

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ

ΔΕΡΓΙΑΝΛΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ “ΑΣΤΕΡΙΑ”
ΜΑΚΑΡΑΚΩΜΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2013

ΔΕΡΓΙΑΝΑΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ “ΑΣΤΕΡΙΑ”
ΜΑΚΑΡΑΚΩΜΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ**

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
“Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον” του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής
Γεωγραφίας.

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων:

Βουβαλίδης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής

Μέλη τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής:

Αηδονά Ελίνα, Λέκτορας

Συρίδης Γεώργιος, Αναπληρωτής καθηγητής

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°

© Δεργιανλή Λαμπρινή, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ
“ΑΣΤΕΡΙΑ” ΜΑΚΑΡΑΚΩΜΗΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στον τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του τμήματος Γεωλογίας κατά τη διάρκεια του έτους 2012-2013.

Ολοκληρώνοντας την συγγραφή της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον κύριο επιβλέποντά μου Επίκουρο καθηγητή κ. **Κωνσταντίνο Βουβαλίδη**, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την συγκεκριμένη εργασία. Η συνεχής του επίβλεψη και η ουσιαστική επιστημονική του καθοδήγηση, καθώς και οι πολύτιμες συμβουλές του, σε συνδυασμό με την υπομονή και το χρόνο που μου διέθεσε υπήρξαν καθοριστικές στην διεξαγωγή της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην κα. **Ελίνα Αηδονά** μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου για την ουσιαστική επιστημονική της υποστήριξη, την υπομονή της και τις συζητήσεις που είχαμε για την επίλυση των προβλημάτων που προέκυπταν. Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. **Γεώργιο Συρίδη** μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου, για τις επιστημονικές συμβουλές του και την συμβολή του στις υπαίθριες έρευνες και δειγματοληψίες.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στους κ. **Κωνσταντίνο Αλμπανάκη** και κ. **Δημήτριο Οικονομίδη** καθηγητές μου κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών για τις επιστημονικές γνώσεις και εκπαίδευση που μου προσέφεραν. Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή κ. **Γρηγόριο Τσόκα** για τα δεδομένα που μου παρείχε.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω την Έφορο της 14^{ης} Εφορίας προϊστορικών και κλασσικών αρχαιοτήτων κα. **Μαρία-Φωτεινή Παπακωνσταντίνου** και την αρχαιολόγο **Κωνσταντίνα Ψαρογιάννη** για την ευγενική τους υποστήριξη και συνεργασία.

Δεν θα πρέπει να παραλείψω να ευχαριστήσω τον κ. **Νικόλαο Ράπτη** και την κα. **Κελεσιάδου-Κούτρα Ευσεβία** για τις παροχές τους, την διευκόλυνση και την στήριξη που μου παρείχαν, κατά τη διάρκεια των επισκέψεων μου στην πόλη της Μακρακώμης.

Ακόμη, ευχαριστώ τον εξάδελφο και φίλο **Αθανάσιο Τσικερδέκη** για την παρουσία του και τη βοήθειά του στην ύπαιθρο κατά τη διεξαγωγή των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα **Χρήστο Δομακίνη** για την καθοδήγηση του και τις πολύτιμες συζητήσεις που είχαμε, και τους συμφοιτητές μου στο μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, τον αδερφό μου και τους φίλους μου για την αγάπη και την ηθική τους υποστήριξη που συνέβαλαν καθοριστικά στο να ξεπεράσω τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν και να ολοκληρώσω την εκπόνηση της εργασίας.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Εισαγωγή.....	8
Σκοπός.....	8
1. Παλαιογεωγραφικές – Γεωαρχαιολογικές τεχνικές.....	9
1.1 Η παλαιογεωγραφική έρευνα	9
1.2 Ο ορισμός της γεωαρχαιολογικής μελέτης.....	11
2. Περιοχή μελέτης.....	14
2.1 Θέση	14
2.2 Γεωγραφικά – Μορφολογικά στοιχεία.....	15
2.3 Φυσικό περιβάλλον – Σπερχειός ποταμός.....	17
2.4 Κλίμα – κλιματικά στοιχεία	19
2.5 Γεωλογία – Γεωλογική εξέλιξη της περιοχής.....	23
2.5.1 Γεωλογία της περιοχής έρευνας	25
2.6 Ιστορικά στοιχεία της περιοχής του αρχαιολογικού οικισμού στα Αστέρια.....	27
2.7 Διεξαγωγή ηλεκτρικών γεωφυσικών διασκοπήσεων στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου.....	28
3. Μεθοδολογία	30
3.1 Γεωμορφολογία της περιοχής.....	30
3.1.1 Ταξινόμηση αναγλύφου.....	30
3.1.2 Κλίση αναγλύφου	31
3.2 Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου.....	32
3.2.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου.....	32
3.2.2 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα	33
3.2.3 Ασυμμετρία λεκάνης	35
3.2.4 Δείκτης μήκους - κλίσης ρέματος	35
3.3 Διεξαγωγή δειγματοληπτικών γεωτρήσεων	37
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα.....	37
3.4.1 Γενικά	37
3.4.2 Φυσικά μαγνητικά ορυκτά.....	38
3.4.3 Ορισμός Μαγνητικής επιδεκτικότητας.....	38
3.5 Εδαφική απώλεια.....	40
3.5.1 Γενικά	40
3.5.2 Επιπτώσεις της εδαφικής διάβρωσης στο περιβάλλον	41

3.5.3 Η εδαφική απώλεια στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα.....	42
3.5.4 Τα δημοφιλέστερα μοντέλα διάβρωσης	43
4. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές μετρήσεις.....	46
4.1 Εργασίες Πεδίου.....	46
4.1.1 Γενικά	46
4.1.2 Διεξαγωγή δειματοληπτικών γεωτρήσεων	46
4.1.3 Καταγραφή θέσεων	48
4.2 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	50
4.2.1 Ανάλυση γεωτρήσεων	50
4.2.2 Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας.....	51
4.2.3 Περιγραφή οργάνου.....	51
5. Αποτελέσματα	52
5.1.1 Ταξινόμηση αναγλύφου	52
5.1.2 Κλίση αναγλύφου	54
5.2 Υδρογραφία	56
5.2.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου.....	56
5.2.2 Μορφομετρικοί παράμετροι υδρογραφικού δικτύου	57
5.2.3 Μορφομετρικές παράμετροι λεκανών απορροής	59
5.2.4 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα	62
5.2.5 Μορφοτεκτονικοί δείκτες	65
5.3 Ανάλυση δειγμάτων	69
5.3.1 Προφίλ γεωτρήσεων.....	69
5.3.2 Στρωματογραφική ανάλυση	74
5.4 Διαγράμματα μαγνητικής επιδεκτικότητας	78
5.5 Υπολογισμός εδαφικής διάβρωσης	88
5.5.1 Το μοντέλο απώλειας εδάφους RUSLE	88
5.5.2 Εφαρμογή στην περιοχή - Χάρτης απώλειας εδάφους.....	99
6. Συμπεράσματα.....	102

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος MALP (Makrakomi Archaeological Landscapes Project) που λαμβάνει χώρα στον αρχαιολογικό χώρο που εντοπίζεται στο λόφο του προφήτη Ηλία στο Δήμο Μακρακώμης Φθιώτιδας. Το πρόγραμμα MALP πραγματοποιείται με συνεργασία του Σουηδικού Ινστιτούτου Αθηνών και της 14^{ης} Εφορείας Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων στη Λαμία.

Σκοπός

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική μελέτη στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Μακρακώμης Φθιώτιδας, κυρίως βόρεια του λόφου Προφήτη Ηλία και στην περιοχή του αρχαιολογικού οικισμού “Αστέρια”. Σκοπός της γεωμορφολογικής μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης των εξωγενών παραμέτρων που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν το ανάγλυφο. Γι’ αυτό το λόγο, με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS 10, αναλύθηκε το υδρογραφικό δίκτυο του παραποτάμου του Σπερχειού Φυσίνα και υπολογίστηκαν οι μορφομετρικοί και οι μορφοτεκτονικοί παράγοντες για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει πιθανή τεκτονική δραστηριότητα που επηρέασε την γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής. Στόχος της μελέτης αποτελεί, επίσης, ο προσδιορισμός του πάχους του στρώματος κατοίκησης στον αρχαιολογικό οικισμό με τη διεξαγωγή των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και ο διαχωρισμός του φυσικού στρώματος από το ανθρωπογενές με τις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Τέλος, με την εφαρμογή του μοντέλου απώλειας εδάφους (RUSLE) υπολογίστηκε η ποσότητα εδάφους που απομακρύνεται από τα διάφορα σημεία της λεκάνης απορροής του Φυσίνα και πως επηρέασε αυτό την σημερινή εικόνα του αρχαιολογικού οικισμού.

1. Παλαιογεωγραφικές – Γεωαρχαιολογικές τεχνικές

1.1 Η παλαιογεωγραφική έρευνα

Η επιλογή της θέσης κατοίκησης και ανάπτυξης ενός οικισμού είναι καθοριστικής σημασίας για την εξέλιξη και διαμόρφωση ενός πολιτισμού. Γι' αυτό το λόγο η παλαιογεωγραφική αναπαράσταση μιας αρχαιολογικής θέσης αποτελεί βασικό στόχο σε μια γεωαρχαιολογική μελέτη καθώς αναλύεται η σχέση του φυσικού περιβάλλοντος με την ανθρώπινη διαβίωση. Η παλαιοπεριβαλλοντική αναπαράσταση δεν περιορίζεται στην διερεύνηση του μικροπεριβάλλοντος γύρω από τα αρχαιολογικά ευρήματα, αλλά αναλύει τη διαμόρφωση της ευρύτερης περιοχής σε μεγαλύτερη κλίμακα. Για την αναπαράσταση του περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται όλα εκείνα τα στοιχεία που σχετίζονται με τις παλαιοπεριβαλλοντικές αλλαγές και τα χαρακτηριστικά που θα μας δώσουν πληροφορίες για το οικοσύστημα στο οποίο διαδραματίστηκαν οι ανθρώπινες δραστηριότητες (Θεοδωρακοπούλου, 2009).

Σύμφωνα με τον Renfrew (1976) η γεωμορφολογική επιφανειακή έρευνα συνίσταται από τρεις επιμέρους φάσεις:

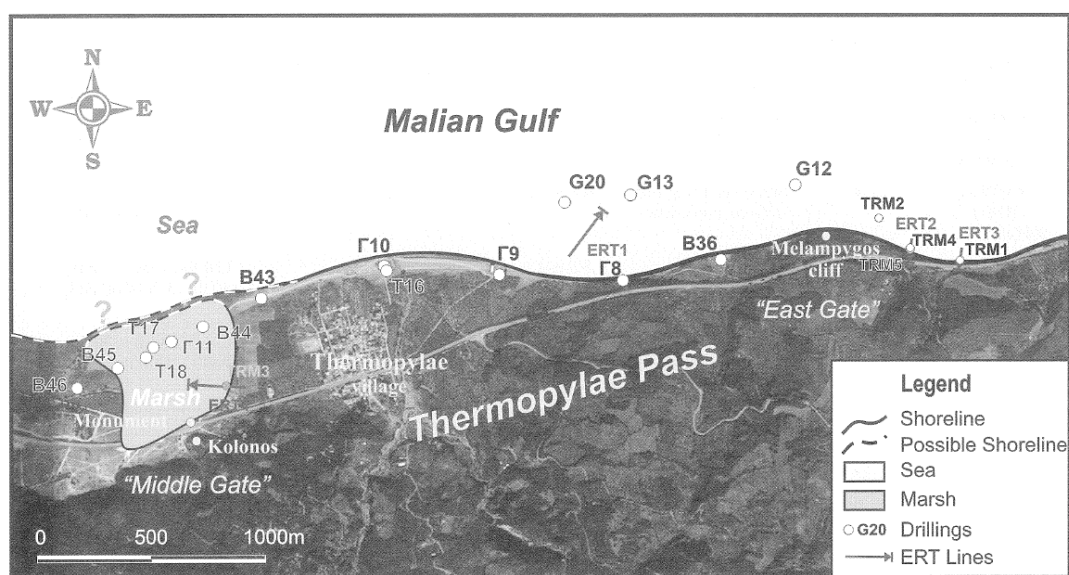
A) Γεωμορφολογική χαρτογράφηση με την περιγραφή και αποτύπωση των γεωμορφών μιας περιοχής, την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου, της τεκτονικής κ.α.

B) Μελέτη των διαδικασιών διάβρωσης και απόθεσης με σκοπό τη μελέτη σχηματισμού του αναγλύφου.

Γ) Συνδυασμός των στοιχείων του σύγχρονου αναγλύφου, του κλίματος και των επιφανειακών αποθέσεων.

Οι Vouvalides et. al. (2010) στη μελέτη τους αναπαρέστησαν τη μορφολογία και την παλαιογεωγραφία ενός τμήματος του περάσματος των Θερμοπυλών ανάμεσα στην μεσαία και την ανατολική πύλη (Σχήμα 1). Με βάση την ανάλυση των στρωματογραφικών δεδομένων από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις έγινε η αναπαράσταση της εικόνας του αναγλύφου, όπως αυτό διαμορφωνόταν περί τα 480 π.Χ. Στην περιοχή του περάσματος της μεσαίας πύλης εντοπίστηκαν στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις γκριζοπράσινα ιζήματα έλους το οποίο την περίοδο που έλαβε χώρα η περίφημη μάχη των Θερμοπυλών θα πρέπει να είχε ένα εύρος 300m.

Επίσης το αλλουβιακό ριπίδιο, όπου είναι χτισμένο το σημερινό χωριό των Θερμοπυλών, υπήρχε την περίοδο της μάχης αλλά είχε πολύ μικρότερο μέγεθος. Η περιοχή στην ανατολική πύλη έχει μείνει ανεπηρέαστη από τη διάβρωση και τις διαδικασίες απόθεσης. Δεδομένων όλων των παραπάνω διαπιστώθηκε ότι η περιοχή της μάχης, που βρισκόταν ανάμεσα στο βουνό και στην θάλασσα αποτελούνταν από ένα έλος γλυκού νερού που τροφοδοτούνταν με μεγάλες ποσότητες θερμών νερών από της θερμές πηγές της περιοχής. Ενώ η συνεχής απόθεση τραβερτινών στο έλος πιθανόν είχε δημιουργήσει ένα κομμάτι στεριάς πλάτους 13m.



Σχήμα 1.: Η πιθανή θέση της ακτογραμμής κατά μήκος του περάσματος των Θερμοπυλών περίπου στο 480 π.Χ. (Vouvalides et. al., 2010)

Στις γεωαρχαιολογικές μελέτες συνήθως χρησιμοποιείται ένα μεγάλο εύρος μεθόδων και μετρήσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Στην περιοχή της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης οι Ghilardi et. al. (2008) ανακατασκεύασαν την εικόνα της πεδιάδας μελετώντας τη μικροπανίδα και κάνοντας μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας και κοκκομετρίας. Η εξέλιξη της περιοχής ξεκινά από ήρεμες συνθήκες ρηχής θάλασσας που μεταβαίνουν σταδιακά σε λιμνοθάλασσα και υφάλμυρες συνθήκες. Στη συνέχεια εντοπίζονται ιζήματα λιμναίας προέλευσης και το ανώτερο κομμάτι των δειγματοληψιών αποτελείται από ποτάμιες αποθέσεις. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας οι οποίες έδειξαν ότι τα λιμναία και τα θαλάσσια ιζήματα παρουσιάζουν χαμηλές μαγνητικές ιδιότητες ενώ τα ιζήματα από τις χερσαίες περιοχές εμφάνιζαν υψηλές τιμές στα διαστήματα ανάμεσα από τα πλημμυρικά φαινόμενα στην πεδιάδα.

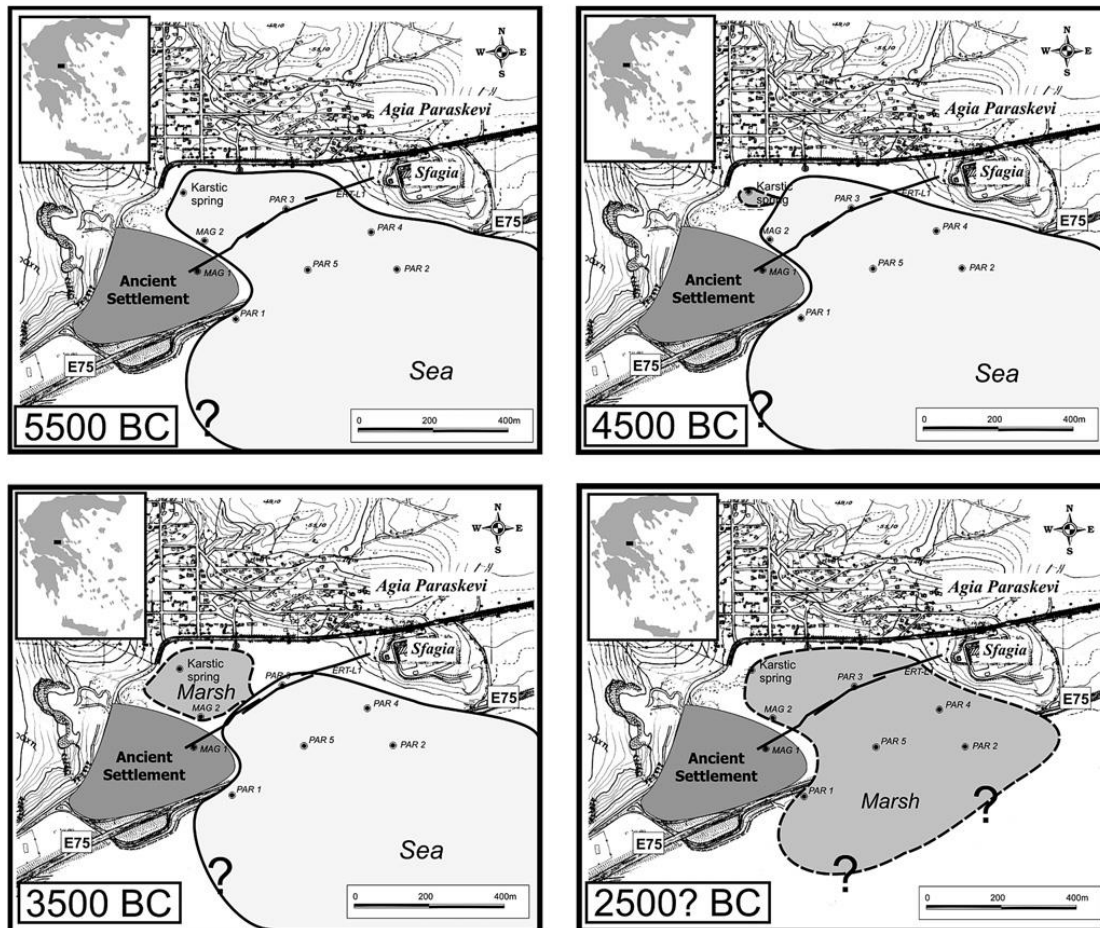
1.2 Ο ορισμός της γεωαρχαιολογικής μελέτης

Για να περιγραφεί η έρευνα που συνδυάζει τις γνώσεις των φυσικών επιστημών και της αρχαιολογίας χρησιμοποιήθηκαν όροι όπως: αρχαιογεωλογία, αρχαιομετρία, γεωαρχαιολογία και αρχαιολογική γεωλογία. Ο όρος γεωαρχαιολογία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Renfrew το 1976 σε ένα συνέδριο και είναι αυτός που έχει επικρατήσει. Το 1986 κυκλοφόρησε το πρώτο επιστημονικό περιοδικό με το αντίστοιχο όνομα και περιέγραφε την έρευνα που βασιζόταν κυρίως στις ιζηματολογικές και γεωμορφολογικές διαδικασίες. (Herz & Garrison, 1998)

Η γεωαρχαιολογία αναφέρεται στην εφαρμογή μεθόδων, εννοιών και πρακτικών των επιστημών της γης, για την επίλυση αρχαιολογικών προβλημάτων συνδυάζοντας γνώσεις γεωλογίας, γεωγραφίας, εδαφολογίας και κλιματολογίας. Κατά τον Renfrew (1976) ο κλάδος της γεωαρχαιολογίας με εφόδια τη γνώση του αναγλύφου, των ιζημάτων και των εδαφών έχει ως στόχο τη μελέτη του πλαισίου όπου βρίσκονται τα αρχαιολογικά ευρήματα, δηλαδή τη διερεύνηση των συνθηκών που καθόρισαν τον τόπο και το σχηματισμό της αρχαιολογικής απόθεσης, όπως και την επακόλουθη διατήρησή της. (Καρκάνας, 2008)

Γενικά μια γεωαρχαιολογική έρευνα περιλαμβάνει α) την σύνθεση της εικόνας του παλαιοπεριβάλλοντος και το πώς αυτό συνδυάστηκε με την ανθρώπινη διαβίωση και β) τη διερεύνηση των διεργασιών που σχημάτισαν, διατήρησαν και πιθανώς κατέστρεψαν ως ένα ποσοστό τον αρχαιολογικό οικισμό. (Καρκάνας, 2008)

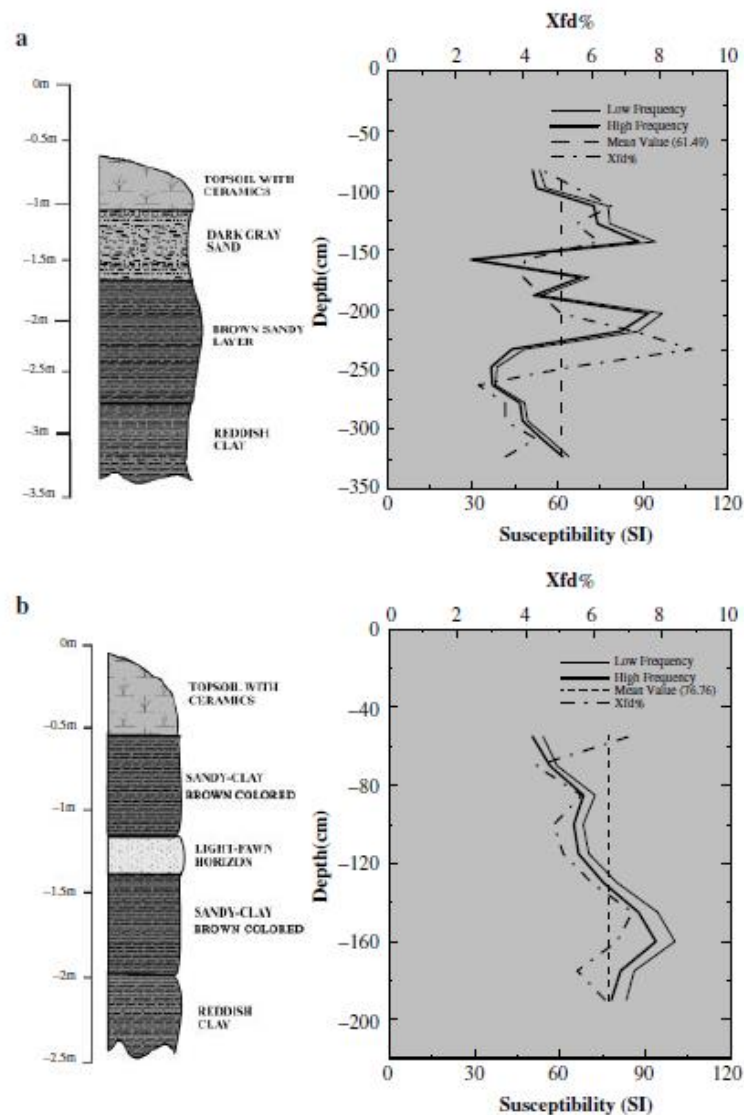
Στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής του νομού Φθιώτιδας, όπου και εντοπίστηκε ο αρχαιολογικός οικισμός, οι Vouvalides et. al. (2009) διεξήγαγαν μια παλαιογεωγραφική μελέτη στην ευρύτερη περιοχή. Η μελέτη βασίστηκε στα αποτελέσματα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σε συνδυασμό με μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης. Διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ένα παλαιοπεριβάλλον ρηχής θάλασσας που σταδιακά μετατράπηκε σε μια λιμνοθάλασσα γλυκού νερού. Σε αυτά τα εξελικτικά στάδια της περιοχής εντοπίζεται ανθρώπινη κατοίκηση, καθώς η μορφολογία του κλειστού κόλπου και η καρστική πηγή γλυκού νερού στα βόρεια διευκόλυνε την ανθρώπινη διαβίωση. Αν και η περιοχή βρίσκεται κοντά στην θάλασσα με το πέρασμα του χρόνου δεν επηρεάστηκε από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω της τεκτονικής ανύψωσης της λεκάνης του Σπερχειού. Η εξέλιξη της περιοχής φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2.: Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση της περιοχής ανάμεσα στην Αγία Παρασκευή και του αρχαιολογικό οικισμό (Vouvalides et. al., 2009).

Άλλη μια γεωαρχαιολογική μελέτη που έλαβε χώρα στη περιοχή της Αυλίδας στη Βοιωτία από τους Ghilardi et.al. (2013) προσπάθησε να διαπιστώσει εάν σύμφωνα και με της αρχαιολογικές πηγές στην περιοχή υπήρχε ένας κόλπος που λειτουργούσε και σαν λιμάνι. Στις αρχές του Ολοκαίνου, με βάση τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, η περιοχή αποτελούσε μια στενή κοιλάδα με συνεχή απόθεση κολλουβιακών υλικών και αργότερα μετατράπηκε σε λιμνοθάλασσα. Κατά την πρώιμη Ελληνιστική περίοδο η περιοχή αποτελούσε μια ρηχή θάλασσα. Στην ύστερη Ελληνιστική εποχή εντοπίζεται μια νέα θαλάσσια εισβολή που πιθανόν επέτρεπε τη θαλάσσια επικοινωνία της περιοχής με τις Μυκήνες. Στην Κλασσική εποχή η περιοχή μετατρέπεται εκ νέου σε λιμνοθάλασσα και στις αρχές της Βυζαντινής περιόδου σε παράκτιο έλος. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των δειγμάτων έδειξε την ύπαρξη υπερπαραμαγνητικών υλικών που μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο με ανθρώπινη μεταλλουργική δραστηριότητα.

Η μελέτη των Aidona et.al. (2001) πραγματοποίησε μια γεωαρχαιολογική έρευνα η οποία βασίστηκε στις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στην τοποθεσία Λουλούδια – Κίτρους στην Πιερία, ο Επίσκοπος της Πύδνας περί το 479 μ.Χ. δημιούργησε έναν οικισμό που βασιζόταν στην παραγωγή κρασιού και λαδιού. Ο οικισμός καταστράφηκε πιθανόν εξαιτίας ενός σεισμού και αναδομήθηκε διατηρώντας τον παραγωγικό του χαρακτήρα, μέχρι την οριστική εγκατάλειψη της θέση εξαιτίας και πάλι ενός σεισμού. Οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας στα δείγματα που προέρχονταν από τον οικισμό έδειξαν ξεκάθαρα την παρουσία δύο στρωμάτων κατοίκησης (Σχήμα 3). Η πρώτη φάση κατοίκησης εντοπίστηκε στα 105-165 cm από την επιφάνεια της γης και η δεύτερη στα 165-280 cm από την επιφάνεια.

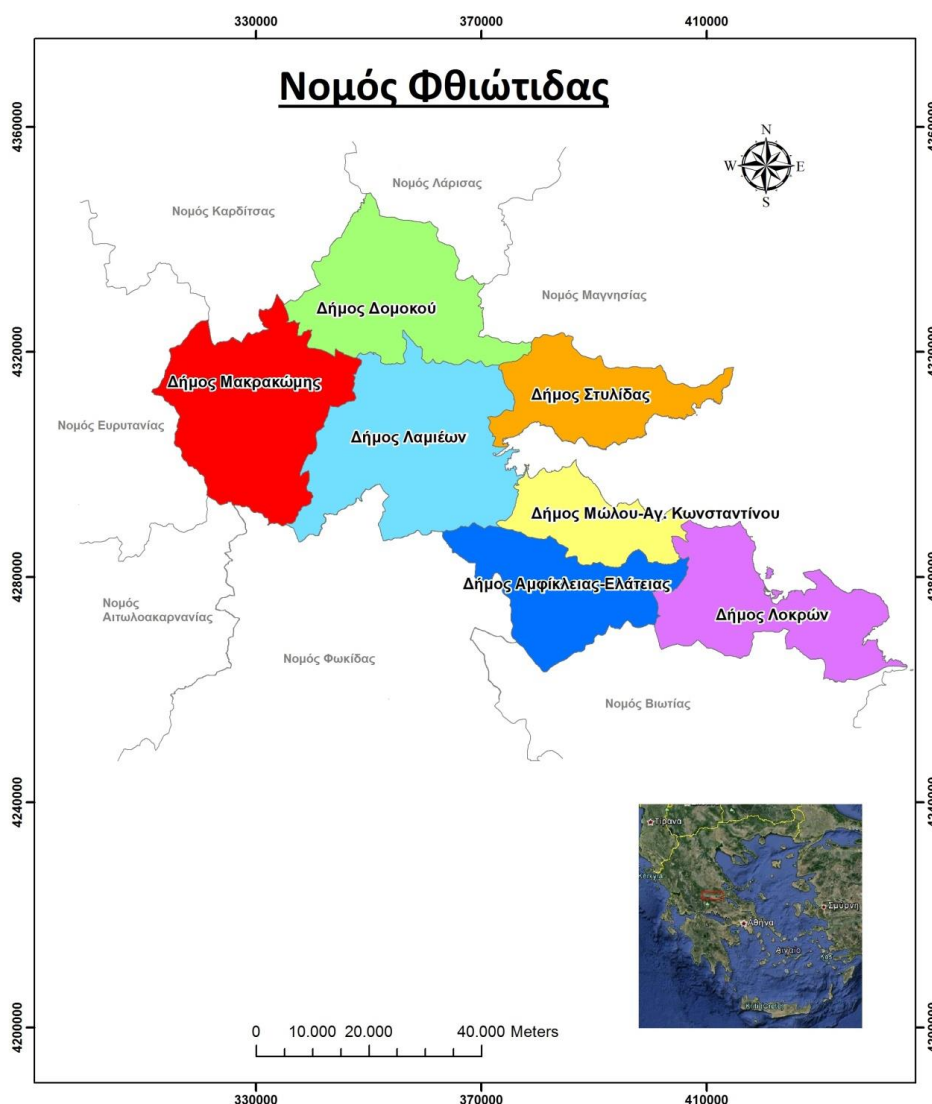


Σχήμα 3.: Κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με το βάθος (Aidona et.al., 2001).

