος της δασικής κάλυψης, εντοπίζεται κυρίως στην περιαστική περιοχή της Λαμίας. Την μεγαλύτερη μεταβολή, παρουσιάζει η αλλαγή των δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους με έκταση 130,21 km² (7,13%). Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στις πυρκαγιές, με πιο σημαντική την πολύ μεγάλη πυρκαγιά που εκδηλώθηκε το καλοκαίρι του 2000, βορειανατολικά της Μακρακώμης, καθώς και στην επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα, με εκχερσώσεις, υλοτόμηση κλπ. Οι καλλιέργειες παρουσιάζουν μία αρκετά σημαντική μείωση των εκτάσεων τους (12,82%), κυρίως λόγω της μείωσης των επιδοτήσεων ορισμένων καλλιεργειών, που είχε σαν αποτέλεσμα, πολλά είδη, όπως ο καπνός ή το βαμβάκι, να μην καλλιεργούνται και τα χωράφια να μπαίνουν σε αγρανάπαυση ή να μένουν ακαλλιεργήτα. Επίσης, σημαντικός λόγος είναι η μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών, ιδιαίτερα σε πιο ορεινές περιοχές, λόγω της μεγάλης εντατικοποίησης της γεωργίας που συνέβη τις τελευταίες δεκαετίες. Η μεταβολή που παρατηρείται ανάμεσα στις καλλιέργειες σε αυτό το διάστημα, είναι η μεγάλη μετατροπή των θερινών αροτραίων σε χειμερινές αροτραίες καλλιέργειες ή ακαλλιεργήτα εδάφη (61,70 km², 3,38%). Τέλος, παρατηρείται μία μεγάλη αύξηση της έκτασης στην κατηγορία κατασκευές-εκσκαφές-χέρσα και δρόμοι-νερά (17,58 και 55,82%, αντίστοιχα). Η αύξηση αυτή, οφείλεται στην μεγάλη αύξηση των αναπτυξιακών έργων στην παράκτια ζώνη, με την κατασκευή της νέας ΠΑΘΕ («πέταλο» Μαλιακού), αλλά και του νέου σιδηροδρομικού δικτύου. Εκτός, όμως από αυτά τα έργα, παρατηρείται μία γενικότερη ανάπτυξη στην περιοχή στο διάστημα αυτό, με την κατασκευή αρδευτικών και στραγγιστικών έργων (για παράδειγμα η διαπλάτυνση του Αγωγού Εκτροπής ή η κατασκευή του νέου μεριστή), την διάνοιξη ή

διαπλάτυνση αγροτικών δρόμων, λόγω της εντατικοποίησης των καλλιεργειών, την δραστηριοποίηση ή επέκταση των λατομικών και μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, αλλά και την μεγάλη επέκταση, εκατέρωθεν κυρίως της ΠΑΘΕ, νέων βιομηχανικών και εμπορικών κτιρίων και εγκαταστάσεων, καθώς και την επέκταση της βιομηχανικής περιοχής (ΒΙΠΕ).

- ✓ Η συσχέτιση των κύριων μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης της περιόδου 1984-1999, με τις υψομετρικές ζώνες, την γεωλογία και τις κλίσεις, έδειξε ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής των δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους λαμβάνει χώρα στην ορεινή και πολύ ορεινή περιοχή (69,3%). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ποσοστό 55,6% σε μεγάλες κλίσεις (>30%), κυρίως επάνω σε φλύσχη (53,7%) και ασβεστόλιθους (39,0%). Όλες αυτές οι παράμετροι συνηγορούν στο ότι οι περιοχές αυτές είναι από τις πλέον ευαίσθητες σε φαινόμενα διάβρωσης και απώλειας των εδαφών τους, κάτι που μπορεί να οδηγήσει αργότερα σε φαινόμενα ερημοποίησης. Επίσης, η μεταβολή των χειμερινών σε θερινές αροτραίες καλλιέργειες συμβαίνει σε ποσοστό 38,6% στο ορεινό και πολύ ορεινό τμήμα, ενώ το 19,3% βρίσκεται σε κλίσεις μεγαλύτερες από 30%. Αυτές οι καλλιέργειες λόγω έλλειψης βλάστησης κατά τους χειμερινούς μήνες, διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο διάβρωσης.
- ✓ Η συσχέτιση των κύριων μεταβολών χρήσης/κάλυψης γης της περιόδου 1999-2007, με τις υψομετρικές ζώνες, την γεωλογία και τις κλίσεις, έδειξε ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής των δασικών εκτάσεων σε βοσκότοπους λαμβάνει χώρα στην ορεινή και πολύ ορεινή περιοχή (46,8%). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ποσοστό 55,4% σε απότομες κλίσεις (>30%), κυρίως επάνω σε φλύσχη (34,1 %), ασβεστόλιθους (26,6%) και οφιόλιθους (25,5%). Όλες αυτές οι παράμετροι συνηγορούν στο ότι οι περιοχές αυτές είναι από τις πλέον ευαίσθητες για διάβρωση και απώλεια των εδαφών τους.
- ✓ Από την επεξεργασία των εικόνων radar (ERS-2), είναι εμφανές ότι και οι δύο μέθοδοι που εφαρμόστηκαν, δηλαδή της Μετατροπής των Κύριων Συνιστωσών (PCT) και της Εποχιακής Διάκρισης Μεταβολών (SDI), έδωσαν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα όσον αφορά την καταγραφή των αβαθών περιοχών στην παράκτια περιοχή του Μαλιακού κόλπου. Λίγο καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος PCT, λόγω της πιο έντονης χρωματικής απεικόνισης των περιοχών αυτών. Αντίθετα, όσον αφορά τις εποχιακές μεταβολές της ηπειρωτικής παράκτιας περιοχής, σαφώς καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος TDI, αφού με τη μέθοδο PCT ο διαχωρισμός των διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών ήταν πιο ασαφής.
- ✓ Οι ποιοτικές και ποσοτικές μεταβολές της ακτογραμμής της λεκάνης απορροής του Σπερχειού καταγράφηκαν για την περίοδο από το 4.500 π.Χ. έως το 2007, με την χρησιμοποίηση παλαιών και νέων τοπογραφικών χαρτών από το 4.500 π.Χ. έως και το 1991, καθώς και αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων από το 1945 έως το 2007. Με βάση αυτή την καταγραφή υπολογίστηκε ότι ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα για όλα τα χρονικά διαστήματα (4.500-480 π.Χ., 480 π.Χ.-1805 μ.Χ., 1805-1852, 1852-1908, 1908-1945, 1945-1960, 1960-1986, 1986-1997 και 1997-2007). Συγκεκριμένα, κυμαίνεται από 0,31-2,79 m/year, με μέσο όρο 1,62 m/year. Εξαιρέση αποτελεί η περίοδος από το 1805 έως το 1852 όπου η τιμή του είναι

8,95 m/year, πολύ μεγαλύτερη από το μέσο όρο (πενταπλάσια), καθώς και οι δύο περίοδοι από 1986-1997 και 1997-2007, όπου ο ρυθμός μεταβολής είναι σχεδόν μηδενικός.

Την περίοδο από το 4500 έως το 480 π.Χ., ο ρυθμός μεταβολής εμφανίζεται μικρός. Αυτό συνέβαινε διότι η περιοχή βρισκόταν στα πρώτα στάδια πρόσχωσης και ο πυθμένας της παράκτια ζώνης είχε αρκετό βάθος και αργούσε να γεμίσει από τα μεταφερόμενα ιζήματα. Το διάστημα από το 480 π.Χ. έως το 1805 ο ρυθμός κυμαίνεται κοντά στο μέσο όρο, ενώ το διάστημα από το 1805 έως το 1852 ο ρυθμός μεταβολής αυξάνεται πολύ, κυρίως γιατί ο Σπερχειός πραγματοποίησε την μεγαλύτερη αλλαγή που είχε γίνει μέχρι τότε. Σε αυτή την χρονική περίοδο άλλαζοντας την πορεία του (εξαιτία ενός μεγάλου σεισμού το 1740) και από το βόρειο τμήμα του κόλπου, άρχισε να εκβάλλει στο νότιο, όπου η περιοχή ήταν περισσότερο ρηχή και συνεπώς η πρόσχωσή της ήταν ευκολότερη. Έπειτα όταν το 1908 η εκβολή του μετακινήθηκε εκ νέου βορειότερα, σε πιο αβαθή περιοχή, ο ρυθμός μεταβολής μειώθηκε κατά το διάστημα από 1852 έως το 1908. Σε επίπεδα λίγο μεγαλύτερα του μέσου όρου κυμάνθηκε ο ρυθμός μεταβολής από το 1908 έως και το 1986. Αυτό σχετίζεται με την δημιουργία του Αγωγού Εκτροπής (1957-58) που διοχέτευε μεγάλο μέρος των νερών του Σπερχειού στο βόρειο τμήμα, όπου ήταν αρκετά ρηχό από τις παλαιότερες προσχώσεις (παλιά εκβολή Σπερχειού μέχρι τον 17ο αιώνα). Αποτέλεσμα αυτού ήταν η ευκολότερη περεταίρω πρόσχωση της περιοχής.

- ✓ Είναι εμφανές επίσης, ότι από το 1986 και μέχρι το 2007, ο ρυθμός μεταβολής έχει μειωθεί δραστικά, ιδιαίτερα κατά το χρονικό διάστημα από 1997 έως το 2007 όπου έχει σχεδόν μηδενιστεί, φαινόμενο που αναμένεται να γίνει εντονότερο τα επόμενα χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που έχουν επέλθει στην παράκτια ζώνη. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η σταθεροποίηση της ακτογραμμής τις τελευταίες δεκαετίες, οφείλεται και στο γεγονός ότι πλέον η εκβολή του ποταμού Σπερχειού έχει προσεγγίσει βαθύτερα σημεία του Μαλιακού κόλπου, τα οποία χρειάζονται πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να προσχωθούν. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, όπως δείχνει και η ανάλυση του υδρολογικού ισοζυγίου. Τέλος, η χρήση του επιφανειακού και υπόγειου νερού, τόσο για γεωργική (αύξηση θερινών υδροβόρων καλλιεργειών) όσο και για αστική χρήση (αύξηση πληθυσμού, τουρισμού, βιομηχανικών δραστηριοτήτων), έχουν αυξηθεί δραματικά με αποτέλεσμα να έχουν μειωθεί κατά πολύ, οι ποσότητες νερού και ιζημάτων, που φτάνουν στα κατάντη της λεκάνης.
- ✓ Η μελλοντική εκτίμηση της κατάστασης στην παράκτια ζώνη με βάση τα στοιχεία και εκτιμήσεις της Environmental Protection Agency (EPA) και της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) έδειξε ότι οι περιοχές που βραχυπρόθεσμα κινδυνεύουν να κατακλυσθούν μέχρι το 2100, από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5-1m, καταλαμβάνουν έκταση 15,27 km², ενώ οι περιοχές που είναι πιθανό να κατακλυσθούν μακροπρόθεσμα μέχρι το 2500, καταλαμβάνουν έκταση 27,29 km². Σε σχέση με την συνολική έκταση της λεκάνης του ποταμού Σπερχειού οι περιοχές που θα κατακλυσθούν από θάλασσα το 2100 και 2500 αποτελούν το 0,83 και 1,49%, αντίστοιχα. Επίσης, αν υποθέσουμε ότι το εμβαδόν των δελταϊκών πεδιάδων του Σπερχειού καταλαμβάνει με βάση την ισοϋψή των 200 m, μία έκταση περίπου 350 Km², τότε οι πεδινές περιοχές που

θα κατακλυσθούν από την θάλασσα το 2100 και το 2500, αποτελούν το 4,36 και 7,80%, αντίστοιχα.

Με δεδομένη την έντονη εξάπλωση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις χαμηλές παράκτιες περιοχές, όπως είναι και η παράκτια περιοχή του Σπερχειού, η οποία παρουσιάζει τις τελευταίες δεκαετίες τόσο αγροτική, όσο και τουριστική και βιομηχανική ανάπτυξη, οι επιπτώσεις από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης θα δημιουργούσε σημαντικότερα προβλήματα και καταστροφές (φυσικές και υλικές).

- ✓ Από την στιγμή που δημιουργήθηκε ο Μαλιακός κόλπος και η ύπαρξη στεριάς στην περιοχή (5.500 π.Χ), ξεκίνησε και η διεργασία δημιουργίας της υδρολογικής λεκάνης. Με βάση τις φωτοερμηνευτικές παρατηρήσεις της περιοχής, φαίνεται ότι η αρχική εξέλιξη του αναγλύφου της λεκάνης ακολούθησε τον κύκλο του Davis. Από την ταυτόχρονη παρατήρηση του χάρτη κλίσεων, διαφαίνεται ότι στην περιοχή που βρίσκεται στο σημερινό δυτικό τμήμα της λεκάνης, κατά το στάδιο νεότητας του ποτάμιου συστήματος, πιθανότατα υπήρχε λίμνη η οποία είχε μία στενή έξοδο στο σημείο όπου υπάρχει αύξηση των κλίσεων, ανατολικά του σημερινού σημείου συμβολής του Ίναχου με τον Σπερχειό ποταμό. Το ίδιο απέδειξε και η παρατήρηση της δορυφορικής εικόνας (Google Earth), στην οποία η περιοχή όπου βρισκόταν η λίμνη, απεικονίζεται με τελείως διαφορετική υφή. Παράλληλα, τα ποτάμια που συμβάλλουν στην περιοχή (κυρίως ο Ίναχος) δείχνουν την πιθανή παρουσία ενός παλαιοδέλτα. Η μορφή εκβολής του ποταμού Ίναχου καθώς και η μορφή των ριπιδίων που έχει αποθέσει, αντικατοπτρίζουν και μια πιθανή αλλαγή της εκβολής του, από τα ανατολικά προς τα δυτικά κατά την χρονική περίοδο που άνοιξε περισσότερο αυτή η κλειστή λίμνη και άρχισαν πλέον τα νερά της να παροχετεύονται σε μεγαλύτερες ποσότητες σταδιακά, προς την κατάντη περιοχή. Η μετατόπιση αυτή, πιθανόν να οφείλεται στην κατακόρυφη μετατόπιση ολόκληρης της λεκάνης του Ίναχου, είτε λόγω της δυναμικής που δημιούργησε το άνοιγμα της λίμνης, είτε λόγω της επίδρασης των νεοτεκτονικών διεργασιών. Επίσης, σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα της σημερινής λεκάνης, φαίνεται ότι στην περιοχή αυτή σήμερα, επικρατούν κυρίως καλλιέργειες σιτηρών και όχι άλλες καλλιέργειες υψηλών απαιτήσεων (για παράδειγμα θερινών αροτραίων καλλιεργειών). Αυτό συμβαίνει διότι περιέχει φτωχά εδάφη λιμναίων αποθέσεων, τα οποία δεν είναι γόνιμα και συνεπώς δεν ευνοούν τις απαιτητικές καλλιέργειες και τις υψηλές αποδόσεις. Τέλος, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά, συνηγορεί στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας, που δικαιολογούνται από την ύπαρξη ενός λιμναίου περιβάλλοντος στο παρελθόν.
- ✓ Η μορφομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε τόσο για ολόκληρη τη λεκάνη του Σπερχειού ποταμού, όσο και τις 8 πιο σημαντικές υπολεκάνες της, 4 στο βόρειο και 4 στο νότιο τμήμα, λόγω της έντονης μορφολογικής διαφοροποίησης που παρουσιάζουν τα τμήματα αυτά. Οι νεοτεκτονικές κινήσεις που επιδρούν στην περιοχή, επηρεάζουν ολόκληρη την λεκάνη. Εξαιτίας της βύθισης που παρουσιάζει η βόρεια πλευρά της λεκάνης, η κατά βάθος διάβρωση είναι ασήμαντη στις νότιες απολήξεις της Όθρυς. Οι λεκάνες του βόρειου τμήματος είναι σχήματος V, με μικρές κλίσεις και φαρδιές σχετικά λεκάνες, μικρού μήκους. Τα υψόμετρα αυτών των λεκανών ξεκινούν περίπου από τα 650 m και κατέρχονται στην έξοδό τους περίπου στα 200 m, όπου τα ρέματα καταλήγουν ήπια στην αλουβιακή πεδιάδα και στην συμβολή τους με τον Σπερχειό. Τα ριπίδια που

σχηματίζονται στην έξοδο των λεκανών αυτών, είναι πολύ μικρής έκτασης και σήμερα είναι κατά βάση ανενεργά, εξαιτίας και της πολύ μικρής τροφοδοσία νερού που παρουσιάζουν τα ρέματα.

