



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ:
Μ.Π.Σ. «ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»
ΚΛΑΔΟΣ: «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ»

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ



Μεταπτυχιακή Εργασία

ΑΛΕΞΙΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ-ΣΙΜΩΝΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ
ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΡΓ. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2013



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ:
Μ.Π.Σ. «ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ»
ΚΛΑΔΟΣ: «ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ»

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ



Μεταπτυχιακή Εργασία

ΑΛΕΞΙΟΥ Θ. ΔΕΣΠΟΙΝΑ-ΣΙΜΩΝΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ
ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΡΓ. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Επ. Καθηγητής Ι. Παπανικολάου

Καθηγητής Γ. Μιγκίρος

Επ. Καθηγητής Ι. Τσίρος

ΑΘΗΝΑ 2013



Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
3. ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ- ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	11
3.1. ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	11
3.1.1. ΥΔΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	13
3.1.2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ.....	20
3.1.3. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....	21
3.2. ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	24
3.2.1. ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΤΗΣ 21/8/2009.....	31
3.2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	32
3.2.3. ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ	35
3.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	37
3.3.1 ΜΟΝΤΕΛΟ PESERA.....	39
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	42
4.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	43
4.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	54
4.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ- ArcGIS.....	60
5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	66
5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	66
5.2 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	69
5.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	71
5.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	80
5.6 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ	91
5.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	94
5.8 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	96
5.9 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	107
5.10 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ.....	138
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PESERA	148
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	163
7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ Γ.Σ.Π (Fox et al. 2006) ...	163
7.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PESERA	168
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	174
8.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	174
8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	179
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	182





ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική ανατέθηκε στα πλαίσια του Π.Μ.Σ. «Θετικές επιστήμες στη Γεωπονία» του τομέα Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Γενικού Τμήματος, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, από τον Επίκουρο Καθηγητή Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του ΓΠΑ, Παπανικολάου Δ. Ιωάννη με θέμα:

«Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ»

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ιωάννη Παπανικολάου για την καθόλα βοήθεια του και καθοδήγηση του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, καθώς επίσης και για την παρουσία του στην υπό μελέτη περιοχή.

Ευχαριστώ τον Ορέστη Καΐρη για την πολύτιμη βοήθεια του σε θέματα σχετικά με το μοντέλο Pesera, οι γνώσεις και η εμπειρία του σε αντίστοιχες εργασίες ήταν καθοριστικές στην εφαρμογή του μοντέλου στην περιοχή του Μαραθώνα.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον Κ.Κοσμά Καθηγητή Εδαφολογίας του ΓΠΑ, χωρίς τις γνώσεις του και την προγενέστερη εμπειρία σε θέματα χαρτογράφησης εδαφικών μονάδων και την αναγνώριση των εδαφικών οριζόντων στην εξεταζόμενη περιοχή δε θα ήταν δυνατή η εφαρμογή του μοντέλου Pesera.

Ευχαριστώ τον Δρ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη για τη βοήθεια του σε θέματα τηλεπισκόπησης και Γ.Σ.Π.

Τέλος, ευχαριστώ τον κ. Ιωάννη Τσίρο Επίκουρο Καθηγητή Μετεωρολογίας, για τις συμβουλές και τις οδηγίες του στην επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων του Μαραθώνα.



1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο περιβάλλον είναι πλέον αδιαμφισβήτητο γεγονός. Τα τελευταία χρόνια οι αλλαγές των χρήσεων γης και οι εκδηλώσεις φαινομένων πυρκαγιάς αποτελούν κάποια από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει μια χώρα. Στον Μεσογειακό χώρο το θέμα των πυρκαγιών έχει πάρει τεράστιες διαστάσεις λόγω αύξησης της συχνότητας τους και των προβλημάτων που αυτές επιφέρουν. Συνθήκως, στα Μεσογειακά κλίματα την περίοδο εκδήλωσης πυρκαγιών ακολουθούν περίοδοι με βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης, με αποτέλεσμα μεγάλες ποσότητες νερού να πέφτουν σε πολύ μικρό χρόνο σε μια περιοχή. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της εδαφικής διάβρωσης.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάλυση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα και των επιπτώσεων στο υδρογραφικό δίκτυο λόγω της κατασκευής του φράγματος, καθώς και μια σύγκριση του φαινομένου της εδαφικής διάβρωσης που υφίσταται στη λεκάνη πριν και μετά την πυρκαγιά της 21^{ης} Αυγούστου 2009 (έτη 2008 και 2011). Εξετάζοντας τις φυσικές (κλιματικές, εδαφολογικές, τοπογραφικές, γεωλογικές) συνθήκες καθώς και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις κατέστη εμφανής ο κίνδυνος εδαφικής διάβρωσης που υφίσταται η λεκάνη κατάκλυσης του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, ο οποίος έχει αυξηθεί εξαιτίας των πυρκαγιών, αλλά και των αλλαγών χρήσεων γης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι αφενός, η μεθοδολογία υπέρθεσης δεδομένων μέσω χωρικών χαρτών, οι οποίοι κατασκευάστηκαν με τη χρήση των Γ.Σ.Π. και αφετέρου το μοντέλο PESERA, το οποίο αποτελεί ένα λεπτομερές, εμπειρικό αναγνωρισμένο μοντέλο εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης. Για τη θεώρηση των παραμέτρων που υπεισέρχονται σε καθεμία από τις παραπάνω μεθοδολογίες συλλέχθηκαν δεδομένα κλιματικά, εδαφολογικά, γεωλογικά, γεωμορφολογικά, φυτοκάλυψης, δορυφορικά δεδομένα, ορθοφωτοχάρτες, ενώ απαραίτητη κρίθηκε και η παρουσία στην υπό μελέτη περιοχή για την αντικειμενικότερη εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης. Έτσι δόθηκε η ευκαιρία μιας επί μέρους συσχέτισης της επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης της λεκάνης του Μαραθώνα με μία μικρή λεκάνη απορροής εντός της μεγαλύτερης αυτής λεκάνης του ταμιευτήρα. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τα λογισμικά ArcGIS v.10 και ERDAS Imagine 2010, ενώ για



τη βέλτιστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ArcScene v.10 και COREL X5.

Στη συνολική εικόνα της λεκάνης η εδαφική διάβρωση είναι μεγαλύτερη κατά το έτος 2008 σε σχέση με το έτος 2011 εξαιτίας των διαφορετικών μετεωρολογικών χαρακτηριστικών κάθε έτους. Χαρακτηριστική ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας διάβρωσης αποτελεί η πυρόπληκτη περιοχή του 2009, ενώ η λεκάνη απορροής του Σπαρτορρέματος φαίνεται να πλήττεται ιδιαίτερα από φαινόμενα διάβρωσης λόγω της σημαντικής μείωσης της φυτοκάλυψης εξαιτίας της πυρκαγιάς.

Λέξεις κλειδιά: Βορειοανατολική Αττική, Μαραθώνας, υδρογραφικό δίκτυο, τεκτονική, γεωμορφολογική ανάλυση, στερεομεταφορά, πυρκαγιά, εδαφική διάβρωση, αντιδιαβρωτικά μέτρα, μοντέλο PESERA.



ABSTRACT

Human activities have caused severe environmental downgrading. During the last decades the alteration in land uses and the increase of wildfire events are the most significant environmental problems that Greece has to confront. In a Mediterranean climate, after a fire event, high intensity rainfalls do follow, resulting in high erosion rates and the loss of productive soil that on the long-term can lead to desertification phenomena.

Within this Msc thesis the geomorphological characteristics of Marathon basin were analyzed, considering also their consequences in the drainage network following the construction of the Marathon dam. In addition, there is also a study on soil erosion within the basin and in particular a comparison between soil erosion processes that existed before the severe fire event of 21st August 2009 and after the fire (years 2008 and 2011 respectively).

Taking into consideration the natural parameters (climate, soil type, geomorphology, geology) but also the human interventions, it was obvious that the soil erosion risk in the Marathon lake basin, has been increased based on past fire burning and the changes in land uses. For the soil erosion risk assessment two methods were used. Firstly, it was attempted an “overlying maps” method in a GIS environment. So, relief, geology, soil type, vegetation coverage and fire events were combined in order to produce a first order pattern of erosion risk map. Then, the well known and detailed European PESERA model was chosen exactly because it is an applicable, spatial distributed model which combines the imported parameters into a forecast of runoff and soil erosion. In order to calculate the parameters which were imported some data had to be collected. The regional climate, soil type, relief and the vegetation coverage were also used as in previous method, but additionally, some satellite data, orthophotos and geological data had to be analyzed thoroughly. It has to be referred that in order to estimate more objectively the studied parameters, fieldwork data was also gathered. Following the above, a correlation was accomplished between the Marathon basin and a small basin within (Spartorrema river) in order to study erosion in different scales.

The data process carried out with ArcGIS v.10 and ERDAS Imagine 2010, while ArcScene v.10 and COREL X5 were used for the optimization of the exported results.



Overall, the whole basin seems to be under continuous alteration. In respect to this, the soil erosion risk is higher in year 2008, predominantly due to differentiated meteorological characteristics in comparison with the year 2011. On the other hand, an extremely high risk zone is estimated in the burnt area of 2009, including the Spartorrema basin due to lack of vegetation.

Keywords: Attica, Marathon, river drainage basin, tectonics, runoff, indices-fires, erosion risk assessment, PESERA model.



2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ΒΑ Αττική και πιο συγκεκριμένα η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, με το εξαιρετικό φυσικό της τοπίο και τον απaráμιλλης σπουδαιότητας ταμιευτήρα αποτελεί μια περιοχή υψίστης σημασίας για την ευρύτερη περιφέρεια της Αττικής. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από το ομώνυμο φράγμα, το οποίο υδροδοτεί μέρος της Αθήνας αλλά και των θερμοκηπίων του Μαραθώνα, ενώ περιμετρικά του αναπτύσσεται ζώνη περιβαλλοντικής προστασίας (αποτελώντας ένα κρίσιμο τρίγωνο μεταξύ του εθνικού δρυμού της Πάρνηθας και του ορεινού όγκου της Πεντέλης).

Η διαμόρφωση της ευρύτερης περιοχής λόγω της κατασκευής του φράγματος είναι αδιαμφισβήτητη, με σημαντικές διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης, οι οποίες σε συνδυασμό με τις πρόσφατες πυρκαγιές αυξάνουν τον κίνδυνο διάβρωσης στη λεκάνη κατάκλυσης του ταμιευτήρα. Οι συνέπειες της εδαφικής διάβρωσης είναι ποικίλες. Το ουσιαστικό πρόβλημα εντοπίζεται στο έδαφος και τη μείωση της παραγωγικότητας του με άμεση επίπτωση στη φυτοκάλυψη. Εφόσον διαταράσσεται η δομή του εδάφους, μειώνεται το βάθος του και το περιεχόμενο οργανικό υλικό. Το γεγονός αυτό μέσα από τις διεργασίες της διάβρωσης, είναι δυνατόν κάτω από συγκεκριμένες ξηρές ή ημίξηρες κλιματικές συνθήκες να οδηγηθεί στην πλήρη ερημοποίηση του. Επομένως, η προστασία του εδάφους κρίνεται αναγκαία. Πολυάριθμες μέθοδοι έχουν διερευνηθεί ώστε να επιτευχθεί εκτίμηση της διάβρωσης. Η ασφαλέστερη μέθοδος φυσικά θεωρείται η επιτόπια μέτρηση της με τον κατάλληλο εξοπλισμό, μέθοδος η οποία όμως δεν είναι εφικτή στις περισσότερες των περιπτώσεων. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα διάβρωσης, τα οποία μέσα από τη μέτρηση ποικίλων παραμέτρων και με συγκεκριμένους αλγόριθμους επιτυγχάνουν την ποιοτική ή/και ποσοτική εκτίμηση της.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο συνδυασμός του μοντέλου PESERA με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS για την εκτίμηση του κινδύνου εδαφικής διάβρωσης της λεκάνης κατάκλυσης του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, στη ΒΑ Αττική. Η αποτίμηση της κατάστασης πριν και μετά την πυρκαγιά της 21^{ης} Αυγούστου 2009 πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα διαθέσιμα γεωγραφικά, εδαφολογικά, δορυφορικά, κλιματικά και δασικά δεδομένα, ενώ τα αποτελέσματα της ανάλυσης συγκρίθηκαν με αποτελέσματα ανάλογων μεθόδων (μοντέλο RUSLE), μελετών που σχετίζονται με το αποτιθέμενο υλικό στον



ταμιευτήρα και με επιτόπιες παρατηρήσεις επί των τεχνητών φραγμάτων που κατασκευάστηκαν το 2009 με στόχο τη μείωση της εδαφικής διάβρωσης στην εξεταζόμενη περιοχή.



3. ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ- ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

3.1. ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι πυρκαγιές συμβάλλουν στην εδαφική διάβρωση. Με το πέρας μιας πυρκαγιάς αρχικά υφίσταται μείωση των ειδών στην απογυμνωμένη περιοχή. Στη συνέχεια, με την φυσική αναγέννηση της βλάστησης αυξάνονται τα είδη φθάνοντας μία μέγιστη τιμή και ακολούθως μειώνονται με την ωρίμανση των φυτικών κοινωνιών (Whelan 1997). Όλοι σχεδόν οι σημερινοί τύποι της θαμνώδους βλάστησης των αείφυλλων πλατύφυλλων αποτελούν υπολείμματα των γνήσιων μικτών Μεσογειακών δασών που υπήρχαν παλαιότερα. Η αποψίλωση των δασών από τις πυρκαγιές μπορεί να προκαλέσει τη διατάραξη του υδατικού καθεστώτος στις κατάντη περιοχές, να οδηγήσει σε φαινόμενα διάβρωσης και στη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών (έντονα πλημμυρικά φαινόμενα), και να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τοπικό μικροκλίμα. Επίσης, η έντονη διάβρωση του εδάφους, οδηγεί τελικά σε τέλεια υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του τόπου, με τελική κατάληξη την εμφάνιση του φαινομένου της ερημοποίησης (<http://www.gscpp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/pirkagies.csp>).

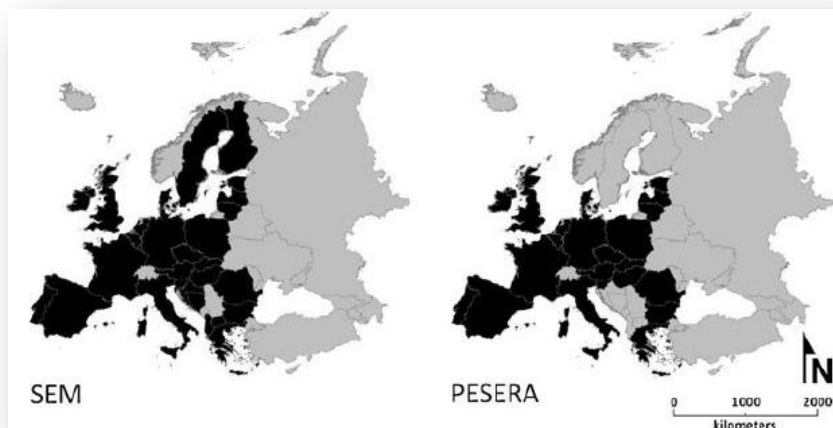
Η διάβρωση ορίζεται ως η διεργασία απόσπασης και απομάκρυνσης υλικού από τον επιφανειακό ορίζοντα των εδαφών και η απόθεση του σε άλλες θέσεις της γήινης επιφάνειας ή στη θάλασσα. Τα αίτια που προκαλούν τη διάβρωση είναι το νερό, ο άνεμος, ο πάγος και η βαρύτητα ή και ο συνδυασμός αυτών. Η διάβρωση είναι η πιο σοβαρή μορφή εδαφικής υποβάθμισης. Μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις η διάβρωση εξαφανίζει όλο τον εδαφικό μανδύα μέχρι το μητρικό πέτρωμα. Χωρίς τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις η ταχύτητα της εδαφικής διάβρωσης είναι πολύ μικρή και επικρατεί μια ισορροπία μεταξύ του εδάφους που χάνεται και του εδάφους που δημιουργείται. Η βλάστηση είναι αυτή που διατηρεί το έδαφος και εμποδίζει την εδαφική απόπλυση. Έτσι, το έδαφος καλύπτεται από ζωντανή ή νεκρή φυτική βλάστηση, η οποία προστατεύει το έδαφος από τον υετό και την ενέργεια της βροχόπτωσης καθώς και από τον άνεμο. Τέλος, το ριζικό σύστημα των φυτών συγκρατεί τους εδαφικούς κόκκους ακόμα και κατά την πλημμυρική περίοδο.

Το φαινόμενο της διάβρωσης δεν πρέπει να συγχέεται με την αποσάθρωση, η οποία περιλαμβάνει και αλλαγή της σύστασης των ορυκτών των πετρωμάτων που έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό εδάφους (Lueder 1959). Η φυσική διάβρωση αποτελεί μέρος του γεωλογικού κύκλου και της τοπογραφικής διαμόρφωσης της γης. Τα εδάφη



που σχηματίζονται από αποθέσεις φερτών υλών θεωρούνται ιδιαίτερα γόνιμα και μάλιστα το 1/3 του πληθυσμού της Γης συντηρείται από γεωργικά προϊόντα αυτών των εδαφών (Συλλαίος 1999).

Η μη ενδεδειγμένη γεωργική χρήση του εδάφους και η αποψίλωση δυστυχώς προκαλούν και επιταχύνουν τη διάβρωση. Η υπερβόσκηση επίσης επιταχύνει τη διάβρωση διότι απομακρύνει την ποώδη βλάστηση. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική όσον αφορά την προστασία των φυσικών πόρων, ο Crosson (1984) υποστηρίζει ότι αν η διάβρωση συνεχιστεί με τους ρυθμούς του 1977, σε 50 χρόνια η γονιμότητα των εδαφών της Αμερική θα μειωθεί κατά 8%. Για την Ευρώπη η διάβρωση είναι ένα σημαντικό ζήτημα το οποίο έχει προβληματίσει τους ερευνητές. Στο παρακάτω σχήμα προσδιορίζονται οι χώρες στις οποίες υπάρχουν υπολογισμένοι ρυθμοί εδαφικής διάβρωσης. (SEM: Cerdan et al. 2010, PESERA: Kirkby et al. 2004).



Σχήμα 1: Σχεδόν σε όλα τα ευρωπαϊκά κράτη έχουν διεξαχθεί μελέτες εκτίμησης του ρυθμού εδαφικής διάβρωσης (Cerdan et al 2010, Kirkby 2004).

Ποικίλοι τρόποι μέτρησης του μεγέθους της εδαφικής διάβρωσης έχουν αναγνωρισθεί και χρησιμοποιηθεί στη προσπάθεια αντιμετώπισης της. Μία μέθοδος είναι η απευθείας μέτρηση της ιζηματογένεσης εφόσον βέβαια υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα και ο εξοπλισμός. Μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδος αποτελούν τα εμπειρικά και φυσικά μοντέλα που θα περιγραφούν παρακάτω τα οποία χρησιμοποιούν διάφορου είδους πρωτογενή δεδομένα ώστε να εξάγουν συμπεράσματα για τη διάβρωση μιας περιοχής. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί μια νέα



μελέτη (2012) η οποία χρησιμοποιεί την περιεχόμενη συγκέντρωση ραδιονουκλιδίου $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ σε καμένες περιοχές σε σχέση με κάποιες αδιατάραχες περιοχές αναφοράς ώστε να προσδιορίσει το μέγεθος της εδαφικής διάβρωσης. Γενικά υπάρχει έλλειψη δεδομένων γύρω από το περιεχόμενο $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$. Οι Perreault et al. (2012) για να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα πραγματοποίησαν εκτεταμένη δειγματοληψία σε κάποια εδάφη αναφοράς (Central Idaho), ώστε να δημιουργήσουν τη βάση δεδομένων με τη οποία θα συγκριθούν τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Σε όλες τις θέσεις το οργανικό υλικό είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$. Στις ολοσχερώς και στις σχεδόν καμένες περιοχές η συγκέντρωση του ραδιονουκλιδίου ήταν μειωμένο κατά 58% και 41% αντίστοιχα, με τουλάχιστον 40% λιγότερο οργανικό υλικό σε σχέση με τις αδιατάραχες περιοχές. Αυτό δείχνει ότι το ραδιονουκλίδιο σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο οργανικό υλικό (Nozaki et al. 1978), το οποίο χάνεται με την πυρκαγιά. Το $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ προέρχεται από τη διάσπαση του ουράνιου.

Οι ερευνητές τονίζουν ότι πρόκειται για μια μέθοδο η οποία χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητες (αρχικό ποσοστό $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, κλίμακα παρατήρησης, ιστορικό πυρκαγιών), η οποία σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί ποσοτική εκτίμηση της διάβρωσης. Αποτελεί μόνο μια ολοκληρωμένη και χρήσιμη μέθοδο εκτίμησης της διάβρωσης.

Παρακάτω εξετάζονται οι βασικοί παράγοντες εδαφικής διάβρωσης που αποτελούν την υδατική και αιολική δράση ενώ παρατίθενται και μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου.

3.1.1. ΥΔΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Οι μηχανισμοί της διάβρωσης είναι πλέον ξεκάθαροι. Σε πρώτο στάδιο η βροχόπτωση στην περιοχή του αποκαλυμμένου εδάφους λόγω της μεγάλης κινητικής της ενέργειας καθιστά ασύνδετο τον εδαφικό μανδύα, σε μετέπειτα στάδιο ξεκινά η αποσταθεροποίηση του υλικού, το οποίο μεταφέρεται με την απορροή σε χαμηλότερα υψόμετρα. Τέλος, τα εδαφικά τεμάχια αποτίθενται σε νέες τοποθεσίες είτε πάνω από το προϋπάρχον αυτόχθονο έδαφος στη βάση ενός πρανούς είτε σε λίμνες και σε κοίτες ρεμάτων. Όσο πιο απότομο είναι το πρανές τόσο πιο επιδεκτική είναι και η εδαφική διάβρωση, η οποία εξαρτάται και από το μήκος του πρανούς. Σε πρανή μεγάλου μήκους η διάβρωση είναι πιο έντονη από ότι σε πρανή μικρού μήκους, διότι η ταχύτητα της απορροής αυξάνεται στα μεγάλα πρανή (Kelley 1990). Αξίζει να αναφερθεί ότι σημαντικό είναι και το σχήμα του πρανούς με τη διάβρωση να είναι

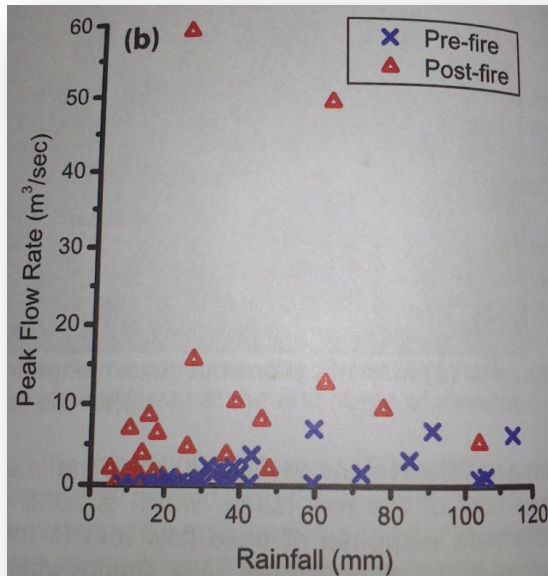
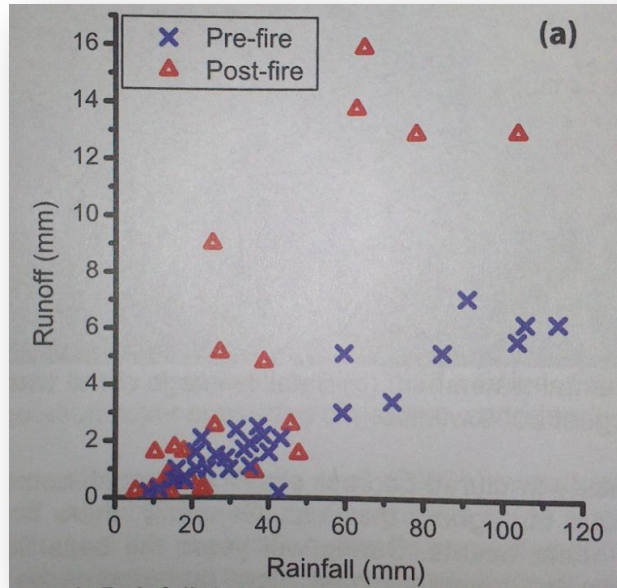


μεγαλύτερη σε κυρτά πρανή εν συγκρίσει με τα κοίλα. Τέλος, τα οργανικά εδάφη είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διάβρωση (Kelley 1990).

Η πλημμύρα είναι μια φυσική καταστροφή η οποία απειλεί άμεσα τον άνθρωπο. Οι δασικές πυρκαγιές αυξάνουν τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου κατά το οποίο ο άνθρωπος, η χλωρίδα, η πανίδα και οι κατασκευές είναι εκτεθειμένοι. Οι πυρκαγιές μεταβάλλουν σημαντικά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής, επηρεάζοντας άμεσα ή έμμεσα την υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της (Parathanasiou et al. 2012). Ένα πλημμυρικό γεγονός είναι σύνηθες φαινόμενο μετά από μία εκδήλωση πυρκαγιάς. Η περιοχή της Ανατολικής Αττικής πλήττεται συχνά την τελευταία δεκαετία από φαινόμενα πυρκαγιάς. Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας το μοντέλο G.FMIS (Geographic Fire Management Information System) για πλημμυρικά φαινόμενα του 2008 (πριν την εκδήλωση πυρκαγιάς) και του 2010 (μετά την πυρκαγιά), επισημαίνουν ότι η ένταση της βροχής φαίνεται να διαδραματίζει το βασικότερο ρόλο στην ποσότητα του εκφορτιζόμενου όγκου νερού και όχι το ύψος βροχής.

Οι ερευνητές Soulis et al. (2012) πραγματοποιώντας έρευνα για την πυρκαγιά του 2009 στον Μαραθώνα εντοπίζουν τη διαφορά στα mm της απορροής καθώς και στον ρυθμό της πριν και μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Τον πρώτο χρόνο της πυρκαγιάς η απορροή αυξήθηκε κατά 2,3 φορές ενώ ο μέγιστος ρυθμός της (m^3/s) αυξήθηκε 8,5 φορές σε σχέση με την απορροή κατά την περίοδο πριν την πυρκαγιά. Το γεγονός αυτό φαίνεται να οφείλεται επομένως στην ελλιπή φυτοκάλυψη και την αδυναμία του εδάφους να απορροφήσει το νερό, εξαιτίας του υλικού που έχει αποτεθεί στην επιφάνεια του.

Σχήμα 2: Στο διάγραμμα (a) διακρίνεται καθαρά η διαφοροποίηση του μεγέθους της απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά του 2009 στον Μαραθώνα. Στο διάγραμμα (b) είναι πασιφανής η αύξηση του ρυθμού της απορροής κατά την περίοδο μετά την πυρκαγιά (Soulis et al. 2012).



Οι ερευνητές Inbar et al. (1998) μελετώντας την εδαφική διάβρωση σε σχέση με την απορροή σε περιοχές της Ισπανίας (περιοχή με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Ελλάδα), απέδειξαν ότι στις καμένες περιοχές ο ρυθμός απορροής αυξήθηκε κατά 3 φορές, ενώ η εδαφική απώλεια ήταν διπλάσια εν συγκρίσει με τις αμετάβλητες περιοχές αναφοράς.

Πολυάριθμες μελέτες απόδεικνύουν

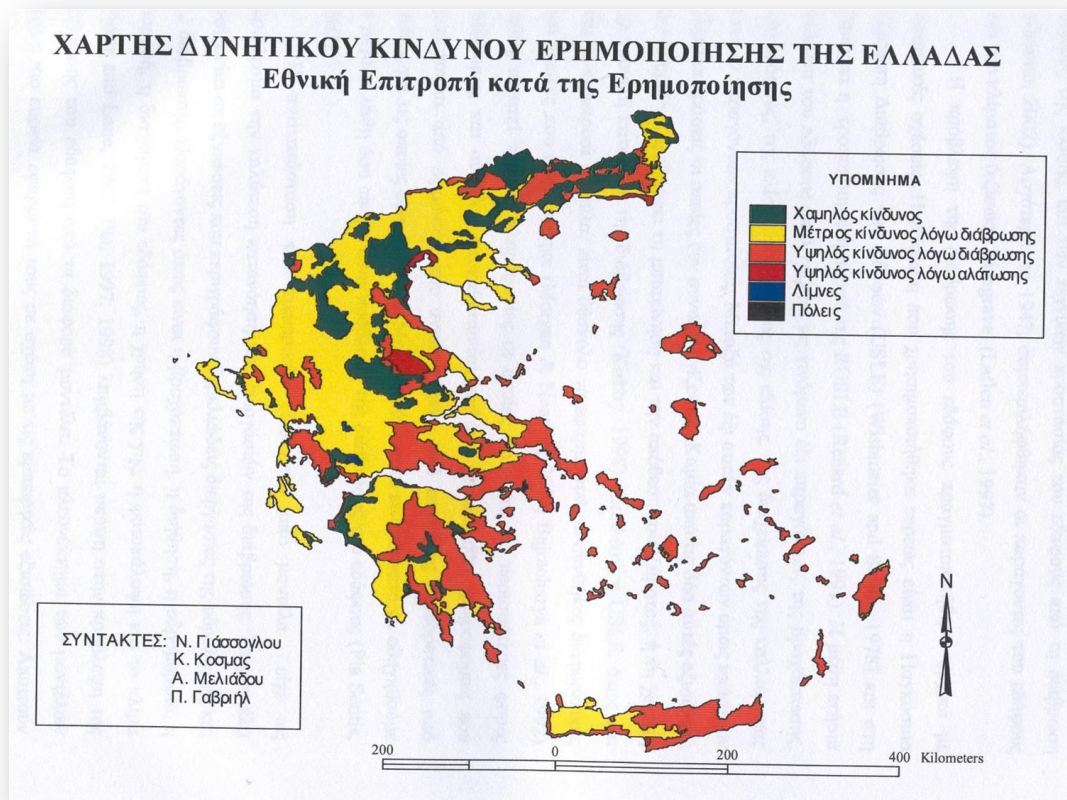
ότι οι μεγαλύτεροι ρυθμοί απορροής και εδαφικής απώλειας λαμβάνουν χώρα 1 με 2 χρόνια μετά την πυρκαγιά, όμως το ποσοστό της εδαφικής απώλειας και ο ρυθμός της εξαρτάται άμεσα από την ένταση και τα χαρακτηριστικά της φωτιάς (κυρίως από τη μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους, (Whelan 1997) καθώς και από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μετά την εκδήλωση του φαινομένου (Robichaud and Waldrop, 1994, DeBano 2000). Με τις ιδιαίτερες συνθήκες βροχόπτωσης που επικρατούν στο χώρο της Μεσογείου, η μέγιστη εδαφική ευαισθησία στην διάβρωση προσδιορίζεται στους 4 με 6 μήνες μετά την πυρκαγιά (Sala et al. 1994, Andreu et al. 2001).



Οι ρυθμοί εδαφικής απώλειας είναι σημαντικές για τον Μεσογειακό και επομένως και τον ελληνικό χώρο δεδομένου ότι ο ρυθμός σχηματισμού εδάφους αγγίζει τα 200g/my. (Hudson 1981). Αυτό δείχνει και την ιδιαίτερη σημασία των επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών στα ευαίσθητα μεσογειακά οικοσυστήματα στα οποία ο βαθμός της φυτοκάλυψης και ο χρόνος μεταξύ της πυρκαγιάς και της πρώτης βροχόπτωσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες εδαφικής απώλειας (Emmerich and Cox 1994).

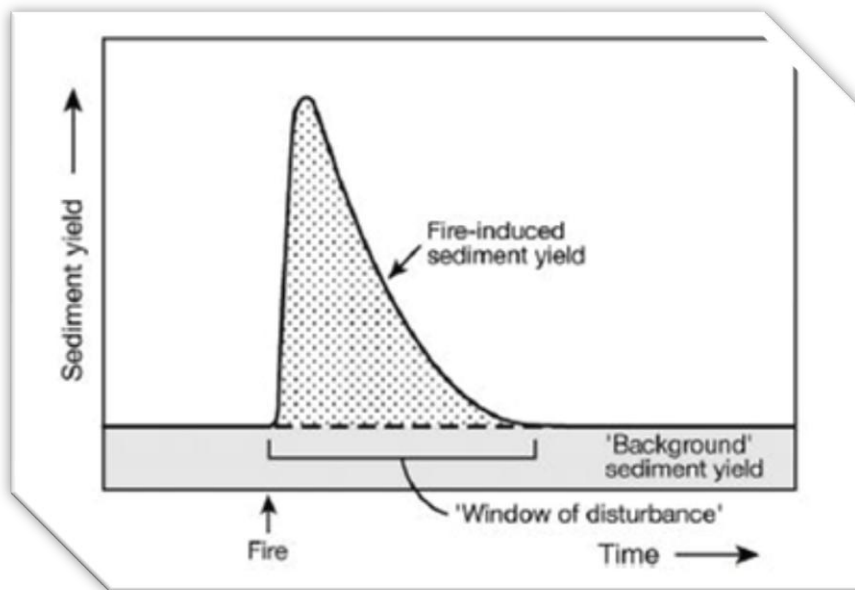
Η διάβρωση που υφίσταται η περιοχή της Ανατολικής Αττικής είναι μια διαδικασία αφενώς υδατικής διάβρωσης αλλά και αφετέρου των φαινομένων πυρκαγιών που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια.

Με βάση το χάρτη της Εθνικής Επιτροπής κατά της Ερημοποίησης η περιοχή της Ανατολικής Αττικής κατατάσσεται στην κατηγορία Υψηλού Κινδύνου λόγω διάβρωσης.



Σχήμα 3: Η λεκάνη του Μαραθώνα βρίσκεται στη ζώνη υψηλού κινδύνου ερημοποίησης λόγω της διάβρωσης που υφίσταται στην περιοχή (Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης).

Η εξάρτηση της απώλειας εδαφικού υλικού με τις πυρκαγιές συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4: Το μοντέλο της εδαφικής διάβρωσης, τροποποιημένο από τον Swanson το 1981 δείχνει τη συσχέτιση της διάβρωσης με το χρόνο, μετά από την εκδήλωση πυρκαγιάς.

Οι Stoof et al. (2010) τονίζουν ιδιαίτερα άλλον έναν σημαντικό παράγοντα στην εδαφική διάβρωση, την ικανότητα του εδάφους να κατακρατά νερό. Ο παράγοντας αυτός καθορίζει την κίνηση του νερού και άρα το υδατικό ισοζύγιο. Σε συνδυασμό με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής προσδιορίζει το βαθμό ευαισθησίας του εδάφους στην υδατική διάβρωση. Στην ικανότητα προσρόφησης του νερού σημαντική θέση κατέχουν η δομή του εδάφους, η υφή του, το περιεχόμενο οργανικό υλικό και η πυκνότητα του. Η περιεχόμενη υγρασία αυξάνεται με τη μείωση του μεγέθους των κόκκων και με την αύξηση του οργανικού υλικού το οποίο έχει την ικανότητα να προσροφά την υγρασία (Stoof et al. 2010).

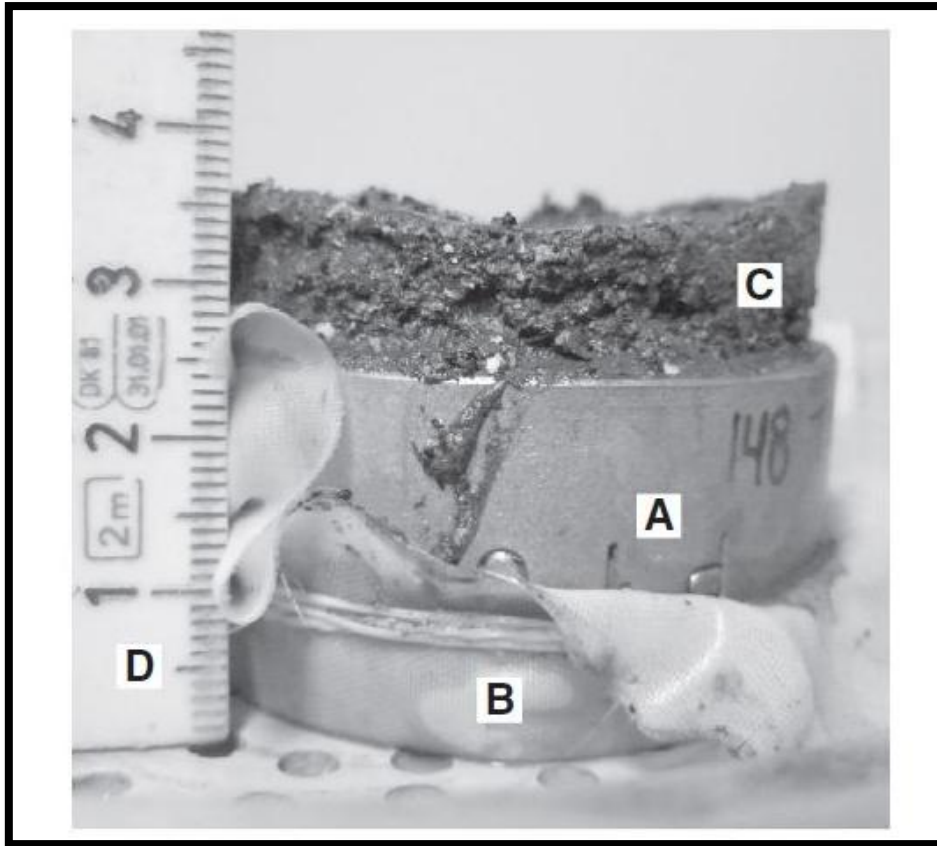
Εκτός από το είδος της βλάστησης, το είδος του εδάφους και η ατμοσφαιρική υγρασία διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στο βαθμό της διάβρωσης. Σε μερικές περιπτώσεις η διάβρωση φαίνεται να μειώνεται με την αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας (Chen et al. 1996), διότι η ατμοσφαιρική και η εδαφική υγρασία φαίνεται να αλληλεπιδρούν έντονα σε ξηρές περιοχές και να ελέγχουν τη διάβρωση (Ravi et al. 2004). Τέλος, η διάβρωση πειραματικά εντοπίζεται αυξημένη σε ψυχρότερες συνθήκες αέρα σε σχέση με θερμότερες (McKenna 2003).



Υδατική κατακράτηση και υπολείμματα πυρκαγιάς (στάχτη)

Συμπληρωματικά με την επίδραση της πυρκαγιάς πρέπει να εξετασθεί η παρουσία του παραγόμενου αυτής υλικού, δηλαδή της στάχτης η οποία αυξάνει την κατακράτηση νερού και εμπλουτίζει το έδαφος, μειώνει όμως την υδραυλική αγωγιμότητα. (Chang et al. 1977, Khanna et al. 1994). Στις μελέτες του φαινομένου της πυρκαγιάς, η στάχτη θεωρείται ότι αυξάνει την απορροή και το ρυθμό διάβρωσης, διότι μειώνει το πορώδες και μειώνει το ρυθμό προσρόφησης (Kutiel et al. 1995, Woods and Balfour 2008, Stoof et al. 2010).

Οι παραπάνω ερευνητές επέδειξαν εργαστηριακά ότι κατά τη διάρκεια μια βροχόπτωσης, τα λεπτομερή συστατικά της στάχτης διηθούνται μέσα στο έδαφος, ενώ το πιο αδρομερές υλικό παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης η στάχτη απορροφά το νερό και το απελευθερώνει μόνο όταν βρεθεί σχεδόν σε κατάσταση κορεσμού. Η διήθηση του νερού από το επιφανειακό στρωματίδιο της στάχτης προς το έδαφος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η απόπλυση ή μη της στάχτης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης όπως είναι η χρονική περίοδος εμφάνισης της, η διάρκεια και η ένταση της (Cerdea and Doerr 2008), τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, την κλίση του, αλλά και τα χαρακτηριστικά της στάχτης όπως είναι το μέγεθος των κόκκων της, το σχήμα, η ποσότητα και η σύνθεση της.



Σχήμα 5: Δείγμα εδάφους (A) τυλιγμένο με ειδικό ύφασμα (B) στο οποίο παρατηρείται παχύ στρώμα στάχτης στην επιφάνεια του εδάφους (C) μετά την εργαστηριακή διήθηση (Stoof et al 2010).

Οι μεγάλες διαφοροποιήσεις του υετού στα μεσογειακά περιβάλλοντα καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την λεπτομερή εξέταση της πιθανής υδρολογικής και γεωμορφολογικής απόκρισης στο φαινόμενο της πυρκαγιάς κατά την «άμεση» χρονική περίοδο μετά την εκδήλωση του φαινομένου (Cerda and Lasanta 2005). Γι αυτό τον λόγο διάφοροι ερευνητές όπως και οι Cerda and Doerr (2008) χρησιμοποιούν στα μοντέλα κινδύνου, τυποποιημένα χαρακτηριστικά υετού και προσομοιώσεις. Μερικά κοινά χαρακτηριστικά ερευνητών-ειδικών σε θέματα εδαφικής διάβρωσης είναι ότι αμέσως μετά την εκδήλωση του φαινομένου τα πρανή της πληγείσας περιοχής είναι καλυμμένα με στάχτη και τμήματα δέντρων. Η στάχτη και οι βελόνες των δέντρων με την πάροδο των ημερών διασπείρονται σχετικά ομοιογενώς με τη δράση του ανέμου. Οι ίδιοι ερευνητές τονίζουν μάλιστα ότι στις περιοχές που καλύπτονται εκτός από στάχτη και με βελόνες η εδαφική διάβρωση είναι μικρότερη από τις περιοχές που εντοπίζεται μόνο κάλυμμα στάχτης. Το



κάλυμμα της στάχτης μπορεί να έχει πάχος από 2-10cm και να ισούται με 1-5kg υλικού/m² (Doerr et al. 2008).



Σχήμα 6: Στην παραπάνω εικόνα οι ερευνητές δείχνουν μια θέση στην οποία το έδαφος είναι καλυμμένο από πευκοβελόνες ενώ σε άλλη θέση το έδαφος είναι διαβρωμένο χωρίς στρωματίδιο στάχτης και βελονών (Cerde and Doerr 2008).

3.1.2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Εκτός από τη δράση του νερού μέσω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής, άλλος ένας παράγοντας ο άνεμος αυξάνει την εδαφική διάβρωση μετά από πυρκαγιά, ακριβώς όπως συμβαίνει στις ερημικές περιοχές (Ash and Wasson 1983, Sankey et al. 2009). Η αύξηση της αιολικής δράσης οφείλεται και στην απομάκρυνση της βλάστησης από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Η διαφοροποίηση της δράσης του ανέμου ελέγχεται από την ανάκαμψη της βλάστησης στην καμένη επιφάνεια (Stout and Zobeck 1998).

Ο μηχανισμός της διάβρωσης είναι απλός. Όταν φυσά ισχυρός άνεμος σε μια περιοχή κοντά στην επιφάνεια η ταχύτητα του είναι μηδενική. Πάνω από αυτό το σημείο υπάρχει ένα στρώμα χαμηλής ταχύτητας ανέμου και πάνω από αυτό το στρώμα υφίσταται τουρβιδιτική κυκλοφορία ανέμου. Αυτή η αναταραχή προκαλεί την απόσπαση των εδαφικών κόκκων και τη μεταφορά τους. Όταν αρχίσει η κίνηση, η κινητική ενέργεια μεταφέρεται από κόκκο σε κόκκο (Kelley 1990). Η μεταφορά μπορεί να συνεχιστεί ακόμα και χιλιάδες km μακριά, μέχρι την απόθεση του υλικού. Ενώ ο μηχανισμός και οι φυσικοί παράγοντες που προκαλούν αυτόν τον τύπο διάβρωσης είναι διαφορετικοί από την διάβρωση που προκαλεί το νερό, υπάρχει ένας κοινός παράγοντας που οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και είναι η έλλειψη της φυτικής βλάστησης (Kelley 1990).

3.1.3. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Σύμφωνα με τους προαναφερόμενους λόγους, ο έλεγχος της εδαφικής διάβρωσης κρίνεται αναγκαίος, μάλιστα τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποια μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου. Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές αποτροπής και μείωσης της διάβρωσης θεωρούνται: η LEB (Log Erosion Barriers), η LDD (Log Debris Dam) και τα συρματοπλέγματα (Gabions).

Η LEB αποτελείται από οριζόντιους καμένους κορμούς που τοποθετούνται παράλληλα με τις ισοϋψείς κατά μήκος των πρανών. Οι κορμοί αυτοί καταφέρνουν να μειώσουν την απορροή και χρησιμεύουν ως παγίδες ιζημάτων. Πρόκειται για ένα σχέδιο αποκατάστασης του περιβάλλοντος και όχι αποτροπής πυρκαγιών. Δυστυχώς, πολύ λίγα δεδομένα είναι διαθέσιμα όσον αφορά την επάρκεια αυτού του σχεδίου. Με βάση την έρευνα που πραγματοποίησαν οι Wohlgemuth et al. (2001) συμπεράναν ότι η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη στην κατακράτηση των ιζημάτων παρά στη μείωση της επιφανειακής απορροής. Στην Ελλάδα μελέτες έδειξαν ότι η μέθοδος είναι αποτελεσματική στην κατακράτηση των ιζημάτων σε κλίσεις της τάξης 35-55% αλλά όχι σε κλίσεις 10-20% ή 20-35% (Gagari et al. 2001).



Σχήμα 7: Η μέθοδος LEB (Fox 2011) χρησιμοποιείται για τη μείωση του ρυθμού διάβρωσης και τη διασπορά του διαθέσιμου εδαφικού υλικού.



Η μέθοδος LDD περιλαμβάνει κορμούς οι οποίοι τοποθετούνται κάθετα στη ροή ενός ρέματος (Fox 2006). Σύμφωνα με την εργασία του Fox (2011) η μέθοδος LDD παγιδεύει έναν μέσο όγκο ιζημάτων περί τα $1,57\text{m}^3$ με ύψος LDD 105.4 cm και μέσο ύψος παγιδευμένων ιζημάτων 50cm, επομένως τα φράγματα αυτά ήταν καλυμμένα μόνο κατά το ήμισυ. Η διαφορά αυτή στο πάχος των ιζημάτων οφείλεται στα διάκενα που υπάρχουν μεταξύ των κορμών εξαιτίας των οποίων χάνεται υλικό από τις οπές μέσω της απορροής. Άλλωστε το ύψος των ιζημάτων δε φτάνει σε καμία περίπτωση το ύψος των παγίδων αυτών βάσει κατασκευής. Αυτό που τονίζει ο ερευνητής και είναι ιδιαίτερα σημαντικό είναι η διαφοροποίηση του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων στα πρανή και στα φράγματα αυτά. Κόκκοι μεγαλύτεροι από 20mm δεν μετακινήθηκαν από τα πρανή ενώ κόκκοι της τάξης των κόκκων άμμου κατακρατήθηκαν επιλεκτικά από τα LDDs και τα ιζήματα στη λεκάνη ιζηματογένεσης εμπλουτίστηκαν σε πηλό και άργιλο μεγέθους $<0.050\text{mm}$.



Σχήμα 8: Και η μέθοδος LDD χρησιμοποιείται κατά κόρον σε περιοχές οι οποίες έχουν πληγεί από φαινόμενα πυρκαγιάς και είναι αποτελεσματική στη συγκράτηση ιζημάτων καθώς και στην ελάττωση της ταχύτητας του επιφανειακού νερού. Στη φωτογραφία το φράγμα κατασκευάστηκε στον Μαραθώνα μετά την πυρκαγιά του 2009 (φωτ. αρχείο Ι. Παπανικολάου).

Όπως είναι λογικό το λεπτομερές υλικό διαφεύγει από τα κενά ενώ το αδρομερές παραμένει. Φαίνεται να υπάρχει επομένως επιλεκτικότητα στο υλικό όσον αφορά τη διάβρωση και την απόθεση (Ellison 1944).



Η μέθοδος των συρματοκιβωτίων είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη θωράκιση υδατοφραγμάτων και καναλιών, στην προστασία επικλινών εδαφών ως φράγματα ποταμών και αποχετευτικά κανάλια, στην οδοποιία και ως αντιδιαβρωτικές κατασκευές οι οποίες αντιμετωπίζουν υψηλές ταχύτητες στερεομεταφοράς καθώς και στη ρύθμιση των πλημμυρικών παροχών υδάτων.

Πρόκειται για κατασκευές που ενσωματώνονται στο περιβάλλον, καλύπτονται από τη φυσική βλάστηση και διατηρούν τη φυσική εμφάνιση του τοπίου. Δεν διαταράσσεται σε γενικές γραμμές η ροή των ρεμάτων διότι υπάρχει ρυθμιζόμενη διαπερατότητα μέσα από την επιλεγμένη κοκκομετρία του υλικού κατασκευής. Πρόκειται για έναν ανθεκτικό, γρήγορο στην κατασκευή και οικονομικό τρόπο μείωσης της εδαφικής διάβρωσης.

Τα συνήθη συρματοκιβώτια διαμορφώνονται με εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα διπλής πλέξης ως παραλληλεπίπεδα ενδεικτικού πλάτους 1,00-2,00 m και ύψους 0,50-1,00 m. Επίσης φέρουν και εγκάρσια διαφράγματα (συνήθως ανά 1,00 m). Οι ακμές τους ενισχύονται με σύρμα μεγαλύτερης διαμέτρου από τη διάμετρο του σύρματος στο πλέγμα (www.panmetal.gr).



Σχήμα 9: Αντιδιαβρωτικό φράγμα με κιβώτια συρματοπλέγματος στη λεκάνη του Μαραθώνα, εγκάρσια στην κοίτη του ποταμού Σπαρτόρρεμα (φωτ. 27/1/2013).



3.2. ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

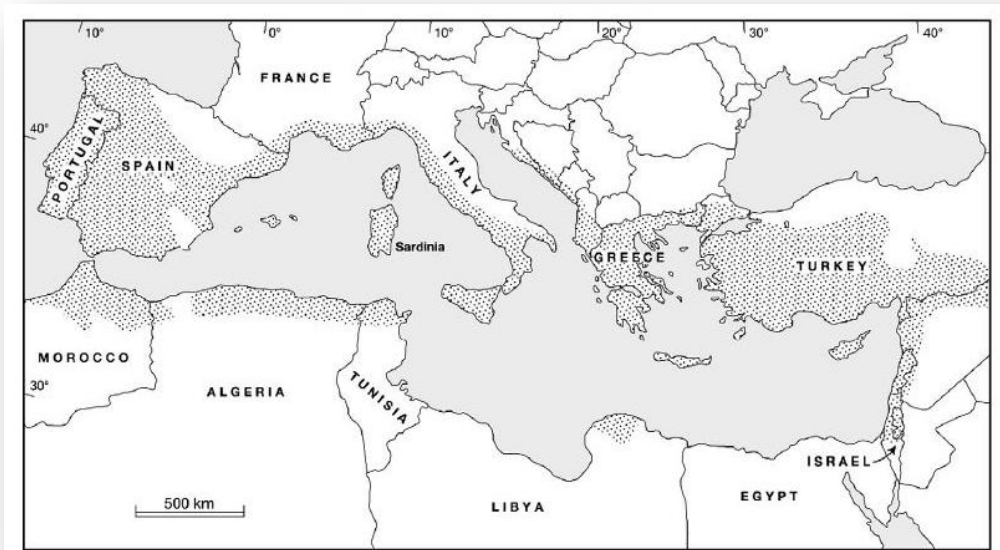
Η δασική πυρκαγιά ως φυσικό φαινόμενο ολοκληρωτικά συνδεδεμένο με το περιβάλλον το οποίο, έχει εμφανιστεί πολύ πριν από τον ερχομό των ανθρώπων. Μάλιστα θεωρείται ότι υφίσταται και ένας οικολογικός ρόλος, η επίδρασή της σε διάφορους παράγοντες όπως η ανάπτυξη της φυτοκοινωνίας, η διαθεσιμότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία και η βιοποικιλότητα. Η δασική πυρκαγιά επομένως, αποτελεί μια φυσική διεργασία που θέτει σε λειτουργία τους φυσικούς κύκλους της εναλλαγής της βλάστησης και της διατήρησης της βιωσιμότητας του οικοσυστήματος. Ωστόσο, η μη ελεγχόμενη και σκόπιμη πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει σοβαρές και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη κοινωνία.

Οι πυρκαγιές αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα του Μεσογειακού χώρου, διότι η αυξημένη συχνότητα των φαινομένων πυρκαγιάς μειώνει την ικανότητα των οικοσυστημάτων να ανακάμψουν (Campo et al. 2006). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός τους έχει αυξηθεί στον ευρωπαϊκό χώρο τα τελευταία 50 χρόνια, εξαιτίας των κοινωνικο-οικονομικών μεταβολών και της αστικής ανάπτυξης (Shakesby 2011).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι αρκετή ώστε να αναπτυχθεί η δασική βλάστηση στον ευρωπαϊκό χώρο, η οποία σε συνδυασμό με το ξηρό και θερμό θέρος καθιστούν την βιομάζα ιδιαίτερα εύφλεκτη τουλάχιστον για δυο μήνες μέσα στον χρόνο (Vallejo and Alloza 1998). Η εγκατάλειψη των μεθόδων καθαρισμού των χώρων πρασίνου σε συνδυασμό με τη αύξηση των τυχαίων αλλά και προσχεδιασμένων φαινομένων πυρκαγιάς οδήγησε στην αύξηση της συχνότητας εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων (Moreno and Vallejo 1999) και δυστυχώς η κλιματική αλλαγή πιθανότατα θα έχει ως αποτέλεσμα την περεταίρω αύξηση του φαινομένου τα επόμενα χρόνια (Pausas 2004). Οι Inbar et al. (1998) κάνοντας έρευνα στις Μεσογειακές περιοχές του Ισραήλ, εκτιμούν ότι η περίοδος ανάκαμψης των οικοσυστημάτων διαρκεί από 5 έως 10 χρόνια. Παρόλο που η συνολική έκταση η οποία πλήττεται από πυρκαγιές έχει μειωθεί από τις αρχές του 2000, οι ευρωπαϊκές χώρες πλήττονται από όλο και περισσότερα τέτοια φαινόμενα (European Commission 2002). Σε πολλές περιπτώσεις, εκτάσεις που κήκαν μια φορά στο παρελθόν και βρίσκονται στη φάση της ανάκαμψης, θα ξανακαούν μελλοντικά.



Τα όρια του Μεσογειακού χώρου προκύπτουν με βάση την κλιματική κατάταξη (Cs) των Koppen-Geiger (Wainwright and Thornes 2004).



Σχήμα 10: Διακρίνονται καθαρά με γκρι χρώμα τα όρια του Μεσογειακού τύπου κλίματος περιφερειακά της Μεσογείου, όπως έχουν οριστεί από την ταξινόμηση Koppen-Geiger (Kottek et al.2006).

Ακόμα και σήμερα, παρά τις σύγχρονες και αναπτυσσόμενες τεχνικές πρόληψης και καταστολής των πυρκαγιών, συνεχίζουν να καταστρέφουν δάση σε πολλές χώρες. Την τελευταία δεκαετία, πυρκαγιές προκάλεσαν τεράστιες επιπτώσεις σε Ινδονησία, Βραζιλία, Μεξικό, ΗΠΑ, Γαλλία, Τουρκία, Ελλάδα και Ιταλία.

Η μεγάλη ευαισθησία που χαρακτηρίζει το μεσογειακό περιβάλλον οφείλεται κυρίως στο υλικό που προέρχεται από τα δέντρα και γενικά τη βλάστηση όπως είναι τα πεσμένα φύλλα, οι βελόνες των πεύκων που αργούν να αποικοδομηθούν, οφείλεται όμως και στη μεγάλη αναλογία επιφάνειας/όγκου που έχει το υλικό αυτό της βλάστησης με αποτέλεσμα να ξηραίνεται γρήγορα (Lioret et al. 2009). Όσον αφορά στην Ελλάδα πρόκειται για ένα κατεξοχήν εύφλεκτο φυσικό περιβάλλον από άποψη κλίματος και βλάστησης (Kozlowski and Ahlgren 1974) και αν και πρόκειται για μια σημαντική διαταραχή στα μεσογειακά οικοσυστήματα (Agee 1993, Wright and Bailey 1982) επηρεάζει σημαντικά το φυσικό κύκλο και τη λειτουργία και δομή των φυσικών οικοσυστημάτων (Κούτσιας κ.α. 2001).

Γενικότερα, η εκδήλωση πυρκαγιάς σε μία λεκάνη απορροής έχει σοβαρότατες οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικολογικές, αισθητικές, πολιτιστικές



κ.λπ. επιπτώσεις, τόσο εντός αυτής, όσο και στην ευρύτερη και στην κατάντη περιοχή. Ειδικότερα, από την πυρκαγιά επηρεάζονται η χλωρίδα και η πανίδα της λεκάνης, η συγκράτηση και στη συνέχεια η κατανομή της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, η πλημμυρική απορροή και οι παροχές των ρεμάτων που την αποστραγγίζουν, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους της, καθώς επίσης η ποιότητα του νερού (επιφανειακού και υπόγειου) και της ατμόσφαιρας. Μια περίοδος τουλάχιστον 4-5 ετών από την πυρκαγιά εκτιμάται πως απαιτείται για να επιτευχθεί ανόρθωση του οικοσυστήματος και ικανοποιητικές υδρολογικές συνθήκες (Μιγκίρος κ.α. 2010).

Οι πυρκαγιές είναι ένα φλέγον ζήτημα για τον ελληνικό χώρο. Στο παρελθόν έχουν καταστρέψει μεγάλες δασικές εκτάσεις με τεράστιες καταστροφικές, οικολογικές και οικονομικές συνέπειες. Αποτελούν μέρος των φυσικών διεργασιών των οικοσυστημάτων όταν κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου που επικρατεί η ξηρασία, η φυτική βιομάζα γίνεται εύφλεκτη. Με βάση τη Σύνοδο του ΟΗΕ για την αντιμετώπιση της Ερημοποίησης (UNCCD) οι ημίξηρες περιοχές είναι επιρρεπείς στις μεγάλες καταστροφικές πυρκαγιές, ενώ οι ξηρές περιοχές δεν μπορούν να διατηρήσουν φυτική ύλη και επομένως, οι πυρκαγιές δεν είναι συχνό φαινόμενο. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες βέβαια παίζουν και εδώ σημαντικό ρόλο ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Κάποια οικοσυστήματα μπορούν να προσαρμοσθούν στις πυρκαγιές, ενώ άλλα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και καίγονται ολοσχερώς. Οι περιοχές με Μεσογειακό κλίμα είναι επιρρεπείς στο καταστροφικό αυτό φαινόμενο εξαιτίας των περιοδικών ξηρασιών που εκδηλώνονται (Λέκκας 2000).

Η καταγραφή των πυρόπληκτων εκτάσεων και των ζημιών είναι υψίστης σημασίας τόσο για την όσο το δυνατόν άμεση αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος όσο και για τη λήψη μέτρων για την αποφυγή παρόμοιων γεγονότων. Η αποψίλωση είναι ένα μέτρο πρόληψης αλλά όχι το ιδανικότερο διότι και οι σπαρμένες εκτάσεις κατά την περίοδο πριν τη συγκομιδή είναι ιδιαίτερα εύφλεκτες. Η μειωμένη φυτοκάλυψη συντελεί και αυτή στην ανάπτυξη του φαινομένου, αφού σε δάση με μεγάλη πυκνότητα φυτικού υλικού δεν υπάρχει αέρας και άρα οξυγόνο να κυκλοφορεί μεταξύ των δέντρων και η πιθανότητα ανάπτυξης πυρκαγιάς είναι μειωμένη. Επίσης, όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η ταχύτητα διάδοσης της



πυρκαγιάς και μάλιστα με εκθετική μορφή. Δυστυχώς σε όλον τον ευρωπαϊκό χώρο τα κύρια αίτια ανάπτυξης πυρκαγιών είναι είτε εμπρησμοί, είτε ανθρώπινη αμέλεια.

Οι πυρκαγιές στην Ελλάδα εκδηλώνονται κυρίως σε περιοχές με βλάστηση Μεσογειακού τύπου, η οποία καλύπτει περίπου το 40% της έκτασης της χώρας. Η βλάστηση αυτή, εκτός από φρύγανα και μακία, περιλαμβάνει και τα χαμηλού υψομέτρου πευκοδάση με κυρίαρχα δασικά είδη τη Χαλέπιο και την Τραχεία Πεύκη, τα οποία καταλαμβάνουν έκταση 5.700.000 στρεμμάτων, δηλαδή το 16,8% περίπου του συνόλου των ελληνικών δασών (Μιγκίρος κ.α. 2010, Κατσάνος 1970). Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν (Κατσάνος, 1970) για την διερεύνηση της ευφλεκτικότητας των διαφόρων ειδών, τα λιγότερο εύφλεκτα είναι τα ψυχρόβια κωνοφόρα, όπως το δασόπευκο (*Pinus silvestris*), η λευκόδερμη πεύκη (*Pinus leucodermis*) και το έλατο (*Picea abies*) και από τα πλατύφυλλα η καστανιά (*Castanea vesca*).

Ο μεγάλος αριθμός και η έκταση των πυρκαγιών που εκδηλώνονται στη χώρα μας, με αυξητικές μάλιστα τάσεις, καταστρέφουν κάθε χρόνο ένα σημαντικό μέρος από τα δάση και τις δασικές εκτάσεις. Οι σημαντικές καταστροφές που προκαλούνται, τόσο στο φυσικό όσον και στο αστικό περιβάλλον, συνοδεύονται σχεδόν πάντοτε από μια ακολουθία δυσμενών επιπτώσεων στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική κατάσταση του τόπου. Η «Δασοπροστασία», είναι ένας τρόπος ζωής, όπου η ενεργός συμμετοχή όλων παίζει πρωταρχικό ρόλο (Μιγκίρος κ.α. 2010).

Έτος	Αριθμός πυρκαγιών	Κρατική δασική γη που κάηκε (ha)
2001	23	380
2002	28	20
2003	27	11
2004	15	14
2005	30	43
2006	24	112
2007	27	619
2008	39	13
2009	29	5
2010	31	63
Σύνολο	273	1280

Σχήμα 11: Ο μέσος ετήσιος αριθμός πυρκαγιών σε κρατική γη της προηγούμενης δεκαετίας (2001-2010) είναι 27 πυρκαγιές με μέση ετήσια καμένη έκταση κρατικού δάσους 128 εκτάρια. Συνολικά σημειώθηκαν 273 πυρκαγιές με αποτέλεσμα 1280 καμένα εκτάρια κρατικού δάσους (Μιγκίρος κ.α. 2010).



- **Καύσιμη ύλη**

Ως καύσιμη ύλη χαρακτηρίζεται όλο το ζωντανό ή νεκρό οργανικό υλικό που υπάρχει στο έδαφος (φυλλόστρωμα, βελόνες, κλαδιά, κορμοί, χόρτα, θάμνοι, δενδρύλλια και δέντρα) και στα δέντρα (όπως κλαδιά, φύλλωμα, όρθια νεκρά δέντρα) που προκαλεί ή υφίσταται ανάφλεξη και καίγεται (Pyne et al. 1996).

Σε νέα δάση, η καύσιμη δασική ύλη αποτελείται από τα ίδια τα δασικά δέντρα καθώς και από τα χόρτα ή θάμνους που καλύπτουν το έδαφος.

Στην Ελλάδα κάτω από δάση χαλεπίου και τραχειάς πεύκης- τα οποία αποτελούν τα είδη που καίγονται περισσότερο- υπάρχει υπόροφος από πουρνάρι, φυλλίκι, σχίνο και λοιπούς αείφυλλους και φυλλοβόλους θάμνους όπως και πολλά χόρτα, τα οποία είναι άκρως εύφλεκτα υλικά (Μιγκίρος κ.α. 2010).

- **Μηχανισμοί έναρξης και διάδοσης δασικών πυρκαγιών**

Οι μηχανισμοί έναρξης και επέκτασης των δασικών πυρκαγιών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: περιβαλλοντικοί παράγοντες, “μηχανισμοί” επίθεσης της πυρκαγιάς, ανθρώπινη συμπεριφορά (Ξανθόπουλος 1998).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην έναρξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Οι περισσότερες πυρκαγιές ξεκινούν από ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως είναι ο συνδυασμός δυνατών ανέμων με συνθήκες ξηρασίας.

Οι “μηχανισμοί” επίθεσης μιας φωτιάς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στην απευθείας επίθεση με τις φλόγες, στην ακτινοβολούμενη θερμότητα και στις καύτρες. Από τους τρεις βασικούς μηχανισμούς μετάδοσης της θερμότητας, επαγωγή θερμών αερίων, ακτινοβολία και επαφή, μόνο οι δύο πρώτοι μηχανισμοί παίζουν το σημαντικότερο ρόλο. Ο τρίτος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξαιτίας της χαμηλής θερμοαγωγιμότητας των δασικών καυσίμων. Η μετάδοση με μικρά φλεγόμενα κομμάτια καύσιμης ύλης, τις λεγόμενες “καύτρες”, αποτελεί ένα κύριο πρόβλημα των πυρκαγιών και της μετάδοσης τους. Οι καύτρες αυτές είναι ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους που έχουν να αντιμετωπίσουν οι δασοπυροσβέστες. Η κατανόηση του μηχανισμού αυτού μετάδοσης της πυρκαγιάς μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη των διαστάσεων του φαινομένου, συμβάλλοντας έτσι στο να γίνει η δασοπυρόσβεση αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη (Ξανθόπουλος 1998).



Δυστυχώς η ανθρώπινη αμέλεια είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες εκδήλωσης πυρκαγιάς. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ο πρωταρχικός παράγοντας όσον αφορά το μετριασμό του κινδύνου (πρόληψη και καταστολή πριν, κατά τη διάρκεια και μετά) (Ramsay 1996).

- **Παράγοντες έναρξης-επέκτασης δασικών πυρκαγιών**

Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη, εξάπλωση και συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τους φυσικούς και τους ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι φυσικοί παράγοντες ελέγχουν την έναρξη της πυρκαγιάς κατά 65% και περιλαμβάνουν τη βλάστηση (45%), τις κλίσεις (15%) και τον προσανατολισμό κλίσεων (15%), ενώ ο ανθρωπογενής παράγοντας καταλαμβάνει το 35% και περιλαμβάνει τους οικισμούς και τα Χ.Υ.ΤΑ (13%), το οδικό δίκτυο (12%) και το δίκτυο ηλεκτροδότησης (10%) (Forest Cities, LIEFE08 Project 2012). Η πρόληψη της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς περιλαμβάνει κυρίως τη διαχείριση της καύσιμης ύλης, με δράσεις μείωσης από τις δασικές εκτάσεις (Forest Cities, LIEFE08 Project 2010).

Σημαντικός θεωρείται ο παράγοντας των μετεωρολογικών συνθηκών διότι αποτελούν την κύρια αιτία έναρξης και επέκτασης των δασικών πυρκαγιών στην περίπτωση που αποκλειστεί η έναρξη των δασικών πυρκαγιών από εμπρηστές. Η περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης συχνά παραλείπεται θεωρείται όμως ο σπουδαιότερος παράγοντας για την έναρξη και διάδοση τους (Καλαμποκίδης κ.α. 2004).

Στην κατασκευή του χάρτη εκτίμησης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς λαμβάνονται υπόψη:

Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως οι οικισμοί, το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, περιοχές απόθεσης απορριμμάτων Χ.Α.Δ.Α.-Χ.Υ.Τ.Α.

βιομηχανίες SEVESO. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ενέκρινε την οδηγία «Seveso II», η οποία υποχρεώνει τις ευρωπαϊκές χώρες να εντοπίσουν τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις κινδύνου και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη μεγάλων ατυχημάτων σχετιζομένων με επικίνδυνες ουσίες και τον περιορισμό των συνεπειών τους επί του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Η εν λόγω οδηγία επιδιώκει υψηλό επίπεδο προστασίας σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η οδηγία αυτή αντικατέστησε την οδηγία 82/501/ΕΟΚ, που συχνά αποκαλείται οδηγία «Seveso I»



(από το όνομα της ιταλικής πόλης όπου σημειώθηκε σημαντικό ατύχημα λόγω ελευθέρωσης διοξινών το 1976).

