

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ  
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ  
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ»

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Σ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ

-ΑΘΗΝΑ 2010-

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ  
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ  
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ»

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Σ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ

-ΑΘΗΝΑ 2010-

**Διδακτορική διατριβή με τίτλο:** Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής του Βασιλείου Σ. Αντωνίου

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Μιγκίρος, Καθηγητής

### **Τριμελής Επιτροπή Παρακολούθησης:**

Γεώργιος Μιγκίρος	Καθηγητής Γενικού Τμήματος Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
Γεώργιος Σταμάτης	Αναπληρωτής Καθηγητής Γενικού Τμήματος Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
Σπυρίδων Λέκκας	Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος ΕΚΠΑ

### **Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

Γεώργιος Μιγκίρος	Καθηγητής Γενικού Τμήματος Γ. Π. Α.
Γεώργιος Σταμάτης	Αναπληρωτής Καθηγητής Γενικού Τμήματος Γ. Π. Α.
Ευθύμιος Λέκκας	Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α.
Αδαμάντιος Κίλιας	Καθηγητής Γεωλογικού τμήματος Α. Π. Θ.
Κοσμάς Παυλόπουλος	Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας Χαροκόπειου Πανεπιστημίου
Στυλιανός Λόζιος	Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α.
Ισαάκ Παρχαρίδης	Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας 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)

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν ο προσδιορισμός της γεωτεκτονικής δομής της Ανατολικής Αττικής από στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση του ανάγλυφου με χρήση μορφοτεκτονικών δεικτών, δεδομένων τηλεπισκόπησης αλλά και με κλασικές μεθόδους χαρτογράφησης. Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μορφολογικές κλίσεις του εδάφους, ο προσανατολισμός τους, ο δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος των υδρολογικών λεκανών, ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης, τα επιμήκη προφίλ κοιλάδων και ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους. Για την πληρέστερη μορφολογική εικόνα της περιοχής, έγινε ανάλυση των ρεμάτων, με τάξη κατά Strahler, μεγαλύτερης της 4<sup>ης</sup>. Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων έδειξαν ότι η περιοχή μελέτης χωρίζεται μορφοτεκτονικά σε τρεις περιοχές: (α) Η λεκάνη των Σπάτων όπου επικρατούν κυρίως εφελκυστικές τάσεις οι οποίες εκδηλώνονται με κανονικά ρήγματα και ρήγματα ολίσθησης μικρής γωνίας. Το τμήμα αυτό παρουσιάζει σχετική καταβύθιση. Η κύρια τεκτονική δομή που επικρατεί είναι το ρήγμα αποκόλλησης του Υμηττού, όπου βυθίζει την περιοχή ανατολικά του με διεύθυνση Α-Δ. (β) Η περιοχή νότια της λεκάνης των Σπάτων και μέχρι τα όρια της Λαυρεωτικής, ανατολικά του Πάνειου και Ολύμπου όπου επικρατούν επίσης εφελκυστικές τάσεις αλλά οι γωνίες των ρηγμάτων είναι μεγαλύτερες και επικρατεί ελαφρώς διαφοροποιημένη διεύθυνση των κύριων δομών. Οι λεκάνες τους τμήματος αυτού παρουσιάζουν επίσης σχετική υποβύθιση. Οι ορεινοί όγκοι που συναντάμε στην περιοχή (Όλυμπος, Πάνειο, Μερέντα), είναι πιθανόν να αποτελούν ένα αντίκλινο με φορά βύθισης προς Βορά. Στην περιοχή αναπτύσσονται μικρές λεκάνες, με ενεργά περιθώρια. (γ) Το τμήμα της Λαυρεωτικής, που διαφοροποιείται σε σχέση με της προηγούμενες, τόσο μορφοτεκτονικά, όσο και λιθολογικά. Επικρατεί σχετική ανύψωση των τμημάτων που την δομούν και αποτελεί προϊόν της εφελκυστικής κίνησης.

Επιστημονική περιοχή: Τεκτονική γεωλογία - μορφοτεκτονική

Λέξεις κλειδιά: Ανατολική Αττική, μορφοτεκτονική, γεωτεκτονική εξέλιξη, τεκτονική

## **Abstract**

The purpose of this thesis was the determination of the geotectonic structure of Eastern Attica, from data of surface analysis with geomorphic indices, remote sensing and classic mapping techniques. The geomorphic indices of active tectonics used, were slope and aspect of terrain, hypsometric curve and hypsometric integral, drainage basin asymmetry, mountain – front sinuosity and longitudinal river profiles. We also conducted a drainage basin analysis in major rivers of the studied area. The results of the above analysis showed that the area can be divided in three major subareas: (a) the basin of Spata, with an extension regime. The basins show a relative subduction of the area with a detachment fault located in the eastern Ymittos Mt. The general movement of the areas has a direction from west to east. (b) The area south of Spata basin up to Lavrion zone, which shows an extension regime too but with higher angle faults and different direction pattern. The basins of these area show a relative subduction. The three mountainous areas, Olympos, Paneion and Merenta probably represent a anticline with north dipping. The margins of the small basins in the area are active. (c) The area of Lavrion which differentiates in comparison with the previous areas, in a sense of morphotectonic behavior and lithology. In this part the indices showed an uplift of the total area.

Field area: structural geology - morphotectonics

Keywords: Eastern Attica, morphotectonics, geotectonic evolution, tectonics

στη Βασιλική μου

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ .....	18
2.1	Ιστορικό .....	20
2.2	Παρουσίαση - απεικόνιση δεδομένων - Τύποι .....	23
2.2.1	Δεδομένα raster (εικονοστοιχεία).....	23
2.2.2	Δεδομένα vector (διανυσματικά) .....	23
2.2.3	Σημεία (points) .....	23
2.2.4	Γραμμές (lines ή polylines).....	23
2.2.5	Πολύγωνα (polygons).....	24
2.2.6	Voxels.....	25
2.2.7	Μη χωρικά δεδομένα.....	25
2.3	Θεματικά επίπεδα – Δομή βάσης δεδομένων .....	26
2.4	Αρχές σχεδίασης βάσης δεδομένων .....	28
2.4.1	Θεματικά επίπεδα χαρτών.....	29
2.5	Εργασία υπαίθρου - συλλογή και καταχώρηση στοιχείων.....	49
2.6	Χαρτογραφικά δεδομένα – Ψηφιοποίηση.....	51
2.6.1	Τοπογραφικό υπόβαθρο .....	51
2.6.2	Γεωλογικό υπόβαθρο.....	52
2.6.3	Ιστορικοί χάρτες και προβλήματα .....	54



2.6.4	Τηλεσκοπικά δεδομένα.....	57
3	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ (ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ – ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ).....	65
3.1	Χάρτης μορφολογικής κλίσης – προσανατολισμού πρανών.....	69
3.1.1	Χάρτης μορφολογικών ασυνεχειών .....	72
3.1.2	Χάρτης προσανατολισμού πρανών .....	73
3.2	Δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης .....	75
3.2.1	Γενικά.....	75
3.2.2	Αποτελέσματα.....	77
3.3	Δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος.....	80
3.4	Δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους.....	92
3.5	Επιμήκη Προφίλ Κοιλιάδων .....	102
4	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ (ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ).....	112
4.1	Λογισμικό ανάλυσης.....	114
4.1.1	Προεπεξεργασία ΨΜΑ.....	115
4.1.2	Επιλογή ΨΜΑ .....	117
4.1.3	Επεξεργασία υδρογραφικού δικτύου δενδριτικής μορφής.....	118
4.1.4	Επεξεργασία υδρογραφικού δικτύου μη δενδριτικής μορφής.....	130
4.1.5	Επεξεργασία υδρογραφικών δικτύων με πολλαπλό χαρακτήρα.....	132
4.1.6	Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.....	134
4.2	Αποτελέσματα ανάλυσης υδρογραφικού δικτύου .....	140
4.2.1	Υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος .....	143

4.2.2	Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Λούτσας .....	146
4.2.3	Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Κοπρισιά Τζωτή .....	150
4.2.4	Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Χαλιδού .....	154
4.2.5	Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Ντούκα .....	158
4.2.6	Υδρολογική λεκάνη Ερασίνου Ποταμού .....	162
4.2.7	Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Λυκόρρεμα .....	166
4.2.8	Υδρολογική λεκάνη Αγίας Μαρίνας .....	169
4.2.9	Υδρολογική λεκάνη Αγίου Δημητρίου .....	173
4.2.10	Υδρολογική λεκάνη Παραλίας Καλυβίων .....	176
4.2.11	Υδρολογική λεκάνη Βίγλισμα .....	179
4.2.12	Υδρολογική λεκάνη Αναβύσσου .....	183
4.2.13	Υδρολογική λεκάνη Λιβαδώνα .....	186
4.2.14	Υδρολογική λεκάνη Λεγρενών .....	189
4.2.15	Υδρολογική λεκάνη Σουνίου .....	192
4.2.16	Υδρολογική λεκάνη Λαυρίου .....	195
4.2.17	Υδρολογική λεκάνη Ποταμού .....	198
4.2.18	Υδρολογική λεκάνη Κακιά Θάλασσα .....	202
4.2.19	Υδρολογική λεκάνη Βρύση .....	205
4.3	Χάρτες μορφολογικών κλίσεων – προσανατολισμού πρανών .....	209
4.3.1	Υδρολογική λεκάνη Β01 .....	209
4.3.2	Υδρολογική λεκάνη Β02 .....	211

4.3.3	Υδρολογική λεκάνη B03 .....	214
4.3.4	Υδρολογική λεκάνη B04 .....	216
4.3.5	Υδρολογική λεκάνη B05 .....	219
4.3.6	Υδρολογική λεκάνη B06 .....	221
4.3.7	Υδρολογική λεκάνη B07 .....	223
4.3.8	Υδρολογική λεκάνη B08 .....	225
4.3.9	Υδρολογική λεκάνη B09 .....	226
4.3.10	Υδρολογική λεκάνη B10.....	228
4.3.11	Υδρολογική λεκάνη B11.....	230
4.3.12	Υδρολογική λεκάνη B12.....	232
4.3.13	Υδρολογικές λεκάνες B13 – B19.....	235
5	ΕΙΔΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	241
5.1	Φωτογραμμώσεις.....	242
5.2	Χάρτης κεκλιμένων επιπεδώσεων .....	247
5.3	Καρστικές δομές.....	250
6	ΓΕΩΛΟΓΙΑ .....	254
6.1	Γενικά - Ιστορικό .....	255
6.1.1	Σύγχρονες απόψεις για την τεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων .....	255
6.1.2	Γεωτεκτονική ένταξη Αττικής .....	258
6.1.3	Λιθοστρωματογραφία.....	260
6.2	Τεκτονική – Στρωματογραφία .....	272

6.2.1	Μετρήσεις – παρατηρήσεις υπαίθρου.....	272
6.2.2	Κατασκευή γεωλογικού χάρτη.....	273
6.2.3	Γεωλογική δομή - Λιθοστρωματογραφία.....	273
6.3	Γεωτεκτονική εξέλιξη Ανατολικής Αττικής.....	277
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	283
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	288
9	ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ.....	303

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αττική, από γεωγραφική άποψη, αποτελεί μια χερσόνησο που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας, η οποία μαζί με ένα τμήμα του νομού Βοιωτίας παρουσιάζει ένα τριγωνικό σχεδόν σχήμα. Συνορεύει βόρεια με το νομό Βοιωτίας και δυτικά με το νομό Κορινθίας, ενώ βρέχεται βόρεια και ανατολικά από το Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο, νότια και δυτικά από το Σαρωνικό κόλπο και βορειοδυτικά από τον Κορινθιακό Κόλπο (κόλπος Αλκυονίδων)

Η μορφολογία της Αττικής είναι ιδιαίτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα της Στερεάς Ελλάδας, παρουσιάζοντας χαρακτηριστικά ορεινά τμήματα και δίαυλους. Το μορφολογικό ανάγλυφο, το οποίο σε ποσοστό 7,2% χαρακτηρίζεται ως ορεινό, 61,6% ημιορεινό και 31,2% πεδινό, παρουσιάζει σημαντικές υψομετρικές διαφορές με μεγαλύτερα υψόμετρα να εντοπίζονται στα βόρεια τμήματα της περιοχής που ελαττώνονται βαθμιαία προς νότο.

Το παραπάνω ανάγλυφο διαμορφώνεται από δύο κύριους ορογραφικούς άξονες:

- Το βόρειο, που είναι και ο πιο ορεινός, με τα Γεράνεια, τον Κιθαιρώνα, τον Πατέρα, το Πάστρα, το Αιγάλεω και την Πάρνηθα.
- Τον ανατολικό, με το Πεντελικό και τον Υμηττό. Ανατολικά και νότια εμφανίζονται τρεις μικροί ορεινοί όγκοι, η Μερέντα, το Πάνειο και ο Όλυμπος.

Η ακτογραμμή της χερσονήσου παρουσιάζεται κυματοειδής σχηματίζοντας φυσικούς κόλπους με σημαντικότερους αυτούς της Ελευσίνας και του Πειραιά.

Τα πεδινά τμήματα της Αττικής είναι:

(α) Το Λεκανοπέδιο της Αθήνας, το οποίο περιβάλλεται βορειοδυτικά και ανατολικά από τα όρη Αιγάλεω (453m), Πάρνηθα (1.413m), Πεντελικό (ή Πεντέλη, 1.107m) και Υμηττό (ή Εύζωνας, 1.026m), ενώ στα νότια βρέχεται από το Σαρωνικό κόλπο. Το μεγαλύτερο τμήμα του λεκανοπεδίου καταλαμβάνεται από τα πολεοδομικά συγκροτήματα της Περιφέρειας Πρωτεύουσας.

(β) Η πεδιάδα της Ελευσίνας (Θριάσιο Πεδίο), που εκτείνεται από τον Ασπρόπυργο και φθάνει ως τις υπώρειες της Πάρνηθας και του Αιγάλεω.

(γ) Η πεδιάδα των Μεγάρων, που αποτελεί συνέχεια προς τα δυτικά της πεδιάδας της Ελευσίνας και χωρίζεται από αυτήν με τα αντερείσματα του Πατέρα.

(δ) Η πεδιάδα των Μεσογείων μεταξύ των υψωμάτων της Λαυρεωτικής στα νοτιοανατολικά, του Υμηττού στα δυτικά και του Πεντελικού στα βόρεια. Αυτή χωρίζεται σε δύο τμήματα, που είναι η πεδιάδα Σπάτων - Κορωπίου - Μαρκόπουλου και το μικρότερο πεδινό της Κερατέας. Στην περιοχή νοτιότερα της λεκάνης των Σπάτων και μέχρι το Λαύριο, αναπτύσσονται μικρές πεδινές λεκάνες.

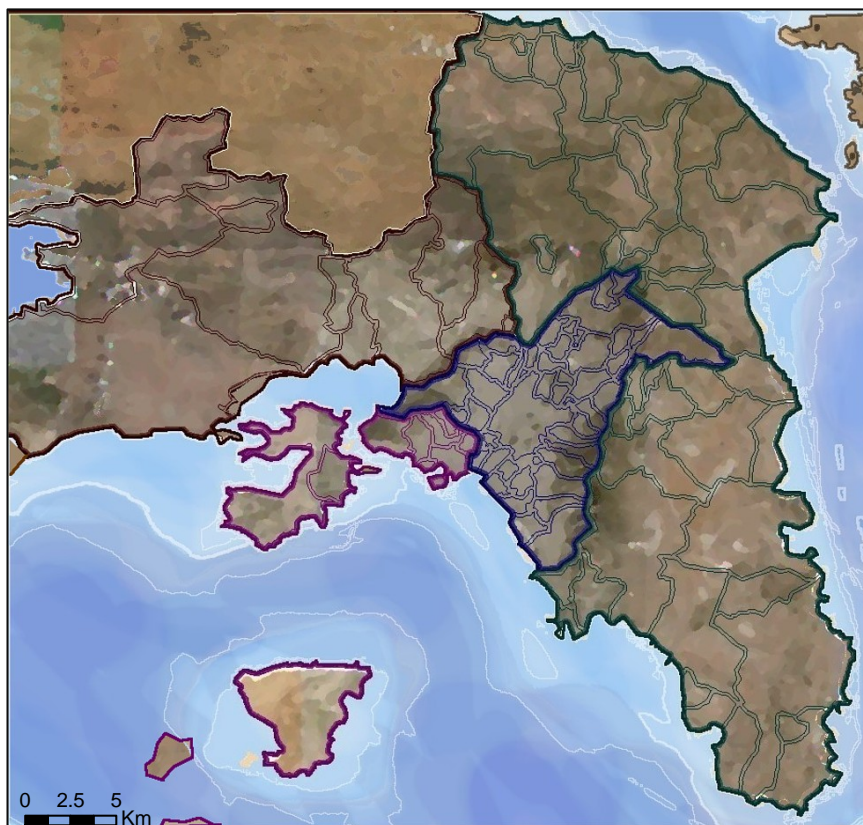
(ε) Η πεδιάδα του Μαραθώνα, που αποτελεί βορειοδυτική συνέχεια του Λεκανοπεδίου της Αθήνας. Περιλαμβάνεται μεταξύ των ανατολικών προεκτάσεων της Πάρνηθας και του Πεντελικού, ενώ ανατολικά ορίζεται από τον Ευβοϊκό κόλπο.

(στ) Η πεδιάδα του Ωρωπού, που εκτείνεται βόρεια της Πάρνηθας και καταλήγει στον Ευβοϊκό κόλπο, ένα τμήμα της οποίας εκτείνεται, δυτικά, στο Νομό Βοιωτίας.

Η Αττική, γενικά, δεν χαρακτηρίζεται από εκτεταμένα ποτάμια συστήματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μορφολογία και διάταξη των ορεινών όγκων, όπου δεν επιτρέπουν την σημαντική ανάπτυξη επιφανειακής ροής, όπως και η παρουσία καρστικών δομών, δημιουργώντας υπολειμματικά υδρογραφικά δίκτυα και υπόγεια ροή. Από τους πιο σημαντικούς ποταμούς και χείμαρρους, είναι:

- Ο Ιλισός, στα ανατολικά των Αθηνών που αρχίζει από τις ΒΔ πλαγιές του Υμηττού και διασχίζοντας το ανατολικό τμήμα των Αθηνών, εκβάλλει στο Φάληρο.
- Ο Αθηναϊκός Κηφισός, που ρέει προς τα ΒΔ των Αθηνών, πηγάζει από τις ΝΑ κλιθείς της Πάρνηθας και τις ΒΑ του Πεντελικού στον αυχένα Μπογιατίου και εκβάλλει στο Φάληρο, αφού κατά τη διαδρομή του δεχθεί τα νερά της Πάρνηθας, της Πεντέλης και του Αιγάλεω. Πιο αξιόλογοι παραπόταμοί του είναι ο Κοκκιναράς και ο Ποδονίφτης.
- Ο Θριάσιος Κηφισός ή Σαρανταπόταμος, που εκβάλλει πριν την Ελευσίνα.
- Ο Χάραδρος που εκβάλλει στην τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα.
- Ο Ερασίνοσ που διασχίζει περιφερειακά την λεκάνη των Σπάτων και εκβάλλει στη Βραυρώνα.
- Ο Μεγαρίτικος, που ρέει βόρεια των Μεγάρων και εκβάλλει στον ομώνυμο κόλπο.

Η μοναδική λίμνη στο λεκανοπέδιο των Αθηνών είναι αυτή του Μαραθώνα. Η λίμνη αυτή σχηματίστηκε με τεχνητό φράγμα και χρησιμοποιείται για την κάλυψη μέρους της ύδρευσης της Αθήνας. Στα βορειοανατολικά του κόλπου της Ελευσίνας υπάρχει η μικρή λιμνοθάλασσα Κουμουνδούρου, που τροφοδοτείται από τα νερά της Πάρνηθας, κυρίως μέσω καρστικών διαύλων.



**Εικόνα 1: Χάρτης του νομού Αττικής με την τελευταία νομαρχιακή και δημοτική διοικητική διαίρεση.**

Ένας άλλος λόγος που συχνά παραβλέπεται στον προσδιορισμό της φυσικής ροής των ποταμών αλλά και στην ύπαρξη λιμνών και τεναγών είναι τα εκτεταμένα εγχειοβελτιωτικά έργα που έχουν γίνει στην αρχαιότητα. Η Αττική στο σύνολο της, έχει κατοικηθεί τουλάχιστον από την Παλαιολιθική Εποχή (Ανδρέϊκος 1998) κάτι που έχει πιστοποιηθεί με επιγενή λιθοτεχνικά συστήματα. Σε αρκετές περιοχές των Μεσογείων και της Λαυρεωτικής, υπάρχει πλήθος υδραυλικών – εγχειοβελτιωτικών έργων, από μικρά φράγματα μέχρι αποστραγγιστικά έργα. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις η αρχική μορφολογία του εδάφους και ροή του νερού έχει αλλοιωθεί σημαντικά.

Πηγές νερού υπήρχαν αρκετές, ενώ οι περισσότερες από αυτές ήταν παράκτιες. Γνωστές πηγές ήταν αυτές της Ακρόπολης και αυτή στα ανατολικά του Θριάσιου πεδίου με το όνομα Ρειτοί (σημερινή λίμνη Κουμουνδούρου), η οποία θεωρείτο ότι έρεε υπόγεια από τον Ευρίπο. Άλλες πηγές ήταν στο Μαραθώνα η Μακαρία και κοντά στην κοίτη του Ιλισού η Εννεάκρουνος πηγή (πηγές Καλλιρρόης). Η άρδευση των καλλιεργειών στα Σπάτα και στην υπόλοιπη Ανατολική Αττική γινόταν μέσω πηγαδιών, όπου γινόταν εκμετάλλευση κυρίως του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα. Ακόμα και εδώ, οι αρχαίοι Έλληνες είχαν δημιουργήσει ένα εκτεταμένο υπόγειο υδραυλικό σύστημα ύδρευσης και άρδευσης για να εξυπηρετούν την πόλη των Αθηνών (αστικό τμήμα), τη λεκάνη των Σπάτων (αγροτικό τμήμα) και το Λαύριο (μεταλλευτικό τμήμα). Η ανάπτυξη του συστήματος αυτού αποκαλύπτεται συνέχεια από τις εργασίες που γίνονται για τη διάνοιξη του Μετρό στην Αθήνα και δείχνει την υψηλή τεχνολογία στην διανομή και εξοικονόμηση νερού που κατείχαν οι αρχαίοι Έλληνες.

Διοικητικά, η Ανατολική Αττική με βάση το νέο σχέδιο Καλλικράτη χωρίζεται στους παρακάτω δήμους:

- Λαυρεωτικής
- Κρωπίας
- Σαρωνικού
- Μαρκόπουλου Μεσογαίας
- Σπάτων – Αρτέμιδος
- Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης
- Παιανίας
- Παλλήνης
- Ραφήνας – Πικερμίου

Πληθυσμιακά η περιοχή της Ανατολικής Αττικής παρουσιάζει μία συνεχώς αυξανόμενη τάση. Με βάση την απογραφή του 2001 οι μόνιμοι κάτοικοι υπολογίστηκαν σε 221.239, αλλά ο πραγματικός αριθμός είναι σημαντικά μεγαλύτερος. Γενικά, την τελευταία δεκαετία υπάρχει μια αυξητική τάση στη μετακίνηση πληθυσμού στην Ανατολική Αττική, που οφείλεται εν μέρει στη



γεινίαση της με την κορεσμένη οικιστικά περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας και την βελτίωση των υποδομών στην περιοχή (Αττική Οδός, προαστιακός, μελλοντικά έργα ανάπτυξης).

## **2 ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

Με τον όρο Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (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 ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο όπου επιτρέπει στους χρήστες του να δημιουργούν ερωτήματα, να αναλύουν, καταχωρούν, και να διορθώνουν χωρικά δεδομένα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι πάντα η δημιουργία χαρτών, έντυπων ή ηλεκτρονικών, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω διαδικασιών.

Στις μέρες μας, η χρήση των ΓΣΠ βρίσκει εφαρμογή σε πλήθος επιστημών. Πεδία έρευνας όπου χρησιμοποιούνται κυρίως είναι:

- ανίχνευση και διαχείριση κοιτασμάτων
- διαχείριση φυσικών πόρων,
- μελέτη του περιβάλλοντος,
- αστικό - χωροταξικό σχεδιασμό,
- χαρτογραφία,
- γεωλογία – γεωμορφολογία,
- φυσικές καταστροφές,
- εγκληματολογία,
- επιδημιολογικές έρευνες,
- ιστορία – αρχαιολογία,
- πωλήσεις – μάρκετινγκ,
- μεταφορές

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα ΓΣΠ είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του κινδύνου από φυσικές καταστροφές σε μία περιοχή, όπως και ο υπολογισμός του κόστους των ζημιών αλλά και του χρόνου απόκρισης του κρατικού μηχανισμού. Άλλο παράδειγμα είναι ο καλύτερος σχεδιασμός σημείων πώλησης μιας επιχείρησης υπολογίζοντας τις αντικειμενικές αξίες αγοράς ή μίσθωσης ακινήτων, την ακτίνα

επιρροής των καταστημάτων, το κόστος και τη διαδρομή μεταφοράς των εμπορευμάτων αλλά και τη γεωγραφική κατανομή των εισοδημάτων των υποψήφιων πελατών.

Από τα παραπάνω παραδείγματα, γίνεται φανερό η σημασία και η εξάπλωση που έχουν αποκτήσει τα ΓΣΠ σήμερα για πλήθος επιστημών, κάνοντας τη μελέτη και εφαρμογή αυτών ξεχωριστή επιστήμη.



**Εικόνα 2:** Ο πρώτος χάρτης ΓΣΠ που δημιουργήθηκε από τον Snow το 1854. Οι μαύρες κουκκίδες απεικονίζουν τα κρούσματα χολέρας ενώ με X, τα σημεία λήψης νερού.

## 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Από τοιχογραφίες που βρέθηκαν σε σπήλαια της σημερινής Γαλλίας ηλικίας 30.000 - 35.000 ετών, κυνηγοί είχαν απεικονίσει τα θηράματα τους μαζί με γραμμές που δήλωναν τον πληθυσμό των θηραμάτων όπως και την πορεία που ακολουθούσαν. Από τα παραπάνω, καθόριζαν τη διεύθυνση προς την οποία θα μετανάστευαν, έτσι ώστε να είχαν περισσότερες ευκαιρίες για κυνήγι. Αν και η παραπάνω συσχέτιση με τα σημερινά ΓΣΠ είναι αρκετά απλοϊκή, η διαδικασία συσχέτισμού χωρικών δεδομένων με πίνακες είναι η ίδια.

Το 1854, ο John Snow συσχέτισε γεωγραφικά, την εμφάνιση κρουσμάτων χολέρας στο Λονδίνο, χρησιμοποιώντας ένα χάρτη της πόλης και παριστάνοντας τα κρούσματα με σημεία. Η μελέτη της κατανομής των σημείων τον οδήγησε στην καρδιά του προβλήματος: μία μολυσμένη αντλία νερού απ' όπου εξαπλωνόταν η επιδημία.

Ο χάρτης που κατασκεύασε ο Snow ήταν μοναδικός, όχι τόσο για τα στοιχεία που παρουσίαζε αλλά γιατί για πρώτη φορά χρησιμοποίησε κάποιος τα στοιχεία αυτά όχι μόνο ως παρουσίαση αλλά για να αναλύσει συσχετιζόμενα γεωγραφικά δεδομένα.

Το 1962 δημιουργήθηκε το πρώτο πραγματικό ΓΣΠ στην Οττάβα του Καναδά (Federal Department of Forestry and Rural Development) από τον Δρ. Roger Tomlinson και ονομάστηκε *Canada Geographic Information System* (CGIS). Χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση δεδομένων χρήσεων γης σε κλίμακα 1:50.000. Το CGIS σταμάτησε να χρησιμοποιείται στα μέσα της δεκαετίας του '90.

Το 1964 ο Howard T. Fisher δημιούργησε το Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis στο Harvard Graduate School of Design, όπου και αναπτύχθηκε σειρά θεωρητικών προσεγγίσεων στην ανάλυση χωρικών δεδομένων. Από τα μέσα της δεκαετίας του '70, το εργαστήριο ανέπτυξε σειρά λογισμικών εφαρμογών όπως τα 'SYMAP', 'GRID' και 'ODYSSEY', που χρησιμοποιήθηκαν ως βάσεις για την ανάπτυξη εμπορικών και μη εφαρμογών ΓΣΠ.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 οι εταιρείες *M&S Computing* (γνωστή αργότερα ως *Intergraph*), *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) και *CARIS*,

ανέπτυξαν εμπορικές εφαρμογές ΓΣΠ με πολλά στοιχεία δανεισμένα από το CGIS και συνδυάζοντας στοιχεία από την πρώτη γενιά ΓΣΠ με τη δεύτερη, οργανώνοντας τα δεδομένα σε βάσεις δεδομένων. Παράλληλα, το 1982 το *U.S. Army Corp of Engineering Research Laboratory (USA-CERL)* δημιούργησε τον πρόγονο του GRASS, ένα δωρεάν πρόγραμμα ανοικτού κώδικα. Τα περισσότερα προγράμματα στις αρχές του 80 έτρεχαν σε περιβάλλον UNIX, κάτι το οποίο τη σημερινή περίοδο και ιδιαίτερα από το 2000 και έπειτα έχει αλλάξει άρδην. Στην πλειονότητα τους, προγράμματα ΓΣΠ τρέχουν σε όλα σχεδόν τα λειτουργικά περιβάλλοντα με έμφαση στα Windows.

Αρκετές φορές, γίνεται σύγχυση μεταξύ των ΓΣΠ και της ψηφιακής χαρτογραφίας. Το ΓΣΠ δεν είναι ψηφιακή χαρτογραφία, αν και το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ένας ή περισσότεροι χάρτες. Με τον όρο ψηφιακή χαρτογραφία εννοούμε τη διαδικασία προετοιμασίας για την κατασκευή ενός ψηφιακού χάρτη. Συνήθως για την κατασκευή ψηφιακών και έντυπων χαρτών, χρησιμοποιούμε ΓΣΠ χωρίς αυτό να είναι πάντα απαραίτητο: θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε ένα χάρτη με ένα απλό πρόγραμμα σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα το AutoCAD. Τα ΓΣΠ διαθέτουν μια σειρά εργαλείων που έχουν ως σκοπό να βοηθήσουν στη σωστή καταχώρηση δεδομένων που έχουν συλλεχθεί στο πεδίο. Όλα τα δεδομένα που εισάγονται στο ΓΣΠ, διαχειρίζονται μέσα από μία ή περισσότερες βάσεις δεδομένων, κάτι που αποτελεί και το σημαντικότερο πλεονέκτημα έναντι όλων των άλλων συμβατικών και ψηφιακών τρόπων αναπαραγωγής χαρτών.

Τα στοιχεία που εισάγονται στις βάσεις δεδομένων τα τελευταία χρόνια αυξάνονται με εκθετικό ρυθμό, κάτι που οδήγησε στην ανάγκη διαχείρισης μεγάλου όγκου πληροφοριών αλλά και σύνθετων συσχετισμών μεταξύ τους (Svensson and Huang 1991). Κύριος σκοπός ενός συστήματος ΓΣΠ, αποτελεί η διαχείριση του συνόλου της χωρικής πληροφορίας που έχουμε αποκτήσει, δημιουργώντας διάφανα επίπεδα που επιτρέπουν στο χρήστη να έχει συνοπτική εικόνα της περιοχής που μελετά. Τα χωρικά και μη δεδομένα μπορεί να συγχωνευθούν ή να επεξεργαστούν με σκοπό τη δημιουργία νέων μέσω μαθηματικών αλγορίθμων.

Αυτό που κάνει σημαντική τη χρήση ΓΣΠ σήμερα, είναι η μαθηματικοποίηση της χαρτογραφικής πληροφορίας σε αντίθεση με ότι γινόταν πριν από μερικές δεκαετίες.

Με τη σημερινή υπολογιστική δυνατότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε και να εξάγουμε αποτελέσματα από χωρικά δεδομένα αλλά και να πειραματιστούμε με νέους αλγόριθμους που κάτω από άλλες συνθήκες θα ήταν αρκετά χρονοβόρα διαδικασία.

## 2.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΤΥΠΟΙ

Τα δεδομένα που καταχωρούνται σε ένα ΓΣΠ όπως δρόμοι, χρήση γης, υψόμετρα κ.α., μπορούν να χωριστούν σε 2 μεγάλες κατηγορίες: ψηφιδοπλέγματα (ράστερ, raster) και διανυσματικά (vector).

### 2.2.1 Δεδομένα raster (εικονοστοιχεία)

Αποτελούνται από γραμμές και κολόνες κελιών (pixels), όπου σε κάθε κελί αποθηκεύεται μία και μόνο τιμή. Τα raster δεδομένα μπορεί να είναι εικόνες (δορυφορικές, αεροφωτογραφίες κ.α.), όπου σε κάθε κελί είναι αποθηκευμένη μία τιμή χρώματος και αντιπροσωπεύει μία παράμετρο (θερμοκρασία, υψόμετρο, βροχόπτωση κλπ.) ή παραγόμενο έργο από ένα ΓΣΠ, όπως χάρτες τοπογραφικών κλίσεων, σκιασμένα ανάγλυφα κ.α. Επιπροσθέτως, είναι δυνατή η σύνθεση κελιών από διαφορετικές εικόνες, δίνοντας μας έγχρωμες απεικονίσεις. Με τον όρο ανάλυση (resolution) ή διακριτική ικανότητα κάθε εικόνας εννοούμε την αντιστοίχιση του κάθε κελιού σε πραγματικές μονάδες, π.χ. 1 pixel = 24 μέτρα, δηλαδή κάθε στοιχείο της εικόνας μας αντιστοιχεί σε 24 μέτρα στο έδαφος. Τα δεδομένα raster αποθηκεύονται σε ένα πλήθος τύπων αρχείων εικόνας, με πιο συνηθισμένο αυτής του TIFF όπου είναι μία μορφή ασυμπίεστου τύπου εικόνας.

### 2.2.2 Δεδομένα vector (διανυσματικά)

Τα διανυσματικά δεδομένα είναι γεωμετρικά στοιχεία που απεικονίζουν μία συνεχή τιμή στο χώρο. Αυτά, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

#### 2.2.3 Σημεία (points)

Πρόκειται για μηδενικών διαστάσεων σημεία όπου χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν απλά γεωγραφικά δεδομένα όπως πηγές, τριγωνομετρικά σημεία κ.α.

#### 2.2.4 Γραμμές (lines ή polylines)

Πρόκειται για δισδιάστατα στοιχεία που αναπαριστούν γραμμικά στοιχεία όπως δρόμους, ρέματα, ισούψείς κ.α.

### 2.2.5 Πολύγωνα (polygons)

Πρόκειται για δισδιάστατα στοιχεία που αναπαριστούν επιφάνειες όπως λίμνες, χρήσεις γης, όρια πόλεων κ.α.

Καθένα από τα παραπάνω διανυσματικά δεδομένα συνδέεται με μία ή περισσότερες γραμμές στη βάση δεδομένων, όπου εκεί περιγράφονται τα επιπλέον αριθμητικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, το στοιχείο που απεικονίζει τους δρόμους μιας περιοχής, μπορεί να έχει τον κωδικό του δρόμου, το τύπο του (άσφαλτος, χωματόδρομος), των αριθμών των λωρίδων, αν είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης κ.α.

Στα διανυσματικά δεδομένα, υπάρχει η δυνατότητα να προσθέσουμε λογικούς κανόνες που ανταποκρίνονται στον τύπο τους, έτσι ώστε να αποφεύγονται λάθη. Για παράδειγμα σε ένα αρχείο που περιέχει ισοϋψείς, αυτές, δεν θα πρέπει να τέμνονται ποτέ. Εισάγοντας τον αντίστοιχο κανόνα, είναι αρκετά εύκολο να διαπιστώσουμε λάθη κατά την ψηφιοποίηση ή ακούσια μετακίνηση μιας γραμμής πάνω σε μία άλλη. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται ως τοπολογικός κανόνας (topology).

Η αποθήκευση των δεδομένων μας με τον ένα ή τον άλλο τρόπο παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Τα δεδομένα σε μορφή raster, επειδή είναι απαραίτητο να υπάρχουν σε όλο το εύρος της περιοχής που εργαζόμαστε, ανεξάρτητα αν υπάρχουν κελιά χωρίς τιμή (null value), καταλαμβάνουν μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο από αντίστοιχα διανυσματικά. Όμως, τα raster δεδομένα είναι πιο εύκολα στην επεξεργασία και στην εξαγωγή αποτελεσμάτων από τα διανυσματικά. Αντίστοιχα, τα διανυσματικά είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιηθούν στην παρουσίαση ανεξαρτήτου κλίμακας, όπως επίσης είναι δυνατή η γρήγορη αλλαγής της προβολής τους. Επίσης είναι περισσότερο συμβατά με διαφορετικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων (relational databases). Ανεξάρτητα με τα παραπάνω, σήμερα, η εμπειρία μας στο σχεδιασμό ΓΣΠ έχει καταδείξει τις πιο ενδεδειγμένες λύσεις όσο αφορά τον τρόπο δημιουργίας και παρουσίασης διαφόρων δεδομένων. Επίσης, σε όλα τα ΓΣΠ, υπάρχει η δυνατότητας μετατροπής από τη μία μορφή πληροφορίας στην άλλη, με σκοπό την καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων.



### 2.2.6 Voxels

Ορισμένα ΓΣΠ υποστηρίζουν πλέον των παραπάνω τύπων, ένα διαφορετικό μοντέλο δεδομένων, το voxel. Το όνομα προέκυψε από τη σύντμηση των αγγλικών λέξεων volumetric και pixel και στην ουσία είναι ένα στοιχείο που έχει εκτός των άλλων και την έννοια του όγκου. Σε αντιστοιχία με τα κελιά του raster χάρτη, κάθε voxel αντιπροσωπεύει ένα κύβο καθορισμένου όγκου κάθε φορά, π.χ. voxel 24m αντιστοιχεί σε κύβο όγκου  $13824\text{m}^3$ . Τέτοιας μορφής δεδομένα είναι πολύ σημαντικά στον υπολογισμό κοιτασμάτων, εργασιών οδοποιίας και γενικά σε όλες τις εφαρμογές που σημαντικό στοιχείο είναι ο όγκος.

### 2.2.7 Μη χωρικά δεδομένα

Τα μη χωρικά δεδομένα, δηλαδή δεδομένα που δεν έχουν άμεση γεωγραφική εξάρτηση είναι δυνατόν να αποθηκευτούν σε ένα ΓΣΠ με την προϋπόθεση ότι θα αντιπροσωπεύονται από ένα σημείο στο χώρο. Τέτοιο παράδειγμα είναι η περιγραφή των ειδών ζώων που υπάρχουν στο πολύγωνο που αντιπροσωπεύει ένα ζωολογικό πάρκο. Δεν δίνουμε δηλαδή την θέση που βρίσκεται το κάθε ζώο, αλλά το σύνολο αυτών μέσα στο πάρκο. Τα στοιχεία αυτά μπορούμε επίσης να ληφθούν από άλλη βάση δεδομένων χωρίς να τα ενθέσουμε στη δική μας.

### 2.3 ΘΕΜΑΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ – ΔΟΜΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε ένα ΓΣΠ υπάρχει η ανάγκη να καταχωρούνται τόσο χωρικά όσο και πινακοειδή δεδομένα. Η αποθήκευση τους ελέγχεται είτε από το ίδιο το λογισμικό είτε από εξωτερικά προγράμματα που συνεργάζονται με το βασικό πρόγραμμα ΓΣΠ. Η σχεδίαση μίας βάσης δεδομένων για την παρούσα διατριβή αν και δεν είναι σύνθετη διαδικασία, πρέπει να ακολουθεί ένα συγκεκριμένο τρόπο προσέγγισης, έτσι ώστε να είναι συμβατή ή τουλάχιστον εύκολα μετατρέψιμη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως πρότυπο σχεδιασμού είτε ως πηγή λήψης δεδομένων (Neteler and Mitasova 2008). Οι βασικοί αλγόριθμοι εισαγωγής, διαχείρισης και στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, συμπεριλαμβάνονται σχεδόν εξολοκλήρου σε ένα λογισμικό, το ArcGIS της εταιρείας ESRI. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν άλλα πακέτα ΓΣΠ όπου αναλύθηκαν συγκεκριμένες παράμετροι. Αυτές, μετά την επεξεργασία μεταφέρθηκαν στη βάση δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων μεταφοράς που υποστηρίζουν τα διάφορα ΓΣΠ για μεταφορά αρχείων και δεδομένων από βάση σε βάση. Σε κάποιες περιπτώσεις έγινε μετατροπή των υπάρχοντων εργαλείων που ήταν διαθέσιμα για να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τα δεδομένα. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν μικρές εφαρμογές, που αποτελούν πρόσθετα προγράμματα (addins) πάνω στο βασικό λογισμικό ΓΣΠ.

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στη διάκριση των θεματικών επιπέδων τα οποία συμμετέχουν στους θεματικούς χάρτες που δημιουργήθηκαν όπως και η δομή της βάσης δεδομένων που σχεδιάστηκε.

Με τον όρο θεματικό επίπεδο εννοούμε το επίπεδο πληροφορίας το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο ομοειδών διανυσματικών στοιχείων ή κάρτες κελιών, με συγκεκριμένη γεωγραφική αναφορά. Η αρχική πληροφορία ενός τέτοιου θεματικού επιπέδου όταν πρόκειται για διανυσματικά στοιχεία αφορά τις συντεταγμένες του κάθε στοιχείου αλλά και την τοπολογία του. Με τον όρο τοπολογία εννοούμε τη σχέση που έχουν τα στοιχεία μεταξύ τους είτε ανήκουν στο ίδιο, είτε σε διαφορετικό θεματικό επίπεδο (Harmon and Anderson, The design and implementation of GIS 2003). Θεματικά επίπεδα χωρίς καθορισμένη τοπολογία, όταν μάλιστα τα δεδομένα

είναι πάρα πολλά, είναι άχρηστα. Ο σχεδιαστής της βάσης του ΓΣΠ πρέπει να έχει καθορίσει από την αρχή τις σχέσεις που διέπουν τα στοιχεία που εισάγει, έτσι ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχος της πιστότητας των δεδομένων.

## 2.4 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο στόχος της σχεδίασης της βάσης δεδομένων ΓΣΠ είναι διττός, αρχικά έχει ως σκοπό τη σωστή και συνεπή λειτουργία του συστήματος και σε δεύτερο χρόνο την σωστή απεικόνιση των δεδομένων.

Για το σκοπό αυτό, η ανάλυση των αναγκών και απαιτήσεων του συστήματος που γίνεται σε αρχικό στάδιο, είναι το πιο σημαντικό στοιχείο της διαδικασίας. Έτσι, σε πρώτη φάση καταγράφεται ο σκοπός του ΓΣΠ, τα στοιχεία που αυτό θα εμπεριέχει, οι σχέσεις που έχουν μεταξύ τους και η μορφή των πινάκων και των επιμέρους στοιχείων τους. Στη συνέχεια σχεδιάζεται το λογικό διάγραμμα που αποσαφηνίζει τις σχέσεις με τις οποίες συνδέονται τα δεδομένα μεταξύ τους. Σκοπός είναι η πλήρης και σαφής κατανόηση της δομής του ΓΣΠ. Οποιοδήποτε πρόβλημα προκύπτει σε επόμενα στάδια, τις περισσότερες φορές οφείλεται σε αρχικό κακό σχεδιασμό, κάτι που σε επίπεδο εργασίας μικρής κλίμακας εύκολα διορθώνεται, αλλά όταν αναφερόμαστε σε μεγάλης κλίμακας υλοποιήσεις, κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία του όλου προγράμματος.

Το επόμενο στάδιο είναι ο σχεδιασμός των πινάκων και των σχέσεων. Οι πίνακες ορίζονται ως ομοειδή σύνολα και συσχετίζονται με κάποια αναφορά σε άλλους πίνακες (Rigaux, Scholl and Voisard 2002). Όπως συμβαίνει με όλες τις βάσεις δεδομένων έτσι και οι χωρικές βάσεις δεδομένων είναι σχεσιακές (Relational database). Οι σχέσεις που μπορεί να έχουν οι πίνακες μεταξύ τους είναι:

- Ένα προς πολλά: Ένα στοιχείο του πίνακα σχετίζεται με περισσότερα στοιχεία άλλου πίνακα.
- Ένα προς ένα: υπάρχει αντιστοιχία ενός στοιχείου με μόνο ένα άλλο, σε άλλο πίνακα.
- Πολλά προς πολλά: Πολλά στοιχεία ενός πίνακα συνδέονται με περισσότερα του ενός στοιχείου σε κάποιον άλλο πίνακα.

Από τις παραπάνω σχέσεις οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι οι πρώτες δύο. Η τελευταία αποφεύγεται συνήθως διότι δεν είναι πάντα εύκολο να καθοριστούν

τέτοιου είδους σχέσεις και τα αποτελέσματα που προκύπτουν, δημιουργούν πολλές φορές προβλήματα εγκυρότητας της βάσης δεδομένων.

Ο αρχικός σχεδιασμός και ο τρόπος με τον οποίο θα καθοριστούν οι πίνακες και οι στήλες τους, γίνεται με διάφορες λογικές διεργασίες που έχουν ως σκοπό να εξαλείψουν άχρηστες επαναλήψεις στοιχείων και να δημιουργήσουν ένα σύνολο που έχει στιβαρή λογική, ικανοποιώντας παράλληλα τις σημερινές αλλά και όσο το δυνατόν και τις μελλοντικές απαιτήσεις του χρήστη.

#### **2.4.1 Θεματικά επίπεδα χαρτών**

Αφού καθοριστεί ο σκοπός που εξυπηρετεί το ΓΣΠ και γίνει ο σχεδιασμός, το σύστημα είναι έτοιμο να λάβει στοιχεία από το σύνολο των πηγών του χρήστη, είτε πρόκειται για ψηφιακούς χάρτες, είτε αναλογικούς είτε πρωτογενή δεδομένα. Στην παρούσα διατριβή τα θεματικά επίπεδα που ορίστηκαν στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού, είναι τα παρακάτω:

##### **2.4.1.1 Τοπογραφία**

Είναι το θεματικό επίπεδο που αφορά την απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Αποτελείται από σημειακά στοιχεία (υψόμετρα, τριγωνομετρικά σημεία), γραμμικά (ισοϋψείς) και πολυγωνικά (εμβαδά). Απαραίτητα δεδομένα είναι το υψόμετρο του καθενός από τα παραπάνω στοιχεία. Ο τύπος των τιμών είναι αριθμητικός και έχει δύο δεκαδικά ψηφία, όσα είναι τα μέγιστα δεκαδικά που δίνονται σε ένα τοπογραφικό χάρτη. Σημαντικά στοιχεία για την αξιολόγηση των δεδομένων είναι η προέλευση των δεδομένων: διαφορετική ακρίβεια έχει ένα σημείο που ψηφιοποιείται από ένα χάρτη κλίμακας 1:500.000 από ένα άλλο που λαμβάνεται από έναν 1:5.000 ή από GPS χειρός. Τις περισσότερες φορές οι χρήστες αγνοούν το παραπάνω στο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα τα στοιχεία να χάνουν την αξιοπιστία τους επειδή θεωρούνται όλα ίδιας σημασίας. Για τον σκοπό αυτό καθορίστηκε ο δείκτης βαρύτητας των στοιχείων: μία κατηγοριοποίηση των στοιχείων με βάση την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων και το βαθμό αβεβαιότητας των μετρήσεων. Έτσι για παράδειγμα αν ζητηθεί η χάραξη μίας γραμμής από ένα υποθετικό σημείο Α προς ένα Β, με βάση μετρήσεις που έχουν προκύψει από διαφορετικής κλίμακας χάρτες,

ψηφιακές μετρήσεις αλλά και ακριβείς τοπογραφικές αποτυπώσεις, το σύστημα θα λάβει υπόψιν του πρώτα τις τοπογραφικές μετρήσεις που έχουν γίνει, μετά τα δεδομένα από χάρτες μεγάλης κλίμακας και τέλος τα δεδομένα από χάρτες μικρής κλίμακας. Τα δεδομένα που λάβαμε από δέκτη GPS, ανάλογα με την απόκλιση που είχαμε τη δεδομένη στιγμή της μέτρησης, θα ληφθούν ή όχι υπόψιν.

Με τον παραπάνω τρόπο εξασφαλίζουμε τη σωστή απεικόνιση των δεδομένων και περισσότερο την ακρίβεια των μετρήσεων μας με βάση την ακρίβεια των μετρήσεων που έχουμε. Τα ΓΣΠ λογισμικά σήμερα παρέχουν αυτή τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης των μετρήσεων αν και οι περισσότεροι χρήστες το παραβλέπουν. Για τη διατριβή χρησιμοποιήθηκε ένα διαχωρισμός των μετρήσεων σε πέντε κατηγορίες βαρύτητας από 1 έως 5. Με το νούμερο 1 εννοούμε τη μέτρηση με την μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ αυτή που ανήκει στην κατηγορία 5 έχει τη μικρότερη ακρίβεια. Στην ουσία, η τελευταία κατηγορία, χρησιμοποιήθηκε για δεδομένα που διαπιστώθηκαν κατά την αξιολόγηση τους εσφαλμένα, αλλά θεωρήθηκε ότι θα έπρεπε να υπάρξουν στις βάσεις δεδομένων, χωρίς όμως να παίζουν κανένα ρόλο στις μετρήσεις. Έτσι δεν διαγράφονται ήδη καταγεγραμμένες μετρήσεις, που σε δεύτερο χρόνο μπορεί να αξιολογηθούν καλύτερα ή να διορθωθούν με κάποιο αλγόριθμο –μοντέλο.

#### 2.4.1.2 Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου

Σε κάθε εργασία που έχει να κάνει με την μελέτη του ανάγλυφου, απαραίτητο στοιχείο ανάλυσης αποτελεί το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (ΨΜΑ). Η δημιουργία ενός ΨΜΑ βασίζεται στην μετατροπή των γραμμικών και σημειακών διανυσματικών στοιχείων σε σημεία ψηφίδες με συγκεκριμένες διαστάσεις και τιμή υψομέτρου. Για τον υπολογισμό των σημείων που δεν υπάρχουν μετρήσεις, χρησιμοποιούνται διάφορες μαθηματικές μέθοδοι (Wu, Li and Huang 2008). Με την μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής υπολογίζονται από τα κοντινά σημεία που υπάρχουν τιμές υψομέτρου, τα υψόμετρα των σημείων που δεν έχουν τιμές. Έτσι, δημιουργείται ο κানাβος των ψηφίδων που είναι συνεχής και περιέχει τιμές υψομέτρων για όλη την περιοχή μελέτης.

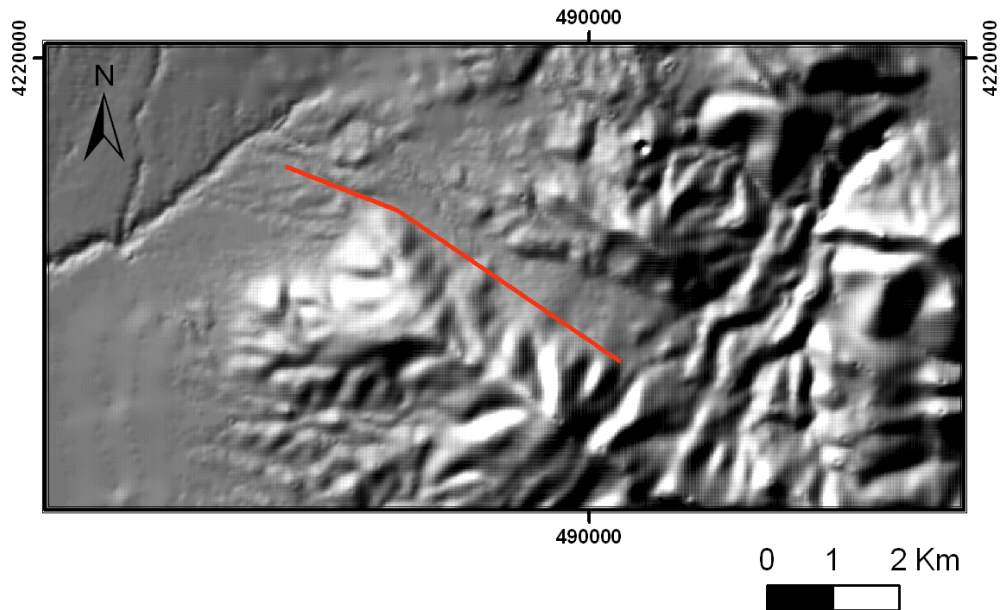
Οι διαστάσεις των κελιών καθορίζονται προκαταρκτικά και έχουν άμεση σχέση με την πυκνότητα και ποιότητα των μετρήσεων. Όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των κελιών, τόσο μικρότερη είναι η ποιότητα της αποτύπωσης του ανάγλυφου. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους κελιού είναι πολύ σημαντική για την ποιότητα των μετρήσεων που θα λάβουμε από το μοντέλο.

Γενικά, για γεωλογικές εφαρμογές, η ποιότητα των μετρήσεων που απαιτείται είναι μέτρια, με εξαίρεση σημεία ενδιαφέροντος που απαιτούν υψηλότερη ανάλυση. Επειδή δεν είναι δυνατή η απεικόνιση ενός ΨΜΑ με διαφορετικά μεγέθη κελιών, κρίθηκε σκόπιμο, όπου ήταν απαραίτητη μεγαλύτερη ακρίβεια να δημιουργηθούν τοπικά ΨΜΑ με περισσότερα δεδομένα που θα απεικονίζουν καλύτερα την πραγματικότητα. Ο συντελεστής βαρύτητας των δεδομένων που αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση των ΨΜΑ. Η χρήση των ΨΜΑ που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για τον υπολογισμό των μορφομετρικών δεικτών.

#### 2.4.1.3 Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου (Shaded relief map)

Ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους απεικόνισης των γεωμορφών είναι ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου. Είναι η ψευδοτριδιάστατη εικόνα μιας περιοχής στην οποία είναι διακριτές οι υψομετρικές διαφοροποιήσεις της και βασίζεται στη τοποθέτηση μιας φωτεινής πηγής σε καθορισμένη διεύθυνση στον ορίζοντα και σε συγκεκριμένη γωνία που καθορίζεται κάθε φορά από το χρήστη. Έτσι, εμφανίζονται περιοχές που είναι άμεσα φωτισμένες από την πηγή και άλλες που δημιουργείται σκιά από αυτή. Οι χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου έχουν προκύψει από το ΨΜΑ και έχουν τιμές από 0 έως 255. Ο αλγόριθμος που υπολογίζει τη φωτεινότητα ή μη ενός κελιού, δίνει τιμές από -1 έως +1 για κάθε κελί, ανάλογα με το αν αυτό βρίσκεται στη πλευρά του φωτός. Οι αρνητικές τιμές που προκύπτουν, ανεξάρτητα με την τιμή τους, τελικά παίρνουν την τιμή 0 και απεικονίζονται ως σκιές.

Η χρήση του σκιασμένου ανάγλυφου στη μελέτη των γεωμορφών είναι σημαντική και αυτό γιατί μέσα από αυτό γίνονται εύκολα αντιληπτές συγκεκριμένες δομές που έχουν να κάνουν με τη γεωλογία και τη ρηγματογόνο τεκτονική μιας περιοχής (Ganas, Pavlides and Karastathis 2005).



**Εικόνα 3:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου από 20m DEM για περιοχή της Βόρειας Αττικής που απεικονίζει ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί. Η φωτεινή πηγή έχει χαμηλή γωνία και έχει ως αποτέλεσμα την ανάδειξη των ρηξιγενών δομών της περιοχής.

Για τη μελέτη μιας περιοχής είναι δυνατόν να γίνουν αρκετοί χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου έτσι ώστε να μπορούν να αναδειχθούν σε αυτούς, διαφορετικής διεύθυνσης γεωλογικές δομές.

#### 2.4.1.4 Τοπωνύμια

Αν και το θεματικό επίπεδο με τα τοπωνύμια δεν περιέχει σημαντικές πληροφορίες όσο αφορά τις γεωμορφές και δεν συμπεριλαμβάνεται σε κανένα από τους υπολογισμούς, είναι απαραίτητο στοιχείο για την πρακτική απεικόνιση ενός χάρτη. Σε αυτό το θεματικό επίπεδο τοποθετούνται οι γνωστές ονομασίες πόλεων, χωριών, οικισμών, βουνών, λιμνών, ποταμών κλπ. Είναι συνήθως σημειακά στοιχεία που έχουν ως κέντρο το κέντρο της περιοχής που ονομάζουμε. Περιλαμβάνουν επίσης ένα πεδίο με την ονομασία ή περισσότερα, με σύντομες πληροφορίες για το τοπωνύμιο.

Αρκετές φορές είναι απαραίτητη η δισδιάστατη πληροφόρηση για ένα τοπωνύμιο, π.χ. το όρος Α ποια έκταση καλύπτει σε τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αυτού του είδους η



πληροφορία δημιουργείται σε διαφορετικό αρχείο για να μην υπάρξει σύγχυση ως προς την απεικόνιση των επιπέδων. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η κωδικοποίηση του παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου τοπωνυμίων.**

Κωδικός τοπωνυμίου: (id)	Περιλαμβάνει ένα μοναδικό κωδικό που δίνεται για κάθε τοπωνύμιο. Αφορά αποκλειστικά την συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Εθνικός Κωδικός τοπωνυμίου: (nid)	Περιλαμβάνει ένα μοναδικό κωδικό που δίνεται για κάθε τοπωνύμιο από τον εθνικό φορέα, αν αυτός υπάρχει. Αφορά τη σύνδεση της παρούσας βάσης με άλλες βάσεις δεδομένων μελλοντικά. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Ελληνική ονομασία: (el_name)	Αφορά την ονομασία του τοπωνυμίου στα ελληνικά με ελληνικούς χαρακτήρες, με κωδικό γραμματοσειράς UTF-8. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.
Λατινική ονομασία: (latin_name)	Αφορά την ονομασία του τοπωνυμίου στα ελληνικά με λατινικούς χαρακτήρες κατα ΕΛΟΤ, με κωδικό γραμματοσειράς UTF-8. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.
Άλλη ονομασία: (other_name)	Αφορά την ονομασία του τοπωνυμίου σε οποιαδήποτε γλώσσα ή συνώνυμη ονομασία ή παλαιότερη ή παραφρασμένη και γενικά οποιαδήποτε ονομασία έχει λάβει κατά καιρούς η θέση που αναφερόμαστε. Αυτό γίνεται για να υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται άμεση ταυτοποίηση μίας περιοχής που αναφέρεται σε παλαιότερα ή/και ξένα κείμενα και να αποφεύγεται η σύγχυση. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.

Είδος τοπωνυμίου: (type_of)	Αφορά τον τύπο του τοπωνυμίου, αν δηλαδή πρόκειται για πόλη, ποταμό, λίμνη κλπ. Χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση τοπωνυμίων. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.
Άλλες πληροφορίες: (info)	Αφορά γενικές πληροφορίες για το τοπωνύμιο, πάσης φύσεως, όπως ιστορικά στοιχεία, πότε έγινε γραπτή αναφορά για πρώτη φορά, στοιχεία μετονομασίας κλπ. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.

#### 2.4.1.5 Υδρογραφικό δίκτυο

Το θεματικό επίπεδο του υδρογραφικού δικτύου περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την επιφανειακή ροή των υδάτων στην περιοχή μελέτης. Αποτελείται από πολλά επίπεδα με κυριότερα αυτά του υδροκρίτη και των ρεμάτων.

Όσο αφορά την κωδικοποίηση των ρεμάτων, ακολουθήθηκε το πρότυπο που δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 2: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου υδρογραφικού δικτύου.**

Κωδικός ρέματος: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει ο κλάδος. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Κωδικός κύριου κλάδου: (nid)	Είναι ο κωδικός του κύριου ρέματος που ανήκει ο συγκεκριμένος κλάδος. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Όνομα κλάδου: (name)	Αφορά την ονομασία του κλάδου, αν υπάρχει. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.
Μήκος κλάδου: (length)	Αφορά το μήκος του κλάδου, οι μονάδες είναι σε χιλιόμετρα. Είναι αριθμητικό δεδομένο, με δύο δεκαδικά ψηφία.
Αρίθμηση κατά Strahler: (str_id)	Πρόκειται για ένα αριθμητικό πεδίο που αντιστοιχεί στην τάξη του κλάδου που έχει ο κλάδος κατά την αρίθμηση κατά Strahler (Strahler, Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms 1958) Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Από κόμβο: (from_node)	Πρόκειται για τον αριθμό του κόμβου που βρίσκεται ανάντη του κλάδου και συνδέεται με τους ανάντη κλάδους. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Σε κόμβο: (to_node)	Πρόκειται για τον αριθμό του κόμβου που βρίσκεται κατάντη του κλάδου και συνδέεται με τους κατάντη κλάδους. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Λεκάνη: (basin)	Πρόκειται για τον αριθμό της λεκάνης που ανήκει ο κλάδος. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Υπολεκάνη: (subasin)	Πρόκειται για τον αριθμό της υπολεκάνης που ανήκει ο κλάδος. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Παρατηρήσεις: (notes)	Πρόκειται για ένα πεδίο που καταγράφονται διάφορες παρατηρήσεις. Είναι αλφαριθμητικό δεδομένο.

Τα θεματικό επίπεδο του υδροκρίτη αποτελείται από 4 πεδία:

**Πίνακας 3: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου υδροκρίτη.**

Κωδικός υδροκρίτη: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει ο υδροκρίτης. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Εθνικός Κωδικός υδροκρίτη: (nid)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει ο υδροκρίτης από τον εθνικό φορέα αν υπάρχει. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο. Χρησιμοποιείται για να συνδέονται υπάρχουσες ή μελλοντικές βάσεις δεδομένων.
Περίμετρος: (length)	Πρόκειται για την περίμετρο του υδροκρίτη. Είναι αριθμητικό δεδομένο με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδα το χιλιόμετρο.
Εμβαδό: (area)	Πρόκειται για το συνολικό εμβαδό του υδροκρίτη. Είναι αριθμητικό δεδομένο με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδα το τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Στην ίδια κατηγορία θεματικών επιπέδων ανήκει και η κατηγορία των καρστικών μορφών που εμφανίζονται στην περιοχή. Τα πεδία που περιλαμβάνει το επίπεδο αυτό, είναι ο μοναδικός κωδικός (id), το πεδίο που υπολογίζεται το εμβαδό σε τετραγωνικά χιλιόμετρα με δύο δεκαδικά ψηφία (area) και ο τύπος του καρστ (karst\_type).

Τα παραπάνω στοιχεία που αναφέρονται, είναι τα βασικά στοιχεία που καταγράφονται αλλά δεν είναι και τα μοναδικά. Για να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, απαιτείται ο διαχωρισμός των επιπέδων σε μικρότερες ενότητες ή η ένωση μικρών επιπέδων σε μεγαλύτερα, ανάλογα με την απαίτηση του κάθε υπολογισμού.

#### 2.4.1.6 Γεωλογία

Το επίπεδο που απεικονίζει τη γεωλογία της περιοχής είναι το βασικότερο και στην ουσία απεικονίζει την επιφανειακή εμφάνιση των σχηματισμών και τα όρια

αυτών. Είναι αποτέλεσμα λήψης πληροφοριών από παλαιότερους χάρτες, σε διάφορες κλίμακες αλλά και από δεδομένα που λήφθηκαν εκ νέου στην ύπαιθρο. Το επίπεδο πληροφορίας είναι ένα πολυγωνικό επίπεδο, με κοινά όρια μεταξύ των γειτονικών σχηματισμών, ενώ δεν επιτρέπονται κενά χωρίς πληροφορία. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιβολή κανόνων τοπολογίας στο συγκεκριμένο επίπεδο. Το επίπεδο της γεωλογίας έγινε σύμφωνα με το παρακάτω πρότυπο:

**Πίνακας 4: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου γεωλογικών σχηματισμών.**

Κωδικός πολυγώνου: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το πολύγωνο. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Εμβαδόν πολυγώνου: (area)	Πρόκειται για το συνολικό εμβαδό του πολυγώνου. Είναι αριθμητικό δεδομένο με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδες το τετραγωνικό χιλιόμετρο.
Περίμετρος πολυγώνου: (length)	Πρόκειται για την περίμετρο του πολυγώνου. Είναι αριθμητικό δεδομένο με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδες το χιλιόμετρο.
Κωδικός Λιθολογία: (lithology_code)	Πρόκειται για μία σύντομη αναφορά στη λιθολογία του σχηματισμού στον οποίο αναφέρεται το πολύγωνο, με ένα αριθμητικό κωδικό. Το πεδίο είναι ακέραιος αριθμός. Ο λόγος που χρησιμοποιείται κωδικοποίηση με αριθμούς είναι γιατί με αυτόν τον τρόπο γίνεται γρηγορότερη η αντιστοίχιση των σχηματισμών από ότι θα γινόταν με αλφαριθμητικά δεδομένα. Επίσης μειώνεται κατά πολύ η περίπτωση να γίνει λάθος από μικρές διαφορές στην περιγραφή, π.χ. περισσότερα κενά μεταξύ των λέξεων που οδηγούν στο να φαίνονται 2 διαφορετικοί σχηματισμοί ενώ πρόκειται για τον ίδιο.

Λιθολογία: (lithology)	Πρόκειται για αναφορά στη λιθολογία του σχηματισμού στον οποίο αναφέρεται το πολύγωνο. Δίνεται η περιγραφή που θα εμφανιστεί στο υπόμνημα. Είναι αλφαριθμητικό πεδίο χαρακτήρων.
Γεωτεκτονική ενότητα: (geounit)	Στο πεδίο αυτό σημειώνεται η ένταξη του πετρώματος στη αντίστοιχη γεωτεκτονική ενότητα που ανήκει. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα. Σε περίπτωση που είναι μεταλλικός σχηματισμός, αναφέρεται ως μεταλλικός.
Ηλικία: (age_el)	Αναφέρεται η στρωματογραφική ηλικία του σχηματισμού, όπου αυτή υπάρχει. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα.
Ηλικία, αγγλικά: (age_eng)	Αναφέρεται η στρωματογραφική ηλικία του σχηματισμού στα αγγλικά, όπου αυτή υπάρχει. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα.
Κατώτερη ηλικία: (min_age)	Αναφέρεται η κατώτερη (παλαιότερη ηλικία) που έχει προσδιοριστεί για το σχηματισμό αυτό. Έχει αριθμητικό χαρακτήρα και είναι ακέραιος. Η χρονολογία είναι απόλυτη.
Ανώτερη ηλικία: (min_age)	Αναφέρεται η ανώτερη (νεότερη ηλικία) που έχει προσδιοριστεί για το σχηματισμό αυτό. Έχει αριθμητικό χαρακτήρα και είναι ακέραιος. Η χρονολογία είναι απόλυτη.
Συμβολισμός: (symbology)	Αναφέρεται στο συμβολισμό του σχηματισμού που θα εμφανίζεται στο χάρτη. Αποτελείται από γράμματα και αριθμούς και είναι μοναδικός για κάθε τύπο σχηματισμού. Ακολουθεί τα διεθνή προτεινόμενα πρότυπα συμβολισμού των σχηματισμών. Είναι αλφαριθμητικό πεδίο.

<p>Τύπος πετρώματος: (rock_type)</p>	<p>Αναφέρεται στο αν το πέτρωμα είναι ιζηματογενές, πυριγενές ή μεταμορφωμένο. Είναι αριθμητικό πεδίο με κωδικούς 1,2 και 3 που αντιστοιχούν στους 3 τύπους πετρωμάτων.</p>
<p>Απολιθώματα: (fossil)</p>	<p>Αναφέρεται στον αν υπάρχουν απολιθώματα ή όχι στο σχηματισμό. Είναι πεδίο λογικού τύπου και δέχεται τιμές 0 ή 1 (ψευδές – αληθές, όχι – ναι). Στην περίπτωση που υπάρχουν απολιθώματα, το κελί συνδέεται με εξωτερικό πίνακα που περιγράφονται τα απολιθώματα, η συχνότητα εμφάνισής τους και η βιβλιογραφική τους αναφορά.</p>
<p>Υδρολογικός χαρακτήρας: (hydro)</p>	<p>Αναφέρεται στον υδρολογικό χαρακτήρα του πετρώματος, αν είναι περατό, ημιπερατό, αδιαπέρατο. Λαμβάνει τιμές 1, 2 ή 3 και συνδέεται με πίνακα που αναφέρει τις τιμές περατότητας που δίνονται βιβλιογραφικά ή από μετρήσεις, όπως και τον τύπο κίνησης του νερού μέσα στο πέτρωμα (διεργημένο πέτρωμα, κοκκώδες κλπ.) και άλλες πληροφορίες σχετικά με το υδρογεωλογικό χαρακτήρα του πετρώματος.</p>
<p>Επιπλέον στοιχεία: (notes)</p>	<p>Είναι το πεδίο όπου μπορεί να γίνει εκτενέστερα περιγραφή του σχηματισμού, όπως και να δοθούν άλλες σχετικές πληροφορίες. Είναι αλφαριθμητικό πεδίο.</p>

<p>Φωτογραφία: (photo)</p>	<p>Αποτελεί ένα πεδίο BLOB, που εμπεριέχει ένα τύπο αρχείου διαφορετικό από του βασικούς, στην ουσία ένα άλλο αρχείο που μπορεί να είναι κείμενο, εικόνα βίντεο ή οποιοδήποτε άλλο αρχείο. Χρησιμοποιείται για να δώσει στο χρήστη μία τυπική εικόνα του σχηματισμού που περιγράφεται παραπάνω όπως και μία θέση που μπορεί κάποιος να δει το χαρακτήρα του γεωλογικού σχηματισμού.</p>
--------------------------------	---

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, το θεματικό πεδίο που περιγράφει τη γεωλογία της περιοχής μελέτης, είναι εκτός από μεγάλο σε πληροφορία, συνδεδεμένο με άλλους πίνακες - στοιχεία που είναι απαραίτητοι για τη σωστή και εμπειριστατωμένη παρουσίαση και μελέτη της περιοχής. Όπως και στα υδρολογικά χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν παραπάνω, έτσι και εδώ, τα στοιχεία που αναφέρονται, είναι τα βασικά στοιχεία που καταγράφονται αλλά δεν είναι και τα μοναδικά. Για να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, απαιτείται ο διαχωρισμός των επιπέδων σε μικρότερες ενότητες ή η ένωση μικρών επιπέδων σε μεγαλύτερα, ανάλογα με την απαίτηση του κάθε υπολογισμού. Τα επίπεδα που προκύπτουν είναι αρκετά τόσο σε αριθμό όσο και πολυπλοκότητα, αλλά απαραίτητα για το σωστό υπολογισμό των δεδομένων.

#### 2.4.1.7 Τεκτονική

Οι τεκτονικές γραμμώσεις όπως και στη φύση, έτσι και σε ένα επίπεδο ΓΣΠ καταγράφονται ως γραμμικά στοιχεία που απεικονίζουν τα ίχνη των τεκτονικών ασυνεχειών, είτε αυτά είναι ρήγματα είτε επωθήσεις, είτε επίπεδα πτυχώσεων κ.α. Όλες οι τεκτονικές γραμμές αποτελούν ένα μοναδικό επίπεδο που μέσα σ' αυτό διαχωρίζονται και παράλληλα ομαδοποιούνται τα στοιχεία. Σε περίπτωση που απαιτείται να απομονωθούν κάποια στοιχεία, μπορούμε πολύ εύκολα να δημιουργήσουμε ένα νέο επίπεδο που να περιέχει μόνο αυτά που θέλουμε κάθε φορά.

Το επίπεδο των τεκτονικών γραμμώσεων ακολουθεί το παρακάτω πρότυπο:



**Πίνακας 5: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου τεκτονικής**

Κωδικός γραμμής: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει η γραμμή. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Μήκος γραμμής: (length)	Πρόκειται για το μήκος της γραμμής. Είναι αριθμητικό δεδομένο με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδα το χιλιόμετρο.
Είδος γραμμής: (line_type)	Είναι το πεδίο που αναφέρεται στο είδος της τεκτονικής ασυνέχειας που αντιπροσωπεύει. Μπορεί να είναι ρήγμα, επώθηση, εφφίπευση, άξονας πτυχής, διάκλαση κλπ. Είναι αριθμητικό πεδίο, ακέραιο.
Ορατό: (visible)	Είναι το πεδίο που αναφέρεται στο αν η γραμμή είναι ορατή ή όχι. Είναι πεδίο λογικού τύπου και δέχεται τιμές 0 ή 1 (ψευδές – αληθές, όχι – ναι).
Σχηματισμός εμφάνισης: (formation)	Αναφέρεται στο σχηματισμό που διατρέχει η τεκτονική γραμμή, αν πρόκειται για ρήγμα ή διάκλαση. Συνδέεται με τον πίνακα της γεωλογίας.
Σχηματισμός μεταξύ: (formation_between)	Αναφέρεται μεταξύ ποιών δύο ή περισσότερων σχηματισμών βρίσκεται ανάμεσα η τεκτονική γραμμή. Συνδέεται με τον πίνακα της γεωλογίας.
Τύπος ρήγματος: (fault_type)	Σε αυτό το πεδίο καταγράφεται η κινηματική του ρήγματος, εάν η γραμμή είναι χαρακτηρισμένη ως τέτοια. Παίρνει κωδικούς ανάλογα με το αν το ρήγμα είναι κανονικό, ανάστροφο, πλάγιο, δεξιόστροφο, αριστερόστροφο ή είναι συνδυασμός (π.χ. πλαγιοκανονικό). Το πεδίο είναι αριθμητικό και ακέραιο και λαμβάνει τιμές από πίνακα που είναι αποθηκευμένοι όλοι οι τύποι των ρηγμάτων.

<p>Ενεργό: (activity)</p>	<p>Αναφέρεται στο αν το ρήγμα θεωρείται ενεργό ή όχι. Είναι πεδίο λογικού τύπου και δέχεται τιμές 0 ή 1 (ψευδές – αληθές, όχι – ναι). Αν είναι ενεργό, κατατάσσεται σε πιθανά ενεργό και ενεργό με βάση το χαρακτηρισμό του ΟΑΣΠ (Γ. Μιγκίρος 2002).</p>
<p>Ρηξιγενής ζώνη: (fname)</p>	<p>Αναφέρεται σε ποια ρηξιγενή ζώνη ανήκει το ρήγμα, αν μπορεί να ενταχθεί σε κάποια. Στην περίπτωση που δεν μπορεί να ενταχθεί σε κάποια ζώνη, το πεδίο παίρνει την τιμή 0.</p>
<p>Διεύθυνση ίχνους: (strike)</p>	<p>Αναφέρεται στη διεύθυνση του ρήγματος και έχει αριθμητικό χαρακτήρα με τιμές από 0 έως 359. Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι η διεύθυνση αφορά το κάθε κομμάτι που ψηφιοποιείται και βρίσκεται μεταξύ δύο σημείων. Έτσι για ένα ρήγμα που αποτελείται από περισσότερα του ενός γραμμικά στοιχεία (το πιο σύνηθες) ως διεύθυνση λαμβάνεται η μέση διεύθυνση των επιμέρους διευθύνσεων των στοιχείων.</p>
<p>Μέρος ρήγματος: (part_of)</p>	<p>Σε συνέχεια του προηγούμενου πεδίου, θα πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος να μπορούμε να ομαδοποιούμε τα γραμμικά στοιχεία που ανήκουν π.χ. στο ίδιο ρήγμα με κάποιο τρόπο. Έτσι, αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται για να κωδικοποιήσει τα στοιχεία που ανήκουν στην ίδια ομάδα και να είναι εφικτοί οι υπολογισμοί που αναφέρθηκαν. Είναι αριθμητικό πεδίο και παίρνει την τιμή του ρήγματος που αναφέρεται το τμήμα το ρήγματος.</p>
<p>Μέση κλίση: (dip)</p>	<p>Πρόκειται για την καταγραφή της κλίσης του ρήγματος και παίρνει τιμές από 0 έως 90 μοίρες. Ισχύουν τα ίδια με τον υπολογισμό της μέσης διεύθυνσης.</p>

<p>Άλμα: (throw)</p>	<p>Στο πεδίο αυτό δίνεται το εκτιμώμενο άλμα του ρήγματος, αν υπάρχει βιβλιογραφικά ή έχει υπολογιστεί στην ύπαιθρο. Το στοιχείο είναι αριθμητικού χαρακτήρα με δύο δεκαδικά ψηφία και μονάδες σε μέτρα.</p>
<p>Φωτογραφία: (photo)</p>	<p>Αποτελεί ένα πεδίο BLOB, πεδίο που εμπεριέχει ένα τύπο αρχείου διαφορετικό από του βασικούς, στην ουσία ένα άλλο αρχείο που μπορεί να είναι κείμενο, εικόνα βίντεο ή οποιοδήποτε άλλο αρχείο. Χρησιμοποιείται για να δώσει στο χρήστη μία τυπική εικόνα της τεκτονικής γραμμής που περιγράφεται παραπάνω όπως και μία θέση που μπορεί κάποιος να δει το χαρακτήρα αυτής.</p>

#### 2.4.1.8 Μετρήσεις στρώσης – σχιστότητας

Για τις μετρήσεις στρώσης που ελήφθησαν κατά την διάρκεια της εργασίας δημιουργήθηκε ένα ξεχωριστό θεματικό επίπεδο σημειακού χαρακτήρα. Τα πεδία που απαιτούνται για να απεικονιστούν με σαφήνεια τα μετρηθέντα στοιχεία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου μετρήσεων στρώσης λιθολογικών σχηματισμών.**

Κωδικός σημείου στρώσης: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το σημείο. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Κωδικός σημείου: (nid)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το σημείο με βάση την ημερομηνία μέτρησης. Αντιστοιχεί στον κωδικό που καταγράφεται στο σημειωματάριο υπαίθρου.
Κλίση στρώματος: (dip)	Αναφέρεται στη διεύθυνση του σημείου μέτρησης και έχει αριθμητικό χαρακτήρα με τιμές από 0 έως 90. Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες.
Διεύθυνση στρώματος (φορά μέγιστης κλίσης): (direction)	Αναφέρεται στη διεύθυνση του σημείου μέτρησης και έχει αριθμητικό χαρακτήρα με τιμές από 0 έως 359. Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες.
Λιθολογία: (lithology)	Αναφέρεται στο σχηματισμό στο οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Σχετίζεται με το θεματικό επίπεδο γεωλογίας. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα.
Ημερομηνία μέτρησης: (date)	Καταγράφεται η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Έχει χαρακτήρα ημερομηνίας. Γενικά οι βάσεις δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης μιας ημερομηνίας. Η μορφή που επιλέχθηκε είναι YYYY/MM/DD (Y = year, M= month, D= date). Σε περίπτωση που παρουσιαστεί ασυμβατότητα, στην μεταφορά δεδομένων, είναι αρκετά εύκολη η μετατροπή από μία μορφή απεικόνισης ημερομηνίας σε μία άλλη.

Συντεταγμένες σημείου: (coords)	Κατά την εισαγωγή των συντεταγμένων ενός σημείου στο ΓΣΠ, αυτά δεν είναι άμεσα ορατά από το χρήστη, αλλά εμπεριέχονται πάντα σε ένα πίνακα, όντας μη ορατά. Εισάγονται οι συντεταγμένες x, y, z με x την τετμημένη, y τεταγμένη και z το υψόμετρο. Οι συντεταγμένες δίνονται σε ΕΓΣΑ και οι μονάδες είναι σε μέτρα.
Ακρίβεια μέτρησης: (r)	Δίνεται η ακρίβεια της μέτρησης που λαμβάνεται από το GPS. Έχει χαρακτήρα αλφαριθμητικό. Επειδή η ακρίβεια δίνεται στη μορφή +/-, εισάγεται η απόλυτη τιμή της ακρίβειας.

#### 2.4.1.9 Μετρήσεις τεκτονικής

Οι μετρήσεις τεκτονικής δεν έχουν μεγάλες διαφορές από τις αντίστοιχες μετρήσεις των στρωμάτων, που στην ουσία έχουν τον ίδιο χαρακτήρα. Η διαφορά τους έγκειται στα πεδία που απαιτούνται για να περιγραφούν αυτές.

#### **Πίνακας 7: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου τεκτονικών μετρήσεων.**

Κωδικός σημείου στρώσης: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το σημείο. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Κωδικός σημείου: (nid)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το σημείο με βάση την ημερομηνία μέτρησης. Αντιστοιχεί στον κωδικό που καταγράφεται στο σημειωματάριο υπαίθρου.
Κλίση ρήγματος: (dip)	Αναφέρεται στη διεύθυνση του σημείου μέτρησης και έχει αριθμητικό χαρακτήρα με τιμές από 0 έως 359. Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες.

Διεύθυνση ρήγματος (φορά μέγιστης κλίσης): (direction)	Αναφέρεται στη διεύθυνση του σημείου μέτρησης και έχει αριθμητικό χαρακτήρα με τιμές από 0 έως 359. Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες.
Λιθολογία: (lithology)	Αναφέρεται στο σχηματισμό στον οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Σχετίζεται με το θεματικό επίπεδο γεωλογίας. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα.
Ημερομηνία μέτρησης: (date)	Καταγράφεται η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Έχει χαρακτήρα ημερομηνίας. Γενικά οι βάσεις δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης μιας ημερομηνίας. Η μορφή που επιλέχθηκε είναι ΥΥΥΥ/ΜΜ/ΔΔ (Υ = year, Μ= month, Δ= date). Σε περίπτωση που παρουσιαστεί ασυμβατότητα, στην μεταφορά δεδομένων, είναι αρκετά εύκολη η μετατροπή από μία μορφή απεικόνισης ημερομηνίας σε μία άλλη.
Συντεταγμένες σημείου: (coords)	Κατά την εισαγωγή των συντεταγμένων ενός σημείου στο ΓΣΠ, αυτά δεν είναι άμεσα ορατά από το χρήστη, αλλά εμπεριέχονται πάντα σε ένα πίνακα, όντας μη ορατά. Εισάγονται οι συντεταγμένες x, y, z με x την τετμημένη, y τεταγμένη και z το υψόμετρο. Οι συντεταγμένες δίνονται σε ΕΓΣΑ και είναι σε μέτρα.
Ακρίβεια μέτρησης: (r)	Δίνεται η ακρίβεια της μέτρησης που λαμβάνεται από το GPS. Έχει χαρακτήρα αλφαριθμητικό. Επειδή η ακρίβεια δίνεται στη μορφή +/-, εισάγεται η απόλυτη τιμή της ακρίβειας.

Κλίση γραμμών ολίσθησης: (slip)	Αφορά τη μέτρηση των γραμμών ολίσθησης πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης, έχει αριθμητικό χαρακτήρα και οι τιμές δίνονται σε μοίρες.
------------------------------------	--

#### 2.4.1.10 Άλλες μετρήσεις

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες, κατά την εργασία στην ύπαιθρο υπάρχουν σημεία, θέσεις οι οποίες δεν σχετίζονται άμεσα με τα παραπάνω θεματικά στοιχεία, που ήδη αναφέραμε, αλλά γίνονται σε αυτές, σημαντικές παρατηρήσεις, λαμβάνονται φωτογραφίες, σχεδιάζονται σκαριφήματα τομών κ.α. Για όλες τις θέσεις παρατήρησης θεωρήθηκε απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα ξεχωριστό θεματικό επίπεδο.

#### Πίνακας 8: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου παρατηρήσεων.

Κωδικός σημείου: (id)	Πρόκειται για το μοναδικό αριθμό που λαμβάνει το σημείο. Είναι αριθμητικό δεδομένο, ακέραιο.
Ημερομηνία: (date)	Καταγράφεται η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Έχει χαρακτήρα ημερομηνίας. Η μορφή που επιλέχθηκε είναι ΥΥΥΥ/ΜΜ/ΔΔ (Υ = year, Μ = month, Δ = date).
Φωτογραφία: (photo)	Αποτελεί ένα πεδίο BLOB, πεδίο που εμπεριέχει ένα τύπο αρχείου διαφορετικό από του βασικούς, στην ουσία ένα άλλο αρχείο που μπορεί να είναι κείμενο, εικόνα βίντεο ή οποιοδήποτε άλλο αρχείο.
Διεύθυνση λήψης: (direction)	Καταγράφεται η διεύθυνση που λήφθηκε η φωτογραφία. Έχει αριθμητικό χαρακτήρα και μετράται σε μοίρες.

Παρατηρήσεις: (notes)	Σημειώνονται όλες οι παρατηρήσεις που έγιναν στη θέση αυτή. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα και συνδέεται με τα θεματικά πεδία της γεωλογίας, τεκτονικής, στρωματογραφίας
Συντεταγμένες σημείου: (coords)	Κατά την εισαγωγή των συντεταγμένων ενός σημείου στο ΓΣΠ, αυτά δεν είναι άμεσα ορατά από το χρήστη, αλλά εμπεριέχονται πάντα σε ένα πίνακα, όντας μη ορατά. Εισάγονται οι συντεταγμένες x, y, z με x την τετμημένη, y τεταγμένη και z το υψόμετρο. Οι συντεταγμένες δίνονται σε ΕΓΣΑ και είναι σε μέτρα.
Ακρίβεια μέτρησης: (r)	Δίνεται η ακρίβεια της μέτρησης που λαμβάνεται από το GPS. Έχει χαρακτήρα αλφαριθμητικό. Επειδή η ακρίβεια δίνεται στη μορφή +/-, εισάγεται η απόλυτη τιμή της ακρίβειας.

Όλες οι παραπάνω θεματικές ενότητες που δημιουργήθηκαν, για να μπορέσουν να αποτελέσουν μία βάση δεδομένων με συνέχεια και να είναι εύκολη η λήψη και επεξεργασία των στοιχείων που καταχωρούνται, καταχωρήθηκαν σε μία γεωβάση δεδομένων με μορφή αρχείου (file geodatabase). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μορφής αποθήκευσης είναι ότι πρακτικά δεν υπάρχει περιορισμός στον όγκο των δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν.



## 2.5 ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ - ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στην σημερινή εποχή, οι δυνατότητες που παρέχονται σε όσους πραγματοποιούν μετρήσεις στην ύπαιθρο, είναι πολύ περισσότερες από αυτές που υπήρχαν πριν από 20 -30 χρόνια. Η τεχνολογική εξέλιξη στα συστήματα μετρήσεων αλλά και η πτώση του κόστους τους, καθιστούν ελκυστικές νέες μεθόδους, που όχι μόνο είναι γρηγορότερες σε χρόνο μέτρησης και επεξεργασίας αλλά και ακριβέστερες, δίνοντας μας τη δυνατότητα να μετράμε και να επεξεργαζόμαστε τα στοιχεία ακόμα και σε πραγματικό χρόνο, στην ύπαιθρο.

Με αυτές τις νέες τεχνικές, η έρευνα στη γεωλογία αλλά και στις συναφείς επιστήμες γίνεται με σημαντικά γρηγορότερους ρυθμούς χωρίς να υπάρχει έκπτωση στην ποιότητα του αποτελέσματος. Σήμερα, είναι ιδιαίτερα εύκολο να έχουμε κατά την παραμονή μας στην ύπαιθρο ένα φορητό υπολογιστή μικρών διαστάσεων, στον οποίον συνδέουμε το GPS χειρός, καταγράφοντας αυτόματα τις μετρήσεις μας. Παράλληλα γίνεται η επεξεργασία και είμαστε σε θέση να κατευθύνουμε την έρευνα μας ανάλογα με τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε επί τόπου. Στην ουσία, με τον τεράστιο χώρο μνήμης και την επεξεργαστική ισχύ που διαθέτουν σήμερα οι φορητοί υπολογιστές, μεταφέρουμε το γραφείο μας στην ύπαιθρο, κάτι που πριν από 30 χρόνια ήταν αδύνατο.

Ανεξάρτητα με τα παραπάνω όμως, οι κλασικές μέθοδοι μετρήσεων δεν παύουν να είναι χρήσιμες, ιδιαίτερα σε περιόδους εκτεταμένης παραμονής στην ύπαιθρο, όπου οι πηγές ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανύπαρκτες, όπως επίσης όταν συναντάμε άσχημες καιρικές συνθήκες, όπου οι ηλεκτρονικές συσκευές, βρίσκονται εκτός ορίων λειτουργίας τους.

Για τον Ελλαδικό χώρο, αλλά ιδιαίτερα για τη περιοχής μελέτης της παρούσας διατριβής, οι συνθήκες χρήσης ηλεκτρονικών συσκευών μέτρησης και καταγραφής, πριν ελαχίστων εξαιρέσεων, ήταν σχεδόν ιδανικές, επιτρέποντας να γίνουν αρκετές μετρήσεις και χρήση όλων των νέων τεχνολογιών.

Για το σκοπό της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν εκτός των κλασικών τυπωμένων χαρτών, ηλεκτρονικοί χάρτες από υπολογιστή που είχε προσαρμοστεί GPS. Με τον

τρόπο αυτό, ήταν δυνατή η καταγραφή των μετρήσεων επί τόπου και η εκτέλεση ορισμένων πρώιμων υπολογισμών που σε αρκετές περιπτώσεις κατεύθυναν την έρευνα στην ύπαιθρο.

Χρησιμοποιήθηκε εκτός των άλλων για συγκεκριμένες μετρήσεις, γεωδαιτικός σταθμός GPS διπλής συχνότητας (Sokkia GRX-1) με οριζόντια ακρίβεια 2 – 5 εκατοστών, ικανό να πραγματοποιήσει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. (Universities NAVSTAR 1998, Norabuena, et al. 1998). Λόγω του υψηλού κόστους της χρήσης του παραπάνω οργάνου, δεν ήταν δυνατή η συνεχής μέτρηση ορισμένων σημείων που θα μπορούσε να δώσει κάποια ασφαλή συμπεράσματα. Έτσι, για τις περισσότερες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε απλό GPS χειρός (Magellan), οριζόντιας ακρίβειας 3 μέτρων, ακρίβειας ικανοποιητικής για τις συνήθεις γεωλογικές μετρήσεις. Για την περαιτέρω μελέτη των σχετικών κινήσεων, εγκαταστάθηκε ένα μικρό δίκτυο σταθερών σημείων όπου μπορούν να γίνουν συγκριτικές μετρήσεις στο μέλλον.