Αντίθετα, στο νότιο τμήμα της λεκάνης, στους ορεινούς όγκους του Καλλίδρομου, της Οίτης και του Τυμφρηστού, η μορφολογία είναι εντελώς διαφορετική, λόγω της έντονης τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής. Τα ανάντη αυτών των λεκανών είναι πιο επίπεδα και διευρυμένα σε σχέση με τα κατόντη, ενώ προς το κέντρο τους είναι πολύ πιο απότομες, με μεγάλες κλίσεις, έντονη διάβρωση και βαθιά φαράγγια (canyons), όπως για παράδειγμα ο Γοργοπόταμος, με κατολισθήσεις και καταπτώσεις. Οι ανυψωτικές αυτές κινήσεις, οδηγούν στην δημιουργία επιμηκών, μικρών λεκανών, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται απότομα τριγωνικά πρηνή. Στην έξοδο αυτών των λεκανών σχηματίζονται εκτεταμένα αλουβιακά ριπίδια που κλίνουν απότομα προς τον Σπερχειό. Αυτά τα ριπίδια, σε αντίθεση με του βόρειου τμήματος, είναι σήμερα ενεργά. Το μικρό σχετικά μήκος και η μεγάλη κλίση αυτών των λεκανών, σε περίοδο έντονων βροχοπτώσεων, οδηγεί στην παροχέτευση μεγάλων ποσοτήτων νερού απότομα στον Σπερχειό. Ο ποταμός, λόγω και των έντονων μαιανδρισμών που παρουσιάζει στον κάτω ρου, δεν έχει την δυνατότητα να διοχετεύσει γρήγορα τα νερά αυτά προς τον Μαλιακό κόλπο, με άμεσο αποτέλεσμα την δημιουργία πλημμυρών. Παράλληλα, η έντονη διάβρωση, εξαιτίας των μεγάλων κλίσεων, αυξάνει σημαντικά τις στερεοπαροχές των ορεινών κλάδων κατά την διάρκεια μεγάλων καταιγίδων. Η διαδοχική όμως μείωση της κλίσης προς τα χαμηλότερα μέχρι την κεντρική κοίτη, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μέσα σε αυτήν. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανύψωση της στάθμης των υδάτων και η υπερχείλιση τους. Η αυξημένη στερεοπαροχή επιπλέον συντελεί στην μείωση της ταχύτητας ροής της κεντρικής κοίτης, επιβραδύνοντας την αποστράγγιση των υδάτων και αυξάνοντας την υπερχείλιση.

- ✓ Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι σε ολόκληρη την λεκάνη του ποταμού Σπερχειού υπάρχουν τρία είδη ποτάμιων αποθέσεων: (α) Τα αλουβιακά ριπίδια, τα οποία βρίσκονται κατά μήκος των απολήξεων των ορεινών όγκων και χαρακτηρίζονται από αδρόκοκκα υλικά, ελάχιστα στρωματοποιημένα και τα οποία περιέχουν πέτρες και μικρούς βράχους, (β) Οι πλημμυρικές αποθέσεις πεδιάδας, οι οποίες αναπτύσσονται από το ποτάμιο σύστημα του Σπερχειού που βρίσκεται στο στάδιο ωριμότητας, και αποτελούνται από πέτρες και αιωρούμενα στερεά σωματίδια καλά στρωματοποιημένα, (γ) Τα παράκτια ιζήματα του δέλτα, που αποτελούνται από λεπτόκοκκα κυρίως υλικά, όπου κυριαρχούν τα αιωρούμενα στερεά, ενώ η άμμος βρίσκεται μόνο στον πυθμένα.
- ✓ Η υδρολογική συχνότητα και πυκνότητα, έχουν από μέτρια μεγάλες έως μεγάλες τιμές, για τις περισσότερες υπολεκάνες, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο γεωλογικό υπόβαθρο και στην πρόσφατη συνεχιζόμενη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, ενώ λιγότερο επιδρά η ύπαρξη της βλάστησης. Οι μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου των υπολεκανών, αλλά και των κλάδων 1ης τάξης, εντοπίζονται επίσης στους αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς του φλύσχη και των οφιολίθων, αντίστοιχα.
- ✓ Οι τιμές που δίνουν ο 1^{ος} και 2^{ος} νόμος του Horton, απεικονίζουν επίσης το στάδιο νεότητας που βρίσκεται η περιοχή, γεγονός που οδηγεί κυρίως σε υδρογραφικά δίκτυα,

με πολλούς κλάδους, μικρού μήκους στο βόρειο τμήμα και λίγους αλλά επιμήκεις κλάδους στο νότιο τμήμα. Μικρό ρόλο στις διεργασίες αυτές διαδραματίζουν τα παλαιά ρήγματα και οι δομές (ανάστροφα ρήγματα μικρής γωνίας με επωθήσεις και εφιππεύσεις, καθώς και πτυχές με αντίκλινα και σύγκλινα) της περιοχής. Η επίδραση τους αυτή, εμφανίζεται και στο μήκος των κλάδων 3ης τάξης, το οποίο όταν έχει μικρές τιμές χαρακτηρίζει εφελκυστικές τάσεις (αντίκλινα) που ευνοούν την ανάπτυξη πολλών και μικρών ρεμάτων (νότιο τμήμα λεκάνης). Αντίθετα οι μεγάλες τιμές μηκών ευνοούν στον σχηματισμών λίγων αλλά μεγαλύτερου μήκους ρεμάτων (βόρειο τμήμα λεκάνης).

- ✓ Από τις διευθύνσεις των ροδοδιαγραμμάτων συχνότητας και πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου, προκύπτει ότι στις υπολεκάνες του νότιου τμήματος, όπως και στην συνολική λεκάνη του Σπερχειού η διεύθυνση είναι κυρίως Δ-Α και λιγότερο ΑΝΑ-ΔΒΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Οι διευθύνσεις αυτές συμπίπτουν με την διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων μεγάλης γωνίας που επιδρούν και διαμορφώνουν την λεκάνη. Μικρή εξαίρεση αποτελεί η λεκάνη του Ίναχου η οποία επηρεάζεται μεν από την νεοτεκτονική, αλλά δείχνει ότι δέχεται και μια μικρή επίδραση από παλιότερα ρήγματα της περιοχής. Συγκεκριμένα η λεκάνη παρουσιάζει μία περιστροφή προς τα ΒΑ, γύρω από έναν άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, που επηρεάζει την διεύθυνση των ρεμάτων. Αντίθετα, οι διευθύνσεις του υδρογραφικού δικτύου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, είναι κυρίως ΝΝΑ-ΒΒΔ και λιγότερο ΒΑ-ΝΔ. Οι διευθύνσεις αυτές δείχνουν ότι ακολουθούν τα ανάστροφα ρήγματα, μικρής γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις). Εξαίρεση αποτελεί το δυτικό τμήμα, το οποίο φαίνεται ότι επηρεάζεται κυρίως από τα κανονικά ρήγματα ή από παλαιότερα ρήγματα Α-Δ που επιδρούν τοπικά στην περιοχή.
- ✓ Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων (2007) των υπόγειων νερών (πηγάδια), συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μελέτης του ΙΓΜΕ (1971). Η σύγκριση των τιμών πραγματοποιήθηκε για 24 πηγάδια, σε σύνολο 43, διότι για τα υπόλοιπα δεν βρέθηκαν αντίστοιχα πηγάδια προς σύγκριση. Η συσχέτιση των τιμών έδειξε ότι σε πολλά από τα κύρια στοιχεία, υπάρχουν αξιοσημείωτες μεταβολές των συγκεντρώσεων, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε ανθρωπογενείς και λιγότερο σε φυσικούς παράγοντες.
- ✓ Στα ιόντα Χλωρίου, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 22 από τα 24 δείγματα, κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής με αύξηση που φτάνει μέχρι και τα 196,6 mg/l. Σε 14 από αυτά τα δείγματα η συγκέντρωση του Χλωρίου υπερβαίνει τις ανώτερες επιτρεπτές τιμές που ορίζονται από την Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (50 mg/l), ενώ σε 2 από αυτά ξεπερνάει τα 100 mg/l, όριο πάνω από το οποίο το νερό γίνεται γλυφό. Οι αύξηση των συγκεντρώσεων, ιδιαίτερα στο νοτιοανατολικό τμήμα, οφείλονται στην διείσδυση του θαλασσινού νερού στα υπόγεια νερά της παράκτιας περιοχής. Οι αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις Χλωρίου στα νερά της ενδοχώρας, είναι γεωγενούς κυρίως προέλευσης. Στα ιόντα Νατρίου, παρατηρήθηκε αύξηση σε 20 από τα 24 δείγματα. Ωστόσο στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, η αύξησή τους δεν ακολουθεί αναλογικά την αύξηση των ιόντων Χλωρίου, όπως θα ήταν αναμενόμενο. Το γεγονός αυτό πιθανά να οφείλεται σε διεργασίες κατιοανταλλαγής που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του υπεδafικού νερού και των αργιλικών κυρίως ορυκτών.

Στη συγκέντρωση των Νιτρικών, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 23 από τα 24 δείγματα. Η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται στην περιοχή της Ηράκλειας και Δαμάστας, ανατολικά της Μακρακώμης και στην ευρύτερη περιοχή της Υπάτης, όπου η αύξηση φτάνει μέχρι και τα 191,5 mg/l. Σε 9 από τα 24 δείγματα του 2007 (ποσοστό 37,5%), η συγκέντρωση των Νιτρικών ξεπερνάει αρκετά την ανώτερη επιτρεπόμενη τιμή που ορίζει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (50 mg/l). Η αύξηση αυτή των νιτρικών οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής και στην μεταστροφή σε πιο απαιτητικές σε γόνιμα εδάφη, θερινές αροτραίες καλλιέργειες, που οδήγησε σε αύξηση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και η κτηνοτροφία, η οποία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη, αλλά βρίσκεται σε μέτρια ανάπτυξη από πλευράς υποδομών, καθώς και στην απουσία ή μη λειτουργία βιολογικών σταθμών ακόμα και στις μεγαλύτερες πόλεις, όπως η Μακρακώμη και η Σπερχειάδα. Οι σηπτικοί βόθροι που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα χωριά, δεν είναι απολύτως στεγανοί, με αποτέλεσμα μέρος των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων να περνάει στα υπόγεια νερά. Πέραν αυτών των κύριων πηγών, πρόσθετες σημειακές πηγές νιτρορύπανσης είναι οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα νεκροταφεία και τα οικιακά απόβλητα.

Στη συγκέντρωση των Θεϊκών, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση σε 19 από τα 24 δείγματα. Κανένα όμως δείγμα από την περιοχή δειγματοληψίας, δεν υπερβαίνει την ανώτερη τιμή που καθορίζει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (250 mg/l). Η αύξηση της συγκέντρωσης των Θεϊκών το διάστημα 1971-2007, σχετίζεται με την εντατική χρήση οργανικής προέλευσης λιπασμάτων, καθώς και στην εκμετάλλευση υπόγειων υδροφόρων που επηρεάζονται από την κυκλοφορία θερμών πηγών, πλούσιων σε SO_4^{2-} . Τέτοιου είδους νερά, όπως είναι οι θερμές πηγές Υπάτης, Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας, βρίσκονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα βρίσκονται οι θερμές πηγές της Δαμάστας. Στην παράκτια ζώνη η παρουσία τους σχετίζεται με την θαλάσσια διείσδυση. Επίσης, κατά την εξέλιξη της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, στο τμήμα δυτικά της Υπάτης, πιθανότατα υπήρξε λιμναίο περιβάλλον και συνεπώς απόθεση οργανικού υλικού. Η παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά της εν λόγω περιοχής μπορούν να συσχετιστούν με την ύπαρξη οργανικής ύλης η οποία αποδομούμενη παρείχε αρκετά μεγάλες ποσότητες Θεϊκής ρίζας στα υπόγεια νερά.

- ✓ Όσον αφορά την συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των πηγαδιών, 4 στοιχεία, το Κάδμιο (Cd), ο Μόλυβδος (Pb), το Νικέλιο (Ni) και ο Ψευδάργυρος (Zn), βρέθηκαν να έχουν σε ορισμένα δείγματα συγκεντρώσεις, που ξεπερνούν τις ανώτερες επιτρεπτές τιμές που ορίζει η Ε.Ε. Συγκεκριμένα, 11 δείγματα, έχουν συγκέντρωση Pb μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή των 0,05 mg/l και βρίσκονται κυρίως στο δυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Όσον αφορά το Cd, 5 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή (0,05 mg/l) και βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής. Για τον Zn, 5 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη από την ανώτερη επιτρεπτή τιμή (0,10 mg/l) και βρίσκονται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας. Τέλος, όσον αφορά το Ni, 7 δείγματα παρουσιάζουν συγκέντρωση ίση ή μεγαλύτερη από την ανώτερη

επιτρεπτή τιμή (0,05 mg/l) και βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής δειγματοληψίας.

- ✓ Ο χάρτης ευαισθησίας της περιοχής σε κατολίσθηση (Landslide Susceptibility map) που δημιουργήθηκε, περιλαμβάνει 6 κλάσεις, που διαχωρίζουν την περιοχή σε τμήματα με Ελάχιστη (2,48 %), Πολύ χαμηλή (11,81%), Χαμηλή (30,44%), Μέτρια (29,84%), Υψηλή (19,25%) και Πολύ υψηλή (6,18%) ευαισθησία σε κατολίσθηση. Οι περιοχές δηλαδή, που παρουσιάζουν από μέτρια έως πολύ υψηλή ευαισθησία σε εκδήλωση φαινομένων κατολίσθησης, αποτελούν το 55,25% της λεκάνης, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό. Στον χάρτη αυτό, είναι εμφανές ότι οι πιο ευαίσθητες περιοχές για κατολίσθηση εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής και λιγότερο στο πεδινό και παράκτιο τμήμα της. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, υπό το πρίσμα ότι οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο της κατολίσθησης εντοπίζονται σε αυτή την περιοχή. Συγκεκριμένα ο σχηματισμός του φλύσχη, ο οποίος χαρακτηρίζεται από φαινόμενα κατολισθήσεων, σχηματίζει εδάφη πλούσια σε άργιλο, όπου σε παρατεταμένες συνθήκες υγρασίας (έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις) έχει την ιδιότητα να απορροφά και να συγκρατεί μεγάλες ποσότητες ύδατος. Όταν η ποσότητα ύδατος που περιέχουν τα εδάφη αυτά, ξεπεράσει ένα «όριο υδαρότητας» τότε τα εδάφη αυτά αρχίζουν να «ολισθαίνουν», δίνοντας κατολισθήσεις (κυρίως λασπορών). Επίσης, στις περιοχές αυτές εντοπίζονται μεγάλες κλίσεις και υψηλό σχετικό ανάγλυφο, χαρακτηριστικά δηλαδή που ευνοούν τις κατολισθήσεις.
- ✓ Οι περιοχές που παρουσιάζουν ευαισθησία σε εκδήλωση πυρκαγιάς, χωρίζονται σε περιοχές με Χαμηλή (30,61%), Μέτρια (18,82%), Υψηλή (31,35%) και Πολύ υψηλή (19,22%) ευαισθησία. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος των περιοχών αυτών εντοπίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπου υπάρχουν αείφυλλα-πλατύφυλλα, καθώς και στο νότιο και δυτικό τμήμα, όπου υπάρχουν κωνοφόρα δάση. Για τις περιοχές που παρουσιάζουν ευαισθησία σε εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων, οι κλάσεις ταξινόμησης χωρίζονται σε περιοχές με Χαμηλή (69,40%), Υψηλή (15,14%) και Πολύ υψηλή (15,46%) ευαισθησία. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα, εντοπίζεται στο ανατολικό παράκτιο τμήμα της λεκάνης απορροής.
- ✓ Ο χάρτης ανθρώπινης δραστηριότητας της περιοχής, βασίστηκε στον συνδυασμό των παραγόντων της αστικής πυκνότητας, της χρήσης γης και του οδικού δικτύου. Ο χάρτης αυτός, ταξινομήθηκε σε τρεις κατηγορίες με Μέτρια, Υψηλή και Πολύ υψηλή εμφάνιση του ανθρώπινου παράγοντα. Οι περιοχές με την πιο έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα βρίσκονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης.
- ✓ Για την εκτίμηση του κινδύνου έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα σε εκδήλωση κατολίσθησης, αποτυπώθηκαν 6 κλάσεις που αντιπροσωπεύουν περιοχές με Ελάχιστο κίνδυνο (38,72%), Πολύ χαμηλό (26,60%), Χαμηλό (19,75%), Μέτριο (9,94%), Υψηλό (3,64%), και Πολύ υψηλό κίνδυνο (1,36%). Είναι φανερό από τα παραπάνω ποσοστά, ότι ο κίνδυνος έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα στις κατολισθήσεις είναι αρκετά μικρός. Συνολικά, η έκθεση από τον μέτριο έως τον πολύ υψηλό κίνδυνο ανέρχεται μόλις στο 15%. Αυτό συμβαίνει γιατί η ανάπτυξη τόσο της οικιστικής δόμησης, όσο και των

κυριότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων συγκεντρώνεται κυρίως στην πεδινή και παράκτια ζώνη, όπου τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι πιο περιορισμένα, σε σχέση με τις πολύ ορεινές, νότιες και δυτικές περιοχές, που παρουσιάζουν αυξημένη εμφάνιση.