Ιστορικό καταστροφών. Παρακάτω περιγράφεται η πυρκαγιά της 21^{ης} Αυγούστου του 2009.

Σχέδιο έκτακτης ανάγκης Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.

Προσανατολισμός πρανών. Ο προσανατολισμός των πρανών παίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της επικινδυνότητας της εκδήλωσης πυρκαγιάς. Οι νότιοι και νοτιοδυτικοί προσανατολισμοί θεωρούνται οι πιο επικίνδυνοι προσανατολισμοί, διότι τα πρανή με τον προσανατολισμό αυτό υφίστανται συνεχή έκθεση στον ήλιο, με αποτέλεσμα το ποσοστό της ακτινοβολίας που δέχονται να είναι ιδιαίτερα υψηλό έναντι των άλλων πρανών και επομένως υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Με βάση τον παρακάτω χάρτη προσανατολισμού πρανών παρατηρούμε ότι τα περισσότερα πρανή με αυτόν τον προσανατολισμό βρίσκονται στα ανατολικά της λεκάνης.

Κλίσεις πρανών. Οι κλίσεις πρανών σχετίζονται με τη διάδοση της πυρκαγιάς. Κλίσεις μεγαλύτερες των 15° θεωρούνται επικίνδυνες διότι αυξάνουν ιδιαίτερα τη διάδοση της πυρκαγιάς από περιοχή σε περιοχή. Επόμενο βέβαιο είναι και το γεγονός ότι σε αυτές τις περιοχές, εκτός των άλλων είναι δύσκολο και το έργο της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, κυρίως λόγω της πρόσβασης στις περιοχές αυτές, δημιουργώντας προβλήματα στην κατάσβεση της φωτιάς (GGNRA Fire Management Plan FEIS 2006).

Χρήσεις γης (καύσιμη ύλη). Οι πιο επικίνδυνες περιοχές είναι αυτές που καλύπτονται από δάση καθώς και οι οικιστικές περιοχές εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης. Τα κωνοφόρα δέντρα για παράδειγμα είναι ιδιαίτερος ευπαθή σε φαινόμενα πυρκαγιάς, λόγω των καρπών που φέρουν καθώς και ουσιών που εκκρίνουν (όπως οι ευκάλυπτοι καθώς και τα φρύγανα, οι δρύες κτλ). Τη μικρότερη επιδεκτικότητα σε εκδήλωση πυρκαγιάς εμφανίζουν οι άγονες εκτάσεις που καλύπτονται από αραιή βλάστηση και βραχώδες υπόβαθρο.

Κλιματικά δεδομένα. Οι μετεωρολογικές συνθήκες συντελούν σημαντικά στην έναρξη και εξάπλωση μιας πυρκαγιάς. Ο άνεμος είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό εξέλιξης και την κατεύθυνση μιας πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει μια φωτιά καθώς επιδρά στη σχετική υγρασία ενώ, η θερμοκρασία και η υγρασία της καύσιμης ύλης επηρεάζουν το χρόνο ανάφλεξης και καύσης.



Επιπρόσθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τις μέτριες βροχοπτώσεις δημιουργούν ξηρό κλίμα και ξηρασία που συνηγορούν στην έναρξη μιας πυρκαγιάς.

3.2.1. ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΤΗΣ 21/8/2009

Η μεγάλη πυρκαγιά στην ανατολική Αττική που ξεκίνησε το βράδυ της 21^{ης} Αυγούστου του 2009 από την περιοχή του Γραμματικού, είχε διάρκεια τεσσάρων ημερών και έκαψε συνολικά 210.000 στρέμματα, κυρίως πευκοδάσους. Η πυρκαγιά επεκτάθηκε σε ολόκληρη τη ΒΑ Αττική, από την περιοχή του Γραμματικού και του Μαραθώνα, μέχρι το Πικέριμι και την Παλλήνη, κατακαίγοντας στο ενδιάμεσο, τμήμα της Πεντέλης στην περιοχή του Διονύσου. Η πυρκαγιά αυτή ήταν η μεγαλύτερη που είχε γνωρίσει ποτέ ο Νομός Αττικής. Ακόμα και τα ξένα ειδησεογραφικά πρακτορεία μιλούσαν για ολοσχερή καταστροφή (Μιγκίρος κ.α 2010).



Σχήμα 12: Η πυρκαγιά της 21/8/2009, κυριαρχεί στο ειδησεογραφικό υλικό των ξένων πρακτορείων (Εφημερίδα Le Soir, 24/9/2009).

Η πυρκαγιά αυτή πήρε γρήγορα μεγάλες διαστάσεις και το πρωί του Σαββάτου 22 Αυγούστου, απειλούσε τις περιοχές του Γραμματικού, του Βαρνάβα, του Μαραθώνα και της Λίμνης του Μαραθώνα. Ενισχυμένη από τους δυνατούς ανέμους, κατευθύνθηκε νοτιότερα, ενώ από την Κυριακή 23 Αυγούστου η φωτιά πέρασε στη νότια πλευρά της Πεντέλης και έφτασε να καίει σπίτια στο Ντράφι, την Παλαιά Πεντέλη, την Ανθούσα, το Πικέριμι και την Παλλήνη. Χαρακτηριστικά, εκκενώθηκαν περιοχές όπως ο Άγιος Στέφανος, η Πεντέλη καθώς επίσης δύο νοσοκομεία και κατασκηνώσεις.



Το μεγαλύτερο τμήμα της καμένης περιοχής δομείται από πρόσφατους νεογενείς και τεταρτογενείς) σχηματισμούς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ικανού πάχους ιζήματα και αποθέσεις. Επιπλέον σε πολύ μικρότερα ποσοστά, η καμένη περιοχή δομείται από μάρμαρα και σχιστολιθικούς σχηματισμούς, τα οποία χαρακτηρίζονται από το μεγάλο πάχος εδαφικό κάλυμμα που δημιουργούν, οπότε και αναμένονται περιορισμένα φαινόμενα ολισθήσεων γαιών και ροών λάσπης. Εντατικότερη αναμένεται η διάβρωση και η μεταφορά γεωυλικών (Μιγκίρος κ.α 2010).

3.2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η Πορτογαλική μέθοδος βασίζεται στο δείκτη του Nesterov. Χρησιμοποιείται από το 1988 από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Πορτογαλίας. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί δυο δείκτες, (INMG, 1989; Viegas, 1998) έναν ημερήσιο (DIPO) και έναν αθροιστικό (IPO). Ο ημερήσιος δείκτης δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$I_d = T_a * (T_a - T_d)$$

Όπου:

I_d Ημερήσιος δείκτης (DIPO)

T_a Θερμοκρασία αέρος (ξηρού θερμομέτρου) σε (°C) που παρατηρείται στις 12.00 UTC μιας δεδομένης ημέρας

T_d Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε (°C), που παρατηρείται στις 12.00 UTC μιας δεδομένης ημέρας

Για την περίπτωση του ελληνικού χώρου καταλληλότερος θεωρείται ο τροποποιημένος ημερήσιος πορτογαλικός δείκτης κινδύνου (Γκούμα 2001), που για δεδομένη τη θερμοκρασία αέρος και τη σχετική υγρασία, υπολογίζεται από την εξίσωση.

$$MK_{s,t} = T_{s,t} \cdot \left(T_{s,t} - \frac{237,3 \cdot \left(\log \left(\frac{RH_{s,t}}{100} \right) + \frac{7,5 \cdot T_{s,t}}{237,3 + T_{s,t}} \right)}{7,5 - \left(\log \left(\frac{RH_{s,t}}{100} \right) + \frac{7,5 \cdot T_{s,t}}{237,3 + T_{s,t}} \right)} \right)$$

Όπου:

$MK_{s,t}$ Τιμή του δείκτη για τη θέση (s) και για τη χρονική στιγμή (t)

$T_{s,t}$ Θερμοκρασία αέρος (ξηρού θερμομέτρου) σε °C που παρατηρείται για τη θέση (s) και για τη χρονική στιγμή (t)



$RH_{s,t}$ Σχετική υγρασία (%) που παρατηρείται για τη θέση (s) και για τη χρονική στιγμή (t)

Από τις αριθμητικές τιμές που λαμβάνει ο δείκτης μετά την εφαρμογή του τύπου και βάσει του πίνακα 1 μπορεί να χαρακτηριστεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς από πολύ χαμηλός (τιμές μικρότερες των 150) έως πολύ υψηλός (τιμές μεγαλύτερες ή ίσες των 600).

Πίνακας 1: Κλάσεις κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (Γκούμα 2001)

Τιμές δείκτη	Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς
$600 \leq MK_{s,t}$	Πολύ υψηλός
$450 \leq MK_{s,t} < 600$	Υψηλός
$300 \leq MK_{s,t} < 450$	Μέτριος
$150 \leq MK_{s,t} < 300$	Χαμηλός
$MK_{s,t} < 150$	Πολύ χαμηλός

Σύμφωνα με την Γκούμα (2001) το σύνολο των πυρκαγιών για την περιοχή της Αττικής (Πάρνηθα) έχουν εντοπισθεί σε θέσεις που έχουν χαρακτηριστεί από τις κλάσεις υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη, για πρακτικούς λόγους, η ενοποίηση των κλάσεων αυτών διότι οι θέσεις αυτές αποτελούν ως σύνολο προτεραιότητα για παρεμβάσεις προστασίας από πυρκαγιά. Παράλληλα ενοποιήθηκαν οι κλάσεις μέτριου και χαμηλού κινδύνου διαχωρίζοντάς τις από τον πολύ χαμηλό κίνδυνο, με αποτέλεσμα οι κλάσεις κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς να διαμορφώνονται σε τρεις (Χρονόπουλος 2009).

Πίνακας 2: Τροποποιημένες κλάσεις κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (κατά Χρονόπουλο 2009)

Τιμές δείκτη	Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς
$450 \leq MK_{s,t}$	Υψηλός και Πολύ υψηλός
$150 \leq MK_{s,t} < 450$	Μέτριος και Χαμηλός
$MK_{s,t} < 150$	Πολύ χαμηλός



Με βάση τον τροποποιημένο Πορτογαλικό Δείκτη και την παραπάνω κατάταξη του Χρονόπουλου για την περιοχή του Μαραθώνα προκύπτει ότι υπάρχει μέτριος κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ενώ με βάση την κατάταξη του Χρονόπουλου ο κίνδυνος θεωρείται χαμηλός:

Πίνακας 3: Υπολογισμός τροποποιημένου Πορτογαλικού δείκτη εκτίμησης έναρξης πυρκαγιάς της λεκάνης του Μαραθώνα.

	Μέση Θερμοκρασία $T_{s,t}$ (°C)	Σχετική υγρασία $RH_{s,t}$ (%)	$MK_{s,t}$
JAN	9,1	72,2	42,93256
FEB	9,3	69,5	49,13173
MRZ	10,8	68	60,95934
APR	15,0	64,9	98,24302
MAI	19,6	58,9	161,7964
JUN	24,5	53,6	245,889
JUL	27,4	44,4	361,7858
AUG	26,9	47,7	323,2563
SEP	23,2	56,5	211,6951
OKT	18,4	67,2	114,1048
NOV	13,3	73,4	61,72223
DEC	10,0	73,4	45,20454

Τέλος, αναφέρεται ο πλέον διαδεδομένος δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI), ο οποίος έχει την ικανότητα να ελαχιστοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας. Χρησιμοποιείται στην οριοθέτηση περιοχών με ίδιο ποσοστό φυτοκάλυψης και επομένως, στην οριοθέτηση καμένων περιοχών (Συλλαίος 1990). Ο δείκτης NDVI ορίζεται από την ακόλουθη γενική εξίσωση:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Όπου NIR είναι το φασματικό κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και RED το φασματικό κανάλι στην περιοχή του ορατού (Tucker 1979).



Το άθροισμα των δύο καναλιών αναπληρώνει τις αλλαγές που υπάρχουν στις συνθήκες φωτισμού, στις τοπογραφικές κλίσεις και στον προσανατολισμό των πρανών. Το αποτέλεσμα αυτής της πράξης μεταξύ των καναλιών είναι μια ασπρόμαυρη εικόνα στην οποία το κάθε εικονοστοιχείο παριστάνει τη διαίρεση της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των δυο αρχικών εικόνων.

Έτσι οι περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση αποδίδονται με ανοιχτότερες αποχρώσεις του γκρι έως και λευκές λόγω της υψηλής ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και χαμηλή ανάκλαση στο ορατό, ενώ οι υδάτινες μάζες εμφανίζονται με μαύρο χρώμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιτίας εποχικής διαφοροποίησης της βλάστησης πρέπει να δίδεται σημασία στην περίοδο κατά την οποία εξετάζεται η βλάστηση μιας περιοχής (De Jong et al. 1999).

3.2.3. ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Οι πυρκαγιές μπορεί να μολύνουν τα πιθανά υδατικά αποθέματα. Γεγονός είναι ότι λίγες έρευνες που να εξετάζουν τα ιχνοστοιχεία στα υδατικά αποθέματα έχουν πραγματοποιηθεί. Οι ελάχιστες παρατηρήσεις αφορούν τα στοιχεία Fe, Mn, As, Cr, Al, Ba, Pb, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ με αυξημένες συγκεντρώσεις στα υδρορέματα, μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Εν αντιθέσει, οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Cu, Zn και Hg ήταν ελάχιστες ή κοντά στα επιτρεπτά όρια (Smith et al. 2011). Αυτά τα φαινόμενα, δυστυχώς συνεισφέρουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος κυρίως εξαιτίας των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων που ελευθερώνονται. Επομένως, επιβαρύνουν περισσότερο την ήδη πιθανή υπάρχουσα κατάσταση και σε συνδυασμό με το αποτιθέμενο κάλυμμα στάχτης μπορούν να καταλήξουν στον υδρολογικό κύκλο. Τα ιζήματα που καταλήγουν στα ποτάμια και τους ταμιευτήρες αφενός επηρεάζουν το χρώμα και τη διαύγεια των νερών αφετέρου μπορεί να περιέχουν επιβλαβή σωματίδια (Horowitz and Elrick 1987).

Παρατηρείται αύξηση στον ετήσιο ρυθμό ιζηματογένεσης τα έτη που ακολουθούν μια εκδήλωση πυρκαγιάς, γεγονός που οφείλεται κυρίως σε έντονες βροχοπτώσεις και χειμαρρώδεις καταστάσεις στα υδρορέματα (Moody and Martin 2001).

Έντονες βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας είναι πολύ σημαντικές διότι έχουν ως αποτέλεσμα την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων υλικού (Renau et al. 2007) και έχουν χαρακτηριστεί ως κύριος παράγοντας σχηματισμού λασπορροών (debris flow) και



επομένως μεγάλων ποσοτήτων αποτιθέμενου υλικού (Cannon et al. 2008). Η παρεμπόδιση της μετακίνησης των ιζημάτων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα μείωσης του αποτιθέμενου στους ταμειυτήρες υλικού σύμφωνα με τους Moody and Martin (2001).

Η στάχτη μικρής πυκνότητας μπορεί γρήγορα να αποπλυθεί με την επιφανειακή απορροή και να καταλήξει στα υδατικά αποθέματα πολύ σύντομα μετά την πυρκαγιά (Renau et al. 2007). Η μόλυνση του νερού από την αποτιθέμενη στάχτη ποικίλει ανάλογα με τη χημική σύσταση της στάχτης η οποία εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης, το τμήμα των φυτών που έχει καεί, το κλίμα, τον τύπο του εδάφους και τις συνθήκες καύσης (Someshwar 1996). Για παράδειγμα, η στάχτη που προέρχεται από την καύση του ξύλου είναι αλκαλική αυξάνοντας το pH σε σχέση με εδάφη που δεν έχουν καεί (Ulery et al. 1993). Το CaCO_3 είναι το κύριο προϊόν της καύσης μαζί με μεταλλικά οξείδια και πυρίτιο (Demeyer et al. 2001). Επίσης, ο Fe είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην στάχτη και μάλλον αποτελεί μέρος της δομής της (Someshwar 1996). Τα στοιχεία που επιβαρύνουν τα υδατικά αποθέματα μετά την πυρκαγιά προκαλούν και αισθητικά προβλήματα (γεύση, χρώμα, διαύγεια, κτλ) αλλά και προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου. Αυξημένες συγκεντρώσεις Fe, Mn, Zn προκαλούν δηλητηρίαση, ενώ τα Ba και Cu γαστρεντερολογικά προβλήματα. Το χρώμιο και το αρσενικό μπορεί να είναι καρκινογόνο, ενώ τα Al, Pb, Hg είναι τοξικά όταν προσλαμβάνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα (NHMRC 2004). Το μαγγάνιο αυξάνεται μετά από μία πυρκαγιά διότι ένα μεγάλο ποσοστό μαγγανίου συμπληρώνεται στο έδαφος από την στάχτη (Chambers and Attiwill 1994), το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για τα στοιχεία Fe, Cu, Zn (Certini 2005). Μετά από 1-2 μήνες από την εκδήλωση της πυρκαγιάς το Mn μειώνεται εξαιτίας της ανάπτυξης του μικροβιακού πληθυσμού και την οξείδωση του μαγγανίου (Chambers and Attiwill 1994). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις Na και Cl στα υδατικά αποθέματα προκαλούν προβλήματα κυρίως στις σωληνώσεις, τις οποίες καταστρέφουν. Λόγω της παρουσίας οργανικού υλικού στο έδαφος και την οξείδωση των θειούχων συστατικών υπάρχει αυξημένο ποσοστό θειικών ριζών. Κυάνιο και υδροκυάνιο επίσης απελευθερώνεται κατά την καύση του οργανικού υλικού (Barber et al. 2003). Επιπρόσθετα, οι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες είναι εξαιρετικής σημασίας, διότι είναι τοξικοί με μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονής στο περιβάλλον και με μεγάλο ποσοστό ευθύνης για καρκινογενέσεις (Smith et al. 2011). Τέλος οι ερευνητές Spencer and



Hauer (1991) τονίζουν τη σημασία της αιωρούμενης στάχτης μικρής πυκνότητας που επηρεάζει βραχυπρόθεσμα τα ποτάμια και τον υδρολογικό κύκλο.

3.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Μελετώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία όσον αφορά το θέμα της εδαφικής διάβρωσης, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σημαντικός αριθμός μαθηματικών μοντέλων προσδιορισμού και ποσοτικοποίησης της διάβρωσης.

Τα μοντέλα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα εμπειρικά και τα μοντέλα με φυσική βάση. Τα εμπειρικά μοντέλα χρησιμοποιούν μαθηματικές στατιστικές σχέσεις, ενώ τα μοντέλα με φυσική βάση στηρίζονται σε κανόνες διατήρησης μάζας και ενέργειας (Harmon 2001, Morgan 2005). Από αυτά τα μοντέλα, επιλέχθηκε τελικά να χρησιμοποιηθεί ένα ευρωπαϊκό αναγνωρισμένο μοντέλο, το μοντέλο Pesera. Σημειώνεται ότι κανένα μοντέλο από όσα περιγράφονται παρακάτω δε θεωρείται απόλυτα αντιπροσωπευτικό της πραγματικής υφιστάμενης κατάστασης, το οποίο να εφαρμόζεται παγκοσμίως σε περιοχές με διαφορετικά περιβάλλοντα και χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτόν η επιλογή του μοντέλου που θα χρησιμοποιήσει ο κάθε ερευνητής αφήνεται στην κριτική ικανότητα του. Παρακάτω παρατίθενται κάποια μοντέλα που ελήφθησαν υπόψη στην επιλογή του καταλληλότερου για την εξεταζόμενη περιοχή μοντέλου.

- Το μοντέλο RUSLE αποτελεί την αναθεωρημένη Γενική Εξίσωση της Εδαφικής Διάβρωσης (USLE), η οποία διατηρεί τη βασική μαθηματική δομή της προηγούμενης τροποποιώντας την τεχνολογία υπολογισμού της κάθε μεταβλητής εισάγοντας νέα δεδομένα για συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. ακανόνιστες κλίσεις). Το μοντέλο USLE αποτελεί το πιο διαδεδομένο μοντέλο πρόβλεψης, το οποίο αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. με τη βοήθεια 10.000 δοκιμαστικών επιφανειών σε γεωργικές καλλιέργειες ήπιας κλίσης (έως 9%), από το 1932 έως το 1953, επομένως κατατάσσεται στα εμπειρικά μοντέλα (Renschler and Harbor 2002, Kinnell 2004). Εξετάζει τη συνεπίδραση του κλίματος του εδάφους και του ανάγλυφου με τη βλάστηση (Στάθης και Σαπουτζής 2002, Στεφανίδης κ.α. 2007).
- Το μοντέλο Gavrilovic είναι ημιποσοτικό μοντέλο διάβρωσης και υποβάθμισης το οποίο αναπτύχθηκε μετά από εργασίες υπαίθρου σε ορεινές λεκάνες απορροής στη Σερβία και στη συνέχεια ενισχύθηκαν με εργαστηριακές έρευνες (Gavrilovic



1988). Δεν κρίνεται ιδιαίτερα αξιόπιστο με βάση τις υπάρχουσες ανα τον κόσμο εργασίες λόγω σημαντικών διαφοροποιήσεων από περιοχή σε περιοχή (Κουράκλη και Στεφανίδης 2011). Δεδομένου ότι δεν διατίθεται ιστορικό πλημμύρων στην εξεταζόμενη περιοχή του Μαραθώνα, δεν κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική.

- Το μοντέλο CREAM εφαρμόζεται σε περιοχές με μικρή έκταση κυρίως σε γεωργικές περιοχές. Αξιολογεί τις γεωργικές πρακτικές σε σχέση με τη μεταφορά μιας ρυπογόνου ουσίας του εδάφους εξαιτίας της επιφανειακής απορροής και του εδαφικού νερού. Παρόλ'αυτά θεωρείται και μοντέλο διάβρωσης (Woodward 1999).
- Το μοντέλο EUROSEM είναι προσαρμοσμένο κυρίως στις περιβαλλοντικές συνθήκες της κεντρικής Ευρώπης. Θεωρείται αρκετά απαιτητικό μοντέλο χωρίς να δίνει πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα (De Vente 2005).
- Το μοντέλο WEPP βασίζεται στους φυσικούς νόμους για την επίδραση της σταγόνας κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης, την απόσπαση του εδάφους σε χειμάρρους, βασίζεται στις αρχές της υδραυλικής πάνω στην επιφανειακή απορροή και τη στερεομεταφορά. Οι εξεταζόμενες μεταβλητές είναι το κλίμα, η υδατική διείσδυση στο έδαφος, η αύξηση των φυτών και η αποσύνθεση τους, οι πρακτικές γεωργικής καλλιέργειας, κτλ. (Brazier et al. 2001). Τα μοντέλα EUROSEM και WEPP απαιτούν σημαντική αρχική βάση δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Λόγω σημαντικής έλλειψης δεδομένων στην περιοχή κρίθηκε σκόπιμο να μη χρησιμοποιηθούν (Evans 2002).
- Το μοντέλο SHETRAN είναι ένα πολυσύνθετο μοντέλο εκτίμησης της στερεοαπορροής κυρίως γιατί βασίζεται στην υδρολογική πλατφόρμα του υδρολογικού μοντέλου Systeme Hydrologique Europeen (SHE). Μειονέκτημα του μοντέλου αποτελεί η εμπειρική εισαγωγή αρκετών παραμέτρων όσον αφορά τη διαβρωτικότητα του εδάφους.
- Το μοντέλο ANSWERS έχει χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει μη-σημειακή ρύπανση όπως και για την αξιολόγηση βέλτιστων διαχειριστικών πρακτικών. Η φύση του μοντέλου ποικίλει από τα φυσικά, κατανεμημένα μοντέλα (απαιτούν πλήρη περιγραφή των διαδικασιών και μηχανισμών που ενεργούν στη λεκάνη απορροής και έχουν μεγάλες απαιτήσεις από δεδομένα (Νικολαΐδης κ.α. 2008).



3.3.1 MONTELO PESERA

Το μοντέλο PESERA είναι ένα μοντέλο χωρικής ανάλυσης το οποίο δημιουργήθηκε για την ποσοτικοποίηση της εδαφικής διάβρωσης σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές με σημείο αναφοράς μια τοπική Ευρωπαϊκή κλίμακα.

Το μέγεθος της διάβρωσης είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα των χρήσεων γης και κυρίως των γεωργικών εκτάσεων. Στις μέρες μας που η κλιματική αλλαγή είναι γεγονός, είναι πολύ σημαντική η διασφάλιση της ποιότητας των εδαφών. Επομένως ο προσδιορισμός του μεγέθους της εδαφικής διάβρωσης χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία σαν το μοντέλο PESERA δίνει τη δυνατότητα να επαναλαμβάνεται η μέθοδος όταν οι συνθήκες μεταβάλλονται ώστε να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν πιο αντικειμενική εκτίμηση του φαινομένου (Kirkby et al. 2004). Συνδυάζει δεδομένα που αφορούν την επίδραση της τοπογραφίας, του κλίματος και του εδάφους τα οποία ενσωματώνει σε μια διαδικασία εκτίμησης της απορροής και της εδαφικής διάβρωσης. Η μέθοδος χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο ώστε να μετατρέπει τη μέση ημερήσια τιμή υετού σε μέση τιμή επιφανειακής απορροής. Η απορροή εκτιμάται ως η βροχόπτωση μείον μια ποσότητα νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος. Το αποθηκευμένο απόθεμα εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων σχετιζόμενων με το έδαφος, τη φυτοκάλυψη, την καλλιέργεια και την υγρασία του εδάφους. Οι κύριες παράμετροι του εδάφους που μελετώνται είναι ο ιστός του, το πάχος του εδαφικού ορίζοντα και το οργανικό υλικό το οποίο αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού στο έδαφος. Η ημερήσια μεταφορά ιζημάτων δίνεται από τη σχέση:

Φερτό υλικό = Διάβρωση X (Απορροή X Απόσταση από τον αρχικό διαχωρισμό του εδάφους)² X Κλίση

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τρία βασικά στάδια:

1. Μετατροπή του ημερήσιου υετού σε ημερήσια συνολική απορροή.
2. Έναν δυναμικό κανόνα εκτίμησης μεταφοράς φερτών υλών με βάση την απορροή και την κλίση και την ερμηνεία της απόθεσης του υλικού αυτού στη βάση των πρανών ως μέση εδαφική απώλεια.
3. Με την ολοκλήρωση της εκτίμησης του ημερήσιου βαθμού διάβρωσης συσχετίζεται η διασπορά του ημερήσιου υετού ώστε να εκτιμηθεί η μακροχρόνια μέση εδαφική διάβρωση.



Μειονεκτήματα: Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο πολυάριθμος όγκος πρωτογενών δεδομένων τα οποία μπορεί να μην είναι διαθέσιμα. Τονίζεται, βέβαια, ότι απαιτείται έλεγχος των αποτελεσμάτων ώστε να τυποποιηθούν οι διαφοροποιήσεις του μοντέλου από περιοχή σε περιοχή και σε διαφορετικούς τύπους εδαφών. Ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί η μέθοδος συλλογής των δεδομένων, η οποία διαφέρει από χώρα σε χώρα με διαφορετικές εδαφολογικές, κλιματικές κτλ συνθήκες (Kirkby et al. 2008). Η βάση δεδομένων που αναπτύσσεται στο αρχικό στάδιο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική της υφιστάμενης κατάστασης, διαφορετικά τα αποτελέσματα είναι επισφαλή.

Πλεονεκτήματα: Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζει τα ίδια αντικειμενικά κριτήρια σε όλες τις περιοχές ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλη την Ευρώπη και όχι σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, ανάλογα βέβαια με τα δεδομένα που υπάρχουν. Όλες οι παράμετροι θεωρούνται σε μηνιαία βάση ώστε να παρατηρούνται οι εποχικές διαφοροποιήσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Το μοντέλο σχετίζεται με ένα απλό μοντέλο βιομάζας, κατά το οποίο υφίσταται εποχική μεταβολή της φυσικής βλάστησης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι που κανονικά δεν υπεισέρχονται στη μέθοδο όπως είναι η πυκνότητα της φυτοκάλυψης και οι πυρκαγιές. Μάλιστα αναφέρεται ότι, οι υπολογισμοί μπορούν να τροποποιηθούν ούτως ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα ακόμα και για εδάφη που βρίσκονται σε παγωμένη κατάσταση ή καλύπτονται από χιόνι. Το σημαντικό είναι ότι η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί εκ νέου σε περίπτωση που προκύψουν περισσότερα δεδομένα ή κάποια από τις παραμέτρους του κλίματος ή των χρήσεων γης μεταβληθεί (Kirkby et al. 2004).

Διορθώσεις: Όπως αναφέρθηκε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων απαιτείται. Δυστυχώς υπάρχουν πολύ λίγες αποδεκτές μετρήσεις εδαφικής διάβρωσης (περίπου 50-100) σε όλη την Ευρώπη, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά ανάλογα τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και την κλίμακα της εξεταζόμενης περιοχής και όπως είναι λογικό μια Ευρωπαϊκή βαθμονόμηση δεν είναι πρακτική (Kirkby 2004). Για τον λόγο αυτό το μοντέλο ακολουθείται από μια εσωτερική, ενδιάμεση και εξωτερική επικύρωση των δεδομένων. Κατά την εσωτερική επικύρωση υφίσταται μια ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της φυσικής διαδικασίας. Επιχειρείται δηλαδή μια κατανόηση του μηχανισμού του φαινομένου και η ενσωμάτωση του στο μοντέλο σε μια απλή αλλά επαρκή από άποψη επεξεργασίας μορφή, ώστε να εξαχθούν όσο το



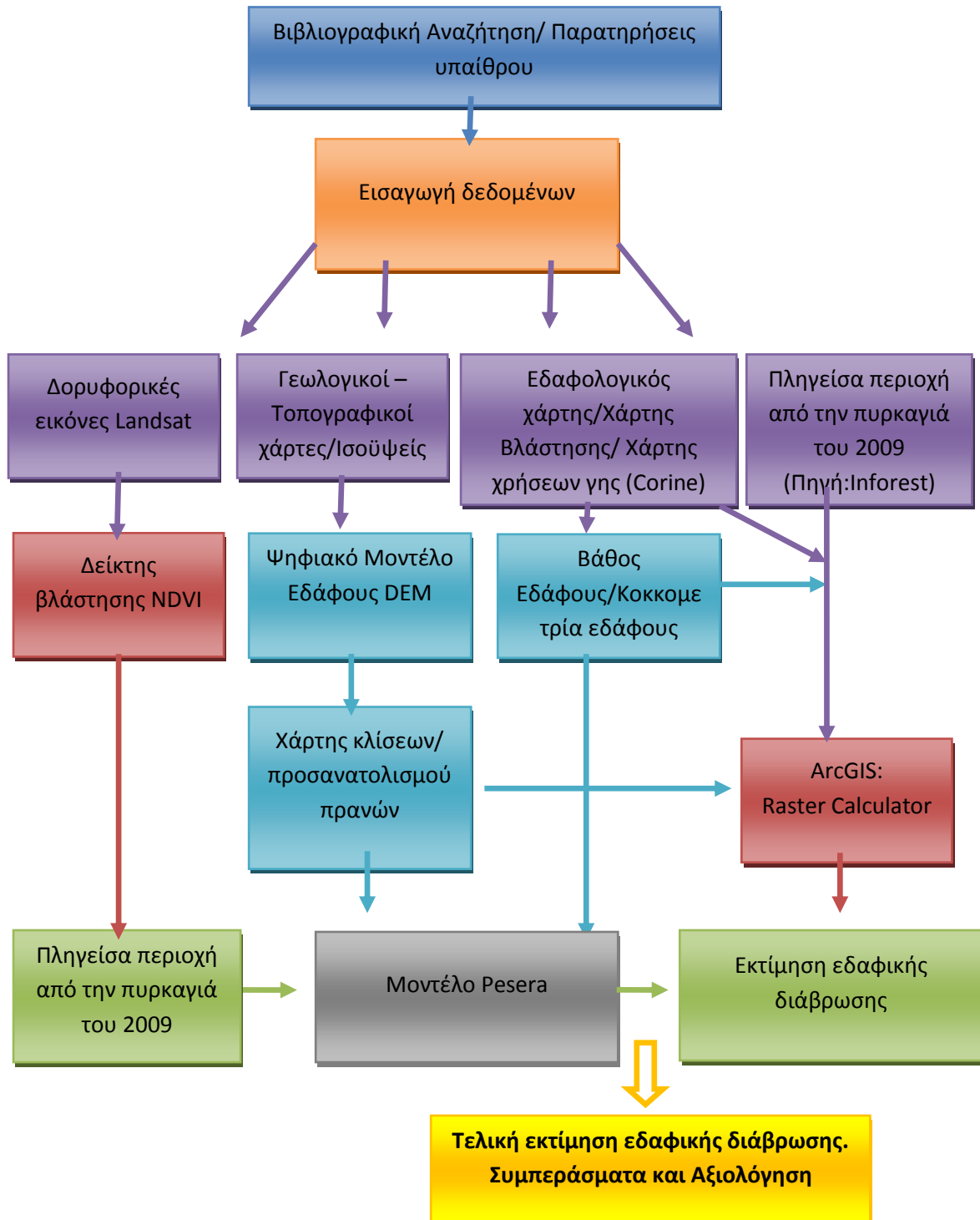
δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Στον ενδιάμεσο έλεγχο πραγματοποιείται μια σύγκριση των εκτιμώμενων ενδιάμεσων αποτελεσμάτων σε σχέση με τα χωρικά στοιχεία (Kirkby 2004). Αυτά τα χωρικά στοιχεία περιλαμβάνουν κυρίως τον τύπο και το ποσοστό της φυτοκάλυψης, τα οποία λαμβάνει το πρόγραμμα μέσω των χρήσεων γης. Ο εξωτερικός έλεγχος βασίζεται στη σύγκριση με το μέγεθος του πεδίου διάβρωσης (40m^2), με μικρές λεκάνες απορροής ($0.01\text{-}1\text{km}^2$) και ταμιευτήρες της τάξης $1\text{-}100\text{ km}^2$ (Cerdan 2003).

Στην Ελλάδα περίπου το ένα τρίτο της χώρας, όπως τα νησιά του Αιγαίου δεν διαθέτουν στοιχεία εδαφικής διάβρωσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της έλλειψης δεδομένων φυτοκάλυψης. Στην υπόλοιπη Ελλάδα οι τιμές της διάβρωσης δείχνουν ρεαλιστικές με εξαίρεση κάποιες περιοχές στις οποίες οι τιμές είναι ιδιαίτερα υψηλές όταν υπάρχει εμφάνιση ασβεστόλιθων. Στην πραγματικότητα οι τιμές διάβρωσης σε αυτές τις περιοχές είναι μικρές εξαιτίας της κάλυψης της χέρσου από το συμπαγές αυτό πέτρωμα (Kirkby 2004).

Το κάθε μοντέλο απαιτεί κάποιες παραδοχές ανάλογα με τις παραμέτρους που εξετάζει το καθένα. Σε αυτήν την εργασία επιλέχθηκε το μοντέλο PESERA διότι θεωρείται μοντέλο ικανό να αποδώσει με αξιόπιστο τρόπο την υφιστάμενη κατάσταση. Υπάρχουν αντικειμενικά κριτήρια που δίδονται στις οδηγίες του μοντέλου για τον Ευρωπαϊκό χώρο, επομένως, η αναγωγή και η σύγκριση των αποτελεσμάτων θεωρείται δυνατή εφόσον βέβαια τα εισαγόμενα αποτελέσματα κρίνονται αξιόπιστα. Στον Μαραθώνα ο Ξανθάκης στη διδακτορική του διατριβή (2011) έχει ήδη εφαρμόσει τα μοντέλα RUSLE, Gavrilovic και RMMF, οπότε θα ήταν σκόπιμο να εφαρμοστεί ένα νέο μοντέλο και στη συνέχεια να τεθεί συγκριτική μελέτη. Η λεκάνη του Μαραθώνα είναι μία αρκετά ετερογενής περιοχή, με αποτέλεσμα να πρέπει να συνδυαστούν ποικίλοι παράγοντες ώστε να εξαχθεί ασφαλές αποτέλεσμα. Το ολοκληρωμένο μοντέλο PESERA δεν έχει εφαρμοστεί σε επίπεδο μεταπτυχιακής εργασίας κυρίως λόγω του μεγάλου όγκου απαιτούμενων δεδομένων. Επίσης, το γεγονός ότι η περιοχή περιλαμβάνει αρκετές δασικές εκτάσεις είναι ένα έναυσμα για μία αξιολόγηση του μοντέλου ως προς τη διάβρωση και τη βαθμονόμηση του σε δασικά εδάφη, διότι κατά την βιβλιογραφική αναζήτηση δεν εντοπίστηκαν ανάλογες μελέτες.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

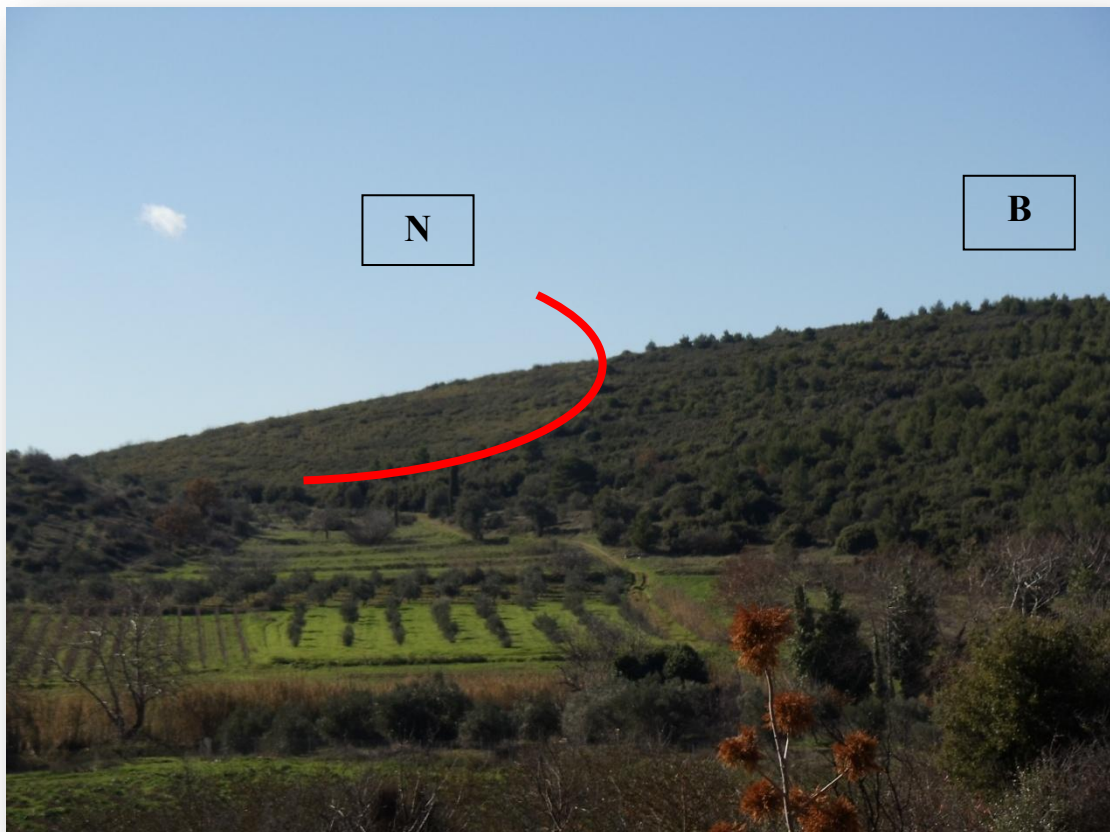
Γενικά, η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα παρακάτω:



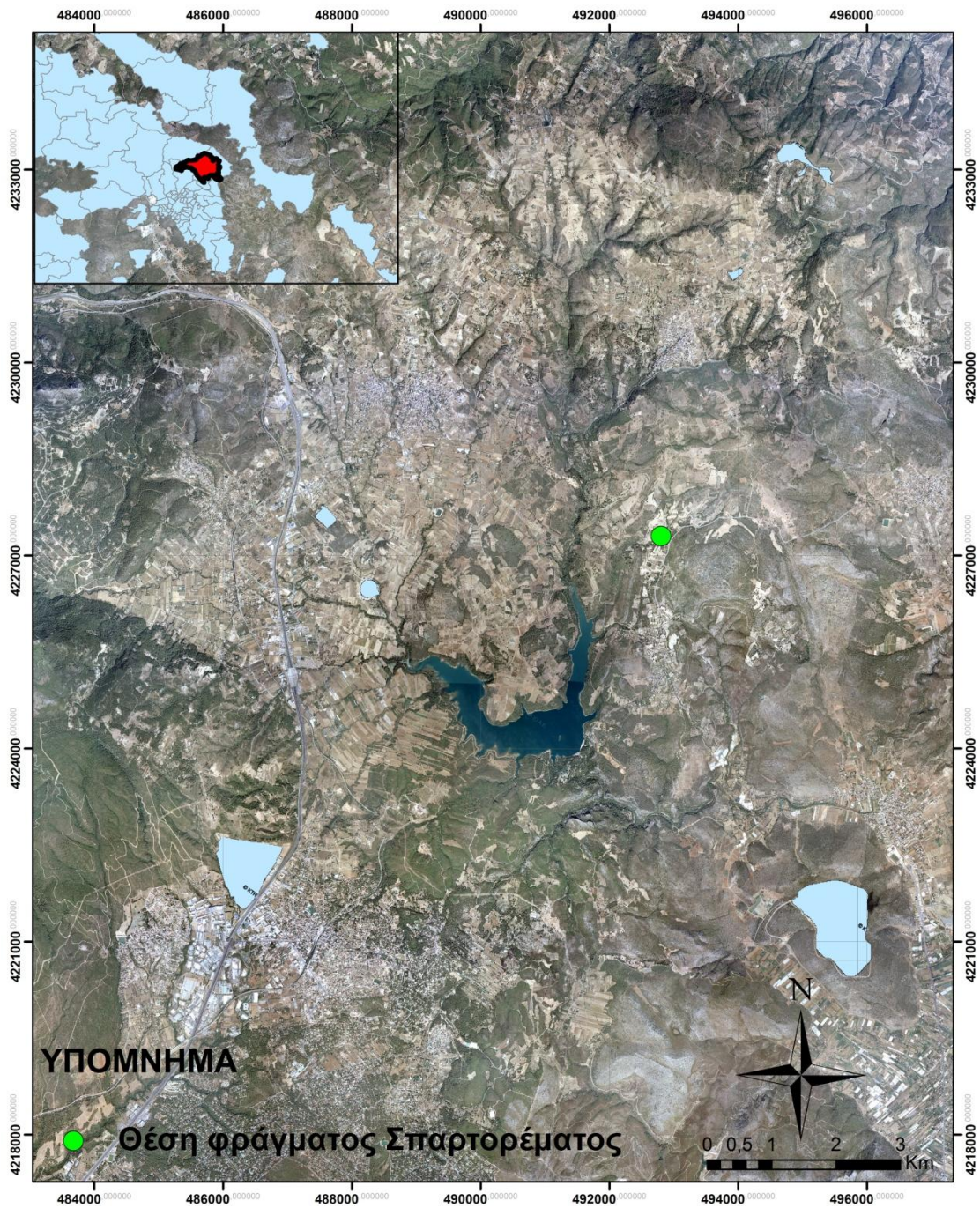
4.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Με την ανάθεση της εργασίας έγινε αντιληπτό ότι η εκτίμηση και η ποσοτικοποίηση ενός κινδύνου όπως είναι η εδαφική διάβρωση, απαιτεί συμπληρωματικά στοιχεία που μπορούν να ληφθούν μόνο με συστηματική εργασία υπαίθρου. Ο σημαντικότερος στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι αφενός η εκτίμηση της διάβρωσης στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα και αφετέρου η επίτευξη μιας συγκριτικής έρευνας της εδαφικής διάβρωσης μεταξύ της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα με μια αρκετά μικρότερη λεκάνη απορροής, αυτή του Σπαρτορέματος, η οποία επλήγη και αυτή (όχι ολοσχερώς) από την πυρκαγιά του 2009.

Κατά την περιήγηση στη λεκάνη απορροής κοντά στην περιοχή του Καπανδριτίου εντοπίστηκαν ζώνες καμένης βλάστησης οι οποίες γειτνιάζαν με ζώνες κανονικής δενδρώδους βλάστησης, στα σημεία αυτά όπως γίνεται αντιληπτό η πυρκαγιά τέθηκε υπό έλεγχο και δεν κατέστρεψε ολοσχερώς τη βλάστηση.



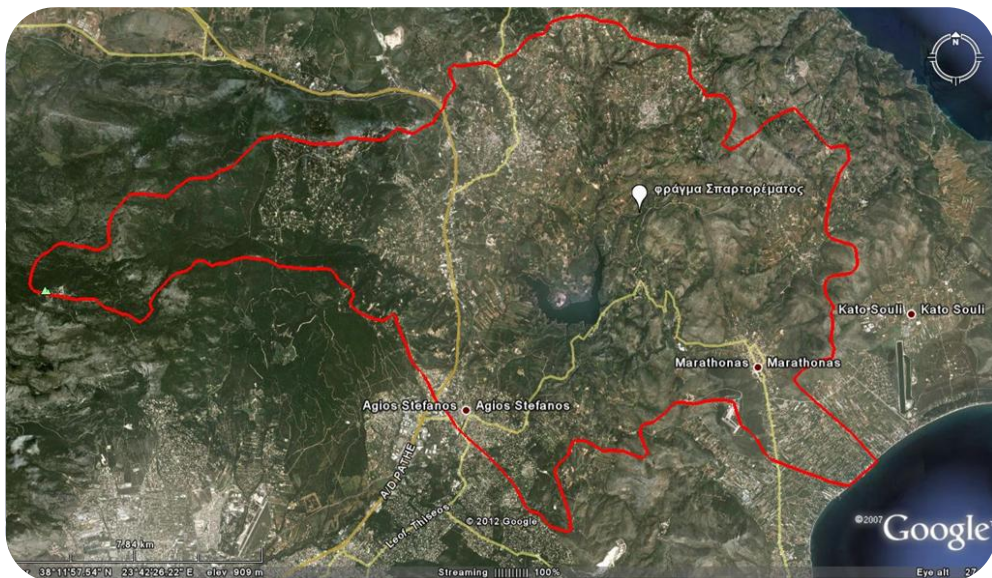
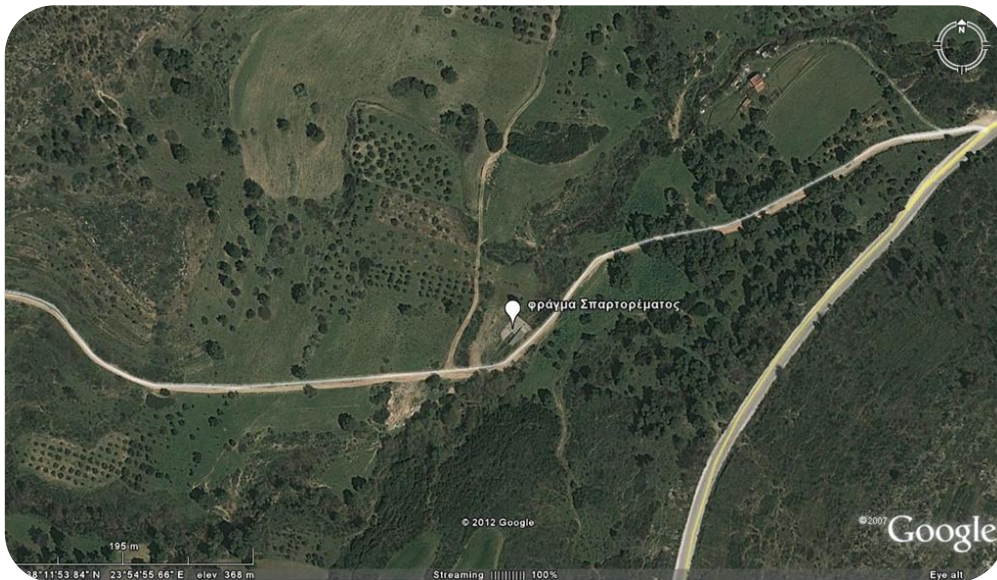
Σχήμα 13: Νότια παρατηρείται η περιοχή που είχε πληγεί από την καταστρεπτική πυρκαγιά του 2009, η οποία οριοθετείται προς Βορρά από μια περιοχή κανονικής βλάστησης. (φωτ. 04/1/2013). Η καμένη περιοχή βρίσκεται 3,5 χρόνια μετά σε στάδιο ανάκαμψης και αποτελεί πλέον ένα βοσκότοπο και όχι ένα απογυμνωμένο έδαφος.



Σχήμα 14: Στον παραπάνω χάρτη σημειώνεται η θέση του αντιδιαβρωτικού φράγματος, στον ποταμό Σπαρτόρρεμα, που αποτελεί παραπόταμο του υδρογραφικού δικτύου του Βαρνάβα (ορθοφωτοχάρτης 2007).



Στο πρώτο στάδιο της *in situ* εργασίας επιτεύχθηκε αναγνώριση της εξεταζόμενης περιοχής και συγκεκριμένα του τμήματος της λεκάνης που βρίσκεται ανάντη του φράγματος της λίμνης του Μαραθώνα. Η θέση της λεκάνης η οποία θα εξεταστεί στη συγκριτική μελέτη είναι αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η θέση του φράγματος του Σπαρτορέματος έχει συντεταγμένες $38^{\circ}11'46.36''\text{N}$, $23^{\circ}55'10.32''\text{E}$ (πηγή: Google Earth).



Σχήμα 15: Στις παραπάνω δορυφορικές εικόνες του Google Earth σημειώνεται και πάλι η θέση του αντιδιαβρωτικού φράγματος, στον ποταμό Σπαρτόρρεμα (πάνω: ορθοφωτοχάρτης 1:5.000, πηγή: ΟΚΧΕ και κάτω: δορυφορική εικόνα Google Earth).



Το φράγμα του Σπαρτορέματος είναι ένα φράγμα που αποτελείται από συρματοκιβώτια τα οποία έχουν τοποθετηθεί εγκάρσια στην κοίτη του ρέματος για να εμποδίσουν την στερεομεταφορά. Αποτελούνται από αναβαθμούς πάχους 1 μέτρου και εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα ενώ δε διαθέτουν διαφράγματα.



Σχήμα 16: Το φράγμα του Σπαρτορέματος, αποτελείται από διατεταγμένα εγκάρσια στην κοίτη συρματοκιβώτια, κατάλληλα να συγκρατούν μεγάλο ποσοστό ιζήματος. (φωτ. 4.1.2013).

Αξίζει να τονισθεί ότι τα συρματοπλέγματα έχουν διατηρηθεί και μάλιστα έχουν κατακρατήσει αρκετό εδαφικό (και όχι μόνο) υλικό. Σε γειτονική θέση, σε αντίστοιχα φράγματα-ιζηματοπαγίδες που κατασκευάστηκαν το 2009 στο ρέμα Στεφανόρεμα (παραπόταμος του Βαρνάβα ποταμού με σημαντική παροχή) επήλθε αστοχία των φραγμάτων εξαιτίας των τελευταίων σημαντικών πλημμυρικών παροχών.

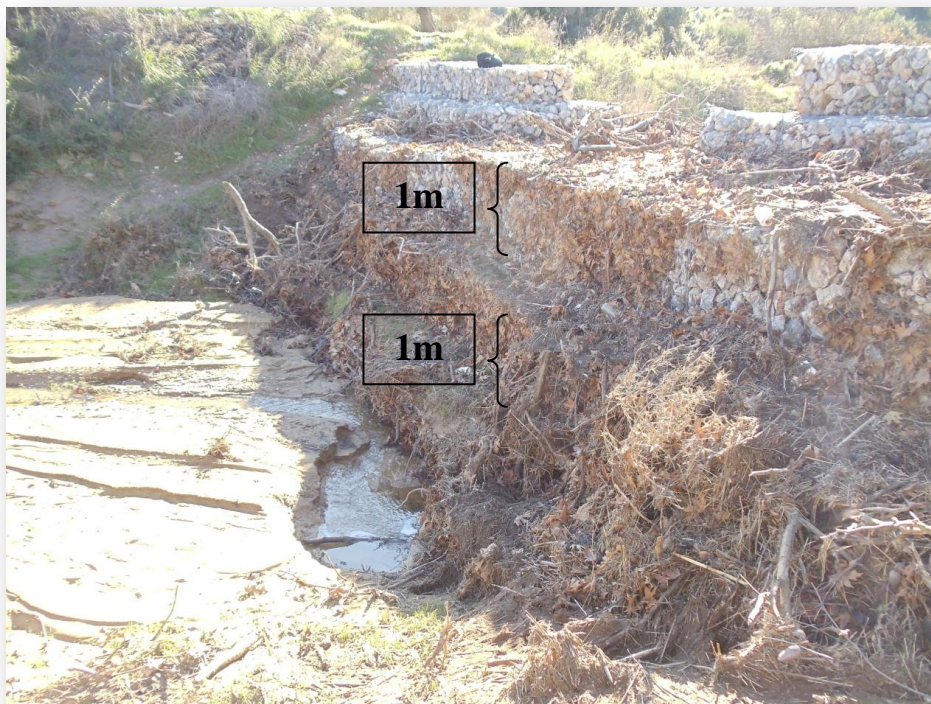
Μια αξιόλογη παρατήρηση είναι ότι τα συρματοπλέγματα έχουν καλυφθεί από ανομοιογενές υλικό ποικίλου μεγέθους, όπως κλαδιά, μικρά δενδρύλλια, εδαφικό υλικό, φύλλα κτλ, ακόμα και στο ανώτερο τμήμα τους (σχήμα 18). Αυτό δείχνει ιδιαίτερα αυξημένη υδατική (πλημμυρική) παροχή και υψηλή ταχύτητα ροής. Το ύψος των υδάτων επομένως, κατά την πλημμυρική περίοδο έφτασε τα 3 περίπου μέτρα, το υλικό υπερπήδησε το φράγμα και εναποτέθηκε σε όλη την περιβάλλουσα περιοχή.



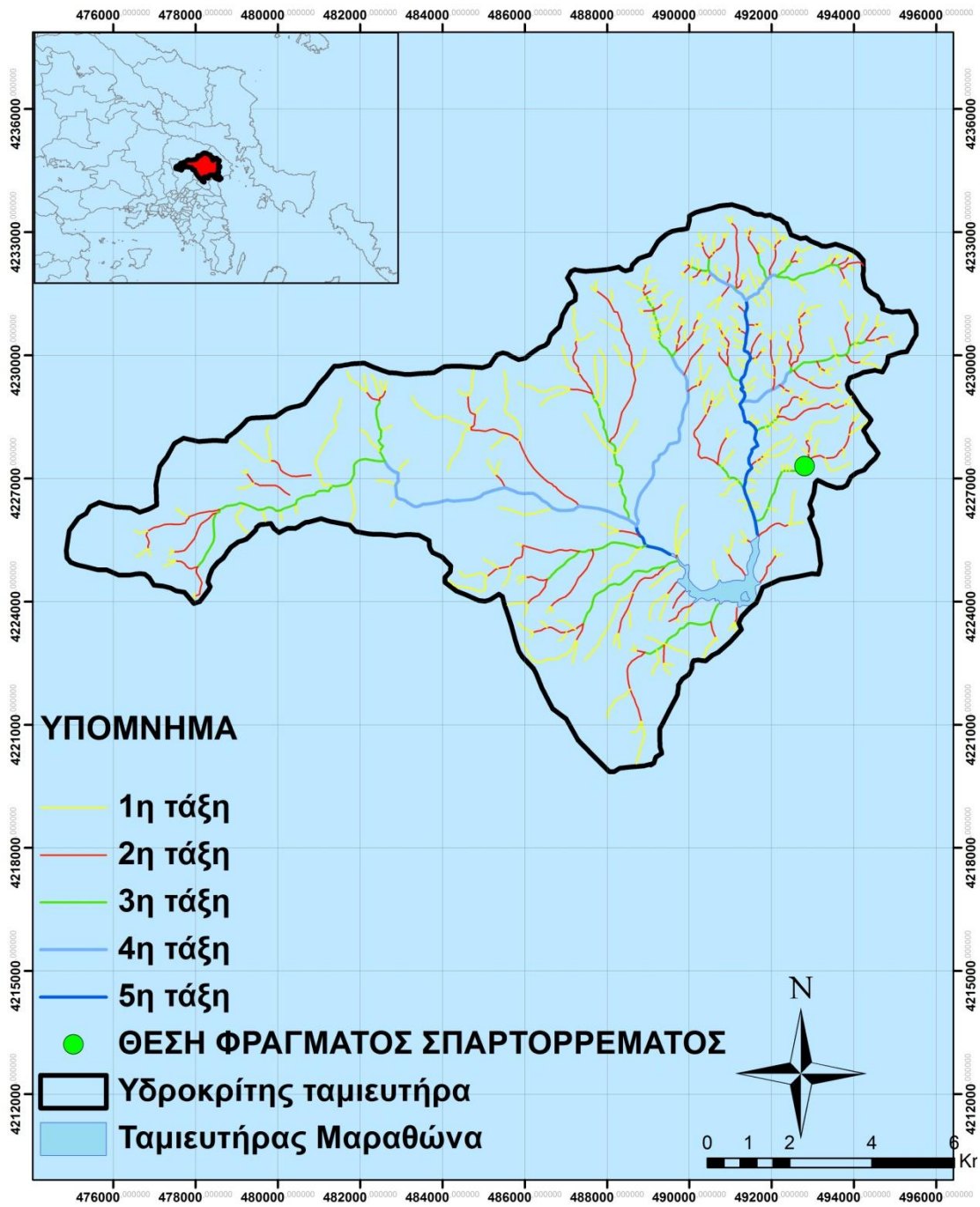
Το υλικό πλήρωσης των κιβωτίων είναι τεμάχια ασβεστολιθικού υγιούς πετρώματος. Οι κλάστες παρατηρούμε ότι δεν εφάπτονται μεταξύ τους και δε θεωρούνται σωστά διατεταγμένοι, ωστόσο φαίνεται να συγκρατούν ικανοποιητικό ποσοστό ιζήματος και υλικών κοίτης.



Σχήμα 17: Ασβεστολιθικό υλικό πλήρωσης των συρματοκιβωτίων ποικίλου μεγέθους τεμαχίων (φωτ. 4.1.2013).



Σχήμα 18: Το φράγμα του Σπαρτορρέματος, καλυμμένο από φερτό υλικό που αποτέθηκε κατά την πλημμυρική περίοδο. Το ύψος της κάθε σειράς συρματοκιβωτίων είναι 1m (φωτ. 4.1.2013).



Σχήμα 19: Το φράγμα κατασκευάστηκε σε ποταμό 3^{ης} τάξης, το οποίο έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και βρίσκεται ανατολικά της λίμνης του Μαραθώνα.



Το φράγμα αυτό κατασκευάστηκε το φθινόπωρο του 2009, τον επόμενο 1,5 χρόνο δεν είχαν παρατηρηθεί έντονα πλημμυρικά φαινόμενα στη θέση αυτή, διότι δεν είχε εντοπιστεί φερτό υλικό πάνω στο φράγμα, και επομένως δεν το είχε υπερβεί. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μέσα στα έτη 2011 και 2012, είτε υπήρξε αυξημένη συχνότητα πλημμυρών στην περιοχή, είτε μεγαλύτερες πλημμυρικές παροχές.

Παρατηρώντας την παρακάτω φωτογραφία, εντοπίζεται αφενός μετατόπιση της κοίτης προς τα δυτικά και αφετέρου διάβρωση του υλικού που έχει πληρώσει τον χώρο ανάντη του φράγματος. Επομένως, αρχικά κατασκευάστηκε το φράγμα, άρχισε η απόθεση υλικού στα ανάντη του φράγματος και την περίοδο των παρατηρήσεων (Ιανουάριος 2013) έχει ήδη αρχίσει η διάβρωση του και μάλιστα αντιστοιχεί σε 30 cm μείωση υλικού κατά θέσεις (π.χ στο κέντρο του φράγματος).



Σχήμα 20: Το υλικό που συγκρατεί το φράγμα είναι αρκετά ετερογενές και αποτελείται από λεπτόκοκκο έως χονδρόκοκκο υλικό, κροκάλες, οργανικό υλικό, φύλλα, κλαδιά κ.α, εξαιτίας των έντονων πλημμυρικών φαινομένων. Από το υλικό αυτό συλλέχθηκε δείγμα για εργαστηριακή ανάλυση.



Κατά την επόμενη επίσκεψη στην περιοχή, 23 μέρες μετά (27.01.2013) και μετά από έντονες βροχοπτώσεις με πολύ μεγάλα ημερήσια ύψη βροχής η κατάσταση είχε διαφοροποιηθεί δραματικά, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Σχήμα 21: Το ίζημα με μορφή λασπορροής μετά από τις τελευταίες βροχοπτώσεις του Ιανουαρίου, φτάνει σχεδόν στον ύψος του πρώτου αναβαθμού. Το υλικό που βρίσκεται πάνω στα συρματοπλέγματα δε φαίνεται να έχει αυξηθεί, γεγονός που δείχνει, ότι το νερό δεν έφτασε σε υψηλά επίπεδα ή δεν είχε μεγάλη ορμή.

Αξίζει να συγκριθεί η κατάσταση του Ιανουαρίου του 2013 με την κατάσταση του φράγματος μετά το πρώτο πλημμυρικό γεγονός από την περίοδο της κατασκευής του. Είναι εμφανής η αποτελεσματική χρήση του φράγματος διότι συγκρατεί σημαντικό ποσό φερτού υλικού και μειώνει την ορμή και τη διαβρωσιγενή ικανότητα του νερού. Μέσα σε 3,5 χρόνια υπάρχει σημαντική αύξηση του υλικού απόθεσης με το ύψος του οποίου να έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο τουλάχιστον 50cm. Μάλιστα στις 20 αυτές μέρες παρατηρήσεων οι θέσεις κατά μήκος της κοίτης του ποταμού που διαβρώνονταν, πληρώθηκαν και καλύφθηκαν εκ νέου.



Σχήμα 22: α) φωτογραφία του 2009 με το πρώτο πλημμυρικό γεγονός της μεταπυρικής περιόδου του 2009 (φωτ. αρχείο Ι. Παπανικολάου) στην οποία δεν υπάρχει σημαντική ποσότητα υλικού και β) Άποψη του φράγματος τον Ιανουάριο του 2013, με σημαντική αύξηση του αποτιθέμενου υλικού.



Μετρήσεις ανά 5m που πραγματοποιήθηκαν εγκάρσια στην κοίτη, δείχνουν μια πλημμυρική ζώνη μεγαλύτερη των 15m, ενώ η απόθεση του ιζήματος της εδαφικής διάβρωσης ποικίλει κατά θέσεις, με σταδιακή μείωση της ζώνης απόθεσης προς τα ανάντη του φράγματος.



Σχήμα 23: Μέτρηση της ζώνης απόθεσης ιζήματος έδειξαν μείωση του πλάτους της προς τα ανάντη. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή οριοθετείται η πλημμυρική ζώνη προς τα δυτικά.

Πίνακας 4: Στον παρακάτω πίνακα είναι φανερή η σταδιακή μείωση του πλάτους του αποτιθέμενου υλικού, το οποίο μειώνεται σημαντικά μετά τα 40m.

Απόσταση από το φράγμα (m)	Πλάτος αποτιθέμενου υλικού (m)
0	11
5	8,3
10	7,8
15	7
20	7
25	6,7
30	8
40	6



Από την πρώτη επίσκεψη στο φράγμα διαπιστώθηκε, ότι είναι ικανό να συγκρατεί σημαντική ποσότητα ιζήματος. Κατά τη δεύτερη επίσκεψη η ποσότητα φερτού υλικού ήταν σημαντικά μεγαλύτερη εξαιτίας των πρόσφατων πλημμυρικών γεγονότων. Για τον λόγο αυτό, συλλέχθηκε εδαφικό δείγμα μέσα από την κοίτη του ποταμού για την πραγματοποίηση εργαστηριακής ανάλυσης με σκοπό να διαπιστωθεί τι είδους υλικό αποσπάται από τα εδάφη της λεκάνης του Σπαρτορρέματος. Σύμφωνα με την κοκκομετρική ανάλυση (μέθοδος υδατομέτρου-Βουγιούκου) το εδαφικό ίζημα που απορρέει χαρακτηρίζεται ως αμμώδες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το υλικό που διαβρώνεται από την εξεταζόμενη λεκάνη ανήκει στην κατηγορία της χονδρόκοκκης κλάσης του εδάφους. Η κοκκομετρία της λεκάνης του Σπαρτορρέματος ανήκει στην κατηγορία sandy clay loam και το έδαφος χαρακτηρίζεται ως fine loamy. Το γεγονός ότι στην κοκκομετρική ανάλυση του επιφανειακού εδάφους του Ξανθακη (2011) στα όρια της λεκάνης του Σπαρτορρέματος, το δείγμα αποτελείται από 60% άμμο, 20% ιλύ και 20% άργιλο δείχνει πιθανόν απόπλυση του αργιλικού υλικού της κοίτης. Δεν πρέπει να παραληφθεί βέβαια ότι η λεκάνη δεν καλύπτεται εξολοκλήρου από έναν εδαφικό σχηματισμό, αλλά αποτελείται από ρεντζίνες και ερυθρές γαίες με ασβεστολιθικά θραύσματα καθώς και ρεντζίνες και υλικό σχιστόλιθων.

Πίνακας 5: Κοκκομετρική σύσταση εδάφους το οποίο συλλέχθηκε από την κοίτη του ποταμού Σπαρτόρρεμα.

Άμμος	Ιλύς	Άργιλος
92,72%	4%	3,28%



4.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης εξάχθηκαν συμπεράσματα για τις καμένες περιοχές του 2009. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ERDAS (IMAGINE 2010).

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε αναζήτηση των κατάλληλων δορυφορικών εικόνων στην επίσημη ιστοσελίδα του USGS, ώστε να καλύπτουν τις περιόδους αμέσως πριν και μετά την πυρκαγιά του Αυγούστου του 2009.

Πραγματοποιήθηκε βελτίωση της αντίθεσης (Brightness/Contrast → Contrast 51) της εκάστοτε εικόνας σε κάθε Band και στη συνέχεια επιλέχτηκε Radiometric Enhancement → LUT stretch (σε κάθε Band), ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη οπτική ερμηνεία.

Για την εξαγωγή του χάρτη NDVI χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εικόνες Landsat TM 5 (Μάιος και Σεπτέμβριος 2009). Αρχικά αφού δημιουργήθηκε το αρχείο Stack με τα φασματικά κανάλια 1,2,3,4,5,6,7 και με τύπο εικόνας « .img», έπρεπε να πραγματοποιηθεί γεωαναφορά των εικόνων.

Τα αρχικά δορυφορικά δεδομένα χαρακτηρίζονται από γεωμετρικές παραμορφώσεις (Richards 1993). Οι παραμορφώσεις αυτές οφείλονται σε συστηματικά και μη συστηματικά σφάλματα. Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν να διορθωθούν κατευθείαν στους επίγειους σταθμούς λήψης των εικόνων (Συλλαίος 1990). Οι δορυφορικές εικόνες κατά την λήψη τους δεν έχουν καμία πληροφορία σχετικά με τη θέση λήψης. Κατά τη γεωμετρική διόρθωση αποδίδονται στην εικόνα συντεταγμένες, κλίμακα και προσανατολισμός με βάση μια υπάρχουσα διορθωμένη εικόνα. Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων, το οποίο αποτελείται από τον αριθμό των pixels σε σειρές και στήλες, σε ένα συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής προβολής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μετρικό σύστημα προβολής ΕΓΣΑ '87.

Στην περίπτωση του Μαραθώνα εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπήρχαν προϋπάρχουσες πρόσφατες, διορθωμένες δορυφορικές εικόνες, χρησιμοποιήθηκαν οι ήδη διορθωμένοι γεωμετρικά ορθοφωτοχάρτες του Κτηματολογίου που διέθετε το Εργαστήριο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του ΓΠΑ, ως χάρτες αναφοράς με τους οποίους πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά των δορυφορικών εικόνων του USGS.