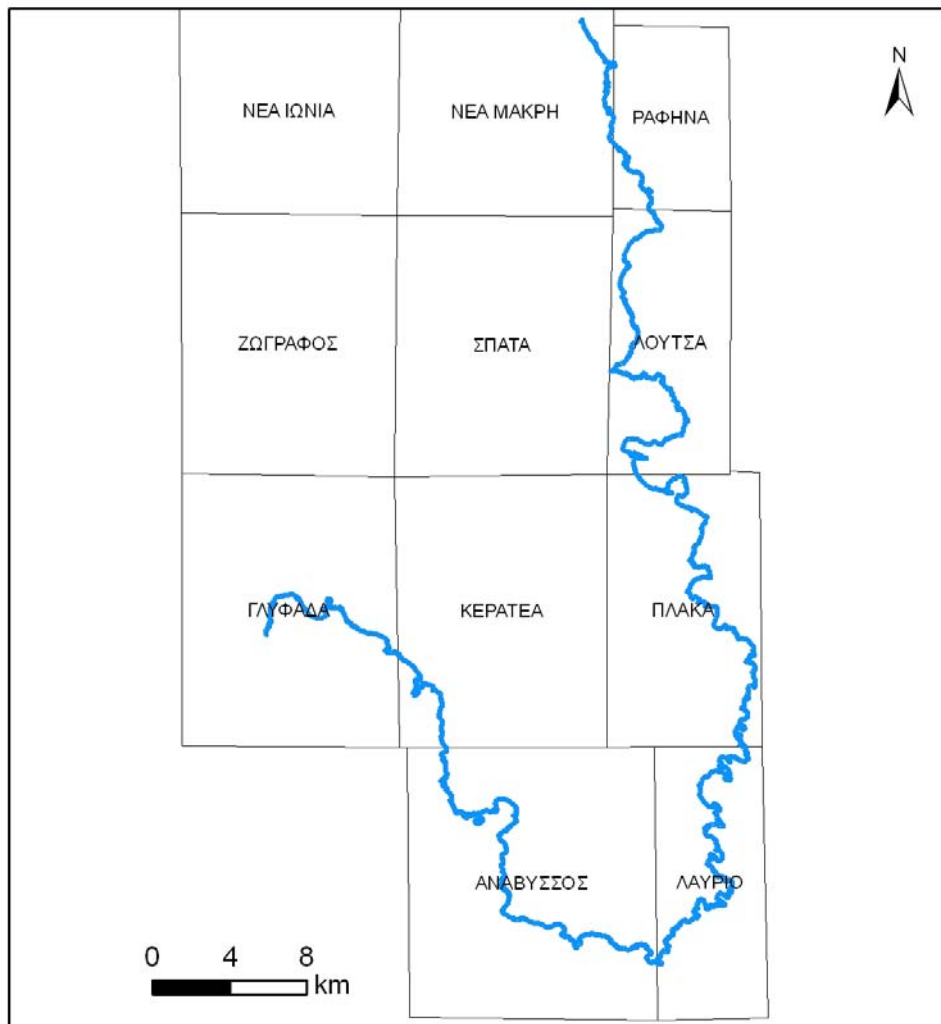
## 2.6 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.6.1 Τοπογραφικό υπόβαθρο

Με βάση το σχεδιασμό που περιγράφηκε, δημιουργήθηκε μια αρχειακή βάση δεδομένων για την περιοχή της Ανατολικής Αττικής. Έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα ψηφιακά δεδομένα όπως και η ψηφιοποίηση των αναλογικών δεδομένων. Επίσης, έγινε συμπλήρωση και διόρθωση των υπαρχόντων δεδομένων, με νέα στοιχεία που προέκυψαν από την εργασία υπαίθρου. Στην συνέχεια παραθέτουμε τα πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων.

Ως τοπογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες σε κλίμακα 1:25.000, έκδοσης της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και συγκεκριμένα τα φύλλα:

- Φύλλο Ανάβυσσος
- Φύλλο Γλυφάδα
- Φύλλο Ζωγράφος
- Φύλλο Κερατέα
- Φύλλο Λαύριο
- Φύλλο Λούτσα
- Φύλλο Νέα Ιωνία
- Φύλλο Νέα Μάκρη
- Φύλλο Πλάκα
- Φύλλο Ραφήνα
- Φύλλο Σπάτα



**Εικόνα 4: Κάνναβος διανομής τοπογραφικών χαρτών 1:25.000 ΓΥΣ**

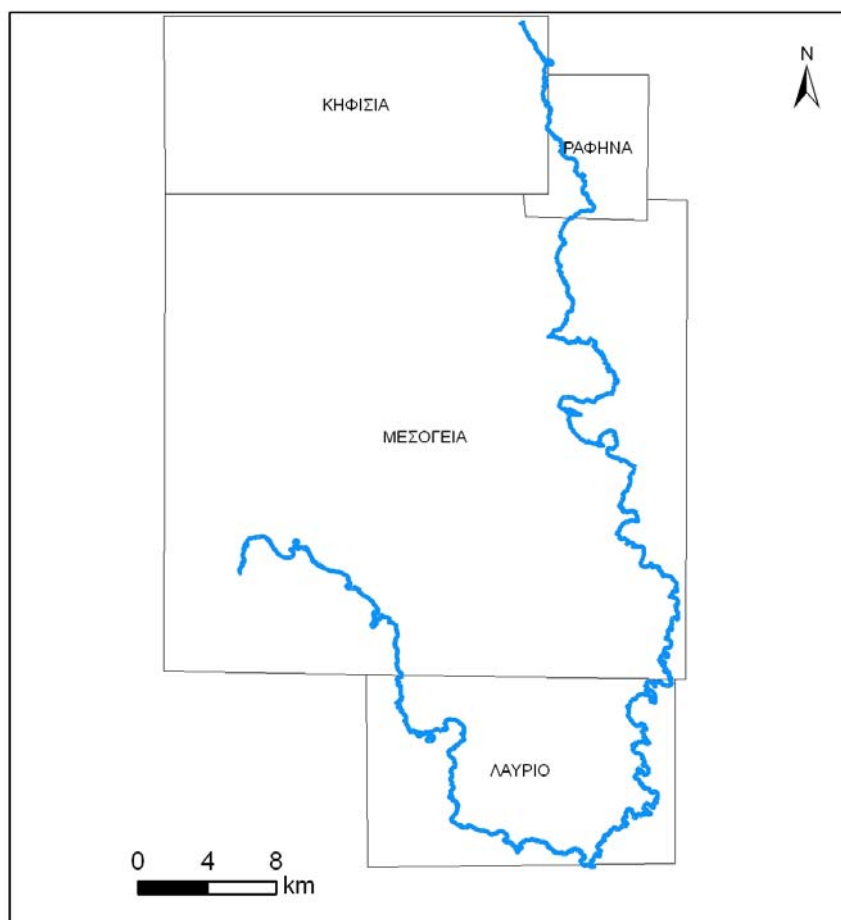
Οι παραπάνω τοπογραφικοί χάρτες έχουν ισοδιάσταση 10m και σε ορισμένες, κυρίως επίπεδες περιοχές, υπάρχουν βοηθητικές ισοϋψείς των 5m. Έγινε η ψηφιοποίηση όλων των ισοϋψών και όλων των τοπογραφικών σημείων (κορυφές βουνών κ.α.) που υπήρχαν στους χάρτες για την συμπλήρωση του τοπογραφικού τμήματος της γεωβάσης.

### 2.6.2 Γεωλογικό υπόβαθρο

Το τμήμα της γεωβάσης που αφορά τη γεωλογική πληροφορία παρουσίασε πολυπλοκότητα, λόγω των πολλών πηγών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες του

Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), κλίμακας 1:50.000 και συγκεκριμένα:

- Φύλλο Κορωπίον – Πλάκα
- Φύλλο Κηφισιά
- Φύλλο Λαύριο



**Εικόνα 5: Κάναβος διανομής γεωλογικών χαρτών 1:50.000 ΙΓΜΕ.**

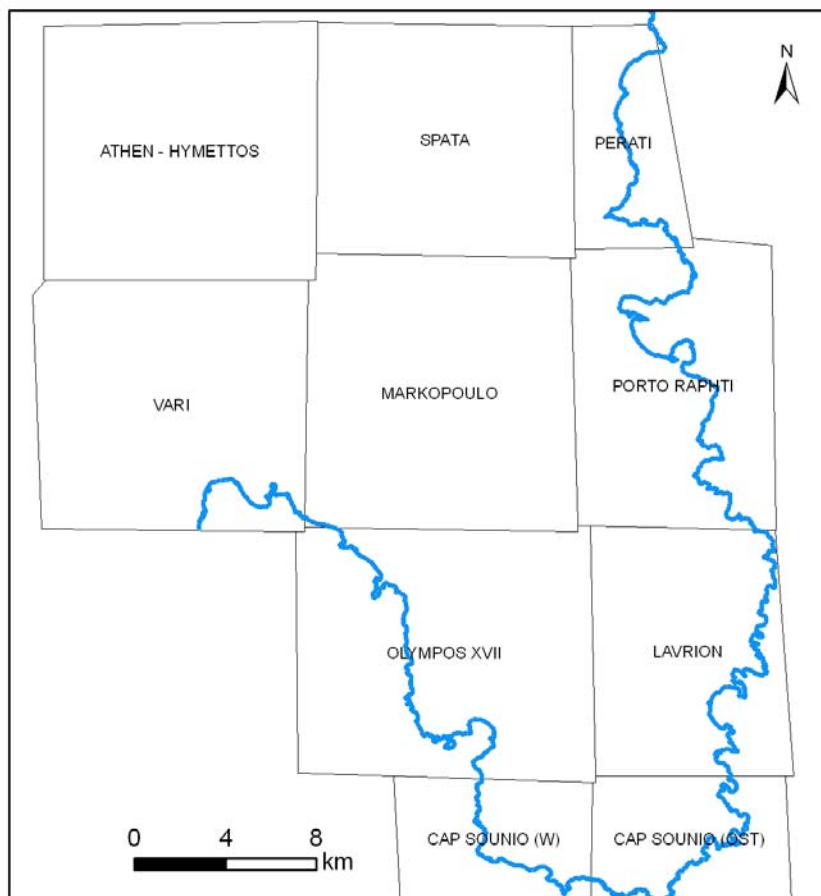
Επειδή οι παραπάνω γεωλογικοί χάρτες είχαν διαφορετικό τοπογραφικό υπόβαθρο από τους τοπογραφικούς χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση, κρίθηκε αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν και οι αντίστοιχοι των γεωλογικών τοπογραφικοί έτσι ώστε, να διορθωθούν με βάση τους νεότερους και μεγαλύτερης κλίμακας τοπογραφικούς 1:25.000. Στο επίπεδο της βάσης που αναφέρεται η τοπογραφία, προστέθηκαν οι παλαιότεροι τοπογραφικοί χάρτες με ψηφιοποίηση

των ορίων τους και των ισοϋψών ανά 100m. Στη συνέχεια, έγινε η διόρθωση με βάση τους νεότερους τοπογραφικούς, έτσι ώστε τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών και οι τεκτονική να έχουν τις σωστές συντεταγμένες.

### **2.6.3 Ιστορικοί χάρτες και προβλήματα**

Το βασικό υπόβαθρο που επιλέχθηκε για τη γεωλογική χαρτογράφηση, ήταν οι χάρτες του R. Lepsius (1893), κλίμακας 1:25.000, με τοπογραφικό υπόβαθρο τους τοπογραφικούς χάρτες που εξέδωσε ο J.A. Kaupert (1887) και περιλαμβάνουν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω φύλλα γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών:

- Φύλλο Athen – Hymettos
- Φύλλο Cap Sounion (ost)
- Φύλλο Cap Sounion (west)
- Φύλλο Laurion
- Φύλλο Markopulo
- Φύλλο Olympos
- Φύλλο Perati
- Φύλλο Porto Raphiti
- Φύλλο Spata
- Φύλλο Vari



**Εικόνα 6: Κάναβος διανομής τοπογραφικών χαρτών 1:25.000 υπό Kaupert.**

Οι παραπάνω τοπογραφικοί χάρτες των Kaupert και Lepsius, αποτελούν ιστορικούς χάρτες. Στους ιστορικούς χάρτες, η μερική έως πλήρης έλλειψη γεωγραφικού πλέγματος (μεσημβρινών και παράλληλων), η λανθασμένη τοποθέτηση του, αλλά και οι περιορισμένες έως ανύπαρκτες πληροφορίες σχετικά με το προβολικό υπόβαθρο της απεικόνισης, αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα που δυσκολεύει τη συγκριτική διαδικασία μελέτης τους σε σχέση με τους σημερινούς χάρτες που απεικονίζουν την ίδια γεωγραφική περιοχή (Νάκος 2006). Την εποχή που δημιουργήθηκαν οι χάρτες, ιδιαίτερα μετά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, είχαν σημαντική ακρίβεια για τα τότε δεδομένα, αλλά δεν έπαυαν να είναι τόσο επιστήμη όσο και τέχνη, αφήνοντας στο χαρτογράφο ένα μικρό περιθώριο «καλλιτεχνικής» απεικόνισης του ανάγλυφου (Rumsey and Williams 2002).

Αν ξεχάσουμε για λίγο τις παραπάνω ελλείψεις, το σημαντικότερο πρόβλημα στη επικαιροποίηση τέτοιων χαρτών είναι τα μη συστηματικά σφάλματα: σε αεροφωτογραφίες, δορυφορικά δεδομένα και άλλα προϊόντα που χρησιμοποιούμε στη χαρτογραφία, υπάρχουν συστηματικά λάθη που είναι γνωστά, όπως αποκλίσεις στα άκρα, παραμορφώσεις από την ατμόσφαιρα κ.α. Με τους αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί και την εφαρμογή τους πάνω στα δεδομένα, μπορούμε να γεωαναφέρουμε με μεγάλη ακρίβεια χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι ιστορικοί χάρτες, εκτός από τα συστηματικά λάθη που είναι αρκετά δύσκολο να βρεθούν και να διορθωθούν ελλείψει πληροφοριών, υπάρχουν και τα μη συστηματικά που δυσκολεύουν ακόμα περισσότερο την επεξεργασία αυτών.

Στο συγκεκριμένο σετ χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για τη διατριβή, διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν μεγάλα σφάλματα στην αποτύπωση των πεδινών περιοχών και στη μορφολογία της ακτογραμμής, ενώ τα σχετικά σφάλματα ήταν πολύ μικρότερα σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές. Όσο αφορά την ακτογραμμή και γενικά την περιοχή κοντά στα παράλια της Αττικής, το σφάλμα ίσως είναι μικρότερο από το παρατηρούμενο, λόγω της σημαντικής ανθρώπινης επέμβασης τα τελευταία 100 χρόνια στην περιοχή.

Λόγω των παραπάνω προβλημάτων αλλά και επειδή οι χάρτες αυτοί είναι αρκετά σημαντικοί για την μελέτη των γεωμορφών, επειδή απεικονίζουν μία Αττική χωρίς τις σημερινές ανθρώπινες παρεμβάσεις, τόσο στην παράκτια όσο και στην υπόλοιπη περιοχή, θεωρήσαμε ότι έπρεπε να αναπτυχθεί μια μέθοδος διόρθωσης η οποία, θα δώσει μια σχετικά καλή ακρίβεια, απαραίτητη για συγκρίσεις.

Έτσι δημιουργήθηκε ένας μη ορθοκανονικός κানাβος, με τον οποίο χωρίστηκε η περιοχή σε πεδινές, ορεινές και παράκτιες περιοχές. Κύριος σκοπός ήταν η γεωαναφορά των περιοχών που παρουσιάζουν το μικρότερο σφάλμα και στη συνέχεια η διόρθωση των αποστάσεων και της μορφολογίας των περιοχών που έχουν σημαντικές αποκλίσεις. Σημειώθηκαν όλα τα σημειακά στοιχεία που θα μπορούσαμε να αναγνωρίσουμε και στους σημερινούς χάρτες που δεν έχουν αλλάξει από τότε, όπως διασταυρώσεις δρόμων, κέντρα οικισμών, νεκροταφεία, εκκλησίες, μοναστήρια κ.λπ. Σε αυτά δόθηκαν οι σημερινές συντεταγμένες. Στη συνέχεια έγινε



γεωαναφορά στα τμήματα του χάρτη που είχαν εντονότερο ανάγλυφο και παρουσίαζαν μεγαλύτερη ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας τα γεωαναφερόμενα τμήματα του χάρτη και τα σημεία με γνωστές συντεταγμένες, έγινε η γεωαναφορά των τμημάτων του χάρτη που παρουσίαζαν μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στην πεδινή περιοχή των Σπάτων, το εμβαδό της πεδιάδας είχε απόκλιση 20% από την πραγματικότητα. Είναι μικρό σχετικό σφάλμα, αν υπολογίσουμε την τότε τοπογραφική ακρίβεια στη μέτρηση, αλλά δεν παύει να αποτελεί πρόβλημα στη σημερινή πραγματικότητα.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας, μας έδωσε ένα νέο χάρτη, απαλλαγμένο από τα περισσότερα σφάλματα, με ικανοποιητική ακρίβεια για την εργασία, με τμήματα που δεν είχαν σημαντικές αλλαγές όπως και άλλα που παρουσίαζαν σημαντική στρέβλωση για να μπορέσουν για παράδειγμα να «χωρέσουν» ανάμεσα σε δύο σωστά περιγεγραμμένα τμήματα. Με αυτή τη διαδικασία έγινε η γεωαναφορά των τοπογραφικών χαρτών, έτσι ώστε τα παρατηρούμενα στοιχεία να έχουν τις σωστές συντεταγμένες. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τα αντίστοιχα φύλλα γεωλογικών χαρτών, μιας και διαπιστώθηκε ότι αν και οι γεωλογικοί χάρτες είχαν ως υπόβαθρο τους τοπογραφικούς του Kaupert (1887), σε αρκετά σημεία δεν συνέπιπταν, πιθανά λόγω της αντιγραφής που γινόταν με το χέρι ή προβλημάτων κατά την εκτύπωση.

#### **2.6.4 Τηλεσκοπικά δεδομένα**

Αν και η τηλεπισκόπηση, δηλαδή η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση, αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ανθρώπινης οντότητας και αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται ανέκαθεν από τον άνθρωπο, για τις επιστήμες απέκτησε σημασία όταν αναπτύχθηκαν οι κατάλληλες μέθοδοι που μας έδιναν την δυνατότητα να εξάγουμε ασφαλή επιστημονικά συμπεράσματα εκ του μακρόθεν. Ο όρος τηλεπισκόπηση (remote sensing) είναι η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη ή σε άλλη πλανητική επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα και δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα (Μιγκίρος, et al. 2003). Η χρήση τηλεσκοπικών δεδομένων σε επιστημονικές εφαρμογές, άρχισε περί το 1950 και έκτοτε αποτελεί ένα

σημαντικό εργαλείο, ιδιαίτερα στις γεωεπιστήμες. Τα πρώτα τηλεσκοπικά δεδομένα προήλθαν από αεροφωτογραφίες, αλλά σήμερα εκτός αυτών, λαμβάνονται σημαντικές πληροφορίες από δορυφορικές εικόνες, όπου χρησιμοποιούνται ειδικοί αισθητήρες που καταγράφουν εκτός από το ορατό φως, πλήθος άλλων συχνοτήτων ανάλογα με το σκοπό της λήψης.

#### 2.6.4.1 Αεροφωτογραφίες – ορθοφωτοχάρτες

Για την παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:33.000 (1992) της Γ.Υ.Σ., με βάση τις οποίες δημιουργήθηκαν οι χάρτες 1:25.000 του βασικού τοπογραφικού θέματος. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμοι ορθοφωτοχάρτες του 1997 (κλίμακας 1:33.000), για μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα από τους αντίστοιχους ασπρόμαυρους.

Για τη δημιουργία ορθοφωτοχαρτών από τις αεροφωτογραφίες είναι απαραίτητη η διόρθωση των σφαλμάτων μετατόπισης των σημείων που εμφανίζονται εξαιτίας του ανάγλυφου και επομένως η αεροφωτογραφία να μετατραπεί από κεντρική προβολή σε ορθή. Επίσης οι αεροφωτογραφίες θα πρέπει να προβληθούν στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που έχουν τα υπόλοιπα στοιχεία του ΓΣΠ έτσι ώστε να είναι συμβατά και να συμπίπτουν. Ο μετασχηματισμός γίνεται με τη βοήθεια των ελαχίστων τετραγώνων.

Αποτέλεσμα των παραπάνω διορθώσεων είναι η μετατροπή της αεροφωτογραφίας σε χάρτη, δηλαδή ορθοφωτοχάρτη. Ο χάρτης αυτός πλεονεκτεί σε σχέση με τον συμβατικό διότι απεικονίζει τις πιο πρόσφατες επιπεδομετρικές λεπτομέρειες του ανάγλυφου και στο φυσικό τους μέγεθος, ενώ δεν είναι απαραίτητη η χρήση συμβολισμών. Η σύνθεση των ορθοφωτοχαρτών δημιουργεί ένα μωσαϊκό εικόνων που καλύπτει το σύνολο της περιοχής μελέτης και είναι δυνατή η μέτρηση αποστάσεων, γωνιών και εμβαδών.

#### 2.6.4.2 Δορυφορικές εικόνες

Η χρήση δορυφορικών εικόνων σε γεωλογικές εφαρμογές ξεκίνησε με την πρώτη εκτόξευση του LANDSAT – 1 το 1972. Από τότε και μέχρι σήμερα έχουν τεθεί σε

τροχιά αρκετοί δορυφόροι τόσο από τη NASA όσο και από άλλους διαστημικούς οργανισμούς, με σκοπό την διερεύνηση και ανάλυση επιφανειακών δεδομένων.

Τα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας, όπως η περίοδος επαναφοράς πάνω από το ίδιο σημείο, το εύρος κάλυψης, η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά όμως, είναι η διακριτική ικανότητα (resolution) δηλαδή το τι μεγέθους αντικείμενα είναι σε θέση να διακριθούν από μία δορυφορική εικόνα. Οι μορφές διακριτικής ικανότητας είναι οι παρακάτω:

**Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial resolution):** Είναι η μικρότερη απόσταση δυο αντικειμένων στο έδαφος που μπορούν να διακριθούν το ένα από το άλλο, όπως για παράδειγμα δέντρα σε μία συστάδα. Όσο μεγαλώνει η διακριτική ικανότητα, τόσο μεγαλύτερη η ικανότητα παρατήρησης και διαχωρισμού των στοιχείων. Η χωρική διακριτική ικανότητα ξεκίνησε από τα 80m και στους τελευταίους δορυφόρους έχει κατέβει στα 0.49m (δορυφόρος Quickbird). Στον παρακάτω πίνακα δίδονται οι χωρικές διακριτικές ικανότητες των δορυφόρων που υπάρχουν σήμερα.

**Πίνακας 9: Χωρική διακριτική ικανότητα (ανάλυση) για τους υπάρχοντες δορυφόρους.**

<b>Δορυφόροι υψηλής διακριτικής ικανότητας (0.6 - 4m)</b>	<b>Δορυφόροι μεσαίας διακριτικής ικανότητας (4 - 30m)</b>
GeoEye - 1	ASTER
WorldView - 2	LANDSAT - 7
WorldView - 1	CBERS - 2
QuickBird	
IKONOS	
FORMOSAT - 2	
ALOS	
CARTOSAT - 1	
SPOT - 5	

**Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution):** Είναι η ικανότητα του αισθητήρα να λαμβάνει όσο το μεγαλύτερο εύρος φάσματος μπορεί. Κάθε δορυφορικό σύστημα έχει ένα μέγιστο αριθμό ξεχωριστών περιοχών που μπορεί να καταγράψει. Παράδειγμα αναφέρουμε τον Landsat – 7 που μπορεί να καταγράψει σε 7 κανάλια. Ειδικά το τελευταίο κανάλι 7 (2.08 – 2.35  $\mu\text{m}$ ) βοηθά στη διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών και τον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης σε ηφαιστειακά πετρώματα, ενώ το κανάλι 6 (10.4 – 12.4  $\mu\text{m}$ ) ονομάζεται θερμικό γιατί καταγράφει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από διάφορες επιφάνειες.

**Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα:** Καθορίζεται από τον αριθμό των αποχρώσεων του γκρι που μπορεί να απεικονίσει ο αισθητήρας. Οι τιμές τους ξεκινούν από 64 τόνους στα πρώτα συστήματα μέχρι 2048 στα πιο πρόσφατα.

**Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution):** Είναι η συχνότητα λήψης εικόνων στο ίδιο σημείο. Έτσι μπορεί να καθοριστεί ο ρυθμός παρακολούθησης ενός φαινομένου όταν αυτό εξελίσσεται μέσα σε μερικές μέρες ή εβδομάδες. Στην περίπτωση των γεωλογικών φαινομένων, τέτοια θα ήταν φαινόμενα ερπυσμού ή κατολισθήσεις.

Για την παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες από το δορυφόρο LANDSAT – 7, χρονολογίας 2003. Η χρήση τους ήταν επικουρική για την συμπλήρωση γεωλογικών και τεκτονικών δεδομένων από τις υπόλοιπες πηγές όπως και τον εντοπισμό τυχόν διαφυγών υποθαλάσσιου ύδατος και τη βοήθεια εντοπισμού μεγάλων καρστικών δομών (Parcharidis, Psomiadis and Stamatis 1998).

Οι δορυφορικές εικόνες αυτού του τύπου λαμβάνονται από υψόμετρο 700 περίπου χιλιομέτρων. Κάθε εικόνα έχει διαστάσεις 183 X 170km, περιλαμβάνοντας ένα παγχρωματικό κανάλι διακριτικής ικανότητας 15m και επτά κανάλια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Το παγχρωματικό κανάλι καταγράφει σε εύρος 0.52 – 0.9 $\mu\text{m}$ , δίνοντας βελτιωμένο λόγο σήματος προς θόρυβο. Τα κανάλια 1,2 και 3 καταγράφουν στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ τα 4,5 και 7 στην κοντινή και μέση υπέρυθρη περιοχή. Η χωρική διακριτική ικανότητα των έξι καναλιών είναι τα 30m. Το κανάλι 6 λέγεται θερμικό και έχει διακριτική ικανότητα 60m.

Τα αρχικά δεδομένα των δορυφορικών εικόνων, για να μπορούν να είναι επεξεργάσιμα και να δώσουν ασφαλείς πληροφορίες, απαιτούν μία σειρά διορθώσεων και βελτιώσεων. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τις διαστημικές υπηρεσίες που τηρούν τις βάσεις δεδομένων των δορυφορικών εικόνων, είναι σε πρωτογενή μορφή και αυτό γίνεται για να μη χαθεί η αρχική πληροφορία. Έτσι ο κάθε ερευνητής μπορεί να επέμβει στην εικόνα, κάνοντας τις διορθώσεις που θεωρεί ότι είναι απαραίτητες για τη σωστή απεικόνιση των στοιχείων. Παρακάτω παρατίθενται μία σειρά συνήθων βασικών διορθώσεων που γίνονται πριν τη τελική επεξεργασία των εικόνων, μέρος των οποίων γίνεται τόσο για τις δορυφορικές όσο και για τις αεροφωτογραφίες:

**Ατμοσφαιρική διόρθωση:** Οι δορυφορικές εικόνες, καταγράφουν το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται στην επιφάνεια της γης. Αυτού του είδους οι δέκτες ονομάζονται παθητικοί. Υπάρχουν όμως και οι ενεργητικοί δέκτες που εκπέμπουν ακτινοβολία και καταγράφουν την επιστροφή, όπως είναι οι δορυφόροι RADAR. Ανεξάρτητα με τον τύπο του δέκτη, τα ατμοσφαιρικά στρώματα που παρεμβάλουν μεταξύ δορυφόρου και επιφάνειας της γης, αλλοιώνουν σε ένα μικρό ή μεγάλο βαθμό τη λήψη. Στην ουσία για κάθε καταγραφή σήματος υπάρχουν δύο τιμές: η τιμή της ανάκλασης από την επιφάνεια της γης και η διαθλώμενη τιμή από τα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Η επίδραση αυτή εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες τη στιγμή της λήψης. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητη κάποια μορφής διόρθωσης η οποία θεωρητικά θα έπρεπε να εφαρμόζεται σε κάθε ψηφίδα της εικόνας ξεχωριστά. Στην πράξη, η διόρθωση που γίνεται αφορά όλο το κανάλι ή μέρος του ανάλογα με την κάλυψη που θέλουμε να μελετήσουμε. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πλήθος αλγορίθμων με σκοπό την ατμοσφαιρική διόρθωση, χωρίς να δίνουν πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα.

**Γεωμετρική διόρθωση:** Όπως συμβαίνει και στις αεροφωτογραφίες, έτσι και στις δορυφορικές εικόνες είναι απαραίτητη η διόρθωση της γεωμετρίας τους. Τα σφάλματα στη γεωμετρία είναι συστηματικά και μη. Τα συστηματικά διορθώνονται με κατάλληλα λογισμικά, γνωρίζοντας τα στοιχεία πτήσης και λήψης της εικόνας, ενώ τα μη συστηματικά απαιτούν σημεία ελέγχου στο έδαφος. Τα σημεία ελέγχου

είναι σημεία με γνωστές συντεταγμένες που αναγνωρίζονται στη δορυφορική εικόνα. Πρακτικά, δημιουργούμε ένα κানাβο και λαμβάνουμε τις συντεταγμένες σε εύκολα αναγνωρίσιμα σημεία από την δορυφορική εικόνα, έτσι ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε την γεωμετρική διόρθωση και να φέρουμε την εικόνα στις σωστές συντεταγμένες. Τα συστηματικά λάθη διορθώνονται από τις υπηρεσίες διαστήματος ή τις εταιρείες των χωρών που διαθέτουν τα προϊόντα, ενώ τα μη συστηματικά λάθη διορθώνονται από τον χρήστη. Πρόκειται για μία διαδικασία χρονοβόρα και δύσκολη αλλά απαραίτητη για τη σωστή απεικόνιση των δεδομένων. Όλα τα λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων έχουν εργαλεία διόρθωσης και κατάλληλους αλγόριθμους για αυτές τις διαδικασίες.

**Οπτικές βελτιώσεις:** Σε αυτή την κατηγορία διορθώσεων ανήκουν όλες εκείνες οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η εικόνα να είναι όσο το δυνατό καλύτερα επεξεργασμένη και καθαρή. Οι πιο συνηθισμένες διορθώσεις αφορούν την αντίθεση (contrast) και τη φωτεινότητα (luminosity) της εικόνας (Μιγκίρος, et al. 2003). Αφορά την ανάδειξη των διαφορών μέσα από την αντίθεση των αποχρώσεων και της φωτεινότητας και μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο της εικόνας ή σε επιλεγμένα μέρη αυτής. Το ίδιο ισχύει και στις αεροφωτογραφίες, όπου σε διάφορα σημεία αυτών ή στο σύνολο τους, παρατηρούνται σημαντικές αλλοιώσεις που οφείλονται στις συνθήκες λήψης. Αυτό γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό όταν παραθέσουμε τις παρακείμενες αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν την ίδια ημέρα. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν μεγάλες διαφορές στη φωτεινότητα και στην αντίθεση που δικαιολογούνται μόνο από την αλλαγή των συνθηκών λήψης ή σφάλμα στην ταχύτητα έκθεσης. Έτσι, με τις διορθώσεις που εφαρμόζουμε, επιτυγχάνουμε μία ομαλότητα στην φωτεινότητα και τονικότητα των περιοχών μελέτης.

Η διαδικασία αυτή γίνεται με τη χρήση των ιστογραμμάτων των εικόνων και των καναλιών τους ξεχωριστά. Στόχος είναι η αύξηση του εύρους των τιμών της εικόνας. Η μεθοδολογία επιτρέπει την αντιστροφή έτσι ώστε να μην χαθούν οι αρχικές τιμές.

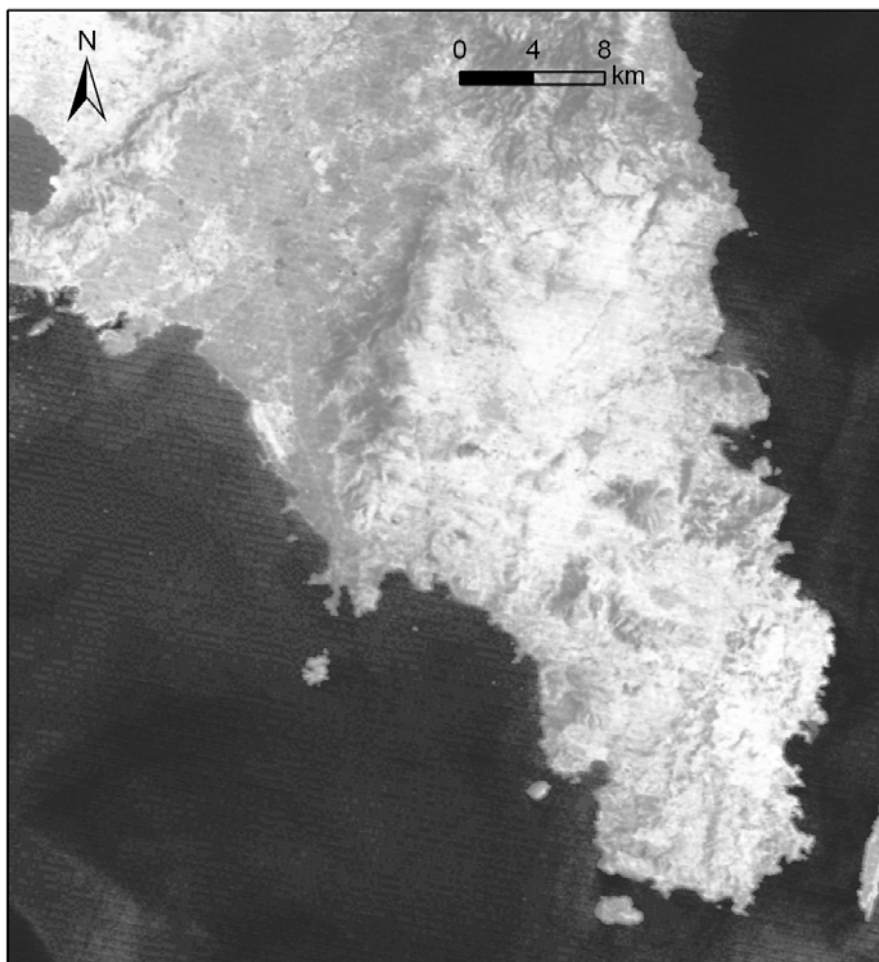
**Λόγοι καναλιών:** Η διόρθωση αυτή αφορά την μείωση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών και έγκειται στην εφαρμογή του λόγου των καναλιών αλλά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Friedman 1980). Οι λόγοι μεταξύ των

καναλιών χρησιμοποιούνται για τη διάκριση πετρωμάτων με σχετικά μεγάλες περιεκτικότητες σε ορισμένα στοιχεία.

Δημιουργείται μία εικόνα βασισμένη στο λόγο 2 προεπιλεγμένων καναλιών. Η επιλογή των λόγων εξαρτάται από το είδος των αντικειμένων που θέλουμε να αναδείξουμε. Έτσι λαμβάνουμε πολυφασματικές εικόνες που αναδεικνύουν τις χρωματικές διαφορές και είναι δύσκολο να ανιχνευθούν από τις αρχικές μονοφασματικές εικόνες. Οι νέες εικόνες προκύπτουν από το συνδυασμό τριών λόγων καναλιών δίνοντας μια ψευδέγχρωμη εικόνα, με σημαντικά περισσότερες γεωλογικές πληροφορίες επειδή δημιουργούνται μεγάλες αντιθέσεις μεταξύ περισσότερων στοιχείων.

Ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής του λόγου καναλιών σε γεωλογικές έρευνες είναι ότι πετρώματα με μεγάλη παρουσία σε οξείδια του σιδήρου δίνουν μεγάλη φωτεινότητα με εφαρμογή του λόγου καναλιών 3/2 σε εικόνες LANDSAT - 7 (Campbell 1996). Για λόγο καναλιών 5/7 τονίζονται περιοχές με υψηλό ποσοστό αργίλου που σχετίζεται με υδροθερμική εξαλλοίωση (Sabins 1997). Επίσης ο λόγος καναλιών 5/4 δίνει έμφαση σε πετρώματα πλούσια σε σίδηρο.

Είναι λοιπόν εμφανές ότι η χρήση των λόγων καναλιών με διάφορους τρόπους είναι ένα εργαλείο στη γεωλογική έρευνα που αξίζει να χρησιμοποιούμε, επειδή με ελάχιστο κόστος και κόπο, μπορεί να μας βοηθήσει και να μας κατευθύνει στην έρευνα πεδίου.



**Εικόνα 7: Δορυφορική Landsat TM εικόνα της περιοχής μελέτης. Στην εικόνα απεικονίζεται το θερμικό κανάλι.**

#### 2.6.4.3 Μωσαϊκά εικόνων και χαρτών

Μετά το πέρας της επεξεργασίας και διόρθωσης των αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, δημιουργήθηκαν ενιαίες εικόνες για κάθε τύπο δεδομένων. Έτσι, οι αεροφωτογραφίες που μετατράπηκαν σε ορθοφωτοχάρτες, αποτέλεσαν δύο ενιαία σύνολα, ένα για κάθε χρονική περίοδο λήψης. Οι δορυφορικές εικόνες, μετά τη χωρική και χρωματική διόρθωση αποτέλεσαν ένα νέο επίπεδο, ενταγμένες στο ίδιο προβολικό σύστημα με τα υπόλοιπα δεδομένα. Οι χάρτες που ψηφιοποιήθηκαν και διορθώθηκαν γεωμετρικά, δημιούργησαν ξεχωριστά επίπεδα πληροφορίας ομαδοποιημένα ανάλογα με την προέλευσή τους.



### 3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ (ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ – ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ)

Οι γεωμορφές που εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης, συνιστούν το ανάγλυφο μιας περιοχής. Τέτοιες είναι οι ορεινοί όγκοι και οι κοιλάδες αλλά και μικρότερες δομές, όπως τα αλλουβιακά ριπίδια, οι κώνοι κορημάτων, οι θίνες κ.α. Η επιφάνεια της γης είναι το σημείο που επιδρούν ταυτόχρονα οι εσωτερικές, τεκτονικές διεργασίες και οι εξωτερικές ατμοσφαιρικές αλλά και εξωγήινες. Η γεωλογία και η τεκτονική μιας περιοχής είναι σημαντικοί παράγοντες γιατί το είδος του ανάγλυφου που εμφανίζεται είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το υπόβαθρο, μιας και σχηματίζεται από αυτό. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η κίνηση του νερού στην επιφάνεια μέσω των ρεμάτων, χημικές και βιοχημικές διεργασίες που συντελούνται στην επιφάνεια και σε μικρό βάθος από αυτή, οι παγετώνες, οι άνεμοι, είναι μερικοί από τους παράγοντες που επιδρούν εξωγενώς, με κύριο αποτέλεσμα την διάβρωση και αποσάθρωση του ανάγλυφου.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες, δρουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό ανάλογα με τη θέση της προς μελέτη περιοχής στο χώρο και στο χρόνο. Για την ίδια περιοχή, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο επικρατούν οι ενδογενείς παράγοντες με αποτέλεσμα την δημιουργία εντονότερου ανάγλυφου, ενώ σε διαφορετική περίοδο, επικρατούν οι εξωγενείς διαβρωτικές και «ισοπεδωτικές» δυνάμεις.

Με τον όρο μορφοτεκτονική (ή τεκτονική γεωμορφολογία) εννοούμε: (1) την μελέτη των γεωμορφών που παράγονται από τεκτονικές διεργασίες ή (2) τη χρήση γεωμορφολογικών αρχών για τη επίλυση τεκτονικών προβλημάτων. Η μελέτη των γεωμορφών βασίζεται στις παρακάτω αρχές (Schumm 1977):

- Οι γεωμορφές εξελίσσονται με το χρόνο και οι μεταβολή τους είναι χωροχρονικά προβλέψιμη.
- Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του ανάγλυφου, είναι δυνατόν να παρουσιαστούν απότομες μεταβολές.
- Αλλαγή στη μορφή συνεπάγεται και αλλαγή στις συνθήκες (εξωτερικές, εσωτερικές ή και τα δύο).
- Οι μεγαπτυχές και τα ρήγματα, κανονικά ή ανάστροφα, με ή χωρίς οριζόντια ολίσθηση, σχετίζονται με συγκεκριμένες γεωμορφές.

Η ενεργός τεκτονική και ιδιαίτερα η ρηγματογένεση, ανάλογα με το πώς αυτή εκδηλώνεται, δημιουργεί χαρακτηριστικές γεωμορφές που είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθούν σε γενικές ομάδες. Για παράδειγμα η δράση ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης δημιουργεί χαρακτηριστικές γραμμικές κοιλάδες κοντά στη ζώνη διάτμησης. Αντίστοιχες χαρακτηριστικές μορφές παράγονται από κανονικά και ανάστροφα ρήγματα όπως και από πτυχώσεις ή επωθήσεις. Η διάκριση και ομαδοποίηση όμως αυτών των δομών δεν είναι πάντα εύκολη. Τις περισσότερες φορές η τεκτονική κίνηση είναι περισσότερο πολύπλοκη π.χ. το ρήγμα είναι πλαγιοκανονικό δίνοντας ενδιάμεσες γεωμορφές. Σε κάθε περίπτωση όμως, είναι δυνατή η διάκριση χαρακτηριστικών μορφών που σε πρόδρομη φάση είναι δυνατόν να μας δώσουν στοιχεία για το τεκτονικό και δυναμικό καθεστώς της περιοχής.

Με τον όρο μορφομετρία, εννοούμε την ποσοτική ανάλυση του ανάγλυφου, όπου μπορεί να είναι από απλές μετρήσεις όπως το μέσο υψόμετρο λεκάνης, το μέγιστο και ελάχιστο αυτής, όπως και περισσότερο σύνθετες (μορφομετρικοί δείκτες). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών μιας περιοχής, όπως για παράδειγμα η τεκτονική δραστηριότητα.

Ορισμένοι μορφομετρικοί δείκτες αναπτύχθηκαν ως αρχικά εργαλεία αναγνώρισης ταχείας τεκτονικής παραμόρφωσης (Keller 1986), ενώ άλλοι χρησιμοποιούνται για ποσοτικοποίηση του ανάγλυφου.

**Πίνακας 10: Στοιχεία των υδρολογικών λεκανών που μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν.**

Παράμετρος	Υπολογισμός	Μονάδες	Αναφορά	Περιγραφή
<b>Υδρολογική λεκάνη απορροής</b>				
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km <sup>2</sup>	-	Το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής του ποταμού
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	Km	Apollo 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	Μετρήθηκε	Km	-	Το μήκος της νοητής γραμμής (υδροκρίτης) που περικλείει το εμβαδόν της λεκάνης απορροής
Μέση τιμή υψόμετρου (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
<b>Υδρογραφικό δίκτυο</b>				
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
Μήκος κύριου ρέματος (Main stream length)	Lm	Km	-	Το μήκος του κύριου ρέματος που αποστραγγίζει την υδρολογική λεκάνη
Συχνότητα (Stream frequency)	$F = \Sigma N_u / A$	n/Km <sup>2</sup>	Horton 1932, 1945	Εκφράζει τον αριθμό των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας.
Πυκνότητα (Drainage density)	$D = \Sigma L / A$	Km/km <sup>2</sup>	Horton 1932, 1945	Εκφράζει το συνολικό μήκος των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας. Εξαρτάται από το κλίμα, τις γεωλογικές συνθήκες, τον εδαφικό μανδύα και τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής

Οι μορφομετρικοί μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της περιοχής είναι:

- Ανάλυση των χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου και ταξινόμηση κατά Strahler (1952),
- Δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος (Hypsometric integral) (Strahler 1952),
- Ασυμμετρία λεκάνης υδρογραφικού δικτύου (Cox 1994),
- Η ταξινόμηση των επιφανειών επιπέδωσης και ο εντοπισμός των μορφολογικών ασυνεχειών με τη χρήση χάρτη κλίσεων (slope map),
- Ο εντοπισμός κεκλιμένων επιφανειών επιπέδωσης μέσω της ανάλυσης χάρτη προσανατολισμού (aspect map).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι όπως και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

### 3.1 ΧΑΡΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΛΙΣΗΣ – ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΠΡΑΝΩΝ

Με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε για την περιοχή μελέτης έναν ακριβή χάρτη μορφολογικών κλίσεων. Η δημιουργία του γίνεται μέσα από το ΓΣΠ λογισμικό και είναι ένας από τους βασικούς θεματικούς χάρτες ανάλυσης. Από τη μελέτη αυτού μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την μορφές που σχετίζονται με την τεκτονική, κίνηση, τη λιθολογία, την εξέλιξη του καρστ (Μιγκίρος, et al. 2003).

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεωμορφών έχουν συνήθως άμεση σχέση με τεκτονικές δομές. Μορφολογικές ασυνέχειες, πολύ συχνά, είναι δείκτες τεκτονικής δραστηριότητας και μπορούν να μας δώσουν στοιχεία για την γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές όπου παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό τεκτονικής παραμόρφωσης (Font, Daniel and Louis 2010). Οι δομές που παρουσιάζουν δυσκολία στην αναγνώριση μέσω τέτοιων μεθόδων, είναι συνήθως οι πτυχώσεις και γενικά δομές που παρουσιάζουν καμπυλότητα, μιας και είναι δύσκολο να εντοπιστούν γιατί συγχέονται με το ανάγλυφο και τη λιθολογία. Για τον παραπάνω λόγο, απαιτείται εκτενής εργασία πεδίου που να πιστοποιεί τις ενδείξεις των μορφολογικών αναλύσεων (Chen, et al. 2007).

Ο χάρτης κλίσεων σε συνδυασμό με το χάρτη προσανατολισμού των πρανών χρησιμοποιείται συχνά για τεκτονική ανάλυση μίας περιοχής. Μελετάται η συχνότητα των πρανών μεγάλης κλίσης προς διάφορες διευθύνσεις, κάτι που συνήθως συνδέεται με ρηγματογόνο τεκτονική. Επίσης, σημαντικό στοιχείων των αναλύσεων είναι οι επιφάνειες επιπέδωσης που απαντώνται σε διαφορετικά υψόμετρα.

Οι επιφάνειες επιπέδωσης έχουν διακριθεί σε σχέση με τη νεοτεκτονική σε δύο κατηγορίες :

- Δημιουργικές, στις οποίες παρουσιάζεται απόθεση ιζημάτων σε παλαιοανάγλυφο και έχουν μορφή παλαιοαναβαθμίδων ή παλαιοκώνων ή παλαιοπτυθμένων λεκανών και

- καταστροφικές που παρουσιάζουν έντονη διάβρωση σε αλπικούς αλλά και σε μεταλπικούς σχηματισμούς.

Οι επιφάνειες επιπέδωσης που σχετίζονται με την γεωτεκτονική εξέλιξη, συνήθως βρίσκονται ομαδοποιημένες σε σχέση με το απόλυτο υψόμετρο και αρκετές φορές εμφανίζουν κλιμακωτή διάταξη. Οι επιφάνειες δεν παρουσιάζονται πάντα επίπεδες, αλλά τις περισσότερες φορές μετρούμε μία μικρή τιμή κλίσης που οφείλεται είτε σε περιστροφικές κινήσεις τοπικής σημασίας είτε σε διαφορική διάβρωση. Γενικά, μία επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί επίπεδη όταν παρουσιάζει κλίση από 0 έως 1°.

Για την ταξινόμηση του ανάγλυφου σε σχέση με την μορφολογική κλίση που παρουσιάζει, χρησιμοποιήσαμε αρχικά ένα ΨΜΑ με διαστάσεις κελιού 10 X 10 m. Από την επεξεργασία αυτού δημιουργήθηκε ένας χάρτης κλίσεων με ίδιες διαστάσεις κελιού με αυτές του ΨΜΑ. Ο υπολογισμός της κλίσης για κάθε ψηφίδα του ψηφιακού χάρτη, γίνεται με τη χρήση των απόλυτων υψομέτρων που αντιπροσωπεύει κάθε ψηφίδα (ή κελί) του ΨΜΑ. Κάθε ψηφίδα έχει μία τιμή απόλυτου υψομέτρου και η κλίση στην ψηφίδα αυτή υπολογίζεται σε σχέση με τη διαφορά υψομέτρου που έχει σε σχέση με τα γειτονικά στοιχεία μιας και οι διαστάσεις των ψηφίδων είναι σταθερές. Έτσι λαμβάνουμε ένα νέο πίνακα, με τιμές που αντιστοιχούν σε μορφολογικές κλίσεις και εκφράζονται είτε σε μοίρες είτε σε ποσοστό επί της %. Πρακτικά η τιμή της κλίσης για κάθε κελί, υπολογίζεται από την αριθμητική σχέση του με τα οκτώ γειτονικά κελιά, βρίσκοντας τη μέγιστη διαφορά και υπολογίζοντας την τιμή. Σε περίπτωση που υπάρχει κελί δίχως τιμή, αυτό παίρνει τιμή από το μέσο όρο των γειτονικών κελιών. Στα όρια του χάρτη, όπου υπάρχουν τουλάχιστον 3 γειτονικά κελιά χωρίς τιμή, η τιμή υπολογίζεται από τα υπόλοιπα με ένα αλγόριθμο εξομάλυνσης που διαφέρει σε κάθε λογισμικό. Στην παρούσα διατριβή, για την αποφυγή των σφαλμάτων που γίνονται στα όρια του χάρτη στον υπολογισμό της κλίσης, έγινε υπολογισμός εκτός των ορίων της μελέτης και σε απόσταση 500 m.

Η ταξινόμηση των περιοχών, γίνεται σε σχέση με την τιμή της μορφολογικής τους κλίσης. Έτσι έγινε διαχωρισμός σε 5 ομάδες: η πρώτη ομάδα είναι οι επιφάνειες που παρουσιάζουν μορφολογική κλίση από 0° έως 1°, η δεύτερη από 1° έως 5°, η τρίτη από 5° έως 15°, η τέταρτη από 15° έως 25° και η τελευταία αφορά τις κλίσεις που είναι μεγαλύτερες των 25°.

Οι μορφολογικές ασυνέχειες εμφανίζονται με κλίσεις που ξεπερνούν τις  $35^{\circ}$  και αντιστοιχούν σε τοπογραφικές εξάρσεις, χαράδρες με απότομα πρανή ακόμα και με κλίση  $90^{\circ}$ . Οι διευθύνσεις που ακολουθούν είτε είναι παράλληλες των επιπεδώσεων είτε είναι σχεδόν εγκάρσιες αυτών, εμφανίζοντας ζώνες κατά βάθος διάβρωσης. Οι ζώνες αυτές αναγνωρίζονται όταν οι περιοχές μορφολογικών ασυνεχειών αναπτύσσονται παράλληλα με το υδρογραφικό δίκτυο και αρκετές φορές έχουν σχήμα V. Η κατά βάθος διάβρωση γίνεται εγκάρσια προς μία μορφολογική ασυνέχεια και μερικές φορές χαρακτηρίζει ρηξιτεμάχη που κινούνται ανοδικά. Στις περιοχές που το ανάγλυφο αλλάζει απότομα κλίση, στα πεδινά τμήματα των περιοχών, οριοθετείται από ενεργά ρήγματα και χωρίζει γειτονικά ρηξιτεμάχη. Επίσης, οι δομές που διατάσσονται παράλληλα με τις μορφολογικές ασυνέχειες παρουσιάζουν έντονη κατά βάθος διάβρωση.

Τα δεδομένα των χαρτών κλίσεων είναι σε μορφή ψηφιοδοπλεγμάτων (raster). Σε αυτή τη μορφή μπορούν να γίνουν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί ή να μετατραπούν τα δεδομένα σε διανυσματική μορφή. Με τη βοήθεια εργαλείων όπως ο υπολογιστής ψηφίδων (raster calculator), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα που προέκυψαν από τους χάρτες, να επιλέξουμε περιοχές με κοινές χαρακτηριστικές τιμές και να υπολογίσουμε άλλες ιδιότητες των περιοχών μελέτης. Για τον υπολογισμό ορισμένων ιδιοτήτων όμως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μετατροπή του θέματος από μορφή ράστερ σε διανυσματική μορφή, έτσι ώστε να μπορούν να υπολογιστούν στοιχεία όπως η περίμετρος, το εμβαδό κ.α.

Η παραπάνω διαδικασία γίνεται με κάποια από τα εργαλεία που συνήθως υπάρχουν στα λογισμικά ΓΣΠ και είναι γνωστά ως μετατροπή raster to vector. Με το παραπάνω εργαλείο, όλες οι ψηφίδες του επιπέδου, μετατρέπονται από ψηφίδες σε διανυσματικό στοιχείο, με διαστάσεις ίσες με την αρχική ψηφίδα. Στη συνέχεια ομαδοποιούμε τα ομοειδή στοιχεία σε μεγαλύτερα σύνολα. Με τη μετατροπή αυτή, είναι δυνατοί οι υπολογισμοί που δεν μπορούν να γίνουν μέσω ράστερ δεδομένων. Ο τελικός πίνακας που προκύπτει για τα διανυσματικά δεδομένα απεικονίζεται παρακάτω.

**Πίνακας 11: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου μορφολογικών κλίσεων.**

Όνομα	Περιγραφή	Τύπος
id	Αύξων αριθμός πολυγώνου	μοναδικός αριθμός, ακέραιος
shape	Μορφή	Αλφαριθμητικό, αυτόματο από το σύστημα
area	Εμβαδόν επιφάνειας	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
perimeter	Περίμετρος	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
maxheight	Μέγιστο ύψος πολυγώνου	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
minheight	Ελάχιστο ύψος πολυγώνου	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
mean	Μέσο ύψος πολυγώνου	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
Slope	κλίση	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά



**Εικόνα 8: Σχηματική λογική διαδικασία δημιουργίας θεματικών χαρτών.**

### 3.1.1 Χάρτης μορφολογικών ασυνεχειών

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία γίνεται η επιλογή των περιοχών που παρουσιάζουν μορφολογικές ασυνέχειες, δηλαδή περιοχές του χάρτη με κλίση



μεγαλύτερη των 45°. Η μέθοδος προσέγγισης είναι η ίδια με αυτή του χάρτη επιφανειών επιπέδωσης.

### **3.1.2 Χάρτης προσανατολισμού πρανών**

Με τη χρήση του ΨΜΑ και τον προσδιορισμό των κλίσεων στην περιοχή μελέτης, μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε μία άλλη ιδιότητα του αναγλύφου, αυτή του προσανατολισμού των πρανών. Η εξέταση του τρόπου με τον οποίο εκτείνονται τα πρανά με τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο, είναι δυνατόν να μας αποκαλύψουν τεκτονικές επιφάνειες και πιθανές ρηξιγενείς ζώνες.

Η δημιουργία του χάρτη προσανατολισμού πρανών, γίνεται μέσω εργαλείων που διαθέτουν σχεδόν όλα τα λογισμικά ΓΣΠ, όπου υπολογίζεται η κλίση και φορά αυτής για κάθε κελί του χάρτη, λαμβάνοντας υπόψιν το υψόμετρο του κελιού σε σχέση με τα υψόμετρα των οκτώ γειτονικών κελιών. Το κελί που προκύπτει έχει τις ίδιες διαστάσεις με το αρχικό και τις ίδιες συντεταγμένες. Η τιμή που προστίθεται είναι αυτή του προσανατολισμού που δίδεται σε τιμές μοιρών από 0° έως 360°. Στις περιοχές που είναι επίπεδες και δεν έχει νόημα τιμή προσανατολισμού, δίνεται η τιμή -1.

Για να μπορέσουν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από το χάρτη προσανατολισμού πρανών, είναι απαραίτητη η διόρθωση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την αυτόματη δημιουργία των δεδομένων προσανατολισμού με βάση τον αρχικό σχεδιασμό του χάρτη κλίσεων που έχει γίνει σε προηγούμενο στάδιο. Έτσι για τις περιοχές που δίνονται με κλίση μικρότερες της 1° και θεωρούνται αλλά και πρακτικά είναι επίπεδες, ενώ το λογισμικό δίνει τιμή προσανατολισμού, ο χρήστη παρεμβαίνει και δίνει τιμή -1, δηλαδή την τιμή που αντιστοιχεί σε επίπεδη επιφάνεια. Με αυτό τον τρόπο δεν αλλοιώνονται τα αποτελέσματα, αφού δεν συμμετέχουν οι επίπεδες επιφάνειες στις περιοχές αυτές. Η διαδικασία με την οποία γίνεται η μετατροπή αυτή, βασίζεται στην υπέρθεση των δύο θεματικών επιπέδων, αυτού της κλίσης με αυτού του προσανατολισμού πρανών. Εντοπίζονται οι περιοχές όπου η κλίση των πρανών είναι μικρότερη της 1° και εγγράφεται στο αντίστοιχο κελί προσανατολισμού η τιμή -1.

Μετά την διόρθωση αυτή, μπορούμε να δημιουργήσουμε γραφικές παραστάσεις με μορφή ροδογραμμμάτων και ραβδογραμμμάτων που να απεικονίζουν την κατανομή του προσανατολισμού των κλίσεων. Έτσι παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι ομόρροπες κλίσεις και δείχνουν τις επικρατούσες τάσεις προσανατολισμού των πρανών σε μία δεδομένη περιοχή.

Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει στην επεξεργασία των κλίσεων και προσανατολισμού των πρανών, είναι η ακρίβεια που απαιτείται για να θεωρείται αξιόπιστη η παρουσία των αποτελεσμάτων. Στην παρούσα διατριβή, το αρχικό ΨΜΑ έχει μέγεθος στοιχείου 10m (επιφάνεια 100m<sup>2</sup>). Έτσι για να μπορέσουμε να θεωρήσουμε τις επιφάνειες που μελετάμε αξιόλογες και να εξαλείφονται τοπικές εξάρσεις ή σφάλματα του ΨΜΑ, θεωρούμε ότι για να είναι μία επιφάνεια αντιπροσωπευτική, πρέπει να έχει εμβαδό μεγαλύτερο των 10 στρεμμάτων (10.000m<sup>2</sup>). Έτσι, δημιουργούμε ένα νέο χάρτη προσανατολισμού πρανών, όπου γίνεται η ενοποίηση των κελιών.

## 3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

### 3.2.1 Γενικά

Η γεωμετρία των υδρογραφικών δικτύων μπορεί να περιγραφεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ποιοτικούς και ποσοτικούς. Όταν το υδρογραφικό δίκτυο εξελίσσεται σε μια τεκτονικά ενεργή περιοχή, τις περισσότερες φορές αποκτά μια συγκεκριμένη μορφή. Ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης προτάθηκε (Hare and Gardner 1985) για την εκτίμηση τεκτονικών στρέψεων σε επίπεδο λεκάνης. Ο δείκτης ασυμμετρίας ( $Af$ ) ορίζεται ως:

$$Af = 100 \frac{Ar}{At} \quad (1)$$

όπου  $Ar$ , το εμβαδό της περιοχής της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά του κύριου κλάδου, όπως κοιτάμε προς την κατάντη περιοχή, και  $At$  το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής.

Όταν ο δείκτης ασυμμετρίας έχει τιμές κοντά στο 50, τότε η λεκάνη απορροής αναπτύσσεται συμμετρικά ως προς τον κύριο κλάδο. Αντίθετα όταν η τιμή του δείκτη ασυμμετρίας είναι υψηλότερη ή μικρότερη του 50, τότε η λεκάνη αναπτύσσεται ασύμμετρα ως προς τον κύριο κλάδο. Ο δείκτης ασυμμετρίας είναι ευαίσθητος στις κατακόρυφες μετακινήσεις της λεκάνης. Τιμές μεγαλύτερες του 50 δείχνουν ότι η λεκάνη ανυψώνεται από δεξιά και βυθίζεται στα αριστερά, ενώ τιμές μικρότερες του 50 δείχνουν ότι η λεκάνη ανυψώνεται από αριστερά και βυθίζεται από δεξιά. Έτσι, στην πρώτη περίπτωση (δεξιά ανύψωση) το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται περισσότερο στην δεξιά πλευρά της λεκάνης ενώ στην δεύτερη περίπτωση (αριστερή ανύψωση) στην αριστερή.

Όπως συμβαίνει με τους περισσότερους μορφομετρικούς δείκτες, έτσι και ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν το στρωματογραφικό υπόβαθρο του υδρογραφικού δικτύου είναι ομοιόμορφο. Επίσης ένας άλλος περιορισμός είναι η κλιματική σταθερότητα και οι κλίσεις των πετρωμάτων που απαιτούνται να είναι σταθερές. Βέβαια, επειδή στην πραγματικότητα είναι αρκετά δύσκολο να υπάρχει ομοιομορφία τόσο στην

στρωματογραφία όσο και στο κλίμα της υπό μελέτη περιοχής, η χρήση του δείκτη ασυμμετρίας γίνεται πάντα σε συνδυασμό με επιτόπου τεκτονικές μετρήσεις και παρατηρήσεις, έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε κατά πόσο η εικόνα που λαμβάνουμε από το δείκτη είναι αντιπροσωπευτική για το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής.

Στην παρούσα εργασία ο δείκτης ασυμμετρίας υπολογίστηκε τόσο από τη σχέση (1), όσο και από την:

$$Af = \left| 50 - \frac{Ar \times 100}{At} \right| \quad (2)$$

Η παραπάνω σχέση (Pérez-Reña, et al. 2010) χρησιμοποιείται για την αποφυγή σύγχυσης όταν μελετώνται λεκάνες με αντίθετη φορά, όπου το δεξιό κομμάτι της λεκάνης είναι στην αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, δύο λεκάνες με διεύθυνση ροής προς Βορά και Νότο αντίστοιχα, έχουν τον δεξιό κλάδο η πρώτη ανατολικά και η δεύτερη δυτικά. Επίσης, ανάλογα με την τιμή που υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη, αυτές χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τον βαθμό ασυμμετρίας που εμφανίζουν.

**Πίνακας 12: Κατάταξη λεκανών με βάση το βαθμό ασυμμετρίας (Pérez-Reña, et al. 2010).**

Τιμή Af	Χαρακτηρισμός ασυμμετρίας λεκάνης
0-5	Συμμετρική (Σ)
5-10	Χαμηλής ασυμμετρίας (ΧΑ)
10 -15	Μέτριας ασυμμετρίας (ΜΑ)
> 15	Υψηλής ασυμμετρίας (ΥΑ)

Για τον υπολογισμό του δείκτη ασυμμετρίας των λεκανών της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το ΓΣΠ ArcGIS. Αρχικά ψηφιοποιήθηκαν οι λεκάνες απορροής σε ένα αρχείο και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν αρχεία για κάθε λεκάνη ξεχωριστά. Η τιμή At είναι το συνολικό εμβαδό της λεκάνης. Έπειτα, ψηφιοποιήθηκε το δεξιό μέρος

της λεκάνης απορροής δίνοντας το  $A_r$ . Οι μονάδες μέτρησης και στις δύο περιπτώσεις ήταν σε τετραγωνικά μέτρα ( $m^2$ ). Στην εικόνα 9 δίνεται απεικονιστικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του δείκτη ασυμμετρίας.



**Εικόνα 9: Σχηματική λογική διαδικασία για την δημιουργία του θεματικού πεδίου δείκτη ασυμμετρίας λεκανών.**

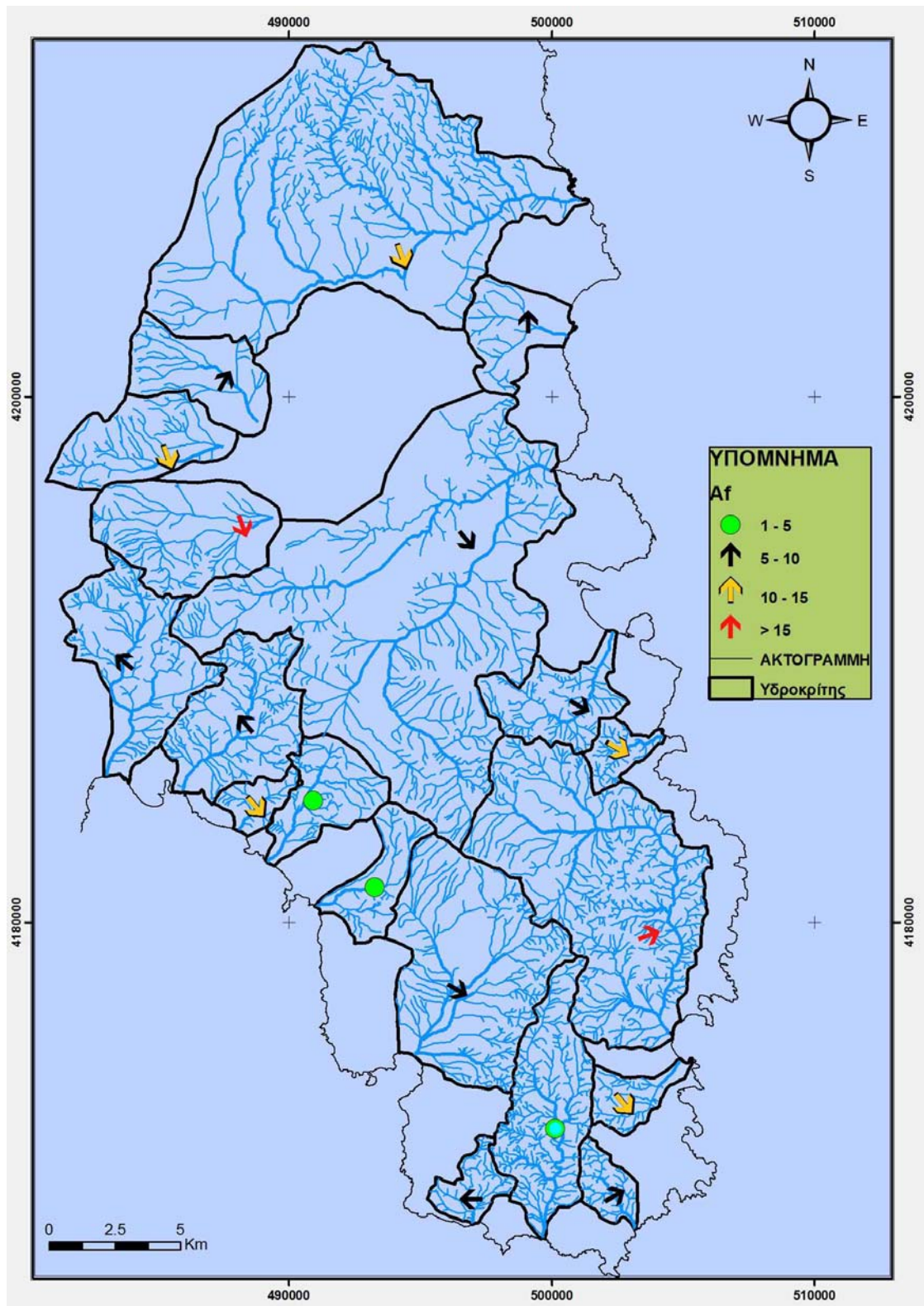
### 3.2.2 Αποτελέσματα

Με τη βοήθεια λογιστικού φύλλου excel υπολογίστηκε οι δείκτης ασυμμετρίας για κάθε λεκάνη. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον πίνακα 13.

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ο χάρτης της εικόνας 10 όπου απεικονίζονται η φορά αλλά και ομαδοποιημένες οι τιμές με βάση την κατηγοριοποίηση του πίνακα.

**Πίνακας 13: Υπολογισμός του δείκτη ασυμμετρίας για τις λεκάνες της περιοχής μελέτης.**

Λεκάνη	Ar	At	1η σχέση	2η σχέση	Χαρακτηρισμός
1	40477418.26	109497596.99	36.97	13.03	ΜΑ
2Α	6456180.36	11559917.55	55.85	5.85	Σ
2Β	8468973.57	14753429.62	57.40	7.40	ΧΑ
2C	6574003.20	16956400.87	38.77	11.23	ΜΑ
2D	7115498.08	23406712.48	30.40	19.60	ΥΑ
2E	52380826.46	123700656.70	42.34	7.66	ΧΑ
3	11017534.57	25361450.71	43.44	6.56	ΧΑ
4	9531764.38	23090692.53	41.28	8.72	ΧΑ
5Α	2768311.40	4361133.81	63.48	13.48	ΜΑ
5Β	6585973.06	12436833.27	52.96	2.96	Σ
6	4977590.25	9612613.86	51.78	1.78	Σ
7	26051288.10	44133798.62	59.03	9.03	ΧΑ
9	2249612.24	5434749.28	41.39	8.61	ΧΑ
10	11674322.54	23967629.75	48.71	1.29	Σ
11	2770468.46	4940063.35	56.08	6.08	ΧΑ
12Α	2073370.05	5749344.55	36.06	13.94	ΜΑ
12Β	42037170.65	64217954.62	65.46	15.46	ΥΑ
17	1672744.89	4519560.09	37.01	12.99	ΜΑ
18	5960258.29	13619259.62	43.76	6.24	ΧΑ



Εικόνα 10: Χάρτης που απεικονίζει το σύνολο των λεκανών που υπολογίστηκε ο δείκτης ασυμμετρίας. Το βέλος δείχνει τη διεύθυνση προς την πλευρά που ταπεινώνεται το ανάγλυφο.

### 3.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑΤΟΣ

Ο δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος (Hypsometric integral) αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη τεκτονικής ενεργότητας μιας λεκάνης. Ο δείκτης περιγράφει την κατανομή του υψομέτρου για μια δεδομένη επιφάνεια η οποία συσχετίζει την κανονικοποιημένη, περιοχή μιας λεκάνης με το σχετικό υψόμετρο με αρχή το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης (Strahler 1952). Η καμπύλη δημιουργείται σχεδιάζοντας ως τεταγμένη το σχετικό εμβαδό της λεκάνης και ως τετμημένη το σχετικό υψόμετρό της. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι η επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από την παραπάνω καμπύλη.

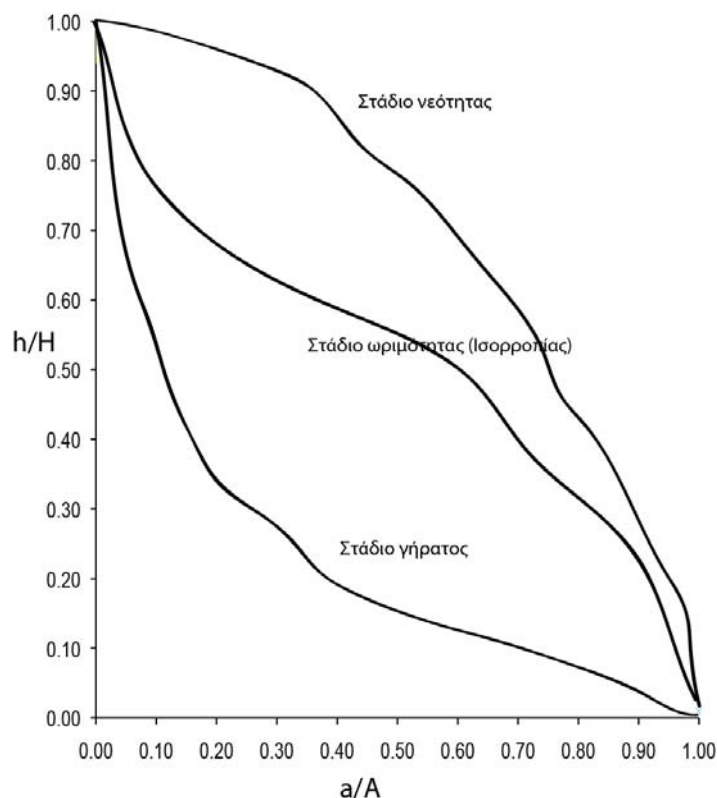
Ένα εύκολος τρόπος υπολογισμού απευθείας από το χάρτη δίνεται από την παρακάτω σχέση (Mayer 1990):

$$H_i = \frac{\bar{e} - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (3)$$

όπου  $H_i$  το υψομετρικό ολοκλήρωμα και  $e$  το υψόμετρο.

Η καμπύλη που υπολογίζεται για μία δεδομένη λεκάνη, ανάλογα με τη μορφή αλλά και την τιμή που υπολογίζεται για το ολοκλήρωμα της, δίνει το ποσοστό διάβρωσης της λεκάνης. Όμως σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν περιοχές με διαφορετικές καμπύλες και επομένως διαφορετικές συνθήκες ισορροπίας, να δίνουν το ίδιο αριθμητικό αποτέλεσμα. Έτσι, έκτος από την απόλυτη τιμή, για την ερμηνεία του δείκτη, δίνεται σημασία και στην μορφή της καμπύλης.



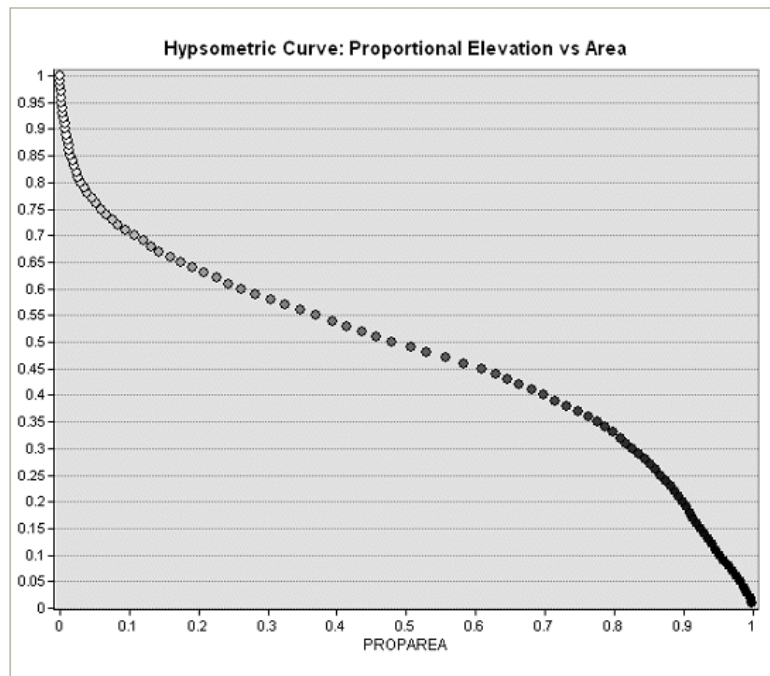


**Εικόνα 11: Τυπικές υψομετρικές καμπύλες που προκύπτουν από την ανάλυση των λεκανών.**

Τα τελευταία χρόνια η χρήση του υψομετρικού ολοκληρώματος είναι πιο συχνή, κυρίως λόγω του εύκολου προσδιορισμού μέσω εξελιγμένων υπολογιστικών συστημάτων που χρησιμοποιούν τα Ψηφιακά Μοντέλα Ανάγλυφου (DEM, Digital Elevation Model).

Για τον παραπάνω σκοπό έχουν αναπτυχθεί λογισμικά που είναι σε θέση να υπολογίσουν με ακρίβεια το υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα πρόσθετο λογισμικό του ArcGIS που αναπτύχθηκε από το Institute For Geographic Information Science που για μία δεδομένη λεκάνη, δίνει την υψομετρική καμπύλη. Οι προϋποθέσεις για τη χρήση του λογισμικού είναι να υπάρχει το ΨΜΑ και η μονάδα ύψους να είναι ίδια με τις οριζόντιες μονάδες. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι 100 σημεία ισομερώς καταναμημένα με μονάδες που αντιστοιχούν στο υψόμετρο και στην επιφάνεια της λεκάνης (εικόνα 12). Το αποτέλεσμα δίνεται σε μορφή πίνακα και για να υπολογιστεί το ολοκλήρωμα της καμπύλης, χρησιμοποιείται κάποιο υπολογιστικό φύλλο ή

μαθηματικό λογισμικό. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό πακέτο Origin.



**Εικόνα 12:** Γραφική παράσταση που προκύπτει από την επεξεργασία ΓΣΠ και μαθηματικού πακέτου.

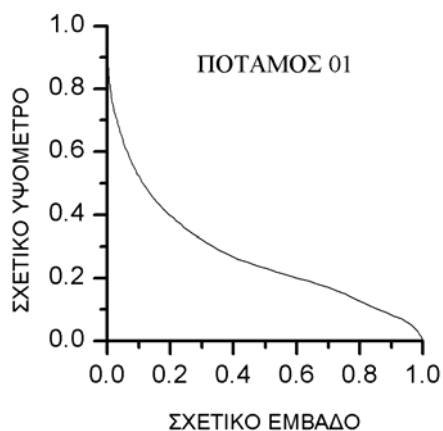
Το μοντέλο διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε συνολικά για την επεξεργασία και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων δίνεται σχηματικά στην εικόνα 13.



**Εικόνα 13:** Σχηματικό λογικό διάγραμμα δημιουργίας θεματικού επιπέδου και υπολογισμού του δείκτη υψομετρικού ολοκληρώματος.

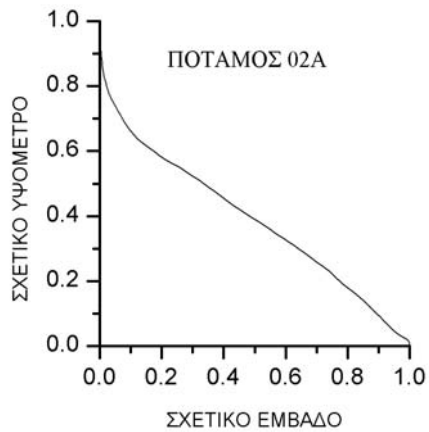
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό του υψομετρικού ολοκληρώματος, δίνονται παρακάτω για κάθε λεκάνη.

**Εικόνα 14:** Υψομετρικές καμπύλες όλων των λεκανών της περιοχής μελέτης. Στο πάνω μέρος της γραφικής παράστασης σημειώνεται ο κωδικός της λεκάνης, ενώ στα δεξιά το όνομα του κύριου ρέματος που τη διατρέχει και η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος που υπολογίστηκε.



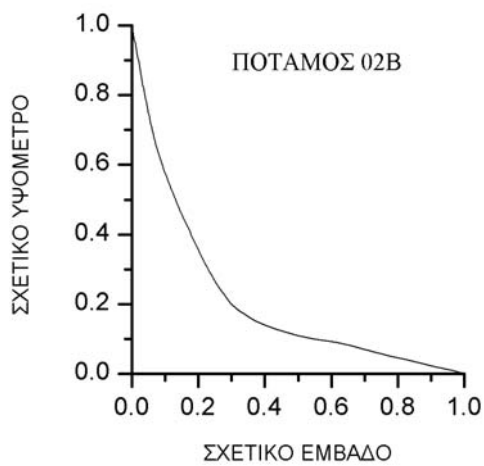
Μεγάλο Ρέμα  
 $H_i = 0,271$

Εικόνα 14 (συνέχεια)



Ρέμα Λούτσας

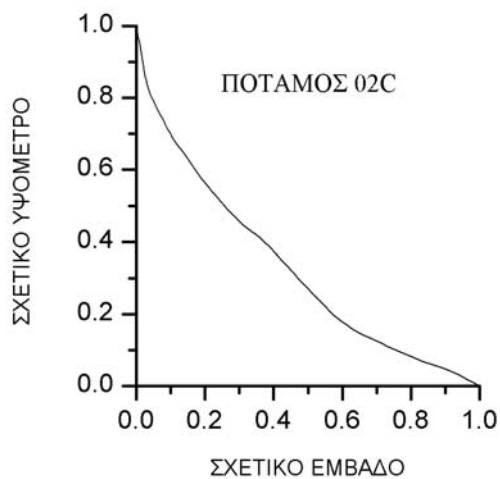
$$H_i = 0,389$$



Ρέμα Κοπρισιά

Τζώτη

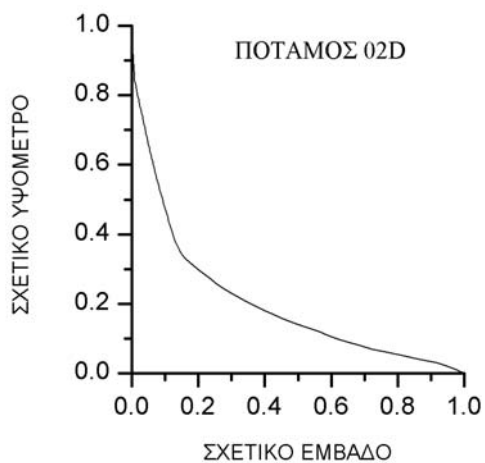
$$H_i = 0,207$$



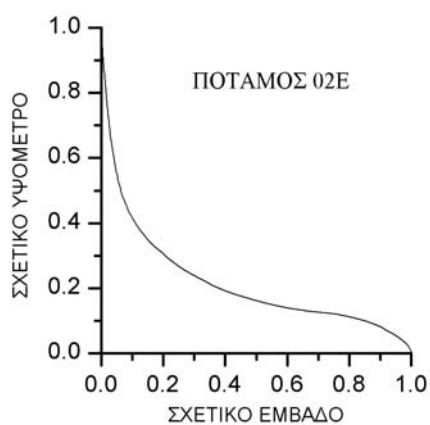
Ρέμα Χαλιδούς

$$H_i = 0,325$$

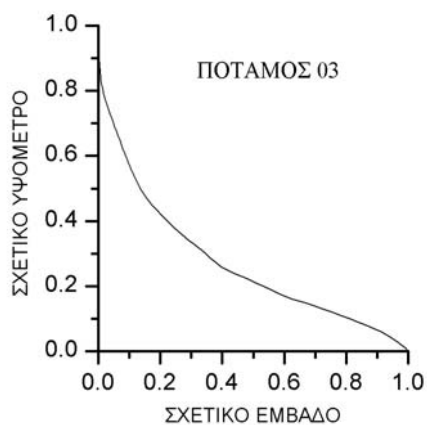
Εικόνα 14 (συνέχεια)



Ρέμα Ντούκα  
 $H_i = 0,199$

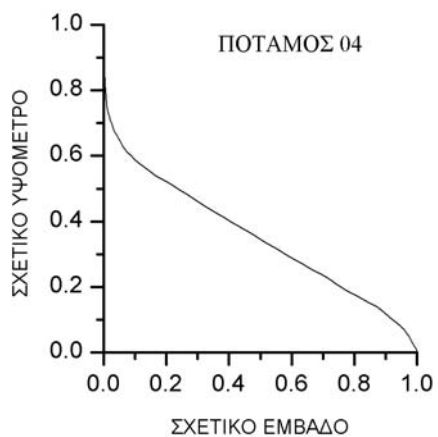


Ερασίνοσ ποταμός  
 $H_i = 0,216$

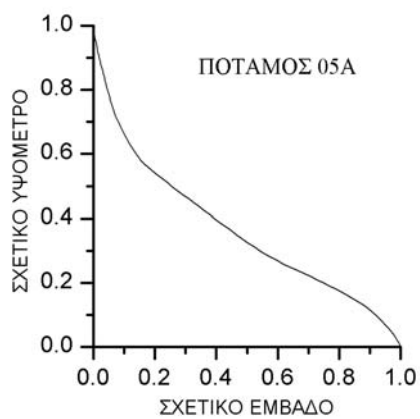


Λυκόρρεμα  
 $H_i = 0,269$

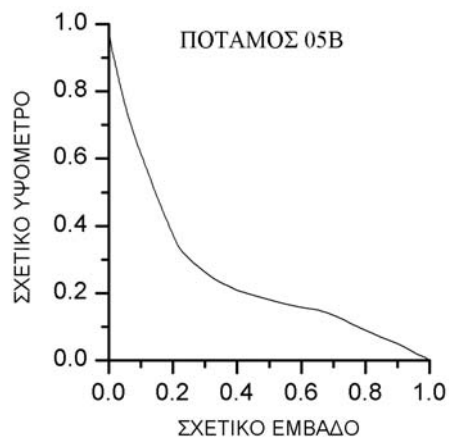
Εικόνα 14(συνέχεια)



Ρέμα Αγίας  
Μαρίας  
 $H_i = 0,352$

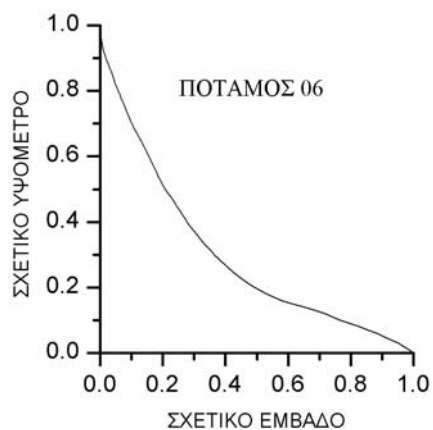


Ρέμα Αγίου  
Δημητρίου  
 $H_i = 0,364$



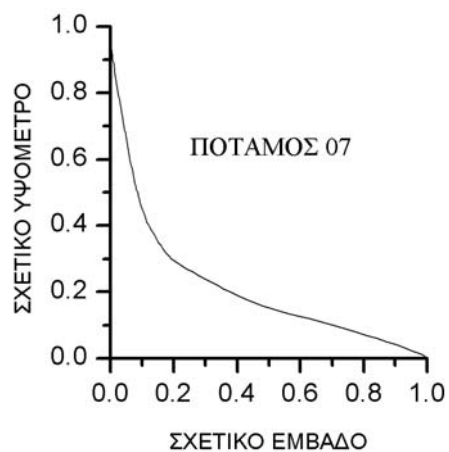
Ρέμα Παραλίας  
Καλυβίων  
 $H_i = 0,252$

Εικόνα 14(συνέχεια)



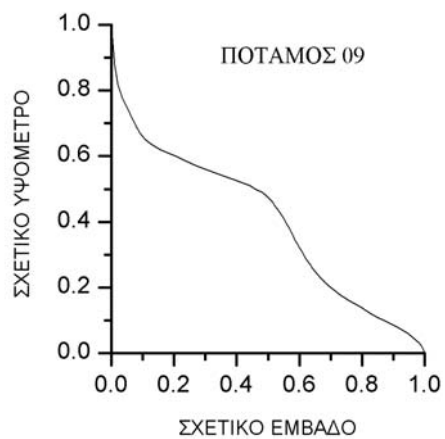
Ρέμα Βίγλισμα

$$H_i = 0,294$$



Ρέμα Αναβύσσου

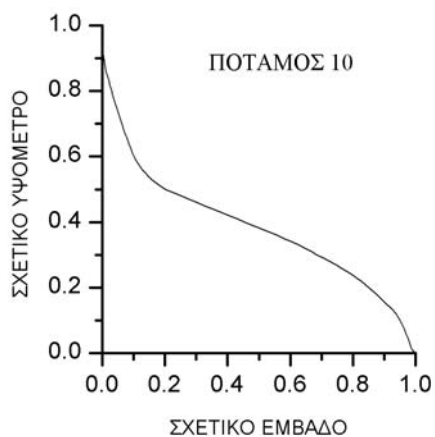
$$H_i = 0,210$$



Ρέμα Λιβαδώνα

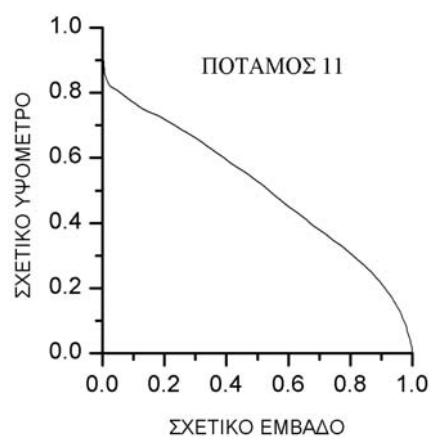
$$H_i = 0,400$$

Εικόνα 14(συνέχεια)



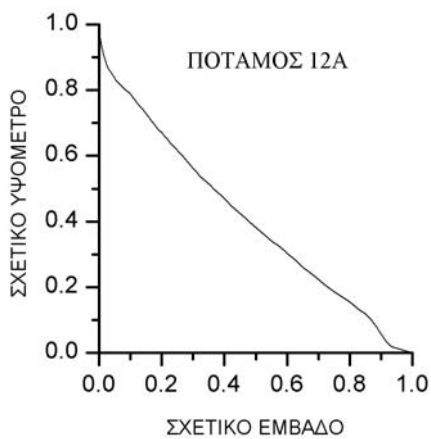
Ρέμα Λεγρενών

$$H_i = 0,384$$



Ρέμα Σουνίου

$$H_i = 0,508$$

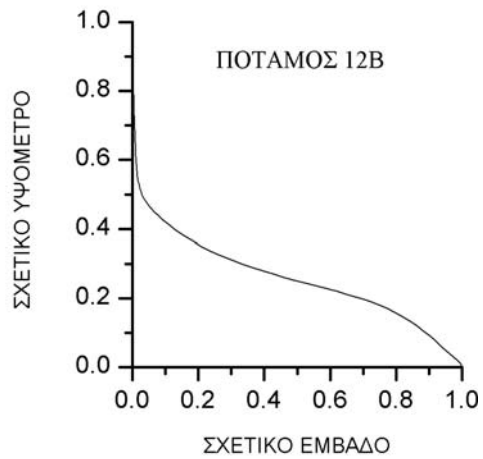


Ρέμα Λαυρίου

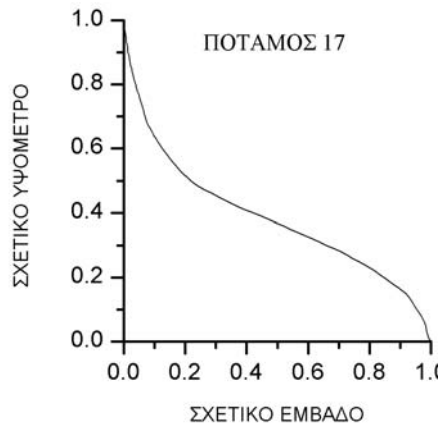
$$H_i = 0,405$$



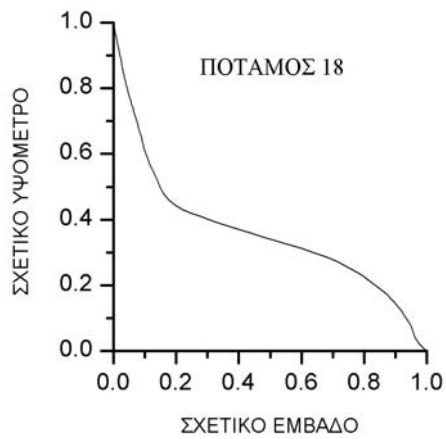
Εικόνα 14(συνέχεια)



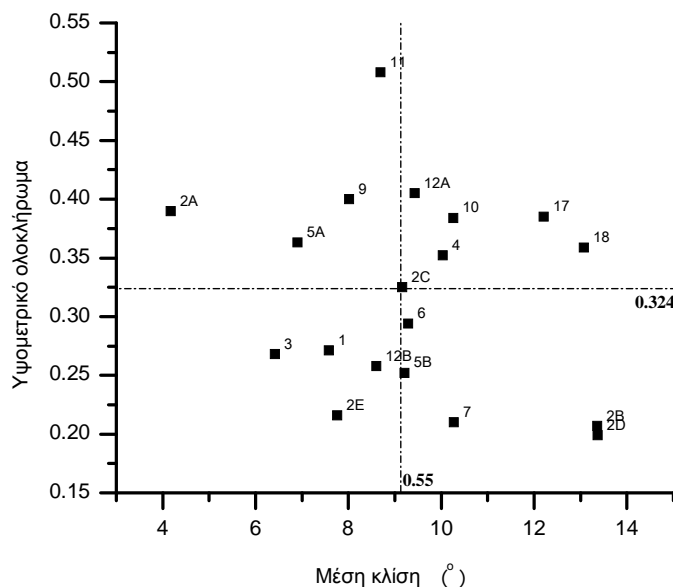
Ποταμός  
 $H_i = 0,258$



Ρέμα Κακής  
Θάλασσας  
 $H_i = 0,385$



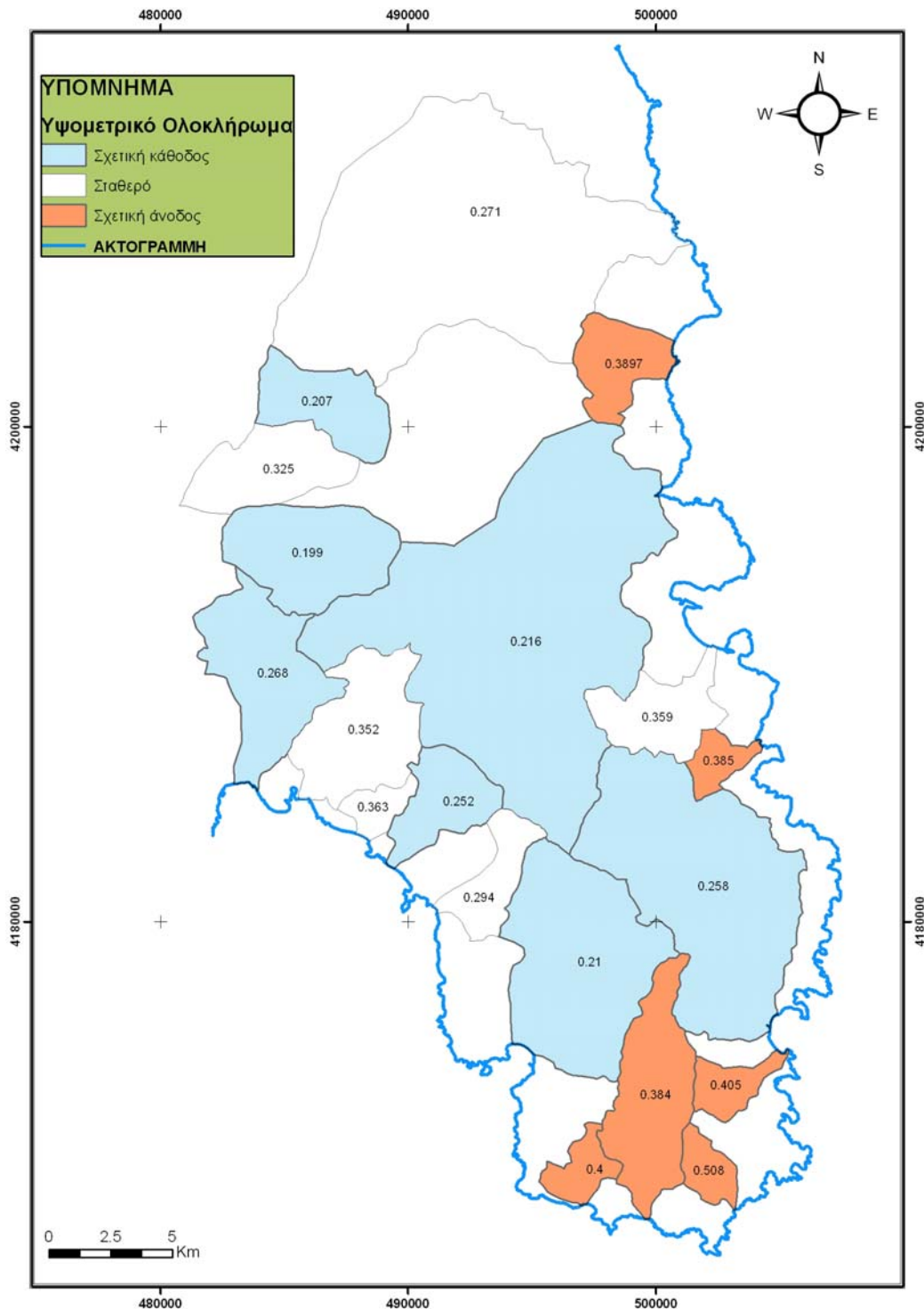
Ρέμα Βρύση  
 $H_i = 0,359$



**Εικόνα 15: Διάγραμμα υψομετρικού ανάγλυφου σε σχέση με τη μέση κλίση λεκάνης. Με τις στικτές γραμμές σημειώνονται οι μέσοι όροι των τιμών. Τα νούμερα αντιστοιχούν στον αριθμό των λεκανών.**

Για την καλύτερη σύγκριση των λεκανών μεταξύ τους, κατασκευάστηκε το διάγραμμα της εικόνας 15, όπου απεικονίζεται το υψομετρικό ολοκλήρωμα σε σχέση με τη μέση κλίση της λεκάνης. Οι τιμές που βρίσκονται κοντά στην αρχή των αξόνων δείχνουν, συνήθως ομαλό ανάγλυφο και συνδέονται με τμήματα που κινούνται καθοδικά. Αντίθετα όσο απομακρυνόμαστε από την αρχή των αξόνων, οι λεκάνες που αντιπροσωπεύονται από τις τιμές αυτές, συνδέονται με φαινόμενα ανύψωσης και κατά βάθος διάβρωσης. Έτσι από το διάγραμμα της εικόνας 15 φαίνεται ότι οι λεκάνες 2A, 9, 10, 11, 12A και 17 εμφανίζουν σχετικά υψηλές τιμές και συνδέονται με ανυψωτικές κινήσεις. Πιο ακραία ανώτερη τιμή εμφανίζει η λεκάνη 11.