2. Περιοχή μελέτης

2.1 Θέση

Η περιοχή μελέτης ανήκει διοικητικά στο δήμο Μακρακώμης του νομού Φθιώτιδας, στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας (σχήμα 4). Ο Δήμος Μακρακώμης συστάθηκε με το πρόγραμμα Καλλικράτη (2011) έπειτα, από τη συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Αγίου Γεωργίου Τυμφορηστού, Μακρακώμης, Σπερχειάδας, και την κοινότητα Τυμφορηστού. Έδρα του Δήμου ορίστηκε η Σπερχειάδα. Η έκταση του Δήμου είναι 836,6 km². Βρίσκεται στο ανατολικό άκρο του νομού Φθιώτιδας, συνορεύει στα δυτικά με τους Δήμους Δομοκού και Λαμιέων του νομού Φθιώτιδας, βόρεια με το νομό Καρδίτσας, ανατολικά με το νομό Ευρυτανίας και νότια με το νομό Αιτωλοακαρνανίας. Απέχει από την πόλη της Λαμίας 31 km.



Σχήμα 4.: Ο διοικητικός διαχωρισμός του νομού Φθιώτιδας.

2.2 Γεωγραφικά – Μορφολογικά στοιχεία

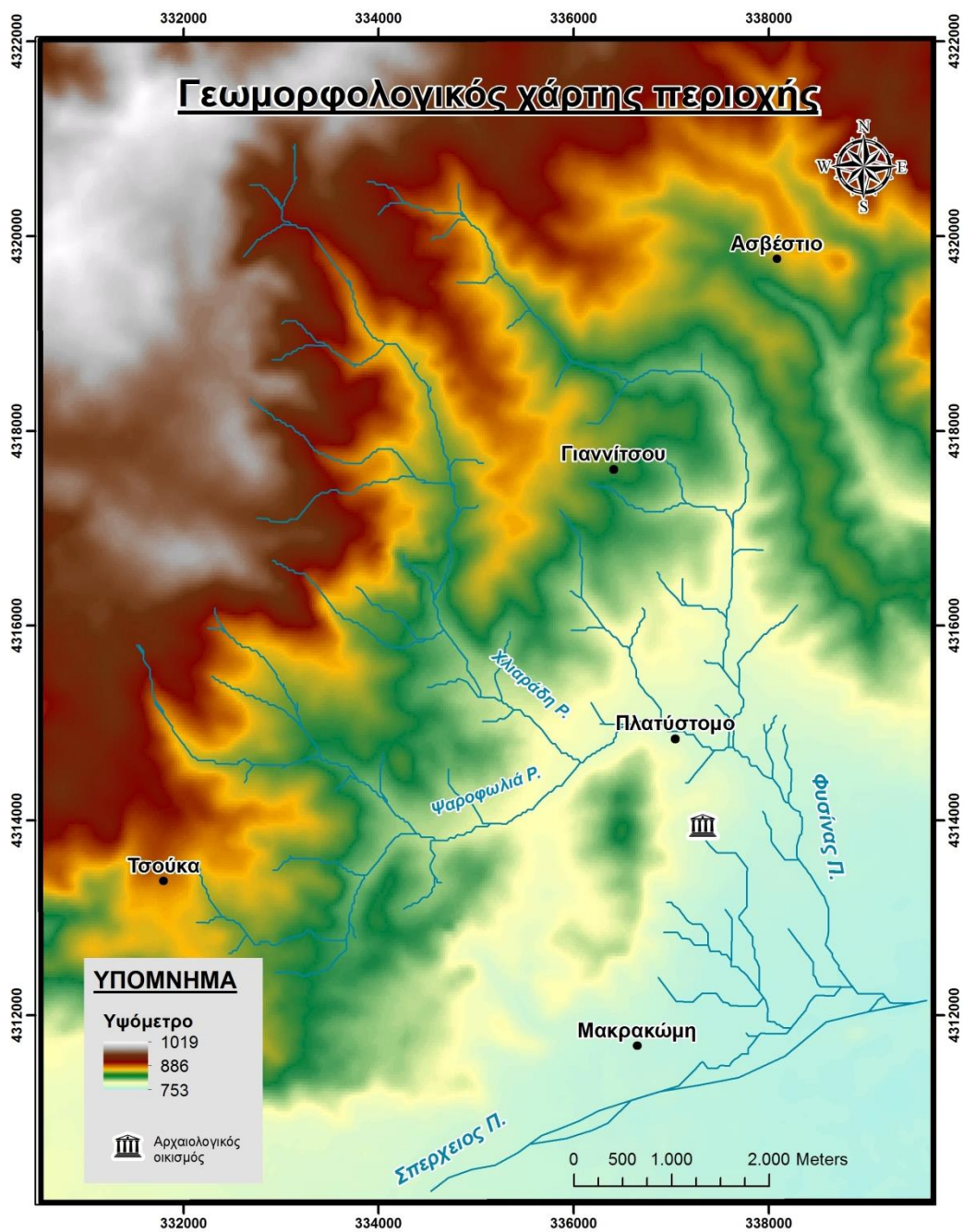
Η υπό μελέτη περιοχή οριοθετείται με συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους 39°02' Β και 38°55'30'' Ν και γεωγραφικού μήκους 22°04' Δ και 22°09' Α. Η πόλη της Μακρακώμης είναι χτισμένη στις νότιες πλαγιές της δυτικής Όρθρυς σε υψόμετρο 280 m ενώ απέχει από την κύρια κοίτη του Σπερχειού περίπου 500m βόρεια. Πριν καταλήξει στον Σπερχειό, βόρεια της Μακρακώμης ρέει ο παραπόταμος Φυσίνας. Η λεκάνη του Φυσίνα έχει έκταση 57 km² και μέγιστο υψόμετρο 960 m. Οι δύο βασικοί παραπόταμοι του Φυσίνα είναι ο Ψαροφωλιάς με λεκάνη απορροής 14 km² και μέγιστο υψόμετρο 834 m και ο Χλιαράδης με λεκάνη απορροής 16 km² και μέγιστο υψόμετρο 960 m. Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται λοφώδες έως ημιορεινό, με κλίσεις που φτάνουν μέχρι και τις 56° (Σχήμα 5.).

Περίπου 2 km βόρεια της πόλης της Μακρακώμης βρίσκονται ο λόφος του Προφήτη Ηλία (385m) με το ομώνυμο εκκλησάκι στην κορυφή όπου εικάζεται ότι υπήρχε η ακρόπολη του αρχαίου οικισμού της Μακρακώμης. Στα νότια – νοτιοδυτικά του λόφου του Προφήτη Ηλία συναντάται ο λόφος “Αστέρια” με μικρότερο υψόμετρο (300m) όπου πραγματοποιήθηκε το κομμάτι της γεωαρχαιολογικής έρευνας.

Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) ο πληθυσμός του δήμου Μακρακώμης ανέρχεται σε 16.036 κατοίκους. Ο αριθμός των κατοίκων παρουσιάζει συρρίκνωση δεδομένου ότι στην απογραφή του 2001 ο πληθυσμός αριθμούσε 21.750.

Στην πλειονότητα τους οι κάτοικοι του δήμου ασχολούνται με τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Στην εύφορη πεδιάδα του Σπερχειού καλλιεργούνται σιτηρά, κηπευτικά και δημητριακά. Ιδιαίτερα αναπτυγμένη είναι η καλλιέργεια καπνού, βάμβακος, φιστικιών και ακτινιδίων, ενώ τελευταία αναπτύσσονται μικρές τυροκομικές μονάδες.

Ο τουρισμός στην περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένος. Μόνη εξαίρεση σ' αυτό είναι τα ιαματικά – θερμά νερά της περιοχής λόγω ισχυρού γεωθερμικού πεδίου. Συναντώνται οι πηγές του Πλατύστομου, της Παλαιοβράχας και της πηγής Αχαρνίου με τα αντίστοιχα ιαματικά κέντρα.



Σχήμα 5.: Ο γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης

2.3 Φυσικό περιβάλλον – Σπερχειός ποταμός

Η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού εκτείνεται από το νομό Ευρυτανίας μέχρι το νομό Φθιώτιδας στον οποίο ανήκει και διοικητικά. Πηγάζει από το όρος Τυμφρηστός (2312m) στα δυτικά. Βόρεια οριοθετείται από το όρος Όρθρυς και νότια από τα Βαρδούσια (2437 m), την Οίτη (2152 m) και το Καλλίδρομο (1372 m). Η έξοδος της λεκάνης βρίσκεται στα ανατολικά στο Μαλλιακό κόλπο.

Η συνολική έκταση της λεκάνης του Σπερχειού είναι περίπου 1830 km². Η μορφολογία της πεδιάδας είναι επίπεδη έως λοφώδης (0-100 m) και περιμετρικά φτάνει τα 200 m (σχήμα 6). Στη λεκάνη απορροής επικρατούν έντονες κλίσεις με μέση κλίση 33%. Η κεντρική κοίτη έχει μήκος 80 km ενώ η μέση κλίση κυμαίνεται στα 0,5% στην περιοχή του δέλτα και 13% στο ορεινό τμήμα (Ευθυμίου et al, 2005).

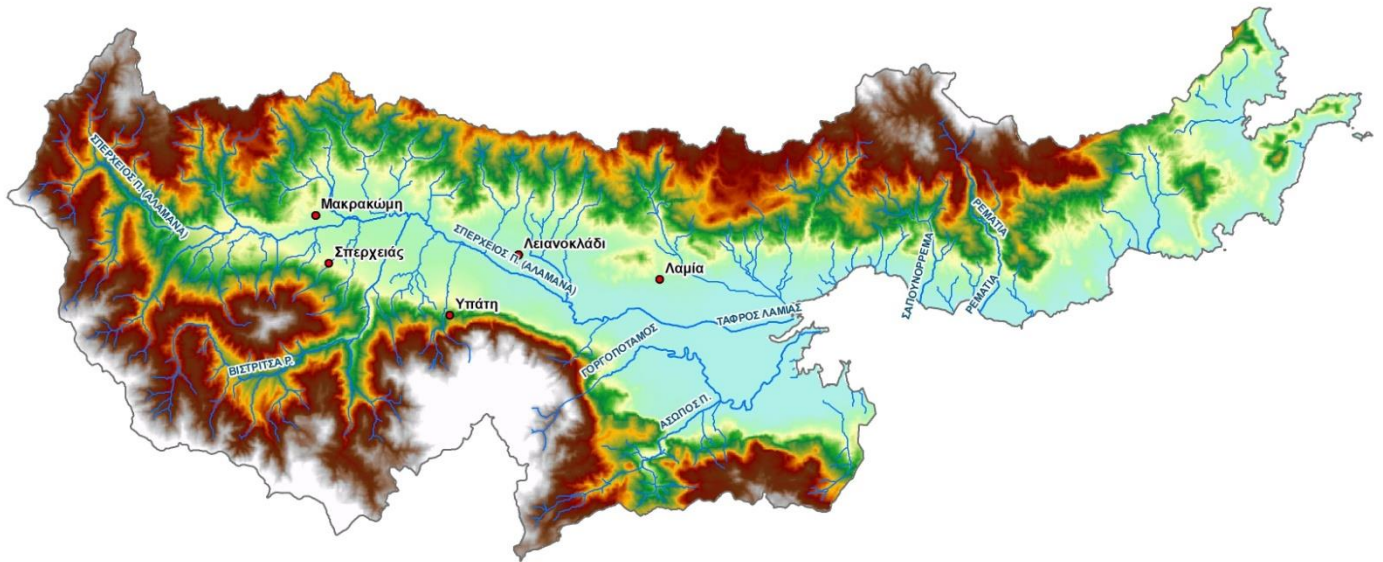
Ο Σπερχειός έχει ροή εποχιακού χαρακτήρα με υψηλή στάθμη ύδατος το χειμώνα και χαμηλή κατά τους θερινούς μήνες. Οι κύριοι κλάδοι που συνθέτουν το υδρογραφικό του δίκτυο (Ανατολική και Δυτική Βίστριζα, Ρουστιανίτης, Ίναχος, Λούγγιες, Κατής, Ασωπός Παλαιοκάστρου, Γοργοπόταμος και Υπάτης) κατέρχονται τους ορεινούς όγκους Τυμφρηστός, Βαρδούσια, Όρθρυς, Οίτη και Καλλίδρομο (Ευθυμίου et al, 2005).

Ο Σπερχειός εκβάλλει στον αβαθή Μαλλιακό κόλπο και σχηματίζει ένα σύνθετο δελταϊκό σύστημα. Από μορφολογική άποψη το σχήμα του δέλτα ανήκει στον τύπο πέλματος πτηνού (bird foot). Οι σημερινές δελταϊκές εκβολές αποτελούνται από τρεις διακριτούς κλάδους. (Πεχλιβανίδου, 2012).

Οι Psomiades et al (2005) μελέτησαν τις πρόσφατες μεταβολές της ακτογραμμής στο δελταϊκό πεδίο του Σπερχειού με τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Κατά τη διάρκεια 1945-1984 διαπιστώθηκε η προέλαση τόσο του κεντρικού όσο και του βόρειου δέλτα (έκταση 0,68 km² και 4,9 km² αντίστοιχα) σε αντίθεση με το νότιο κλάδο ο οποίος έμεινε ανενεργός.

Κατά μήκος της κοίτης και στο δέλτα Σπερχειού αναπτύσσονται εναλλαγές φυσικών οικοσυστημάτων. Η παρόχθια δενδρώδης βλάστηση αποτελείται από ιτιές, ασπρόλευκες και πλατάνια. Στο δέλτα το παρόχθιο δάσος εκτείνεται από λίγα έως αρκετές δεκάδες μέτρα ενώ στην κοίτη το μεγαλύτερο τμήμα του παρόχθιου δάσους εντοπίζεται στο ανάντη τμήμα από Μακρακώμη έως Μεσοποταμία. Τα λεγόμενα

υγρά λιβάδια και τα αλμυρικά συναντώνται στα κατώτερα σημεία. Ενώ οι καλαμιώνες εκτείνονται σε έκταση μεγαλύτερη από 160 εκτάρια. Τέλος, το οικοσύστημα του Σπερχείου στηρίζει πλούσια πανίδα από θηλαστικά, ερπετά, αρπακτικά και μεγάλη орνιθοπανίδα (Ευθυμίου et al, 2005).



Σχήμα 6.: Η γεωμορφολογία της λεκάνης του Σπερχείου.

2.4 Κλίμα – κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα μιας περιοχής αναφέρεται στο σύνολο των ατμοσφαιρικών διεργασιών, που περιλαμβάνουν τη θερμότητα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα κατά τη διάρκεια προκαθορισμένων μεγάλων χρονικών περιόδων (Μπαλαφούτης, 1985).

Το κλίμα μιας περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του ανάγλυφου της, καθώς ρυθμίζει τους παράγοντες που το διαμορφώνουν με τους μηχανισμούς της διάβρωσης και της αποσάθρωσης. Η ανάλυση του υδρολογικού κύκλου με βάση τα δεδομένα της θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων βοηθά στην κατανόηση του ιζηματολογικού κύκλου και κατ' επέκταση τη μεταφορά και απόθεση των υλικών μέσα σε μια υδρολογική λεκάνη. Παράλληλα το κλίμα επηρεάζει το είδος της βλάστησης, τον τύπο των εδαφών και εν τέλη τον τύπο των καλλιεργειών που μπορούν να αναπτυχθούν στην περιοχή.

Το κλίμα στην περιοχή μελέτης που εντάσσεται στο πεδινό ηπειρωτικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού ανήκει στην Υποτροπική – Μεσογειακή ζώνη με θερμά ξηρά καλοκαίρια και υγρούς ήπιους χειμώνες (Ευθυμίου, 2005).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματολογικά δεδομένα από το σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) που βρίσκεται στην πόλη της Λαμίας (38°54', 22°24', σχήμα 7.) σε υψόμετρο 143,4m. Χρησιμοποιήθηκαν πλήρη και ολοκληρωμένα δεδομένα που προέρχονται από την εικοσαετία 1981-2000 και αφορούν μετρήσεις νετού και θερμοκρασίας όπως παρουσιάζονται στους πίνακες 1 και 2.

Ο μετεωρολογικός σταθμός της Λαμίας επιλέχθηκε διότι διαθέτει αξιόπιστα και διαθέσιμα δεδομένα. Αν και ο σταθμός βρίσκεται αρκετά μακριά από την περιοχή μελέτης τα δεδομένα θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικά καθώς βρίσκεται και αυτός στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού και στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος.



Σχήμα 7.: Η θέση του μετεωρολογικού σταθμού της Λαμίας στη λεκάνη του Σπερχειού.

Πίνακας 1.: Βροχομετρικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Λαμίας για τη χρονική περίοδο 1981-2000. (Ε.Μ.Υ., 2013)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	152,7	43,2	11,5	51,3	11,2	4,5	8,7	13,1	49,9	61,0	101,6	77,7
1982	42,7	118,3	120,7	129,2	14,5	7,6	5,1	4,4	22,7	49,0	56,7	39,5
1983	8,5	44,5	42,9	9,2	13,9	115,5	44,5	23,9	1,0	32,9	90,0	166,1
1984	40,2	124,0	59,1	85,7	26,4	12,8	4,6	30,8	3,0	5,2	57,7	118,1
1985	89,9	28,7	50,5	47,3	15,2	0,0	5,7	0,0	16,5	69,9	102,4	32,8
1986	35,8	43,8	31,2	9,3	40,2	68,6	12,3	44,6	0,5	128,1	30,5	37,8
1987	87,6	46,7	114,7	77,2	14,2	37,6	8,5	6,2	0,0	104,3	73,2	35,4
1988	64,9	39,4	58,4	31,8	14,2	11,2	0,0	0,0	1,2	8,4	166,1	77,1
1989	3,3	21,4	98,6	15,4	21,1	13,7	23,3	0,1	5,6	48,9	47,8	64,6
1990	1,7	11,7	52,7	36,2	24,5	19,7	0,0	81,9	12,8	34,2	184,6	154,7
1991	70,7	45,0	61,6	86,1	56,8	0,7	16,5	78,0	1,2	42,0	78,1	10,1
1992	15,6	37,6	27,8	62,9	87,5	30,5	18,4	0,0	6,5	18,6	34,7	50,0
1993	52,8	70,5	36,7	25,8	43,9	16,2	2,5	3,5	0,2	2,5	164,1	46,0
1994	99,2	106,9	33,0	43,5	57,2	11,1	19,8	18,4	0,0	345,1	85,9	50,4
1995	62,9	3,3	89,5	33,1	5,1	31,9	38,7	16,5	48,1	12,6	34,8	111,8
1996	107,4	75,6	80,2	23,5	25,3	1,3	5,9	49,9	17,7	85,0	20,8	95,3
1997	143,3	24,9	45,3	36,3	19,2	14,6	12,3	95,7	2,9	44,3	128,1	115,1
1998	30,0	56,6	59,6	8,1	46,4	9,6	0,0	0,0	24,4	22,2	295,0	71,0
1999	72,1	36,6	134,2	49,2	13,3	3,5	21,7	18,3	34,3	93,0	90,1	77,0
2000	20,5	68,6	21,9	31,7	2,2	25,1	0,8	0,0	8,0	50,5	30,5	68,2
Μ.Ο.	60,1	52,4	61,5	44,6	27,6	21,8	12,5	24,3	12,8	62,9	93,6	74,9

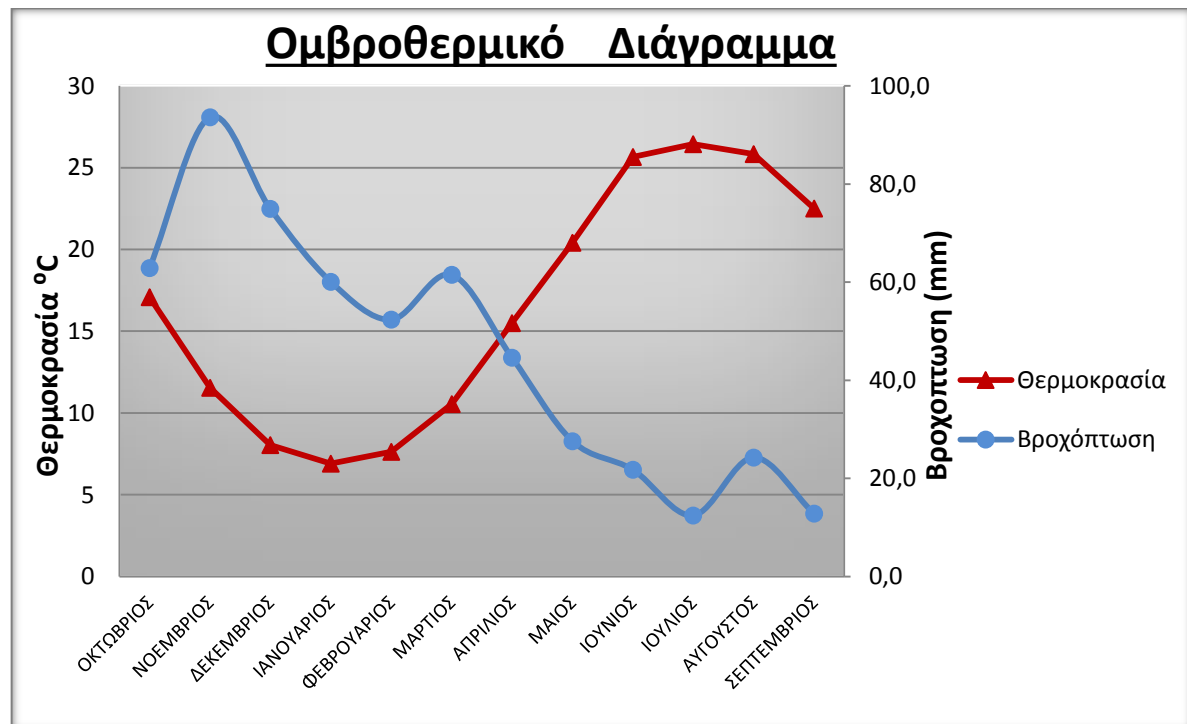
Πίνακας 2.: Μηνιαίες θερμοκρασίες όπως καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας για τη χρονική περίοδο 1981-2000. (Ε.Μ.Υ., 2013)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	3,9	8	13,3	15,6	18,8	26,3	26,4	25,5	22,9	20,4	11	11
1982	7,8	5,6	9,5	13,1	18,5	25,4	16,6	26,8	23,7	18,1	11,2	8,8
1983	6,6	5,4	10,4	16,7	21,9	23	26,7	24,7	21,8	15,7	10,8	7,4
1984	7,5	7,8	9,6	12,5	20,2	24,8	26,3	24,3	22,9	18,8	11,8	7,2
1985	7,6	6,2	10	16,8	21,8	25,9	26,4	26,4	21,8	14,6	13	9,2
1986	8,6	8,5	10,3	16,3	19,9	25,4	26,3	26,3	22,2	16,1	10,1	6,1
1987	8,3	8,8	5,3	13,8	18,5	25,1	27,5	25,6	23,5	15,6	11,4	8,4
1988	8,6	7,7	10,6	13,7	20,8	26,4	29,1	26,8	22,8	16	8,6	6,3
1989	5,2	8,2	11,7	17,1	19,1	24,4	25,8	26,2	22,8	15,3	11,4	6,8
1990	5,1	9	12,6	15,9	20,5	25,6	27,4	25,3	22,4	17,2	13,1	8,1
1991	5,4	7,2	11,1	13,7	18,1	26,2	26,2	24,6	21,7	17,8	11,7	4
1992	6	6,5	9,9	15,2	17,7	24,6	25,5	26,9	21,5	20	12,4	6,5
1993	6,8	4,9	10,1	15,1	19,9	26	27,3	26,6	22,6	19,1	10,5	10
1994	8,8	7,7	11,8	15,8	21,1	25,3	26,8	27,3	25,2	18,1	10,8	7
1995	7,2	10,3	11	14,6	20,7	26,7	26,3	25,3	22,9	15,2	9,5	10,7
1996	7,2	7,8	13,7	21,9	25,8	26,8	25,5	21,9	21,9	15,2	12,8	9,6
1997	7,4	8,1	9,6	11,9	21,6	26,4	28,4	25,2	20,4	15,3	12,4	8,4
1998	7,6	9,6	8,7	16,5	19,9	26,5	28,4	27	21,8	18,2	12,3	6,8
1999	7,8	7,5	11	16,6	21,5	26,9	27,3	27,5	22,2	18,8	12	9,6
2000	4,6	7,9	10,9	17,1	22,1	25,5	28,5	26,5	23,1	16,2	14	9,1
Μ.Ο.	6,9	7,6	10,5	15,5	20,4	25,6	26,4	25,8	22,5	17,1	11,5	8,1

Για να προσδιοριστεί ο κλιματικός τύπος της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε η κατάταξη Köppen. Η κλιματική κατάταξη Köppen παρουσιάστηκε το 1918, είναι απλή και εύχρηστη, δίνει τα χαρακτηριστικά του κλίματος σ' όλο τον πλανήτη και είναι ευρέως αποδεκτή (Μπαλαφούτης, 2000).

Σύμφωνα με την κατάταξη Köppen για τον προσδιορισμό του κλιματικού τύπου χρειάζονται οι μέσες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας μιας περιοχής. Από τους πίνακες 1 και 2 προκύπτει ότι για την περιοχή μελέτης η μέση τιμή βροχόπτωσης του πιο βροχερού μήνα (Νοέμβριος, 93,6mm) είναι τουλάχιστον τριπλάσια της βροχόπτωσης του ξηρότερου μήνα (Ιούλιος 12,5mm) η οποία δεν υπερβαίνει τα 30 mm, ενώ όσον αφορά τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Ιούλιος, 26,4 °C) είναι μεγαλύτερη των 22 °C.

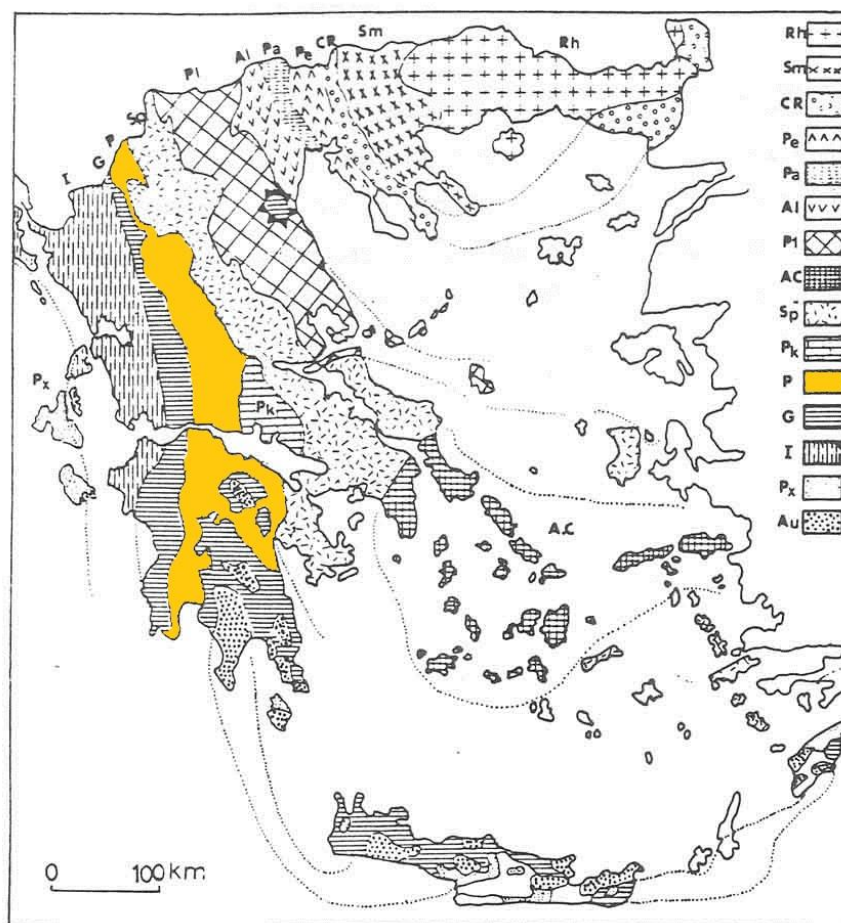
Με βάση όλα τα παραπάνω ο κλιματικός τύπος της περιοχής καθορίστηκε σε Csa που αφορά κλίματα Μεσογειακά με θερμό θέρος που συναντώνται συνήθως στην ενδοχώρα. Η γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης στην κεντρική Ελλάδα, στο εσωτερικό της λεκάνης του Σπερχειού επαληθεύει το αποτέλεσμα. Στο σχήμα 8 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα για την περιοχή, που προέκυψε από τις μέσες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Φαίνεται καθαρά ότι κατά τους θερινούς μήνες παρατηρούνται οι πιο υψηλές θερμοκρασίες με τις πιο χαμηλές τιμές νετού, σε αντίθεση με την υγρή περίοδο που διαρκεί από τους τελευταίους φθινοπωρινούς μήνες μέχρι και τους χειμερινούς.