Στάδια γεωμετρικής διόρθωσης:



- Επιλογή του κατάλληλου συστήματος συντεταγμένων.
- Επιλογή του τύπου της γεωμετρικής διόρθωσης. Θεωρήθηκε ότι η καταλληλότερη διόρθωση θα επιτευχθεί με την εισαγωγή συντεταγμένων από ορθοφωτοχάρτες. Ο μετασχηματισμός αυτός αποδίδει συντεταγμένες σε όλη την εξεταζόμενη εικόνα. Κατά την διόρθωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο μετασχηματισμού του Landsat του προγράμματος ERDAS.
- Επιλογή του κατάλληλου υλικού, ως εικόνα αναφοράς (ορθοφωτοχάρτες).
- Εντοπισμός των κατάλληλων εδαφικών σημείων ελέγχου (tic points). Στο στάδιο αυτό επιλέγονται γήινα αμετάβλητα στο χρόνο χαρακτηριστικά στον ορθοφωτοχάρτη και ταυτίζονται στην υπό διόρθωση εικόνα. Η επιλογή αυτών των σημείων είναι πολύ σημαντική διότι από αυτά εξαρτάται η ακρίβεια της διόρθωσης.
- Στο ακόλουθο στάδιο της γεωαναφοράς, επιχειρήθηκε γεωκωδικοποίηση, κατά την οποία οι νέες ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων μέσω του resampling της εικόνας έχουν ακριβείς χωρικές θέσεις οι οποίες αντιστοιχούν στα κέντρα του νέου κάναβου της διορθωμένης πλέον εικόνας (Ψωμιάδης 2010). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor), διότι η αρχική εικόνα αλλοιώνεται στο ελάχιστο. Παρατηρήθηκε μια μικρή περιστροφή των εικόνων έτσι ώστε να προσανατολιστούν προς τον Βορρά.

Στο τελικό στάδιο της αρχικής επεξεργασίας των εικόνων, χρησιμοποιήθηκε η εντολή subset image ώστε να περικοπεί η εικόνα και να μεγεθυνθεί η περιοχή μελέτης.

Ο δείκτης NDVI δημιουργήθηκε από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM 5 (Μάιος και Σεπτέμβριος 2009). Έχοντας δημιουργήσει ήδη το αρχείο stack και έχοντας εστιάσει στην εξεταζόμενη περιοχή, εισήχθη στο πρόγραμμα το αρχείο με τύπο εικόνα « .img» και πραγματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των καναλιών 3 και 4 με τη βοήθεια του προγράμματος. Έτσι, επιλέγοντας το μενού “Interpreter” → spectral enhancement → INDICES, επιλέγεται ο δείκτης NDVI. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν υδάτινες επιφάνειες, ενώ οι θετικές τιμές και μικρότερες από 0,1 φανερώνουν γυμνό έδαφος.

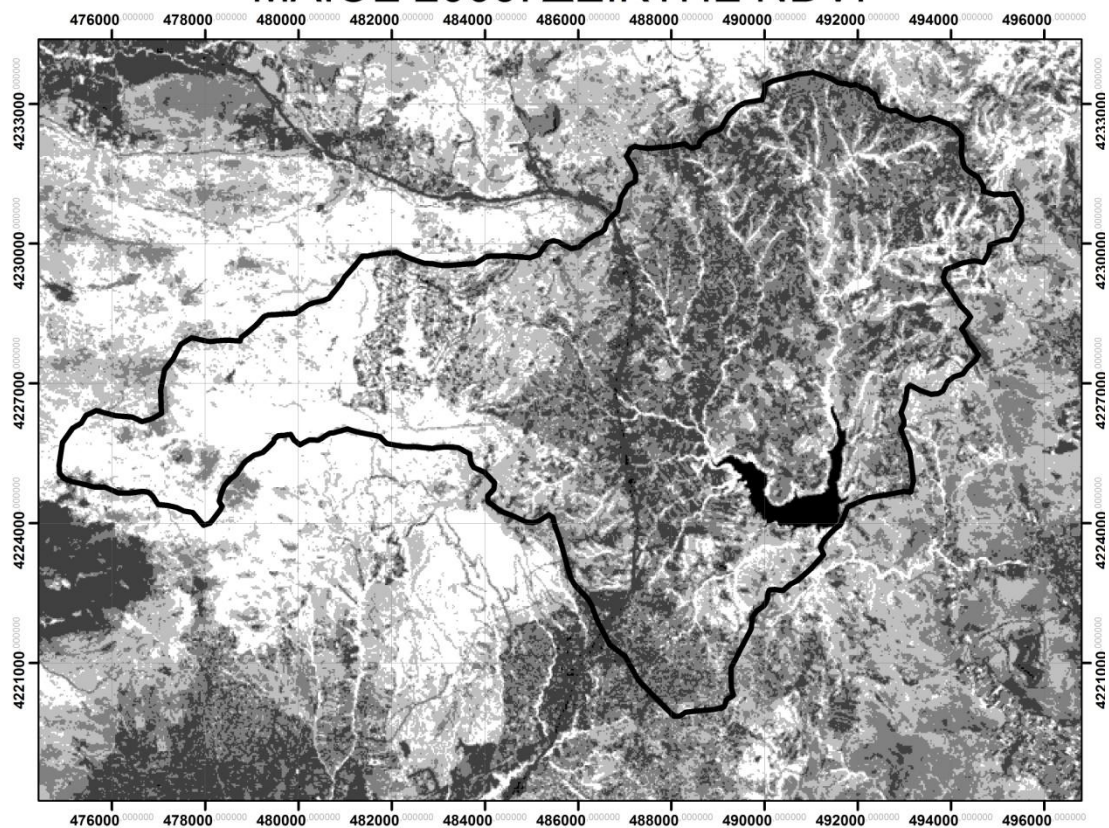


Σε γενικές γραμμές, μικρό NDVI (αραιή βλάστηση) υποδηλώνουν τιμές από 0,1 έως 0,2 αρκετά πυκνή βλάστηση δείχνουν οι τιμές 0,2-0,4 ενώ μεγαλύτερες τιμές δηλώνουν πολύ πυκνή και υγιή βλάστηση.

Τέλος, με τη χρήση του ArcGIS v.10 πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση (reclassify) των κλάσεων των τιμών των εικονοστοιχείων (file pixel) με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση της καμένης έκτασης και τη συσχέτιση των νέων χαρτών με τον δημοσιευμένο χάρτη που απεικονίζει τις πυρκαγιές του 2009 στην περιοχή. Με άσπρο χρώμα απεικονίζεται η έντονη βλάστηση, όπως στα δυτικά που βρίσκεται ο ορεινός όγκος της Πεντέλης και καθώς μεταβαίνουμε σε αποχρώσεις του γκρι η βλάστηση μειώνεται. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι υδάτινες επιφάνειες. Η πληγείσα περιοχή από την πυρκαγιά καθίσταται προφανής στο δεύτερο χάρτη με σκούρο γκρι χρώμα. Η επικρατούσα βλάστηση του Μαΐου δεν υφίσταται πλέον στη δορυφορική εικόνα του Σεπτεμβρίου, η γεωργική γη, η πεύκη και φυσικά η σημαντική παραποτάμια βλάστηση του Βαρνάβα έχει καταστραφεί. Δυστυχώς λόγω της θέσης της εξεταζόμενης λεκάνης και της επιλογής των μηνών Μαΐου και Σεπτεμβρίου του 2009 οι δορυφορικές εικόνες δεν κάλυπταν ολόκληρη τη λεκάνη του Μαραθώνα, παρ'όλα αυτά η περιοχή της πυρκαγιάς του Αυγούστου καλύπτεται πλήρως.

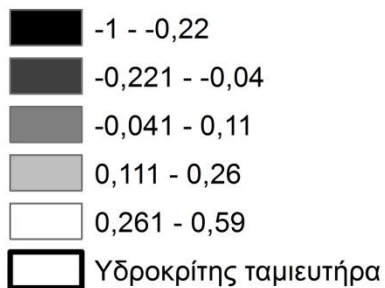


ΜΑΙΟΣ 2009: ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI



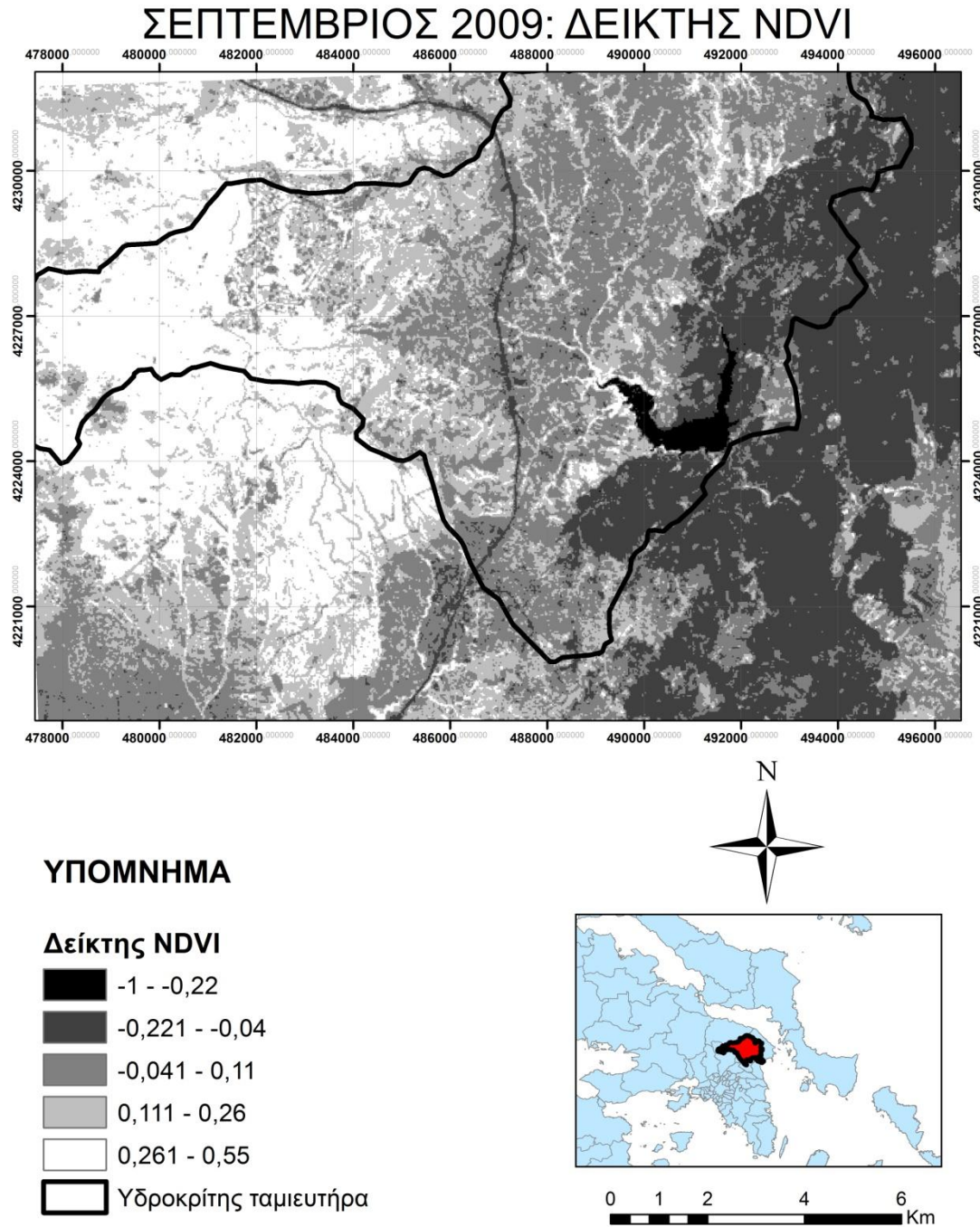
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Δείκτης NDVI

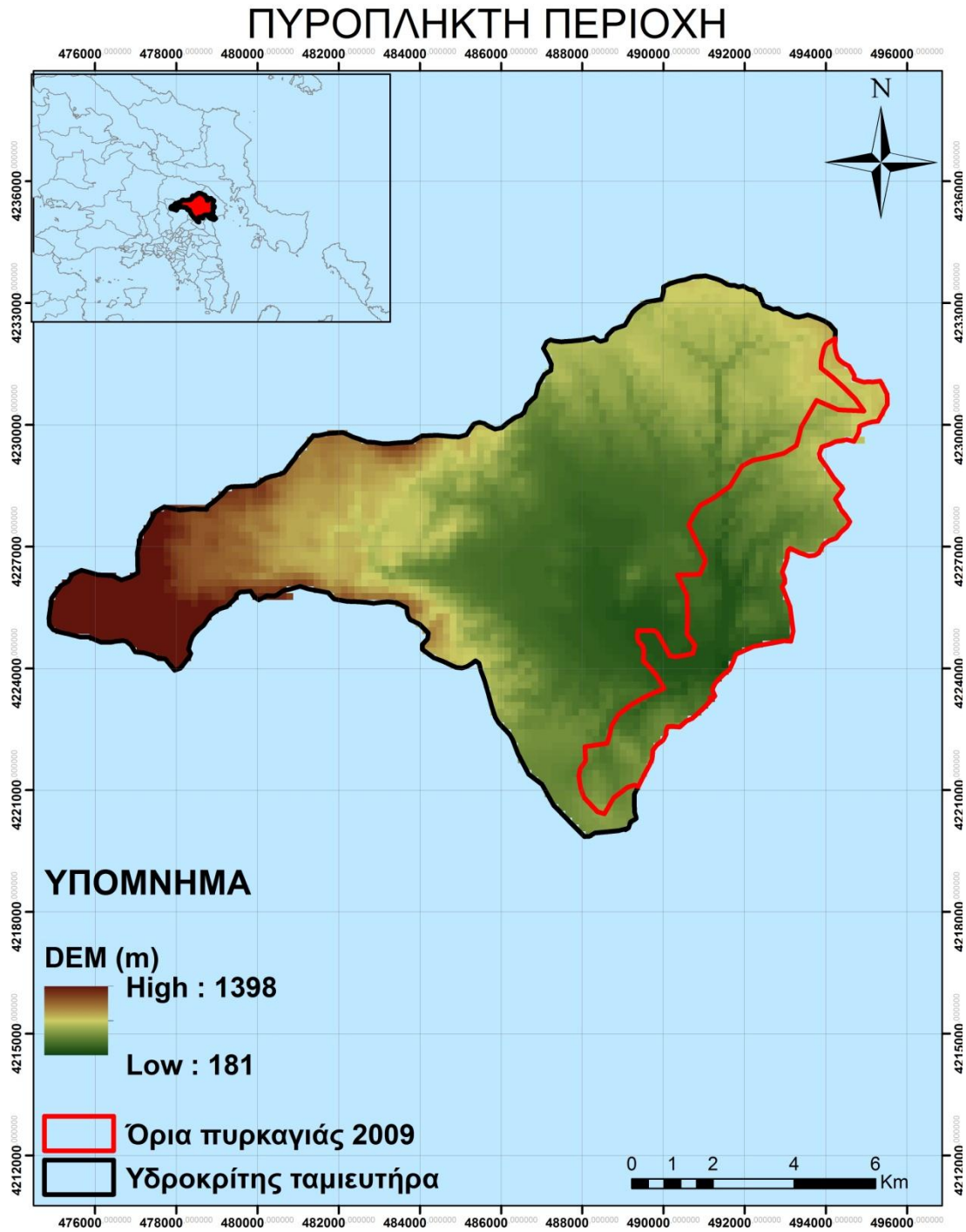


0 1 2 4 6 Km

Σχήμα 24: Ο δείκτης NDVI εξήχθη από το λογισμικό ERDAS όμως επειδή πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των τιμών η τελική μορφή του χάρτη είναι προϊόν του ArcGIS.



Σχήμα 25: Ο δείκτης NDVI εξήχθη από το λογισμικό ERDAS όμως επειδή πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των τιμών η τελική μορφή του χάρτη είναι προϊόν του ARCGIS. Οι πληγείσες περιοχές είναι γκρι σκούρου χρώματος. Στην εικόνα παρατηρούμε ότι η λεκάνη του Βαρνάβα φαίνεται να έχει πληγεί ιδιαίτερα από την πυρκαγιά του Αυγούστου.



Σχήμα 26: Στον παραπάνω χάρτη με κόκκινο χρώμα οριοθετείται η πληγείσα περιοχή από την πυρκαγιά του 2009 που βρίσκεται εντός της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής του Μαραθώνα.



4.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ- ArcGIS

Για το σκοπό της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Με τον όρο Γ.Σ.Π εννοούνται υπολογιστικά συστήματα διαχείρισης πληροφοριών και περιλαμβάνουν τη λήψη, αποθήκευση, διαχείριση και τον συσχετισμό δεδομένων με βάση ένα σύστημα συντεταγμένων. Πρόκειται για ένα πολύτιμο εργαλείο στην εκτίμηση των κινδύνων, καθώς στο επόμενο της εκτίμησης στάδιο, μπορεί να συσχετιστεί ο σχεδιασμός ενώπιων της δυνητικής απειλής, η εκτίμηση του κόστους του εν δυνάμει κινδύνου με στόχο τη μείωση της τρωτότητας μιας κοινωνίας. Τα Γ.Σ.Π διαθέτουν μια σειρά εργαλείων με σκοπό τη σωστή καταχώρηση, διαχείριση και εξαγωγή δεδομένων. Όλα τα δεδομένα που εισάγονται διαχειρίζονται μέσα από τις λεγόμενες βάσεις δεδομένων, κάτι που αποτελεί και το σημαντικότερο πλεονέκτημα έναντι των άλλων τρόπων παραγωγής χαρτών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο ΓΣΠ (ArcGIS v.10) χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες, δεδομένα raster (εικονοστοιχεία) και δεδομένα vector (διανυσματικά).

Τα raster αρχεία είναι δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες (σε κάθε pixel είναι αποθηκευμένη μια τιμή χρώματος και αντιπροσωπεύει μια τιμή πληροφορίας), περιλαμβάνει, επίσης, χάρτες κλίσεων, προσανατολισμού κλίσεων, χάρτες σκιασμένου ανάγλυφου.

Τα vector δεδομένα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

1. Τα σημειακά, που περιλαμβάνουν σημεία που απεικονίζουν απλά γεωγραφικά δεδομένα όπως οι κλίσεις, τα τριγωνομετρικά και υψομετρικά σημεία, τα επίκεντρα των σεισμών και τα τοπωνύμια οικισμών.
2. Τα γραμμικά διανυσματικά δεδομένα περιλαμβάνουν τα γραμμικά στοιχεία που καταχωρούμε στο λογισμικό, όπως δρόμοι, ρήγματα, υδρογραφικό δίκτυο, ισοϋψείς.
3. Τα πολύγωνα είναι δισδιάστατα στοιχεία που αναπαριστούν επιφάνειες όπως λίμνες, χρήσεις γης, γεωλογία, υδροκρίτης, λεκάνες απορροής.

Τα χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου (feature class) περιλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων με αριθμητικές τιμές ή και ποιοτικά δεδομένα.



Ένα μέρος της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η συλλογή των δεδομένων και η ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου (βιβλιογραφική αναζήτηση) στο οποίο στηρίχτηκε όλη η ακόλουθη ανάλυση. Στο δεύτερο και βασικό μέρος έλαβε χώρα η εφαρμογή του μοντέλου PESERA καθώς και η καταχώρηση και επεξεργασία των δεδομένων στο ArcGIS, ενώ το τρίτο μέρος περιελάμβανε την αξιολόγηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων (συμπεράσματα).

Με βάση αυτά τα στοιχεία και ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψαν δεδομένα που αφορούν τα γεωγραφικά στοιχεία, τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις τεκτονικές δομές της περιοχής, το υδρογραφικό δίκτυο και τα στοιχεία της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα, τα βροχομετρικά δεδομένα, το οδικό δίκτυο, τις χρήσεις γης και τα ιστορικά δεδομένα κάθε καταστροφής.

Τα περισσότερα πρωτογενή δεδομένα ήταν διαθέσιμα ως εικόνες υπό μορφή χαρτών και δορυφορικών εικόνων (ή ορθοφωτοχαρτών). Αφού ψηφιοποιήθηκαν, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά κατά την οποία όλα τα θεματικά επίπεδα έχουν κοινό σύστημα αναφοράς, το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87. Η γεωαναφορά έγινε με την επέκταση Georeferencing του ArcGIS, η οποία βασίζεται στην αντιστοίχιση σημείων ελέγχου επί του ήδη ψηφιοποιημένου χάρτη αναφοράς, με αντίστοιχα σημεία επί του χάρτη που πρέπει να ψηφιοποιηθεί. Η ακόλουθη επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών περιελάμβανε μερική ψηφιοποίηση τριγωνομετρικών σημείων (σημειακή μορφή) και ισοϋψών καμπυλών (γραμμική μορφή) με ισοδιάσταση 20m, διότι τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέχθηκαν από το Εργαστήριο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ήταν ελλιπή. Η καλύτερη μέθοδος προσομοίωσης του γήινου ανάγλυφου είναι το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου το λεγόμενο DEM (Digital Elevation Model). Για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε η επέκταση 3D Analyst και εφαρμόστηκε η μέθοδος των «ακανόνιστων τριγωνικών δικτύων» η επονομαζόμενη TIN (Triangulated Irregular Networks).

Για την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε:

- Γεωαναφορά χαρτών στο γεωγραφικό σύστημα ΕΓΣΑ '87
- Γεωαναφορά-ορθοαναγωγή δορυφορικής εικόνας της λεκάνης (Google Earth)
- Ψηφιοποίηση Εδαφολογικού χάρτη Αττικής (I.A Zvorykin and P.J. Saul 1948)

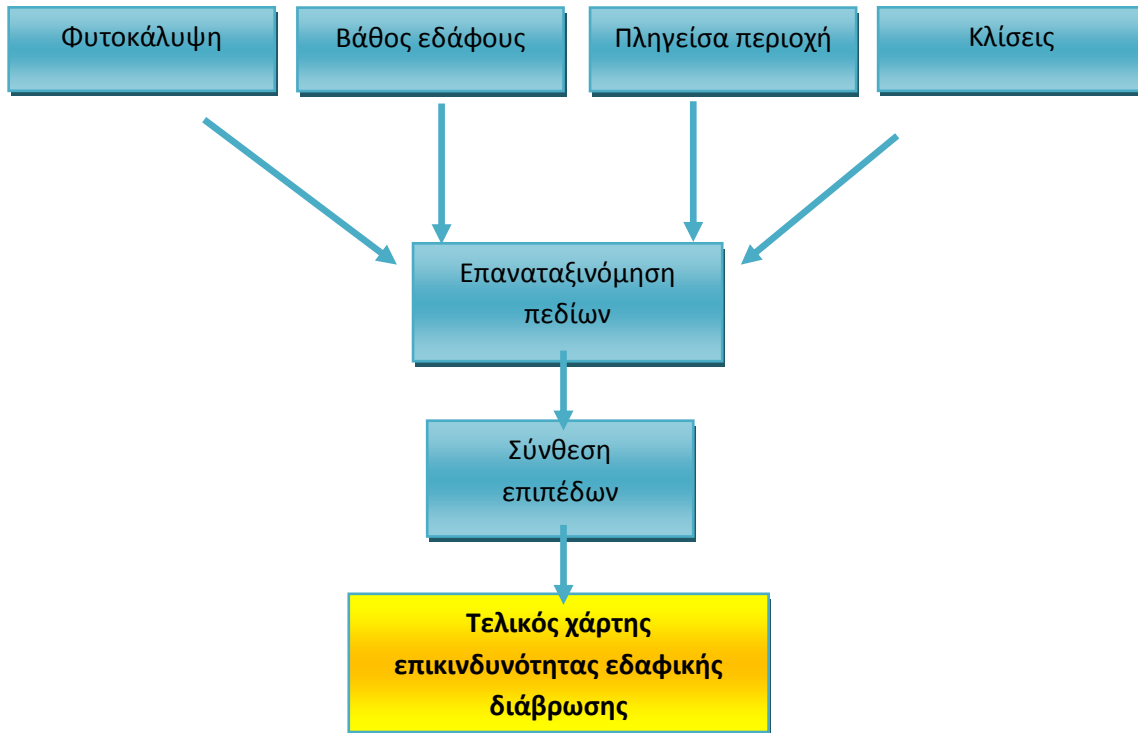


- Επεξεργασία χαρτών φυτοκάλυψης του ΕΘΙΑΓΕ (πρώην Δ/νση δασικού Κτηματολογίου- Δασολογίου χαρ/σης, απογραφής ταξινόμησης δασών και δασικών εκτάσεων, Υπουργείο Γεωργίας 1994)
- Ψηφιοποίηση υδρογραφικού δικτύου
- Χάραξη και ψηφιοποίηση του υδροκρίτη
- Ψηφιοποίηση γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικών επαφών
- Ψηφιοποίηση οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου
- Ψηφιοποίηση οικισμών
- Στην περίπτωση της λεκάνης έχοντας τις ισούψεις και τα τριγωνομετρικά σημεία κατασκευάστηκε το DEM, με το οποίο πραγματοποιήθηκε έλεγχος και διόρθωση στον ήδη ψηφιοποιημένο υδροκρίτη και το υδρογραφικό δίκτυο.
- Συλλογή δεδομένων χρήσεων γης (με βάση το CORINE 2000 από τα δημόσια ανοιχτά δεδομένα της www.geodata.gov.gr) και δημιουργία χάρτη χρήσεων γης
- Χρήση ψηφιοποιημένων χαρτών ορίων Δήμων και δεδομένων SEVESO
- Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της Ε.Μ.Υ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) του σταθμού «Μαραθώνα» για τη χρονική περίοδο 1986-1997 και των σταθμών που βρίσκονται στο Φράγμα και στη Ν.Μάκρη για τα έτη 2008 και 2011.

ΓΣΠ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Με την ανάθεση του θέματος της παρούσας διπλωματικής θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει μία πρώτη εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης της περιοχής μελέτης με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων ώστε να επιλεγθεί το κατάλληλο μοντέλο και να αξιολογηθούν τα τελικά συμπεράσματα από την εκάστοτε μέθοδο.

Για τον λόγο αυτό επιχειρήθηκε η κατασκευή ενός χάρτη επικινδυνότητας της διάβρωσης με βάση την εργασία των Fox et al. (2006) στη Μεσογειακή περιοχή της Γαλλίας. Τα στάδια της εκτίμησης έχουν ως εξής:

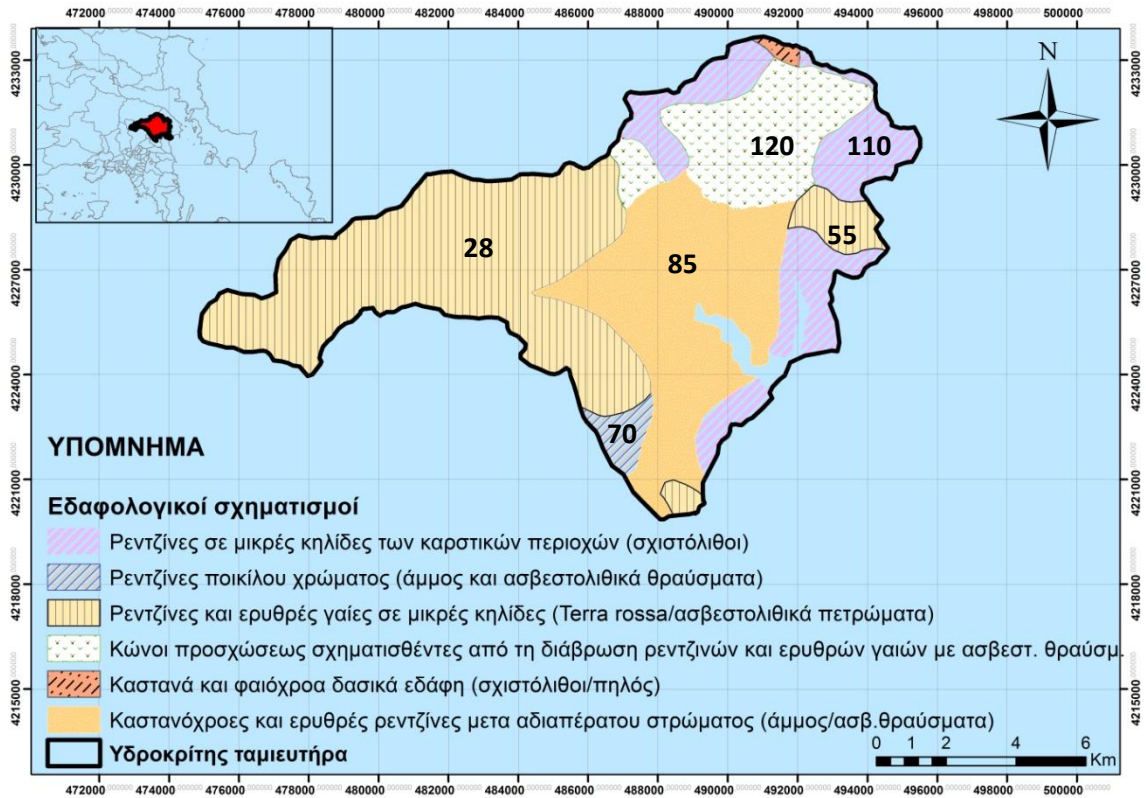


Αναλύοντας το παραπάνω σχεδιάγραμμα αναφέρεται ότι σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν ο χάρτης φυτοκάλυψης του ΕΘΙΑΓΕ, ο χάρτης κλίσεων που έχει προκύψει από το ArcGIS και ο εδαφολογικός χάρτης των Zvorykin and Saul (1948) από το ινστιτούτο Χημεία και Γεωργίας «Ν.Κανελλόπουλος». Αξίζει να τονισθεί η σημαντική συμβολή του Κ. Κοσμά, καθηγητή Εδαφολογίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ο οποίος γνωρίζοντας την περιοχή, συνέβαλε στην εκτίμηση του βάθους του ανώτερου εδαφικού ορίζοντα, διότι δεν διατίθενται εδαφικά δεδομένα σε κάποια από τις βάσεις δεδομένων που αναζητήθηκαν κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Τέλος, στους αρχικούς χάρτες χρησιμοποιήθηκε και ο χάρτης της πυρκαγιάς του 2009 (Inforest o.c). Στην εργασία της Γαλλίας χρησιμοποιείται η ένταση της πυρκαγιάς (burning severity), όμως στην παρούσα διπλωματική δε βρέθηκαν τέτοια δεδομένα, για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ο χάρτης της πληγείσας περιοχής στα αρχικά δεδομένα παρ'όλο που στο μοντέλο του Fox δεν λαμβανόταν υπόψη η πληγείσα περιοχή. Επομένως, ψηφιοποιήθηκε η καμένη περιοχή που αντιστοιχεί στην περιοχή μελέτης που προέκυψε από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και το δείκτη NDVI του προηγούμενου κεφαλαίου. Στην παραπάνω μεθοδολογία δε χρησιμοποιήθηκαν συντελεστές βαρύτητας στην υπέρθεση των χαρτών. Επομένως, ισχύει:

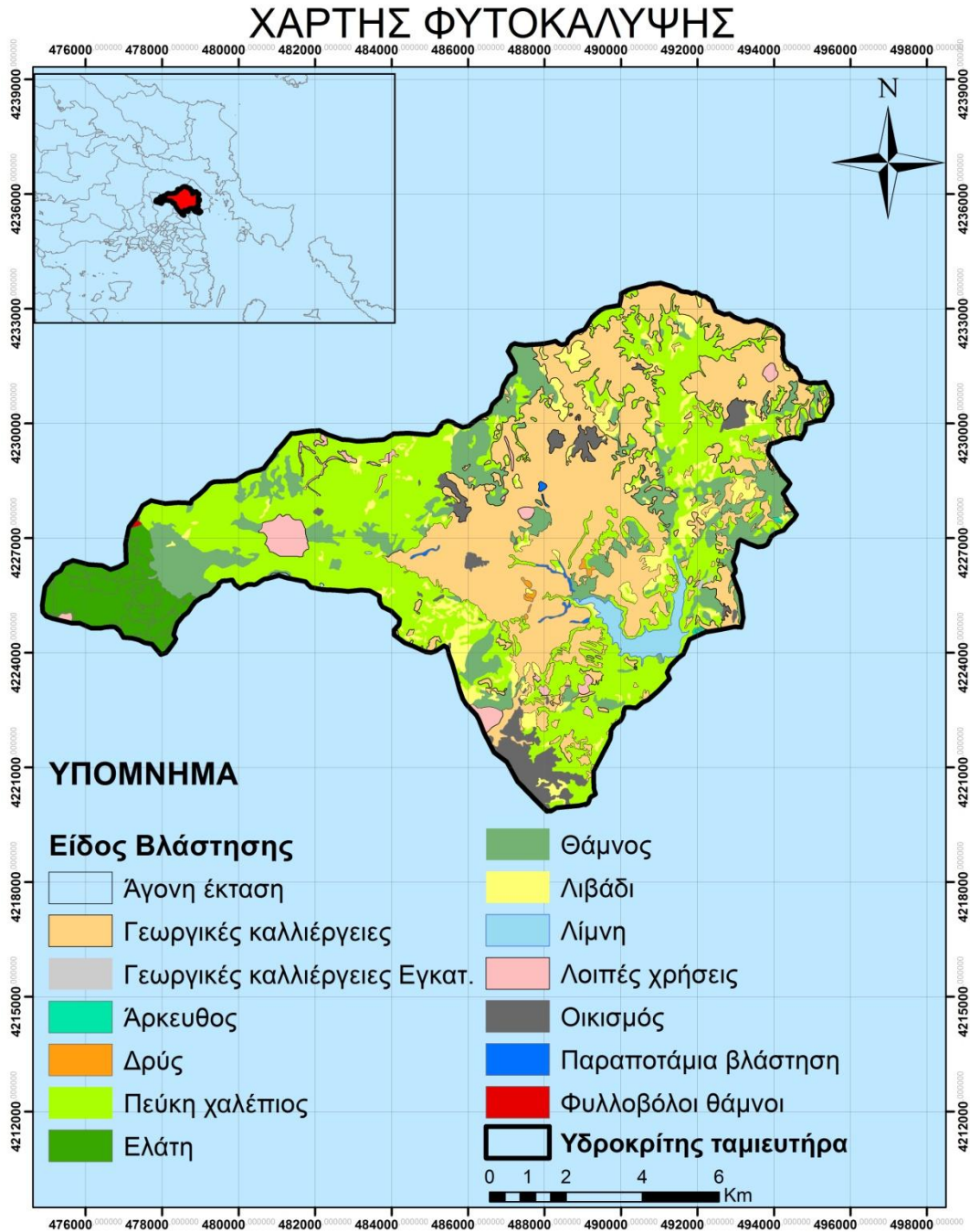


Εδαφική διάβρωση= Κλίσεις πρανών* Φυτοκάλυψη (μαζί με τη φυτοκάλυψη της πυρόπληκτης περιοχής)*Βάθος εδάφους.

ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ Λ.ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ



Σχήμα 27: Εδαφολογικός χάρτης λεκάνης απορροής Μαραθώνα (ψηφιοποιημένο απόσπασμα του εδαφολογικού χάρτη των Zvonkyin and Saul (1948). Οι τιμές πάνω στις εδαφολογικές μονάδες είναι η μέση τιμή του βάθους του εδαφικού ορίζοντα, μετρημένες σε cm.



Σχήμα 28: Χάρτης φυτοκάλυψης χωρίς να προσδιορίζεται λεπτομερώς στις περισσότερες περιπτώσεις το είδος βλάστησης (πηγή: ΕΘΙΑΓΕ, 1995)

Στη συνέχεια της εκτίμησης απαραίτητη ήταν η επαναταξινόμηση των χαρτών ώστε να προκύψουν οι τελικές κλάσεις επικινδυνότητας και ο τελικός χάρτης εκτίμησης της επικινδυνότητας της διάβρωσης με τη χρήση Γ.Σ.Π., ο οποίος αποτυπώνεται στο κεφάλαιο 6.



5 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με το νέο αυτοδιοικητικό Νόμο του 2011 εντάσσεται σε τέσσερις Καλλικρατικούς Δήμους, τον Δήμο Μαραθώνα, Διονύσου, Αχαρνών και Ωρωπού.

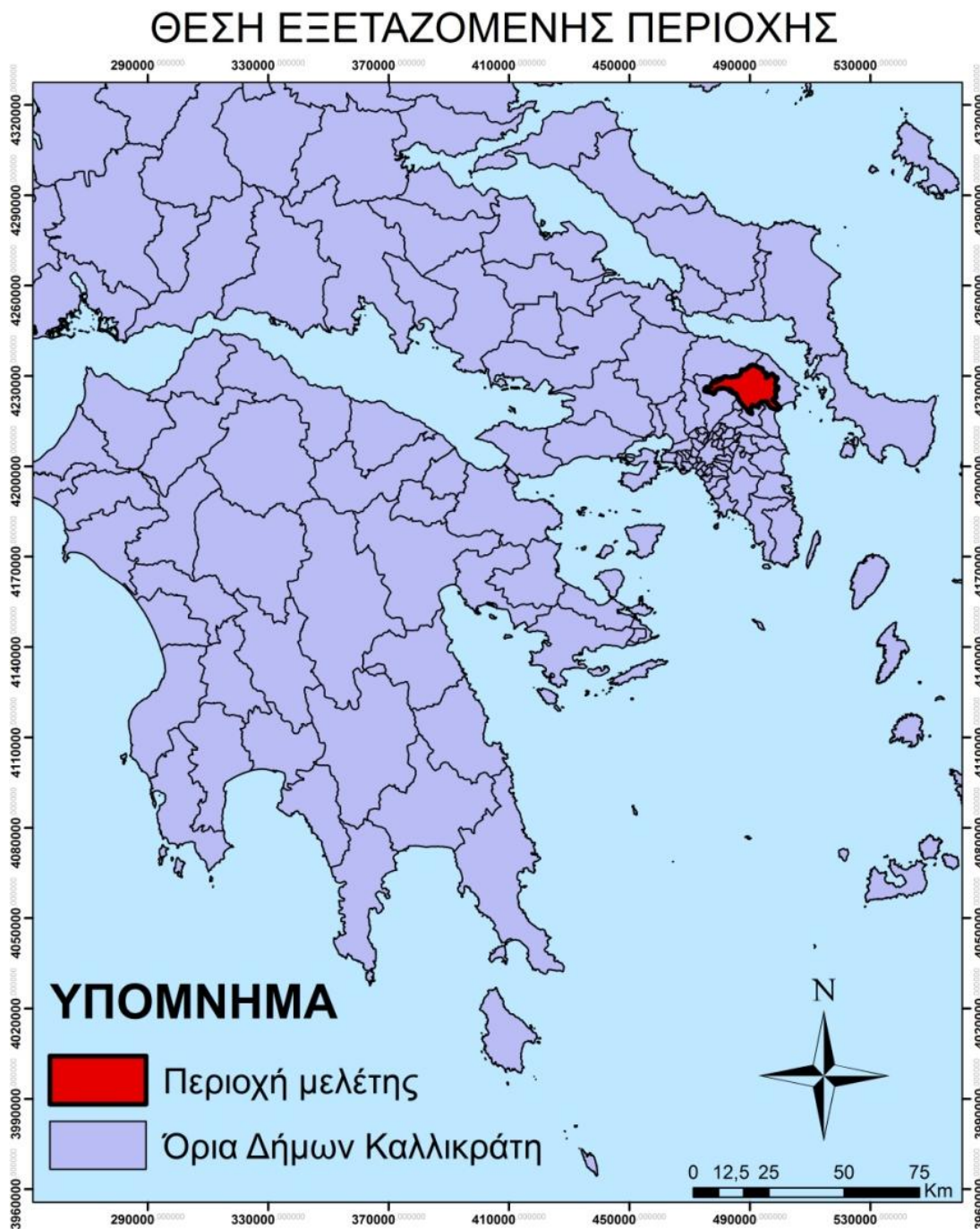
Από την 1η Ιανουαρίου 2011 οι Δήμοι Νέας Μάκρης και Μαραθώνα καθώς και οι Κοινότητες Γραμματικού και Βαρνάβα ενοποιήθηκαν σε ένα νέο Δήμο με το ιστορικό όνομα του Μαραθώνα. Έδρα του νέου Δήμου είναι ο Μαραθώνας. Ο νέος Δήμος Μαραθώνα, πέμπτος σε έκταση Δήμος της Αττικής και από τους μεγαλύτερους σε έκταση Δήμους στη χώρα, έχει συνολική έκταση 222.170 στρέμματα. Παρά την ταχεία διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών των γειτονικών του δήμων, ο Μαραθώνας διατηρεί ακόμα σε μεγάλο βαθμό την αρχική του μορφή (<http://www.dionysos.gr/>, 5/2/2013).

Ο Δήμος Διονύσου περιλαμβάνει τις Δημοτικές ενότητες Αγίου Στεφάνου, Άνοιξης, Διονύσου, Δροσιάς, Κρυονερίου, Ροδόπολης, Σταμάτας. Η έκταση του νέου δήμου είναι 68,66 km² (<http://www.dionysos.gr/>, 5/2/2013).

Ο Δήμος Ωρωπού ιδρύθηκε το 2010 με την συνένωση εννέα πρώην Δήμων και Κοινοτήτων. Υποδιαιρείται στις εξής Δημοτικές Ενότητες: Αυλώνας, Αφίδναι, Κάλαμος, Καπανδρίτι, Μαλακάσα, Μαρκόπουλο, Νέα Παλάτια, Πολυδένδρι, Συκάμινο, Σκάλα Ωρωπού, Ωρωπός (<http://oropos.gov.gr>, 5/2/2013).

Ο Δήμος Αχαρνών είναι δήμος της περιφέρειας Αττικής που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καλλικράτης. Προέκυψε από τη συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Αχαρνών και Θρακομακεδόνων. Περιλαμβάνει τις Αχαρνές, τους Θρακομακεδόνες και ένα μεγάλο τμήμα του ορεινού όγκου της Πάρνηθας. Έδρα του είναι οι Αχαρνές (<http://el.wikipedia.org>, 5/2/2013).

Αυτό που αξίζει να επισημανθεί είναι ότι η εξεταζόμενη λεκάνη ανήκει σε τέσσερις διαφορετικούς Δήμους, γεγονός που δυσχεραίνει τη διαχείριση των προβλημάτων που μπορεί να ανακύψουν σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επιπλέον αναφέρεται ότι στην περίπτωση αυτής της λεκάνης, η επιλογή των ορίων των Δήμων δεν ακολούθησε τα γεωμορφολογικά ή υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.



Σχήμα 29: Η εξεταζόμενη λεκάνη κατάκλισης ανήκει σε τέσσερις Καλλικρατικούς, του Ωρωπού, Μαραθώνα, Αχαρνών και Διονύσου



ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



Σχήμα 30: Στον παραπάνω χάρτη εντοπίζονται οι οικισμοί του Δ.Μαραθώνα με βάση τον τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ. (Φύλλο Κηφισιά 1988).



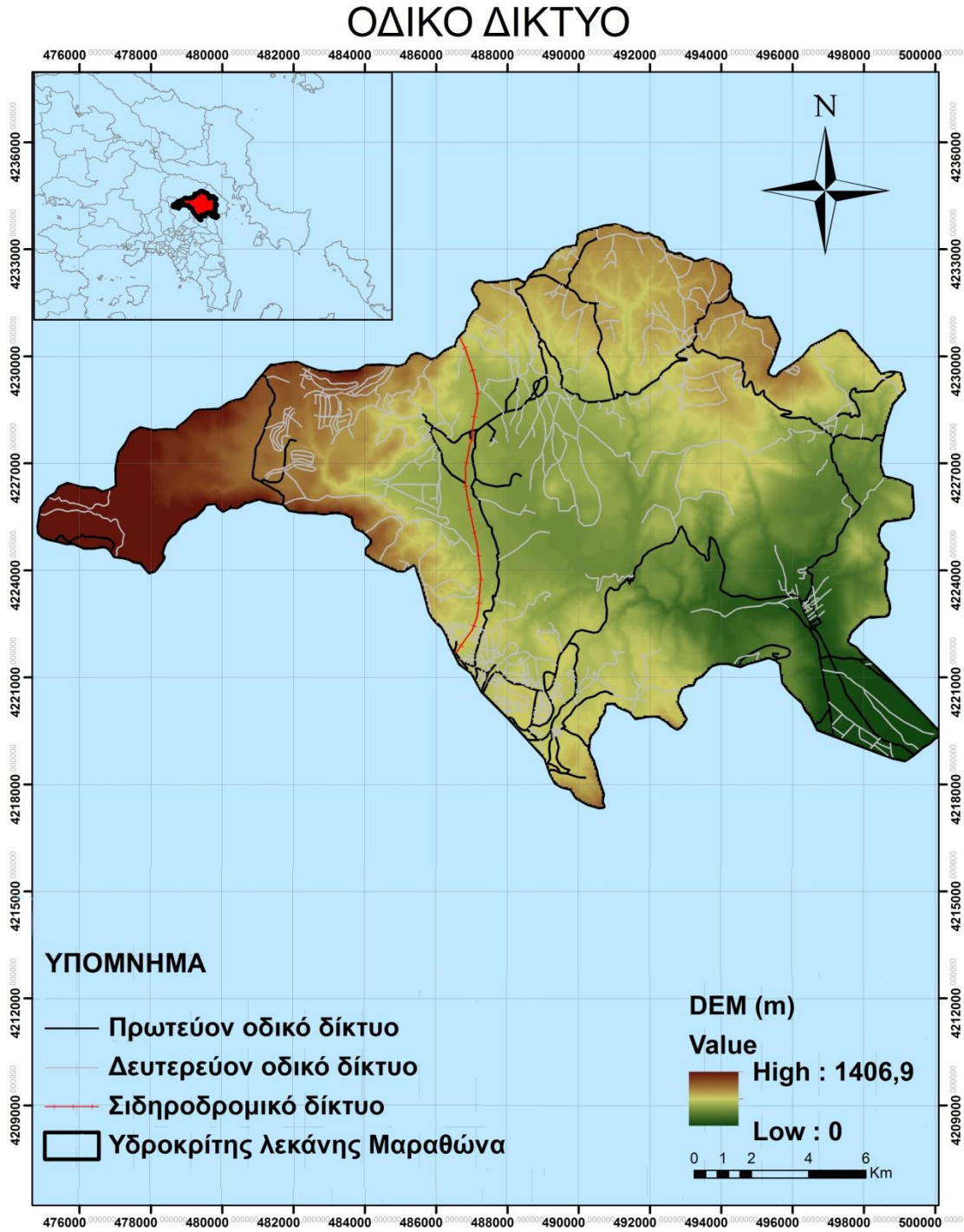
5.2 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το οδικό δίκτυο που διαμορφώνεται εντός των ορίων του Δήμου, χαρακτηρίζεται ως μέτριο σε ότι αφορά την πυκνότητά του. Εντός του αστικού ιστού, έχουμε έντονη ανάπτυξη του οδικού δικτύου με ασφαλτοστρωμένους δρόμους, ενώ στην περιφερειακή ζώνη, αναπτύσσονται δρόμοι χαλαρής επιφάνειας (τσιμεντένιοι) και χωματόδρομοι.

Ο Δήμος Μαραθώνα απέχει από την πρωτεύουσα 42 Km. Η πρόσβαση στο Δήμο γίνεται με τέσσερις βασικούς οδικούς άξονες:

1. Ο σημαντικότερος οδικός άξονας είναι η λεωφόρος Μαραθώνος, η οποία συνδέει το Δήμο Μαραθώνα άμεσα με την πρωτεύουσα μέσω των Δήμων Ν. Μάκρης και Ραφήνας.
2. Μια άλλη βασική συγκοινωνιακή αρτηριακή σύνδεση, με ιδιαίτερα όμως προβλήματα πλημμυρών, δυστυχημάτων κλπ αλλά με άμεση σύνδεση με την πρωτεύουσα, είναι η διαδρομή: Μαραθώνας - Ν. Μάκρη - Διόνυσος - Αθήνα.
3. Η τρίτη οδική αρτηρία, μέσω της οποίας οι κάτοικοι του Δήμου έχουν πρόσβαση στο εθνικό οδικό δίκτυο, είναι η διαδρομή: Μαραθώνος – Γραμματικού – Καπανδρίτι – Εθνικής οδού Αθηνών / Λαμίας.
4. Τέλος μια άλλη βασική οδική αρτηρία είναι η «Μαραθώνος – Καλεντζίου - Λίμνης – Εθνικής οδού Αθηνών / Λαμίας».

Μέσω του δευτερεύοντος οδικού δικτύου πραγματοποιείται η σύνδεση του με τους γειτονικούς δήμους. Ένας οδικός άξονας ξεκινάει από την πόλη του Μαραθώνα και έχει κατεύθυνση προς τα βορειοδυτικά, περνάει από τη λίμνη του Μαραθώνα, διέρχεται από τον Άγιο Στέφανο και την Άνοιξη και καταλήγει στην Εκάλη. Εντούτοις, το τοπικό οδικό δίκτυο παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις και προβλήματα. Καταρχάς υπάρχουν αρκετοί δρόμοι, οι οποίοι δεν έχουν ασφαλτοστρωθεί με αποτέλεσμα, το χειμώνα να δημιουργούνται προβλήματα από τις πλημμύρες (Ανθίμου και Μακαντάση 2010).



Σχήμα 31: Οδικό δίκτυο εξεταζόμενης περιοχής σύμφωνα με τον τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ. Τη λεκάνη του Μαραθώνα διαπερνά και το σιδηροδρομικό δίκτυο που ενώνει την Αθήνα με τη Χαλκίδα (Φύλλο Κηφισιά, Γ.Υ.Σ 1988).

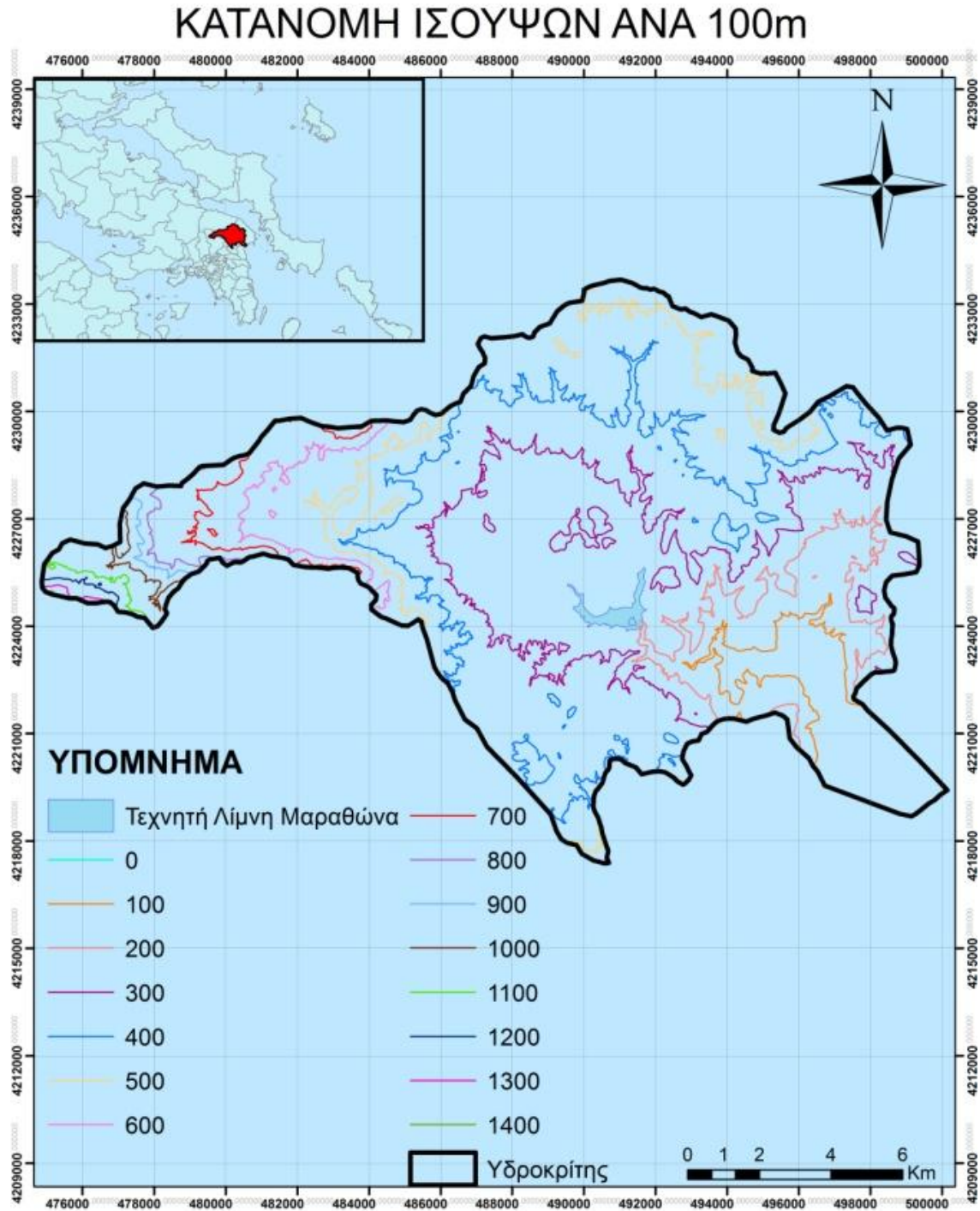


5.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της περιοχής είναι το αποτέλεσμα σύνθετων διεργασιών που λάμβαναν και λαμβάνουν χώρα μέσα στη διάρκεια της γεωλογικής περιόδου. Τέτοιες διεργασίες είναι η ενεργός τεκτονική και η συνδυασμένη δράση διάβρωσης και αποσάθρωσης σε συνδυασμό με τη λιθολογία των σχηματισμών. Οι τεκτονικές διεργασίες διαμορφώνουν διαχρονικά την τοπογραφία μιας περιοχής σχηματίζοντας χαρακτηριστικές γεωμορφές. Επομένως μελετώντας τις τεκτονικές γεωμορφές μιας περιοχής, καθίσταται δυνατή η μελέτη των διεργασιών που έχουν λάβει χώρα. Η σύνθετη αυτή δομή αποτυπώνεται και στο υδρογραφικό δίκτυο, που όπως είναι γνωστό διαμορφώνεται ανάλογα από τους παραπάνω παράγοντες. Για την ανάλυση της τοπογραφίας χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

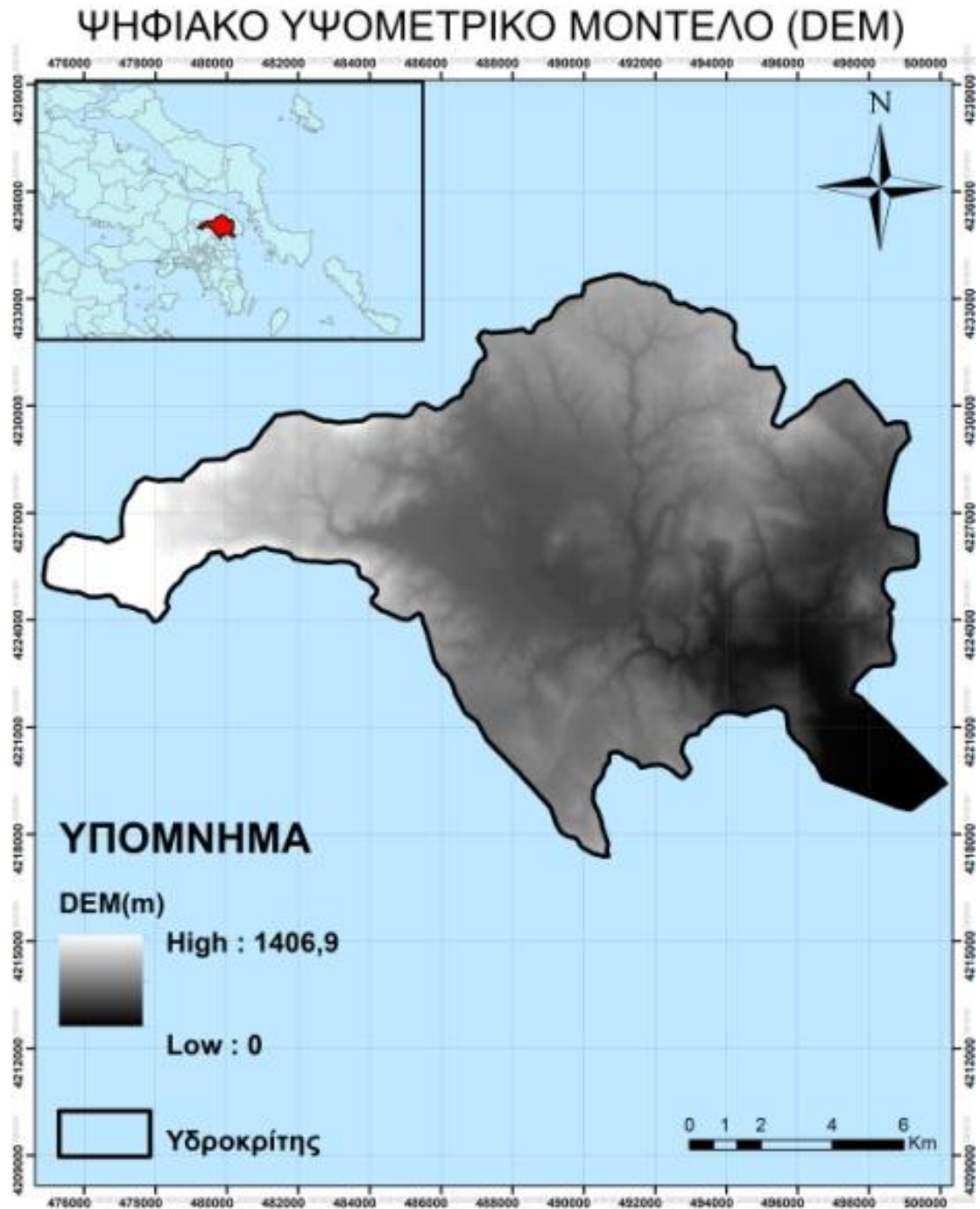
Παράλληλα στη γεωμορφολογική δομή έχουν δράσει καταλυτικά και ανθρωπογενείς διεργασίες με κυριότερη την κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα και τη δημιουργία της ομώνυμης λίμνης. Έχουν επηρεάσει επίσης, σε μικρότερο βέβαια βαθμό αλλά με σημαντικές μακροχρόνιες και αλόγιστες επιπτώσεις, ως προς την αλλαγή χρήσεων γης (π.χ. ανάπτυξη υποδομών και επέκταση αστικού ιστού), τις επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές και την αύξηση της εδαφικής διάβρωσης.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του ανάγλυφου παρουσιάζονται υπό μορφή χαρτών. Το περιβάλλον του ArcGIS v.10 παρέχει την δυνατότητα αναπαράστασης της επιφάνειας του εδάφους με καμπύλες (contours) που συνδέουν σημεία που έχουν την ίδια τιμή ενός μεγέθους, όπως το υψόμετρο και η κλίση. Στις περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ των καμπυλών, δηλαδή είναι αραιές, οι αλλαγές στις τιμές δεν είναι μεγάλες. Στις περιοχές όπου οι τιμές παρουσιάζουν πολύ έντονες αυξομειώσεις, οι καμπύλες αυτές είναι πιο πυκνές. Παρακολουθώντας τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι καμπύλες, μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν οι τοποθεσίες που έχουν τις ίδιες τιμές. Οι καμπύλες αυτές αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την αναπαράσταση επίπεδων και απότομων περιοχών. Για κάθε κελί (pixel), η συνάρτηση της κλίσης υπολογίζει τον μέγιστο ρυθμό αλλαγής ανάμεσα στο κελί αυτό και τα γειτονικά του. Σε κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί και μια τιμή κλίσης. Η κλίση μπορεί να υπολογιστεί με δύο τύπους μονάδων, βαθμοί (degrees) ή ποσοστό (percent).



Σχήμα 32: Χάρτης κατανομής των ισοΨών ανά 100 μέτρα εντός της λεκάνης του Μαραθώνα.

Τα μεγαλύτερα υψόμετρα συναντώνται δυτικά, στον ορεινό όγκο της Πάρνηθας.

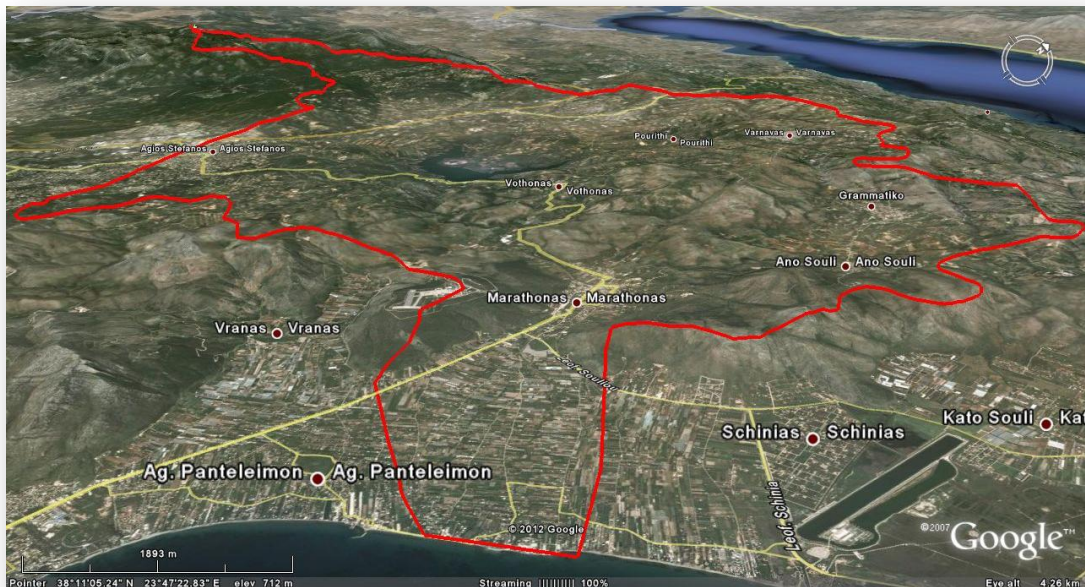


Σχήμα 33: Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα. Στην ουσία πρόκειται για διαφορετική απεικόνιση του προηγούμενου χάρτη εφόσον για την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιούνται οι ισοϋψείς ανα 20m.



Η γεωμορφολογική ανάλυση της λεκάνης δείχνει ένα έντονο ανάγλυφο με ποικίλο υψόμετρο από 0m έως 1407m. Η περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πεδινή έως λοφώδης κυρίως στο κεντρικό μέρος της λεκάνης και ημιορεινή έως ορεινή λόγω του ορεινού όγκου της Πάρνηθας (1413m) στο περιθώριο του υδροκρίτη. Το όρος της Πάρνηθας έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Νότια και βορειοδυτικά της Πάρνηθας εντοπίζεται το λεκανοπέδιο της Αττικής, γεγονός που δείχνει μεγάλη βύθιση σε σχέση με ΒΑ όπου βρίσκεται και η εξεταζόμενη λεκάνη απορροής, περιοχή στην οποία υφίσταται πιο έντονο ανάγλυφο.

Η ευρύτερη περιοχή, λόγω του ευδιάβρωτου χαρακτήρα των σχηματισμών, παρουσιάζει εντατικά φαινόμενα διάβρωσης, λασπορροές και μικρής κλίμακας μετακινήσεις εδαφών. Το φαινόμενα αυτά υποβοηθούνται από την απουσία βλάστησης και την κατά τόπους σημαντική μορφολογική κλίση με μέγιστες τιμές της τάξης του 40%. Φαινόμενα κατολισθήσεων σημαντικού εύρους λόγω της γεωλογικής δομής, κλίσης και υφής των σχηματισμών δεν παρατηρούνται και δεν αναμένονται (Μιγκίρος κ.α 2010).

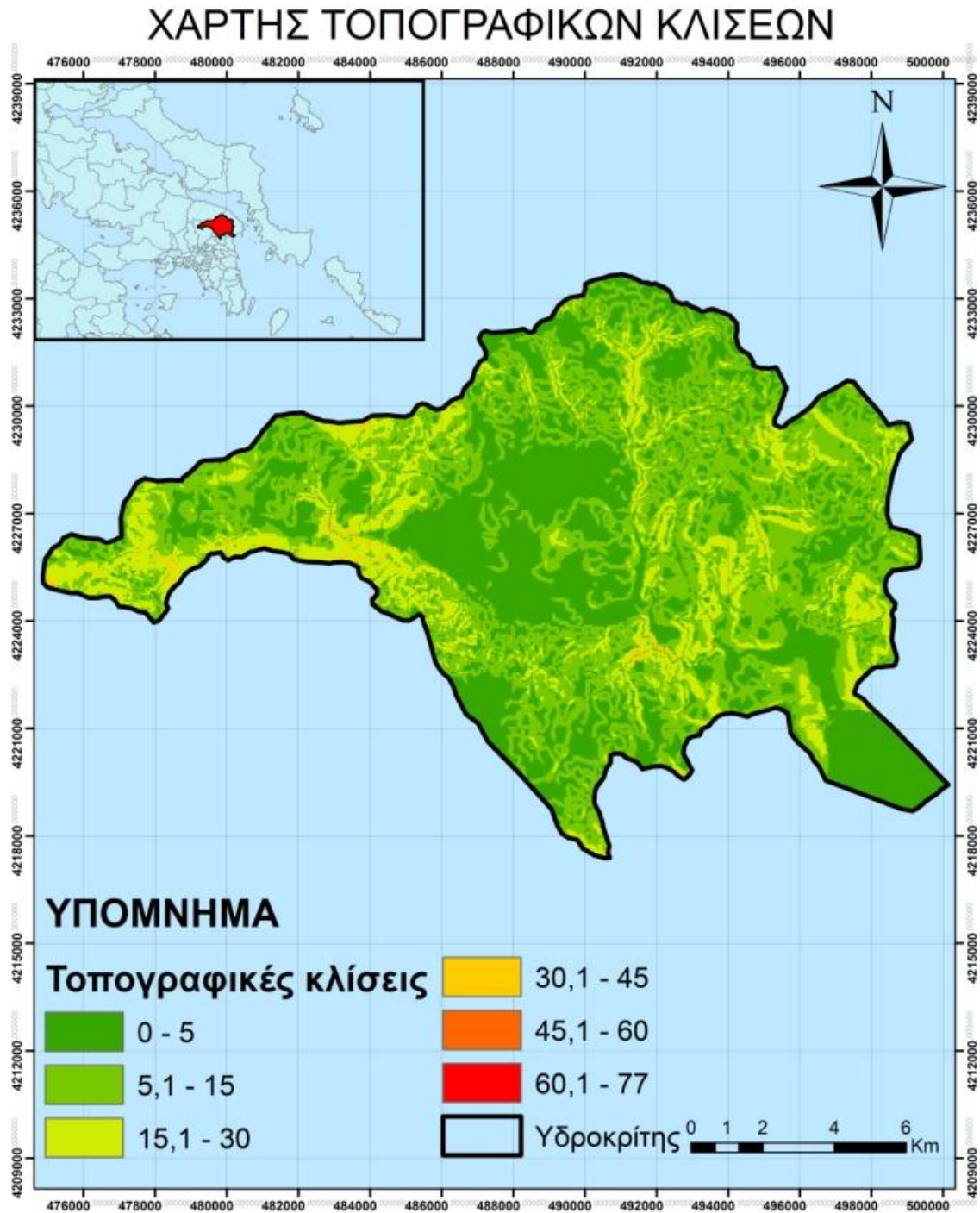


Σχήμα 34: Λεκάνη απορροής των ποταμών Οινόη και Βαρνάβα μετά την κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα το 1929 (δορυφορική εικόνα Google Earth).