Οι λεκάνες 2B, 2D, 2E, 3, 5B, 7 και 12B παρουσιάζουν σχετικά μικρές τιμές δίνοντας την αίσθηση πιο ομαλών λεκανών που συνδέονται με υποβυθιζόμενα τμήματα. Οι ακραίες κατώτερες τιμές εμφανίζονται στις λεκάνες 2B και 2D όπου παράλληλα οι μέσες κλίσεις των λεκανών είναι αρκετά υψηλές.



**Εικόνα 16: Χάρτης με τις λεκάνες που μελετήθηκαν με τις τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος που υπολογίστηκε.**

Οι υπόλοιπες λεκάνες που μελετήθηκαν, δηλαδή οι 1, 2C, 4, 5A, 6 και 18 βρίσκονται κοντά στο μέσο όρο υψομετρικού ολοκληρώματος και επομένως δεν δείχνουν να εμφανίζουν σημαντικές σχετικές μετακινήσεις.

### 3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΟΡΟΥΣ

Ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (mountain – front sinuosity), ορίζεται ως ο λόγος της μετρούμενης απόστασης μεταξύ δύο σημείων ( $L_{mf}$ ) που βρίσκονται στη ζώνη μέγιστης καμπυλότητας στους πρόποδες ενός όρους, προς την οριζόντια απόσταση τους ( $L_s$ ) (Bull and McFadden 1977):

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad (4)$$

Η παραπάνω σχέση αποτελεί ένα δείκτη που αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων διάβρωσης, που τείνουν να ταπεινώσουν και να ομαλοποιήσουν το ανάγλυφο και της τεκτονικής που έχει ως κύριο γνώρισμα πιο απότομες μορφές και πολλές φορές το μέτωπο του όρους συμπίπτει με μια ενεργή ρηγματογόνο περιοχή (Keller and Pinter 2002).

Τα μέτωπα των ορέων που συσχετίζονται με ενεργό τεκτονική και ανύψωση, παρουσιάζουν μία σχετική «ευθύτητα» και οι τιμές του δείκτη είναι σχετικά μικρές. Αν η ανύψωση είναι μικρή ή έχει σταματήσει, οι δυνάμεις της διάβρωσης και αποσάθρωσης επικρατούν, δίνοντας ένα μέτωπο όρους περισσότερο ακανόνιστο και η τιμή του δείκτη είναι μεγαλύτερη.

Στην πράξη, ο υπολογισμός του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους υπολογίζεται εύκολα από τοπογραφικούς χάρτες. Η κλίμακα πρέπει να είναι κατάλληλη έτσι ώστε να μπορούν να μετρηθούν οι ανωμαλίες που παρουσιάζει το μέτωπο, χάρτες μικρής κλίμακας, συνήθως πάνω από 1:100.000 δεν ενδείκνυνται για τον υπολογισμό του δείκτη, διότι η ακρίβεια που παρέχουν είναι ικανή να δώσει μόνο μία αδρή εκτίμηση.

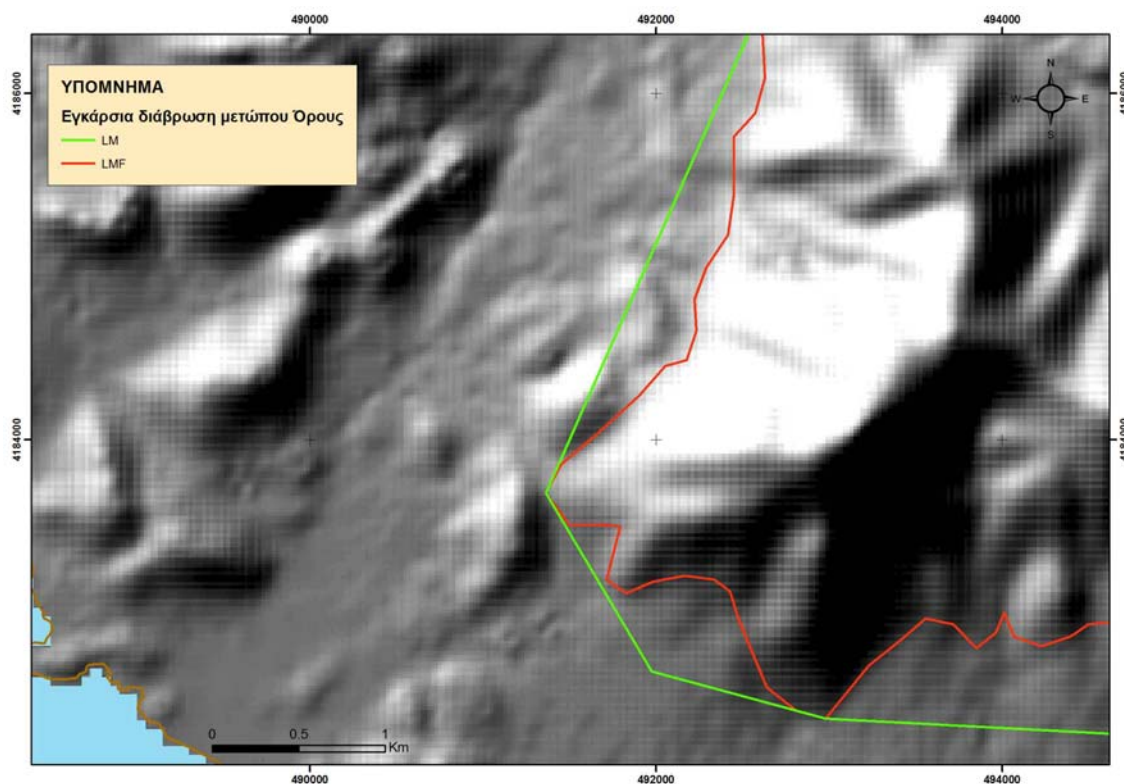
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Bull and McFadden 1977, Keller 1986), οι τιμές του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την τεκτονική ενεργότητα μιας περιοχής:

- Περιοχές με σχετικά υψηλή ενεργότητα και τιμές  $S_{mf}$  που κυμαίνονται από 1.0 έως 1.6

- Περιοχές με μέση ενεργότητα με τιμές μεταξύ 1.4 και 3
- Περιοχές με χαμηλή ενεργότητα με τιμές από 1.8 μέχρι και μεγαλύτερες από 5.

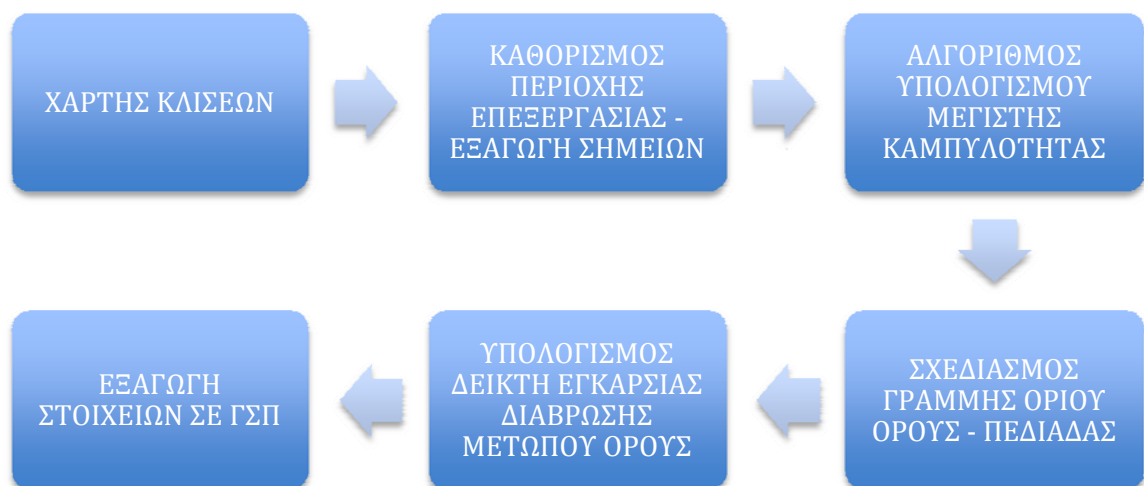
Γενικά, για τιμές του δείκτη πάνω από 3 η περιοχή σχετίζεται με μέτωπα που είναι αρκετά διαβρωμένα, που αν και παλαιότερα σχετίζονταν με ενεργά περιθώρια, σήμερα έχουν υποστεί διάβρωση μετώπου, τουλάχιστον κατά 1km (Bull and McFadden 1977).

Πρακτικά ο υπολογισμός του δείκτη  $S_{mf}$  μπορεί να υπολογιστεί με χρήση ενός τοπογραφικού χάρτη ή ΓΣΠ, μετρώντας την ισοϋψή που αντιστοιχεί στο όριο μεταξύ όρους και προπόδεων και την αντίστοιχη ευθεία γραμμή που ενώνει τα δύο σημεία (Φουντούλης, Μαυρούλης and Θεοχάρης 2007). Σε πολλές περιπτώσεις όμως, ειδικά σε περιοχές που έχουμε κατακόρυφες μετακινήσεις τεμαχών κατά μήκος του μετώπου, η χρήση ισοϋψών μπορεί να μας δώσει εσφαλμένες μετρήσεις (Pérez-Reña, et al. 2010), μιας και δεν αντιπροσωπεύουν σε όλο το μήκος του μετώπου τη μετάβαση από το ορεινό προς το πεδινό.



**Εικόνα 17: Υπολογισμός εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους. Ως υπόβαθρο λαμβάνεται το σκιασμένο ανάγλυφο.**

Στην παρούσα διατριβή, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος που λειτουργεί σε ένα ΓΣΠ (ArcGIS) και υπολογίζει με σχεδόν αυτόματο τρόπο το δείκτη  $S_{mf}$ , μέσω μιας λογικής επαναλαμβανόμενης διαδικασίας. Ο σχεδιασμός του βασίστηκε στην υπόθεση ότι το όριο του μετώπου σε μία τοπογραφική τομή κάθετη σε αυτό, είναι το σημείο με τη μέγιστη καμπυλότητα με τα κοίλα στραμμένα προς τα πάνω. Έτσι, αν προσδιορίσουμε κάθε σημείο στο οποίο παρουσιάζεται η μέγιστη καμπυλότητα και ενώσουμε τα σημεία αυτά, λαμβάνουμε μία τεθλασμένη γραμμή που αντιπροσωπεύει το όριο μεταξύ πεδινού και ορεινού τμήματος. Με τον παραπάνω τρόπο υπολογίζουμε το  $L_{mf}$  της εξίσωσης (3). Το  $L_s$  υπολογίζεται λαμβάνοντας τα ευθύγραμμα τμήματα μεταξύ των σημείων που κάνουμε τον υπολογισμό.



**Εικόνα 18:** Σχηματικό λογικό διάγραμμα δημιουργίας θεματικού επιπέδου και υπολογισμού του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους.

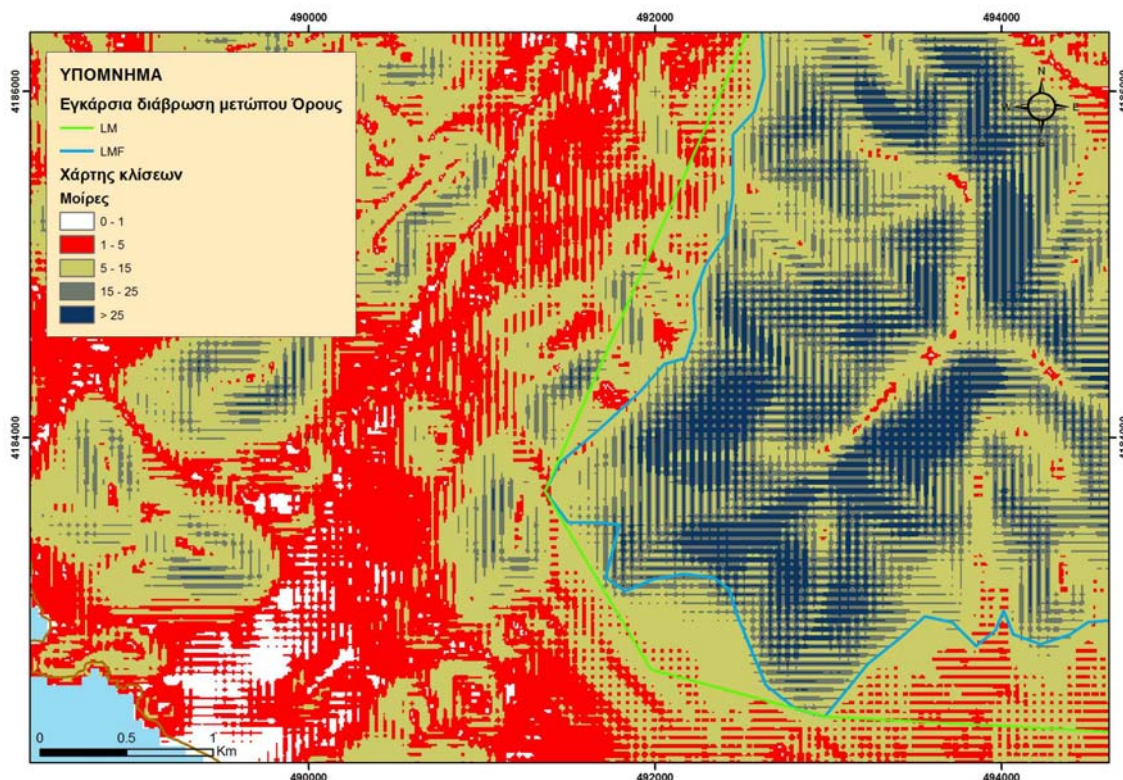
Ο υπολογισμός της μέγιστης καμπυλότητας γίνεται με τη βοήθεια του χάρτη κλίσεων. Από αυτόν προκύπτει ένας νέος θεματικός χάρτης που απεικονίζει σε κελιά την αλλαγή κλίσης. Για να αποφύγουμε τυχόν λάθη στη χάραξη της γραμμής που ενώνει τα σημεία μέγιστης κλίσης, πρέπει να περιορίσουμε την περιοχή στην οποία πραγματοποιούμε τους υπολογισμούς. Ο περιορισμός γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Αρχικά να εξασφαλίσουμε ότι η μέγιστη καμπυλότητα που υπολογίζεται απεικονίζει

την αλλαγή από το ορεινό στο πεδινό και δεν συνδέεται με τυχόν τοπογραφικές εξάρσεις ή σφάλματα που έχουν προκύψει από το ΨΜΑ. Ο δεύτερο λόγος είναι ότι με τον περιορισμό, εξοικονομούμε υπολογιστική ισχύ και χρόνο στο υπολογισμό.

Έτσι με την χρήση κοινών εργαλείων που υπάρχουν σε όλα τα ΓΣΠ, μπορούμε να δημιουργήσουμε μία ζώνη (buffer) μέσα στην οποία υπάρχουν τα σημεία που θέλουμε. Χαράζοντας χωρίς μεγάλη ακρίβεια το όριο μεταξύ πεδινού και ορεινού τμήματος και στη συνέχεια δίνουμε ένα εύρος από την αρχική γραμμή χάραξης, (π.χ. 1 ή 2km). Έτσι περικλείουμε το τμήμα της περιοχής που μας ενδιαφέρει και εκεί εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο υπολογισμού του δείκτη. Ο υπολογισμός του δείκτη έγινε επίσης χειροκίνητα για να διαπιστωθεί η ακρίβεια του υπολογισμού και πιθανές μεγάλες αποκλίσεις που ίσως παρουσιάζονταν. Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου είναι πολύ γρηγορότερη σε σχέση με την συμβατική, ακόμα και όταν ο υπολογισμός των αποστάσεων γίνεται μέσω ΓΣΠ. Οι διαφορές που προέκυψαν στις μετρήσεις είναι σχετικά μικρές με ακριβέστερες αυτές της αυτόματης μεθόδου. Σε καμία περίπτωση, δεν αλλοιώθηκε ο χαρακτηρισμός του μετώπου από την αυτόματη μέθοδο.

Όπως ισχύει σε όλους σχεδόν τους μορφομετρικούς δείκτες, έτσι και στο δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους, είναι σημαντικό οι υπολογισμοί να γίνονται όσο τον δυνατόν στον ίδιο λιθολογικό σχηματισμό. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου δηλαδή στην ίδια λεκάνη ή περιοχή μελέτης, εμφανίζονται περισσότεροι του ενός σχηματισμοί σε συνέχεια ή εναλλασσόμενοι, ο δείκτης μπορεί να δώσει αμφίσημα αποτελέσματα που είτε απορρίπτονται είτε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία. Στην παρούσα διατριβή, υπολογίστηκε ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους για τα όρη Μερέντα, Όλυμπος, το νότιο τμήμα της Πεντέλης, το ανατολικό τμήμα του Υμηττού, το Πάνειο και το όρος Μπα. Οι ορεινές περιοχές που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου παρουσιάζουν σημαντικές λιθολογικές μεταβολές, έχουν σχετικά μικρό υψόμετρο και σε ένα μεγάλο τμήμα έχει αλλοιωθεί το φυσικό ανάγλυφο, λόγω της έντονης μεταλλευτικής δραστηριότητας από την αρχαιότητα. Οποιαδήποτε μέτρηση έγινε στην περιοχή αυτή, δεν ήταν ικανή να μας δώσει ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα.

Ο υπολογισμός του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους, έγινε με την προαναφερθείσα μέθοδο, η οποία υλοποιήθηκε μέσα από το λογισμικό ΓΣΠ. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν δύο νέα θεματικά πεδία όπου εκεί αποθηκεύτηκαν οι μετρήσεις. Στους πίνακες 14 και 15 παρουσιάζονται τα πεδία που δημιουργήθηκαν για το παραπάνω σκοπό. Η μέτρηση του μετώπου έγινε σε τμήματα των 5Km και ύστερα υπολογίστηκε για κάθε τμήμα του βουνού ο μέσος όρος.



**Εικόνα 19:** Υπολογισμός δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους με την προτεινόμενη μέθοδο. Ως υπόβαθρο λαμβάνεται ο χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης.



Πίνακας 14: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου  $L_{mf}$ 

Όνομα	Περιγραφή	Τύπος
id	Αύξων αριθμός γραμμής	μοναδικός αριθμός, ακέραιος
shape	Μορφή	Αλφαριθμητικό, αυτόματο από το σύστημα
length	μήκος γραμμής	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
maxslope	μέγιστη κλίση	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
mountainfront	μέτωπο όρους που ανήκει η γραμμή	Αλφαριθμητικό, αναφέρεται στο βουνό που ανήκει η γραμμή

Πίνακας 15: Ανάλυση πεδίων θεματικού επιπέδου  $L_s$ 

Όνομα	Περιγραφή	Τύπος
id	Αύξων αριθμός γραμμής	μοναδικός αριθμός, ακέραιος
shape	Μορφή	Αλφαριθμητικό, αυτόματο από το σύστημα
length	μήκος γραμμής	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
maxslope	μέγιστη κλίση	Αριθμητικό, 2 δεκαδικά
mountainfront	μέτωπο όρους που ανήκει η γραμμή	Αλφαριθμητικό, αναφέρεται στο βουνό που ανήκει η γραμμή
LMF	αναφέρεται στο ποιας γραμμής είναι το ευθύγραμμο τμήμα	Αλφαριθμητικό, παίρνει τον κωδικό του πεδίου $L_{mf}$

Τα αποτελέσματα που παρατίθενται στους επόμενους πίνακες αφορούν τις περιοχές στις οποίες υπολογίστηκε ο δείκτης διάβρωσης μετώπου όρους. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι πλην του Υμηττού, όλες οι υπόλοιπες μετρήσεις δείχνουν ότι οι περιοχές είναι τεκτονικά ενεργές. Κάποιες από αυτές μάλιστα φαίνεται να είναι σημαντικά ενεργές, αφού ο δείκτης πλησιάζει την τιμή 1.

Η περιοχή του όρους Μερέντα χωρίστηκε σε ένα βόρειο και ένα νότιο τμήμα, όπου ο μέσος όρος των μετρήσεων έδειξε τιμές 1,28 για το βόρειο και 1,35 για το νότιο αντίστοιχα. Από τις μετρήσεις φαίνεται ότι και τα δύο τμήματα είναι ενεργά με μεγαλύτερη ενεργότητα να παρατηρείται στο βόρειο τμήμα.

**Πίνακας 16: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το όρος Μερέντα.**

ΜΕΡΕΝΤΑ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ			ΜΕΡΕΝΤΑ ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$	$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
5834	5123	1,13	5086	3876	1,31
5177	3647	1,41	6655	6444	1,03
9031	7027	1,28	5219	3038	1,71
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,28	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,35

Το Πάνειο όρος είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε έκταση και ψηλότερα βουνά της περιοχής. Χωρίστηκε σε ένα βόρειο και ένα νότιο τμήμα, όπου ο μέσος όρος των μετρήσεων έδειξε τιμές 1,09 για το βόρειο και 1,26 για το νότιο αντίστοιχα. Από τις μετρήσεις φαίνεται ότι και τα δύο τμήματα είναι ενεργά με μεγαλύτερη ενεργότητα να παρατηρείται στο βόρειο τμήμα, που η τιμή του είναι κοντά στη μονάδα.

**Πίνακας 17: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το Πάνειο όρος.**

ΠΑΝΕΙΟ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ			ΠΑΝΕΙΟ ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$	$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
6291	6018	1,04	2604	2238	1,16
3260	2632	1,24	2997	2107	1,42
4064	3989	1,02	3002	2555	1,17
3313	3080	1,08	4895	3771	1,30
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,09	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,26

Το όρος Όλυμπος είναι ένα από τα ψηλότερα βουνά της περιοχής και γειτνιάζει με το Πάνειο. Χωρίστηκε σε ένα βόρειο και ένα νότιο τμήμα, όπου ο μέσος όρος των μετρήσεων έδειξε τιμές 1,06 για το βόρειο και 1,09 για το νότιο αντίστοιχα. Από τις μετρήσεις φαίνεται ότι και τα δύο τμήματα είναι ενεργά με μεγαλύτερη ενεργότητα να παρατηρείται στο βόρειο τμήμα αλλά με πολύ μικρή διαφορά μεταξύ των δύο. Οι μετρήσεις δείχνουν ότι τα περιθώρια του όρους Όλυμπος είναι εξαιρετικά ενεργά.

**Πίνακας 18: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το όρος Όλυμπος.**

ΟΛΥΜΠΟΣ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ			ΟΛΥΜΠΟΣ ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$	$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
4849	4593	1,06	4814	4140	1,16
5175	4878	1,06	3242	3190	1,02
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,06	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,09

Το όρος Πεντέλη βρίσκεται κατά το ήμισυ σχεδόν στην περιοχή μελέτης. Μετρήθηκε το νότιο τμήμα του βουνού και βρέθηκε ότι έχει τιμή 1,64. Η τιμή αυτή δείχνει ότι η περιοχή βρίσκεται σε καθεστώς μικρής τεκτονικής ενεργότητας. Σε σύγκριση με τις τιμές των προηγούμενων ορεινών όγκων, δείχνει ότι σίγουρα βρίσκεται σχετικά με αυτά, σε ένα πιο ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον.

**Πίνακας 19: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το όρος Πεντέλη.**

ΠΕΝΤΕΛΗ ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
5757	4223	1,36
5725	4930	1,16
10350	4422	2,34
5094	2975	1.71
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,64

**Πίνακας 20: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το όρος Υμηττός.**

ΥΜΗΤΤΟΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
5130	4555	1,13
4875	4113	1,19
5063	3583	1,41
4181	1957	2,14
5125	2035	2,52
4981	2336	2,13
5137	50 07	1,02
5054	2681	1,89
5344	3010	1,78
5119	3718	1,38
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:		1,65

Το βουνό του Υμηττού αποτελεί το δυτικό όριο της περιοχής μελέτης και είναι ο μεγαλύτερος ορεινός όγκος. Μετρήθηκε ο δείκτης διάβρωσης για το ανατολικό και νότιο τμήμα του βουνού. Ο μέσος όρος των μετρήσεων είναι 1,65, κάτι που δηλώνει ότι η περιοχή βρίσκεται σε μέτρια τεκτονική δραστηριότητα. Η τιμή του είναι σχεδόν ταυτόσημη με αυτή της Πεντέλης. Σε σύγκριση με τις τιμές των υπόλοιπων ορεινών

όγκων, δείχνει ότι σίγουρα βρίσκεται σχετικά με αυτά, σε ένα πιο ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον.

Τέλος, μετρήθηκε ένας μικρός ορεινός όγκος που ονομάζεται Μπα. Η τιμές έδειξαν σχετική ενεργότητα.

**Πίνακας 21: Μετρήσεις του δείκτη διάβρωσης μετώπου όρους για το όρος Μπα.**

ΜΠΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ ΤΜΗΜΑ			ΜΠΑ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ		
$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$	$L_{mf}$	$L_s$	$S_{mf}$
5669	4181	1,35	6310	5141	1,23

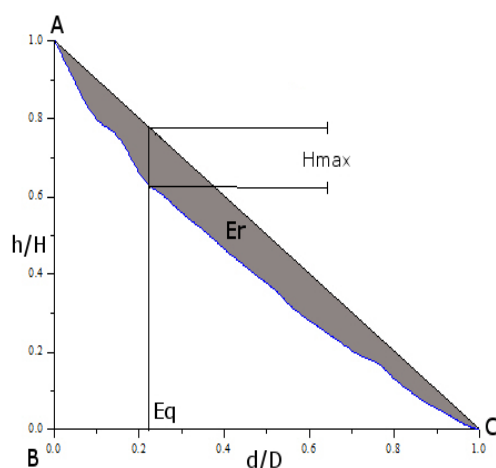
### 3.5 ΕΠΙΜΗΚΗ ΠΡΟΦΙΛ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Τα τοπογραφικά προφίλ κοιλάδων έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για τον καθορισμό ενός αριθμού ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών αυτών. Οι Mollin et al. (2004), χρησιμοποίησαν παράλληλα τοπογραφικά προφίλ σε κοιλάδες της Καλαβρίας για τον εντοπισμό της σχέσης της τοπογραφίας με τεκτονικές γραμμές.

Τα επιμήκη προφίλ των κοιλάδων (longitudinal valley profiles) είναι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν το υψόμετρο της κοιλάδας σε σχέση με το μήκος της. Για την καλύτερη σύγκριση των προφίλ και την εξαγωγή άμεσων συμπερασμάτων, τα διαγράμματα αυτά κανονικοποιούνται (Demoulin 1998). Οι Zuchiewicz (1991, 1998) και Rudiger et al. (2009) χρησιμοποίησαν προφίλ κοιλάδων για να περιγράψουν την γεωμορφολογική ανταπόκριση των διάφορων τεκτονικών κινήσεων στα Πολωνικά Καρπάθια ο πρώτος και στην Κεντρική Ουγγαρία οι δεύτεροι. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλό ρυθμό τεκτονικής παραμόρφωσης.

Στον αντίποδα, σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, όπως αυτή της Κεντρικής Ταϊβάν, οι Lee και Tsai (2010), χρησιμοποιώντας τους ίδιους δείκτες (με διάφορες μαθηματικές παραδοχές), καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι το κυρίαρχο στοιχείο στην γεωμορφολογική εξέλιξη τεκτονικά ενεργών περιοχών, αποτελούν οι τεκτονικές κινήσεις και πολύ λιγότερο η λιθολογία και η αντίσταση των σχηματισμών στη διάβρωση.

Τα κανονικοποιημένα διαγράμματα των προφίλ, είναι αδιάστατα και επομένως είναι άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους. Για τη δημιουργία τους, κάθε απόσταση  $d$  σημείου που μετράμε από την αρχή της κοιλάδας, διαιρείται με το συνολικό μήκος  $D$  της γραμμής. Η ίδια διαδικασία γίνεται και για το υψόμετρο, όπου το απόλυτο υψόμετρο κάθε σημείου  $h$  διαιρείται με το συνολικό υψόμετρο της λεκάνης  $H$ . Από το διάγραμμα αυτό, προκύπτουν τρεις κύριες παράμετροι:



**Εικόνα 20: Κανονικοποιημένο διάγραμμα επιμήκους προφίλ κοιλάδας. Εξήγηση των όρων στο κείμενο.**

α) Το εμβαδό  $E_r$ , που εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) του συνολικού εμβαδού του τριγώνου  $ABC$  (εικόνα 20). Η παράμετρος αυτή, θεωρητικά μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 100% αλλά στην πράξη υπολογίζονται και τιμές μικρότερες του 0 όπως και μεγαλύτερες του 100. Απεικονίζει το θεωρητικό τμήμα της λεκάνης που έχει «διαβρωθεί».

β) Η παράμετρος  $H_{max}$ , είναι μία έκφραση της κοιλότητας της λεκάνης και μας δίνει τη μέγιστη διαφορά ύψους που παρατηρείται στη λεκάνη.

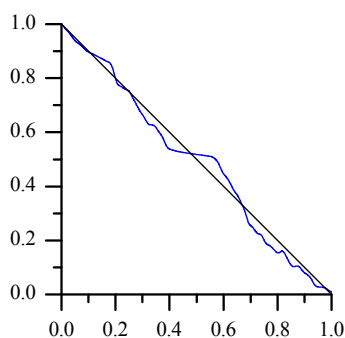
γ) Η παράμετρος  $E_q$ , που είναι η προβολή του  $H_{max}$  στον οριζόντιο άξονα, λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 σε κανονικοποιημένα διαγράμματα και θεωρητικά όσο μικρότερη τιμή έχει, τόσο καλύτερα κατανομημένο προφίλ παρουσιάζει η λεκάνη (Molin, Pazzaglia and Dramis 2004).

Οι ποταμοί που παρουσιάζουν ισορροπία, δηλαδή η εκφόρτιση του επιφανειακού νερού είναι τόση ώστε να μην παρουσιάζεται διάβρωση, έχουν μεγάλη τιμή  $E_r$  και το  $E_q$  βρίσκεται πολύ κοντά στην αρχή των αξόνων (Mackin 1948). Διαφοροποιήσεις από την ιδανική κατάσταση, έχουν να κάνουν με εξωτερικούς παράγοντες όπως η διαφορική διάβρωση των λιθολογιών ή/και η νεοτεκτονική δραστηριότητα (Holbrook and Schumm 1999, Gelabert, et al. 2005).

Στην παρούσα διατριβή, δημιουργήθηκαν τα κανονικοποιημένα προφίλ των κοιλάδων όλων των κύριων ρεμάτων που μελετήθηκαν. Επίσης υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες παράμετροι από τα κανονικοποιημένα διαγράμματα.

Η κατασκευή των προφίλ έγινε από το αρχικό ΨΜΑ, όπου μετρήθηκαν οι αποστάσεις των σημείων από την αρχή το ρέματος και λήφθησαν τα αντίστοιχα υψόμετρα. Οι τελικές καμπύλες εξομαλύνθηκαν με τον υπολογισμού κινητού μέσου πέντε σημείων. Δεν κρίθηκε σκόπιμη περαιτέρω εξομάλυνση μέσω κάποιας πολυωνυμικής εξίσωσης, παρότι κάποιοι ερευνητές τη χρησιμοποιούν, χωρίς όμως να αναφέρουν το λόγο (Demoulin 1998).

**Εικόνα 21: Επιμήκη προφίλ κοιλάδων για τα ρέματα της περιοχής μελέτης**

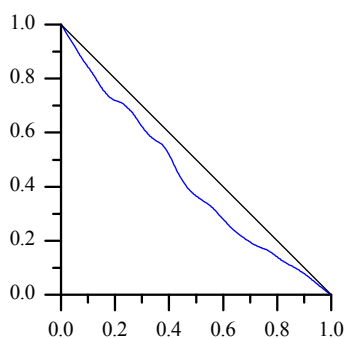


#### **Μεγάλο Ρέμα**

$$E_r = 2,4\%$$

$$H_{\max} = 0,063$$

$$E_q = 0,4$$



#### **Ρέμα Λούτσας**

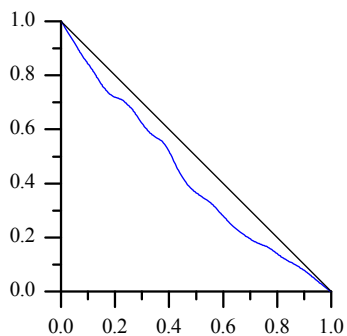
$$E_r = 8,3\%$$

$$H_{\max} = 0,133$$

$$E_q = 0,618$$



Εικόνα 21 (συνέχεια)

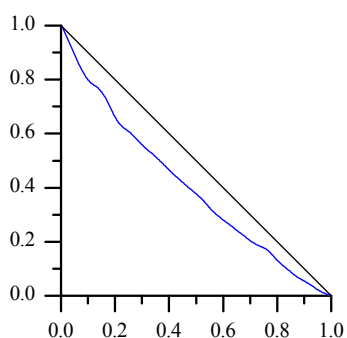


**Ρέμα Κοπρισιά Τζώτη**

$E_r = 16,1\%$

$H_{max} = 0,141$

$E_q = 0,500$

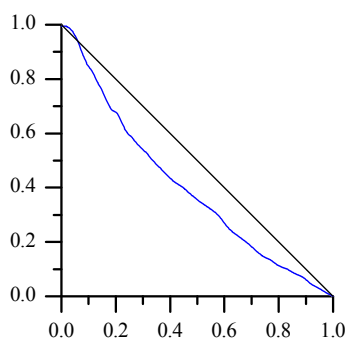


**Ρέμα Χαλιδού**

$E_r = 16,4\%$

$H_{max} = 0,155$

$E_q = 0,220$



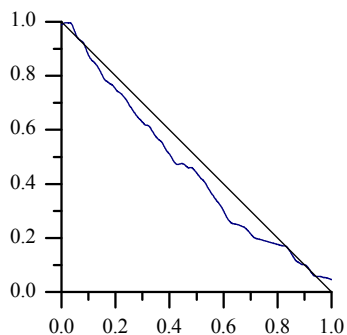
**Ρέμα Ντούκα**

$E_r = 22,2\%$

$H_{max} = 0,155$

$E = 0,240$

Εικόνα 21 (συνέχεια)

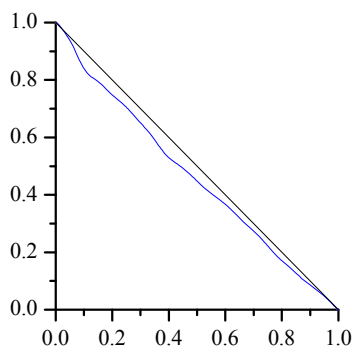


**Ερασίνοιο Ποταμός**

$E_r = 10,0\%$

$H_{max} = 0,111$

$E_q = 0,634$

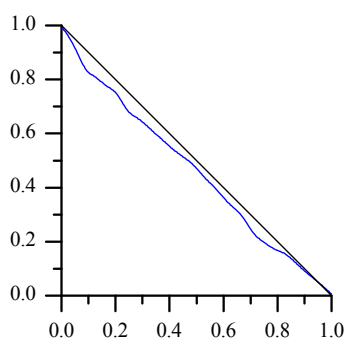


**Λυκόρρεμα**

$E_r = 8,6\%$

$H_{max} = 0,058$

$E_q = 0,144$

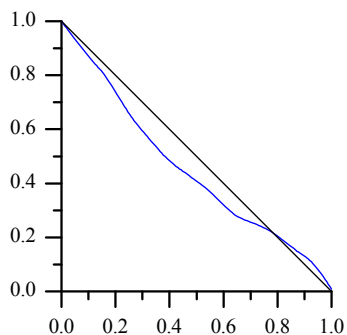


**Ρέμα Αγίας Μαρίνας**

$E_r = 8,3\%$

$H_{max} = 0,076$

$E_q = 0,111$



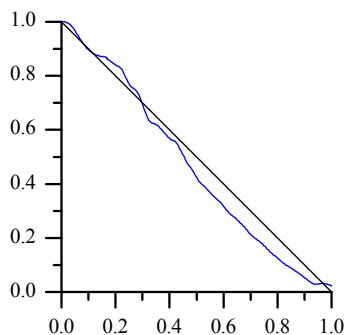
**Ρέμα Αγίου Δημητρίου**

$E_r = 10,2\%$

$H_{max} = 0,119$

$E_q = 0,383$

Εικόνα 21 (συνέχεια)

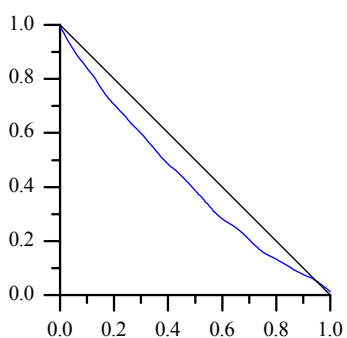


**Ρέμα Παραλίας Καλυβίων**

$$E_r = 10,6\%$$

$$H_{max} = 0,089$$

$$E_q = 0,532$$

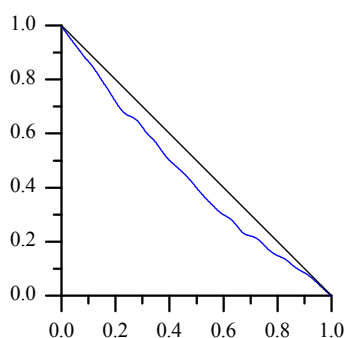


**Ρέμα Βίγλισμα**

$$E_r = 16,3\%$$

$$H_{max} = 0,117$$

$$E_q = 0,390$$

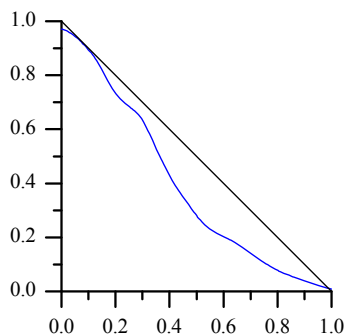


**Ρέμα Αναβύσσου**

$$E_r = 14,3\%$$

$$H_{max} = 0,094$$

$$E_q = 0,241$$



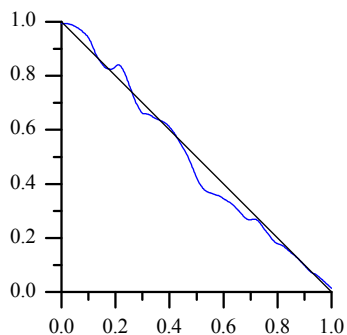
**Ρέμα Λιβαδώνα**

$$E_r = 22,6\%$$

$$H_{max} = 0,210$$

$$E_q = 0,583$$

Εικόνα 21 (συνέχεια)

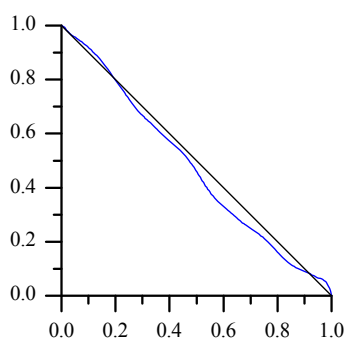


**Ρέμα Λεγρενών**

$$E_r = 4,1\%$$

$$H_{max} = 0,093$$

$$E_q = 0,538$$

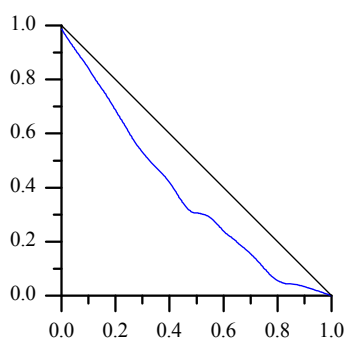


**Ρέμα Σουνίου**

$$E_r = 4,8\%$$

$$H_{max} = 0,071$$

$$E_q = 0,588$$

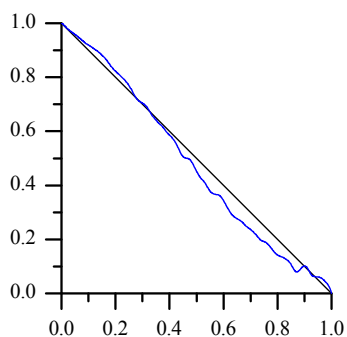


**Ρέμα Λαυρίου**

$$E_r = 26,4\%$$

$$H_{max} = 0,206$$

$$E_q = 0,487$$



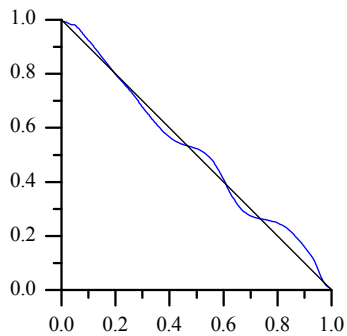
**Ποταμός**

$$E_r = 4,7\%$$

$$H_{max} = 0,071$$

$$E_q = 0,560$$

Εικόνα 21 (συνέχεια)

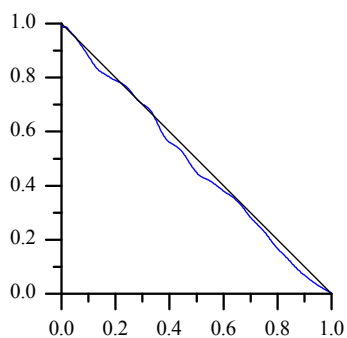


**Ρέμα Κακής Θάλασσας**

$$E_r = 0,6\%$$

$$H_{max} = 0,041$$

$$E_q = 0,687$$

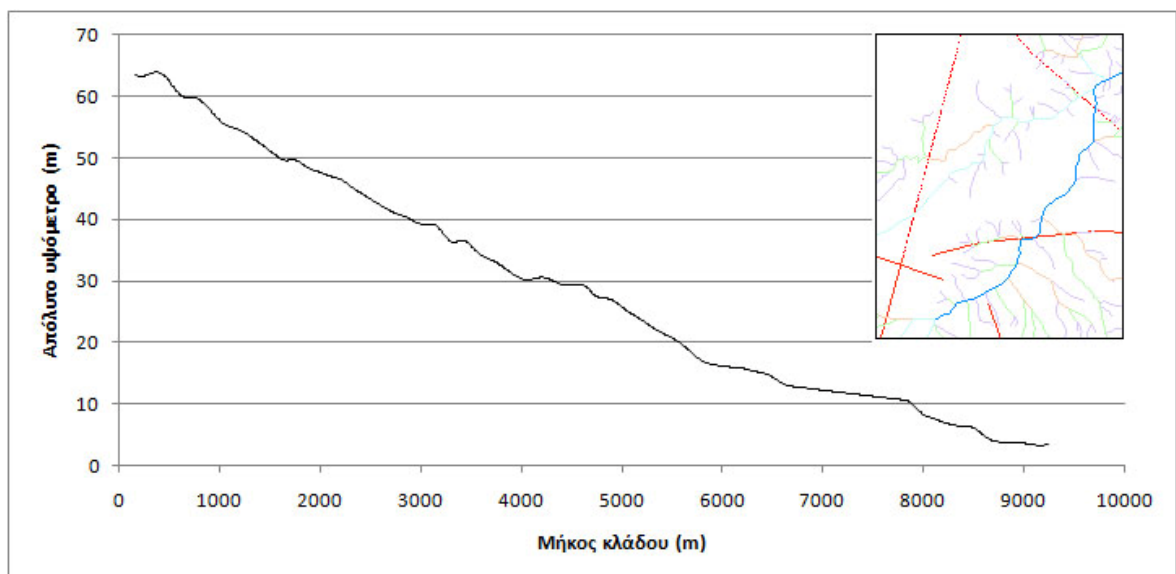


**Ρέμα Βρύση**

$$E_r = 4,2\%$$

$$H_{max} = 0,056$$

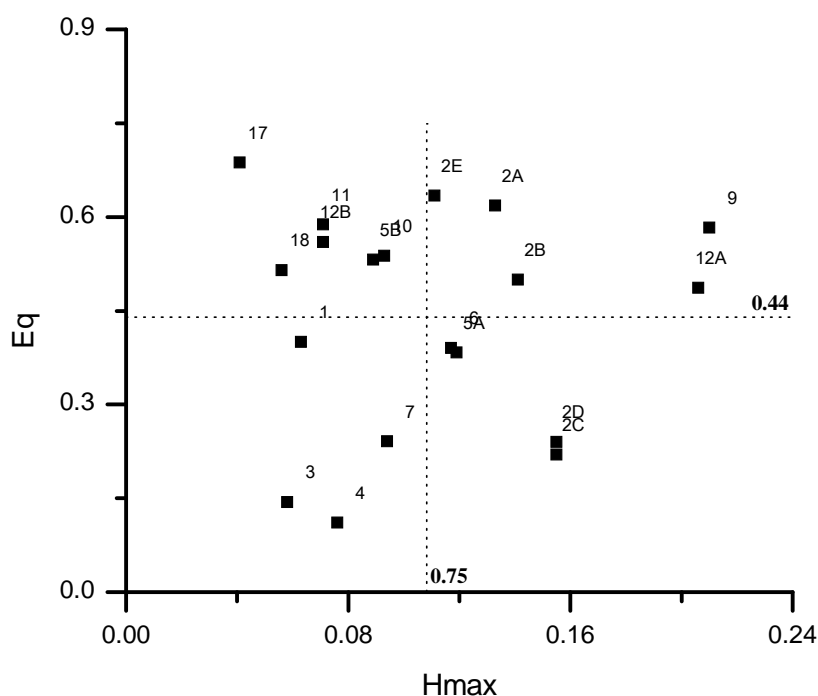
$$E_q = 0,515$$



**Εικόνα 22: Προφίλ του κλάδου μέγιστης τάξης (κατά Strahler) του Ερασίνου ποταμού. Η επίδραση ρηξιγενών δομών φαίνεται στο τμήμα 3200 - 3400 και 6200 - 6500. Η επίδραση των ρηγμάτων στρέφει τον κλάδο.**

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο τμήμα των ρεμάτων χαρακτηρίζεται από μικρό ποσοστό διάβρωσης. Το  $E_r$  κυμαίνεται από 0% έως 22,6%, το  $H_{max}$  από 0,041 έως 0,21, ενώ το  $E_q$  από 0,111 έως 0,687.

Οι αλλαγές που παρουσιάζονται στην κλίση της καμπύλης – οι απότομες αλλαγές κλίσης κυρίως – οφείλονται είτε σε νεοτεκτονικά αίτια είτε σε αλλαγή της λιθολογίας. Για κάθε προφίλ κλάδου, μελετήθηκε η σχέση της μορφολογίας με το γεωλογικό υπόβαθρο και διαπιστώθηκαν οι πιθανές αιτίες που επηρέασαν το προφίλ του, δίνοντας τη σημερινή εικόνα.



**Εικόνα 23: Διάγραμμα  $E_q$  προς  $H_{max}$  των λεκανών που προκύπτει από τα κανονικοποιημένα διαγράμματα των επιμήκων προφίλ κοιλάδων.**

Για την καλύτερη σύγκριση των τιμών που υπολογίστηκαν για το προφίλ της κάθε κοιλάδας, κατασκευάστηκε το διάγραμμα της εικόνας 23, όπου απεικονίζεται το  $E_q$  προς το  $H_{max}$ . Από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η περιοχή μελέτης είναι τεκτονικά νέα, έχοντας  $H_{max}$  σχετικά χαμηλά. Όσο μεγαλύτερη τιμή  $E_q$  τόσο πιο κοντά στο στάδιο νεότητας βρίσκεται το υδρογραφικό δίκτυο, ενώ όσο μικραίνει το

$E_q$  και μεγαλώνει το  $H_{max}$ , τόσο πιο κοντά στο στάδιο ισορροπίας βρίσκεται η περιοχή.

Από τη σύγκριση των τιμών που λαμβάνουμε από το διάγραμμα φαίνεται ότι οι λεκάνες 5B, 10, 11, 12B, 17 και 18 παρουσιάζονται ως οι κοντινότερες στο στάδιο νεότητας ενώ σε αντίθεση, οι 2B και 2D σε πιο ώριμο στάδιο. Οι λεκάνες 3, 4 και 7 παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές και δείχνουν ότι βρίσκονται σε καθεστώς σημαντικής παραμόρφωσης.

#### 4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ (ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ)

Το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής, ορίζεται περιφερειακά από τον υδροκρίτη και τους κλάδους ρεμάτων που τον συγκροτούν. Η μορφή του δικτύου είναι αποτέλεσμα της γεωλογικής δομής, δηλαδή της λιθολογίας, της στρωματογραφικής διάρθρωσης, της τεκτονικής καταπόνησης, ως αποτέλεσμα της κινηματικής και δυναμικής εξέλιξης μιας περιοχής καθώς και των κλιματικών συνθηκών. Ειδικότερα, στην εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου, τα κυριότερα χαρακτηριστικά όπου γίνεται αντιληπτή η επίδραση της τεκτονικής είναι τα παρακάτω:

- Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου (παράλληλος, δενδριτικός, ακτινωτός κλπ.).
- Οι αλλαγές της διεύθυνσης των ρεμάτων.
- Οι επιλεκτικές διευθύνσεις απορροής.
- Οι απότομες υψομετρικές αλλαγές στην κλίση της κοίτης των ρεμάτων (knick points).
- Τα σημεία συμβολής των κλάδων ίδιας ή διαφορετικής τάξης.
- Η κατά βάθος διάβρωση.

Η διαχρονική μεταβολή όλων το προαναφερθέντων χαρακτηριστικών σε μια περιοχή προσδιορισμένης λιθοστρωματογραφίας και με σταθερές στο χρόνο κλιματολογικές συνθήκες, είναι δυνατόν να ορίσει τα κυρίαρχα αίτια των μεταβολών και την τεκτονική παραμόρφωση.

Στην παρούσα διατριβή, η δημιουργία των θεματικών πεδίων που αφορούν την υδρολογία της περιοχής μελέτης, έγινε με τη χρήση λογισμικών αυτόματου εντοπισμού των ρεμάτων και υδροκρίτων. Τα λογισμικά αυτά, απαιτούν τη χρήση και επεξεργασία ενός ΨΜΑ (ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου), ικανής ανάλυσης για τη μελέτη. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΑ της περιοχής μελέτης με μέγεθος κελιού 10m, όπου σε αυτό έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις και υπολογισμοί έτσι ώστε να προκύψει το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής με μεγάλη αξιοπιστία.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΨΜΑ στην ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου, εκτός από την ταχύτητα επεξεργασίας, είναι η αποκάλυψη τμημάτων ρεμάτων που καλύπτονται από βλάστηση ή δόμηση. Επίσης, η ακρίβεια που δίνεται από την ανάλυση μέσω του ΨΜΑ είναι σημαντική για τις στατιστικές αναλύσεις που

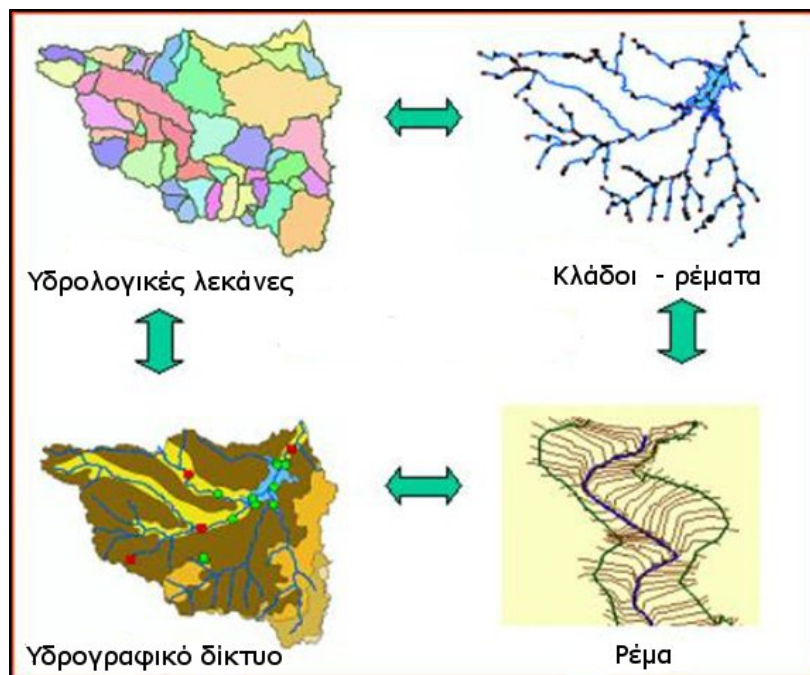


γίνονται για να καθοριστεί η σχέση του υδρογραφικού δικτύου με τη γενικότερη ρηξιγενή τεκτονική. Για τον έλεγχο του αποτελέσματος, όπως και για τη συμπλήρωση του υδρογραφικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:25.000 της Γ.Υ.Σ. και οι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής που δημιουργήθηκαν για το σκοπό αυτό. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε και τα συγκριτικά αποτελέσματα των μεθόδων.

#### 4.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου μέσω ΓΣΠ (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) έχει γίνει απαραίτητη εξαιτίας της αύξησης των δεδομένων και της απαίτησης για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς (Maidment 2002). Έτσι, έχουν αναπτυχθεί πλήθος λογισμικών όπου έχουν ως σκοπό την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου μίας περιοχής, τον ορισμό του υδροκρίτη, των υδρολογικών λεκανών και όλων εκείνων των απαραίτητων στοιχείων που απαιτούνται για την ποιοτική και ποσοτική χαρτογράφηση της υδρολογικής κατάστασης της περιοχής.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή είναι το Arc Hydro Tools (εικόνα 24), το οποίο δημιουργήθηκε και αναπτύσσεται από το Center of Research in Water Resources του University of Texas at Austin. Το λογισμικό χρησιμοποιείται από αρκετούς δημόσιους οργανισμούς και ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια ανά τον κόσμο και θεωρείται αρκετά αξιόπιστο για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου.



**Εικόνα 24: Σχηματικό μοντέλο επεξεργασίας υδρογραφικού δικτύου με την χρήση του ArcHydro Tools.<sup>1</sup>**

Το ArcHydro tools δημιουργεί για κάθε περιοχή μελέτης, μία βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των εσωτερικών στοιχείων που υπολογίζονται σε κάθε βήμα της μεθόδου. Η βάση δεδομένων είναι τύπου προσωπικής βάσης δεδομένων (mdb) και δημιουργείται αυτόματα με την έναρξη χρήσης του λογισμικού.

Για να μπορέσουν να παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, απαραίτητη είναι η πολυεπεξεργασία του ΨΜΑ, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο διορθωμένο ΨΜΑ, στο οποίο θα εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι αναγνώρισης των υδρολογικών χαρακτηριστικών.

#### 4.1.1 Προεπεξεργασία ΨΜΑ

Ο σκοπός της προεπεξεργασίας του ΨΜΑ είναι διττός: (α) δημιουργείται ένα υδρολογικά «σωστό» ΨΜΑ που έχει να κάνει κυρίως με τον υπολογισμό της διεύθυνσης της κίνησης και της συσσώρευσης του νερού στο έδαφος, όπως και της αναγνώρισης της προτίμησης της ροής του νερού προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση και (β) τη δημιουργία εσωτερικά συνδεδεμένων στη βάση επιπέδων

<sup>1</sup> Όλες οι εικόνες (πλην λογικών διαγραμμάτων) του κεφαλαίου 4.1, βασίζονται στο εγχειρίδιο χρήσης του ArcHydro Tools (Djokic 2008).

πληροφορίας που έχουν να κάνουν με την ταχύτητα επεξεργασίας αλλά και την καλύτερη αναγνώριση των υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Η δημιουργία του Υδρολογικού ΨΜΑ (ΥΨΜΑ) είναι μία διαδικασία που διαφέρει ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας και απαιτείται διαφορετική προσέγγιση ανάλογα με τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η ανάλυση για παράδειγμα των πλημμυρικών φαινομένων απαιτεί ελαφρά διαφοροποιημένο μοντέλο ΥΨΜΑ από αυτό της μελέτης της κανονικής ροής του νερού. Σκοπός της προεπεξεργασίας δεν είναι τόσο η σωστή αναπαραγωγή του πραγματικού ανάγλυφου, όσο η σωστή προετοιμασία του ώστε να δώσει σωστά την αποστράγγιση των περιοχών που μελετώνται.

Η προεπεξεργασία του ΨΜΑ είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί τμηματικά σε μία περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας κάθε φορά την αντίστοιχη μεθοδολογία για την καλύτερη προετοιμασία του ανάγλυφου. Οι κύριοι παράγοντες που παίζουν ρόλο στην συμπεριφορά του ΥΨΜΑ είναι δύο:

- **Η διεύθυνση ροής του νερού:** η διεύθυνση ροής καθορίζει την κίνηση του επιφανειακού νερού μεταξύ των ψηφίδων του ΥΨΜΑ. Υποθέτουμε ότι η κίνηση του νερού καθορίζεται μόνο από την τοπογραφία και όχι από άλλα πιθανά υδραυλικά αίτια. Σε περίπτωση που το τελευταίο ισχύει σε μία περιοχή, θα πρέπει να εφαρμόσουμε το αντίστοιχο μοντέλο ροής κίνησης του νερού.
- **Το υδρογραφικό δίκτυο:** από το παραγόμενο ΥΨΜΑ μπορεί να προκύψουν περισσότερα του ενός πιθανά υδρογραφικά δίκτυα. Η επιλογή του κατάλληλου υδρογραφικού δικτύου, που αντιπροσωπεύει την περιοχή, είναι καθαρά υποκειμενικό θέμα.

Τα κυριότερα στοιχεία που καθορίζουν τη συμπεριφορά του παραγόμενου ανάγλυφου και την κίνηση του νερού είναι τα παρακάτω:

- **Τοπογραφικές βυθίσεις:** πρόκειται είτε για πραγματικές γεωμορφές, όπως π.χ. καρστικές δομές, είτε σφάλματα του ΨΜΑ, που είναι περιοχές όπου το νερό συσσωρεύεται και δεν παρουσιάζει ροή διαφυγής. Τις περισσότερες των περιπτώσεων, τα σημεία αυτά αποτελούν σφάλματα του ΨΜΑ που οφείλονται

στον τρόπο δημιουργίας του. Όταν πρόκειται για πραγματικές βυθίσεις, σε συνθήκες χαμηλής ροής το νερό εγκλωβίζεται στις περιοχές αυτές και δεν συνεισφέρει στα κατάντη, ενώ σε περιπτώσεις υψηλής ροής οι ταπεινώσεις γεμίζουν και υπερχειλίζουν δίνοντας συνέχεια στη ροή του νερού. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός τεχνητών και φυσικών τοπογραφικών βυθισμάτων με την κατάλληλη επεξεργασία.

- **Γνωστά ρέματα:** πρόκειται για το υπάρχον υδρογραφικό δίκτυο, που εμφανίζεται σε τοπογραφικούς, αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται πλήρης ταύτιση του υπάρχοντος δικτύου με το παραγόμενο ΥΨΜΑ.
- **Γνωστές λίμνες:** κάθε λίμνη που υπάρχει στην περιοχή δίνεται από ένα πολύγωνο που περιγράφει την περιφέρεια της. Πρόκειται είτε για λίμνες - βυθίσματα, όπου το νερό εγκλωβίζεται, είτε για λίμνες που σε κάποιο σημείο τους παρουσιάζουν έξοδο του νερού, μέσω ενός ρέματος που υπερχειλιστικά τις αποστραγγίζει.
- **Γνωστοί υδροκρίτες:** πρόκειται για τα όρια των υδρολογικών λεκανών, όπου απεικονίζονται σε πολύγωνα. Κάθε ψηφίδα που βρίσκεται εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης θα έχει κίνηση προς το εσωτερικό της.

Το ΥΨΜΑ που θα παραχθεί από τη διαδικασία, θα πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παραπάνω όρους. Το κύριο εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένα θεματικό επίπεδο που απεικονίζει την κίνηση του νερού από το σημείο που ξεκινά (θέση που πέφτει μία σταγόνα νερού αν υποθέσουμε ότι πρόκειται για κατακρημνίσματα), μέχρι τη θέση που αυτή θα βγει έξω από τα όρια της περιοχής.

#### 4.1.2 Επιλογή ΨΜΑ

Το ΨΜΑ που επιλέχθηκε για τις ανάγκες τη διατριβής, αρχικά ήταν σε μορφή DEM (Digital Elevation Modem) με ακρίβεια δεκαδικού ψηφίου. Η μεγάλη ακρίβεια που είχε το αρχικό DEM δεν προσέφερε καμία επιπλέον πληροφορία στην επεξεργασία και επιπρόσθετα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερο χρόνο για τη δημιουργία των θεματικών επιπέδων, αυξάνοντας επίσης τα σφάλματα από τεχνητά τοπογραφικά

βυθίσματα. Έτσι, έγινε μετατροπή από ακρίβεια ΨΜΑ δεκαδικού σε ΨΜΑ μορφής GRID ακέραιου χαρακτήρα. Η διαδικασία μετατροπής πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- Βρέθηκε η ακρίβεια ύψους του ΨΜΑ και υπολογίστηκαν τα σημαντικά ψηφία που αυτό περιέχει. Στην περίπτωση μας οι μονάδες ύψους ήταν σε μέτρα, όπως και οι συντεταγμένες του προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ.
- Για κάθε σημείο καθορίζεται αν απαιτείται, η προσθήκη ενός επιπλέον σημαντικού ψηφίου για την αποφυγή λαθών από στρογγυλοποιήσεις που προκύπτουν. Για το ΨΜΑ καθορίστηκε 1 σημαντικό ψηφίο.
- Καθορίστηκε ο πολλαπλασιαστής ως  $10^n$ , όπου  $n$  ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων, στην περίπτωση μας  $10^1$ .
- Από τον υπολογιστή ψηφίδων (raster calculator) του προγράμματος ΓΣΠ, πολλαπλασιάστηκαν οι τιμές του DEM με τον πολλαπλασιαστή και στη συνέχεια στρογγυλοποιήθηκαν στον πλησιέστερο ακέραιο.

#### 4.1.3 Επεξεργασία υδρογραφικού δικτύου δενδριτικής μορφής

Το υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής είναι το σύστημα ρεμάτων όπου οι κλάδοι των ρεμάτων ενώνονται στα κατάντη, σχηματίζοντας ένα δίκτυο μορφής δέντρου. Σε αυτό τον τύπο του υδρογραφικού δικτύου δεν υπάρχουν εσωτερικές λεκάνες που αποστραγγίζονται από καρστικά συστήματα ή άλλες μορφές τοπογραφικής ταπείνωσης.

Η επεξεργασία τέτοιου τύπου υδρογραφικού συστήματος γίνεται αποκλειστικά από την δημιουργία ενός ΥΨΜΑ που έχουν διορθωθεί όλα τα σημεία που εμφανίζουν βυθίσεις, έτσι ώστε κάθε ψηφίδα να παρουσιάζει ροή προς μία κατεύθυνση. Από το λογισμικό επιλέγουμε το γέμισμα των βυθισμάτων και τον υπολογισμό της διεύθυνσης ροής του νερού για κάθε κελί. Έτσι, δημιουργείται ένα νέο θεματικό επίπεδο όπου απεικονίζονται όλες οι ψηφίδες του χάρτη με μία από τις οκτώ χαρακτηριστικές τιμές: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 ( $2^n$ ). Οι τιμές αυτές, αντιπροσωπεύουν τη διεύθυνση κίνησης του νερού με 1 για βόρεια διεύθυνση, 2 για βορειοανατολική, 4 για ανατολική, 8 για νοτιοανατολική, 16 για νότια, 32 για νοτιοδυτική, 64 για δυτική και 128 για την βορειοδυτική. Στην περίπτωση που λαμβάνουμε διαφορετικές τιμές από τις παραπάνω, η αρχική μετατροπή του ΨΜΑ σε

ΥΨΜΑ είναι εσφαλμένη και πρέπει να επαναλάβουμε τη διαδικασία έως ότου πάρουμε μόνο τις οκτώ διακριτές τιμές.

Στη συνέχεια καθορίζεται η ροή του νερού, δηλαδή δημιουργείται ένα νέο θεματικό επίπεδο που απεικονίζει για κάθε κελί, τον αριθμό των γειτονικών κελιών που βρίσκονται στα ανάντη και αποστραγγίζονται μέσω αυτού. Ο καθορισμός των ρεμάτων γίνεται δίνοντας το εύρος των κελιών που απαιτείται για να χαρακτηριστεί μία ομάδα κελιών ρέμα. Είναι μία διαδικασία που χρειάζεται αρκετή εμπειρία και απαιτεί ένα σημαντικό αριθμό δοκιμών έως ότου καταφέρουμε να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Γενικά, οι τιμές που δίνουμε για το εύρος κυμαίνονται από 0,5% έως 1% της τιμής αποστράγγισης του προηγούμενου θεματικού χάρτη.

Επόμενο στάδιο είναι η αρίθμηση των τμημάτων των ρεμάτων και η ένωση τους, ώστε να δημιουργηθεί ένα συνεχές υδρογραφικό δίκτυο. Με το σχηματισμό και χαρακτηρισμό των ρεμάτων, καθορίζονται οι επιμέρους υδρολογικές λεκάνες που αποστραγγίζουν τα ρέματα, που καθορίζονται με μορφή πολυγωνικού διανυσματικού επιπέδου. Εφόσον η παραπάνω διαδικασία έχει παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα, το σύστημα δίνει την τελική μορφή των ρεμάτων σε διανυσματική μορφή, όπως και ένα επιπλέον θεματικό επίπεδο σημειακής μορφής που απεικονίζει τα σημεία συμβολής τους σε κόμβους.

Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να γίνεται απαραίτητα οπτικός έλεγχος των παραγόμενων θεματικών επιπέδων για τυχόν σφάλματα ή ασυνέχειες στο υδρογραφικό δίκτυο. Κάποια από τα πιο συνηθισμένα σφάλματα που παρουσιάζει η αυτόματη επεξεργασία είναι (εικόνα 25): (α) τα ρέματα να μην φτάνουν στα άκρα της περιοχής μελέτης (β) η ροή να μην ακολουθεί με ακρίβεια τη ροή γνωστών από άλλες πηγές (όπως τοπογραφικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες κ.α.) ρεμάτων και (γ) οι λεκάνες που προκύπτουν να μη σχετίζονται με τις πραγματικές υδρολογικές λεκάνες.

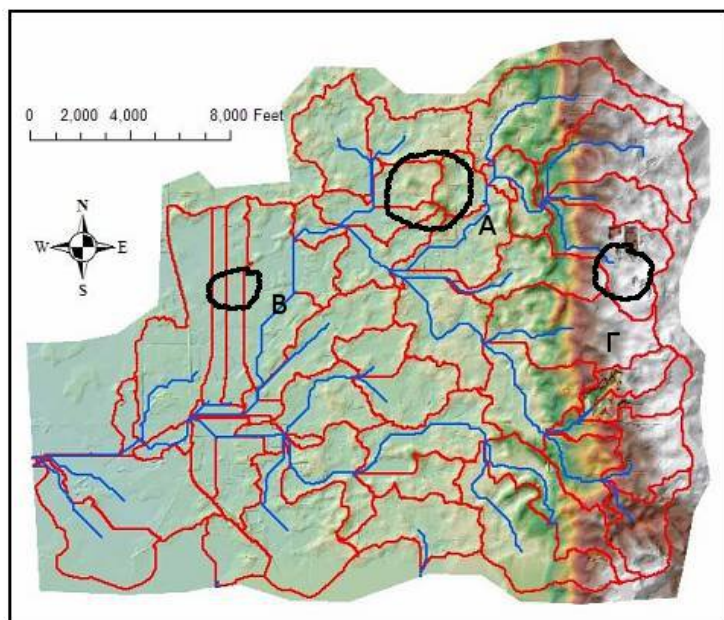
Από την εμπειρία της χρήσης του λογισμικού, συμπεραίνουμε ότι αν και προσφέρει σημαντική μείωση του χρόνου στην επεξεργασία δεδομένων και στην δημιουργία θεματικών επιπέδων που αφορούν την επιφανειακή υδρολογία μιας περιοχής, για την λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων είναι απαραίτητος ο έλεγχος και η χρήση επιπλέον στοιχείων. Κύριο πλεονέκτημα του λογισμικού είναι η

«αποκάλυψη» ρεμάτων που καλύπτονται είτε από αστικό ιστό είτε από μικρή λεπτομέρεια στους χάρτες μελέτης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι για την επεξεργασία μίας περιοχής με αριθμό κελιών περί τα 20 εκατομμύρια, για να λάβουμε τελικά αποτελέσματα, δηλαδή να εκτελεστούν όλα τα βήματα επεξεργασίας, δεν χρειάζονται παραπάνω από 30 λεπτά της ώρας.

Τις περισσότερες όμως φορές απαιτείται διόρθωση του παραγόμενου αποτελέσματος έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες της περιοχής. Οι κυριότερες διορθώσεις που γίνονται είναι οι εξής:

- Υπέρθωση του υπάρχοντος υδρογραφικού δικτύου.
- Υπέρθωση της κίνησης του νερού μέσα στις λίμνες.
- Υπέρθωση των γνωστών ορίων των υδρολογικών λεκανών.
- Υπέρθωση των γνωστών σημείων που τα ρέματα διακλαδίζονται.

Στην παρούσα διατριβή, εφαρμόστηκαν όλες οι διορθώσεις πλην αυτής των λιμνών, μιας και στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν.



**Εικόνα 25:** Επεξεργασμένο υδρογραφικό δίκτυο με τη χρήση του ArcHydro Tools. Στην περιοχή A δεν έχει εντοπιστεί το υδρογραφικό δίκτυο. Στην περιοχή B έχουν δημιουργηθεί εσφαλμένες υδρολογικές λεκάνες ενώ στην περιοχή Γ το ρέμα που εντοπίστηκε είναι μικρότερο του πραγματικού.



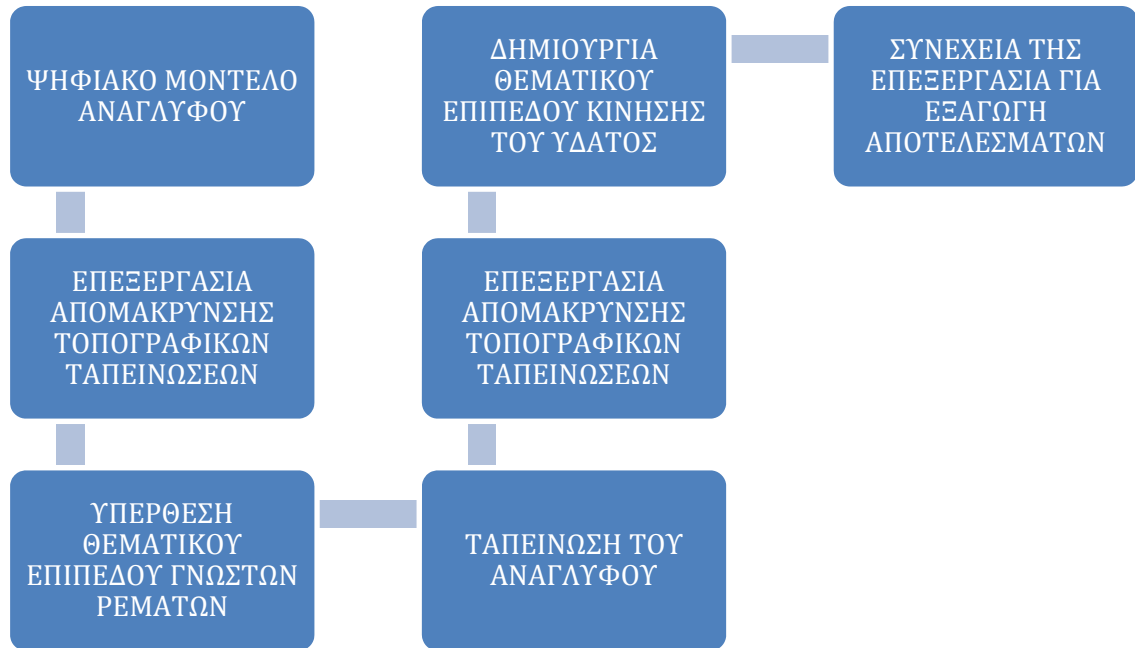
#### 4.1.3.1 Υπέρθεση υπάρχοντος υδρογραφικού δικτύου στο ΥΨΜΑ

Σκοπός της μεθόδου είναι η σύγκλιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την αυτόματη αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου, με γνωστούς κλάδους του υδρογραφικού από άλλες πηγές, όπου αυτοί υπάρχουν. Βασική προϋπόθεση της εφαρμογής είναι η κατανόηση του λόγου ή των λόγων που οφείλεται η διαφορετική αποτύπωση της κατάστασης του υδρογραφικού δικτύου από τη μέθοδο. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι ίδιας ή κοντινής κλίμακας και να μην απέχουν χρονικά. Επίσης πρέπει να πιστοποιηθεί ότι οι οποιεσδήποτε διαφορές που παρουσιάζονται στη μορφή του υδρογραφικού από το ΨΜΑ, οφείλονται σε λάθη που προκύπτουν κατά τη δημιουργία του.

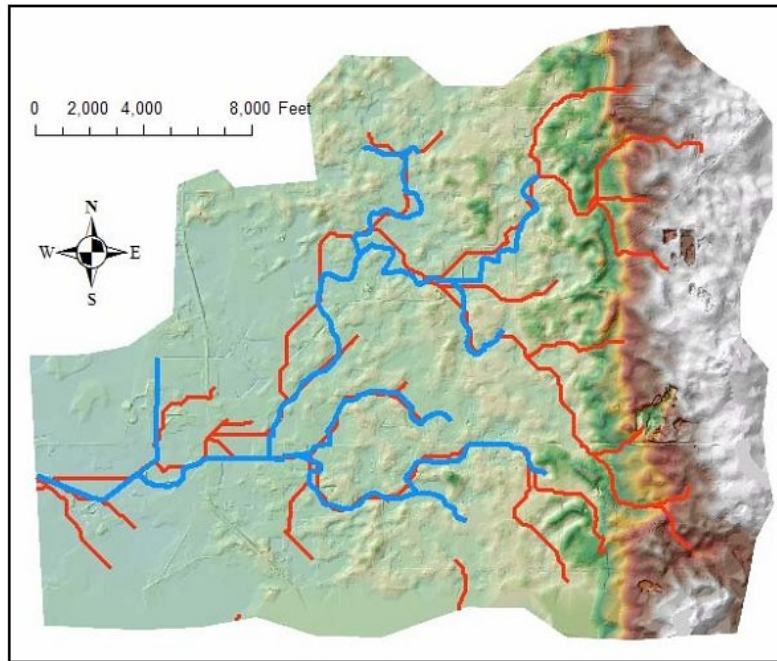
Στην παρούσα διατριβή, ψηφιοποιήθηκαν τα ρέματα που απεικονίζονται στους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. σε κλίμακα 1:25.000 και ελέγχθηκαν από ορθοφωτοχάρτες και αεροφωτογραφίες ίδιας χρονικής περιόδου με αυτή των τοπογραφικών χαρτών. Οι διαφορές που προέκυψαν σε περιοχές όπου το υδρογραφικό δίκτυο διατρέχει βραχώδεις και γενικά σχηματισμούς που είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση, οφείλονται σε λάθη του αρχικού ΨΜΑ. Στις πεδινές περιοχές όπου η κλίμακα των χαρτών δεν είχε επαρκή ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5.000 και αεροφωτογραφίες. Σφάλματα στην αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου, οφείλονται σε εκτεταμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως οικιστική ανάπτυξη ή αγροτικές καλλιέργειες.

Η μέθοδος διόρθωσης του ΥΨΜΑ με υπέρθεση δεδομένων υδρογραφικού δικτύου βασίζεται στη μέθοδο AGREE (Merkela, Kaushikab and Gorman 2008). Πρακτικά, με την υπέρθεση του γνωστού υδρογραφικού δικτύου, γίνεται τεχνητή τοπογραφική ταπείνωση των σημείων του ΨΜΑ που συμπίπτουν με τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου αλλά και των παρακείμενων σημείων, σε μήκος που ορίζεται από το χρήστη και ονομάζεται εύρος επιρροής (buffer). Η διαδικασία απαιτεί αρκετό πειραματισμό από μέρος του χρήστη έτσι ώστε να ληφθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα χωρίς να αλλοιωθεί ο χαρακτήρας του υδρογραφικού δικτύου (εικόνα 26 - 29). Για να είναι εφικτή η εφαρμογή της μεθόδου, το προς υπέρθεση θεματικό επίπεδο θα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

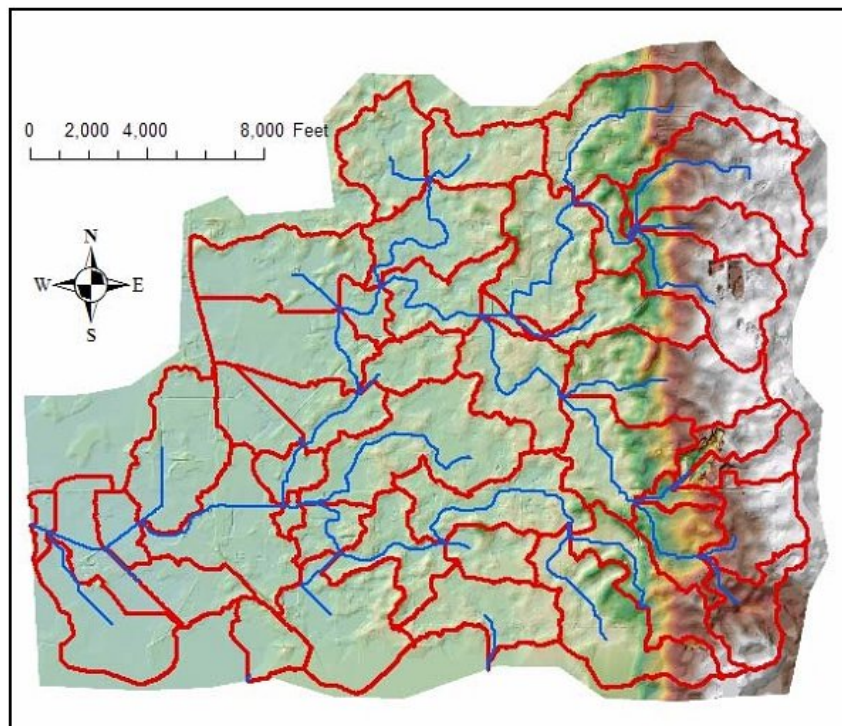
- Να περιέχει μόνο τους κύριους κλάδους. Θα πρέπει να καθορισθεί ο κύριος κλάδος για τα διακλαδιζόμενα τμήματα των ρεμάτων.
- Το υδρογραφικό δίκτυο να είναι δενδρικού τύπου. Για άλλους τύπους υδρογραφικού δικτύου εφαρμόζεται διαφορετικά η μέθοδος.
- Το εύρος επιρροής που δίδεται από το χρήστη να βρίσκεται μέσα στα όρια της υδρολογικής λεκάνης ή υπολεκάνης.



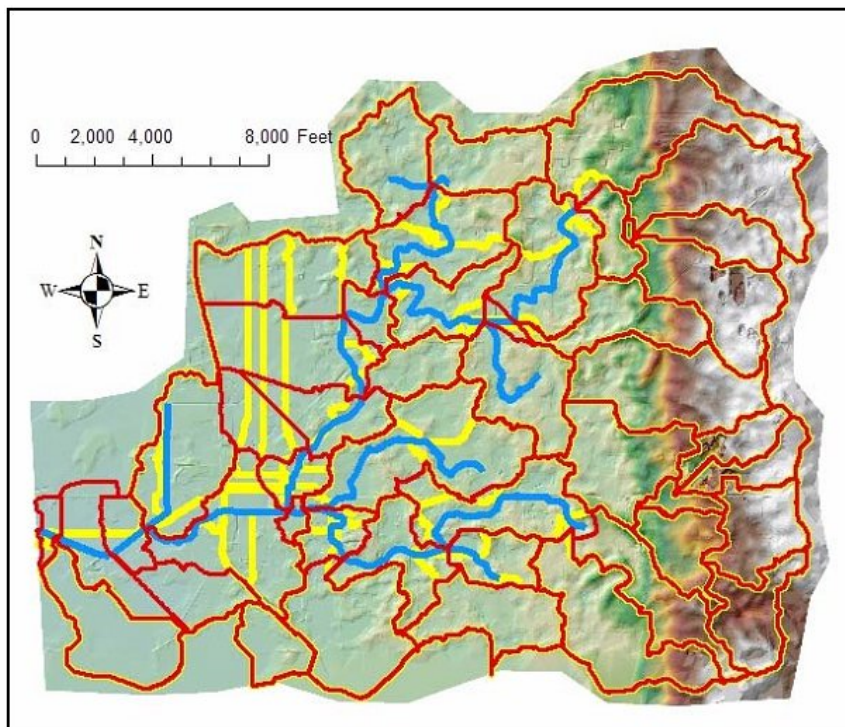
**Εικόνα 26: Λογικό διάγραμμα επεξεργασίας υπέρθεσης ρεμάτων σε ΥΨΜΑ.**



**Εικόνα 27: Υπέρθωση γνωστών (μπλε) ρεμάτων σε αυτά που προκύπτουν από το ΥΨΜΑ (κόκκινο).**



**Εικόνα 28: Το τελικό σχήμα που προέκυψε από την υπέρθεση του θεματικού επιπέδου των ρεμάτων.**



**Εικόνα 29: Σύγκριση των παραγόμενων από την υπέρθεση υπολεκανών (κόκκινο) με τις υπολεκάνες που δημιουργήθηκαν χωρίς τη διόρθωση (κίτρινο). Τα περισσότερα σφάλματα εντοπίζονται στα πεδινά τμήματα.**

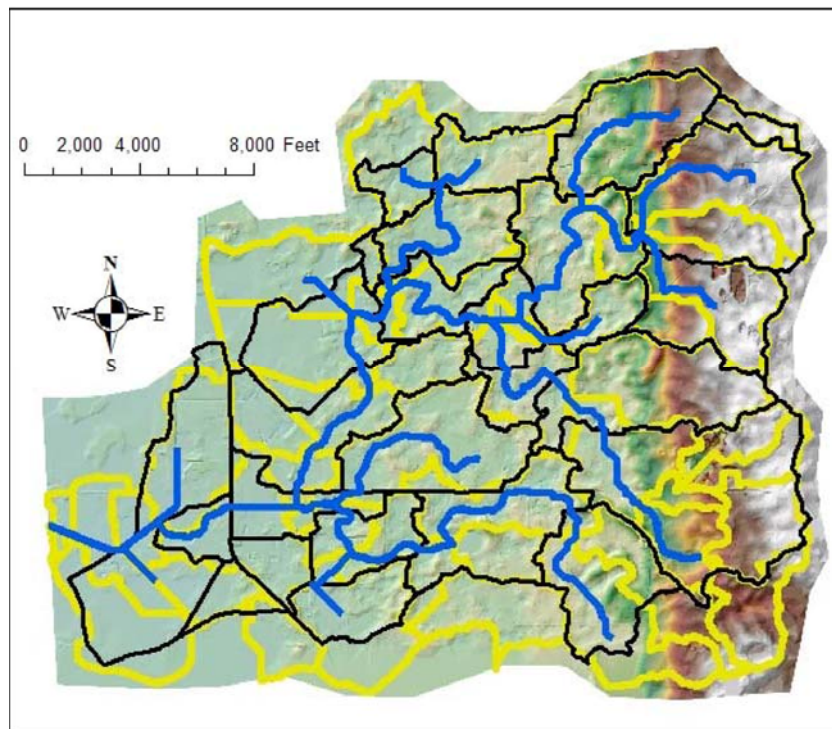
#### 4.1.3.2 Υπέρθεση γνωστών υδροκριτών στο ΥΨΜΑ

Συχνά, η επεξεργασία του υδρογραφικού δικτύου, μας δίνει ανακριβή αποτελέσματα σχετικά με τη μορφή και τις διαστάσεις της υδρολογικής λεκάνης και των υπολεκανών της. Έτσι, είναι δυνατή η διόρθωση του παραγόμενου αποτελέσματος με τη βοήθεια ενός θεματικού πεδίου που απεικονίζονται τα γνωστά όρια των λεκανών. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως περίφραξη (walling, fencing) και ομοιάζει με τη διαδικασία υπέρθεσης των ρεμάτων με μόνη διαφορά ότι αντί της ένθεσης του θεματικού επιπέδου που γίνεται στην περίπτωση των ρεμάτων, όπου ταπεινώνεται τεχνητά το ανάγλυφο, γίνεται ανύψωση του ανάγλυφου έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι σωστοί υδροκρίτες (εικόνα 30).