- ✓ Για την εκτίμηση του κινδύνου έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα, σε εκδήλωση κατολίσθησης, πυρκαγιάς και πλημμύρας, συνδυάστηκε ο χάρτης ευαισθησίας και στα τρία φυσικά φαινόμενα με τον χάρτη της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αποτυπώθηκαν 6 κλάσεις που αντιπροσωπεύουν περιοχές με Πολύ χαμηλό κίνδυνο (16,65%), Χαμηλό (29,05%), Μέτριο (24,81%), Μέτριο έως Υψηλό (16,10%), Υψηλό (12,10%), και Πολύ υψηλό κίνδυνο (1,28%).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbott L.P., 1996. *Natural Disasters*. Wm. C. Brown Publishers, p. 438, San Diego.
- Aleotti P., Chowdhury R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 58, pp. 21–44.
- Alexander D., 1993. *Natural Disasters*. UCL Press, p. 632, London.
- Allen J.R.L., 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments: *Sedimentology*, v.5, pp. 89-191.
- Allen L.H., Wood R.L., 1994. Calcium and phosphorus, pp. 144-163. In: M.E. Shills et al (Eds), vol I. *Modern nutrition in health and disease*. Lea and Febiger, Philadelphia, PA.
- Amarsaikhan D., Douglas T., 2004. Data fusion and multisource image classification. *Int. J. Remote Sens.*, 25 (17), pp. 3529-3539.
- Ambraseys N., Jackson J., 1990. Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. *Geophys. J. Int.*, 101, pp. 663-708.
- Anbalagan R., 1992. Landslide susceptibility evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.*, 32, pp. 269–277.
- Apollov B.A., 1963. *A study of rivers*, Izdat. Moscow University, Moscow.
- Appelo C.A.J., Postma D., 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A. A. Balkema. p.536.
- Aronoff S., 1982. Classification accuracy: a user approach. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 48 (8), pp. 1299-1307.
- Astaras T., 1985. Drainage network analysis of Landsat images of the Olympus Pieria mountain area, northern Greece. *Int. J. Remote Sens.*, 6 (5), pp. 673-686.
- Atkinson P.M., Massari R., 1998. Generalized linear modeling of landslide susceptibility in the central Apennines, Italy. *Comput. Geosci.*, 24, pp. 373–385.
- Augustithis S.S., Mack E., Vgenopoulos A., 1978. Textural and geochemical comparisons of the oolitic and pisolitic structures of the Parnassus bauxites and the Ni-Cr-Fe laterites of Larymna/Lokris and Euboea, Greece. *Proceedings of the 4th International Congress for the study of bauxites, alumina and aluminum, Vol. 1 – Bauxites*, pp. 15-34, Athens
- Aust H., Dounas A., Flathe H., Mühlfeld R., Kakavas N., Stahl W., Stavrou A., Tassios N., Trippler K., 1980. Groundwater in the Sperkhios basin, Central Greece. *Geologisches Jahrbuch, C24*, 3-24, Hannover.
- Avery T.E., Berlin G.L., 1992. *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. 5th edition, Mc Millan Publishing Company, New York.
- Ayalew L., Yamagishi H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, pp. 15–31.
- Baker J. R., Briggs S. A., Gordon V., Jones A. R., Settle J. J., Townshend J. R. G., Wyatt B. K., 1991. Advances in classification for land cover mapping using SPOT HRV imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 12 (6), p. 1071-1085.
- Barrett C. E., Curtis F. L., 1992. *Introduction to environmental remote sensing*. 3rd edition, Chapman & Hall, London.
- Barry R.G., Chorley, R.J., 1982. *Atmosphere, Weather and Climate*, Methuen, London,
- Berry, J., 1993. Cartographic modelling: The analytical capabilities of GIS, in *Environmental modelling with GIS*. Edited by M. Goodchild, et al. pp. 58-74, Oxford University Press, Oxford.

- Bittner & Feller, 1894. Geologische Uebersichtskarte des Erdbeben-Gabietes von Lokris nach Bittner and Feller von Theodor Skuphos. Zeitschrift d. Geselch. f. Erdk. Zu Berlin Bd XXIX, 1894, Maaßstab 1:400.000.
- Booth D.J. Oldfield R.B., 1989. A comparison of classification algorithms in terms of speed and accuracy after application of a post-classification modal filter. *Int. J. Remote Sens.*, 10 (7), pp. 1271-1276.
- Bruun P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. *Jour. Waterways and Harbors Division, Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, No W.W.L, p.117-13.
- Bolstad P.V., Lillesand T.M. 1991. Rapid maximum likelihood classification. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 57 (1), pp. 67-74.
- Burbank D.W., Anderson R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science.
- Burrough P. A., 1996. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford, p. 194.
- Cadell W., 2002. Report on the generation and analysis of DEMs for spatial modelling, p. 28.
- Calmbach L., 1997. AquaChem, version 3.7. Aqueous geochemical data analysis and plotting. Waterloo Hydrogeologic, Ontario, Canada.
- Campbell B.J., 1996. *Introduction to Remote Sensing*, (2nd edition). Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Publications Press, New York, London.
- Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A., 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. *Nat. Hazards*, 45, pp. 55-72.
- Carrara A., Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., Pasqui V., Reichenbach P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(5), pp. 427-445.
- Carrara A., Cardinali Guzzetti F., Reichenbach P., 1995. GIS-based techniques for mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F., (eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Kluwer, Dordrecht, pp. 135-176.
- Carter R.W.G., 1988. *Coastal Environments: An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastline*. Academic Press, Harcourt Brace & Co., London.
- Cevik E., Topal T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environ. Geol.*, 44(8), pp. 949-962.
- Charbonneau L., Morin D., Royer A., 1993. Analysis of different methods for monitoring the urbanization process. *Geocarto International*, 1, p. 17-25.
- Chauhan S., Sharma M., Arora K.M., 2010. Landslide susceptibility zonation of the Chamoli region, Garhwal Himalayas, using logistic regression model. *Landslides*, Article in press, pp. 1-13.
- Chavez P.S., Sides S.C., Anderson J.A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM & SPOT panchromatic. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 57 (3), p. 295-303.
- Cheng Q., Jing L., Panahi A., 2006. Principal component analysis with optimum order sample correlation coefficient for image enhancement. *Int. J. Remote Sens.*, 27 (16), pp. 3387-3401.
- Cherrill A.J., McClean C., Lane A., Fuller R.M., 1995. A comparison of land cover types in an ecological field survey in northern England and a remotely sensed land cover map of Great Britain. *Biological Conservation*, 71, pp. 313-323.
- Chibani Y., Houacine A., 2002. The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusing multispectral and panchromatic images. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (18), pp. 3821-3833.
- Chorley R.J., Schumm S.A., Sugden D.E., 1984. *Geomorphology*. London, p. 605.

- Chunming H., Huadong G., Changlin W., Dian F., 2002. A novel method to reduce speckle in SAR images. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (23), pp. 5095-5101.
- Ciavola P., Mantovani F., Simeoni U., Tessari U., 1999. Relation between river dynamics and coastal changes in Albania: an assessment integrating satellite imagery with historical data. *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 20, No 3, 561-584.
- Cihlar J., 2000. Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *Int. J. Remote Sens.*, 21 (6 & 7), p. 1093-1114.
- Chen K., 2002. An approach to linking remotely sensed data and areal census data. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (1), pp. 37-48.
- Clerici A., Perego S., Tellini C., Vesconi P., 2010. Landslide failure and runout susceptibility in the upper T. Ceno valley (Northern Apennines, Italy). *Nat. Hazards*, 52, pp. 1-29.
- Congalton R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, 37, pp. 35-46.
- Constanza, R., D'Agre R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van Den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Vol.387, 253-260.
- Cooke R.U., Doornkamp J.C., 1990. *Geomorphology in environmental management*, Clarendon Press, Oxford, p. 410.
- Cooper J.A., Pilkey O.H., 2004. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun rule. *Global and Planetary Change*, 43, 157-171.
- Cox B.A., 2003. A review of dissolved oxygen modeling techniques for lowland rivers. *Sci. Tot. Environ.* 314/316 : 303-334.
- Cracknell A.P., 1999. Remote sensing techniques and coastal zones-an update. *Int. J. Remote Sens.*, 19 (3), pp. 485-496.
- Crosta A., Moore, J.McM., 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the Seventh ERIM Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology*. pp. 1173-1187.
- Currit N., 2005. Development of a remotely sensed, historical land-cover change database for rural Chihuahua, Mexico. *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, pp. 232-247.
- Dai F.C., Lee C.F., Xu Z.W., 2000. Assessment of landslide susceptibility on thw natural terrain of Lantau island, Hong Kong. *Environ. Geol.*, 40(3), pp. 381-391.
- Dai F.C., Lee C.F., Ngai Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Eng. Geol.*, 64(1), pp. 65-87.
- Dakui Z., Martini I.P., Brookfield M.E., 1998. Morphology and land-use of the coastal zone of the North Jiangsu plain Jiangsu province, Eastern China. *Journal of Coastal Research*, 14 (2), pp. 591-599.
- Davis W.M., 1899. *The Geomorphological Cycle*. *Geog. Journal*, v.14, pp.481-504, reprinted 1954 in *Geographical essays*, New York: Dover Publications Inc.
- Dean A.M., Smith G.M., 2003. An evaluation of per-parcel land cover mapping using maximum likelihood class probabilities. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (14), pp. 2905-2920.
- Deffontaines B., 1986. Approche géomorphologique des surfaces. Un exemple d'application le Nord du fosse rhénan (Bas Rhin, France). *Mém DEA P.* 7, p. 31.
- Deffontaines B., 1988. Présentation d'une nouvelle method morpho-néotectonique. *Colloq. Méth. Néotectonique (Orléans)*.
- Deffontaines B., Chorowicz J., 1991. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis ofthe Zaire basin. In: J. Fourniguet & G. Pierre (Eds), *Neotectonics. Tectonophysics*, 194, pp. 237-263.

- Densmore L.A., Dawers H.N., Gupta S., Guidon R., 2005. What set topographic relief in extensional footwalls? *Geology*, v.33 (6), pp. 453-456.
- Dercourt J., Makris J., Melidonis N., 1980. Grèce. – *Congres Géologiques International: Excursions 106 C-162 C*, Paris, p.159.
- Dermitzakis M., Papanikolaou D., 1979. Paleogeography and Geodynamics of the Aegean Region during the Neogene. VII Int. Congress Medit. Neogene, Athens, Ann. Geol. Pays Hellen, hors serie IV, 245-289.
- Dicks S.E., Lo T.H., 1990. Evaluation of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 56 (9), pp. 1247-1252.
- Djingova R., Kuleff I., Arpadjan S., Alexandrov S., Voulgaropoulos A., Sawidis T., 1987. Neutron activation analysis of *Ulva lactuca* and *Gracilaria verrucosa* from Thermaikos Gulf, Greece. *Toxicol. and Environ. Chem.*, 15: 149 – 158.
- Drever. I.J., 1997. The geochemistry of natural waters, surface and groundwater environment. Third edition, Prentice Hall, USA, p.436.
- Duriez A., Marlin C., Dotsika E., Massault M., Noret A., Morel J.L., 2008. Geochemical evidence of seawater intrusion into a coastal geothermal field of central Greece: Example of the Thermopylae system. *Environ. Geol.*, 54: 551-564.
- Dury G.H., 1966. Pediment slope and particle size at Middle Pinnacle, near Broken Hill, New South Wales. *Australian Geographical Studies* 4, pp. 1-17.
- DVWK Schriften 110, 1998. Hydrogeochemische stoffsysteme, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 117
- Economidis P.S., 1991. Check list of freshwater fishes of Greece. Recent status of threats and protection. Hellenic society for the protection of nature. Athens, pp. 46.
- Edwards T.C., Moisen G.G., Cutler D.R., 1998. Assessing map accuracy in a remotely sensed, ecoregional-scale cover map. *Remote Sens. Environ.*, 63, p. 73-83.
- Elachi C., 1987. Spaceborne radar remote sensing: Applications and techniques. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York.
- Eliet P.P., Gawthorpe R.L., 1995. Drainage development and sediment supply within rifts, examples from the Sperchios basin, central Greece. *Journal of Geological Society*, London, Vol. 152, pp. 883-893.
- El-Gamily H.I., Nasr S., El-Raey M., 2001. An assessment of natural and human-induced changes along Hurgada and Ras Abu Soma coastal area, Red Sea, Egypt. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (15), pp. 2999-3014.
- El-Magd I.A., Tanton T.W., 2003. Improvements in land use mapping for irrigated agriculture from satellite sensor data using a multi-stage maximum likelihood classification. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (21), pp. 4197-4206.
- El-Raey M., Nasr S.M., El-Hattab M.M., 1995. Change detection of Rosetta promontory over the last forty years. *IJRS*, vol. 16, No.5, p. 825-834 (IGME).
- El-Raey M., Sharaf El-Din S.H., Khafagy A.A., Abo Zed A.I., 1999. Remote sensing of beach erosion/accretion patterns along Damietta-Port Said shoreline, Egypt. *IJRS*, vol.20, No.6, pp.1087-1106.
- ERDAS Inc, 2002. ERDAS IMAGINE Field Guide. Leica Geosystems, GIS & Mapping division, Atlanta, USA, p. 659.
- E.U. Council, 1998. Council directive 98/83 about water quality intended for human consumption. Official paper of the European Communities, VL330, pp. 32-54.
- Evans I. J., 1980. An integrated system for terrain analysis for slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36, pp. 274-295.
- Fall M., Azam R., Noubactep C., 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Eng. Geol.*, 82(4), pp. 241-263.