Τα ρέματα της ευρύτερης περιοχής αποστραγγίζονται στη λίμνη του Μαραθώνα και έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τα υδρογραφικά δίκτυα του Χάραδρου και του Βαρνάβα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

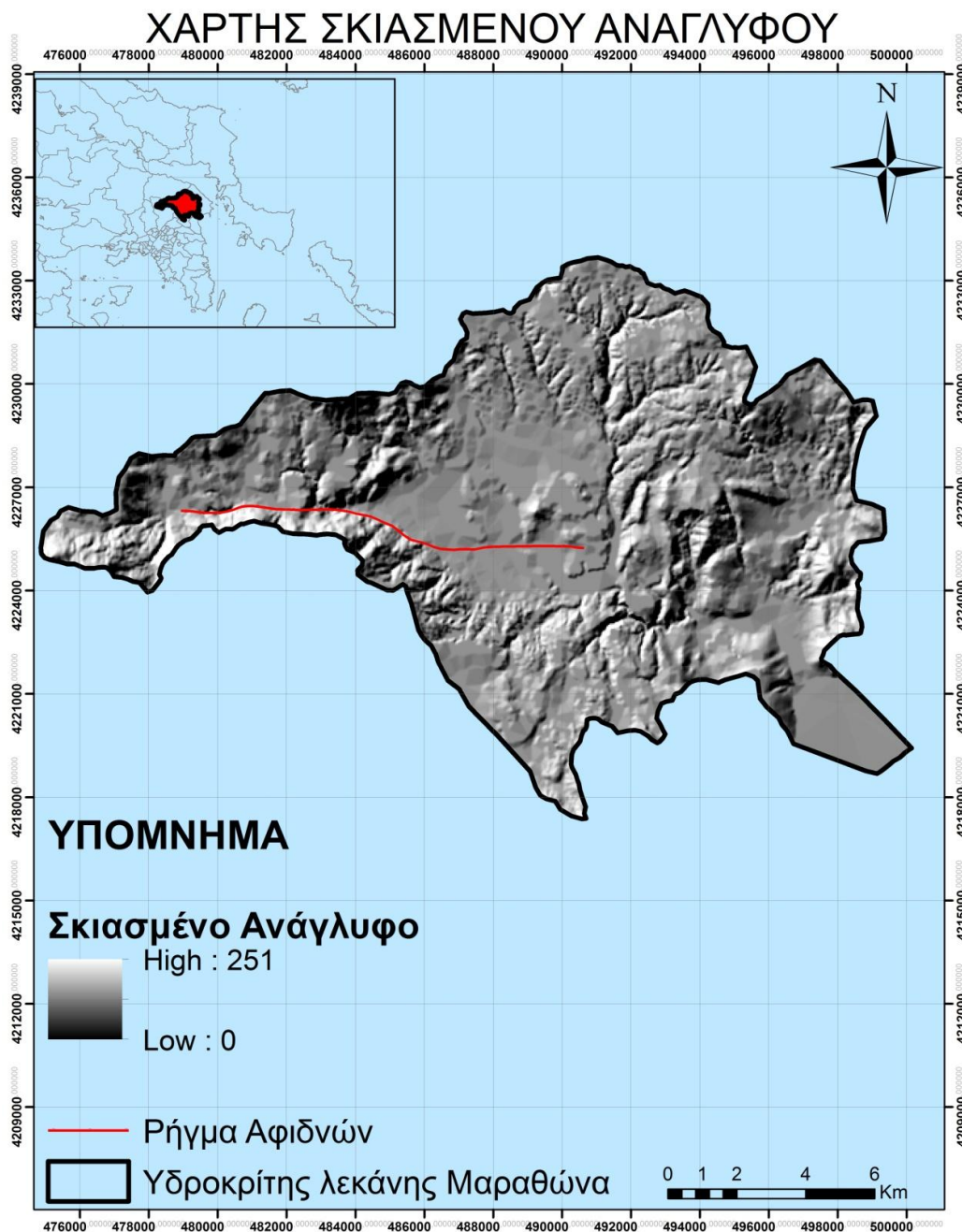
Οι μορφολογικές κλίσεις της λεκάνης απορροής κυμαίνονται από 0° έως 77° . Οι χαμηλότερες τοπογραφικές κλίσεις ($0^\circ - 6^\circ$) εντοπίζονται κυρίως στα κατάντη του ποταμού, στη λεκάνη κατάκλυσης και ΒΔ της λίμνης, αλλά και διάσπαρτες στην ευρύτερη περιοχή. Η μέση κλίση της λεκάνης είναι $8,4^\circ$ ενώ οι μεγαλύτερες κλίσεις εμφανίζονται στο δυτικό/βορειοδυτικό τμήμα, όπως καθίσταται προφανές εξαιτίας του ορεινού όγκου της Πάρνηθας. Στην περιοχή των Αφιδνών παρατηρείται σημαντική μείωση των κλίσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από αυτές τις περιοχές μέγιστων κλίσεων χαρακτηρίζονται από την παρουσία ρηξιγενών δομών.



Σχήμα 35: Χάρτης τοπογραφικών κλίσεων μετρημένων σε μοίρες. Γενικά δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές κλίσεων με εξαίρεση εντοπισμένες θέσεις στην Πάρνηθα και στο νοτιοανατολικό τμήμα του χάρτη.



Αναφέρεται ότι και στον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου εντοπίζονται περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο το οποίο καθιστά ιδιαίτερα εμφανή την παρουσία της τεκτονικής δράσης στην περιοχή. Το ρήγμα των Αφιδνών αποτελεί την ενεργή κυρίαρχη δομή στην περιοχή, η οποία ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να διαμορφώνει όλη τη λεκάνη του Χάραδρου ποταμού και επομένως την εξεταζόμενη λεκάνη.

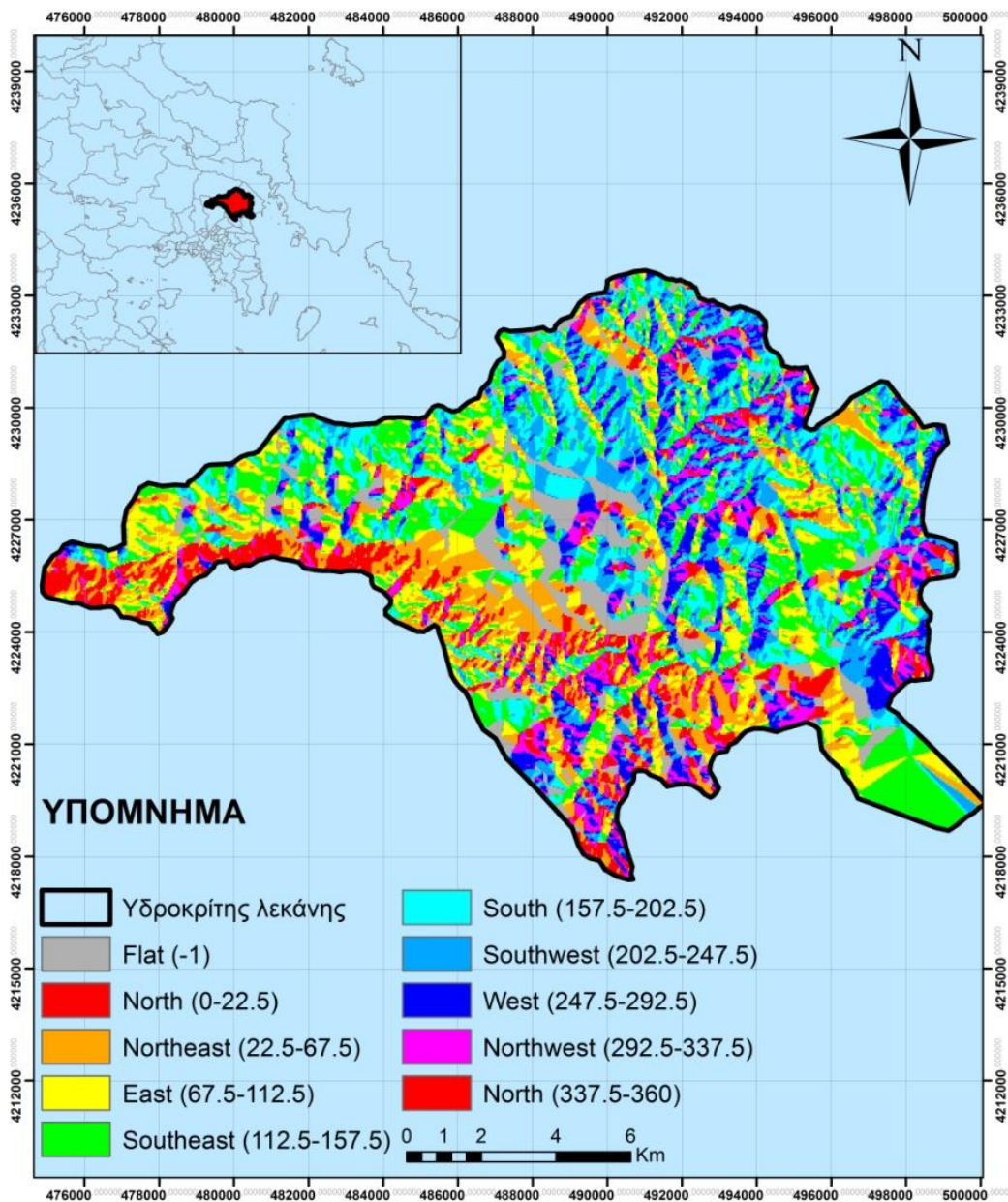


Σχήμα 36: Ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου προσδιορίζει και τονίζει περιοχές οι οποίες βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο της τεκτονικής (τεκτονική ζώνη Αφιδνών) και τη δράση του ποτάμιου συστήματος. Κατά θέσεις είναι εμφανής η έντονη κατά βάθος διάβρωση.



Ένας ακόμη σημαντικός φυσικογεωγραφικός παράγοντας που ελέγχεται από τις γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής και επηρεάζει άμεσα το ανάγλυφο και το μικροκλίμα της περιοχής είναι ο προσανατολισμός των πρανών. Ο παράγοντας αυτός σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, καθορίζει τη έκθεση των πρανών, και κατά επέκταση της βλάστησης, στον ήλιο, στους ανέμους, καθώς και στην υγρασία, οι οποίοι είναι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την εκδήλωση πυρκαγιάς.

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΑΝΩΝ



Σχήμα 37: Κατανομή προσανατολισμού κλίσεων στη λεκάνη απορροής του Μαραθώνα.



Συγκεκριμένα στο σύνολο του Δήμου το μεγαλύτερο ποσοστό των πρανών προσανατολίζεται προς τα Ν έως Δ. Αντιθέτως, στην καμένη έκταση του Δήμου, το μεγαλύτερο ποσοστό των πρανών προσανατολίζονται προς τα Β,ΒΑ και τα Δ. Το δεύτερο δικαιολογείται, καθώς τα ΒΑ πρανή «πάσχουν» από τους ισχυρούς ανέμους, ενώ τα Δυτικά, εκτίθενται στον Ήλιο τις κρίσιμες ώρες της δύσης του, όπου οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι οι μεγαλύτερες (Μιγκίρος κ.α.2010).



5.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης δομείται από αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς και αποθέσεις. Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής αναγνωρίστηκε τόσο από επιτόπιες παρατηρήσεις, όσο και από την υπάρχουσα βιβλιογραφία για την ευρύτερη περιοχή.

Το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η θέση της, κατά μήκος μίας πολύ σημαντικής εγκάρσιας τεκτονικής ζώνης του Ελληνικού τόξου, που διαχωρίζει μεταμορφωμένα πετρώματα προς τα νοτιοδυτικά (περιοχές Μαραθώνα – Πεντέλης) από αμεταμόρφωτα πετρώματα προς τα βορειοδυτικά (περιοχές Πάρνηθας) (Paranikolaou and Royden 2007).

Ο Μαραθώνας βρίσκεται στο ρηξιτέμαχος της ΒΑ Αττικής το οποίο οριοθετείται στα βόρεια από το ρήγμα του Ωρωπού και στα νότια από των Αφιδνών, περιστρεφόμενο προς τα ΝΔ (Paranikolaou and Paranikolaou 2007). Οι λεκάνες απορροής των υδρογραφικών δικτύων που απαντώνται στην περιοχή είναι έντονα ασύμμετρες λόγω των ενεργών ρηγμάτων με διευθύνσεις ροής των ρεμάτων παράλληλες ή εγκάρσιες προς τα ρήγματα αυτά. Στην περιοχή μελέτης μάλιστα εντοπίζεται ένα ρήγμα αποκόλλησης δυτικά της λίμνης του Μαραθώνα, το οποίο χωρίζει το ρηξιτέμαχος σε ανατολικό και δυτικό και αποτελεί στην ουσία το όριο των μεταμορφωμένων ενοτήτων (ανατολικά) και των αμεταμόρφωτων (δυτικά). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σημαντικό ρήγμα της περιοχής διότι επηρεάζει όχι μόνο τη γεωμετρία, το είδος και την ένταση της παραμόρφωσης αλλά και τη σεισμικότητα της περιοχής διότι συμπίπτει με το όριο της κατώτερης (I) και της ενδιάμεσης (II) σεισμικότητας με βάση τον ΕΑΚ 2003 (Paranikolaou and Paranikolaou 2007).

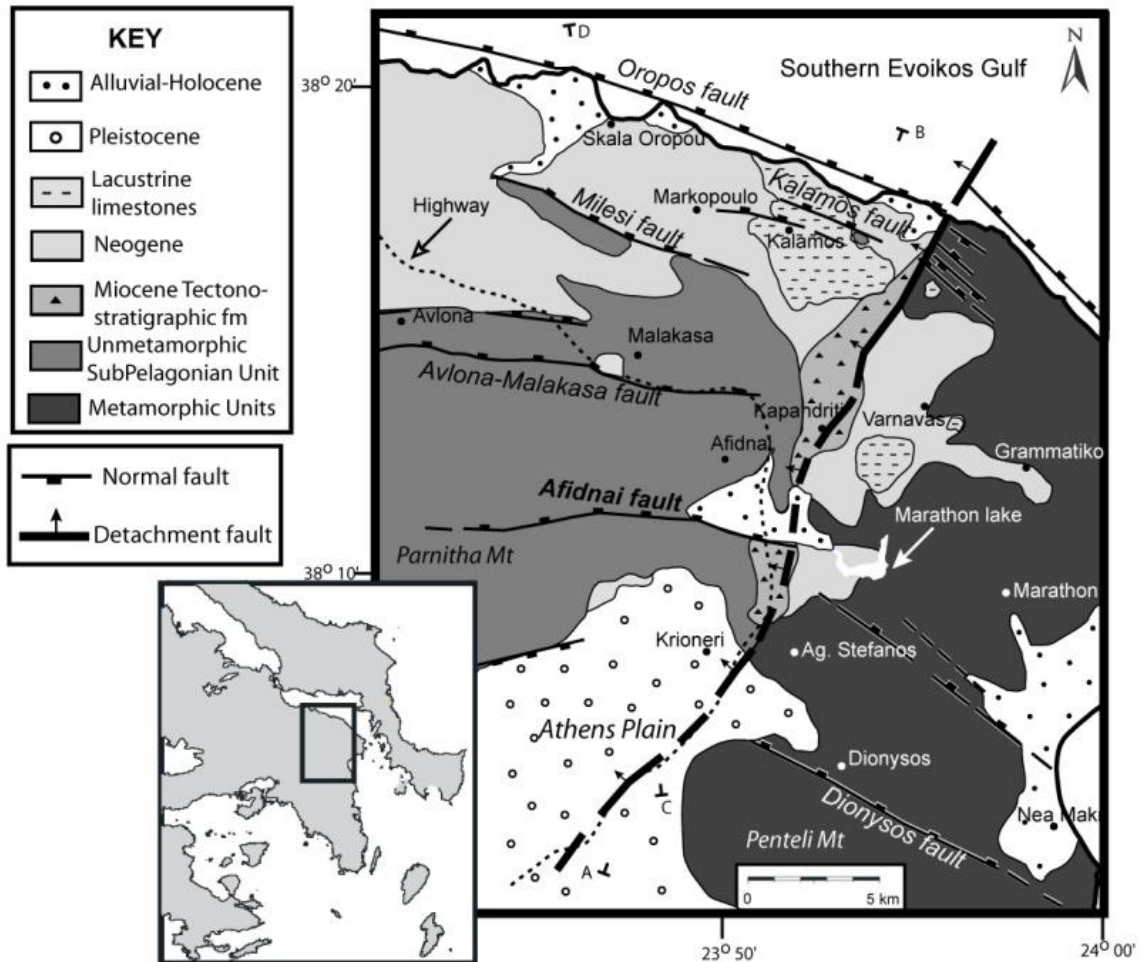
Το detachment περνά από το κάλυμμα της Οχθωνιάς στις ακτές του Αιγαίου πελάγους στη νότια Εύβοια, δια μέσου του Αλιβερίου και του Κάλαμου Αττικής και φτάνει στο Λεκανοπέδιο Αττικής με μια παράλληλη προς τον Κηφισό διεύθυνση (Paranikolaou et al. 1999). Το ρήγμα αποκόλλησης βυθίζει την αμεταμόρφωτη Υποπελαγονική στα ΒΒΔ και ανυψώνει την ενότητα Αλεποβουνίου και την αυτόχθονη ενότητα Αττικής στα ΝΝΑ (Paranikolaou et al. 2004).

Τα ενεργά ρήγματα δυτικά της λεκάνης έχουν διεύθυνση Α-Δ, ενώ στα νοτιοανατολικά έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τα ρήγματα αυτά καταβυθίζουν ολόκληρη την περιοχή κατά 2km. Οι αλπικοί σχηματισμοί που βρίσκονται στην κορυφή της



Πάρνηθας στα 1400m υψόμετρο, εντοπίζονται κατά μήκος της ακτής του Ωρωπού κάτω από την στάθμη της θάλασσας καλυμμένα από Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα.

Το ρήγμα των Αφιδνών ανήκει στην πρώτη κατηγορία και είναι ένα κανονικό ρήγμα χαμηλού ρυθμού ολίσθησης με μήκος 14km. Αυτήν η κατηγορία ρηγμάτων δίνει μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους σεισμούς (1938 Ωρωπός $M=6.0$, 1999 Αθήνα $M=5.9$ κτλ), ενώ τα ρήγματα που έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ είναι μικρότερα με μικρότερους ρυθμούς ολίσθησης και παράγουν μικρού έως μεσαίου μεγέθους σεισμικές δονήσεις (Papanikolaou and Lozios 1990). Το ρήγμα των Αφιδνών συνδέει τη νότια περιοχή της πεδιάδας των Αφιδνών με το βόρειο τμήμα του Αθηναϊκού λεκανοπεδίου (Papanikolaou and Papanikolaou 2007). Δεδομένου ότι μεταξύ αυτών των δύο λεκανών υπάρχει υψομετρική διαφορά 120m, υπολογίζεται ρυθμός ολίσθησης 0.08-0.12mm/yr στην άκρη του ρήγματος, επομένως φαίνεται να υποεκτιμάται. Η λεκάνη κατάκλισης του ταμειυτήρα του Μαραθώνα βρίσκεται στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος. Από το Μ. Πλειστόκαινο το λεκανοπέδιο δεν έχει διαφοροποιηθεί ιδιαίτερα. Μία μόνο σημαντική μεταβολή συνέβη κατά την περίοδο αυτή, η οποία οφείλεται είτε στην ενεργοποίηση του ρήγματος των Αφιδνών, είτε στην αύξηση της δραστηριότητας του. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στη διαμόρφωση του βόρειου τμήματος της λεκάνης απορροής του Κηφισού ποταμού, όπου τα περισσότερα ρέματα λόγω της κίνησης του ρήγματος και της αλλαγής της γενικής κλίσης ρέουν από την Πάρνηθα προς ΝΑ (Papanikolaou and Papanikolaou 2007). Οι επιφάνειες επιπέδωσης που παρατηρούνται νότια του Κρυονερίου σχηματίστηκαν λόγω της κίνησης του ρήγματος κατά το Μ. Πλειστόκαινο, όταν σταμάτησε να δρα το ρήγμα του Καματερού, το ρήγμα των Αφιδνών ενεργοποιήθηκε, ή η παραμόρφωση μετατέθηκε στο ρήγμα αυτό και αύξησε τον ρυθμό ολίσθησης του. Σε όλο το μήκος του ρήγματος δεν εντοπίζεται μετα-παγετώδης κρημνός, παρόλ'αυτά εντοπίζεται «εύκολα» λόγω της έντονης επίδρασης του στη γεωμορφολογία και στις λεκάνες απορροής της περιοχής (Papanikolaou and Papanikolaou 2007). Συγκεκριμένα, το υδρογραφικό δίκτυο του Χάραδρου ποταμού παραλληλίζεται με το ρήγμα. Χαρακτηριστική είναι και η μετάθεση του δικτύου προς τα νότια, όπου το δίκτυο απέχει μερικά εκατοντάδες μέτρα από τον υδροκρίτη του, συγκριτικά με το βόρειο τμήμα του υδροκρίτη του Χάραδρου, το οποίο απέχει αρκετά χιλιόμετρα από τον κύριο κλάδο του δικτύου.



Σχήμα 38: Πρόσφατος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Μαραθώνα από Paranikolaou and Paranikolaou (2007).

Οι αλπικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες που περιλαμβάνουν τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς στο ανατολικό τμήμα και τους μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης. Οι μεταμορφωμένες εμφανίσεις στον Μαραθώνα αποτελούνται κυρίως από μάρμαρα και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (Παπανικολάου 1988).

Ενότητα Μαυρηνόρας-Κατσιμιδίου. Στην περιοχή του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Φύλλο Κηφισιάς) η Πελαγονική ζώνη αντιπροσωπεύεται από δυο τεκτονικές ενότητες, αυτή της Σφενδάλης και αυτή της Μαυρηνόρας-Κατσιμιδίου. Η ενότητα της Σφενδάλης δεν εντοπίζεται εντός της λεκάνης του Οινόη ποταμού. Η ενότητα Κατσιμιδίου καταλαμβάνει μεγάλη έκταση και είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα Αφιδνών/Τουρκοβουνίου. Περιλαμβάνει φλύσχη Αν.Μαιστριχτίου-Παλαιόκαινου που αποτελείται από εναλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολιθών και ψαμμιτών,



μεσόκοκκων έως χονδρόκοκκων υποπράσινου χρώματος με παρεμβολές λατυποπαγών ασβεστολίθων. Υποκείμενο βρίσκεται ένα στρώμα ανωκρητιδικών νηρητικών ασβεστολίθων (Κενομάνιο-Μαιστρίχτιο) με πάχος από λίγα έως μερικές δεκάδες μέτρα. Δεν εμφανίζονται σε όλη την περιοχή λόγω της ανωκρητιδικής διάβρωσης που έχουν υποστεί πριν την απόθεση του φλύσχη. Το μέσο Τριαδικό-Κ.Ιουρασικό αντιπροσωπεύεται από τους νηρητικούς ασβεστόλιθους Μαυρηγόρας-Μπελετσίου οι οποίοι είναι ανοικτότεφροι/σκουρότεφροι και κατά θέσεις ροδόχρωμοι ή υποκίτρινοι λόγω αγγερίτιωσης, μέσο- έως παχυστρωματώδεις κατά θέσεις άστρωτοι, ωλιθικοί και έντονα καρστικοποιημένοι. Εντοπίζονται με παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστολίθων. Κατώτερος σχηματισμός αυτής της ενότητας είναι μια σειρά εναλλασσόμενων αργιλοσαμμιτικών πετρωμάτων με ενδιαστρώσεις ασβεστολίθων με ηλικία Λιθανθρακοφόρο-Μ.Τριαδικό. Αποτελείται από δύο τμήματα. Το Ανώτερο Κάτω-Μ. Τριαδικής ηλικίας αποτελείται από εναλλασσόμενα αργιλοσαμμιτικά πετρώματα (σερικιτικοί ψαμμίτες, γραουβάκες, φυλλίτες, κροκαλοπαγή), βασικά ηφαιστειακά από υποθαλάσσιες εκχύσεις μάγματος που έλαβαν χώρα κατά το Λαδίνιο και ενδιαστρώσεις ασβεστολίθων με μικρό βαθμό μεταμόρφωσης. Το κατώτερο τμήμα αποτελείται από εναλλασσόμενους αργιλικούς, χλωριτικούς και αρκοζικούς σχιστολίθους υποπράσινου χρώματος, φυλλίτες, ψαμμίτες και γραουβάκες με παρεμβολές κροκαλολατυποπαγών.

Μεταξύ της Πελαγονικής ενότητας και της αυτόχθονης ενότητας της Αττικής-Αλμυροπόταμου βρίσκονται δύο ενότητες, η ενότητα των Αφιδνών-Τουρκοβουνίων και του Νεοελληνικού Τεκτονικού καλύμματος. Οι σχηματισμοί των Αφιδνών είναι αμεταμόρφωτοι και έχουν περιγραφεί από τον Κτενά (1930) στην ονομασθείσα από αυτόν «Ζώνη Βερόρο-Σπάτι». Αργότερα ο Κατσικάτσος (1977) διέσπασε την ενότητα αυτή στην ενότητα Κοκκινόβραχου (υπερκείμενη) και στην ενότητα Κοτρώνι, οι οποίες βρίσκονται σε τεκτονική επαφή μεταξύ τους. Η ενότητα Κοκκινόβραχου αποτελεί την ενότητα Αφιδνών και η ενότητα Κοτρώνι αντιστοιχεί στο Ν.Τεκτονικό Κάλυμμα.

Η ενότητα των Αφιδνών-Τουρκοβουνίων εντοπίζεται ανατολικά των Αφιδνών. Πρόκειται για μια μη μεταμορφωμένη ενότητα και αποτελείται από σχηματισμούς φλυσχικού τύπου με εναλλασσόμενα στρώματα σερικιτικών ψαμμιτικών αργιλικών σχιστολίθων και ψηφιδοπαγών με ενδιαστρώσεις ψαμμύχων ή κρυσταλλικών ή και



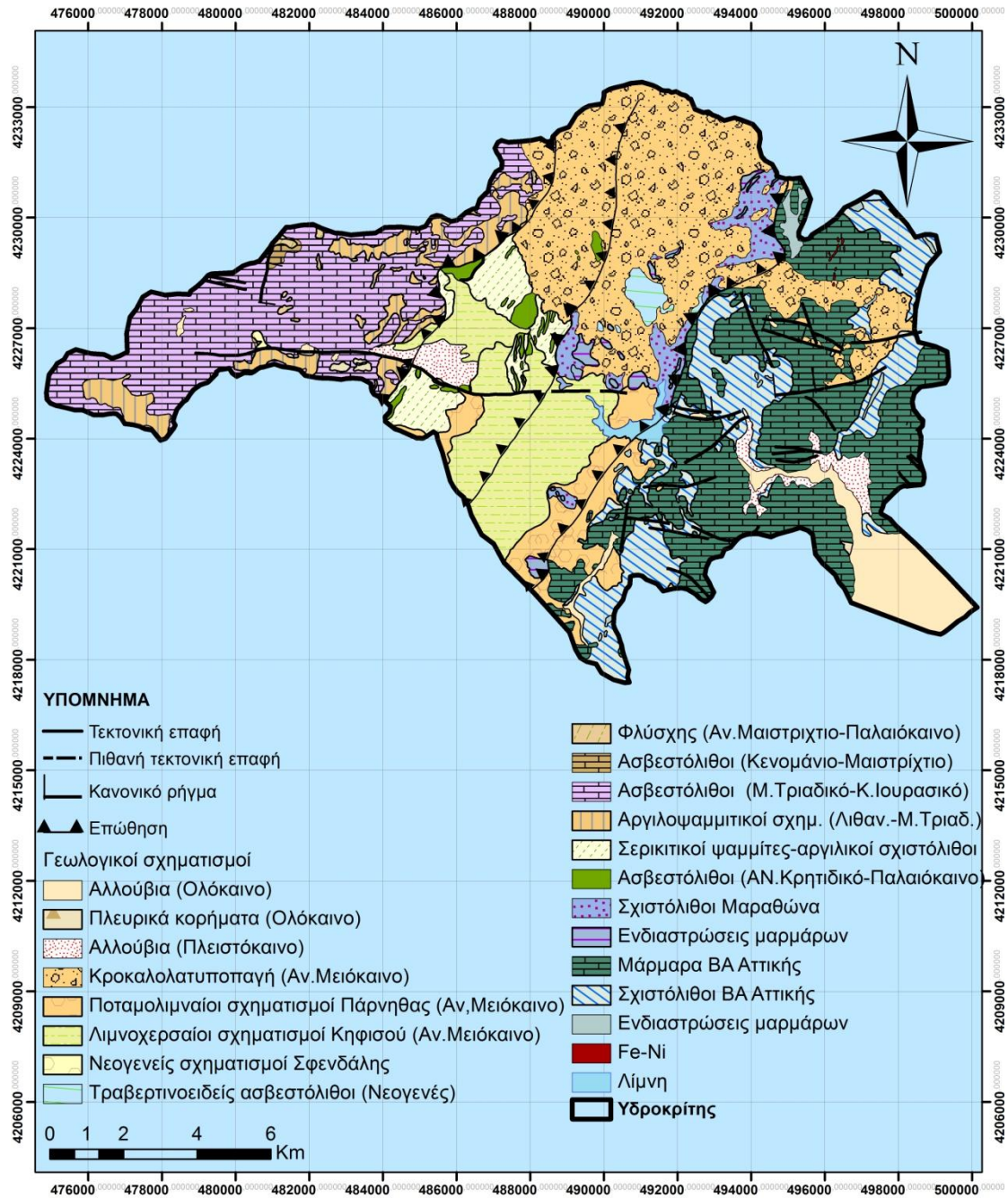
μικριτικών ασβεστολίθων. Έχουν ποικίλο πάχος στρωμάτων Ανω Κρητιδικής-Παλαιοκαινικής ηλικίας.

Η ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος απαντάται στις περιοχές Βαρνάβα- Λ. Μαραθώνα σε μικρές εμφανίσεις διότι ο κύριος όγκος τους καλύπτεται από μεταλλικά ιζήματα. Οι σχηματισμοί αυτοί στην περιοχή μελέτης συνίστανται από εναλλασσόμενους γλαυκοφανιτικούς,μοσχοβιτικούς, ασβεστιτικούς, επιδοτικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους με ενδαστρώσεις και φακούς μαρμάρων ποικίλου χρώματος, λεπτο- έως παχυστρωματώδων με κονδύλους πυριτολίθων που κατά θέσεις μεταπίπτουν σε σιπολινομάρμαρα. Κατά θέσεις επίσης εμφανίζονται σχιστοποιημένα βασικά ηφαιστειακά και μικροί όγκοι σερπεντινιτών.

Ενότητα Αλμυροπόταμου-Αττικής. Υποκείμενη αυτόχθονη ενότητα είναι αυτή του Αλμυροπόταμου-Αττικής που εμφανίζεται στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων με μορφή τεκτονικών παραθύρων η οποία ανήκει στην πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου_τρίπολης. Αποτελείται από μεσοζωικά έως μεσσηωκαινικά μάρμαρα μεγάλου πάχους και σχηματισμούς μεταφλύσχη καθώς και από μεταμορφωμένους κάτω-μέσοτριάδικούς (ίσως και νεοπαλαιοζωικούς) σχηματισμούς υποβάθρου. Στην εξεταζόμενη λεκάνη απαντώνται τα μάρμαρα ΒΑ Αττικής με κοιτάσματα σιδηρομεταλλεύματος καθώς και τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς ΒΑ Αττικής με ενδαστρώσεις μαρμάρων και σερπεντινιτών.



ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ



Σχήμα 39: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα, κατασκευασμένος μέσω του προγράμματος ArcGIS v.10 με βάση το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Φύλλα Κηφισιάς 2002 και Αθήνας-Ελευσίνας 2000)



Φλύσης

(Αν.Μαιστρίτιο-Παλαιόκαινο)

Ασβεστόλιθοι

(Κενομάνιο-Μαιστρίτιο)

Ασβεστόλιθοι

(Μ.Τριαδικό-Κ.Ιουρασικό)

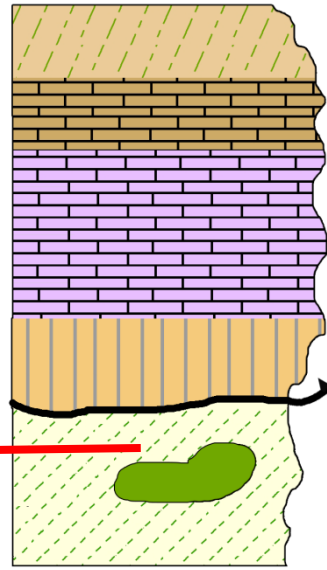
Αργιλοψαμμιτικοί σχημ.

(Λιθανθρακ.-Μ.Τριαδικό)

Σερ.Ψαμμίτες/Αργ.Σχιστολιθοι

Ασβεστόλιθοι

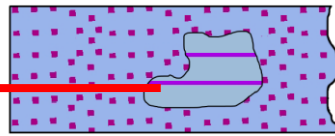
(Αν.Κρητιδικό-Παλαιόκαινο)



ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΥΡΗΝΟΡΑΣ-ΚΑΤΣΙΜΙΔΙΟΥ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΦΙΔΝΩΝ-ΤΟΥΡΚΟΒΟΥΝΙΩΝ

Σχιστόλιθοι Μαραθώνα
Μάρμαρα



ΤΕΚΤΟΝΟΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ ΚΑΛΥΜΜΑ

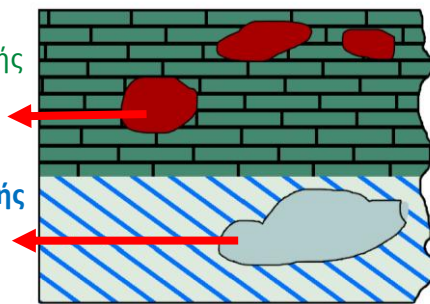
Βασικό όριο μεταμορφωμένων/μη μεταμορφωμένων ενοτήτων

Μάρμαρα ΒΑ Αττικής

Fe-Ni

Σχιστόλιθοι ΒΑ Αττικής

Μάρμαρα



ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

Σχήμα 40: Στρωματογραφικές στήλες των ενοτήτων και των σχηματισμών που εντοπίζονται στην εξεταζόμενη περιοχή.



Μεταλλικοί σχηματισμοί

Στους μεταλλικούς σχηματισμούς που καλύπτουν την περιοχή διακρίνονται με ηλικία απόθεσης το Ολόκαινο, οι προσχωματικές αποθέσεις (al) που εντοπίζονται σε ποταμοκοιλιάδες, αποτελούνται από χαλαρά καστανόχρωμα αργιλοαμμώδη με διάσπαρτες κροκαλολατύπες και κατά θέσεις παρεμβάλλονται χαλαρά κροκαλολατυποπαγή. Επίσης εντοπίζονται υλικά χειμάρριων αναβαθμίδων μικρού πάχους, ασύνδετα υλικά όπως άμμοι και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων και παράκτιοι σχηματισμοί με άμμους και κροκάλες και συνεκτικούς ψαμμίτες (beach rocks). Επίσης εντοπίζονται πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων με ασύνδετα αδρομερή υλικά.

Το Πλειστόκαινο αντιπροσωπεύεται από τις λεπτομερείς προσχωματικές αποθέσεις καστανέρυθρου χρώματος με κροκαλολατύπες και κροκαλολατυποπαγή καθώς και κώνους κορημάτων και χειμάρριων αναβαθμίδων ύψους έως 10m.

Στο Νεογενές χαρακτηριστικοί σχηματισμοί αποτελούν τα κροκαλολατυποπαγή του Καπανδριτίου. Πρόκειται για κροκαλολατυποπαγή ποταμολιμναίας φάσης που συνιστούν τη βάση των Νεογενών σχηματισμών της περιοχής του Ωρωπού. Είναι άστρωτοι σχηματισμοί με κροκαλολατύπες μεγέθους από λίγα cm έως 20cm. Συχνά εντοπίζονται παρεμβολές πηλών και άμμων. Κατά θέσεις παρατηρούνται Στρώματα Μαργαϊκών- Τραβερτινοειδών Ασβεστολίθων. Υποκείμενο στρώμα είναι αυτό των Αδρομερών ποταμολιμναίων σχηματισμών των παρυφών της Πάρνηθας και του Πεντελικού όρους (Msc,l,m). Ο σχηματισμός αυτός περιλαμβάνει παλαιούς σχηματισμούς δέλτα, ριπιδίων και κώνων κορημάτων, κροκαλολατυποπαγείς σχηματισμοί στις γειτνιάζουσες περιοχές με τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού, εναλλάσσονται με λεπτομερέστερους σχηματισμούς κατά θέσεις μακριά όμως από τα όρη αυτά. Και σε αυτούς τους σχηματισμούς παρεμβάλλονται Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι. Οι λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί του Κηφισού είναι υποκείμενοι των παραπάνω σχηματισμών και χαρακτηρίζονται από καστανέρυθρου χρώματος λεπτομερείς πηλούς αργίλους και αργιλοαμμούχα υλικά με διάσπαρτες κροκάλες και κροκαλοπαγή. Τέλος εντοπίζονται οι νεογενείς σχηματισμοί Σφενδάλης οι οποίοι αποτελούν μικρό τμήμα της μανωμειοκαινικής λιμναίας λεκάνης των Θηβών-Τανάγρας-Ωρωπού. Διακρίνονται από εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, μαργών και ερυθρών πηλών (Msc,st,l).



5.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την ευρύτερη περιοχή, λόγω των λιθοστρωματογραφικών, ιζηματογενών, τεκτονικών, νεοτεκτονικών και παλαιογεωγραφικών τους χαρακτήρων, παρουσιάζουν πολύπλοκη υδρογεωλογική συμπεριφορά με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υδροφόρες ενότητες διαφορετικών χαρακτηριστικών με υδροφόρα συστήματα, κυρίως μέτριας έως μικρής δυναμικότητας και με διάφορα υδρολογικά και υδροχημικά χαρακτηριστικά. Κοινά χαρακτηριστικά σχεδόν όλων των υδροφόρων συστημάτων είναι η υδραυλική τους συνέχεια προς τη θάλασσα, η απουσία φαινομένων αρτεσιανού και η υποβαθμισμένη ποιότητα των υπογείων νερών, είτε λόγω υπεραντλήσεων ή τεκτονικών και παλαιογεωγραφικών αιτιών στην παράκτια κυρίως ζώνη είτε λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην ενδοχώρα. Η περιοχή μελέτης συνίσταται κυρίως από μάρμαρα, σχιστόλιθους (μοσχοβιτικούς – χλωριτικούς – ασβεστιτικούς) και μεταλλικά ιζήματα (Μιγκίρος κ.α. 2010).

Τα μάρμαρα ανάλογα με την λιθοστρωματογραφική τους θέση διακρίνονται σε συμπαγή μάρμαρα και δολομίτες, μεσοστρωματώδη έως άστρωτα, τεκτονισμένα και καρστικά, υπεκείμενα των σχιστολιθικών σχηματισμών, με πάχος που φθάνει και τα 500 μέτρα και φακοειδή μάρμαρα, λεπτοστρωματώδη, έντονα τεκτονισμένα, σε μορφή ασυνεχών ενστρώσεων εντός των σχιστολίθων και μικρού κυμαινόμενου πάχους (από λίγα εκατοστά μέχρι και μερικές δεκάδες μέτρα) εξαιτίας της έντονης παραμόρφωσης του συνόλου του σχηματισμού που τα φιλοξενεί.

Οι σχιστόλιθοι ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε συμπαγή βραχομάζα (κυρίως οι χαλαζιακοί, οι γνευσιοσχιστόλιθοι και οι πρασινίτες) σε ποσοστό περίπου 10% και σε μαλακά πετρώματα (μαρμαρυγιακοί, ανθρακικοί κλπ. τύποι σχιστόλιθων).

Οι κλαστικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη στρωματογραφική και πλευρική ανομοιογένεια σύστασης (αργιλική, ασβεστιτική, πυριτική), κοκομετρίας (άργιλος, άμμος, χάλικες, κροκάλες) και συνεκτικότητας (χαλαρά, ημισυνεκτικά, συνεκτικά) (Μιγκίρος κα 2010).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι αποθέσεις που συνθέτουν την περιοχή μελέτης, με βάση την υδροπερατότητά τους διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες :

**A) Υδροπερατοί σχηματισμοί** ($K=10^{-1}$ ως 10^{-3} m/sec)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μάρμαρα τα οποία διερρηγμένα και καρστικοποιημένα, χαρακτηρίζονται ως οι πλέον υδατοπερατοί σχηματισμοί. Το ποσοστό κατείσδυσης γενικά στα πετρώματα αυτά μπορεί να φθάσει και το 50% των κατακρημνισμάτων.

B) Ημιπερατοί σχηματισμοί ($K=10^{-4}$ ως 10^{-6} m/sec)

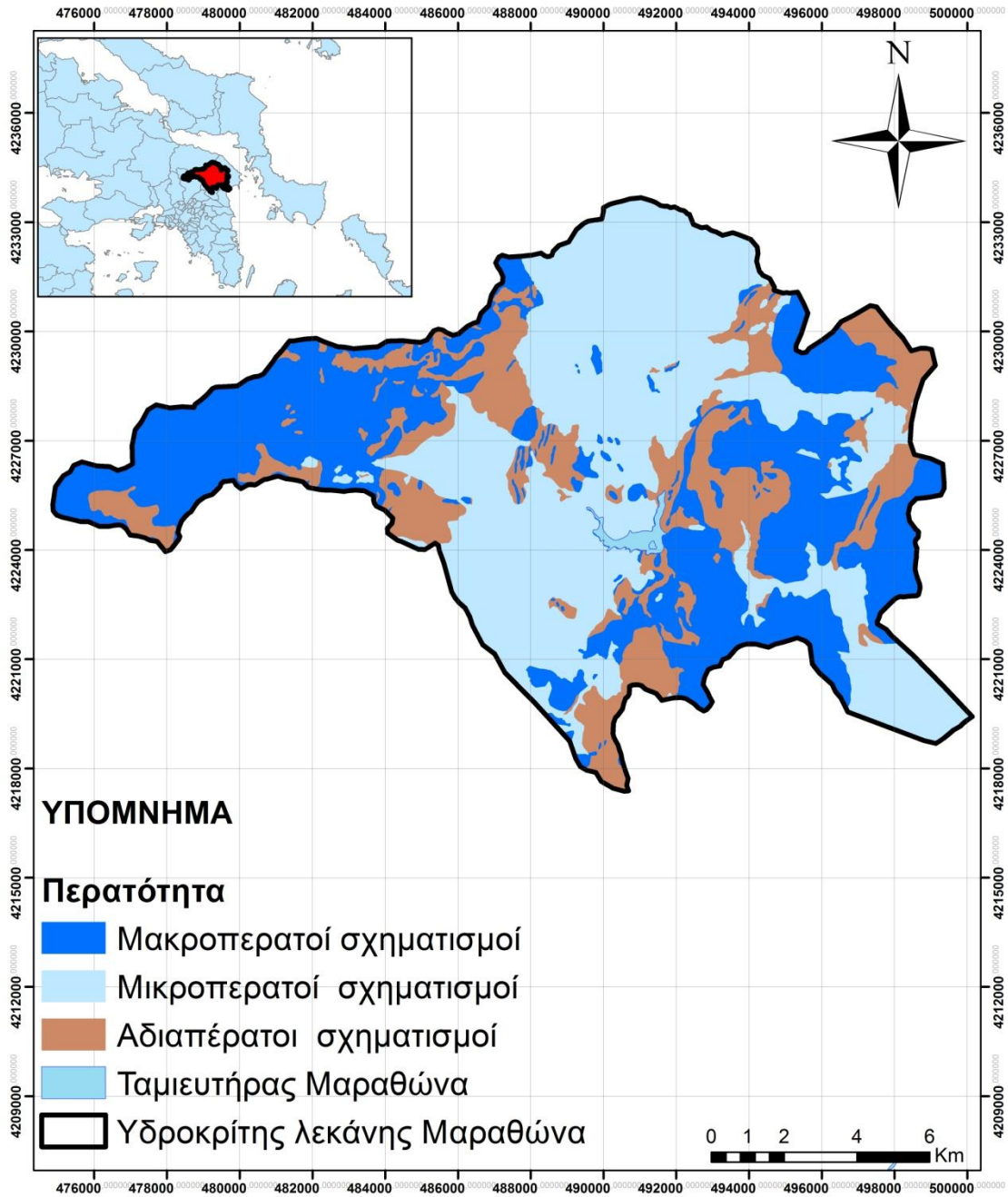
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι διερρηγμένες σχιστολιθικές μάζες (χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι και πρασινίτες), οι ανθρακικές ενστρώσεις ή και φακοί εντός των σχιστόλιθων και οι κλαστικοί, χαλαροί έως και συνεκτικοί, νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί. Οι νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί, ανάλογα με τη σύσταση, την κοκκομετρία και την ομοιογένειά τους (στρωματογραφική και πλευρική), παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση της περατότητας (από περατοί έως και αδιαπέρατοι). Εξαιτίας αυτού συχνά δημιουργούν υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης υδροφορίας. Το ποσοστό κατείσδυσης που παρατηρείται στους σχηματισμούς αυτούς δεν ξεπερνά το 25% των κατακρημνισμάτων κάτω από κανονικές συνθήκες (Μιγκίρος κα 2010).

Γ) Αδιαπέρατοι σχηματισμοί ($K=10^{-6}$ ως 10^{-8} m/sec)

Στην κατηγορία αυτή γενικά ανήκουν όλοι οι σχιστόλιθοι. Οι σχηματισμοί αυτοί θεωρούνται ως υδατοστεγείς σχηματισμοί, με περατότητα μικρότερη του 5%.



ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ Λ.ΜΑΡΑΘΩΝΑ



Σχήμα 41: Χάρτης περατότητας κατασκευασμένος με βάση τις φυσικές ιδιότητες των σχηματισμών και επομένως, την δυνατότητα κατείσδυσης του νερού.



5.6 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ

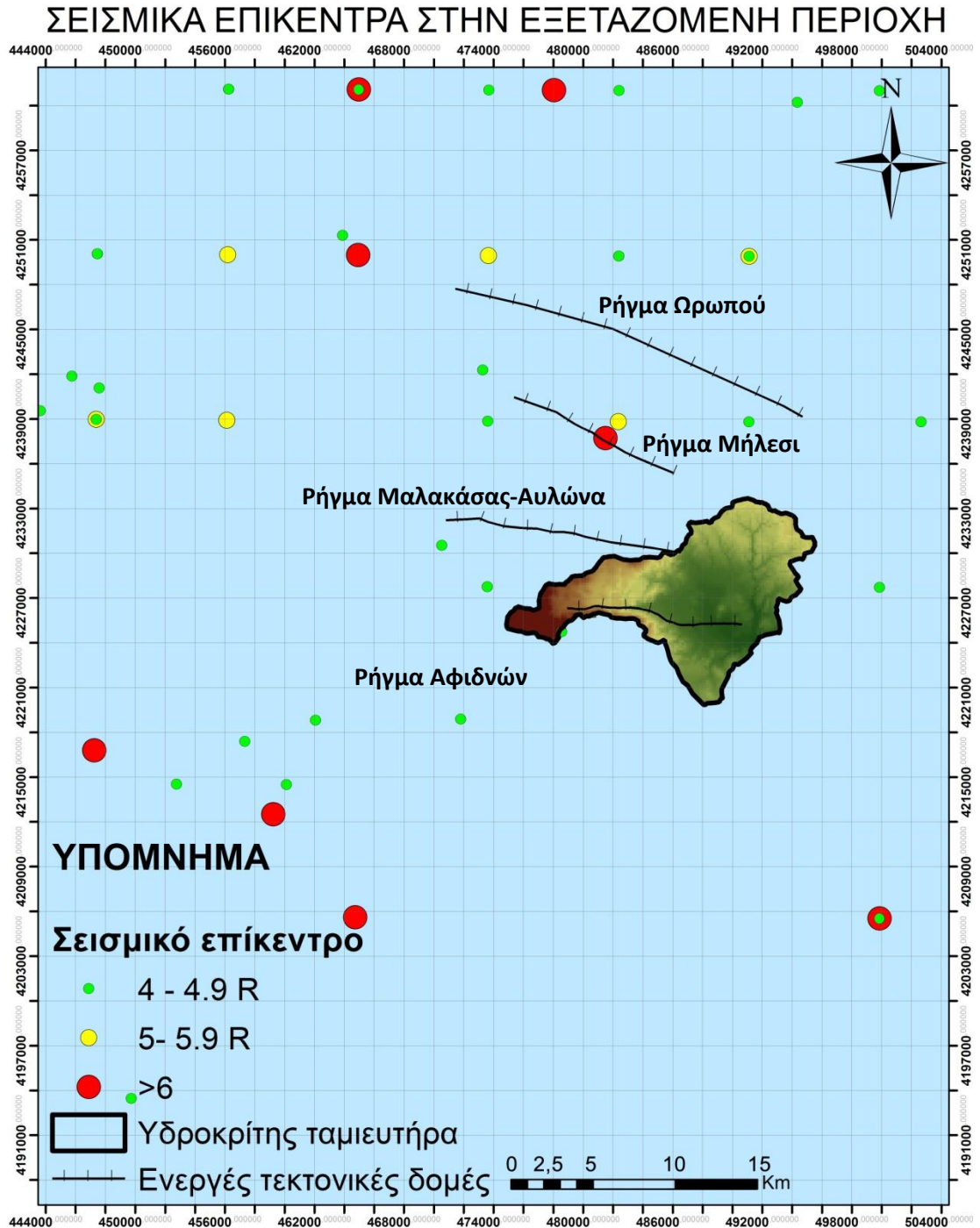
Η περιοχή χαρακτηρίζεται από σημαντικές τεκτονικές δομές και έντονη τεκτονική παραμόρφωση. Παρόλ' αυτά δεν εντοπίζονται σεισμικά επίκεντρα μέσα στην περιοχή μελέτης. Μόνο δύο ισχυρά σεισμικά γεγονότα έχουν καταγραφεί (Parazachos and Parazachou 1997), αυτό του Ωρωπού το 1938 ($M_s=6.0$) και το 1705 ($M \sim 6.4$) τα οποία φαίνεται να συνδέονται με το ρήγμα του Ωρωπού (ο σεισμός του 1938 ίσως συνδέεται με το μικρότερα ρήγμα του Μήλεσι). Οι ενεργές τεκτονικές δομές της περιοχής είναι το ρήγμα των Αφιδνών και του Ωρωπού. Μία μόνο περιοχή έχει δώσει σεισμό 4,8 της κλίμακας Richter το έτος 1999 στο δυτικό τμήμα της λεκάνης στα όρια του υδροκρίτη, στην περιοχή της Πάρνηθας και φαίνεται να συνδέεται με το σεισμό που έπληξε την Αθήνα τον Σεπτέμβριο του 1999. Άλλη μια περιοχή βρίσκεται ανατολικά του υδροκρίτη του Οινόη που πλήγηκε από σεισμό 4,9R το έτος 1939. Ωστόσο, οι ιστορικές βάσεις δεδομένων των επικέντρων όσον αφορά τις θέσεις των επικέντρων δε θεωρούνται αξιόπιστες παρά ενδεικτικές και μόνο τα ρήγματα και οι μετρήσεις του μήκους τους και του ρυθμού ολίσθησης τους (υπολογισμένου στο κέντρο του ρήματος) εξάγουν ασφαλή αποτελέσματα σεισμικού κινδύνου (Cowie and Roberts 2001, Papanikolaou and Roberts 2006). Εξαιτίας του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης λεκάνης βρίσκεται στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήματος των Αφιδνών, η ανάλυση του σεισμικού κινδύνου της περιοχής βασίζεται στα χαρακτηριστικά αυτής της τεκτονικής δομής. Το ρήγμα των Αφιδνών χαρακτηρίζεται από ρυθμό ολίσθησης 0.15-0.20mm/yr. Σε ένα ακραίο σεισμικό σενάριο συσχετίζοντας το μήκος του ρήματος με το μέγεθος της κλίμακας Richter (Wells and Coppersmith 1994) θεωρείται ότι μια σεισμική δόνηση μεγέθους 6.4R είναι πιθανή με περίοδο επαναληψιμότητας 2000 χρόνων (Papanikolaou and Papanikolaou 2007).

Ο Carder το 1945 παρουσίασε για πρώτη φορά την επίδραση της στάθμης ενός τεχνητού ταμιευτήρα στη σεισμική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής. Ο ερευνητής εντόπισε τη συσχέτιση αυτή στην Αριζόνα των ΗΠΑ αφού έπειτα από μακρά ασεισμική περίοδο, το 1936 άρχισε μια σημαντική σεισμική ακολουθία μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα του φράγματος Boulder. Με συνεχή ενόργανη παρακολούθηση από το 1940 μέχρι το 1944 αποδείχτηκε ότι με την εποχιακή αύξηση της στάθμης της λίμνης και επομένως τη μέγιστη φόρτιση της περιοχής αυξανόταν και η συχνότητα των αισθητών και αναγραφόμενων σεισμικών δονήσεων. Αυτό



φαίνεται να συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι με την κατασκευή ενός ταμιευτήρα διαταράσσεται η ισορροπία στην περιοχή με αποτέλεσμα την επίσπευση του χρόνου έκλυσης της αποθηκευμένης κατά θέσης ελαστικής ενέργειας.

Ένα αντίστοιχο παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός του 1966 στην περιοχή της Ευρυτανίας μεγέθους $M \sim 6$ Richter, περιοχή στην οποία δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες παλαιότερες σεισμικές δονήσεις αυτού του μεγέθους. Η σεισμική δραστηριότητα η οποία παρακίνησε το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών να μελετήσει περεταίρω την περιοχή, ξεκίνησε μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα στις 21/06/1965 με τελικό αποτέλεσμα τον σεισμό του '66 (Γαλανόπουλος 1967). Το γεγονός αυτό φαίνεται να οφείλεται στον υπερφορτωμένο όγκο του ταμιευτήρα. Στην περίπτωση της λίμνης του Μαραθώνα δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση των σεισμικών γεγονότων με την πλήρωση του ταμιευτήρα (1929). Δεν υφίσταται άλλωστε συσχέτιση των δύο ταμιευτήρων εφόσον ο όγκος του ταμιευτήρας των κρεμαστών είναι 4495hm^3 , ενώ του Μαραθώνα 41hm^3 .



Σχήμα 42: Κατανομή επικέντρων με βάση το αρχείο σεισμικών επικέντρων 550π.Χ.-2010 των Parazachos et al. (2000 και 2010). Στο χάρτη επισημειώνονται οι βασικές ενεργές τεκτονικές δομές της περιοχής.

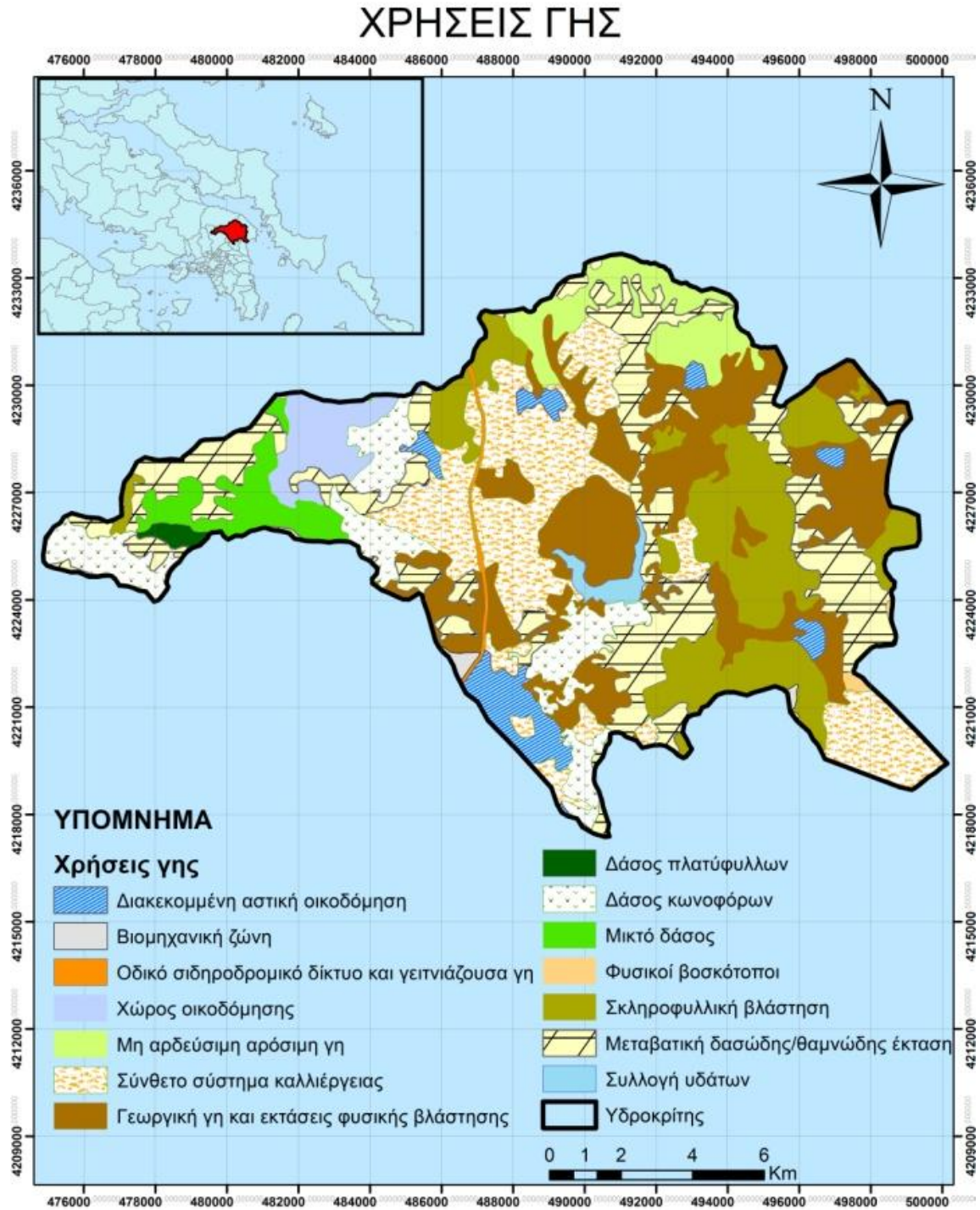


5.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Στην περιοχή που εξετάζεται παρατηρείται έντονη γεωργική δραστηριότητα. Μεγάλες εκτάσεις καλύπτονται από μη αρδευσιμη-αρόσιμη γη που περιλαμβάνει δημητριακά, όσπρια, καλλιέργειες ζωοτροφών, βολβόφυτα, ανθοκομικές καλλιέργειες-δενδροκαλλιέργειες, όπως φυτώρια και οπωρώνες, οπωροκηπευτικά. Επίσης περιλαμβάνουν καλλιέργειες αρωματικών/φαρμακευτικών και μαγειρικών φυτών, καθώς και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Λόγω του έντονου ανάγλυφου και των ορεινών όγκων που εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό τμήμα της λεκάνης, υφίστανται δάση πλατύφυλλων, κωνοφόρων, μικτά δάση καθώς και μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις. Η σκληροφυλλική βλάστηση εντοπίζεται κυρίως στο ανατολικό τμήμα και περιλαμβάνει θαμνώδη βλάστηση με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη μακκία και τα φρύγανα. Μέσα στην εξεταζόμενη λεκάνη υπάρχουν χώροι αστικής οικοδόμησης ενώ ΒΔ εντοπίζεται μια έκταση που αποτελεί χώρο υποοικοδομική ανάπτυξη και περιλαμβάνει εκσκαφές εδάφους ή υποβάθρου και χωματουργικά έργα. Οι περισσότεροι οικισμοί όπως είναι λογικό είναι χτισμένοι στις γεωργικές πεδινές και ημιορεινές περιοχές. Νότιοδυτικά υπάρχει βιομηχανική περιοχή. Οι φυσικοί βοσκοτόποι καλύπτουν μια πολύ μικρή περιοχή στα κατάντη του ποταμού, ΝΑ της λίμνης. Στην περιοχή εκτός από το εκτεταμένο οδικό δίκτυο υφίσταται και σιδηροδρομικό δίκτυο. Οι Ξανθάκης και Ξανθόπουλος (2007) εντοπίζουν τις αλλαγές χρήσεων γης μέσα στην πάροδο μιας 100ετίας μέσω ψηφιοποίησης διαθέσιμων χαρτών (χάρης των Curtius and Kaupert 1880, χάρτης βλάστησης του Υπουργείου Γεωργίας 1988 και χάρτης χρήσεων γης του προγράμματος CORINE 2000). Παρατηρείται λοιπόν, αύξηση της γεωργικής γης από το 2% στο 30% της συνολικής έκτασης, άναρχη δόμηση, μείωση του πευκοδάσους του Σχινιά και αστικοποίηση των λόφων και των δασικών περιοχών της περιοχής.

Χρήσεις γης	1880	(%)	1988	(%)	2000	(%)
Υδροτόποι	8.57	4.84	9.88	5.57	6.18	3.49
Οικισμοί	2.24	1.26	14.95	8.44	17.58	9.92
Καλλιέργειες	3.77	2.13	52.08	29.39	55.54	31.34
Δάση-ημιφυσικές περιοχές	162.64	91.77	100.31	56.60	97.92	55.25
Σύνολο	177.22	100	177.22	100	177.22	100

Σχήμα 43: Έκταση (km²) και ποσοστό χρήσεων γης στην περιοχή του Μαραθώνα κατά τα έτη 1880, 1988 και 2000 (Ξανθάκης και Ξανθόπουλος 2007).



Σχήμα 44: Χρήσεις γης στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής του Μαραθώνα με βάση το πρόγραμμα CORINE 2000.

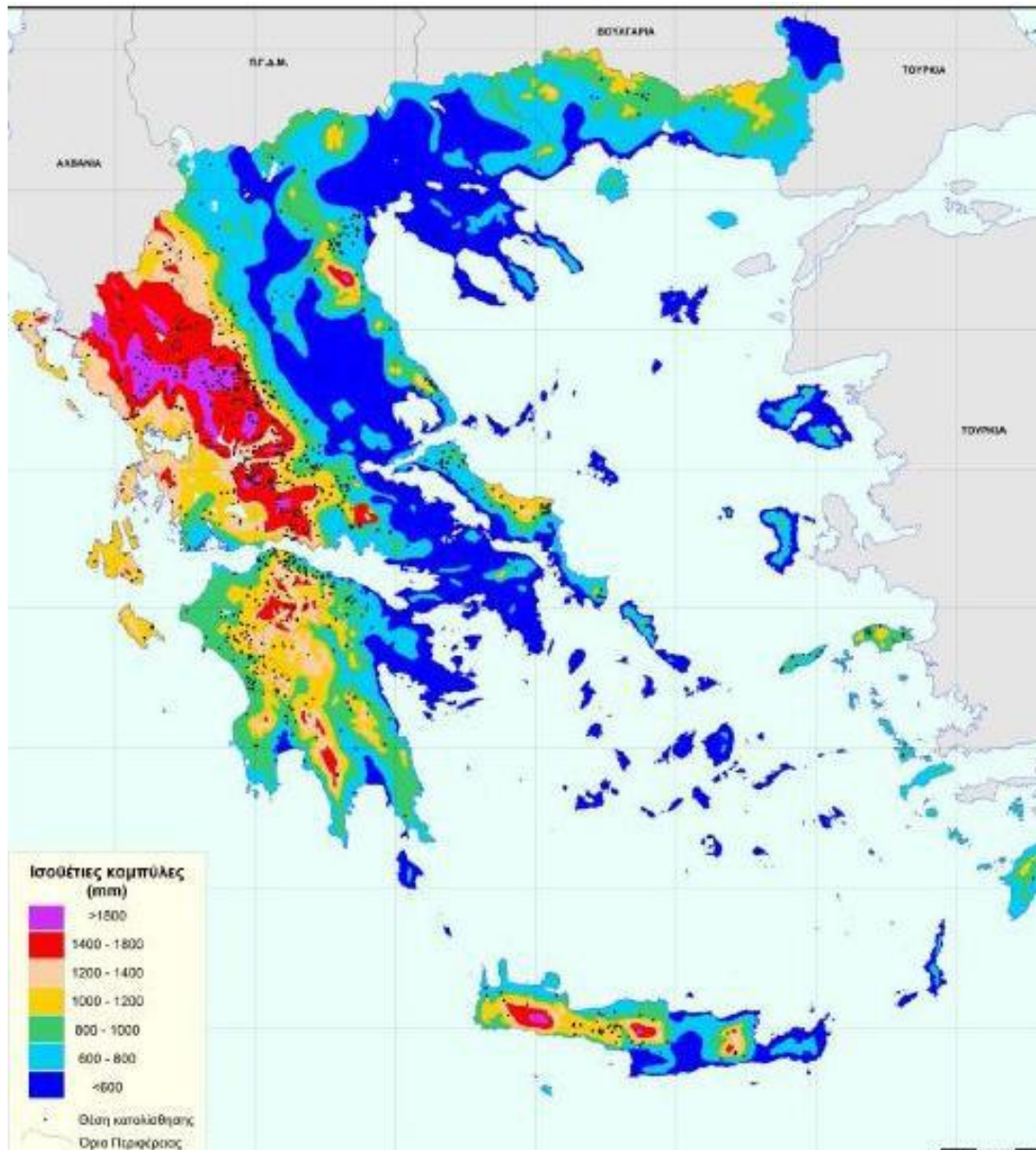


5.8 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής, ανήκει στον τυπικά ξηρό μεσογειακό τύπο και εμφανίζει επομένως κατά τη χειμερινή κυρίως περίοδο τα χαρακτηριστικά του κλίματος των εύκρατων ζωνών και κατά τη θερινή τα χαρακτηριστικά του κλίματος των υποτροπικών ζωνών των υψηλών πιέσεων. Δηλαδή, έχουμε ήπιους και υγρούς χειμώνες, με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά, μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρά ετήσια ύψη βροχής, κυρίως το χειμώνα και ξηρά περίοδο κυρίως το καλοκαίρι, από καλοκαίρια θερμά ή και με καύσωνα, από χειμώνες ήπιους που συχνά τους διακόπτουν περίοδοι πολύ καλού ή κακού καιρού, από μεγάλη ηλιοφάνεια, ιδίως κατά τη θερμή περίοδο του έτους και τέλος από εποχές άνοιξης και φθινοπώρου πολύ μικρής διάρκειας. Η κατανομή των βροχοπτώσεων ακολουθεί τα χαρακτηριστικά των ξηρών περιοχών με το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων να παρατηρούνται κατά την υγρή περίοδο υπό τη μορφή ισχυρών καταιγίδων. Έντονες καταιγίδες παρατηρούνται ακόμα και την περίοδο του καλοκαιριού και χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια, μεγάλες εντάσεις και πολύ μεγάλη χωρική ανομοιομορφία.

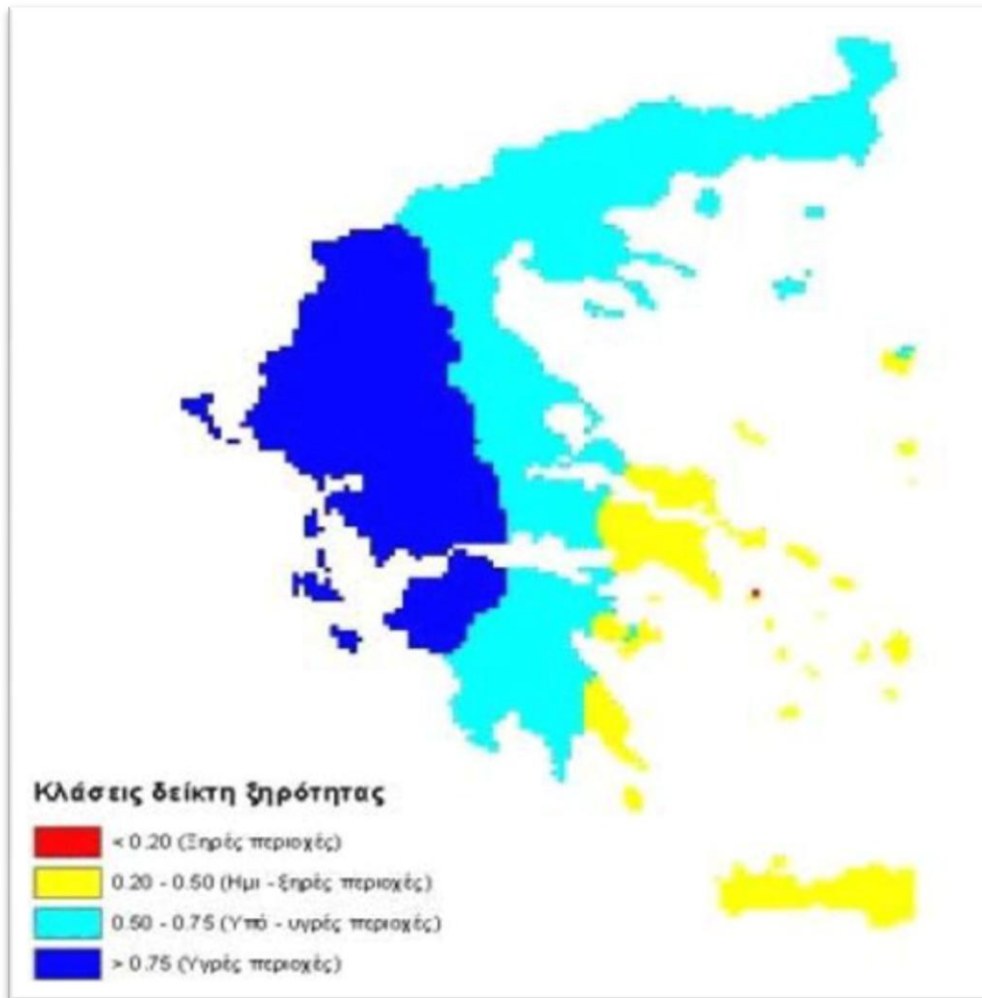
Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Μ.Υ. του Σταθμού του Μαραθώνα (διακοπή της λειτουργίας το 2003), η μέση ετήσια βροχόπτωση για τη χρονική περίοδο 1925-1995 είναι 567mm ενώ οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα κυμαίνονται μεταξύ 27° και 10°C. Με βάση το χάρτη Ύψους Βροχής της Ελλάδας του ΙΓΜΕ (1993) η περιοχή του Μαραθώνα ανήκει σε μια περιοχή με μέσο ύψος βροχής περί τα 600mm, με χαρακτηριστικά μεσογειακού κλίματος με σχετικά θερμό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. (Χάρτης Ζωνών Κλίματος, Καρράς 1973). Η βλάστηση της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ένα τυπικό Μεσογειακό οικοσύστημα με πευκοδάση, πρινώνες, φρύγανα και πόες (Ξανθάκης 2011).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία με βάση τα έτη 1986-1997 είναι 17°-18° C στην παράκτια περιοχή και χαμηλότερη στις ορεινές περιοχές, ενώ το μέσο ύψος υετού είναι αρκετά χαμηλό με τιμή 397mm.