Στη διαδικασία υπέρθεσης των υδροκριτών, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι ίδιοι παράγοντες που λήφθησαν και για τα ρέματα όσο αφορά τη χρονική συνέπεια και ακρίβεια των δεδομένων που συγκρίνονται. Υπάρχουν δύο τύποι περιφράξεων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε:

- **Εξωτερική περίφραξη (outer walls):** αυτή καθορίζει τα κύρια όρια της λεκάνης. Το ανάγλυφο που βρίσκεται έξω από την περιοχή δεν συμβάλει στη ροή του νερού.
- **Εσωτερική περίφραξη (inner walls):** πρόκειται για την δημιουργία των υπολεκανών της κύριας λεκάνης. Το νερό που διατρέχει την περιοχή θα αποστραγγιστεί από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.

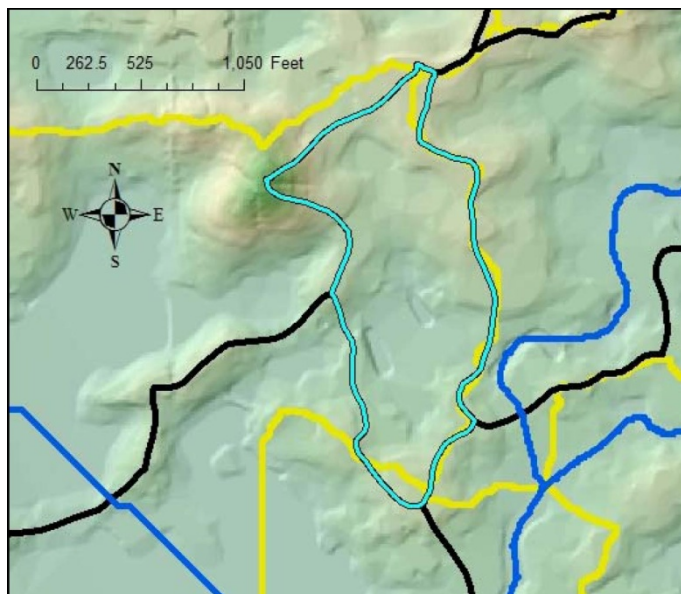
Επειδή το σύστημα περιφράσσει όλη την περιοχή, απαραίτητος είναι ο καθορισμός του σημείου εξόδου του νερού από τη λεκάνη. Έτσι πρέπει να δηλώσουμε στο λογισμικό το σημείο εξόδου του νερού και στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι το κύριο ρέμα που οδηγεί το νερό εκτός λεκάνης.



**Εικόνα 30:** Οι υδρολογικές λεκάνες που υπολογίστηκαν από το μοντέλο απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές λεκάνες, ενώ με μπλε είναι τα σημεία εξόδου του νερού.

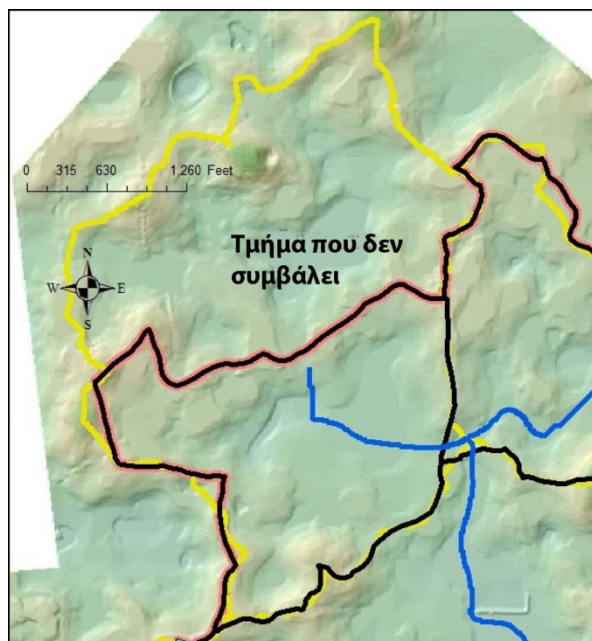
Στην παραπάνω διαδικασία υπέρθεσης γνωστών λεκανών είναι δυνατόν να προκύψουν προβλήματα στην σωστή απεικόνιση των υδρολογικών συνθηκών. Τέτοια προβλήματα είναι συνήθως:

- Προβλήματα από τον λάθος καθορισμό ή έλλειψη του σωστού σημείου εξόδου του νερού (Εικόνα 31).



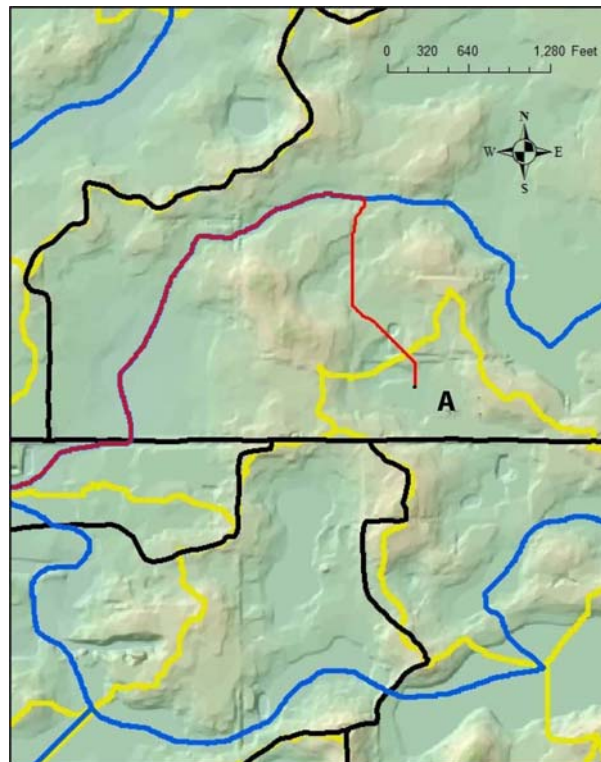
**Εικόνα 31: Το τμήμα της λεκάνης που παρουσιάζει πρόβλημα από τον εσφαλμένο καθορισμό του σημείου εξόδου, σημειώνεται με γαλάζιο χρώμα.**

- Τμήματα των λεκανών που δεν συμβάλουν στο υδρογραφικό δίκτυο (Εικόνα 32)



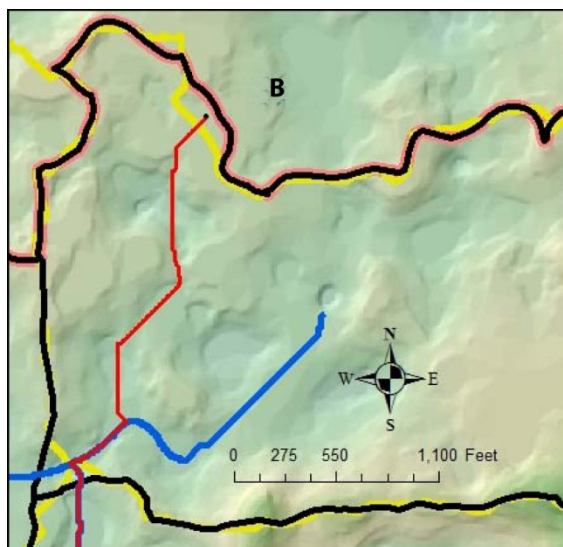
**Εικόνα 32: Η περιοχή βρίσκεται έξω από τα όρια της καθορισμένης λεκάνης και δεν συμβάλει στο υδρογραφικό δίκτυο.**

- Αλλαγή της ροής των ρεμάτων (Εικόνα 33).



**Εικόνα 33: Η Περιοχή Α μεταξύ της κίτρινης και μαύρης γραμμής αρχικά έρεε προς νότο, ενώ μετά την επεξεργασία ρέει προς βορά.**

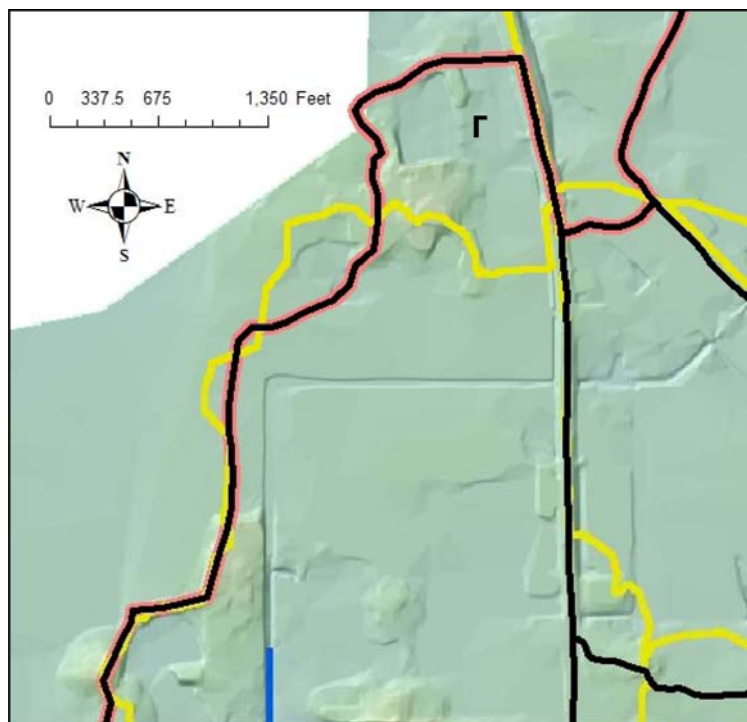
- Περιοχές που δεν ανήκαν αρχικά στην υδρολογική λεκάνη, συμβάλουν σε αυτή (Εικόνα 34).



**Εικόνα 34: Η περιοχή Β που βρίσκεται μεταξύ της κίτρινης και πορτοκαλί γραμμής ενώ αρχικά δεν συνέβαλε στην υδρολογική λεκάνη, μετά την επεξεργασία ρέει προς νότο.**

- Περιοχές που δεν συμβάλουν στη ροή της υδρολογικής λεκάνης. Ορισμένες περιοχές που μετά την επεξεργασία φαίνονται ότι ανήκουν σε κάποια υδρολογική λεκάνη, με τη χρήση των παρεχόμενων εργαλείων του ΓΣΠ, διαπιστώνεται ότι δεν συμβάλουν σε αυτές, είτε ρέοντας προς άλλη κατεύθυνση είτε δημιουργώντας ένα τοπογραφικό βύθισμα. Μετά τον εντοπισμό του προβλήματος, γίνεται διόρθωση είτε με το γέμισμα της περιοχής έτσι ώστε αυτή να αποκτήσει ροή προς την κατεύθυνση αποστράγγισης του υδρογραφικού δικτύου είτε με την αλλαγή του υδροκρίτη (Εικόνα 35).





**Εικόνα 35:** Η περιοχή Γ, μεταξύ της κίτρινης και πορτοκαλί γραμμής, φαινομενικά ανήκει στη λεκάνη. Με τη χρήση του εργαλείου επιθεώρησης της ροής του νερού του ΓΣΠ, φαίνεται ότι η περιοχή ρέει προς βόρα. Απαιτείται η διόρθωση της περιοχής έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει την πραγματική ροή του νερού.

#### 4.1.3.3 Υπέρθυση όλων των υδρολογικών στοιχείων στο ΥΨΜΑ

Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις, όταν τα αποτελέσματα της αυτοματοποιημένης διαδικασίας, ακόμα και μετά τις προαναφερθείσες διορθώσεις, δεν είναι αποδεκτά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο τα θεματικά επίπεδα που θεωρούμε ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα την πραγματική κατάσταση του υδρογραφικού δικτύου, δηλαδή διανυσματικές αναπαραστάσεις των ρεμάτων και των υδρολογικών λεκανών της περιοχής.

Η παραπάνω διαδικασία γίνεται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίζεται η ροή του νερού και οι υδρολογικές λεκάνες αυτόματα, αλλά χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τα αποτελέσματα της αυτόματης διαδικασίας εντοπισμού των υδρολογικών στοιχείων.

#### 4.1.4 Επεξεργασία υδρογραφικού δικτύου μη δενδριτικής μορφής

Στην περίπτωση που το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης δεν έχει δενδριτική μορφή ή είναι εν μέρη δενδριτικής μορφής, απαιτείται η χρήση μιας διαφοροποιημένης μεθοδολογίας. Στα μη δενδριτικά υδρογραφικά δίκτυα, το νερό δεν αποστραγγίζεται από ένα συνεχές σύστημα ρεμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις το νερό καταλήγει σε καταβόθρες ή άλλου είδους τοπογραφικά βυθίσματα δημιουργώντας μία εσωτερική ροή.

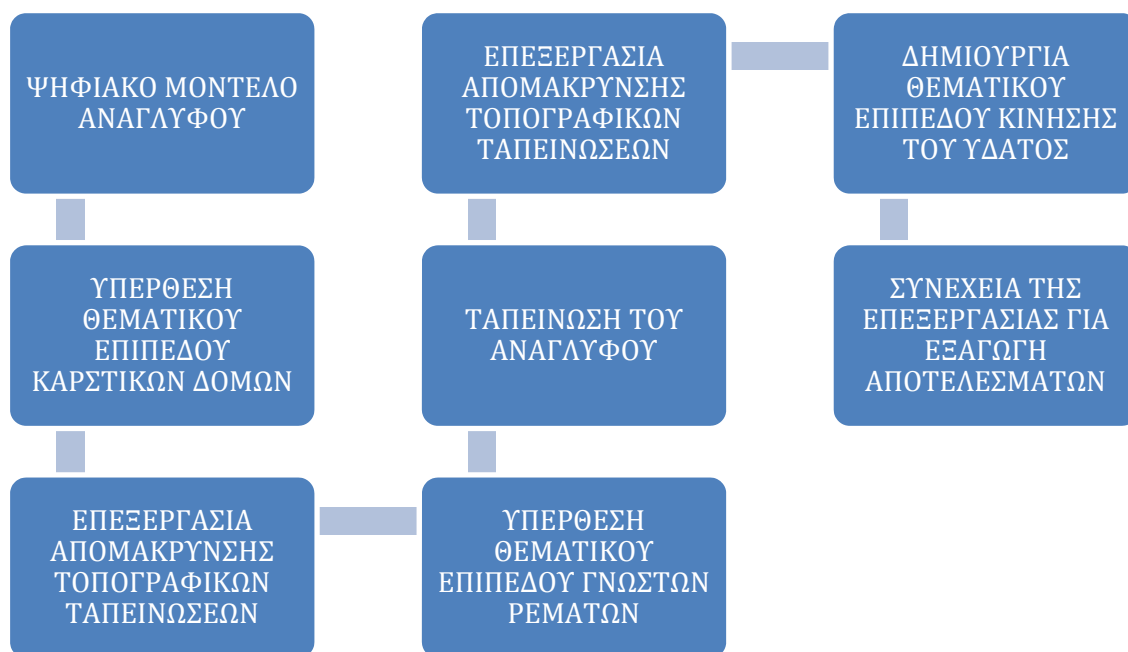
Κάτω από διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες, οι παραπάνω τοπογραφικές ταπεινώσεις μπορεί να πληρώνονται με νερό, δημιουργώντας μία μικρή λίμνη και μέσω της υπερχειλίσης να αποδώσουν το επιφανειακό νερό στο υδρογραφικό δίκτυο. Οι περιοχές αυτές μπορούν να συνυπολογιστούν ως μέρος του δενδριτικού υδρογραφικού δικτύου.

Η προεπεξεργασία που απαιτείται για υδρογραφικά δίκτυα μη δενδριτικής μορφής, συνίσταται κυρίως στον εντοπισμό των βυθισμάτων και στην ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο ροής του ύδατος. Με τη διαδικασία αυτή, είναι δυνατός ο καθορισμός των υδρολογικών λεκανών για την περιοχή μελέτης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επεξεργασία είναι η εκ των προτέρων γνώση των περιοχών που πραγματικά εμφανίζουν τοπογραφικές βυθίσεις, όπως και ο καθορισμός της ελάχιστης επιφάνειας των ταπεινώσεων που θα ληφθούν υπόψη.

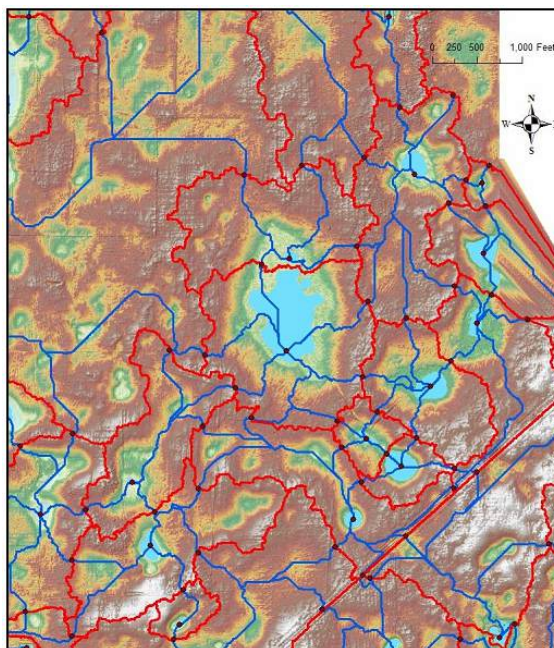
Στην περιοχή μελέτης της παρούσας διατριβής, υπάρχουν αρκετά τμήματα της όπου παρουσιάζονται τοπογραφικές βυθίσεις που οφείλονται σε καρστικά έγκοιλα ποικίλων διαστάσεων. Η διαδικασία εντοπισμού τους, έγινε αρχικά με μελέτη του ανάγλυφου της περιοχής από τους βασικούς τοπογραφικούς χάρτες σε συνδυασμό με τη γεωλογική δομή, όπου εντοπίστηκαν περιοχές με ατελές υδρογραφικό δίκτυο, κυκλικές δομές που έδωσαν μία αρχική εικόνα. Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν ορθοφωτοχάρτες και δορυφορικές εικόνες για περαιτέρω ανάλυση. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΑ, όπου σε συνδυασμό με το χάρτη κλίσεων και προσανατολισμού εντοπίστηκαν πιθανές περιοχές όπου εμφανίζονται μεγάλα καρστικά συστήματα.

Τέλος, μέρος της εργασίας ήταν η επιβεβαίωση των ευρημάτων στην ύπαιθρο. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον εντοπισμό των καρστικών δομών περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.3.

Η προεπεξεργασία που έγινε για τις περιοχές που παρουσιάζουν μη δενδριτικό υδρογραφικό δίκτυο έχει σχεδόν τα ίδια στάδια με την επεξεργασία των δενδριτικών υδρογραφικών δικτύων με τη μόνη διαφορά ότι στο ΥΨΜΑ συνυπολογίζονται οι περιοχές με τοπογραφικές βυθίσεις. Ενώ στα δενδριτικά υδρογραφικά δίκτυα, κάθε τοπογραφική ταπείνωση, θεωρείται εσφαλμένη και διορθώνεται έτσι ώστε να αποδώσει το σωστό μοντέλο ροής του νερού, στην περίπτωση που εμφανίζονται καρστικά συστήματα αυτά θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο τελικό ΥΨΜΑ (εικόνα 36 - 37).



**Εικόνα 36:** Λογικό διάγραμμα επεξεργασίας λεκανών μη δενδριτικής μορφής.



**Εικόνα 37: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου με καρστικές δομές (γαλάζιο). Με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται οι υδροκρίτες και με μπλε χρώμα τα ρέματα. Οι κόκκινες κουκκίδες είναι τα σημεία ένωσης των ρεμάτων.**

#### 4.1.4.1 Αναγνώριση ψευδών τοπογραφικών ταπεινώσεων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο τρόπος δημιουργίας του αρχικού ΨΜΑ, παίζει σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια των δεδομένων. Συνήθως έχει ένα σημαντικό αριθμό υψομετρικών λαθών που οφείλεται κυρίως στα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του και σε αρχικά εσφαλμένες μετρήσεις (Wu, Li and Huang 2008). Τα περισσότερα σφάλματα είναι σχετικά εύκολο να διορθωθούν, διότι είναι συνήθως μεμονωμένα σημεία με σημαντικά διαφορετική τιμή από τα γειτονικά. Μία αρχική διόρθωση, που εξαλείφει το μεγαλύτερο αριθμό των σφαλμάτων γίνεται με τη μετατροπή του ΨΜΑ από δεκαδικής σε ακέραιης ακρίβειας. Στη συνέχεια, έγινε η ανάλυση και ο εντοπισμός των πραγματικών τοπογραφικών ταπεινώσεων.

#### 4.1.5 Επεξεργασία υδρογραφικών δικτύων με πολλαπλό χαρακτήρα

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής δεν έχει αποκλειστικό χαρακτήρα, δηλαδή μόνο δενδριτικού τύπου ή μη αλλά αποτελεί

ένα συνδυασμό των πολλών τύπων. Στην περιοχή μελέτης της παρούσας διατριβής, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του υδρογραφικού παρουσίαζε δενδριτική μορφή, σε πολλές περιοχές διαπιστώθηκε ότι η εμφάνιση καρστικών δομών δημιουργούσαν μία διαφορετική υδρολογική κατάσταση. Έτσι, η συνολική επεξεργασία του υδρογραφικού δικτύου βασίστηκε σε ένα συνδυασμό των δύο προσεγγίσεων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία του υδρογραφικού δικτύου ήταν η ακόλουθη:

1. Καθορισμός της ροής του νερού: Η διαδικασία περιλαμβάνει τον εντοπισμό και καταγραφή της ροής του νερού για κάθε κελί του ΥΨΜΑ.
2. Καθορισμός των ρεμάτων: εντοπίστηκαν ποια από τα κελιά του ΥΨΜΑ σχηματίζουν κλάδους ρεμάτων, δηλαδή σε ποια κελιά συγκεντρώνεται το νερό και ρέει προς τα κατόντη. Ο καθορισμός των ρεμάτων γίνεται για όλα τα τμήματα του υδρογραφικού δικτύου, τόσο για αυτά του δενδριτικού, όσο και για τα καρστικά.
3. Κατάτμηση ρεμάτων: αριθμήθηκαν τα ρέματα με μοναδικό χαρακτηριστικό αριθμό. Υπήρχαν δύο περιπτώσεις που συναντήθηκαν σε υδρογραφικό δίκτυο πολλαπλού χαρακτήρα: (α) Ρέματα που βρίσκονται στην περιοχή των καρστικών δομών και απαλείφονται από την επεξεργασία. Πρόκειται για τμήματα του υδρογραφικού δικτύου που κατά τη δημιουργία του ΥΨΜΑ φαίνονται να περνούν διαμέσου καρστικών δομών και να τις αποστραγγίζουν. (β) Ρέματα που βρίσκονται στην περιοχή των καρστικών δομών και χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία. Πρόκειται για τα ρέματα που καταλήγουν στα καρστικά πεδία, και αποστραγγίζονται από αυτά.
4. Συνδυασμός των παραπάνω αποτελεσμάτων για τη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής και τον καθορισμό των υδροκριτών.
5. Δημιουργία του θεματικού επιπέδου των υδρολογικών λεκανών και υπολεκανών που χαρακτηρίζουν την περιοχή. Το θεματικό επίπεδο δίνεται σε ράστερ μορφή.
6. Μετατροπή των υδρολογικών λεκανών σε διανυσματική μορφή.
7. Μετατροπή των ρεμάτων σε διανυσματική μορφή.

8. Καθορισμός των τοπογραφικών στοιχείων των θεματικών επιπέδων. Στο στάδιο αυτό υπολογίζονται και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων, όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον χαρακτηρισμό των υδρολογικών στοιχείων: (α) δίδονται μοναδικές τιμές για κάθε κλάδο και κάθε υπολεκάνη, (β) υπολογίζονται τα μήκη για κάθε κλάδο του υδρογραφικού δικτύου και το εμβαδό της λεκάνης που αποστραγγίζει (γ) αριθμούνται όλες οι υδρολογικές λεκάνες, (δ) για κάθε σημείο συμβολής κλάδων δίδεται μία τιμή που είναι μοναδική με αύξοντα αριθμό που εξαρτάται από την λεκάνη που ανήκει ο κλάδος.

Το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι ένας αριθμός θεματικών επιπέδων που θα χρησιμοποιηθούν στην περαιτέρω ανάλυση του υδρογραφικού πεδίου. Η προεπεξεργασία του ΨΜΑ και η μετατροπή του σε ΥΨΜΑ είναι μία χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, που απαιτεί σημαντική υπολογιστική δύναμη. Το πλεονέκτημα της όλης διαδικασίας είναι ότι ένα ΥΨΜΑ κατασκευάζεται για μία περιοχή άπαξ και διευκολύνει σημαντικά την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

Σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας απαιτείται ο ποιοτικός έλεγχος για τα παραγόμενα δεδομένα, όπως και η παρέμβαση του χρήστη σε διάφορα στάδια όπου εξασφαλίζει τη σωστή απεικόνιση των υδρολογικών συνθηκών. Η χρήση τμημάτων από άλλες αξιόπιστες πηγές είναι απαραίτητη και πρέπει να γίνεται στα αρχικά στάδια της επεξεργασίας. Σημαντικό είναι, τα δεδομένα που συνδυάζονται, να προέρχονται από όσο το δυνατόν συμβατές πηγές τόσο από άποψη κλίμακας, όσο και από κοντινές χρονικά περιόδους.

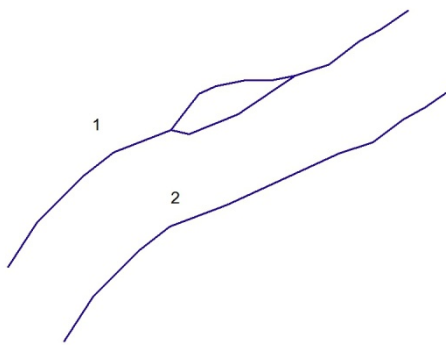
#### **4.1.6 Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler**

Για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Rivex, που αποτελεί πρόσθετο στο λογισμικό ΓΣΠ (ArcGIS). Επίσης, για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας όπως και τον έλεγχο των παραγόμενων αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε μία πρόσθετη εφαρμογή ελέγχου και αποτίμησης. Η εφαρμογή αποτελεί πρόσθετο στο ΓΣΠ, αλλά μπορεί να εκτελεστεί και αυτόνομα.

Η ψηφιοποίηση των κλάδων των ρεμάτων, για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση και να μην αποτελεί απλώς μία σχηματική απεικόνιση, πρέπει να ακολουθεί κάποιους κανόνες που θα οδηγήσουν τα λογισμικά ανάλυσης σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Έτσι κάθε κλάδος, πρέπει να ψηφιοποιείται με αρχή το ανώτερο υψομετρικά σημείο και να τελειώνει στη συμβολή με κάποιον άλλο κλάδο. Η ψηφιοποίηση πρέπει να είναι συνεχής, δηλαδή να μην γίνεται τμηματικά. Σε τμήματα κλάδων που βρίσκονται μεταξύ συμβολών ρεμάτων, η ψηφιοποίηση επίσης πρέπει να είναι συνεχής.

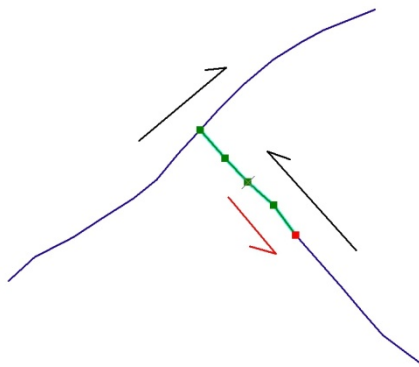
Από την δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου που έγινε με το ArcHydro tools, λάβαμε ένα γραμμικό θεματικό επίπεδο όπου απεικονίζονται όλοι οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης. Για την αρίθμηση των κλάδων κατά Strahler και τον καθορισμό της τάξης των κλάδων, απαιτείται τοπολογικός έλεγχος του θεματικού επιπέδου έτσι ώστε να εξαλειφθούν τυχόν σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να είναι κάποια από τα ακόλουθα:

- Γραμμές μηδενικού μήκους: Σε πολλές περιπτώσεις, είτε από σφάλματα στην ψηφιοποίηση, είτε από σφάλματα στον αυτόματο καθαρισμό του θεματικού πεδίου, εμφανίζονται αδιάστατες γραμμές στο χάρτη, δηλαδή γραμμές όπου η αρχή και το τέλος τους συμπίπτει. Επειδή η ανάλυση που εκτελούν τα όποιως φύσεως λογισμικά, βασίζονται στη λογική ότι κάθε τμήμα που απεικονίζεται στο θεματικό επίπεδο αποτελεί μέρος του υδρογραφικού δικτύου, η αρίθμηση και ο υπολογισμός των κλάδων με αδιάστατες γραμμές διάσπαρτες στην περιοχή μελέτης, δίνει εσφαλμένα αποτελέσματα. Έτσι, η απαλοιφή των γραμμών μηδενικού μήκους είναι η πρώτη διόρθωση που απαιτείται.
- Γραμμές διακλαδιζόμενων ρεμάτων: σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν τμήματα ρεμάτων που διακλαδίζονται. Ενώ αυτό αποτελεί μία φυσική διεργασία, στην αυτόματη ανάλυση αποτελεί πρόβλημα. Έτσι, κάθε φορά που απαντώνται διακλαδιζόμενα τμήματα, διαγράφονται και δημιουργείται ένα αντιπροσωπευτικό. Αυτή η διόρθωση δεν επηρεάζει την αρίθμηση και την περαιτέρω ανάλυση (Εικόνα 38).



**Εικόνα 38: Σφάλμα που παρουσιάζεται κατά την ψηφιοποίηση τμημάτων ρεμάτων που διακλαδίζονται (1). Η διόρθωση γίνεται αντικαθιστώντας τα διακλαδιζόμενα τμήματα από ένα αντιπροσωπευτικό (2).**

- Γραμμές ρεμάτων που ψηφιοποιήθηκαν σε περισσότερα του ενός τμήματα: Στην περίπτωση αυτή, έχουμε τμήματα ρεμάτων που κανονικά θα έπρεπε να απεικονίζονται από ένα τμήμα. Το πρόβλημα που δημιουργείται οφείλεται στο γεγονός ότι το λογισμικό σε κάθε τέλος τμήματος ρέματος, αναμένει συμβολή με άλλο κλάδο. Έτσι δημιουργούνται ψευδή τερματικά σημεία που οδηγούν σε εσφαλμένη αρίθμηση και κατάταξη. Επίσης στην περίπτωση που η ψηφιοποίηση έγινε αντίστροφα, δηλαδή από τα κατάντη στα ανάντη, το τμήμα του κλάδου δίνει αντίθετη από την σωστή ροή (Εικόνα 39).

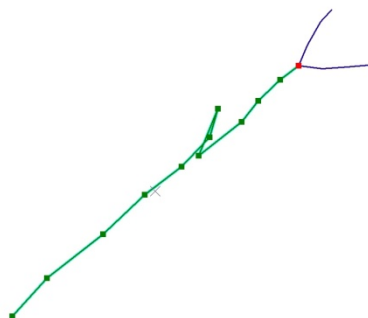


**Εικόνα 39: Με μαύρο χρώμα σημειώνεται η σωστή φορά της ροής του νερού. Η εσφαλμένη ψηφιοποίηση δίνει φορά αντίθετης κατεύθυνσης (κόκκινο βέλος). Το σημείο με κόκκινο χρώμα, δείχνει το τέλος της γραμμής.**

- Τμήματα γραμμών που από σφάλμα στην ψηφιοποίηση παρουσιάζονται να τέμνουν την ίδια γραμμή ή άλλες γραμμές, δημιουργούν σφάλμα στην



επεξεργασία. Κάθε σημείο που παρουσιάζει τέτοιο πρόβλημα, εντοπίζεται και διορθώνεται (Εικόνα 40).



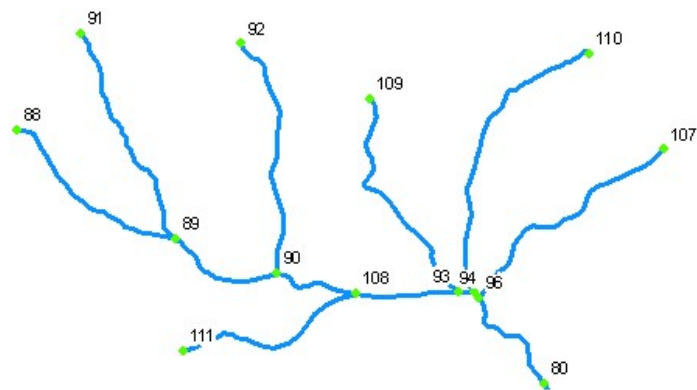
**Εικόνα 40: Τεμνόμενα τμήματα κλάδου ρέματος από σφάλμα στην ψηφιοποίηση.**

- Μικρές γραμμές που αποτελούνται από δύο μόνο κόμβους: τέτοιες γραμμές συχνά με διάσταση μικρότερη του ενός μέτρου, εμφανίζονται συχνά στα θεματικά επίπεδα λόγω εσφαλμένης ψηφιοποίησης. Η διόρθωση γίνεται με την εφαρμογή τοπολογικών κριτηρίων όπου καθορίζεται το ελάχιστο τμήμα που μπορεί να έχουν οι γραμμές και εξαλείφονται.
- Διακοπτόμενο υδρογραφικό δίκτυο: σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται γραμμές που δεν παρουσιάζουν συνέχεια αλλά διακόπτονται, συχνά σε τόσο μικρές αναλύσεις που δεν γίνονται αντιληπτές με απλή οπτική παρατήρηση. Αποτέλεσμα της παρουσίας διακοπτόμενων τμημάτων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι η εσφαλμένη επεξεργασία. Έτσι, γίνεται τοπολογικός έλεγχος και εντοπίζονται οι περιοχές όπου εμφανίζονται διακοπές στην ψηφιοποίηση και διορθώνονται, έτσι ώστε το υδρογραφικό δίκτυο να είναι συνεχές.
- Πηγές μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο: λόγω ψηφιοποίησης σε αντίθετη από την επιθυμητή φορά, δηλαδή από τα κατάντη προς τα ανάντη, η αυτόματη ανάλυση δείχνει να εμφανίζονται σημεία πηγές, μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο. Η διόρθωση γίνεται με αντιστροφή των σημείων της εσφαλμένης γραμμής έτσι ώστε η ροή του νερού να δείχνει προς τη σωστή κατεύθυνση.

Μετά την διόρθωση του θεματικού επιπέδου του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό αυτόματης αναγνώρισης και

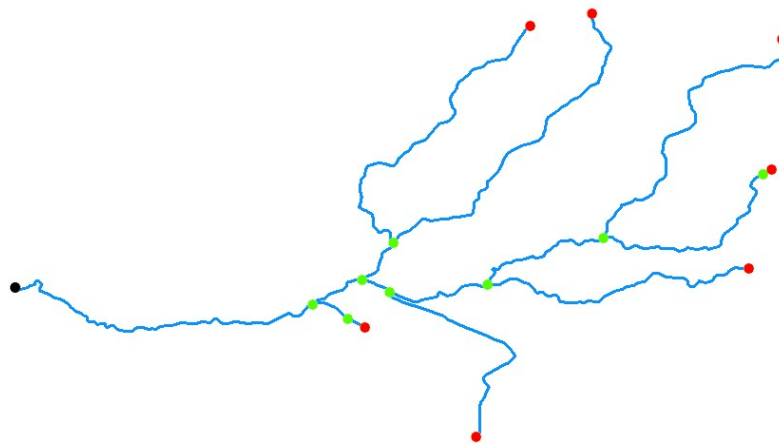
ταξινόμησης του υδρογραφικού δικτύου. Το λογισμικό αριθμεί αυτόματα κάθε κόμβο που συμβάλουν δύο ή περισσότεροι κλάδοι δίνοντας ένα αύξοντα αριθμό από τα ανάντι προς τα κατόντι του κλάδου. Ο κόμβος (node) και το λογισμικό δημιουργεί αυτόματα ένα νέο θεματικό πεδίο που περιέχει όλους τους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου ως σημεία για περαιτέρω επεξεργασία.

Για κάθε κλάδο ρέματος δημιουργήθηκαν δύο πεδία, τα FROM\_NODE και TO\_NODE. Αυτά συμβολίζουν τη θέση του κάθε κλάδου στο υδρογραφικό δίκτυο, δηλαδή από ποιο κόμβο ξεκινά ο κλάδος και σε ποιον κόμβο καταλήγει. Τα παραπάνω δύο πεδία και μαζί αυτό των κόμβων, είναι απαραίτητα για τη σωστή κατάταξη των κλάδων (εικόνα 41).



**Εικόνα 41:Αρίθμηση των κόμβων σύγκλισης των κλάδων**

Δύο άλλα θεματικά επίπεδα που δημιουργούνται αυτόματα κατά την ανάλυση, είναι αυτά των πηγών (αρχής) και των εξόδων του νερού από τη λεκάνη. Επίσης σε κάθε κλάδο ρέματος, δημιουργείται ένα νέο πεδίο όπου αποθηκεύεται η υδρολογική λεκάνη στην οποία ανήκει. Τέλος, ως τελική επεξεργασία το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα την τάξη του ρέματος κατά Strahler (εικόνα 42).



**Εικόνα 42:** Με κόκκινη κουκκίδα σημειώνεται η έναρξη του κλάδου (ανάπτυξη), πράσινη το σημείο σύγκλισης των κλάδων ενώ η μαύρη κουκκίδα το σημείο εκβολής της λεκάνης.

#### 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η περιοχή που μελετήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, καλύπτει όλη την Ανατολική Αττική και συγκεκριμένα οριοθετείται δυτικά από την κορυφογραμμή του όρους Υμηττός, βόρεια από την κορυφογραμμή του όρους Πεντέλη, ανατολικά από τον Νότιο Ευβοϊκό και νότια από τον Σαρωνικό.

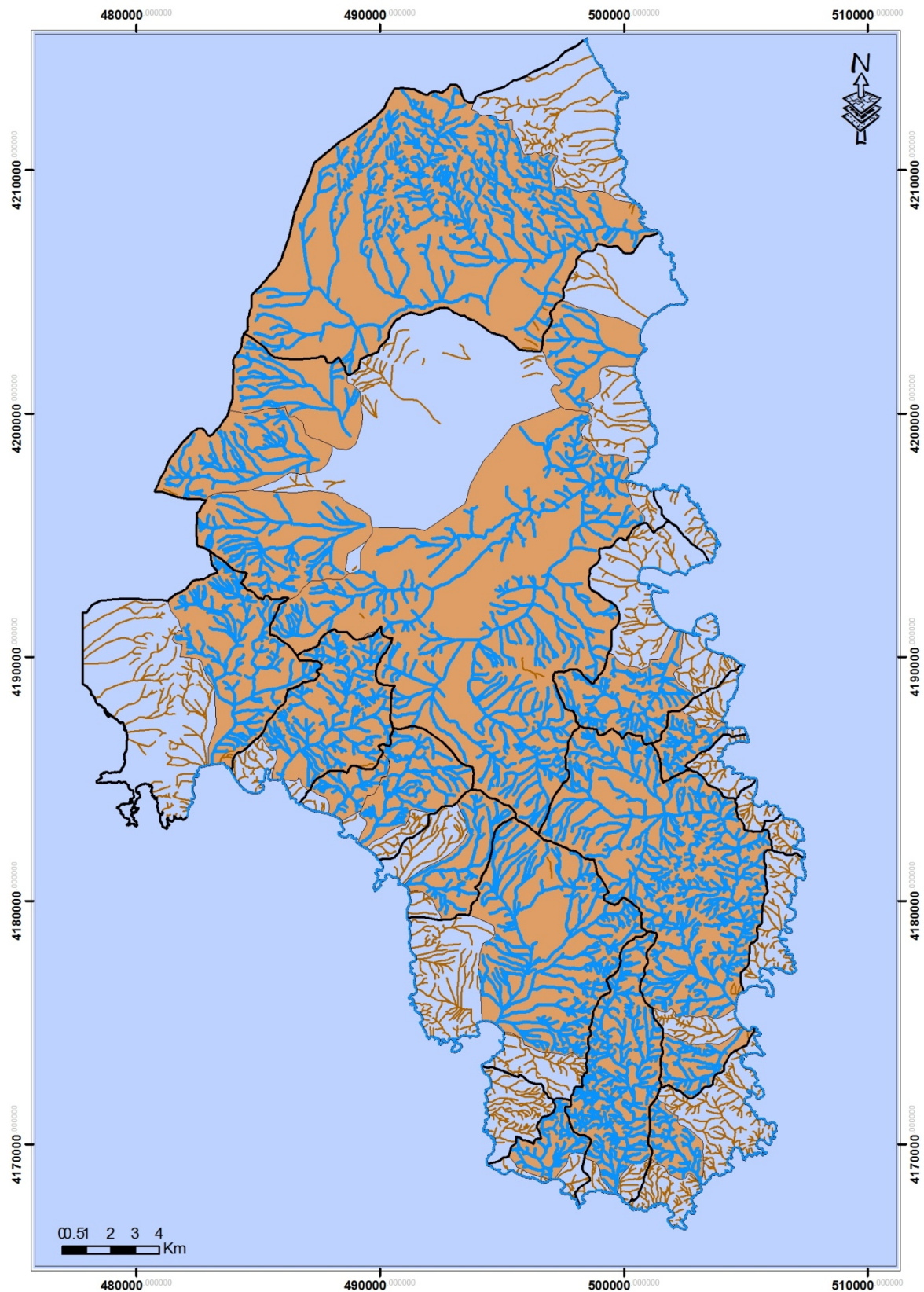
Η περιοχή χωρίστηκε σε δεκαεννέα υδρολογικές λεκάνες (εικόνα 43). Αυτές αριθμήθηκαν στη βάση δεδομένων με κωδικό όνομα Β (Basin) και αύξοντα αριθμό που ξεκινά από το βόρειο τμήμα της περιοχής και οδεύει αριστερόστροφα. Από τις αρχικές λεκάνες, επεξεργασία έγινε σε τμήματα τους όπου εμφανίζονται μεγαλύτερα της 4<sup>ης</sup> τάξης ρέματα, μίας και τα μικρότερα αυτής δεν συμβάλουν σημαντικά στην μορφοτεκτονική ανάλυση (Παυλόπουλος 1997) (εικόνα 44).

Οι υπολεκάνες που επεξεργάστηκαν έλαβαν κωδική ονομασία που προέκυψε από την αρχική λεκάνη στην οποία ανήκουν. Στις περιπτώσεις όπου υπήρχαν περισσότερες των μία υπολεκανών, την αρίθμηση ακολουθεί λατινικό γράμμα με αρχή το Α. Η ονομασία του κάθε ρέματος, λήφθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:25.000 της Γ.Υ.Σ. ή όπου δεν υπήρχε επίσημη ονομασία από τον κύριο οικισμό τον οποίο διασχίζει ή από άλλο χαρακτηριστικό τοπωνύμιο της περιοχής.

Στη συνέχεια αναλύονται ξεχωριστά οι υδρολογικές λεκάνες που χαρτογραφήθηκαν στην περιοχή μελέτης.



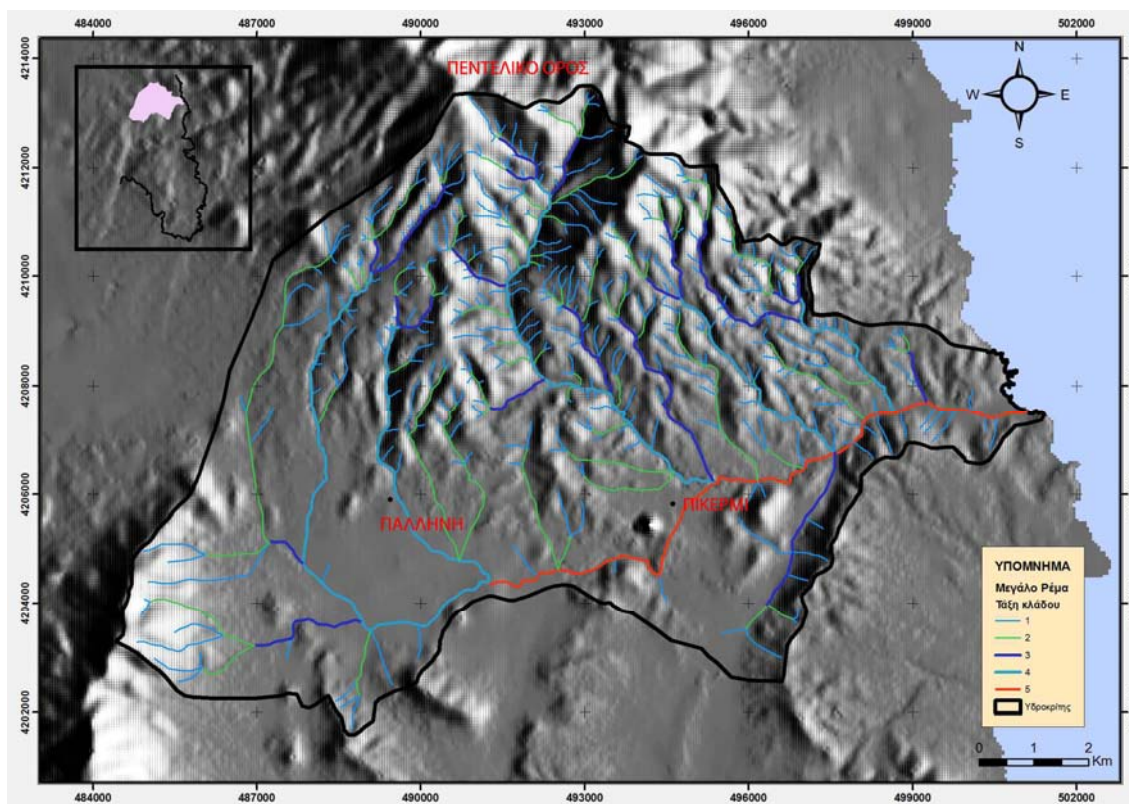
**Εικόνα 43: Οι δεκαεννέα υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης.**



**Εικόνα 44:** Οι υδρολογικές λεκάνες που μελετήθηκαν συμβολίζονται με πορτοκαλί χρώμα.

#### 4.2.1 Υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος

Η υδρολογική λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος έχει συνολικό εμβαδό 109.497.597 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 52.973 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από την κορυφή της Πεντέλης, δυτικά από τον Υμηττό, ανατολικά από τον Νότιο Ευβοϊκό και νότια καταλαμβάνει το βόρειο μέρος της λεκάνης των Σπάτων. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 904 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 244,22 μέτρα. Ουσιαστικά πρόκειται για τη λεκάνη που καλύπτει όλο το νότιο τμήμα της Πεντέλης. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτικού τύπου (εικόνα 45).



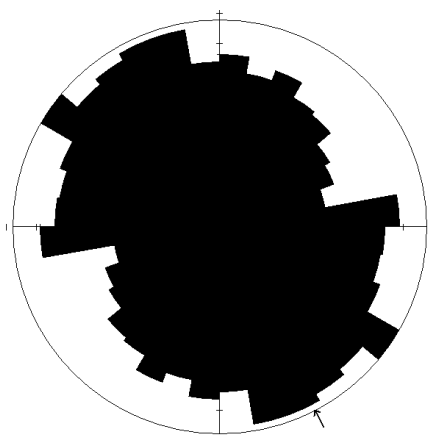
**Εικόνα 45:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης του Μεγάλου Ρέματος και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και εκβάλλει στο νότιο Ευβοϊκό. Η λεκάνη στο βόρειο τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και έντονη κατά βάθος διάβρωση, ενώ το νότιο και νοτιοδυτικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση Ανατολή – Δύση.

Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μέση ασυμμετρία. Ο κύριος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης και έχει γενική διεύθυνση ΔΝΔ – ΑΒΑ. Σχεδόν κάθετα στον κύριο κλάδο εμφανίζονται οι κλάδοι 4<sup>ης</sup> τάξης με γενική διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ. Χαρακτηριστικό του Μεγάλου Ρέματος είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος των κλάδων βρίσκεται στα βόρεια του κυρίως ρέματος. Μόνο ένα μικρός αριθμός ρεμάτων αποστραγγίζει τη νότια περιοχή.

**Πίνακας 22: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	373	132275,87
2 <sup>η</sup>	72	67147,00
3 <sup>η</sup>	20	29873,46
4 <sup>η</sup>	5	32608,06
5 <sup>η</sup>	1	12322,07
Σύνολο	471	274226,46
Συχνότητα	4,30	
Πυκνότητα	2,50	



**Εικόνα 46: Ροδοδιάγραμμα κλάδων Μεγάλου Ρέματος ανά 10 μοίρες.**

Η υψομετρική πληροφορία λήφθηκε από το ΨΜΑ. Κάθε κελί του ΨΜΑ είναι τετράγωνο με πλευρά τα 10 μέτρα και συνολικό εμβαδό 100 τετραγωνικά μέτρα. Από το ΨΜΑ εξήχθησαν οι πληροφορίες του υψομέτρου για κάθε κελί σε λογιστικό

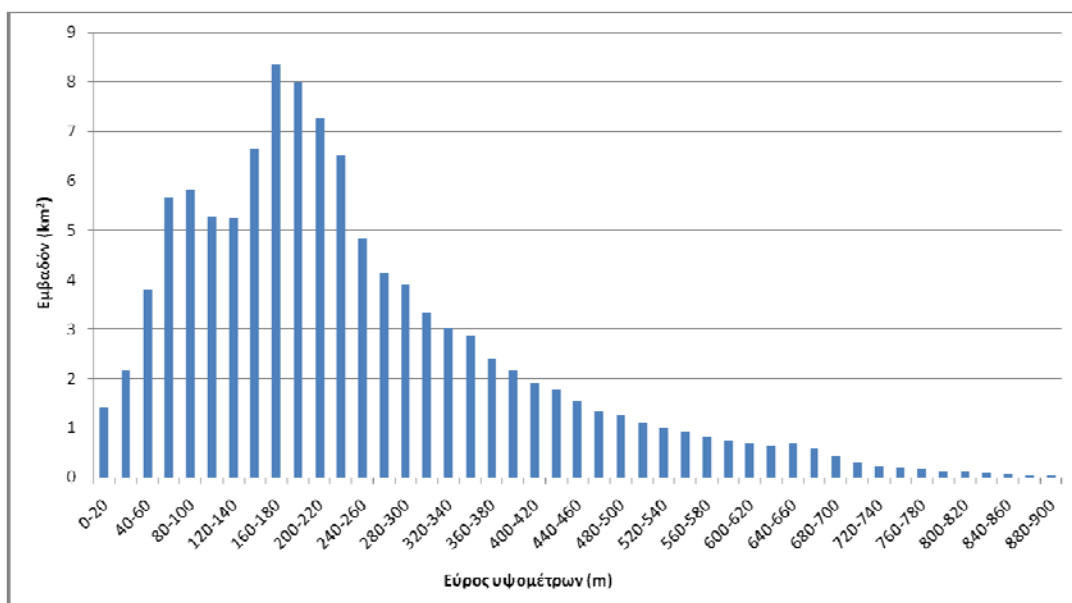


φύλλο για τη στατιστική ανάλυση. Τα δεδομένα που καταχωρήθηκαν ήταν το πλήθος των κελιών σε κάθε υψόμετρο. Από τα δεδομένα αυτά, υπολογίστηκε η κατανομή του εμβαδού της λεκάνης που περικλείεται σε ζώνες των 20 μέτρων και το ποσοστό που αναλογεί σε κάθε μία από αυτές. Από τα αποτελέσματα κατασκευάστηκε το ραβδόγραμμα κατανομής του υψομέτρου. Ο διαχωρισμός των υψομέτρων ανά 20 μέτρα επιλέχθηκε με το σκεπτικό ότι πολλές υδρολογικές λεκάνες παρουσιάζουν σχετικά ομαλό ανάγλυφο με μικρές υψομετρικές εξάρσεις και θα έπρεπε να υπάρχει η ίδια κατηγοριοποίηση για όλες τις λεκάνες, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει πιο εύκολα σύγκριση.

**Πίνακας 23: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	1,4227	1,30
20-40	2,1527	1,97
40-60	3,7862	3,46
60-80	5,656	5,17
80-100	5,8209	5,32
100-120	5,2627	4,81
120-140	5,2418	4,79
140-160	6,6433	6,07
160-180	8,3469	7,62
180-200	7,9746	7,28
200-220	7,2531	6,62
220-240	6,5144	5,95
240-260	4,815	4,40
260-280	4,1451	3,79
280-300	3,909	3,57
300-320	3,3172	3,03
320-340	3,0052	2,74
340-360	2,8648	2,62
360-380	2,3852	2,18
380-400	2,1606	1,97
400-420	1,9017	1,74
420-440	1,7759	1,62
440-460	1,5368	1,40
460-480	1,342	1,23
480-500	1,2479	1,14
500-520	1,1027	1,01

520-540	1,0061	0,92
540-560	0,9167	0,84
560-580	0,8108	0,74
580-600	0,7407	0,68
600-620	0,6922	0,63
620-640	0,6542	0,60
640-660	0,6963	0,64
660-680	0,5764	0,53
680-700	0,4414	0,40
700-720	0,3022	0,28
720-740	0,2303	0,21
740-760	0,2024	0,18
760-780	0,165	0,15
780-800	0,1277	0,12
800-820	0,105	0,10
820-840	0,0932	0,09
840-860	0,0681	0,06
860-880	0,0574	0,05
880-900	0,0304	0,03

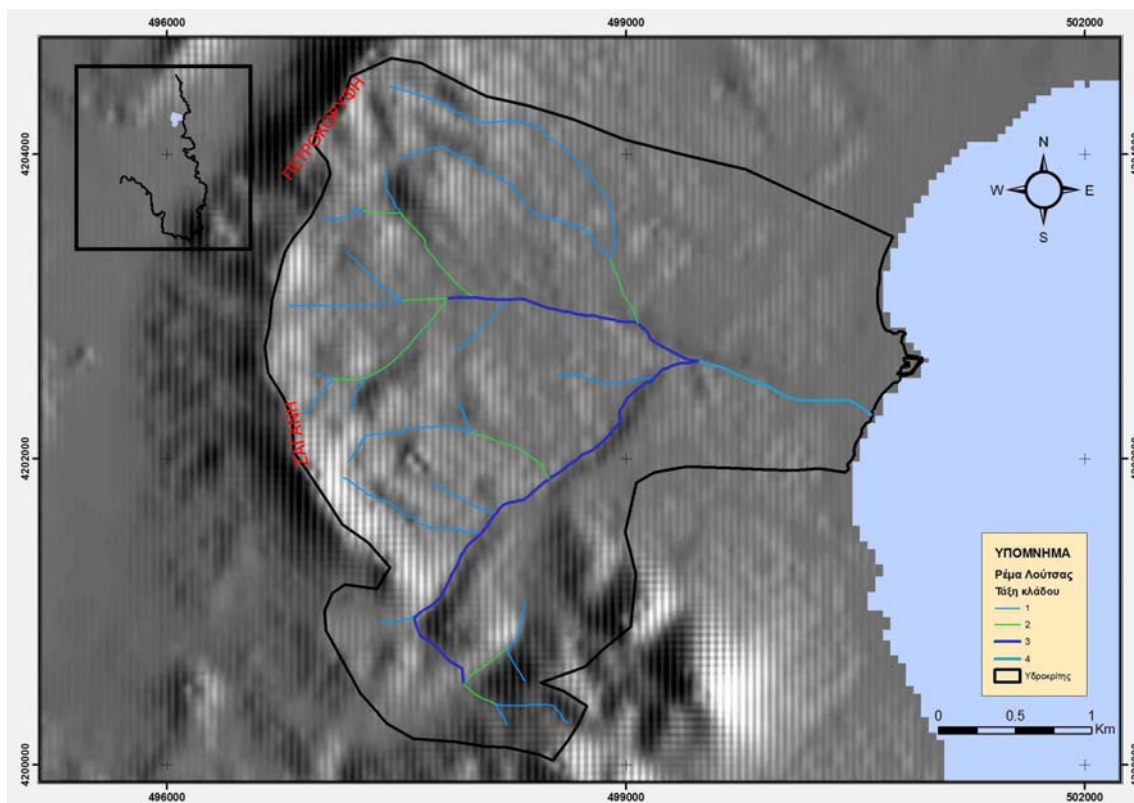


**Εικόνα 47: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης του Μεγάλου Ρέματος σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

#### 4.2.2 Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Λούτσας

Η υδρολογική λεκάνη του ρέματος της Λούτσας έχει συνολικό εμβαδό 11.559.918 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 16.473 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται

προς βορά από τον οικισμό της Αγίας Κυριακής, δυτικά από τους λόφους Πετροκορφή και Ζάγανη, ανατολικά εκβάλλει στον κόλπο της Λούτσας και νότια βρίσκεται ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών και ο λόφος του Αγίου Ιωάννη. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 179,08 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 68,96 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτικού τύπου.



**Εικόνα 48: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος της Λούτσας και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

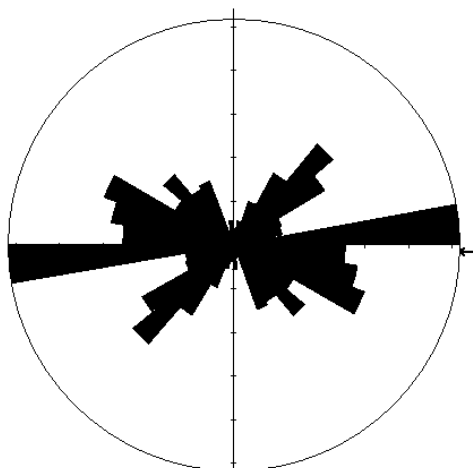
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και εκβάλλει στο νότιο Ευβοϊκό. Η λεκάνη στο βόρειο τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και έντονη κατά βάθος διάβρωση, ενώ το νότιο και νοτιοδυτικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση Ανατολή – Δύση.

Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει σχετική συμμετρία με τους κλάδους να αναπτύσσονται σχεδόν συμμετρικά. Ο κύριος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης και έχει γενική διεύθυνση Δ – Α.

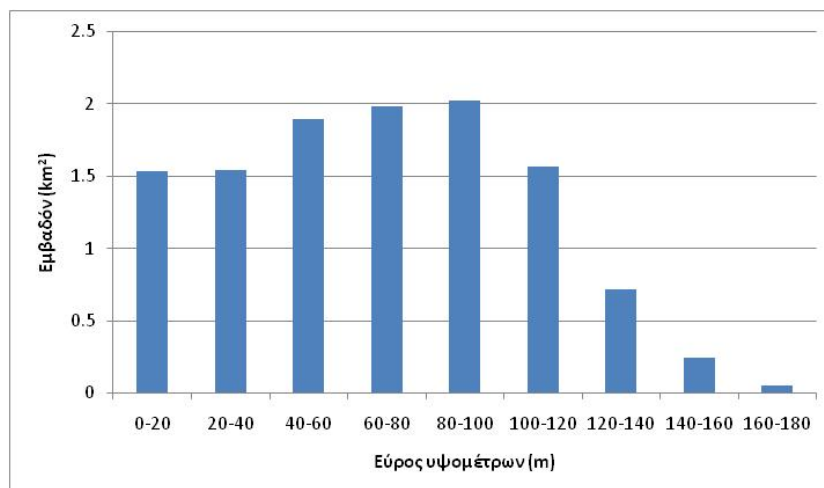


**Πίνακας 24: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Λούτσας.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	21	11.569,34
2 <sup>η</sup>	7	3.936,95
3 <sup>η</sup>	2	4.954,33
4 <sup>η</sup>	1	1.212,46
<b>Σύνολο</b>	<b>31</b>	<b>21.673,08</b>
Συχνότητα	2,68	
Πυκνότητα	1,87	



**Εικόνα 49: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Λούτσας ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 50: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Λούτσας σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

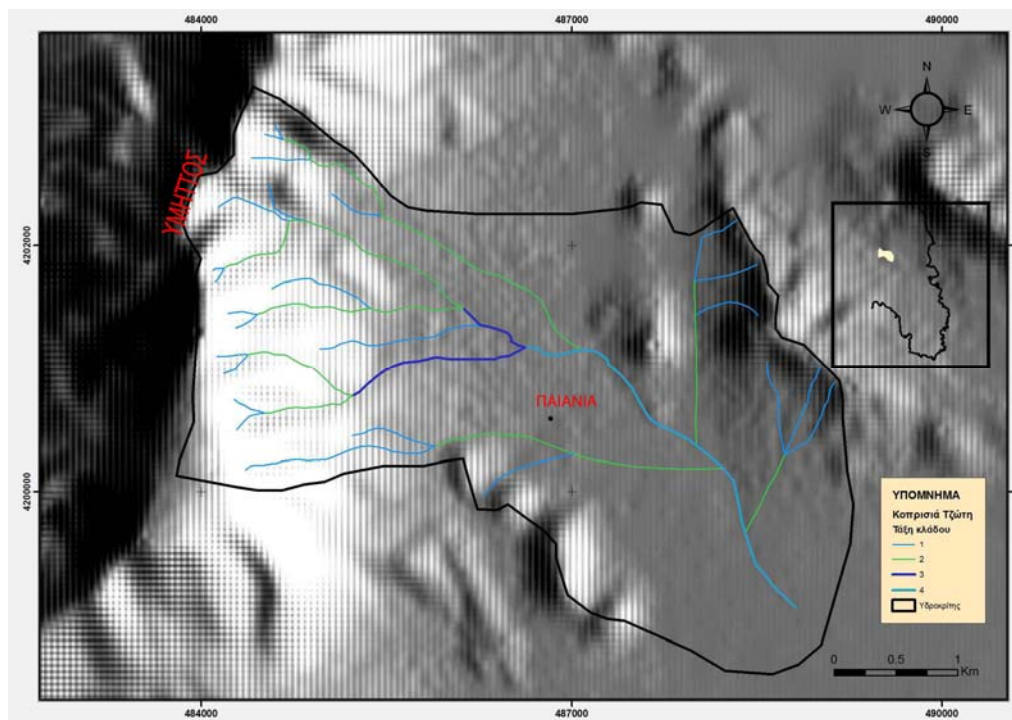
**Πίνακας 25: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	1,5311	13,25
20-40	1,5399	13,32
40-60	1,8973	16,41
60-80	1,9837	17,16
80-100	2,025	17,52
100-120	1,5683	13,57
120-140	0,7169	6,20
140-160	0,2419	2,09
160-180	0,0556	0,48

#### 4.2.3 Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Κοπρισιά Τζωτή

Η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Κοπρισιά Τζωτή έχει συνολικό εμβαδό 14.753.430 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 17.992 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τα Γλυκά Νερά, δυτικά από τον Υμηττό, ανατολικά από τον λόφο Δάσος και νότια από τον λόφο Καμάρα. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 972,10 μέτρα και το ελάχιστο τα 115,50 μέτρα, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 292,00 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και καταλήγει στη λεκάνη των Σπάτων. Η λεκάνη στο ανατολικό τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, ενώ το νότιο και νοτιοδυτικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.

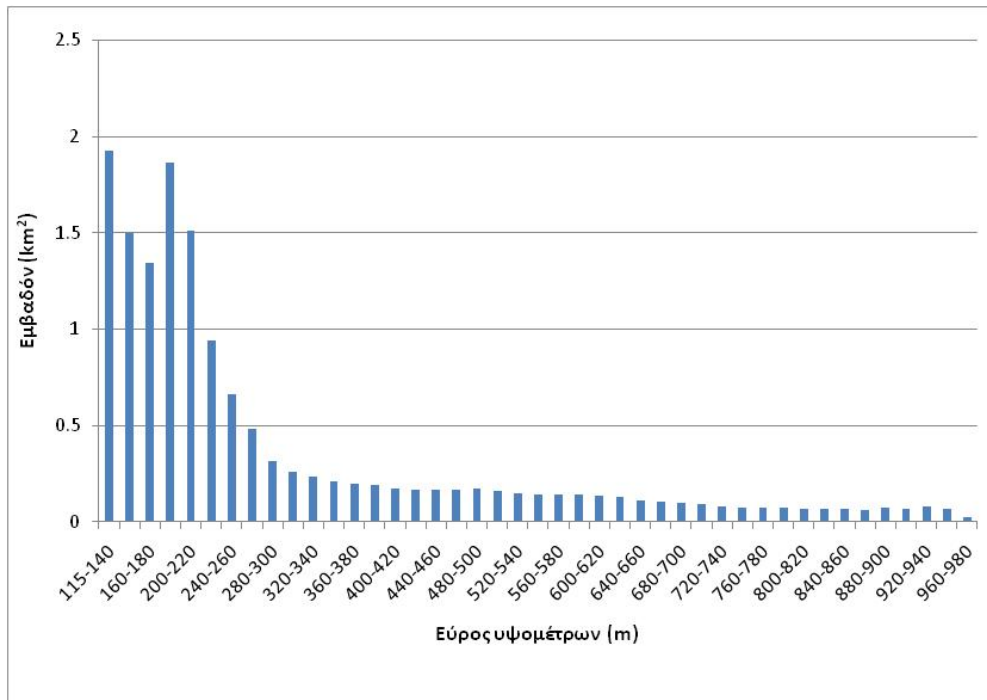


**Εικόνα 51: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Κοπρισιά Τζωτή και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

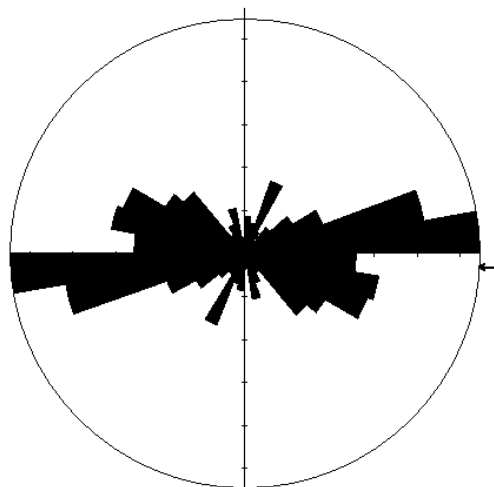
Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει σχετική μικρή ασυμμετρία με το μεγαλύτερο αριθμό κλάδων να αναπτύσσονται νότια του κυρίως κλάδου. Ο κύριος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης και έχει γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.

**Πίνακας 26: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Κοπρισιά Τζωτή.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1η	25	13616,77
2η	8	13403,27
3η	2	2121,88
4η	1	3352,00
<b>Σύνολο</b>	<b>36</b>	<b>32493,92</b>
<b>Συχνότητα</b>	<b>2,44</b>	
<b>Πυκνότητα</b>	<b>2,20</b>	



**Εικόνα 52: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Κοπρισιά Τζωτή σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**



**Εικόνα 53: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Κοπρισιά Τζωτή ανά 10 μοίρες.**



**Πίνακας 27: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

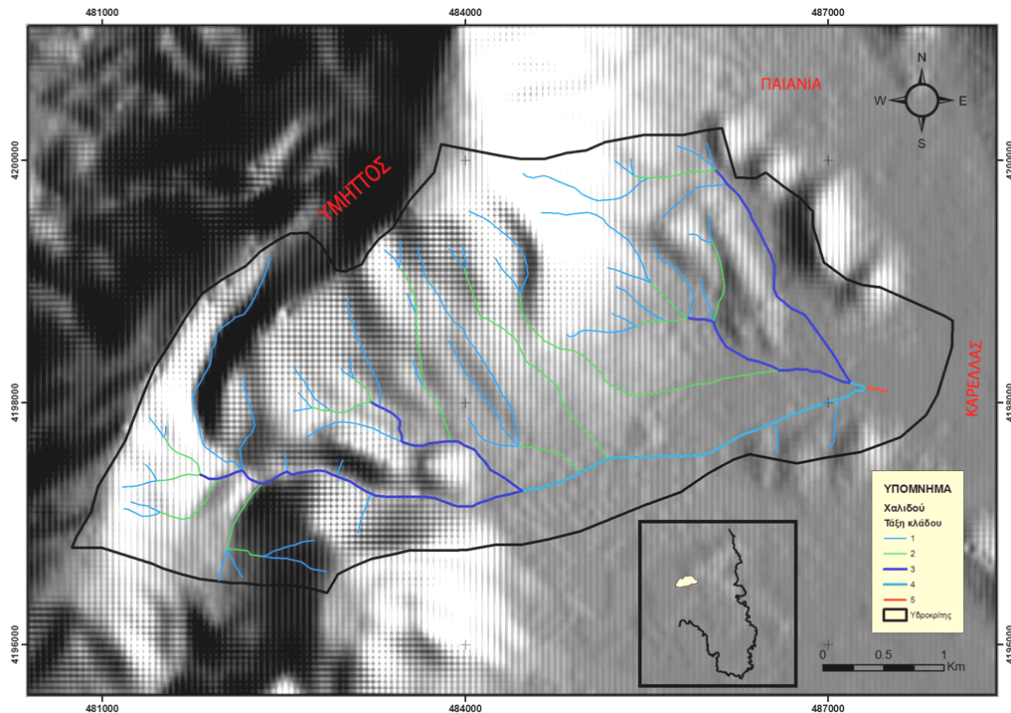
Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
115-140	1,9253	13,05
140-160	1,4957	10,14
160-180	1,3428	9,10
180-200	1,8648	12,64
200-220	1,5084	10,23
220-240	0,9438	6,40
240-260	0,6615	4,48
260-280	0,4834	3,28
280-300	0,3161	2,14
300-320	0,2607	1,77
320-340	0,2364	1,60
340-360	0,2119	1,44
360-380	0,1977	1,34
380-400	0,1919	1,30
400-420	0,1754	1,19
420-440	0,1645	1,12
440-460	0,1647	1,12
460-480	0,1661	1,13
480-500	0,1714	1,16
500-520	0,1594	1,08
520-540	0,148	1,00
540-560	0,1443	0,98
560-580	0,1438	0,97
580-600	0,1397	0,95
600-620	0,1333	0,90
620-640	0,1264	0,86
640-660	0,1108	0,75
660-680	0,1038	0,70

680-700	0,0959	0,65
700-720	0,089	0,60
720-740	0,0792	0,54
740-760	0,0744	0,50
760-780	0,0745	0,51
780-800	0,0728	0,49
800-820	0,067	0,45
820-840	0,0694	0,47
840-860	0,0662	0,45
860-880	0,0625	0,42
880-900	0,0704	0,48
900-920	0,0657	0,45
920-940	0,081	0,55
940-960	0,0665	0,45
960-980	0,0253	0,17

#### 4.2.4 Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Χαλιδού

Η υδρολογική λεκάνη Χαλιδού έχει συνολικό εμβαδό 16.956.401 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 18.688 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τους λόφους Προσήλιο και Καμάρα, δυτικά από τον Υμηττό, ανατολικά από τον οικισμό Καρελλά και νότια από τους λόφους Προφήτη Ηλία και Κορυφή. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 1.016,20 μέτρα και το ελάχιστο 123,50 μέτρα, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 413,70 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτικού τύπου.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και καταλήγει στη λεκάνη των Σπάτων. Η λεκάνη στο ανατολικό τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, ενώ το νότιο και νοτιοδυτικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.

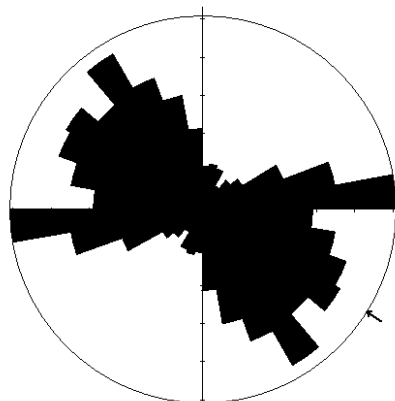


**Εικόνα 54:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Χαλιδού και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

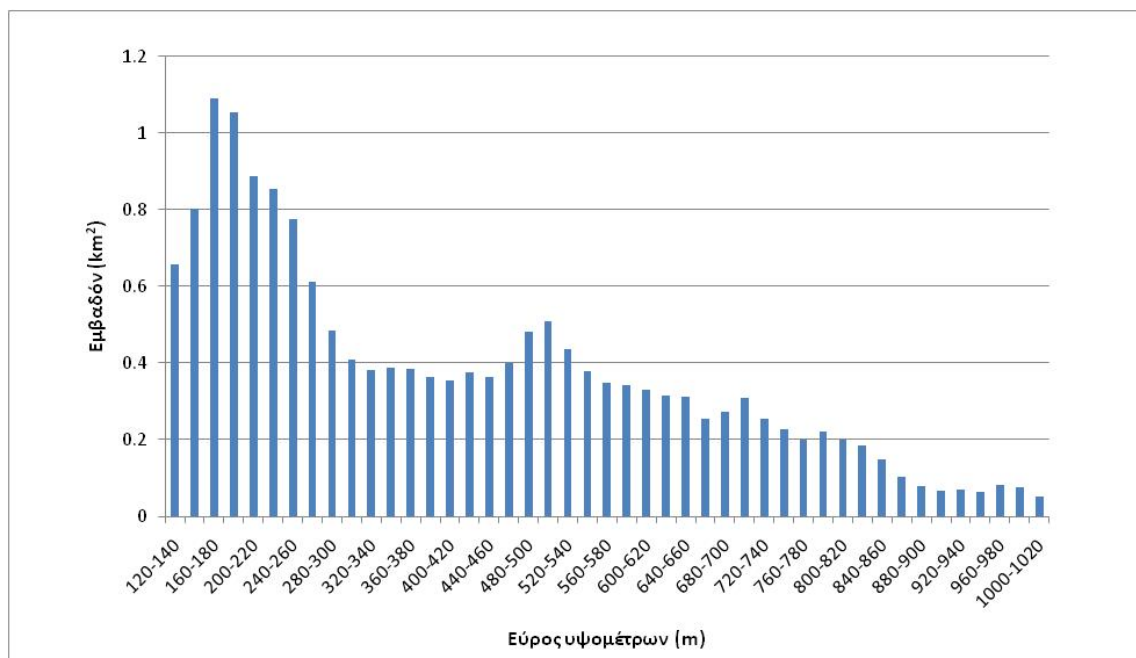
Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μέση ασυμμετρία με το μεγαλύτερο αριθμό κλάδων να αναπτύσσονται βόρεια του κυρίως κλάδου. Ο κύριος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης αλλά εμφανίζεται υπολειμματικός.

**Πίνακας 28:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Χαλιδού.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	50	23373,37
2 <sup>η</sup>	14	12186,35
3 <sup>η</sup>	4	8180,12
4 <sup>η</sup>	2	3139,75
5 <sup>η</sup>	1	195,27
<b>Σύνολο</b>	<b>71</b>	<b>47074,86</b>
<b>Συχνότητα</b>	<b>4,19</b>	
<b>Πυκνότητα</b>	<b>2,78</b>	



**Εικόνα 55: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Χαλιδού ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 56: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Χαλιδού σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

**Πίνακας 29: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
120-140	0,6588	3,89
140-160	0,8038	4,74
160-180	1,0897	6,43
180-200	1,0555	6,22
200-220	0,889	5,24
220-240	0,8537	5,03
240-260	0,775	4,57
260-280	0,6132	3,62
280-300	0,4852	2,86
300-320	0,409	2,41
320-340	0,3806	2,24
340-360	0,3864	2,28
360-380	0,3855	2,27
380-400	0,3637	2,14
400-420	0,3556	2,10
420-440	0,3754	2,21
440-460	0,3628	2,14
460-480	0,3988	2,35
480-500	0,4828	2,85
500-520	0,5086	3,00
520-540	0,4367	2,58
540-560	0,3793	2,24
560-580	0,349	2,06
580-600	0,3436	2,03
600-620	0,3292	1,94
620-640	0,314	1,85
640-660	0,3106	1,83
660-680	0,2545	1,50

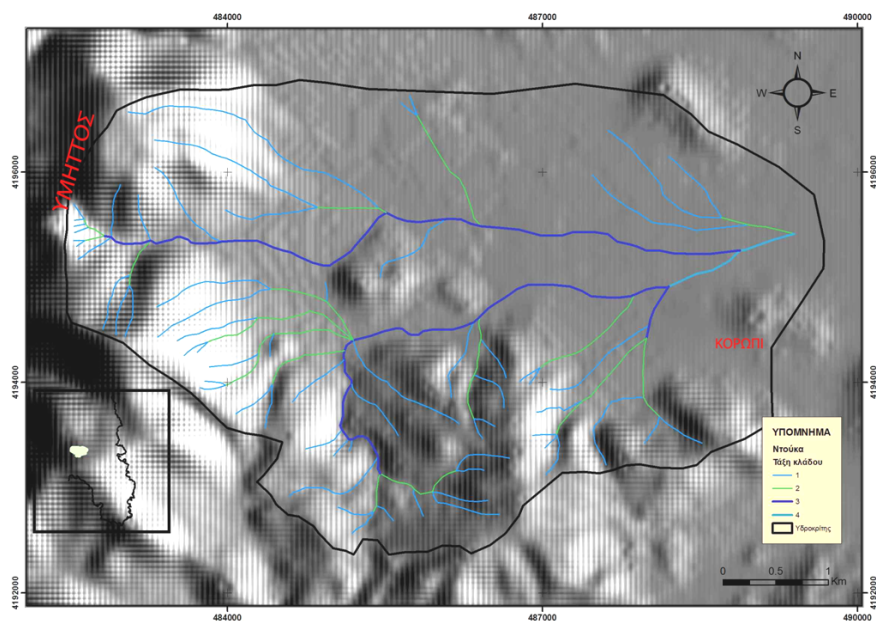
680-700	0,2721	1,60
700-720	0,3097	1,83
720-740	0,2532	1,49
740-760	0,227	1,34
760-780	0,2009	1,18
780-800	0,2214	1,31
800-820	0,2015	1,19
820-840	0,1837	1,08
840-860	0,1489	0,88
860-880	0,1022	0,60
880-900	0,0783	0,46
900-920	0,0663	0,39
920-940	0,069	0,41
940-960	0,0631	0,37
960-980	0,0804	0,47
980-1000	0,0765	0,45
1000-1020	0,0527	0,31

#### 4.2.5 Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Ντούκα

Η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Ντούκα έχει συνολικό εμβαδό 23.406.712 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 20.246 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τους λόφους Κορυφή και Προφήτη Ηλία, δυτικά από τον Υμηττό, ανατολικά χάνεται μετά το Κορωπί και νότια από τους λόφους Κόντρα, Σκιτζέα και Παλάτι. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 762,36 μέτρα και το ελάχιστο 100,10 μέτρα, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 232,35 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και καταλήγει στη λεκάνη των Σπάτων. Η λεκάνη στο δυτικό τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, ενώ το ανατολικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση Δ - Α.

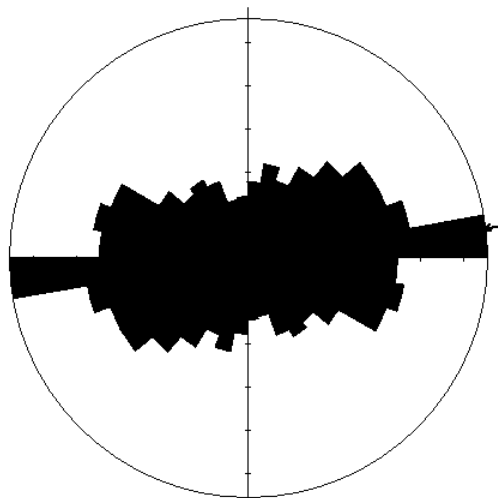
Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλή ασυμμετρία με το μεγαλύτερο αριθμό κλάδων να αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης. Ο κύριος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης.



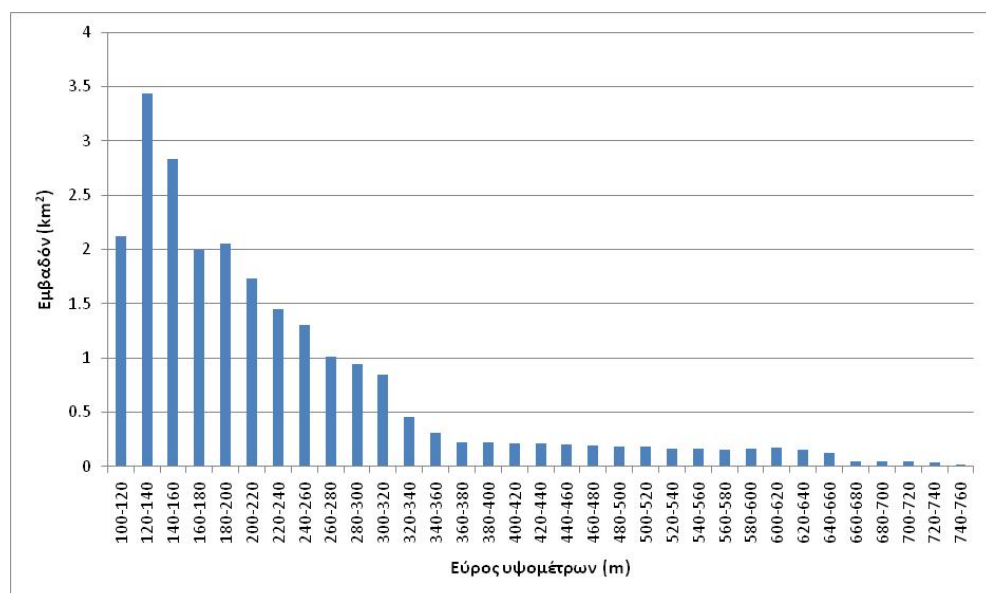
**Εικόνα 57:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Ντούκα και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

**Πίνακας 30:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Ντούκα.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	64	35698,98
2 <sup>η</sup>	14	13951,46
3 <sup>η</sup>	3	11824,1
4 <sup>η</sup>	1	1316,5
<b>Σύνολο</b>	<b>82</b>	<b>62791,04</b>
Συχνότητα	3,50	
Πυκνότητα	2,68	



**Εικόνα 58: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Ντούκα ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 59: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Ντούκα σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**



**Πίνακας 31: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
100-120	2,1223	9,07
120-140	3,4369	14,68
140-160	2,8355	12,11
160-180	1,9902	8,50
180-200	2,0533	8,77
200-220	1,7277	7,38
220-240	1,4456	6,18
240-260	1,3035	5,57
260-280	1,0075	4,30
280-300	0,943	4,03
300-320	0,845	3,61
320-340	0,4514	1,93
340-360	0,3139	1,34
360-380	0,2205	0,94
380-400	0,2218	0,95
400-420	0,2146	0,92
420-440	0,2108	0,90
440-460	0,206	0,88
460-480	0,1956	0,84
480-500	0,1827	0,78
500-520	0,1798	0,77
520-540	0,1679	0,72
540-560	0,1627	0,70
560-580	0,1541	0,66
580-600	0,1615	0,69
600-620	0,1693	0,72
620-640	0,1566	0,67
640-660	0,1255	0,54

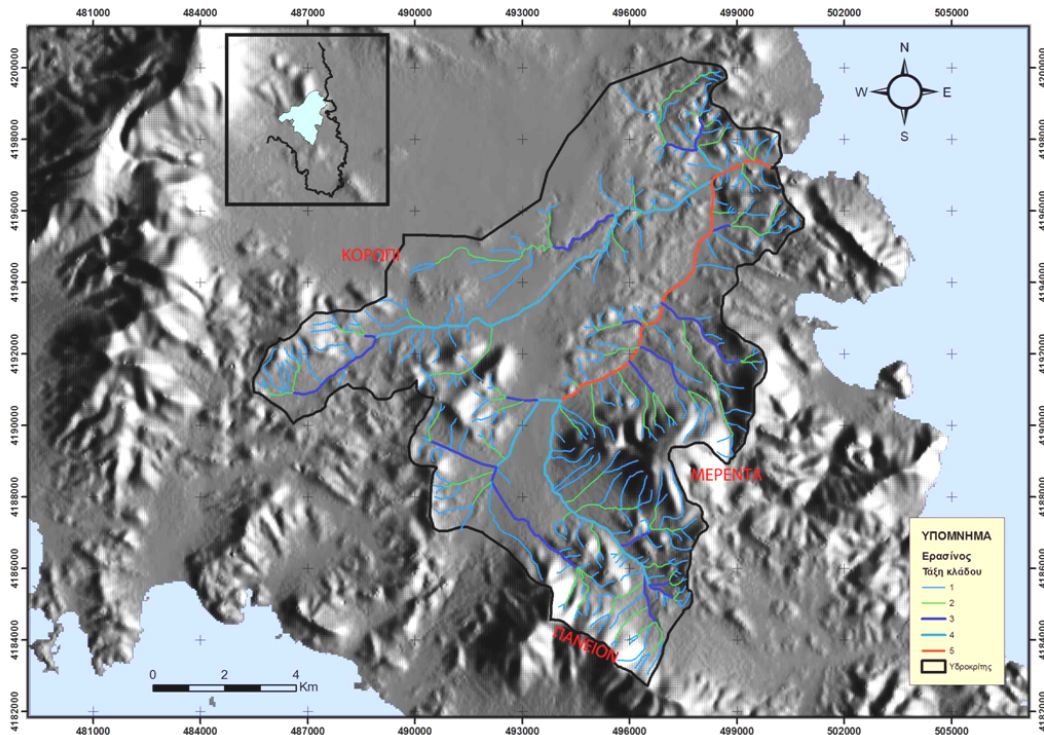
660-680	0,0481	0,21
680-700	0,0475	0,20
700-720	0,0507	0,22
720-740	0,0333	0,14
740-760	0,0207	0,09

#### 4.2.6 Υδρολογική λεκάνη Ερασίνου Ποταμού

Η υδρολογική λεκάνη του Ερασίνου έχει συνολικό εμβαδό 123.700.657 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 63.118 μέτρα. Αποτελεί τη μεγαλύτερη λεκάνη της περιοχής μελέτης και οριοθετείται προς βορά από το Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, διασχίζοντας το νότιο τμήμα της λεκάνης των Σπάτων, το λόφο Κοκκιναδέζα, δυτικά από τον Υμηττό, ανατολικά από τον Νότιο Ευβοϊκό και νότια από τα όρη Πάνειο, Μερέντα και τον οικισμό Κουβαράς. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 613,90 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 128,15 μέτρα. Ουσιαστικά. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και καταλήγει στον όρμο της Βραώνας. Η λεκάνη στο δυτικό και νότιο τμήμα της χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο, ενώ το ανατολικό είναι πιο ομαλό και έχει γενική διεύθυνση ΔΝΔ – ΑΒΑ.

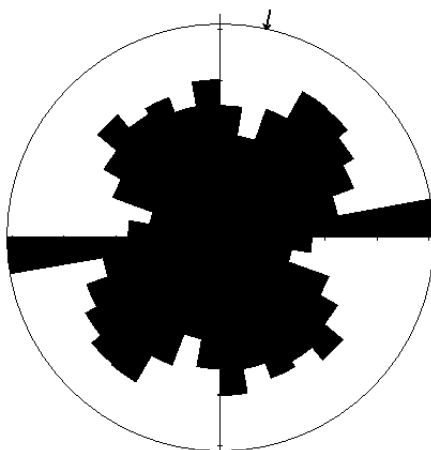
Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος 4<sup>ης</sup> τάξης, βρίσκεται βόρεια του κύριου κλάδου (5<sup>ης</sup> τάξης) με σχεδόν ίδια διεύθυνση.