- Ferrière J., 1977. Faits nouveaux concernant la zone isopique maliaque (Grèce continentale orientale). *Proceed. VI Colloquium Geology of the Aegean region, Athens, I*:197-210.
- Ferrière J., 1982. Paleogeographies et tectoniques superpose dans les Hellenides Internes Au Niveau de l'Othrys et du Pelion (Grèce). *Docteur Essciences, Lille, N°d'ordre 564, tom. 2*, pp. 895-899.
- Floras S.A., Sgouras I.D., 1999. Use of geoinformation techniques in identifying and mapping areas of erosion in a hilly landscape of central Greece. *JAG, vol. 1, issue 1*, pp. 68-77.
- Foody G.M., 1996. Relating the land-cover composition of mixed pixels to artificial neural network classification output. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 62 (5), pp. 491-499.
- Foody G.M., Boyd D.S., 1999. Detection of partial land cover change associated with the migration of inter-class transitional zones. *Int. J. Remote Sens.*, 20 (14), p. 2723-2740.
- Foody G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.*, 80, p. 185-201.
- Foreman M. G. G., James C. B., Quick M. C., Hollemans P., Wiebe E., 1997. Flow and temperature models for the Fraser and Thompson Rivers. *Atmosphere – ocean* 35 (1), pp. 109 – 134.
- Foumelis M., Lekkas E., Parcharidis I., 2004. Landslide susceptibility mapping by GIS-based qualitative weighting procedure in Corinth area. *Proceedings of the 10th International Congress of the Geological Society, Vol. XXXVI*, pp. 904-912.
- Friedrich H., 1965. *Meeresbiologie*. Gebruder Borntraeger. Berlin.
- Fuller R.M., Groom G.B., Jones A.R., 1994. The land cover map of Great Britain: an automated classification of Landsat thematic mapper data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (5), pp. 553-562.
- Fung T., LeDraw E., 1987. Application of principal components analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53, 1649-1658.
- Fung T., Chan K.C., 1994. Spatial composition of the spectral classes: a structural approach for image analysis of heterogeneous land-use and land cover types. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (2), pp. 173-180.
- Gaki-Papanastasiou K., Maroukian H., Pavlopoulos K., Zamani A., 1997. The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, pp. 121-126.
- Galloway W.E., 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In Broussard, M.L. (ed.), *Deltas: Models for Exploration*. Houston, TX: Houston Geological Society, pp. 87-96.
- Gallup B.K., 1991. Semi-automated training area selection and a nonparametric classifier compared to traditional digital satellite data classification. M.S. thesis, University of California, Berkeley.
- Gao J., Liu Y., Chen Y., 2006. Land cover changes during agrarian restructuring in Northeast China. *Applied Geography*, 26, pp. 312-322.
- Gartzos E., Stamatis G., 1996. Genesis of the thermal springs of the Sperchios graben, Greece. *N.Jb.Geol.Paläont.Mh.*, 1996 (2): 91-115; Stuttgart.
- Gawthorpe, R.L., Leeder M.R., 2000. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. *Basin Research*, 12, pp. 195-218.
- Gatsis I., Parcharidis I., Serelis K., 2001. Monitoring of coastline changes using multitemporal satellite data: the case of Messologi lagoon system and Acheloos-Evinos

- deltas (W. Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, pp. 2039-2046.
- Gatsis I., Koukoulas S., Vafeidis A., Lagoudakis E., Gkoltsiou K., 2006. Monitoring and mapping of land cover/use changes in an agricultural and natural environment, using multitemporal satellite data and GIS (Lesvos Island, Greece). RSPSoc Annual Meeting: "Understanding a changing world", University of Cambridge, pp. 63-64.
- Geist H.J., Lambin E.F., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience*, 52, p. 143-150.
- Gelabert B., Fornós J.J., Pardo J.E., Rosselló V.M, Segura F., 2005. Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain). *Geomorphology*, 65, pp. 139-155.
- Gordon M.G., 1838. Account of two visits to the Anopaea or highlands above Thermopylae. Athens
- Gorte B., Koolhoven W., 1990. Interpolation between isolines based on the Borgefors distance transform. *ITC Journal*, 3, p. 245-247.
- Green P., 1970. Xerxes at Salamis. Praeger Publishers, New York, p. 326.
- Green K., Kempka D., Lackey L., 1994. Using remote sensing to detect and monitor land cover and land use change. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (3), p. 331-337.
- Gregory K.J., Walling D.E., 1973. Drainage basin form and process. A Geomorphological Approach. New York, John Wiley & Sons Co., p. 456
- Griboulard R., 1980. Relation entre morphologie, tectonique, Meseta septentrionale marocaine. These de 3^e cycle, Univ. de Bordeaux I, p. 117.
- Grimmet R.F.A., Jones T.A., (compilers), 1989. Important bird areas in Europe. International council of bird preservation (ICBP). Technical publication No 9. International waterfowl and wetlandresearch bureau (IWRB).
- Guerschman J.P., Paruelo J.M., Di Bella C., Giallorenzi M.C., Pacin F., 2003. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal TM data. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (17), pp. 3381-3402.
- Gupta P.R., 1991. Remote sensing in Geology. Springer-Verlag, p. 356.
- Habicht C., 1985. Pausanias' Guide to Ancient Greece. Sather Classical Lectures. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1985. 50: xv+205.
- Haboudane D., Bonn F., Royer A., Sommer S., Mehl W., 2002. Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometrics attributes. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (18), pp. 3795-3820.
- Hands E.B., 1983. The Great Lakes as a Test Model for Profile Responses to Sea Level Changes. In: Komar, P.D. (Ed.), Handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 176-189.
- Harvey K.R., Hill G.J. E., 2001. Vegetation mapping of a tropical freshwater swamp in the Northern Territory, Australia: a comparison of aerial photography, Landsat TM and SPOT satellite imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (15), pp. 2911-2925.
- Hölting B., 1980. Hydrogeologie, Einfuehrung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Enke Verlag, p. 340.
- Horn B.K.P., 1981. Hill shading and reflectance map. *IEEE*, 69(1), 14-47.
- Horton R.E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Horton R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basin: a hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56, 275-370.
- Howarth P.J., Wickware G.M., 1981. Procedures for change detection using Landsat digital data. *Int. J. Remote Sens.*, 2 (3), pp. 277-291.

- [http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσική καταστροφή](http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσική_καταστροφή)
<http://kireas.org/smf/index.php?topic=685.0>
<http://www.e-lamia.gr/history.php>
<http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/katolisthisi.csp>
<http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/pirkagies.csp>
<http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/plimires.csp>
http://www.hydrognomon.org/index_el.html
http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300_03.html
<http://www.ornithologiki.gr/gr/sppe/gr103.php>
http://el.wikipedia.org/wiki/Νομός_Φθιώτιδας
<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>
<http://veryspatial.com/2008/04/landsat-archive>
Huggett R., Cheesman J., 2002. *Topography and the Environment*, Prentice Hall, Pearson Education.
Hung M.C, Wu Y.H., 2005. Mapping and visualizing the Great Salt Lake landscape dynamics using multi-temporal satellite images 1972-1996. *Int. J. Remote Sens.*, 26 (9), pp. 1815-1834.
Hutchinson M.F., 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*, August 17-19, Sydney. International Geographic Union, Columbus, Ohio.
Hutchinson M.F., Gallant G.C., 1999. Representation of Terrain in Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues, Longley, P.A., M.F. Goodchild, D. Maguire and D.W. Rhind (Eds.). Wiley, New York, pp. 105-113.
I.P.C.C., 2001. *Climate change , Synthesis report (Stand-alone edition)*. Watson R.T. and the Core Writing Team (eds.), Geneva, p.184.
IGBP, 1995. *Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone: Implementation Plan*. Ed.J.C. Pernetta and J.D. Milliman. IGBP Report No 33, Stockholm.
ILWIS 3.0 for Windows-User's Guide, 2001. ILWIS Dept. ITC.
Ioka M. & Masato K., 1986. Performance of Landsat-5 TM data in land cover classification. *Int. J. Remote Sens.*, 7 (12), pp. 1715-1728.
Istanbuluoglu E., Yetemen O., Vivoni E.R., Gutiérrez-Jurado H.A., Bras R.L., 2008. Ecogeomorphic implications of hillslope aspect: Inferences from analysis of landscape morphology in central New Mexico. *Geophys. Res. Lett.* 35, L14403.
Jackson J., 1999. Fault death: a perspective from actively deforming regions. *Journal of Structural Geology*, 21, pp. 1003-1010.
Jackson J., McKenzie D., 1999. A hectare of fresh striations on the Arkitsa fault, central Greece. *Journal of Structural Geology*, 21, pp. 1-6.
Janssen L., Van Der Wel J.M., 1994. Accuracy assessment of satellite derived land cover data: a review. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (4), pp. 419-426.
Janssen L., Di Gregorio A., 2003. Land-use data collection using the "land cover classification system": results from a case study in Kenya. *Land Use Policy*, 20, p. 131-148.
Jeness J., 2007. Some thoughts on analyzing topographic habitat characteristics, Jenness Enterprises, USA, <http://www.jenessnt.com>.
Jensen J.R., Toll D., 1982. Detecting residential land use development at the rural-urban fringe. *Photogrammetric Eng. And Remote Sens.*, 48, pp. 629-643.
Jensen J.R., 2004. Digital change detection. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. New Jersey Prentice-Hall, pp. 467-494.
Johnsson K., 1994. Segment-based land use classification from SPOT satellite data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (1), p. 47-53.

- Jones K.H., 1998. A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM. *Computers and Geosciences*, Vol. 24, No 4, 315-323.
- Juppenlatz M., Tian X., 1996. *Geographic information systems and remote sensing*. McGraw-Hill Book Company, p.146.
- Kakavas N., 1984. Hydrological balance of the Sperchios river basin (Central Greece). Summary of the Doctorate Thesis elaborated at the Institute of Geological and Mining Research , p. 8.
- Kamh Z.S., 2008. Evaluating geological and environmental data for urban expansion using satellite images nad GIS. An application on Hurghada area, Egypt. Doctorate Thesis elaborated at the Aristotle University of Thessaloniki, Geology department, p. 260.
- Kamp U., Bolch T., Olsenholler J., 2003. DEM generation from ASTER satellite data for geomorphometric analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia. *ASPRS (2003), Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska.
- Karaska M.A., Walsh S.J., Butler D.R., 1986. Impact of environmental variables on spectral signatures acquired by the Landsat thematic mapper. *Int. J. Remote Sens.*, 7 (12), p. 1653-1667.
- Kattenborn G., Nezry E., De Grandi G., Sieber A.J., 1993. High resolution detection and monitoring of changes using ERS-1 time series. *Proceedings of the 2nd ERS-1 Symposium*, Hamburg, Germany, 11-14 October 1993 (ESA, ESTEC: The Netherlands), pp. 635-642.
- Kelson K.I., Wells S.G., 1989. Geological influences on fluvial hydrology and bedload transport in small mountainous watersheds, northern New Mexico, USA. *Earth Surf. Processes Landforms*, 14, pp. 671-690.
- Kerkides P., Soulis K., Psomiadis E., Giannouloupoulos P., 2007. Water resources conditions assessment in Greece and their role in desertification. Poster article. *GNEST congress*, Cos island. B 365-373.
- Kerkides P., Giannouloupoulos P., Psomiadis E., 2006. Land use change detection and possible effects: The case of Iria basin. *e-Proceedings of the International Conference on Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology*, HAICTA.
- Killey M., Hines I., Du Montelle P., 1985. Landslide inventory of Illinois. *Illinois State Geological Survey*, C534, 27 p.
- Klemas V., 2001. Remote sensing of landscape-level coastal environmental indicators. *Environmental Management*, 27 (1), pp. 47-57.
- Kok K., Clavaux M.B., Heerebout W.M., Bronsveld K., 1995. Land degradation and land cover change detection using low-resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain. *ITC Journal*, 3, pp. 217-228.
- Komac M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1-4), pp. 17-28.
- Köppen W., Geiger R., 1936. *Handbuch der Klimatologie*. Berlin.
- Kormas K. Ar., Nikolaidou A., Thessalou-Legaki M., 2003. Variability of environmental factors of an eastern Mediterranean Sea river influenced coastal system. *Mediterranean Marine Science*, Vol.4/1, pp.67-77.
- Kosmas C., Danalatos N. G., Gerontidis S., 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena*, 40, pp. 3-17.

- Koukis G., 1988. Slope deformation phenomena, related to the engineering geological conditions in Greece. Proc. of the 5th Int. Symposium of Landslides, Vol. 1, pp. 1187-1192, Lausanne. .
- Koukis G., Sabatakakis N., Nikolaou N., Loupasakis C., 2005. Landslide hazard zonation in Greece. In: Sassa K, Fukuoka H, Wang F, Wang G (eds) Proceedings of open symposium on landslide risk analysis and sustainable disaster management in the First General Assembly of International Consortium on Landslides, Springer-Verlag, Berlin, pp 291-296.
- Koutsias N., Karteris M., 2003. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. Int. J. Remote Sens., 24 (15), pp. 3093-3104.
- Kraft J.C., Rapp R.G., Aschenbrenner S.E., 1975. Late Holocene paleogeography of the coastal plain of the gulf of Messenia, Greece and its relationships to archaeological settings and coastal change. Geol. Soc. America Bull., v.86, p. 1191-1208.
- Kraft J.C., Rapp G., Szelmer G.J., Tziavos C., Kase E.W., 1987. The pass at Thermopylae, Greece. Journal of field Archaeology, 14, 181-198.
- Kraft J.C., Rapp R. G., 1988. Geological reconstruction of ancient coastal landforms in Greece with predictions of future coastal changes. Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Marinou & Koukis (eds), Vol. 4, p. 1545-1556.
- Kressler P.F., Steinnocher T.K., 2001. Monitoring urban development using satellite images. Proceedings of the 2nd International Symposium "Remote sensing of urban areas", Regensburg/Germany, pp. 140-147.
- Kouli M., Loupasakis C., Soupios P., Vallianatos F., 2009. Landslide hazard zonation in high risk area of Rethymno prefecture, Crete island, Greece. Natural Hazards, 52 (3), pp. 599-621.
- Kuntz S., Siegert F. 1999. Monitoring of deforestation and land use in Indonesia with multitemporal ERS data. Int. J. Remote Sens., 20 (14), pp. 2835-2853.
- Kwarteng A.Y., Chavez P.S,Jr., 1998. Change detection study of Kuwait City and environs using multi-temporal Landsat Thematic Mapper data. Int. J. Remote Sens., 19 (9), pp. 1651-1662.
- Lagios E., Drakopoulos J., Hipkin R.G., Gizeli C., 1988. Microgravimetry in Greece: applications to earthquake and volcano-eruption prediction. Tectonophysics, 152, 197-207.
- Lambrakis N., 1991. Elaboration of the hydrochemical data by PC, Mineral Wealth Vol.74: 53-60 (In Greek).
- Lashermes B., Foufoula-Georgiou E., Dietrich W.E., 2007. Channel network extraction from high resolution topography using wavelets. Geophys. Res. Lett. 34, L23S04.
- Leake W.M., 1835. Travels in northern Greece. Vol.II, London.
- Lee J.S., 1983. Digital image smoothing and the sigma filter. Computer Graphics and Image Processing, 24, pp. 255-269.
- Lee J.S., 1986. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images. Optical Engineering, 25, pp. 636-643.
- Lee S, Min K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40, pp. 1095-1113.
- Lee S., Choi J., Min K., 2004. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. Int. J. Remote Sens., 25(11), pp. 2037-2052.
- Leeder M.R., Jackson J.A., 1993. The interaction between normal faulting and drainage in active extension basins, with examples from the western United States and central Greece. Basin research, 5, pp. 79-102.

- Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P., 1964. Fluvial processes in geomorphology. Freeman, San Francisco, London.
- Leysen M., Conway J.A., Sieber A., 1993. Evaluating multi-temporal ERS-1 data for tropical forest mapping: regional mapping and change detection applications. Proceedings of 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, (ESA, ESTEC: The Netherlands).
- Li X., Yeh A.G.O., 1998. Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Peral River Delta. *Int. J. Remote Sens.*, 19 (8), p. 1501-1518.
- Li X., Damen C.J. M., 2010. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl river estuary, China. *Journ. Of Marine Syst.*, Article in press, p. 8.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 2000. Remote sensing and image interpretation. 4th edition, New York, John Wiley & Sons, p. 724.
- Lin Z., Oguchi T., 2004. Drainage density, slope angle and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs. *Geomorphology*, 63, pp. 159-173.
- Liu X.H., Skidmore A.K., Van Oosten H., 2002. Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. *ISPRS Journal of Photogramm. & Remote Sens.*, 56, pp. 257-268.
- Lloyd J., Heathcote J., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction. Oxford, p.296.
- Lodhi M.A., Echavarria F.R., Keithley C., 1998. Using remote sensing data to monitor land cover changes near Afghan refugee camps in northern Pakistan *Geocarto Int.*, 13 (1), pp. 33-39.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2004. Change detection techniques. *Inter J. of Remote Sensing*, 25(12), pp.2365-2407.
- Luchisheva A.A., 1950. Practical Hydrology. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- MacKay P.A., 1963. Procopius' de Aedificiis and the topography of Thermopylae. *Amer. Jour. of Archaeology*, v.67, pp. 241-255.
- Maingi J.K., Marsh S.E. 2001. Assessment of environmental impacts of river basin development on the riverine forests of eastern Kenya using multi-temporal satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (14), pp. 2701-2729.
- Maktav D., Erbek F. S., Jurgens C., 2005. Remote sensing of urban areas. *Int. J. Remote Sens.*, 26 (4), pp. 655-659.
- Mandel S., Shiftan Z.L., 1981. Groundwater Resources, Investigation and Development, Academic Press, N.Y., London, p. 269.
- Mantoudi K. Mamassis N., Koutsoyiannis D., 2004. Water basin balance model using a geographical information system. *Technica Chronica*, 24 (1-) pp. 43-52.
- Marinatos S.N., 1951. Thermopylae, historic and archaeological guide. University of Athens, p.72, Athens.
- Marinos G., 1956. Uber Geologie, Petrologie und Metallogenese des Ophiolitkomplexes in Osterreichland.. *Berg.Hutt.Mon.*, vol. 101, pp. 34-36.
- Marinos P.G., Rondoyanni T., 1998. Hazard evaluation in an active fault area: The Maliakos gulf crossing in Central Greece. 8th International IAEG Congress, pp. 689-695, Rotterdam.
- Maroukian H., Lagios E., 1987. Neotectonic movements in the Sperkhios River basin, Central Greece. *Z.Geomorph.N.F., Suppl.-Bd.* 63, 133-140.
- Martinez-Casasnovas J.A., 2000. A cartographic and database approach for land cover/use mapping and generalization from remotely sensed data. *Int. J. Remote sens.*, 21 (9), pp. 1825-1842.

- Martin F.J., Turner R.W. 1993. SAR speckle reduction by weighted filtering. *Int. J. Remote sens.*, 14 (9), pp. 1759-1774.
- Mas J. F., 1999. Monitoring land cover changes: a comparison of change detection techniques. *Int. J. Remote Sens.*, 20 (1), pp. 139-152.
- Mather M.P., 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. 2nd edition, J. Wiley & Sons, p. 292, Great Britain.
- Matthess G., 1973. *Die Beschaffenheit des Grundwassers*, Gebruder Burntraeger. Berlin. Stuttgart, p. 319.
- Melton M.A., 1958. Geometric properties of nature drainage systems and their representation in an E-4 phase space, *J. of Geology*, 66, pp. 35-54.
- Metternicht G., 1999. Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision. *ISPRS J. of Photogrammetry & Remote Sens.*, 54, pp. 221-233.
- Miller V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of the drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee. Tech. Rep. No3, Dept. of Geology, Columbia University, New York, p. 45.
- Mimides T., Psomiadis E., Trikili I., 2007. Monitoring land use changes and soil degradation using SPOT and temporal aerial photograph data – The case of Vathy basin (Kalymnos Island-Dodecanese Greece. *Proceedings of the 11th International Congress of the Greek Geological Society*, Vol. 3, pp. 1476-1484
- Mitzopoulos, 1895. The great Earthquake of Lokris, in April 1894, Athens, National Printing Office, 1895m p. 40 (in greek).
- Montgomery D.R., Schmidt K.M., Dietrich W.E., Greenberg H.M., 2000. Forest clearing and regional landsliding in the Pacific Northwest. *Geology*, 28, pp. 311-314.
- Moore G.T., Asquith D.O., 1971. Delta: term and concept. *Geological Society of America Bulletin*, 82: pp. 2563-2568.
- Mouyiaris N.K., 1988. Destructive historical earthquakes in N. Euboicos and Maliacos Gulfs-Their significance to the evolution of the area. *Proceedings of the Engineering geology of ancient works, monuments and historical sites-Preservation and Protection*, Vol. 3, pp. 1249-1256, Balkema, Rotterdam.
- Muhlfeld R., 1975. Study on linear tectonic structures in the Sperchios valley. As seen on Actiae Photographs Vol.IV, pp 1-4, Hanover.
- Munyati C., 2000. Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset. *Int. J. Remote Sens.*, 21 (9), pp. 1787-1806.
- Nagendra H., Munroe D. K., Southworth J., 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 101 (2-3), p. 111-115.
- NASA, 2005. Landsat satellite instrument and data, available at <http://landsat.gsfc.nasa.gov/project/satellite.html>.
- Newson M., 1994. *Hydrology and the River Environment*, Clarendon Press, Oxford, p. 221.
- Oetter R.D., Cohen B.W., Berterretche M., Maiersperger K.T., Kennedy E.R., 2000. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sens. Of Environment*, 76, pp. 139-155.
- Ohlmacher G.C., 2007. Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides. *Eng. Geol.*, 91(2), pp. 117-134.
- Oliver J., 2005. *Encyclopedia of world climatology*, Springer.

- Ortiz M.J., Formaggio A.R., Epiphano J.C.N., 1997. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS, and historical database. *Int. J. Remote sens.*, 18 (1), p. 95-105.
- Ouchi S., 1985. Response of alluvial rivers to slow action tectonic movement. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96, pp. 504-515.
- Pachauri A.K., Gupta P.V., Chander R., 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology*, 36(3-4), 325-334.
- Papaioannou G., Mitropoulou A., Kitsara G., Kerkides P., Giannouloupoulos P., Psomiadis E., 2007. Drought Indices over Crete, Poster article. *Proceedings of Water Resources Management Conference: New Approaches and Technologies*, University of Crete Chania 14-16 June, pp.375-378.
- Parcharidis I., Psomiadis E., Tsintzouras S., 1998. Remote Sensing and raster Geographic Information System techniques, detecting the relation between natural vegetation and lithology-morphology. *Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 8th International Congress*, Vol. 1, pp. 297-305, Patra.
- Parcharidis Is., Pavlopoulos A., Serelis K., Tsintzouras S., 1999. Man-made impact monitoring in Messolongi lagoon system using multitemporal ERS.SAR data. *Proceedings of the 6th International Congress on Environmental Science and Technology*, vol. B, pp. 416-423.
- Parcharidis I., Lagios E., Psomiadis E., 2001. Multitemporal vulnerability assessment in a high flash flood risk area using RS/GIS techniques: The case study of Hymittos Mt. (Athens). *Proceedings of the 9th International Congress of the Greek Geological Society*, Vol. 5, pp. 2055-2062.
- Park N.W., Chi K.H., 2007. Quantitative assessment of landslide susceptibility using high-resolution remote sensing data and a generalized additive model'. *Int. J. Remote Sens.*, 29(1), pp. 247-264.
- Pasek J., 1974. Haupttulen und Ursachen der Hangbe wegungen. *Z. Geol. Wiss. DDR, Berlin*, Vol.2, No4, pp. 421-8.
- Pathirana S., 1999. Distribution of errors in a classified map of satellite data. *Geocarto International*, 14 (4), pp. 70-81
- Pavlopoulos A., Katsaros K., Stamatis G., Parcharidis I., 1997. Hydrologic properties and resistance maps of runoff in Pendelikon region, Attica, Greece, before and after the wildfire hazards, by using GIS and RS techniques. *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, Vol.1, pp.321-326, Athens.
- Perillo G.M.E., 1995. Geomorphology and sedimentology of estuaries:an introduction. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries-Developments in Sedimentology 53*, Chapter 1, Elsevier Science, pp. 1-16.
- Petit C., Scudder T., Lambin E., 2001. Quantifying process of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. *Int. J. Remote sens.*, 22 (17), pp. 3435-3456.
- Philip G.M., Watson D.F., 1982. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal* 22: 205-212.
- Philippson A., 1950. Die Grieshischen Landschaften. Der Nordosten der Griechischen Halbinsel. Band I, Teil I, Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main.
- Phillipson A., 1894. Das diesjährige Erdbeben in Lokris. *Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 21: 3p.
- Piper A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, *Trans Amer. Geophysical Union*, V.25, pp.914-928.

- Pirazzoli P.A., Stiros S.C., Arnold M., Laborel J., Laborel-Deguen F., 1999. Late Holocene coseismic vertical displacements and tsunami deposits near Kynos, gulf of Euboea, central Greece. *Phys. Chem. Earth (A)*, Vol.24, No 4, 361-367.
- Pococke R., 1772. *Voyages en Orient.....la Grece, la Thrace etc.*, Paris.
- Pohl C., Van Genderen J.L., 1998. Review article. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *Int. J. Remote sens.*, 19 (5), pp. 823-854.
- Pott R., 1986. Die Vegetationsanfolgen unterschiedlicher Gewassertypen Nordwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt des Wassers. *Westfälische Geographische Studien*, 42: 173-189.
- Poulos S., 1989. Deltaic sedimentation in the microtidal environment of Greek waters. Unpubl. PhD Dissertation, Cardiff, UK, University of Wales.
- Poulos S., Chronis G., 1997. The Importance of the Greek River Systems in the Evolution of the Greek coastline" - In: *Transformations and evolution of the Mediterranean coastline*, F. Briand and A. Maldonado (Eds), CIESM Science Series No3, *Bulletin de l'Institut Oceanographique*, Monaco, N.18: 75-96.
- Poulos S., Collins M.B., Shaw H.F., 1996. Deltaic sedimentation, including clay mineral deposition patterns, associated with small mountainous rivers and shallow marine embayments of Greece (SE Alpine Europe). *Journal of Coastal research*, 12-4, pp.940-952.
- Poulos S., Leontaris S., Collins M.B., 1997. Sedimentological and clay mineralogical investigations in Maliakos Gulf, eastern Greece. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol.39, N.3-4, pp.267-279.
- Pranzini E., Rossi L., 1995. A new Bruun Rule based model: an application to the Tuscany coast, Italy. *Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment Medcoast '95*. October 24-27 1995. , pp. 1145-1159.
- Pritchett W.E., 1958. New light on Thermopylae. *Amer. Jour. Of Archaeology*, v. 62, pp. 203-213.
- Prud'Homme R., 1972. Analyse morphostructurale appliqué a l'Aquitaine occidentale et au Golfe de Gascogne, Definition d'une methodologie cartographique interpretative. *These Sc. Nat., Univ. Bordeaux I*, No 353, p. 365.
- Psomiadis D., Dotsika E., Poutoukis D., Albanakis K., Karidakis G., Metaxas A., Raco B., Zisi N., Tzavidopoulos I., 2008. Geochemical study of the geothermal field of the Sperchios area, Greece. *Proceedings of the 8th International Hydrogeological Congress of Greece*, pp. 361-370, Athens.
- Psomiadis E., Parcharidis I., Poulos S., Migiros G., 2004. Short period change detection of Sperchios lower delta area using space radar images. *Proceeding of the 10th International Congress of the Geological society*, Vol XXXVI, pp. 919-927.
- Psomiadis E., Parcharidis I., Stamatis G. & Fournelis M., 2005a. Remotely sensing data and thematic mapping for sustainable developing in Sperchios river basin (Central Greece). *Proceedings of SPIE, 12th International Symposium of Remote Sensing*, September, Bruges, Belgium, Volume 5983, art. no. 59831U, p.12
- Psomiadis, E., Parcharidis I., Poulos S., Stamatis G., Migiros G., Pavlopoulos A., 2005b. Earth observation data in seasonal and long term coastline changes monitoring: the case of Sperchios River delta. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Vol.137*, p.159-175, Berlin-Stuttgart.
- Psyllidou-Giouranovits R., Voutsinou-Taliadouri F., Nacopoulou C., Georgakopoulou-Gregoriadou E., 1997. River discharge effects on the distribution of nutrients and heavy metals of Maliakos Gulf, Hellas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, pp. 72-77.

- Ranchin T., Wald L., 1993. The wavelet transform for the analysis of remotely sensed images. *Int. J. Remote sens.*, 14 (4), pp. 615-619.
- Ranchin T., Wald L., 2000. Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 66 (1), pp. 49-61.
- Rao B.R.M., Dwivedi R.S., Kushwaha S.P.S., Bhattacharya S.N., Anand J.B., Dasgupta S., 1999. Monitoring the spatial extent of coastal wetlands using ERS-1. *Int. J. Remote Sens.*, 20 (13), pp. 2509-2517.
- Rasch H., 1994. Mapping of vegetation, land cover and land use by satellite: experience and conclusions for future project applications. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 60 (3), pp. 265-271.
- Rashed T., Weeks J.R., Stow D., Fugate D., 2005. Measuring temporal compositions of urban morphology through spectral mixture analysis: towards a soft approach to change analysis in crowded cities. *Int. J. Of Remote Sens.*, 26 (4), pp. 699-718.
- Reineck H.E., Singh I.B., 1973. Depositional sedimentary environments, with reference to terrigenous clastics, Springer-Verlag, New York, p. 439.
- Rheinheimer G., 1975. *Mikrobiologie der Gewässer*. Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart-New York.
- Riccheti E., 2000. Multispectral satellite image and ancillary data integration for geological classification. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 66 (4), p. 429-435.
- Richards I.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Agric Handbook 60*, D. C., 160p, U.S. Dept. Agric., Washington.
- Richards J., 1993. *Remote sensing digital image analysis. An Introduction*. 2nd edition, Springer-Verlag, New York.
- Ridd M.K., Liu J., 1998. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sens. of Environment*, 63, pp. 95-100.
- Rigaux P., Scholl M., Voisard A., 2000. *Spatial databases, with application to GIS*, 410 pp., Morgan Kaufman Publ., San Francisco.
- Rigol J.P., Chica-Olmo M., 1998. Merging remote-sensing images for geological-environmental mapping: application to the Cabo de Gata-Nijar Natural Park, Spain. *Environmental Geology*, 34 (2/3), pp. 194-202.
- Ritter D.F., Kochel R.C., Miller J.R., 2002. *Process Geomorphology*. Fourth edition, p. 560.
- Rosenfield G.H., 1986. Analysis of thematic map classification error matrices. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 52 (5), pp. 681-686.
- Rousselaki E., Paraskeuopoulou V., Petrochilou M., Kastritis T., Zeri C., Dassenakis M., 2007. Heavy metals distribution in surface sediments of Maliakos gulf and Sperchios river, Central Greece. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 38: 307.
- Sabins F.F., 1997. *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. 3rd edition, W.H. Freeman and Company, New York, p. 494.
- Saha A.K., Gupta R.P., Arora M.K., 2002. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Int. J. Remote Sens.*, 23(2), pp. 357-369.
- Salem B.B., El-Cibahy A., El-Raey M., 1995. Detection of land cover classes in agro-systems of northern Egypt by remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, 16 (14), pp. 2581-2594.
- Sawidis T., 1997a. Chemical pollution monitoring of river Pinios in the Mediterranean climatic region. *Toxicol. Environ. Chem.*, 62: 217 – 227.
- Sawidis T., 1997b. Chemical pollution monitoring in freshwater systems from Macedonia, Greece: A comparative study. *Toxicol. Environ. Chem.* 63: 215-226.