Σχήμα 45: Χάρτης ύψους βροχής (Βασιλειάδης 2010). Η περιοχή μελέτης ανήκει στη δεύτερη ζώνη με τιμή υετού μεγαλύτερη από 400mm (600-800mm).

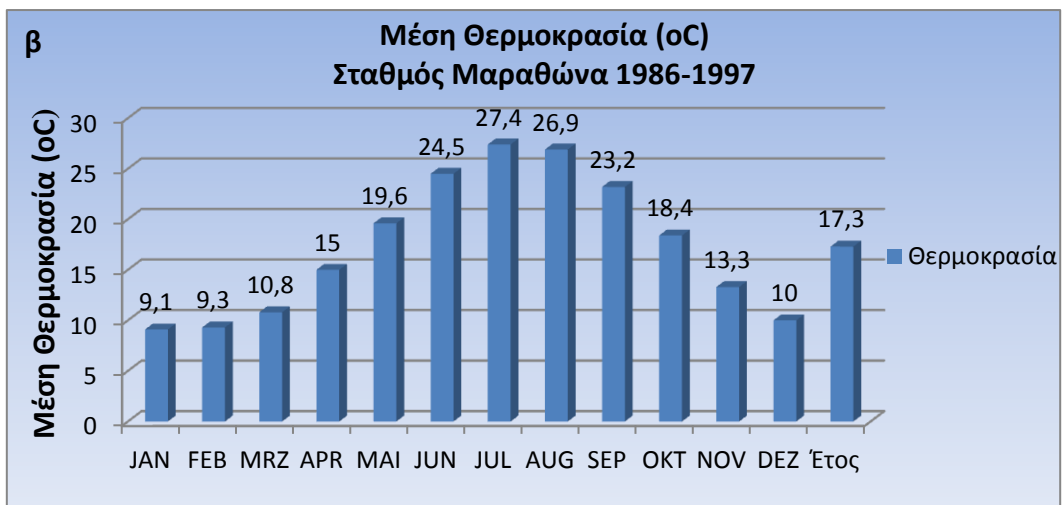
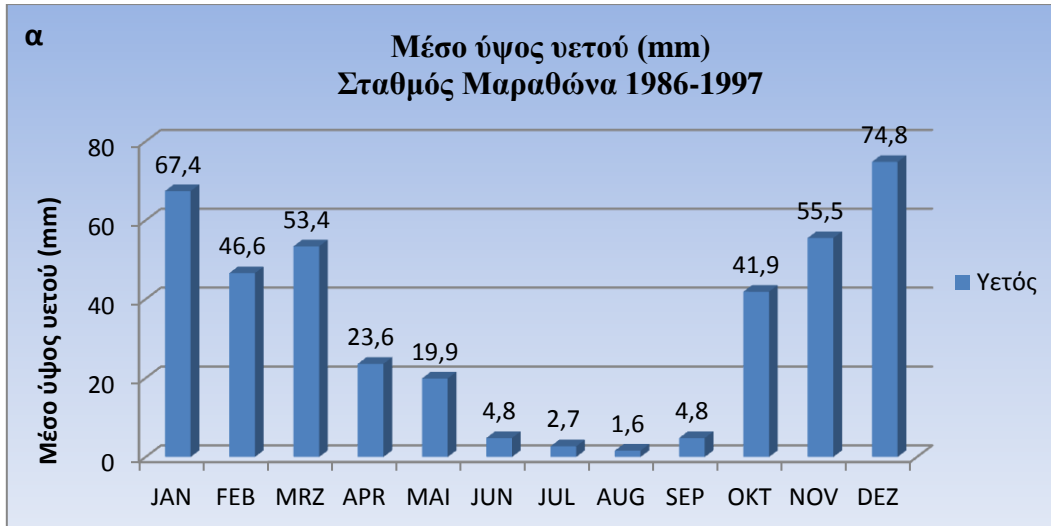
- **Ηλιοφάνεια – Νέφωση.** Η περιοχή της Αττικής με μέση ετήσια τιμή 2.699 ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας θεωρείται μια από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές της Ελλάδας και ως εκ τούτου μια σημαντικά ευνοημένη περιοχή από πλευράς κλίματος. Ο αριθμός των ηλιοφανών ημερών φθάνει κατά μέσο όρο τις 114 ημέρες κατά έτος. Αντίθετα, ο αριθμός των νεφοσκεπών ημερών είναι πολύ μικρός, αφού φτάνει μόνο, κατά μέσο όρο, τις 19 (Μιγκίρος κ.α. 2010).



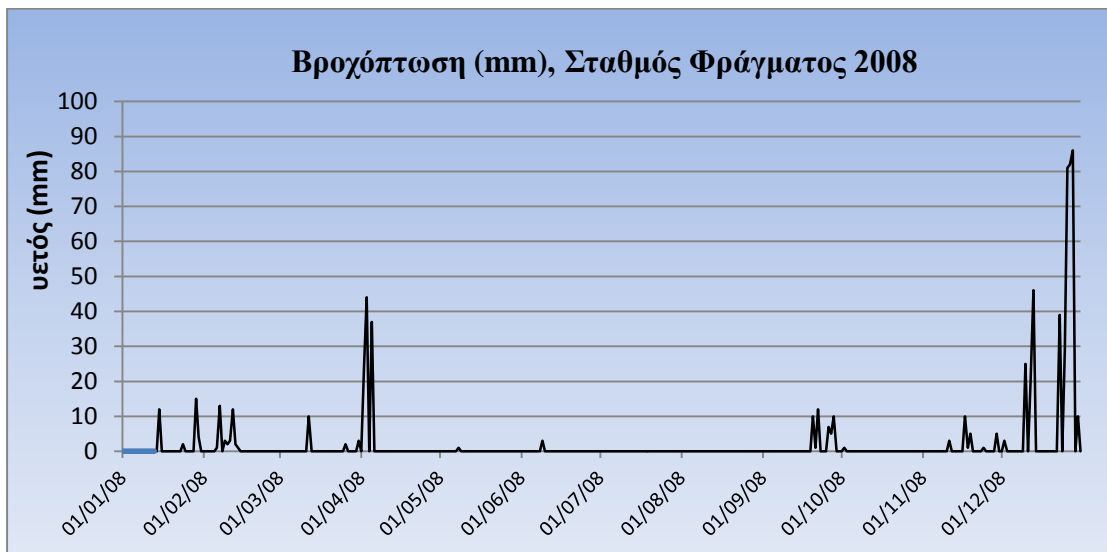
Σχήμα 46: Δείκτης ξηρότητας του Ελλαδικού χώρου. Η Αττική χαρακτηρίζεται ως ξηρή-ημίξηρη περιοχή (Γκανούλης 2006).

Στην Ελλάδα η ορογένεση έχει επηρεάσει το κλίμα με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται δύο ζώνες η ανατολική και η δυτική. Η δυτική χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο ύψος βροχής, οι ανατολικές περιοχές στις οποίες κατατάσσεται και η περιοχή του Μαραθώνα, δέχεται λιγότερα νερά σε σχέση με την έκταση των λεκανών απορροής.

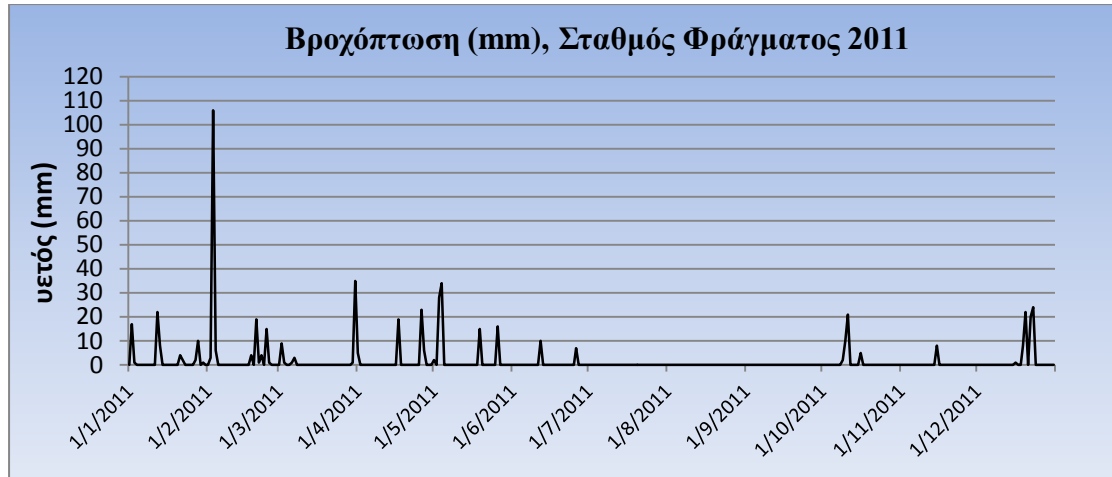
Για τη μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης κρίθηκε αναγκαία η συλλογή και ανάλυση δεδομένων σχετικών με την θερμοκρασία του αέρα, την εξάτμιση και τον νετό.



Σχήμα 47: Στα παρακάτω διαγράμματα προσδιορίζεται το μέσο ύψος υετού (α) και η μέση θερμοκρασία (β) σε ετήσια βάση με δεδομένα 11 ετών της Ε.Μ.Υ.



Σχήμα 48: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης για το έτος 2008 με βάση τον μετεωρολογικό σταθμό του φράγματος του Μαραθώνα.



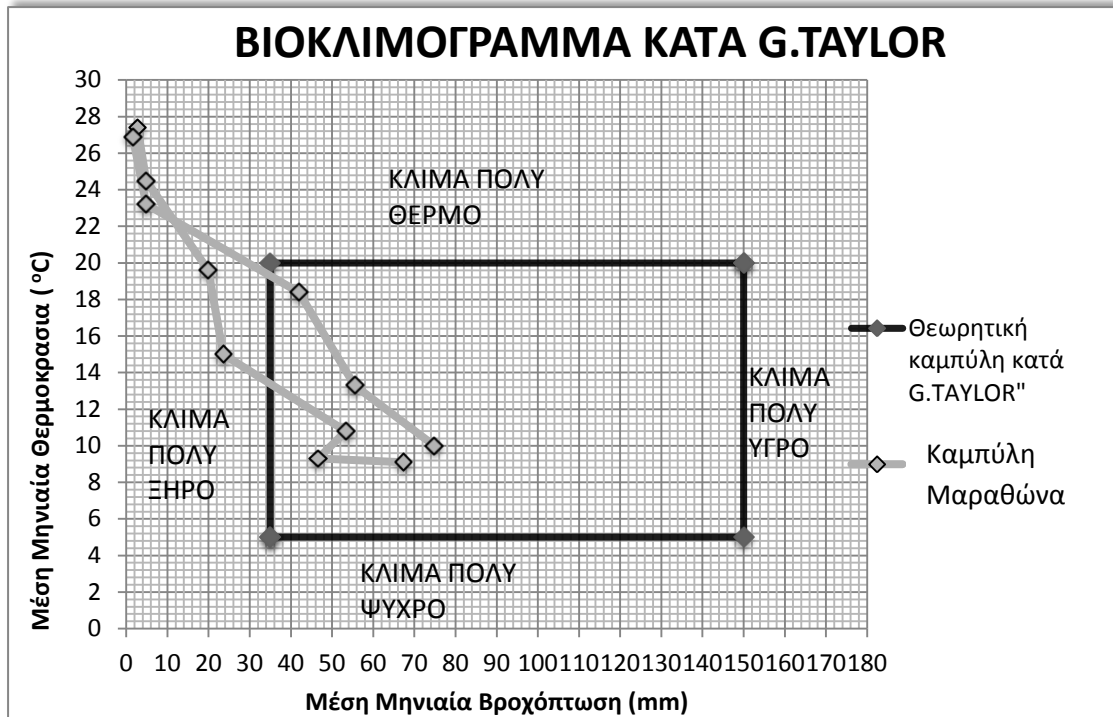
Σχήμα 49: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης για το έτος 2011 με βάση τον μετεωρολογικό σταθμό του φράγατος του Μαραθώνα.

Την ξηρή κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή επισημαίνει και ο δείκτης Lang που σχετίζει το μέσο ύψος νετού με τη μέση θερμοκρασία

$$\text{Δείκτης Lang} = \text{Ύψος Βροχής (mm)} / \text{Θερμοκρασία (°C)}$$

Πίνακας 6: Δείκτης Lang και χαρακτηρισμός κλίματος κατά Gracani, για με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και νετού της περιόδου 1986-1997 του σταθμού του Μαραθώνα. Η περιοχή κατακλύζεται από αρκετά ξηρές κλιματικές συνθήκες.

	Μέσο ύψος νετού (mm)	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	Δείκτης Lang	Χαρακτηρισμός κατά Gracani
JAN	67,4	9,1	12,8	5,2	7,407	Υπόξηρο
FEB	46,6	9,3	13	5,1	5,011	Υπόξηρο
MRZ	53,4	10,8	15	6,8	4,944	Υπόξηρο
APR	23,6	15	18,6	9,1	1,573	Υπέρξηρο
MAI	19,9	19,6	23,2	13	1,015	Υπέρξηρο
JUN	4,8	24,5	28,3	17	0,196	Υπέρξηρο
JUL	2,7	27,4	30,9	20,3	0,099	Υπέρξηρο
AUG	1,6	26,9	30,9	20,4	0,059	Υπέρξηρο
SEP	4,8	23,2	27,5	16,7	0,207	Υπέρξηρο
ΟΚΤ	41,9	18,4	22,6	13,6	2,277	Ξηρό
NOV	55,5	13,3	16,9	9,3	4,173	Υπόξηρο
DEZ	74,8	10	13,6	6,3	7,480	Υπόξηρο
Έτος	397	17,3				



Σχήμα 50: Στο παραπάνω βιοκλιμόγραμμα παρατηρείται ότι οι 6 μήνες του έτους βρίσκονται εκτός των ανεκτών ορίων βιωσιμότητας του ανθρώπου με πολύ θερμά και ξηρά χαρακτηριστικά.

• Εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή διακρίνεται σε δυναμική και πραγματική. Σύμφωνα με τον Thornthwaite (Φλόκας 1990), ως δυναμική εξατμισοδιαπνοή (PE) ορίζεται η απώλεια νερού, που θα σημειωθεί για τις ανάγκες της βλάστησης, αν σε καμιά περίπτωση δεν παρατηρηθεί έλλειψη νερού στο έδαφος. Στις περιοχές όπου παρατηρείται έλλειψη νερού στο έδαφος, λόγω ανεπάρκειας των βροχοπτώσεων κάποια συγκεκριμένη εποχή του χρόνου, η ποσότητα του νερού, που τελικά θα μεταφερθεί από το έδαφος και τα φυτά στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής, είναι μικρότερη της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής και αποτελεί την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AE). Είναι φανερό, ότι στα κλίματα χωρίς περιόδους ξηρασίας η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή.

Η PE ελέγχεται ουσιαστικά από μετεωρολογικούς παράγοντες, σε αντίθεση με την AE, η οποία σε σημαντικό βαθμό ελέγχεται και επηρεάζεται από παράγοντες σχετικούς με τα φυτά, το έδαφος και τη διαθεσιμότητα του νερού. Οι σημαντικότεροι μετεωρολογικοί παράγοντες, που επηρεάζουν την PE, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η



θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική υγρασία και ο άνεμος. Γενικά μπορεί να ειπωθεί, ότι η PE τείνει ν' αυξηθεί αυξανομένης της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ τείνει να ελαττωθεί αυξανομένης της σχετικής υγρασίας. Για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, πέραν των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό της PE, υπάρχουν και μερικοί πρόσθετοι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται. Απ' αυτούς, ο πιο σημαντικός είναι η ανεπάρκεια υγρασίας, καθώς και άλλοι δευτερεύουσας σημασίας, όπως ο βαθμός πυκνότητας της φυτικής βλάστησης, που μπορεί να εκφραστεί με το πλήθος των φυτών ανά μονάδα εδαφικής επιφάνειας (Γκουβάς 2001). Οι χαμηλότερες ετήσιες τιμές PE λαμβάνονται συνήθως από τον τύπο του Thornthwaite και οι υψηλότερες από εκείνον του Penman, η δε διαφορά τους για την περιοχή των Αθηνών ξεπερνά τα 200 mm (Νικολαΐδης 1990).

Μέθοδος Penman–Monteith

Η μέθοδος Penman–Monteith χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής, η οποία εισήχθη στα μοντέλα διάβρωσης. Ο Monteith για να αντιμετωπίσει την αδυναμία της μεθόδου Penman, αναδιατύπωσε τη μέθοδο εισάγοντας την αντίσταση r_s των στομάτων των φυλλωμάτων στην εξάτμιση. Έτσι προέκυψε η μέθοδος Penman-Monteith η οποία είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των φυτών και συγκεκριμένα της καλλιέργειας αναφοράς. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη διαφορά ότι δεν αρκούν τα τυπικά μετεωρολογικά δεδομένα αλλά χρειάζονται και μετρήσεις της επιφανειακής αντίστασης των φυλλωμάτων. Η χρήση της μεθόδου τείνει να γενικευτεί τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της ακριβέστερης περιγραφής του φαινομένου.

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\rho \alpha c_p}{(\Delta + \gamma') \lambda r_a} D$$

Όπου,

γ' : ανηγμένος ψυχομετρικός συντελεστής που δίδεται από τη σχέση, $\gamma' = \gamma(1 + r_s/r_a)$ με r_a την αεροδυναμική αντίσταση με μονάδα μέτρησης s/m

c_p είναι η ειδική θερμότητα αέρα (KJ/Kg/K)

ρ_a είναι η πυκνότητα αέρα (Kg/m³)

Με τη βοήθεια του λογισμικού FAO → EToCalculatorV.32, προσδιορίστηκαν οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο Pesera.



Μέθοδος Thornthwaite

Ο εμπειρικός τύπος του Thornthwaite υπολογίζει την δυνητική εξατμισοδιαπνοή σαν συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ως εξής:

$$U = PE \times (DN/360)$$

Όπου,

U = η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ($mm/month$)

$PE \times = 16(10T / I)^a$, η μέση τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

T = μέση μηνιαία θερμοκρασία ($^{\circ}C$)

$I = \sum I_{i=1-12}$, ετήσιος θερμικός δείκτης

$I_i = 0.09T_i^{3/2}$, μηνιαίος θερμικός δείκτης

$$a = 0.016I + 0.5$$

D = ο αριθμός των ημερών του μήνα

$N = 1.44P$, η μέση διάρκεια της ημέρας

P = ποσοστό ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα ανά έτος

Πίνακας 7: Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite.

Thornthwaite	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΕΤΟΣ
P	67,4	46,6	53,4	23,6	19,9	4,8	2,7	1,6	4,8	41,9	55,5	74,8	397
PE	16,42	16,88	27,14	52,57	95,44	144,17	177,99	161,13	109,54	66,43	32,28	19,02	919,02
P-PE	50,98	29,72	26,26	-28,97	-75,54	-139,37	-175,29	-159,53	-104,74	-24,53	23,22	55,78	-522,02
APWL				-28,97	-104,51	-243,88	-419,17	-578,70	-683,44	-707,97			
St	130,97	160,69	186,95	123,1	74	29	9	3	1	1	24,22	79,99	
ΔSt	50,98	29,72	26,26	-63,8492	-49,1	-45	-20	-6	-2	0	23,22	55,78	
AE	16,42	16,88	27,14	50,5	69	49,8	22,7	7,6	6,8	41,9	32,28	19,02	360,05
D	0,00	0,00	0,00	2,07	26,44	94,37	155,29	153,53	102,74	24,53	0,00	0,00	558,97
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	0,00	0,00	0,00	-3,93	-27,70	-65,46	-87,25	-95,28	-93,79	-36,93	0,00	-0,02	-410,37
ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΟΤΗΤΑΣ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ΔΕΙΚΤΗΣ ΞΗΡΟΤΗΤΑΣ													
Iθ (cm)	91,90												
Cθ	0,75												

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή $r U$ που συντελείται κάθε μήνα εξαρτάται από την βροχόπτωση αυτού του μήνα. Εάν η βροχόπτωση P καλύπτει την δυνητική εξατμισοδιαπνοή U (υγρή περίοδος), τότε υπάρχει διαθέσιμο νερό και ισχύει $r U = U$. Στην περίπτωση όπου $P \leq U$ (ξηρή περίοδος), τότε ισχύει $r U = P$. Στην περίπτωση όπου υπάρχει υπόλοιπο $P - U$, αυτό πληροί το έδαφος έως ότου η εδαφική υγρασία γίνει ίση με την υδατοϊκανότητα του εδάφους. Στην περίπτωση όπου υπάρχει



πλεόνασμα ύδατος, αυτό απορρέει κατά ένα ποσοστό επιφανειακά και κατά το υπόλοιπο υπόγεια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

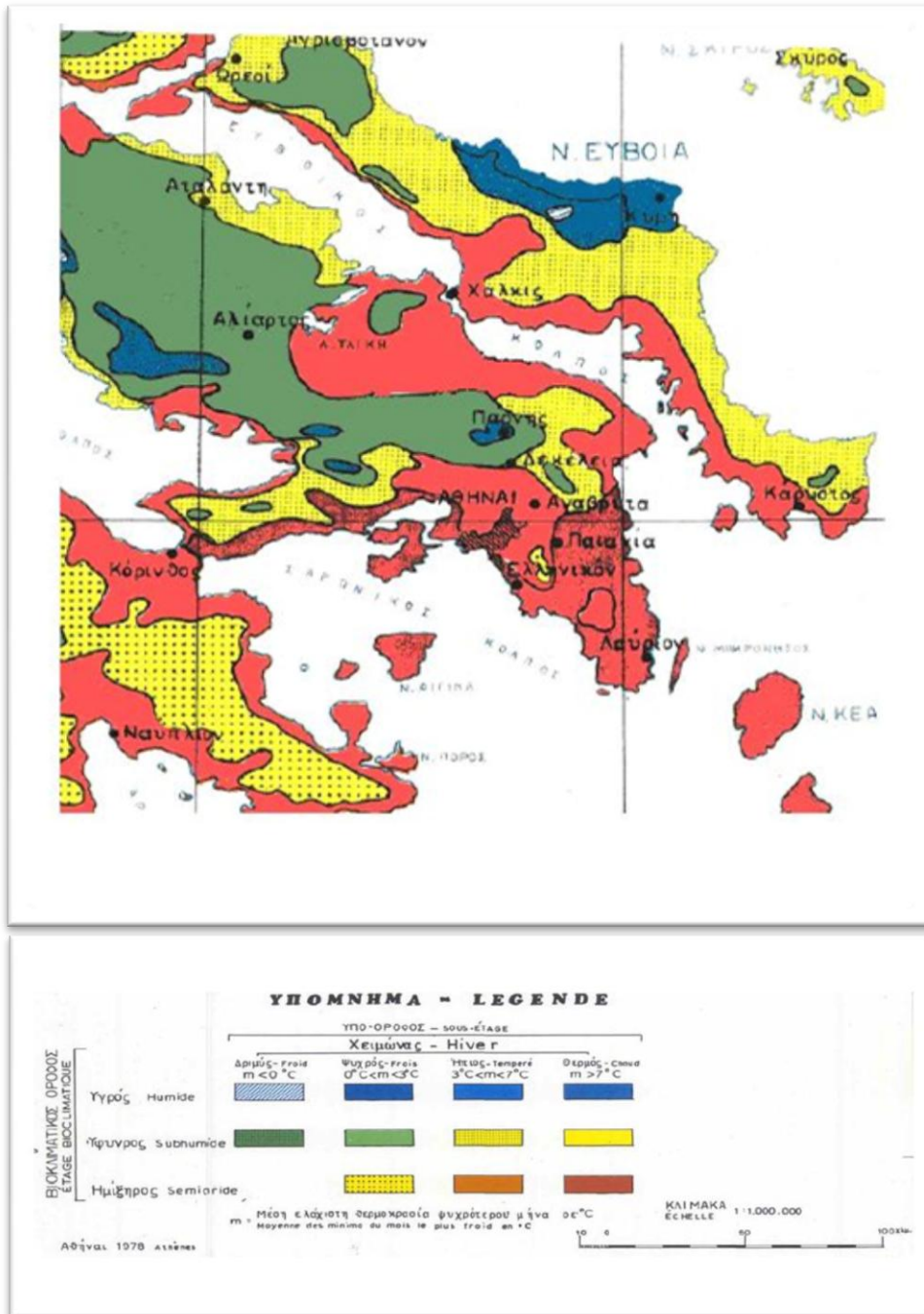
- **Βιοκλιματικά δεδομένα**

Στην περιοχή της μελέτης, τα βιοκλιματικά στοιχεία καθορίστηκαν με βάση τους χάρτες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, του Ιδρύματος Δασικών Ερευνών των Αθηνών και του Τομέα Δασικής Σταθμολογίας, που συντάχθηκαν από τον Γεώργιο Μαυρομάτη (1978).

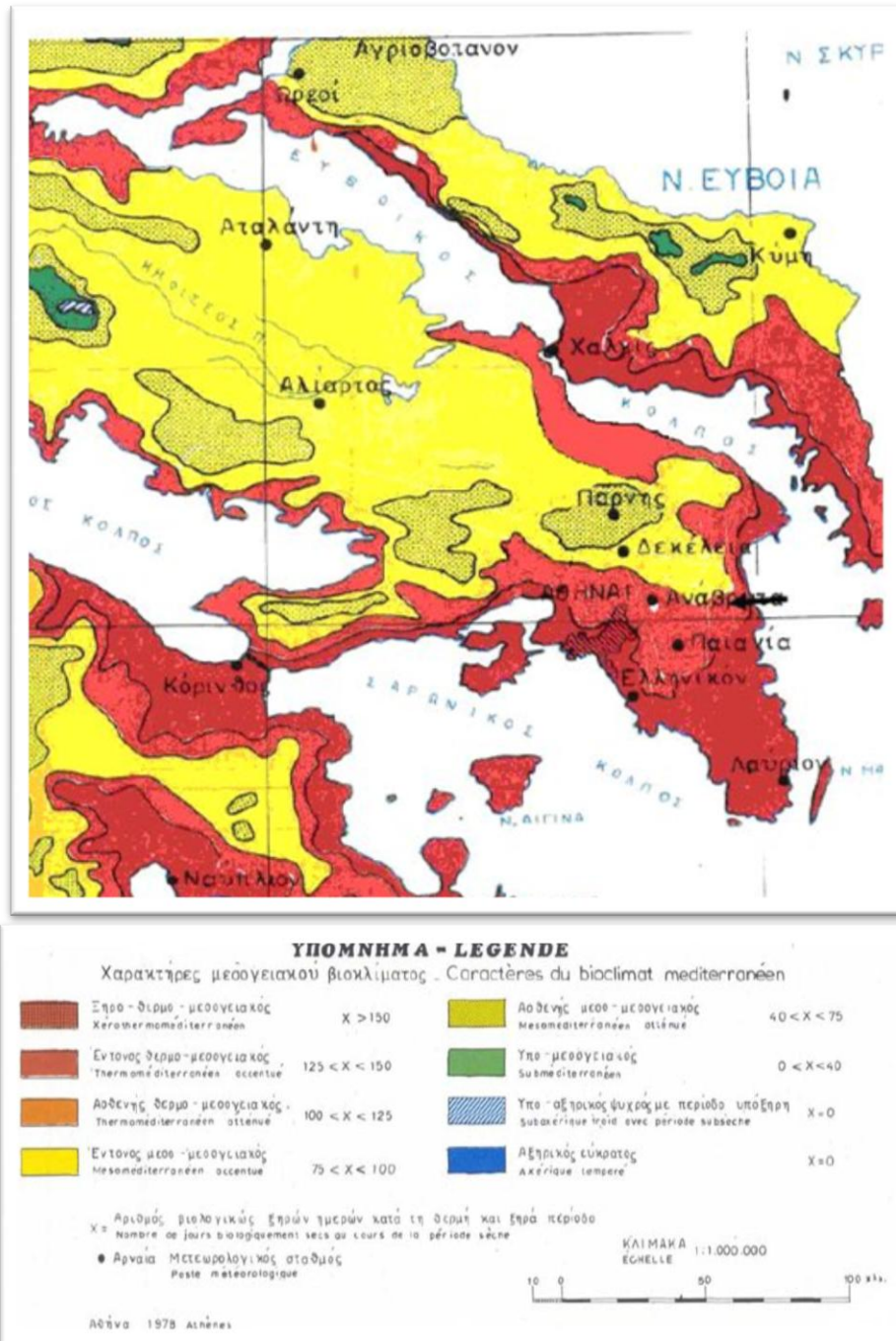
Με βάση το χάρτη βιοκλιματικών ορόφων η περιοχή μελέτης εντάσσεται στον «Ημίξηρο Βιοκλιματικό Όροφο», με υποόροφο «Χειμώνας ήπιος», $3^{\circ}\text{C} < m < 7^{\circ}\text{C}$, όπου m = μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα σε $^{\circ}\text{C}$.

Με βάση τον Βιοκλιματικό χάρτη, το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως «ασθενές μεσογειακό», με $100 < X < 125$, και ως «έντονο μέσο-μεσογειακό», με $75 < X < 100$, όπου X = Αριθμός βιολογικών ξηρών ημερών κατά τη θερμή περίοδο.

Με βάση το χάρτη Βλάστησης η περιοχή εντάσσεται στις «θερμομεσογειακές διαπλάσεις (Oleo – Ceratopion)» της Ανατολικής Μεσογείου και στη «Μεσογειακή διάπλαση Αριάς (Quercion ilicis), τύπος Βαλκανικός και της Ανατολικής Μεσογείου.



Σχήμα 51: Χάρτης βιοκλιματικών ορόφων (πηγή: ΕΘΙΑΓΕ, Αθήνα 1978).



Σχήμα 52: Κατηγορίες Μεσογειακού Βιοκλίματος (πηγή: ΕΘΙΑΓΕ Αθήνα, 1978).



5.9 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η μελέτη των υδρογραφικών δικτύων είναι σημαντική τόσο γιατί ελέγχουν την υδρολογία των λεκανών απορροής (Kirkby 1976) όσο και σαν δείκτες των γεωλογικών διεργασιών (Kirchner 1993). Τα γεωμετρικά πρότυπα ανάπτυξης των υδρογραφικών δικτύων όπως διαμορφώνονται από τη δράση των ποτάμιων καναλιών σε μια περιοχή, αντανακλούν τις τοπικές τεκτονικές συνθήκες (Ollier 1981). Τα υδρογραφικά δίκτυα είναι αποτέλεσμα των ενδογενών διαδικασιών, των επικρατέστερων μηχανισμών διάβρωσης και των κλιματικών συνθηκών (Daniel 1981).

Η ανάλυση των υδρογραφικών δικτύων και των λεκανών απορροής της περιοχής μελέτης περιλαμβάνει την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των υδρογραφικών δικτύων που αναπτύσσονται μέσα σε αυτή. Η ποιοτική ανάλυση περιλαμβάνει την αναγνώριση και την περιγραφή συγκεκριμένων σχεδίων ανάπτυξης που ακολουθούν τα υδρογραφικά δίκτυα, ενώ η ποσοτική ανάλυση τη μέτρηση και τον υπολογισμό των μορφομετρικών παραμέτρων τόσο των υδρογραφικών δικτύων όσο και των λεκανών απορροής.

Μέγιστη υψομετρική διαφορά λεκάνης (Basin relief)

Ο υπολογισμός της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς της λεκάνης απορροής παίζει σημαντικό στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, στην επιφανειακή και υποεπιφανειακή κίνηση του νερού, στην περατότητα της λεκάνης απορροής, στην ανάπτυξη των γεωμορφών και τις διαβρωσιγενείς ιδιότητες του ανάγλυφου (Reddy et al. 2004) και κατ' επέκταση αντικατοπτρίζει τη μεταφορική ικανότητα του ποταμού σε ίζημα (Hadley and Schumm, 1961). Ο υπολογισμός της γίνεται από την μαθηματική σχέση (Gregory and Walling, 1983):

$$B_h = h_{\max} - h_{\min},$$

όπου h_{\max} και h_{\min} το μέγιστο υψόμετρο στον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής και το ελάχιστο υψόμετρο στο στόμιο (έξοδος) της λεκάνης απορροής αντίστοιχα, B_h η μέγιστη υψομετρική διαφορά της λεκάνης απορροής.

$$B_{h(\text{Μαραθώνα})} = 1407 - 0 = 1407$$



Βαθμός αναγλύφου (Relief ratio)

Για να περιγράψει το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής με μια απλή μαθηματική έκφραση ο Schumm (1956) πρότεινε τον βαθμό ανάγλυφου όπου B_h η μέγιστη υψομετρική διαφορά της λεκάνης απορροής, L το μέγιστο μήκος της λεκάνης (μετρημένο κατά μήκος της μεγαλύτερης διάστασης της λεκάνης και παράλληλα προς τη γενική κατεύθυνση του κύριου ρέματος αυτής) και R_h ο βαθμός ανάγλυφου. Επειδή οι μονάδες των B_h και L είναι ίδιες (m) ο βαθμός ανάγλυφου είναι αδιάστατος αριθμός, οπότε επιτρέπει τη σύγκριση λεκανών διαφορετικού μεγέθους. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και η κλίση των ανώτερων τμημάτων της λεκάνης απορροής επηρεάζονται από τον βαθμό ανάγλυφου. Οι Hadley and Schumm (1961) θεωρούν ότι η μεταφορική ικανότητα σε ίζημα αυξάνει εκθετικά σε σχέση με την αύξηση της τιμής του βαθμού ανάγλυφου.

$$R_h = B_h / L$$

$$R_{h(\text{Μαραθώνα})} = 1407 / 23750 = 0.059$$

Σχετική υψομετρική διαφορά

Η σχετική υψομετρική διαφορά περιγράφεται από την μαθηματική σχέση (Gregory and Walling, 1983):

$$R_{hp} = B_h / P$$

όπου B_h η μέγιστη υψομετρική διαφορά της λεκάνης απορροής, P η περίμετρος της λεκάνης απορροής και R_{hp} η σχετική υψομετρική διαφορά.

$$R_{hp(\text{Μαραθώνα})} = 1407 / 86084 = 0.016$$

Παράγοντας σχήματος λεκάνης (Form factor)

Το σχήμα μιας λεκάνης απορροής είναι δύσκολο να εκφρασθεί ξεκάθαρα από μια μαθηματική σχέση (Gregory and Walling, 1983), ως εκ τούτου έχουν προταθεί κατά καιρούς, από διάφορους ερευνητές, σημαντικός αριθμός ποσοτικών παραμέτρων. Ο Selby (1985), για παράδειγμα πρότεινε ένα κατάλογο που περιελάμβανε επτά



διαφορετικές σχέσεις. Ο καθένας από τους ποσοτικούς δείκτες που έχουν προταθεί περιγράφει σε μεγαλύτερο ή σε μικρότερο βαθμό τις υδρολογικές ή τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε μια λεκάνη απορροής. Ο Horton (1932) για να περιγράψει το σχήμα της λεκάνης απορροής πρότεινε, έναν απλό δείκτη, τον παράγοντα σχήματος λεκάνης που μπορεί να υπολογιστεί από την μαθηματική σχέση:

$$R_f = A/L^2$$

όπου A το εμβαδόν της λεκάνης και L το μέγιστο μήκος της λεκάνης, μετρημένο κατά μήκος της μεγαλύτερης διάστασης της λεκάνης και παράλληλα προς τη γενική διεύθυνση του κύριου ρέματος αυτής. Ο παράγοντας σχήματος λεκάνης είναι αδιάστατο μέγεθος.

$$R_{f(\text{Μαραθώνα})} = 0.334$$

Συγκρίνοντας τις παραπάνω υπολογισμένες παραμέτρους του Μαραθώνα με την εργασία του Τσόδουλου (2009) παρατηρούμε ότι η λεκάνη απορροής του Μαραθώνα βρίσκεται μεταξύ των λεκανών απορροής του Λιβαδόστρα και της Ριτσώνας.

Πίνακας 8: Ποσοτικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής (*Τσόδουλος 2009).

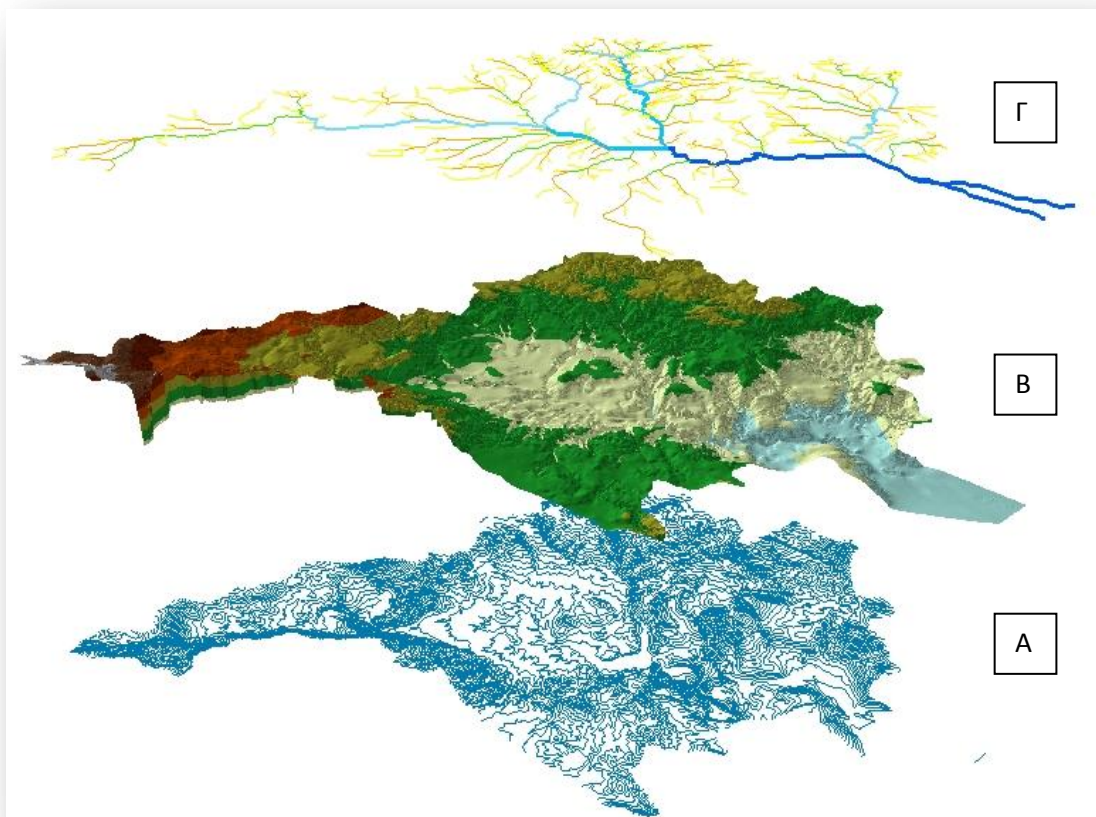
Λεκάνη απορροής	Μέγιστη υψομετρική διαφορά Bh (m)	Βαθμός ανάγλυφου Rh	Σχετική υψομετρική διαφορά Rhp	Παράγοντας σχήματος λεκάνης Rf
Μαραθώνα	1407	0.06	0.02	0.33
Λιβαδόστρα*	1400	0.08	0.03	0.32
Ασωπού*	1400	0.02	0.009	0.22
Ριτσώνας*	1018	0.06	0.01	0.52

- **Χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου**

Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν 3 φύλλα τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 έκδοσης της Γ.Υ.Σ (Φύλλα Ερέτριας 1993, Κηφισιάς 1988, Αθήνας-Ελευσίνας 1992) από τα οποία λήφθηκαν υπόψη οι κυανές γραμμές των ρεμάτων. Βάσει αυτών έγινε η σχεδίαση του δικτύου, η χάραξη της κύριας υδροκριτικής γραμμής και η ταξινόμηση των υδρορεμάτων.



Η μέθοδος ταξινόμησης που ακολουθήθηκε είναι αυτή του STRAHLER (1957) και από αυτή προέκυψε ότι ο κύριος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου είναι πέμπτης τάξης μετά την κατασκευή του φράγματος το 1929. Στη συγκεκριμένη λεκάνη καταμετρήθηκαν 455 κλάδοι 1ης τάξης, 128 κλάδοι 2ης τάξης, 30 κλάδοι 3ης τάξης, 8 κλάδοι 4ης τάξης, 3 κλάδοι 5ης τάξης. Τα παραπάνω στοιχεία ισχύουν για το υδρογραφικό δίκτυο έτσι όπως υφίσταται σήμερα, αφού κατασκευάστηκε το φράγμα του Μαραθώνα το 1929.



Σχήμα 53: Τρισδιάστατη απεικόνιση των βημάτων προσδιορισμού του υδρογραφικού δικτύου. Στο πρώτο βήμα (A) οριοθετήθηκε η περιοχή με τις ισοψείς, στο δεύτερο στάδιο κατασκευάστηκε το DEM (B) και στο τρίτο στάδιο (C) χαρτογραφήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο μέσω του λογισμικού ArcScene v.10.



Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται ο αριθμός κλάδων ανά τάξη και το μήκος κλάδων ανά τάξη αφού κατασκευάστηκε το φράγμα.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ (μετά το 1929)		
ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΔΩΝ	ΜΗΚΟΣ ΚΛΑΔΩΝ (m)
1η	455	170.790,58
2η	128	97.107,42
3η	30	51.710,99
4η	8	25.701,78
5η	3	17.110,74
ΣΥΝΟΛΟ	624	362.421,51

Πριν κατασκευαστεί το φράγμα το υδρογραφικό δίκτυο ήταν διαφορετικό.

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα πριν την κατασκευή του φράγματος. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται ο αριθμός κλάδων ανά τάξη και το μήκος κλάδων ανά τάξη.

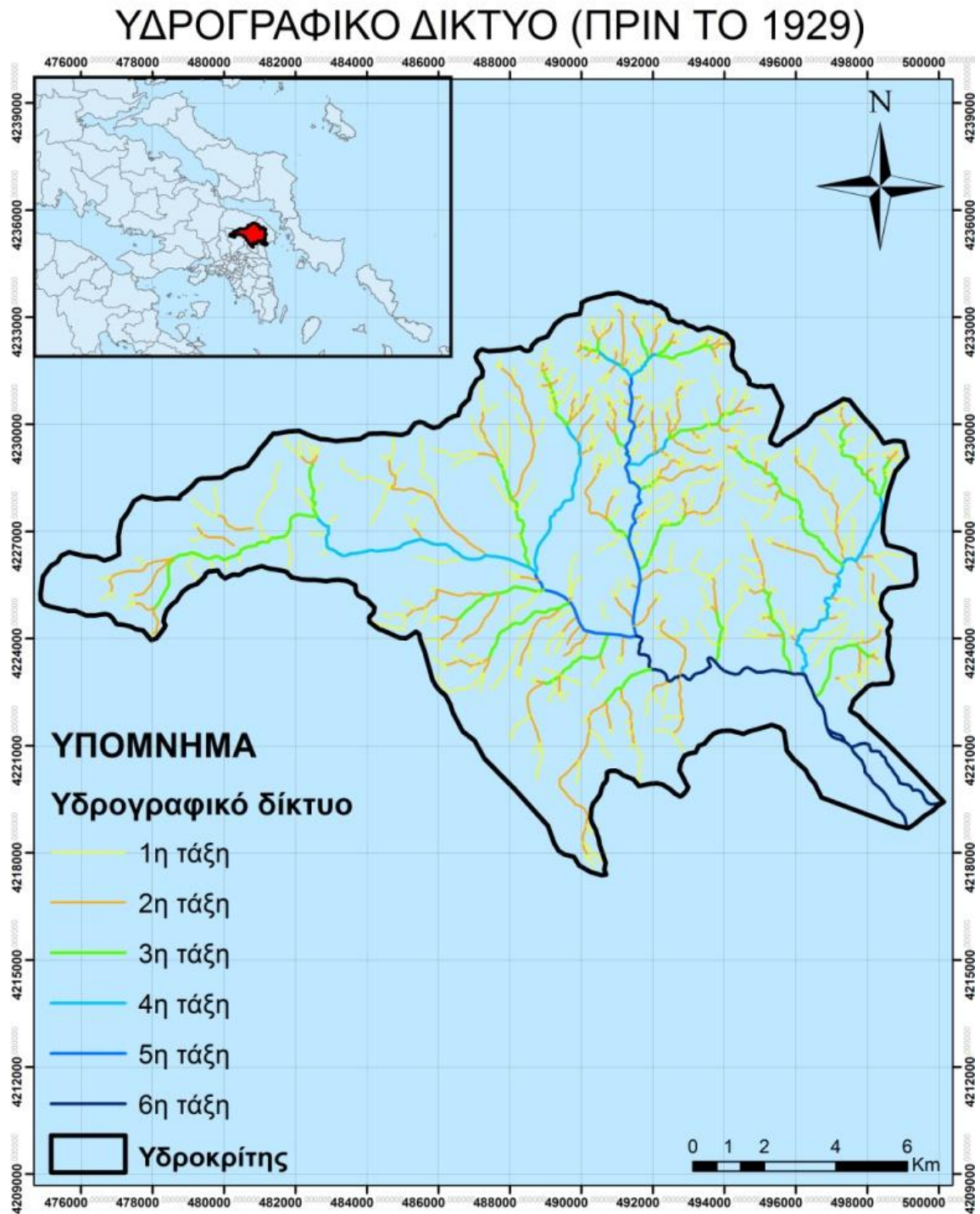
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ (πριν το 1929)		
ΤΑΞΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΔΩΝ	ΜΗΚΟΣ ΚΛΑΔΩΝ (m)
1η	455	170.852,09
2η	128	98.653,34
3η	31	49.346,23
4η	6	22.910,09
5η	2	11.775,47
6η	1	16.178,66
ΣΥΝΟΛΟ	623	369.715,89



ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΜΕΤΑ ΤΟ 1929)



Σχήμα 54: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου (5 τάξεις) μετά την κατασκευή του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα (1929).



Σχήμα 55: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου (6 τάξεις) πριν την κατασκευή του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα.



- **Τεκτονική ανάλυση/ μορφομετρικοί δείκτες λεκάνης απορροής Μαραθώνα**

Ορισμένοι από τους μορφοτεκτονικούς δείκτες έχουν αναπτυχθεί ως εργαλεία για τον προσδιορισμό περιοχών που έχουν υποστεί έντονη τεκτονική παραμόρφωση σε σύντομο χρονικό διάστημα (Keller, 1986), ενώ άλλοι έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την ποσοτική περιγραφή του ανάγλυφου (Strahler, 1952). Ο υπολογισμός των μορφοτεκτονικών δεικτών είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στην ενεργό τεκτονική διότι μπορεί να μας προσφέρει στοιχεία για τη αξιολόγηση της τεκτονικής δραστηριότητας μιας περιοχής. Συνήθως, τα πρωτογενή δεδομένα για τον υπολογισμό των μορφοτεκτονικών δεικτών μπορούν να εξαχθούν εύκολα από τοπογραφικούς χάρτες και αεροφωτογραφίες (Keller, 1986). Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι:

- **Συντελεστής Ασυμμετρίας Λεκάνης Απορροής (AF).**

- **Λόγος Επιμήκυνσης Λεκάνης**

- **Δείκτης Σχήματος Λεκάνης Απορροής (Bs)**

Οι τρεις μορφοτεκτονικοί δείκτες εφαρμόστηκαν σε επίπεδο λεκανών απορροής και καλύπτουν όλη την έκταση της περιοχής μελέτης.

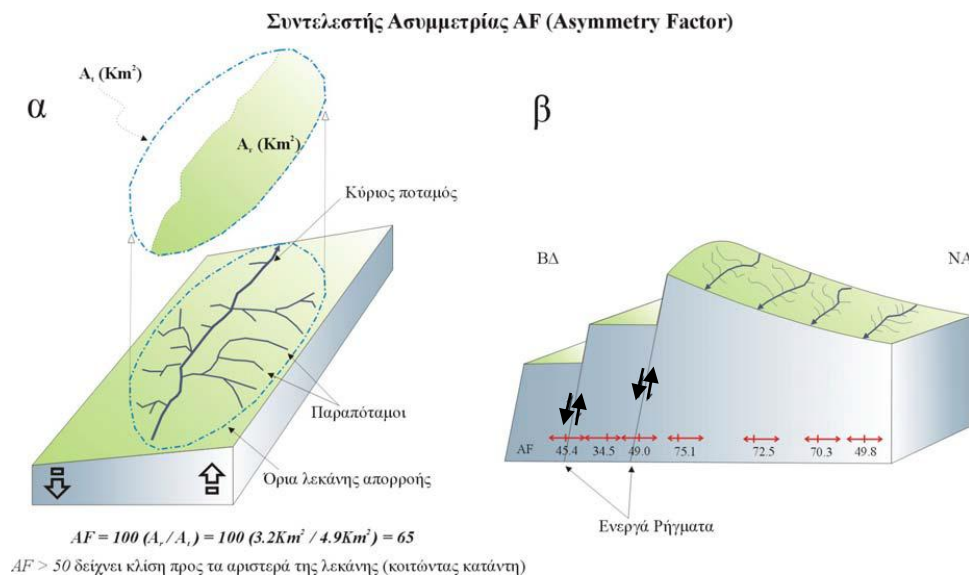
Ο Συντελεστής Ασυμμετρίας (Hare and Gardner 1985) αναπτύχθηκε ως δείκτης που ανιχνεύει την τεκτονική προέλευση της κλίσης ή περιστροφής των λεκανών απορροής των ποταμών. Το εύρος εφαρμογής του συντελεστή ασυμμετρίας μπορεί να είναι σε επίπεδο λεκανών απορροής των δευτερευόντων κλάδων ενός κύριου ποταμού ή σε ευρύτερο επίπεδο όπου καλύπτει τη λεκάνη απορροής του κύριου ποταμού. Ο Συντελεστής Ασυμμετρίας ορίζεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$AF = 100 (Ar / At)$$

όπου Ar είναι το εμβαδόν του τμήματος της λεκάνης που βρίσκεται δεξιά (κοιτώντας προς τα κατάντη) του κύριου ποταμού και At είναι το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής του ποταμού.

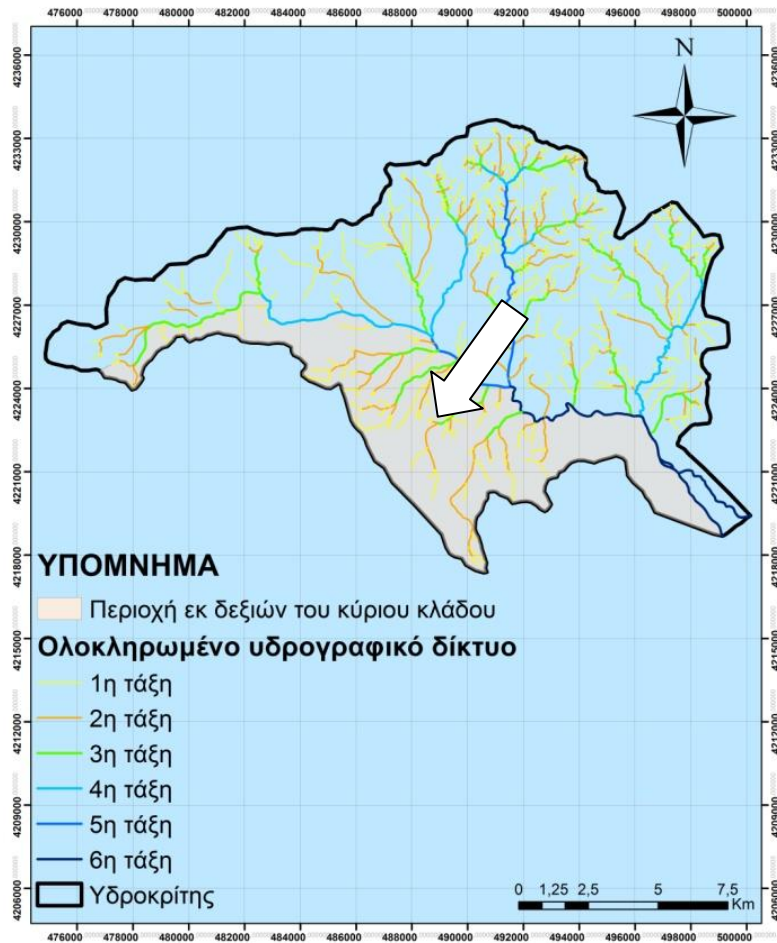
Θεωρείται ότι, για ένα υδρογραφικό δίκτυο το οποίο σχηματίζεται και αναπτύσσεται σε ‘‘σταθερές’’ γεωλογικές συνθήκες, ο $AF = 50$ και η λεκάνη απορροής του είναι

τελείως συμμετρική. Τιμές του AF μεγαλύτερες ή μικρότερες του 50 υποδεικνύουν μια ασύμμετρη λεκάνη. Η εφαρμογή του Συντελεστή Ασύμμετρίας προϋποθέτει ότι δεν υπάρχουν λιθολογικοί παράγοντες (πχ κλίση των στρωμάτων), ούτε τοπικές κλιματικές μεταβολές ή διαφορές στη φυτοκάλυψη μεταξύ πρηνών διαφορετικού προσανατολισμού που επίσης μπορεί να προκαλούν την ασυμμετρία στην λεκάνη απορροής (Gardner et al. 1987).



Σχήμα 56: Α) Σχηματικό διάγραμμα στο οποίο φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού του Συντελεστή Ασύμμετρίας (τροποποιημένο από Keller and Pinter 2002). Β) Παράδειγμα εφαρμογής του AF: οι λεκάνες απορροής στη βάση του κανονικού ρήγματος έχουν υποστεί κλίση προς ΝΑ.

Ο Δείκτης Ασύμμετρίας υπολογίστηκε και βρέθηκε τιμή 31 με σαφή κλίση της λεκάνης προς τα ΝΔ. Τα αποτελέσματα του δείκτη φαίνεται να συμφωνούν με την ασύμμετρη θέση του κύριου κλάδου του Χάραδρου ποταμού, ο οποίος είναι μετατοπισμένος προς τα ΝΔ σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας της λεκάνης απορροής εξαιτίας του ενεργού ρήγματος των Αφιδνών.



Σχήμα 57: Προσδιορισμός του δείκτη ασυμμετρίας της λεκάνης. Η λεκάνη σαφώς κλίνει προς ΝΔ.

Δείκτης Σχήματος Λεκάνης Απορροής Bs (Drainage Basin Shape) ή Λόγος Επιμήκυνσης Λεκάνης Απορροής (Basin Elongation Ratio). Το σχήμα της λεκάνης απορροής επηρεάζει το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής, επομένως η παροχή που παρατηρείται στο στόμιο της λεκάνης απορροής και το φορτίο του υλικού που μεταφέρεται από το υδρογραφικό δίκτυο, εξαρτώνται από τη γεωμετρία της (Cannon, 1976). Επιπλέον, θεωρείται ότι η τεκτονική δραστηριότητα έχει καθοριστικό ρόλο στη μορφή της λεκάνης απορροής.

Λεκάνες απορροής με επίμηκες σχήμα χαρακτηρίζουν τεκτονικά ενεργές περιοχές (Davis, 1909). Με το πέρασμα του χρόνου, το σχήμα της λεκάνης απορροής γίνεται σταδιακά πιο κυκλικό αφού σταματήσει ή ελαττωθεί η τεκτονική ανύψωση. Η σταδιακή μεταβολή του σχήματος της λεκάνης απορροής γίνεται μέσα από τις διαδικασίες της πλευρικής ανάπτυξης της γραμμής του υδροκρίτη με την “κατάληψη” χώρου από γειτονικές λεκάνες απορροής (Horton, 1945). Λεκάνες



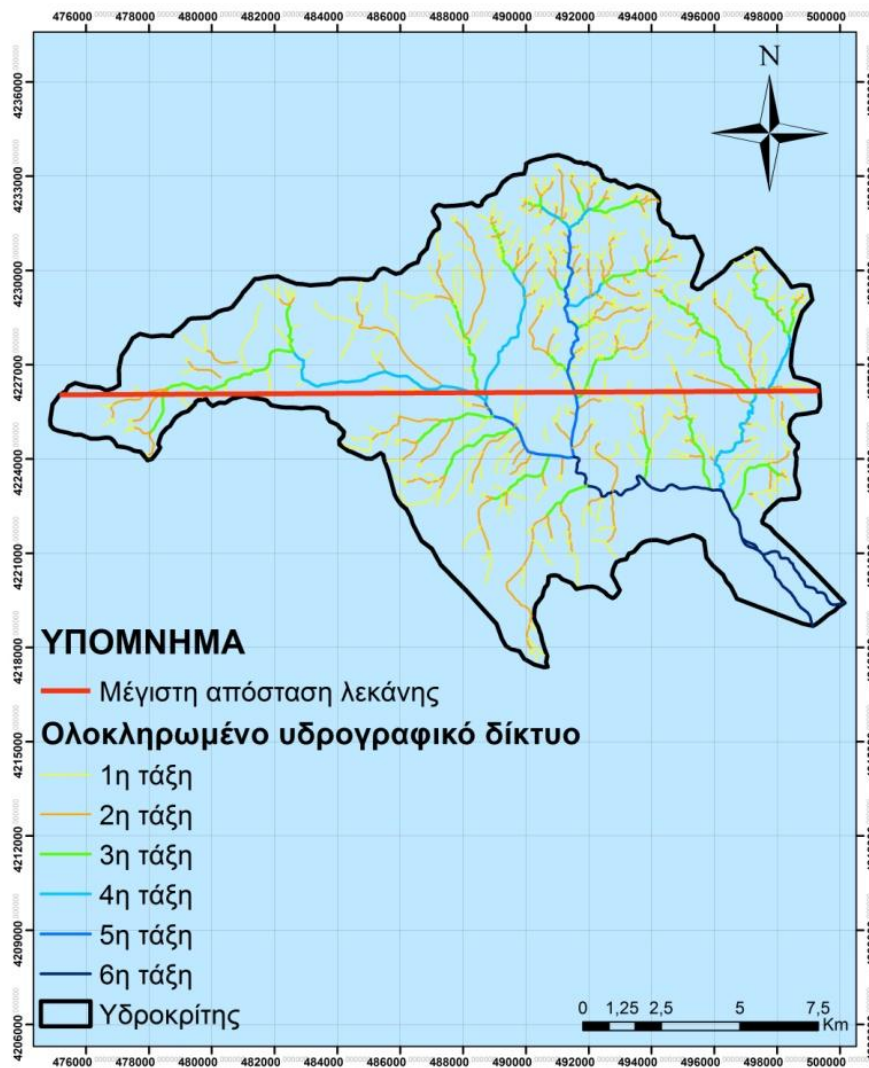
απορροής με επίμηκες σχήμα (τεκτονικά ενεργές) θεωρείται ότι αναπτύσσουν μικρής τάξης δευτερεύον δίκτυο συγκρινόμενες με λεκάνες απορροής κυκλικού σχήματος (ανενεργές τεκτονικά) (Strahler, 1964). Οι Philips και Schumm (1987) περιγράφουν την πλάτυνση της λεκάνης απορροής και την αύξηση της τάξης των κλάδων του δευτερεύοντος δικτύου με την ταυτόχρονη μείωση της συνολικής κλίσης της λεκάνης απορροής. Στις λεκάνες απορροής με επίμηκες σχήμα, η γρήγορη και απευθείας εκβολή των μικρής τάξης δευτερευόντων κλάδων στον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου έχει σα συνέπεια την συγκέντρωση ενέργειας η οποία επικεντρώνεται πρωτίστως σε κατακόρυφη διάβρωση κατά μήκος του κύριου κλάδου (Cannon 1976). Στις κυκλικού σχήματος λεκάνες απορροής στο καλύτερα αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο (με μεγάλης τάξης δευτερεύον δίκτυο) υπερισχύει η μεταφορά “φορτίου” ιζήματος από το σύνολο της λεκάνης απορροής.

Το σχήμα μιας λεκάνης απορροής αρχικά περιγράφηκε από τον λόγο επιμήκυνσης (Canon 1976) που ορίζεται ως ο λόγος της διαμέτρου ενός κύκλου που έχει το ίδιο εμβαδόν με την λεκάνη απορροής προς την απόσταση των δύο πιο απομακρυσμένων σημείων της λεκάνης απορροής (το μήκος της λεκάνης απορροής). Ο λόγος επιμήκυνσης της λεκάνης απορροής υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση:

$$RL = 2 \sqrt{A/\pi} / L$$

όπου A το εμβαδόν της λεκάνης και L το μήκος της λεκάνης.

Με βάση τον τύπο αυτόν, στη συγκεκριμένη λεκάνη ισχύει $RL = 0.65$ και συμπίπτει με τους υπολογισμούς του 2^{ου} νόμου κατά Horton στην επόμενη ενότητα. Η τιμή θεωρείται κάτω του φυσιολογικού (1.5-3.5) και φαίνεται να οφείλεται στη γενική γεωμορφολογία και τεκτονική της περιοχής.



Σχήμα 58: Προσδιορισμός του δείκτη επιμήκυνσης της λεκάνης.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του σχήματος της λεκάνης απορροής είναι αυτός που προτείνεται από τη Ramirez-Herrera (1998) και ονομάζεται *Δείκτης Σχήματος Λεκάνης Απορροής (Bs)*. Ο Δείκτης Σχήματος Λεκάνης Απορροής (*Bs*) υπολογίζεται από την μαθηματική σχέση:

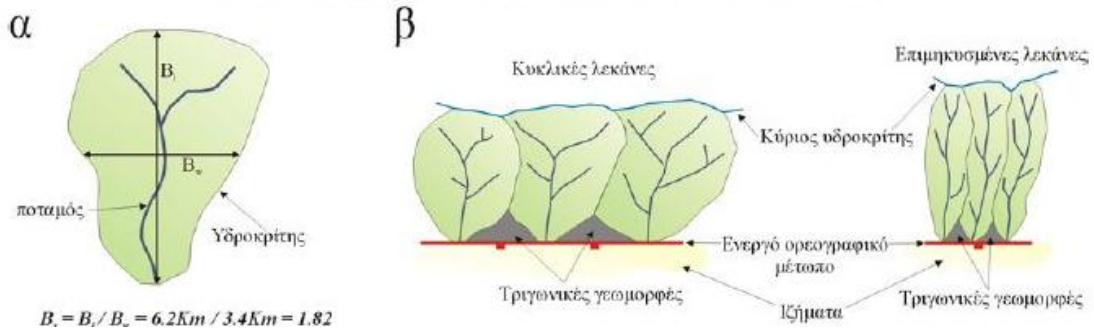
$$Bs = Bl / Bw$$

Όπου, *Bl* είναι το μήκος της λεκάνης απορροής, μετρούμενο από το σημείο εξόδου του ποταμού στη λεκάνη απορροής έως το πιο απομακρυσμένο σημείο του υδροκρίτη και *Bw* είναι το πλάτος της λεκάνης απορροής μετρημένο κατά μήκος του μικρού άξονα της λεκάνης απορροής.

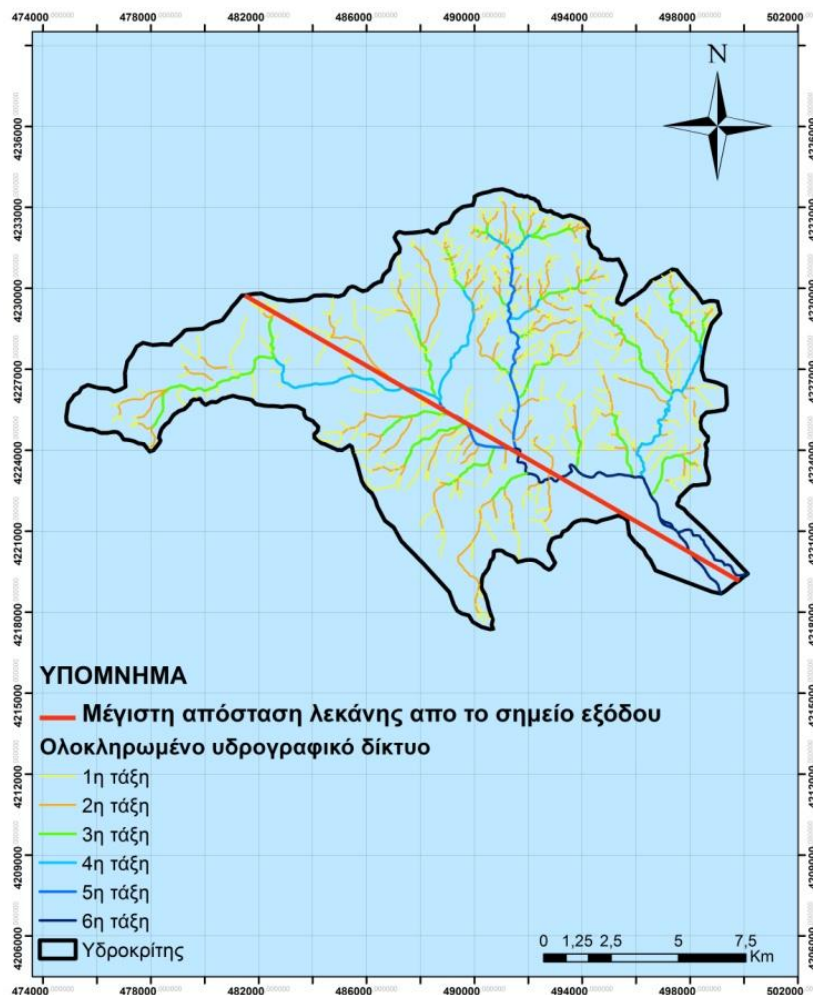
Ο ακριβής τρόπος υπολογισμού του δείκτη *Bs* δίνεται στο σχήμα 56.



Δείκτης Σχήματος Λεκάνης Απορροής Bs (Drainage Basin Shape)



Σχήμα 59: Ο Τσόδουλος (2009) με το σχήμα αυτό δείχνει τον τρόπο υπολογισμού του δείκτη σχήματος λεκάνης απορροής Bs.



Σχήμα 60: Στον χάρτη ορίζεται η μέγιστη απόσταση δυο σημείων της λεκάνης όταν το ένα εξ αυτών βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού.