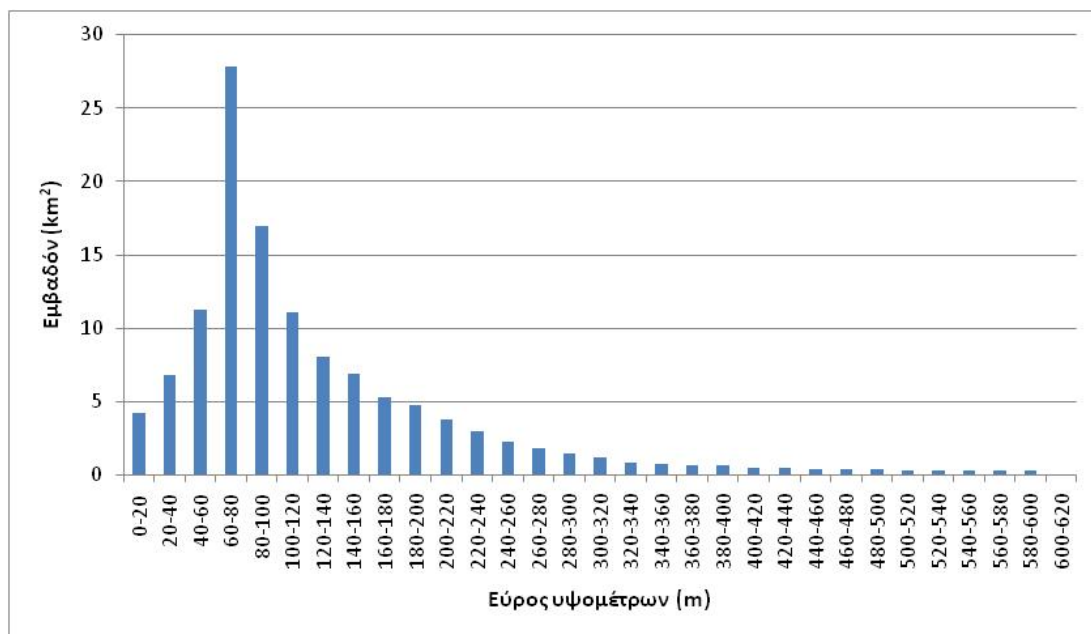
**Εικόνα 60:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Ερασίνου και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

**Πίνακας 32:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Ερασίνου.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	279	157862,00
2 <sup>η</sup>	63	60717,49
3 <sup>η</sup>	17	25353,74
4 <sup>η</sup>	3	22316,32
5 <sup>η</sup>	1	10268,78
<b>Σύνολο</b>	<b>363</b>	<b>276518,3</b>
Συχνότητα	2,93	
Πυκνότητα	2,23	



**Εικόνα 61: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Ερασίνου ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 62: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Ερασίνου σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

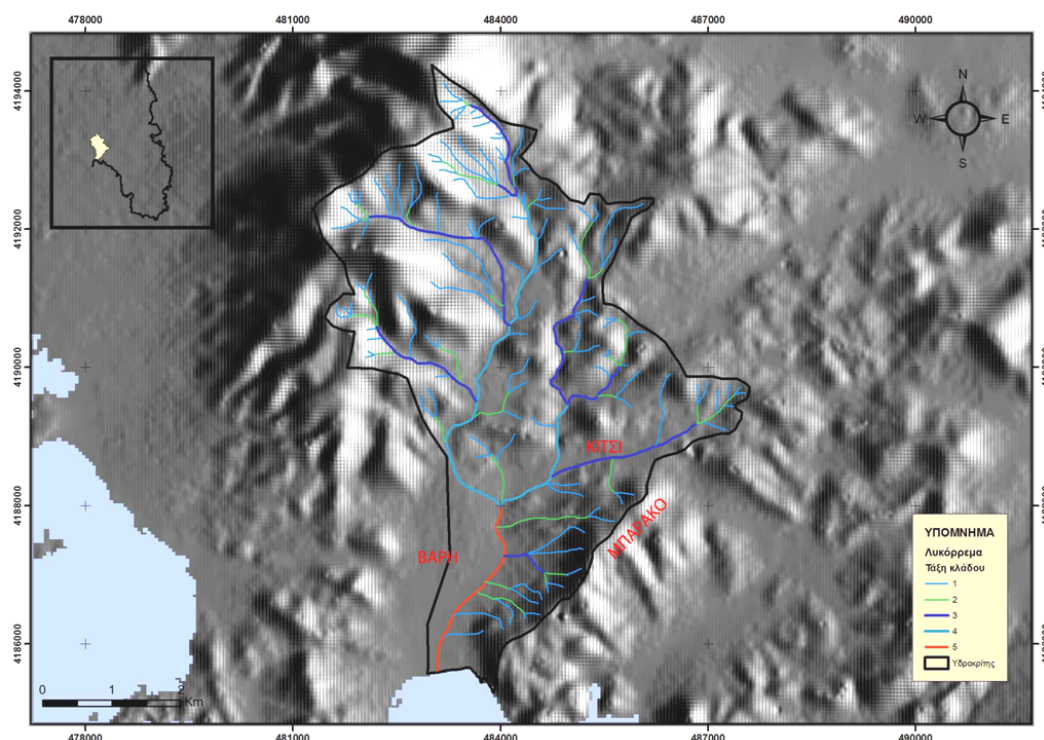
**Πίνακας 33: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	4,233	3,42
20-40	6,8055	5,50
40-60	11,2605	9,10
60-80	27,8192	22,49
80-100	16,9659	13,72
100-120	11,0978	8,97
120-140	8,0642	6,52
140-160	6,9401	5,61
160-180	5,2953	4,28
180-200	4,7684	3,85
200-220	3,8235	3,09
220-240	3,0042	2,43
240-260	2,2763	1,84
260-280	1,8488	1,49
280-300	1,4763	1,19
300-320	1,2024	0,97
320-340	0,8574	0,69
340-360	0,7302	0,59
360-380	0,6952	0,56
380-400	0,64	0,52
400-420	0,533	0,43
420-440	0,4821	0,39
440-460	0,418	0,34
460-480	0,3813	0,31
480-500	0,3631	0,29
500-520	0,3477	0,28
520-540	0,3455	0,28
540-560	0,3361	0,27

560-580	0,358	0,29
580-600	0,2767	0,22
600-620	0,0486	0,04

#### 4.2.7 Υδρολογική λεκάνη Ρέματος Λυκόρρεμα

Η υδρολογική λεκάνη Λυκορρέματος έχει συνολικό εμβαδό 25.361.451 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 28.530 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τον Υμηττό και τους λόφους Κόντρα και Ζυγό, δυτικά από τον άξονα του Υμηττού που καταλήγει στο Λαιμό Βουλιαγμένης, ανατολικά από τους λόφους Πουρνάρι, Μπαράκι και Δερβίσι και νότια από τον όρμο Βάρης. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 762,23 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 202,31 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.



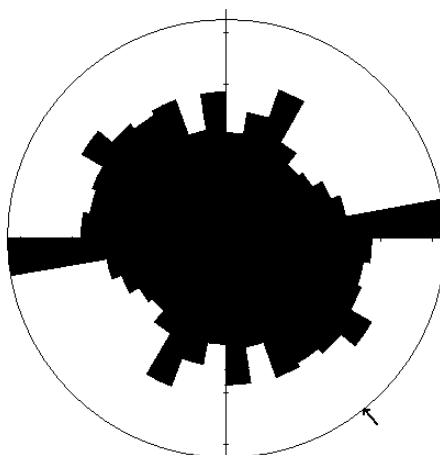
**Εικόνα 63: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Λυκόρρεμα και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από το βορά προς νότο και καταλήγει στον όρμο της Βάρης. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά έντονο

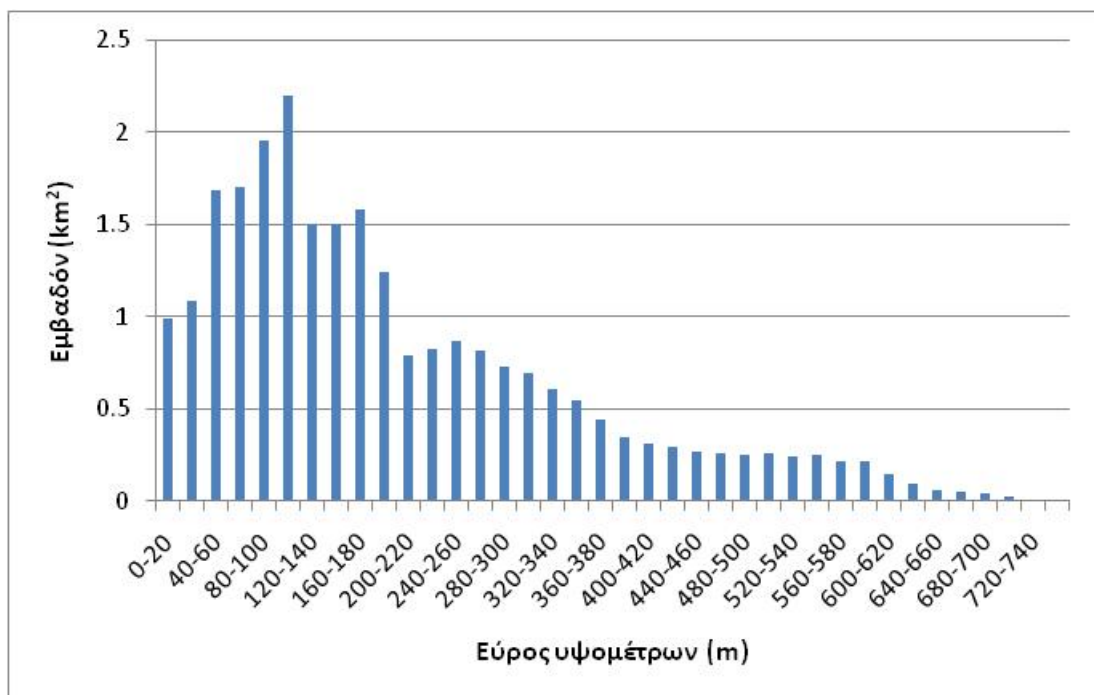
ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση Β - Ν.

**Πίνακας 34: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Λυκορρέματος.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	118	46887
2 <sup>η</sup>	30	13539,72
3 <sup>η</sup>	8	13218,00
4 <sup>η</sup>	2	7527,93
5 <sup>η</sup>	1	2790,38
Σύνολο	159	83963,03
Συχνότητα	6,27	
Πυκνότητα	3,31	



**Εικόνα 64: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Λυκορρέμα ανά 10 μίρες.**



**Εικόνα 65: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Λυκορρέματος σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

**Πίνακας 35: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,9926	3,95
20-40	1,0854	4,31
40-60	1,6875	6,71
60-80	1,704	6,77
80-100	1,9547	7,77
100-120	2,1943	8,72
120-140	1,5059	5,99
140-160	1,5031	5,98
160-180	1,5838	6,30
180-200	1,2446	4,95
200-220	0,7926	3,15

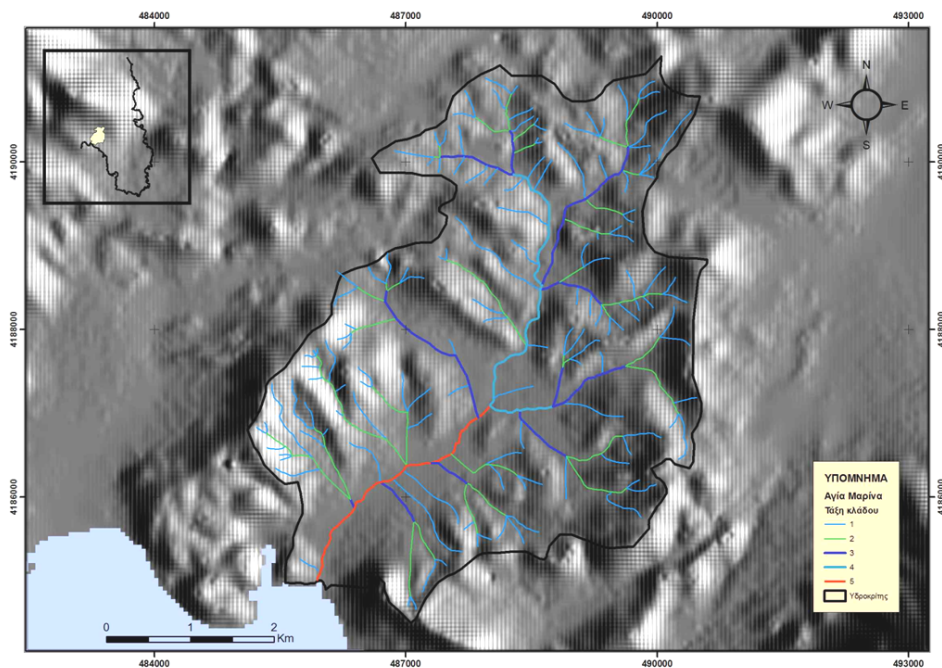


220-240	0,8279	3,29
240-260	0,8728	3,47
260-280	0,8149	3,24
280-300	0,7269	2,89
300-320	0,6934	2,76
320-340	0,6067	2,41
340-360	0,5465	2,17
360-380	0,4395	1,75
380-400	0,3471	1,38
400-420	0,3103	1,23
420-440	0,2932	1,17
440-460	0,2729	1,08
460-480	0,2579	1,03
480-500	0,2532	1,01
500-520	0,2573	1,02
520-540	0,2447	0,97
540-560	0,2533	1,01
560-580	0,2207	0,88
580-600	0,2204	0,88
600-620	0,1504	0,60
620-640	0,0986	0,39
640-660	0,0627	0,25
660-680	0,0512	0,20
680-700	0,0422	0,17
700-720	0,0301	0,12
720-740	0,0056	0,02
740-760	0,0058	0,02

#### 4.2.8 Υδρολογική λεκάνη Αγίας Μαρίνας

Η υδρολογική λεκάνη Αγίας Μαρίνας έχει συνολικό εμβαδό 23.090.693 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 24.953 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τους λόφους Στρογγυλοπούλα και Πουρνάρι, δυτικά από τους λόφους Πουρνάρι, Μπαράκι και Δερβίσι, ανατολικά από τους λόφους Κέδρος και

Κοκκινοκορυφές και νότια εκβάλλει στην Αγία Μαρίνα. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 270,64 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 95,29 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

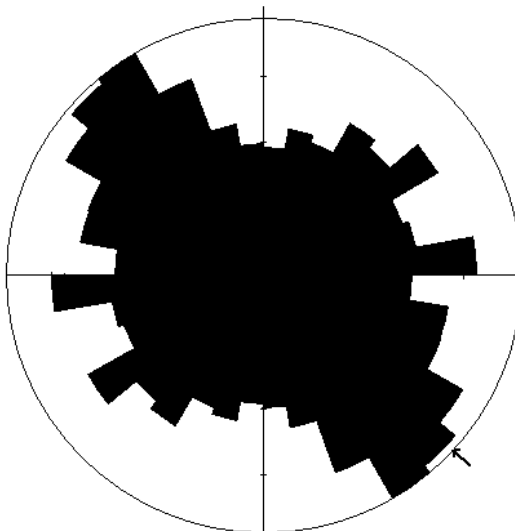


**Εικόνα 66: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Αγίας Μαρίνας και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

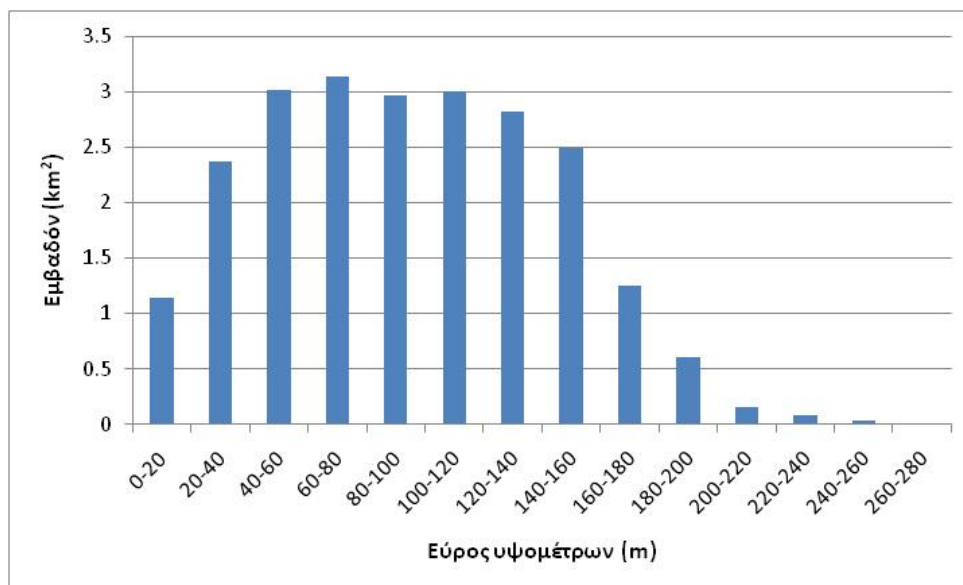
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά και καταλήγει στον όρμο της Αγίας Μαρίνας. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά έντονο ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

**Πίνακας 36: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Αγίας Μαρίνας.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	138	46552,55
2 <sup>η</sup>	34	20455,42
3 <sup>η</sup>	11	9980,83
4 <sup>η</sup>	2	4230,34
5 <sup>η</sup>	1	3234,1
<b>Σύνολο</b>	<b>186</b>	<b>84453,24</b>
Συχνότητα	8,05	
Πυκνότητα	3,66	



**Εικόνα 67: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Αγίας Μαρίνας ανά 10 μοίρες.**



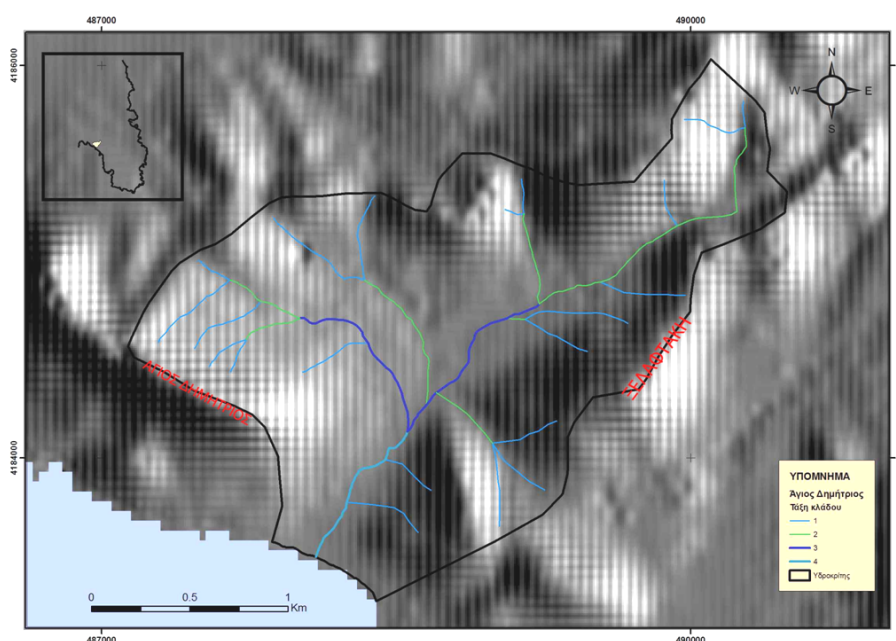
**Εικόνα 68:** Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Αγίας Μαρίας σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.

**Πίνακας 37:** Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	1,1451	4,96
20-40	2,3742	10,28
40-60	3,0157	13,06
60-80	3,1411	13,60
80-100	2,9675	12,85
100-120	3,0052	13,01
120-140	2,8186	12,21
140-160	2,4863	10,77
160-180	1,2545	5,43
180-200	0,606	2,62
200-220	0,1531	0,66
220-240	0,0824	0,36
240-260	0,0296	0,13
260-280	0,0142	0,06

#### 4.2.9 Υδρολογική λεκάνη Αγίου Δημητρίου

Η υδρολογική λεκάνη Αγίου Δημητρίου έχει συνολικό εμβαδό 4.361.134 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 10.036 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το λόφο Κοκκινοκορυφές, δυτικά από το Μεγάλο Μετόχι, ανατολικά από το λόφο Ξελαφτάκη και νότια εκβάλλει στον Άγιο Δημήτριο, δυτικά της παραλίας Καλυβίων. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 202,10 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 71,45 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

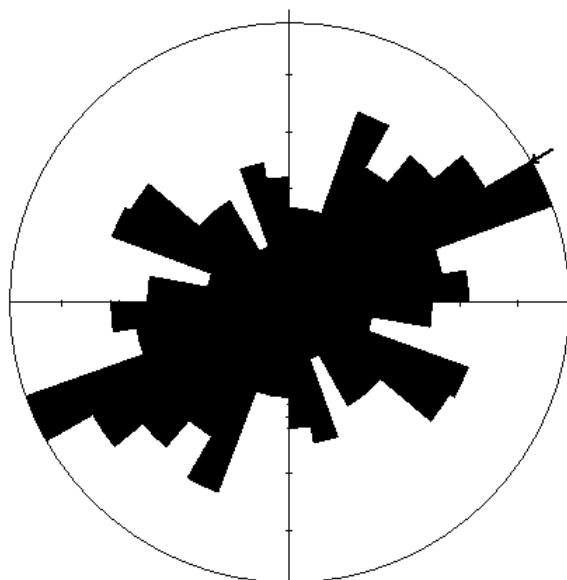


**Εικόνα 69: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Αγίου Δημητρίου και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

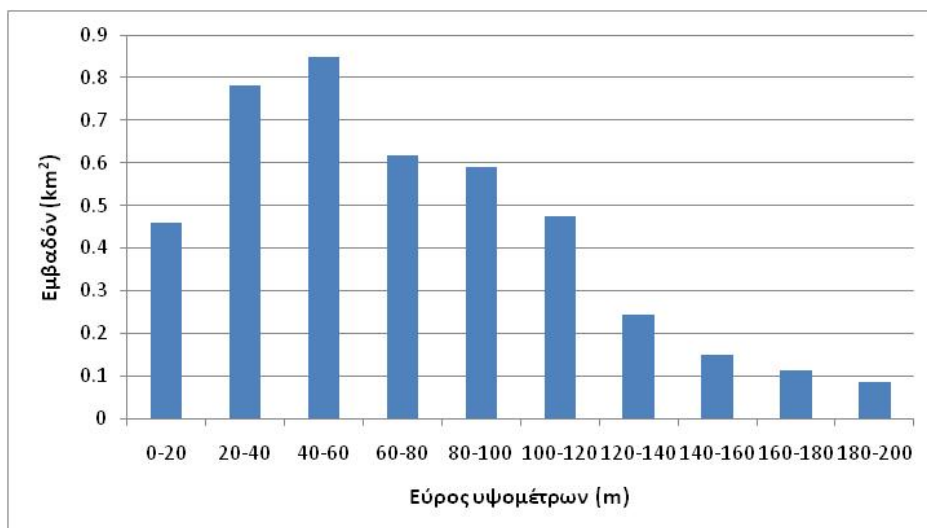
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά και καταλήγει στον Άγιο Δημήτριο. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μέτρια ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ.

**Πίνακας 38: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Αγίου Δημητρίου.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	21	7188,4
2 <sup>η</sup>	7	4062,71
3 <sup>η</sup>	2	1924,34
4 <sup>η</sup>	1	845,72
<b>Σύνολο</b>	<b>31</b>	<b>14021,17</b>
Συχνότητα	7,11	
Πυκνότητα	3,21	



**Εικόνα 70: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Αγίου Δημητρίου ανά 10 μοίρες.**



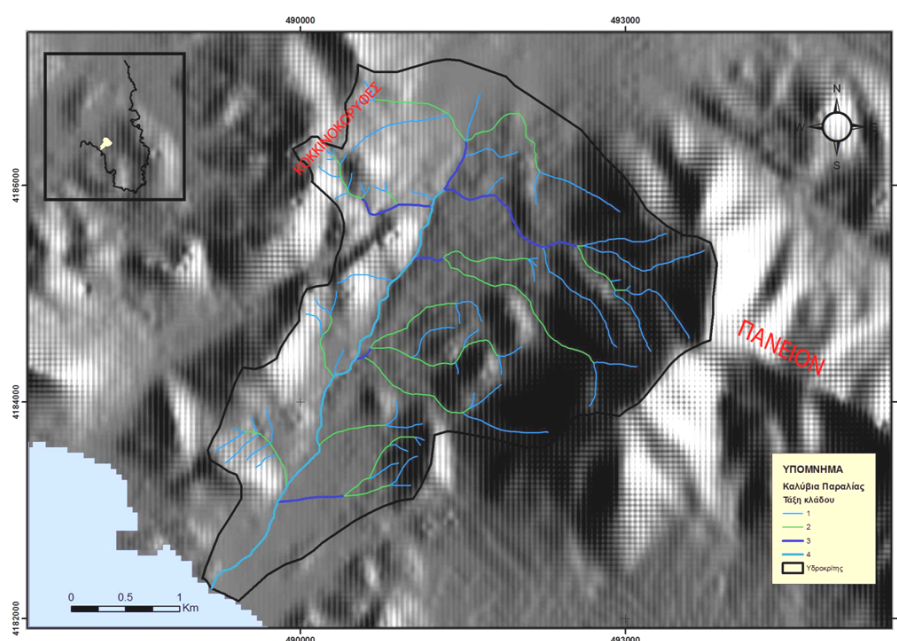
**Εικόνα 71: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Αγίου Δημητρίου σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

**Πίνακας 39: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,4586	10,52
20-40	0,7811	17,92
40-60	0,8475	19,44
60-80	0,6167	14,15
80-100	0,589	13,51
100-120	0,4757	10,91
120-140	0,2436	5,59
140-160	0,1481	3,40
160-180	0,1146	2,63
180-200	0,0847	1,94

#### 4.2.10 Υδρολογική λεκάνη Παραλίας Καλυβίων

Η υδρολογική λεκάνη Παραλίας Καλυβίων έχει συνολικό εμβαδό 12.436.833 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 17.052 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τον οικισμό των Καλυβίων, δυτικά από τους λόφους Κοκκινοκορυφή και Ξελαφτάκη, ανατολικά από το Πάνειο Όρος και νότια εκβάλλει στην Παραλία Καλυβίων. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 630,94 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 158,42 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.



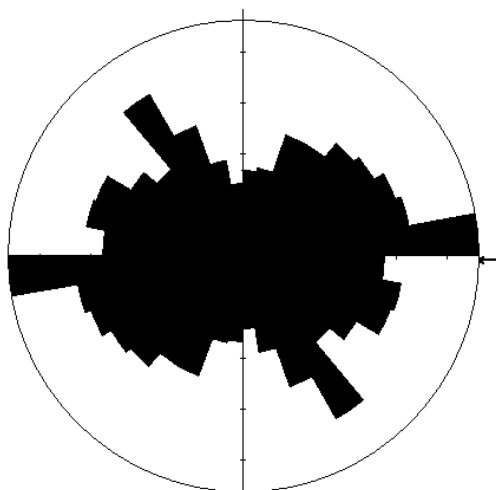
**Εικόνα 72:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Παραλίας Καλυβίων και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βόρεια-βορειοανατολικά προς τα νότια-νοτιοδυτικά και καταλήγει στην παραλία Καλυβίων. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει συμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΒΒΑ- ΝΝΔ.

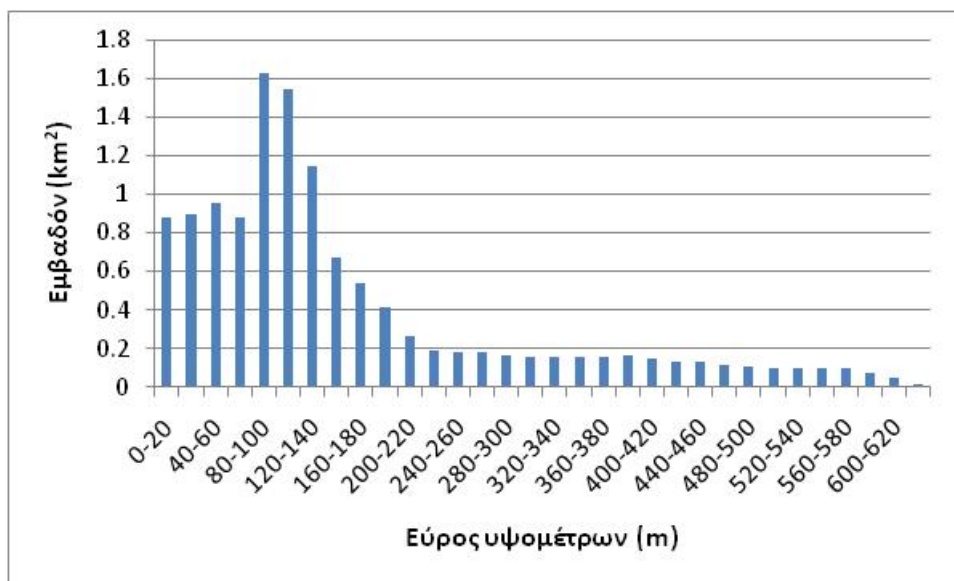


**Πίνακας 40: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Παραλίας Καλυβίων.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	62	20099,81
2 <sup>η</sup>	17	13277,57
3 <sup>η</sup>	6	3858,25
4 <sup>η</sup>	1	4571,9
Σύνολο	86	41807,53
Συχνότητα	6,91	
Πυκνότητα	3,36	



**Εικόνα 73: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Παραλίας Καλυβίων ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 74:** Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Παραλίας Καλυβίων σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.

**Πίνακας 41:** Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.

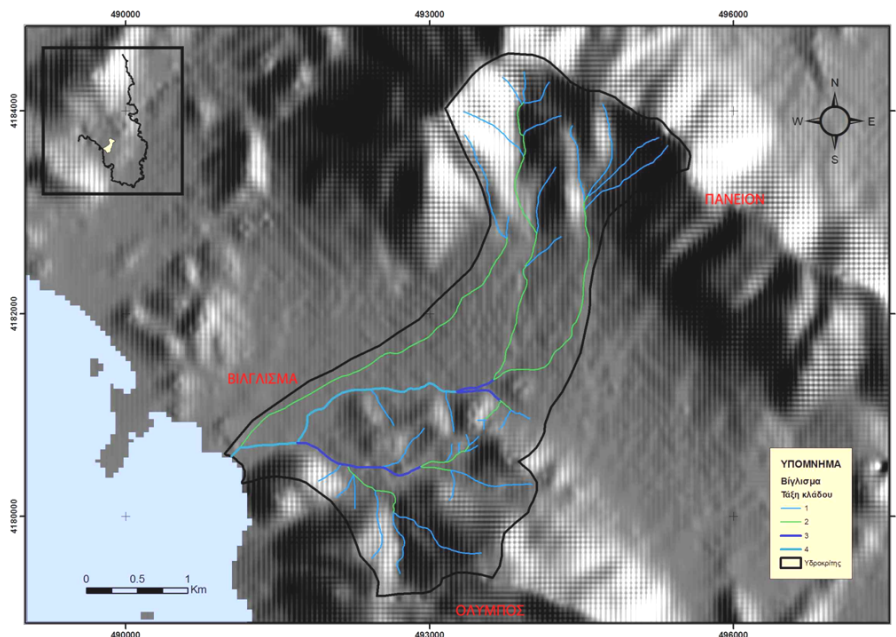
Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,8775	7,06
20-40	0,8967	7,21
40-60	0,9506	7,64
60-80	0,8759	7,04
80-100	1,6291	13,10
100-120	1,5442	12,42
120-140	1,1452	9,21
140-160	0,6702	5,39
160-180	0,5387	4,33
180-200	0,4128	3,32
200-220	0,2674	2,15
220-240	0,1885	1,52
240-260	0,1809	1,45

260-280	0,1794	1,44
280-300	0,1641	1,32
300-320	0,1589	1,28
320-340	0,1517	1,22
340-360	0,1538	1,24
360-380	0,1537	1,24
380-400	0,1603	1,29
400-420	0,1439	1,16
420-440	0,1305	1,05
440-460	0,1283	1,03
460-480	0,1145	0,92
480-500	0,1035	0,83
500-520	0,0971	0,78
520-540	0,0975	0,78
540-560	0,0955	0,77
560-580	0,0997	0,80
580-600	0,0706	0,57
600-620	0,0459	0,37
620-640	0,0105	0,08

#### 4.2.11 Υδρολογική λεκάνη Βίγλισμα

Η υδρολογική λεκάνη Βίγλισμα έχει συνολικό εμβαδό 9.612.614 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 16.532 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το Πάνειο Όρος, δυτικά από το λόφο Κορυφούλες, ανατολικά από τα Καλύβια Ολύμπου και νότια από τον Όλυμπο. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 630,57 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 186,49 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βόρεια-βορειοανατολικά με στροφή του υδρογραφικού δικτύου προς τα νοτιοδυτικά και καταλήγει στον οικισμό Βίγλισμα.

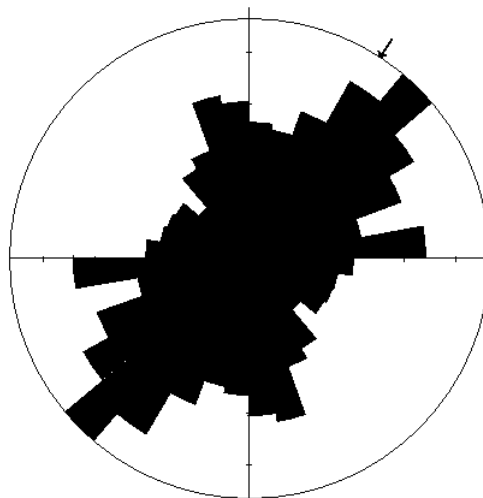


**Εικόνα 75:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Βίγλισμα και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

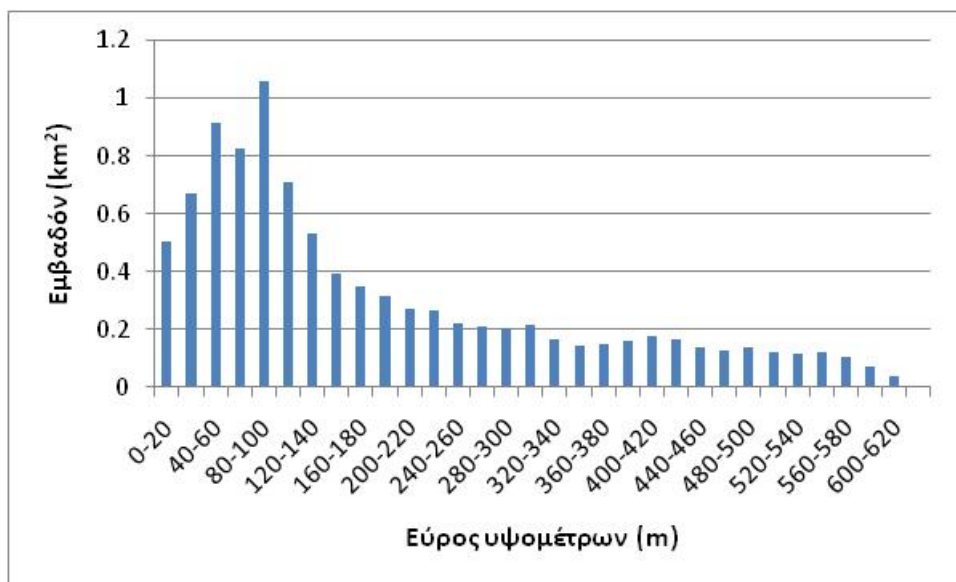
Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο, έντονο παρουσιάζεται μόνο στο τμήμα που διατρέχει τα όρη Πάνειο και Όλυμπος. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει συμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΑΒΑ- ΔΝΔ.

**Πίνακας 42:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη ρέματος Βίγλισμα.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	33	15826,28
2 <sup>η</sup>	8	10831,65
3 <sup>η</sup>	3	2182,96
4 <sup>η</sup>	1	2595,01
Σύνολο	45	31435,90
Συχνότητα	4,68	
Πυκνότητα	3,27	



**Εικόνα 76: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Βίγλιμα ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 77: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Βίγλιμα σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

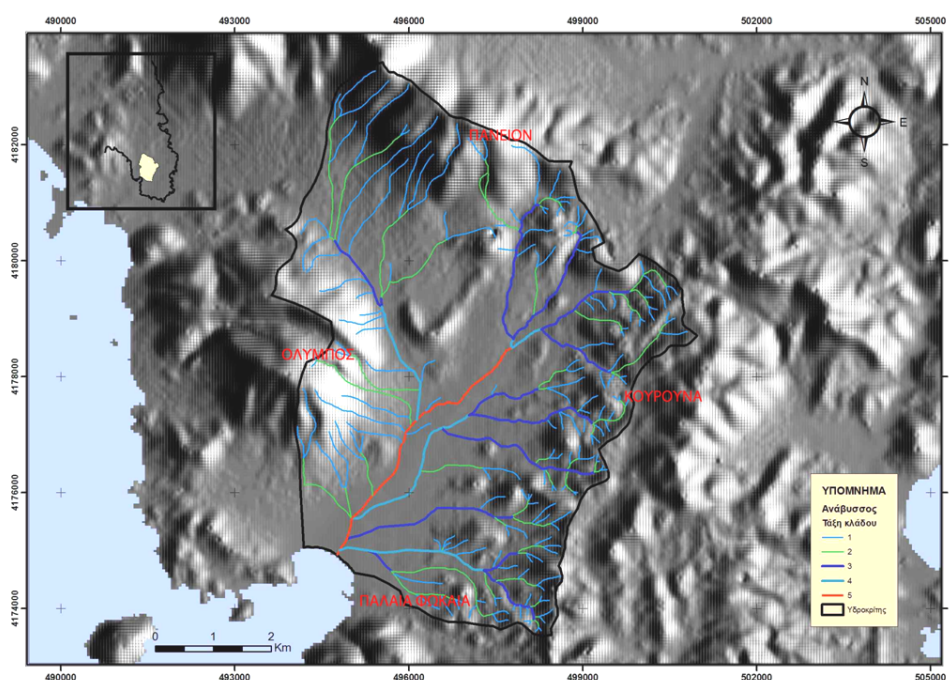
**Πίνακας 43: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,502	5,22
20-40	0,6731	7,00
40-60	0,9169	9,54
60-80	0,8247	8,58
80-100	1,0574	11,00
100-120	0,7067	7,35
120-140	0,53	5,51
140-160	0,3921	4,08
160-180	0,3514	3,66
180-200	0,3171	3,30
200-220	0,2726	2,84
220-240	0,2671	2,78
240-260	0,2219	2,31
260-280	0,2082	2,17
280-300	0,2035	2,12
300-320	0,218	2,27
320-340	0,1684	1,75
340-360	0,1432	1,49
360-380	0,1506	1,57
380-400	0,163	1,70
400-420	0,1765	1,84
420-440	0,1661	1,73
440-460	0,1358	1,41
460-480	0,1274	1,33
480-500	0,1401	1,46
500-520	0,1229	1,28
520-540	0,114	1,19
540-560	0,1245	1,30

560-580	0,1029	1,07
580-600	0,0711	0,74
600-620	0,0384	0,40
620-640	0,0051	0,05

#### 4.2.12 Υδρολογική λεκάνη Αναβύσσου

Η υδρολογική λεκάνη Αναβύσσου έχει συνολικό εμβαδό 44.133.799 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 30.271 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το Πάνειο Όρος και το λόφο Μουζάκι, δυτικά από τον Όλυμπο, ανατολικά από τον οικισμό Αγίου Κωνσταντίνου και νότια από τους λόφους Ασβεστοκαμίνου, Σουφλερό και Γερακίνα. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 639,50 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 129,58 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.



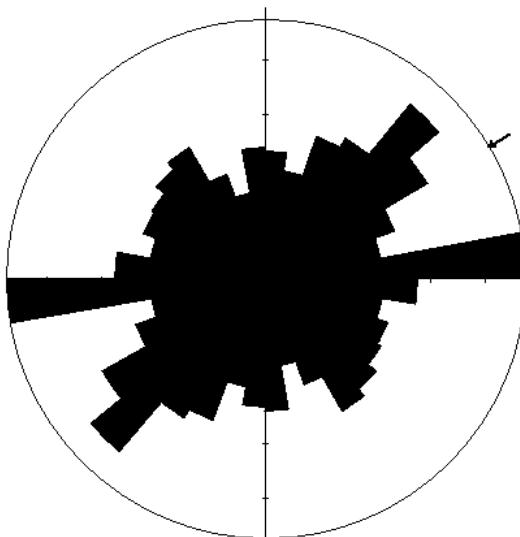
**Εικόνα 78: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Αναβύσσου και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά και καταλήγει στον κόλπο της Αναβύσσου. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο, έντονο παρουσιάζεται

μόνο στο τμήμα που διατρέχει τα όρη Πάνειο, Όλυμπος και το δυτικό τμήμα της. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΒΒΑ- ΝΝΔ.

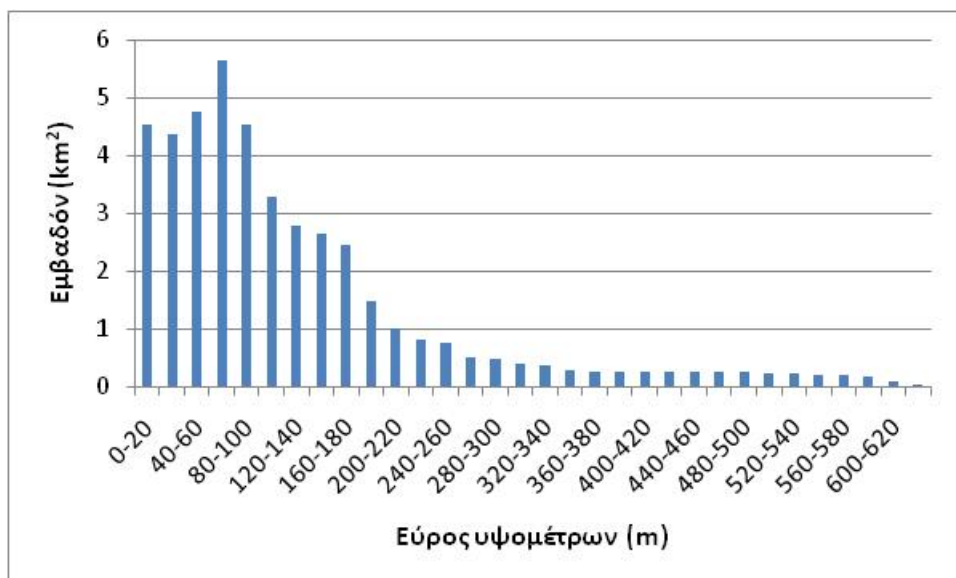
**Πίνακας 44: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Αναβύσσου.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	178	74342,26
2 <sup>η</sup>	44	35110,01
3 <sup>η</sup>	13	22194,04
4 <sup>η</sup>	5	8523,67
5 <sup>η</sup>	1	4993,91
Σύνολο	241	145163,9
Συχνότητα	5,46	
Πυκνότητα	3,29	



**Εικόνα 79: Ροοδοιάγραμμα κλάδων ρέματος Αναβύσσου ανά 10 μοίρες.**





**Εικόνα 80: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Αναβύσσου σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

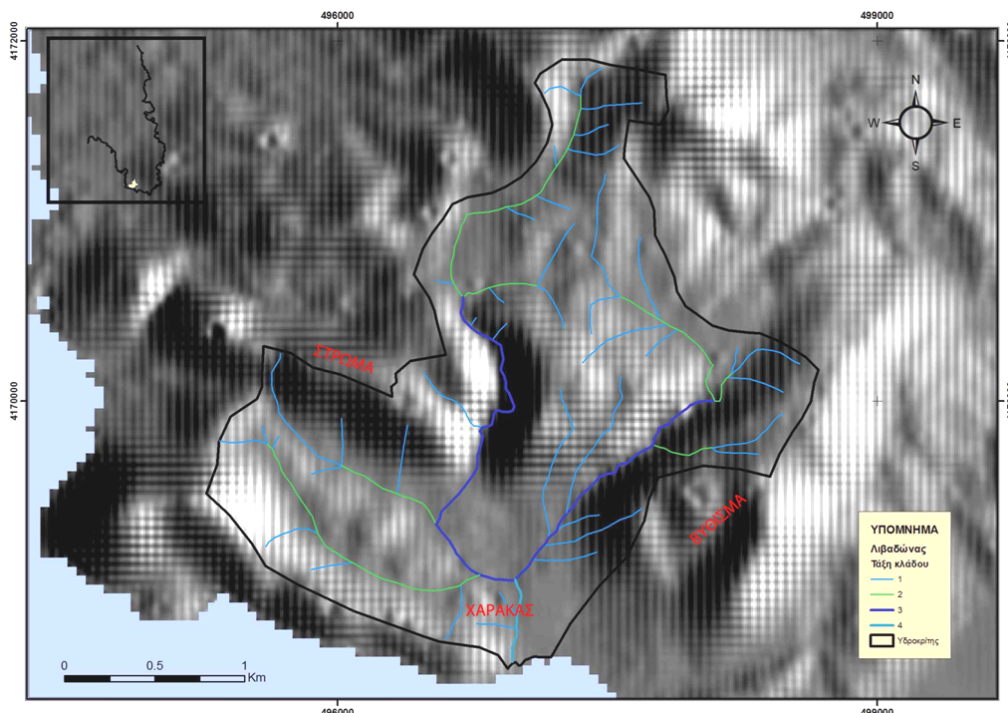
**Πίνακας 45: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	4,5433	10,29
20-40	4,3589	9,88
40-60	4,7403	10,74
60-80	5,652	12,81
80-100	4,5375	10,28
100-120	3,2825	7,44
120-140	2,7788	6,30
140-160	2,6505	6,01
160-180	2,449	5,55
180-200	1,4817	3,36
200-220	1,0243	2,32
220-240	0,8138	1,84
240-260	0,762	1,73

260-280	0,5251	1,19
280-300	0,4715	1,07
300-320	0,4021	0,91
320-340	0,3634	0,82
340-360	0,2804	0,64
360-380	0,2739	0,62
380-400	0,2706	0,61
400-420	0,262	0,59
420-440	0,2698	0,61
440-460	0,2563	0,58
460-480	0,257	0,58
480-500	0,2604	0,59
500-520	0,2422	0,55
520-540	0,2365	0,54
540-560	0,2014	0,46
560-580	0,1953	0,44
580-600	0,1694	0,38
600-620	0,0831	0,19
620-640	0,0401	0,09

#### 4.2.13 Υδρολογική λεκάνη Λιβαδώνα

Η υδρολογική λεκάνη Λιβαδώνα έχει συνολικό εμβαδό 5.434.749 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 12.077 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το λόφο του Προφήτη Ηλία, δυτικά από τους λόφους Φρέκερη, Στρώμα και Κασσιδιάρα, ανατολικά από το λόφο Βύθισμα και νότια εκβάλλει στον οικισμό Χάρακα. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 330,93 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 131,84 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

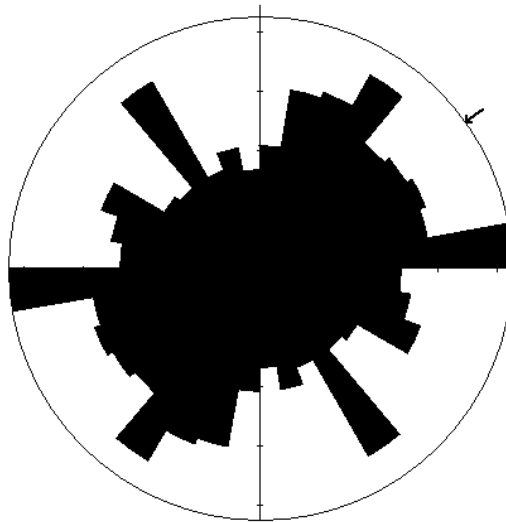


**Εικόνα 81:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Λιβαδώνα και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

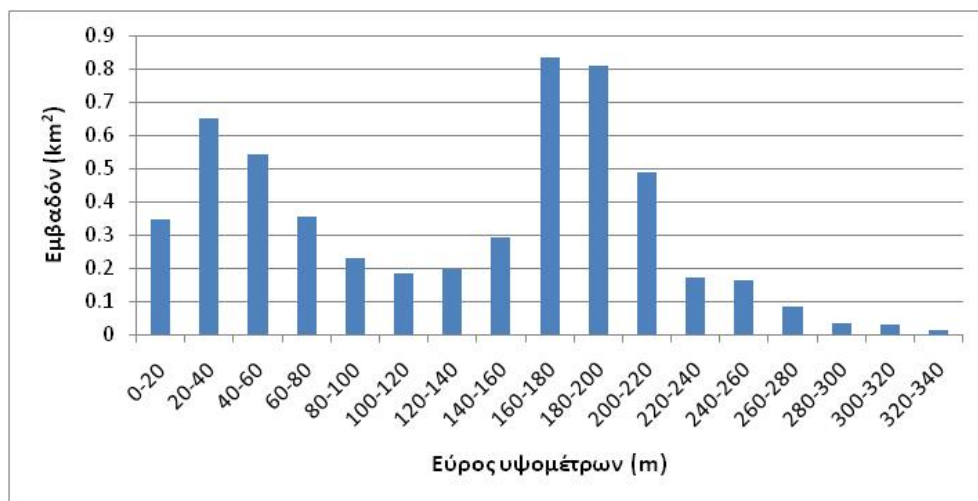
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από το βορά προς νότο και καταλήγει στον κόλπο του Χάρακα. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση Β - Ν.

**Πίνακας 46:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Λιβαδώνα.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1η	42	13697,04
2η	7	5613,29
3η	2	3780,44
4η	1	470
<b>Σύνολο</b>	<b>52</b>	<b>23560,77</b>
Συχνότητα	9,57	
Πυκνότητα	4,33	



**Εικόνα 82: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Λιβαδώνα ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 83: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Λιβαδώνα σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

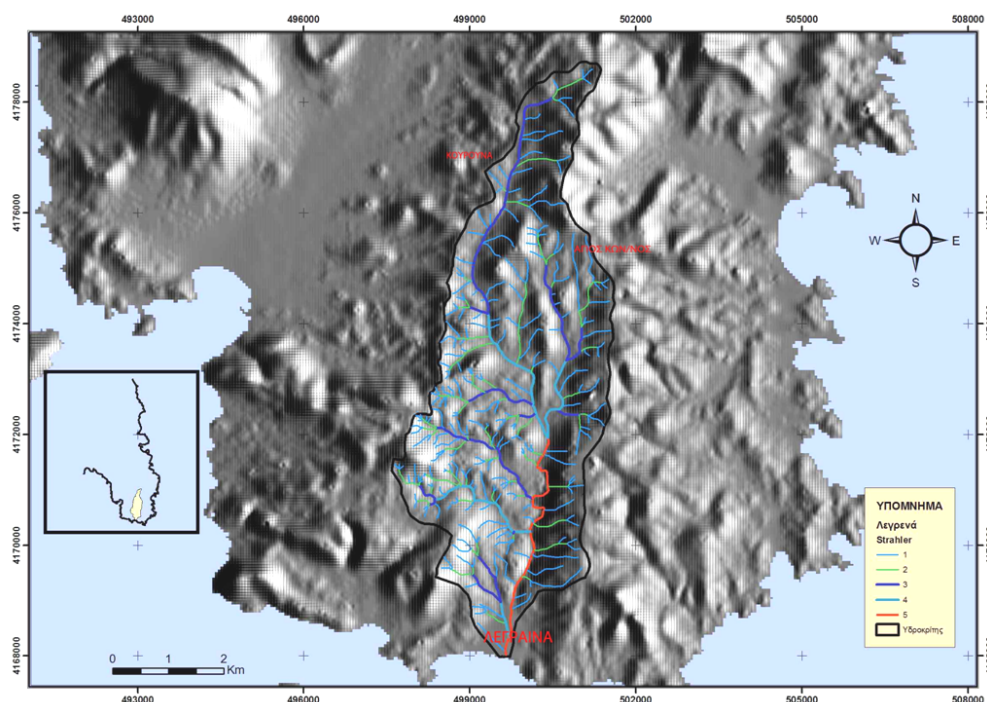
**Πίνακας 47: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,3467	6,38
20-40	0,6497	11,96
40-60	0,5412	9,96
60-80	0,3557	6,55
80-100	0,2326	4,28
100-120	0,1867	3,44
120-140	0,1964	3,61
140-160	0,2911	5,36
160-180	0,8344	15,35
180-200	0,8097	14,90
200-220	0,4904	9,02
220-240	0,1727	3,18
240-260	0,1625	2,99
260-280	0,084	1,55
280-300	0,0372	0,68
300-320	0,0294	0,54
320-340	0,0137	0,25

**4.2.14 Υδρολογική λεκάνη Λεγρενών**

Η υδρολογική λεκάνη Λεγρενών έχει συνολικό εμβαδό 23.967.630 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 26.873 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τους λόφους Κουρούνα, Χάρβαλο, Χορτάρια , δυτικά από τον άξονα Κουλοχέρι – Ασβεστοκάμιнос - Βύθισμα, ανατολικά από τον άξονα Χάος – Βίγλα και νότια εκβάλλει στον όρμο των Λεγρενών. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 359,41 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 139,64 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική. Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από το βορά προς νότο και καταλήγει στον όρμο των Λεγρενών. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό

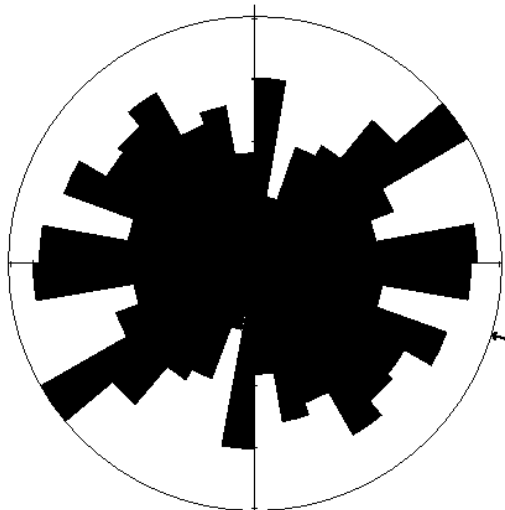
ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει συμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 5<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση Β- Ν.



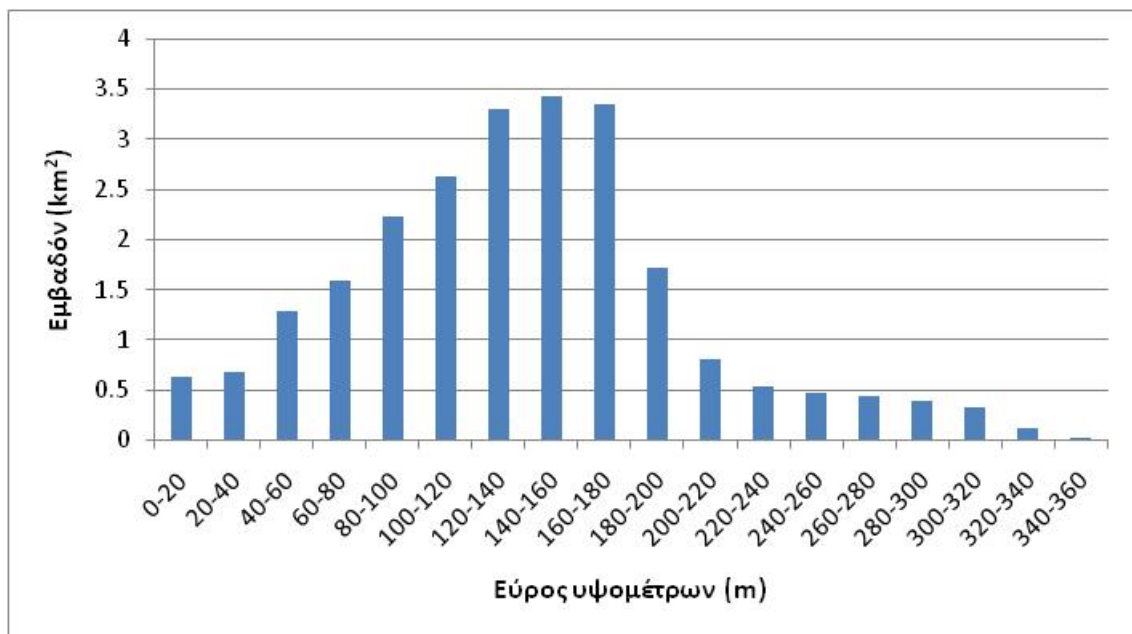
**Εικόνα 84:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Λεγρενών και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

**Πίνακας 48:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Λεγρενών.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	241	67367,16
2 <sup>η</sup>	61	21004,4
3 <sup>η</sup>	13	14377,9
4 <sup>η</sup>	4	7373,51
5 <sup>η</sup>	1	4779,01
<b>Σύνολο</b>	<b>320</b>	<b>114902</b>
Συχνότητα	13,35	
Πυκνότητα	4,79	



**Εικόνα 85: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Λεγρενών ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 86: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Λεγρενών σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

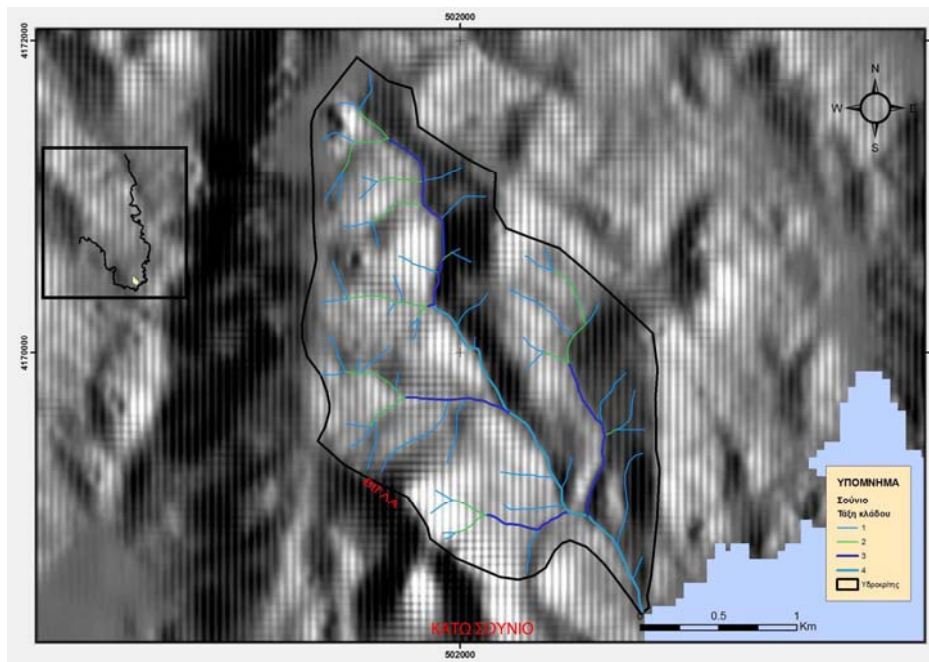
**Πίνακας 49: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,636	2,65
20-40	0,6859	2,86
40-60	1,2797	5,34
60-80	1,5952	6,66
80-100	2,2255	9,29
100-120	2,6313	10,98
120-140	3,3017	13,78
140-160	3,4215	14,28
160-180	3,3501	13,98
180-200	1,723	7,19
200-220	0,8073	3,37
220-240	0,5376	2,24
240-260	0,4724	1,97
260-280	0,4376	1,83
280-300	0,3969	1,66
300-320	0,323	1,35
320-340	0,1224	0,51
340-360	0,0194	0,08

**4.2.15 Υδρολογική λεκάνη Σουνίου**

Η υδρολογική λεκάνη Σουνίου έχει συνολικό εμβαδό 4.940.063 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 9.959 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το λόφο Μεγάλα Πεύκα, δυτικά από το Άνω Σούνιο και το λόφο Βίγλα, ανατολικά από την περιοχή Γελαδόστανη και νότια εκβάλλει στην περιοχή Αγίων Αναργύρων Λαυρίου. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 244,82 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 125,07 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.



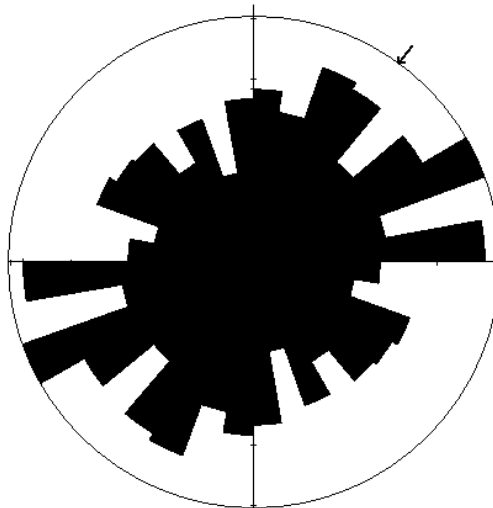


**Εικόνα 87: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Σουνίου και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

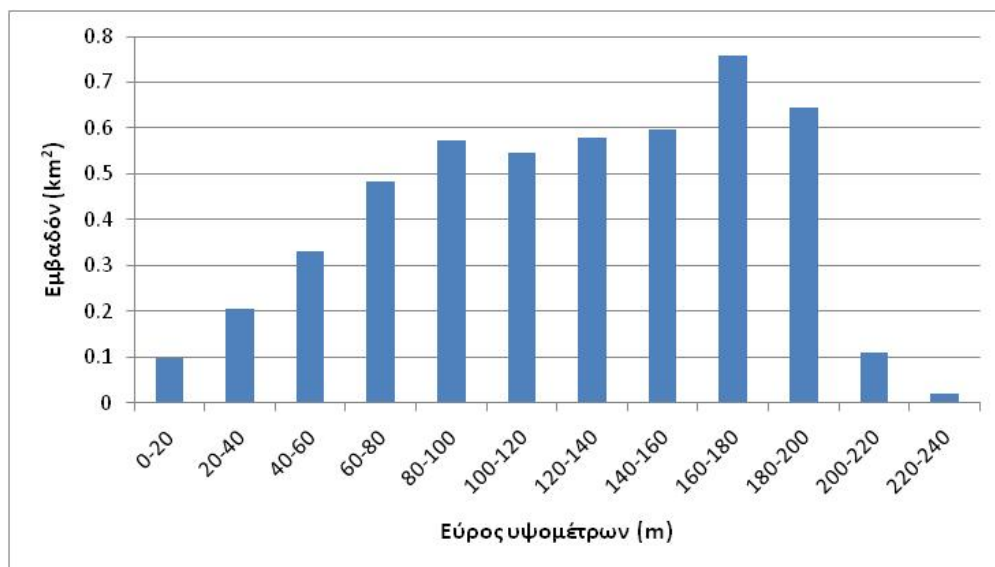
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά και καταλήγει στο μικρό όρμο των Αγίων Αναργύρων. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει συμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΒΒΔ- ΝΝΑ.

**Πίνακας 50: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Σουνίου.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	52	11590,78
2 <sup>η</sup>	14	4312,93
3 <sup>η</sup>	4	3614,59
4 <sup>η</sup>	1	2511,97
Σύνολο	71	22030,27
Συχνότητα	14,37	
Πυκνότητα	4,46	



**Εικόνα 88: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Σουνίου ανά 10 μοίρες.**



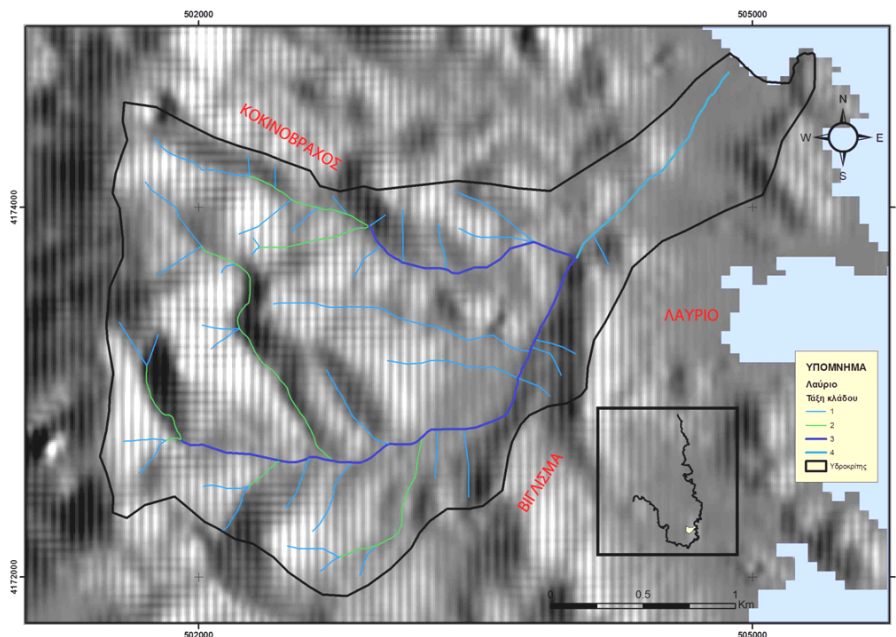
**Εικόνα 89: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Σουνίου σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

**Πίνακας 51: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,0967	1,96
20-40	0,204	4,13
40-60	0,3294	6,67
60-80	0,4846	9,81
80-100	0,5738	11,62
100-120	0,5465	11,06
120-140	0,58	11,74
140-160	0,5972	12,09
160-180	0,7567	15,32
180-200	0,6434	13,02
200-220	0,109	2,21
220-240	0,0187	0,38

**4.2.16 Υδρολογική λεκάνη Λαυρίου**

Η υδρολογική λεκάνη Λαυρίου έχει συνολικό εμβαδό 5.749.345 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 12.273 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τον οικισμό του Άνω Θορικού, δυτικά από το λόφο Έλαφο, ανατολικά εκβάλλει στον όρμο του Λαυρίου και νότια από την Αγία Τριάδα. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 212,92 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 87,19 μέτρα. Ουσιαστικά πρόκειται για τη λεκάνη που αναπτύσσεται το κύριο μέρος της πόλης του Λαυρίου. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

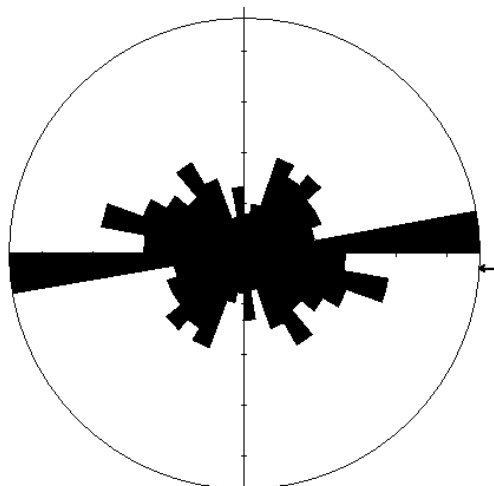


**Εικόνα 90: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Λαυρίου και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

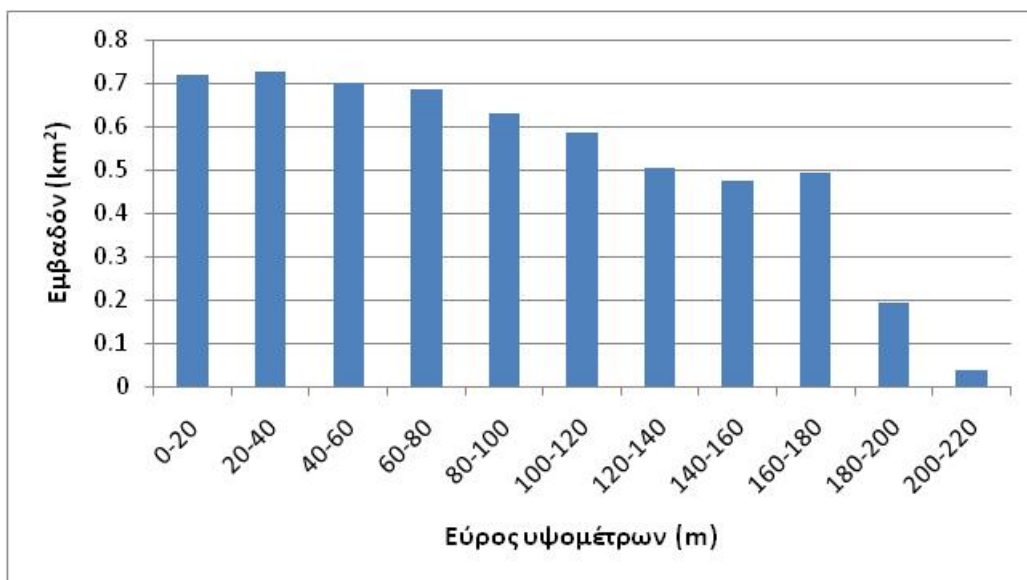
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά - νοτιοδυτικά προς τα ανατολικά - βορειοανατολικά και καταλήγει στο όρμο Θορικού. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει μέτρια ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΝΔ- ΒΑ.

**Πίνακας 52: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Λαυρίου.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	39	11728,27
2 <sup>η</sup>	7	4509,39
3 <sup>η</sup>	2	4105,75
4 <sup>η</sup>	1	1312,74
<b>Σύνολο</b>	<b>49</b>	<b>21656,15</b>
Συχνότητα	0,85	
Πυκνότητα	0,38	



**Εικόνα 91:** Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Λαυρίου ανά 10 μοίρες.



**Εικόνα 92:** Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Λαυρίου σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.

**Πίνακας 53:** Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.

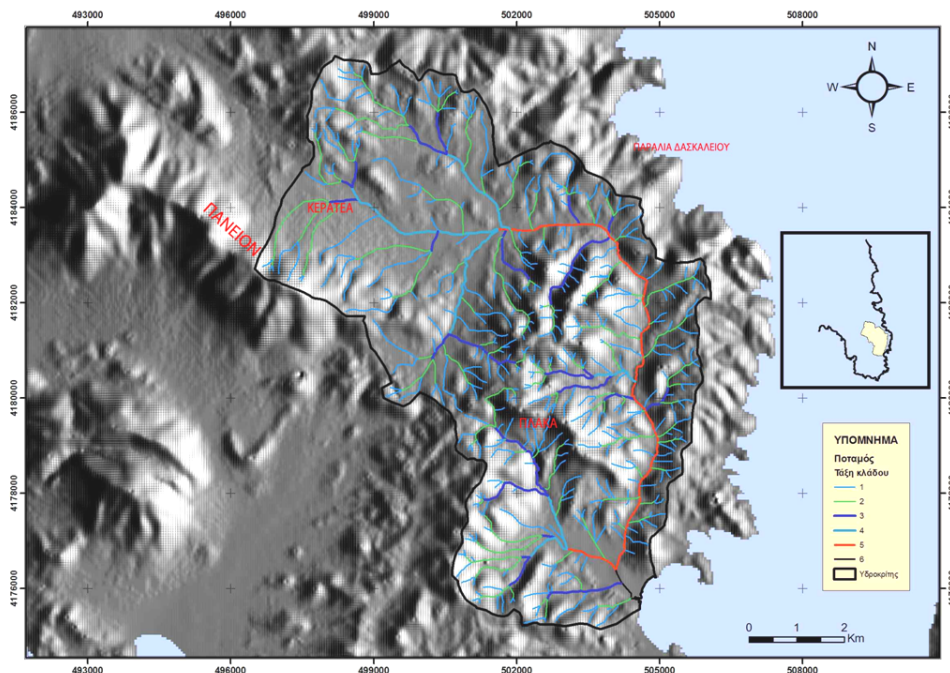
Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0.7189	12.50
20-40	0.7251	12.61

40-60	0.6996	12.17
60-80	0.687	11.95
80-100	0.6283	10.93
100-120	0.5853	10.18
120-140	0.5039	8.77
140-160	0.4745	8.25
160-180	0.4942	8.60
180-200	0.1947	3.39
200-220	0.0375	0.65

#### 4.2.17 Υδρολογική λεκάνη Ποταμού

Η υδρολογική λεκάνη Ποταμού έχει συνολικό εμβαδό 64.217.955 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 40.431 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το όρος Μερέντα, δυτικά από το Πάνειο, ανατολικά εκβάλλει στον όρμο Θορικού και νότια από τον οικισμό του Αγίου Κωνσταντίνου. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 633,53 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 160,44 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

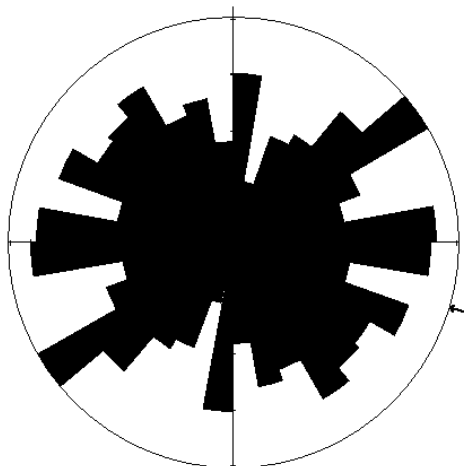
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά και βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά και νότια καταλήγοντας στον όρμο Θορικού. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 6<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΝΑ- ΒΔ. Ο κυριότερος κλάδος 5<sup>ης</sup> τάξης αποστραγγίζει το ανατολικό τμήμα της λεκάνης και η διεύθυνση του αρχικά είναι Α - Δ ενώ στη συνέχεια γίνεται Β -Ν.



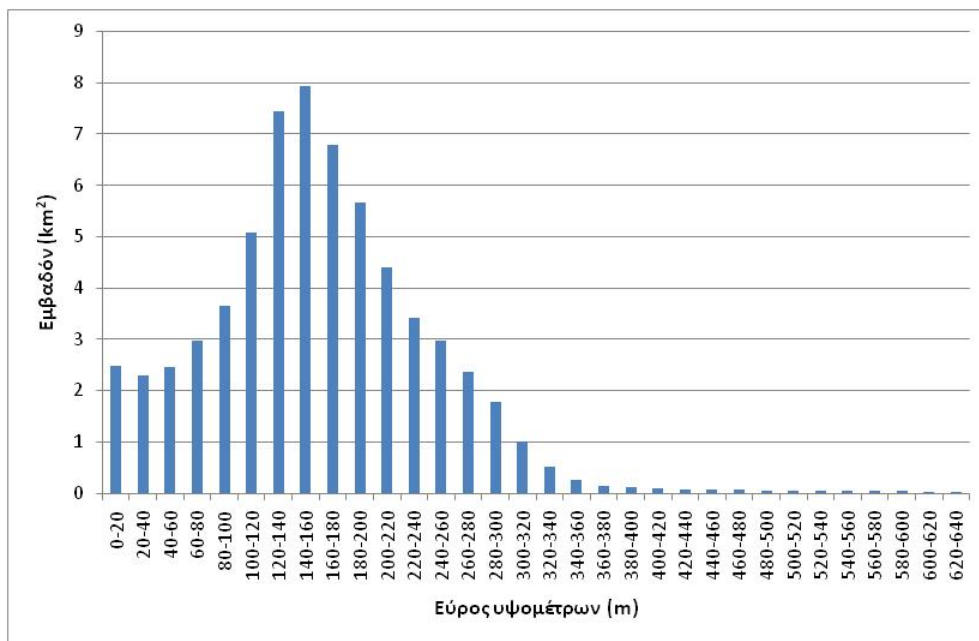
**Εικόνα 93:** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Ποταμού και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.

**Πίνακας 54:** Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Ποταμού.

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	384	132475,2
2 <sup>η</sup>	89	63546,2
3 <sup>η</sup>	22	21686,38
4 <sup>η</sup>	6	11823,73
5 <sup>η</sup>	2	11698,29
6 <sup>η</sup>	1	784,92
<b>Σύνολο</b>	<b>504</b>	<b>242014,7</b>
Συχνότητα	7,85	
Πυκνότητα	3,77	



**Εικόνα 94: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Ποταμού ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 95: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Ποταμού σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**



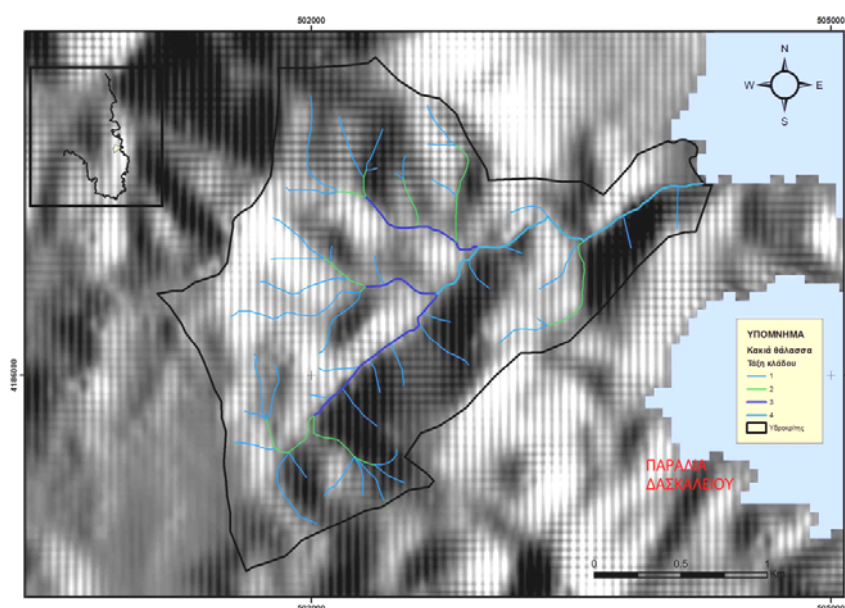
**Πίνακας 55: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	2,4822	3,85754
20-40	2,2965	3,568948
40-60	2,4563	3,81729
60-80	2,9675	4,611736
80-100	3,6635	5,693377
100-120	5,0761	7,888672
120-140	7,437	11,5577
140-160	7,9395	12,33863
160-180	6,7839	10,54273
180-200	5,6686	8,809465
200-220	4,4033	6,843086
220-240	3,4112	5,301282
240-260	2,9763	4,625412
260-280	2,3722	3,686592
280-300	1,7853	2,774501
300-320	1,002	1,557189
320-340	0,5095	0,791804
340-360	0,2549	0,396135
360-380	0,141	0,219125
380-400	0,108	0,167841
400-420	0,0892	0,138624
420-440	0,0757	0,117644
440-460	0,07	0,108786
460-480	0,0597	0,092779
480-500	0,0509	0,079103
500-520	0,0486	0,075528
520-540	0,0446	0,069312
540-560	0,0421	0,065427

560-580	0,0461	0,071643
580-600	0,0471	0,073197
600-620	0,028	0,043514
620-640	0,0099	0,015385

#### 4.2.18 Υδρολογική λεκάνη Κακιά Θάλασσα

Η υδρολογική λεκάνη Κακιάς Θάλασσας έχει συνολικό εμβαδό 4.519.560 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 10.621 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το Μαυροβούνι, δυτικά από την περιοχή Αυλίδα, ανατολικά εκβάλλει στον όρμο της Κακιάς Θάλασσας και νότια από το λόφο Λαχώρι. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 358,13 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 137,88 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.



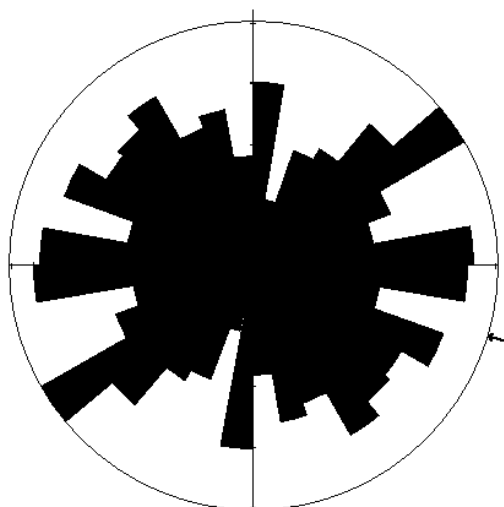
**Εικόνα 96: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Κακιάς Θάλασσας και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά προς τα βορειοανατολικά, καταλήγοντας στο όρμο Κακιάς Θάλασσας. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο

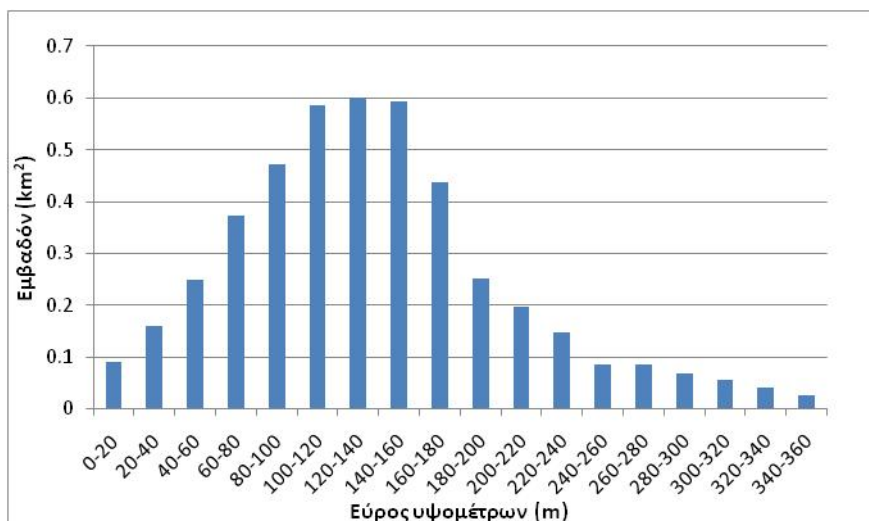
παρουσιάζει μέτρια ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΝΔ- ΒΑ.

**Πίνακας 56: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Κακιάς Θάλασσας.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	43	11789.59
2 <sup>η</sup>	9	3261.07
3 <sup>η</sup>	3	2261.68
4 <sup>η</sup>	1	1906.47
<b>Σύνολο</b>	<b>56</b>	<b>19218.81</b>
Συχνότητα	12,39	
Πυκνότητα	4,25	



**Εικόνα 97: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Κακιάς Θάλασσας ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 98: Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Κακιά Θάλασσα σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.**

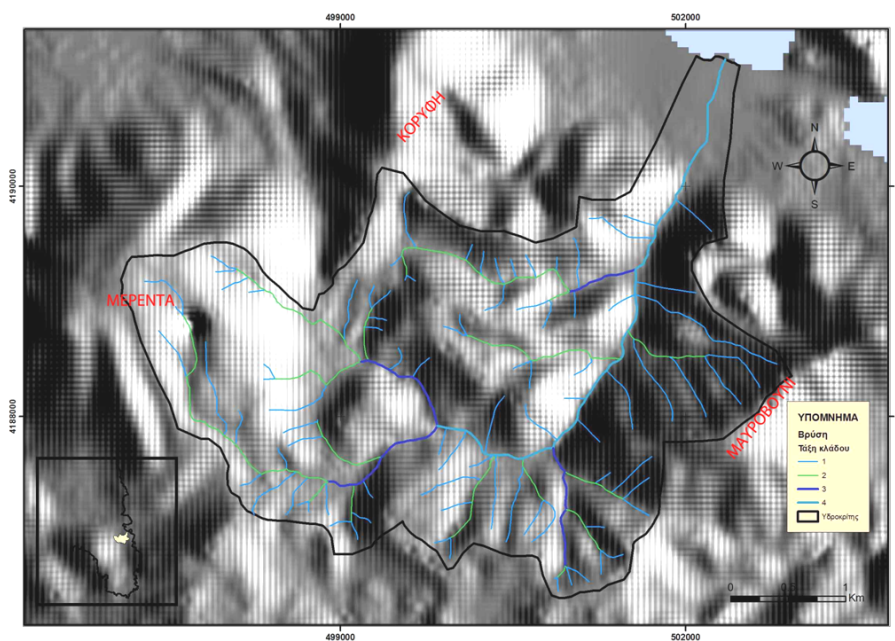
**Πίνακας 57: Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.**

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,0905	2,00
20-40	0,1604	3,55
40-60	0,2491	5,51
60-80	0,3733	8,26
80-100	0,4732	10,47
100-120	0,5867	12,98
120-140	0,6011	13,30
140-160	0,5925	13,11
160-180	0,4366	9,66
180-200	0,2512	5,56
200-220	0,1958	4,33
220-240	0,1473	3,26
240-260	0,0866	1,92
260-280	0,0844	1,87
280-300	0,068	1,50
300-320	0,0565	1,25

320-340	0,0407	0,90
340-360	0,0267	0,59

#### 4.2.19 Υδρολογική λεκάνη Βρύση

Η υδρολογική λεκάνη Βρύση έχει συνολικό εμβαδό 13.619.260 τετραγωνικά μέτρα και συνολική περίμετρο 20.445 μέτρα. Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από τον όρμο του Πόρτο Ράφτη όπου και εκβάλλει, δυτικά από το όρος Μερέντα, ανατολικά από το Μαυροβούνι και νότια από το λόφο Καπρότοπο. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 584,87 μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 210,16 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

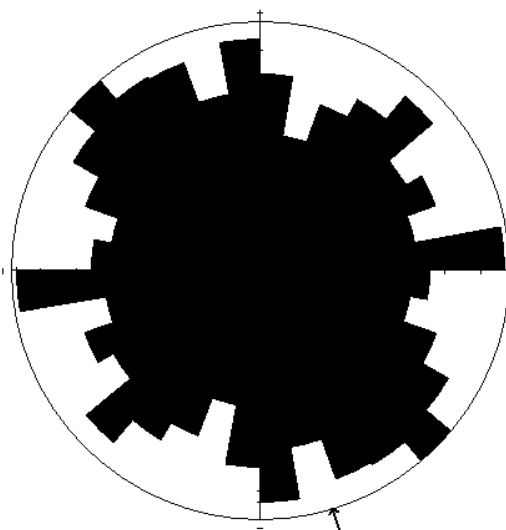


**Εικόνα 99: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης ρέματος Βρύσης και ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.**

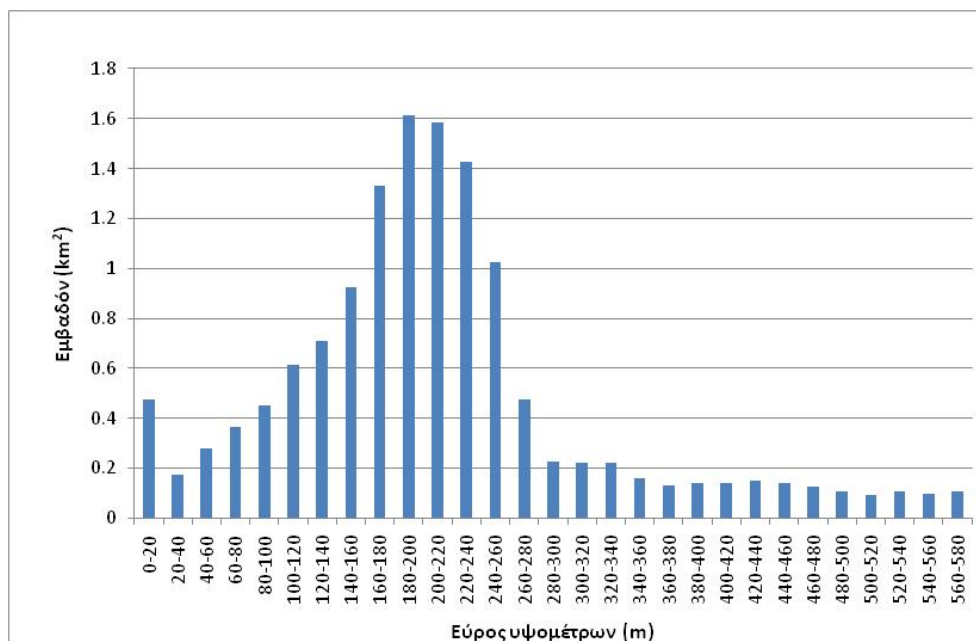
Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά καταλήγοντας στον όρμο του Πόρτο Ράφτη. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο έως υψηλό μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει χαμηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, με γενική διεύθυνση ΝΝΔ- ΒΒΑ.

**Πίνακας 58: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler για την υδρολογική λεκάνη Βρύσης.**

Τάξη	Πλήθος (N)	Μήκος (m)
1 <sup>η</sup>	90	28520,12
2 <sup>η</sup>	16	13304,13
3 <sup>η</sup>	4	3856,58
4 <sup>η</sup>	1	5019,4
<b>Σύνολο</b>	<b>111</b>	<b>50700,23</b>
Συχνότητα	8,15	
Πυκνότητα	3,72	



**Εικόνα 100: Ροδοδιάγραμμα κλάδων ρέματος Βρύσης ανά 10 μοίρες.**



**Εικόνα 101:** Ραβδόγραμμα κατανομής του εμβαδού της λεκάνης Βρύση σε υψομετρικές ζώνες των 20 μέτρων.

**Πίνακας 59:** Αντιστοίχιση εμβαδού επιφάνειας στις υψομετρικές ζώνες ανά 20 μέτρα.

Υψομετρική ζώνη (m)	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό επί του εμβαδού (%)
0-20	0,475	3,61
20-40	0,1728	1,31
40-60	0,2813	2,14
60-80	0,3638	2,77
80-100	0,4534	3,45
100-120	0,6137	4,67
120-140	0,7097	5,40
140-160	0,9228	7,02
160-180	1,3307	10,12
180-200	1,6155	12,29
200-220	1,5835	12,05
220-240	1,4249	10,84
240-260	1,0264	7,81
260-280	0,4776	3,63

280-300	0,2289	1,74
300-320	0,2213	1,68
320-340	0,2203	1,68
340-360	0,162	1,23
360-380	0,1292	0,98
380-400	0,1396	1,06
400-420	0,1389	1,06
420-440	0,1517	1,15
440-460	0,1403	1,07
460-480	0,1243	0,95
480-500	0,1048	0,80
500-520	0,0936	0,71
520-540	0,1072	0,82
540-560	0,0985	0,75
560-580	0,1078	0,82

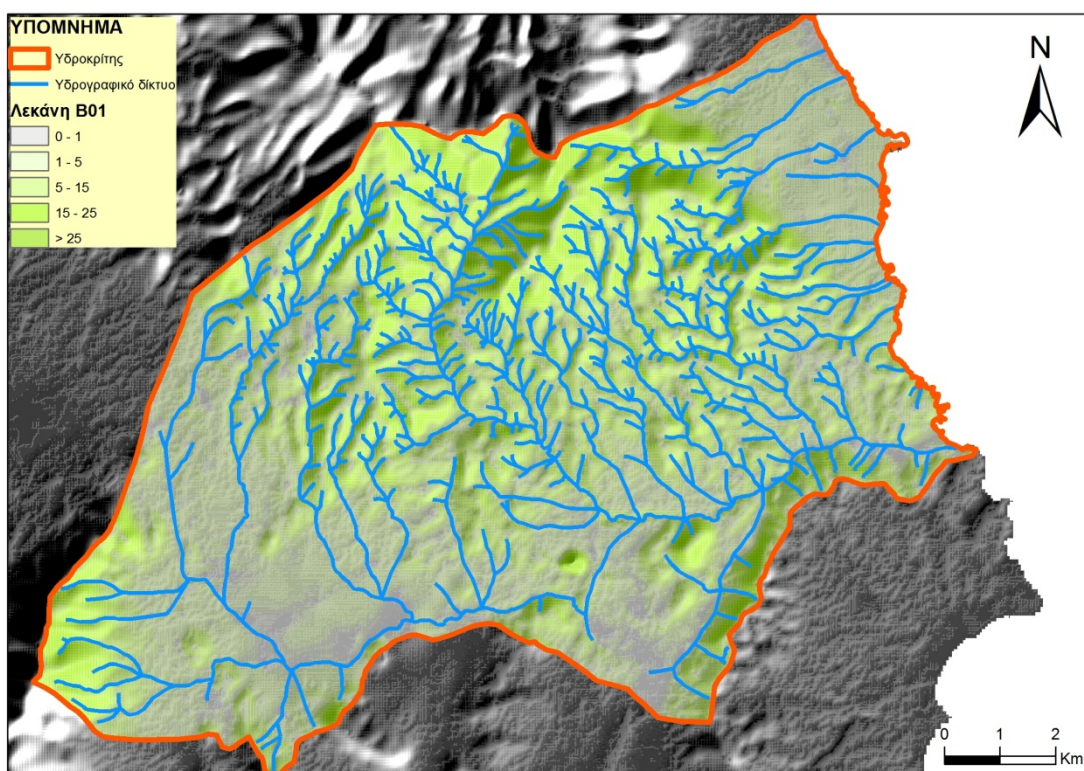


#### 4.3 ΧΑΡΤΕΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ – ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΠΡΑΝΩΝ

Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δημιουργήθηκε για κάθε υδρολογική λεκάνη ένας χάρτης μορφολογικών κλίσεων σε μίρες και ο χάρτης προσανατολισμού πρανών. Επίσης έγινε η στατιστική ανάλυση όλων των μη επίπεδων περιοχών με κλίση μεγαλύτερη της 1°, όπως και ο προσδιορισμός και ανάλυση των κεκλιμένων επιφανειών επιπέδωσης.