- Sawidis T., Voulgaropoulos A. N., 1986. Seasonal bioaccumulation of iron, cobalt and copper in marine algae from Thermaikos Gulf of the northern Aegean Sea, Greece *Marine Environ. Res.* 19: 39 – 47.
- Schumm S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 67, pp.597-646.
- Schumm S.A., 1986. Alluvial river response to active tectonics. In: R.E. Wallace (Eds), *Active Tectonics*. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., pp. 80-94.
- Schwartz M. L., 1967. The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion. *Jour. Geology*, v.75, p. 76-92.
- Serra P., Pons X., Sauri D., 2003. Post-classification change detection with data from different sensors: some accuracy considerations. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (16), pp. 3311-3340.
- Shaban M.A., Dikshit O., 2001. Improvement of classification in urban areas by the use of textural features: the case study of Lucknow city, Uttar Pradesh. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (4), pp. 565-593.
- Shaghude Y.W., Wannäs K.O., Lundén B., 2003. Assessment of shoreline changes in the western side of Zanzibar channel using satellite remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (23), pp. 4953-4967.
- Shalaby A., Tateishi R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27, pp. 28-41.
- Shettigara V.K. 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 58 (5), pp. 561-567.
- Singh A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *Int. J. Remote Sens.*, 10 (6), pp. 989-1003.
- Skoulikidis N.T., 1993. Significance evaluation of factors controlling river water composition. *Environmental Geology*, 22: 178-185.
- Skouphos T., 1894. Die swei grossen Erdbeben in Lokris am 8/20 und 15/27 April 1894. *Zeitschrift Ges. Erdkunde zu Berlin*, 24, 409-474.
- Slater P.N. & Jackson R.D., 1982. Atmospheric effects on radiation reflected from soil and vegetation as measured by orbital sensors using various scanning directions. *Appl. Optics*, 21, pp. 3923-3930.
- Slater J., Brown R., 2000. Changing landscapes: monitoring Environmentally Sensitive Areas using satellite imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 21 (13 & 14), pp. 2753-2767.
- Small C., 2002. Multitemporal analysis of urban reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 81, pp. 427-442
- Smith K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *Amer. J. of Sci.*, 248, pp. 655-668.
- Smith J.H., Stehman S.V., Wickham J.D., Yang L., 2003. Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sens. Environ.*, 84, pp. 342-349.
- Smits P.C., Dellepiane S.G., Schowengerdt R.A., 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *Int. J. Remote Sens.*, 20 (8), pΠ. 1461-1486.
- Sotiriadis L., Astaras T., 1977. A comparison of drainage densities as computed from topographic maps, aerial photographs and field survey. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 28, pp. 145-159.
- Southworth J., Munroe D., Nagendra H.. 2004. Land cover change and landscape fragmentation – comparing the utility of continuous and discrete analyses for a

- western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, pp. 185-205.
- Stahl W., Aust H., Dounas A., Kakavas A., 1975. Groundwater investigations, Sperchios basin/central Greece 1970-74. Internal. Report, IX: Stable isotope composition of different ground and surface waters from the Sperchios valley, p.40, Athens, I.G.M.E., (Unpubl).
- Stamatis G., 1999. The Chemical Composition of the Surface System of Peneos River, Thessaly/ Central Greece. *Environmental Geology* 38 (2), 126 – 140.
- Stamatis G., Gatsis I., Psomiadis E., Parcharidis I., 2000. Satellite data and information technology to the verification of coastal water pollution deriving from human activities, in Vavrona gulf (Attica, Greece). *Proceedings of the 5th Congress for the protection and restoration of the environment, Democritus University of Thrace, Vol. 1*, pp. 535-542, Thassos.
- Stefanovic P., 1988. Digital Elevation Models (for CAR4). Lecture notes from ITC.
- Story M., Congalton R., 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 52 (3), pp. 397-399.
- Stow D., 1999. Reducing misregistration effects for pixel-level analysis of land-cover change. *Int. J. Remote sens.*, 20 (12), pp. 2477-2483.
- Strahler N.A., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 63, 913-920.
- Strahler N.A., 1954. Statistical analysis in geomorphic research. *Jour. Geol.*, 62, 1-25.
- Strahler N.A., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Amer. Geophys. Union, Trans.*, 38 (6), 1117-1142.
- Strahler N.A., 1958. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 69, pp. 279-300.
- Strahler N.A., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of applied Hydrology*. V.T. Chow (ed.), New York, Mac Graw-Hill. Section 4-II.
- Su Z., 2000. Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies. *Int. J. Remote sens.*, 21 (2), pp. 213-233.
- Sunar F., 1998. An analysis of changes in a multi-date set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. *Int. J. Remote Sens.*, 19 (2), pp. 225-235.
- Tait R.V., 1971. *Meeresokologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Takagi M., 1996. A study of DEM accuracy according to Spatial Resolution. *IAPRS, Vol.32/4. ISPRS Commission IV Symposium on GIS*, p. 5, Stuttgart, Germany.
- Tarolli P., Fontana D.G., 2009. Hillslope-to-valley transition morphology: New opportunities from high resolution DTMs. *Geomorphology*, 113, 47-56.
- Taylor A.B., Schwarz E., 1952. Unit-hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. *Amer. Geophys. Union Trans.*, 33 (2), pp. 235-246.
- Tempfli K., Tuladhar A. M., 1991. Digital Terrain Modelling. Lecture notes from ITC.
- Therianos, A.D., 1974. The geographical distribution of river water supply in Greece, *Bull. Geol. Soc. Greece*, 11, 28-58, (in Greek).
- Titus J.G., Richman C., 2000. Maps of lands vulnerable to sea level rise: Modeled elevations along the US Atlantic and gulf coasts. *Climate Research*, 18:205-228.
- Townshend J., Justice C.O., Gurney C., McManus J., 1992. The impact of misregistration on change detection. *IEEE Transactions on geosciences and remote sensing*, vol. 30, pp. 1054-1060.
- Toulios L.G., Yassoglou N.J., Moutsoulas M., 1990. Land use mapping in West Messinia, Greece, using satellite imagery. *Int. J. Remote sens.*, 11 (9), pp. 1645-1661.

- Trippler K., Aust H., Tassios N., 1979. Interpretation of a large-area aquifer test by digital model simulation (Sperkhios valley, Central Greece). *Geol. Jb.*, C23, 23-34.
- Turc L., 1954. Le bilan d' eau des sols; Relations entre les précipitations l' evaporation et l' écoulement - *Ann. Agronomiques IV*, 1954: 491 – 595; Versailles.
- Tziavos C., 1977. Sedimentology, ecology and paleogeography of the Sperchios valley and Maliakos gulf, Greece. Unpubl. MSc Thesis, University of Delaware, USA.
- Ulbricht K.A., Heckendorff W.D., 1998. Satellite images for recognition of landscape and landuse changes. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 53, pp. 235-243.
- Valeton I., Biernamm M., Reche R., Rosenberg F., 1987. Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews* 2:359-484.
- Van Andel T.H., Perissoratis C., 2006. Late quaternary depositional history of the North Evvoikos Gulf, Aegean Sea, Greece. *Marine Geology*, 232, pp. 157-172.
- Varnes D.J., 1978. Slope movement types and process. In: R.L. Schuster and R.J. Krizek, Editors, *Landslides: Analysis and Control* Transportation Research Board, Special Report 176, pp. 11-33.
- Varnes D.J., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Unesco, Paris.
- Vasconcelos M.J.P., Mussá Biai J.C., Araújo A., Diniz M.A., 2002. Land cover change in two protected areas of Guinea-Bissau (1956-1998). *Applied Geography*, 22, pp. 139-156.
- Vidal-Pantaleoni A., Marti D., 2004. Comparison of different speckle-reduction techniques in SAR images using wavelet transform. *Int. J. Remote Sens.*, 25 (22), pp. 4915-4932.
- Vinas O., Baulies X., 1995. 1:250.000 land use map of Catalonia (32.000km²) using multitemporal Landsat-TM data. *Int. J. Remote sens.*, 16 (1), p. 129-146.
- Vita-Finzi C., 1969. *The Mediterranean valleys: Geological changes in historical times*. Cambridge University Press, London, p. 140.
- Vouvalidis K., Syrides G., Pavlopoulos K., Papakonstantinou M., Tsourlos P., 2009. Holocene palaeoenvironmental change in Agia Paraskevi prehistoric settlement, Lamia, Central Greece. *Quaternary International* xxx, 1-11 (in press).
- Wace A.J.B., Thomson M.S., 1912. *Prehistoric Thessaly*. Cambridge: U.P., 1912. xv, p.272.
- Wacher W.E.C., 1980. *Magnesium and Man*. Howard Univ. Press, Cambridge, MA.
- Watson D.F., Philip G.M., 1985. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessing*, 2: pp. 315-327.
- White K., El Asmar H.M., 1999. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta. *Geomorphology*, Vol.29, 93-105.
- W.H.O. (World Health Organization), 1996. *Guidelines for drinking water quality*. Vol. 2: Health criteria and other supporting information, Geneva.
- Whelan R.J., 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press.
- Wigniole E., Ferrière J., 1980. Apport des documents obtenus par le satellite Landsat 1 à la connaissance de la géologie d'un secteur de Hellénides: L'Othrys et les massifs au Sud du Sperkhios (Grèce continentale). – *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 290, Série D:1405-1408.
- Wilcox L.V., 1955. *Classification and use of irrigation waters*, D. C., p. 19, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington.
- Wise S.M., 1998. *Digital Terrain Models –Traps for the Unwary*, Geocomputation, 98.

- Woodcock C.E., Strahler A.H., 1987. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, 21, p. 311-332.
- Wright H.A., Bailey A.W., 1982. *Fire Ecology*. John Wiley & Sonc .Inc.,New York.
- www.ground-water-models.com
- www.lenntech.com/heavy-metals.htm
- www.nhlakes.org/edbroadures/phosphoruspollution.htm
- www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs956.pdf
- www.tjclarkinc.com/minerals
- www.geo.auth.gr
- Xiao J., Li J., Moody A., 2003. A detail-preserving and flexible adaptive filter for speckle suppression in SAR imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 24 (12), pp. 2451-2465.
- Xiuwan C., 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *Int. J. Remote Sens.*, 23 (1), pp. 107-124.
- Yang X., Damen M.C.J., Van Zuidam R.A., 1999. Use of Thematic Mapper imagery with a geographic information system for geomorphologic mapping in a large deltaic lowland environment. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 20, No 4, 659-681.
- Yang X., Lo C.P. 2002. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *Int. J. Remote sens.*, 23 (9), pp. 1775-1798.
- Yocky D.A., 1996. Multiresolution wavelet decomposition image merger of Landsat thematic mapper and SPOT panchromatic data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 62 (9), pp. 1067-1074.
- Yuan D., Elvidge C.D., Lunetta R.S., 1998. Survey of the multispectral methods for land cover change analysis. In: *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Applications and Methods*, R.S. Lunetta & C.D. Elvidge (eds), Ann Arbor, MI, Ann Arbor Press, pp. 21-39.
- Zaki M., Tohamy F. El., Hassan A., 1995. Landsat image interpretation. *Computational Statistics & Data Analysis*, 20, pp. 75-97.
- Zamani A., Maroukian H., 1979. A morphological study of an old delta of the Sperchios River. VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Proceedings, pp. 417-423, Athens.
- Zamani A., Maroukian H., 1980. Deltaic sedimentation of the Sperchios river in historical times. *Annales geologiques des pays Helleniques*, pp.430-440, Αθήνα.
- Zavoianu I., 1985. Morphometry of drainage basins. *Institute of Geography, Bucharest*, p. 238.
- Zavoili E., Konstantinidi E., Koukouvelas I.K., 2004. Tectonic geomorphology of escarpments: The cases of Kompotades and Nea Anchialos faults. *Bull. Of the Geol. Soc. of Greece*, Proceedings of the 10th Intern. Congr., Vol. XXXVI, pp. 1.716-1.725.
- Zevenbergen L.W., Thorne C., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, pp. 47-56.
- Zhao G.X., Lin G., Warner T., 2004. Using Thematic Mapper data for change detection and sustainable use of cultivated land: a case study in the Yellow River delta, China. *Int. J. Remote Sens.*, 25 (13), pp. 2509-2522.
- Zovoili E., Konstantinidi E., Koukouvelas I.K., 2004. Tectonic geomorphology of escarpments: the cases of Kompotades and Nea Anchialos faults. *Proceedings of the 10th International Congress of Geological Society*, Vol. XXXVI, pp. 1716-1725.
- Αδάμ Δ., 2001. Λοκρικά (Περιβοάγρια-Επικνημίδα), σελ. 400, Λαμία.

- Αναγνωστοπούλου, Φ., 2006. Διερεύνηση χωρικής κατανομής κλιματικών μεταβλητών στον Ελληνικό χώρο, Μεταπτυχιακή εργασία, σελ. 83, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Αντωνόπουλος Β., 2001. Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Αποστολόπουλος Γ., 1993. Γεωφυσικές έρευνες στη λεκάνη του Σπερχείου ποταμού. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., σελ.156.
- Αποστολόπουλος Γ., 1993. Γεωφυσικές έρευνες στη λεκάνη του Σπερχείου ποταμού. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., σελ.156.
- Αραπάκη Ε., 2007. Αντιπλημμυρικά έργα στον Σπερχείο ποταμό. Παρουσίαση από την ημερίδα που διοργανώθηκε από το ΤΕΕ με θέμα: «Αντιπλημμυρικός σχεδιασμός/Διαχείριση κινδύνου πλημμυρών: υφιστάμενη κατάσταση-νέα δεδομένα», Δεκέμβριος, Αθήνα.
- Ατσάλης Γ., 1993. Ανάλυση των θερμομεταλλικών πηγών Θερμοπυλών στον νομό Φθιώτιδας. Διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στο τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού), σελ. 216.
- Αυδής Β., Μανάκος Κ., 1991. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Φουρνά (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Βόρτσσελας Ι., 1973 (επανεκδοση της αρχικής του 1907). Φθιώτις, η προς τον νότον της Όθρυος, Αθήνα.
- Βουδούρης Σ.Κ., 2008. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
- Βρουχάκης Ι., Βουβαλίδης Κ., Σφέικος Α., Μαργώνη Σ., 2004. Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού ποταμού της Θεσσαλίας. Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, τόμος XXXVI/2, σελ. 978-987, Θεσσαλονίκη.
- Γατσής Ι., 2006. Μελέτη των διαχρονικών μεταβολών στο Φυσικό, Γεωργικό και Αστικό περιβάλλον της περιοχής Κορινθίας, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (οπτικά συστήματα και radar), Αεροφωτογραφιών και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Διαδακτορική διατριβή. Εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 405.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Τοπογραφικοί Χάρτες, Φύλλα: Δομοκός (1987), Αμφίκλεια (1988), Άμφισσα (1987), Ευξεινούπολις (1987), Καρπενήσιον (1987), Λαμία (1988), Λεοντάριον (1971), Λιδορίκιον (1988), Σπερχειάς (1988), Στυλίσ (1990), Φουρνά (1885), κλίμακας 1:50.000, Αθήνα.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Τοπογραφικοί Χάρτες, Φύλλα: 5363_1, 5363_2, 5363_3, 5363_4, 5363_5, 5363_6, 5363_7, 5363_8, 5362_2, 5362_4, 5362_6, 5362_8, 5373_1, 5373_2, 5364_7, κλίμακας 1:5.000, Αθήνα.
- Γιαννόπουλος Σ., 2002. Εισαγωγή μεθόδων G.I.S. και φωτογραμμετρίας σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων. Μεταπτυχιακές σημειώσεις, Τ.Α.Τ.Μ./ΑΠΘ.
- Γιαννόπουλος Σ., Κατσή Α., Παπαμιχαήλ Δ., Τζιμόπουλος Χ., 2005. Προσδιορισμός των Γεωμορφολογικών Χαρακτηριστικών της λεκάνης του Πορταϊκού ποταμού με το Λογισμικό WMS. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. σελ.169-176.
- Γώγουλος Δ., (Δασάρχης Σπερχειάδας) 2004. Τα παραποτάμια δάση του Σπερχείου. Πρακτικά διημερίδας «Natura Σπερχείου-Μαλιακού», σελ. 109-120.
- Δαβανέλλος Ν., Σταυρόπουλος Γ., 2005. Λαμία, Με τη γραφίδα των περιηγητών (1159-1940). Εκδόσεις Οικονόμος Βιβλιοχώρος, σελ. 202.
- Δακορώνια Φ., 1990. Ο Αχιλλέας στην κοιλάδα του Σπερχείου. Αρχαιολογία, 34, σελ. 40-43.
- Δακορώνια Φ., Κωτούλας Δ., Μπαλτά Ε., Συθιακάκη Β., Τόλιας Γ., 2002. Λοκρίδα: Ιστορία και Πολιτισμός, Αθήνα, Κτήμα Χατζημιχάλη, σελ. 177.