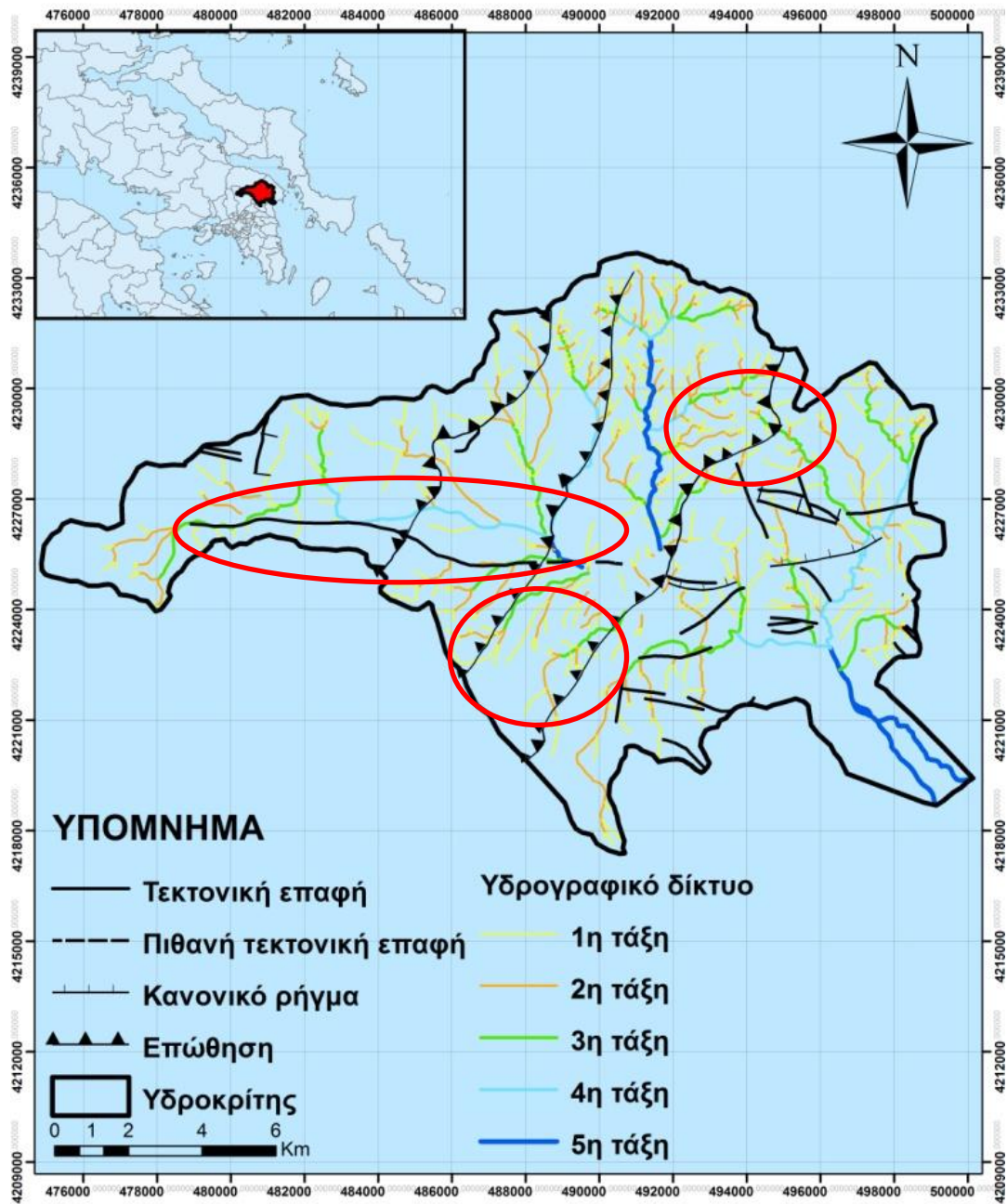


Για την περιοχή του Μαραθώνα ισχύει $B_s = 1,63$ με μέγιστη απόσταση από το σημείο εξόδου τη νοτιή γραμμή που σημειώνεται στον παρακάτω χάρτη και πλάτος λεκάνης το κάθετο ευθύγραμμο τμήμα στο μέσον της γραμμής αυτής. Η τιμή πρακτικά θεωρείται μικρή εξαιτίας της διαπλάτυνσης που υφίσταται η λεκάνη στο δυτικό τμήμα της, λόγω της ύπαρξης του ρήγματος των Αφιδνών. Στις λεκάνες απορροής με επίμηκες σχήμα (υψηλές τιμές του δείκτη B_s), η γρήγορη και απευθείας εκβολή των μικρής τάξης δευτερευόντων κλάδων στον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου έχει σα συνέπεια την συγκέντρωση ενέργειας η οποία επικεντρώνεται πρωτίστως σε κατακόρυφη διάβρωση (κατά μήκος του κύριου κλάδου (Cannon 1976)).

Παρακάτω επιχειρείται συσχέτιση της τεκτονικής με το υδρογραφικό δίκτυο, είναι εμφανής η επίδραση της τεκτονικής διότι διαμορφώνει το υδρογραφικό δίκτυο και σχετίζεται άμεσα με την διάβρωση που υφίσταται η περιοχή. Η ανάπτυξη κάποιων κλάδων ακολουθεί κατά το πλείστον τεκτονικές επαφές με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, οι οποίες είναι ανενεργές και η παράλληλη διάταξη του δικτύου οφείλεται αποκλειστικά στο υλικό παραμόρφωσης που συνοδεύει τις δομές αυτές, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευδιάβρωτο. Επίσης, τα υδρορέματα στο ΝΔ τμήμα του χάρτη έχουν διαμορφωθεί από τη μεγάλη ενεργή τεκτονική ζώνη των Αφιδνών με διεύθυνση σχεδόν Α-Δ.



ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ



Σχήμα 61: Στον παραπάνω χάρτη προσδιορίζεται η σχέση του υδρογραφικού δικτύου με τις υπάρχουσες τεκτονικές δομές της περιοχής. Οι σημειωμένες περιοχές τονίζουν την επίδραση της τεκτονικής στον προσανατολισμό των υδρορεμάτων.



- Ποσοτικά χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου.

Η μελέτη των υδρογραφικών δικτύων έχει μεγάλη σημασία διότι δίνει πληροφορίες σχετικά με τη γεωμορφολογική και τεκτονική εξέλιξη μιας περιοχής. Το εξεταζόμενο υδρογραφικό δίκτυο είναι σύνθετο και αντανακλά τις γεωλογικές, γεωμορφολογικές, τεκτονικές και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής που αποστραγγίζει. Η κεντρική κοίτη του ποταμού έχει διεύθυνση ροής από ΒΔ προς ΝΑ και στη συνέχεια εκβάλλει στον κόλπο του Μαραθώνα, στον νότιο Ευβοϊκό. Το βόρειο και νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης αποστραγγίζεται από ένα καλά αναπτυγμένο δίκτυο με κύριο χαρακτηριστικό το μεγάλο αριθμό κλάδων μικρής τάξης και μικρού μήκους. Το γεγονός αυτό είναι συνδυασμός των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και της αλληλεπίδρασης τους με τους λιθολογικούς κυρίως παράγοντες, διότι στις συγκεκριμένες περιοχές εντοπίζονται οι μεταλπικοί σχηματισμοί του Αν. Μειόκαινου που περιλαμβάνουν τα κροκαλολατυποπαγή του Καπανδριτίου, τους ποταμολιμναίους σχηματισμούς της Πάρνηθας και τους λιμνοχερσαίους σχηματισμούς του Κηφισού. Υπάρχει επομένως πλούσια τροφοδοσία νερού από τις βροχοπτώσεις και η παρουσία των εναλλασσόμενων στρωμάτων αργίλου/άμμου/μαργών μειώνει την κατείσδυση του νερού και δημιουργεί αξιόλογη απορροή.

Το δυτικό τμήμα της λεκάνης αποστραγγίζει τις ανατολικές κλιτείες της Πάρνηθας και φαίνεται να επηρεάζεται από τις μεγαλύτερες τοπογραφικές κλίσεις και την υφιστάμενη τεκτονική δομή. Γενικά κατά θέσεις φαίνεται να επικρατεί μια παράλληλη μορφή υδρογραφικού δικτύου. Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζει περιοχές με σημαντικές κλίσεις κλιτύων ή εκεί που η γεωλογική δομή υποχρεώνει τον σχηματισμό κλάδων σε κανονικά διαστήματα με σχεδόν παράλληλη διάταξη (Schum 1977). Στις θέσεις αυτές δεν υπάρχουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές κλίσεων διότι η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται ως λοφώδης ή πεδινή, οπότε ο γεωλογικός παράγοντας είναι αυτός που τις διαμορφώνει.

Η υδρογραφική υφή ενός υδρογραφικού δικτύου είναι πολύ σημαντική διότι εξαρτάται από την πυκνότητα και τη συχνότητα των κλάδων από τους οποίους αποτελείται.

Η υδρογραφική πυκνότητα είναι το συνολικό μήκος των κλάδων μιας συγκεκριμένης υδρογραφικής λεκάνης απορροής προς τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης αυτής.



$$D_u = \Sigma L_u / \Sigma A_u$$

Η υδρογραφική συχνότητα είναι ο συνολικός αριθμός των κλάδων μια συγκεκριμένης λεκάνης απορροής προς τη συνολική της επιφάνεια.

$$F_u = \Sigma N_u / \Sigma A_u$$

Πίνακας 11: Ποσοτικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα.

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (μετά το 1929)		
Παράμετρος	Συμβολισμός	Τιμή
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	A	188000000,50
Περίμετρος λεκάνης απορροής	P	86.084,83
Συνολικό μήκος ισουψών καμπυλών	Lc	2.533.745,15
Υδρογραφική πυκνότητα	D	0,0019
Υδρογραφική συχνότητα	F	0,0000033
κυκλικότητα	C	0,32
Μέση κλίση	S	8,40



Πίνακας 12: Ποσοτικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου πριν την κατασκευή του ταμειυτήρα.

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (πριν το 1929)		
Παράμετρος	Συμβολισμός	Τιμή
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	A	188000000,50
Περίμετρος λεκάνης απορροής	P	86.084,83
Συνολικό μήκος ισουψών καμπυλών	Lc	2.533.745,15
Υδρογραφική πυκνότητα	D	0,0020
Υδρογραφική συχνότητα	F	0,0000033
κυκλικότητα	C	0,32
Μέση κλίση	S	8,40

Παρατηρείται ότι η μόνη παράμετρος της υδρογραφικής υφής, η οποία έχει αλλάξει πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος είναι η υδρογραφική πυκνότητα, η οποία μειώθηκε μετά το 1929.

1^{ΟΣ} ΝΟΜΟΣ HORTON

Ο 1^{ος} νόμος ονομάζεται και νόμος αριθμού κλάδων και αναφέρεται στη σχέση του αριθμού κλάδων κάθε τάξης ενός υδρογραφικού δικτύου. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι «ο αριθμός κλάδων των διαδοχικά μικρότερης τάξης κλάδων ενός δικτύου, τείνει να σχηματίσει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα και λόγος, ο λόγος διακλάδωσης Rb.

$$Rb = N_u / N_{u+1}$$

Στην ιδανική κατάσταση ισχύει $N_u = μέση\ τιμή\ Rb^{(k-u)}$

Όπου K η μέγιστη τάξη και u η ζητούμενη.



Πίνακας 13: Η τιμή του Rb του 1^{ου} νόμου του Horton για το υδρογραφικό δίκτυο πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος.

1 ^{ΟΣ} ΝΟΜΟΣ HORTON		
Συνδυασμός τάξεων	Rb (μετα το 1929)	Rb (πριν το 1929)
1η, 2η	3,55	3,55
2η, 3η	4,27	4,13
3η, 4η	3,75	5,17
4η, 5η	2,67	3,00
5η, 6η	-	3,00
Μέση τιμή	3,56	3,77

Η ιδανική τιμή του Rb είναι 2:1=2 αφού χρειάζονται δύο κλάδοι μικρής τάξης για να σχηματίσουν έναν κλάδο μεγαλύτερης τάξης. Όταν η τιμή είναι μεγάλη σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότεροι κλάδοι μικρότερης τάξης από την αμέσως μεγαλύτερη τάξη. Όπως παρατηρείται και μετά αλλά και πριν την κατασκευή του φράγματος οι μεγαλύτερες τάξεις (4^η και 4^η-5^η αντίστοιχα) εμφανίζουν μια τάση εξισορρόπησης.

Οι τιμές του συντελεστή διακλάδωσης (Rb) σε φυσικά αναπτυσσόμενα δίκτυα κυμαίνεται από 3 έως 5 (Chorley 1957). Μεγάλες τιμές (>5) του συντελεστή διακλάδωσης απαντούν σε λεκάνες με έντονη τεκτονική δραστηριότητα και μικρές τιμές (<3) σε λεκάνες με ανομοιογενή ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Η τιμή 4 συνήθως δείχνει δίκτυο αναπτυσσόμενο σε πετρώματα με παρόμοια αντίσταση στη διάβρωση (Μαρουκίαν κ.α. 2007).



Πίνακας 14: Ο υπολογισμένος 1^{ος} νόμος του Horton για το υδρογραφικό δίκτυο πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος.

1^{ΟΣ} ΝΟΜΟΣ HORTON				
Τάξη	Αριθμός κλάδων (μετά το 1929)	Ιδανική τιμή Nu (μετά το 1929)	Αριθμός κλάδων (πριν το 1929)	Ιδανική τιμή Nu (πριν το 1929)
1η	455	161	455	762
2η	128	45	128	202
3η	30	13	31	54
4η	8	4	6	14
5η	3	1	2	4
6η	-	-	1	1

Όπως γίνεται αντιληπτό η υφιστάμενη κατάσταση όσον αφορά τον αριθμό των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Μαραθώνα απέχει αρκετά από την ιδανική. Οι διαφοροποιήσεις στην στήλη του Nu μετά και πριν την κατασκευή του φράγματος οφείλονται στην αλλαγή της τάξης του κύριου κλάδου, επειδή η τάξη υπεισέρχεται ως εκθέτης στους υπολογισμούς.

2^{ΟΣ} ΝΟΜΟΣ HORTON

Ο δεύτερος νόμος αναφέρεται στο μήκος των κλάδων ενός δικτύου και στη σχέση του μέσου μήκους των κλάδων κάθε τάξης/ Πιο συγκεκριμένα, αναφέρει ότι: «τα μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, ης οποίας πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και λόγος ο λόγος του μήκους R_L .

$$R_L = \text{Μέσο } L_u / \text{μέσο } L_{(u-1)}$$

Στην ιδανική κατάσταση ισχύει ο τύπος:

$$\text{Μέσο } L_u = \text{μέσο } L_1 * \text{μέσο } R_L^{(u-1)}$$



Όπως έχει αναφερθεί, το μ δείχνει πάντα τη ζητούμενη τάξη

Πίνακας 15: Η υπολογισμένη τιμή του RL του 2^{ου} νόμου του Horton για το υδρογραφικό δίκτυο πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος.

2 ^{ος} ΝΟΜΟΣ HORTON		
Συνδυασμός τάξεων	RL (μετά το 1929)	RL (πριν το 1929)
1η,2η	0,57	0,58
2η,3η	0,53	0,50
3η,4η	0,50	0,46
4η,5η	0,67	0,51
5η,6η	-	1,37
Μέση τιμή	0,57	0,69

Οι τιμές του συντελεστή μήκους σε φυσικά αναπτυσσόμενα δίκτυα κυμαίνεται από 1.5 έως 3.5 (Chorley 1957). Οι διαφορετικές τιμές που προκύπτουν μεταξύ διαφορετικών υδρογραφικών δικτύων αντικατοπτρίζουν διαφορές στην κλίση και την γενικότερη τοπογραφία της λεκάνης απορροής μέσα στην οποία αναπτύσσονται, ενώ έχουν άμεση σχέση με την επιφανειακή απορροή και το στάδιο διάβρωσης που βρίσκεται η λεκάνη απορροής (Sreedevi et al. 2004).

Εκτός από την περίπτωση του μήκους των κλάδων δεύτερης τάξης στο υδρογραφικό δίκτυο που δημιουργήθηκε μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα, παρατηρούμε ότι το μήκος των κλάδων είναι μικρότερο από την ιδανική κατάσταση και ειδικά στην περίπτωση του υδρογραφικού δικτύου που δεν είχε υποστεί τις ανθρώπινες παρεμβάσεις του ανθρώπου το 1929. Αυτό πρακτικά προσδιορίζει την πρόσφατη δημιουργία των κλάδων. Δεν έχει γίνει δηλαδή ακόμα εξισορρόπηση του μήκους των κλάδων. Όταν η απόκλιση είναι αρνητική (πραγματική τιμή μείον ιδανική) μπορεί να οφείλεται στο νεαρό του σταδίου εξέλιξης του δικτύου όπου οι κλάδοι μικρής τάξης είναι πολυάριθμοι αλλά μικροί σε μήκος και οι κλάδοι μεγαλύτερης τάξης μικροί σε μήκος και αριθμό.



Πίνακας 16: Ο υπολογισμένος 2^{ος} νόμος του Horton για το υδρογραφικό δίκτυο πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος με το μήκος κλάδων μετρημένο σε “m”.

2 ^{ος} ΝΟΜΟΣ HORTON				
Τάξη	Μήκος κλάδων (μετά το 1929)	Ιδανική τιμή Lu (μετά το 1929)	Μήκος κλάδων (πριν το 1929)	Ιδανική τιμή Lu (πριν το 1929)
1η	170.790	170.790	170.852	170.852
2η	97.107	96.661	98.653	117.197
3η	51.710	54.706	49.346	80.393
4η	25.701	30.962	22.910	55.146
5η	17.110	17.523	11.775	37.828
6η	-	-	16.178	25.948

Ο 3^{ος} νόμος του Horton δεν εφαρμόζεται διότι δεν υπάρχουν δεδομένα για τις λεκάνες όλων των κλάδων.

- Επιφάνειες επιπέδωσης-Αναβαθμίδες

Επιφάνειες επιπέδωσης παρατηρούνται σε ποικίλα υψόμετρα από 140m μέχρι και 1100m. Οι χαμηλότερου υψόμετρου επιφάνειες παρατηρούνται νοτιοδυτικά και δυτικά του Μαραθώνα σε μάρμαρα ενώ, επιφάνειες των 320-380m εντοπίζονται βόρεια και βορειοδυτικά της λίμνης στα κροκαλολατυποπαγή του Καπανδριτίου και στους αργιλικούς σχιστόλιθους της ενότητας των Αφιδνών. Βορειοανατολικά της λίμνης οι επιφάνειες επιπέδωσης βρίσκονται σε υψόμετρο 400-460m (Παυλόπουλος et al. 2005). Βόρεια βρίσκονται και οι επιφάνειες των 500-560m ενώ δυτικά υφίστανται επιφάνειες επιπέδωσης σε ποικίλα και αυξημένα υψόμετρα 600-660m, 700-750m, 800m, 1000m, 1100m).

Οι αναβαθμίδες αποτελούν σημαντικό γεωμορφολογικό δείκτη όσον αφορά τη δράση του χειμάρρου. Στα ανάντη του οικισμού του Μαραθώνα διακρίνονται δυο συστήματα αναβαθμίδων, το ανώτερο και το κατώτερο σύστημα. Μέσα στο χώρο της κοιλάδας του ποταμού. Το ανώτερο τμήμα αποτελείται από 1-2 αναβαθμίδες,



μονόπλευρα ανεπτυγμένες με πλάτος 10-30m και ύψος 2-3m η καθεμιά. Στην απέναντι όχθη η ανάπτυξη μεγάλου πλάτους επιφάνειας επέτρεψε τον σχηματισμό μόνο μιας αναβαθμίδας, η οποία καλλιεργείται με αποτέλεσμα αλλοιώσεις στη μορφολογία της να είναι πολύ πιθανές.

Το κατώτερο σύστημα βρίσκεται στο χώρο της σημερινής κοίτης του Χάραδρου και αποτελείται από δύο ζεύγη αναβαθμίδων. Το υψηλότερο ζεύγος έχει καλή ανάπτυξη και ύψος 9m με πλάτος κοίτης 30m ενώ το χαμηλότερο έχει περιορισμένη ανάπτυξη και μέτωπο ύψους 1,5m με πλάτος κοίτης περί τα 4-6m. Στο αλλουβιακό ριπίδιο εντοπίζονται δύο ζεύγη αναβαθμίδων. Τα μέτωπα τους κυμαίνονται από 2-6 m μέχρι και 4-7m. Σε μικρότερα υψόμετρα περιορίζονται σε ένα μόνο ζεύγος με μέτωπο 2-3m (Παυλόπουλος et al. 2005).

Η Μαργώνη (2006) κατά την πραγματοποίηση της διδακτορικής της έρευνας μελέτησε αεροφωτογραφίες του 1945 στις οποίες φαίνεται ότι ο οικισμός του Αγ. Παντελεήμονα αποτελούνταν από ελάχιστα σπίτια δυτικά των εκβολών του τοπικού ρέματος, διότι όλη η παράκτια ζώνη αποτελούνταν από ελώδεις περιοχές παλαιών εκβολών. Χαρακτηριστική τονίζει ότι είναι η ανάπτυξη του παράκτιου αμμώδους φράγματος που κλείνει τις εκβολές των ρεμάτων προς τη θάλασσα με μικρό πλάτος 10-25m.

Ο ποταμός Οινόης ή Χάραδρος βρίσκεται στην ΒΑ Αττική. Το συνολικό μήκος της κοίτης του είναι 31km και η λεκάνη απορροή έχει έκταση 177 km². Περιβάλλεται από τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας (δυτικά) και της Πεντέλης (νότια). Η γενική διεύθυνση ροής του είναι από Δύση προς Ανατολή και εκβάλλει στον όρμο του Μαραθώνα. Κατά μήκος της κοίτης του έχει κατασκευασθεί το φράγμα του Μαραθώνα με την ομώνυμη τεχνητή λίμνη. Στο βόρειο τμήμα του υδροκρίτη συναντώνται υψόμετρα 500m. Στην περιοχή αυτή διαχωρίζεται η λεκάνη απορροής του Οινόη από τα μικρότερα υδρογραφικά δίκτυα που ρέουν προς τον νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Το υδρογραφικό δίκτυο του Οινόη ποταμού δεν μπορεί να ταυτιστεί απόλυτα με μία από τις αναγνωρισμένες υπάρχουσες μορφές δικτύου.

Η ανάντη της λίμνης λεκάνη απορροής έχει έκταση περί τα 120 km² ενώ στα κατάντη η λεκάνη έχει έκταση περί τα 65 km². Η ανθρώπινη επέμβαση προκάλεσε σημαντικές διαφοροποιήσεις στη λειτουργία του χειμαρρικού καθεστώτος του Χάραδρου. Πρόκειται για τον μέσο ρου του ποταμού στον οποίο κατασκευάστηκε ο τεχνητός

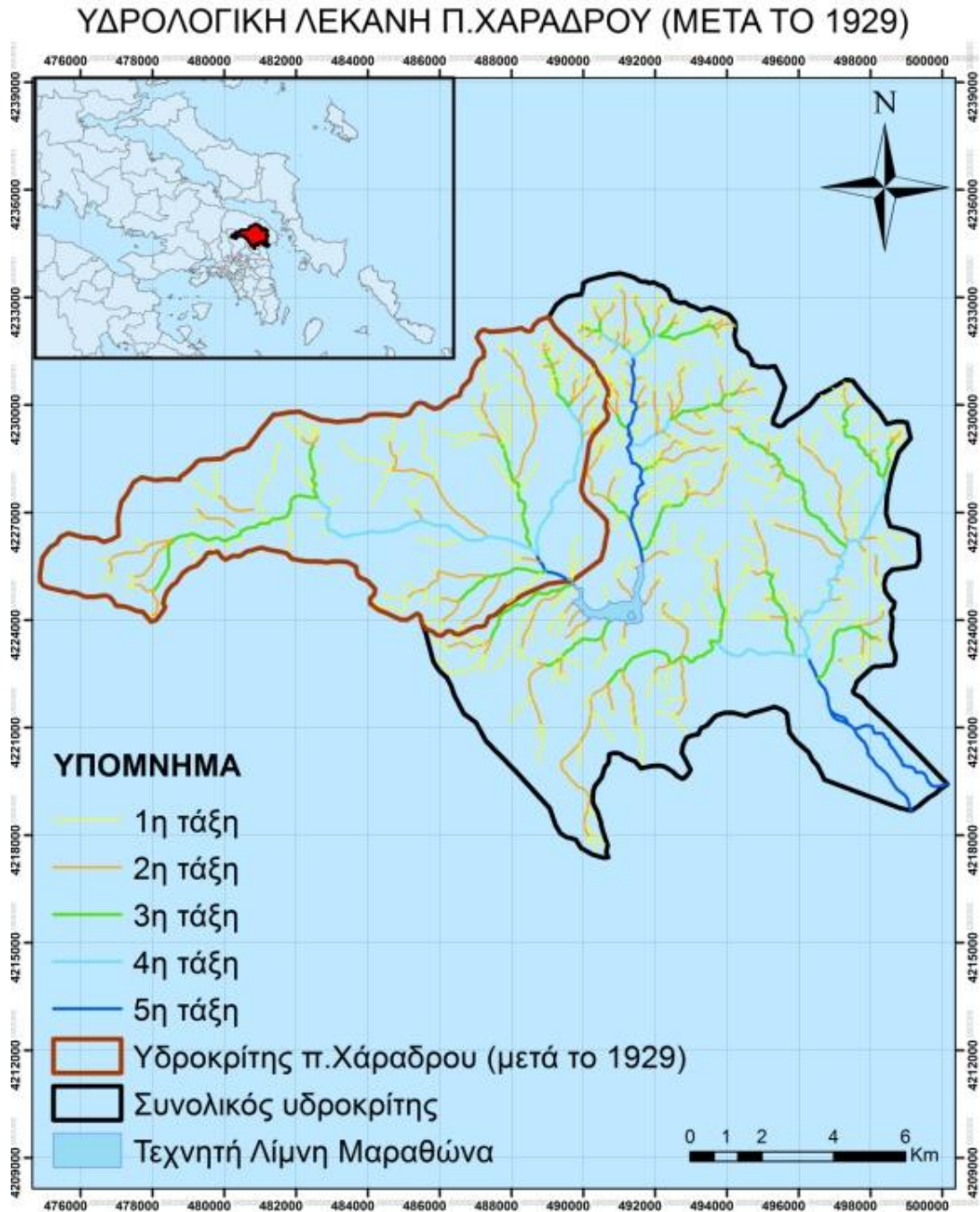


ταμιευτήρας του Μαραθώνα Το μεγαλύτερο μέρος της ροής του νερού και της μεταφοράς φερτών υλών παραμένει σήμερα στη λίμνη του Μαραθώνα.

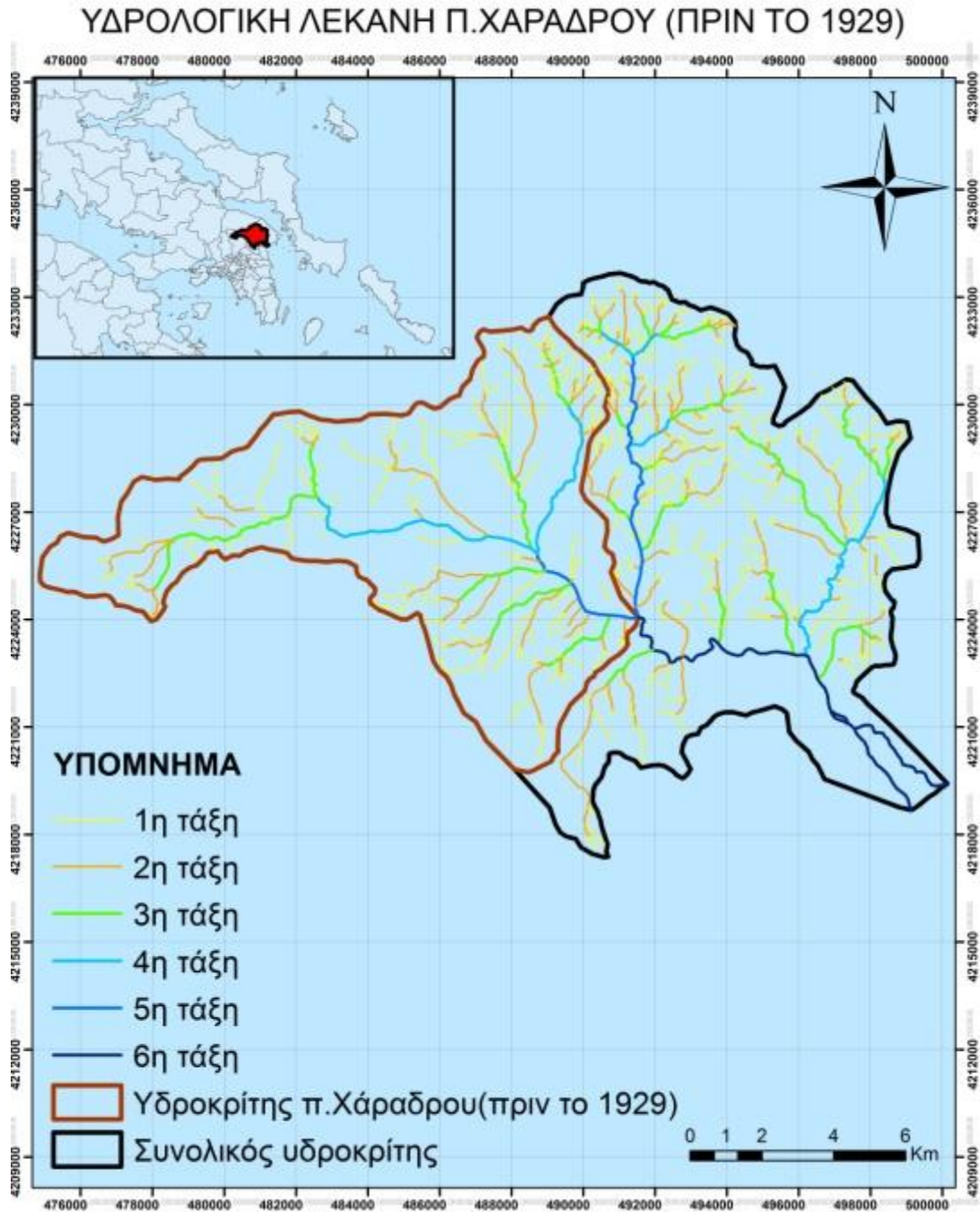
Αξίζει να εξεταστεί ο εγκιβωτισμός του χειμάρρου μέσα στα πετρώματα του υποβάθρου και στις ίδιες τις αλλουβιακές του αποθέσεις. Σύμφωνα με τον Παυλόπουλο (2002) υπάρχουν βαθειά φαράγγια τα οποία έχουν διανοιχτεί από τον Χάραδρο με βάθος έως και 100 μέτρων σε τρία τουλάχιστον σημεία της διαδρομής του κύριου κλάδου του. Τα δύο σημεία βρίσκονται ανάντη της λίμνης κοντά στις Αφιδνες ενώ μόνο μια θέση βρίσκεται στα κατάντη της λίμνης. Η διάνοιξη αυτή αποδίδεται σε πρόσφατες τεκτονικές κινήσεις σε συνδυασμό με τη δράση των ρεμάτων. Μάλιστα παρατηρείται διαφοροποίηση της υδρογραφικής πυκνότητας, ανάλογα με τον τύπο του γεωλογικού σχηματισμού τον οποίο διαχύει η κοίτη. Επομένως, λιγότεροι κλάδοι εμφανίζονται στο τμήμα του υδροκρίτη που καλύπτεται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα, τα οποία είναι συμπαγή πετρώματα, ενώ λεπτή υδρογραφική υφή υφίσταται στα κροκαλολατυποπαγή στην περιοχή του Καπανδριτίου και στις αργιλούχες αποθέσεις.

Στην κεντρική κοίτη του Οινόη ποταμού στην περιοχή των Αφιδνών εντοπίζονται δυο ποτάμιες αναβαθμίδες με Ολοκαινική ηλικία. Το μέτωπο της ανώτερης φτάνει τα 2m ενώ της κατώτερης το 1,5m. Αναβαθμίδες εντοπίζονται και στο αλλουβιακό ριπίδιο στις εκβολές του ποταμού. Μετά το φράγμα, στη έξοδο από το φαράγγι αναπτύσσονται δυο και πάλι αναβαθμίδες με τα ίδια μέτωπα και ίδια ηλικία όπως και οι προηγούμενες. Έντονη κατά βάθος διάβρωση παρατηρείται κατά μήκος του κεντρικού κλάδου του συστήματος κυρίως στην περιοχή των Αφιδνών και του Καπανδριτίου, το οποίο αναπτύσσεται στα κροκαλολατυποπαγή. Στα κατάντη υφίσταται οπισθοδρομούσα διάβρωση (Παυλόπουλος 2002).

Η λεκάνη του Χάραδρου πριν την κατασκευή του φράγματος είχε έκταση περί τα 87,9km², η οποία μετά το 1929 μειώθηκε κατά 18,1km².



Σχήμα 62: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου του Χάραδρου ποταμού (5 τάξεις) μετά την κατασκευή του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα.

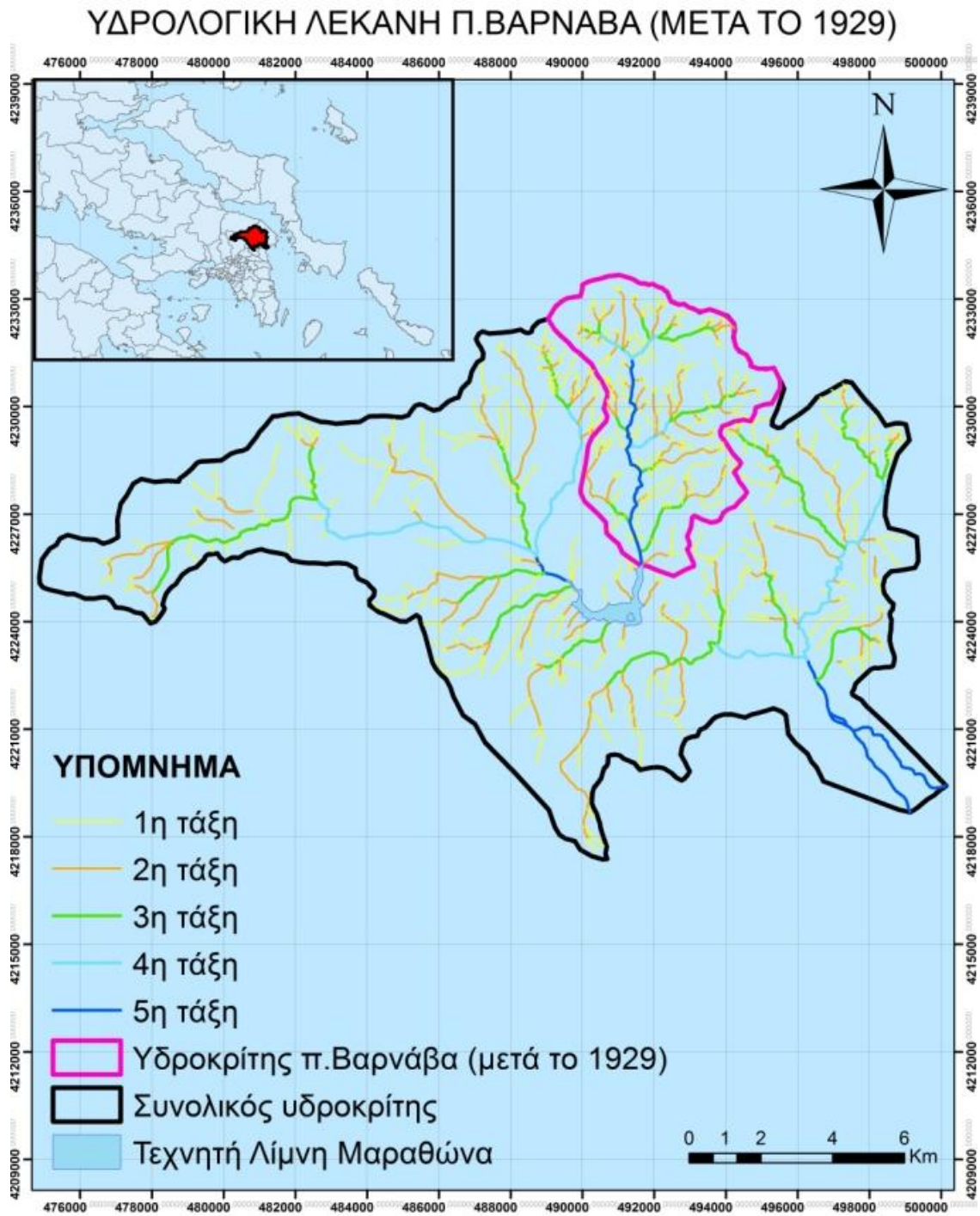


Σχήμα 63: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου του Χάραδρου ποταμού (6 τάξεις) πριν την κατασκευή του τεχνητού ταμειυτήρα του Μαραθώνα. Η κατασκευή του φράγματος περιορίσε την λεκάνη απορροής του Χάραδρου κατά 18,1 km².

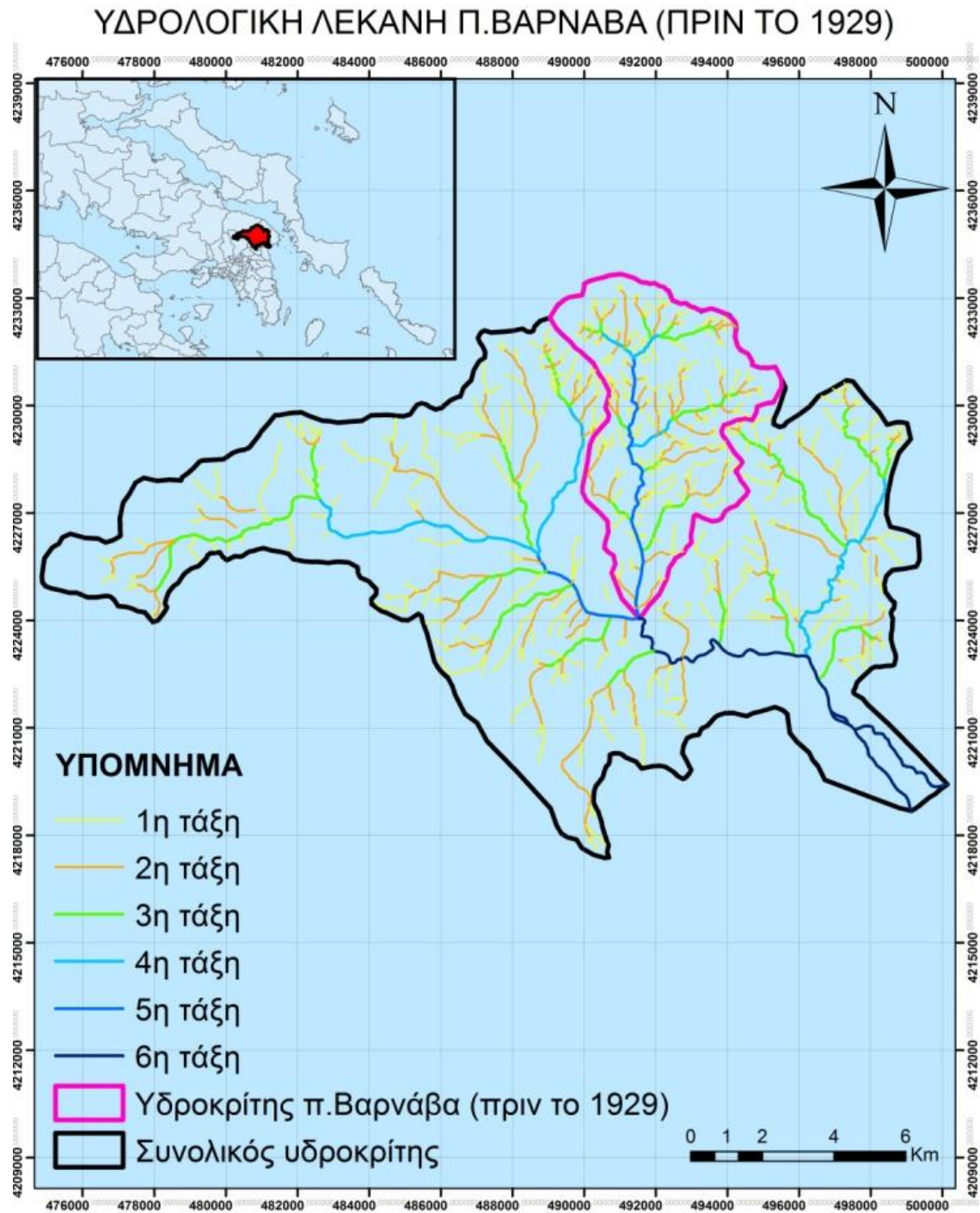


Ο ποταμός Βαρνάβας. Η λεκάνη απορροής του Βαρνάβα είναι μια επιμήκης λεκάνη με κεντρικό άξονα διεύθυνσης Β-Ν. Βρίσκεται βορειοανατολικά του ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Η λεκάνη έχει μήκος 9,5 km ενώ πλάτος (Α-Δ) περί τα 4,5-5 km. Όλη η λεκάνη έχει έκταση περί τα 30.90 km². Στη λεκάνη δεν παρατηρούνται μεγάλες υψομετρικές διαφοροποιήσεις. Το μέγιστο υψόμετρο εντοπίζεται στα ΒΔ με τιμή 580m και η χαμηλότερη υψομετρικά περιοχή είναι κατά μήκος της λίμνης με τιμή περί τα 230m. Η μέση τιμή κλίσης των πρανών είναι 16 % με κύριο προσανατολισμό πρανών προς νοτιοδυτικά.

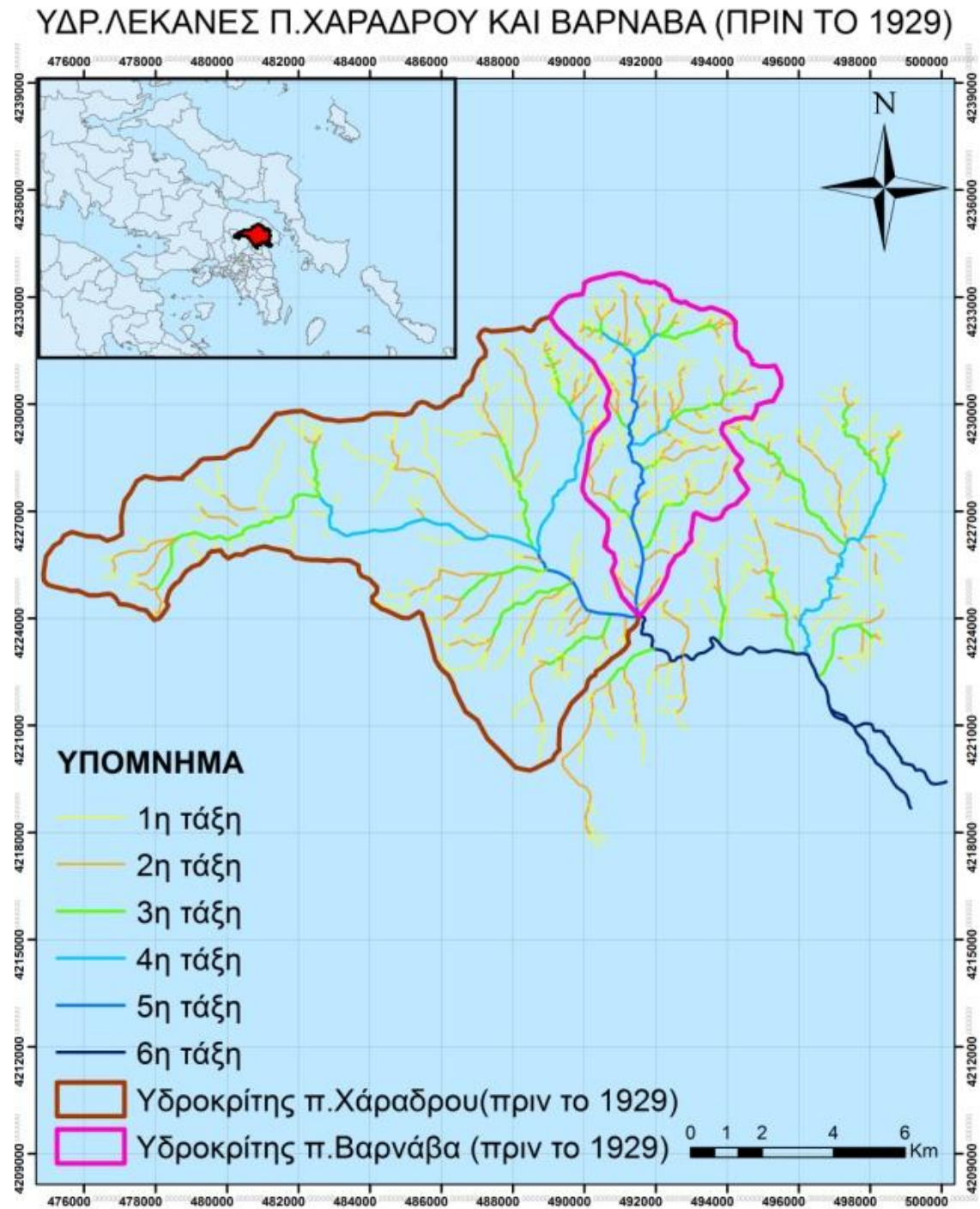
Η λεκάνη του Βαρνάβα πριν την κατασκευή του φράγματος είχε έκταση περί τα 32,2km², η οποία μετά το 1929 μειώθηκε κατά 1,6km².



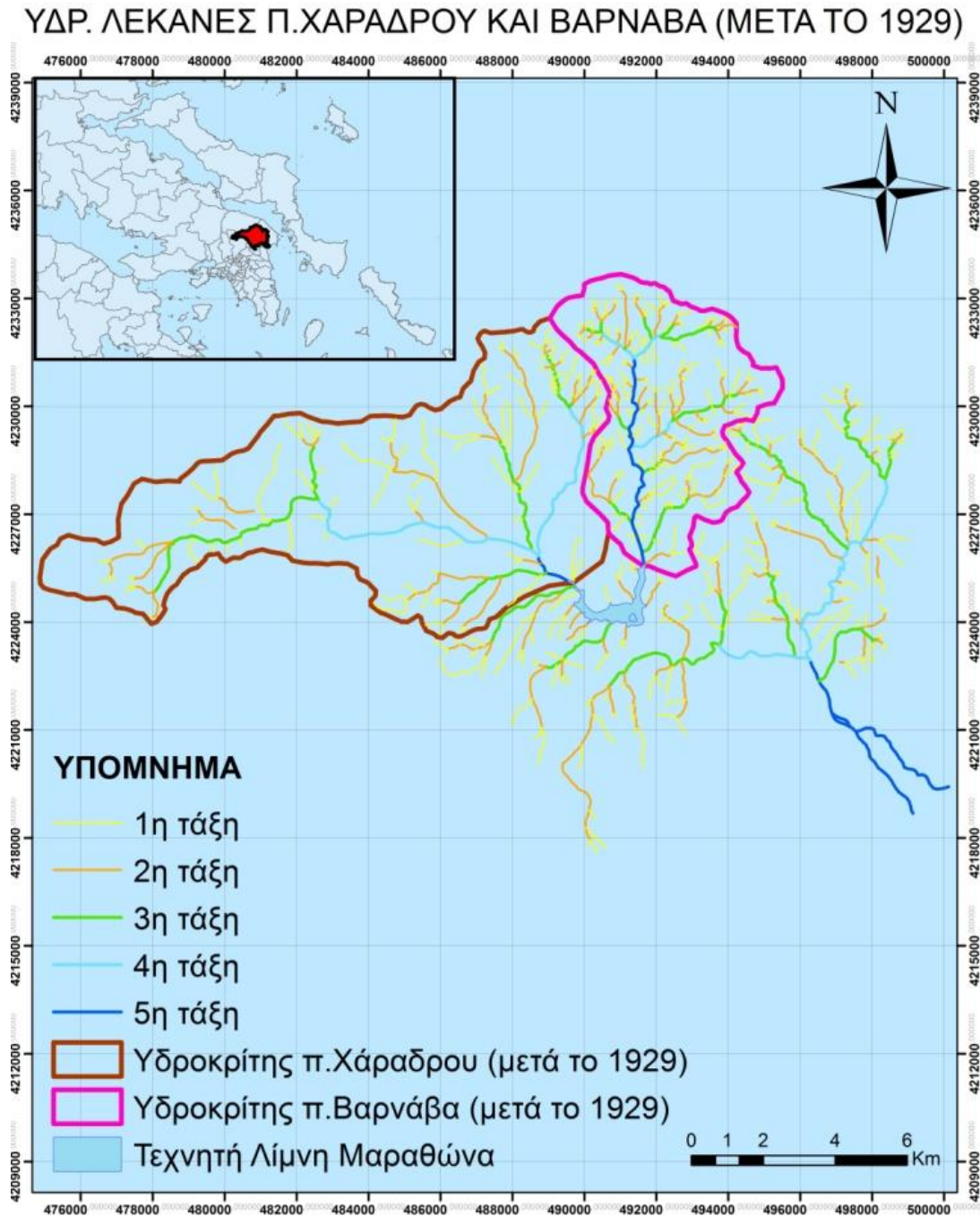
Σχήμα 64: Λεκάνη απορροής ποταμού Βαρνάβα, μετά την κατασκευή του φράγματος (1929).



Σχήμα 65: Λεκάνη απορροής ποταμού Βαρνάβα, πριν την κατασκευή του φράγματος (1929), η οποία είχε έκταση $32,2\text{km}^2$ και στη συνέχεια μειώθηκε κατά $1,6\text{km}^2$.



Σχήμα 66: Στον παραπάνω χάρτη οριοθετούνται οι λεκάνες απορροής των δυο βασικών υδρογραφικών δικτύων που εντοπίζονται μέσα στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του Μαραθώνα, πριν την κατασκευή του φράγματος το 1929.



Σχήμα 67: Στον παραπάνω χάρτη οριοθετούνται οι λεκάνες απορροής των δυο βασικών υδρογραφικών δικτύων που εντοπίζονται μέσα στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του Μαραθώνα, μετά την κατασκευή του φράγματος το 1929. Οι διαφορές των δύο χαρτών είναι εμφανείς. Η ανθρώπινη παρέμβαση είναι σημαντική σε βαθμό να μειώνει τον αριθμό των τάξεων των κλάδων (από 6 σε 5 τάξεις) και τη έκταση των λεκανών του Χάραδρου και του Βαρνάβα κατά $18,1\text{km}^2$ και $1,6\text{km}^2$ αντίστοιχα.



5.10 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

Τα φράγματα αποτελούν τα μεγαλύτερα υδρογεωλογικά έργα του ανθρώπου που διακόπτουν φαινομενικά τον φυσικό υδρολογικό κύκλο. Εκμεταλλευόμενοι τα νερά αυτά προμηθευόμαστε νερό για άρδευση, ύδρευση και παραγωγή ενέργειας. Στην Ελλάδα το ¼ της επιφανειακής απορροής καταλήγει σε φράγματα (Ξανθόπουλος 1996). Ένα φράγμα είναι στοιχείο ανάπτυξης για τη γειτνιάζουσα περιοχή αλλά και πιθανό έργο καταστροφής. Ευτυχώς στον ελληνικό χώρο δεν έχουν παρατηρηθεί καταστροφικά γεγονότα. Ένα τέτοιο έργο επηρεάζει τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από τη λεκάνη κατάκλισης του φράγματος, επηρεάζει τα ίδια τα πετρώματα, τις χρήσεις γης, τους φυσικούς πόρους αλλά και τη διάθεση των υποπροϊόντων της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ανεξάρτητα από τον τύπο του φράγματος, το μέγεθος του και άλλα χαρακτηριστικά του, το κύριο αποτέλεσμα είναι η μόνιμη ή η προσωρινή διακοπή της απορροής. Μάλιστα σε περίπτωση μόνιμης διακοπής υφίσταται και το ζήτημα της αλλαγής του επιπέδου βάσεως, που επηρεάζει το καθεστώς της διάβρωσης στα ανάντη. Εκτός από τα επιφανειακά νερά επηρεάζονται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό και τα υπόγεια νερά. Ειδικά σε περιπτώσεις στις οποίες το νερό του φράγματος χρησιμοποιείται για κατανάλωση, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση των συνθηκών στα κατάντη αφού η απώλεια νερού είναι δεδομένη (Στουρνάρας 2007).

Η ιστορία της κατασκευής των φραγμάτων ξεκινά πριν από πολλούς αιώνες πριν αρχίσουν οι προβληματισμοί σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των μεγάλων έργων. Τα πρώτα φράγματα κατασκευάστηκαν για λόγους αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση του νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς λόγους. Τα φράγματα των προηγούμενων αιώνων είναι σημαντικά μικρότερα, ενώ τα φράγματα του παρόντος είναι αποτέλεσμα συσσωρευμένης γνώσης και εμπειρίας αξιοποιώντας στο μέγιστο βαθμό τους νόμους της υδρογεωλογίας και της μηχανικής. Τα τελευταίες δεκαετίες τα φράγματα έχουν βρεθεί στο προσκήνιο όσον αφορά τις έμμεσες ή άμεσες, οικονομικές ή μη επιπτώσεις που «δέχεται» η γειτνιάζουσα περιοχή, οι οποίες έχουν αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με το παρελθόν (Φιλίντας 2008).



Τα συνοδά έργα ενός φράγματος είναι κοινά για όλους τους τύπους φραγμάτων:

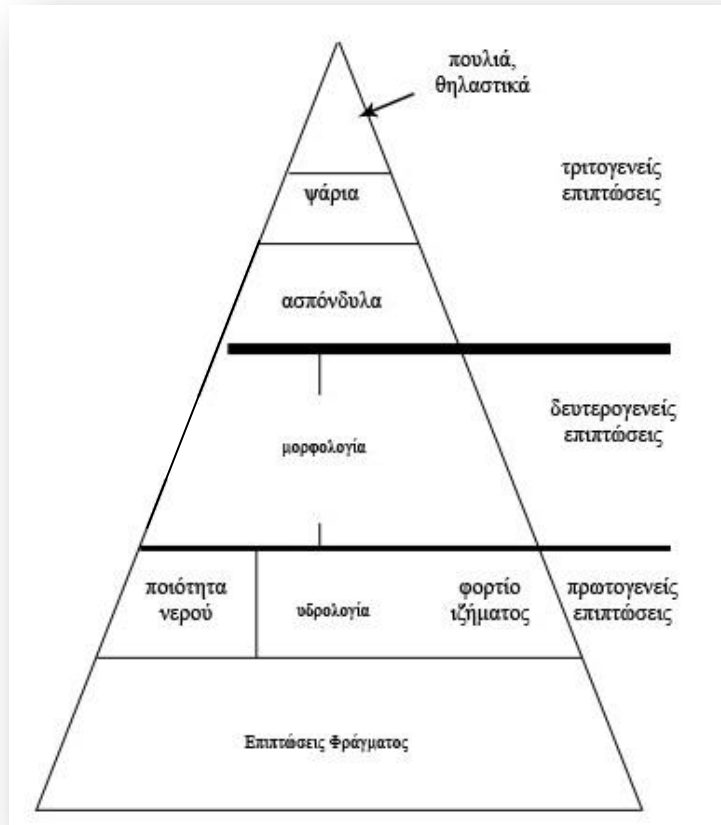
- Ο εκκενωτής πυθμένα χρησιμοποιείται για την ταχεία εκκένωση του ταμιευτήρα. Συνήθως αποτελεί τη συνέχεια της σήραγγας εκτροπής που κατασκευάζεται για να εκτραπεί το ποτάμι και να κατασκευασθεί το έργο σε ξηρή κατάσταση.
- Ο υπερχειλιστής κατασκευάζεται για τη διοχέτευση του περισσευούμενου όγκου νερού πάνω στο κύριο σώμα του φράγματος στους άκαμπτους τύπους (όπως στην περίπτωση του Μαραθώνα).
- Η υδροληψία η οποία είναι ένα σύνολο αγωγών κτλ για την υδροδότηση της εκάστοτε χρήσης του έργου.
- Τα όργανα ελέγχου λειτουργίας, ώστε να παρακολουθείται συνεχώς το έργο, τα πρηνή και το έδαφος θεμελίωσης.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φράγμα είναι η υδροστατική πίεση που ασκεί το νερό της λίμνης πάνω στο σώμα του φράγματος, οι πιέσεις πόρων και οι υποπιέσεις που ασκεί το νερό που κινείται κάτω από το φράγμα, και οι δυνάμεις των ωθήσεων γαιών που ασκούνται στη θεμελίωση. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα άκαμπτα φράγματα δεν επιτρέπουν τη διέλευση νερού μέσα από το σώμα τους.

- Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις ενός φράγματος εκτός από τη μεταβολή των υδρολογικών συνθηκών είναι μοναδικές, πολυάριθμες και σημαντικές. Σήμερα είναι γνωστό ότι οι επιδράσεις των φραγμάτων στα οικοσυστήματα είναι αλληλοεξαρτώμενες και βαθύτατα εδραιωμένες. Οι επιπτώσεις λοιπόν εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως: η κατασκευή του φράγματος, ο τρόπος λειτουργίας του, η υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής, η ιζηματογένεση, η γεωμορφολογία, το κλίμα και τα χαρακτηριστικά του βιοκόσμου (η πανίδα και η χλωρίδα της λεκάνης κατάκλυσης) (Kondolf G.M 1997).

Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι μακροπρόθεσμες ή βραχυπρόθεσμες και εκτείνονται ανάλογα με το βαθμό ευαισθησίας της γύρω περιοχής.



Σχήμα 68: Πρωτογενείς, δευτερογενείς και τριτογενείς επιπτώσεις των φραγμάτων μέσα σε μία λεκάνη απορροής (πηγή:WCD).

Αρχικά, επηρεάζεται η πανίδα και η χλωρίδα της περιοχής και μεταβάλλεται το μικροκλίμα της ευρύτερης περιοχής. Στα κατάντη εμφανίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στον υδρογεωλογικό κύκλο, διότι υπάρχει απώλεια τροφοδοσίας σε νερό των υδροφόρων οριζόντων. Αλλάζουν επομένως το ιζηματολογικό καθεστώς και τα θρεπτικά συστατικά στα κατάντη. Μεταβάλλεται η θερμοκρασία του νερού και η χημική του σύσταση. Στα οικοσυστήματα επιφέρει σημαντικές αλλαγές καθότι προκαλεί μεταναστεύσεις ζώων (Dynesius and Nilsson 1994). Η αλλαγή του επιπέδου βάσεως της απορροής επιφέρει σημαντικά προβλήματα στο καθεστώς διάβρωσης και απόθεσης. Οι περιοχές στα κατάντη έχουν έλλειψη σε υλικό απόθεσης (ιζήμα) αφού το νερό που διοχετεύεται από το φράγμα έχει διαβρωτική δράση και όχι αποθετική διότι δεν περιλαμβάνει διαλυμένα συστατικά. Τέλος, προβλήματα υφίστανται και στην περιοχή των εκβολών με αποτέλεσμα η διαβρωτική δράση της θάλασσας να είναι πλέον μεγαλύτερη από την αποθετική δράση του ποταμού (Πούλος 1999). Επομένως οι επιπτώσεις μπορούν να χωριστούν σε



επιπτώσεις της λεκάνης απορροής, της λεκάνης κατάκλυσης, της ζώνης του φράγματος και επιπτώσεις στα κατάντη (Στουρνάρας 2007).

Αφού επέλθει ισορροπία, τα φράγματα δημιουργούν ένα νέο και υγιές οικοσύστημα και αναβαθμίζουν την περιβάλλουσα περιοχή, όμως αυτή η νέα ισορροπία στο χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον στις εκβολές δεν έχει τη δυνατότητα να αποκτήσει την προηγούμενη οικολογική κατάσταση του (Φιλίντας 2008).

Ένα φράγμα μπορεί να αξιοποιηθεί κατά ποικίλους τρόπους:

- Περιβαλλοντικές και οικολογικές δραστηριότητες γύρω από τον ταμιευτήρα είναι εφικτές, διότι ο περιβάλλον χώρος είναι φιλόξενος για τον άνθρωπο και τις οικολογικές δραστηριότητες του, οι οποίες επιτρέπουν τη αειφόρο ανάπτυξη της περιοχής και την ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης του ανθρώπου.
- Αξιοθέατα στην περιβάλλουσα περιοχή. Ακόμα και κατασκευές μέσα στο νερό είναι ενδεικτικές μιας αειφόρου ανάπτυξης της περιοχής με σκοπό να προσελκύσει τον άνθρωπο. Οι πεζογέφυρες, καλύβες μέσα στο νερό αποτελούν σπάνιες και ενδιαφέρουσες λύσεις που μπορούν πολύ εύκολα να αξιοποιηθούν λόγω των φιλόξενων νερών του ταμιευτήρα.



Σχήμα 69: Κέντρο αναψυχής στο φράγμα του Μαραθώνα (φωτ.2009)



Η κατασκευή ενός φράγματος γίνεται με στόχο τη συγκράτηση και αποθήκευση του νερού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό και το ίδιο το φράγμα είναι οι περιβάλλοντες γεωλογικοί σχηματισμοί με τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, το στεγανωτικό στοιχείο και τα στοιχεία στήριξης του στεγανωτικού στοιχείου (σε κάποια φράγματα τα δυο αυτά χαρακτηριστικά ταυτίζονται).

Επομένως λαμβάνονται υπόψη:

- Γεωλογικούς σχηματισμούς
- Τεκτονισμός/ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων
- Επιλογή θέσης
- Σχεδιασμός (εκτίμηση γεωτεχνικών χαρακτηριστικών)
- Σχεδιασμός φράγματος (τύπος, διαστάσεις)

Οι ταμιευτήρες σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με σκοπό τον έλεγχο και τη ρύθμιση της παροχής των υδατορευμάτων. Ανάλογα με το μέγεθος τους καλούνται δεξαμενές, λιμνοδεξαμενές ή τεχνητές λίμνες. Πίσω από το φράγμα η περιοχή κατακλύζεται με το νερό που διοχετεύει ο ποταμός και ονομάζεται λεκάνη κατάκλυσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία αποθηκευμένου όγκου νερού με τον όγκο του σώματος του φράγματος τόσο αποδοτικότερο θεωρείται το έργο.

Η λειτουργία ενός φράγματος βασίζεται στην εξίσωση:

ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ = ΕΙΣΡΟΗ- ΑΠΟΛΗΨΗ –ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Απώλειες είναι οι απώλειες όγκου νερού από εξάτμιση, διήθηση ή ακόμα και υπερχειλίση. Ο συνολικός όγκος του ταμιευτήρα είναι πάντοτε αρκετά μεγαλύτερος από τον ωφέλιμο όγκο του διότι λαμβάνονται υπόψη τα υλικά της λεκάνης απορροής που μεταφέρονται μέσω των υδατορευμάτων και καταλήγουν στον πυθμένα του ταμιευτήρα και ο πλεονάζων όγκος πάνω από τον ωφέλιμο για ανάσχεση των πλημμύρων, μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα.

Ο έλεγχος της απόδοσης των ταμιευτήρων ελέγχεται από την εξίσωση:

ΑΡΧΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ + ΕΙΣΡΟΗ –ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ -ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΠΑΙΤΗΣΗ= ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (Βαφειάδης 2004).



- Τύποι φραγμάτων

Τα φράγματα από σκυρόδεμα είναι μονολιθικές κατασκευές. Οι κυριότεροι τύπου είναι τα τοξωτά φράγματα και τα φράγματα βαρύτητας. Τα φράγματα βαρύτητας χρησιμοποιούν το βάρος τους ώστε να αντιστέκονται στις υδατικές πιέσεις. Ένα φράγμα βαρύτητας λειτουργεί ως τείχος αντιστήριξης των πρηνών της κοιλάδας και αντέχουν σε θλιπτικές δυνάμεις παράλληλες στον άξονα τους σε περίπτωση κατολίσθησης ή ερπυσμού των πρηνών. Μεταφέρουν τις τάσεις στη βάση τους. Το τοξωτό φράγμα απαιτεί 35% -65% λιγότερο σκυρόδεμα από τον προηγούμενο τύπο και είναι προτιμότερο για περιβαλλοντικούς λόγους διότι απαιτούνται λιγότεροι δανειοθάλαμοι (Καλκάνη 1994). Τα τοξωτά φράγματα διοχετεύουν τις δυνάμεις που δέχονται στη θεμελίωση τους, στην οποία λόγω του μικρού πλάτους της ενεργούν ήδη υψηλές δυνάμεις διήθησης που θεωρούνται ελεγχόμενες μέσω του πετάσματος αποστράγγισης.

- Το φράγμα του Μαραθώνα

Το έργο δρομολογήθηκε το 1925 και η κύρια υπεύθυνη εταιρεία ήταν η Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Υδάτων (ΕΕΥ). Η κατασκευή του ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 1926 και ολοκληρώθηκε του 1929. Στην κατασκευή απασχολήθηκαν 900 εργάτες. Το έργο μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από την εταιρεία ULENandCo. USA.



Σχήμα 70: Το φράγμα του Μαραθώνα (φωτ.αρχείο ΕΥΔΑΠ)



Το φράγμα είναι ένα φράγμα βαρύτητας κατασκευασμένο από σκυρόδεμα και επενδυμένο με λαξεμένους λίθους Πεντελικού μαρμάρου, γεγονός που το καθιστά μοναδικό στο είδος του. Εκτός από το φράγμα το έργο περιελάμβανε άλλα τρία μικρότερα έργα που θα διευκόλυναν τη διαχείριση του νερού. Αρχικά δημιουργήθηκε μια σήραγγα μήκους 13,4km (σήραγγα Μπογατσίου) για τη μεταφορά του νερού από τον Μαραθώνα στην Αθήνα, το δεύτερο έργο περιελάμβανε το διωλιστήριο του Γαλατσίου και τέλος το τρίτο έργο ήταν το δίκτυο διανομής από την Αθήνα στον Πειραιά.

Το επιστημονικό προσωπικό της ΕΥΔΑΠ αντιμετωπίζει την τεχνητή λίμνη ως έναν απλό ταμιευτήρα νερού, ως μια δεξαμενή δηλαδή που αποθηκεύεται το νερό. Η αστικοποίηση και η συνεχής αυξανόμενη πληθυσμιακή κατάσταση οδήγησε στην ανεπάρκεια των αποθεμάτων και κατέστη αναγκαία η χρήση του υδατικού αποθέματος της λίμνης Υλίκης της Βοιωτίας. Η επιλογή της συγκεκριμένης λίμνης έγινε λόγω του γεγονότος ότι βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο. Η άντληση του νερού γίνεται με χερσαία και πλωτά αντλιοστάσια. Αξίζει να αναφερθεί ότι η λίμνη Υλίκη κατέχει το μεγαλύτερο αντλιοστάσιο της Ευρώπης!

Το μέγιστο ύψος του φράγματος είναι 54m από τη θεμελίωση του, το μέγιστο πλάτος στη βάση είναι 48m ενώ το πλάτος της στέψης (στο επίπεδο του δρόμου κυκλοφορίας) είναι 4,5m. Το μήκος της στέψης είναι 285m ενώ το υψόμετρο της είναι +227μ.υ.θ., όπου μ.υ.θ. είναι μέτρα από την στάθμη της θάλασσας. Το υψόμετρο του πόδα (κατώτερο σημείο) είναι +173μ.υ.θ. Η στάθμη υπερχειλίσης είναι στα +223μ.υ.θ με μήκος 100m. Η είσοδος ασφαλείας στο εσωτερικό του φράγματος βρίσκεται στο κατώτερο σημείο στα +173μ.υ.θ. Η επιφάνεια του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα είναι 2,45km στη στάθμη υπερχειλίσης. Το μέγιστο βάθος φτάνει τα 54m. Η μέγιστη χωρητικότητα του είναι $41 \cdot 10^6 \text{m}^3$. Ο μέγιστος ωφέλιμος όγκος είναι $34 \cdot 10^6 \text{m}^3$, ενώ, η μέση ημερήσια κατανάλωση της Αθήνας είναι 800.000m^3 . Υφίσταται πύργος Υδροληψίας, πρόκειται για ένα κατακόρυφο κτίσμα ύψους 50m^3 το οποίο βυθίζεται εντός της λίμνης κατά 40-45m. Στη βάση του λειτουργούν δυο βάνες μέσω των οποίων γίνεται η διοχέτευση του νερού στη σήραγγα Μπογατσίου. Ο πύργος βρίσκεται σε υψόμετρο +187μ.υ.θ. που είναι και η κατώτατη στάθμη της λίμνης. Ο υπερχειλιστής του φράγματος είναι πλευρικός, διατεταγμένος στο δεξιό αντέρεισμα, παροχής $100 \text{m}^3/\text{s}$ με κεκλιμένη διώρυγα



πτώσης, χωρίς έργο εκτόξευσης. Τα νερά καταλήγουν με ελεύθερη πτώση σε λεκάνη αποτόνωσης (www.eydap.gr).