##### 4.3.1 Υδρολογική λεκάνη Β01

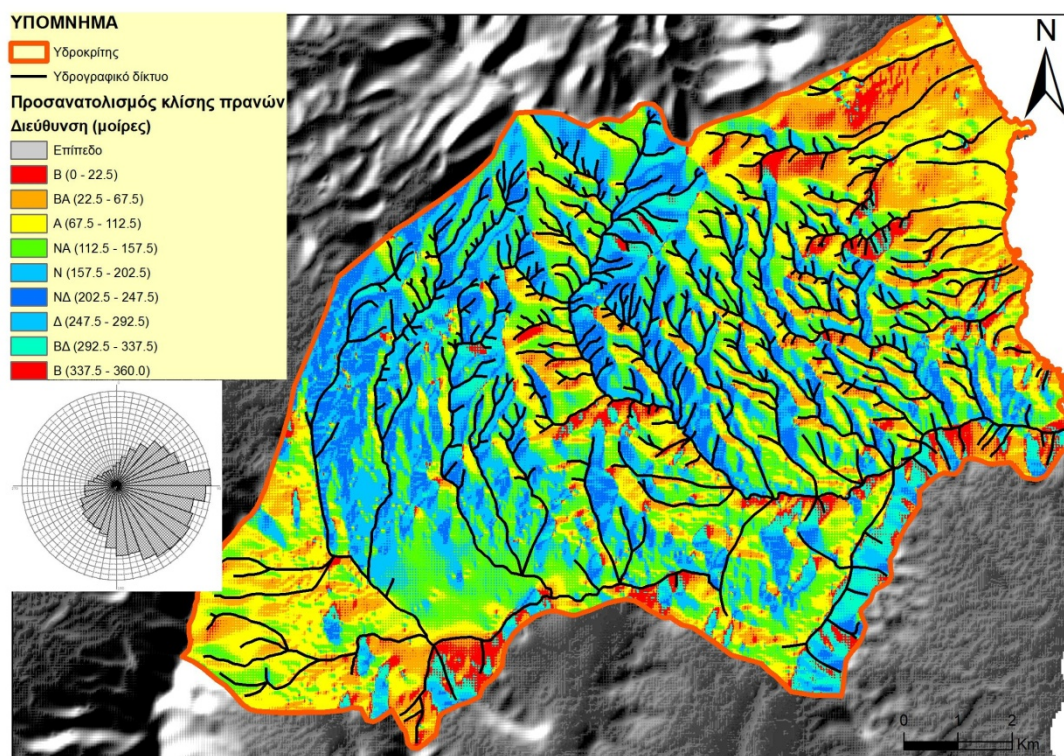
Η λεκάνη αποστραγγίζει τα νότια και νοτιοανατολικά πρανή της Πεντέλης, το «διάσελο» Υμηττού – Πεντέλης και το βόρειο τμήμα της λεκάνης των Σπάτων. Η λεκάνη αποστραγγίζεται σχεδόν στο σύνολο της από το Μεγάλο Ρέμα που τη διασχίζει στο νότιο τμήμα της, ενώ μικρά ρέματα εκβάλλουν από το ανατολικό τμήμα της Πεντέλης προς τη θάλασσα.



Εικόνα 102: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β01

Οι μορφολογικές κλίσεις που παρατηρούνται παρουσιάζουν τα μέγιστα στο βόρειο τμήμα (Πεντέλη) και λιγότερο δυτικά και νοτιοανατολικά. Το ανάγλυφο στο υπόλοιπο τμήμα είναι ήπιο, χωρίς ιδιαίτερες τοπογραφικές εξάρσεις πλην λίγων μικρών λόφων που βρίσκονται νότια και κεντρικά της λεκάνης. Στη λεκάνη δεν παρατηρούνται σημαντικές μορφολογικές ασυνέχειες.

Στο τμήμα της Πεντέλης οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις αναπτύσσονται σε ένα άξονα με γενική διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ η οποία στο ανατολικό τμήμα της γίνεται Α - Δ. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης εμφανίζεται μία γραμμικότητα αρκετά αυστηρή με διεύθυνση ΒΒΑ - ΝΝΔ. Το τμήμα αυτό αποστραγγίζεται από ρέματα πρώτης τάξης, ευθύγραμμα και παράλληλα μεταξύ τους.



**Εικόνα 103:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης Β01 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

Ένα σημείο που επίσης δημιουργεί εντύπωση είναι το κεντρικό τμήμα του Μεγάλου Ρέματος όπου φαίνεται ότι αρχικά υπήρχαν δύο ρέματα: ένα πρώτο που αρχίζει από τις βορειοανατολικές παρυφές του Υμηττού και από ένα τμήμα της Πεντέλης και ένα δεύτερο που αποστραγγίζει το νότιο τμήμα της Πεντέλης. Το

πρώτο μάλιστα φαίνεται ότι ενώ έχει μια διεύθυνση Α – Δ, να στρέφεται προς νότο. Τα δύο αυτά ρέματα σήμερα, συνδέονται με ένα τμήμα διεύθυνσης ΝΔ – ΒΑ στο νότιο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

Από την κατασκευή του χάρτη προσανατολισμού πρηνών σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναφέραμε και ύστερα από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν για τη διεύθυνση των πρηνών της λεκάνης, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών έχουν διεύθυνση μεταξύ 70° και 190°, χωρίς να παρουσιάζεται κάποια σημαντική διεύθυνση προσανατολισμού, με ένα μέγιστο προς ανατολή (80 – 100°). Το ελάχιστο παρατηρείται στο τμήμα 270 – 360°.

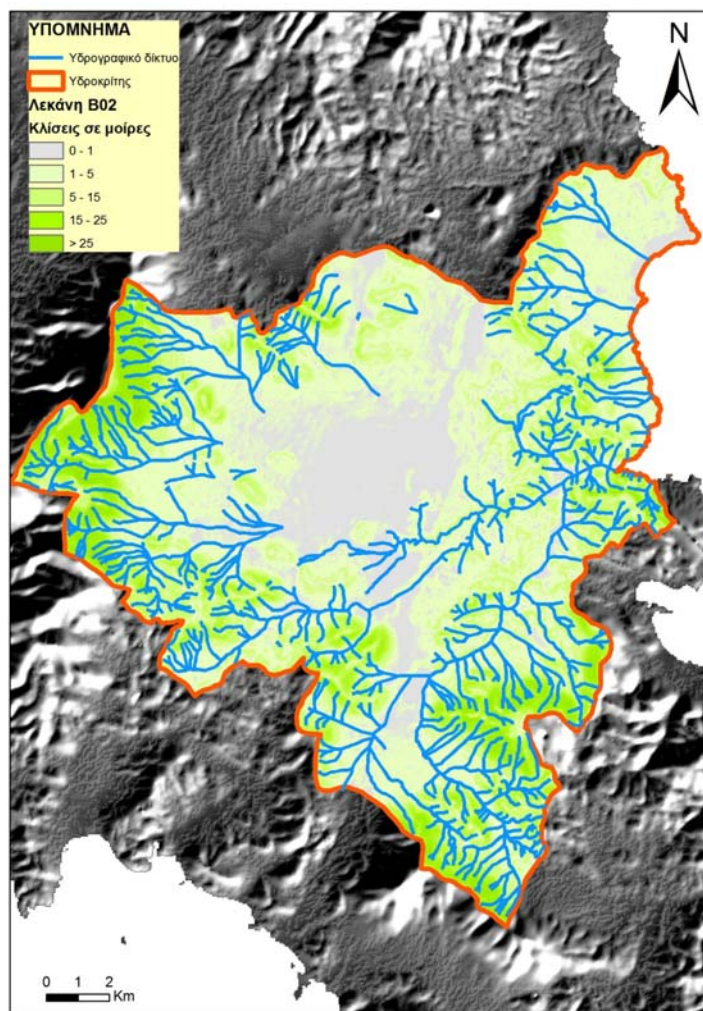
Στο κεντρικό τμήμα υπάρχει μια προτίμηση προσανατολισμού Δ και ΝΔ και των αντίθετων πρηνών τους Α και ΒΑ. Στο δυτικό τμήμα έχουμε κυρίως ανατολικό προσανατολισμό και στο ανατολικό τμήμα, βορειοανατολικό έως ανατολικό. Το ΝΔ τμήμα παρουσιάζει και στον προσανατολισμό την αίσθηση της γραμμικότητας με πρηνή που κλίνουν δυτικά και βορειοδυτικά.

#### 4.3.2 Υδρολογική λεκάνη Β02

Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης των Σπάτων. Αποστραγγίζει από τα δυτικά το ανατολικό τμήμα του Υμηττού, νότια εκτείνεται μέχρι το Πάνειο Όρος και τους γύρω μικρούς ορεινούς όγκους και ανατολικά οριοθετείται από τη Μερέντα. Όλα τα ρέματα εκβάλλουν στο μέτωπο Λούτσας – Πόρτο Ράφτη, με σημαντικότερο αυτών τον Ερασίνο ποταμό.

Σημαντικό για τη λεκάνη είναι η ύπαρξη πολλών ρεμάτων που φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί κανονικά στα δυτικά και βόρεια τμήματά της, αλλά διακόπτονται περίπου στο τμήμα της λεκάνης όπου είναι επίπεδο. Το γεγονός αυτό, δεν οφείλεται απαραίτητα σε γεωλογικά αίτια, μίας και η περιοχή των Σπάτων καλλιεργείται συστηματικά εδώ και χιλιάδες χρόνια. Πάντως πολλές περιοχές της λεκάνης έχουν ως τοπωνύμια τη λέξη «Νεροκράτημα», κάτι που δείχνει ότι ίσως το ανάγλυφο δεν έχει επηρεαστεί σε τόσο μεγάλο βαθμό από τον άνθρωπο. Άλλωστε οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ιδιαίτερες γνώσεις υδραυλικής και κατασκεύαζαν εξαιρετικά αρδευτικά έργα. Πάντως, το γεγονός ότι σε μία τέτοια λεκάνη όπως αυτή των Σπάτων, δεν

αναπτύσσεται ένα εκτεταμένο υδρογραφικό δίκτυο που να διασχίζει λίγο έως πολύ το μέσο της αλλά εμφανίζει την κύρια επιφανειακή υδροφορία περιμετρικά, όπως και η ύπαρξη πολλών διακοπτόμενων τμημάτων με ιζήματα που δηλώνουν παλαιοκοίτες, αποτελεί ένα ερώτημα.



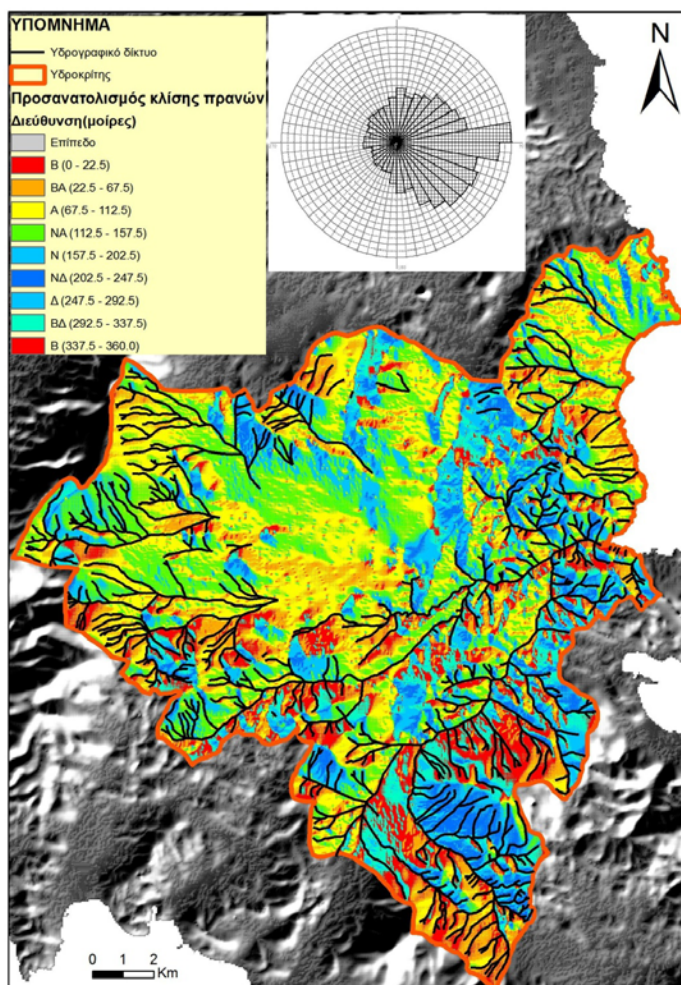
**Εικόνα 104: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β02**

Οι μορφολογικές κλίσεις που παρουσιάζει η λεκάνη είναι γενικά ομαλές, ιδιαίτερα στο κέντρο της εμφανίζει ένα αρκετά επίπεδο τμήμα. Οι κλίσεις, αναμενόμενο, αυξάνονται περιμετρικά της λεκάνης, με την αύξηση του υψομέτρου.

Οι μορφολογικές κλίσεις που παρατηρούνται παρουσιάζουν τα μέγιστα στο δυτικό τμήμα (Υμηττός) και νότια, νοτιοανατολικά. Το ανάγλυφο στο υπόλοιπο τμήμα είναι ήπιο, χωρίς ιδιαίτερες τοπογραφικές εξάρσεις πλην λίγων μικρών λόφων που βρίσκονται νότια και κεντρικά της λεκάνης. Στη λεκάνη δεν παρατηρούνται

σημαντικές μορφολογικές ασυνέχειες. Επίσης δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διεύθυνση που διατάσσονται οι μεγάλες κλίσεις.

Από την κατασκευή του χάρτη προσανατολισμού πρανών σύμφωνα με την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν για τη διεύθυνση των πρανών της λεκάνης, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών έχουν διεύθυνση μεταξύ 80° και 150°, με μέγιστο προς ανατολή (80 – 100°). Το ελάχιστο παρατηρείται στο τμήμα 170 – 40°. Στο κεντρικό τμήμα υπάρχει μια προτίμηση προσανατολισμού Δ και ΝΔ. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης γενικά εμφανίζει μία προτίμηση προσανατολισμού προς Ν έως Δ, ενώ το δυτικό τμήμα παρουσιάζει μικτή εικόνα, χωρίς σαφή προτίμηση προσανατολισμού.



**Εικόνα 105:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B02 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

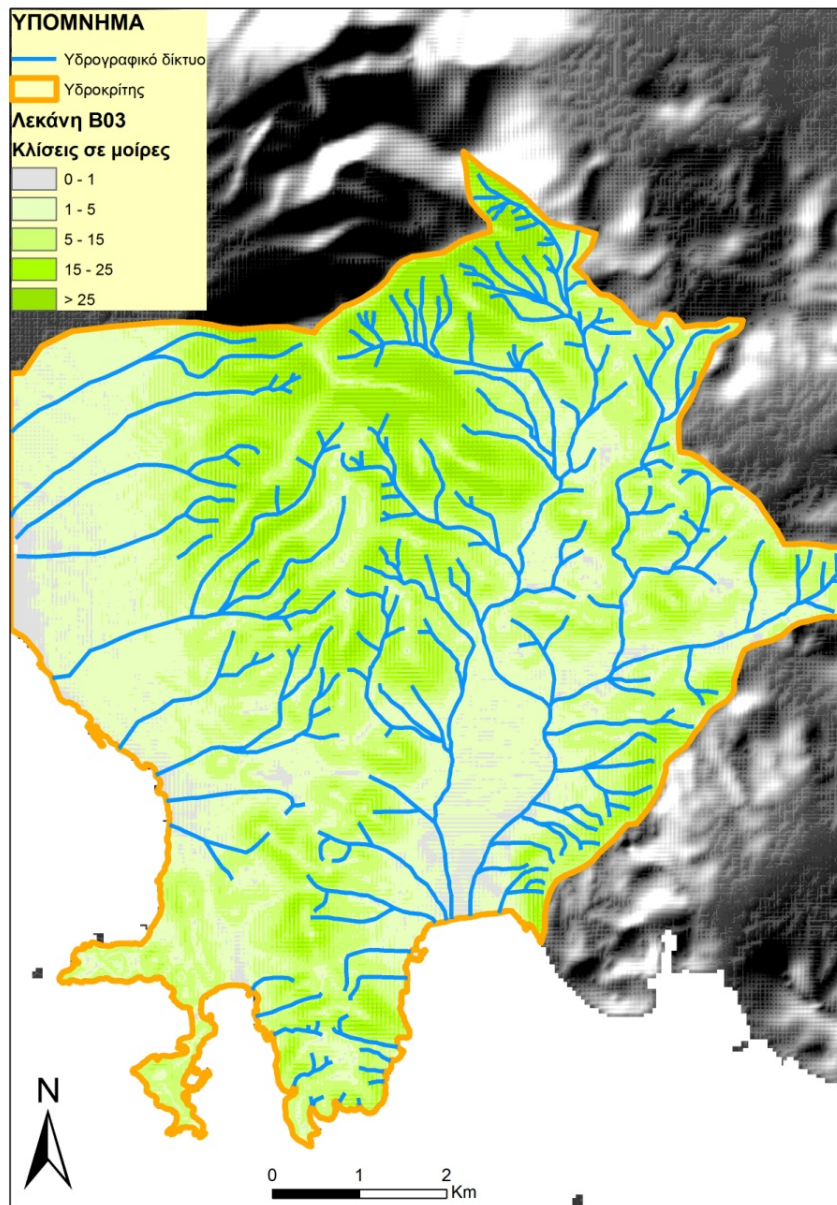
### 4.3.3 Υδρολογική λεκάνη Β03

Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης των Σπάτων. Αποστραγγίζει το νότιο τμήμα του Υμηττού και μικρούς ορεινούς όγκους που αναπτύσσονται στα ανατολικά της λεκάνης. Το μεγαλύτερο τμήμα του νερού καταλήγει στον όρμο της Βάρης, ενώ μικρά ρέματα 2<sup>ης</sup> τάξης, ρέουν από τον Υμηττό δυτικά προς Βούλα και Βουλιαγμένη. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης έχει σαφώς ένα περισσότερο ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο από το δυτικό.

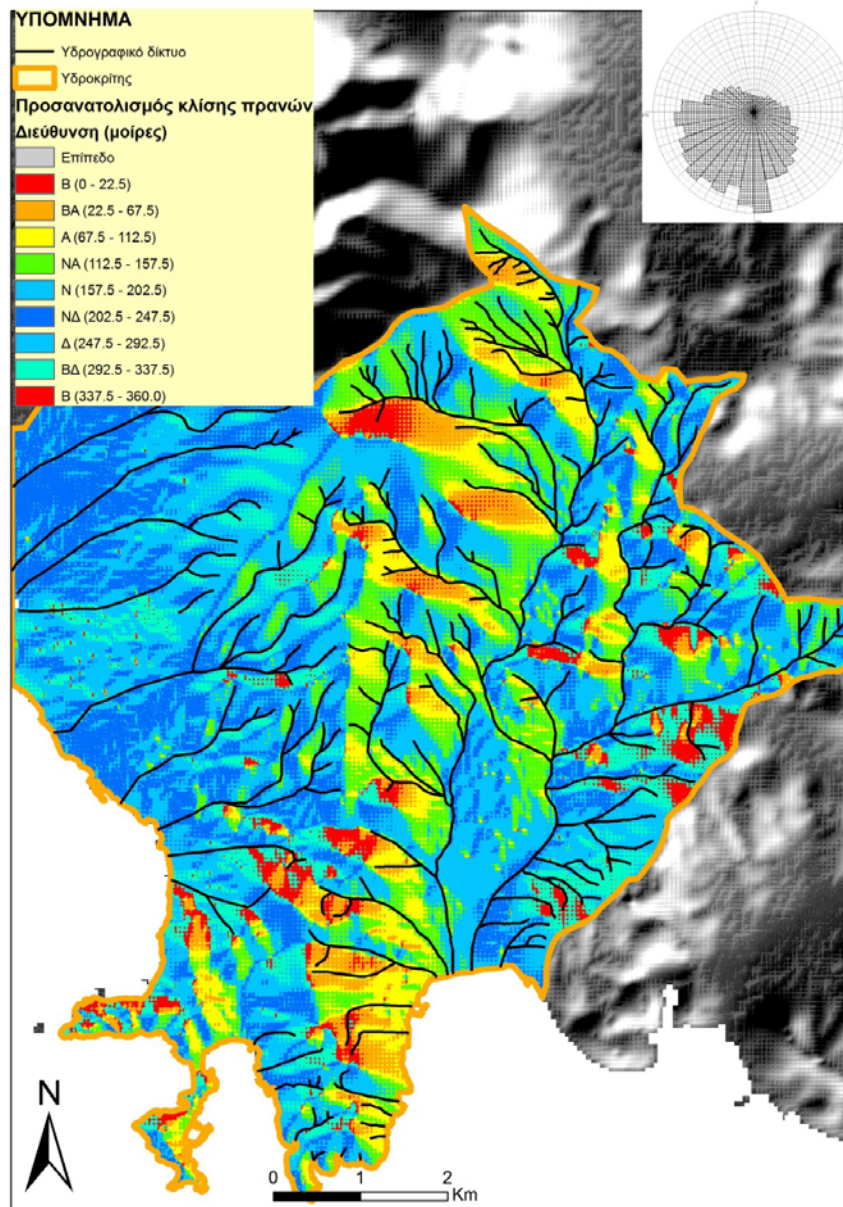
Οι μορφολογικές κλίσεις που παρουσιάζει η λεκάνη είναι γενικά ομαλές, ιδιαίτερα στο κέντρο της εμφανίζει ένα αρκετά επίπεδο τμήμα. Οι κλίσεις, αναμενόμενο, αυξάνονται περιμετρικά της λεκάνης, με την αύξηση του υψομέτρου.

Οι μορφολογικές κλίσεις που παρατηρούνται παρουσιάζουν τα μέγιστα στο ορεινό τμήμα του Υμηττού. Έτσι το κεντρικό τμήμα, παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερες κλίσεις με προσανατολισμό Β – Ν.

Από την κατασκευή του χάρτη προσανατολισμού πρηνών σύμφωνα και με την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν για τη διεύθυνση των πρηνών της λεκάνης, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών έχουν διεύθυνση μεταξύ 150° και 300°, με μέγιστο προς νότο (170 – 190°). Το ελάχιστο παρατηρείται στο τμήμα 300 – 090°. Στο κεντρικό τμήμα, όπως αναμενόταν, υπάρχει μια προτίμηση προσανατολισμού Ν έως ΝΔ και των αντίρροπων πρηνών τους. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης γενικά εμφανίζει μία προτίμηση προσανατολισμού προς νότο, ενώ το δυτικό τμήμα παρουσιάζει κυρίως νοτιοδυτικό προσανατολισμό.



Εικόνα 106: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β03

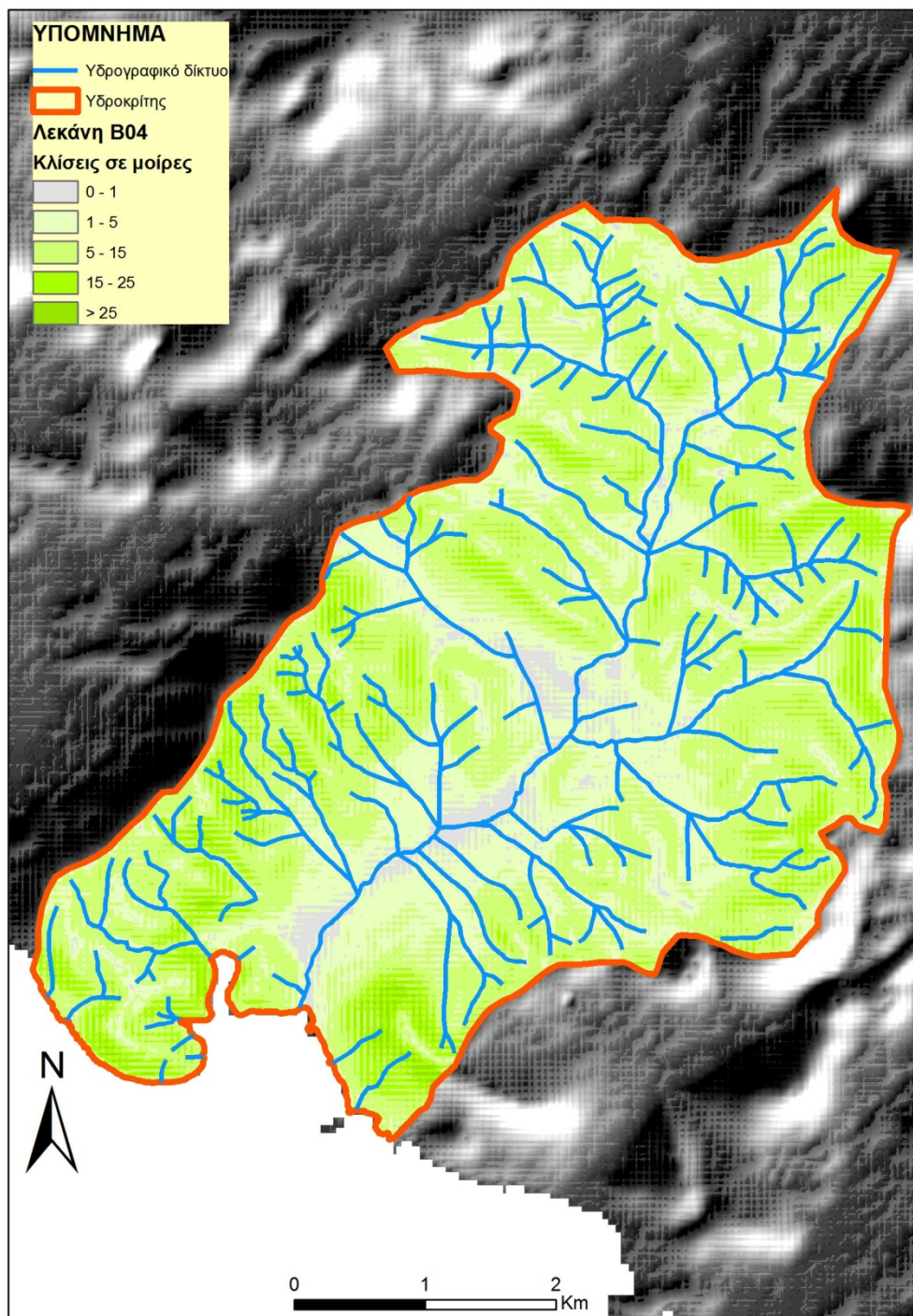


**Εικόνα 107:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B03 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

#### 4.3.4 Υδρολογική λεκάνη B04

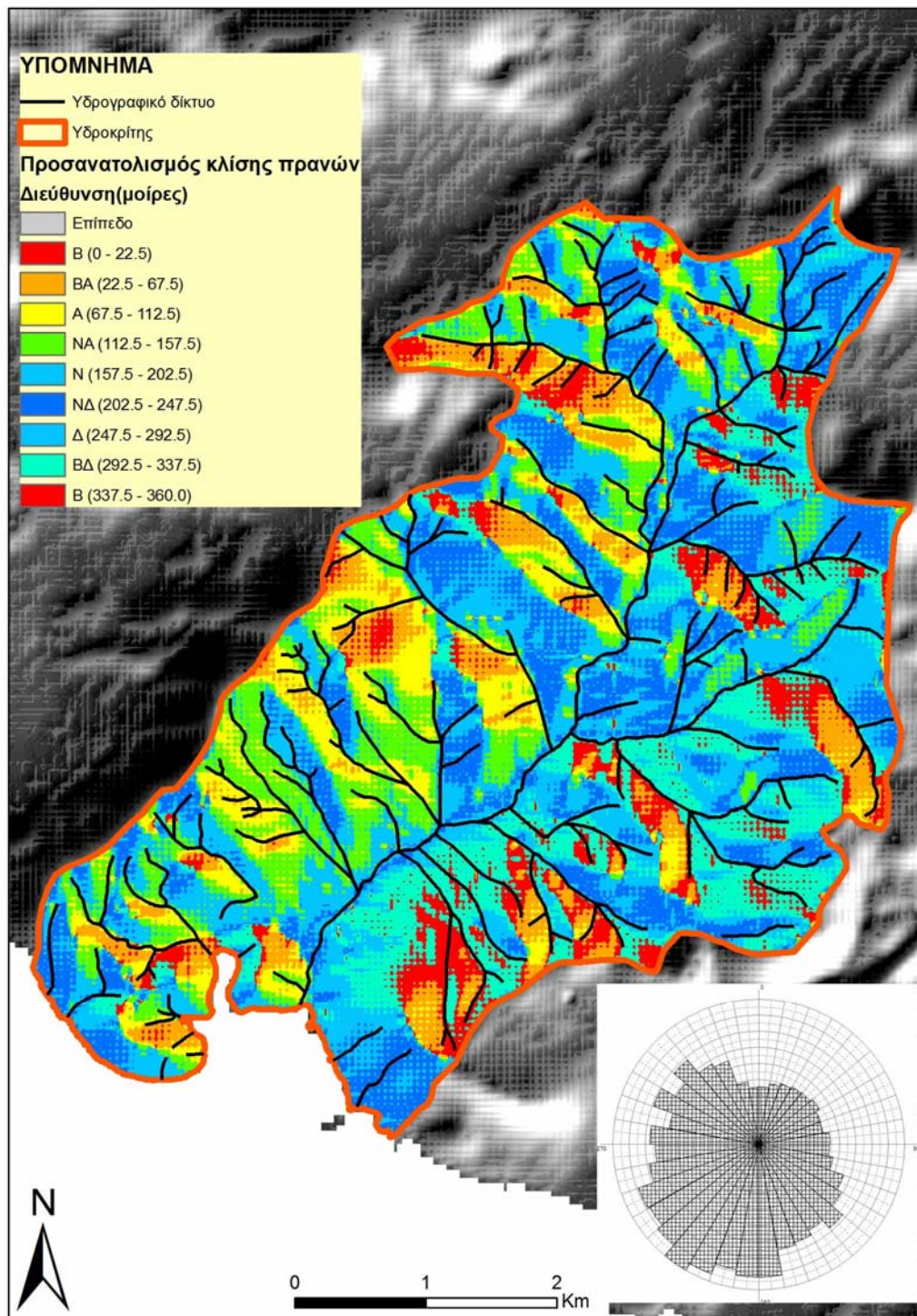
Πρόκειται στην ουσία για την υδρολογική λεκάνη της Αγίας Μαρίνας (κεφ. 4.2.8). Τα υπόλοιπα ρέματα που βρίσκονται στη λεκάνη είναι ελάχιστα, τα περισσότερα 1<sup>ης</sup> τάξης.





**Εικόνα 108: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β04**

Σύμφωνα με το χάρτη κλίσεων, η λεκάνη παρουσιάζει στο μεγαλύτερο μέρος της, μέτριες κλίσεις, εμφανίζοντας πιο απότομη μορφολογία από τις προηγούμενες. Τα επίπεδα τμήματα περιορίζονται στο τμήμα της λεκάνης που διατρέχει το κύριο ρέμα της. Οι κλίσεις δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη προτίμηση προσανατολισμού.



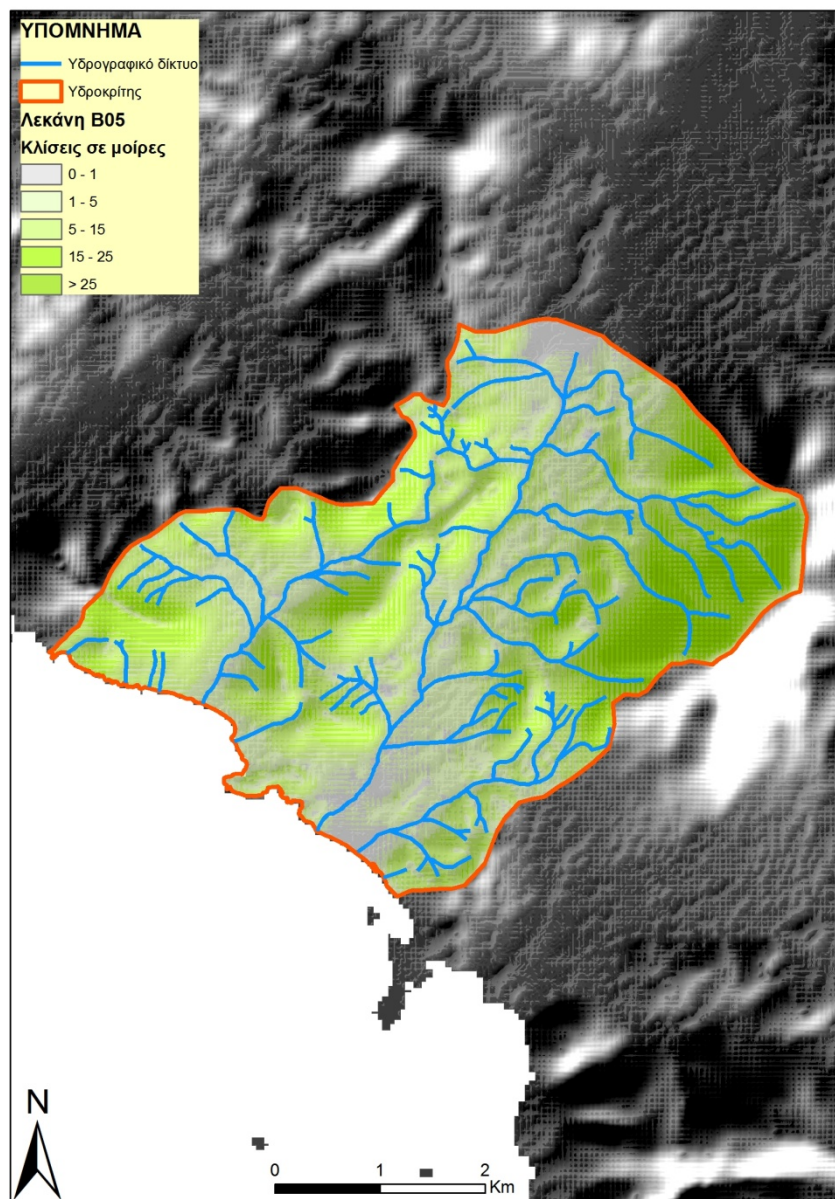
**Εικόνα 109:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B04 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

Από το χάρτη προσανατολισμού πρανών, φαίνεται ότι υπάρχει διασπορά προς όλες τις διευθύνσεις αλλά με κύρια συγκέντρωση στο τμήμα 160 – 300°. Το μέγιστο παρουσιάζεται στο εύρος 210 – 240° ενώ το ελάχιστο στο τμήμα 350 – 010°. Ο

προσανατολισμός των πρηνών παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή σε όλα τα τμήματα της λεκάνης χωρίς ιδιαιτερότητες.

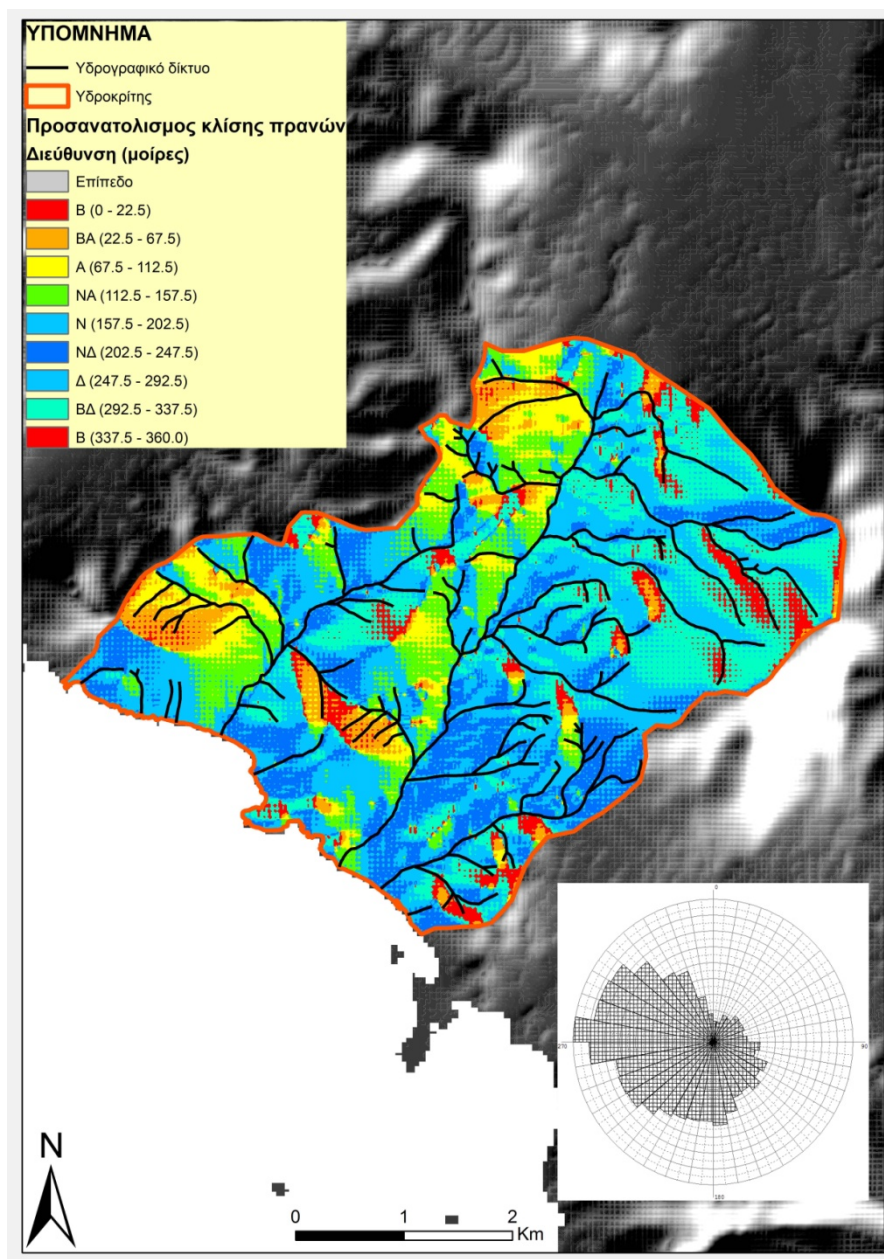
#### 4.3.5 Υδρολογική λεκάνη Β05

Η λεκάνη οριοθετείται από τη γραμμή Πάνειο – Κορυφούλες και δυτικά από τη γραμμή Κοκκινοκορυφές – Άγιος Δημήτριος. Το βόρειο τμήμα της αρχίζει νότια των Καλυβίων.



Εικόνα 110: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β05

Οι κλίσεις εμφανίζονται μικρές στο κεντρικό τμήμα που διασχίζεται από το ρέμα Παραλίας Καλυβίων σε ένα άξονα ΒΒΑ – ΝΝΔ. Μεγαλύτερες κλίσεις παρατηρούνται στο τμήμα που χωρίζει τα δύο κύρια ρέματα της λεκάνης με διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ και στον ορεινό όγκο του Πάνειου, χωρίς κάποιο ιδιαίτερο προσανατολισμό.



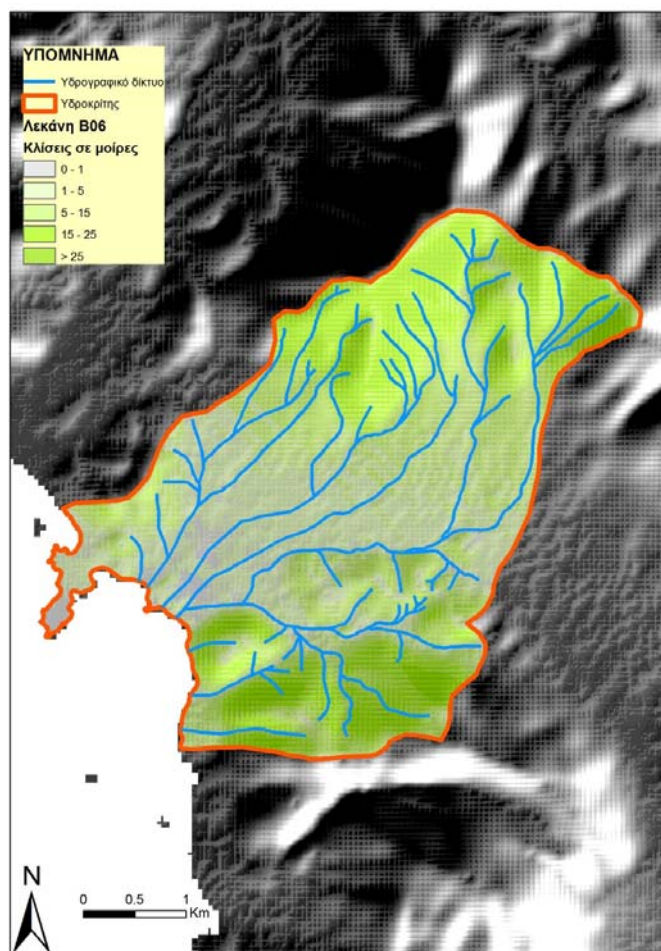
**Εικόνα 111:** Χάρτης προσανατολισμού πρυνών υδρολογικής λεκάνης Β05 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρυνών (ανά 10°).

Από το χάρτη προσανατολισμού πρηνών, προκύπτει ένα μέγιστο προς δυτικά (260 – 280°) ενώ το ελάχιστο εμφανίζεται στα πρηνή που κλείνουν προς βορά (350 – 030°). Το μεγαλύτερο τμήμα των πρηνών, κλίνει μεταξύ 200 και 300°.

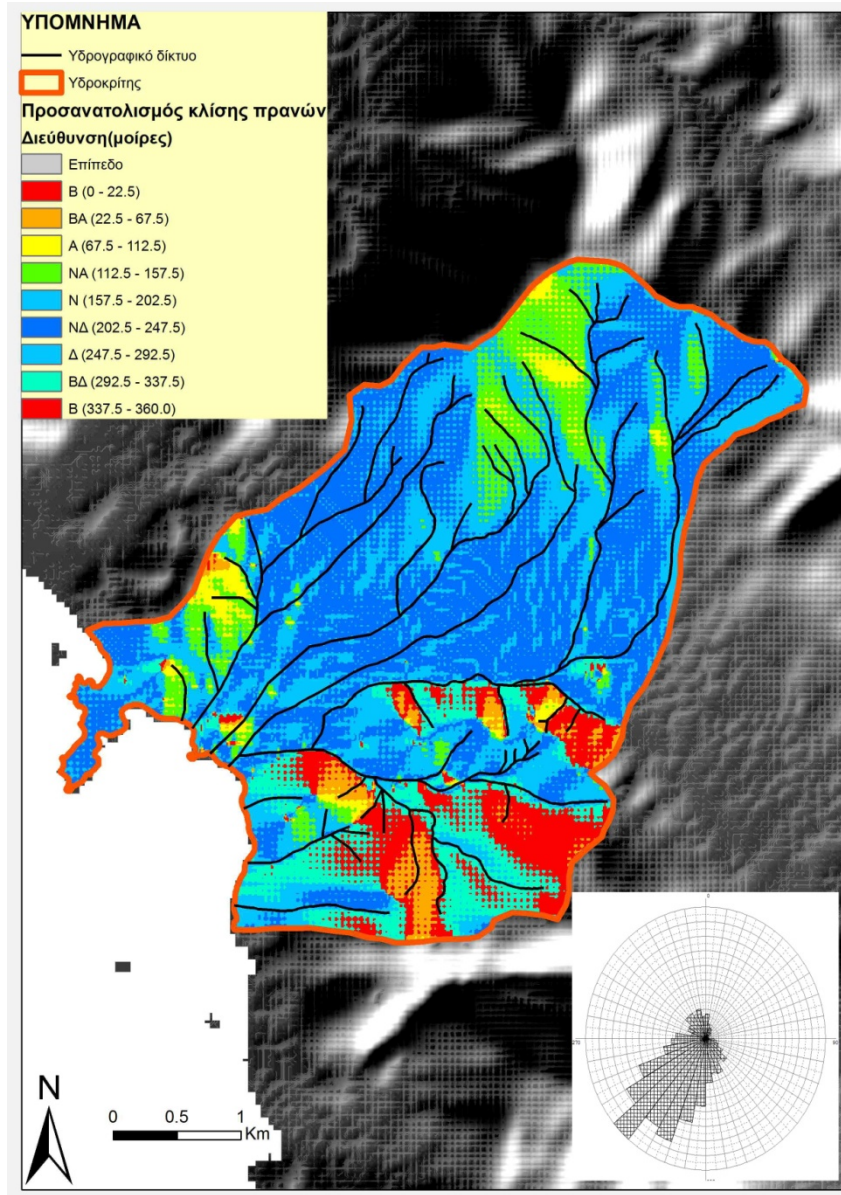
#### 4.3.6 Υδρολογική λεκάνη Β06

Η λεκάνη οριοθετείται δυτικά από τη γραμμή Πάνειο – Κορυφούλες και ανατολικά από τη γραμμή Πάνειο – Όλυμπος και φτάνει μέχρι τα Καλύβια Ολύμπου.

Οι κλίσεις που εμφανίζει η λεκάνη είναι σχετικά ομαλές στο τμήμα που τη διατρέχουν τα τρία κυριότερα ρέματα της. Αυτά εκβάλλουν όλα κοντά στην περιοχή Βίγλισμα, ακολουθώντας σχεδόν παράλληλη πορεία, ξεκινώντας με διεύθυνση Β – Ν και στρέφουν περίπου στο μέσο της λεκάνης σε ΒΑ – ΝΔ.



Εικόνα 112: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β06

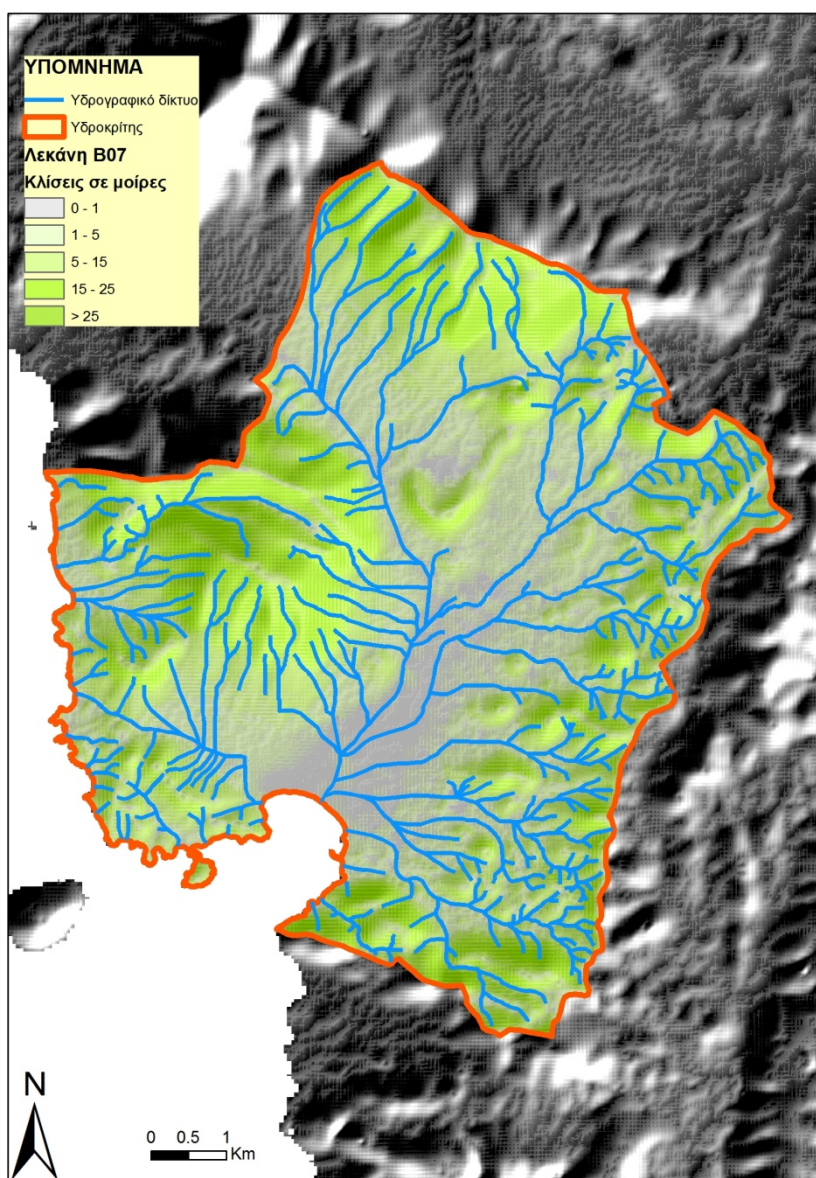


**Εικόνα 113: Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B06 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).**

Ο χάρτης προσανατολισμού δείχνει ότι το σύνολο σχεδόν των πρανών κλείνει προς νοτιοδυτικά, με μέγιστο στη διεύθυνση 220 - 230°. Το εύρος των κλίσεων κυμαίνεται από 170 έως 270° και ένα μικρό τμήμα έχει βόρειο προσανατολισμό, το οποίο εντοπίζεται στον Όλυμπο.

#### 4.3.7 Υδρολογική λεκάνη Β07

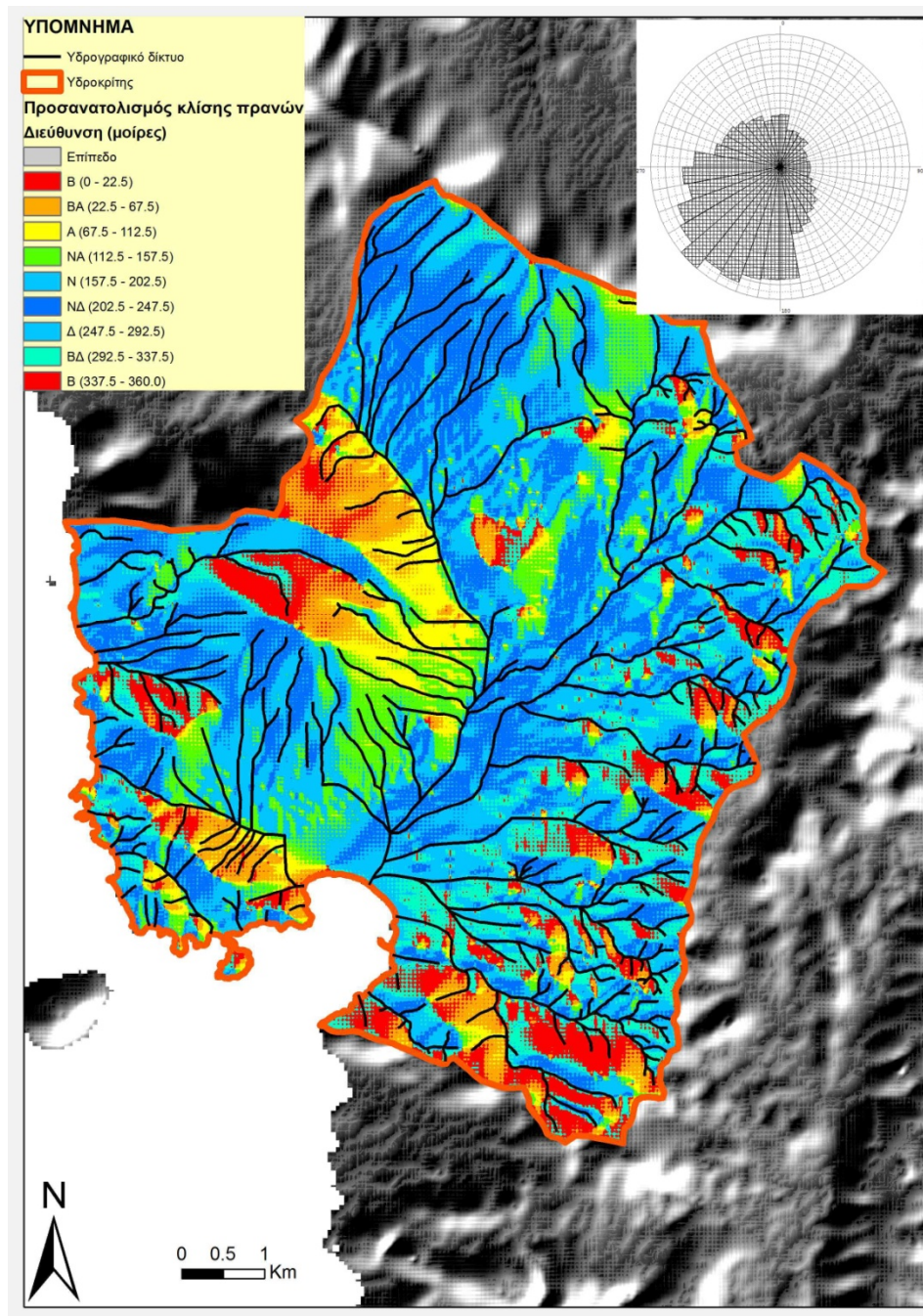
Η λεκάνη οριοθετείται δυτικά από τον Όλυμπο, βόρεια από το Πάνειο και ανατολικά και νότια από τη γραμμή Κουρούνα - Ασβεστοκάμιнос - Γερακίνα. Το μεγαλύτερο τμήμα αποστραγγίζεται από το ρέμα της Αναβύσσου.



**Εικόνα 114: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β07**

Οι μορφολογικές κλίσεις είναι ομαλές στο τμήμα της λεκάνης που διασχίζει το κύριο ρέμα. Μεγαλύτερες μορφολογικές κλίσεις παρατηρούνται σε όλο το ανατολικό τμήμα, με διεύθυνση Α - Δ. Στο κεντρικό βόρειο τμήμα, εμφανίζεται μια περιοχή νότια του Πάνειου όρους στην τοποθεσία Αλογάρης όπου λείπει το υδρογραφικό

δίκτυο. Πρόκειται για μία μεγάλη καρστική δομή με χαρακτηριστική ημικυκλική κάτοψη που αναπτύσσεται μεταξύ των μεγάλων ορεινών όγκων της περιοχής.



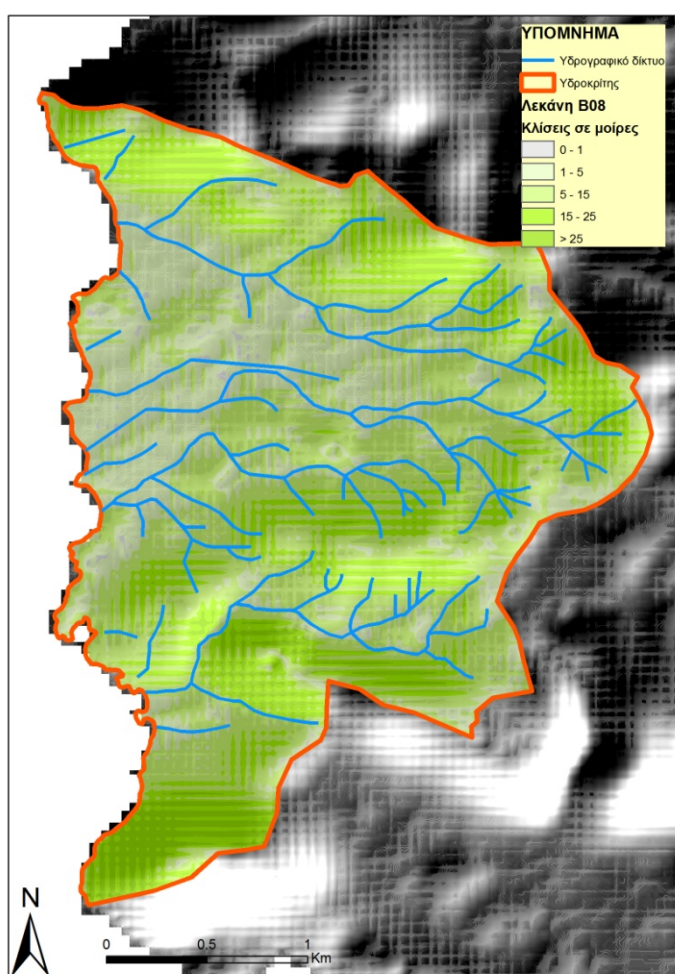
**Εικόνα 115:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B07 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).



Από το χάρτη προσανατολισμού προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μέρος των πρηνών έχει διεύθυνση μεταξύ 170 και 280° με μέγιστο στις 240°. Οι υπόλοιπες διευθύνσεις εμφανίζονται σε πολύ μικρότερο βαθμό.

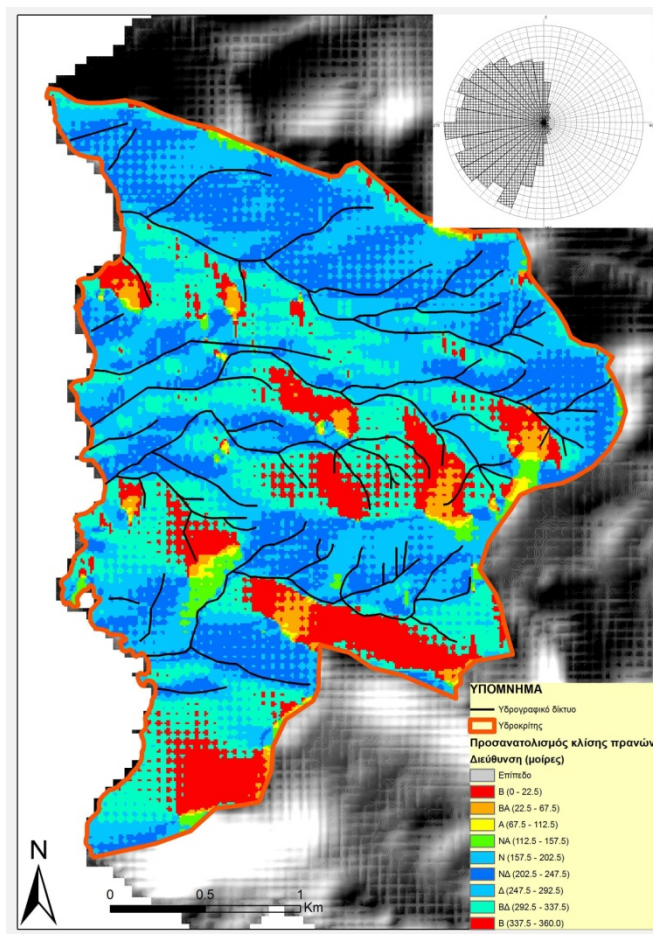
#### 4.3.8 Υδρολογική λεκάνη Β08

Πρόκειται για μία μικρή λεκάνη που βρίσκεται νότια της Αναβύσσου. Οι κλίσεις εμφανίζουν μία γραμμικότητα που στο βόρειο μέρος έχει διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ και στο νότιο τμήμα ΔΝΔ – ΑΝΑ.



**Εικόνα 116: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β08**

Τα πρηνή της λεκάνης έχουν όλα δυτική διεύθυνση (180 – 360°) χωρίς κάποια ιδιαίτερη προτίμηση προσανατολισμού.

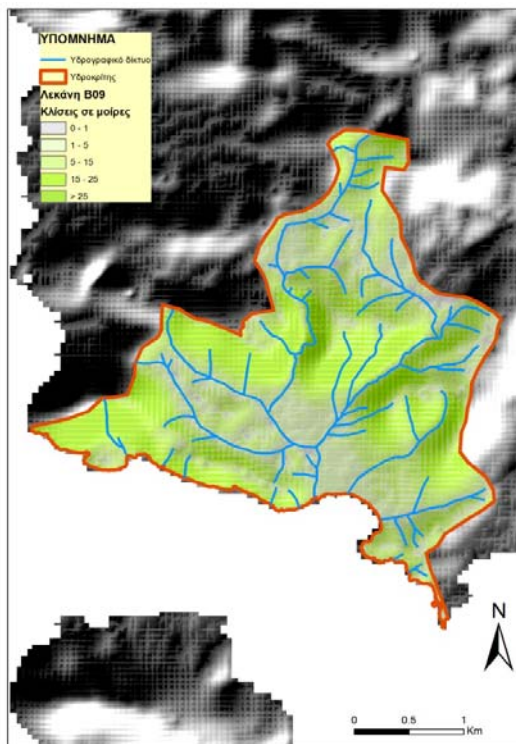


**Εικόνα 117:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B08 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

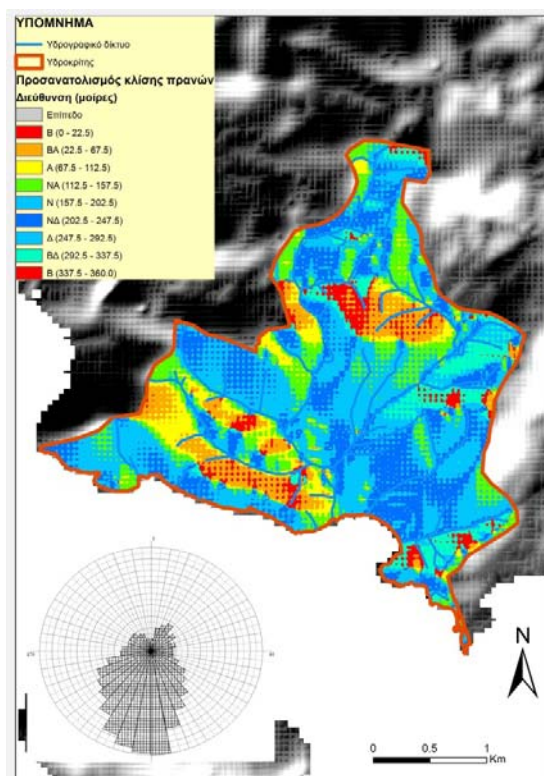
#### 4.3.9 Υδρολογική λεκάνη B09

Πρόκειται επίσης για μία μικρή λεκάνη που βρίσκεται στην περιοχή του Χάρακα και εκβάλλει ακριβώς απέναντι από το Γαϊδουρονήσι. Οι κλίσεις είναι σχετικά ομαλές στο βόρειο τμήμα ενώ στα νότια το επίπεδο τμήμα έχει διεύθυνση ΔΒΑ – ΑΝΑ. Στο κεντρικό τμήμα αναπτύσσεται μία ζώνη την οποία διατρέχουν εγκάρσια οι κύριοι κλάδοι των ρεμάτων με σημαντικά αυξημένες κλίσεις πρανών.

Οι διευθύνσεις των πρανών παρουσιάζουν μικρή διασπορά και εντοπίζονται κυρίως στο τμήμα μεταξύ 150° έως 240°.



Εικόνα 118: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β09



Εικόνα 119: Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης Β09 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

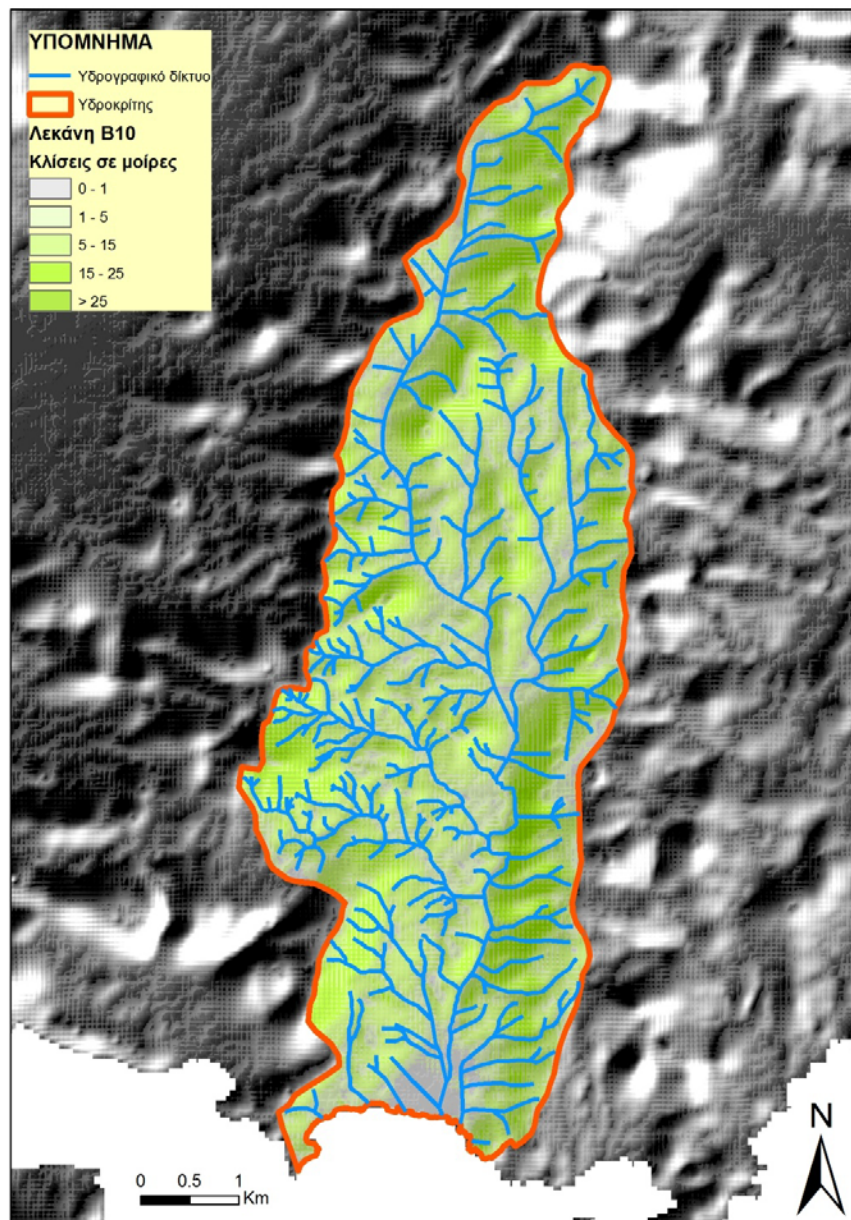
#### 4.3.10 Υδρολογική λεκάνη Β10

Η λεκάνη παρουσιάζει σημαντική επιμήκυνση στον άξονα Β – Ν. Σχεδόν ταυτίζεται με την υδρολογική λεκάνη των Λεγρενών με επιπρόσθετα μικρά ρέματα 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης που εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης. Οριοθετείται προς βορά από τους λόφους Κουρούνα, Χάρβαλο, Χορτάρια, δυτικά από τον άξονα Κουλοχέρι – Ασβεστοκάμιнос - Βύθισμα, ανατολικά από τον άξονα Χάος – Βίγλα και νότια εκβάλλει στον όρμο των Λεγρενών.

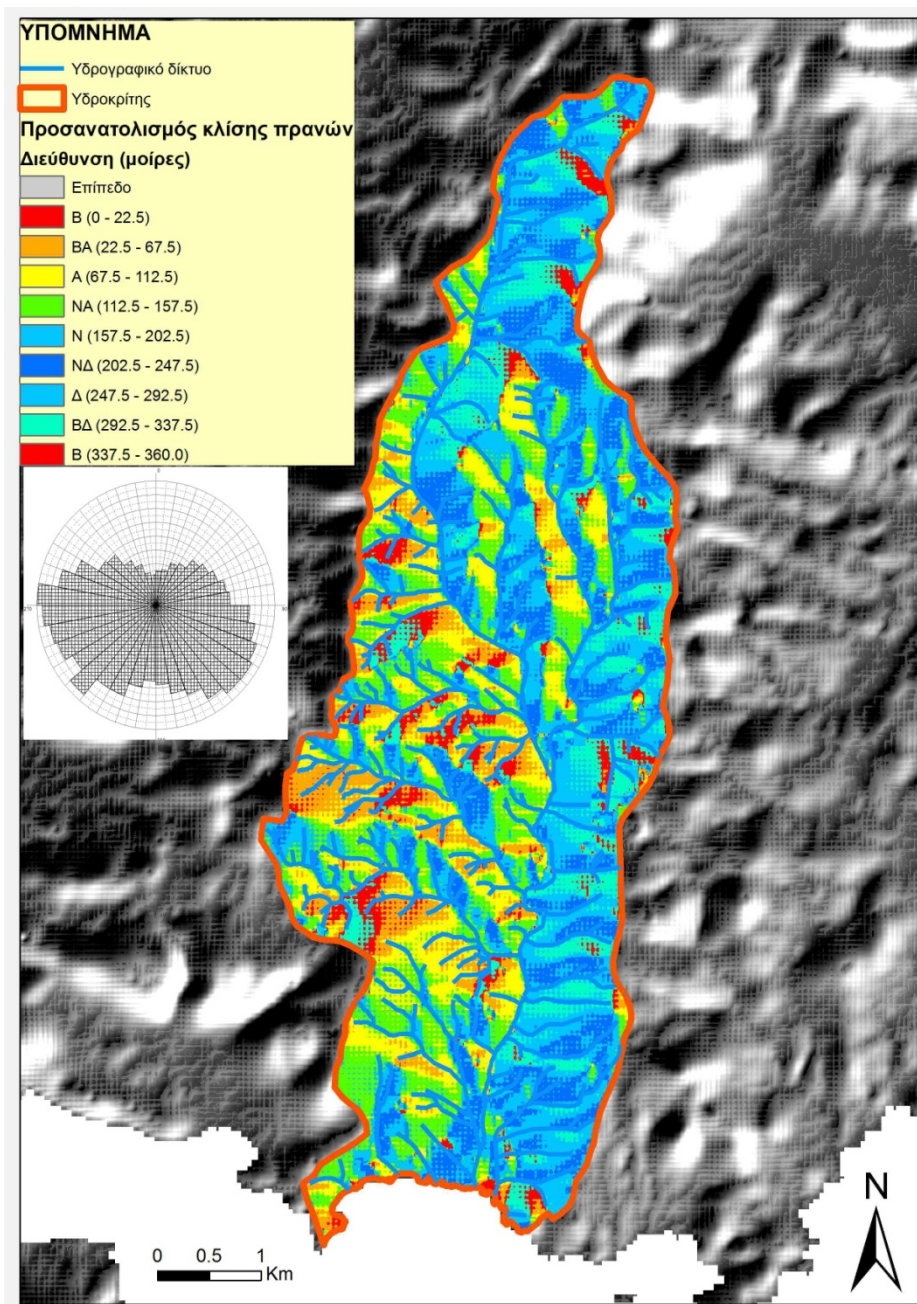
Οι μικρές μορφολογικές κλίσεις εμφανίζονται σε σχετικά λίγα τμήματα της λεκάνης. Χαρακτηριστική είναι η έντονη κατά βάθος διάβρωση σε όλο το μήκος της που δίνει σημαντικά αυξημένες κλίσεις που είναι εμφανείς στους κλάδους 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης. Οι αυξημένες κλίσεις ακολουθούν τις διευθύνσεις του υδρογραφικού δικτύου.

Από το χάρτη προσανατολισμού πρηνών, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πλήθος βρίσκεται στο τμήμα 90° έως 290°. Τα μέγιστα παρουσιάζονται προς τις διευθύνσεις, 130° – 150° και 200° – 220°. Γενικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των πρηνών κλίνει προς νότο.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που προέκυψε τόσο στη λεκάνη των Λεγρενών όσο και στις δύο επόμενες που αναφέρονται, είναι η διαχρονική αλλοίωση του φυσικού ανάγλυφου από τις μεταλλευτικές δραστηριότητες. Οι παρεμβάσεις τόσο από τις εκσκαφές και τα υπολείμματα τους όσο και από τις διευθετήσεις ρεμάτων, δημιουργίας μικρών φραγμάτων και γενικά όλα τα τεχνικά επικουρικά για την μεταλλευτική δραστηριότητα έργα (Κονοφάγος 1980), καθιστούν μερικές φορές αρκετά δύσκολη την αναγνώριση του φυσικού ανάγλυφου από τέτοια κλίμακα μελέτης. Έτσι, πολλές επιπεδώσεις ή απότομες αλλαγές κλίσεων που εμφανίζονται από την επεξεργασία, οφείλονται σε παλαιότερες ή και πρόσφατες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι πρόσφατες είναι σχετικά εύκολο να διακριθούν από τους χάρτες που έχουν γίνει στο παρελθόν όπως και από τις αεροφωτογραφίες της περιοχής. Οι παλαιότερες επεμβάσεις λήφθησαν βιβλιογραφικά από διάφορες μελέτες και έγινε προσπάθεια, όπου ήταν αυτό δυνατό και είχε νόημα για την παρούσα διατριβή, να «αποκαταστήσουμε» το φυσικό ανάγλυφο (Τσάιμου 1988, Μαρίνος and Petrascheck 1956).



Εικόνα 120: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β10



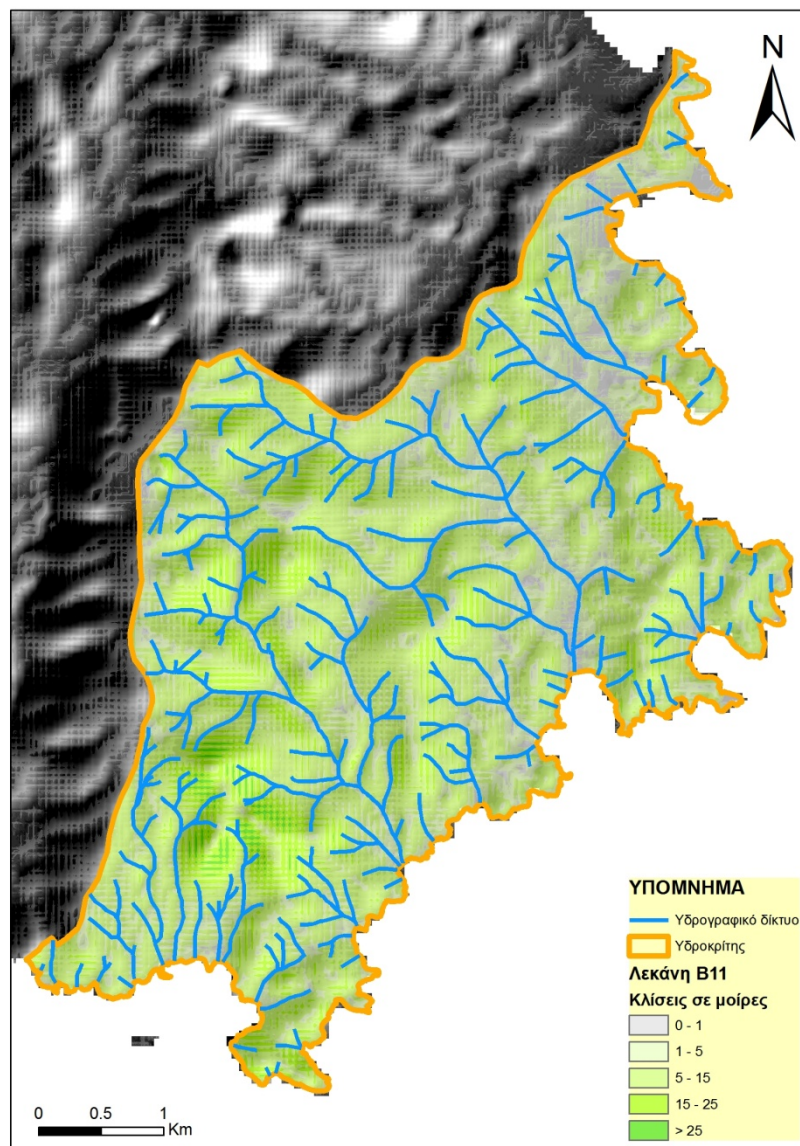
**Εικόνα 121:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B10 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

#### 4.3.11 Υδρολογική λεκάνη B11

Η λεκάνη χωρίζεται σε αρκετές μικρότερες υπολεκάνες με ροή προς νοτιοανατολικά. Επίσης παρουσιάζει σημαντικό αριθμό μικρών κλάδων 1ης και 2ης τάξης. Οριοθετείται στα δυτικά από μικρούς ορεινούς όγκους που ξεκινούν από το Χάρακα και καταλήγουν νότια του λόφου Έλαφος και βόρεια από την πόλη του

Λαυρίου. Ανατολικά και νότια καταλήγει στο Σούνιο και στους μικρούς όρμους μέχρι τον όρμο του Λαυρίου.

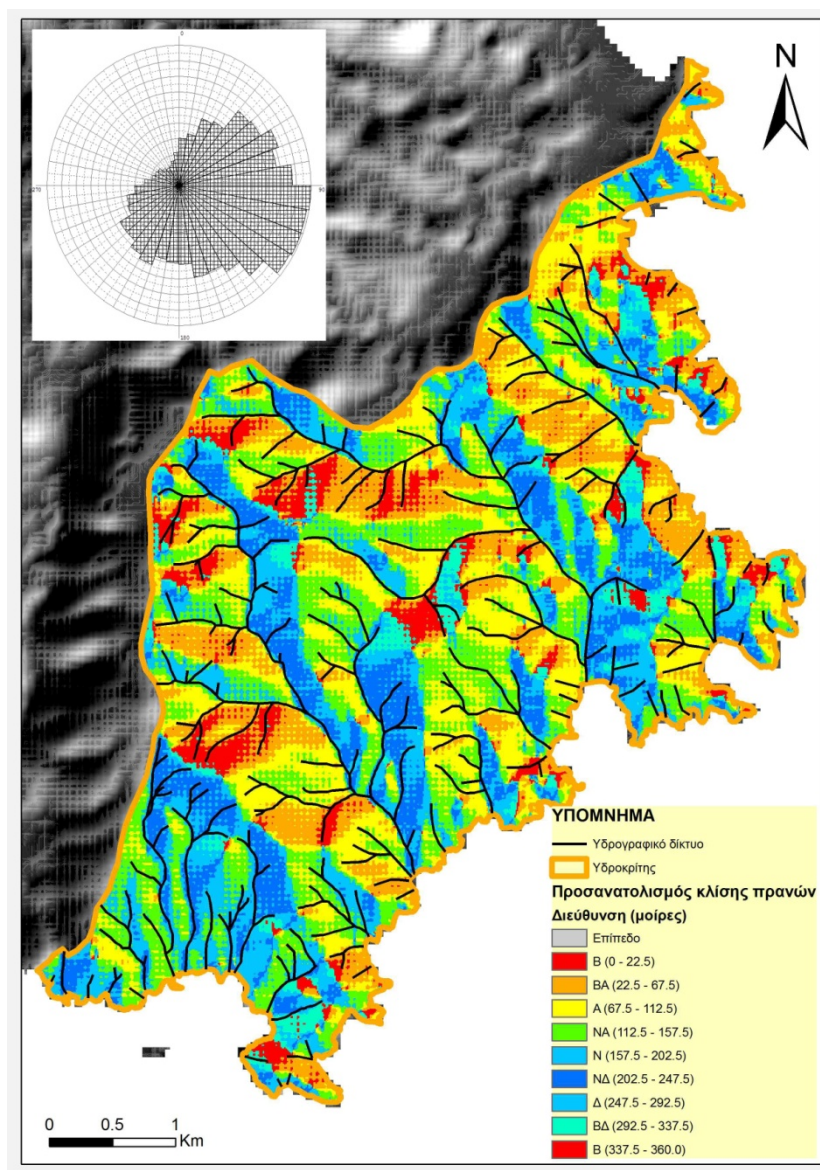
Οι κλίσεις που παρατηρούνται στη λεκάνη είναι γενικά ομαλές με τις μεγαλύτερες τιμές τους να εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της, όπου η κατά βάθος διάβρωση λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που διαπιστώθηκε στην Β10, χωρίς κάποια ιδιαίτερη προτίμηση προσανατολισμού.



**Εικόνα 122: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β11**

Από το χάρτη προσανατολισμού πρυνών, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πλήθος βρίσκεται στο τμήμα 40° έως 200°. Τα μέγιστα παρουσιάζονται προς τις διευθύνσεις

90° -130°. Γενικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των πρηνών κλίνει προς νότο ενώ μόνο ένα μικρό τμήμα των πρηνών κλίνει προς δυτικά έως βόρεια.



**Εικόνα 123:** Χάρτης προσανατολισμού πρηνών υδρολογικής λεκάνης B11 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρηνών (ανά 10°).

#### 4.3.12 Υδρολογική λεκάνη B12

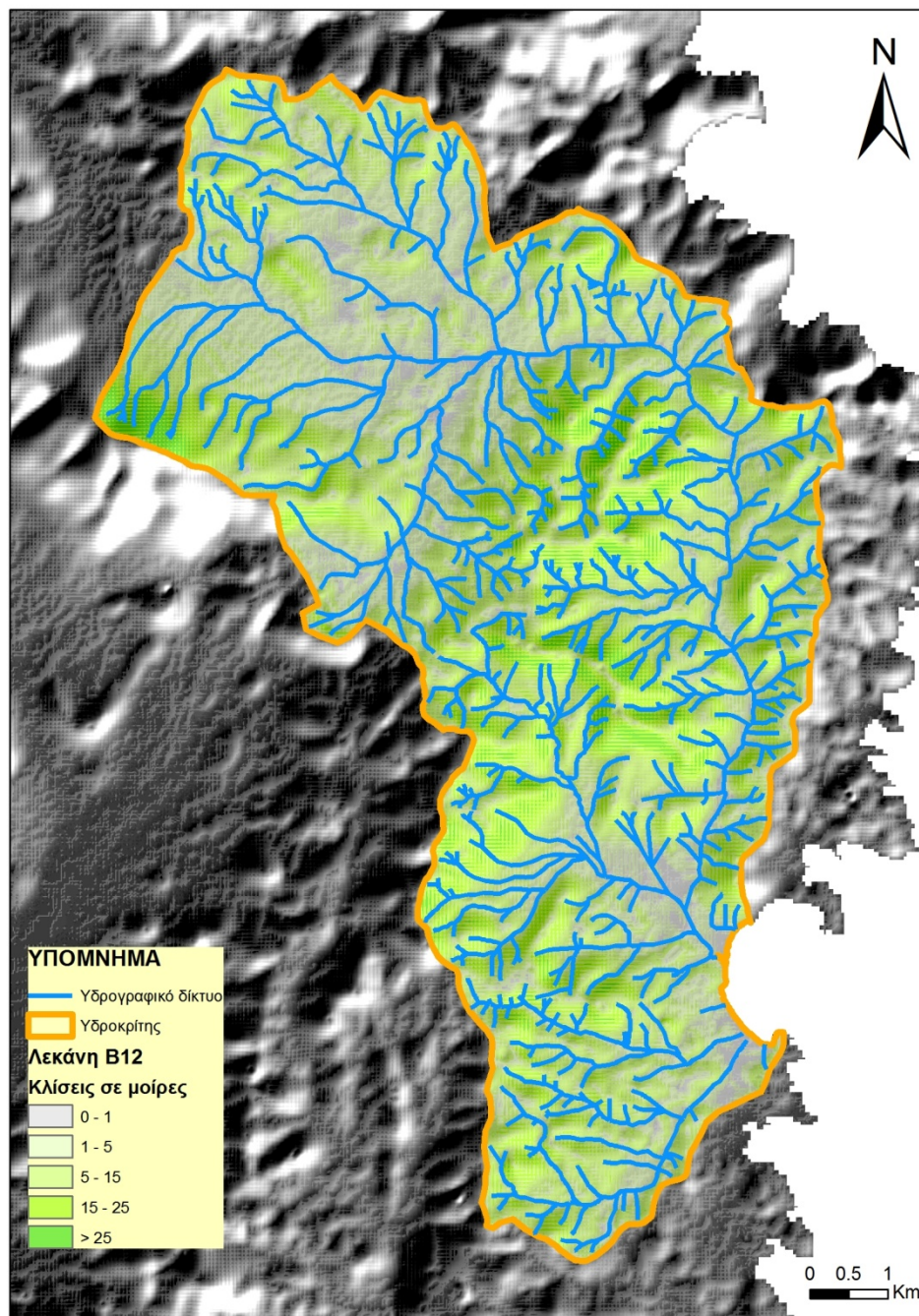
Η λεκάνη οριοθετείται προς βορά από το όρος Μερέντα, δυτικά από το Πάνειο, ανατολικά εκβάλλει στον όρμο Θορικού και νότια από την πόλη του Λαυρίου. Στο βόρειο τμήμα του το νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά και βορειοδυτικά προς τα



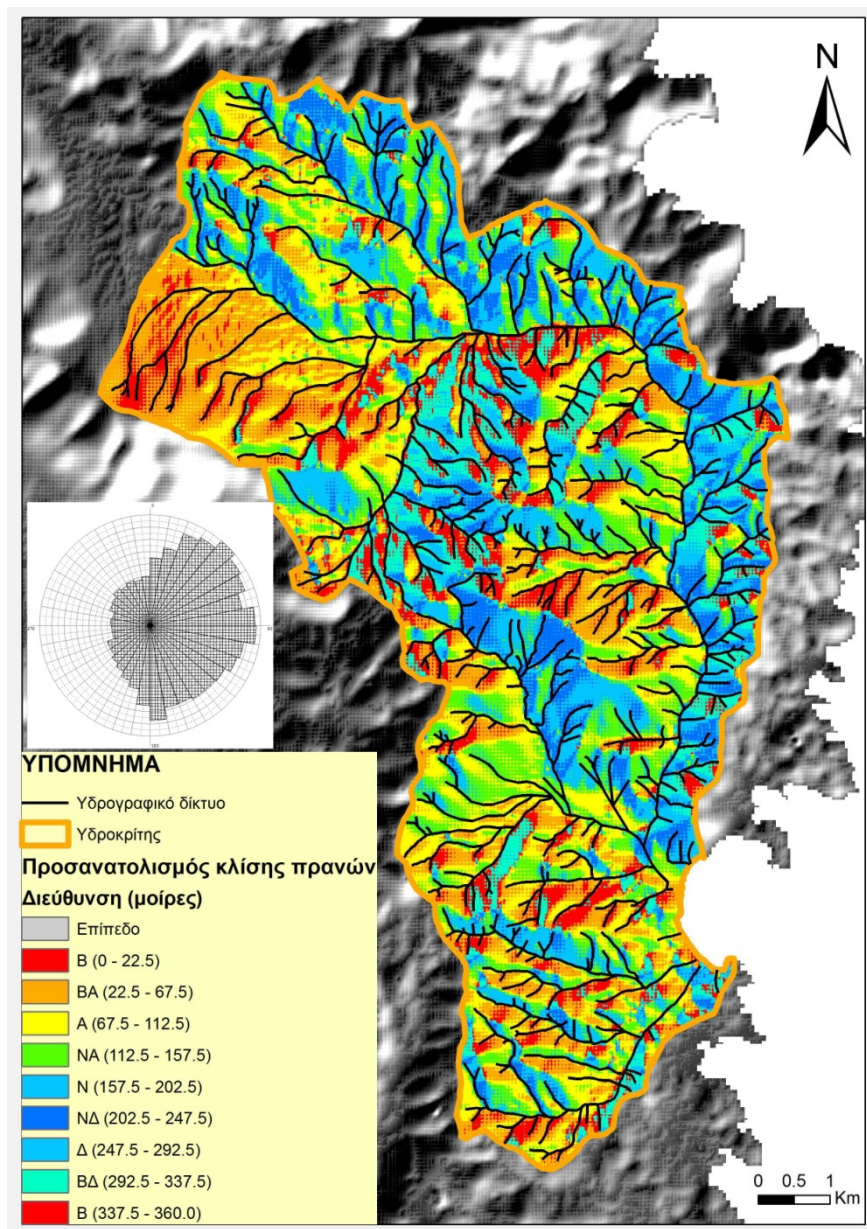
νοτιοανατολικά και νότια καταλήγοντας στον όρμο Θορικού. Στο νότιο τμήμα τα ρέματα έχουν γενική διεύθυνση Δ – Α.

Οι μικρές κλίσεις παρουσιάζονται ομαδοποιημένες σε δύο ομάδες, μία στο βόρειο τμήμα της λεκάνης όπου το μεγαλύτερο τμήμα είναι σχετικά ομαλό και μία δεύτερη στο νοτιοανατολικό τμήμα όπου εκβάλλει το κύριο υδρογραφικό σύστημα. Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερες κλίσεις, με έντονη κατά βάθος διάβρωση στους κλάδους 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη στροφή του κύριου κλάδου κατά 90°, δείχνει ότι η μεταβολή αυτή είναι σχετικά πρόσφατη.

Ο προσανατολισμός των πρηνών της λεκάνης δείχνει επίσης τη στροφή του κύριου ρέματος. Το μεγαλύτερο μέρος των πρηνών βρίσκεται μεταξύ 0 και 190° ενώ στις υπόλοιπες διευθύνσεις έχουμε παρουσία όλων των διευθύνσεων που μειώνονται σταδιακά προς δυτικά. Εμφανίζονται τρία μέγιστα, ένα πρώτο στα 40°-50°, ένα δεύτερο στο 80° – 100° και ένα τρίτο στο 180°.