Σχήμα 8.: Ομβροθερμικό διάγραμμα του μετεωρολογικού σταθμού Λαμίας για τη χρονική περίοδο 1981-2000

2.5 Γεωλογία – Γεωλογική εξέλιξη της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη Ωλονού – Πίνδου, η οποία εκτείνεται από τα ελληνοαλβανικά σύνορα, στα βουνά της Πίνδου και φτάνει μέχρι την Πελοπόννησο, ενώ κομμάτια της εντοπίζονται και στην Κρήτη και τη Ρόδο (σχήμα 9). Η ζώνη Πίνδου θεωρείται η πιο βαθιά Ελληνική αύλακα ανάμεσα στα υβώματα της Πελαγονικής προς τα ανατολικά και Γαββρόβου προς τα δυτικά. Συνήθως αναφέρεται και ως το “Ελληνικό Ευγεωσύγκλινο” (Μουντράκης, 1985).



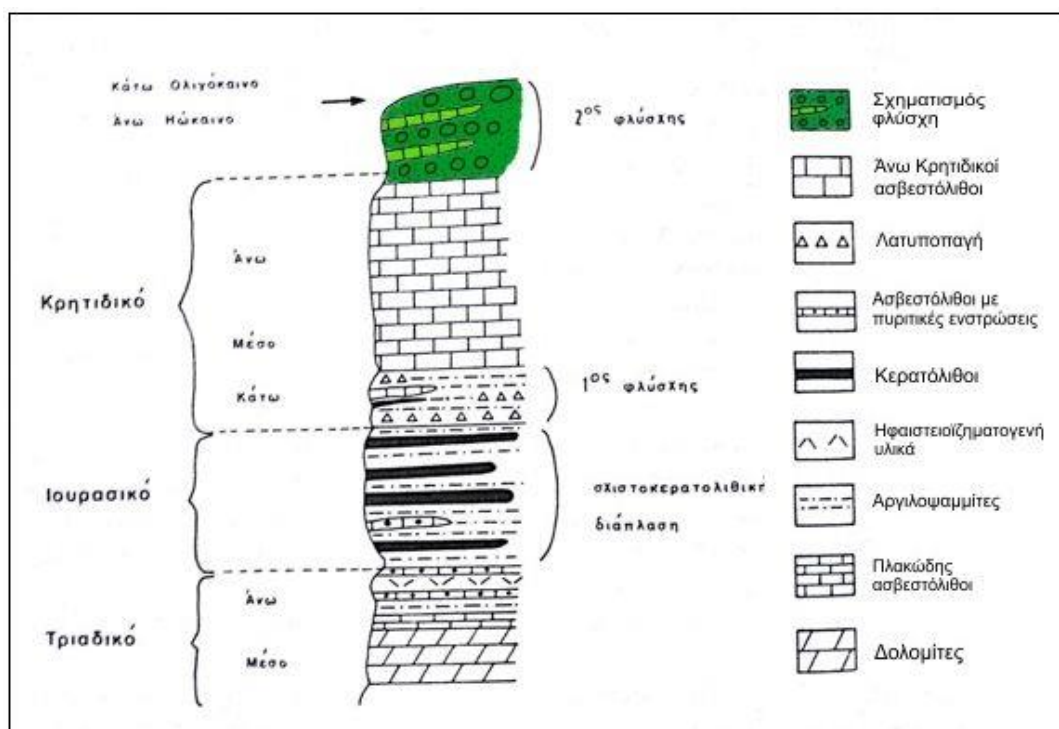
Σχήμα 9.: Διαχωρισμός των ελληνικών γεωτεκτονικών ζωνών, με κίτρινο χρώμα φαίνεται η ζώνη Ωλονού-Πίνδου (Μουντράκης, 1988).

Η ζώνη Ωλονού – Πίνδου μαζί με την Υποπελαγονική αντιπροσωπεύουν τον κατακερματισμένο ωκεανό της Νεοθηθύς. Τα πετρώματα της ζώνης αναδύθηκαν μεταξύ Ηωκαίνου και κάτω Ολιγόκαινου με μια φάση πτυχώσεων που προκάλεσε την έντονη λεπίωση και την επώθηση των στρωμάτων της ζώνης πάνω στις ζώνες που βρίσκονται στα δυτικά της με τη μορφή τεκτονικού καλύμματος. Τα τεκτονικά λείπια της Πίνδου βρίσκονται επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο με κατεύθυνση από

ανατολικά προς δυτικά δημιουργώντας επάλληλα στρώματα της ζώνης που φαινομενικά αυξάνουν το πάχος της. Τέλος, εμφανίζονται οφειολιθικές μάζες τεκτονικά τοποθετημένες επάνω στον τριτογενή φλύσχη.

Στη ζώνη Ωλονού – Πίνδου δεν έχει βρεθεί προαλπικό υπόβαθρο παρά μόνο τα πρώτα αλπικά ιζήματα, δολομίτες και ασβεστόλιθοι. Κατά το άνω Τριαδικό αρχίζουν να εμφανίζονται οι πελαγικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Σ' όλη τη διάρκεια του Ιουρασικού, είχαμε συνεχή απόθεση ιζημάτων βαθιάς θάλασσας τη γνωστή σχιστοκερατολιθική διάπλαση (κερατόλιθοι, ραδιολαρίτες, άργιλοι, ψαμμίτες, πελαγικοί πυριτικοί ασβεστόλιθοι, ιάσπηδες) πάχους 150-200m . Πάνω από αυτή τη διάπλαση βρίσκεται ο πρώτος φλύσχος της Πίνδου ηλικίας Κάτω Κρητιδικού. Τέλος, βρίσκεται ο “δεύτερος φλύσχος” ηλικίας από το Δάνιο μέχρι το Κάτω Ολιγόκαινο. Είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος φλύσχη του ελληνικού χώρου με ρυθμικές εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, μαργών και ασβεστόλιθων. Ονομάζεται και άγριος φλύσχος διότι είναι έντονα πτυχωμένος (Μουντράκης, 1985).

Στο σχήμα 10 απεικονίζεται η λιθοστρωματογραφική στήλη της Ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Στην περιοχή μελέτης συναντάται το πάνω τμήμα της στήλης, δηλαδή ο δεύτερος φλύσχος.



Σχήμα 10.: Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Ωλονού – Πίνδου (Μουντράκης, 1985).

2.5.1 Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Στη συνέχεια αναλύονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή μελέτης όπως αυτοί χαρτογραφήθηκαν και περιγράφονται στα φύλλα ΓΜΕ Σπερχειάς (1970) και Λεοντάριον (1962) κλίμακας 1:50.000.

Η ευρύτερη περιοχή έχει διαμορφωθεί κατά βάση από την ποτάμια δράση του Σπερχειού και τους παραποτάμους του που διαρρέουν τις πλαγιές της δυτικής Όρθρυς. Έτσι πάνω στον δεύτερο φλύσχη της Πίνδου επικάθονται οι τεταρτογενείς αποθέσεις που συναντώνται στην κύρια κοιτή του Σπερχειού στα νότια και νοτιοδυτικά αλλά και περιμετρικά των κοιτών των παραποτάμων. Στα βορειοδυτικά συναντώνται τεκτονικά τοποθετημένα πάνω στο φλύσχη πετρώματα σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και οφειόλιθοι.

Πιο αναλυτικά από τα νεώτερα στα παλαιότερα συναντώνται:

A) Τεταρτογενείς αποθέσεις

- Αποθέσεις κοιλάδων με αργίλους άμμους και χάλικες.
- Κολλουβιακές αποθέσεις από αποθέσεις κλιτύων.
- Πλευρικά κορήματα από μικρά γωνιώδη τεμάχια και λεπτόκοκκες αργιλο-αμμούχες αποθέσεις.

B) Φλύσχης ανατολικής Πίνδου ηλικίας από το Δάνιο έως το Ηώκαινο. Από πάνω προς τα κάτω η τομή του φλύσχη αποτελείται από 500m με αργιλικούς σχιστόλιθους και ιλυόλιθους με αστρίους και γραουβάκες πάχους 100 m (Άνω Ηώκαινο). Ακολουθεί ένα στρώμα 500 m με αργιλικούς σχιστόλιθους και ιλυόλιθους με ενστρώσεις γραουβάκη πάχους 10-50 m ανά διαστήματα 100-200 m. Στη συνέχεια συναντάται ένα στρώμα 1000 m από σχιστόλιθους και παχυστρωματώδεις γραουβάκες με στρώσεις λεπτομερών κροκαλοπαγών που εναλλάσσονται ανά 5-10 m. Το κατώτερο τμήμα αποτελείται από σχιστόλιθους με παρενστρωμένους γραουβάκες πάχους 10-20 m.

Γ) Ασβεστόλιθος ηλικίας άνω Κρητιδικού μέσα στο σύστημα του φλύσχη από πλακώδης έως κλαστικός. Μέσα στον ασβεστόλιθο απαντώνται *Orbitolina* του Κενομάνιου και *Discocyclus* ηλικίας Παλαιόκαινου ή Ηώκαινου.

Δ) Ψαμμίτες του κάτω Κρητιδικού, πάχους 400 m υποπράσινοι με μερικές ενστρώσεις αδρομερών κλαστικών ή κροκαλοπαγών ασβεστολίθων. Στο ανώτερο τμήμα υπάρχει κροκαλοπαγές από κερατολιθικές και πρασινολιθικές κροκάλες με ρουδιστές.

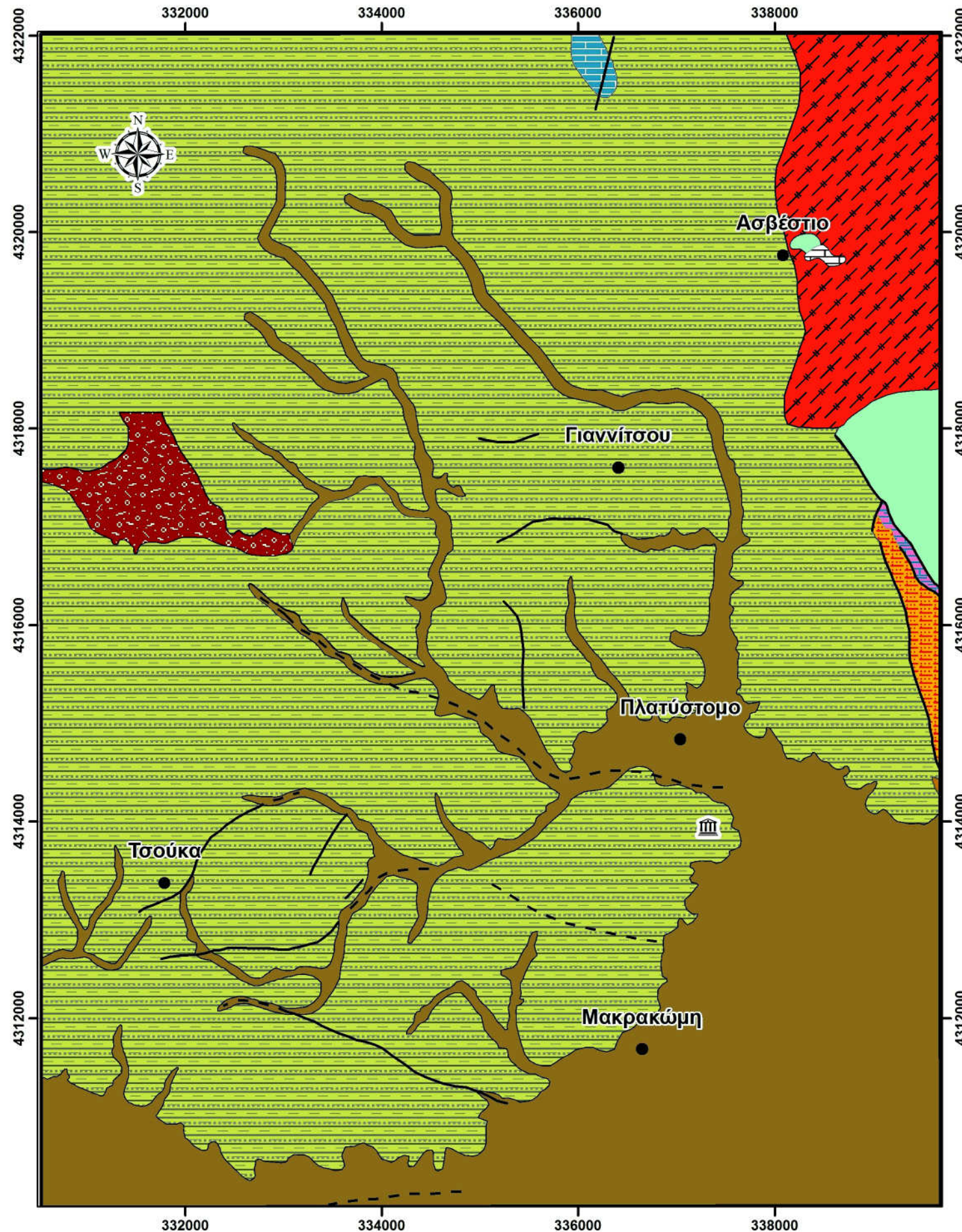
Ε) Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι πάχους 50 m, ηλικίας Τιθωνίου στο ανώτερο Ιουρασικό, λεπτοστρωματώδεις υπέρυθροι έως πρασινότεφροι και πράσινοι ψαμμίτες σε συχνές εναλλαγές. Εμφανίζονται επίσης απολιθώματα και ιχνοαπολιθώματα.

ΣΤ) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφειολιθικά πετρώματα.

- Περιδοτίτης: Δουνίτες με χρωμίτες, πυροξενικούς περιδοτίτες και ολιβίνες, γάββρους και σερπεντινίτες.
- Βασικά και υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα του οφειολιθικού συμπλέγματος με διαβάσεις, περιδοτίτες, γάββρους, σερπεντινίτες, λάβα και τόφφους.
- Μεγάλη ασβεστολιθική μάζα εντός της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού, με συμπαγής άστρωτους ασβεστόλιθους με *Megalodon*, *Cladocoropsis*, *Palaeodacycladus* και *Diplopora*.

Στο σχήμα 11 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης που δημιουργήθηκε κατόπιν ψηφιοποίησης των δύο φύλλων του ΙΓΜΕ, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS 10.

Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής μελέτης



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Τεταρτογενές

- Αποθέσεις κοιλάδων: άργιλοι, άμμοι και χάλικες
- Κολλουβιακές αποθέσεις από αποθέσεις κλιτύων
- Πλευρικά κορήματα

Δάνιο - Ηώκαινο

- Φλύσης: Αργιλίτες και ιλυόλιθοι

Άνω Κρητιδικό

- Ανωκρητιδικός Ασβεστόλιθος

Κάτω Κρητιδικό

- Ψαμμίτες

Τιθώνιο - Ιουρασικό

- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι

Σχιστοκερατολιθική Διάπλαση και Οφειολιθικά πετρώματα

- Περιδοτίτης
- Βασικά-Υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα
- Ασβεστολιθική μάζα εντός της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης

- Ρήγμα
- Ρήγμα πιθανό
- Αρχαιολογικός Οικισμός

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50.000

0 1.000 2.000 4.000 Meters

2.6 Ιστορικά στοιχεία της περιοχής του αρχαιολογικού οικισμού στα Αστέρια

Η στρατηγική θέση του Σπερχειού ποταμού με τα εύφορα εδάφη και την έντονη παρουσία του υδάτινου στοιχείου, συνετέλεσε στην έντονη κατοίκησή της περιοχής από τον άνθρωπο. Τα ευρήματα μαρτυρούν ότι κατοικήθηκε από την νεολιθική εποχή και από τότε αποτέλεσε περιοχή συνεχούς κατοίκησης και στην εποχή του χαλκού αλλά κυρίως κατά τη μέση και τελική φάση της ελληνιστικής περιόδου. Η μυθολογία μάλιστα συνδέει την περιοχή με το βασίλειο του Ομηρικού Αχιλλέα.

Σύμφωνα με την προκαταρκτική αναφορά των αρχαιολόγων (The Makrakomi archaeological Landscape Project MALP) στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Σπερχειού κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. κατοικούνταν από τρία έθνη. Στα νοτιοανατολικά βρισκόταν εγκαταστημένοι οι Οιταίοι, στα κεντρικά της κοιλάδας οι Μαλιείς και στο δυτικό κομμάτι οι Αινιάνες. Πηγές της Κλασσικής και μετα-Κλασσικής περιόδου αναφέρουν ότι η φυλή των Αινιάνων μετανάστευσε είτε από την περιοχή της Θεσσαλίας είτε από την περιοχή της Ηπείρου και εγκαταστάθηκε στο δυτικό κομμάτι του Σπερχειού ποταμού. Εκεί οι Αινιάνες διαμόρφωσαν ένα έθνος που χρονικά προσδιορίζεται στην αρχή της Κλασσικής περιόδου. Υποστηρίζεται ότι το έθνος των Αινιάνων είχε διαμορφώσει σχέσεις συνεργασίας με τη φυλή των Αιτωλών.

Η ευρύτερη περιοχή της Μακρακώμης και λίγο πιο βόρεια αποτελούσε δίοδο για την Ήπειρο και τη Θεσσαλία προς την κοιλάδα του Σπερχειού. Γενικά οι έρευνες στη δυτική πλευρά της κοιλάδας έχουν φέρει στο φώς ευρήματα αμυντικών κατασκευών. Οχυρωματικοί τοίχοι που αρχιτεκτονικά αποδίδονται στους Αινιάνες, ελληνιστικής περιόδου, έχουν βρεθεί σε πόλεις της γύρω περιοχής. Ενώ οχυρά βρέθηκαν στις περιοχές προφήτη Ηλία, Άνω Φτέρη και Καστροράχη. Κατά κοινή παραδοχή τα οχυρά ήταν χτισμένα σε κομβικά σημεία και σε δρόμους-περάσματα.

Τα ερείπια των οχυρών όπως αυτό στο λόφο του προφήτη Ηλία τράβηξαν το ενδιαφέρον των αρχαιολόγων από πολύ νωρίς. Η στρατηγική τους θέση επέτρεπε τον έλεγχο του περάσματος από το όρος Όρθρυς στα βόρεια μέχρι το Σπερχειό ποταμό. Κάτω από το λόφο του Προφήτη Ηλία βρίσκονται τα ερείπια χτισμάτων που προσδιορίστηκαν χρονικά ως δημιουργήματα της Ελληνιστικής περιόδου. Με βάση τις υποθέσεις των αρχαιολόγων πρόκειται πιθανώς για μια στρατιωτική βάση που είχε αναπτυχθεί γύρω από το οχυρό του προφήτη Ηλία που είχε την εποπτεία της ευρύτερης περιοχής.

2.7 Διεξαγωγή ηλεκτρικών γεωφυσικών διασκοπήσεων στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου

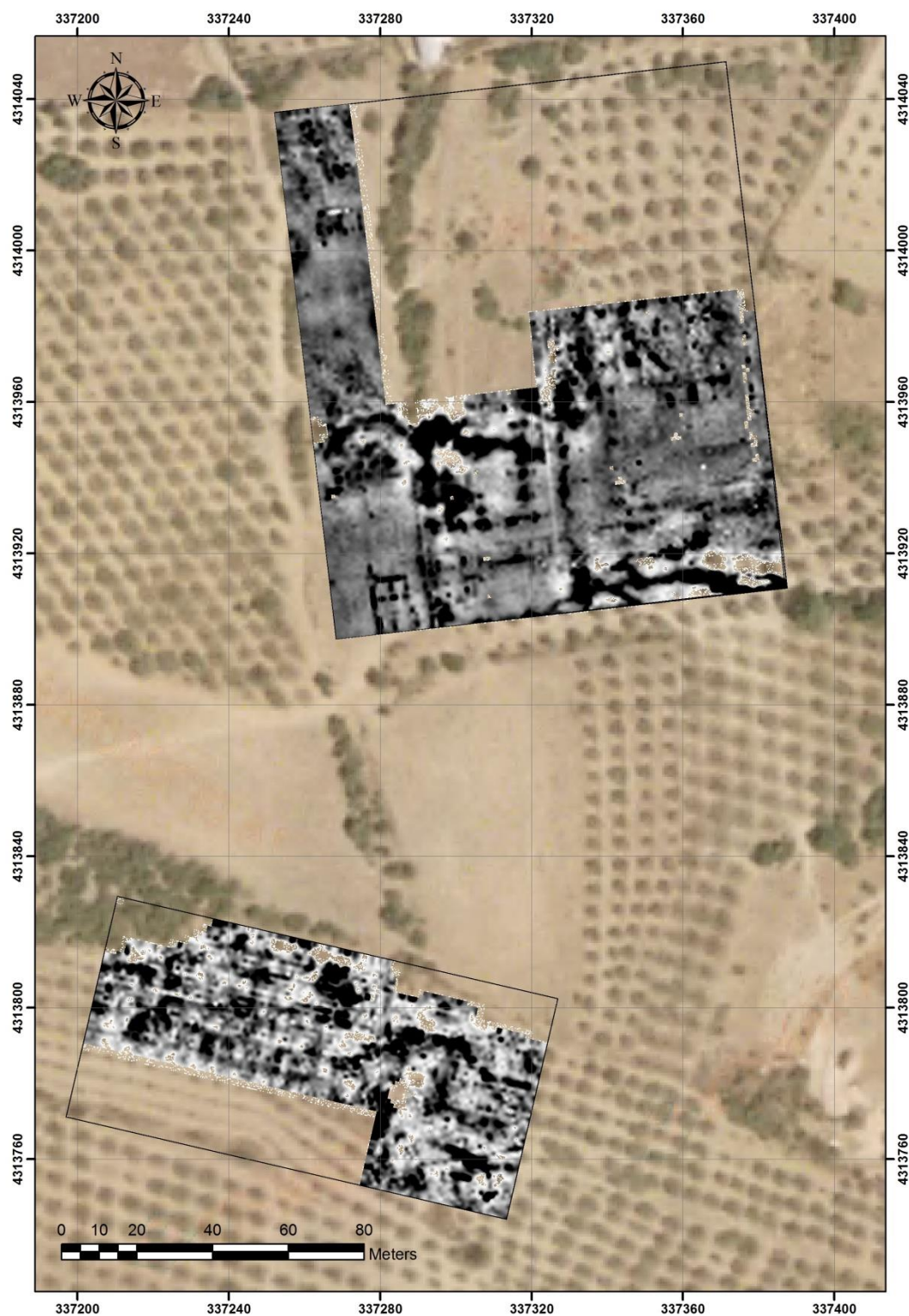
Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται στις αρχαιολογικές έρευνες παγκοσμίως. Η βασική θεωρία υποστηρίζει ότι τα αρχαιολογικά λείψανα διαταράσσουν την ομοιογένεια των ανώτερων στρωμάτων της γης προκαλώντας ανωμαλίες σε φυσικά ή τεχνητά ηλεκτρικά πεδία. Οι ανωμαλίες αυτές μπορούν να χαρτογραφηθούν με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων (Τσόκας κ.α., 2012).

Η ηλεκτρική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης ονομάζεται και “μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης” ή “μέθοδος συνεχούς ρεύματος”. Εισάγεται ρεύμα στη Γη με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων και στη συνέχεια μετρίεται η διαφορά δυναμικού σε δύο άλλα. Η μέτρηση της αντίστασης που λαμβάνεται ανάγεται σε τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέσω μιας μαθηματικής σχέσης και το αποτέλεσμα είναι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Τσόκας κ.α., 2012).

Κατά την ηλεκτρική χαρτογράφηση εφαρμόζεται στο έδαφος κάναβος με τετράγωνα κελιά. Εάν υπάρχουν αρχαιότητες στο υπέδαφος εφόσον έχουν μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από τον περιβάλλοντα εδαφικό σχηματισμό, θα αναγκάσουν το μεγαλύτερο τμήμα του ρεύματος να κινηθεί γύρω τους, δηλαδή θα καταγραφεί μεγαλύτερη αντίσταση. Εάν οι αρχαιότητες είναι περισσότερο αγωγίμες από το περιβάλλον που φιλοξενούνται, τότε το ρεύμα ρέει πιο εύκολα μέσα από αυτές και καταγράφονται αρνητικές «ανωμαλίες» στην επιφάνεια του εδάφους (Τσόκας κ.α., 2012).

Τον χειμώνα του 2011 ο καθηγητής του ΑΠΘ Γρηγόριος Τσόκας επισκέφθηκε την περιοχή του αρχαιολογικού οικισμού και εκτέλεσε μετρήσεις ηλεκτρικών γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Ο χάρτης του σχήματος 12 προέκυψε από αυτές της μετρήσεις του κ. Τσόκα και με βάση αυτές επιλέχθηκαν οι θέσεις των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων της παρούσας διατριβής. Γενικά το μαύρο χρώμα αντιπροσωπεύει ανθρωπογενείς δομές.



Σχήμα 12.: Το αποτέλεσμα των ηλεκτρικών διακοπήσεων στον αρχαιολογικό οικισμό στα Αστέρια Μακρακώμης Φθιώτιδας (Τσόκας et al, painting printing).

3. Μεθοδολογία

3.1 Γεωμορφολογία της περιοχής

Για να γίνουν κατανοητές οι διεργασίες που οδήγησαν στη διαμόρφωση του αναγλύφου με τη μορφή που συναντάται σήμερα, χρειάζεται να γίνει ανάλυση της μορφολογίας και των υψομετρικών στοιχείων. Επίσης η επιρροή δυνάμεων όπως είναι η τεκτονική και η ποτάμια δράση κρίνεται απαραίτητο να εντοπίζονται και να αναλύονται. Για να πραγματοποιηθεί η μορφολογική ανάλυση στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) όπως αυτό προέκυψε από τα δεδομένα του προγράμματος Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) που εκπονήθηκε από τη NASA και τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει ψηφιακά δεδομένα σχεδόν απ' όλο τον πλανήτη με χωρική ανάλυση περίπου τα 90m. Στην παρούσα εργασία για την ανάλυση του αναγλύφου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap 10. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων τα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) συνδυάστηκαν με στοιχεία που ψηφιοποιήθηκαν από τα φύλλα Σπερχειάς και Λεονταρίου τόσο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ) όσο και τα αντίστοιχα φύλλα του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).

3.1.1 Ταξινόμηση αναγλύφου

Προκειμένου να χαρακτηριστεί το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση κατά Dikau (1989) (από Παράσχο, 2005). Με βάση τα υψόμετρα που σημειώνονται στην περιοχή, όπως αυτά προέκυψαν από το μοντέλο υψομετρικού αναγλύφου (DEM), η περιοχή χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες: πεδινή, λοφώδης, ημιορεινή και ορεινή. Ο διαχωρισμός γίνεται όπως αποτυπώνεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση αναγλύφου με βάση το υψόμετρο κατά Dikau (1989).

Απόλυτο υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός περιοχής
<150	Πεδινή
150-600	Λοφώδης
600-900	Ημιορεινή
>900	Ορεινή

3.1.2 Κλίση αναγλύφου

Η κλίση του αναγλύφου είναι άλλη μια παράμετρος που εξετάζεται καθώς αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο τοπογραφικό μέγεθος απαραίτητο σε κάθε γεωμορφολογική έρευνα. Η ταξινόμηση του αναγλύφου χωρίζεται σε έξι κατηγορίες σύμφωνα με τον Demek (1972) ανάλογα με το ποσοστό της κλίσης που εμφανίζουν οι επιφάνειες. Αυτός ο τρόπος κατηγοριοποίησης έχει υιοθετηθεί και από την Επιτροπή Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης (Commision on Geomorphological Survey and Mapping) της Διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU – International Geographical Union). Η κάθε μια από τις ομάδες χαρακτηρίζει το είδος των επιφανειών και τον τρόπο διάβρωσης του ως εξής:

- **Κλίση 0° – 2° (0% – 3,5%):** Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος.
- **Κλίση 2° – 5° (3,5% - 8,7%):** Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης.
- **Κλίση 5° – 15° (8,7% – 26,8%):** Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες.
- **Κλίση 15° – 35° (26,8% - 70%):** Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο. Έντονες διεργασίες απογύμνωσης πάσης φύσεως, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, πολύ έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.
- **Κλίση 35° - 55° (70% – 135%):** Απόκρημνο. Πολύ λεπτό, ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος, ισχυρότατη έκθεση στους παράγοντες της διάβρωσης και της βαρύτητας.
- **Κλίση >55° (>135%):** Κάθετο ανάγλυφο. Απουσία εδάφους. Απογύμνωση των εκτεθειμένων πετρωμάτων, κατάρρευση βράχων.

3.2 Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

Μια υδρολογική λεκάνη αποτελεί το τμήμα εκείνο της επιφάνειας του εδάφους που συλλέγει όλα τα επιφανειακά νερά τα οποία απορρέουν μέσω του υδρογραφικού τους δικτύου για να καταλήξουν σε μια κύρια κοίτη ενός ποταμού και στη συνέχεια να καταλήξουν σε έναν άλλο ποταμό, στη θάλασσα ή σε μια λίμνη. Η υδρολογική λεκάνη είναι μια καλά καθορισμένη τοπογραφική και υδρολογική ενότητα και αποτελεί στοιχειώδη χωρική μονάδα της επιφάνειας της χέρσου. Το σχήμα της και η διαμόρφωση των κλάδων της εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής, την τεκτονική, τις κλιματικές συνθήκες και σε αρκετές περιπτώσεις από την ανθρώπινη παρέμβαση. Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιείται για να εξηγηθούν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που οδήγησαν στο σχηματισμό της μορφής του αλλά και της πιθανής εξέλιξής του.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το παγκόσμιο μοντέλο υψομετρικού αναγλύφου Aster GDEM για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς. Οι μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS 10 και συγκεκριμένα με την εντολή Hydrology για το υδρογραφικό σύστημα.