- Δαούλας Α., 1986. Οριστική μελέτη με πληρότητα μελέτης εφαρμογής αντιπλημμυρικών έργων Σπερχειού, 2^η τμηματική μελέτη, τεύχος 2, υδραυλικοί υπολογισμοί, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Δασενάκης Ε., Καστρίτης Α., Τριανταφυλλάκη Σ., Μπούρου Π., Παρασκευοπούλου Β., 2005. Διακίνηση ρύπων στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού και επιδράσεις στην παράκτια ζώνη. Πρακτικά συνεδρίου IWRM-WB / Global NEST, σελ. 209-214, Ξάνθη.
- Δεληγεώργης Ν., Δάλλας Σ., 1977. Προμελέτη έργων διευθετήσεως Σπερχειού κατάντη σιδηροδρομικής γέφυρας χειμάρρου Ξηριά και Τάφρου Λαμίας. Μελέτη που εκπονήθηκε στο Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Αθήνα.
- Δίκαιου Ε., 2009. Γεωπεριβαλλοντικές συνθήκες της λεκάνης απορροής του Ληθαίου ποταμού-Ν. Τρικάλων. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στον Τομέα Γεωλογικού και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Γεωπονικού Πανεπ. Αθηνών, σελ. 142.
- Δουκάκης Ε., 2005. Ανάπτυξη παράκτιας ζώνης. Σημειώσεις Διατμηματικού-Διεπιστημονικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών, Επιστήμης και Τεχνολογίας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 121, Αθήνα.
- Δούνας Γ.Α., 1960. Στοιχεία από την έκθεση επί των θειοπηγών Παλαιοβράχας-Φθιώτιδας. ΙΓΕΥ, Αθήνα.
- Δούνας Α., 1971. Η γεωλογία της μεταξύ Μεγάρων-Ερυθρών περιοχής. Διατριβή επί διδακτορία, σελ.206-219, Αθήνα.
- Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε), Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Εδαφολογικοί Χάρτες (Χάρτες Γαιών), Φύλλα: Στυλίσ, Λαμία, Σπερχειάς, Καρπενήσιον, Αμφίκλεια (1983), Άμφισσα (1983), Λιδορίκιον (1983), Ευξινούπολις (1985), Δομοκός (1985), Λεοντόταριον (1985), Φουρνά (1979).
- Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε), Α' Διεύθυνση Δασών, Φύλλα Δασικών Χαρτών, Φύλλα: Δρυμαία (1971), Κομποτάδες (1991), Μεσοχώρι (1991), Μπράλος (1971), Παύλιανη (1971), Υπάτη (1991), Καλλιδρομο (1971).
- Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), 1997. Ηλεκτρονική έκδοση χαρτών Προστατευόμενων Περιοχών, Φύλλα: Λαμία, Στυλίδα, Καρπενήσι.
- ΕΣΥΕ (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος), 1981. Απογραφή αγροτικού τομέα 1981, Αθήνα
- ΕΣΥΕ, 1985. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή του 1981, Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 1991. Απογραφή αγροτικού τομέα 1991, Αθήνα
- ΕΣΥΕ, 1994. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1991, Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 1995. Στατιστική επετηρίδα της Ελλάδος 1992-93, Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 1998. Αποτελέσματα της απογραφής βιομηχανίας-βιοτεχνίας, εμπορίου και άλλων υπηρεσιών, Τεύχη Α' και Β', Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 1999α. Αναλυτικοί πίνακες αλιείας εσωτερικών υδάτων, Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 1999β. Στατιστική του τουρισμού για τα έτη 1994-1996, Αθήνα.
- ΕΣΥΕ, 2001. Απογραφή αγροτικού τομέα 2001, Αθήνα
- ΕΣΥΕ, 2002. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά νομούς, δήμους, δημοτικά διαμερίσματα και οικισμούς (αποτελέσματα απογραφής 2001), Πληροφορίες από την ιστοσελίδα της ΕΣΥΕ (<http://www.statistics.gr/>), Αθήνα.
- Ευθυμίου Γ., Μερτζάνης Α., Σαπουντζής Μ., Ζακυνθινός Γ., 2005. Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο δέλτα του Π. Σπερχειού-Μέτρα προστασίας, ανάδειξης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων. Heleco '05, ΤΕΕ, Φεβρουάριος 2005, Αθήνα.

- Ζαλίδης & Μαντζαβέλας, 1994. Απογραφή Ελληνικών Υγροτόπων ως Φυσικών Πόρων. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY), σελ. 367-373.
- Ζαμπάκας Ι., 1981. Γενική κλιματολογία, Αθήνα.
- Ζαρρής Δ., Ρόζος Ε., Σακελλαριάδης Δ., 1999. Περιγραφή των υδατικών συστημάτων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ερευνητικό Έργο: Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας. Επιστημονικός Υπεύθυνος: Κουτσογιάννης Δ. Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων σε συνεργασία με το ΥΠΕΧΩΔΕ, Τεύχος 36, Αθήνα.
- Ηροδότου Ιστορία, 1989. Ηροδότου Αλικαρνησέος Ιστορίας Αποδέξις – Ο κόσμος του Ηρόδοτου. ΟΕΔΒ, στ' έκδοση για την Α' γυμνασίου, σελ. 215, Αθήνα.
- ΙΓΜΕ, 1996. Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Παράρτημα 3, Εκτίμηση υπόγειου Υδατικού Δυναμικού, Αθήνα.
- Ιωαννίδης Κ., Ηλίας Π., Αγγελιδάκης Ι., Βέργου-Βήχου Α., Βασιλειάδης Ε., 1990. Γεωχημική έρευνα ιζημάτων ρεμάτων Όθρυος & γειτονικών περιοχών. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Δ/ση Γεωχημείας, σελ. 21.
- Κακαβάς Ν., 1978. Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Σπερχείου ποταμού. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Παράρτημα Ι: Απογραφή σημείων ύδατος, Αρ. 26,
- Κακαβάς Ν., 1983. Υδρογεωλογική έρευνα γεωθερμικής περιοχής Πλατυστόμου-Νομού Φθιώτιδας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Κακαβάς Ι.Ν., 1984α. Υδρολογικό Ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Σπερχείου ποταμού. Διδακτορική διατριβή που εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, σελ.348.
- Κακαβάς Ν., 1984β. Απογραφή καρστικών πηγών Ελλάδος VI, Ανατολική Στερεά Ελλάδα. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αρ. 28, Αθήνα.
- Κακαβάς Ν., 1985α. Η κατάσταση των αποθεμάτων υπογείου ύδατος στην κοιλάδα του Σπερχείου ποταμού. Προτεινόμενοι τρόποι κάλυψης του ελλείμματος νερού με αναρρύθμιση υπόγειων ταμιευτήρων. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αρ. 44, σελ. 12, Αθήνα.
- Κακαβάς Ν., 1985β. Έκθεση για τα αίτια υποβάθμισης της ποιότητας του νερού του φρέατος Βίτωλης Νομού Φθιώτιδας, προτάσεις για νέα ερευνητικά-παραγωγικά έργα. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, σελ. 7, Αθήνα.
- Κακαβάς Ν., 1990. Διάταξη υποβαθμισμένων ποιοτικά περιοχών στο ανατολικό και δελταϊκό τμήμα της κοιλάδας του Σπερχείου ποταμού. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXI, σελ. 113-120, Αθήνα.
- Καλλέργης Α.Γ., 2000. Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Β', Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, β' έκδοση, Αθήνα.
- Καλλέργης Γ., Κούκης Γ., 1985. Τεχνική Γεωλογία, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 600.
- Καλλέργης Γ.Α., Koch K.E., Nicolaus H.J., 1970. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Σπερχείας, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Καλλέργης Γ.Α., Koch K.E., Nicolaus H.J., 1970. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Καρπενήσιον, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Καπνιάς Δ., 2000. Η κοιλάδα του Σπερχείου στο χωροχρόνο. Σελ. 160, Πάτρα.
- Καραγεωργίου Μ.Μ., 2005. Διαχρονική εκτίμηση των μεταβολών της ακτογραμμής του δέλτα του ποταμού Καλαμά. Πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, σελ. 69, Αθήνα.
- Καραπάνος Σ.Η., 2009. Υδρογεωλογικές-Υδροχημικές παράμετροι της αποξηραμένης λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδακτορική διατριβή,

- Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Εργ. Υδρογεωλογίας, σελ. 300, Πάτρα.
- Καρύμπαλης Ε., 2004. Σημειώσεις Παράκτιας Γεωμορφολογίας, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.
- Κατσάνος Α., 1970. Συμπεριφορά των πυρκαγιών τω δασών. Αυτοτελής έκδοση του Υπουργείου Γεωργίας-Γενική Δ/νση Δασών, Υπηρεσία δασικών εφαρμογών, σελ.131, Αθήνα.
- Κατσέλης Σ., 2008. Ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Βολιναίου ποταμού. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, σελ. 141, Αθήνα.
- Κατσικάτσος Γ., 1992. Γεωλογία της Ελλάδας, Αθήνα, σελ. 451.
- Κατσίκης Α., 2004. Δια-θεματική Γεωγραφία. Εκδόσεις Τυπωθητω, Αθήνα.
- Κοντάρη Α., 2009. Εκτίμηση της επικινδυνότητας από τη δημιουργία μετακινήσεων βαρύτητας σε πυρόπληκτες περιοχές της Πελοποννήσου. Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 125, Αθήνα.
- Κουίμτζη Θ., Φυτιάνου Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., 1998. Χημεία Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Θεσσαλονίκη.
- Κούκης Γ., 1980. Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο και η σημασία τους στην οδοποιία. Δελτίο ΚΕΔΕ, τ. 8, σελ. 106-149.
- Κούκης Γ., Ρόζος Δ., 1982. Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. Ορυκτός Πλούτος, τ. 16, σελ. 53-68.
- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., 2007. Γεωλογία τεχνικών έργων, σελ. 109-328, Πάτρα.
- Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., 2003. Υδρολογική μελέτη λεκάνης Σπερχειού, Υδρολογική-Υδραυλική Μελέτη για την Αντιπλημμυρική Προστασία της Νέας Διπλής Σιδηροδρομικής Γραμμής κατά τη Διέλευση της από την Περιοχή του Ποταμού Σπερχειού, Αθήνα.
- Λάγιος Ε., Δελημπασής Ν., Δρακόπουλος Ι., Κουσκούνα Β., 1987. Βαρυτομετρικές και σεισμολογικές μελέτες της ευρύτερης περιοχής του ρήγματος Αταλάντης. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., Τομ. XIX, σελ. 285-308, Αθήνα.
- Λέκκας Ε., 1996. Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές. Εκδόσεις Access Pre-Press, σελ 278., Αθήνα.
- Λυριντζής Γ., Μπαλούτσος Γ., Γκάγκαρη Π., Ξανθόπουλος Γ., 1998. Δασικές πυκαγιές στον Ελληνικό χώρο: Η επόμενη ημέρα. Επίκεντρα, έκδοση με τίτλο: Ελληνικά δάση, Μύθοι και πραγματικότητα, προτάσεις για το παρόν και το μέλλον. Κέντρο Πολιτικής Έρευνας και Επιμόρφωσης, σελ. 84-94, Αθήνα.
- Μαζιώτης Ν.Α., 1998. Επιπτώσεις από τον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα της ευρύτερης περιοχής του Σπερχειού ποταμού στο υδροτοπικό οικοσύστημα των εκβολών. Διπλωματική εργασία στις επιπτώσεις στο περιβάλλον. ΕΜΠ-Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, σελ. 146.
- Μαμάσης Ν., 2006. Κατακρημνίσματα και χωρική μεταβλητότητά τους. Μαθήματα Προχωρημένης Υδρολογίας, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μανδηλαράς Δ., 2005. Περιβαλλοντική - υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύκου. Διδακτορική διατριβή που εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.
- Μαργωμένου-Λεωνιδοπούλου Γ., 2001. Θερμές πηγές στην κλασσική Ελλάδα. Χημικά Χρονικά, Τεύχος 4-Απρίλιος, σελ. 110-113.

- Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι. Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β., 1957. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Ανάβρα-Ευξεινούπολις (Ανάβρα), (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι. Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β., 1957. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Δομοκός, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι. Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β., 1963. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Στυλίσ, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι. Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β., 1962. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Λεοντάριον (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι. Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β. (Βόρειο τμήμα), και Παπασταματίου Ι., Τάταρης Α., Βετούλης Δ., Μπορνόβας Ι., Κατσικάτσος Γ., Μαραγκουδάκης Ν., Λαλεχός Ν. (Νότιο τμήμα), 1967. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Λαμία, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος Π., Αλεξιάδου Μ., Περγλέρος Β., Βαλαδάκη Α., Πλέσσας Σ., Παναγόπουλος Α., Ζαμπετάκης Δ., 1997. Μια επισκόπηση των δυνατοτήτων των υδροφοριών της Κεντρικής Ελλάδας. Στήριξη των πληροφοριών με GIS. Πρακτικά 4^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, με έμφαση στα θέματα ποιότητας και μόλυνσης-ρύπανσης του υπόγειου και επιφανειακού νερού, σελ. 228-242, Θεσσαλονίκη.
- Μαριολάκος Η., 1976. Σκέψεις και απόψεις επί ορισμένων προβλημάτων της Γεωλογίας και Τεκτονικής της Πελοποννήσου. *Ann.Geol.Pays Hellen.*, 27, 215-313.
- Μαριολάκος Η., Μπαντέκας Ι., 2002. Παλαιογεωγραφική Εξέλιξη της Νήσου Εύβοιας στο "Εύβοια και Σκύρος. Ιστορική Περιήγηση", σ. 16-20, εκδ. Κίνητρο Ε. Καλέμη.
- Μαριολάκος Η., Μπαντέκας Ι., Μαρκατσέλης Ε., Παπαγεωργίου Μ. Μπουκουβάλας Α., Σταυρόπουλος Γ., 2008. Εθνικό θεματικό δίκτυο περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, Γεωπεριβαλλοντικά-Γεωμυθολογικά μονοπάτια. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου Πανελληνίας Ένωσης Εκπαιδευτικών για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση (ΠΕΕΚΠΕ), σελ. 14, Ναύπλιο.
- Μαρουκιάν Χ., 1987. Φυσικογεωγραφικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχειού. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Φυσικής Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 159, Αθήνα.
- Μαρουκιάν Χ., Παυλόπουλος Κ., 1995. Γεωλογία, υδρογεωλογία και γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ποτάμιου Οικοσυστήματος Σπερχειού, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαρουκιάν Χ., Παυλόπουλος Κ., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Ζαμάνη Α., 2001. Οι επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στις χαμηλές παράκτιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας κατά τον επόμενο αιώνα. Γεωγραφίες, Νο 1, 2001, σελ. 73-82.
- Μητσόπουλος Κ., 1895. Ο Μέγας Σεισμός της Λοκρίδος εν Απριλίω 1894. Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα, σελ. 40.
- Μιγκίρος Γ., 1991. Στρωματογραφία- Εφαρμοσμένη Γεωλογία (Περί Υποελαγονικής ζώνης, Συστήματα λεκανών Κεντρικής Ελλάδας), Αθήνα, σελ. 114.
- Μιγκίρος Γ., 1996. Βασικές αρχές και έννοιες στη Γεωλογία. Βιβλίο, έκδοση ACCESS Pre-Press, σελ. 160.
- Μιγκίρος Γ., Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι, Γατσής Ι, Ψωμιάδης Ε., 2003. Τηλεπισκόπηση- Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 231, Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ., Σταμάτης Γ., Αντωνίου Βαρ., Καραντούνιας Γ., Ρίτσος Α., Αντωνίου Βασ., Μιγκίρου Χ., Ψωμιάδης Ε., Ελευθεριάδης Ι., Μπούτλας Ι., 2008. Καταγραφή- Αξιολόγηση προτάσεων υδραυλικών έργων περιοχής Κάτω Ολύμπου-Όσσας-