Εικόνα 124: Χάρτης κλίσεων υδρολογικής λεκάνης Β12



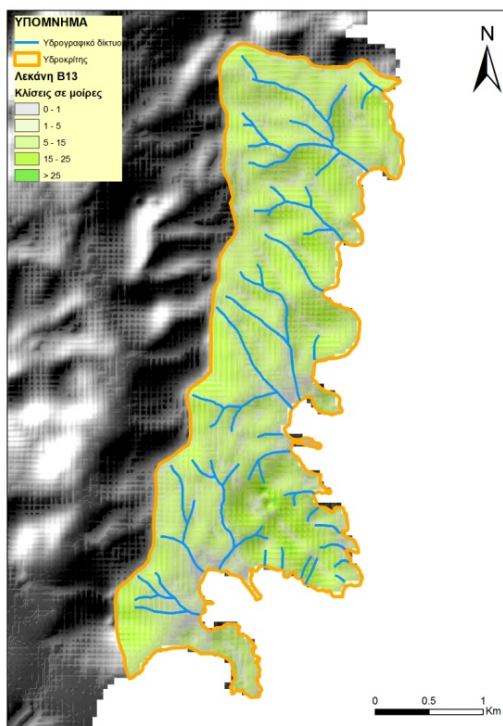
**Εικόνα 125:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών υδρολογικής λεκάνης B12 και ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρανών (ανά 10°).

#### 4.3.13 Υδρολογικές λεκάνες B13 – B19

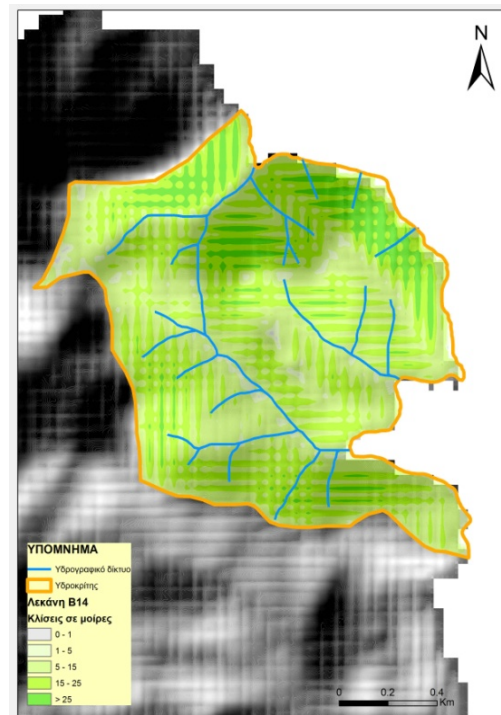
Πρόκειται για πολύ μικρές λεκάνες που αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτογραμμής στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, από την περιοχή του Πόρτο Ράφτη μέχρι τον όρμο του Αγίου Νικολάου στο Λαύριο. Το υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύσσεται είναι μικρής τάξης, το πολύ μέχρι 3<sup>ης</sup>, με εξαίρεση τα ρέματα της Κακιάς Θάλασσας και Βρύσης που είναι 4<sup>ης</sup> τάξης. Οι μορφολογικές

κλίσεις ελέγχονται κυρίως από το γεωλογικό υπόβαθρο που στο μεγαλύτερο μέρος τους δομείται από μάρμαρα και λιγότερο από σχιστόλιθους. Στο ρέμα Βρύση παρατηρούμε έντονη κατά βάθος διάβρωση στο κεντρικό κλάδο και στροφή του κατά 90°.

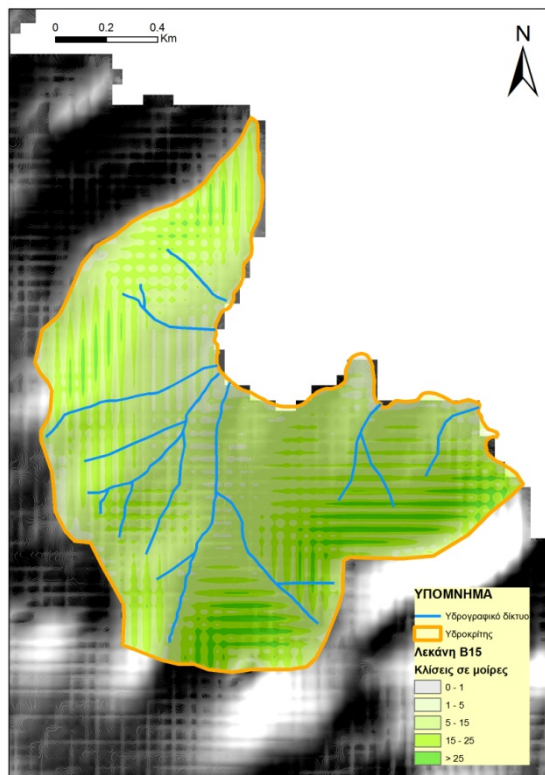
**Εικόνα 126: Χάρτης κλίσεων υδρολογικών λεκανών (α) Β13, (β) Β14, (γ) Β15, (δ) Β16, (ε) Β17, (στ) Β18, (ζ) Β19.**



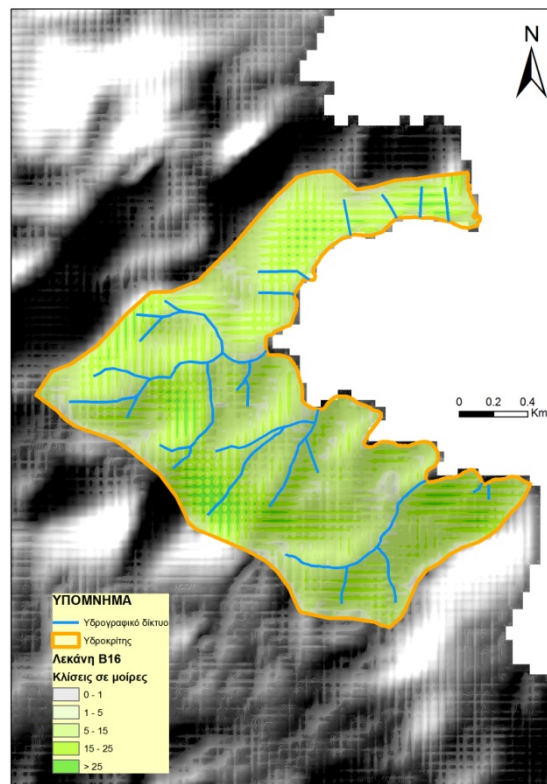
(α)



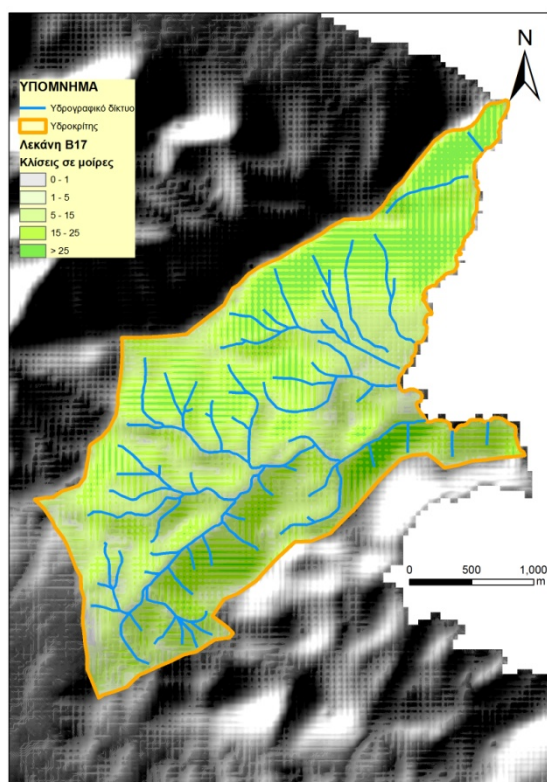
(β)



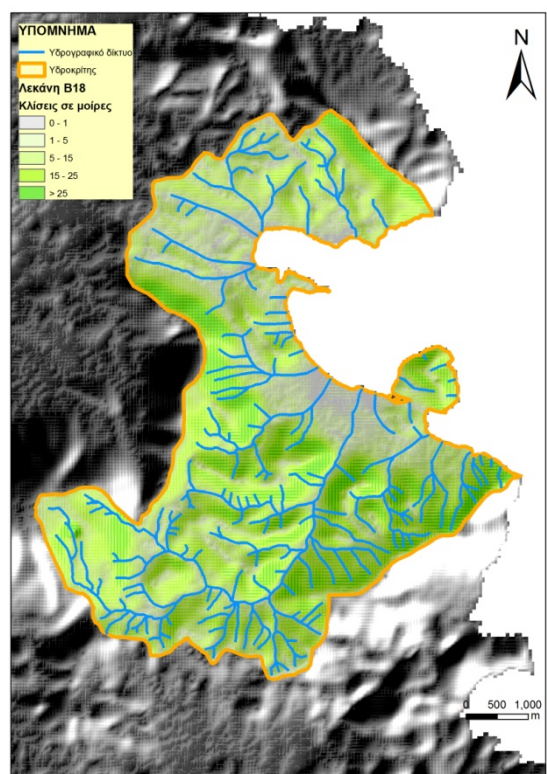
(γ)



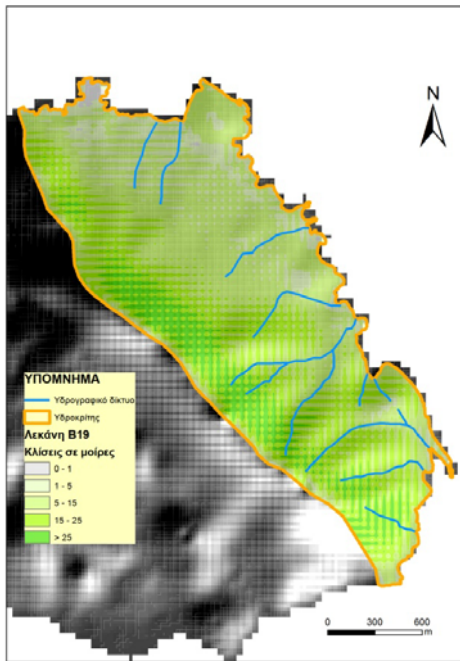
(δ)



(ε)

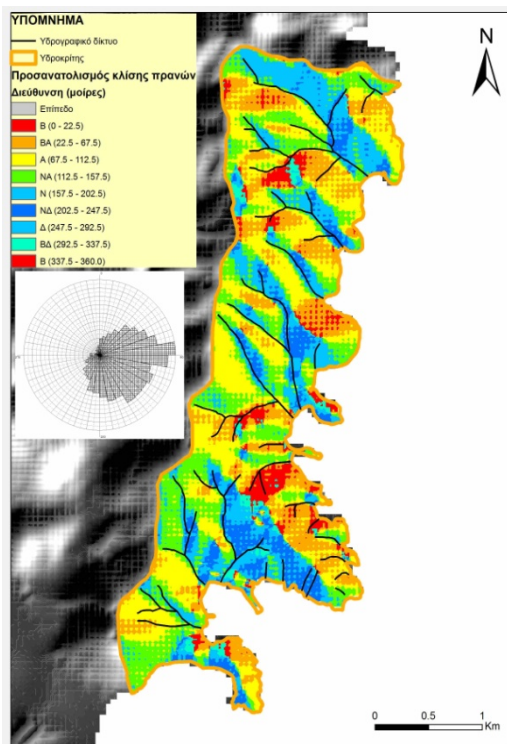


(στ)

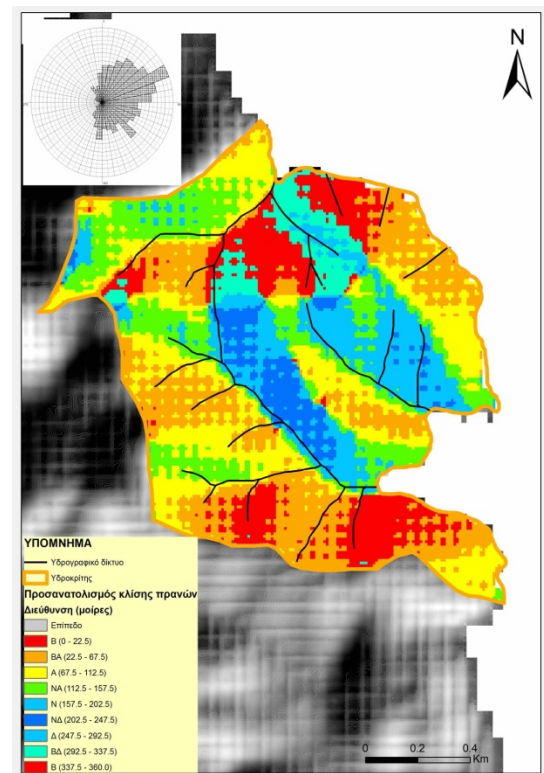


(ζ)

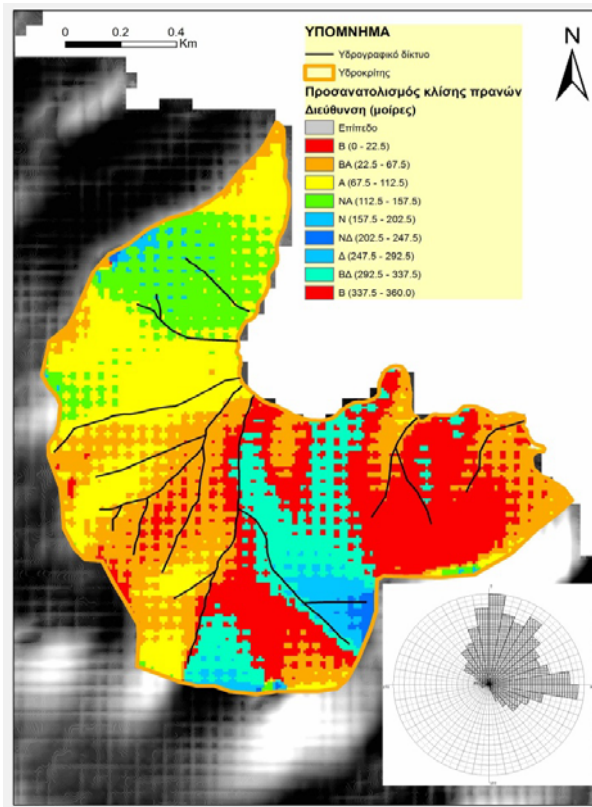
Εικόνα 127: Χάρτης προσανατολισμού πρηνών (α) Β13, (β) Β14, (γ) Β15, (δ) Β16, (ε) Β17, (στ) Β18, (ζ) Β19 με τα αντίστοιχα ροδοδιάγραμμα προσανατολισμού πρηνών (ανά 10°).



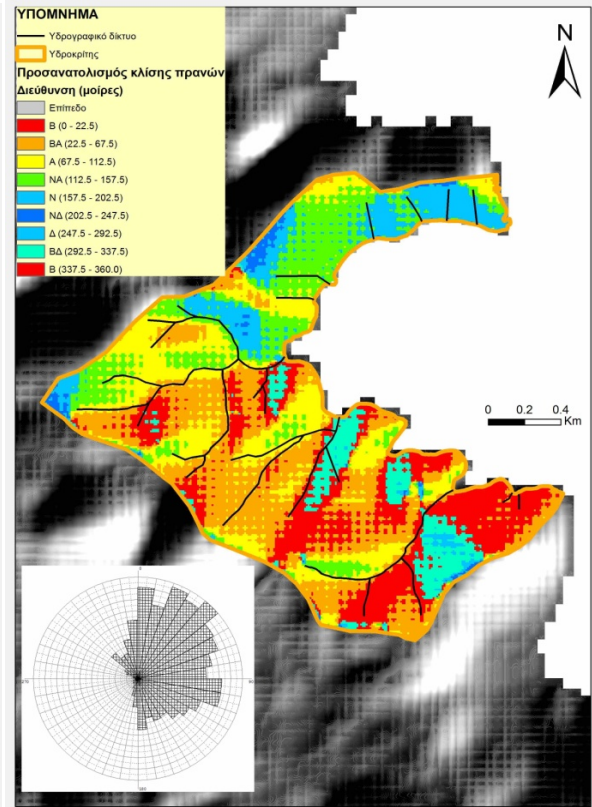
(α)



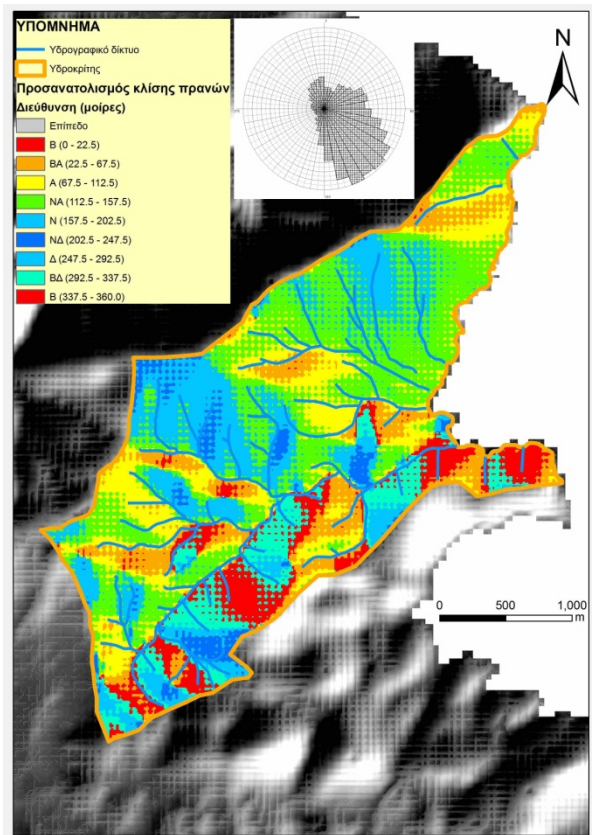
(β)



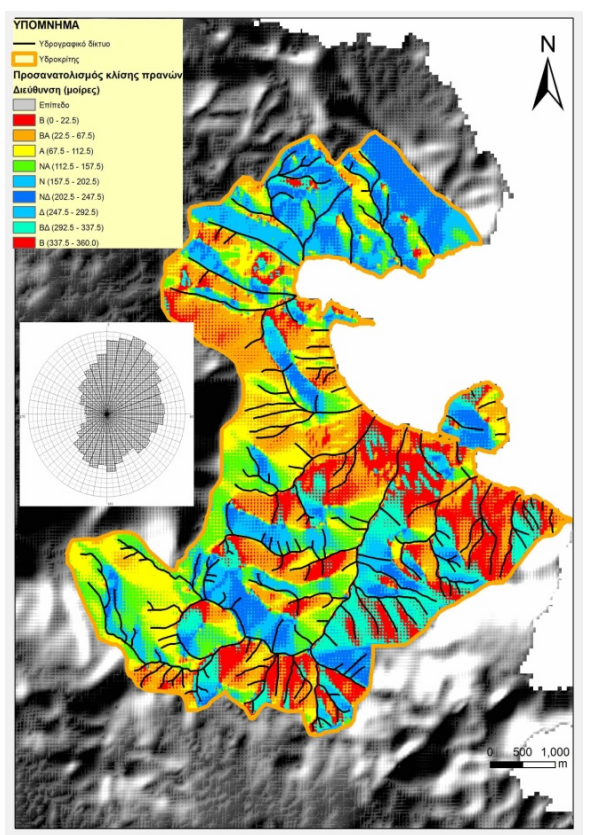
(γ)



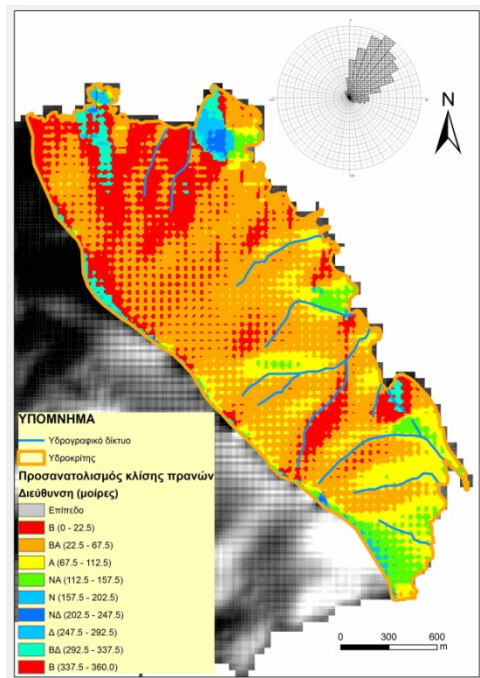
(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)



## **5 ΕΙΔΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των φωτογραμμώσεων, των επιπεδώσεων και μία προσέγγιση στην εύρεση και ανάλυση καρστικών δομών, ως αποτέλεσμα την ανάλυσης των εικόνων της περιοχής μελέτης.

## 5.1 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΙΣ

Όσο αφορά τον εντοπισμό φωτογραμμώσεων, δηλαδή των γραμμικών εκείνων στοιχείων που μπορούν να εντοπιστούν με διάφορα μέσα τηλεπισκόπησης (O' Leary, Friedman and Pohn 1976), η ανάλυση και ο εντοπισμός πιθανών γραμμικών στοιχείων που σχετίζονται με τη γεωλογία και την τεκτονική της περιοχής, έγινε σε όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, είτε αυτά ήταν αεροφωτογραφίες (έγχρωμες και ασπρόμαυρες), είτε δορυφορικές εικόνες.

Τα γραμμικά στοιχεία που καταγράφονται σε κάθε περίπτωση όπως και η αξιοπιστία τους, έχει να κάνει τόσο με την εμπειρία του παρατηρητή, όσο και με την ποιότητα και την επεξεργασία των εικόνων αλλά και τη χρήση ειδικών φίλτρων επεξεργασίας.

Έτσι, ένας χάρτης φωτογραμμώσεων από μόνος τους δεν έχει κάποια πρακτική σημασία, αν δεν έχουν εντοπιστεί και αξιολογηθεί τα γραμμικά στοιχεία στην ύπαιθρο. Είναι όμως ένα καλό εργαλείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πρόδρομα στάδια της μελέτης, με πολύ μεγάλη προσοχή, διότι μπορεί να δώσει παραπλανητική εικόνα για την δομή της περιοχής. Επίσης, είναι ένα καλό εργαλείο για την συμπλήρωση των μετρήσεων και παρατηρήσεων στην ύπαιθρο.

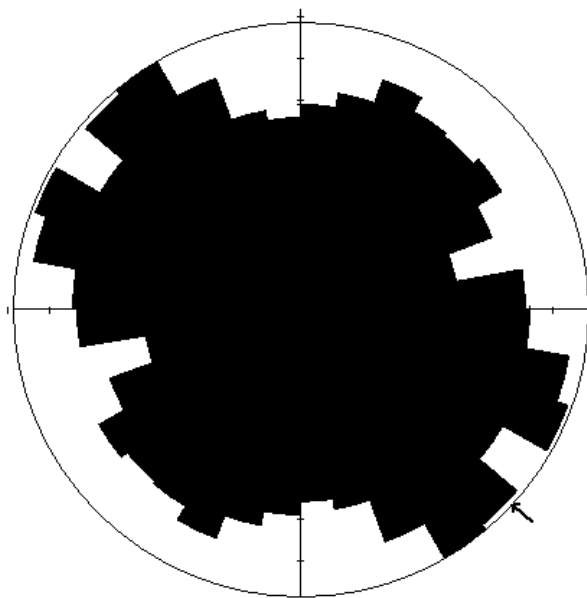
Στη διάρκεια επεξεργασίας για τον εντοπισμό πιθανών γραμμικών στοιχείων που σχετίζονται με τεκτονομεταμορφικά γεγονότα, τηρήσαμε κάποιους κανόνες:

- Το αρχικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε (αεροφωτογραφίες και δορυφορικές) είχε υποστεί ορθοαναγωγή. Ειδικά σε συγκεκριμένα δεδομένα, έγινε διόρθωση τονικότητας και φωτεινότητας, έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στην απεικόνιση.
- Η επεξεργασία έγινε σε σταθερή κλίμακα σε όλη τη διάρκεια ψηφιοποίησης και για όλα τα δεδομένα. Αυτή καθορίστηκε σε 1:10.000.
- Σκόπιμα αποτέλεσε μία από τις πρώτες εργασίες της διατριβής για να μην υπάρχει «προκατάληψη» προς συγκεκριμένες διευθύνσεις. Η προσωπική εμπειρία δείχνει ότι καθένας βλέπει αυτό που θέλει αγνοώντας τις υπόλοιπες πληροφορίες. Έτσι, ο εντοπισμός των φωτογραμμώσεων έγινε στα αρχικά

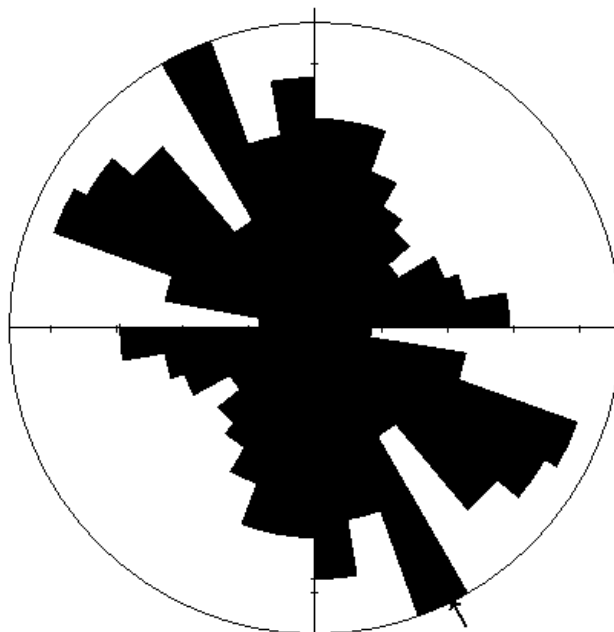
στάδια της διατριβής αλλά η επεξεργασία και ανάλυση, προς το τέλος, έτσι ώστε να γινόταν άμεση και όσο το δυνατόν αντικειμενική σύγκριση των αποτελεσμάτων της εργασίας με τις μετρήσεις υπαίθρου.

- Στη βάση δεδομένων που αποθηκεύθηκαν τα δεδομένα, προστέθηκε ένα επιπλέον κριτήριο, αυτό του βαθμού αξιοπιστίας, ανάλογα με την ποιότητα και διακριτική ικανότητα των αρχικών δεδομένων.

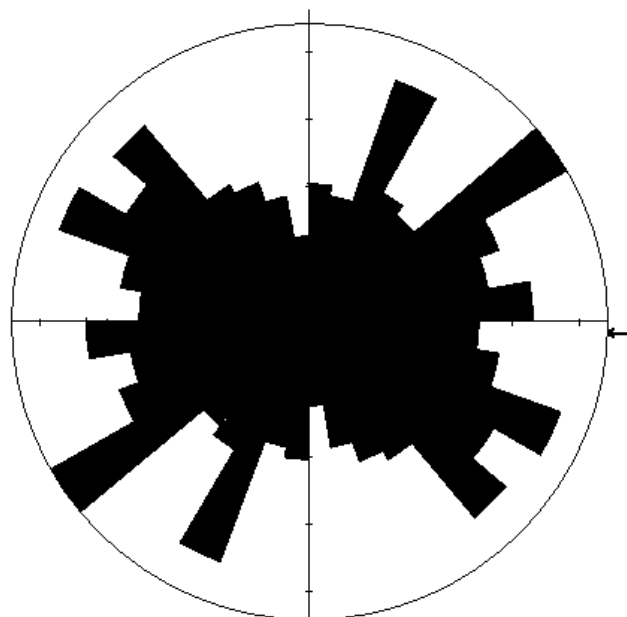
Παρακάτω δίνονται τα ροδοδιαγράμματα που κατασκευάστηκαν τόσο για το σύνολο των γραμμώσεων αλλά και για τους τρεις κυριότερους ορεινούς όγκους της περιοχής μελέτης, Όλυμπο, Μερέντα και Πάνειο.



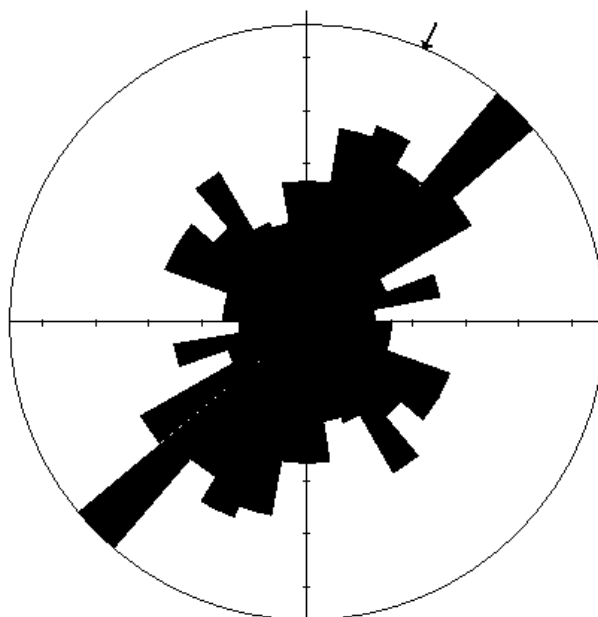
**Εικόνα 128: Ροδοδιάγραμμα όλων των φωτογραμμώσεων της περιοχής μελέτης, ανά 10°.**



**Εικόνα 129:** Ροδοδιάγραμμα φωτογραμμώσεων του όρους Μερέντα, ανά 10°.



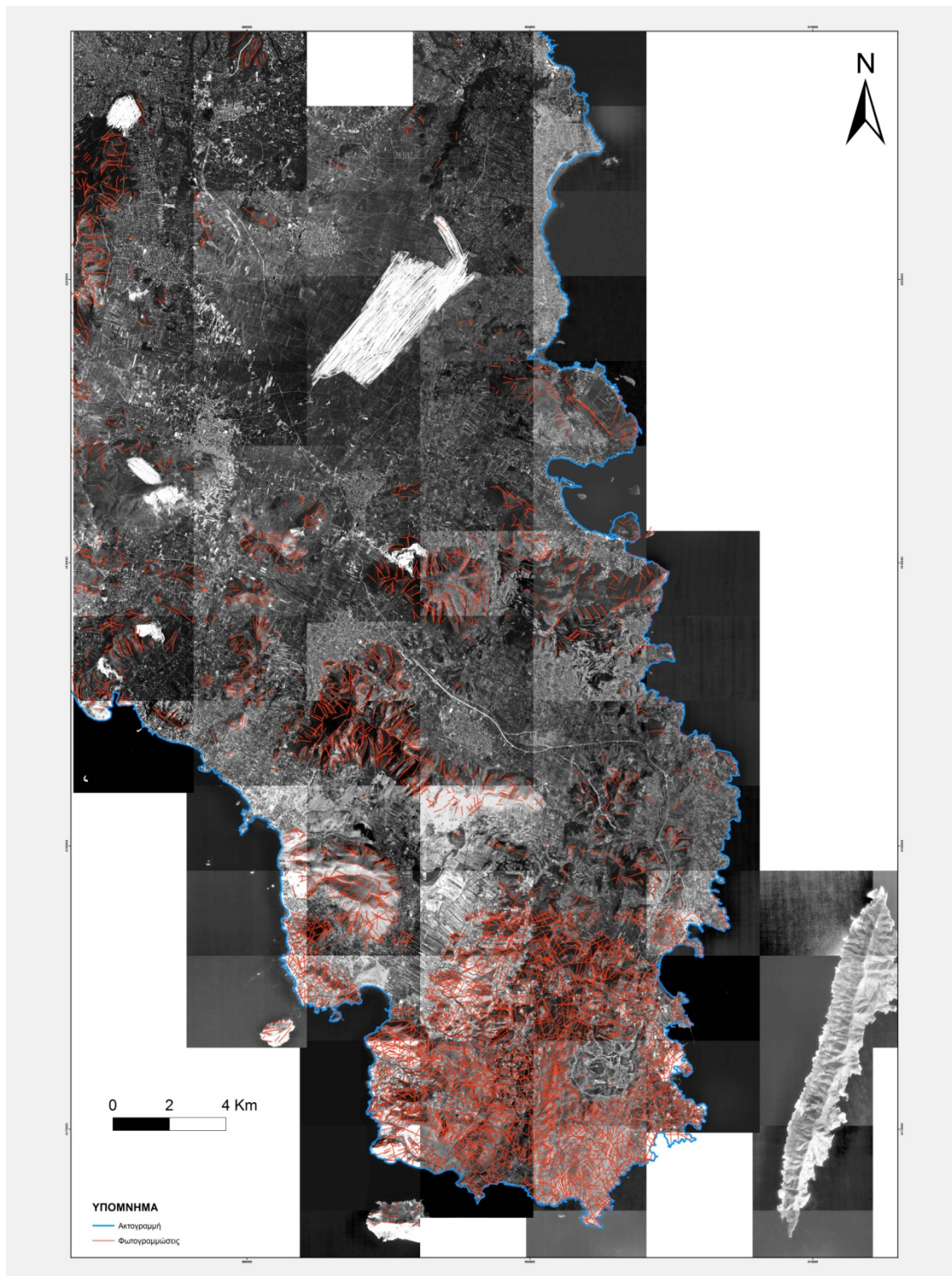
**Εικόνα 130:** Ροδοδιάγραμμα φωτογραμμώσεων του όρους Όλυμπος, ανά 10°.



**Εικόνα 131: Ροδοδιάγραμμα φωτογραμμώσεων του Πάνειου όρους, ανά 10°.**

Από τα παραπάνω ροδοδιαγράμματα φαίνεται ότι τα φωτογραμμικά στοιχεία που σχετίζονται με την τεκτονική για τους τρεις ορεινούς όγκους, παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τον προσανατολισμό.

Στα όρη Πάνειο και Όλυμπος οι γραμμώσεις ακολουθούν κύρια διεύθυνση την ΒΑ-ΝΔ ενώ και στα δύο, εμφανίζεται μία δευτερεύουσα ΒΔ-ΝΑ ή οποία είναι περισσότερο εμφανής στον Όλυμπο. Στο όρος Μερέντα η κύρια διεύθυνση των γραμμώσεων είναι ΒΑ-ΝΔ με δευτερεύουσες ΔΒΔ-ΑΝΑ και Β-Ν.



**Εικόνα 132: Χάρτης φωτογραμμώσεων Ανατολικής Αττικής με υπόβαθρο τους ορθοφωτοχάρτες χρονολογίας 1996.**

## 5.2 ΧΑΡΤΗΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΣΕΩΝ

Από την επεξεργασία του ΨΜΑ και τον χάρτη κλίσεων που δημιουργήθηκε, απομονώθηκαν τα σημεία κεκλιμένων επιπεδώσεων και παρουσιάζονται στο χάρτη της εικόνας 133.

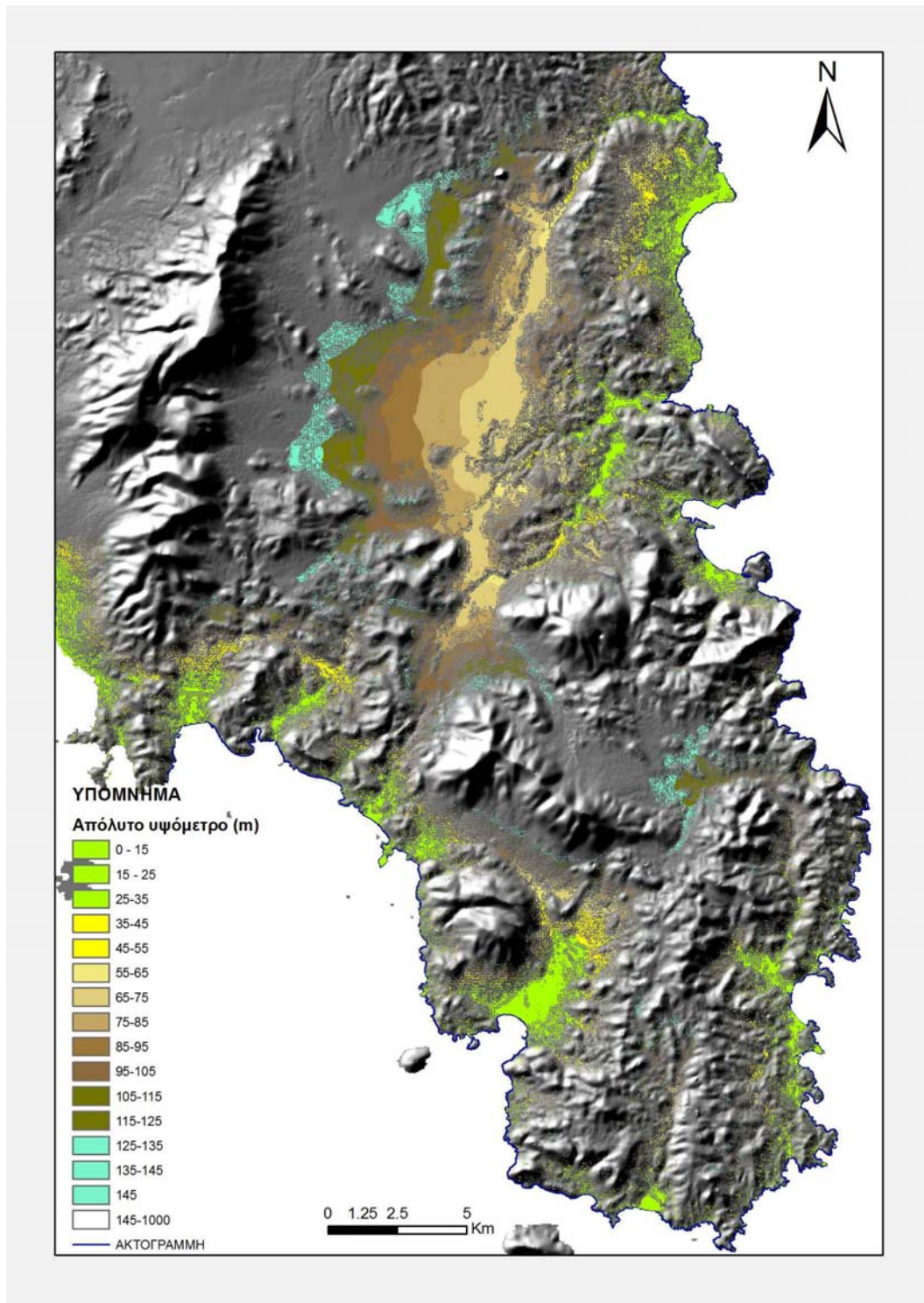
Όπως διαπιστώνεται από το χάρτη, οι μικρές λεκάνες που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης, παρουσιάζουν – όπως αναμενόταν – στο πεδινό τους τμήμα, επιπεδώσεις που έχουν φορά κυρίως προς τη θάλασσα. Το τμήμα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η περιοχή της λεκάνης των Σπάτων. Στο κεντρικό τμήμα, παρατηρείται μία ζώνη επιπεδώσεων της οποίας το υψόμετρο ελαττώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι ζώνες είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ. Το υψόμετρο των επιπεδώσεων ξεκινά από τα 145 μέτρα και φτάνει μέχρι τα 55 σε επίπεδα μέσου απόλυτου υψόμετρου. Η κλίση αυτών των πρανών έχει γενική διεύθυνση προς δύση. Η ζώνη αυτή δεν διακόπτεται σχεδόν καθόλου μέσα στη λεκάνη, εκτός από τα τμήματα στα οποία υπάρχουν οι μικροί λόφοι που συναντάμε στην πεδιάδα των Σπάτων.

Η ζώνη επιπεδώσεων παρουσιάζει τη μέγιστη εξάπλωση της στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Στο βόρειο τμήμα αλλάζει διεύθυνση και πρακτικά εξαφανίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης ενώ στο νότιο, καταλήγει στο βόρειο τμήμα του Πάνειου όρους. Οι επιφάνειες επιπέδωσης στον τμήμα αυτό εντοπίζονται στο μεγαλύτερο μέρος τους στους μεταλπικούς σχηματισμούς. Η φορά κλίσης τους είναι ανεξάρτητη της λιθολογίας, κάτι που δείχνει την ενιαία συμπεριφορά των σχηματισμών κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης των Σπάτων, παρατηρούμε ότι οι επιπεδώσεις χάνουν τον χαρακτήρα ζώνης, κυρίως λόγω διάβρωσης από τον Ερασίνο ποταμό. Οι επιπεδώσεις συνεχίζουν ανατολικά προς το κόλπο του Πόρτο Ράφτη, σε χαμηλότερο επίπεδο με απόλυτο υψόμετρο 15 με 35 μέτρα, με γενική κλίση προς ανατολή.

Στο τμήμα μεταξύ Πάνειου και Μερέντας, στον άξονα μεταξύ των οικισμών Καλυβίων Θορικού και Κερατέας εντοπίζονται δύο περιοχές εκατέρωθεν του άξονα,

τριγωνικής μορφής. Το βορειοδυτικό τμήμα που βρίσκεται στα Καλύβια Θορικού, εμφανίζεται να συνδέεται με τη λεκάνη των Σπάτων, ως απόληξη της τελευταίας.



**Εικόνα 133:** Χάρτης κεκλιμένων επιπεδώσεων της Ανατολικής Αττικής, με υπόβαθρο το χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου.



Το νοτιοδυτικό τμήμα, ανατολικά της Κερατέας, βρίσκεται μεταξύ των λόφων Λαχόρι, Αγριόκαστρο και Ρεβίθι. Και τα δύο τμήματα βρίσκονται στο ίδιο εύρος υψομέτρων (90 με 120 μέτρα) αλλά με αντίθετη φορά διεύθυνσης.

Στο τμήμα μεταξύ Πάνειου και Ολύμπου, εμφανίζεται μία γραμμική επίπεδη περιοχή ακριβώς στους πρόποδες του Πάνειου, κατά μήκος του ορεινού όγκου, σε υψόμετρο 120 με 125 μέτρα. Η ίδια γραμμικότητα παρατηρείται και στους πρόποδες του Ολύμπου αλλά σε χαμηλότερο υψόμετρο, στα 85 με 90 μέτρα.

### 5.3 ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

Η περιοχή της Ανατολικής Αττικής, παρουσιάζει ένα εκτεταμένο καρστικό σύστημα, ιδιαίτερα στους ανθρακικούς σχηματισμούς που τη δομούν. Το δευτερογενές πορώδες που δημιουργείται σε αυτούς, οφείλεται είτε σε πρωτογενή αίτια είτε κυρίως στις τεκτονικές τάσεις εφελκυσμού και διάτμησης, δημιουργώντας ένα δίκτυο ρωγμών και διακλάσεων όπου κυκλοφορεί το νερό. Έτσι λοιπόν, ο τρόπος που διατάσσονται οι καρστικές δομές στο χώρο είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την κινηματική της περιοχής.

Η καρστικοποίηση των μαρμάρων στην περιοχή μελέτης θα πρέπει να άρχισε σε παλαιότερο γεωλογικό χρόνο, κατά πάσα πιθανότητα στο Ανώτερο Μειόκαινο, αλλά και ακόμα παλαιότερα πριν την αρχική υποβύθιση των σχηματισμών. Τα υδροθερμικά καρστ, ενώ παλαιότερα θεωρούσαμε ότι αποτελούσαν ένα μικρό τμήμα των συνολικών καρστικών, σήμερα φαίνεται ότι είχαν σημαντικότερη συμμετοχή. Αυτό συμβαίνει γιατί τα αρχικά καρστικά που δημιουργήθηκαν από υδροθερμικές διεργασίες, «ξαναχρησιμοποιούνται» από το μετεωρικό νερό, διευρύνοντάς και αλλάζοντας τα (Audra, et al. 2007).

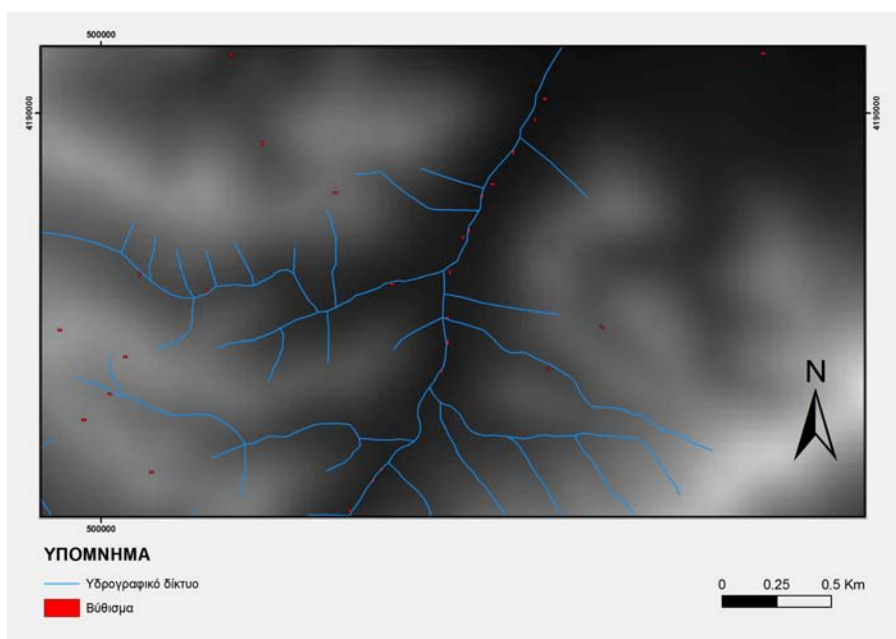
Το καρστικό σύστημα της Αττικής είναι πολύ καλά ανεπτυγμένο, με όλων των ειδών τις καρστικές μορφές. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στην περιοχή υπάρχουν αρκετά σπήλαια όπως το σπήλαιο του Λόρδου Βύρωνα (ή Κερατέας), το σπήλαιο του Πανός, αρκετά σπήλαια – σπηλαιοβάραθρα στον Υμηττό κλπ.

Σήμερα το επίπεδο βάσης της καρστικοποίησης έχει προχωρήσει σε πολύ βαθύτερους ορίζοντες του υποβάθρου. Το σημαντικό γεγονός που οδήγησε στην βάθυνση του καρστ είναι η κρίση του Μεσσηνίου (Govers 2009), κάτι το οποίο τοποθετεί τη βάση του καρστ χαμηλότερα από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας. Έτσι, ένα μεγάλο τμήμα του γλυκού νερού εκφορτίζεται ακόμα από υποθαλάσσιες πηγές γύρω από την ακτογραμμή της Αττικής όπως έχει διαπιστωθεί από ερευνητές (Karfakis and Nikolakopoulos 2002). Τμήματα των καρστικών, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας μετά την κρίση του Μεσσηνίου, έκλεισαν δημιουργώντας, όπου αυτό ήταν δυνατό, στεγανά. Κάτι τέτοιο, έχει διαπιστωθεί και σε παράκτιες περιοχές της Σαρδηνίας (Perna 1994).

Το υδρογραφικό δίκτυο της Ανατολικής Αττικής είναι ένα μεικτό ποτάμιο – καρστικό σύστημα. Έτσι κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη και χαρτογράφηση των καρστικών συστημάτων που εμφανίζονται στην περιοχή. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arc Hydro Tools αλλά η προεπεξεργασία του ΨΜΑ ήταν ελαφρά διαφοροποιημένη.

Στην περίπτωση που αναζητούμε καλυμμένες καρστικές επιφάνειες και δομές, το σημαντικό στοιχείο είναι η μη κανονική κίνηση του νερού. Έτσι κατά τη διάρκεια δημιουργίας του ΥΨΜΑ, οι τοπογραφικές βυθίσεις έπρεπε να αναδειχθούν και να αναλυθούν για το αν πρόκειται για λάθη του ΨΜΑ ή για πραγματικές τοπογραφικές βυθίσεις, όπως επίσης και αν αντιπροσωπεύουν καρστικές δομές.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ως προς τα βήματα είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται στα κεφάλαια 4.1.3 - 4.1.5, με μόνη διαφορά ότι τα τμήματα που εμφάνιζαν βυθίσεις και είχαν εμβαδό μεγαλύτερο των 200m<sup>2</sup> δεν εξομαλύνθηκαν αλλά διατηρήθηκαν σε ένα ξεχωριστό θεματικό πεδίο.

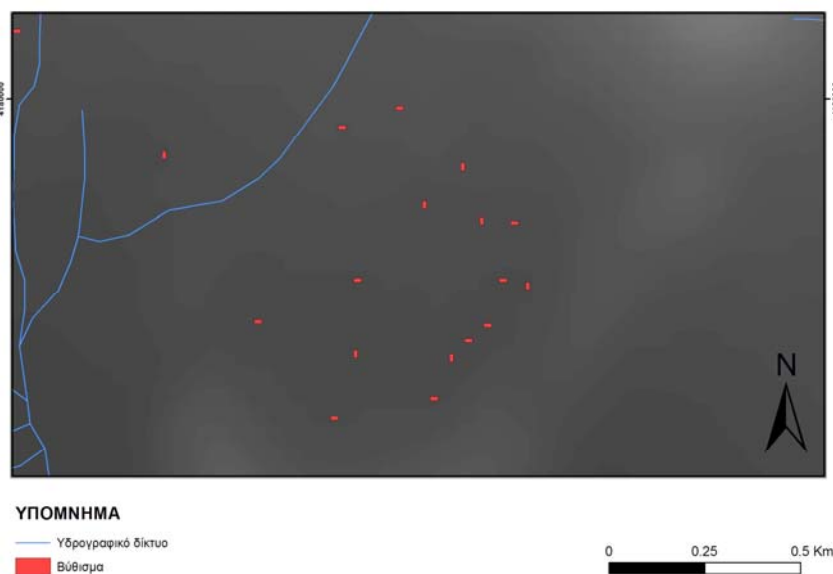


**Εικόνα 134: Εσφαλμένα τμήματα βυθισμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία του ΥΨΜΑ.**

Αυτό που διαπιστώθηκε από την ανάλυση των βυθισμάτων ήταν ότι ένα μεγάλο μέρος των αποτελεσμάτων δεν ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα, με την έννοια ότι η ανάλυση έδινε τοπογραφικά βυθίσματα που εκ φύσεως δεν ήταν δυνατό να

αποδοθούν σε καρστικά. Πολλά σημεία, βρίσκονταν κοντά ή μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο και οφείλονται κυρίως σε τοπικές βυθίσεις από διαφορική διάβρωση αλλά και σε λάθη του ΨΜΑ. Έτσι, χρειάστηκε να θέσουμε στο μοντέλο επεξεργασίας, κάποιους περιορισμούς ώστε τα σημεία που θα λαμβάναμε να ήταν πολύ λιγότερα σε αριθμό και να υπήρχε μεγαλύτερη πιθανότητα αυτά να αντιπροσώπευαν κάποια καλυμμένη καρστική δομή. Το τμήμα που μελετήθηκε ιδιαίτερα, αν και εμφάνιση καρστικών δομών υπάρχει σε όλη την περιοχή, ήταν η παράκτια περιοχή.

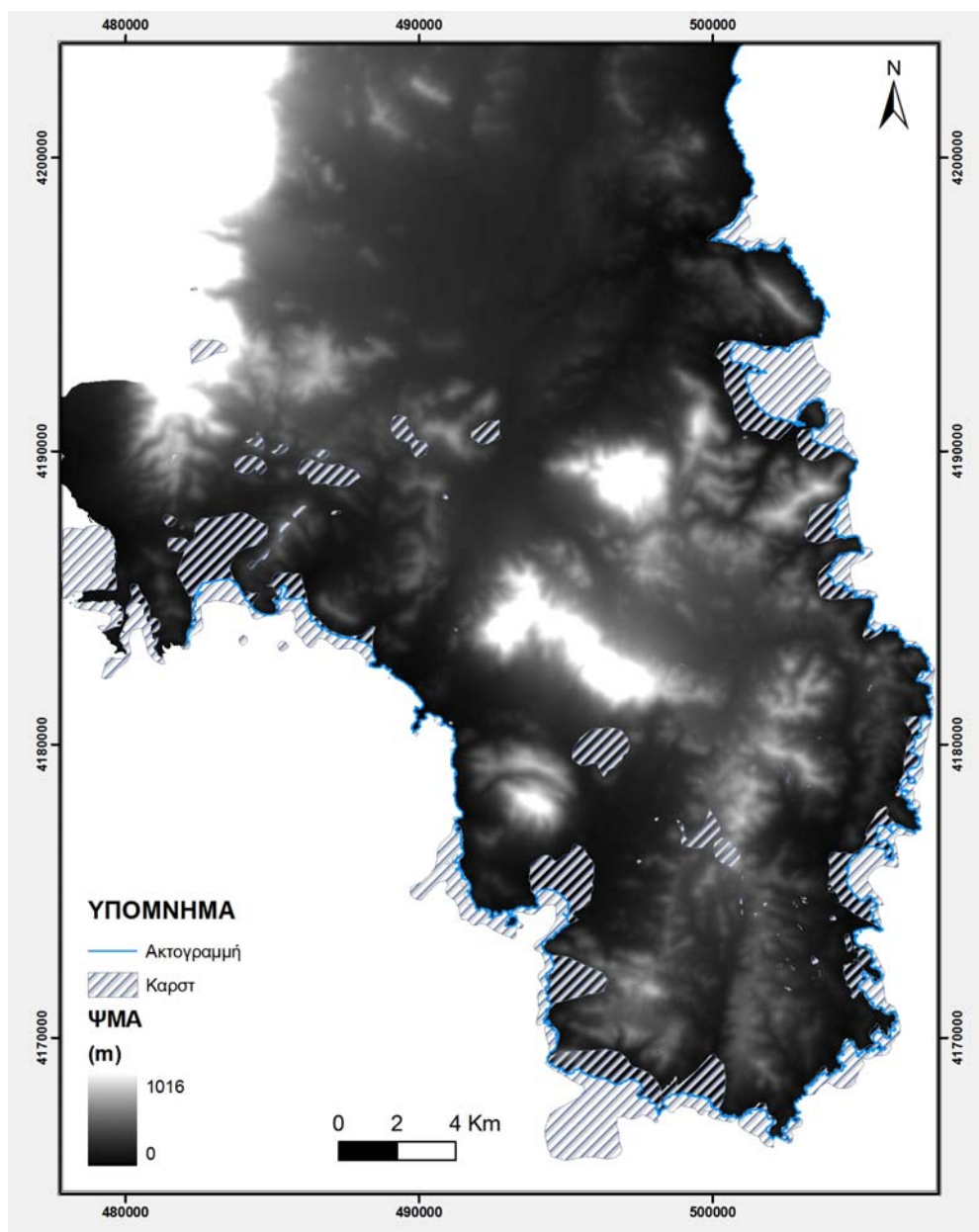
Έτσι οι περιορισμοί που θέσαμε ήταν: (α) τα σημεία να απέχουν τουλάχιστον 300 μέτρα από οποιοδήποτε κλάδο υδρογραφικού δικτύου. Ο περιορισμός αυτός ήταν σημαντικός και εξάλειψε ένα μεγάλο μέρος των σημείων που λάβαμε, (β) τα εναπομείναντα σημεία ομαδοποιήθηκαν σε σύνολα με ακτίνα 500 μέτρων από το κέντρο των σημείων. Με αυτό τον τρόπο ήταν πιο εμφανείς οι περιοχές που θα υπήρχε η πιθανότητα να υπάρχουν καρστικά.



**Εικόνα 135: Πιθανές ενδείξεις καλυμμένων καρστικών δομών ύστερα από την επεξεργασία και ομαδοποίηση των βυθισμάτων. Το τμήμα της εικόνας βρίσκεται μεταξύ Ολύμπου και Πάνειου.**

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση του ΥΨΜΑ, αφού έγινε σύγκριση με την υποκείμενη λιθολογία και τεκτονική δομή, ελέγχθησαν και στην ύπαιθρο. Πράγματι, το σύνολο σχεδόν των βυθισμάτων που εντοπίστηκαν οφειλόταν σε καρστικές διεργασίες διάλυσης. Οι ημικυκλικές μορφές των ακτών και τα βυθίσματα

εσωτερικότερα ελέγχονται κατά κύριο λόγο από τις εντατικές δυνάμεις που έδρασαν και δρουν στην περιοχή.



**Εικόνα 136:** Χάρτης των κύριων καρστικών δομών που εντοπίστηκαν με την ανάλυση του ΨΜΑ.

## 6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η γεωλογία της Αττικής τόσο σε τοπικό επίπεδο, όσο και η γεωτεκτονική ένταξη της στο χώρο των Ελληνίδων, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές. Το χρονικό εύρος των μελετών που αναφέρονται στην Αττική ξεκινά από τις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα (Woods 1822) περιλαμβάνοντας κυρίως αποσπασματικές έρευνες μελετητών που επισκέπτονταν τον Ελληνικό χώρο με ένα ευρύτατο γνωστικό πεδίο που δεν περιοριζόταν μόνο στη γεωλογία και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, χωρίς να έχει υπάρξει ακόμα μία εν γένει συμφωνία από μέρους των ερευνητών ως προς τις λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες των γεωλογικών σχηματισμών, αλλά και για τη γεωτεκτονική ένταξη αυτών.

Κάθε περίοδος μελέτης αντανακλά τις τότε κυρίαρχες απόψεις περί γεωλογίας, του τρόπου σχηματισμού των πετρωμάτων, της κινηματικής και γενικά τις ως τότε επιστημονικές θεωρίες και αντιλήψεις. Αν και ένα μεγάλο μέρος των γραφόμενων που μελετήθηκαν είναι πια παρωχημένο όσο αφορά την γεωλογική ερμηνεία (όχι την παρατήρηση), ο γραφών την παρούσα διατριβή ακολούθησε μέσα από αυτά τα αναγνώσματα, την ιστορία της γεωλογικής σκέψης και την εξέλιξη της, που μας φέρνει στο σήμερα. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις, διατυπώνονται επαναστατικές ιδέες για την εποχή αναφοράς, που έμελλε να μετεξελίξουν τον τρόπο σκέψης των επιστημόνων.

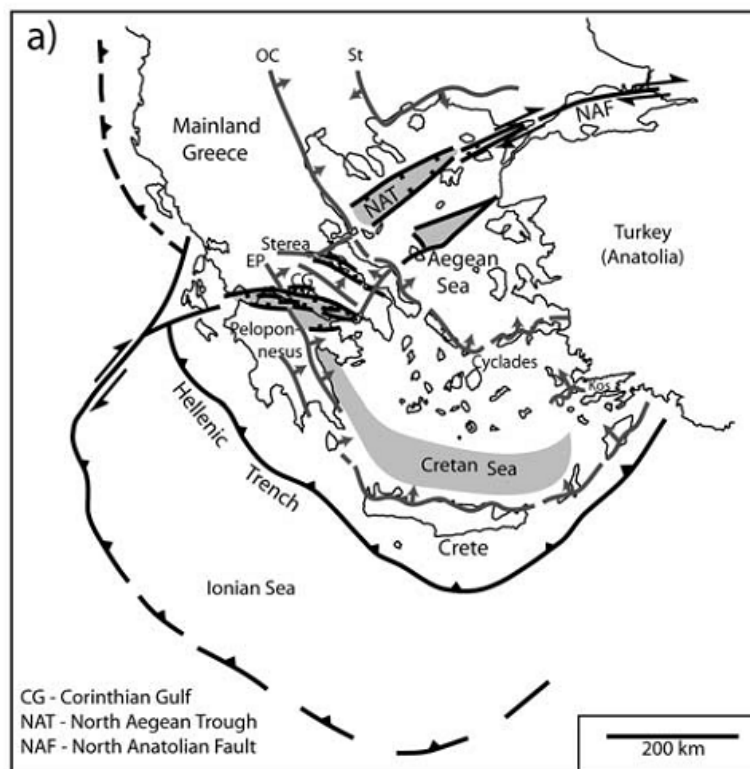
Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, γίνεται μία όσο το δυνατόν ολοκληρωμένη αλλά παράλληλα και συνοπτική αναφορά στα όσα έχουν γραφτεί για την περιοχή μελέτης σε αυτό το μεγάλο χρονικό διάστημα. Έγινε προσπάθεια να ανευρεθούν οι πρωτότυπες εργασίες, κάτι που δεν ήταν δυνατό σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις. Έτσι ορισμένες αναφορές χρησιμοποιούνται από τις αναφορές άλλων συγγραφέων χωρίς να έχει ελεγχθεί η ακρίβεια τους.

Τέλος, με βάση τα νέα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη της περιοχής, γίνεται μία προσπάθεια ερμηνείας της γεωτεκτονικής εξέλιξης της.

## 6.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

## 6.1.1 Σύγχρονες απόψεις για την τεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων

Το Ελληνικό τόξο και η λεκάνη του Αιγαίου είναι σήμερα η πιο τεκτονικά ενεργή περιοχή της Ευρώπης. Οι εφελκυστικές τάσεις που ασκούνται στην περιοχή πίσω από τη ζώνη προσαύξησης επηρεάζουν το Αιγαίο και την Δυτική Ανατολία. Η οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης, όπου καταστρέφεται το τμήμα του Ιουρασικού ωκεάνιου φλοιού, τοποθετείται στη ζώνη Κρήτης - Κύπρου (Robertson 2000).



**Εικόνα 137: Απλοποιημένος χάρτης της σημερινής εικόνας του Ελληνικού τόξου (Paranikolaou and Royden 2007).**

Οι Ελληνίδες αποτελούνται από ένα ορογενετικό σύστημα που έχει βορειοδυτική γενική διεύθυνση και μία ζώνη υποβύθισης με διεύθυνση βορειοανατολική στο Ιόνιο (Εικόνα 137). Η ζώνη υποβύθισης είναι συνεχώς ενεργή από το Ιουρασικό μέχρι σήμερα, μετακινούμενη από τις εσωτερικές Ελληνίδες προς τις Εξωτερικές, με ταυτόχρονη παραλληλία του ηφαιστειακού τόξου και των ορίων υποβύθισης της πλάκας (Jacobshagen 1979). Σε διάφορα τμήματα, οι επωθημένες ενότητες

βρίσκονται σε διάλυση και λέπτυνση, ως αποτέλεσμα των εφελκυστικών δυνάμεων (Paranikolaou 1984). Σε κάποια τμήματα, όπου η ακολουθία των καλυμμάτων δεν έχει διαταραχθεί από νεότερα κανονικά ρήγματα, διακρίνεται μία συνεχής ακολουθία των ενοτήτων, η οποία μας δίνει την προεφελκυστική τεκτονοστρωματογραφία και μία βάση για την αναγνώριση νεότερων εφελκυστικών γεγονότων.

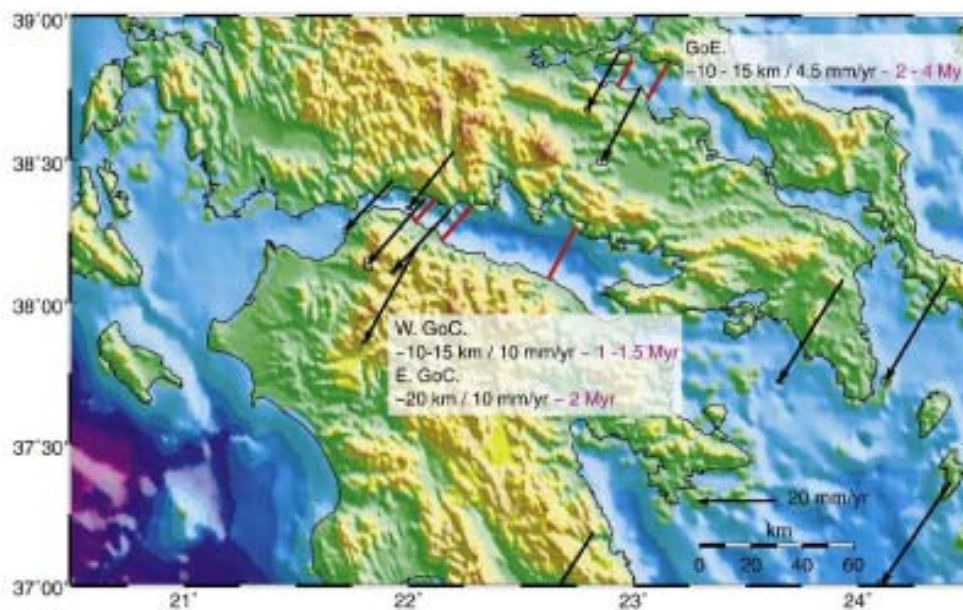
Η οπισθοτόξια έκταση έφτασε στο απόγειο της στις αρχές του Νεογενούς (Tirel, et al. 2009) ενώ η έναρξη της είναι πιθανό να ξεκίνησε μεταξύ Ηώκαινου – Ολιγόκαινου (Forster and Lister 2009). Σχετίζεται με την ελάττωση της ταχύτητας σύγκρουσης των τριών πλακών (Ευρασιατική – Αφρικανική – Αραβική) που έγινε πριν από 30Ma (Jolivet and Faccena 2000). Οι δομές που σχετίζονται με τον εφελκυσμό είναι κανονικά ρήγματα μικρής γωνίας (detachment faults). Τέτοιες δομές εντοπίζονται σε πολλά σημεία του Ελλαδικού χώρου, όπως για παράδειγμα στην Κρήτη, Κύθηρα, Αργολίδα κ.α. Σύμφωνα με τους Paranikolaou και Royden (2007), οι δομές αυτές, με ηλικία τέλος Μειόκαινου, επεκτείνονται στην Πελοπόννησο και στην Στερεά Ελλάδα.

Πριν τα τέλη του 1990, ο χώρος του Αιγαίου, θεωρούνταν ένα ενεργό σύστημα οπισθοτόξιας λεκάνης, πίσω από τη νοτιοανατολικής διεύθυνσης ζώνη υποβύθισης του Ελληνικού τόξου (McKenzie 1972, Le Pichon 1982). Ο εφελκυσμός στη διάρκεια του Ολιγόκαινου μέχρι το τέλος του Μειόκαινου, δημιούργησε μία σειρά λεκανών που ορίζονται κυρίως από τις δομές του τόξου (Paranikolaou 1993). Τα τελευταία χρόνια όμως, μία σειρά δημοσιεύσεων με χρήση δεδομένων από GPS (McClusky and al. 2000, Reilinger and al. 2010), δείχνει ότι το καθεστώς που περιγράφηκε προηγουμένως, δηλαδή ο εφελκυσμός της περιοχής δεν ισχύει για την περίοδο που διανύουμε.

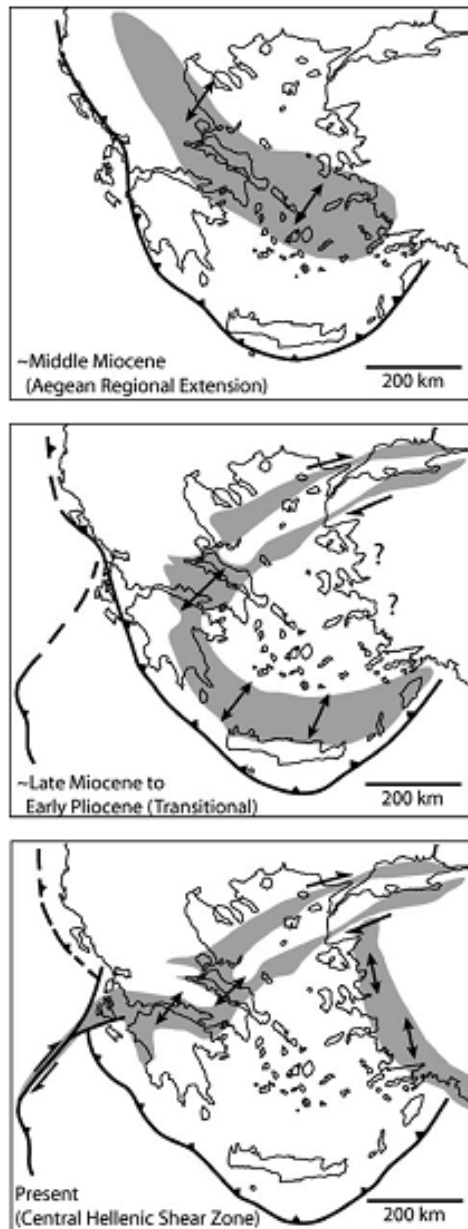
Τα δεδομένα επιφανειακών μετακινήσεων από GPS (>10 χρόνων), έχει διαπιστωθεί ότι έχουν καλό συσχετισμό με τους αντίστοιχους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται με άλλα μέσα, για σχετικά σύντομες περιόδους της γεωλογικής ιστορίας (2 – 3 Ma) (Smith and al. 1990, Kreemer, Holt and Haines 2003). Τα τελευταία δεδομένα από GPS για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου (Reilinger and al. 2010) δείχνουν καλό συσχετισμό με τις μέσες μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί κατά καιρούς για τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια.



Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, η κίνηση του νότιου Αιγαίου και της Πελοποννήσου γίνεται προς νοτιοδυτικά, με πολύ μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Για το μικρό ρυθμό παραμόρφωσης που διαπιστώνεται στο νότιο Αιγαίο, οι ερευνητές υποθέτουν ότι η υποβύθιση της Ευρασιατικής πλάκας γίνεται κυρίως ασεισμικά. Για τον ανατολικό Κορινθιακό, ο εφελκυσμός τα τελευταία 2 εκατομμύρια χρόνια ήταν της τάξης  $10 \pm 2$  mm/year, δηλαδή συνολική έκταση κατά 20 χιλιόμετρα. Για τον Ευβοϊκό Κόλπο ο ρυθμός μετακίνησης υπολογίζεται σε  $4,5 \pm 1$  mm/year με συνολική έκταση 10 – 15 χιλιόμετρα τα τελευταία 1,8 – 4,3 εκατομμύρια χρόνια.



**Εικόνα 138:** Οι κόκκινες γραμμές δείχνουν την εκτίμηση της έκτασης του Κορινθιακού και Εύβοιας (Reilinger and al. 2010). GoC: Κορινθιακός Κόλπος, GoE: Ευβοϊκός Κόλπος.



**Εικόνα 139: Η εξέλιξη του Αιγαίου από το Μέσο Μειόκαινο έως σήμερα (Paranikolaou and Royden 2007)**

### 6.1.2 Γεωτεκτονική ένταξη Αττικής

Οι σημαντικότερες απόψεις σχετικά με την γεωτεκτονική ένταξη των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την Αττική δίνονται παρακάτω σε συντομία:

Κατά τον Jacobshagen (1979) στην περιοχή της Αττικής διακρίνονται η Πελαγονική, την οποία εντάσσει στα Κεντρικά Ελληνικά Καλύμματα και οι εξωτερικές ενότητες των κυανοσχιστόλιθων και των κατώτερων ενοτήτων των

Κυκλάδων, τις οποίες εντάσσει στις ενδιάμεσες κρυσταλλικές μάζες. Κατά τον ίδιο ερευνητή (1994), ο χώρος της Αττικής βρίσκεται σε εφελκυσμό με μεγάλες κατακόρυφες κινήσεις που οφείλονται σε μικρής γωνίας κανονικά ρήγματα (detachment faults) και μεγάλης κλίμακας διατμητικές τάσεις στη λιθόσφαιρα, πάνω σε παλαιότερες δομές.

Κατά τον Μουντράκη (1983), η Αττική δομείται από σχηματισμούς που εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ζώνες Αττικοκυκλαδικής και Υποπελαγονικής. Η πρώτη καταλαμβάνει το ανατολικό περιθώριο, ενώ η δεύτερη, επωθημένη στην πρώτη, το δυτικό.

Κατά τον Παπανικολάου (1986b) η Αττική δομείται από σχηματισμούς που εντάσσονται στην Ανατολική Ελλάδα (Υποπελαγονική για άλλους), οι οποίοι καταλαμβάνουν το δυτικό τμήμα της και στις ενότητες Λαυρίου και Αττικής που καταλαμβάνουν το ανατολικό. Οι ενότητες αυτές βρίσκονται σε τεκτονική μεταξύ τους σχέση, με υποκείμενη (εξωτερικότερη) την ενότητα της Αττικής. Η ενότητα Λαυρίου αποτελεί το αλλόχθονο της Αττικής, ενώ το βόρειο τμήμα της Αττικής διαφοροποιεί την υπερκείμενη τεκτονικά σειρά Αλμυροπόταμου και Κερκετέα, την οποία και θεωρεί ως σχετικά αυτόχθονη ενότητα.

Κατά τον Μιγκίρο (1991) στην περιοχή της Αττικής διακρίνεται: η ενότητα Ολύμπου – Αλμυροπόταμου – Αττικής, η οποία αντιστοιχεί με τη ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, η Αττικοκυκλαδική ενότητα, η οποία αντιστοιχεί με τη ζώνη της Πίνδου και η Υποπελαγονική, η οποία κύρια εκφράζεται τόσο με Μαλιακούς σχηματισμούς, όσο και με Βοιωτικούς, οι οποίοι εμφανίζονται μόνο στα δυτικά περιθώρια της περιοχής.

Κατά τον Κατσικάτσο (1992, 1986, 2002) η Αττική δομείται από τους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης (μη μεταμορφωμένη), επωθημένοι στους εξωτερικότερους σχηματισμούς του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος και της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροπόταμου – Αττικής.

Ο Λόζιος (1993), δέχεται το γενικό πλαίσιο που εντάσσει ο Παπανικολάου (1986a, 1986b, 2004), και άλλοι ερευνητές (Durr, et al. 1978) την Αττική, ενώ στην περιοχή που μελέτησε διέκρινε δύο ενότητες: μια σχετικά αυτόχθονη ενότητα, που την

ονόμασε ενότητα Βορειανατολικής Αττικής, η οποία διαιρείται στην ενότητα Μαραθώνα – Αγ. Μαρίνας και αποτελεί τμήμα της ενότητας Ολύμπου – Αλμυροπόταμου – Κερκετέα (κατά Παπανικολάου) και στην ενότητα Πεντέλης – Γραμματικού και μια αλλόχθονη ενότητα κυανοσχιστόλιθων, που την ονομάζει ενότητα Αγίου Γεωργίου και πιθανολογεί αντιστοιχισή με την ενότητα Λαυρίου (κατά Παπανικολάου).

Ο Παπαδέας, με μία σειρά παλαιότερων δημοσιεύσεων (1969, 1973) αλλά και νεότερων (1986, 1987, 1991), διαφοροποιείται κατά πολύ από τους υπόλοιπους ερευνητές. Θεωρεί ότι το σύνολο των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής αποτελούν μια πλευρική μετάβαση στην αμεταμόρφωτη Πάρνηθα και όλα μαζί έρχονται με επίκλυση σε προαλπικό υπόβαθρο. Αν και η θεώρηση του για την γεωτεκτονική ένταξη της Αττικής, ακόμα και στις τελευταίες δημοσιεύσεις του, βασίζεται σε αντιλήψεις ερευνητών της δεκαετίας του '50, ο Παπαδέας δεν παύει να έχει συλλέξει ένα πλήθος πληροφοριών, μετρήσεων, παρατηρήσεων, αναλύσεων, με μεγάλη επιμέλεια που πάρα πολλοί θα ζήλευαν. Το μόνο «πρόβλημα» που φαίνεται να διαπιστώνεται είναι η χρονολόγηση που δίνει για τους σχηματισμούς της Αττικής.

### **6.1.3 Λιθοστρωματογραφία**

#### **6.1.3.1 Αλπικοί σχηματισμοί**

Όπως αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου, οι γεωλογικές παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, αρχίζουν από τις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα. Πριν από την χαρτογράφηση του Lepsius, ένα αριθμός επιστημόνων της εποχής, έδωσαν την αρχική εικόνα των πετρωμάτων που δομούν την Αττική γη, με αποσπασματικό τρόπο (Woods 1822, Boblaye and Virlet 1833, Linder Mayer 1862, Bittner 1880, Κορδέλλας 1883, Steinmann 1890).

Η περίοδος έναρξης της συστηματικής μελέτης της Αττικής, ξεκινά με το έργο του Lepsius (1893), ο οποίος πραγματοποίησε ένα σημαντικό πόνημα για την εποχή. Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση που πρότεινε για την Αττική, αποτέλεσε τη βάση για τους επόμενους ερευνητές, που στο μεγαλύτερο μέρος την έκαναν αποδεκτή. Κατά τον Lepsius η ενότητα Αττικής αναλύεται στους παρακάτω σχηματισμούς:

- *Προκάμβριοι*: Σχιστόλιθοι Βάρης, Δολομίτες και Σχιστόλιθοι Πιρναρής, Κατώτερο Μάρμαρο, Σχιστόλιθοι Καισαριανής, Ανώτερο Μάρμαρο.
- *Ιουρασικοί – Κάτω Κρητιδικοί*: Κατώτερη Ασβεστολιθική βαθμίδα από ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους (στρώματα Καρά κατά Bucking (1884)), τα οποία θεωρεί ότι επικάθονται ασύμφωνα των προηγούμενων.
- *Κρητιδικοί*: Σχιστόλιθοι των Αθηνών με τράπεζες ασβεστόλιθων, Ανώτεροι ασβεστόλιθοι που υπέρκεινται ασύμφωνα των προηγούμενων σχηματισμών.

Στο πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ασχολήθηκε με τη μελέτη της περιοχής ένας σημαντικός αριθμός Ελλήνων και ξένων ερευνητών, βασισμένοι κυρίως στην λιθοστρωματογραφία του Lepsius, διαφοροποιώντας την μερικώς και κατά περίπτωση (Negris 1912, 1915, Ktenas 1907, 1917, 1919, Sindowski 1949, Trikkalinos 1935, 1936, 1948, 1950a, 1950b, 1954, Παρασκευόπουλος 1956a, 1956b, 1957, 1963).

Οι Μαρίνος και Petrascheck (1956), ύστερα από λεπτομερή μελέτη της περιοχής και ιδιαίτερα αυτής του Λαυρίου προτείνουν μία αντιστοίχιση των σχηματισμών της Λαυρεωτικής με αυτούς της Αττικής που πρότεινε ο Lepsius, μόνο με τις κατώτερες βαθμίδες του τελευταίου, ενώ οι μεταϊζηματογενείς σχηματισμοί των Αθηνών ούτε ταυτίζονται, ούτε συσχετίζονται με τις αντίστοιχες ανώτερες βαθμίδες της Λαυρεωτικής. Γενικά, διακρίνουν τους σχηματισμούς της Λαυρεωτικής σε δύο ομάδες:

- Το *αυτόχθονο σύστημα*. Περιλαμβάνει αλληπάλγηλα στρώματα μαρμάρων, δολομιτών και σχιστόλιθων σε συμφωνία μεταξύ τους που αντιστοιχούν στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο του Lepsius (Σχιστόλιθοι Βάρης – Ανώτερο Μάρμαρο).
- Το *επωθημένο κάλυμμα*. Περιλαμβάνει κυρίως φυλλίτες και χαλαζίτες με τράπεζες μαρμάρου, που αντιστοιχούν στους Σχιστόλιθους των Αθηνών και στην Ανώτερη Ασβεστολιθική βαθμίδα του Lepsius.

Με βάση την εργασία αυτή, διατυπώθηκαν νέες απόψεις σχετικά με την στρωματογραφία και δομή της περιοχής από τους Κατσικάτσο (1977) και Clement (1982).

Κατά τον Παπανικολάου (1986b), οι κύριες ενότητες σχηματισμών είναι:

- Η *Ενότητα Αττικής*, που αποτελεί και την κατώτερη τεκτονικά ενότητα, πάνω στην οποία βρίσκονται επωθημένες διάφορες άλλες τεκτονικές ενότητες, όπως της Ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και του Αλμυροπόταμου. Είναι μεταμορφωμένη και έντονα παραμορφωμένη με αρχικές πτυχωσιγενείς δομές σε διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ και νεότερες σε ΒΔ – ΝΑ (Μαριολάκος 1971, Mariolakos and Papanikolaou 1973) και αποτελείται από μεγάλη μάζα μαρμάρων, συχνά δολομιτικών και από μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς, κλπ. σχιστόλιθους με λεπτούς ορίζοντες ενδιάμεσων μαρμάρων. Μέσα στους σχιστόλιθους, υπάρχουν και βασικά – υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα. Η στρωματογραφική στήλη παραμένει περίπου όπως την καθόρισε ο Lepsius, στην περιοχή του Υμηττού με: (α) Σχιστόλιθους Βάρης στη βάση, (β) Δολομίτες Πιρναρής, (γ) Κατώτερο Μάρμαρο, (δ) Σχιστόλιθοι ως Κατώτερο Μάρμαρο.
- Η *ενότητα της Λαυρεωτικής*, επωθημένη σε αυτή της Αττικής. Η ενότητα Λαυρεωτικής αντιστοιχεί στην αλλόχθονη ενότητα της Λαυρεωτικής (Μαρίνος and Petrascheck 1956) που περνά σταδιακά στην «αλλόχθονη» ενότητα Αθηνών, λιγότερο μεταμορφωμένη από την πρώτη. Χαρακτηρίζεται από την αδυναμία καθορισμού συγκεκριμένης στρωματογραφικής κολόνας για αυτό και υπάρχουν πολλές αντιθέσεις (Μαρίνος et al. 1971, 1973, Τάταρης 1972, Παρασκευαΐδης και Χωριανοπούλου 1978, Paraskevoroulos 1963). Περιέχει πολλούς ολισθόλιθους και τεκτονικές σφήνες με μεγάλη ποικιλία λιθοτύπων που της δίνουν τα χαρακτηριστικά ενός τεκτονικού μίγματος. Επίσης υπάρχει μια ψαμμιτοπηλιτική μεταμορφωμένη μάζα (εν μέρει Κρητιδικής ηλικίας) που περιέχει διάφορης ηλικίας και σύστασης τεμάχη (Τριαδικούς ασβεστόλιθους, Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, βασικά εκρηξιγενή). Στην οροφή της ενότητας παρατηρούνται ασβεστόλιθοι του Ανωκρητιδικού (Lepsius 1893, Ktenas 1907, Lelew and Newmann 1969), τόσο στην Αθήνα (Ακρόπολη, Λυκαβηττός, Τουρκοβούνια), όσο και στο Λαύριο (περιοχή Μπερτζέκο). Οι πιο χαρακτηριστικοί λιθότυποι στο Λαύριο είναι οι σερικιτικοί – χλωριτικοί σχιστόλιθοι, που έχουν μέσα τους μεταβασάλτες και μεταγάββρους με κυανοσχιστολιθικού τύπου παραγενέσεις. Σε ό,τι αφορά στην τεκτονική δομή κυριαρχούν οι εγκάρσιες δομές με γενική διεύθυνση γράμμωσης και μικροπτυχών Α-Δ. Σε νεότερες δημοσιεύσεις

(Παπανικολάου and συνεργάτες 2002, 2004) η ενότητα Αθηνών διαχωρίζεται σε δύο λιθολογικές επιμέρους ενότητες: (α) με λευκούς γκριζωπούς και καστανόχρωμους άστρωτους έως παχυστρωματώδεις νηριτικούς ασβεστόλιθους κατά θέσεις δολομιτιωμένους, με τρηματοφόρα και θραύσματα ρουδιστών, ηλικίας Σενωνίου και (β) ένα σύνθετο σύστημα που αντιστοιχεί στους σχιστόλιθους Αθηνών (Μαρίνος, και συν. 1971).

Κατά τον Κατσικάτσο (1992, 2002) η ενότητα Αττικής αποτελείται από μια μεγάλου πάχους σειρά Μεσοζωικών μέχρι και Μεσοηωκαινικών μαρμάρων με παρεμβολές σχιστόλιθων. Τα μάρμαρα της ενότητας Αλμυροπόταμου – Αττικής είχαν θεωρηθεί παλαιότερα, ως μέλη της Αττικοκυκλαδικής μάζας και είχε δοθεί σε αυτά ηλικία παλαιοζωική ή και προπαλαιοζωική. Είναι συνήθως αδροκρυσταλλικά, τεφρά έως λευκότεφρα ενώ κατά θέσεις παρουσιάζονται λευκά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και σε μερικές περιπτώσεις άστρωτα, έντονα καρστικά, με αποτέλεσμα συχνά στις ζώνες διάρρηξης τους να έχουν σχηματίσει μεγάλες καρστικές μορφές. Μέσα στα μάρμαρα, εκτός από τις σχιστολιθικές ενστρώσεις, απαντώνται και παρεμβολές δολομιτιωμένων μαρμάρων. Οι σχιστόλιθοι της ενότητας αυτής, τόσο των ενστρώσεων της Μεσοζωικής – Μεσοηωκαινικής ανθρακικής σειράς, όσο και του μεταφλύσχη, είναι πετρώματα ιζηματογενούς προέλευσης, που έχουν μεταμορφωθεί στην πρασινοσχιστολιθική φάση και είναι, κυρίως, μοσχοβιτικοί, ασβεστιτικοί, χλωριτικοί και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι.

Οι σχηματισμοί αυτοί απαντώνται τόσο στη νότια Εύβοια (Σειρά Αλμυροπόταμου), όσο και στην Αττική (Σειρές Αττικής), όπου αυτοί εμφανίζονται με μορφή ενός μεγάλου τεκτονικού παραθύρου, το οποίο στην περιοχή της νότιας Αττικής, συνοδεύεται από μικρότερα τεκτονικά παράθυρα. Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής στην περιοχή του νομού της Αττικής, με βάση απολιθώματα που βρέθηκαν σε μάρμαρα (κυρίως στην περιοχή της Νότιας Εύβοιας) και λιθοστρωματογραφικά συγκριτικά δεδομένα, διακρίνονται στις ακόλουθες λιθοστρωματογραφικές σειρές:

- *Σειρά Βορειοανατολικής Αττικής:* Καταλαμβάνουν σχεδόν ολόκληρη την περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής, μέχρι και την Πεντέλη, διαμορφώνοντας ένα μεγάλο αντίκλινο αξονικής διεύθυνσης BBA – NNΔ, το οποίο συνεχίζεται και στην

περιοχή του Υμηττού. Η σειρά αυτή διακρίνεται, από κάτω προς τα πάνω, σε επτά λιθοστρωματογραφικούς ορίζοντες: (α) τα Μάρμαρα Πεντέλης, (β) τους Σχιστόλιθους Διονύσου, (γ) τα Μάρμαρα Γραμματικού, (δ) τους Σχιστόλιθους Μαραθώνα, (ε) τα Μάρμαρα Μαραθώνα, (στ) τους Σχιστόλιθους Ραμνούντας και (ζ) τα Μάρμαρα Αγίας Μαρίνας.

- *Σειρά Υμηττού – Νότιας Αττικής*: η σειρά παρουσιάζει διαφορές τόσο στη σειρά σχηματισμών με αυτήν της Βορειοανατολικής Αττικής, όσο και από τη σειρά Αλμυροπόταμου, γι' αυτό και διαχωρίζεται. Διακρίνεται, από κάτω προς τα πάνω, σε πέντε λιθοστρωματογραφικούς ορίζοντες: (α) τους Σχιστόλιθους Βάρης, (β) τους Δολομίτες Πιρναρής, (γ) το Κατώτερο Μάρμαρο, (δ) τους Σχιστόλιθους Καισαριανής και (ε) το Ανώτερο Μάρμαρο.

Οι σχηματισμοί του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος (Κυανοσχιστόλιθων) βρίσκονται επωθημένοι στις σχετικά αυτόχθονες σειρές της Αττικής. Παλαιότεροι ερευνητές (Lepsius 1893, Kober 1929) είχαν δώσει επικλυσιογενή χαρακτήρα στην επαφή αυτή, ενώ οι Μαρίνος και Petrascheck (1956), θεώρησαν ότι είναι ένα τεκτονικό κάλυμμα επωθημένο στις σχετικά αυτόχθονες ενότητες.

Το συνολικό πάχος των σχηματισμών του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος στη νότια Αττική υπερβαίνει τα 800 μέτρα. Αποτελείται, κυρίως, από φυλλίτες, σερικιτικούς και χαλαζιακούς σχιστόλιθους και χαλαζίτες, με παρεμβολές μεταμορφωμένων βασικών εκρηξιγενών (πρασινιτών). Επίσης, σε αυτούς απαντώνται ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστόλιθων ποικίλου πάχους, κυρίως στα ανώτερα μέλη των σχηματισμών, που σε μερικές θέσεις διαμορφώνουν ένα χωριστό ευδιάκριτο ορίζοντα, ο οποίος παρουσιάζει ορισμένες ομοιότητες με τον ορίζοντα των Μαρμάρων – Σιπολινών Στύρων, της νότιας Εύβοιας. Επίσης, κατά θέσεις, στους σχηματισμούς του Νεοελληνικού καλύμματος παρατηρήθηκαν μικρά σώματα σερπεντινιτών. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των σχηματισμών του τεκτονικού καλύμματος της Νότιας Αττικής είναι η παρουσία σε αυτούς του γλαυκοφανή, ο οποίος, ως γνωστό, δίνει χαρακτήρα HP/LT μεταμόρφωσης.

Παρακάτω αναφέρουμε συνοπτικά τις διάφορες επιμέρους θεωρίες που έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς:



Ο Νέγρης (1912, 1915, 1919), θεωρεί ότι οι σχιστόλιθοι Αθηνών είναι η συνέχεια των σχιστόλιθων Υμηττού αλλά τους διαχωρίζει από το σύστημα φυλλιτών και σχιστόλιθων του Λαυρίου. Θεωρεί επίσης ότι τα κροκαλολατυποπαγή που εμφανίζονται στη βάση των ανθρακικών λόφων του λεκανοπεδίου των Αθηνών, είναι τεκτονικής προέλευσης.

Ο Κτενάς (1927), εντάσσει την Αττική στην Αττικοκυκλαδική κρυσταλλική μάζα και την αντιστοιχεί με το ενδιάμεσο σύστημα  $M_2$ , από τα συνολικά τρία που διακρίνει ανάλογα με το βαθμό μεταμόρφωσης. Θεωρεί ότι τα πρασινοσχιστολιθικά πετρώματα που εμφανίζονται μέσα στους σχιστόλιθους Αθηνών, σχηματίστηκαν πριν την απόθεση των σχιστόλιθων, αποτέλεσμα μίας ηφαιστειακής δραστηριότητας στην περιοχή της Λαυρεωτικής (Ιουρασικό ή Παλιοκρητιδικό).