3.2.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

Η αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου απασχόλησε κατά καιρούς τους επιστήμονες (Horton 1945, Strahler 1952, Scheidegger 1965, Shreve 1967). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η αρίθμηση κατά Strahler (1952) που αποτελεί τροποποίηση ενός προϋπάρχοντος συστήματος αρίθμησης του Horton (1945).

Σύμφωνα με την αρίθμηση κατά Strahler (1952) ρέματα το οποία δεν δέχονται νερό από κανένα άλλο κλάδο αποτελούν κλάδο 1^{ης} τάξεως. Στο σημείο που συναντώνται δύο κλάδοι 1^{ης} τάξης δημιουργούν ένα κλάδο 2^{ης} τάξης. Η ένωση δύο κλάδων 2^{ης} τάξης δίνουν κλάδο 3^{ης} τάξης κ.ο.κ. Σε περίπτωση σύνδεσης δύο κλάδων διαφορετικής τάξης ο κλάδος που προκύπτει ακολουθεί την αρίθμηση του μεγαλύτερου κλάδου. Την αρίθμηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου ακολουθούν και οι λεκάνες απορροής δημιουργώντας λεκάνες 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} κ.ο.κ. τάξης.

3.2.2 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η κατανομή των υψομέτρων μέσα στα όρια μιας υδρολογικής λεκάνης. Η καμπύλη κατασκευάζεται προβάλλοντας σε ένα διάγραμμα το σχετικό συνολικό ύψος (h/H) της λεκάνης σε σχέση με το σχετικό συνολικό εμβαδόν της (a/A).

Όπου: h = το ύψος της βάσης κάθε τμήματος από τη βάση της λεκάνης

H = το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης μείον το ελάχιστο

a = το εμβαδόν της επιφάνειας από το ύψος h μέχρι την κορυφή της
λεκάνης

A = το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης

Ο λόγος a/A παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 1 στη βάση της λεκάνης μέχρι 0 στην κορυφή της τη στιγμή που ο λόγος h/H στην κορυφή είναι 0, ενώ στη βάση 1 (σχήμα 13). Η υψομετρική καμπύλη που προκύπτει από τους δύο παραπάνω λόγους είναι ανεξάρτητη από την κλίμακα του χάρτη όπως και από το μέγεθος και το ανάγλυφο της λεκάνης. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να συγκρίνονται μεταξύ τους διαφορετικές λεκάνες. (Keller & Pinter, 2002).

Σχήμα 13.: Υπολογισμός υψομετρικής καμπύλης. (Keller & Pinter, 2002)

Για να υπολογιστεί η υψομετρική καμπύλη μιας λεκάνης πρέπει να υπολογιστεί πρώτα το υψομετρικό της ολοκλήρωμα. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα αποτελεί το εμβαδόν κάτω από την υψομετρική καμπύλη στη γραφική παράσταση. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H_i = \frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}} \quad (\text{Keller \& Pinter, 2002})$$

Το μέγιστο και το ελάχιστο υψόμετρο μπορεί να υπολογιστεί εύκολα από έναν τοπογραφικό χάρτη, ενώ το μέσο υψόμετρο από ένα ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcMap 10. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα σχετίζεται με το βαθμό απογύμνωσης του αναγλύφου. Η συσχέτιση αυτή το καθιστά σημαντικό δείκτη του σταδίου που βρίσκεται το τοπίο μέσα στον κύκλο διάβρωσης (σχήμα 14.). Ο κύκλος της διάβρωσης διακρίνεται σε τρία στάδια νεότητας, ωριμότητας και γήρατος. Στο στάδιο της νεότητας το τοπίο χαρακτηρίζεται από βαθιές χαραδρώσεις και τραχύ ανάγλυφο, στο στάδιο της ωριμότητας όλες οι μορφολογικές διαδικασίες δρουν σε ισορροπία και στο στάδιο του γήρατος το ανάγλυφο έχει φτάσει σχεδόν στο βασικό επίπεδο.

Σχήμα 14.: Τα τρία εξελικτικά στάδια του αναγλύφου και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες που τα χαρακτηρίζουν. (Keller & Pinter, 2002)

3.2.3 Ασυμμετρία λεκάνης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι που περιγράφουν τη μορφή του υδρογραφικού δικτύου τόσο ποιοτικοί όσο και ποσοτικοί. Ένα υδρογραφικό δίκτυο κατά την ανάπτυξή του διαμορφώνεται ανάλογα με τη λιθολογία της περιοχής και το ανάγλυφο, που σχετίζεται βέβαια με το στάδιο του κύκλου διάβρωσης στο οποίο βρίσκεται η υδρολογική λεκάνη. Η διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου μπορεί να επηρεαστεί και από την ενεργό τεκτονική μιας περιοχής. Η ασυμμετρία λεκάνης δημιουργήθηκε και χρησιμοποιείται στην ανίχνευση πιθανής τεκτονικής που έχει παίξει ρόλο σε μια υδρολογική λεκάνη ή και σε μεγαλύτερη κλίμακα. (Keller & Pinter, 2002)

Η ασυμμετρία λεκάνης ορίζεται ως: $AF=100(Ar/At)$

Όπου Ar = η επιφάνεια της λεκάνης που βρίσκεται στα δεξιά του κύριου κλάδου κοιτώντας προς τα κατάντη.

At = η συνολική επιφάνεια της λεκάνης

Εάν οι τιμές της AF είναι κοντά στο 50 τότε δεν υπάρχει η είναι πολύ μικρή η κλίση της λεκάνης λόγω της τεκτονικής. Στην περίπτωση που η τιμή της AF είναι πολύ μικρότερη ή μεγαλύτερη από το 50 τότε θεωρείται ότι η τεκτονική έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της λεκάνης ή διατρέχουν άλλοι λόγοι όπως σημαντικές αλλαγές στη λιθολογία. (Dehbozorgi et al, 2010)

3.2.4 Δείκτης μήκους - κλίσης ρέματος

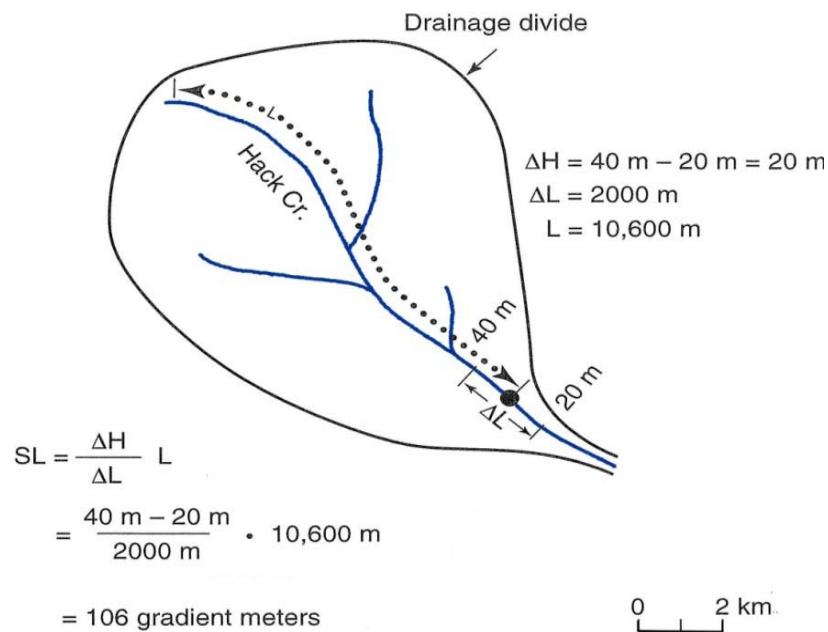
Ο δείκτης κλίσης του ρέματος δείχνει την αλλαγή στην κλίση που μπορεί να υπάρξει κατά μήκος ενός ποταμού. Σχετίζεται με τη δύναμη του ρέματος. Σε ένα συγκεκριμένο σημείο του ποταμού μπορεί να υπολογιστεί η συνολική δύναμη του. Είναι σημαντικός υδρολογικός δείκτης διότι σχετίζεται με την διαβρωτική ικανότητα του ρέματος και κατ' επέκταση με τη μεταφορά των ιζημάτων.

Ο SL είναι ευαίσθητος στις αλλαγές της κλίσης της κοίτης και αυτό επιτρέπει την εκτίμηση για πιθανή τεκτονική δράση (ανυψώσεις - καταβυθίσεις). Οι αλλαγές που σημειώνονται στην τιμή του κατά μήκος του ρέματος μπορεί επίσης να οφείλονται σε αλλαγές στην λιθολογία δηλαδή στην αντίσταση των πετρωμάτων και την τοπογραφία. Για να δώσει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα ο SL δεν θα πρέπει να υπολογίζεται σε κλάδους μικρής τάξης δηλαδή σε κλάδους που έχουν μικρή δύναμη.

Ο δείκτης δίνεται από τον τύπο:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L$$

Για να υπολογιστεί ο δείκτης SL το ρέμα χωρίζεται σε μικρότερα αντιπροσωπευτικά τμήματα. Έτσι ΔH είναι η υψομετρική διαφορά του κάθε τμήματος, ΔL είναι το μήκος του κάθε τμήματος και L είναι το συνολικό μήκος του ρέματος από το μέσο του κάθε τμήματος μέχρι το πιο ψηλό σημείο του ρέματος (σχήμα 15.). Το διάγραμμα των τιμών προκύπτει από το αθροιστικό ΔH και το υψόμετρο.



Σχήμα 15.: Σχεδιάγραμμα για τον τρόπο υπολογισμού του δείκτη SL.

3.3 Διεξαγωγή δειγματοληπτικών γεωτρήσεων

Με τη διαδικασία της πυρηνοληψίας λαμβάνονται κυλινδρικά, συνήθως, ή κυβικά δείγματα ανάλογα με την συσκευή που χρησιμοποιείται. Τα δείγματα μπορεί να είναι χερσαία, παράκτια ή και υποθαλάσσια. Συνήθως πρόκειται για δείγματα εδάφους, πετρωμάτων ή άλλων συμπαγών δομών. Υπάρχει πληθώρα γεωτρύπανων και κεφαλών ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Οι κεφαλές συνήθως αποτελούνται από μια λεπίδα χάλυβα ενισχυμένη με διαμάντια σε περιπτώσεις που το υλικό διάτρησης είναι πολύ σκληρό. Οι μηχανές διάτρησης πυρήνα που χρησιμοποιούνται κινούνται με πεπιεσμένο αέρα, με υδραυλικά συστήματα ή με κάποιο κρουστικό σύστημα για να δίνεται περισσότερο δύναμη και ισχύς στη διάτρηση. Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές είναι : gravity corers, piston corers, vibracorers, Rotary corer και Shelby corers.

Οι πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Στον κατασκευαστικό τομέα και στην οδοποιία με τα δείγματα που λαμβάνονται μπορεί να διαπιστωθεί η κατάσταση της ασφάλτου, να γίνει έλεγχος αντοχής σε σχέση με το υπόβαθρο, καθώς επίσης και έλεγχος σταθερότητας. Επίσης οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις χρησιμεύουν στην κοιτασματολογία για την αναζήτηση κοιτασμάτων, δίνουν ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με τη λιθολογία, τη στρωματογραφία και διευκολύνουν την παλαιοντολογική έρευνα.

Η πραγματοποίηση των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης έγινε τον Νοέμβριο του 2012. Στη διάρκεια αυτών των υπαίθριων εργασιών διενεργήθηκαν οκτώ γεωτρήσεις και ελήφθησαν αδιατάρακτοι πυρήνες με εδαφικό υλικό. Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία vibracore drilling.

3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

3.4.1 Γενικά

Στη φύση συναντώνται κάποια ορυκτά που φέρουν ή κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να εμφανίσουν μερικές βασικές μαγνητικές ιδιότητες. Υλικά όπως ο χαλαζίας, ο άστριος, ο ασβεστίτης και το νερό εμφανίζουν διαμαγνητική συμπεριφορά όταν επιδρά πάνω τους το μαγνητικό πεδίο. Παραμαγνητική συμπεριφορά κατά την εφαρμογή του μαγνητικού πεδίου εμφανίζουν υλικά όπως ο ολιβίνης, ο πυρόξενος, ο βιοτίτης και τα ανθρακικά άλατα του σιδήρου. Τα φερρομαγνητικά υλικά (π.χ. σίδηρος) φέρουν μια ισχυρή παραμένουσα μαγνήτιση

που καταστρέφεται όταν αυτά θερμανθούν σε θερμοκρασία πάνω από την θερμοκρασία Curie. Οι φερρίτες φέρουν φερριμαγνητισμό και έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα φερρομαγνητικά υλικά. Η ισχυρή παραμένουσα μαγνήτιση που έχουν καταστρέφεται πάνω από το σημείο Curie, ενώ η μαγνητική τους συμπεριφορά εξαρτάται από την κρυσταλλική τους δομή. Είναι συνήθως τα οξείδια του σιδήρου (Thompson & Oldfield, 1986).

3.4.2 Φυσικά μαγνητικά ορυκτά

Τα ορυκτά που περιέχουν σίδηρο παρουσιάζουν ισχυρή μαγνήτιση. Ο σίδηρος αποτελεί το τέταρτο πιο διαδεδομένο στοιχείο στο φλοιό της γης, ενώ οι ενώσεις που σχηματίζει με το οξυγόνο, το αργίλιο και το πυρίτιο δίνουν ορυκτά που σχηματίζουν τα πετρώματα. Οι μαγνητικές ιδιότητες του σιδήρου μεταφέρονται και στα οξείδια, στα σουλφίδια και στα υδροξείδια του σιδήρου. Πιο αναλυτικά:

☉ Τα **οξείδια του σιδήρου** χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη κρυσταλλική δομή του ορυκτού. Η ομάδα του σπινέλιου περιλαμβάνει ορυκτά που κρυσταλλώνονται όπως ο σπινέλιος (κυβικό σύστημα) και συναντώνται σε πολλά πετρώματα πυριγενή, μεταμορφωμένα και ιζηματογενή, τα ορυκτά αυτά είναι ο μαγνητίτης, ο τιτανομαγνητίτης, ο μαγκεμίτης και ο τιτανομαγκεμίτης. Η ομάδα που κρυσταλλώνεται όπως το κορούνδιο αποτελείται από οξείδια που σιδήρου που έχουν τριγωνική κρυσταλλική δομή. Αυτά είναι: ο αιματίτης και ο τιτανοαιματίτης.

☉ Τα **σουλφίδια** του σιδήρου απαντώνται σε ιζηματογενή πετρώματα και υπόκεινται στη διαδικασία της σουλφιδίωσης συνήθως υπό την παρουσία αλμυρού νερού. Το σουλφίδιο του σιδήρου με τις πιο μαγνητικές ιδιότητες είναι ο μαγνητοπυρίτης (πυρροτίτης).

☉ Τα **υδροξείδια** του σιδήρου που παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες είναι ο γκαιτίτης, και ο λειμωνίτης.

3.4.3 Ορισμός Μαγνητικής επιδεκτικότητας

Η μαγνητική επιδεκτικότητα αντιπροσωπεύει την ευκολία με την οποία ένα υλικό μπορεί να μαγνητιστεί. Οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι ευρέως διαδεδομένες για τον εντοπισμό της παρουσίας πεδογενετικών φερριμαγνητικών

υλικών στο έδαφος. Είναι μια μέθοδος εύκολη και σχετικά οικονομική (Thompson & Oldfield, 1986).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα προϊόντα του σιδήρου, που βρίσκονται στα πυριγενή, μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα, παρουσιάζουν ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες. Κατά τη διαδικασία της αποσάθρωσης των πετρωμάτων του υποβάθρου ο σίδηρος μεταφέρεται στην επιφάνεια με τη μορφή χημικών σταθερών μαγνητικών οξειδίων που εμφανίζονται στο έδαφος. Σύμφωνα με τον Mullins (1977) τα πιο σημαντικά μαγνητικά ορυκτά που μπορούν να βρεθούν στο έδαφος είναι τα οξείδια του σιδήρου όπως ο μαγνητίτης και ο μαγκεμίτης.

Οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας ποικίλλουν κατά μήκος του εδαφικού προφίλ και ανάλογα με την τοπογραφία. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στις διαφορές της αρχικής μαγνητικής σύστασης που έχει επηρεαστεί από τις διαδικασίες της διάβρωσης. Πέρα από τη λιθολογία η κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας εξαρτάται και από την κλίση, εξαιτίας της συνεχιζόμενης απώλειας εδάφους από ορισμένα σημεία και τη συσσώρευση τους σε άλλα (Sadiki et al, 2009).

Μια ακόμα περιβαλλοντική εφαρμογή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σχετίζεται με την αρχαιολογία και γι αυτό και εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης. Η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας μπορεί να συμβάλει στην αρχαιολογική έρευνα ανάλογα με το είδος του εδάφους, τις χρήσεις γης, τη γεωλογία, το ανάγλυφο και το είδος της κατοίκησης που πραγματοποιήθηκε καθώς και με τον τρόπο που γινόταν η χρήση της φωτιάς. Η φωτιά αυξάνει τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Τα οξείδια του σιδήρου με χαμηλές μαγνητικές ιδιότητες που βρίσκονται μέσα στην άργιλο και την ιλύ με τη φωτιά μπορούν να μετατραπούν σε ισχυρά μαγνητικά οξείδια εάν καούν. Όταν η οργανική ύλη που βρίσκεται στο έδαφος καίγεται σε θερμοκρασίες 600-700 °C δημιουργεί μια ατμόσφαιρα αναγωγής και ο αιματίτης μπορεί να μετατραπεί σε μαγνητίτη και ο μαγκεμίτης να οξειδωθεί εκ νέου όταν η καύση σταματήσει. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας που μπορούν να καθορίσουν και το στρώμα του εδάφους που πραγματοποιήθηκε η κατοίκηση. (<http://www.bartington.com>)

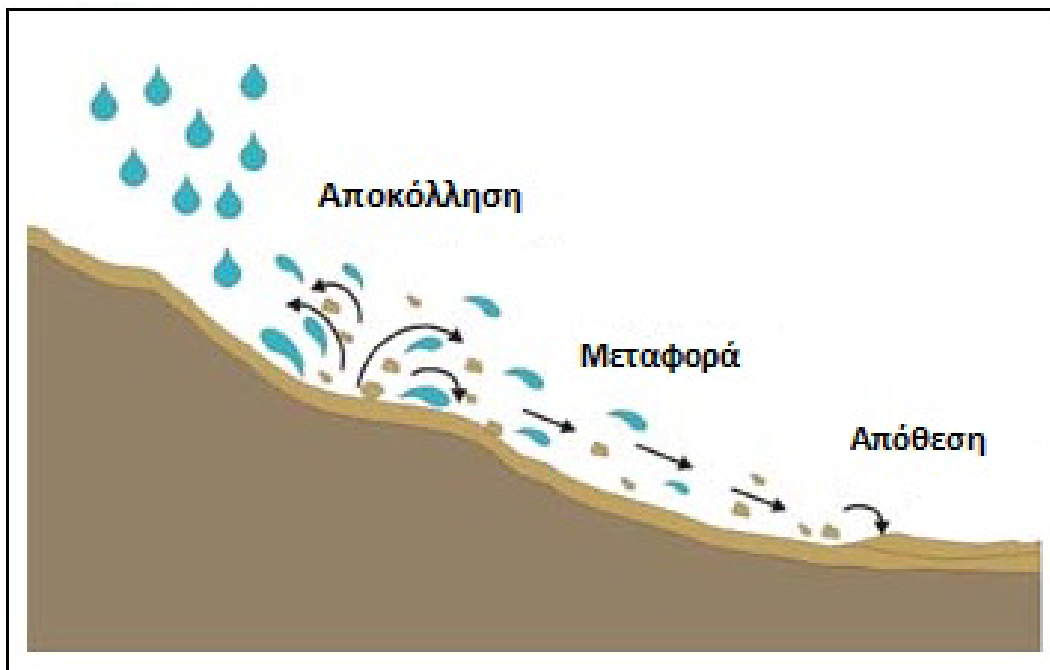
3.5 Εδαφική απώλεια

3.5.1 Γενικά

Με τον όρο έδαφος αναφερόμαστε στο επιφανειακό στρώμα της επιφάνειας της γης στο οποίο ζουν και αναπτύσσονται τα φυτά. Η δημιουργία του οφείλεται στα προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων και σε πολύπλοκες φυσικοχημικές, βιολογικές και βιοχημικές διαδικασίες (Βουβαλίδης, 2002). Ένα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται είναι η απώλεια εδάφους που αναφέρεται στην ποσότητα εδάφους που απομακρύνεται από μια περιοχή και μεταφέρεται σε μια άλλη.

Η εδαφική διάβρωση συντελείται είτε με τη βοήθεια του ρέοντος νερού, είτε με την διάβρωση εξαιτίας της δράσης του αέρα. Η διάβρωση του εδάφους από το νερό περιλαμβάνει την αποκόλληση σωματιδίων εδάφους από την κύρια εδαφική μάζα και στη συνέχεια τη μεταφορά τους σε κατώτερα σημεία (σχήμα 16.). Η εδαφική διάβρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω της κινητικής ενέργειας της βροχοσταγόνας η οποία προσκρούει πάνω στο έδαφος και από την αναταραχή που προκαλεί αποκολλούνται σωματίδια. Η διαβρωτική διαδικασία συνεχίζεται με τη διάβρωση του ρέοντος νερού που μεταφέρει και απομακρύνει τα αποκολλημένα σωματίδια του εδάφους. Το νερό ρέει πάνω στο έδαφος με τη μορφή μανδύα, σε ρυάκια ή σε καθορισμένες κοίτες και ρεματιές (Βουβαλίδης, 2002).

Η διάβρωση του εδάφους διακρίνεται στη φυσική διάβρωση κατά την οποία ο ρυθμός διάβρωσης είναι κανονικός και ανεπηρέαστος από τον άνθρωπο και στην επιταχυνόμενη διάβρωση όπου ο αυξημένος ρυθμός διάβρωσης οφείλεται στις ανθρώπινες διεργασίες.



Σχήμα 16.: Τα τρία στάδια της εδαφικής διάβρωσης από το νερό που ξεκινούν από τη διάβρωση της βροχοσταγόνας.

(http://www.landfood.ubc.ca/soil200/soil_mgmt/soil_erosion.htm)

3.5.2 Επιπτώσεις της εδαφικής διάβρωσης στο περιβάλλον

Όταν το έδαφος διαβρώνεται απομακρύνεται το ανώτερο τμήμα του εδαφικού προφίλ το λεγόμενο topsoil. Στο τμήμα αυτό του εδάφους αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα των φυτών από όπου και αντλούν όλα τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται για την ανάπτυξή τους. Η εδαφική διάβρωση είναι μια διαδικασία υποβάθμισης του εδάφους. Μπορεί να μειώσει το βάθος στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες και να επιφέρει ανισορροπία στην ποσότητα του νερού που φτάνει σε αυτές λόγω της μείωσης της διείσδυσης του νερού και την αύξηση της επιφανειακής απορροής (Panagoroulos & Ferreira, 20110).

Η απώλεια εδάφους μέσω της διάβρωσης έχει αναχθεί σε ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα και όσον αφορά την παραγωγή προϊόντων. Κάθε χρόνο τόνοι εδαφικού υλικού απομακρύνονται από τα χωράφια και αυτό που απομένει είναι έδαφος με φτωχή δομή, χαμηλή ικανότητα συγκράτησης του νερού, διαφορετικές τιμές pH και χαμηλά επίπεδα θρεπτικών συστατικών. Όλα αυτά οδηγούν στη μείωση της παραγωγικότητας και της ανάπτυξης των φυτών. Όταν το χώμα απεμπλουτίζεται από

θρεπτικά συστατικά τα φυτά με τη σειρά τους λαμβάνουν φωτιά τροφή και δίνουν καρπούς λιγότερο θρεπτικούς για τους ανθρώπους. Τα σωματίδια του εδάφους μεταφέρουν μαζί τους προϊόντα λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με αποτέλεσμα να λειτουργεί σαν ρυπαντής όταν καταλήγει σε λίμνες, ποτάμια και άλλα υδατικά συστήματα. (Agri-Science Resource for High School Physics, <http://www.peiagsc.ca/index.php>)

Έτσι αναδεικνύεται σε ένα σημαντικό περιβαλλοντικό και οικονομικό πρόβλημα που αφορά πολλά κράτη καθώς συνδέεται με την ποιότητα των εδαφών και των υδάτινων ταμιευτήρων, παράγοντες βασικούς για την ανθρώπινη διαβίωση (Getahun, 2011).

3.5.3 Η εδαφική απώλεια στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα

Το φαινόμενο της εδαφικής διάβρωσης έχει εξελιχθεί σε ένα μείζον παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα που χρήζει αντιμετώπισης. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου το πρόβλημα είναι μεγάλο. Η περιοχή είναι εκτεθειμένη στη διάβρωση, τις μεγάλες ξηρές περιόδους που επικρατούν διαδέχονται περίοδοι με σφοδρές βροχοπτώσεις, οι οποίες πέφτουν πάνω σε απότομες πλαγιές με εύθραυστα πετρώματα.

Ήδη από το 1992 το πρόγραμμα Corine που διεξήχθη για να υπολογιστεί η εδαφική διάβρωση στις χώρες της νότιας Ευρώπης που βρέχονται από τη Μεσόγειο εντόπισε σημαντικά προβλήματα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 17 η κατανομή της εδαφικής διάβρωσης ποσοτικοποιημένη, εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιοχή με υψηλό κίνδυνο στην Ισπανία (145 000 km², που καλύπτουν το 29% της χώρας), κυρίως στο νότο και τη δύση. Στην Πορτογαλία, ομοίως, ο κίνδυνος διάβρωσης καλύπτει σχεδόν το ένα τρίτο της χώρας (26 878 km). Περίπου το 20% της αγροτικής έκτασης στην Ελλάδα (24 712 km²) υπόκειται σε υψηλό κίνδυνο διάβρωσης, ενώ το 10% της Ιταλίας έχει χαρακτηριστεί ως υψηλού κινδύνου. Στη Γαλλία, ωστόσο, μόνο το 1% της περιοχής θεωρείται υψηλού κινδύνου. Πιο αναλυτικά στον Ελλαδικό χώρο το 19% των εκτάσεων θεωρείται υψηλού κινδύνου, το 36% μέτριου και το 30% χαμηλού.

**Σχήμα 17.: Χάρτη εδαφικής διαβρωσιμότητας για τις Μεσογειακές Ευρωπαϊκές χώρες.
(Corine, 1992)**

3.5.4 Τα δημοφιλέστερα μοντέλα διάβρωσης

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν δημιουργηθεί πολλά μοντέλα για να υπολογιστεί και να εντοπιστεί η εδαφική διάβρωση, σε μικρές ή μεγάλες λεκάνες απορροής, ορεινές ή πεδινές, με έντονη βλάστηση ή όχι, είτε ακόμα λαμβάνοντας υπόψη το είδος των ανθρώπινων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα. Σύμφωνα με τους De Vente & Poesen (2005) τα διάφορα μοντέλα διάβρωσης διακρίνονται με βάση τις μεταβλητές που δέχονται σε τέσσερις κατηγορίες σε αυτά που στηρίζονται σε αρχές της φυσικής, στα στοχαστικά, στα εμπειρικά και στα ημι-ποσοτικά. Στο σχήμα 18 οι De Vente & Poesen (2005) συγκρίνουν τις τέσσερις κατηγορίες μοντέλων με βάση το πόσο αναλυτικά είναι τα δεδομένα εισόδου σε σχέση με το χρόνο και τη χωρική κλίμακα.

Σχήμα 18.: Σύγκριση μοντέλων διάβρωσης (De Vente & Poesen, 2005)

Μερικά από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα διάβρωσης αναλύονται παρακάτω με βάση τους Κουράκλη κ.α. (2011).:

- Μοντέλο χημικής απορροής και διάβρωσης γεωργικών συστημάτων (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural System/CREAM) : Βασίζεται σε αρχές της φυσικής και αξιολογεί τις γεωργικές πρακτικές σε σχέση με τη μεταφορά ρύπων μέσω του νερού που απορρέει.
- Πρόγραμμα πρόβλεψης της υδατικής διάβρωσης (Water Erosion Prediction Project/WEPP): Βασίζεται σε αρχές της φυσικής και της υδραυλικής. Λαμβάνει υπόψη το κλίμα, τη διεύθυνση του νερού στο έδαφος, τη φυτοκάλυψη και τις γεωργικές πρακτικές.
- Ευρωπαϊκό μοντέλο εδαφικής διάβρωσης (European soil Erosion Model/EUROSEM) : Στηρίζεται σε αρχές της φυσικής εφαρμόστηκε στην Κεντρική Ευρώπη για ακραίες χειμαρρικές παροχές σε πολύ μικρές λεκάνες απορροής. Δεν δίνει πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Γεωργικό μη σημειακό πρότυπο μοντέλο (Agricultural Nonpoint Source/AGNPS): Εφαρμόστηκε στις ΗΠΑ για ακραία καιρικά φαινόμενα και προβλέπει την ποσότητα και την ποιότητα της επιφανειακής απορροής, των φερτών υλικών και ουσιών.
- Γενική εξίσωση εδαφικής διάβρωσης (Universal Soil Loss Equation/USLE): Είναι ένα εμπειρικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Εξετάζει το κλίμα, το έδαφος, το ανάγλυφο και τη βλάστηση.
- Αναθεωρημένη γενική εξίσωση εδαφικής διάβρωσης (Revised Universal Soil Loss Equation/RUSLE) : διατήρησε τη βασική δομή της USLE αλλά άλλαξε τον τρόπο υπολογισμού της, μετατρέποντάς την σε προσδιοριστικό μοντέλο.
- Μοντέλο δυναμικού διάβρωσης Gavrilovic: πρόκειται για ένα ημι-ποσοτικό μοντέλο που αναπτύχθηκε σε ορεινές λεκάνες απορροής της Σερβίας και στη συνέχεια εφαρμόστηκε με επιτυχία σε διάφορες χώρες (Κροατία, Σλοβενία, Ελβετία, Ιταλία, ΗΠΑ, Ελλάδα, Βέλγιο, Γερμανία).