- Μαυροβουνίου. Μελέτη που εκπονήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Ορυκτολογίας & Γεωλογίας για την Ε.Υ.Δ.Ε.Π. Θεσσαλίας, σελ. 275, Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ., Σταμάτης Γ., Εμμανουήλ Ν., Ψωμιάδης Ε., Αντωνίου Βαρ., Καραντούνιας Γ., Ρίτσος Α., Ελευθεριάδης Ι., Μιγκίρου Χ., 2009. Μελέτη εντοπισμού και αξιολόγησης πηγών και εστιών ρύπανσης του Πηνειού και Επιχειρησιακό σχέδιο διαμόρφωσης συστήματος παρακολούθησης, ελέγχων των εκροών στον Πηνειό και τους παραποτάμους του και αποδέκτες (παράκτιες ζώνες και λίμνες) και λήψης μέτρων. Μελέτη που εκπονήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Ορυκτολογίας & Γεωλογίας για την Ε.Υ.Δ.Ε.Π. Θεσσαλίας, σελ. 511, Αθήνα.
- Μιγκίρος Γ., Ψωμιάδης Ε., 2009. Μελέτη ορθολογικής διαχείρισης νερού για ανάγκες άρδευσης. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα.
- Μισθός Μ.Α., 2006. Ανάλυση μορφομετρικών παραμέτρων υδρολογικής λεκάνης με χρήση GIS. Πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, σελ. 150, Αθήνα.
- Μοιραλιώτης Π., 2000. Μελέτη ιζημάτων λεκάνης Σπερχειού (ανατολικό τμήμα). Πτυχιακή μελέτη που εκπονήθηκε στο εργαστ. Γεωργικής Χημείας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Μουντράκης Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Press, Θεσσαλονίκη.
- Μπέλλος Χ. Δ., 2004. Συγκέντρωση θεραπευτικών στοιχείων – βαρέων μετάλλων και ραδιοκαϊσίου στο νερό-ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής, σελ. 187, Θεσσαλονίκη.
- Μπλιώνας Μ., 2008. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο. Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 97, Πάτρα.
- Ντάφης Σ., Παπαστεργιάδου Ε., Γεωργίου Κ., Μπαμπαλώνας Δ., Γεωργιάδης Θ., Παπαγεωργίου Μ., Λαζαρίδου Θ., Τσιαούση Β.), 1997. Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Το έργο οικοτόπων στην Ελλάδα: Δίκτυο φύση 2000. Γενική Δ/ση XI ΕΕ, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), σελ. 250-258.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας (ΟΑΣΠ), 2004. Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας, Αθήνα.
- Παγώνας Μ., 2009. Γεωλογία και διαχείριση των σύγχρονων αποθέσεων και των υδατικών πόρων στους χειμάρρους της ΒΔ/κης Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Παγώνης Κ., 1998. Συμβολή στην μελέτη των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, σελ. 271, Αθήνα.
- Παναγόπουλος Χ., 1998. Ασθένειες καρποφόρων δέντρων και αμπέλου, Εκδόσεις Σταμούλη, σελ.445, Αθήνα.
- Πανταζής Π., 2005. Η μάχη του Σπερχειού μεταξύ Βυζαντινών και Βουλγαρικών στρατευμάτων (997 μ.Χ.). Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου Φθιωτικής Ιστορίας (Ιστορία-Αρχαιολογία-Λαογραφία), σελ. 65-92, Λαμία.
- Παπαδέας Δ.Γ., 1996. Γεωλογική και Γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη Σπερχειού Φθιώτιδας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αρ. 3, σελ 80 και Παραρτήματα I & II, Αθήνα.
- Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., 1989. Οι σεισμοί της Ελλάδος, Θεσσαλονίκη.
- Παπανικολάου Δ., 1984. Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις Επτάλοφος Α.Β.Ε.Ε., Αθήνα.
- Παπανικολάου Δ., Σίδερης Χ., 2005. Γεωλογία. Η επιστήμη της Γης, Εκδόσεις Πατάκη, σελ. 291, Αθήνα.

- Παπασταματάκη Α., Λεωνής Κ., 1982. Γεωχημική έρευνα για τη γεωθερμία, περιοχή Πλατυστόμου. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, σελ. 16 και παράρτημα δειγματοληψίας.
- Παπασταματίου Ι., Τάταρης Α., Βετούλης Δ., Κατσικάτσος Γ., Λαλεχός Ν., Ελευθερίου Α., 1962. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Αμφίκλεια, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Παπασταματίου Ι., Τάταρης Α., Βετούλης Δ., Μπορνόβας Ι., Χριστοδούλου Γ., Κατσικάτσος Γ., 1960. Γεωλογική χαρτογράφηση του φύλλου Άμφισσα, (κλίμακα 1:50.000), ΙΓΜΕ.
- Παππά Γ., 2001. Υγειονομική Σημασία των Χημικών Παραμέτρων στο Πόσιμο Νερό, ΥΠ. ΥΓΕΙΑΣ ΠΡΟΝΟΙΑΣ, (www.waterinfo.gr/eedyg/Paros_papers/pappa_g.pdf).
- Παράσχου Θ., Βουβαλίδης Κ., 2006. Ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραποτάμου του Σπερχείου ποταμού. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πρακτικά 10^{ου} Συνεδρίου, Τομ. XXXIX, σελ.49-60.
- Παρχαρίδης Ι., Ψωμιάδης Ε., 2002. Συγχώνευση οπτικών δεδομένων και radar και χρήση χωρικών φίλτρων για την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Τόμ. II, σελ. 216-223, Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης Θ., Μαρίνος Δ., Μάρης Φ., 2004. Μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά των χειμάρρων της βόρειας Πιερίας. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Μυτιλήνη.
- Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι., Σταμάτης Γ., 1994: Η πιθανή εσωτερική δομή της περιοχής Ισπαιάς (Β. Εύβοια) όπως αυτή συνάγεται από ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της. -Πρακτικά 6ου Διεθνούς Συνεδρίου της ΕΓΕ, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXX/2, σελ. 355-362, Θεσσαλονίκη.
- Παυλόπουλος Α., 2003. Στοιχεία Γεωμορφολογίας. Σημειώσεις του μαθήματος της Γεωμορφολογίας, Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 79.
- Παυλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε., 2003. Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων Γεωμορφολογίας. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκόπειο Πανεπιστημίου.
- Παυσανίου, 1981. Ελλάδος περιήγησις. Βιβλ. 9,10, Βοιωτικά-Φωκικά, Εκδοτ. Αθηνών.
- Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, 1995. Ημερίδα με θέμα: Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον & Ανάπτυξη. Σε συνεργασία με την Νομαρχία και τον Δήμο Λαμίας και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τόμος I & II, Λαμία.
- Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας-Δ/νση Περιβάλλοντος-Χωροταξίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, 1992α. (Ομάδα εργασίας: Καλοφωτιάς Α., Παπαδοπούλου Κλ.). Υγροβιότοποι της περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας (συγκέντρωση και αξιολόγηση στοιχείων), Λαμία.
- Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, Δ/νση Περιβάλλοντος-Χωροταξίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, 1992β. (Ομάδα εργασίας: Καλοφωτιάς Α., Παπαδοπούλου Κλ.). Υγροβιότοπος: Δέλτα Σπερχείου (συγκέντρωση και αξιολόγηση στοιχείων), Λαμία.
- Πλατής Γ., 1973. Λαμία-Ιστορική και κοινωνική έρευνα. Εκδόσεις Δήμου Λαμιέων, Λαμία.
- Πολύζου Ο., Κουμαντάκης Ι., Σταματάκη Σ., 2002. Εφαρμογή των G.I.S. στην ταξινόμηση και αξιολόγηση των θερμομεταλλικών πηγών της Ελλάδας. Πρακτικά 6ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 325-336, Ξάνθη.
- Πούλος Σ.Ε., 1998. Παράκτια ζώνη: φυσικό περιβάλλον, κοινωνικό-οικονομική διάσταση και ανθρώπινη παρέμβαση. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 9, Τεύχος 3, σελ. 104-109.

- Πούλος Σ.Ε., 1999. Η παράκτια ζώνη ως υποσύνολο ενός ευρύτερου γεωγραφικού χώρου: του παράκτιου συστήματος. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, σελ. 549-555, Αθήνα.
- Πούλος Σ.Ε., Ψωμιάδης Ε., Παρχαρίδης Ι., 2004. Το γεωπεριβάλλον του Σπερχειού ποταμού. Πρακτικά διημερίδας «Natura Σπερχειού-Μαλιακού», σελ. 121-127.
- Προκοπίου, 1996. Υπέρ των πολέμων, τ.2.4, 594-597, εκδ. «Νέα Σύνορα».
- Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε., 2004. Κατολισθητικά φαινόμενα στον οικισμό Καναλιών Νομού Φθιώτιδος και αντιμετώπιση της ανασχετικής δράσης τους στην οικιστική ανάπτυξη της περιοχής. Πρακτικά 10^{ου} διεθνούς συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXVI, σελ. 1816-1825.
- Ρόκος Δ., Καραθανάση Β., Ανδρώνης Β., Κολοκούσης Π., 2002. Συγκρότηση ολοκληρωμένου συστήματος πληροφοριών ανάπτυξης και περιβάλλοντος για την Επαρχία Μετσόβου. Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης Ε.Μ.Π., σελ. 57, από: http://D:\temp_d\Internet\Relevant Papers.html.
- Σάλτα Φ., 2002. Θρεπτικά συστατικά και βαρέα μέταλλα στην περιοχή του Μαλιακού κόλπου, Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης, Ε.Κ.Π.Α.
- Σαμψών Α., 1997. Περιηγητές και γεωγράφοι στις βόρειες Σποράδες. Εκδόσεις λαογραφικού μουσείου Σκοπέλου, σελ. 202, Θεσσαλονίκη.
- Σίγαλος Γ., Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., 2006α. Διερεύνηση της διαχρονικής εξέλιξης μιας ακτογραμμής-προβλέψεις μελλοντικών εφαρμογών. Εφαρμογή στην περιοχή του Μαλιακού κόλπου. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXIX/III, σελ.162-173.
- Σίγαλος Γ., Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., 2006β. Ανάλυση της μεταβολής μιας ακτογραμμής συναρτήσει της αλλαγής της μέσης στάθμης της θάλασσας και εκτίμηση των επιπτώσεων στην περιοχή του Μαλιακού κόλπου. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXIX/III, σελ.174-182.
- Σιμώνης Α., 1998. Έδαφος και ανθρώπινη υγεία: Γενική θεώρηση. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Ελληνική Εδαφολογική Εταιρεία, σελ. 13-47, Αγρίνιο.
- Σούλιος Γ., Δημόπουλος Γ., Μουντράκης Δ., Ψιλοβίκος Α., Πέννας Π., Χατζηδημητριάδη Ε., Βαφειάδης Π., 1989. Έρευνα πάνω στο υδρολογικό ισοζύγιο λεκανών απορροής του ελληνικού χώρου :(παράδειγμα από τη λεκάνη Σκλήθρου Φλώρινας). Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας; Τόμ. 26, σελ. 129-153.
- Σούλιος Γ., 1996. Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Πρώτος (Α. Επιφανειακή υδρολογία, Β. Αποθήκευση και κατανομή του υπόγειου νερού, Γ. Οι ροές του υπόγειου νερού), University Studio Press, σελ. 296, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος Γ., 2006. Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Τέταρτος (Ζ. Ποιότητα υπόγειου νερού, Η. Ρύπανση-Μόλυνση υπόγειου νερού), σελ. 233, Θεσσαλονίκη.
- Σταμάτης Γ., Λαμπράκης Ν., Ψωμιάδης Ε., Γατσής Ι., 2002. Χωροχρονική μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης του φρεάτιου υδροφορέα από ανθρωπογενείς επιδράσεις στην περιοχή Εξαμίλια Κορινθίας. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου (με έμφαση στην υφαλμύριση των υπόγειων νερών), Τόμος Ι, σελ. 259-268, Ξάνθη.
- Στουρνάρας Γ., 2007α. Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Στουρνάρας Γ., 2007β. Νερό-Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, σελ 664, Αθήνα.
- Στράβωνας-Γεωγραφικά, 1994. Βιβλίο 9^ο - Ανατολική Ελλάδα, εκδόσεις ΚΑΚΤΟΣ, σελ. 235, Αθήνα.
- Συλλαιός Ν., 1990. Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, Σελ. 217.

- Σφέτσος Κ., 1988. Απογραφή θερμομεταλλικών πηγών Ελλάδας, Τόμος III, Ηπειρωτική Ελλάς, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 1995. Υδατικοί πόροι: I. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσολακίδης Κ., 1992. Μετεωρολογικοί σταθμοί και δεδομένα. Ερευνητικό Έργο: Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Επιστημονικός Υπεύθυνος: Ξανθόπουλος Θ. Φάση 1, Τεύχος 3, σελ. 212, Αθήνα.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού (ΥΥΠΝ), (Μαθθαίοπουλος Μ., Χαριτόπουλος Γ.), 1954. Φύλλο ΕΛΛΑΣ-ΑΝΑΤΟΛΙΚΑΙ ΑΚΤΑΙ ΕΥΒΟΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣΔΙΑΥΛΟΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ-ΩΡΕΩΝ & ΜΑΛΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ (3131) - Χάρτης πλεύσης, Αθήνα.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού (ΥΥΠΝ), 1991α. Ναυτιλιακές Οδηγίες των Ελληνικών Ακτών-«ΠΛΟΗΓΟΣ». Γ' Τόμος, Βορειοδυτικές Ακτές Αιγαίου Πελάγους, σελ.415, Αθήνα.
- Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού (ΥΥΠΝ), 1991β. Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων. Δ' Έκδοση, σελ.73, Αθήνα.
- Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ)-Δ/νση Υδατικού Δυναμικού, 2006. Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων, Υδατικό διαμέρισμα Στερεάς Ελλάδας (07), σελ. 132, Αθήνα.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)-Δ/νση Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, 1992. (Ομάδα εργασίας: Ακριώτης Τ., Βογιατζής Μ., Γιαννάκου Ο., Γύτας Ξ., Καμαριανός Α., Καραμανλής Ξ., Καρτέρης Μ., Κιλικίδης Σ., Κυρίνης Χ., Κουσουρής Θ., Μπάτζιος Χ., Μπρόζος Χ., Τσάρας Λ., Φώτης Γ.). Υγροβιότοπος Δέλτα Σπερχειού (Νομού Φθιώτιδας). Αξιολόγηση και διερεύνηση της δυνατότητας ένταξής του στο κοινοτικό δίκτυο των ιδιαίτερα προστατευμένων περιοχών σε εφαρμογή του άρθρου 4 της οδηγίας 79/409/ΕΟΚ για τη διατήρηση της άγριας ορνιθοπανίδας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Κτηνιατρικής, Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
- Φουμέλης Μ., Λέκκας Ε., Παρχαρίδης Ι., 2004. Landslide susceptibility mapping by GIS-based qualitative weighting procedure in Corinth area. Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 10th International Congress, Vol. XXXVI, pp. 904-912.
- Χαμπίδη Π., 2005. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών στη λεκάνη Μεσογείων Αττικής. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπ. Αθηνών, σελ. 133.
- Χάρτα του Ρήγα Βελεστινλή Θετταλού, 1797. Έκδοση εφημερίδας ΤΑ ΝΕΑ (2002), φύλλα Νο2 και Νο3.
- Χρονοπούλου Γ., 2007. Διαχείριση των δασικών πυρκαγιών με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών: Η περίπτωση της πυρκαγιάς της 28^{ης} Ιουνίου 2007 στο όρος Πάρνηθα. Μεταπτυχιακής διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, σελ. 152, Αθήνα.
- Χριστόπουλος Α., 2004. Ορνιθοπανίδα. Πρακτικά διημερίδας «Natura Σπερχειού-Μαλιακού», σελ. 109-120.
- Χριστοφίδης Α., Κοζάνης Σ., 2004. Υδρογνώμονας (έκδοση 1.0) - Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 22, σελ. 90, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Χρυσοβέργη-Μπακογιάννη Φ., Παναγιωτίδη Π., 1993. Μελέτη των θαλάσσιων φυτοκοινωνιών του Μαλιακού κόλπου. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Ρόδος 26-29 Απριλίου, σελ. 234-237.

- Ψιλοβίκος Α., Χαχαμίδου Ε., 1987. Συμβολή στη μελέτη των ελληνικών Ολοκαινικών δέλτα. Δεύτερο Πανελλ. Συμπ. Ωκεανογρ. Ιχθυολ., σελ. 456-463, Αθήνα.
- Ψωμιάδης Ε., 2000. Διερεύνηση και καταγραφή των αλλαγών κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή της Λαμίας με επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat. Μεταπτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και το Εργαστήριο Ορυκτολογίας & Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 168, Αθήνα.