Μετά το 1974 άλλα δύο σημαντικά έργα προστίθενται στην περιοχή με σκοπό την ενίσχυση του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας. Ένα νέο σημαντικό έργο, το οποίο ενίσχυσε την υδροδότηση της Αθήνας, ήταν το τεχνικό έργο που έγινε στον ποταμό Μόρνο. Το φράγμα που βρίσκεται επί του ποταμού Μόρνου θεωρείται το υψηλότερο χωμάτινο φράγμα στην Ευρώπη με ύψος 126m, ενώ το υδραγωγείο του είναι το δεύτερο μεγαλύτερο υδραγωγείο στην Ευρώπη. Ένα άλλο μεγάλο έργο που ενισχύει την υδροδότηση της Αθήνας είναι η εκτροπή του ποταμού Εύηνου προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου με την κατασκευή φράγματος και σήραγγας. Η έναρξη των εργασιών στον Εύηνο έγινε το 1992 και το έργο ολοκληρώθηκε το 2001 οπότε και τέθηκε σε λειτουργία. Η ενωτική σήραγγα προσαγωγής που μεταφέρει τα νερά του Εύηνου στον ταμιευτήρα του Μόρνου, μήκους 29,4km, ολοκληρώθηκε σε διάστημα λιγότερο των δύο ετών, γεγονός που αποτελεί παγκόσμιο επίτευγμα για την ολοκλήρωση σήραγγας μεγάλου μήκους. Το υδραγωγείο του Μόρνου επικοινωνεί με το υδραγωγείο της Υλίκης με ενωτικά υδραγωγεία με σκοπό τη σωστή διαχείριση του νερού. Το ακατέργαστο νερό του Μόρνου και της Υλίκης κατευθύνεται σε 4 Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Μ.Ε.Ν) που βρίσκονται στο Γαλάτσι, στο Πολυδένδρι, στις Αχαρνές και στη Μάνδρα. Εκεί πραγματοποιείται ο καθαρισμός του νερού με κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση μέσω χλωρίου με σκοπό τον καθαρισμό του νερού από μικροοργανισμούς και παντός είδους ρύπους. Διάσπαρτες εντοπίζονται 45 δεξαμενές σε διάφορα σημεία των πόλεων. Από τις δεξαμενές το νερό διοχετεύεται στους κατοίκους με σωληνώσεις μήκους $7 \cdot 10^6$ m (www.eydap.gr).

Η οικολογική πλευρά του φράγματος. Στην περίπτωση του φράγματος του Μαραθώνα, το έργο εντάχθηκε πλήρως στο περιβάλλον αποτελώντας αναπόσπαστο στοιχείο της λεκάνης. Οι προστατευόμενες περιοχές του Μαραθώνα απαρτίζουν το «Εθνικό Πάρκο Σχοινιά», το οποίο αποτελείται από τον ομώνυμο υδροβιότοπο και δάσος, στις οποίες απαγορεύεται κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα (δόμηση, καλλιέργεια, κυνήγι κ.α). Στην περιοχή του Σχοινιά διαμορφώνονται έλη τα οποία αποτελούν σημαντικό υδροβιότοπο, ενώ ακόμα υπάρχει ένα από τα μεγαλύτερα δάση Κουκουναριάς στην Ελλάδα. Η περιοχή ανήκει στο δίκτυο Natura 2000 με κωδικό αριθμό GR 3000003 με συνολικά 115 είδη πτηνών με δυνητική ποικιλότητα 215 ειδών ενώ υπάρχουν απειλούμενα είδη ψαριών γλυκού νερού, αμφιβίων και ερπετών



(www.wikipedia.org). Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις περιορίζονται μόνο σε επιλεγμένες θέσεις παλαιότερων γεωργικών καλλιεργειών και περιλαμβάνουν κυρίως αμπελώνες και ελαιώνες. Βόρεια και ανατολικά του δάσους εκτείνεται το έλος του Μαραθώνα. Η περιοχή περιλαμβάνει μια ποικιλία οικοσυστημάτων σπάνιων και ιδιαίτερα σημαντικών για την περιοχή της Αθήνας (πηγή: Εθνικό Πάρκο Σχοινιά Μαραθώνα). Είναι ένα σημαντικό σύνολο οικοσυστημάτων απαραίτητο για τη γειτνιάζουσα πόλη των Αθηνών, στην οποία η άναρχη δόμηση και η αστικοποίηση έχει μειώσει σημαντικά τις περιοχές πρασίνου.

Αστοχία. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου και ενώ είχε ανυψωθεί το πρόφραγμα και εκτελούντο εργασίες στην περιοχή θεμελίωσης του, λόγω έντονων βροχοπτώσεων η παροχή του Χάραδρου αυξήθηκε, το σύστημα εκτροπής δεν μπόρεσε να διοχετεύσει την πλημμυρική αυτή παροχή με αποτέλεσμα την πλήρωση του χώρου του φράγματος στα ανάντη, την υπερπήδηση του και τελικά την καταστροφή του. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται είτε σε λανθασμένη εκτίμηση και σχεδιασμού ενός πλημμυρικού γεγονότος είτε σε ακραίο πλημμυρικό φαινόμενο. Δεν υπάρχουν καταγραφές συνεπειών του συγκεκριμένου συμβάντος (Μουτάφης, <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/7.2.pdf>).



Σχήμα 71: Αστοχία φράγματος Μαραθώνα. Υπερπήδηση προφράγματος και κατάκλυση περιοχής θεμελίωσης φράγματος. (Φωτ.αρχείο ΕΥΔΑΠ).



Ποιότητα σκυροδέματος. Η ερευνητική ομάδα των Καρασταθη et al. (2002) πραγματοποίησε τη μέθοδο σεισμικής διάθλασης (ακουστική/ηλεκτρική τομογραφία) στο κεντρικό εσωτερικό τούνελ του φράγματος του Μαραθώνα με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή επιλέχτηκε λόγω έλλειψης στοιχείων από άλλες μεθόδους εξαιτίας της ύπαρξης του διακοσμητικού μαρμάρου, το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερες σεισμικές ταχύτητες από το εσωτερικό υλικό. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με αφορμή το σεισμό της Αθήνας το 1999, με σκοπό να εντοπιστούν διαρροές ή αστοχίες στο φράγμα και στην περιβάλλουσα περιοχή. Η έρευνα επεκτάθηκε στο σώμα του φράγματος, στο κεντρικό εσωτερικό τούνελ. Επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, πραγματοποιήθηκε μια γενική εκτίμηση των μηχανικών του χαρακτηριστικών.

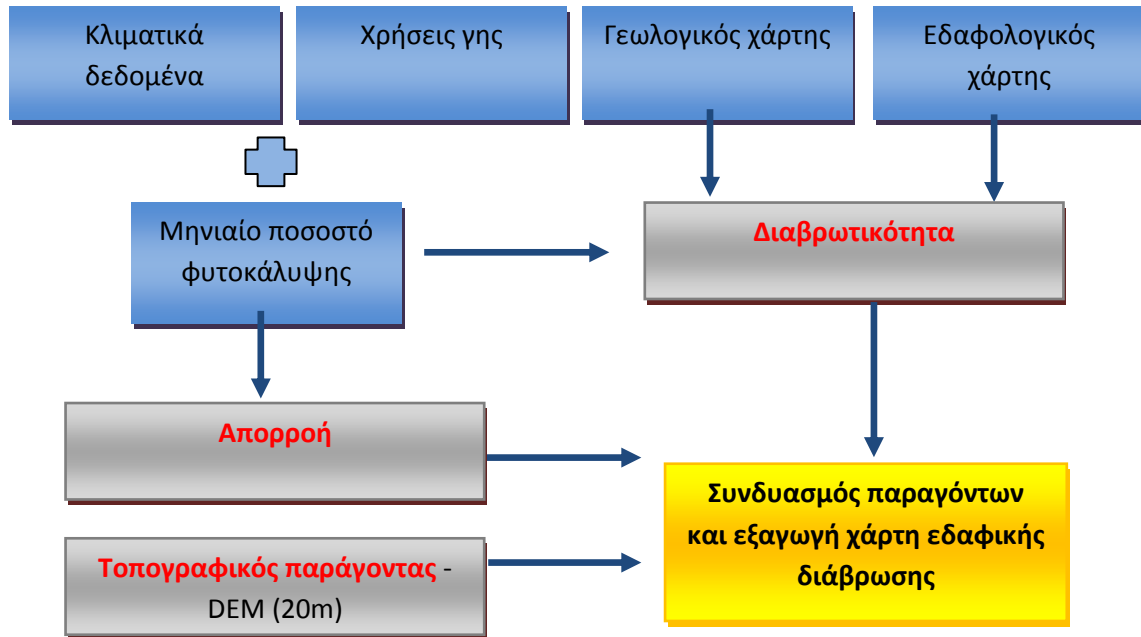
Με βάση την παραπάνω έρευνα το σώμα του φράγματος κρίνεται υψηλής ποιότητας κατασκευής (όσον αφορά το σκυρόδεμα) αφού οι σεισμικές ταχύτητες βρέθηκαν ιδιαίτερα υψηλές, όπως ισχύει και το μέτρο ελαστικότητας. Μεγάλο ποσοστό υγρασίας εντοπίστηκε στους πόρους του σκυροδέματος, όπως αντικατοπτρίζεται στις διαφοροποιήσεις των σεισμικών ταχυτήτων, η υγρασία μειώνει σημαντικά τις τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι εντοπίστηκαν 3 περιοχές αργής διήθησης νερού.



6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PESERA

Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου και την εξαγωγή των θεματικών χαρτών κινδύνου διάβρωσης απαιτούνται κάποια αρχικά δεδομένα τα οποία εισάγονται στο πρόγραμμα. Αυτά είναι

- **Δεδομένα βλάστησης**, τα οποία περιλαμβάνουν:
 - Είδος φυτοκάλυψης με βάση τους χάρτες του ΕΘΙΑΓΕ (Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων 1995)
 - Χρήσεις γης (CORINE 2000)
- **Κλιματικά δεδομένα** (από τον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος πάνω στο φράγμα της λίμνης του Μαραθώνα και του σταθμού της Ν.Μάκρης)
 - Μέση ημερήσια τιμή υετού (mm) για κάθε μήνα και κάθε έτος
 - Μέση μηνιαία βροχόπτωση ανα ημέρα βροχόπτωσης
 - Μέση μηνιαία θερμοκρασία και τυπική απόκλιση για κάθε έτος
 - Μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία για κάθε έτος
 - Μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία για κάθε έτος
 - Συντελεστή παραλλακτικότητας της μηνιαίας βροχόπτωσης ανά ημέρα βροχόπτωσης κάθε έτους. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας είναι η τυπική απόκλιση διαιρεμένη με τη μέση τιμή της βροχόπτωσης.
 - Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή
- **Εδαφικά δεδομένα**
 - Βάθος εδάφους
 - Κοκκομετρική σύσταση
 - Τραχύτητα
- **Χρήσεις γης**
 - Συντελεστής τραχύτητας εδάφους



Τα αντίστοιχα πεδία που εισήχθησαν στο Pesera είναι:

- Το πεδίο **meanrf130_** είναι η μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm).
- Το πεδίο **meanrf2_** είναι η μέση μηνιαία βροχόπτωση ανά ημέρα βροχής (mm).
- Το πεδίο **cvrf2_** είναι ο συντελεστής παραλλακτικότητας της μηνιαίας βροχόπτωσης ανα ημέρα βροχής (τυπική απόκλιση/μέση τιμή).
- Το πεδίο **mtmean_** είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C).
- Το πεδίο **mtrange_** είναι η διαφορά μέγιστης-ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας (oC)
- Το πεδίο **meanpet30_** είναι η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή, η οποία υπολογίστηκε με βάση το πρόγραμμα EtoCalc του FAO, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο των κλιματικών δεδομένων της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 17: Κλιματικά πρωτογενή δεδομένα του έτους 2008, τα οποία εισήχθησαν στο μοντέλο.

2008	meanrf130_ (mm)	Ημέρες βροχής	meanrf2_ (mm)	mtmean_ (oC)	mtrange_ (oC)	cvrf2_ (mm)	PET(mm)	meanpet30_ (mm)
JAN	33,00	4,00	8,25	9,00	9,00	0,65	1,80	1,26
FEB	37,00	8,00	4,63	10,20	12,00	1,00	2,50	1,75
MAR	15,00	3,00	5,00	11,20	12,00	0,71	3,30	2,31
APR	106,00	3,00	35,33	12,80	12,00	0,22	3,80	2,66
MAI	1,00	1,00	1,00	18,00	13,00	0,10	4,40	3,08
JUN	3,00	1,00	3,00	23,00	14,00	0,03	5,50	3,85
JUL	0,00	0,00	0,10	28,00	14,00	1,00	5,90	4,13
AUG	0,00	0,00	0,10	25,00	14,00	1,00	5,70	3,99
SEP	45,00	6,00	7,50	25,20	13,00	0,49	4,50	3,15
OKT	1,00	1,00	1,00	17,00	11,00	0,10	3,20	2,24
NOV	25,00	6,00	4,17	12,00	10,00	0,74	2,40	1,68
DEC	421,00	10,00	42,10	10,00	9,00	0,70	1,80	1,26



Πίνακας 18: Κλιματικά πρωτογενή δεδομένα του έτους 2011, τα οποία εισήχθησαν στο μοντέλο.

2011	meanr130 (mm)	Ημέρες βροχής	meanr2 (mm)	mtmean (oC)	mtrange (oC)	cvrf2 (mm)	PET(mm)	meanpet30 (mm)
JAN	67,00	9,00	7,44	9,80	6,20	0,96	1,00	0,70
FEB	159,00	9,00	17,67	10,00	6,40	1,80	1,30	0,91
MAR	50,00	6,00	8,33	11,00	7,30	1,47	1,90	1,33
APR	53,00	4,00	13,25	13,50	7,50	0,60	2,50	1,75
MAI	95,00	5,00	19,00	18,10	8,40	0,59	3,50	2,45
JUN	17,00	2,00	8,50	23,30	9,80	0,18	4,50	3,15
JUL	0,00	0,00	0,10	27,60	9,70	3,16	4,80	3,36
AUG	0,00	0,00	0,10	26,90	8,00	3,16	4,00	2,80
SEP	0,00	0,00	0,10	25,00	8,00	3,16	3,20	2,24
OKT	38,00	4,00	9,50	16,60	7,10	0,76	1,90	1,33
NOV	8,00	1,00	8,00	11,80	5,30	0,04	1,10	0,77
DEC	75,00	5,00	15,00	11,20	7,30	0,60	1,10	0,77

- Το πεδίο **use** είναι ο τύπος χρήσεων γης. Στο πεδίο αυτό μπαίνει ο τριψήφιος κωδικός του Corine. Στις καμένες εκτάσεις αντιστοιχεί ο κωδικός του γυμνού εδάφους ή ο κωδικός του βοσκότοπου σε περίπτωση μερικής φυσικής αναβλάστησης της περιοχής, όπως διαπιστώθηκε στη συγκεκριμένη εργασία. Με βάση το εγχειρίδιο του Pesera απαιτείται επαναταξινόμηση των κωδικών του Corine ως εξής:

Πίνακας 19: Επαναταξινομημένος κωδικός φυτοκάλυψης με βάση το πρόγραμμα CORINE.

Code	Vegetation Type
100	Artificial Land
210	Arable land
221	Vineyards
222	Fruit trees and berry plantations
223	Olive groves
231	Pastures and grassland
240	Heterogeneous agricultural land
310	Forest
320	Scrub
330	Bare land
334	Degraded natural land
400	Water surfaces and wetland

- Το πεδίο **Rough0** είναι η αρχική τραχύτητα. Στο πεδίο αυτό θεωρείται τιμή 10 για τα καλλιεργούμενα εδάφη, τιμή 5 για τα πολύγωνα φυσικής βλάστησης και τιμή 0,1 για το απογυμνωμένο έδαφος. Καλλιεργούμενες εκτάσεις θεωρούνται



οι γεωργικές καλλιέργειες, η φυσική βλάστηση αποτελείται από άρκευθο, δρυ, ελάτη, θαμνώδεις εκτάσεις, λιβάδια, παραποτάμια βλάστηση, χαλέπιο πεύκη και φυλοβόλλους θάμνους. Στην κατηγορία απογυμνωμένο έδαφος κατατάσσονται τα άγωνα και οι καμένες εκτάσεις καθώς και οι οικισμοί και οι λοιπές χρήσεις. Στην παρούσα εργασία δεν έχουμε ξεκάθαρες οριοθετημένες περιοχές γεωργικών δραστηριοτήτων, παρά εκτάσεις ετερογενούς γεωργικής γης, για τον λόγο αυτό η τιμή 10 θεωρήθηκε σκόπιμο να μη χρησιμοποιηθεί σε κανένα πολύγωνο.

- Το πεδίο **Rough_red** είναι η μηνιαία μεταβολή της επιφανειακής τραχύτητας του εδάφους. Το πεδίο παίρνει τιμές 50 για πολύγωνα με καλλιέργειες, τιμή 0,1 για φυσική βλάστηση και 0,1 στο απογυμνωμένο έδαφος. Η κατηγοριοποίηση της βλάστησης είναι η ίδια όπως και στο πεδίο Rough0. Όπως και στην αρχική τραχύτητα, τιμή καλλιεργούμενων εκτάσεων δε χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 20: Κατηγοριοποίηση δεδομένων τραχύτητας, τα οποία εισήχθησαν στο PESRA.

Είδος βλάστησης	Rough0 (mm)	RoughRed (%)
Ελάτη, Πεύκη, Χαλέπιος Πεύκη, Άρκευθος	5	0.1
φυλλοβόλα πλατύφυλλα, σφένδαμος, παραπ.βλάστηση	5	0.1
Οξυά, Δρυς, Θαμνώδης έκταση	5	0.1
Φυλ. Θάμνοι	5	0.1
Γεωργικές Καλλιέργειες	5	0.1
Ετερογενής γεωργική γη (240)	5	0.1
Λιβάδια	5	0.1
Βοσκότοποι(320)	5	0.1
Άγρονες εκτάσεις, Οικισμοί, Λοιπές χρήσεις, ΓΚΕ	0.1	0.1

- Το πεδίο **Rootdepth** είναι το βάθος εδάφους (mm). Εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υπήρχαν δεδομένα εδάφους για την περιοχή του Μαραθώνα, οι τιμές του πεδίου εκτιμήθηκαν από τον Κ. Κοσμά, καθηγητή εδαφολογίας του ΓΠΑ σε επίπεδο κλάσης βάθους εδάφους στα όρια των χαρτογραφικών μονάδων των εδαφικών ενώσεων του εδαφολογικού χάρτη Zvorykin and Raul (1948).



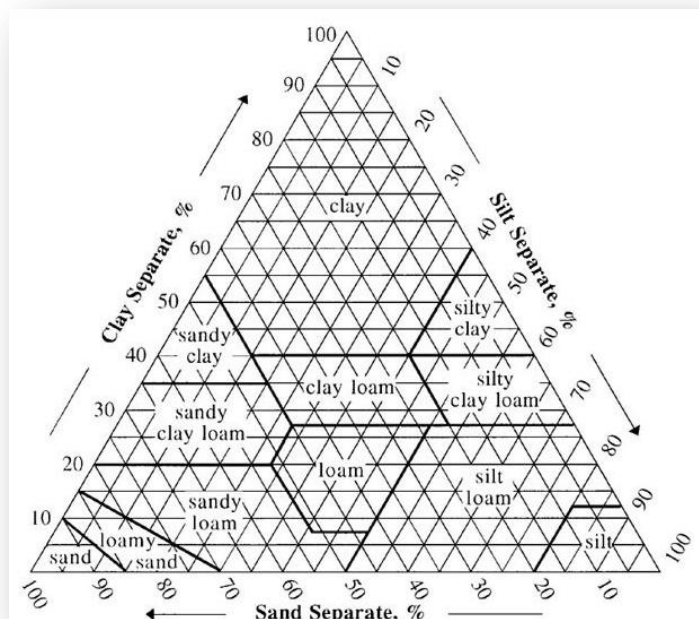
Πίνακας 21: Τιμή βάθους εδάφους σε cm, ανάλογα με τον τύπο της εδαφολογικής μονάδας του εδαφολογικού χάρτη των Zvonrykin and Saul (1948).

Είδος Εδάφους	Βάθος Εδάφους (cm)
Ρεντζίνες στις καρστικές περιοχές	55
Ρεντζίνες(άμμος και ασβεστολιθικά θραύσματα)	70
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες (ανατολικά)	110
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες	28
Κώνοι προσχώσεως	120
Καστανά δασικά εδάφη	55
Οικισμοί,ΛΠΧ,άγονες εκτάσεις,ΓΚΕ	0.1
Καστανόχροες ρεντζίνες	85

- Το πεδίο **Crust_0702** είναι ένας συντελεστής που αντιπροσωπεύει την επιφανειακή καταστροφή της δομής και τη δημιουργία εδαφικής επιφανειακής κρούστας και προκύπτει με βάση την κοκκομετρική σύσταση. Στο πεδίο αυτό, οι βοσκότοποι, η δασική βλάστηση και οι καλυμμένες περιοχές (οικισμοί κτλ) παίρνουν τιμή 40. Σε περίπτωση υφής εδάφους 3 η τιμή του crusting είναι 12 ενώ για τιμή υφής 4 παίρνει τιμή 8.
- Το πεδίο **Erod_0702** είναι η ευαισθησία του εδάφους στη διάβρωση και προκύπτει κι αυτή από την κοκκομετρία του εδάφους. Όπως φαίνεται στον παρακάτω συνολικό πίνακα, όταν έχουμε υφή εδάφους (CL) 4 η διαβρωσιμότητα του είναι 4 ενώ όταν η υφή παίρνει τιμή (FL) 3 η διαβρωσιμότητα παίρνει τιμή 5. Στις θέσεις που εντοπίζονται ασβεστόλιθοι ή μάρμαρα, πετρώματα δηλαδή που δεν σχηματίζουν σημαντικά εδάφη και δε διαβρώνονται εύκολα και οι εργαστηριακές αναλύσεις της υφής του εδάφους έδωσαν τιμή 4 η διαβρωσιμότητα παίρνει τιμή 2. Τιμή διαβρωσιμότητας 2 παίρνουν και οι καλυμμένες περιοχές.
- Το πεδίο **swsc_eff_2** (Soil Water Storage Capacity) είναι η ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει νερό. Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκε προσεγγιστικά με χρήση των ιδιοτήτων της κοκκομετρίας και του βάθους εδάφους. Με βάση την κατηγοριοποίηση των εδαφών ως προς την κοκκομετρία τους (texture=3 ή 4) προκύπτει ότι $SWSC = 2,67 * \text{βάθος εδάφους (cm)}$ για fine loamy εδάφη (υφή=3) και $SWSC = 2,50 * \text{βάθος εδάφους (cm)}$ για coarse loamy εδάφη (υφή=4).

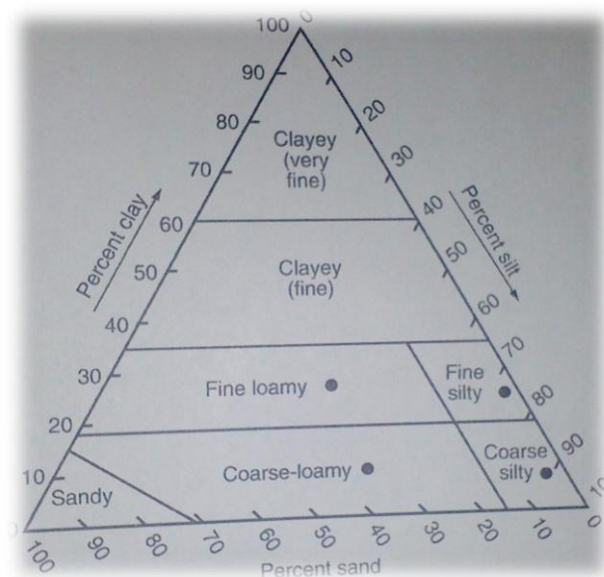
Τα τρία παραπάνω πεδία υπολογίζονται με βάση κοκκομετρικές αναλύσεις που γίνονται σε κάθε εδαφολογική μονάδα. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, από τα εργαστηριακά αποτελέσματα που βρίσκονται στη διδακτορική διατριβή του Ξανθάκη, τα οποία αξιολογήθηκαν και από τον Κοσμά σε συνδυασμό με τον εδαφολογικό χάρτη των Zvonoykin και Saul του 1948. Οι εργαστηριακές δοκιμές του Μ. Ξανθάκη έδωσαν αποτελέσματα κοκκομετρίας. Αυτά τα ποσοστά αργίλου/άμμου/πηλού προβλήθηκαν αρχικά στο παρακάτω διάγραμμα του NRCS των Η.Π.Α

(<http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture>).



Σχήμα 72: Τριγωνομετρικό διάγραμμα κοκκομετρικής σύστασης εδαφών (αργίλου/ άμμου/πηλού) (NRCS, USA).

Και στη συνέχεια ταυτίστηκαν στο διάγραμμα στο αντίστοιχο αρμόδιο Υπουργείο Γεωργίας της Αμερικής.



Σχήμα 73: Τριγωνομετρικό διάγραμμα χαρακτηρισμού εδαφών με βάση την κοκκομετρική σύσταση

Πίνακας 22: Χαρακτηριστικές εδαφικές παράμετροι, οι οποίες όπως αναλύθηκε παραπάνω προκύπτουν με βάση εργαστηριακές αναλύσεις εδάφους.

Είδος Εδάφους	texture	Crust_0702 (mm)	Erod_0702 (mm)	Swsc_eff_2 (mm)
Ρεντζίνες στις καρστικές περιοχές	Fine loamy(3)	12	5	146,85
Ρεντζίνες(άμμος και ασβεστολιθικά θραύσματα)	Coarse loamy(4)	8	4	175
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες (ανατολικά)	Fine loamy(3)	12	5	293,7
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες	Fine loamy(3)	12	5	74,76
Κώνοι προσχώσεως	Coarse loamy(4)	8	4	300
Καστανά δασικά εδάφη	Fine loamy(3)	12	5	146,85
Καστανόχροες ρεντζίνες	Coarse loamy(4)	8	4	212,5
Ασβεστόλιθος/μάρμαρα	Coarse loamy(4)	(κοκκομετρία)	2	(κοκκομετρία)
Δασικά εδάφη	(κοκκομετρία)	40	2	(κοκκομετρία)
Βοσκότοποι,	(κοκκομετρία)	40	(κοκκομετρία)	(κοκκομετρία)
Οικισμοί,ΛΠΧ,ΓΚΕ	-	40	2	-



- Τα πεδία **p1xswap1** (διαθέσιμο εδαφικό νερό για τη χλωρίδα στα ανώτερα 300mm βάθους) και **p2xswap2** (διαθέσιμο εδαφικό νερό για τη χλωρίδα σε βάθος 300-1000mm) παίρνουν τιμές το 30% του **swsc_eff_2** και το 70% του **swsc_eff_2** αντίστοιχα. Επομένως, στην στήλη του p1xswap1 πατώντας field calculator και επιλέγεται ότι $p1xswap1 = 0,3 * swsc_eff_2$. Το ίδιο ισχύει και για το p2xswap2 ($=0,7 * swsc_eff_2$).

Πίνακας 23: Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζεται το διαθέσιμο εδαφικό νερό σε βάθος 300mm και σε βάθος από 300-1000mm.

Είδος Εδάφους	Swsc_eff_2 (mm)	p1xswap1 (mm)	p2xswap2 (mm)
Ρεντζίνες στις καρστικές περιοχές	146,85	44,055	102,795
Ρεντζίνες(άμμος και ασβεστολιθικά θραύσματα)	175	52,5	122,5
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες (ανατολικά)	293,7	88,11	205,59
Ρεντζίνες και ερυθρές γαίες	74,76	22,428	52,332
Κώνοι προσχώσεως	300	90	210
Καστανά δασικά εδάφη	146,85	44,055	102,795
Καστανόχρρες ρεντζίνες	212,5	63,75	148,75

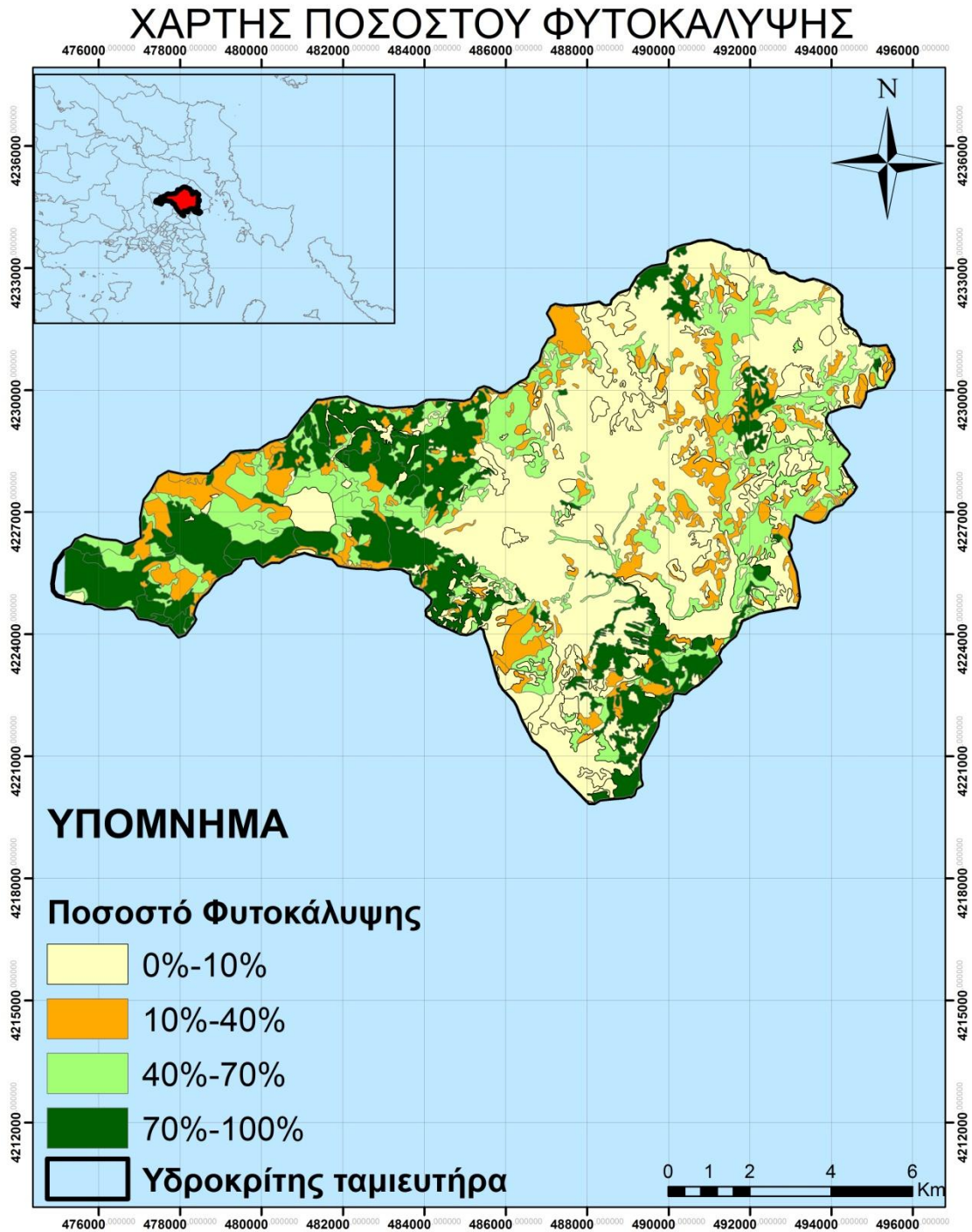
- Το πεδίο **zm** είναι η κλίμακα του βάθους υπολογισμού της επιφανειακής διάβρωσης και παίρνει τιμή 10 (mm).
- Το πεδίο **std_eudem2** είναι η τυπική απόκλιση του υψομέτρου και υπολογίζεται μέσω του ArcGIS από το ArcToolbox → Spatial analyst → block statistics → standard deviation. Το παραγόμενο αρχείο χρειάζεται τροποποίηση. Αρχικά μετατρέπεται σε αρχείο με τιμές ακέραιου αριθμού ArcToolbox → RasterMath → Int και στη συνέχεια επιλέγεται η εντολή Raster to polygon (Conversion) για να μετατραπεί σε αρχείο πολυγώνων (αρχείο raster μορφής δεν μπορεί να αξιοποιηθεί).
- Το πεδίο **cov_** είναι το ποσοστό της μηνιαίας φυτοκάλυψη (coverage) ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Ο χάρτης ποσοστού φυτοκάλυψης του ΕΘΙΑΓΕ (**σχήμα 74**) δεν ήταν αντιπροσωπευτικός της υφιστάμενης κατάστασης, για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ποσοστά φυτοκάλυψης αντίστοιχων ειδών βλάστησης ανά μήνα από τις εργασίες πεδίου του καθηγητή Κοσμά. Οι



γεωργικές καλλιέργειες με κωδικό 240 περιλαμβάνουν ελαιόδεντρα, ετήσιες καλλιέργειες και θάμνους σε αναλογία 2:1:1. Στις άγονες εκτάσεις αντιστοιχεί φυτοκάλυψη 10% όλο το χρόνο, ενώ στις καλυμμένες περιοχές όπως είναι οι οικισμοί, η λίμνη και οι εγκαταστάσεις αντιστοιχεί τιμή πλήρους κάλυψης εδάφους 100% και επομένως μηδενικής διάβρωσης. Ξεχωριστή κατηγορία αποτελούν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως “No Data” και αποτελούνται από περιοχές, οι οποίες στον χάρτη φυτοκάλυψης του ΕΘΙΑΓΕ είχαν την κωδική ονομασία λοιπές χρήσεις (ΛΠΧ) και ΓΚΕ. Στις θέσεις αυτές δεν υπήρχαν καθόλου αντιπροσωπευτικά στοιχεία. Οι ονομασίες της βλάστησης προέκυψαν από τον χάρτη φυτοκάλυψης του ΕΘΙΑΓΕ:

Πίνακας 24: Κατηγοριοποίηση είδους βλάστησης και ποσοστιαία μηνιαία φυτοκάλυψη.

	Ελάτη, Πεύκη, Χαλέπιος Πεύκη, Αρκενθος(310)	Οικισμοί, Λοιπές χρήσεις, ΓΚΕ, Λίμνη(100)	Οξυά, Δρυς, Θαμνώδης έκταση, φυλλοβόλα πλατόφυλλα, σφένδαμος, παραπ. βλάστηση(320)	Φυλ. Θάμνοι(320)	Ετερογενής γεωργική γη (240)	Λιβάδι (231)
JAN	100,00	100,00	75,00	25,00	80,00	35,00
FEB	100,00	100,00	75,00	25,00	80,00	40,00
MRZ	100,00	100,00	80,00	35,00	75,00	45,00
APR	100,00	100,00	80,00	45,00	75,00	50,00
MAI	100,00	100,00	85,00	65,00	75,00	50,00
JUN	100,00	100,00	85,00	70,00	75,00	55,00
JUL	100,00	100,00	85,00	70,00	75,00	55,00
AUG	100,00	100,00	80,00	75,00	75,00	55,00
SEP	100,00	100,00	80,00	75,00	75,00	50,00
ΟΚΤ	100,00	100,00	80,00	70,00	75,00	45,00
NOV	100,00	100,00	75,00	40,00	80,00	40,00
DEZ	100,00	100,00	70,00	30,00	80,00	40,00

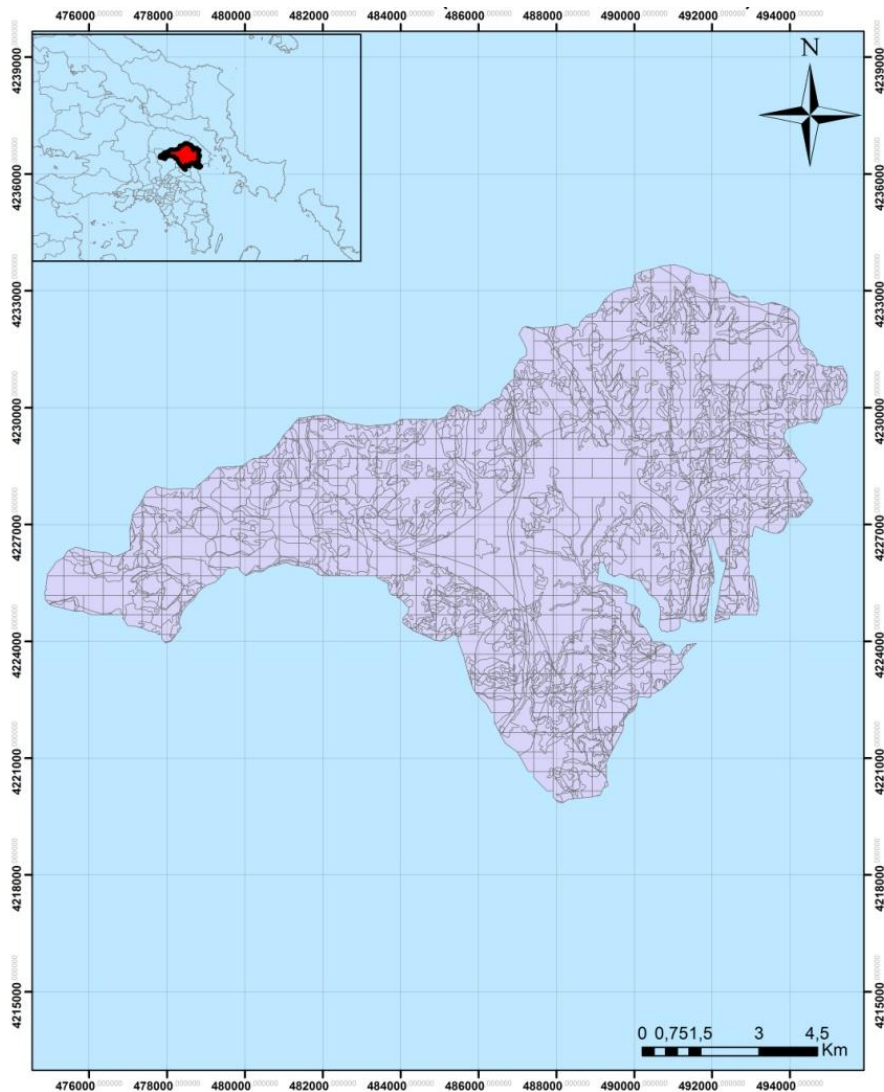


Σχήμα 74: Χάρτης ποσοστού φυτοκάλυψης (πηγή: ΕΘΙΑΓΕ, 1995).



- Τα πεδία που παίρνουν μηδενικές τιμές, δηλαδή τιμή 0,1 είναι: **newtemp1-12**, **newrf301-3012**, **eu12crop1** και **eu12crop2**, **maize210c**, **itillcrop1**, **itillcrop2**, **itillmaize**, **mitill1**, **mitill2**, **mitill_m**.

Όλα τα παραπάνω πεδία εισάγονται σε ένα τελικό πολυγωνικό shapefile μέσω της εντολής “Intersect”, με την οποία συνδυάζονται τα δεδομένα όλων των χαρτών. Επειδή όλα τα shapefiles έχουν ως οριακά σημεία δεδομένων τον υδροκρίτη του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, ο τελικός χάρτης, η τομή τους δηλαδή καλύπτει και αυτή όλη την εξεταζόμενη λεκάνη. Στην περίπτωση που κάποιο shapefile δεν έχει δεδομένα σε όλη την λεκάνη, όπως είναι αυτό της οριοθετημένης καμένης περιοχής του 2009, τότε χρησιμοποιείται η εντολή “union”. Το τελικό αρχείο έχει διασπαστεί σε 4033 πολύγωνα.



Σχήμα 75: Τελικά πολύγωνα που εισήχθησαν στο μοντέλο PESERA καθένα από τα οποία περιλαμβάνει όλα τα πεδία που αναφέρθησαν.



Αφού εισαχθούν όλα τα δεδομένα πρέπει να εξαχθούν τα grids, να εξαχθεί δηλαδή κάθε πεδίο του τελικού shapefile. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή polygon to raster, στο οποίο επιλέγεται cell size (ακρίβεια χάρτη) 50m.

Στο πρώτο στάδιο του Pesera τα αρχεία grid μετατρέπονται σε αρχεία ascii. Στη συνέχεια τρέχει το μοντέλο μέσω των εκτελέσιμων αρχείων που συνοδεύει το μοντέλο ftn_input103.exe. Στο στάδιο αυτό γίνεται ένας έλεγχος των πεδίων, εισάγονται ο αριθμός των στήλων (columns) των κελιών (Nrows) και η ακρίβεια του μοντέλου (cellsize), η τιμή της μεταβολής της βροχόπτωσης και οι συντεταγμένες Xllcorner-Yllcorner, στην εξεταζόμενη περίπτωση ισχύει ότι δε μετράω μεταβολή βροχόπτωσης, οπότε Rfintrise=0,01.

Στην παρούσα εργασία δεν εργαστήκαμε με σενάρια στο μοντέλο, εν αντιθέσει εφαρμόστηκε το μοντέλο τρεις φορές. Στο τελευταίο στάδιο τα αρχεία που έχουν προκύψει είναι μορφής ascii, τα οποία μετατρέπονται σε μορφή grid και προκύπτει ο τελικός χάρτης αλλά και ο χάρτης διάβρωσης για κάθε μήνα του εξεταζόμενου έτους.

2011

Για την εφαρμογή του μοντέλου για το έτος 2011, τα πεδία που περιγράφηκαν παραπάνω παραμένουν αμετάβλητα με εξαίρεση τα κλιματικά δεδομένα, τα πεδία Coverage, και use. Το μοντέλο δεν εφαρμόζεται για την περίοδο αμέσως μετά την πυρκαγιά του 2009 κατά την οποία η περιοχή ήταν απογυμνωμένη. Η φυτοκάλυψη μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς έχει διαφοροποιηθεί αρκετά. Με την εργασία υπαίθρου το Δεκέμβριο του 2012, παρατηρήθηκε ότι το οικοσύστημα βρίσκεται σε στάδιο ανάκαμψης και στις περισσότερες θέσεις, οι παλαιότερες δασικές εκτάσεις έχουν αντικατασταθεί 3 χρόνια μετά, από εκτάσεις βοσκοτόπων με φυτοκάλυψη της τάξης του 40% (**σχήμα 13**). Με βάση επομένως, τις επιτόπιες παρατηρήσεις, τους ορθοφωτοχάρτες και τις δορυφορικές εικόνες, κατά το έτος 2011, η φυτοκάλυψη στις καμένες περιοχές αγγίζει το ποσοστό του 20-25%. Επομένως, θεωρείται σκόπιμο στις καμένες εκτάσεις να εισαχθεί ο κωδικός CORINE των βοσκοτόπων(320) και όχι του εντελώς απογυμνωμένου εδάφους. Από τη φυτοκάλυψη των βοσκοτόπων αφαιρείται το 25% το οποίο όπως αναφέρθηκε αντιστοιχεί στο ποσοστό ανάκαμψης των οικοσυστημάτων.

Εφόσον έχω ψηφιοποιημένη την περιοχή της πυρκαγιάς του 2009 με την εντολή “union” του ArcGIS ομαδοποιώ την καμένη περιοχή με το ήδη υπάρχον τελικό shp με



τα δεδομένα του 2008. Το τελικό αρχείο αποτελείται από 4212 πολύγωνα. Στη συνέχεια επιλέγονται τα πολύγωνα που αντιστοιχούν στις καμένες περιοχές (Select by Attributes) και με την εντολή Field Calculator σε κάθε πεδίο υπολογίζονται οι νέες τιμές φυτοκάλυψης. Στο πεδίο του “Use” οι νέες τιμές αντιστοιχούν σε τιμή 320 (βοσκότοπος). Στο τελευταίο στάδιο εξάγω πάλι τα πεδία ως grids, διότι τα πολύγωνα έχουν τροποποιηθεί και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα προηγούμενα αρχεία.

Pesera 2011- Λεκάνη Σπαρτορρέματος

Με την εφαρμογή του μοντέλου σε μία μικρή λεκάνη, όπως η εξεταζόμενη, επιχειρείται μια ποιοτική συσχέτιση εδαφικής διάβρωσης μιας λεκάνης σημαντικού μεγέθους, όπως αυτή του Μαραθώνα, με μια λεκάνη ενός ποτάμιου συστήματος μικρότερης τάξης, όπως αυτή του ποταμού Σπαρτόρρεμα εντός της ίδιας λεκάνης απορροής.

Στη λεκάνη αυτή πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση των καμένων περιοχών με τη χρήση ορθοφωτοχαρτών, δορυφορικών εικόνων και με εργασία υπαίθρου, δεδομένα με βάση τα οποία συμπεραίνεται ότι κάηκε το 30-40% της λεκάνης. Επίσης, ψηφιοποιήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν οι χρήσεις γης, διότι τα πολύγωνα του Corine αντιστοιχούν σε δεδομένα μεγαλύτερης κλίμακας. Οι χρήσεις γης που αναγνωρίστηκαν είναι οι βοσκότοποι (320) και οι ετερογενείς γεωργικές καλλιέργειες (240). Στις ετερογενείς καλλιέργειες αντιστοιχούν ελαιόδεντρα, αμπέλια, θαμνώδης βλάστηση και ετήσιες καλλιέργειες σε αναλογία 1:2:1:1, διότι αναγνωρίστηκε μια ιδιαίτερα μεικτή κατάσταση, διαφορετική από τις γεωργικές καλλιέργειες της συνολικής λεκάνης. Για τον λόγο αυτό ενώ χρησιμοποιείται ο ίδιος κωδικός (240) στο PESERA, λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές τιμές φυτοκάλυψης. Στους βοσκότοπους χρησιμοποιείται και σε αυτήν την περίπτωση ο κωδικός 320 αλλά με διαφορετική φυτοκάλυψη από αυτή του Pesera 2008.



Σχήμα 76: Οριοθέτηση καμένων περιοχών και χρήσεων γης στη λεκάνη του Σπαρτορρέματος.

Χρησιμοποιώντας τις επαναπροσδιορισμένες καμένες περιοχές και τις χρήσεις γης, πραγματοποιήθηκε ένωση των ξεχωριστών πολυγωνικών αρχείων και intersect, ώστε το τελικό αρχείο να έχει όλη την πληροφορία. Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέγονται τα εκάστοτε πολύγωνα με βάση τον κωδικό στο πεδίο “use” και αντιστοιχίζονται οι κατάλληλες τιμές από τον παραπάνω πίνακα στο πεδίο Coverage, με την εντολή “Field Calculator”.



Πίνακας 25: Επαναταξινόμηση χρήσεων γης και ποσοστιαία μηνιαία φυτοκάλυψη στη λεκάνη του Σπαρτορρέματος.

	Βοσκότοποι (320)	Ετερογενής γεωργική γη (240)	Καμένες εκτάσεις (320)
JAN	45,00	55,00	20,00
FEB	45,00	60,00	20,00
MRZ	50,00	65,00	25,00
APR	55,00	75,00	30,00
MAI	55,00	85,00	30,00
JUN	60,00	85,00	35,00
JUL	65,00	85,00	40,00
AUG	65,00	85,00	40,00
SEP	60,00	80,00	35,00
ΟΚΤ	60,00	80,00	35,00
NOV	55,00	65,00	30,00
DEZ	50,00	45,00	25,00



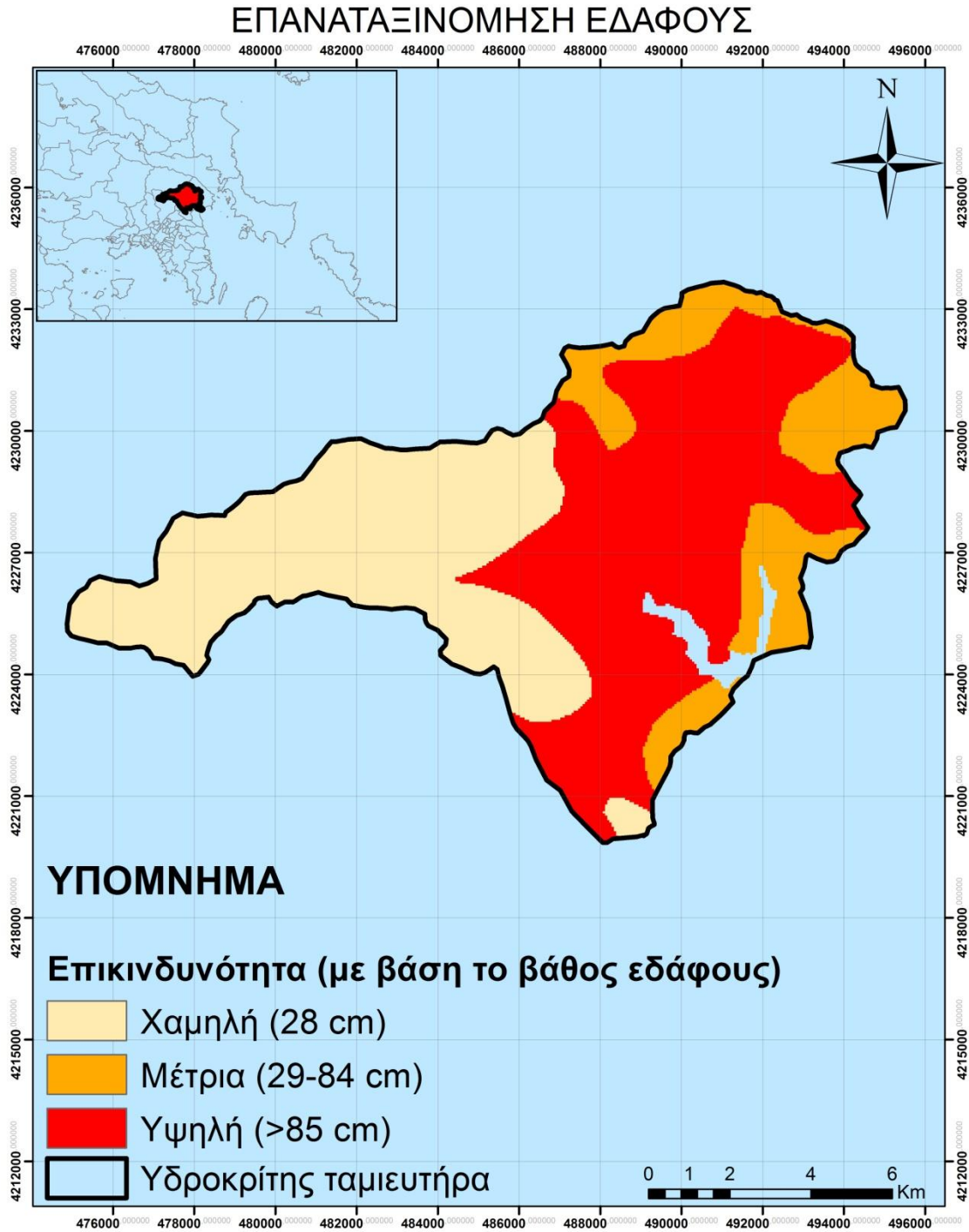
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τελικοί χάρτες επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης εξήχθησαν με δύο τρόπους. Αφενός, χρησιμοποιήθηκε η απλουστευμένη μεθοδολογία των Fox et al. (2006) στην οποία η εκτίμηση της διάβρωσης βασίζεται στην υπέρθεση δεδομένων βλάστησης, κλίσεων, έντασης πυρκαγιάς και βάθους εδάφους με τη χρήση Γ.Σ.Π και αφετέρου εφαρμόστηκε ένα αναγνωρισμένο λεπτομερές εμπειρικό μοντέλο, το μοντέλο PESERA, στο οποίο εισήχθησαν πολυάριθμοι παράμετροι με σκοπό την ασφαλέστερη εκτίμηση της επικινδυνότητας.

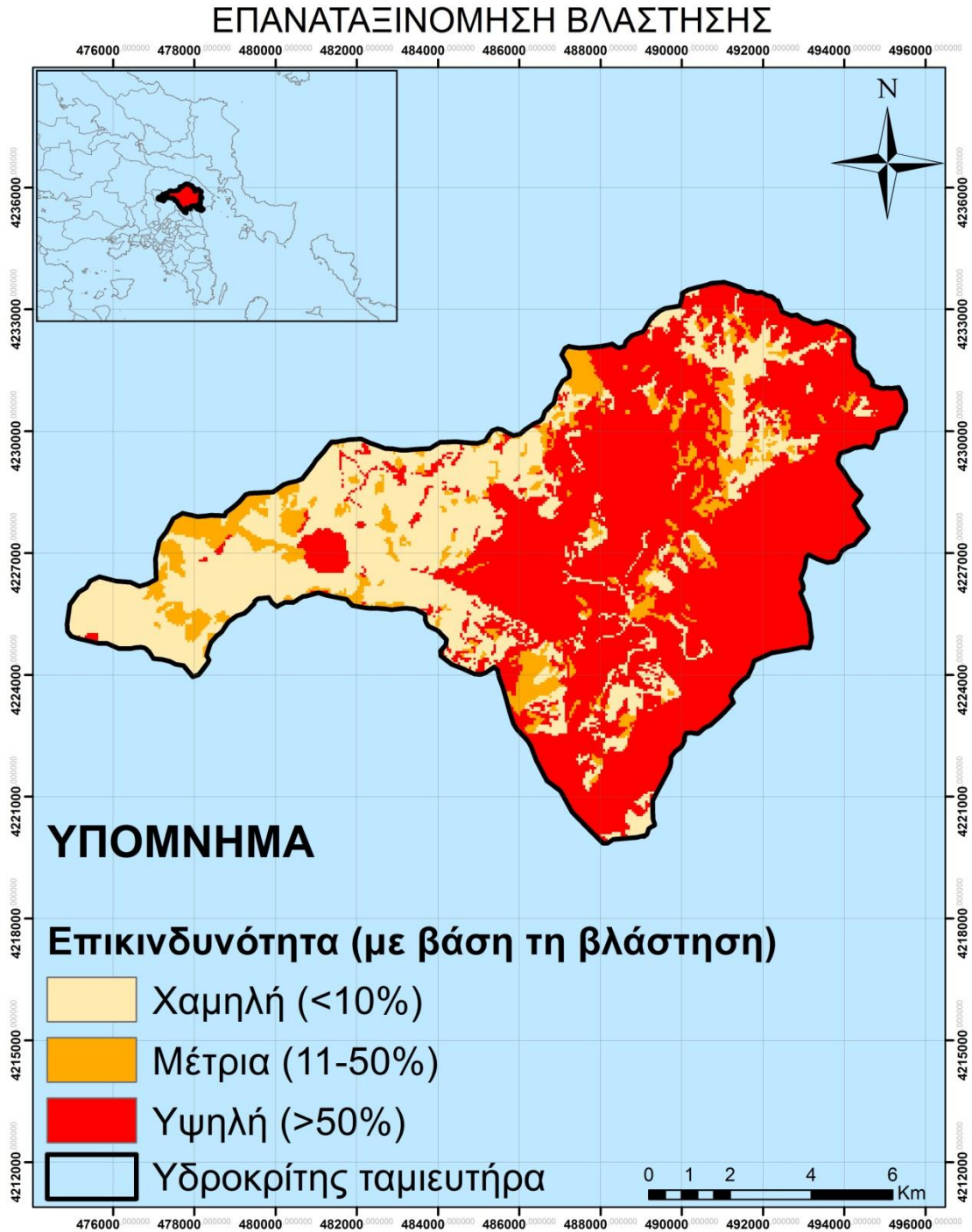
7.1 Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ Γ.Σ.Π (Fox et al. 2006)

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών εξήχθηκαν ποιοτικά αποτελέσματα εδαφικής διάβρωσης στη λεκάνη κατάκλυσης του ταμιευτήρα του Μαραθώνα με τον τρόπο που αναλύθηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

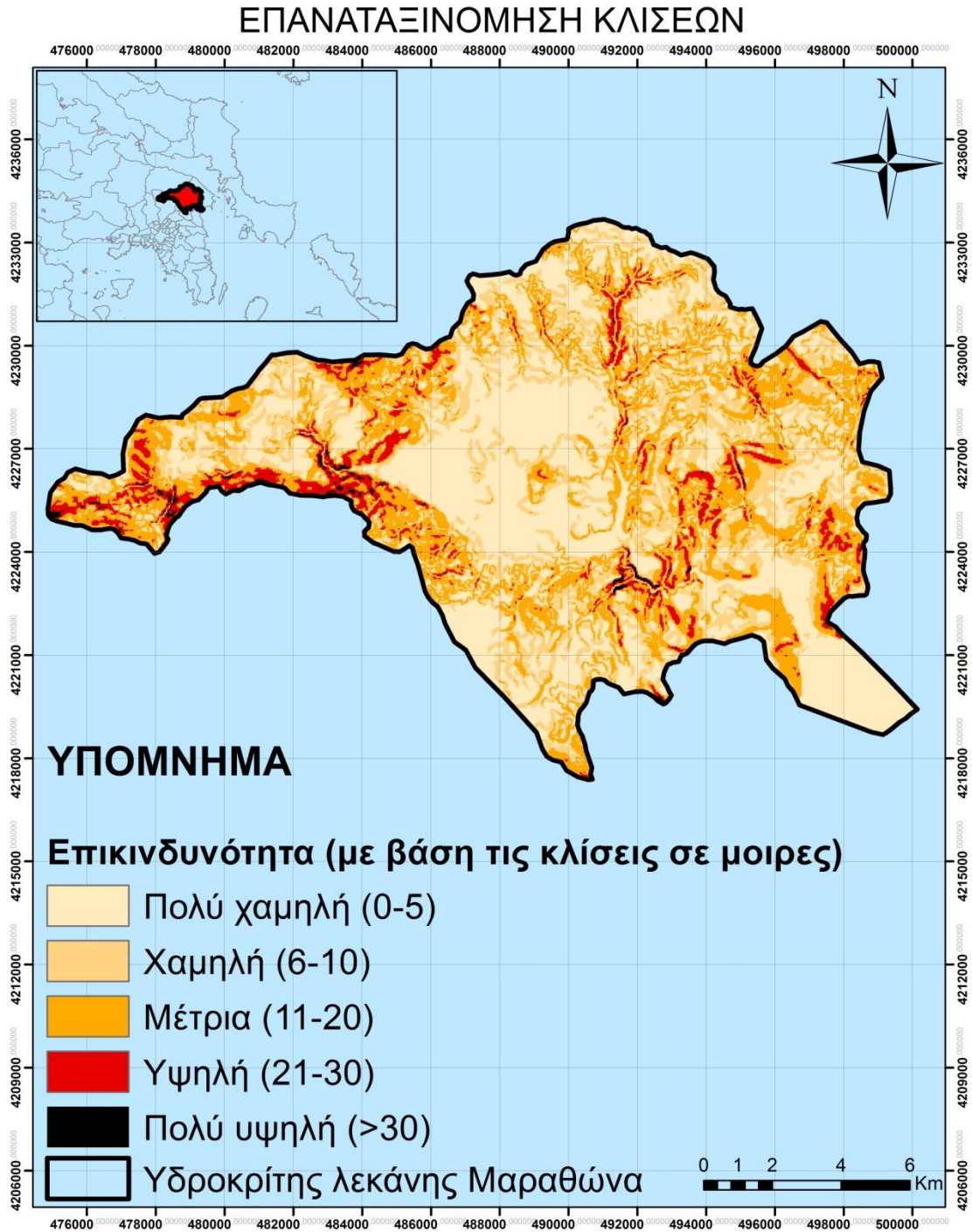
Όσον αφορά το βάθος εδάφους, ως χαμηλός κίνδυνος στη διάβρωση θεωρήθηκε το βάθος των 28cm, μέτριος κίνδυνος διάβρωσης ισχύει για το βάθος των 55 cm ενώ υψηλό κίνδυνο έχουμε σε πάχος εδαφικού ορίζοντα μεγαλύτερου από τα 70 cm (85cm, 110cm, 120cm).



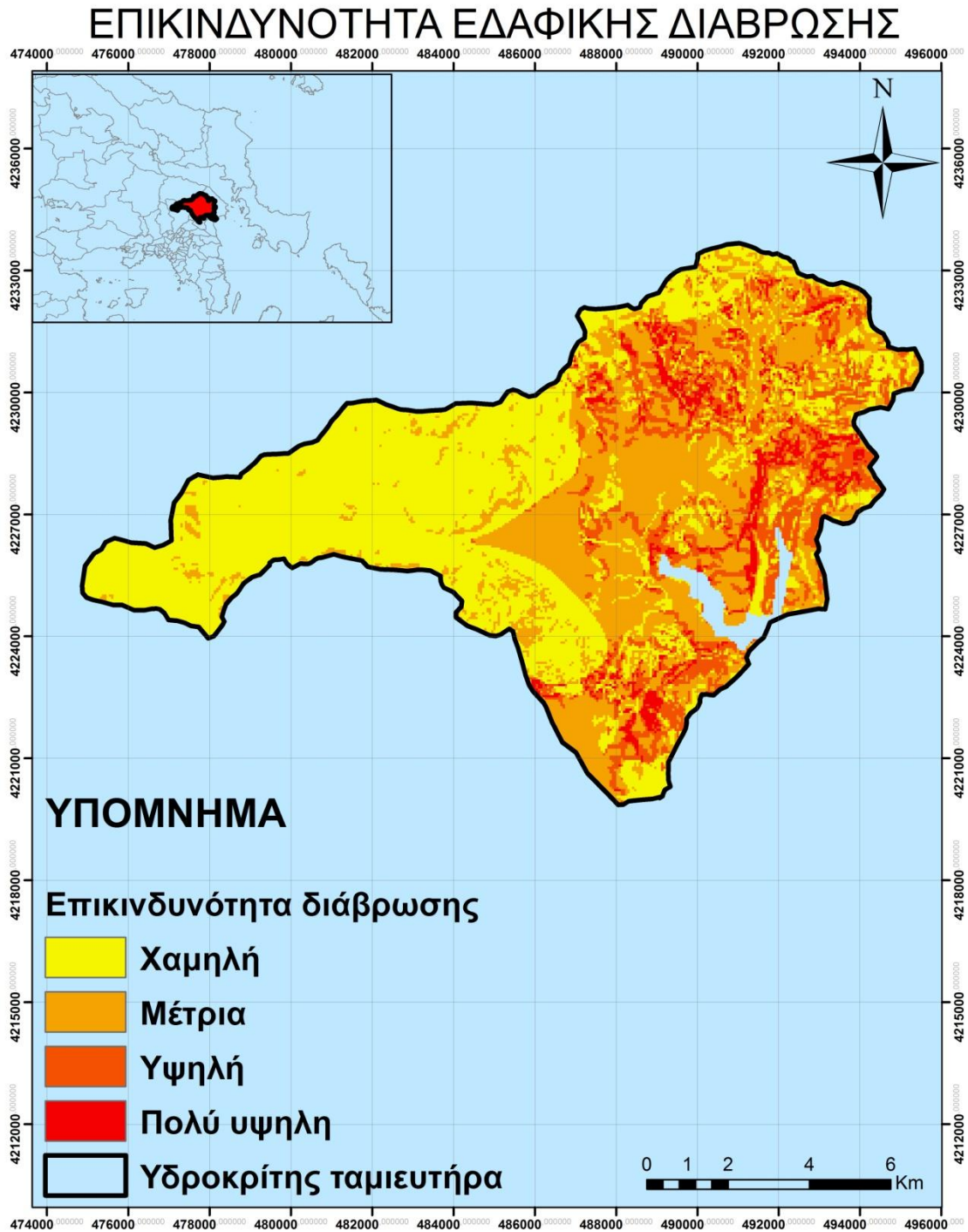
Σχήμα 77: Στον χάρτη διαχωρίζονται οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, ως αυτές που έχουν διαθέσιμο αρκετό έδαφος (>85cm) συγκριτικά με αυτές που το έδαφος έχει μικρό βάθος (28cm).



Σχήμα 78: Όπως γίνεται αντιληπτό, οι δασικές περιοχές ανήκουν στις περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας, εν αντιθέσει με τους βοσκοτόπους, τις γεωργικές και τις καμένες περιοχές, οι οποίες κρίνονται ιδιαίτερα ευπαθείς στη διάβρωση (στον χάρτη λαμβάνονται υπόψη και τα είδη φυτοκάλυψης και οι καμένες περιοχές του 2009).



Σχήμα 79: Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας θεωρούνται οι κλίσεις μικρότερες των 5° , χαμηλή είναι η τάξη των 5° - 10° , μέτριες θεωρούνται οι κλίσεις 10° - 20° , υψηλής επικινδυνότητας είναι οι 20° - 30° και τέλος, στην πολύ υψηλή επικινδυνότητα ανήκουν όλες οι κλίσεις που είναι μεγαλύτερες των 30° .



Σχήμα 80: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης στη λεκάνη του Μαραθώνα, Αττικής με βάση τα Γ.Σ.Π.



Στον παραγόμενο χάρτη παρατηρείται σημαντική επικινδυνότητα εδαφικής διάβρωσης, κυρίως στο ανατολικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής. Οι δασικές περιοχές στα δυτικά δεν επηρεάζονται όπως είναι λογικό από την εδαφική διάβρωση εξαιτίας του εκτεταμένου ριζικού συστήματος που αναπτύσσει αυτό το είδος βλάστησης και του βάθους εδάφους. Επικίνδυνες περιοχές θεωρούνται αυτές που καλύπτονται από γεωργικές και θαμνώδεις εκτάσεις στις οποίες υπάρχει αρκετό έδαφος διαθέσιμο στις διεργασίες διάβρωσης, ενώ οι μεγάλες κλίσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο στην οριοθέτηση των επικίνδυνων περιοχών. Τέλος, η λεκάνη του Σπαρτορρέματος εντοπίζεται ακριβώς μέσα σε υψηλής επικινδυνότητας εκτάσεις.

7.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PESERA

Το PESERA αν και αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο μοντέλο εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης από το έτος 2001 δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας της απαίτησης σε δεδομένα τα οποία συχνά απουσιάζουν. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο μοντέλο, το οποίο εφαρμόζεται από το 2001 σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Στην εργασία αυτή το μοντέλο εφαρμόστηκε 3 φορές ώστε να επιτευχθεί μια συσχέτιση της εδαφικής διάβρωσης πριν και μετά την πυρκαγιά του 2009 στη λεκάνη απορροής του ταμειυτήρα του Μαραθώνα. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα ετερογενή λεκάνη όσον αφορά τις χρήσεις γης, με αποτέλεσμα την εφαρμογή του μοντέλου κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες βλάστησης και όχι σε μία ελεγχόμενη περιορισμένη έκτασης περιοχή που αποτελεί και τη συνήθη πρακτική. Πρέπει να τονιστεί ότι εξαιτίας της διαφορετικής κλίμακας δεδομένων παλαιότερης δεκαετίας και της μείωσης της έκτασης της λίμνης με την πάροδο των ετών, η περιοχή της λίμνης δεν ταυτιζόταν απόλυτα στους τελικούς χάρτες, για τον λόγο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο να αφαιρεθεί από τα πρωτογενή δεδομένα.

Στους εξαγόμενους χάρτες είναι σαφής η διαφοροποίηση της διάβρωσης του έτους 2008 (πριν την πυρκαγιά), με το έτος 2011 (1,5 χρόνο μετά την πυρκαγιά). Το σύνολο της λεκάνης κατά το έτος 2008 παρουσιάζει υψηλότερη επικινδυνότητα σε σχέση με το 2011, με εξαίρεση την πυρόπληκτη περιοχή. Το γεγονός αυτό φαίνεται να οφείλεται στον υετό, διότι με βάση τα σχήματα 48 και 49, το έτος 2008 η βροχόπτωση ήταν αυξημένη κατά 120mm συγκριτικά με τη βροχόπτωση του 2011. Επίσης, το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων του έτους 2011 βρίσκεται εντοπισμένο την περίοδο Μαρτίου-Ιουνίου κατά την οποία υπάρχει αρκετή



φυτοκάλυψη με αποτέλεσμα να μειώνεται η ενέργεια του νερού και κατά συνέπεια της απορροής και της διάβρωσης. Αντίθετα, το 2008 η περισσότερη βροχόπτωση εντοπίζεται τη φθινοπωρινή-χειμερινή περίοδο (Οκτώβριο με τέλη Δεκεμβρίου), κατά την οποία το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης περιοχής είναι απογυμνωμένο.