Ο Kober (1929), διατύπωσε την άποψη ότι τα τεκτονικά καλύμματα της Αττικοκυκλαδικής είναι επωθημένα στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Αττικής, σχηματίζοντας ένα τεκτονικό παράθυρο. Δίνει μία διαφοροποιημένη στρωματογραφία και ερμηνεία από αυτή του Lepsius.

Οι Blumenthal (1931) και Kieslinger (1933) δέχονται τη γενική άποψη που διατύπωσε ο Kober αλλά ο πρώτος αμφισβητεί τις ηλικίες των σχηματισμών που δίνει, ενώ ο δεύτερος θεωρεί τεκτονικά τα κροκαλολατυποπαγή που εμφανίζονται στη βάση των κρητιδικών ανθρακικών πετρωμάτων, συντασσόμενος με την άποψη του Νέγρη.

Ο Τρικκαλινός (1936) διαφωνεί με το μοντέλο του Kober και συσχετίζει τους δολομιτικούς ασβεστόλιθους της Καισαριανής με αυτούς της Πάρνηθας, εντάσσοντας τους μαζί με τα ανθρακικά του λεκανοπεδίου. Επίσης, λόγω των πολλών εναλλαγών μαρμάρων και σχιστόλιθων στην περιοχή της Πεντέλης, αν ίσχυε το μοντέλο του Kober θα έπρεπε να υπάρχουν περισσότερα (1950b). Όσο αφορά τον Lepsius, δεν αποδέχεται την θεωρία του λέγοντας ότι η εικόνα της Αττικής είναι μία «επαλληλία μαρμάρων και σχιστόλιθων».

Ο Sindowski (1949) αποδέχεται γενικά τον Lepsius αλλά διαχωρίζει τους σχιστόλιθους Αθηνών από τους φυλλίτες της νοτιοανατολικής Αττικής. Επίσης, διακρίνει τρία μέλη στα πετρώματα του λεκανοπεδίου (1951) και συσχετίζει τους

Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους με την σχιστοκερατολιθική διάπλαση με σερπεντίνες της Ανατολικής Ελλάδας. Δέχεται την αλλόχθονη προέλευση των λόφων της Αθήνας αλλά ταυτόχρονα δίνει πιθανότητα και στην υπόθεση αυτόχθονης δημιουργίας τους.

Ο Philippson (1952) συμφωνεί με τον Bluementhal ως προς την τεκτονική θέση των λόφων του λεκανοπεδίου πάνω στους Σχιστόλιθους Αθηνών.

Ο Παρασκευόπουλος (1956a, 1956b) δέχεται τη στρωματογραφία του Lepsius και διαχωρίζει τους σχιστόλιθους και γνεύσιους της Πεντέλης με αυτούς της Καισαριανής που εμφανίζονται στον Υμηττό.

Ο Τάταρης (1972) συσχετίζει τους Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους με την σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους.

Οι Leleu και Neumann (1969) αποδέχονται εξ ολοκλήρου τον Lepsius, αλλάζοντας μόνο κάποιες ηλικίες εν μέρει.

Ο Παπαδέας (1973, 1986, 1991) συγκρίνει τα αμεταμόρφωτα της Πάρνηθας με τα μεταμορφωμένα της Αττικής χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τις χρονολογήσεις. Η στρωματογραφία που παραθέτει είναι μια εναλλαγή μαρμάρων – σχιστόλιθων και γνεύσιων με ηλικίες παλαιότερες του Μέσου Λιθανθρακοφόρου μέχρι το Τριτογενές. Τα μεταμορφωμένα μεταβαίνουν πλευρικά στα αμεταμόρφωτα της Πάρνηθας. Εντοπίζει τέσσερις κύριες ασυμφωνίες που τις τοποθετεί σε σχέση με τη Βαρίσκια και Αλπική ορογένεση: η πρώτη στο Άνω – Μέσο Λιθανθρακοφόρο στο Μαραθώνα, στη βόρεια Πεντέλη και στο Λαύριο, μία στο Πέρμιο – Τριαδικό στο Μαραθώνα και Λαύριο, μία στο Τριαδικό – Ιουρασικό στο Λαύριο και μία τελευταία στο Άνω Κρητιδικό στη βορειοανατολική Αττική, στο δυτικό Υμηττό και στο Λαύριο.

Ο Μαριολάκος (1971), μελετώντας τον Υμηττό, διαπιστώνει ότι οι Σχιστόλιθοι Καισαριανής μπορεί να βρίσκονται κάτω από το Κατώτερο Μάρμαρο του Lepsius ή να αποτελούν πλευρική εξέλιξη του συστήματος του Κατώτερου Μάρμαρου. Μαζί με τον Παπανικολάου (1973) καταλήγουν σε αντίστοιχες παρατηρήσεις για την περιοχή της Πεντέλης, δηλαδή της φασικής και όχι στρωματογραφικής διαφοροποίησης των σχιστόλιθων στην περιοχή.

Οι Παρασκευαΐδης και Χωριανοπούλου (1978) στην εργασία τους για την περιοχή του ανατολικού Αιγάλεω προσομοιάζουν τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο με φλύσχη τύπου Ανατολικής Ελλάδας και για τους ανθρακικούς λόφους υποστηρίζουν ότι αυτοί αποτελούν φακούς μέσα στο φλυσχικό σύμπλεγμα.

Οι Δούνας και Γαϊτανάκης (1981), χωρίζουν το δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου της Αθήνας σε δύο συστήματα. Το πρώτο, το «αυτόχθονο» και συνίσταται σε ιζήματα τύπου φλύσχη και ασβεστόλιθους ηλικίας Μαιστρίχτιο – Ηώκαινο, ενώ το δεύτερο αποτελείται από σερπεντινωμένους περιδοτίτες ηλικίας Ιουρασικού, που έρχεται ασύμφωνα πάνω σε Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους.

Ο Κατσαβριάς (1990) θεωρεί μια νέα, άγνωστη μέχρι σήμερα, ισοπική σειρά στην περιοχή Λαύριο – Δασκαλιό – Άγιος Κωνσταντίνος Λαυρίου, που αντιπροσωπεύει μία ζώνη Εσωτερικών Ελληνίδων, με ραδιολαρίτες και οφιόλιθους και πάνω στα οποία έρχονται με επίκλυση λατυποπαγή, μαργαϊκοί και πλακώδεις ασβεστόλιθοι με silex Ανωκρητιδικής ηλικίας.

Η Kessel (1990, 1990b), μελέτησε τις περιοχές Πεντέλης, Υμηττού και Λαυρίου, δίνοντας στοιχεία για τη σχέση των λιθολογικών σχηματισμών, βάζοντας το ερώτημα κατά πόσο το αλλόχθονο κάλυμμα είναι πράγματι αλλόχθονο ή ανήκει στην ίδια ενότητα με το αυτόχθονο αφού παρουσιάζει κοινή τεκτονομεταμορφική εξέλιξη με αυτό.

Ο Αλεξόπουλος (1998) αναφέρει στο ανατολικό τμήμα του Υμηττού, 6 χιλιόμετρα νότια του Κορωπίου, υπολείμματα ολιγοκαινικής μόλασσας υπερκείμενα των αλπικών σχηματισμών.

Οι Λέκκας και Λόζιος (2000) αναφέρουν ότι η σχετικά αυτόχθονη ενότητα Αττικής χωρίζεται σε δύο επιμέρους ενότητες: αυτή της Βάρης – Κίρου Πήρα με τους σχιστόλιθους Βάρης, τους δολομίτες Πιρναρής και την ενότητα Υμηττού που περιλαμβάνει το Κατώτερο Μάρμαρο, τους σχιστόλιθους Καισαριανής και το Ανώτερο μάρμαρο.

Η Αντωνίου (2000) ενοποίησε τους σχηματισμούς που αναφέρονται βιβλιογραφικά από προγενέστερους ερευνητές, δίνοντας ομαδοποιημένες λιθοστρωματογραφικές ενότητες των βασικών στρωματογραφικών ακολουθιών.

Η Μπάσση (2004) αναφέρει συσχετισμό των παραπάνω σχηματισμών στο Πάνειο όρος, όπου διαχωρίζει τρεις μεταμορφωμένες λιθολογικές ενότητες με τεκτονική σχέση μεταξύ τους. Η κατώτερη ενότητα, στο δυτικό τμήμα του βουνού, είναι εναλλαγές μαρμάρου – σχιστόλιθων όπου περνούν σε δολομιτωμένα μάρμαρα πιθανής Τριαδικής ηλικίας. Η ανώτερη ενότητα αποτελείται από HP/LT φάσης σχιστόλιθους με πρασινίτες.

Οι Φωτιάδης και Καρράς (2001), δίνουν μία κατώτερη μεταμορφωμένη ενότητα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας που ανήκει στην Πελαγονική, μία ασυνέχεια που σχετίζεται με την Ηωελληνική ορογενετική φάση και μία μη μεταμορφωμένη μετάβαση στο Τιθώνιο με Κατώτερο Κρητιδικό με τη μορφή καλύμματος. Πάνω από την κατώτερη ενότητα εμφανίζεται το «κάλυμμα φυλλιτών» με τμήματα μιας μη μεταμορφωμένης υπερκείμενης Πελαγονικής ενότητας.

Ο Μπαζιώτης (2008) μελετά το μεταμορφωμένο σύστημα της ανατολικής Αττικής και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (κατά Μαρίνο και Petrascheck) έχει παρόμοια πορεία ανάδυσης με την ενότητα των κυανοσχιστόλιθων των Κυκλάδων με τη μόνη διαφορά ότι η πρώτη αναδύθηκε από μικρότερα βάθη (>30km). Η Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα τοποθετείται σε ένα περιβάλλον οπισθοτόξιας λεκάνης ή στο εσωτερικό μίας ωκεάνιας πλάκας. Η Κατώτερη τεκτονική Ενότητα εμφανίζεται να έχει αναδυθεί από μεγαλύτερο βάθος (45 – 50km) και τοποθετείται σε ένα εξελισσόμενο τεκτονικό περιβάλλον έως οπισθοτόξια λεκάνη.

#### 6.1.3.2 Μεταλικοί σχηματισμοί

Οι μεταλπικές λεκάνες της Αττικής, παρουσιάζονται σχεδόν πάντα ανοικτές προς τη θάλασσα και είναι αποτέλεσμα της ρηξιγενούς νεοτεκτονικής που έδρασε και σε κάποια σημεία εξακολουθεί να δρα στην περιοχή. Οι σημαντικότερες λεκάνες που εμφανίζονται στην Αττική είναι οι ακόλουθες:

- *Λεκάνη Θηβών*: με διεύθυνση Α - Δ. Διατάσσεται παράλληλα στις κύριες ρηξιγενείς δομές και έχει ως όρια τους ορεινούς όγκους του Κιθαιρώνα και Πάρνηθας.
- *Λεκάνη Μεγάρων - Ελευσίνας*: ορίζεται από βόρειες και βορειοανατολικές ρηξιγενείς δομές. Οριοθετείται από τα Γεράνεια, το όρος Πατέρας, Αιγάλεω και Σαλαμίνα.
- *Λεκάνη Αθηνών*: Οριοθετείται από το όρος Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό. Ακολουθεί βόρειες και βορειοανατολικές ρηξιγενείς δομές.
- *Λεκάνη Σπάτων*: είναι η λεκάνη που οριοθετείται από τον Υμηττό, Πεντέλη, Πάνειο και είναι ανοιχτή προς ανατολή. Οι ρηξιγενείς δομές έχουν ποικίλες διευθύνσεις με κυριότερες ΒΔ έως ΒΑ αλλά και Α - Δ.

Το περιβάλλον σχηματισμού των μεταλπικών αποθέσεων παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις, που οφείλονται κυρίως στην ρηξιγενή εξέλιξη των επιμέρους λεκανών.

Ο Lepsius (1893), δίνει την ακόλουθη στρωματογραφική ακολουθία: στο Τριτογενές τοποθετεί τους ασβεστόλιθους Ανώτερης Βαθμίδας, την Κατώτερη Βαθμίδα και τα στρώματα του Πικερμίου ως Ανώτερη Βαθμίδα. Στο Τεταρτογενές κάνει τον διαχωρισμό διλούβιων, αλλούβιων.

Ο Χαραλαμπάκης (1952) αναφέρει ότι μόνο στο νότιο τμήμα της Αττικής εμφανίζονται θαλάσσιες αποθέσεις στο Πλειόκαινο.

Ο Παπαχατζής (1980) αναφέρει για τα Μεσόγεια ασύμφωνη απόθεση των Πικερμικών σχηματισμών στα παλαιότερα στρώματα, όπως επίσης σημειώνει πιθανή επίκλυση τμημάτων της λεκάνης των Μεσογείων. Όσο αφορά τις διλουβιακές αποθέσεις του Lepsius, τις χωρίζει σε τρεις ομάδες: (α) *διλουβιακά στρώματα εντός των κοιλάδων των νοτίων υπωρειών του Πεντελικού*, με διαφοροποίηση στο χρώμα και στην ορυκτολογική σύσταση. Τα βαθύτερα στρώματα έχουν αποτεθεί επί των τριτογενών στρωμάτων και αποτελούνται από κροκάλες σχιστόλιθων, μάρμαρα, χαλαζία και ασβεστόλιθο. Τα παραπάνω ακολουθούν σε συμφωνία μία άλλη ομάδα, που ξεχωρίζει από την πρώτη από το είδος του υλικού (μικρότερες σε μέγεθος κροκάλες διαφορετικού χρώματος). Αιτιολογεί τη διαφοροποίηση αυτή στην

επίδραση εξωγενών παραγόντων που απομάκρυναν τα οξειδία του σιδήρου με απόπλυση. Το πάχος τους κυμαίνεται από 5 έως 15 μέτρα. (β) *Διλουβιακά στρώματα στο εσωτερικό της λεκάνης τα οποία καλύπτουν τα υψηλότερα σημεία των λόφων Σπάτων – Μπουράνι*: αποτελούνται από μικρότερες κροκάλες μαρμάρου, χαλαζία, σχιστόλιθου και κερατόλιθου. Το πάχος τους κυμαίνεται στα 20 μέτρα. (γ) *Διλουβιακά στρώματα στις χαμηλότερες θέσεις της πεδιάδας των Μεσογειών*: αποτελούν μια δυσδιάκριτη ενότητα από τα βαθύτερα τριτογενή, λόγω το τρόπου διανομής τους.

Για τις αλλουβιακές αποθέσεις, αναφέρει ότι στην περιοχή Πικερμίου – Ραφήνας αποτελούνται κυρίως από αργίλους, με κατακερματισμένες και αραιώς τοποθετημένες κροκάλες, με σχετικά μεγάλα πάχη. Στην περιοχή Χαρβάτι – Σπάτα – Λιόπεσι τα στρώματα αυτά αποτελούνται από τα προϊόντα αποσάθρωσης των τριτογενών και διλουβιακών λόφων, με χρώμα φαιοκίτρινο και μικρό πάχος.

Ο Μέττος (1992) δίνει για την λεκάνη των Σπάτων την παρακάτω στρωματογραφία: (α) *στο Ανώτερο Μειόκαινο (Πικέρμιο)* πηλοί, άργιλοι, μάργες, κροκαλοπαγή, (β) *στο Πλειόκαινο*, μάργες, αμμούχες μάργες και κροκαλοπαγή, (γ) *στο Κατώτερο Πλειστόκαινο*, άργιλοι, πηλοί και κροκαλοπαγή και (δ) *στο Ανώτερο Πλειόκαινο*, συνεκτικά πλευρικά κορήματα και άργιλοι. Επίσης γίνεται αναφορά για θαλάσσια ιζήματα, ηλικίας Πλειόκαινου στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης των Σπάτων.

Ο Παπανικολάου (2004a) για το λεκανοπέδιο της Αττικής, αναφέρει: (α) *Ανωμειοκαινικούς σχηματισμούς*: θαλάσσιους, που χωρίζονται σε δύο λιθολογικές ενότητες, μία υποκείμενη κλαστική και μία υπερκείμενη ανθρακική. Η χερσαία – λιμναία φάση αποτελείται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, αμμούχες μάργες, μάργες, ερυθρές αργίλους και κροκαλοπαγή (β) *Πλειοκαινικούς σχηματισμούς*: θαλάσσιους, αποτελούμενους από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους μεταβαλλόμενης σύστασης και συνοχής. Η χερσαία φάση αποτελείται από άμμους και αργίλους με μικρές κλίσεις (< 5°), με παρεμβολές λιγνιτικών οριζόντων μικρού πάχους. Κατά θέσεις εμφανίζονται ασβεστόμαργες, πιθανής λιμναίας φάσης, λευκές και κίτρινες μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και

χαλαρά πολύμεικτα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. (γ) *Τεταρτογενείς σχηματισμούς*: είναι κυρίως πλευρικά κορήματα και ριπίδια στους πρόποδες ορεινών όγκων.

Η Ιωακείμ (2005) αναφέρει την απόθεση ποταμοχερσαίων και λιμναίων αποθέσεων κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειόκαινου (Τουρώλιο).

Σύμφωνα με τον Krohe (2010) τα Ανωμειοκαινικά – Κατωπλειοκαινικά ιζήματα της λεκάνης των Μεσογείων χωρίζονται σε τρεις σειρές: (α) *Σειρά I*: αποτελείται από ένα στρώμα αγνώστου πάχους, χρώματος κίτρινου έως κόκκινου, ψαμμούχου έως ιλιούχου αργιλόλιθου, με ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Το στρώμα διατηρεί απολιθώματα θηλαστικών και μικροθηλαστικών. Το περιβάλλον απόθεσης πιθανολογείται ως τεναγώδες. (β) *Σειρά II*: αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, αργιλόλιθων, μαργών, ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών. (γ) *Σειρά II*, μη μεταμορφικής προέλευσης. Για τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα, αναφέρει ότι επικάθονται ασύμφωνα στα προηγούμενα μειοκαινικά με σαφή σημάδια διάβρωσης στην επαφή τους. Είναι κυρίως κλαστικής προέλευσης και πολύμεικτα.

## 6.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η μελέτη των τεκτονικών και στρωματογραφικών στοιχείων βασίστηκε:

- Στους γεωλογικούς χάρτες, κλίμακας 1:50.000, του ΙΓΜΕ που καλύπτουν την περιοχή μελέτης,
- στο νεοτεκτονικό χάρτη Ανατολικής Αττικής (Λέκκας, et al. 1995),
- στο χάρτη ρηγματογόνου ιστού της Αττικής (Αντωνίου 2000),
- στα βιβλιογραφικά δεδομένα που έχουν αναφερθεί, με καταγραφή των στοιχείων τεκτονικής και στρωματογραφίας,
- σε γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων, όπως κτίρια, αεροδρόμια, οδικά έργα κ.α.,
- στα γεωμορφολογικά στοιχεία και δείκτες που υπολογίστηκαν, στους χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου σε διάφορες γωνίες και αζιμούθια,
- στο χάρτη κεκλιμένων επιπεδώσεων,
- στους ορθοφωτοχάρτες και δορυφορικές εικόνες όπου μετά από κατάλληλη επεξεργασία προέκυψε ο χάρτης φωτογραμμώσεων για την περιοχή και τέλος
- στις υπαίθριες παρατηρήσεις και μετρήσεις.

Τα παραπάνω στοιχεία, αφού συλλέχθηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν, καταγράφηκαν στην αντίστοιχη βάση δεδομένων και μεταφέρθηκαν στον χάρτη της κλίμακας μελέτης.

### 6.2.1 Μετρήσεις – παρατηρήσεις υπαίθρου

Οι μετρήσεις και παρατηρήσεις υπαίθρου είχαν ως σκοπό την επιβεβαίωση των μετρήσεων και υπολογισμών που είχαν γίνει σε πρώιμο στάδιο, όπως και την αποσαφήνιση των σχέσεων τεκτονικής και λιθοστρωματογραφίας που εντοπίστηκαν είτε από την βιβλιογραφία, είτε κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης. Οι μετρήσεις ήταν τόσο σημειακές, δηλαδή επιλεκτική κίνηση σε προκαθορισμένα σημεία παρατήρησης, όπου εκτελέστηκαν τεκτονικές και στρωματογραφικές μετρήσεις, όσο και μετρήσεις που έγιναν σε εκσκαφές και τομές τεχνικών έργων είτε αυτά ήταν οικοδομές, είτε άλλα τεχνικά έργα υποδομής όπως δρόμοι, γέφυρες, υδραυλικά έργα κλπ. Την περίοδο που εκπονήθηκε η παρούσα διατριβή, η περιοχή



της Ανατολικής Αττικής παρουσίαζε σημαντική ανοικοδόμηση, τόσο σε μικρά ιδιωτικά έργα όσο και σε μεγάλα έργα υποδομής. Έτσι, θεωρήσαμε μεγάλη ευκαιρία, την επίσκεψη εκσκαφών όπου αποκαλύπτεται μέρος των σχηματισμών, κυρίως των μεταλλικών. Ένα άλλο τμήμα μετρήσεων και παρατηρήσεων ήταν οι τομές, εγκάρσιες στις μικρές και μεγάλες δομές της περιοχής μελέτης, όπως και τομές σε προφίλ ανάγλυφου. Η παραπάνω εργασία έγινε σε κλίμακα ανάλογη των απαιτήσεων της χαρτογράφησης από 1:5.000 για θέσεις και περιοχές που έχριζαν μεγάλης ανάλυσης έως 1:25.000 όπου ήταν η βασική κλίμακα χαρτογράφησης της διατριβής.

### **6.2.2 Κατασκευή γεωλογικού χάρτη**

Από τα παραπάνω και όσα μέχρι τώρα έχουμε αναφέρει, η κατασκευή του γεωλογικού χάρτη της περιοχής της Ανατολικής Αττικής, βασίστηκε στο σύνολο των παρατηρήσεων, μετρήσεων, βιβλιογραφικών αναφορών και χαρτών που έχουν παρουσιαστεί μέχρι στιγμής για την περιοχή μελέτης. Όλα τα στοιχεία αρχειοθετήθηκαν σε μία βάση δεδομένων όπου κάθε στοιχείο και μέτρηση έλαβε ένα αριθμό που αντιπροσώπευε το βαθμό εμπιστοσύνης της μέτρησης ανάλογα με την πηγή προέλευσης, την κλίμακα αναφοράς και την προσωπική εκτίμηση. Με αυτόν το τρόπο δημιουργήθηκε ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζεται η λιθοστρωματογραφία και η τεκτονική.

### **6.2.3 Γεωλογική δομή - Λιθοστρωματογραφία**

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής η λιθοστρωματογραφία της Ανατολικής Αττικής χωρίζεται σε δύο ενότητες, την ενότητα Λαυρίου και την ενότητα Αττικής.

#### **6.2.3.1 Ενότητα Λαυρίου**

Βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Αττικής και εκτείνεται στην περιοχή της Λαυρεωτικής. Παρουσιάζεται τεκτονικά υπερκείμενη της ενότητας Αττικής. Η κύρια επαφή επώθησης των δύο ενότητων βρίσκεται στον άξονα Λεγρενών – Αγίου Κωνσταντίνου με διεύθυνση BBA – NND. Τμήμα της είναι εμφανές βόρεια του Πόρτο

Ράφτη στο λόφο Περατή με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Οι σχηματισμοί που δομούν την ενότητα Λαυρίου είναι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

- **Σχιστόλιθοι βάσης (Sch1L), Τριαδικό:** αποτελούνται από ανθρακικούς μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους τεφρούς, καστανωπούς, κιτρινωπούς, λεπτοστρωματώδεις έως φυλλώδεις, ενώ συχνά παρεμβάλλονται βασικά ηφαιστειακά πετρώματα.
- **Μάρμαρα (mr), Ιουρασικό:** Πρόκειται για παχυστρωματώδη, ολοκρυσταλλικά μάρμαρα έντονα τεκτονισμένα και καρστικά, που στα ανώτερα μέλη τους απαντούν μικρές φακοειδείς ενστρώσεις μοσχοβιτικών γνεύσιων και σχιστόλιθων.
- **Σχιστόλιθοι οροφής (Sch2L), Ανώτερο Ιουρασικό(;) – Κατώτερο Κρητιδικό:** συνίστανται κυρίως από ανθρακικούς μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, πρασινωπούς, τεφρούς, τεφρόμαυρους αλλά και ερυθροϊώδεις και από φυλλίτες με μικρές φλέβες χαλαζία. Περιλαμβάνουν μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών. Παρουσιάζονται κατά θέσεις έντονα τεκτονισμένοι και παραμορφωμένοι. Σε ορισμένα τμήματα διακρίνονται ενστρώσεις τεφρόλευκων κρυσταλλικών ασβεστόλιθων, όπως και **σώματα οφιόλιθων (oph).**
- **Ασβεστόλιθοι (caL), Ανώτερο Κρητιδικό(;):** Πολύχρωμοι ανακρυσταλλωμένοι πλακώδεις με πυριτόλιθους. Εμφανίζονται επίσης καστανόχρωμοι, λευκοί, τεφροί, κιτρινωποί, κοκκώδεις, άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις, καρστικοποιημένοι και δολομιτιωμένοι, έντονα διερρηγμένοι, με φλέβες ασβεστίτη και οξείδια του σιδήρου.

#### 6.2.3.2 Ενότητα Αττικής

Οι σχηματισμοί που δομούν την ενότητα Αττικής είναι οι παρακάτω:

- **Σχιστόλιθοι βάσης (sch1), Τριαδικό:** είναι ανθρακικοί μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι διαφόρων χρωμάτων με χαλαζίτες τεφρόλευκους, άστρωτους και συμπαγείς. Στο σώμα τους εμφανίζονται τοπικά λατυποπαγή από κλαστικούς σχηματισμούς, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες.
- **Ανθρακικοί σχιστόλιθοι (kd), Τριαδικό:** Αποτελούνται κυρίως από δολομιτιωμένους ασβεστόλιθους, τεφρούς, ερυθρίζοντες, ζαχαρώδεις έως

κοκκώδεις, κατά θέσεις λατυποπαγείς. Σε λίγα τμήματα ανακρυσταλλωμένοι. Εμφανίζονται μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις και τοπικά άστρωτοι. Στους σχηματισμούς αυτούς παρεμβάλουν σχιστόλιθοι τεφροί, τεφροπράσινοι, τεφρόμαυροι, καστανοί, γραφιτικοί με μικρές φλέβες χαλαζία.

- **Μάρμαρα (ma), Τριαδικό - Ιουρασικό:** στο μεγαλύτερο μέρος τους εμφανίζονται λευκά έως τεφρόλευκα, σπάνια υποκίτρινα, τεφρά, τεφροπράσινα, κοκκώδη, κατά θέσεις λεπτοπλακώδη με πυριτόλιθους. Παρουσιάζονται στο σύνολο τους έντονα καρστικοποιημένα και κρυσταλλικά.
- **Μεταβατικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι με εναλλαγές σχιστόλιθων) (c1a), Κατώτερο Κρητιδικό:** αποτελούνται από ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους, μάργες και αργιλικούς σχιστόλιθους σε εναλλαγές, σε ρυθμικές εναλλαγές κατά θέσεις, ενώ σε άλλες εμφανίζονται άρρυθμα, έντονα τεκτονισμένα.
- **Σχιστόλιθοι οροφής (sch2), Ανώτερο Κρητιδικό(;):** συνίστανται κυρίως από ανθρακικούς μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, πρασινωπούς, τεφρούς, τεφρόμαυρους. Περιλαμβάνουν μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών. Στο σώμα των σχιστόλιθων εμφανίζονται **ασβεστόλιθοι (ca):** πρόκειται για λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις, κατά θέσεις λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, υπόλευκους, τεφρόλευκους αλλά και τεφρούς. Τμήματα τους εμφανίζονται ανακρυσταλλωμένα. Επίσης, υπάρχουν διάσπαρτα **οφιολιθικά σώματα (οrh).**

#### 6.2.3.3 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί χωρίζονται στους παρακάτω:

- **Τεναγώδεις και παράκτιοι σχηματισμοί (Κ. Μειόκαινο) (ml):** αποτελούνται κυρίως από θαλάσσια ιζήματα, όπως κλαστικοί ασβεστόλιθοι, μαργαϊκοί λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι και λιμναίες καφέ, φαιές έως κίτρινες μάργες, πηλούχες μάργες, ψαμμίτες και πηλίτες.
- **Τεναγώδεις ποταμοχερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί (Πλειοπλειστόκαινο) (tr):** Μάργες λευκές, κιτρινωπές, στρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτες, πηλοί, ψαμμίτες τεφροί. Τοπικά συναντούμε λατυποπαγή αναμειγμένα με ιλύολιθους (Πικέρμι) αλλά και με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

- **Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Πλειοπλειστόκαινο)(cm):** λευκοί, τεφροί έως κίτρινοι συχνά με εναλλαγές ψαμμιτών μικρού πάχους.
- **Ποταμοχειμμάριοι σχηματισμοί (Πλειστόκαινο)(pt)**
- **Τεταρτογενείς αποθέσεις (q)**

### 6.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε, είναι ξεκάθαρο ότι η εικόνα και η θέση της Αττικής στο Ελληνικό Τόξο, παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον ερευνητή. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου ο ίδιος ερευνητής διατυπώνει διαφορετικές απόψεις σε διάφορες χρονικές περιόδους. Το πρόβλημα είναι περίπλοκο αφού το σύνολο σχεδόν των πετρωμάτων που εμφανίζονται στην Αττική είναι μεταμορφωμένα και επομένως η εύρεση απολιθωμάτων είναι δύσκολη. Επίσης, η σχέση των επαφών των σχηματισμών είναι δύσκολο στις περισσότερες περιπτώσεις να καθοριστεί.

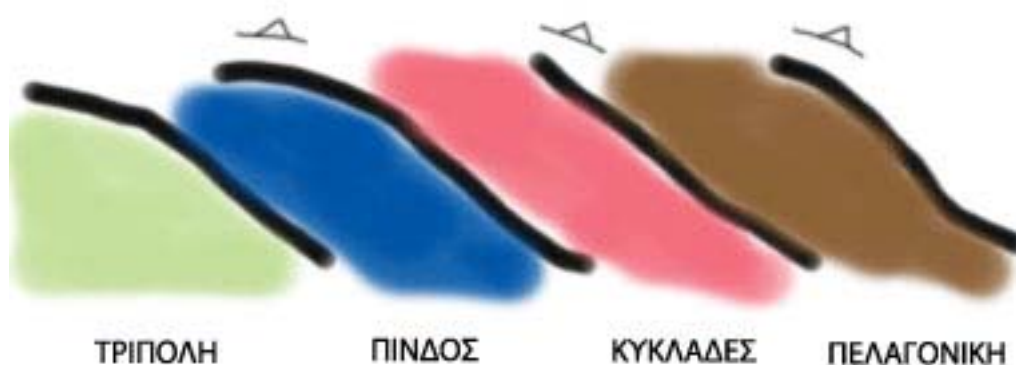
Επιπλέον, υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ως προς την έκταση και θέση που έλαβαν χώρα οι συμπιεστικές και εφελκυστικές κινήσεις κατά την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Τα σύγχρονα δεδομένα GPS που έχουμε στη διάθεση μας μόλις που καταγράφουν κινήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, ενώ η περιοχή του κεντρικού Αιγαίου φαίνεται σήμερα σχεδόν αμετακίνητη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ζώνη εφελκυσμού έχει μετακινηθεί επιλεκτικά κατά μήκος του Κορινθιακού Κόλπου μέχρι το μισό τμήμα της Αττικής, δυτικά του λεκανοπεδίου (Εικόνα 139: Η εξέλιξη του Αιγαίου από το Μέσο Μειόκαινο έως σήμερα . Τα δεδομένα GPS όμως, βασίζονται στον ισχυρισμό ότι η κίνηση που μετράμε με αυτά, μπορεί να προεκταθεί γραμμικά στο χρόνο, με μικρό σφάλμα (10%), μερικά εκατομμύρια χρόνια πίσω. Αν και οι συσχετισμοί δεδομένων GPS με γεωλογικά δεδομένα είναι γενικά καλοί, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι πάντα καλοί και είναι δυνατή η προς το παρελθόν προσέγγιση.

Αν συνυπολογίσουμε τα γεγονότα που καθιστούν πολύπλοκη την κίνηση των Ελληνίδων, δηλαδή: α) την περιστροφική - αριστερόστροφη κίνηση των καλυμμάτων που δομούν τις Ελληνίδες, β) την σύγκρουση στην Ανατολική Μεσόγειο με την Αραβική πλάκα και τη δυναμική που δημιούργησε και γ) το γεγονός ότι υπάρχει το ενδεχόμενο, σύμφωνα με νέες έρευνες (Schellart, et al. 2010), η ταχύτητα σύγκρουσης και υποβύθισης να εξαρτάται από το πλάτος της ζώνης υποβύθισης, όπου αύξηση ή μείωση του πλάτους αυτής, αντιστοιχεί σε μείωση ή αύξηση της ταχύτητας αντίστοιχα, οι χρονικές προβολές των μετακινήσεων αποκτούν σημαντικό

σφάλμα για μεγάλες χρονικές περιόδους και ανταποκρίνονται καλύτερα για σχετικά απλές κινήσεις, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα του Ατλαντικού Ωκεανού.

Η περιοχή της Ανατολικής Αττικής αποτελεί το βορειοδυτικό άκρο της Αττικοκυκλαδικής (Trotet, Jolivet and Vidal 2001, L. Jolivet, et al. 2003). Η ενότητα αυτή, τεκτονικά βρίσκεται κάτω από το κάλυμμα της Πελαγονικής και είναι ένα σύμπλεγμα μεταμορφωμένων σχηματισμών που μπορεί να χωριστεί σε τρεις επιμέρους ενότητες:

- **Ανώτερη ενότητα** που περιλαμβάνει μία ακολουθία αμεταμόρφωτων ιζημάτων Περμικής - Μεσοζωικής ηλικίας με φυλλίτες, σερπεντινίτες, μεταγάββρους και μεταβασίτες (Maluski, Bonneau and Kienast 1987, Brocker 1991),
- **Ενότητα Κυανοσχιστόλιθων**, που αποτελείται από μάρμαρα, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, μεταπηλίτες, πυριτιόλιθους μεταβασίτες και μεταόξινα πετρώματα (Melidonis 1980, Brocker 1990) και
- **Ενότητα Βάσης** όπου αποτελεί τμήμα των εξωτερικών Ελληνίδων και περιλαμβάνει μεταϊζηματογενή και μαγματικά πετρώματα με Περμικούς έως Τριτογενείς πρωτόλιθους (Avigad, et al. 1997)



**Εικόνα 140: Θέση Αττικής στο Ελληνικό Τόξο.**

Η ενότητα των Κυκλάδων σήμερα παρουσιάζει εξάπλωση στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου με χαρακτηριστική φακοειδή μορφή, λόγω των συμπιεστικών τάσεων που δέχθηκε.

Η πιο σημαντική διαφορά που παρουσιάζουν οι δύο ενότητες, είναι ο βαθμός μεταμόρφωσης. Γενικά, και οι δύο έχουν υποστεί HP/LT ανάδρομη μεταμόρφωση με παραπλήσιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης αλλά διαφορετικές μεταμορφικές πορείες ανόδου (Baziotis 2008). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την λιθοστρωματογραφία που παρουσιάζεται, δίνει την αίσθηση ότι και οι δύο ενότητες είναι πιθανό να είχαν την ίδια παλαιογεωγραφική αφετηρία και εξέλιξη, με διαφορές μόνο στο βαθμό μεταμόρφωσης. Η επαφή τους είναι σίγουρα τεκτονική με υπερκείμενη την ενότητα Λαυρίου.

Προσπαθώντας να προσεγγίσουμε τη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής που μελετήθηκε, παλαιογεωγραφικά εντάσσεται μεταξύ Ολύμπου και Πελαγονικής, αποτελώντας το βορειοδυτικό τμήμα της Αττικοκυκλαδικής ενότητας μαζί με το νότιο τμήμα της Εύβοιας. Από το Τριαδικό έως σήμερα έχουμε την παρακάτω εικόνα εξέλιξης:

- Την περίοδο από το Τριαδικό μέχρι Ανώτερο Κρητιδικό είχαμε το σχηματισμό των αρχικών πετρωμάτων των ενοτήτων. Ανάλογα με την θέση και το βάθος της ενότητας, είχαμε το σχηματισμό των σχιστόλιθων βάσης, των ανθρακικών νηριτικών σχηματισμών και των σχιστόλιθων οροφής. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι οι σχιστόλιθοι οροφής σε πολλά τμήματα τους ομοιάζουν με μεταφλύσχη, κάτι τέτοιο όμως θα ήταν δύσκολο να πιστοποιηθεί διότι μέσα στο σχηματισμό εμφανίζονται επαναλαμβανόμενα τμήματα από τεκτονισμό και έτσι καθίσταται δύσκολη η ερμηνεία. Η φάση αυτή κλείνει στο Ανώτερο Κρητιδικό με ασβεστόλιθους για την ενότητα Λαυρίου και σχιστόλιθους οροφής για την ενότητα Αττικής με ένθετους ασβεστόλιθους και οφιόλιθους που προήλθαν από εσωτερικότερες σειρές.
- Κατά τη διάρκεια του Ολιγόκαινου ξεκινά σταδιακά η υποβύθιση των Κυκλάδων (παράλληλα με αυτήν της Πίνδου) και την HP/LT μεταμόρφωση αυτής. Η μεταμόρφωση ξεκίνησε με HP, με παρουσία γλαυκοφανή και στη συνέχεια αυξήθηκε η θερμοκρασία πάνω από 300°C (Kessel 1990)(330 – 380°C κατά Μπαζιώτη (2008)). Οι δύο ενότητες εμφανίζουν διαφοροποιήσεις ως προς το βαθμό μεταμόρφωσης. Στη φάση αυτή τελειώνει η μέγιστη συμπίεση. Κατά τη διάρκεια από 70 – 8 Ma η περιοχή των Ελληνίδων παρουσιάζει δεξιόστροφη

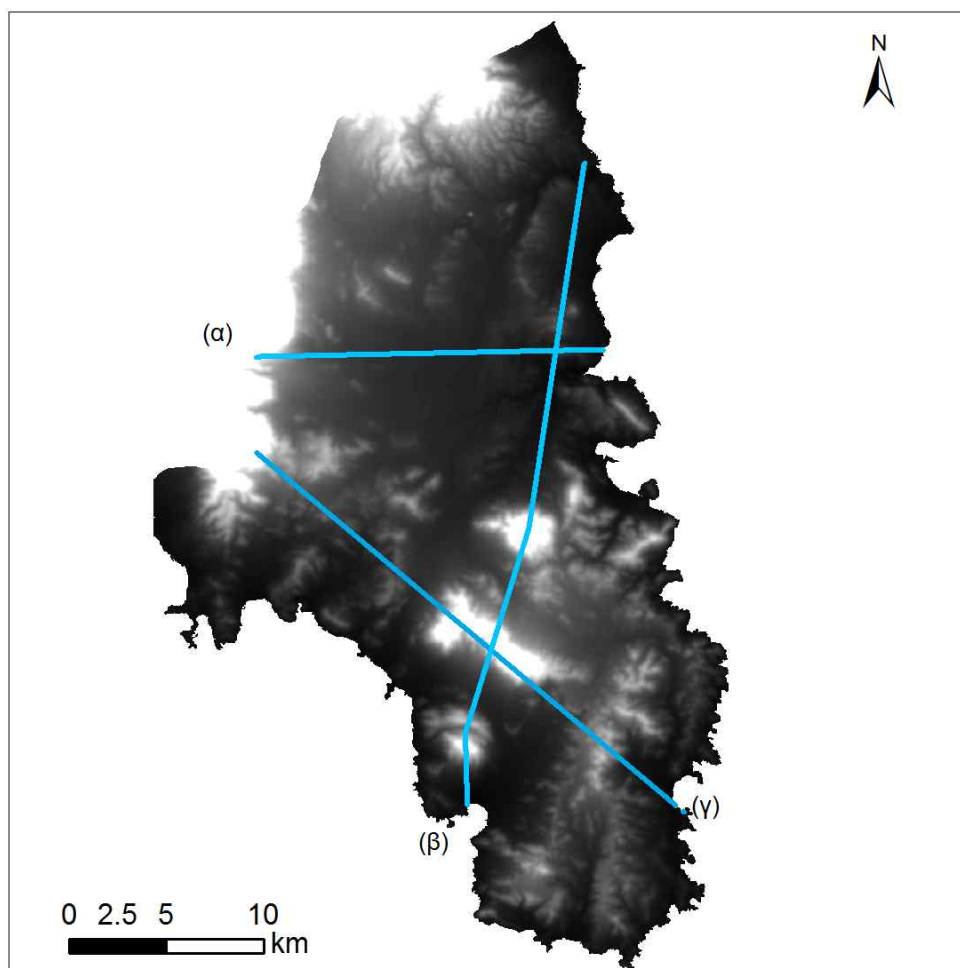
στρέψη κατά  $50^\circ$  με κέντρο την Αλβανία ενώ η περιοχή της Τουρκίας στρέφεται αριστερόστροφα (από 12 – 5 Ma) (Kissel, et al. 2003)

- Κατά το Κατώτερο Μειόκαινο παρουσιάζεται μία παροξυσμική φάση εφελκυσμού όπου δημιουργεί τα μεταμορφικά συστήματα των Κυκλάδων διατηρώντας την φάση υψηλών πιέσεων του Παλαιογενούς.
- Κατά το Μέσο Μειόκαινο η περιοχή του Κεντρικού Αιγαίου όπως και άλλα τμήματα του Ελληνικού χώρου, αρχίζουν να δέχονται την κύρια φάση εφελκυσμού. Η εκδήλωση του, γίνεται με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης μικρής αλλά και μεγάλης γωνίας (Paranikolaou and Royden 2007). Σταδιακά οι τάσεις μεταφέρονται επιλεκτικά σε τμήματα του Ελλαδικού χώρου, σχηματίζοντας τις εφελκυστικές ζώνες που έχουμε σήμερα.
- Στο Ανώτερο Μειόκαινο – Πλειόκαινο έχουν αρχίσει να αποκαλύπτονται οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί της Ανατολικής Αττικής, λόγω του εφελκυσμού που εμφανίζεται στην περιοχή, δημιουργώντας αναθόλωση όλων των δομών της, πάνω στους οποίους αποτίθενται κατά θέσεις, παράκτια και τεναγώδη ιζήματα (ml). Στο δυτικό τμήμα του Υμηττού λειτουργεί ένα κανονικό ρήγμα αποκόλλησης (Παπανικολάου et al. 2004). Σύμφωνα με τα γεωμορφολογικά και υπόλοιπα τεκτονικά στοιχεία που προέκυψαν από την περιοχή μελέτης, ένα κανονικό ρήγμα αποκόλλησης λειτουργεί και στο ανατολικό τμήμα του Υμηττού. Το ρήγμα αποκόλλησης κινείται πάνω στις προϋπάρχουσες τεκτονικές δομές και οριοθετεί τη λεκάνη των Σπάτων. Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης παράλληλα με τον ορεινό όγκο της Πεντέλης, λειτουργεί πλαγιοκανονικό ρήγμα που αρχίζει από το ζώνη επώθησης της Πάρνηθας και καταλήγει με διεύθυνση περίπου Α – Δ στον Νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Στο νότιο τμήμα της λεκάνης των Σπάτων, εμφανίζεται επίσης μία μεγάλη ζώνη διάρρηξης, η οποία οριοθετεί την ολίσθηση, με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ.
- Ο εφελκυσμός της περιοχής της Ανατολικής Αττικής οφείλεται κατά κύριο λόγο στην έναρξη του εφελκυσμού του κεντρικού Αιγαίου. Η διεύθυνση του εφελκυσμού και ο τοπικός χαρακτήρας της κίνησης, οφείλεται κυρίως στην διαφορετική ταχύτητα των δύο μεγάλων λεκανών που σχηματίζονται εκείνη την περίοδο: του Νότιου Ευβοϊκού και του Κορινθιακού – Σαρωνικού. Οι ταχύτητες διάνοιξης που υπολογίζονται σήμερα, δείχνουν ότι ο Κορινθιακός ανοίγει με

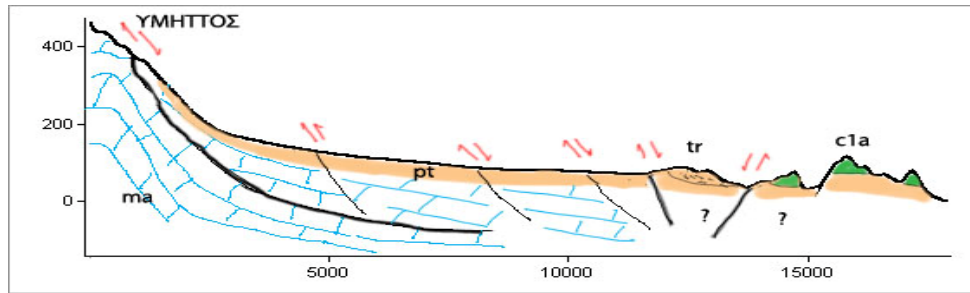


μεγαλύτερη ταχύτητα από τον Ευβοϊκό, τουλάχιστον τα τελευταία δύο εκατομμύρια χρόνια, δημιουργώντας ένα «κενό» που προκαλεί μεγαλύτερο εφελκυσμό στην περιοχή. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το άνοιγμα των λεκανών υπό γωνία, απελευθερώνει τα τμήματα εκατέρωθεν του Υμηττού λόγω βαρύτητας, αποκαλύπτοντας το υπόβαθρο.

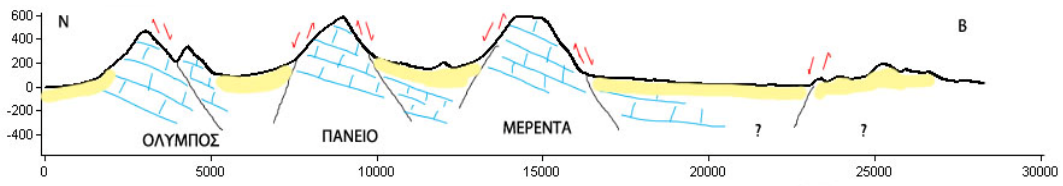
- Στο τελικό στάδιο κατά το Πλειο - Τεταρτογενές, ολοκληρώνεται η άνοδος και η τοποθέτηση της περιοχής πίσω από το σημερινό ενεργό ηφαιστειακό τόξο. Οι δομές που κυριαρχούν είναι οι ρηξιγενείς ζώνες που τεμαχίζουν τις υπάρχουσες δομές, συνεχίζοντας να βαθαίνουν τις νεοτεκτονικές τάφρους.



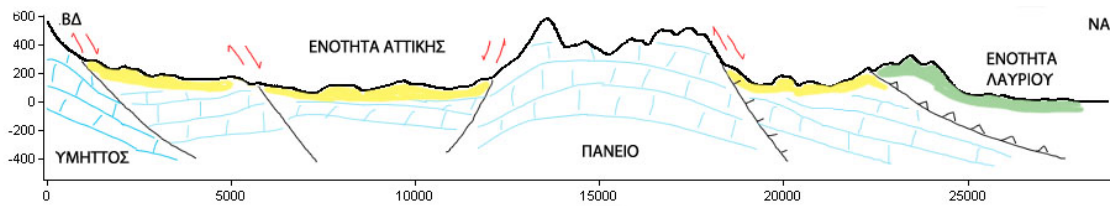
**Εικόνα 141: Μορφοτεκτονικές τομές που απεικονίζονται στην εικόνα 142.**



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 142: Μορφοτεκτονικές τομές της περιοχής μελέτης.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν ο προσδιορισμός της γεωτεκτονικής δομής της Ανατολικής Αττικής από στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση του ανάγλυφου με χρήση μορφοτεκτονικών δεικτών, δεδομένων τηλεπισκόπησης αλλά και με κλασικές μεθόδους χαρτογράφησης.

Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε μία γεωγραφική βάση δεδομένων μέσω του προγράμματος ArcGIS, όπου αποθηκεύτηκαν όλα τα πρωτογενή στοιχεία. Σε αυτά, περιλαμβάνονται τοπογραφικοί χάρτες διαφόρων κλιμάκων, γεωλογικοί χάρτες, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες διαφόρων χρονικών περιόδων. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ιστορικοί χάρτες, όπου ύστερα από γεωμετρική διόρθωση, αποθηκεύθηκαν στη βάση. Από την επεξεργασία των παραπάνω, δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα θεματικά πεδία και τα πρωτογενή στοιχεία για την περαιτέρω επεξεργασία.

Από όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, για την μορφομετρική και μορφοτεκτονική ανάλυση της Ανατολικής Αττικής, ακολουθήσαμε την παρακάτω μεθοδολογία:

- Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε υδρολογικές λεκάνες.
- Για κάθε λεκάνη υπολογίστηκε ο δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος.
- Ψηφιοποιήθηκε το σύνολο του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής και εντοπίστηκαν οι κλάδοι με τάξη μεγαλύτερη της 3<sup>ης</sup>.
- Για τους παραπάνω κλάδους χαράχθηκαν οι αντίστοιχες υπολεκάνες τους.
- Έγινε ανάλυση των κλάδων ρεμάτων κατά Strahler και υπολογίστηκαν τα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία των λεκανών απορροής.
- Σχεδιάστηκαν τα επιμήκη προφίλ των κοιλάδων και υπολογίστηκαν οι παράμετροι που προκύπτουν από αυτά.
- Στο σύνολο της επιφάνειας της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΑ μετά τις απαραίτητες διορθώσεις και δημιουργήθηκαν οι χάρτες μορφολογικής κλίσης, μορφολογικών ασυνεχειών και προσανατολισμού πρανών.
- Υπολογίστηκε ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους για τους κυριότερους ορεινούς όγκους της περιοχής.

- Χαράχτηκαν οι φωτογραμμώσεις από τους δορυφορικούς χάρτες και τις αεροφωτογραφίες που είχαμε στη διάθεση μας.
- Εντοπίστηκαν οι μεγαλύτερες παράκτιες κυρίως καρστικές δομές και συνδέθηκαν με την τεκτονική.

**Πίνακας 60: Νεοτεκτονική ερμηνεία των μορφομετρικών δεικτών που υπολογίστηκαν για τις υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης. Το βέλος δείχνει υψηλές ή χαμηλές τιμές.**

Υδρολογική λεκάνη	A <sub>f</sub>	H <sub>i</sub>	E <sub>q</sub>	Μορφή υδρογραφικού δικτύου	Τύπος παραμόρφωσης του υδρογραφικού
1	MA	↑		Κυκλική προς Α Εκτροπή προς ΒΑ	Μικρή βύθιση στα Ν και ΝΑ
2Α	Σ	↑	↑	Κυκλική προς Α	Ανύψωση Δ
2Β	ΧΑ	↓	↓	Εκτροπή προς ΝΑ	Βύθιση προς Α
2C	MA			Κυκλική προς Α	Βύθιση προς Α
2D	ΥΑ	↓	↓	Εκτροπή προς ΒΑ	Βύθιση προς Α
2E	ΧΑ	↓		Κυκλική προς ΒΑ Εκτροπή προς Α	Βύθιση προς ΑΒΑ
3	ΧΑ		↓	Εκτροπή προς ΝΝΔ	Βύθιση προς ΝΔ
4	ΧΑ		↓	Κυκλική προς ΝΔ Εκτροπή προς ΔΝΔ	Μικρή βύθιση Δ
5Α	MA			Κανονική προς ΝΝΑ	
5Β	Σ	↓	↑	Κανονική προς ΝΝΑ	Βύθιση προς Ν
6	Σ			Εκτροπή προς Δ	
7	ΧΑ	↓	↓	Εκτροπή προς ΝΝΔ	Βύθιση προς Ν
9	ΧΑ	↑		Εκτροπή προς ΝΔ	Ανύψωση Δ
10	Σ	↑	↑	Κανονική προς Ν	Ανύψωση Δ
11	ΧΑ	↑	↑	Κανονική προς Ν	Ανύψωση Δ
12Α	MA	↑		Εκτροπή προς ΒΑ	Ανύψωση Α
12Β	ΥΑ	↓	↑	Κυκλική προς Ν Εκτροπή προς Ν	Ανύψωση Δ
17	MA	↑	↑	Κυκλική προς ΒΑ	Ανύψωση Δ
18	ΧΑ		↑	Κυκλική προς ΒΑ	

Όλα τα παραπάνω, αποθηκεύθηκαν σε μία βάση δεδομένων. Από το συνδυασμό όλων των παραπάνω στοιχείων, όπως και το συσχετισμό τους με τη

λιθοστρωματογραφία και την τεκτονική της περιοχής, καταλήγουμε σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα για τη δομή και εξέλιξη της περιοχής.

Στον πίνακα 60 απεικονίζεται η νεοτεκτονική ερμηνεία των μορφομετρικών παραμέτρων που υπολογίστηκαν για κάθε λεκάνη της περιοχής μελέτης. Από τον παραπάνω πίνακα και σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες μορφοτεκτονικές παραμέτρους, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε τρία τμήματα:

(α) τη λεκάνη των Σπάτων όπου επικρατούν κυρίως εφελκυστικές τάσεις οι οποίες εκδηλώνονται με κανονικά ρήγματα και ρήγματα ολίσθησης μικρής γωνίας. Το τμήμα αυτό παρουσιάζει σχετική υποβύθιση.

(β) Το τμήμα νότια της λεκάνης των Σπάτων και μέχρι τα όρια της Λαυρεωτικής, ανατολικά του Πάνειου και Ολύμπου όπου επικρατούν επίσης εφελκυστικές τάσεις αλλά οι γωνίες των ρηγμάτων είναι μεγαλύτερες και επικρατεί ελαφρώς διαφοροποιημένη διεύθυνση των κύριων δομών. Οι λεκάνες του τμήματος αυτού παρουσιάζουν σχετική υποβύθιση.

(γ) Το τμήμα της Λαυρεωτικής όπου, επικρατεί σχετική ανύψωση των τμημάτων που την δομούν.

Η σχέση των καρστικών δομών που εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν με τις επιπεδώσεις φαίνεται να είναι αρκετά σημαντική. Η πρώτη και δεύτερη κλάση επιπεδώσεων συμπίπτει με τις περιοχές των καρστικών στην παράκτια ζώνη. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εξέλιξη των καρστικών, αφού πάντα βρίσκεται εσωτερικότερα.

Τα καρστικά της ενότητας Λαυρίου είναι πολύ περιορισμένα σε σχέση με την ενότητα Αττικής, γεγονός που αποτυπώνει εντονότερες, κυρίως πλαστικές δομές στο Λαύριο.

Η δομή του Υμηττού διαφοροποιείται από αυτήν της Μερέντας – Ολύμπου, αφού στον Υμηττό η ανάπτυξη γίνεται κατά τον άξονα του αντίκλινου στη φορά βύθισης, ενώ στην άλλη περίπτωση στα πλευρά των αντικλίνων. Ο Όλυμπος πάλι

διαφοροποιείται από τη Μερέντα, δίνοντας ο πρώτος καρστικά προς το Σαρωνικό και η δεύτερη προς τον Ευβοϊκό. Εμφανής η γραμμή διαφοροποίησης.

Αναβαθμίδες, οι οποίες εκφράζονται με μεγάλη σαφήνεια, υπάρχουν μόνο ανατολικά του Υμηττού και δείχνουν την παρουσία μιας παλαιολεκάνης κατά τη φορά μιας εντατικής παραμόρφωσης του υποβάθρου (συγκλινική μορφή με βόρεια βύθιση του άξονα). Με παρεμβολή μιας μεγάλης τεκτονικής γραμμής περνάμε ανατολικά στην καρστική λεκάνη του Πόρτο Ράφτη.

Από τα προφίλ των κλάδων ρεμάτων φαίνεται ότι όλες οι σημαντικές μεταβολές που αυτά παρουσιάζουν, δηλαδή οι απότομες μεταβολές στην κλίση τους, οφείλονται είτε στη λιθολογία είτε σε νεοτεκτονικά ρήγματα. Η κυκλική μορφή του υδρογραφικού δικτύου που παρουσιάζουν πολλά κύρια ρέματα της περιοχής, σε συνδυασμό με την σχετική υποβύθιση δείχνει ότι η περιοχή βρίσκεται σε καθεστώς αναθόλωσης, δηλαδή η μάζα των ανθρακικών του Υμηττού και των τριών κύριων ορεινών όγκων της περιοχής (Όλυμπος, Πάνειο, Μερέντα) ανυψώνεται, ανοίγοντας τις μικρές λεκάνες που αυτοί ορίζουν.

Τα περιθώρια όλων των κύριων ορεινών όγκων είναι ενεργά, όπως αυτό διαπιστώθηκε από τον υπολογισμό του δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους. Αυτό ενισχύει την παραπάνω άποψη των ενεργών εφελκυστικών δομών.

Το τμήμα του Λαυρίου, φαίνεται ότι βρίσκεται τουλάχιστον με βάση το δείκτη υψομετρικού ολοκληρώματος, σε σχετική άνοδο στο σύνολο του. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται είτε σε καθαρά τεκτονικά αίτια, είτε σε διαφοροποίηση της λιθολογίας ή και στους δύο λόγους ταυτόχρονα.

Ο δείκτης ασυμμετρίας που υπολογίστηκε για το σύνολο των λεκανών, δείχνει την ασύμμετρη ανάπτυξη των λεκανών της περιοχής των Σπάτων και γενική φορά βύθισης προς ΝΑ – Α. Ισχυρή ασυμμετρία παρουσιάζει επίσης η λεκάνη του Ποταμού (12B), η οποία στρέφεται από διεύθυνση ροής Α – Δ σε Β – Ν όταν περνά στο επωθημένο τμήμα της ενότητας Λαυρίου.

Στη λεκάνη των Σπάτων επικρατούν κυρίως εφελκυστικές τάσεις οι οποίες εκδηλώνονται με κανονικά ρήγματα και ρήγματα ολίσθησης μικρής γωνίας. Το

τμήμα αυτό παρουσιάζει σχετική υποβύθιση. Η κύρια τεκτονική δομή που επικρατεί είναι το ρήγμα αποκόλλησης του Υμηττού, όπου βυθίζει την περιοχή ανατολικά του με διεύθυνση Α-Δ. Στην περιοχή της λεκάνης των Σπάτων πιθανά να λειτούργησε μια παλαιολεκάνη με ποικιλία ιζηματογένεσης. Η δομή αυτή συμφωνεί επίσης με την δυναμική που παρουσιάζει ο Παπανικολάου (2004) για το λεκανοπέδιο Αθηνών. Ο ορεινός όγκος του Υμηττού, μεταμειοκαινικά ανυψώνεται, δίνοντας ρήγματα αποκόλλησης εκατέρωθεν των πρηνών του.

Στο τμήμα νότια της λεκάνης των Σπάτων και μέχρι τα όρια της Λαυρεωτικής, ανατολικά του Πάνειου και Ολύμπου επικρατούν επίσης εφελκυστικές τάσεις αλλά οι γωνίες των ρηγμάτων είναι μεγαλύτερες και επικρατεί ελαφρώς διαφοροποιημένη διεύθυνση των κύριων δομών. Οι λεκάνες του τμήματος αυτού παρουσιάζουν επίσης σχετική υποβύθιση. Οι ορεινοί όγκοι που συναντάμε στην περιοχή (Όλυμπος, Πάνειο, Μερέντα), είναι πιθανόν να αποτελούν ένα αντίκλινο με φορά βύθισης προς Βορά. Στην περιοχή αναπτύσσονται μικρές λεκάνες, με ενεργά περιθώρια.

Το τμήμα της Λαυρεωτικής διαφοροποιείται σε σχέση με της προηγούμενες δύο, τόσο μορφοτεκτονικά, όσο και λιθολογικά. Επικρατεί σχετική ανύψωση των τμημάτων που την δομούν και αποτελεί προϊόν της εφελκυστικής κίνησης.

Ένα θέμα που απασχολεί ιδιαίτερα είναι η ενεργότητα των δομών, δηλαδή αν αυτές εξακολουθούν να επιδρούν ακόμα σήμερα. Από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής και την όλη εικόνα της περιοχής, αυτή φαίνεται να είναι ακόμα τεκτονικά ενεργή, όχι βέβαια στο βαθμό και χαρακτήρα παρακείμενων περιοχών (Ευβοϊκός, Δυτική Αττική και Κορινθιακός). Η κίνηση δείχνει να είναι περισσότερο σε μορφή ολίσθησης, κάτι το οποίο αναμενόταν λόγω του «ανοιχτού» χώρου που εμφανίζεται στα ανατολικά. Η όλη κινηματική πάντως, ελέγχεται από τη διαφορική διάνοιξη του Σαρωνικού και Νότιου Ευβοϊκού, όπου δημιουργούν τοπικά ένα «κενό» στο οποίο η Αττική ολισθαίνει προς ανατολή. Αν προσπαθούσαμε να σχηματοποιήσουμε την κίνηση, θα την παρομοιάζαμε με ένα μανταλάκι, όπου ανοίγει και η Αττική μέσα σε αυτό κινείται προς το ανοικτό τμήμα.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexopoulos, A., S. Lekkas, and E. Moraiti. "On the occurrence of non-metamorphic Upper Eocene-Lower Oligocene clastic sequence, wedged between the allochthon and the relative autochthon system of Attica (Greece)." *Bull of Geol. Soc. of Greece*. Athens, 1998. 79-84.
- Audra, P., et al. "Cave and karst evolution in the Alps and their relation to paleoclimate and paleotopography." *Time in Karst*, 2007: 53-67.
- Avigad, D., Z. Garfunkel, L. Jolivet, and J.M. Azanon. "Back arc extension and denudation of Mediterranean eclogites." *Tectonics*, 1997: 924-941.
- Bassi, E.K., K. Soukis, and S. Lekkas. "The presence of Vari - Kirou Pira Unit at Panion Hill (SE Attica, Greece)." *Bul. of the Geol. Soc. of Greece*, 2004, XXXVI ed.: 1608-1617.
- Baziotis, I. Petrological and geochemical study of the metamorphic rocks from east Attica. Athens: PhD Thesis. National Technical University of Athens, 2008.
- Bittner, A. "Der geologische bau von Attika, Beotian, Lokris und Parassia." 1880: 1-74.
- Blumenthal, M. "Über den tektonischen Verband osthellenischer Gebirge." 1931: 347-372.
- Boblaye, E., and Th. Virlet. "Geologie et mineralogie." 1833: 375.
- Brocker, M. "Geochemistry of metabasic HP/LT rocks and their greenschist facies and contact metamorphic equivalents, Tinos island (Cyclades, Greece)." *Chemie der Erde*, 1991: 155-171.
- Brocker, M. "Blueschist-to-greenschist transition in metabasites from Tinos island, Cyclades, Greece: compositional control or fluid infiltration." *Lithos*, 1990: 25-39.
- Bucking, H. "Über die Lagerungsverhältnisse der älteren Schichten in Attika." *Sitz der Kon. Pr. Acad. der Wiss Berlin*, 1884: 935-950.



- Bull, W., and L. McFadden. "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California." Edited by D. O. Doehring. *Geomorphology in Arid regions. Proceedings of the Eight Annual Geomorphology Symposium*. Binghamton: State University of New York, 1977. 115-138.
- Campbell, B. *Introduction to remote sensing*. 2nd Edition. New York: The Guilford Publication Press, 1996.
- Charalambakis, S. "Contribution la connaissance du N?og?ne de l' Attique." *Ann. Geol. des Pays Hell.*, 1952: 1-156.
- Chen, Yue-Gau, Jih-Hao Hung, Kuang-Yin Lai, Yu-Nung Lin, Tarka Wilcox, and Karl Mueller. "River terrace development in response to folding above active wedge thrusts in Houli, Central Taiwan." *Journal of Asian Earth Sciences* 31 (2007): 240-250.
- Chorley, R. J., and L. S. D. Morley. "A Simplified Approximation for the Hypsometric Integral." *J. Geology* 67, no. 5 (1959): 566-571.
- Clement, B., and G. Katsikatsos. "Etude geologique d'un secteur des zones Internes des Hellenides: L' Atique septentrionale (Grece continentale)." *Ann. Soc. Geol. Nord* 51 (1982): 87-96.
- Cox, R.T. "Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment." *Geological Society of America Bulletin*, no. 106 (1994): 571-581.
- Demoulin, A. "Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe)." *Geomorphology*, 1998: 189-208.
- Djokic, D. *Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools*. ESRI, 2008.
- Durr, S., R. Altherr, J. Keller, M. Okrusch, and E. Seidel. *The Median Aegean Crystalline Belt: Stratigraphy, Structure, Metamorphism, Magmatism*. Vol. 38, in *Alps*,

- Apennines, Hellenides, edited by H Closs, D Roeder and K Schmidt, 455-477. Int. Un. Com. on Geod., 1978.
- Font, Marianne, Amorese Daniel, and Legarde Jean - Louis. "DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France)." *Geomorphology*, 2010.
- Forster, M.A., and G.S. Lister. "Core-complex-related extension of the Aegean lithosphere initiated at the Eocene-Oligocene transition." *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH* 114 (2009): B02401, 36 PP.
- Friedman, S. Mapping urbanized area expansion through digital image processing of LANDSAT and conventional data. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory Publication, NASA, 1980.
- Ganas, Athanassios, Spyros Pavlides, and Vassilios Karastathis. "DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates." *Geomorphology (Elsevier)* 65 (2005): 301-319.
- Gelabert, B, J Fornos, J Pardo, V Rossello, and F Segura. "Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain)." *Geomorphology*, no. 65 (2005): 139-155.
- Govers, R. "Choking the Mediterranean to dehydration: The Messinian salinity crisis." *Geology*, 2009 ??? 02: 167-170.
- Hare, P.W., and T.W. Gardner. "Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica." Edited by M. Morisawa and J.T. Hack. *Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15th Annual Binghampton Geomorphology Symposium*. Boston: Allen & Unwin, 1985. 75-104.
- Harmon, J., and S. Anderson. *The design and implementation of GIS*. New Jersey: J. Wiley and Sons, 2003.

- Holbrook, J, and S.A. Schumm. "Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings." *Tectonophysics*, no. 305 (1999): 287-306.
- Ioakim, Ch, Rondoyanni, Th, Mettos, A. "The Miocene basins of Greece (Eastern Mediterranean) from a paleoclimatic perspective." *Revue de Paleobiologie*, 2005: 735-748.
- Jacobshagen, V. "Orogenic evolution of the Hellenides: new aspects." *Geol Rundsch*, no. 84 (1994): 249-256.
- Jacobshagen, V. "Structure and geotectonic evolution of the Hellenides." *VI Coll. Geol. Aegean Region*. Athens, 1979. 1355-1367.
- Jolivet, L, C Faccena, B Goffi, E Burov, and F Acard. "Subduction tectonics and exhumation of high-pressure metamorphic rocks in the Mediterranean orogens." *American Journal of Science*, no. 303 (2003): 353-409.
- Jolivet, L, and C Faccena. "Mediterranean extension and the Africa-Eurasia collision." *Tectonics* 19 (2000): 1095-1106.
- Karfakis, I, and K Nikolakopoulos. "Use of Landsat TM Images for the Detection of Water Outflows in the Coastal Area of South Attiki Peninsula, Greece." *Proc of SPIE*. Agia Pelagia, 2002. 692-700.
- Katsikatsos, G. "La structure tectonique d' Attique et de l'ile d' Eubee." *Reun. extr. des Soc. geol. de France et de Grece Bull Soc Geol. France* 19 (1977): 75-80.
- Katsikatsos, G, G Migiros, M Trianta?llis, and A Mettos. "Geological structure of Internal Hellenides (E. Thessaly-SWMacedonia, Euboa-Attica-Northern Cyclades Islands and Lesvos)." *Geological and Geophysical Research, Special Issue*, 1986: 191-212.
- Keller E. *Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes*. Washington DC: National Academy Press, 1986.

- Keller, E.A., and N. Pinter. Active Tectonics. 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- Kessel, G. "Attic peninsula (Greece): Deformation and P-T path of the cristalline units." Int. Earth Sci. Cong. on Aegean Reg. (IESCA). Izmir, 1990. 63.
- Kessel, G.. "Untersuchungen zu Deformation und Metamorphose in Attischen Kristallin, Griechenland." Berliner geowiss Abh., 1990b: 150.
- Kieslinger, A. "Die Akropolis - Veberschiebung in Athen." Zentrbl. Min B (1933): 276-280.
- Kissel, C, C Jaj, A Poisson, and N Gorur. "Paleomagnetic reconstruction of the Cenezoic evolution of Eastern Mediterranean." Tectonophysics, 2003: 199-217.
- Kober, L. "Beitrage zur Geologie von Attika." Sitz. Akad. Wiss. Mat. - Mat. kl., 1929: 199-326.
- Kober, L.. "Beitrage zur Geologie von Attika." Sitz. Akad. Wiss. Mat.-Nat. kl, 1929: 199-326.
- Kreemer, C, W Holt, and A. J Haines. "An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation." Geophys. J. Int., 2003: 8-34.
- Krohe, A, E Mposkos, A Diamantopoulos, and G Kaouras. "Formation of basins and mountain ranges in Attica (Greece): The role of Miocene to Recent low-angle normal detachment faults." Earth-Science Reviews, 2010: 81-104.
- Ktenas, C. "Sur l'age des terrains calcaires des environs d' Athenes." Com. Red. Ac. Sc. Paris, no. 144 (1907): 697-699.
- Le Pichon, X. "Land-locked oceanic basins and continental collision, the eastern Mediterranean as a case example." In Mountain Building Processes, edited by K. J Hsue, 201-211. San Diego, 1982.

- Lee, C, and L Tsai. "A quantitative analysis fro geomorphic indices of longitudinal river profile: a case study of Choushui River, Central Taiwan." *Environ Earth Sci*, no. 59 (2010): 1549-1558.
- Lekkas, S, and S Lozios. "Tectonic structure of Mt. Hymittos." *Ann. Geol. Pays Hell.*, 2000: 47-62.
- Lelew, M, and M Newmann. "L' age des formations d' Attique, Grece." *C.R. Acad. Sc. Paris*, 1969: 1361-1363.
- Lepsius, R. *Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine.* Berlin, 1893.
- Lindermayer, A. "Geschichte der Veranderrungen welche die Provinz Attika erlitten hat, ehe sie von Meschen bewohnt wurde." *Ber. Augsb. Natw. Ver.*, 1862: 23-28.
- Mackin, J.H. "Concept of the graded river." *Geological society of America Bulletin*, no. 59 (1948): 463-512.
- Maidment, D. *Arc Hydro: GIS for water resources.* Redlands: EsriPress, 2002.
- Maluski, H, M Bonneau, and J.R. Kienast. "Dating the metamorphic events in the Cycladic area:  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  data from metamorphic rocks if the island of Syros (Greece)." *Bulletin of Geol. Soc. France*, 1987: 833-842.
- Mariolakos, I, and D Papanikolaou. "Observation on the structural geology of Western Pentelikon, Attika (Greece)." *Geol. Soc. Greece Bull.*, 1973: 134-179.
- Mayer, L. *Introduction to Quantitative Geomorphology: An Exercise Manual.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.
- McClusky, S.C, and al. "Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus." *J. Geophys. Res.*, 2000: 5695-5719.
- McKenzie, D. "Active tectonics of the Mediterranean region." *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1972: 109-185.

- Melidonis, N.G. The geological structure and mineral deposits of Tinos Island (Cyclades, Greece). Vol. 13, in The geology of Greece, 68. 1980.
- Merkela, W, M. Kaushikab, and E Gorman. "NRCS GeoHydro-A GIS interface for hydrologic modeling." Computers & Geosciences (Elsevier) 34, no. 8 (2008): 918 - 930.
- Molin, P, F.J. Pazzaglia, and F Dramis. "Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly deforming forearc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy." American Journal of Science, no. 304 (2004): 559-589.
- Mountrakis, D, E Sapounzis, A Kiliyas, G Eleftheriadis, and G Christofides. "Paleogeographic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area." Canadian Journal of Earth Sciences, no. 20 (1983): 1673-1681.
- Negrís, Ph. "Roches cristallophylliennes et tectonique de la Grece." N. Jah. f. Min. Geol. Pal. Beil, 1919: 100 (210-310).
- Negrís, Ph. "Sur l'age des schistes d' Athenes." Com. Red. Ac. Sc. Paris, 1912: 1838-1840.
- Negrís, Ph. "Vicissitudes de l' Egeeis a travers les ages geologigues." Archimides 16 (1915): 13-23.
- Neteler, Markus, Helena Mitasova. OPEN SOURCE GIS A GRASS GIS Approach. 3rd Edition. New York: Springer, 2008.
- Norabuena, E. et al. "Space geodetic observations of Nazca - South America convergence across the central Andes." Science, no. 279 (1998): 358-362.
- O' Leary, J, S Friedman, and H Pohn. "Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms." Bull. Geol. Soc. America, 1976: 1463-1469.
- Papadeas, G. "Zur Geologie der kristallinen Gesteine von Marathon." Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας 10/2 (1973): 13-64.

- Papadeas, G. "Zur stratigraphie und Alterstellung der metamorphen Serien NE von Athen (Marathon)." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 44 (1969): 10-18.
- Papanikolaou, D. "Geotectonic evolution of the Aegean." Bull. Geol. Soc. Greece. 1993. 33-48.
- Papanikolaou, D. "Late Cretaceous paleogeography of the metamorphic Hellenides." Geol. Geoph. Res, no. Special issue (1986a): 315-328.
- Papanikolaou, D. "The three metamorphic belts of the Hellenides: A review and a kinematic interpretation." Edited by J. E. Dixon and A.H.F. Robertson. Geol. Soc., no. Spec. Publ., 17 (1984): 551-561.
- Papanikolaou, D, and L Royden. "Disruption of the Hellenic arc: Late Miocene extensional detachment faults and steep Pliocene-Quaternary normal faults - Or what happened at Corinth?" Tectonics, 2007: TC 5003.
- Paraskevopoulos, G. "Die Gesteine des Horizonts des Kaessariani-Schiefers in Pentelikongebirge." Ann. Geol. Pays Hell. 8 (1957): 233-245.
- Paraskevopoulos, G. "Die Umrandung des Attisch-Kykladischen Massivs in Gebiet Zwischen Pentelikon und Parnesgebirge." Ann. Geol. Pays Hell 14 (1963): 305-323.
- Parcharidis, I., E. Psomiadis, and G. Stamatis. "Using Landsat TM images to study the karstic phenomenon." ITC Journal, 1998: 118-123.
- Peréz-Peña, José Vicente, Antonio Azor, José Miguel Azorín, and Edward A. Keller. "Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis." Geomorphology, 2010: Article in press.
- Perna, G. "Il carsismo profondo nel Sulcis-Iglesiente (Sardegna sud occidentale) e nel Trentino-Veneto (Alpi orientali italiane). "Carsismo Messiniano": esempi di carsismo profondo correlati con il livello del Mediterraneo nel Messiniano." Annali dei Musei Civici di Rovereto, 1994: 327-378.

- Philippson, A. "Die griechischen Landschaften. Eine Landskunde. I/3 Attika and Megaris." Ref. Creutzburg: Erdke 9, 69-77 & ref. Haralambous: Cent. f. Geol. und Pal, I, 440-442, 1952: 745-1086.
- Photiades, A., Carras. N. "Stratigraphy and geological structure of the Lavrion Area (Attica, Greece)." Bull of the Geol. Soc. of Greece. Athens, 2001. 103-109.
- Reilinger, R, et al. "Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone." Tectonophysics, 2010: 22-30.
- Rigaux, P., Scholl M., Voisard A.. Spatial Databases, with application to GIS. San Francisco: Morgan Kaufman, 2002.
- Robertson, A.H.F. "Mesozoic-Tertiary tectonic-sedimentary evolution of a South Tethyan Oceanic basin and its margins in Southern Turkey." Geological Society of London, no. Special Publications 173 (2000): 97-138.
- Rumsey, D, and M Williams. Past Time, past Place: GIS for History. ESRI Press, 2002.
- Ruszkiczay-Rudiger, Z, L Fodor, E Horvath, and T Telbisz. "Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary." Geomorphology, no. 104 (2009): 203-217.
- Sabins, F. Remote Sensing: principals and interpretation. 3rd Edition. New York: Freeman & Co., 1997.
- Schellart, W. P., D. R. Stegman, R. J. Farrington, J. Freeman, and L. Moresi. "Cenozoic Tectonics of Western North America Controlled by Evolving Width of Farallon Slab." Science, 2010 ??? 16-July: 316-319.
- Schumm, S.A. The Fluvial System. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- Sindowski, K. "Zer Geologie des Lykabettos - Turkowuni - Gebietes bei Athen." Ann. Geol. Pays Hell., 1951: 11-21.



- Sindowski, K. "Der geologische Bau von Attika." *Ann. Geo. Pays Hell.* 2 (1949): 163-218.
- Smith, D.E, and al. "Tectonic motion and deformation from satellite laser ranging to LAGEOS." *J. Geophys. Res.*, 1990: 22013-22041.
- Steinmann, G. "Einige Fossilreste aus Griecheland." *Zeit. d. Deuts. geol. Gesel* 42 (1890): 764-771.
- Strahler, A. N. "Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms." *Geological Society of America Bulletin* 69 (1958): 279-299.
- Strahler, A. N. "Hypsometric (area - altitude curve) analysis of erosional topography." *Geological Society of America Bulletin*, no. 63 (1952): 1117-1141.
- Svensson, P., Z. Huang. "Geo-SAL: A Query Language for Spatial Data Analysis." *Proc. 2nd Intl. Symposium on Large Spatial Databases. Zurich*, 1991. 119-140.
- Tirel, C., P. Gautier, D.J.J. van Hinsbergen, M.J.R. Wortel. "Sequential Development of Metamorphic Core Complexes: Numerical Simulations and Comparison to the Cyclades, Greece." Edited by D.J.J. van Hinsbergen, M.A. Edwards and R. Govers. *Collision and Collapse at the Africa-Arabia-Eurasia Subduction Zone (Geological Society of London) Special Publication*, vol. 311 (2009): 257-292.
- Trikkalinos, J. "Beitrage zer Erforschung des tektonischen Baus Griechenlands. Uber das Alter der kristallinen Gesteine Griechenlands." *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών* 25 (1950b): 500-518.
- Trikkalinos, J. "Beitrage zer Erforschung des tektonischen Baus Griechenlands. Uber die schichtenfolge und Deckenbau der Gebirgsmassive von Hymettos und Pentelikon." *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών* 25 (1950a): 218-224.
- Trikkalinos, J. "Beitrage zer Erforschung des tektonischen Baus Griechenlands. Uber ie palaographische Bedeutung der Kykladen-Mass dur dit tektonische Entwicklung des ostlichen Teiles Griechenlands." *Πραγματεία της Ακαδημίας Αθηνών* 18, no. 2 (1954): 1-48.

- Trikkalinos, J. "Beitrage zur Erforschung des tektonischen Baus Griechelands. Uber die Schichtenfolge und den Bau Attikas." Fest. Geb V. H. Stille 60 (1936): 303-314.
- Trikkalinos, J. "Beitrage zur Erforschung des tektonischen Baus Griechelands. Uber das Alter und den tektonischen Bau des Lykabettosgebiets." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 23 (1948): 290-292.
- Trikkalinos, J. "Tektonische und paleogeographische Untersuchungen der nachtertiaren Schichten Attikas." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 10 (1935): 447-457.
- Trotet, F, L Jolivet, and O Vidal. "Tectono-metamorphic evolution of Syros and Sifnos islands (Cyclades, Greece)." Tectonophysics, no. 338 (2001): 179-206.
- Universities NAVSTAR, Consortium. UNAVCO brochure. 1998. [http://www.unavco.org/pubs\\_reports/brochures/1998\\_UNAVCO/1998\\_UNAVCO.html](http://www.unavco.org/pubs_reports/brochures/1998_UNAVCO/1998_UNAVCO.html).
- Woods, J. "Notice on the rocks of Attica." Trans. Geol. Soc. London 1, no. 1 (1822): 170 - 172.
- Wu, Simon, Jonathan Li, and G Huang. "A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution." Applied Geography (Elsevier) 28, no. 3 (2008): 210-223.
- Zuchiewich, W. "On different approaches to neotectonics: a Polish Carpathian example." Episodes, no. 14 (1991): 116-124.
- Zuchiewich, W. "Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland." Tectonophysics, no. 297 (1998): 121-132.
- Ανδρέϊκος, Α. "Παλαιολιθικά ευρήματα στην Ανατολική Αττική." Αρχαιολογία & Τέχνες, αρ. 67 (1998): 80-85.

- Αντωνίου, Β. Οι γεωπεριβαλλοντικές συνθήκες του λεκανοπεδίου Αθηνών με χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων. Αθήνα: Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2000.
- Δούνας, Α, and Π Γαϊτανάκης. "Στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις στη βουνοσειρά Αιγάλεω και στο δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου της Αθήνας." Ορυκτός πλούτος, 1981: 21-31.
- Ktenas, C. "Sur l' age des terrains calcaires des environs d' Athenes." C. R. Ac. Sciences, 1907: 697-699.
- Κατσαβριάς, Ν. "Υπολείμματα μίας άγνωστης ισοπικής ζώνης των ανατολικών Ελληνίδων στη Λαυρεωτική." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, 1990: 96-106.
- Κατσικάτσος, Γ. Γεωλογία της Ελλάδας. Πάτρα, 1992.
- . "Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας, Φύλλο Κηφισιά, 1:50.000." ΙΓΜΕ, 2002.
- Κονοφάγος, Κ. Το αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου. 1980.
- Κορδέλλας, Α. "Περί της γεωλογικής ηλικίας των πετρωμάτων της Αττικής." Παρνασσός 7 (1883): 174-176.
- Κτενάς, Κ. "Έρευνα επί της μεταλλογένειας την ΝΔ Αιγίδος." Επιστ. Επετ. Παν. Αθηνών 13/6 (1917): 85-133.
- Κτενάς, Κ. "Περί των γεωλογικών συνθηκών των υδροφόρων στρωμάτων του Κοκκιναρά." Αρχιμήδης 20 (1919): 126-136.
- Κτενάς, Κ. "Έκθεσις περί της λεπτομερούς χαρτογραφήσεως των Ελληνικών χωρών κατά τα έτη 1917 - 1925." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, 1927: 323-336.
- Λέκκας, Ε, Δ Παπανικολάου, Σ Λόζιος, Ι Παπούλια, and Βασιλοπούλου Σ. "Νεοτεκτονικός χάρτης Ανατολικής Αττικής." Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, 1995.

- Λόζιος, Σ. Τεκτονική ανάλυση μεταμορφωμένων σχηματισμών Βορειοανατολικής Αττικής. Αθήνα: Διδακτορική διατριβή, ΕΚΠΑ, 1993.
- Μαρίνος, Γ, Γ Κατσικάτσος, Ε Γεωργιάδου-Δικαιούλια, and Ρ Μίρκου. "Το σύστημα των σχιστολίθων Αθηνών. - Ι. Στρωματογραφία και Τεκτονική." *Ann. Geol. de Pays Hell.*, 1971: 183-216.
- Μαρίνος, Γ, Γ Κατσικάτσος, Ε, and Ρ Μίρκου - Περιποπούλου. "Το σύστημα των σχιστολίθων. - ΙΙ. Στρωματογραφία και τεκτονική." *Ann. Geol. de Pays Hell.*, 1973: 439-444.
- Μαρίνος, Γ., and W. E. Petrascheck. "Λαύριον." In *Λαύριον, γεωλογική γεωφυσική μελέτη*. Αθήνα: ΙΓΜΕ, 1956.
- Μαριολάκος, Η. "Τεκτονική ανάλυση των συστημάτων διακλάσεων του βόρειου Υμηττού (Αττική)." *Ann. Geol. Pays Hell.*, 1971: 323-379.
- Μαριολάκος, Η, and Δ Παπανικολάου. "Παρατηρήσεις επί της τεκτονικής του δυτικού Πεντελικού - Αττική." *Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 1973: 134-179.
- Μέττος, Α. Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ/κης Αττικής και ΝΑ/κής Εύβοιας. Αθήνα: Διδακτορική διατριβή, ΕΚΠΑ, 1992.
- Μιγκίρος, Γ. Στρωματογραφία - Εφαρμοσμένη Γεωλογία. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 1991.
- Μιγκίρος, Γ., Α Παυλόπουλος, Ι Παρχαρίδης, Ι Γατσής, και Ε Ψωμιάδης. Τηλεπισκόπηση: εφαρμογές στις γεωεπιστήμες. Αθήνα: Γ.Π.Α., 2003.
- Μιγκίρος, Γεώργιος. Πληροφοριακό Σύστημα Διαχείρισης Τεκτονικών και Σεισμικών Δεδομένων Ενεργών Ρηγμάτων. ΟΑΣΠ, Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2002.
- Νάκος, Βύρωνας. Αναλυτική χαρτογραφία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006.

- Παπαδέας, Γ. "Γεωλογική - τεκτονική εξέλιξη στην Αττική και η βαρίσκιος μεταλλοφορία μικτών θειούχων και άλλων ορυκτών στην Ελλάδα." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 62 (1987): 59-81.
- Παπαδέας, Γ. "Η Στρωματογραφία και η ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της ΒΑ Αττικής." Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας 18 (1986): 55-81.
- Παπαδέας, Γ. "Νεότερα πορίσματα στη γεωλογική - τεκτονική εξέλιξη των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής και στη Βαρίσκια μεταλλοφορία." Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών 66 (Νοέμβριος 1991): 331-370.
- Παπανικολάου, Δ. Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα: Επτάλοφος, 1986b.
- Παπανικολάου, Δ, and και συνεργάτες. "Γεωλογική - Γεωτεχνική μελέτη Λεκανοπεδίου Αθηνών." Εφαρμοσμένο ερευνητικό πρόγραμμα, Αθήνα, 2002, 152.
- Παπανικολάου, Δ, Ε Μπάση, Χ Κράνης, and Γ Δαναμός. "Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα." Bull. of the Geol. Soc. of Greece, 2004a: 816-825.
- Παπανικολάου, Δ, Σ Γ Λόζιος, Κ Ι Σούκης, and Εμ Ν Σκούρτσος. "Η γεωλογική δομή του αλλόχθονου συστήματος των σχιστόλιθων Αθηνών" Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου. Θεσσαλονίκη, 2004. 1550-1559.
- Παπαχατζής, Ν.Ι. Μορφογενετικά έρευναι του βαθυπέδου των Μεσογείων Αττικής. Αθήνα, 1980.
- Παρασκευαΐδης, Η., and Π Χωριανοπούλου. "Μια τομή απ' το βουνό Αιγάλεω ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας." Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, 1978: 116-136.
- Παρασκευόπουλος, Γ. "Τα πετρώματα του ορίζοντος του σχιστολίθου Καισαριανής εν Πεντελικώ." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 31 (1956a): 280-290.
- Παρασκευόπουλος, Γ. "Φλεβικές εμφανίσεις εν Πεντελικώ προελθούσαι εκ μεταμορφώσεως." Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών 31 (1956b): 291-299.

Παυλόπουλος, Κοσμάς. Γεωμορφολογική εξέλιξη την νότιας Αττικής. Αθήνα: ΕΚΠΑ, 1997.

Τάταρης, Α. "Νεώτερα πορίσματα επί της γεωλογίας της νήσου Σαλαμίνας και της περιοχής Αττικής." Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, 1972: 482-514.

Τσάιμου, Κ. Εργασία και ζωή στο αρχαίο Λαύριο σε εγκατάσταση εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων τον 4ο αι. π.Χ. Αθήνα, 1988.

Φουντούλης, Ι., Σ. Μαυρούλης, and Δ. Θεοχάρης. "Μορφοτεκτονική μελέτη και εφαρμογή μορφομετρικών δεικτών στην περιοχή Λευκοχωρίου - Οχθιών (κεντροδυτική Πελοπόννησος)." 8ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο. Αθήνα: ΕΚΠΑ, 2007. 19-28.

## **9 ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ**

buffer, 95

Επιφάνειες επιπέδωσης, 69

file geodatabase, 48

longitudinal valley profiles, 102

mountain – front sinuosity, 92

points, 23

polygons, 24

polylines, 23

raster, 23

relational databases, 24

remote sensing, 57

resolution, 23

**Spatial resolution, 59**

**Spectral Resolution, 60**

**Temporal Resolution, 60**

topology, 24

vector, 23

voxel, 25

**Ατμοσφαιρική διόρθωση, 61**

Γεωγραφικά Συστήματα

Πληροφοριών, 18

**Γεωμετρική διόρθωση, 61**

δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης, 75

δείκτης βαρύτητας, 29

δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης  
μετώπου, 92

δείκτης υψομετρικού ολοκληρώματος,  
80

διακριτική ικανότητα, 23

διανυσματικά, 23

θεματικό επίπεδο, 26

Ιστορικοί χάρτες, 54

κανονικοποιημένα διαγράμματα, 102

**Λόγοι καναλιών, 62**

μορφολογικές ασυνέχειες, 71

μορφοτεκτονική, 65

**Οπτικές βελτιώσεις, 62**

πίνακες, 28

Πολύγωνα, 24

**Ραδιομετρική διακριτική  
ικανότητα, 60**

Σημεία, 23

σχεσιακές βάσεις δεδομένων, 24	φωτογραμμώσεις, 242
τεκτονική γεωμορφολογία, 65	χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου, 31
τηλεπισκόπηση, 57	<b>Χρονική διακριτική ικανότητα, 60</b>
τοπογραφικά προφίλ κοιλάδων, 102	<b>Χωρική διακριτική ικανότητα, 59</b>
τοπολογικός κανόνας, 24	ψηφιακή χαρτογραφία, 21
Υδρολογικό ΨΜΑ, 116	ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου, 30
<b>Φασματική διακριτική ικανότητα,</b> 60	ΨΜΑ, 30