Στην Ευρώπη διεξήχθησαν δύο προγράμματα για τον υπολογισμό της διάβρωσης:

- Corine: Δημοσιεύτηκε το 1992 και διεξήχθη σε όλη την Ευρώπη από το Ινστιτούτο Εφαρμογών Διαστήματος του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Κέντρου στηριζόμενο σε δορυφορικές εικόνες μικρής ανάλυσης, υπολογίζοντας τον κίνδυνο υποβάθμισης του αναγλύφου.
- Mendalus: Αναφέρεται στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου. Συνεργάστηκαν ιδρύματα απ' όλη την Ευρώπη και βασίστηκαν σε υπαίθριες εργασίες, χαρτογραφικά δεδομένα και αεροφωτογραφίες. Στο τέλος τα συμπεράσματα ανάχθηκαν σε επίπεδο χώρας.

4. Εργασίες πεδίου και εργαστηριακές μετρήσεις

4.1 Εργασίες Πεδίου

4.1.1 Γενικά

Μετά την αποτύπωση της έκτασης του αρχαιολογικού χώρου στον τοπογραφικό χάρτη (1:50.000) φύλλο Σπερχειάς και στον αντίστοιχο γεωλογικό και την πρώτη επίσκεψη στο χώρο αποφασίστηκε η εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις αποτελούν μέρος της βασικής γεωλογικής έρευνας σε έναν αρχαιολογικό χώρο. Διεξάγονται για να διευκολυνθεί η αρχαιολογική έρευνα με σκοπό σε πρώτη φάση να εντοπιστεί αφενός το επίπεδο κατοίκησης και αφετέρου να διαχωριστούν τα ανθρωπογενή από τα φυσικά στρώματα.

4.1.2 Διεξαγωγή δειγματοληπτικών γεωτρήσεων

Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε τη χρήση της μεθοδολογίας vibracore drilling. Αν και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από γεωτρήματα και τεχνικές γεώτρησης, για τα ρηχά και μαλακά ιζήματα του Ολοκαίνου (0-15m) η χρήση της μεθόδου Vibracoring είναι η πιο συνηθισμένη. Η μεθοδολογία vibracore-drilling συνίσταται στην χρήση μιας μηχανικής σφύρας η οποία προωθεί στο έδαφος ένα μεταλλικό κυλινδρικό δειγματολήπτη. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η Μηχανική σφύρα COBRA MK 1 της Atlas Corco, (το γνωστό κομπρεσέρ-κατεδαφιστικό με βενζινοκινητήρα) με δειγματολήπτη μήκους 0.5m. Η τεχνική είναι να σφυροκοπεί ένα άδειο κυλινδρικό δειγματολήπτη στο έδαφος μέχρι το κατάλληλο βάθος, ώστε να γεμίσει το εσωτερικό με μια συνεχή κυλινδρική στήλη από τα στρώματα που διαπερνά. Τότε ο δειγματολήπτης εξάγεται από το έδαφος με τη βοήθεια ενός γρύλου, είτε χειροκίνητα είτε με υδραυλική ενέργεια και ο πυρήνας απομακρύνεται από το δειγματολήπτη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά, σε διαδοχικά βήματα, μέχρι το κατάλληλο βάθος, με πρόσθετες ράβδους διάτρησης. Το κατώτερο άκρο του δειγματολήπτη είναι εξοπλισμένο με ένα κοπτικό πυρήνα (σγρόβια) και ένα συγκρατητήρα δείγματος (καλαθάκι), προκειμένου να κόψει και να συγκρατήσει το δείγμα εντός του δειγματοληπτή.

Οι δειγματολήπτες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μήκος 0,50 m και διάμετρο Φ. 40 mm. Στο εσωτερικό κάθε δειγματολήπτη τοποθετούνταν πλαστικοί σωλήνες PVC λεπτού τοιχώματος εντός του οποίου εισχωρούσε και λαμβάνονταν το δείγμα. Από τη

στιγμή που έβγαιναν από το έδαφος καθαρίζονταν εξωτερικά σφραγίζονταν με κολλητική ταινία, αριθμούνταν ο σωλήνας και σημειώνονταν το όνομα της γεώτρησης καθώς και το βάθος στο οποίο έφτασε ο εκάστοτε σωλήνας.

Σε κάθε βήμα της δειγματοληψίας περίπου 5 cm από το κατώτερο δείγμα του πυρήνα συγκρατούνταν μέσα στο κοπτικό άκρο. Το δείγμα αυτό αποθηκεύονταν προσεκτικά καθώς επίσης επέτρεπε και την άμεση παρατήρηση των ιζημάτων που διαπερνιούνταν. Εκεί γινόταν και μια πρώτη περιγραφή του ιζήματος με μια ακριβή τιμή χρώματος από το χρωματικό πίνακα για το έδαφος του “Munsell”.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά οκτώ δειγματοληπτικές γεωτρήσεις τα βάθη των οποίων φαίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4.:Οι γεωτρήσεις που έγιναν με τα αντίστοιχα βάθη.

Γεώτρηση	MKR-1	MKR-2	MKR-3	MKR-4	MKR-5	MKR-6	MKR-7	MKR-8
Βάθος	0,00- 0,87m	0,00- 0,93m	0,00- 0,87m	0,00- 1,75m	0,00- 1,10m	0,00- 1,40m	0,00- 1,00m	0,00- 1,00m



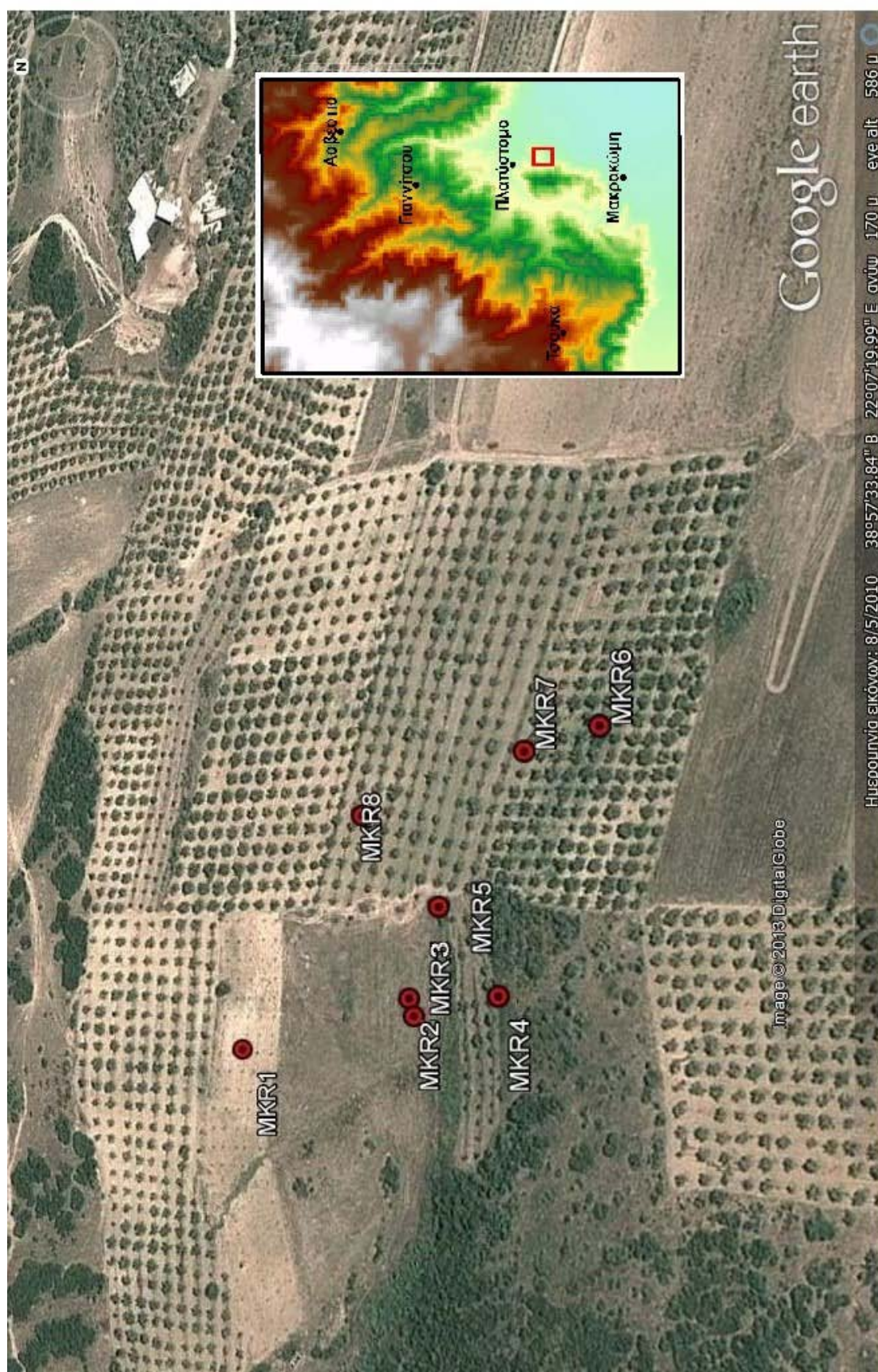
Σχήμα 19.: Υπαίθρια εργασία δειγματοληψίας στον αρχαιολογικό χώρο.

4.1.3 Καταγραφή θέσεων

Παράλληλα με την διεξαγωγή των γεωτρήσεων έγινε και η ακριβής καταγραφή της θέσης τους. Χρησιμοποιήθηκε το διαφορικό GPS “TOPCON FC 100”. Η ακρίβεια του οργάνου στην τοποθέτηση του σημείου ήταν στα ≤ 1 cm και εξομαλυσμένη στα ≤ 2 cm. Τα δεδομένα των θέσεων αποτυπώθηκαν σε μια δορυφορική εικόνα της περιοχής από το Google Earth.



Σχήμα 20.: Καταγραφή της θέσης της δειγματοληψίας



Σχήμα 21.: Οι θέσεις των γεωτρήσεων στον αρχαιολογικό χώρο, όπως προβλήθηκαν πάνω στη δορυφορική εικόνα του Google Earth.

4.2 Εργαστηριακές μετρήσεις

4.2.1 Ανάλυση γεωτρήσεων

Συνολικά είκοσι (20) πυρήνες γεωτρήσεων έφτασαν στο εργαστήριο του πανεπιστημίου. Σε σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου δυο ημέρες) κόπηκαν με τη βοήθεια τροχού κατά μήκος και σε σημεία αντιδιαμετρικά διχοτομήθηκαν και καλύφθηκαν με ειδική μεμβράνη έτσι ώστε να μην αλλοιωθούν από τον αέρα και να μην χάσουν τη φυσική τους υγρασία. Κατόπιν ακολούθησε η λεπτομερής φωτογράφιση του κάθε σωλήνα, ο οποίος πλέον απαρτιζόταν από δύο διχοτομημένα τμήματα, ανά 10 cm και του συνόλου των πυρήνων που αποτελούσαν την κάθε γεώτρηση μαζί. Στην πορεία έγινε η μακροσκοπική παρατήρηση και αναγνώριση των δομών του εδάφους που περιείχαν οι σωλήνες και η καταγραφή τους. Επίσης σημειώθηκαν οι χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση το χρωματικό διάγραμμα για το έδαφος του “Munsell” (σχήμα 21). Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Corel draw X6 για να γίνει η ψηφιακή αναπαράσταση των στρωμάτων που αναγνωρίστηκαν στους πυρήνες των γεωτρήσεων κατά την ανάλυσή τους στο εργαστήριο.

Σχήμα 22.: Χρωματικό πίνακα για το έδαφος του “Munsell”

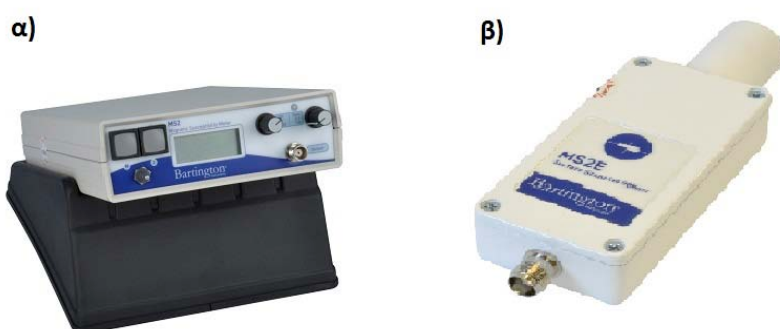
(http://www.edwardtufte.com/bboard/q-and-a-fetch-msg?msg_id=0000XT)

4.2.2 Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας

Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή που βρίσκει η μαγνητική επιδεκτικότητα στην αρχαιολογία χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να διευκολυνθεί η έρευνα στον αρχαιολογικό οικισμό Αστέρια στη Μακρακώμη Φθιώτιδας. Ελήφθησαν τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας από το σύνολο των πυρήνων των γεωτρήσεων που έφθασαν στο εργαστήριο. Η διαδικασία αυτή έγινε περίπου δύο μέρες μετά το άνοιγμα των πυρήνων έτσι ώστε να μην χαθεί η φυσική τους υγρασία και να διευκολυνθεί η μέτρηση. Οι τιμές που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Grapher 8 και δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα της μαγνητικής επιδεκτικότητας για κάθε γεώτρηση.

4.2.3 Περιγραφή οργάνου

Για τις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιήθηκε το όργανο MS2E της εταιρίας Bartington (σχήμα 22). Το όργανο μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας περιλαμβάνει έναν μετρητή MS2 ο οποίος μεταφέρει τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας των υλικών που μετριέται μέσω μιας σειριακής θύρας RS232 σε ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό. Μέσω ενός μοναξονικού καλωδίου ο μετρητής MS2 συνδέεται με τον αισθητήρα E που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μετρήσεων κατά μήκος των κομμένων πυρήνων. Η άκρη του αισθητήρα MS2E αποτελείται από ένα κεραμικό κύλινδρο διαμέτρου 25mm και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καλύπτεται με μια λεπτή πλαστική μεμβράνη. Τέλος, οι μετρήσεις θα πρέπει να αποφεύγεται να γίνονται κοντά σε ηλεκτρικές συσκευές, μετασχηματιστές και μαγνητικά υλικά.

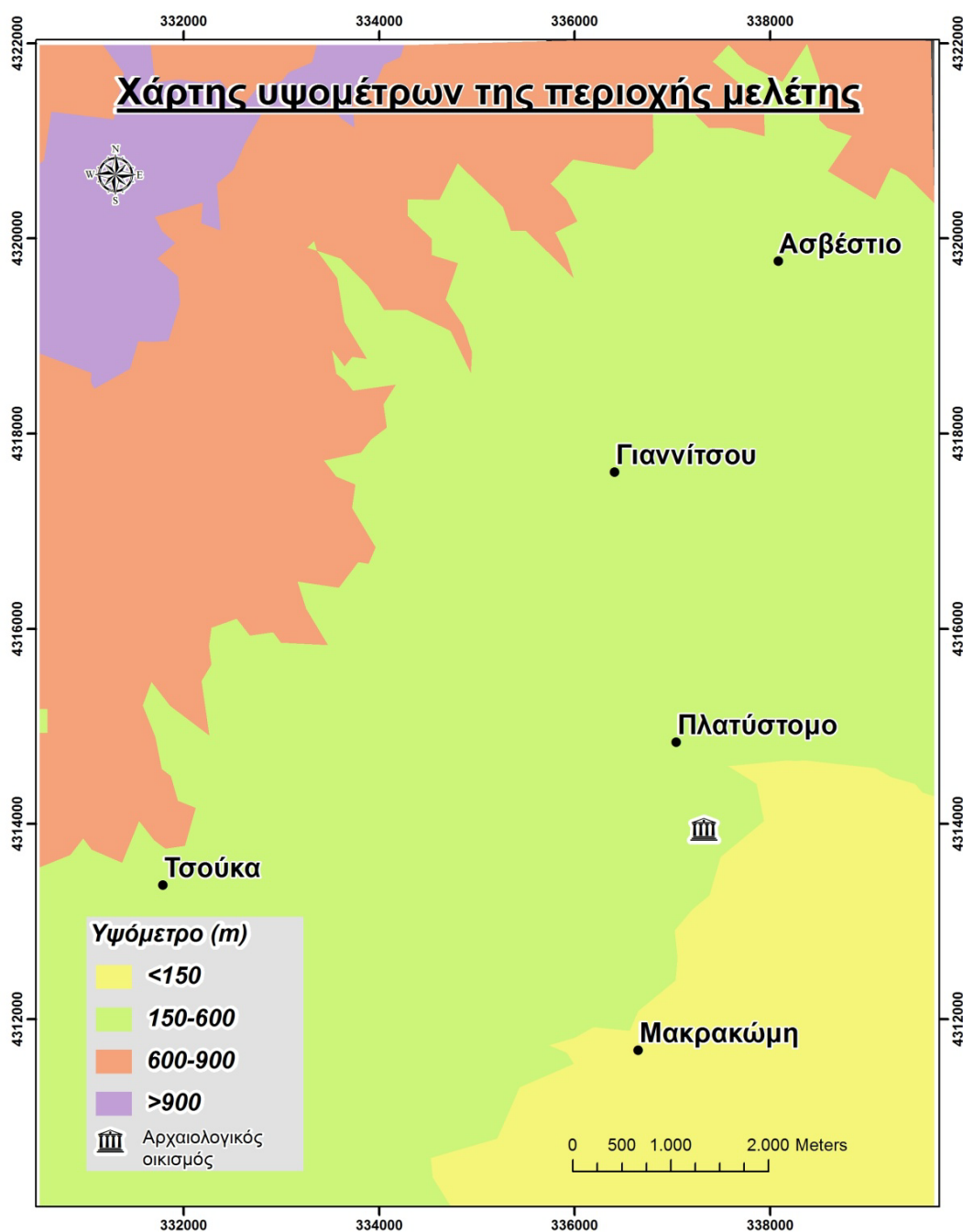


Σχήμα 23.: α) Ο μετρητής MS2 και β) Ο αισθητήρας MS2E της Bartington.
(<http://www.ascscientific.com>)

5. Αποτελέσματα

5.1.1 Ταξινόμηση αναγλύφου

Με βάση το εύρος τιμών της ταξινόμησης Dikau (1989) κατασκευάστηκε ο χάρτης υψομέτρων του σχήματος 23. Κατόπιν αυτής της επεξεργασίας υπολογίστηκε η έκταση που καταλαμβάνει η κάθε κλάση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα, καθώς και το ποσοστό επί τοις εκατό από το σύνολο της περιοχής. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 5.



Σχήμα 24.:Χάρτης ταξινόμησης αναγλύφου κατά Dikau (1989).

Πίνακα 5.: Έκταση και ποσοστά αναγλύφου με βάση την ταξινόμηση Dikau (1989) όπως αυτά διαμορφώνονται στην περιοχή.

Απόλυτο υψόμετρο(m)	Χαρακτηρισμός περιοχής	Έκταση(km ²)	Ποσοστό(%)
<150	Πεδινή	14,397	13,17
150-600	Λοφώδης	64,052	58,6
600-900	Ημιορεινή	25,599	23,42
>900	Ορεινή	5,251	4,8

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται λοφώδης (58,6%) έως ημιορεινή (23,42%). Το ανάγλυφο ακολουθεί μια λογική υψομετρική ακολουθία στις πλαγιές της δυτικής Όρθρυς. Οι πεδινές περιοχές (13,17%) αντιπροσωπεύουν τμήμα που βρίσκεται στα ΝΑ περίπου στο ίδιο υψόμετρο με την περιοχή όπου ρέει η κύρια κοίτη του Σπερχειού ποταμού και το χαμηλότερο υψόμετρο σημειώνεται στα 110m. Οι λοφώδεις περιοχές που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελούν τις περιοχές που αναπτύσσεται ο παραπόταμος του Σπερχειού Φυσσίνας και οι παραπόταμοι του Ψαροφωλιάς και Χλιαράδης. Οι περιοχές που ταξινομούνται ως ημιορεινές (23,42%) αποτελούν το δεύτερο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και φαίνονται να περιβάλλουν το ορεινό κομμάτι (4,8%) στα ΒΔ που καταλαμβάνει τη μικρότερη έκταση και φτάνει μέχρι τα 1047 m.

5.1.2 Κλίση αναγλύφου

Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση του Demek (1972) κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων της περιοχής (σχήμα 24) αφού επεξεργάστηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) με το λογισμικό ArcGIS 10. Στον πίνακα 6 φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνει η κάθε ομάδα κλίσεων στην περιοχή με το αντίστοιχο ποσοστό επί τοις εκατό.

Πίνακας 6.: Έκταση και ποσοστό έκτασης, που αντιστοιχεί σε κάθε ομάδα κλίσεων σύμφωνα με το σχήμα 14.

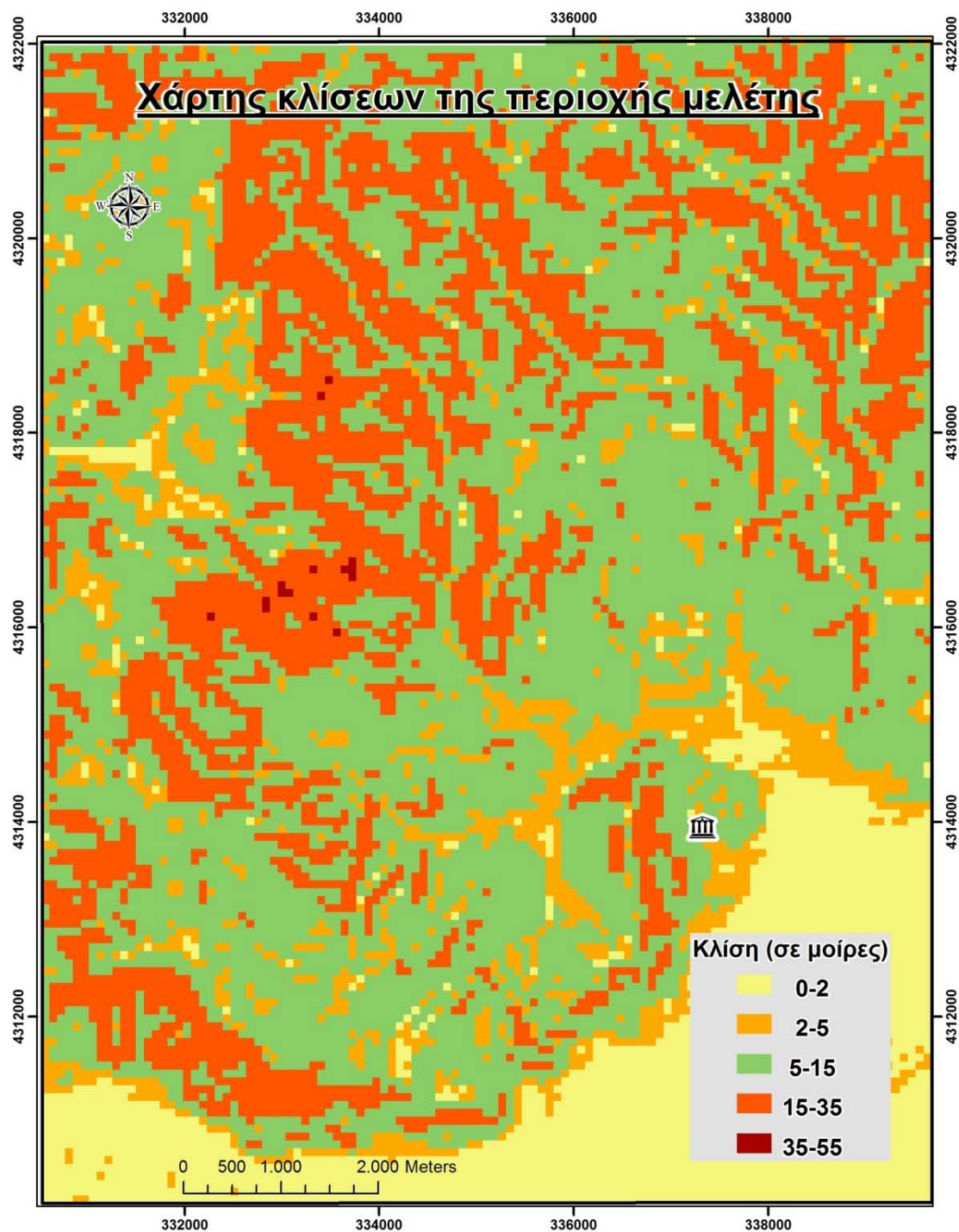
Εύρος κλίσεων	Έκταση (km ²)	Ποσοστό %
0°-2°	17,049	15,59
2°-5°	10,011	9,16
5°-15°	54,345	49,71
15°-35°	27,854	25,48
35°-55°	0,072	0,065
>55°	-	-

Σύμφωνα με το χάρτη κλίσεων που προέκυψε το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων έχει κλίσεις μεταξύ 5°-15°. Οι εκτάσεις αυτές είναι διασκορπισμένες σε όλη την έκταση της περιοχής, εκτός από το κομμάτι στα νότια και κυρίως στα νοτιοδυτικά. Οι ισχυρές κλίσεις που επικρατούν περίπου από τα 200m και πάνω δηλώνουν έντονη διάβρωση που μπορεί να επηρεάσει και περιοχές με λίγη φυτοκάλυψη.

Ακολουθούν οι εκτάσεις με κλίσεις 15°-35° που σημειώνουν το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό. Οι περιοχές με αυτή την κλίση βρίσκονται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 400m.

Οι περιοχές με κλίσεις 0°-2° συναντώνται στο νότιο-νοτιοδυτικό τμήμα στο επίπεδο όπου βρίσκεται η κύρια κοιτή του Σπερχειού ποταμού και πρόκειται για μια επιφάνεια επιπέδωσης. Κλίσεις 2°-5° υπάρχουν στα σημεία όπου ρέουν οι παραπόταμοι του Σπερχειού και στους πρόποδες της κοιλάδας του.

Το μικρότερο ποσοστό εκτάσεων (0,065%) έχει κλίσεις 35°-55° και σημειώνεται πάνω από τα 700m ενώ δεν εντοπίζονται περιοχές με κλίσεις μεγαλύτερες των 55°.

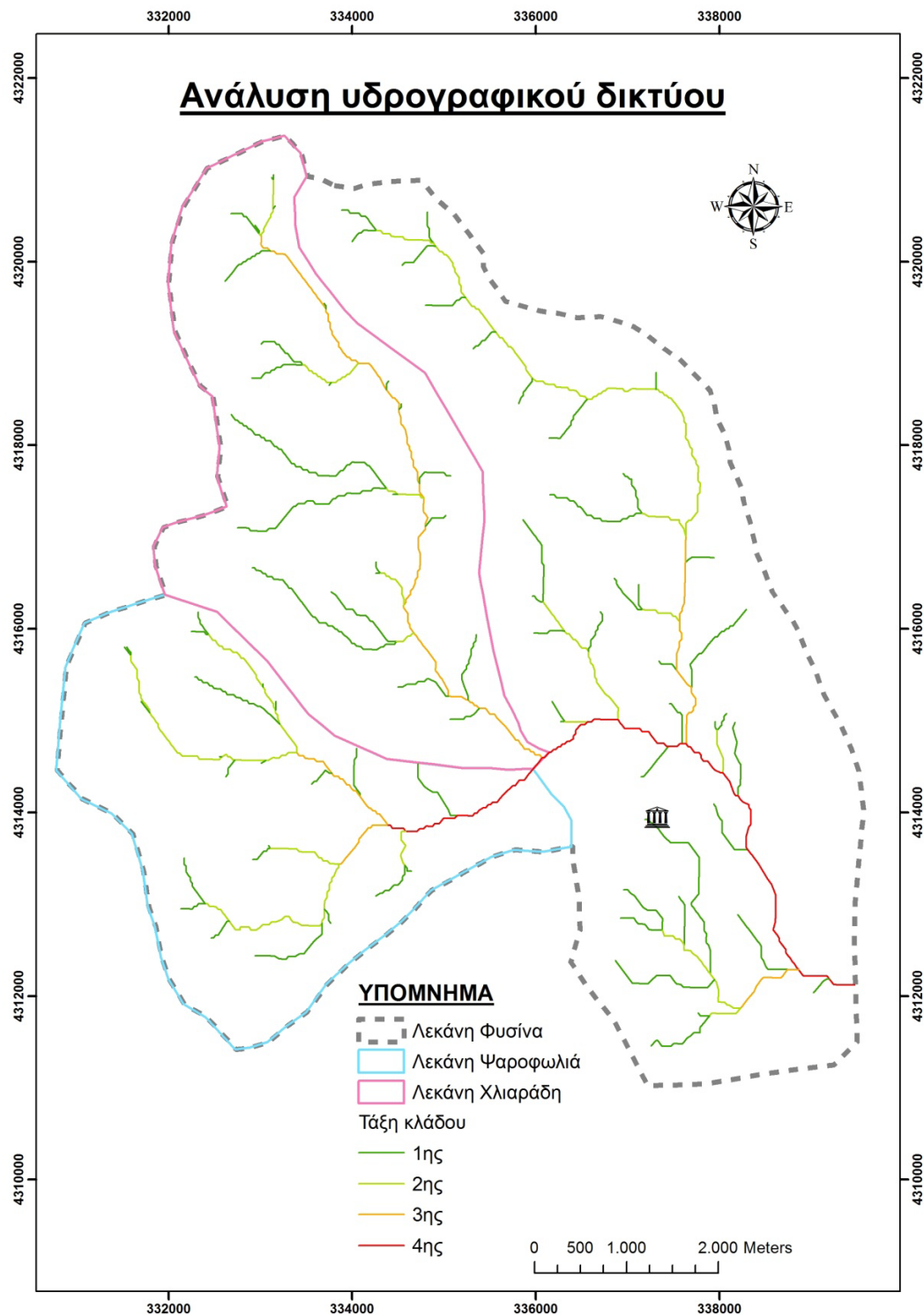


Σχήμα 25.: Χάρτης κλίσεων με βάση την κατάταξη Demek (1972).