Όσον αφορά την πυρόπληκτη περιοχή τονίζεται ότι ακόμα και εκτάσεις οι οποίες κατά το 2008 είχαν χαμηλή επικινδυνότητα διάβρωσης, 1,5 χρόνο μετά χαρακτηρίζονται ως περιοχές υψηλής επικινδυνότητας εξαιτίας της σημαντικής μείωσης της φυτοκάλυψης. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του Σπαρτορρέματος, η λεκάνη του οποίου είχε πληγεί κατά 40% από την πυρκαγιά του Αυγούστου του 2009 και η οποία έχει ανέβει 3 κλάσεις επικινδυνότητας διάβρωσης κατά το έτος 2011.

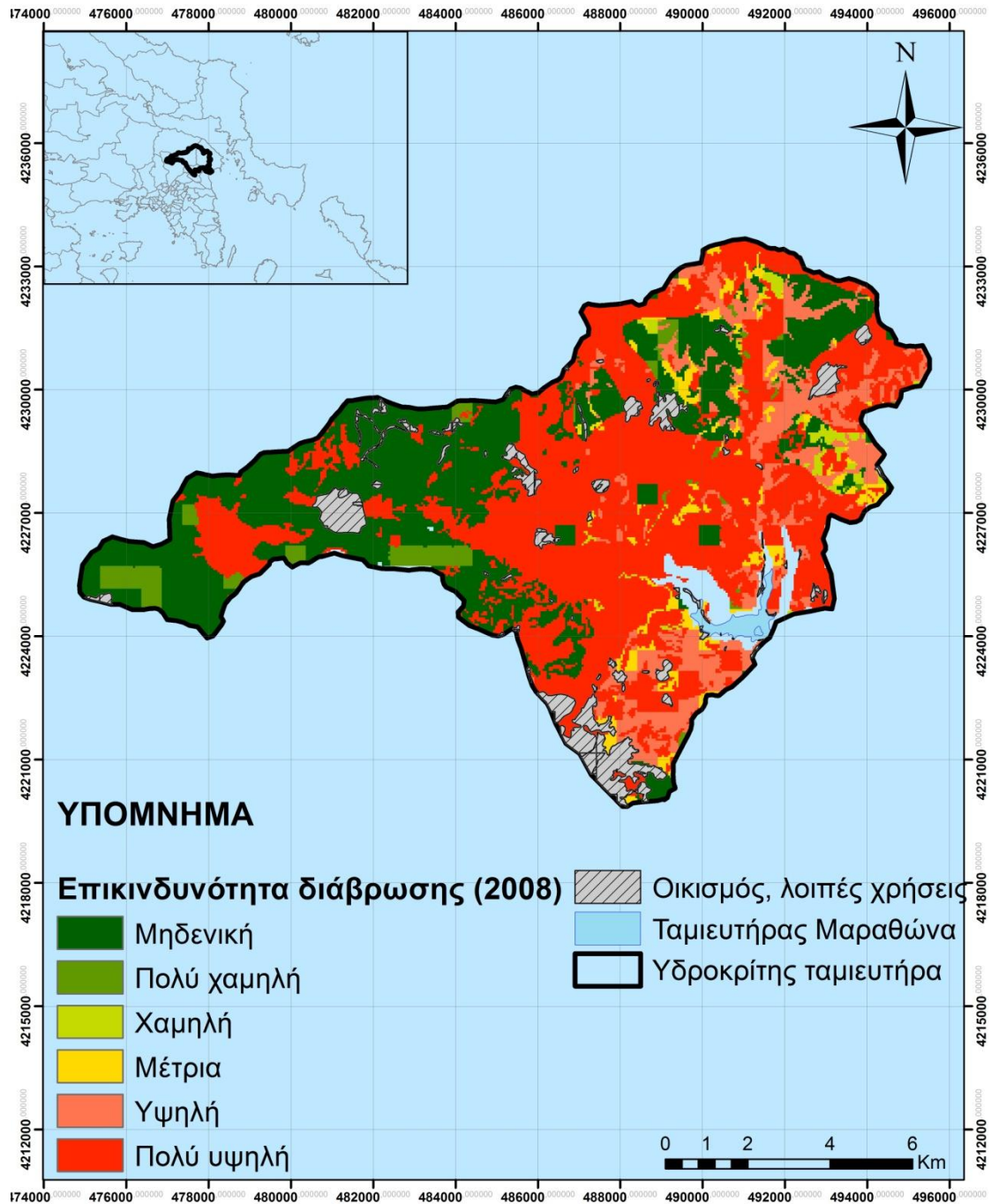
Πριν την πυρκαγιά μηδενική διάβρωση εντοπίζεται στις δασικές περιοχές ελάτης και χαλέπιου πεύκης, λόγω του εκτεταμένου ριζικού τους συστήματος και του ικανοποιητικού βάθους εδάφους. Η μεγαλύτερη διάβρωση εντοπίζεται στις γεωργικές καλλιέργειες στο κεντρικό τμήμα του χάρτη, στις θαμνώδεις εκτάσεις και τα λιβάδια. Περιοχές με μηδενική διάβρωση έχουν έκταση 35.634 στρεμμάτων (30.48% της συνολικής περιοχής), στη δεύτερη κλάση πολύ χαμηλής διάβρωσης αντιστοιχούν 3.541 στρέμματα (3.03%). Χαμηλή επικινδυνότητα εμφανίζει το 1,09% της περιοχής, περί τα 3.709 στρέμματα. Οι υψηλής επικινδυνότητας περιοχές έχουν έκταση 12.605 στρέμματα (10.8%) ενώ πολύ υψηλή επικινδυνότητα εμφανίζει το 51,43% της συνολικής περιοχής που αντιστοιχεί σε 60.150 στρέμματα. Τα ποσοστά εκτάσεων ανά κλάση επικινδυνότητας διάβρωσης είναι οι εξής:

Πίνακας 26: Έκταση περιοχών ανά κλάση επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης για το έτος 2008.

Διάβρωση (2008)	Έκταση (%)
Μηδενική	30,48
Πολύ χαμηλή	3,03
Χαμηλή	1,09
Μέτρια	3,17
Υψηλή	10,8
Πολύ υψηλή	51,43



ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ



Σχήμα 81: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης για το έτος 2008 της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα μέσω του μοντέλου PESERA.



Μετά την πυρκαγιά η μεγαλύτερη διάβρωση εντοπίζεται περιμετρικά των γεωργικών καλλιεργειών της κεντρικής περιοχής της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα και κυρίως στην πυρόπληκτη περιοχή στα ανατολικά του χάρτη. Αυτό οφείλεται στα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του έτους. Όπως αναφέρθηκε, κατά το έτος 2011 οι βροχοπτώσεις εντοπίζονται κατά την περίοδο της άνοιξης, που υπάρχει αρκετή φυτοκάλυψη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διάβρωση συγκριτικά με το 2008. Και σε αυτήν την περίπτωση οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο είναι οι γεωργικές καλλιέργειες, οι θαμνώδεις εκτάσεις και τα λιβάδια. Οι μηδενικής διάβρωσης περιοχές αποτελούν το 23,9% της συνολικής περιοχής με έκταση 27.958 στρεμμάτων. Πολύ χαμηλή διάβρωση αντιστοιχεί σε 16.795 στρέμματα (14,3%), ενώ χαμηλή κλάση διάβρωσης αντιστοιχεί σε 9.515 στρέμματα (8,1%). Μέτρια διάβρωση αντικατοπτρίζεται στο 7,3% της περιοχής καλύπτοντας 8.535 στρέμματα. Υψηλής διάβρωσης περιοχές αποτελούν το 5,1% (5.844 στρέμματα) της περιοχής ενώ και σε αυτήν την περίπτωση το μεγαλύτερο ποσοστό (41,3) κατέχουν οι πολύ υψηλής επικινδυνότητας περιοχές με έκταση 48.276 στρεμμάτων.

Είναι σαφές ότι στην καμένη περιοχή η επικινδυνότητα είναι πολύ υψηλή εξαιτίας της μείωσης της φυτοκάλυψης. Παλαιότερες δασικές περιοχές με χαλέπιο πεύκη, το 2011 αντιστοιχούν σε περιοχές βοσκοτόπων. Η διαφοροποίηση που υφίσταται στις κλάσεις επικινδυνότητας διάβρωσης εντός της πυρόπληκτης περιοχής (στις γεωργικές περιοχές) οφείλεται στην παράμετρο της διαβρωσιμότητας (Erod_0702), η οποία προκύπτει με βάση τις κοκκομετρικές αναλύσεις του εδάφους και που θεωρήθηκε αμετάβλητη κατά το έτος 2011, επειδή η περιοχή βρίσκεται σε στάδιο ανάκαμψης.

Η λεκάνη του Σπαρτορρέματος βρίσκεται εντός της πληγείσας περιοχής. Όπως παρατηρείται δεν υπάρχει διαφοροποίηση στον χάρτη του 2011 και στον χάρτη του Σπαρτορρέματος **(σχήμα 82)**, παρά την εκ νέου ψηφιοποίηση των χρήσεων γης και της πυρόπληκτης περιοχής, το οποίο πιθανόν να οφείλεται στο μέγεθος των εικονοστοιχείων (cellsize=50m) του αλγόριθμου του μοντέλου.



Πίνακας 27: Έκταση περιοχών ανά κλάση επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης για το έτος 2011.

Διάβρωση (2011)	Έκταση (%)
Μηδενική	23,9
Πολύ χαμηλή	14,3
Χαμηλή	8,1
Μέτρια	7,3
Υψηλή	5,1
Πολύ υψηλή	41,3

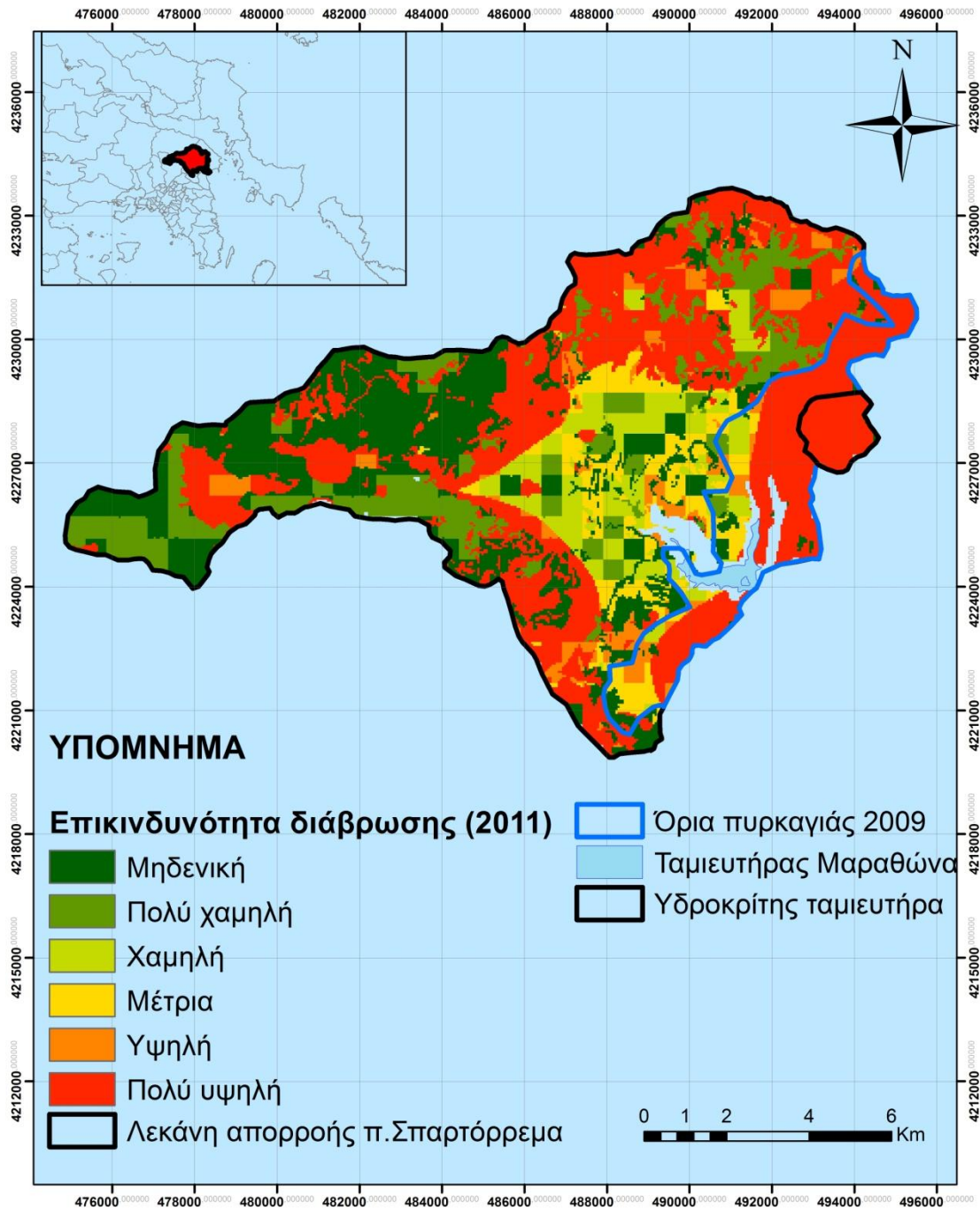
Μόνο για την οριοθετημένη περιοχή της πυρκαγιάς, η οποία καλύπτει το 17% του συνόλου της λεκάνης απορροής ισχύουν τα ποσοστά εκτάσεων του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 28: Διαφοροποίηση εκτάσεως περιοχών ανά κλάση επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης για τα έτη 2011 και 2008 της πυρόπληκτης περιοχής.

Διάβρωση	2011: Έκταση (%)	2008: Έκταση (%)
Μηδενική	11,2	5,2
Πολύ χαμηλή	12,2	0,2
Χαμηλή	5,5	1,1
Μέτρια	9	2
Υψηλή	5,9	13,2
Πολύ υψηλή	56,2	78,3



ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ



Σχήμα 82: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης για το έτος 2011 της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα μέσω του μοντέλου PESERA.



8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στη λεκάνη απορροής του ταμειυτήρα του Μαραθώνα είναι πολυάριθμες κι έχουν συμβάλει σημαντικά στην αλλαγή των χρήσεων γης, του υδρογραφικού δικτύου και στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής. Οι πρόσφατες πυρκαγιές του 2009 στο ανατολικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής θέτουν το θέμα της εδαφικής διάβρωσης πολύ ψηλά στην ιεραρχία των εν δυνάμει κινδύνων της συγκεκριμένης λεκάνης. Οι φυσικοχημικές μεταβολές του εδάφους και της μειωμένης φυτοκάλυψης λόγω της πυρκαγιάς αυξάνουν την απορροή και την ποσότητα του φερτού υλικού (Cerdea and Doerr 2005).

Η Ελλάδα παρουσιάζει σημαντικούς ρυθμούς διάβρωσης εξαιτίας των κλιματικών και εδαφικών χαρακτηριστικών της, των αυξημένων κλίσεων και των χρήσεων γης. Η ετήσια απορροή σχετίζεται άμεσα με τον ετήσιο ρυθμό διάβρωσης (Maetens et al. 2012), επομένως στις περιοχές με μεγάλες κλίσεις και τα κατάλληλα κλιματικά χαρακτηριστικά, η απορροή και άρα και η εδαφική διάβρωση αναμένεται να έχουν αυξημένες τιμές. Στην Ελλάδα οι τιμές εδαφικής διάβρωσης κατά θέσεις ξεπερνούν τους 50t/ha (σύγκριση πινάκων 29 και 30, Kouli et al. 2008, Gitas et al. 2009).

Πίνακας 29: Τιμές εδαφικής διάβρωσης Ευρωπαϊκών και άλλων περιοχών.

Περιοχή μελέτης	Διάβρωση (t/ha)	Πηγή
ΒΔ Ισπανία	56	Diaz-Fierros et al. (1982), Benito E et al. (1991)
Galicia, Ισπανία	13.1	Soto et al. (1994), Soto and Diaz-Fierros (1998)
Πορτογαλία	2.2	Shakesby et al. (1996)
Αν.Ισπανία	2.9	Bautista et al. (1996)
ΝΑ Γαλλία	16.3	Lavabre and Martin (1997)
Σαρδηνία	0.3	Vacca et al. (2000)
Κροατία	0.1	Butorac et al. (2009)
Israel	3,7	Inbar et al. (1997), Wittenberg and Inbar (2009)
Granada, Spain	94	Scoging (1982)
Central Spain	6	de Alba et al. (2001)
Andalusia	69.1	Schoorl et al.(2004)
Central Pyrenees	29.5	Navas et al. (2005)
Σκωτία	2.7	Baggaley N.,et al. (2010)



Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης πραγματοποιήθηκε με δυο τρόπους, τη μεθοδολογία των Γ.Σ.Π (Fox et al. 2006) και το μοντέλο PESERA. Η μέθοδος των Γ.Σ.Π δεν πραγματοποιεί αξιόλογη συσχέτιση βάθους εδάφους και βλάστησης, διότι χωρίς συντελεστές βαρύτητας, φαίνεται να υπερεκτιμάται ο όγκος του διαθέσιμου εδάφους χωρίς να συσχετίζεται λόγου χάρη, η δασική βλάστηση, η οποία με το εκτεταμένο ριζικό της σύστημα έχει τη δυνατότητα να το συγκρατεί σημαντικά. Το μοντέλο PESERA αντίθετα, είναι ένα μοντέλο χωρικής ανάλυσης με εφαρμογή σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές με σημείο αναφοράς μια τοπική Ευρωπαϊκή κλίμακα. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα απαιτητικό μοντέλο όσον αφορά τα πρωτογενή δεδομένα που εισάγονται στον αλγόριθμο, το οποίο θεωρείται όμως, γενικά αξιόπιστο μοντέλο καταγραφής της ποσοτικής και ποιοτικής εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης, ανάλογα βέβαια με την ποιότητα των δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο (Kirkby et al. 2004). Η εφαρμογή του με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία λαμβάνει χώρα κυρίως σε οριοθετημένες αγροτικές περιοχές, ενώ η εφαρμογή του σε δασικές περιοχές είναι ιδιαίτερα περιορισμένη με αποτέλεσμα οι παράμετροι της δασικής βλάστησης που εισάγονται στο μοντέλο να μην έχουν προσδιοριστεί πλήρως. Εν τούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι αξιοποιώντας την αποκτηθείσα εμπειρία της παρούσας εργασίας κρίνεται αναγκαίος ο πλήρης προσδιορισμός των δασικών παραμέτρων που απαιτούνται, διότι με μικρή μείωση μιας παραμέτρου των δασικών εκτάσεων παρατηρήθηκε ακραία μεταβολή της διάβρωσης (εν συγκρίσει με τις αγροτικές περιοχές). Για την εξαγωγή περισσότερο ασφαλών συμπερασμάτων στη λεκάνη του ταμιευτήρα του Μαραθώνα απαιτείται η κατασκευή ενός εδαφολογικού χάρτη μεγαλύτερης κλίμακας, σε επίπεδο λεκάνης απορροής με αρκετές δειγματοληψίες εδάφους σε κάθε χαρτογραφική εδαφική μονάδα (ΧΕΜ). Η συλλογή των δειγμάτων πρέπει να πραγματοποιείται μακριά από οικισμούς και λοιπές ανθρωπογενούς προέλευσης χρήσεις, η θέση οφείλει να είναι αντιπροσωπευτική της εξεταζόμενης εδαφικής μονάδας και φυσικά οι εργαστηριακές αναλύσεις να πραγματοποιούνται με όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα ανάλυσης. Είναι απαραίτητες επομένως, οι παρατηρήσεις υπαίθρου με όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή χαρτογράφηση της εξεταζόμενης περιοχής. Με βάση τα πρωτογενή δεδομένα που απαιτεί η κάθε μεθοδολογία για να προβεί στην τελική εκτίμηση της επικινδυνότητας, ο χάρτης του μοντέλου PESERA κρίνεται, όπως είναι λογικό, πιο αντιπροσωπευτικός της υφιστάμενης κατάστασης στη λεκάνη του ταμιευτήρα του Μαραθώνα.

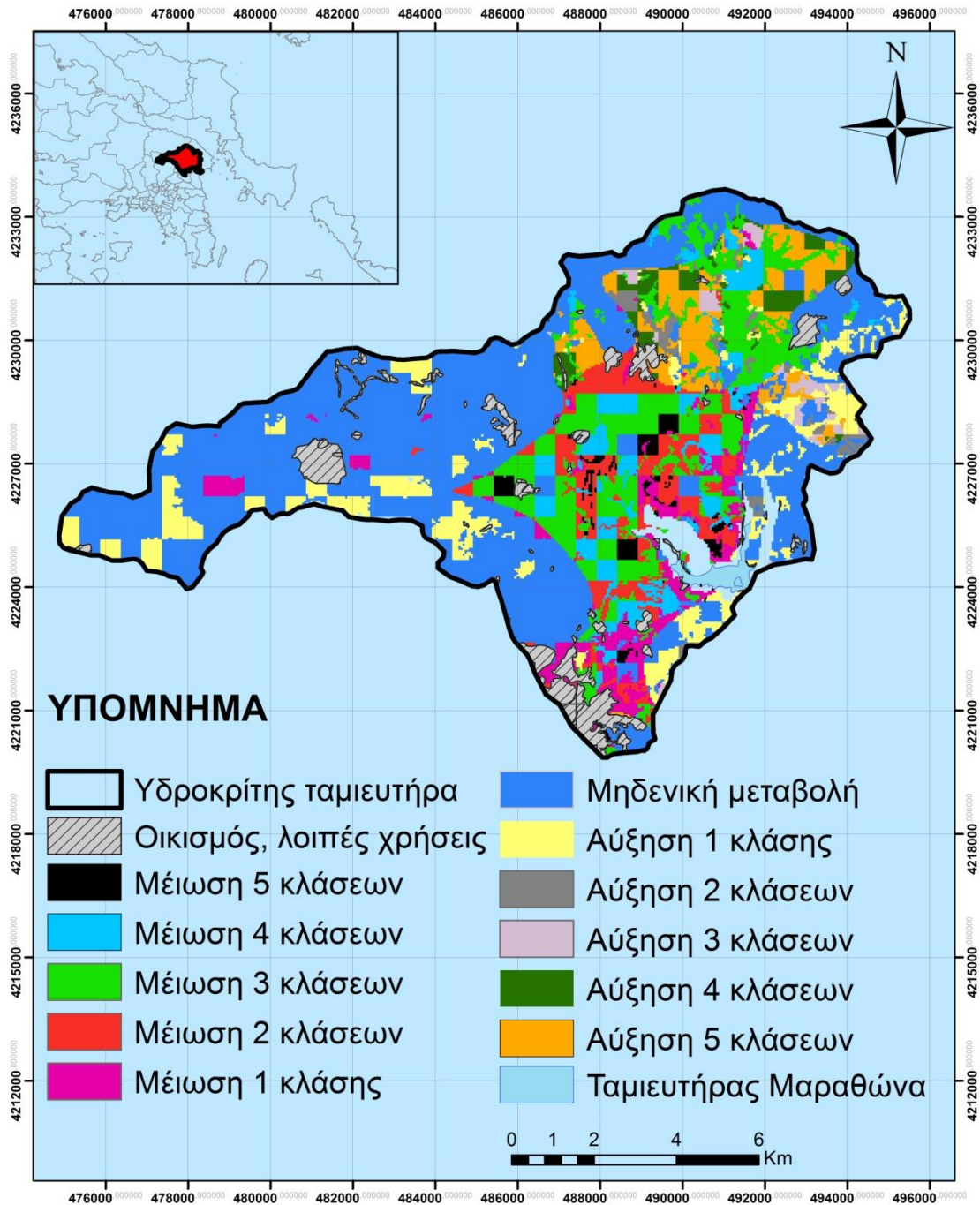


Συγκρίνοντας τον τελικό χάρτη εκτίμησης διάβρωσης του 2011 του μοντέλου PESERA με τον χάρτη που προέκυψε μέσω των Γ.Σ.Π. παρατηρείται ικανοποιητική ταύτιση των περιοχών υψηλής/πολύ υψηλής επικινδυνότητας με βάση τα δεδομένα που εισήχθησαν στην κάθε μεθοδολογία. Γεγονός αποτελεί η μεγάλη βαρύτητα που δίνει το απλοϊκό μοντέλο των Γ.Σ.Π. στις κλίσεις, οι οποίες φαίνεται να έχουν ληφθεί σοβαρά υπόψη και στο μοντέλο PESERA. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι στην κεντρική περιοχή του χάρτη του 2008 του PESERA παρατηρείται μια αντίφαση. Οι δασικές περιοχές χαλέπιου πεύκης θεωρούνται πολύ υψηλής επικινδυνότητας περιοχές, ενώ οι γεωργικές εκτάσεις αντιστοιχούν στις μηδενικής διάβρωσης περιοχές. Μετά από εκτεταμένη έρευνα διαπιστώθηκε ότι οι δασικές περιοχές χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές κλίσεων ($>25^\circ$) συγκριτικά με τις πεδινές γεωργικές περιοχές, ούτως ώστε να θεωρούνται πιο επιδεκτικές στη διάβρωση.

Η διαφοροποίηση στις κλάσεις επικινδυνότητας που υφίσταται στην περιοχή της πυρόπληκτης περιοχής είναι αξιοσημείωτη, διότι ενώ αναμένεται η περιοχή να βρίσκεται σε υψηλότερη κλάση επικινδυνότητας κατά την μεταπυρική περίοδο, τελικά αν συγκριθούν τα ποσοστά της περιοχής ανα κλάση για τα δύο έτη, το έτος 2011 χαρακτηρίζεται από υψηλότερα ποσοστά εκτάσεων μηδενικής έως μέτριας επικινδυνότητας και μικρότερα ποσοστά υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας σε σχέση με το έτος 2008 (**πίνακας 28**). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μειωμένη βροχόπτωση του 2011 που μειώνει σημαντικά τη διάβρωση συγκριτικά με το 2008. Για την αποτύπωση αυτής της μείωσης της διάβρωσης του έτους 2011 κατασκευάστηκε ο χάρτης μεταβολής της επικινδυνότητας.



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2011



Σχήμα 83: Στον παραπάνω χάρτη απεικονίζεται η διαφορά του έτους 2011 σε σχέση με το έτος 2008 με τη χρήση του *raster calculator* του ArcGIS v.10. Χαρακτηριστική είναι η αμετάβλητη περιοχή που καλύπτει μεγάλο μέρος του χάρτη. Η μείωση της επικινδυνότητας σε κάποιες περιοχές είναι ιδιαίτερα εμφανής.



Είναι πολύ σημαντικό, όπως αναφέρει και ο Ξανθάκης στη διδακτορική του διατριβή (2011) να εξακριβωθεί ο ρυθμός διάβρωσης των ανάντη περιοχών ενός ταμιευτήρα με σκοπό την καλύτερη διαχείριση του. Σύμφωνα με την υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα που πραγματοποίησε ο ίδιος, εκτιμήθηκε ο όγκος του φερτού υλικού ίσος με $4,68\text{hm}^3$, το οποίο εκτείνεται σε περιοχή $1,22\text{km}^2$, ενώ η μέση ετήσια απόθεση με βάση τη βυθομέτρηση ισούται με 58.460m^3 . Το μοντέλο RUSLE υποεκτίμησε την υφιστάμενη κατάσταση αφού προέκυψε όγκος φερτού υλικού ίσος με $1,64\text{hm}^3$. Η αδυναμία του να εκτιμήσει την πραγματική κατάσταση της λεκάνης φαίνεται να οφείλεται στο μεγάλο ποσοστό δασικής έκτασης που χαρακτηρίζει τη λεκάνη του Μαραθώνα, αφού το μοντέλο αυτό έχει δημιουργηθεί για την εκτίμηση της διάβρωσης σε αγροτικές περιοχές, καθώς και στην αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση του (Ξανθάκης 2011). Στην εργασία των Ζαρρης κ.α. (2002) χρησιμοποιώντας το μοντέλο SEAGIS στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών η συνολική στερεοαπορροή υπολογίστηκε ίση με 13.32t/ha , η οποία είναι υπερεκτιμημένη σε σχέση με την υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα, η οποία υπολόγισε $10,05\text{t/ha}$ ιζήματος. Σύμφωνα με τις εργασίες της Κουρακλή (2010) και Ξανθάκης (2011) υπάρχει συσχέτιση του ταμιευτήρα του Μαραθώνα με τις λίμνες Δοϊράνης και Καστοριάς.

Πίνακας 30: Τιμές μέσης εδαφικής διάβρωσης λεκανών κατάκλυσης ταμιευτήρων στην Ελλάδα (Κουρακλή 2010 και *Ξανθάκης (2011)).

Λίμνη	Εμβαδόν λεκάνης (km^2)	Μέση ειδική διάβρωση W ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^2 / \text{y}$)	Μέση διάβρωση W (m^3 / y)
Βιστωνίδα	975	708	691045
Μεγάλη Βόλβη	838	494	414467
Κορώνεια	537	923	496098
Δοϊράνη	137	740	102180
Βεγορίτιδα	417	943	393932
Πετρών	27	322	8998
Χειμαδίτιδα	29	845	24767
Ζάζαρη	67	734	49685
Μικρή Πρέσπα	66	885	59243
Μεγάλη Πρέσπα	94	814	77110
Καστοριάς	138	681	94446
Παμβώτιδα	138	973	135020
Βουλκαρία	56	1625	92241
Αμβρακία	20	1406	28279
Οζερός	19	1301	25480
Λυσιμαχεία	150	2365	355343
Τριχωνίδα	168	1930	325537
Μαραθώνα*	117	496	58460
Πολυφύτου	657	990	594168



Οι παρατηρήσεις υπαίθρου επισημαίνουν ότι η χρήση αντιδιαβρωτικών μέτρων κατά τη μεταυρική περίοδο είναι απαραίτητη για τη μείωση της στερεοπαροχής, της ταχύτητας του νερού και της διαβρωσιμότητας του εδάφους. Τα αποτελέσματα της εργασίας των Lane et al. (2006) φαίνεται να ισχύουν και στην εξεταζόμενη λεκάνη του Σπαρτορρέματος. Αύξηση της ετήσιας απορροής υφίσταται στα δύο πρώτα χρόνια της μεταυρικής περιόδου, χωρίς σημαντικές μεταβολές σε ημερήσια βάση, ενώ με την ανάκαμψη των οικοσυστημάτων μειώνεται η διαβρωσιμότητα του εδάφους. Το ύψος των ιζημάτων που έχουν συκρατηθεί σχετίζεται με το «πορώδες» και το ύψος της αντιδιαβρωτικής μεθόδου που χρησιμοποιείται, όπως στην περίπτωση της LDD (Fox 2011). Επομένως, το φράγμα του Σπαρτορρέματος χαρακτηρίζεται από σωστή επιμέρους διάταξη, η οποία το καθιστά ιδιαίτερος αποτελεσματικό.

8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας μπορεί να ειπωθεί ότι:

- Η ασυμμετρία της λεκάνης (δείκτης ασυμμετρίας = $31 < 50$) δείχνει την εξέχουσα θέση που κατέχει στην περιοχή ο τεκτονισμός, ο οποίος διαμορφώνει γεωμορφολογικά τη λεκάνη μέσω των ενεργών ρηξιγενών δομών. Χαρακτηριστική είναι η διαπλάτυση της λεκάνης προς τα ΔΝΔ εξαιτίας της δράσης του ενεργού ρήγματος των Αφιδνών.
- Η ποσοτική ανάλυση της λεκάνης απορροής του Μαραθώνα επισημαίνει ότι η λεκάνη προσομοιάζει με αυτές του Λιβαδόστρα και της Ριτσώνας.
- Εκτός από τις φυσικές διεργασίες, η γεωμορφολογική δομή της περιοχής έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, με αποκορύφωμα την κατασκευή του φράγματος και του τεχνητού ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Γεγονός είναι, ότι το υδρογραφικό δίκτυο δεν έχει καταφέρει να έρθει σε ισορροπία 84 χρόνια μετά την κατασκευή της λίμνης.
- Με την κατασκευή του φράγματος η μέγιστη τάξη του κύριου κλάδου μειώθηκε από 6^{ns} σε 5^{ns} και η υδρογραφική πυκνότητα μεταβλήθηκε.
- Ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα απέκοψε τους κύριους κλάδους των ποταμών Χάραδρου και Βαρνάβα, με σημαντική μείωση της έκτασης της λεκάνης τους κατά $18,1\text{km}^2$ και κατά $1,6\text{km}^2$, αντίστοιχα.
- Η κατασκευή του φράγματος διαμόρφωσε το περιβάλλον της ΒΑ Αττικής συντελώντας στη δημιουργία ενός χαρακτηριστικού μικροκλίματος και μιας



προστατευμένης περιβαλλοντικής ζώνης υψίστης σημασίας για την ευρύτερη περιφέρεια της Αττικής.

- Τα όρια των Δήμων δεν καθορίστηκαν με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, εφόσον η λεκάνη του Μαραθώνα ανήκει σε τέσσερις διαφορετικούς Καλλικρατικούς Δήμους.
- Η γενική διαφοροποίηση των χαρτών επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης του 2008 και του 2011 που προέκυψαν μέσω του μοντέλου PESERA οφείλεται στα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά κάθε έτους. Το έτος 2011 υπήρξε μείωση των βροχοπτώσεων σε σχέση με το 2008 κατά 120mm και μάλιστα με εντελώς διαφορετική κατανομή καθόλα τη διάρκεια του έτους. Σύμφωνα με τα σχήματα 48 και 49 το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων του 2011 βρίσκεται εντοπισμένο την περίοδο Μαρτίου-Ιουνίου κατά την οποία υπάρχει αρκετή φυτοκάλυψη ικανή να μειώσει την ενέργεια του νερού, ενώ το έτος 2008 χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις κατά τη φθινοπωρινή-χειμερινή περίοδο (Οκτώβριο- Δεκέμβριο), κατά την οποία το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης περιοχής είναι απογυμνωμένο. Επομένως, αφού παρατηρείται μεγαλύτερη διάβρωση στο σύνολο της περιοχής κατά το έτος 2008, η μειωμένη βροχόπτωση του 2011 φαίνεται να επέφερε μειωμένη απορροή και άρα μικρότερη διάβρωση.
- Οι γεωργικές καλλιέργειες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα διάβρωσης εξαιτίας των καλλιεργητικών πρακτικών, κατά τις οποίες υφίσταται μειωμένη φυτοκάλυψη εδάφους και άρα αυξημένη διάβρωση.
- Τα δασικά εδάφη χαρακτηρίζονται από μηδενική διάβρωση εξαιτίας του εκτεταμένου ριζικού συστήματος και του αυξημένου βάθους εδάφους. Μάλιστα, διαφοροποιείται η κλάση επικινδυνότητας τους κατά το έτος 2011, λόγω της μειωμένης βροχόπτωσης (μειωμένος νετός άρα μειωμένη διάβρωση).
- Η μείωση της φυτοκάλυψης εξαιτίας της πυρκαγιάς του 2009 αποτυπώθηκε με μεγαλύτερη επικινδυνότητα διάβρωσης από το μοντέλο PESERA.
- Στη λεκάνη του ποταμού Σπαρτορρέματος μειώθηκε σημαντικά η φυτοκάλυψη λόγω της πυρκαγιάς, για τον λόγο αυτό το μοντέλο εκτιμά ότι ολόκληρη η λεκάνη βρίσκεται σε μεγάλη επικινδυνότητα διάβρωσης.
- Η διάβρωση στις ανάντη περιοχές του ταμιευτήρα είναι σημαντική με το υλικό διάβρωσης να αποτίθεται στον ταμιευτήρα και να μειώνει την αποθηκευτική του ικανότητα. Περεταίρω εξέταση της ποσότητας αποτιθέμενου υλικού σε



ταμειυτήρες κρίνεται αναγκαία με σκοπό τη συγκέντρωση των αποτελεσμάτων, τη συσχέτιση των ταμειυτήρων και την ορθολογική διαχείριση τους.

- Το φράγμα του Σπαρτορρέματος συγκρατεί σημαντικό όγκο υλικού, αφού υπολογίστηκε μέσο πάχος ιζήματος περί τα 50cm, 3 χρόνια μετά την κατασκευή του.
- Η κοκκομετρική ανάλυση επισημαίνει απόπλυση του αργιλικού υλικού που συγκρατεί το αντιδιαβρωτικό φράγμα, με ποσοστό άμμου 92,7%, ιλύος 4% και αργίλου 3,3% εν συγκρίσει με ποσοστά 60% άμμου, 20% ιλύος και 20% αργίλου των κοκκομετρικών αναλύσεων του Ξανθάκη (2011).
- Το αντιδιαβρωτικό φράγμα από συρματοκιβώτια (gabions) που κατασκευάστηκε στον ποταμό Σπαρτόρρεμα θεωρείται ικανοποιητικό μέτρο όσον αφορά τη μείωση της διάβρωσης, τη συγκράτηση σημαντικού μεγέθους φερτού υλικού και τη μείωση της απορροής και της ταχύτητας του νερού.



9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαφειάδης Μ. (2004). Σημειώσεις «Ταμειυτήρες», ΤΥΤΠ-Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.8, www.users.auth.gr/~vmarios/courses/Dams.pdf.
- Βασιλειάδης Ε. (2010). Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με Γ.Σ.Π. Διδακτορική διατριβή, σελ. 218.
- Γαλανόπουλος Α.(1967). Επίδραση των διακυμάνσεων της στάθμης της λίμνης του Μαραθώνος επι της σεισμικής δράσεως του Λεκανοπεδίου Αττικής. *Annal. Geol. Pays Hellen.*, 18, 281-303.
- Γκανούλης Ι. (2006). Διαχείριση Διεθνών Υδάτων, η περίπτωση των Βαλκανίων, HELECO 2005, 5^η διεθνής έκθεση και συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος.
- Γκορέγια Α. (2010). Εκτίμηση διάβρωσης εδαφών πριν και μετά την πυρκαγιά στην υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Βαρνάβα στην περιοχή του Μαραθώνα Αττικής. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γκουβάς Μ. (2011). Κλίμα και δασική βλάστηση της Ελλάδας, Εθνικό αστεροσκοπείο Αθηνών.
- Γκούμα Β. (2001). Δασική Μετεωρολογία, με εφαρμογή στις Δασικές Πυρκαγιές, Διαδακτορική Διατριβή, ΓΠΑ.
- ΓΥΣ (1988). Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000 φύλλο Κηφισιά, Αθήνα.
- ΓΥΣ (1992). Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000 φύλλο Ελευσίς Αθήνα.
- ΕΘΙΑΓΕ (1995). Χάρτες φυτοκάλυψης περιοχής Μαραθώνα. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων. Υμηττού και Νικ. Χλωρού 1, 11528 Αθήνα
- Ζαρρης Δ., Λυκουδη Ε., Κουτσογιαννης Δ., (2002). Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμειυτήρες- Εφαρμογή στον ταμειυτήρα των Κρεμαστών. 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη, 2,363-370.
- Ζωσιμά Α. (2010). Εκτίμηση της στερεοπαροχής στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα με την εφαρμογή του μοντέλου PESERA, μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- ΙΓΜΕ (2002). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Κηφισιά, 1:50.000, από Κατσικάτσο Γ.
- ΙΓΜΕ (1993). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Ερέτρια, 1:50.000, από Κατσικάτσο Γ.
- ΙΓΜΕ (1986). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Αθήνα-Ελευσίς, 1:50.000 από Κατσικάτσο, Μιγκίρο Γ. Τριανταφυλλη Μ., Μεττος Α.
- Καϊλίδης Δ. (1993). Δασικές Πυρκαγιές, Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου Ο., Βασιλάκος Χ., Μαρκοπούλου Δ. (2004). Χωρική μοντελοποίηση καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς πυρκαγιών τοπίου. Ελληνική Γεωγραφική Εταιρία και Τμήμα Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου. Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Μυτιλήνη, σελ. 486-494.



- Καλκάνη Ε. (1994). Υδραυλικές κατασκευές-φράγματα. Εκδ. Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Καρύμπαλης Ε. (1996). Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του Εύηνου ποταμού, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
- Κοσμάς Κ. (2011). Μελέτη για την υποβάθμιση των εδαφών (πρόγραμμα INFOIL) ΕΘΙΑΓΕ.
- Κουράκλη Π. Στεφανίσης Π. (2011). Διάβρωση και ανάπτυξη μοντέλων διάβρωσης στην Ευρώπη. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, Σχολή Δασολογίας και Φ.Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, σελ 11. (http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Synedrio_PSM/kourakli.pdf).
- Κούτσιας Ν, Καρτέρης Μ., (1999). Μοντελοποίηση και χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας έναρξης των δασικών πυρκαγιών σε εθνική κλίμακα. . Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις”. 2078, σελ. 19.
- Λέκκας Ε. (2000). Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Εκδόσεις Access, σελ. 278.
- Μαργώνη Σ. (2006). Έρευνα των περιβαλλοντικών διεργασιών εξέλιξης των υδροτόπων και της πεδιάδας του Μαραθώνα κατά το Ολοκαινο με τη χρήση GIS, διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη, σελ.165.
- Μαρουκιάν Χ, Γάκη Κ., Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη Κ., Ευελπίδου Ν. (2007). Σημειώσεις εργαστηρίου «Γεωμορφολογία», Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Αθήνα, σελ.90.
- Μεχλερη Β. (2008). Υδρολογική προσομοίωση λεκανών απορροής με ελλιπή δεδομένα, Πάτρα, σελ.166.
- Μιγκίρος Γ. κ.α. (2010). Ολοκληρωμένη διαχείριση της κρίσης μετά την καταστροφική πυρκαγιά του 2009 στο δήμο Αγ.Στεφάνου: Καταγραφή και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης, σχεδιασμός αποκατάστασης και προστασίας.
- Μιγκίρος Γ., Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι., Γατσής Ι., Ψωμιάδης Ε. (2003). Τηλεπισκόπηση.Εφαρμογή στις γεωεπιστήμες, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μουτάφης Ν.Ι. Αστοχίες και Ατυχή Συμβάντα Ελληνικών Φραγμάτων (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigis/eis/7.2.pdf>).
- Νικολαΐδης Ν.Π., Καραγεωργής Α., Καψιμάλης Β., Σκουλικίδης Ν., Δρακοπούλου Π., Κοντογιαννης Χ., Παγκου Κ., Behrendt H. (2008). Διαχείριση των εκπομπων των θρεπτικων του Αξιου ποταμού και Θερμαϊκού κόλπου. Environmental Modeling and Assessment (accepted).
- Νικολαΐδης Μ (1990) Περί της υδατοκατανάλωσης της βλάστησης. “Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα». 1/1990, σελ.72-80.
- Ξανθάκης Μ. (2011) Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία, Διδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.288.
- Ξανθάκης Μ., Παυλόπουλος Κ., Αποστολόπουλος Γ., Καψιμάλης Β., Γκορέγια Α., Στεφανίδης Π., Μαρουκιάν Χ. (2010). Εφαρμογή μεθοδολογίας φερτών υλών σε τεχνητούς ταμιευτήρες-μελέτη περίπτωσης λίμνη Μαραθώνα. 9^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, σελ.8.



- Ξανθάκης Μ., Ξανθόπουλος Γ. (2007). Προσδιορισμός των αλλαγών χρήσης γης στην περιοχή του Μαραθώνα κατά τη διάρκεια ενός αιώνα με τη χρήση Γ.Σ.Π. 130 Πανελλήνιο δασολογικό Συνέδριο, τόμος II, σ.491-497.
- Ξανθόπουλος Θ. (1996). Διαχείριση υδατικών πόρων: θεωρητικές ελπίδες και ρεαλιστική αντιμετώπιση. Πρακτικά Δ' ΣΔΥΠ, Λάρισα.
- Ξανθόπουλος Γ., (1998). Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Σελ.62-71.
- Ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:5.000, Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων.
- Παπαγεωργίου Ο.Α. Τύποι φραγμάτων, γεωτεχνικά προβλήματα και συμπαρομαρτούντα έργα. Σελ.31, (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigis/eis/3.0.pdf>).
- Παπανικολάου Δ.,Μαριολάκος Η., Λέκκας Ε., Λόζιος Σ. (1988). Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού, συμβολή στην νεοτεκτονική της Β.Αττικής. Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου, Δελτ.Ελλ.Γεωλ.Εταιρ., Αθήνα, τόμος XX, σελ 251-267.
- Παυλόπουλος Κ.,Καρυμπαλης Ε., Μαρουκιαν Χ., (2005) Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του Οινόη ποταμού (Β.Αττική) κατά το Τεταρτογενές. 6ο Παν. Γεωγρ. Συνέδριο, (Α), σελ. 9.
- Στάθης Δ., Σαπουτζής Μ. (2002). Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής στη θέση κατασκευής φράγματος ταμίευσης νερού. 10^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Τρίπολη 26-29 Μαΐου 2002.
- Στεφανίδης Π., Στάθης Δ., Τζιαφάνη Φ., (2007). Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μοδίου με την εξίσωση εδαφικής διάβρωσης και τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 13^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Χλόη Καστοριάς, 7-10 Οκτωβρίου 2007.
- Στουρνάρας Γ. (2007) Νερό, Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη, σελ. 55.
- Συλλαίος Ν. (1999). Χαρτογράφηση και αξιολόγηση γεωργικών εδαφών και γαιών. Εκδόσεις Γιαχούδη-Παπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 265.
- Συλλαίος Ν., (1990). Εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία. Εκδόσεις Γιαχούδη-Παπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ 217.
- Τσόδουλος Μ.Ιωαννης (2009) Ενεργώς τεκτονική της ΝΑ Στερεάς Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 346.
- Φιλίντας Αγ Πολύζος Σ., Ντιούδης Π.,(2008) Αγροοικολογικός σχεδιασμός για προστασία εδαφικών και υδατικών πόρων. «Φυσικοί πόροι, Περιβάλλον και Ανάπτυξη» εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 667-694.
- Φλόκας Α. (1990) Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Ζήτη.
- Χρονόπουλος Κ. (2009) Ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών ανάλυσης και επεξεργασίας για την εκτίμηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε ανάγλυφο με ιδιότυπα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ 154.
- Ψωμάδης Ε. (2010) Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογικά λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 432.

**ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Agee, J. K., (1993). Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, D.C., 490.
- Andreu, V., Imeson, A.C., Rubio, J.L., (2001). Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44, 69–84.
- Ash, J.E., Wasson, R.J., (1983). Vegetation and sand mobility in the Australian desert dunefield. *Z. Geomorphol. Suppl.* 45, 7–25.
- Baggaley N., Lilly A., Walker R., Castellazzi M.(2010). An assessment of the data resolution required to run the PESERA soil erosion model at a catchment scale in a high latitude agricultural catchment. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions of a Changing World, Australia.
- Barber, T.R., Lutes, C.C., Doorn, M.R.J., Fuchsman, P.C., Timmenga, H.J., Crouch, R.L.,(2003). Aquatic ecological risks due to cyanide releases from biomass burning. *Chemosphere* 50(30), 343-8.
- Bautista, S., Bellot, J., Ramón Vallejo, V., (1996). Mulching treatment for postfire soil conservation in a semiarid ecosystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10, 235–242.9.
- Benito, E., Soto, B., Díaz-Fierros, F., (1991). Soil erosion studies in NW Spain. In: Sala, M., Rubio, J.L., García-Ruiz, J.M. (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, Logroño, p. 55–74.
- Brazier R. Rowan J., Anthony S., Quinn P. (2001) MIRSED towards an MIR approach to modeling hillslope soil erosion at the national level, *Catena* 42, 59-79
- Butorac, L., Topic, V., Jelic, G., (2009). Surface runoff and soil loss in burnt stands of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) growing on colluvial soils. *Sumarski List* 133, 165–174 (English summary).
- Campo J., Andreu V., Gimeno-Garcia E., Gonzalez O., Rubio JL. (2006) Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology*, 82 (3-4), 376-387.
- Cannon, S.H., Gartner, J.E., Wilson, R.C., Bowers, J.C., Laber, J.L., (2008). Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California. *Geomorphology* 96, 250–269.
- Cannon, P.J., (1976). Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of the Mill Greek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes*, 36(1), 3-16.
- Cerdan, O, (2003). Long-term Soil Erosion Plot Data to evaluate the PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) Approach. *Geophysical Research Abstracts*, 5, 00439..
- Cerdà, A., Doerr, S.H., (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena* 74 (3), 256–263.
- Cerda A., Lasanta A., (2005) Long-term erosional responses after fire in the central Spanish Pyrenees: 1. Water and sediment yield. *Catena* 60, 59-80.
- Cerdan O, Govers G, Le Bissonnais Y, Van Oost K, Poesen J, Saby N, Gobin A, Vacca A, Quinton J, Auerswald K, Klik A, Kwaad F, Raclot D, Ionita I, Rejman J, Rousseva S, Muxart T, Roxo M, Dostal T (2010) Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data. *Geomorphology* 122:167–177.
- Certini, G., (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143 (1), 1–10.



- Chambers, D.P., Attiwill, P.M., (1994). The ash-bed effect in *Eucalyptus regnans* forest: chemical, physical and microbiological changes in soil after heating or partial sterilisation. *Australian Journal of Botany* 42, 739–749.
- Chang, A.C., Lund, L.J., Page, A.L., Warneke, J.E., (1977). Physical properties of fly ash amended soils. *Journal of Environmental Quality* 6 (3), 267–270.
- Chen, Weinan, Dong, Zhibao, Li, Zhenshan, Yang, Zuotao, (1996). Wind tunnel test of the influence of moisture on the erodibility of loessial sandy loam soils by wind. *J. Arid Environ.* 34, 391–402.
- Cowie P.A, Roberts G.P, (2001). Constraining slip rates and spacings for active normal faults. *J. Struct. Geol.* 23, 1901-1915.
- Crosson P. (1984) New perspectives on soil conservation policy. *Journal of Soil and Water Conservation* 39 (4), 222-225.
- Daniel, J.R.K., (1981). Drainage density as an index of climatic geomorphology. *Journal of Hydrology*, 50, 147-154.
- Davis, W.M., (1909). The systematic description of land forms. *Geographical Journal of the Royal Geography Society*, 34, 300-326.
- De Alba, S., Lacasta, C., Benito, G., Pérez-González, A., (2001). Influence of soil management on water erosion in a Mediterranean semiarid environment in Central Spain. In: Gacia- Torres, L., Benitez, J., Martinez-Vilela, A. (Eds.), *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. FAO-European Conservation Agriculture Federation, p. 173–177.
- DeBano, L.F., (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* 231, 195–206.
- De Jong, S.M., Brouwer, L.C., Riezebos, H. Th. (1999): Erosion hazard assessment in the Peyne catchment, France.
- Demeyer, A., Voundi Nkana, J.C., Verloo, M.G., (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* 77, 287–295.
- De Vente J, Poesen J. (2005) Predicting soil erosion sediment yield at the basin scale: Scale issue and semi-quantitative models. *Earth- Science Reviews* 71, 95-125
- Díaz-Fierros, F., Gil Sotres, F., Cabaneiro, A., Carballas, T., Leiros de la Peña, M.C., Villar Velorio, M.C., (1982). Efectos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 49, 627–639.
- Dimitrakopoulos, A.P., Seilopoulos, D., (2002). Effects of rainfall and burning intensity on early post-fire soil erosion in a Mediterranean forest of Greece. In: Rubio, J.L. Morgan, R.P.C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Proceedings of the Third International Congress. Man and Soil at the Third Millennium*, Geofoma Ediciones, Logroño, 2, 1351–1357.
- Doerr, S.H., Cerdó, A., Bryant, R., (2008). The role of ash in carbon fluxes in fire-affected environments. *Geophysical Research Abstracts* 10, European Geosciences Union General Assembly, EGU2008-A-06555.
- Dynesius M., Nilsson C., (1994) Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World, *Science*, Vol 266 (11)Q 753-762.
- Ellison, W.D., 1944. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering* 25, 131–136. 181–182.
- Emmerich, W.E., Cox, J.R., (1994). Changes in surface runoff and sediment production after repeated rangeland burns. *Soil Science Society of America Journal* 58, 199–203.



- European Commission, (2002). Forest Fires in Europe: 2001 Fire Campaign. European Communities, Ispra.
- Evans R. (2002) Soil loss prediction with three erosion simulation models. *Applied geomorphology* 22,187-208.
- Forest Cities, LIFE08 project ENV/GR/000553 (2012). Guidelines-Development of Action Plans for Forest Fire Prevention. www.forestcities.gr, Αθήνα.
- Forest Cities, LIFE08 project ENV/GR/000553 (2010). Καταγραφή υφιστάμενου θεσμικού πλαισίου για την πρόληψη δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα και διεθνώς. www.forestcities.gr, Αθήνα.
- Fox D.M. (2011). Evaluation of the efficiency of some sediment trapping methods after a Mediterranean forest fire. *Journal of Environmental Management* 92, 258-265.
- Fox D., Berolo W. Carrega P., Darboux F., (2006). Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 606-621.
- Gagari P, Lyrintzis G, Baloutsos G, Xanthopoulos G. (2001). Contribution of log erosion barriers to soil protection and vegetation recovery after wildfire in a *Pinus halepensis* forest, in Greece. In *Proceedings of the International Conference, Forest Research: a Challenge for an Integrated European Approach*, Thessaloniki, Greece, Radoglou K (ed.). 1, 311-316.
- Gardner, T.W., Back, W., Bullard, T.F., Hare, P.W., Kesel, R.H., Lowe, D.R., Menges, C.M., Mora, S., Pazzaglia, F.J., Sasowsky, I.D., Troester, J.W. and Wells, S.G., 1987. Central America and the Caribbean. In: *Geomorphic Systems of North America*. *Geol. Soc. Am.* 2, 343-402.
- Gavrilovic S. (1988) The use of an empirical method for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. *International Conference on river regime*, 411-422. White W.R (Ed), Wiley, New York (Chichester, UK).
- Gitas I. Douros K., Minakou C., Silleos G., Karydas C., (2009). Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL eProceedings* 8, p. 13.
- Hare, P.H., Gardner, T.W., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa M., Hack J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology*, Allen and Unwin, Boston, 75-104.
- Horowitz, A.J., Elrick, K.A., 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry* 2, 437- 451.
- Horton (1945) Erosional development of streams and their drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- Howard AD (1967) Drainage analysis in geologic interpretation: a summation, *Amer. Assoc. of Petroleum Geologists*, 51, 2246-3359.
- Hudson, N.W., 1981. *Soil Conservation*. Batsford, London.
- Inbar M., Tamir M., Wittenberg L., (1998) Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology* 24, 17-33
- Karastathis V., Karmis P., Drakatos G., Stavrakakis G., (2002) Assessment of the dynamic properties of highly saturated concrete using one-sided acoustic tomography. *Application in the Marathon Dam*. *Construction and Building Materials* 16, 261-269.



- Kelley Hubert (1990) Keeping the land alive, soil erosion and causes, German Agency for Technical Cooperation (GTZ) Soil Resources, Management and Conservation Service FAO Land and Water Development Division.
- Keller, E.A., (1986). Investigation of Active Tectonics: Use of Surficial Earth Processes. In: Wallace, R.E., (Ed.), Active Tectonics, Studies in Geophysics. National Academy Press, Washington, DC, 136-147.
- Khanna, P.K., Raison, R.J., Falkiner, R.A., (1994). Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. Forest Ecology and Management 66 (1-3), 107-125.
- Kirkby M., (2004). The PESERA Map, Govers G., Gobin A., Cerdan O., Rompaey A., Irvine B., Bissonais Y., Daroussin J., King D., Jones R., Montanarella L., Grimm M., Vieillefont V., Puigdefabregas J., Boer M., Yassoglou N., Kosmas C., Tsara M., Lynden G., Mantel S., p. 30
- Kirkby MJ, Jones RJA, Irvine B, Gobin A, Govers G, Cerdan O, Van Rompaey AJJ, Le Bissonnais Y, Daroussin J, King D, Montanarella L, Grimm M, Vieillefont V, Puigdefabregas J, Boer M, Kosmas C, Yassoglou N, Tsara M, Mantel S, Van Lynden GJ, Huting J (2004) Pan-European soil erosion risk assessment: the PESERA map, version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 no.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report no. 16, Luxembourg, EUR 21176, p. 18 + 1 map.
- Kirkby M.J , Irvine B.(2001). Regional Degradation Index (RDI) for Europe: A physically based model for estimating long-term average rates of soil erosion by water, at regional scales. Desertinhs.
- Kirkby M.J. (1976). Test of the random network model and its application to basin hydrology. Earth Surface Processes, 1, 197-212.
- Kirchner J.W. (1993). Statistical inevitability of Horton's laws and the apparent randomness of stream channel networks. Geology 21, 591-594.
- Kondolf G.M., (1997). Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. Environmental Management, 21, (4), 553-551.
- Kotteck M. Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F., (2006). World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, Vol 15, 3, 259-263.
- Kouli M., n Soupios P., Vallianatos F., (2008). Soil erosion using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environ Geol, Springer- Verlag, p.15.
- Kozlowski T.T. and Ahlren C.E., (1974). Fire and Ecosystems. Academic Press, New York, USA.
- Kutiel, P., Lavee, H., Segev, M., Benyamini, Y., (1995). The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem, Israel. Catena 25 (1-4), 77-87.
- Lane P.N.J., Sheridan G.J., Noske P., (2006). Changes in sediment loads and discharge from small mountain catchments following wildfire in south eastern Australia. Jour. Of Hydrology, 331, 495-510.
- Lavabre, J., Martin, C., (1997). Impact d'un incendie de forêt sur l'hydrologie et l'érosion hydrique d'un petit bassin versant méditerranéen. Human Impact on Erosion and Sedimentation (Proceedings of Rabat Symposium S6, April 1997): IAHS Publication, 245, 39-47.



- Lioret, F., Piñol, J., Castellnou, M., (2009). Wildfires. In: Woodward, J. (Ed.), The Physical Geography of the Mediterranean. Oxford University Press, Oxford, p. 541–560.
- Lueder D.R. (1959). Aerial Photographic Interpretation Principles and Application, McGraw-Hill, New York, p.462.
- Maetens W., Vanmaercke M., Poesen J., Jankauskas B., Jankauskiene G., Ionita I., (2012). Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. Progress in Physical Geography, 36,599-653.
- McKenna Neuman, C., (2003). Effects of temperature and humidity upon the entrainment of sedimentary particles by wind. Bound. Layer Meteorol. 31, 303–317.
- Meusburger K., Konz N., Schaub M., Alewell C. (2010). Soil erosion modeled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation parameters in an alpine catchment, Int Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12, 208-215.
- Moreno J.M., Vallejo V.R. (1999). Fire impacts on the ecosystem and restoration: summary of the main findings from the delfi-fire database. In: Volume of Proceedings of: Forest Fires: Needs and Innovation. International Symposium. Athens, Greece, p. 239-261.
- Moody, J.A., Martin, D.A., (2001). Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. Earth Surface Processes and Landforms 26 (10), 1049–1070.
- Navas, A., Machín, J., Soto, J., (2005). Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ^{137}Cs . Agriculture, Ecosystems and Environment 105, 493–506.
- Nozaki Y, DeMaster DJ, Lewis DM, Turekian KK. (1978). Atmospheric ^{210}Pb fluxes determined from soil profiles. Journal of Geophysical Research – Oceans and Atmospheres 83, 4047–4051.
- Ollier, C.D., (1981). Tectonics and Landforms. Longman, London.
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F. and C.B. Papazachos (2010). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 - 2010, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and E.M. Scordilis (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki, 1, 333.
- Papazachos B, Papazachou C (1997) The earthquakes of Greece. Ziti editions, Thessaloniki, p. 304.
- Papanikolaou D., Papanikolaou I., (2007). Geological, geomorphological and tectonic structure of the NE Attica and seismic hazard implications for the Northern edge of the Athens plain. Bul. Of the Geol. Society of Greece vol XXXX, Proc. Of the 11th Int. Congress, Athens, p. 14.
- Papanikolaou I., Roberts G., (2006). Slip-rate variability along strike active faults: Implications for seismic hazard assessment and mapping. Geoph. Res. Abstr. 8, 07078, EGU Vienna.
- Papanikolaou D., Lozios S., Soukis K, Skourtsos E (2004). The geological structure of the Allocthonous “Athens Schists”, Bull. Geol.Soc. Greece, 36 1550-1559



- Papanikolaou D., Lekkas E., Sideris C., Fountoulis I., Danamos G., Kranis C., Lozios S., Antoniou I., Vassilakis E., Vasilopoulou S., Nomikou P., Papanikolaou I., Skourtsos E. Soukis K. (1999). Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 07-09-1999 earthquake, Newsletter of E.C.P.F.E., Council of Europe, Issue 3, 30-34.
- Papanikolaou D., Lozios S., (1990). Comparative neotectonic structure of high (Korinthia-Beotia) and low rate (Attica-Cyclades) activity. Bull. Geol. Soc. Greece, 26, 47-66 (in greek).
- Papathanasiou C., Alonistioti D., Kasella A., Makropoulos C., Mimikou M., (2012) The impact of forest fires on the vulnerability of peri-urban catchments to flood events (the case of the eastern Attica region), Global Nest Journal, 14, 3, 294-302.
- Pausas J.G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian peninsula (Mediterranean basin). Climatic Change 63, 337-350.
- Perreault L.M., Yager E.M., Aalto R. (2012). Application of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ inventories to measure net hillslope erosion at burned sites. Earth Surface Processes and Landforms. DOI 10.1002/esp3266.
- Phillips, L.F., Schumm, S.A., (1987). Effect of regional slope on drainage networks. Geology, 15 (9), 813-816.
- Pyne S., Andrews P., Laven R., (1996). Introduction to Wildland Fire, second edition. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Ramirez-Herrera, M.T., (1998). Geomorphic Assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican Volcanic Belt. Earth Surface Processes and Landforms 23, 317-332.
- Ramsay G.C, McArthur N.A., Dowling V.P. (1996). Building in a fire-prone environment: Research and building survival in two major bushfires. Proc. Linn Soc. N.S.W. 116, 133-140.
- Ravi, S., D'Ordorico, P., Over, T.M., Zobeck, T.M., (2004). On the effect of air humidity on soil susceptibility to wind erosion: the case of air dry soils. Geophys. Res. Lett. 31, L09501.
- Reneau, S.L., Katzman, D., Kuyumjian, G.A., Lavine, A., Malmon, D.V., (2007). Sediment delivery after a wildfire. Geology 35 (2), 151-154.
- Richards J., (1993). Remote sensing digital image analysis. An introduction. 2nd edition, Springer-Verlag, New York.
- Robichaud, P.R., Waldrop, T.A., (1994). A comparison of surface runoff and sediment yields from low-severity and high-severity site preparation burns. Water Resources Bulletin 30, 27-34.
- Sala, M., Soler, M., Pradas, M., (1994). Temporal and spatial variations in runoff and erosion in burnt soils. Proceedings 2nd International Conference Forest Fire Research. Comissão de Coordenação da Região Centro, Coimbra, 1123-1134.
- Sankey J.B., Germino M.J., Glenn N.F. (2009). Relationships of post-fire Aeolian transport to soil and atmospheric conditions. Aeolian Research 1, 75-85.
- Schumm S.A (1977) The fluvial system, New York. Wiley, p.338
- Schoorl, J.M., Boix Fayos, C., de Meijere, R.J., van der Graaf, E.R., Veldkamp, A., (2004). The ^{137}Cs technique applied to steep Mediterranean slopes (Part II): landscape evolution and model calibration. Catena 57, 35-54.
- Scoging, H., (1982). Spatial variations in infiltration, runoff and erosion in hillslopes in semi-arid Spain. In: Bryan, R. (Ed.), Badland Geomorphology and Piping. Geo Books, Norwich, 89-112.



- Shakesby R.A. (2011). Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions, *Earth-Science Reviews* 105, 71-100.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H., (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth Science Reviews* 74, 269–307.
- Shakesby, R.A., Boakes, D.J., de Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J.B., Walsh, R.P.D., (1996). Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests, Portugal: comparison of alternative post-fire management practices. *Applied Geography* 16, 337–356.
- Smith H.G., Sheridan G.J, Lane P. Nj., Nyman Petter, Haydon Shane (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply, *Journal of Hydrology* 396, 170-192.
- Someshwar, A.V., (1996). Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal of Environmental Quality* 25, 962–972.
- Soto, B., Basanta, R., Benito, E., Pérez, R., Díaz-Fierros, F., (1994). Runoff and erosion from burnt soils in Northwest Spain. In: Sala, M., Rubio, J.L. (Eds.), *Soil Erosion as a Consequence of Forest Fires*. Logroño, Spain, p. 91–98.
- Soto, B., Lasanta, R., Díaz-Fierros, F., (1993). Influence of wildland fire on surface runoff from a hillslope. *Acta Geologica Hispánica* 28, 95–102.
- Soulis K.X., Dercas N., Valiantzas JD. (2012). Wildfires impact on hydrological response-the case of Lykorrema experimental Watershed *Global Nest Journal*, 14, 3, 303-310.
- Spanos, I., Raftoyannis, Y., Goudelis, G., Xanthopoulos, E., Samara, T., Tsiontsis, A., (2005). Effects of postfire logging on soil and vegetation recovery in a *Pinus halepensis* Mill, Forest of Greece. *Plant and Soil* 278, 171–179.
- Spencer, C.N., Hauer, F.R., (1991). Phosphorus and nitrogen dynamics in streams during a wildfire. *Journal of the North American Benthological Society* 10, 24–30.
- Stoof C.R., Wesseling JG., Ritsema C.J., (2010). Effects of fire and ash on soil water retention.
- Stout, J.E., Zobeck, T.M., (1998). Earth, wind, and fire: aeolian activity in a burned rangeland. In: *Proceedings of Dust Aerosols, Loess Soils, and Global Change: An Interdisciplinary Conference*. Washington State University, Pullman, WA, USA, p. 85–88.
- Strahler, A.N., (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T., .ed), *Handbook of Applied Hydrology*, Mc Graw-Hill, New York, 4.40-4.74.
- Strahler A.N. (1957). Quantitative analysis of Watershed geomorphology. *Amer Geopf Union Trans* 38, 913-920.
- Strahler, A.N., (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1142.
- Swanson, F.J., (1981). Fire and geomorphic processes. In: Mooney, H.A., Bonnicksen, T.M., Christiansen, N.L., Lotan, J.E., Reiners, W.A. (Eds.), *United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report WO-26*. United States Government Planning Office, Washington DC, p. 401–421.
- Tucker, C. J., (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 8, 127–150.
- Ulery, A.L., Graham, R.C., Amrhein, C., (1993). Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science* 156 (5), 358–364.



- Vacca, A., Loddo, S., Ollesch, G., Puddu, R., Serra, G., Tomasi, D., Aru, A., (2000). Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia (Italy). *Catena* 40, 69–92.
- Vallejo R, Alloza JA. (1998). The restoration of burned lands: the case of eastern Spain. *Large Forest Fires* p. 91–108.
- Vrieling A. (2007). Mapping erosion from space. Doctoral Thesis Wageningen University. p. 167.
- Wainwright, J., Thornes, J.B., (2004). *Environmental Issues in the Mediterranean*. Routledge, London.
- Wells D.L., Coppersmith K.J., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. America*, 84, 974-1002.
- Whelan, R., (1997). *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wittenberg, L., Inbar, M., (2009). The role of fire disturbance on runoff and erosion processes — a long-term approach, Mt. Carmel case study, Israel. *Geographical Research* 47, 46–56.
- Wohlgemuth PM, Hubbert KR, Robichaud PR. (2001). The effects of log erosion barriers on post-fire hydrologic response and sediment yield in small forested watersheds, southern California. *Hydrological Processes* 15, 3053–3066.
- Woodward D. (1999). Method to predict cropland ephemeral gully erosion, *Catena* 37, 393-399.
- Woods, S.W., Balfour, V.N., (2008). The effect of ash on runoff and erosion after a severe forest wildfire, Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire* 17 (5), 535–548.
- Wright H.A. and Bailey A.W., (1982). *Fire Ecology*. John Wiley and Sonc .Inc. , New York.
- W.C.D, Bergkamp G., McCartney M., Dugan P., McNeely J., Acreman M., (2000). *Dams, ecosystems functions an environmental restoration*. p. 200.
- GGNRA Fire Management Plan FEIS (2006). National Park Service U.S Department of the Interior (<http://parkplanning.nps.gov/publicHome.cfm>).
- <http://www.fao.org/>
- www.eydap.gr
- <http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/>