5.2 Υδρογραφία

5.2.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του ποταμού Φυσίνα και των υπολεκανών του Ψαροφωλιά και Χλιαράδης, αριθμήθηκε κατά Strahler (1952).



Σχήμα 26.: Χάρτης αριθμησης του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler (1952).

Με βάση την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου προέκυψε ότι η λεκάνη του Φυσίνα είναι μια λεκάνη 4^{ης} τάξης. Επίσης οι παραπόταμοι του Φυσίνα, ο Ψαροφωλιά και ο Χλιαράδης αριθμήθηκαν 4^{ης} και 3^{ης} τάξης αντίστοιχα.

5.2.2 Μορφομετρικοί παράμετροι υδρογραφικού δικτύου

Εφαρμόστηκε ο νόμος υδρογραφικής διακλάδωσης ή αλλιώς ο πρώτος νόμος του Horton (1945) ο οποίος διατυπώθηκε ως εξής: Ο αριθμός των διαδοχικώς μικρότερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίζει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα (ο κλάδος της μέγιστης τάξης) και λόγος, ο λόγος διακλάδωσης Rb (πίνακας 7).

Η μαθηματική έκφραση του νόμου:

$$Nu = Rb^{(k-u)} \quad \text{όπου: } Nu = \text{ο αριθμός ρεμάτων τάξης } u$$

K= η μέγιστη τάξη

u= η ζητούμενη τάξη

Ο λόγος διακλάδωσης δίνεται από την σχέση $Rb = N_u / N_{u+1}$

Πίνακας 7.: Εφαρμογή του νόμου υδρογραφικής διακλάδωσης για τη λεκάνη του Φυσίνα.

Λεκάνη Φυσίνα			Λεκάνη Ψαροφωλιά			Λεκάνη Χλιαράδη		
u	Nu	Rb	u	Nu	Rb	u	Nu	Rb
1	82	4,824	1	22	11	1	25	12,5
2	17	3,4	2	5	1,66	2	5	1,66
3	5	5	3	2	0,5	3	1	
4	1		4	1				
Μέσο Rb=4,408			Μέσο Rb=4,386			Μέσο Rb=13,33		

Ο νόμος του μήκους των κλάδων ή αλλιώς 2^{ος} νόμος του Horton (1945), όπως τροποποιήθηκε από τον Broscoe (1959), ορίζει ότι τα αθροιστικά μήκη των διαδοχικώς μεγαλύτερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνουν να σχηματίσουν μια γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και λόγος, ο λόγος του μήκους R_L (πίνακας 8).

$$\Sigma L_u = L_1 R_L^{(u-1)} \quad \text{και} \quad R_L = \Sigma L_u / \Sigma L_{(u-1)}$$

Όπου L_u =το μέσο μήκος των κλάδων u τάξης, L_1 =το μέσο μήκος του κλάδου 1ης τάξης, u =η ζητούμενη τάξη και R_L = ο λόγος του μήκους.

Πίνακα 8.: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945)

	u	1	2	3	4
Λεκάνη Φυσία	L_u (Km)	40,34	21,89	12,87	7,77
	$\overline{L_u}$ (Km)	0,49	1,29	2,57	7,77
	$\Sigma \overline{L_u}$ (Km)	0,49	1,78	4,35	12,1 2
	RL	-	3,63	2,44	2,79
	$\overline{RL}$	2,95			
Λεκάνη Ψαροφωλιά	L_u (Km)	7,33	7,94	2,14	1,96
	$\overline{L_u}$ (Km)	0,33	1,59	1,07	1,96
	$\Sigma \overline{L_u}$ (Km)	0,33	1,92	2,99	4,95
	RL	-	5,81	1,56	1,65
	$\overline{RL}$	3			
Λεκάνη Χλιαράδη	L_u (Km)	12,73	2,69	7,46	
	$\overline{L_u}$ (Km)	0,51	0,54	7,49	
	$\Sigma \overline{L_u}$ (Km)	0,51	1,05	8,54	
	RL	-	2,06	8,13	
	$\overline{RL}$	9,16			

5.2.3 Μορφομετρικές παράμετροι λεκανών απορροής

Οι μορφομετρικοί παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι η υδρογραφική πυκνότητα, η υδρογραφική συχνότητα, ο λόγος αναγλύφου, ο λόγος επιμήκυνσης λεκάνης και ο βαθμός τραχύτητας.

☉ Υδρογραφική πυκνότητα

Η υδρογραφική πυκνότητα ή πυκνότητα αποστραγγίσεως (drainage density D), είναι ο λόγος των κλάδων των κοιτών όλων των τάξεων σε μια λεκάνη απορροής δια το εμβαδόν της λεκάνης απορροής $D = \Sigma Lu / Au$. Εκφράζει έτσι τον αριθμό των χλιομέτρων μέσα σε μια κοίτη ρέματος, η οποία διατηρείται από επιφάνεια αποστραγγίσεων 1 km^2 . (Horton 1945).

Πίνακας 9.: Υπολογισμός υδρογραφικής πυκνότητας

	ΣNu	Au	Du
Λεκάνη Φυσίνα	82,87	57	1,45
Λεκάνη Ψαροφωλιά	19,37	14	1,38
Λεκάνη Χλιαράδη	22,88	16	1,43

Σύμφωνα με τον Αστάρα (1980) η υδρογραφική πυκνότητα δίνει στοιχεία για το διαμελισμό του αναγλύφου της λεκάνης και για το πόσο προσιτή είναι. Επίσης εξαρτάται από το κλίμα, τις φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και του υπερκείμενου εδαφικού καλύμματος καθώς επίσης και τη βλάστηση και το ανάγλυφο.

Οι λεκάνες στην περιοχή σημειώνουν πολύ μικρή υδρογραφική πυκνότητα, αυτό πιθανώς μπορεί να δικαιολογηθεί από τα πολύ σκληρά υπερκείμενα πετρώματα σε συνδυασμό με την έντονη βλάστηση λόγω καλλιεργειών και δασών.

☉ Υδρογραφική συχνότητα

Η υδρογραφική συχνότητα είναι ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων όλων των τάξεων σε μια λεκάνη απορροής δια το εμβαδόν της λεκάνης (Horton 1945).

$$Fu = \Sigma Nu / Au$$

Πίνακας 10.: Υπολογισμός υδρογραφικής συχνότητας

	ΣLu	Au	Fu
Λεκάνη Φυσίνα	105	57	1,84
Λεκάνη Ψαροφωλιά	30	14	2,14
Λεκάνη Χλιαράδη	31	16	1,94

Η υδρογραφική συχνότητα εξαρτάται όπως και η υδρογραφική πυκνότητα από τη γεωλογία, το κλίμα και τη βλάστηση. Οι πολύ χαμηλές τιμές που παρουσιάζει και στις τρεις λεκάνες οφείλεται στα ανθεκτικά πετρώματα της περιοχής και την έντονη βλάστηση.

☉ Λόγος αναγλύφου

Ο λόγος αναγλύφου είναι ένας χωρίς διαστάσεις λόγος που ισούται με το γινόμενο του υψομέτρου και του μέγιστου μήκους της λεκάνης απορροής.

$$Rh = (H_{max} - H_{min}) / L_{bmax}$$

Πίνακας 11.: Υπολογισμός του λόγου αναγλύφου

	Hmax	Hmin	Lbmax	Rh
Λεκάνη Φυσίνα	960	110	35	24,28
Λεκάνη Ψαροφωλιά	834	206	11,2	56
Λεκάνη Χλιαράδη	960	200	20,2	37,6

Ο Rh μετράει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης και είναι δείκτης της εντάσεως των διαβρωτικών διεργασιών που συντελούνται. Και στις τρεις λεκάνες ο λόγος ανάγλυφου εμφανίζει υψηλές τιμές που οφείλονται στις διαβρωτικές διεργασίες που είναι ιδιαίτερα αυξημένες στην υπολεκάνη του Ψαροφωλιά.

⊙ Λόγος επιμήκυνσης

Ο λόγος επιμήκυνσης της λεκάνης εκφράζει το σχήμα της και ορίζεται ως ο λόγος της διαμέτρου του κύκλου ο οποίος έχει διάμετρο ίση με το εμβαδόν της λεκάνης προς τη μέγιστη απόσταση της λεκάνης.

$$Er = d/L_{bmax} = \frac{2(\sqrt{Au/\pi})}{L_{bmax}}$$

Πίνακας 12.: Υπολογισμός του λόγου επιμήκυνσης

	Er
Λεκάνη Φυσίνα	0,24
Λεκάνη Ψαροφωλιά	0,38
Λεκάνη Χλιαράδη	0,23

Ο λόγος επιμηκύνσεως αφορά το σχήμα και τη μορφή των λεκανών και μπορεί να δώσει στοιχεία για την ύπαρξη ή όχι τεκτονικών κινήσεων στην περιοχή που αντικατοπτρίζονται στο σχήμα των λεκανών. Ο λόγος επιμήκυνσης κυμαίνεται από 0 έως 1,57. Η τιμή 1,57 αντιπροσωπεύει λεκάνη με ιδανικό σχήμα κύκλου ενώ με τιμή 0 μια λεκάνη πλήρως επιμηκυμένη. Τιμές μεταξύ 0,6-0,8 δείχνουν έντονο ανάγλυφο ενώ μεγαλύτερες από 0,8 δείχνουν πολύ χαμηλό ανάγλυφο (Πέννος, 2009). Οι λεκάνες της περιοχής μελέτης είναι αρκετά επιμηκυμένες με έντονο ανάγλυφο.

☉ Βαθμός τραχύτητας

Είναι το γινόμενο της υδρογραφικής πυκνότητας και του μέγιστο αναγλύφου της λεκάνης απορροής.

$$Rn=H_{max}*D$$

Πίνακας 13: Υπολογισμός του βαθμού τραχύτητας

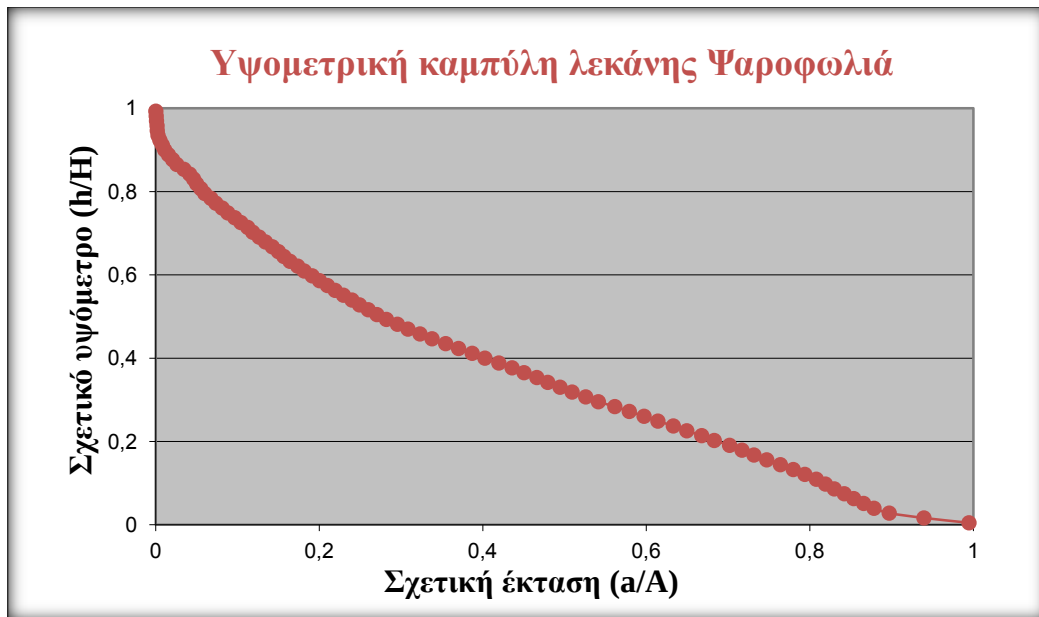
	Rn
Λεκάνη Φυσίνα	1766
Λεκάνη Ψαροφωλιά	1785
Λεκάνη Χλιαράδη	1862

5.2.4 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Στην περιοχή μελέτης εξετάστηκε η λεκάνη απορροής του παραπόταμου του Σπερχειού ποταμού Φυσίνα και των υπολεκανών του, του Ψαροφωλιά, και του Χλιαράδη. Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη ξεχωριστά η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα.

☉ Λεκάνη Ψαροφωλιά

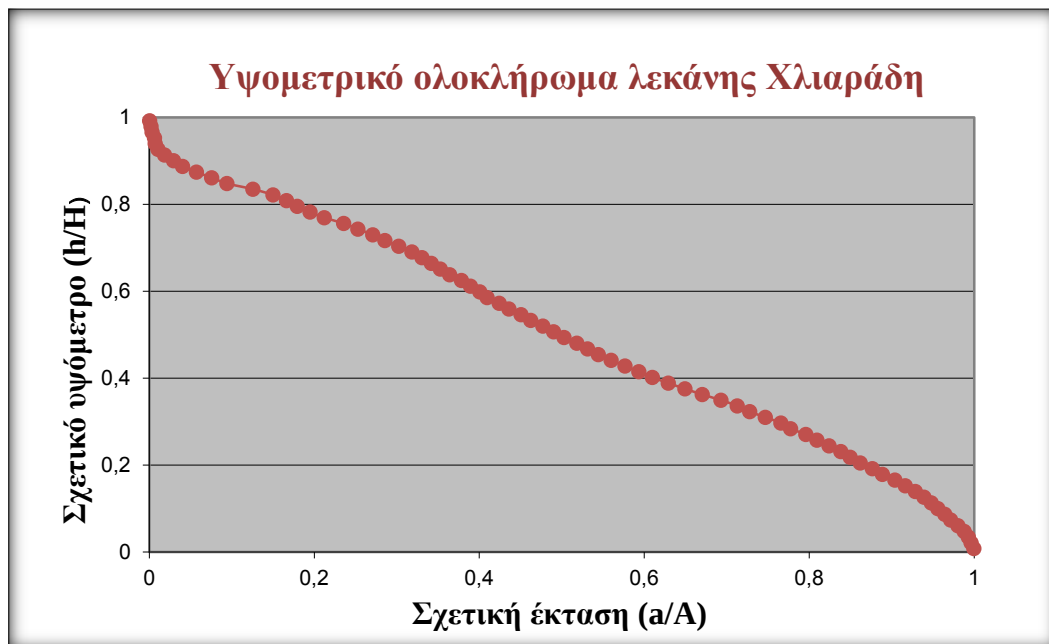
Η υδρολογική λεκάνη του Ψαροφωλιά βρίσκεται στο δυτικό κομμάτι της περιοχής μελέτης και εκτείνεται από τα 206m μέχρι το ύψος των 834m. Με βάση το διάγραμμα η υψομετρική καμπύλη που προέκυψε υποδηλώνει ότι στον κύκλο διάβρωσης η λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο Ωριμότητας. Οι κλίσεις των κοιτών των ρεμάτων και γενικότερα του αναγλύφου είναι μειωμένες, η περιοχή έχει χάσει την αρχική της τραχύτητα και παρουσιάζεται εξομαλυσμένη. Ο μαθηματικός υπολογισμός του υψομετρικού ολοκληρώματος έδωσε τιμή 36%. Αυτό αποδεικνύει ότι η λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο προχωρημένης ωριμότητας (σχήμα 26).



Σχήμα 27.: Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης του Ψαροφωλιά

● Λεκάνη Χλιαράδη

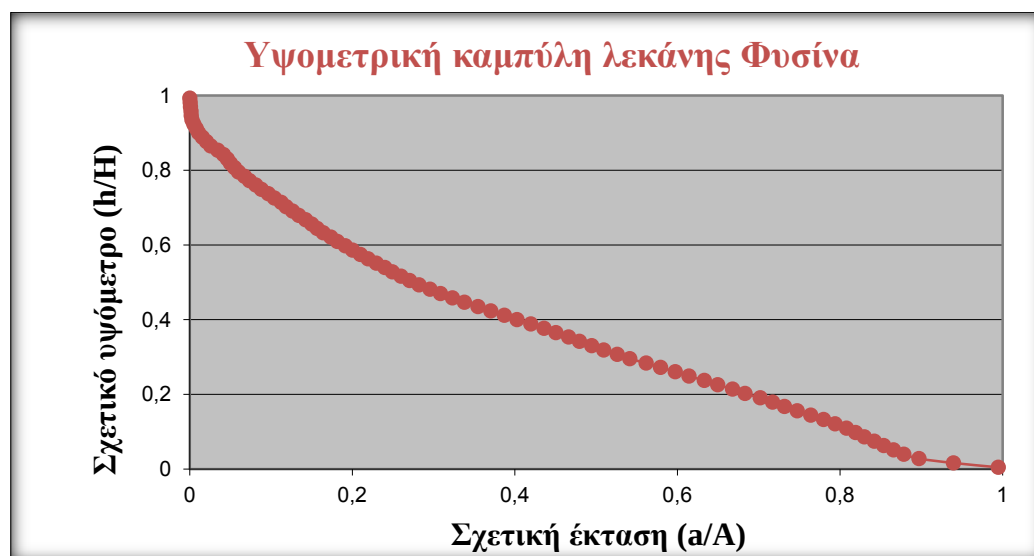
Η υδρολογική λεκάνη του Χλιαράδη βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Εκτείνεται από το ύψος των 200m μέχρι τα 960m με κλίσεις που φτάνουν τις 35° στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης. Το διάγραμμα της υψομετρικής καμπύλης που δημιουργήθηκε δείχνει ότι η λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας. Ο μαθηματικός υπολογισμός του υψομετρικού ολοκληρώματος επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμα γιατί υπολογίστηκε περίπου 51% (σχήμα 27).



Σχήμα 28.: Υψομετρικό ολοκλήρωμα της λεκάνης του Χλιαράδης.

☉ Λεκάνη Φυσίνα

Το υψόμετρο της υδρολογικής λεκάνης του Φυσίνα από τα 110m φτάνει μέχρι τα 960m ενώ το ανάγλυφο της έχει μεγάλο εύρος κλίσεων. Η υψομετρική καμπύλη του διαγράμματος υποδηλώνει ότι η λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο Ωριμότητας. Στο τελευταίο κομμάτι της καμπύλης παρατηρούνται υψηλοί ρυθμοί διάβρωσης. Επίσης αυτό επιβεβαιώνεται και από τον μαθηματικό υπολογισμό του υψομετρικού ολοκληρώματος που είναι 36% (σχήμα 28).



Σχήμα 29.: Η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης του Φυσίνα.

5.2.5 Μορφοτεκτονικοί δείκτες

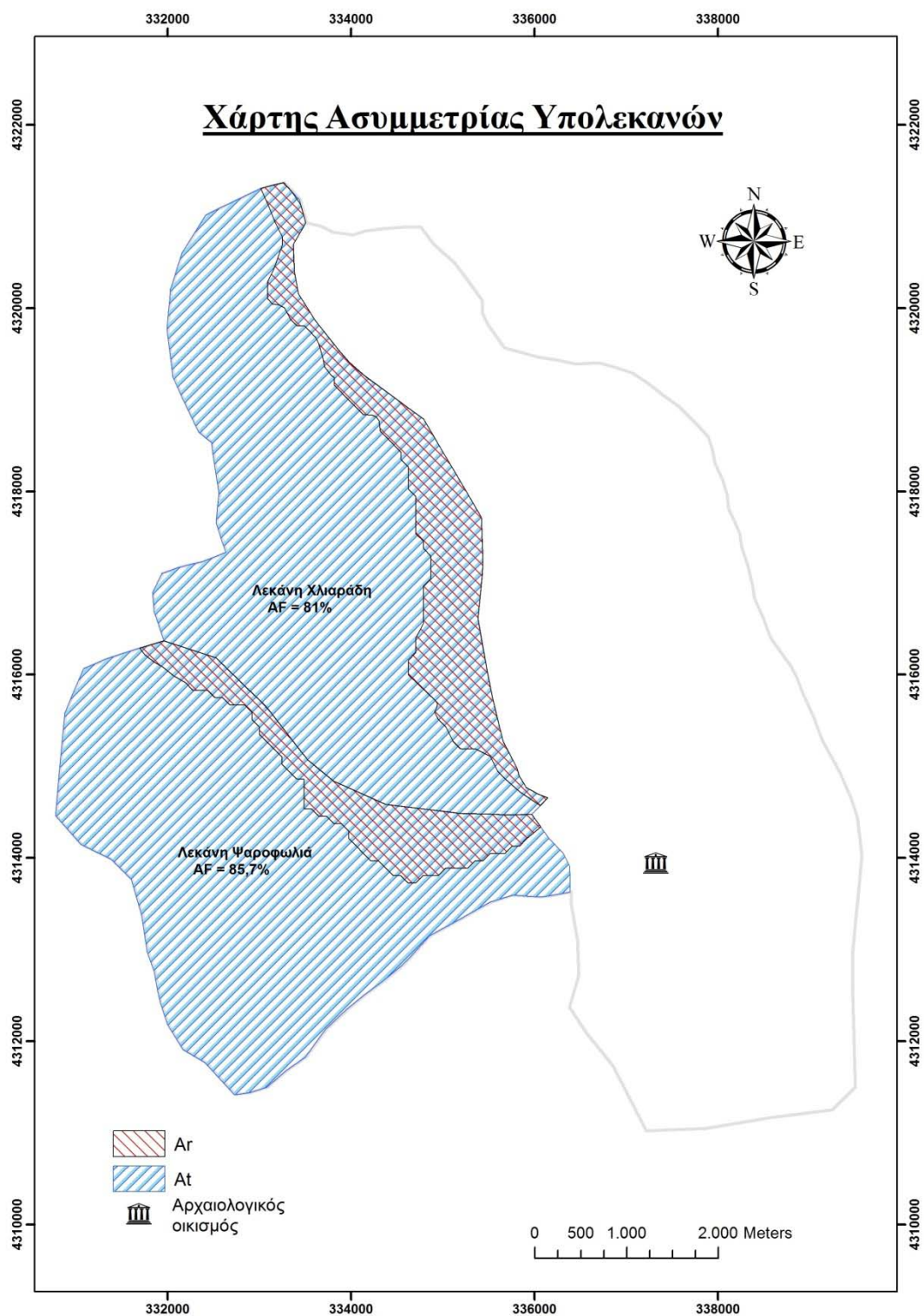
5.2.5.1 Ασυμμετρία λεκάνης

Στις δύο υπολεκάνες του ποταμού Φυσίνα στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκε ο δείκτης της ασυμμετρίας λεκάνης. Ο υπολογισμός έγινε με το λογισμικό ArcGIS 10 μετά την ψηφιοποίηση των λεκανών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 14.

Πίνακας 14.: Αποτελέσματα του δείκτη AF για κάθε λεκάνη

	Λεκάνη Ψαροφωλιά	Λεκάνη Χλιαράδη
Ar (km ²)	2	3
At (km ²)	14	16
AF (%)	85,7	81

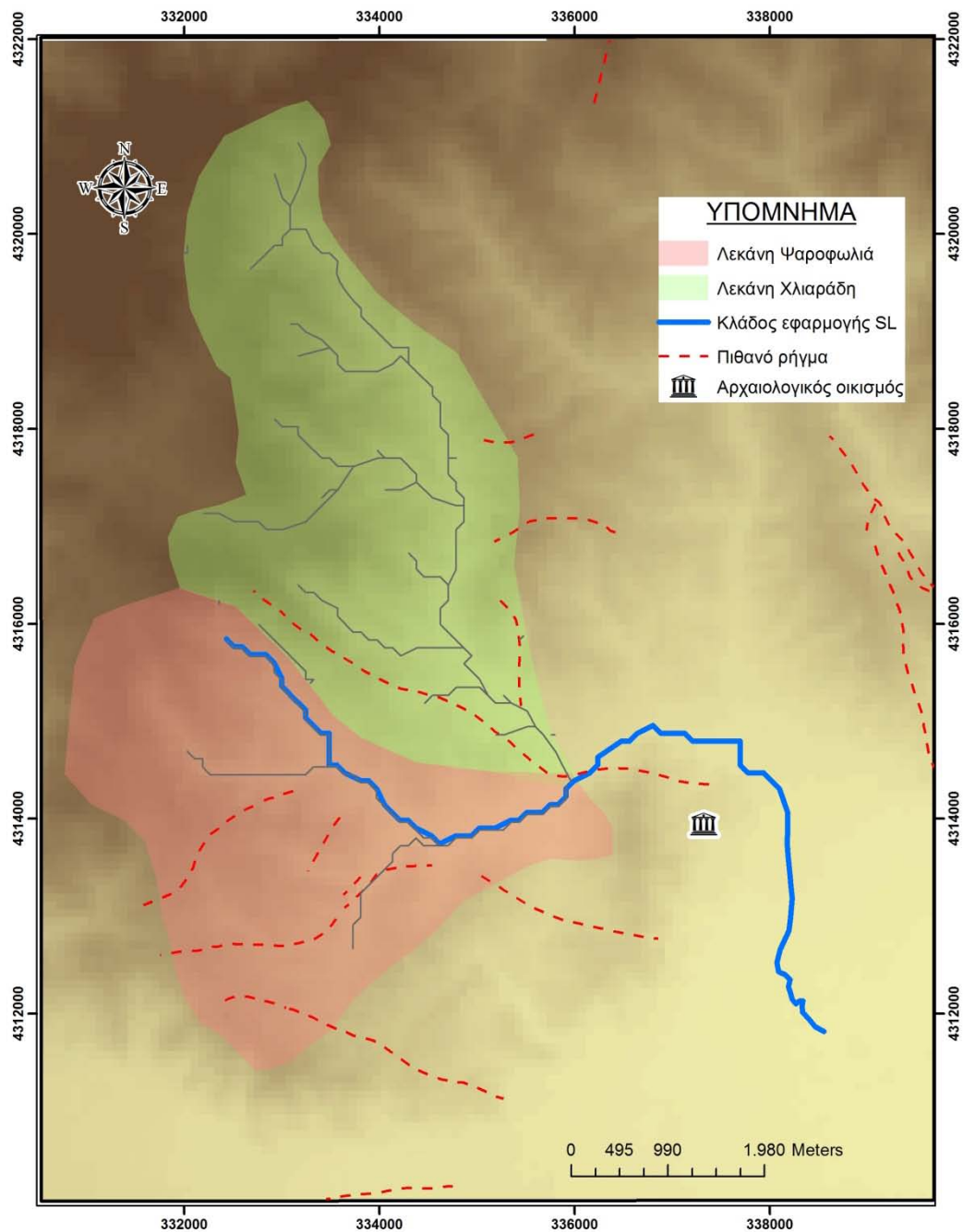
Οι δύο λεκάνες του Χλιαράδη και του Ψαροφωλιά εμφανίζουν μεγάλη τιμή στο δείκτη ασυμμετρίας (AF>50). Δεδομένου ότι η λιθολογία είναι ίδια και στις δύο λεκάνες (φλύσχης) μπορούμε να υποθέσουμε ότι ένα πιθανό ρήγμα έχει στρέψει τις δύο λεκάνες δεξιόστροφα με βάση και την ανάπτυξη των κλάδων τους.



Σχήμα 30.: Χάρτης ασυμμετρίας λεκάνης των υπολεκανών Ψαροφωλιά και Χλιαράδη.

5.2.5.2 Δείκτης μήκους - κλίσης ρέματος

Με βάση τα αποτελέσματα του δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης που δείχνει πιθανή ύπαρξη τεκτονικής εφαρμόστηκε ο δείκτης SL. Επειδή ο δείκτης δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί στα πλαίσια μιας λεκάνης απορροής επιλέχθηκε ένας μεγαλύτερος κλάδος στην περιοχή, όπου σύμφωνα με τον χάρτη του ΙΓΜΕ πιθανολογείται η ύπαρξη ενός ρήγματος (σχήμα 30).



Σχήμα 31.: Ο κλάδος που υπολογίστηκε ο δείκτης SL με τα ρήγματα της περιοχής.

Χρησιμοποιήθηκε πάλι το πρόγραμμα ArcGIS 10 για τον υπολογισμό του δείκτη καθώς και το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου για μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι τιμές του δείκτη SL για τον κλάδο που επιλέχθηκε παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

Πίνακας 15.: Αποτελέσματα του δείκτη SL

	ΔL	ΔH	L	SL
1	849	106	424,5	53
2	1927	152	1812,5	142,9683
3	3315	113	4433,5	151,1268
4	1478	31	6830	143,2544
5	3061	34	9099,5	101,0725



Σχήμα 32.: Δείκτης μήκους – κλίσης ρέματος (SL).

Η πιθανή τεκτονική που εντοπίστηκε στην περιοχή με το δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης δεν επιβεβαιώνεται με την εφαρμογή του δείκτη SL. Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η πιθανή τεκτονική δεν κατάφερε να υπερβεί τη δύναμη της ποτάμιας δράσης, η οποία κατάφερε να διαβρώσει σε βάθος τα σκληρά πετρώματα της περιοχής. Αυτό επιβεβαιώνεται από τον δείκτη SL που εμφανίζει χαμηλές τιμές και μια ομαλή καμπύλη στο διάγραμμα (σχήμα 31).

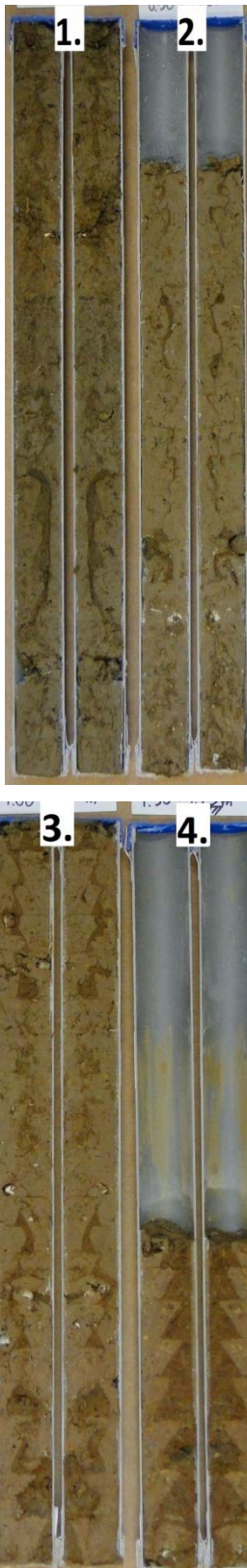
5.3 Ανάλυση δειγμάτων

5.3.1 Προφίλ γεωτρήσεων

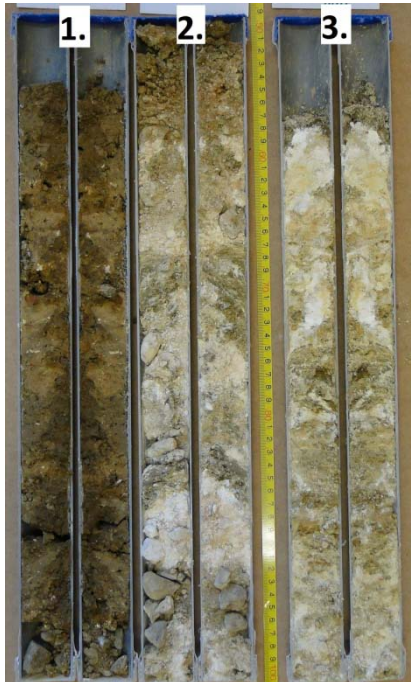
Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-1 	0,00-0,50m	Olive yellow (2,5Y 6/6)	1. Καστανοκίτρινο, μέσης συνεκτικότητας, άμορφο, αργιλώδες με λίγα χαλίκια, σχεδόν οριζόντια στρώσεις, μικρής περατότητας.
	0,50-0,87m	Yellow (2,5Y 6/6)	2. Καστανοκίτρινο, μαλακής συνεκτικότητας, αποσαθρωμένο, με λίγο γωνιώδες υλικό, σχεδόν οριζόντια στρώσης, μικρής περατότητας.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-2 	0,00-0,50m	Light olive brown (2,5Y 5/4)	1. Ανοιχτό καστανοπράσινο, μαλακής συνεκτικότητας, με άμορφο ιστό, με λίγο γωνιώδες υλικό, αποσαθρωμένο, μικρής περατότητας,
	0,50-0,93m	Light olive brown (2,5Y 5/4)	2. Ανοιχτό καστανοπράσινο, μαλακής συνεκτικότητας, με άμορφο ιστό, πολύ αργιλώδης, αποσαθρωμένο, μικρής περατότητας, με γωνιώδης προσμίξεις.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
ΜΚΡ-3 	0,00-0,50m	Light olive brown (2,5Y 5/4)	1. Πρασινοκάστανο, άμορφος ιστός, αργιλώδης, με γωνιώδης υλικό, με φακούς, μικρής περατότητας.
	0,50-0,87m	Light yellowish brown (2,5Y 6/4)	2. Ανοιχτό καστανοπράσινο, αργιλώδης με χαλίκια, άμορφος ιστός, με φακούς μικρής περατότητας.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-4 	0,00-0,50m	Dark olive brown (2,5Y 3/3)	1. Σκούρο πράσινο καστανό, μαλακή λεπτόκοκκη άργιλος, ομοιογενής, με φυτικά λείψανα.
	0,50-1,00m	Dark olive brown (2,5Y 3/3)	2. Σκούρο πράσινο καστανό, μαλακή λεπτόκοκκη άργιλος, ομοιογενής.
	1,00-1,50m	Brown (10YR 4/3)	3. Σκούρο καστανό, , μαλακή λεπτόκοκκη άργιλος, ομοιογενής.
	1,50-1,75m	Dark yellowish brown (10YR 4/4)	4. Καστανό, , μαλακή λεπτόκοκκη άργιλος, ομοιογενής.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-5 	0,00-0,50m	Olive brown (2,5Y 4/4)	1. Καστανοπράσινο, , μαλακή λεπτόκοκκη άργιλος, ομοιογενής, με φυτικά λείψανα.
	0,50-1,00m	Light olive brown (2,5Y 5/4)	2. Ανοιχτό πρασινοκάστανο, χονδρόκοκκο υλικό, πολύ αργιλώδης, με αρκετό γωνιώδες υλικό, μικρής περατότητας.
	1,00-1,10m	Light olive brown (2,5Y 5/4)	3. Πολύ ανοιχτό καστανοκίτρινο, αργιλώδες, άμορφος ιστός, μικρής περατότητας.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-6 	0,00-0,50m	Dark olive brown (2,5Y 3/3)	1. Σκούρο καστανό, αργιλώδες, με χαλίκια, άμορφο ιστό μικρής περατότητας.
	0,50-1,00m	Pale yellow (2,5Y 8/2)	2. Ανοιχτό λευκοκίτρινο, πολύ λεπτοκρυσταλλικό, υψηλή αποσάθρωση, σχεδόν αδιαπέρατο.
	1,00-1,40m	Pale yellow (2,5Y 8/2)	3. Ανοιχτό λευκοκίτρινο έως ανοιχτό κιτρινοπράσινο, υψηλή αποσάθρωση, σχεδόν αδιαπέρατο, λεπτοκρυσταλλικό.

Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-7 	0,00-0,50m	Olive brown (2,5Y 4/4)	1. Σκούρο καστανό, μαλακό, αργιλώδες, ομοιογενές, μικρής περατότητας.
	0,50-1,00m	Light yellowish brown (2,5Y 6/4)	2. Ανοιχτό κιτρινοκάστανο, αποσαθρωμένος ιστός, μέση συνεκτικότητα, μικρή διαπερατότητα.

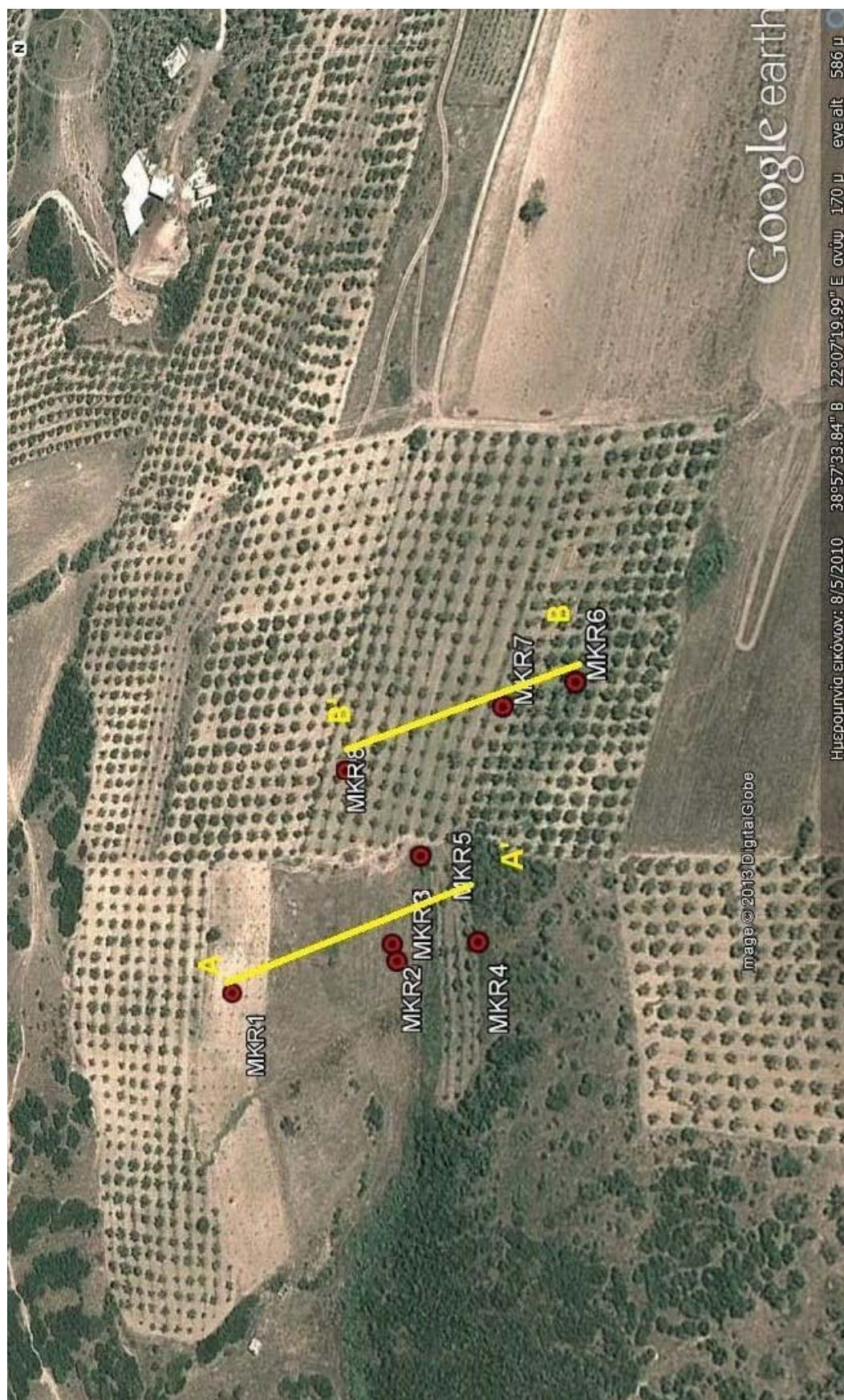
Γεώτρηση	Βάθος	Χρωματικός Δείκτης	Περιγραφή
MKR-8 	0,00-0,25m	Dark olive brown (2,5Y 3/3)	1. Σκούρο καστανοπράσινο, μαλακό αργιλώδες, άμορφος ιστός, με φυτικά λείψανα, μικρή περατότητα.
	0,25-0,50m	-	1. Κατακερματισμένο
	0,50-1,00m	Light yellowish brown (2,5Y 6/4)	2. Από ανοιχτό λευκοκίτρινο έως ανοιχτό λευκοπράσινο, υψηλή αποσάθρωση, σχεδόν αδιαπέρατο, λεπτοκρυσταλλικό.

5.3.2 Στρωματογραφική ανάλυση

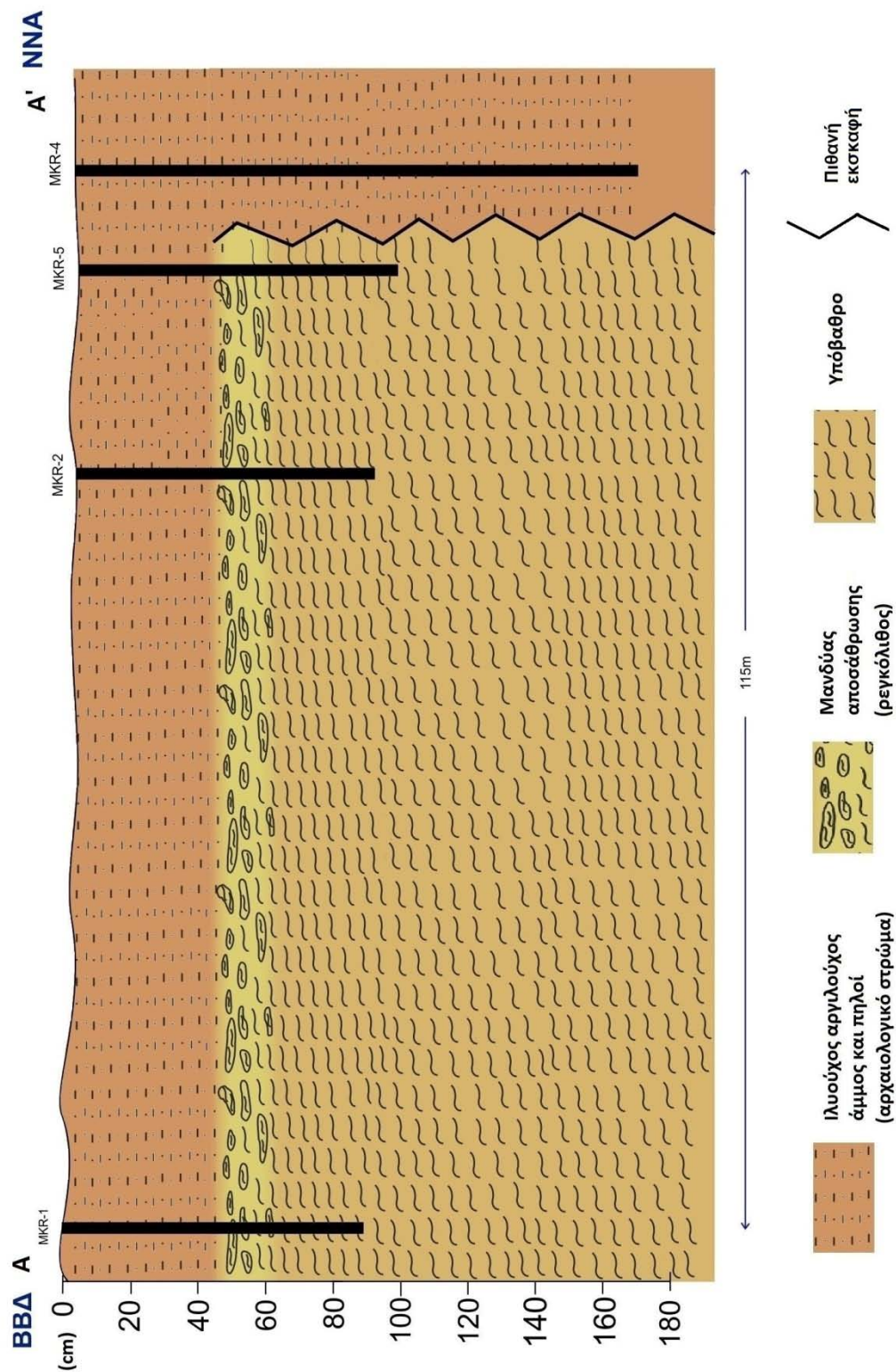
Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τα στρώματα που διατρήθηκαν με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις ιζηματολογικές ενότητες. Από την νεότερη προς την παλαιότερη οι ενότητες αυτές είναι:

- Η πρώτη ενότητα αποτελείται από ανθρωπογενή ιζήματα τα οποία περιλαμβάνουν και όλα τα αρχαιολογικά στρώματα. Σε όλους τους πυρήνες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων το στρώμα αυτό φτάνει μέχρι τα 45-50cm. Εξάίρεση αποτελεί ο πυρήνας MKR-4 ο οποίος μέχρι και τα 160cm τα οποία και διατρήθηκαν αποτελείται από ανεσκαμμένο υλικό, λόγω ανθρώπινης παρέμβασης, και ανήκει στην πρώτη ενότητα. Η ενότητα αυτή αποτελείται από αργιλούχους-ιλυούχους άμμους και πηλούς. Επίσης κεραμικό υλικό εντοπίζεται σε όλους τους πυρήνες πέραν των δύο πρώτων MKR-1 και MKR-2.
- Η δεύτερη ενότητα αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα που φτάνει περίπου μέχρι τα 60cm και απουσιάζει από τον πυρήνα MKR-4. Πρόκειται για τον μανδύα αποσάθρωσης (ρεγκόλιθο) του υποκείμενου πετρώματος.
- Η τρίτη ενότητα εντοπίζεται από τα 60-65cm και κάτω ενώ δεν συναντάται στον πυρήνα MKR-4. Σε αυτό το βάθος βρίσκεται το υπόβαθρο της περιοχής το οποίο αποτελείται από το δεύτερο φλύσχη της Πίνδου. Το υλικό είναι αισθητά πιο χοντρόκοκκο με λευκοκίτρινους φακούς και κροκάλες.

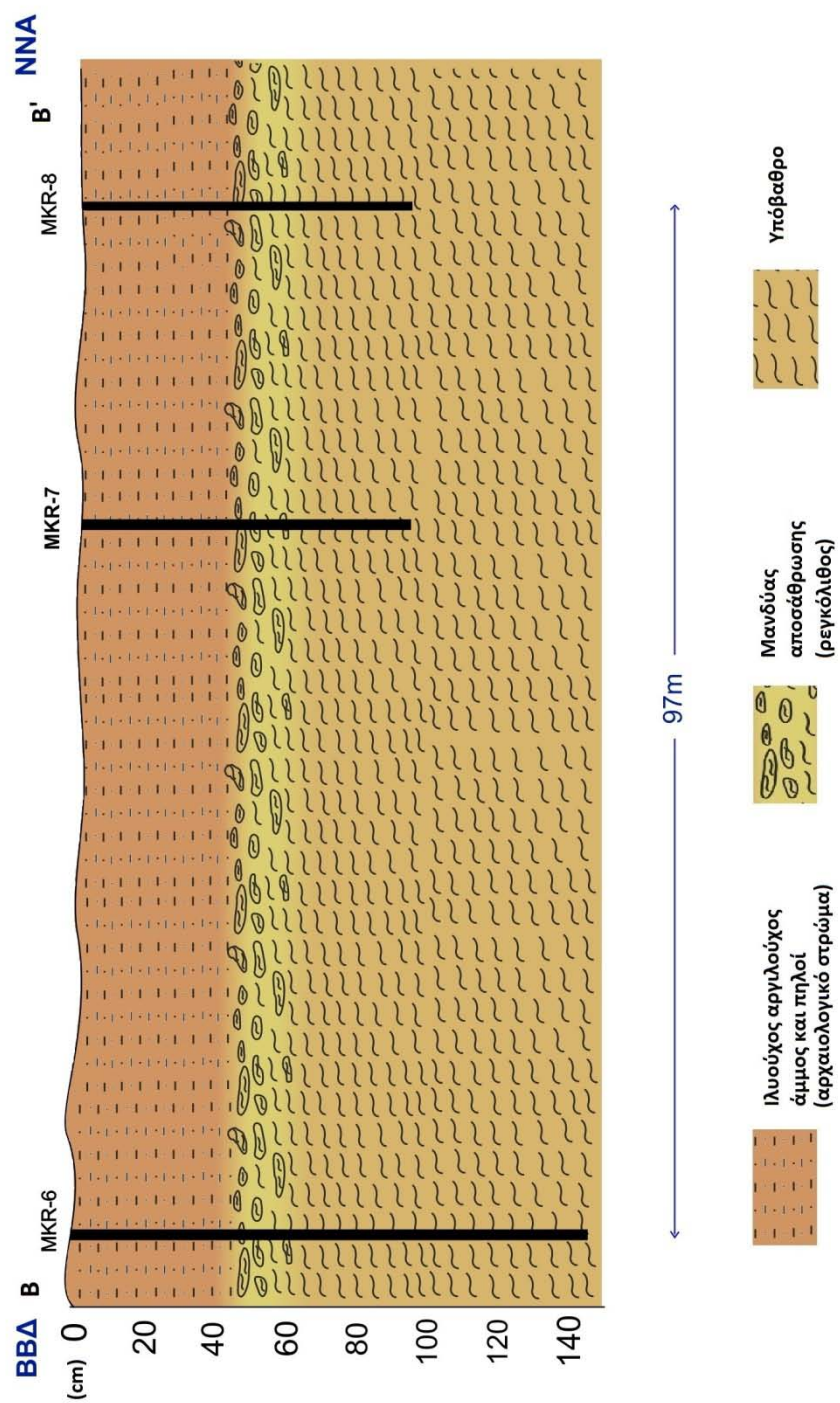
Όλα τα παραπάνω συνθέτουν την εικόνα ενός χερσαίου περιβάλλοντος με ιζηματογενή στρώματα που προέκυψαν από την διαδικασία της χημικής και φυσικής αποσάθρωσης του υποκείμενου φλύσχη. Με βάση τις θέσεις των γεωτρήσεων κατασκευάστηκαν δύο λιθολογικές τομές A-A' και B-B' (σχήμα 23 και 24 αντίστοιχα) που αναπαριστούν την αλληλουχία των στρωμάτων στην περιοχή του αρχαιολογικού οικισμού. Οι τομές με βάση τις γεωτρήσεις φαίνονται στο σχήμα 22.



Σχήμα 33.: Οι λιθολογικές τομές A-A' και B-B' σε σχέση με τις θέσεις των γεωτρήσεων, όπως προβλήθηκαν στην δορυφορική εικόνα από το Google Earth.



Σχήμα 34.: Η λιθοστροφματογραφική τομή Α-Α'.

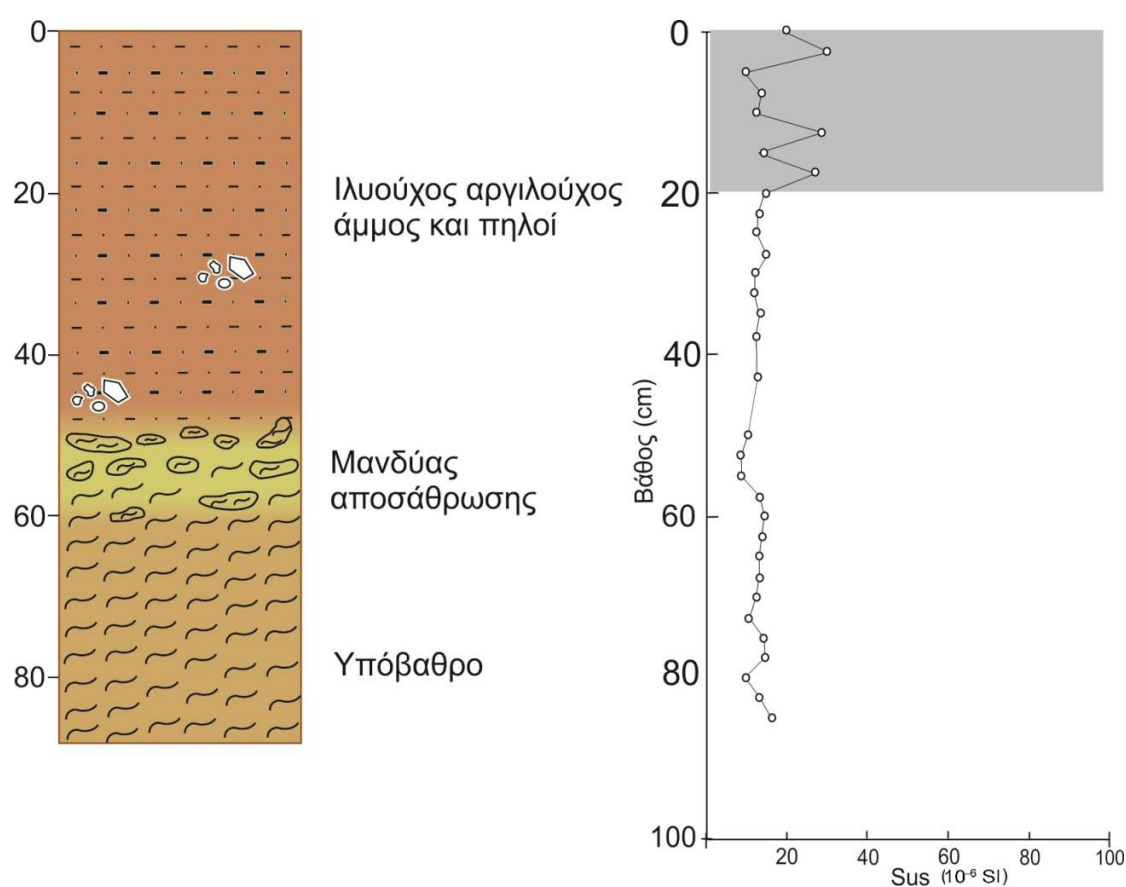


Σχήμα 35.: Η λιθοστροφωτογραφική τομή Β-Β'.

5.4 Διαγράμματα μαγνητικής επιδεκτικότητας

Πυρήνας MKR-1

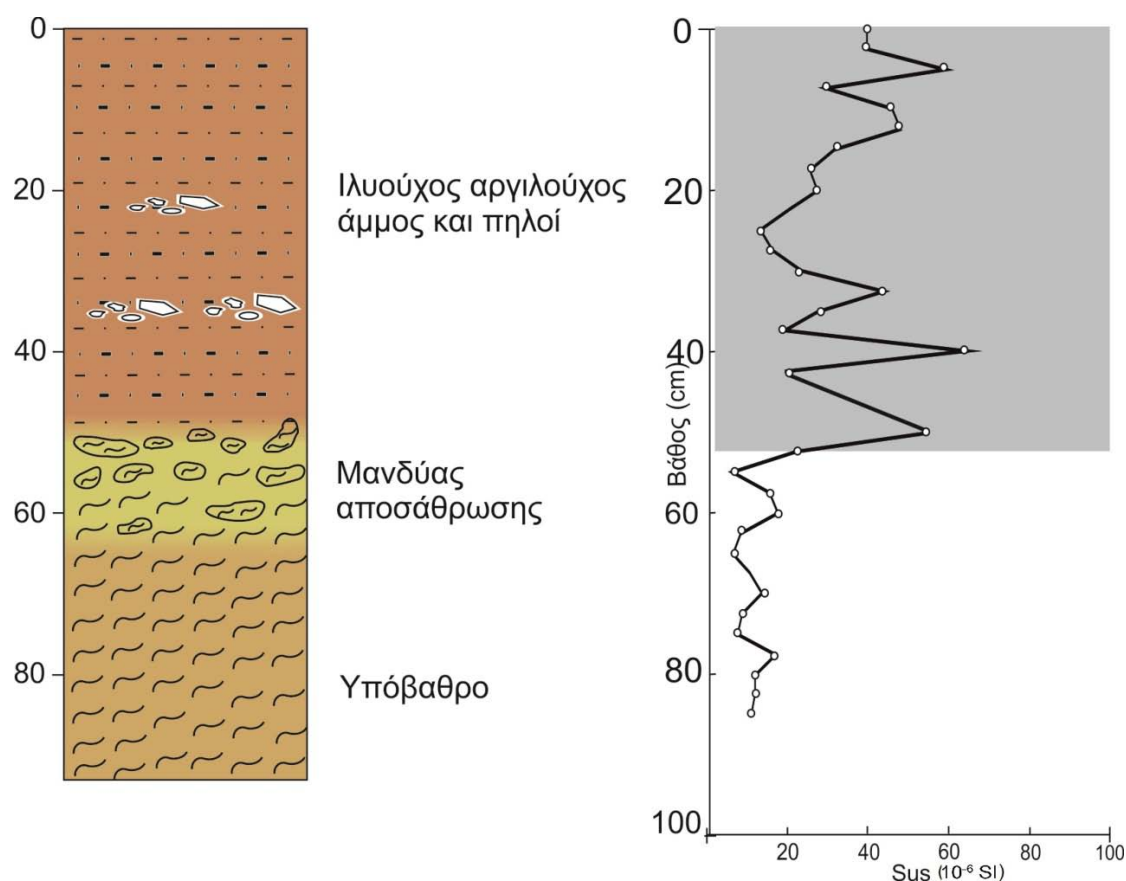
Η δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-1 βρίσκεται πιο βόρεια απ' όλες τις υπόλοιπες στην περιοχή του οικισμού. Στο σχήμα 35 φαίνονται τα τρία στρώματα που εντοπίζονται στην περιοχή καθώς και τα αποτελέσματα της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε κάθε βάθος μέτρησης. Είναι φανερό ότι από το βάθος των 20cm από την επιφάνεια της γης και κάτω οι τιμές μειώνονται αισθητά. Μέχρι τα 20cm οι τιμές είναι σχετικά υψηλές και μπορεί να σχετίζεται με το στρώμα κατοίκησης είναι όμως αρκετά κοντά στην επιφάνεια και το πάχος είναι μικρό. Μπορεί δηλαδή να θεωρηθεί ότι οι τιμές αυτές οφείλονται σε σύγχρονες ανθρωπογενείς ενέργειες όπως για παράδειγμα το όργωμα.



Σχήμα 36.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-1 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-2

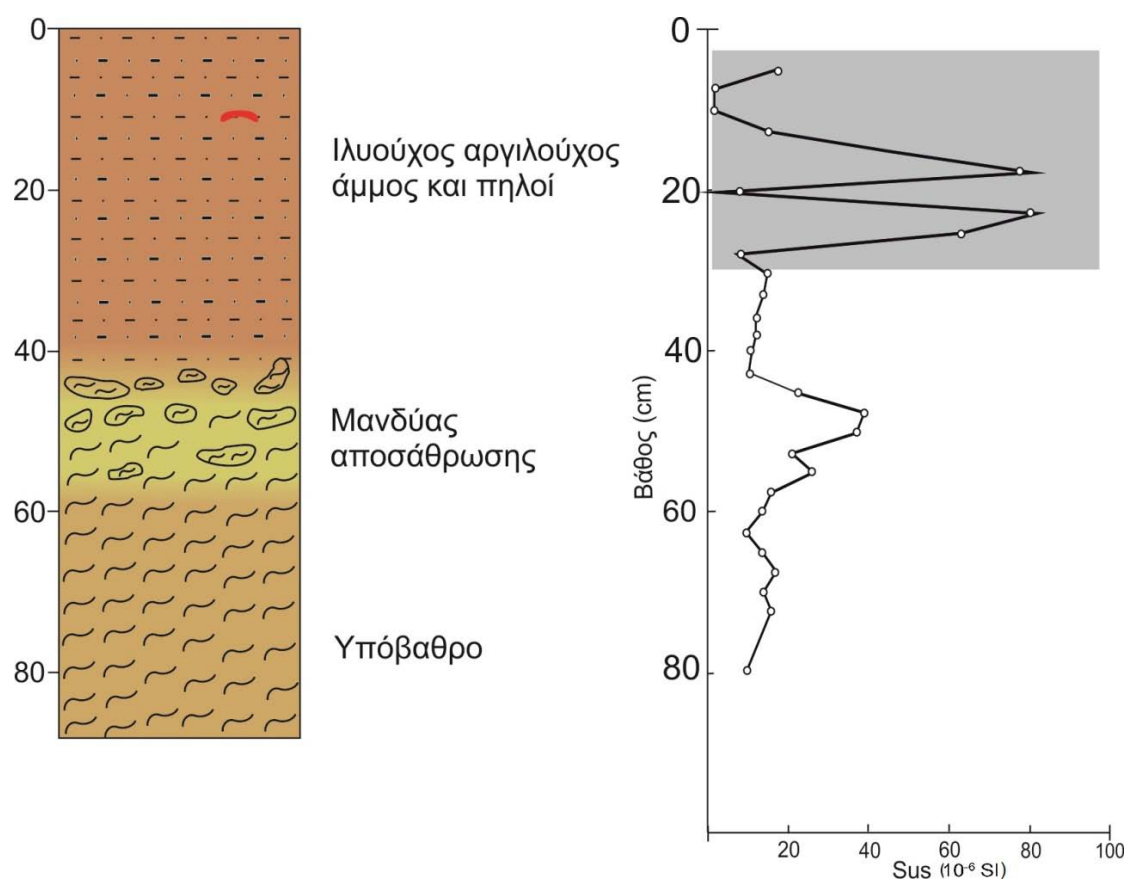
Οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας στη δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-2 έχουν μεγαλύτερη διαβάθμιση (σχήμα 36). Οι υψηλές τιμές εμφανίζονται μέχρι τα 55cm από την επιφάνεια και συμπίπτουν με το όριο μεταξύ του ανώτερου αργιλούχου στρώματος και του μανδύα αποσάθρωσης. Μέχρι τα 55cm οι τιμές είναι αισθητά πιο υψηλές και σημειώνουν δύο μέγιστα, ένα στα 40cm και ένα στα 50cm από την επιφάνεια της γης. Το τμήμα από τα 30cm έως τα 55cm μπορεί να θεωρηθεί με βάση αυτό τον πυρήνα το στρώμα κατοίκησης. Κάτω από τα 55cm καταγράφονται χαμηλές τιμές που σχετίζονται με το μανδύα αποσάθρωσης και το υπόβαθρο της περιοχής που αντιπροσωπεύουν το φυσικό στρώμα.



Σχήμα 37.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-2 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-3

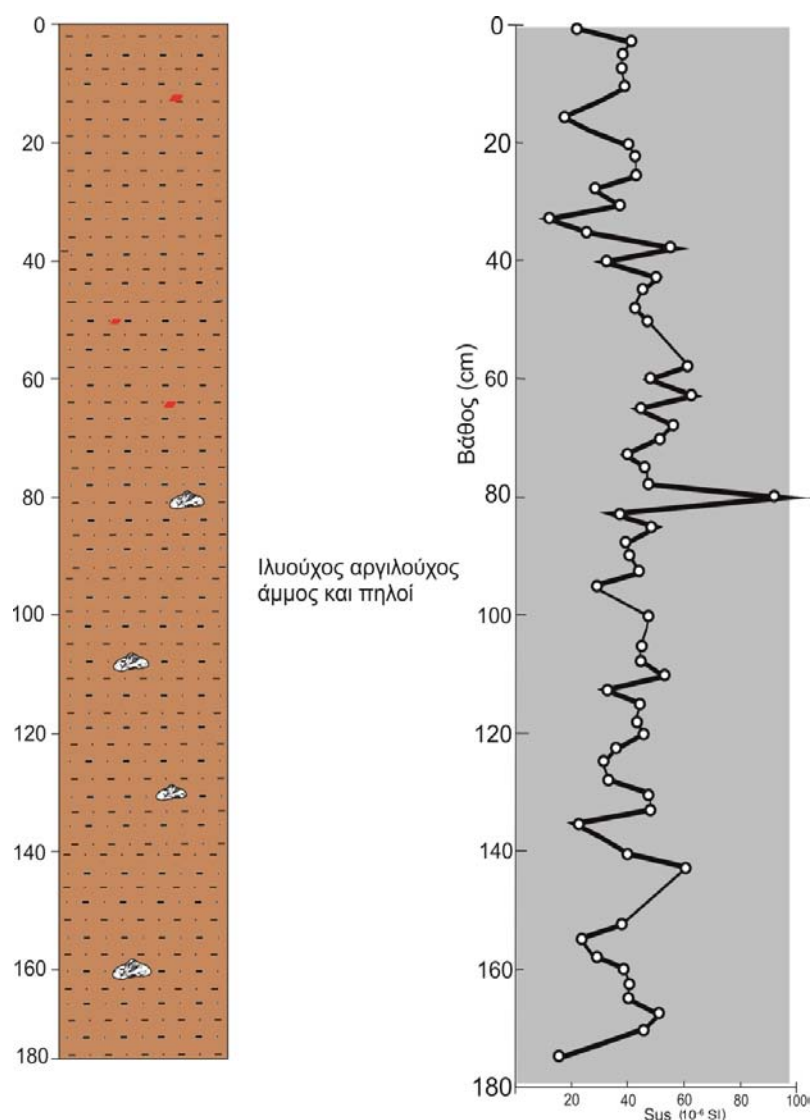
Σχεδόν παράλληλα με την δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-2 βρίσκεται και η δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-3 (σχήμα 37). Στα βάθη των 17,5cm, 22,5cm και 25cm η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι πολύ μεγάλη και συμπίπτει με κάποια ίχνη κεραμικών μέσα στο αργιλούχο ανώτερο στρώμα. Στα επόμενα εκατοστά από τα 35cm έως τα 42,5cm από την επιφάνεια της γης οι τιμές που εμφανίζονται είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Μια αύξηση στις τιμές εμφανίζεται στο βάθος των 45cm έως τα 55cm. Τέλος από τα 57,5cm και κάτω οι μετρήσεις δίνουν αρκετά χαμηλές τιμές που δικαιολογούνται από το γεγονός ότι βρίσκονται στο στρώμα του υποβάθρου που έχει παραμείνει ανεπηρέαστο από ανθρωπογενείς διεργασίες μέχρι και σήμερα.



Σχήμα 38.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-3 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-4

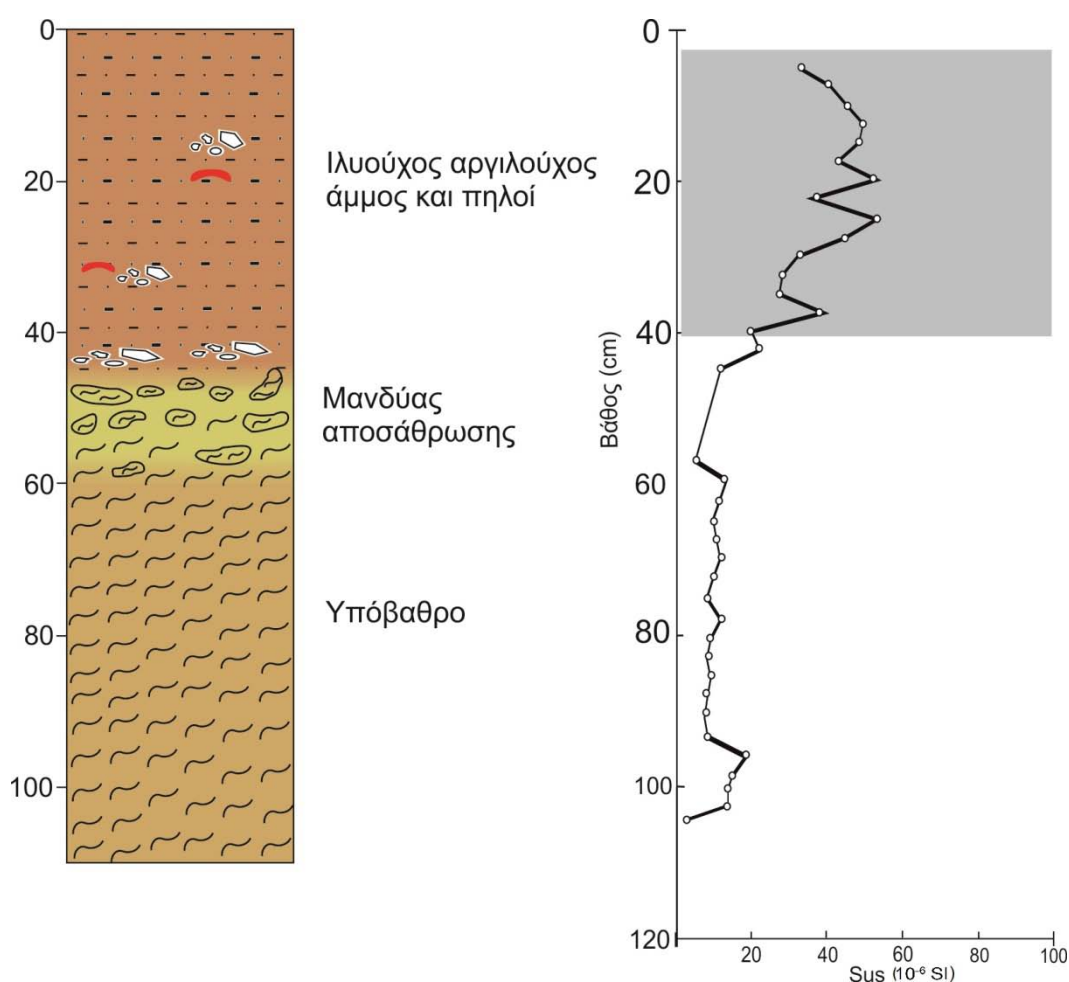
Η δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-4 είναι αυτή με το μεγαλύτερο βάθος από τις συνολικά οκτώ γεωτρήσεις (σχήμα 38). Σε όλο της το μήκος συνίσταται από το μαλακό αργιλούχο ανώτερο στρώμα που βρίσκουμε σε όλη την περιοχή του αρχαιολογικού οικισμού. Πρόκειται για μια περιοχή που είναι εμφανές ότι έχει ανασκαφεί από τον άνθρωπο οπότε δεν θεωρείται κατάλληλη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον οικισμό. Οι αυξομειώσεις στις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας συμφωνούν με αυτή την παραδοχή. Μερικές ιδιαίτερα υψηλές τιμές που εμφανίζονται οφείλονται στην παρουσία κεραμικών όπως στα βάθη 37,5cm, 80cm και 142,5cm.



Σχήμα 39.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-4 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-5

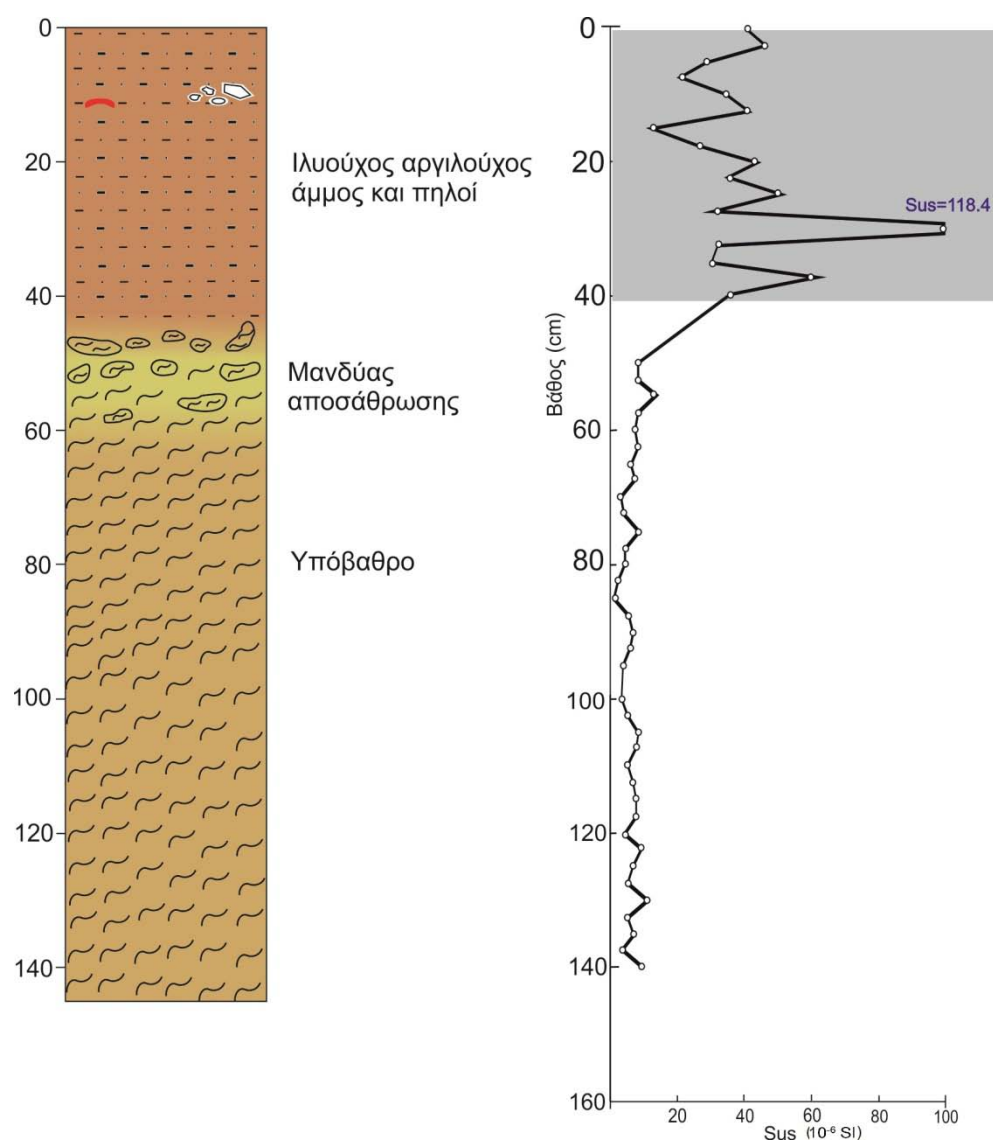
Στη δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-5 αρχίζει μια προοδευτική αύξηση στις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας από το βάθος των 5cm εντός του ανώτερου αργιλούχου στρώματος (σχήμα 39). Από το βάθος των 17,5cm μέχρι το βάθος 37,5cm από την επιφάνεια της γης σημειώνεται η μεγαλύτερη αύξηση και μπορεί να θεωρηθεί ότι συμπίπτει με το στρώμα κατοίκησης. Εντός του στρώματος αυτού βρίσκονται και μερικά ίχνη κεραμικών. Μετά τα 40cm οι τιμές εμφανίζονται μειωμένες καθώς βρίσκονται εντός των στρωμάτων του μανδύα αποσάθρωσης και του υποβάθρου και καθορίζεται και με αυτόν τον τρόπο το φυσικό στρώμα από το ανθρωπογενές.



Σχήμα 40.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-5 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-6

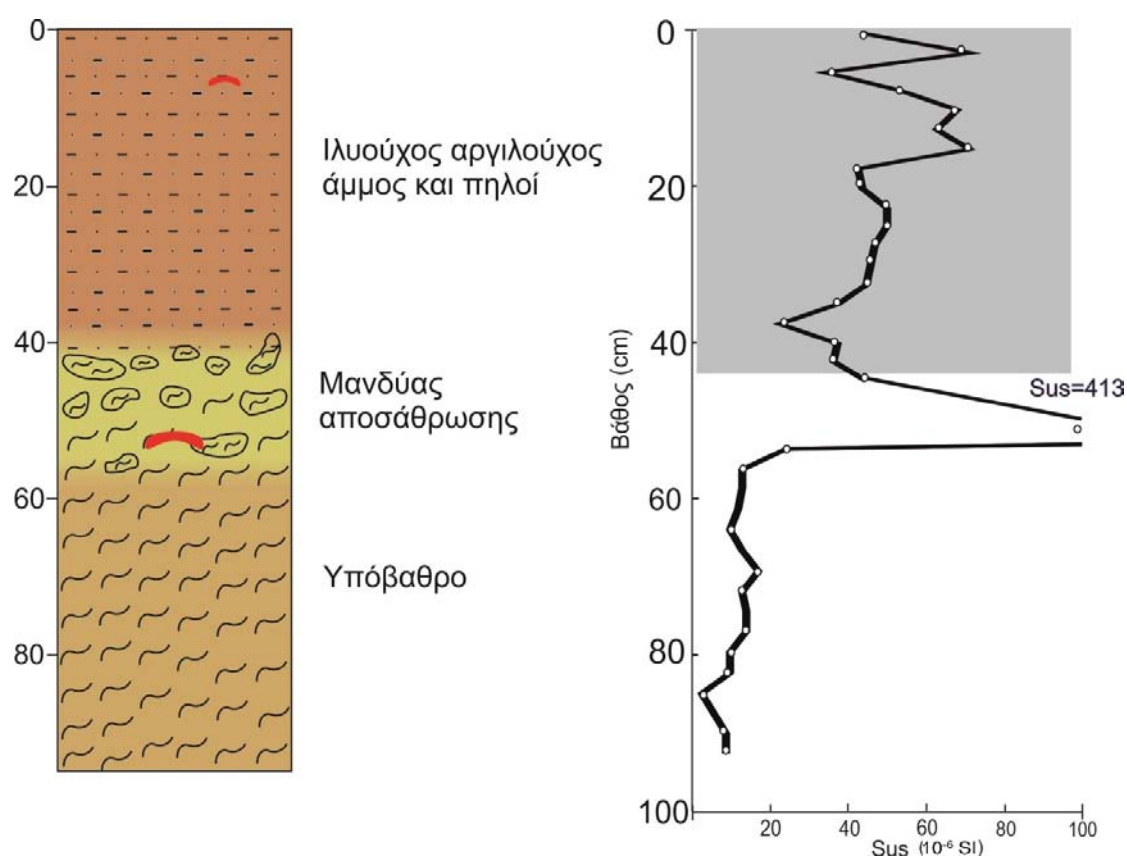
Στη δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-6 θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας καθορίζουν πολύ καθαρά το ανθρωπογενές στρώμα από το φυσικό (σχήμα 40). Από το βάθος των 5cm μέχρι το βάθος των 40cm οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι υψηλές και σημειώνεται ένα μέγιστο στο βάθος των 30cm με ιδιαίτερα υψηλή τιμή. Μετά τα 40cm οι τιμές είναι πολύ χαμηλές καθώς εισέρχονται στο φυσικό στρώμα εντός του μανδύα αποσάθρωσης και του υποβάθρου.



Σχήμα 41.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-6 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-7

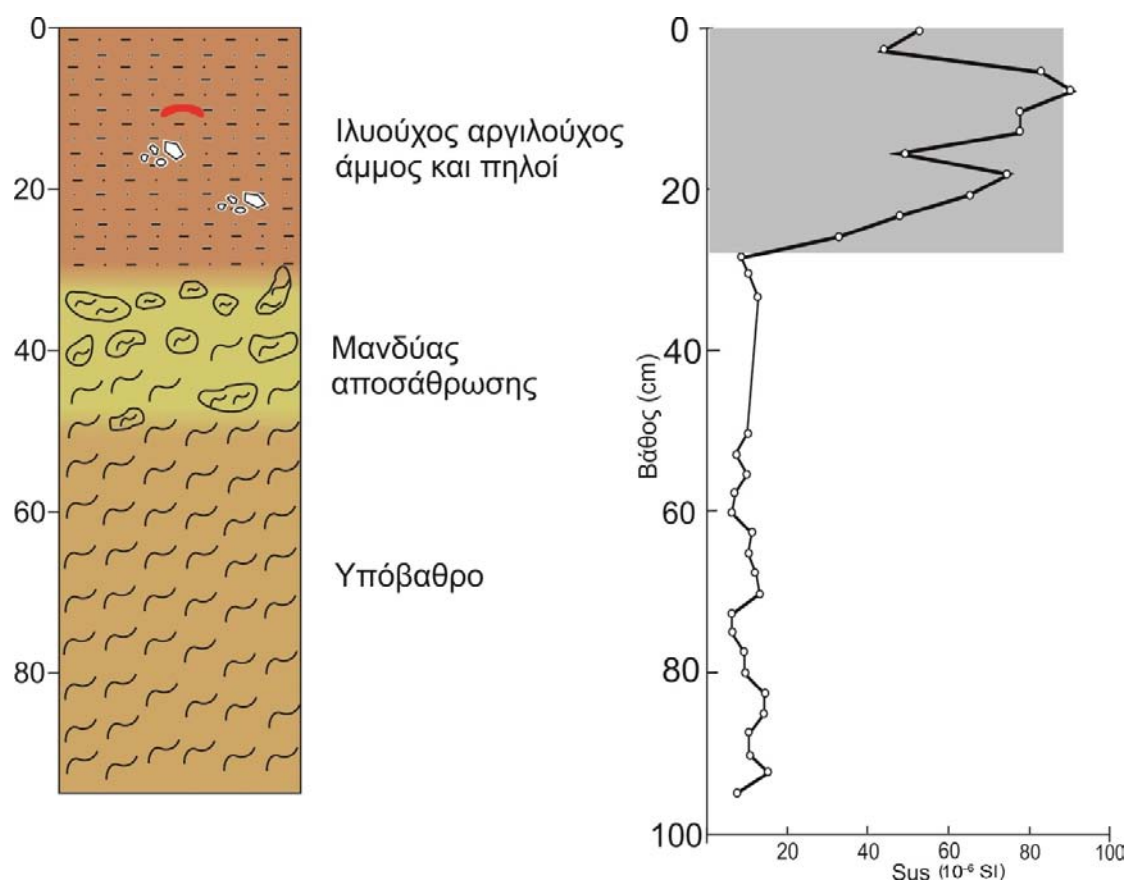
Η δειγματοληπτική γεώτρηση MKR-7 έχει υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας σε όλο το ανώτερο αργιλικό στρώμα (σχήμα 41). Στο βάθος των 52,5cm εντός του μανδύα αποσάθρωσης η τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σημειώνει μέγιστο εξαιτίας ενός κεραμικού. Από τα 55cm και μετά η μαγνητική επιδεκτικότητα επιστρέφει σε χαμηλές τιμές αντιπροσωπεύοντας το φυσικό στρώμα που συμπίπτει με το στρώμα του υποβάθρου.



Σχήμα 42.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-7 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Πυρήνας MKR-8

Στην τελευταία δειγματοληπτική γεώτρηση που διεξήχθη την MKR-8 οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας καθορίζουν ευκρινώς το ανθρωπογενές από το φυσικό στρώμα (σχήμα 42). Μέχρι το βάθος των 25cm από την επιφάνεια της γης οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι υψηλές και σημειώνονται εντός του ανώτερου αργιλούχου στρώματος. Από τα 30cm και κάτω οι τιμές είναι χαμηλές αντιπροσωπεύοντας ένα φυσικό στρώμα που λιθολογικά συμπίπτει με το μανδύα αποσάθρωσης και το υπόβαθρο.



Σχήμα 43.: Στωματογραφική στήλη του δειγματοληπτικού πυρήνα MKR-8 και το διάγραμμα της μεταβολής των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Τα διαγράμματα της μαγνητικής επιδεκτικότητας προβλήθηκαν πάνω στις δύο λιθολογικές τομές A-A' και B-B' (σχήματα 43 και 44) για να υπάρξει μια συγκεντρωτική εικόνα σε σχέση με τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν με τις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας στον αρχαιολογικό οικισμό.

Εικόνα 44.: Η στρωματογραφική τομή A-A' με τα διαγράμματα της μαγνητικής επιδεκτικότητας για κάθε δειγματοληπτική γεώτρηση

Εικόνα 45.: Η στρωματογραφική τομή B-B' με τα διαγράμματα της μαγνητικής επιδεκτικότητας για κάθε δειγματοληπτική γεώτρηση.

Τόσο από την τομή A-A' όσο και από την τομή B-B' προκύπτει ότι η στρωματογραφική ανάλυση συμφωνεί με τα δεδομένα της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στην τομή A-A' περίπου από το βάθος των 45cm με 55cm από την επιφάνεια του εδάφους ξεκινάνε τα φυσικά στρώματα, ενώ στην τομή B-B' τα φυσικά στρώματα ξεκινάν λίγο νωρίτερα στα 40-45cm. Τα στρώματα δηλαδή αυτά έμειναν ανεπηρέαστα από την ανθρώπινη δραστηριότητα στο πέρασμα του χρόνου. Στο ανώτερο αργιλούχο στρώμα σε όλη του την έκταση η μαγνητική επιδεκτικότητα σημειώνει αρκετά υψηλές τιμές και δείχνει ότι το στρώμα αυτό έχει αποτελέσει επιφάνεια κατοίκησης.

Το ανώτερο τμήμα του εδάφους (topsoil) έχει συνήθως μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας λόγω του σχηματισμού δευτερογενών φερριμαγνητικών υλικών (E. De Jong, 1997). Αν δεχθούμε ότι το πάχος του topsoil κυμαίνεται μεταξύ 5-20cm καθώς επίσης και ότι μέχρι αυτό το πάχος ιζημάτων έχει επέμβει ο άνθρωπος τα τελευταία χρόνια (καλλιέργειες, άροση κτλ) τότε το αρχαιολογικό στρώμα κυμαίνεται από τα 20cm μέχρι περίπου τα 45-55cm.

5.5 Υπολογισμός εδαφικής διάβρωσης

5.5.1 Το μοντέλο απώλειας εδάφους RUSLE

Το μοντέλο RUSLE βασίζεται στη μαθηματική εξίσωση:

$$A=R*K*LS*C*P$$

Όπου:

A = μέση ετήσια απώλεια εδάφους (tones/ha*y)

R = Παράγοντας διαβρωσιμότητας της βροχής (MJ*mm/ha*h*y)

K = Παράγοντας εδαφικής διαβρωσιμότητας (tones*ha*h/ha*MJ*mm)

L = μήκος κλίσης

S = κλίση

C = φυτοκάλυψη

P = πρακτικές συντήρησης

Στη συνέχεια αναλύονται ξεχωριστά οι παράγοντες της εξίσωσης, από πού αντλήθηκαν τα στοιχεία και ο τρόπος υπολογισμού τους. Η επεξεργασία των δεδομένων και η δημιουργία του μοντέλου βασίστηκε εξ ολοκλήρου στο λογισμικό ArcMap 10. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ψηφιακού αναγλύφου ASTER-GDEM με χωρική ανάλυση περίπου 28m.

☉ Η διαβρωσιμότητα της βροχής (R)

Η ποσοτικοποίηση της βροχόπτωσης και της απορροής που προκύπτει και προκαλεί την εδαφική διάβρωση εκφράζεται με τον παράγοντα R. Η τιμή του R επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση και τη διάρκεια των γεγονότων βροχόπτωσης και από την ποσότητα και το ρυθμό της προκύπτουσας απορροής.

Η εξίσωση που υπολογίζει τον R είναι:

$$R = \Sigma(EI_{30})/100 \quad (\text{Wischmeier and Smith, 1978})$$

Όπου: E: η κινητική ενέργεια της βροχής

I_{30} : η μέγιστη ένταση της βροχής σε 30 λεπτά

Ο R προκύπτει από τις μέσες ετήσιες τιμές EI_{30} που έχουν καταγραφεί για όλες τις καταιγίδες που έχουν συμβεί στη διάρκεια ενός έτους. Η ενέργεια (E) της βροχής χαρακτηρίζει την ένταση της βροχόπτωσης και της απορροής, παρόλα αυτά μια βροχή μικρής έντασης αλλά μεγάλης διάρκειας προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα με μια βροχόπτωση μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας. Ουσιαστικά ο όρος I_{30} αντιπροσωπεύει τα υψηλά ποσοστά της απόσπασης σωματιδίων και της απορροής. Γενικά ο όρος EI_{30} περιγράφει τη σύνδεση της αποκόλλησης σωματιδίων και την ικανότητα μεταφοράς τους. (Renard & Freimund, 1993)

Στις περισσότερες χώρες, όμως, είναι διαθέσιμα μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης και όχι δεδομένα της ενέργειας και της έντασης της βροχής. Γι αυτό το λόγο και δεν μπορεί να εφαρμοστεί ο τύπος των Wischmeier και Smith (1978). Έτσι χρησιμοποιείται ο τύπος του Arnoldus (1980). (Le Trung Tuan et al, 2003)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία ετήσια βροχομετρικά δεδομένα οπότε χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Arnoldus (1980).

$$R = 4.17 * MFI - 152$$

Όπου MFI ο μετασχηματισμός Fourier που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

p_i = μηνιαία βροχόπτωση (mm)
 P = ετήσια βροχόπτωση (mm)

Για την περιοχή μελέτης αντλήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης από το μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Αν και απέχει αρκετά από την περιοχή μελέτης θεωρήθηκαν τα δεδομένα του αντιπροσωπευτικά από το γεγονός ότι βρίσκεται και αυτός στο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Σπερχείου και περίπου στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Οι άλλοι δύο σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι του Τρίλοφου και του Ζηλευτού και τα δεδομένα προέρχονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ (Παπαρίζος & Χατζημηνιάδης, 2010). Μάλιστα ο σταθμός του Τρίλοφου δίνει αντιπροσωπευτικά δεδομένα για τις ορεινές περιοχές της μελέτης. Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών στη λεκάνη του Σπερχείου φαίνονται στο σχήμα 45.

Πίνακας 16.: Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

Σταθμός	Υψόμετρο(m)	Υπηρεσία
Λαμία	144	ΕΜΥ
Ζηλευτό	120	ΥΠΕΧΩΔΕ
Τρίλοφο	580	ΥΠΕΧΩΔΕ



Σχήμα 46.: Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών.

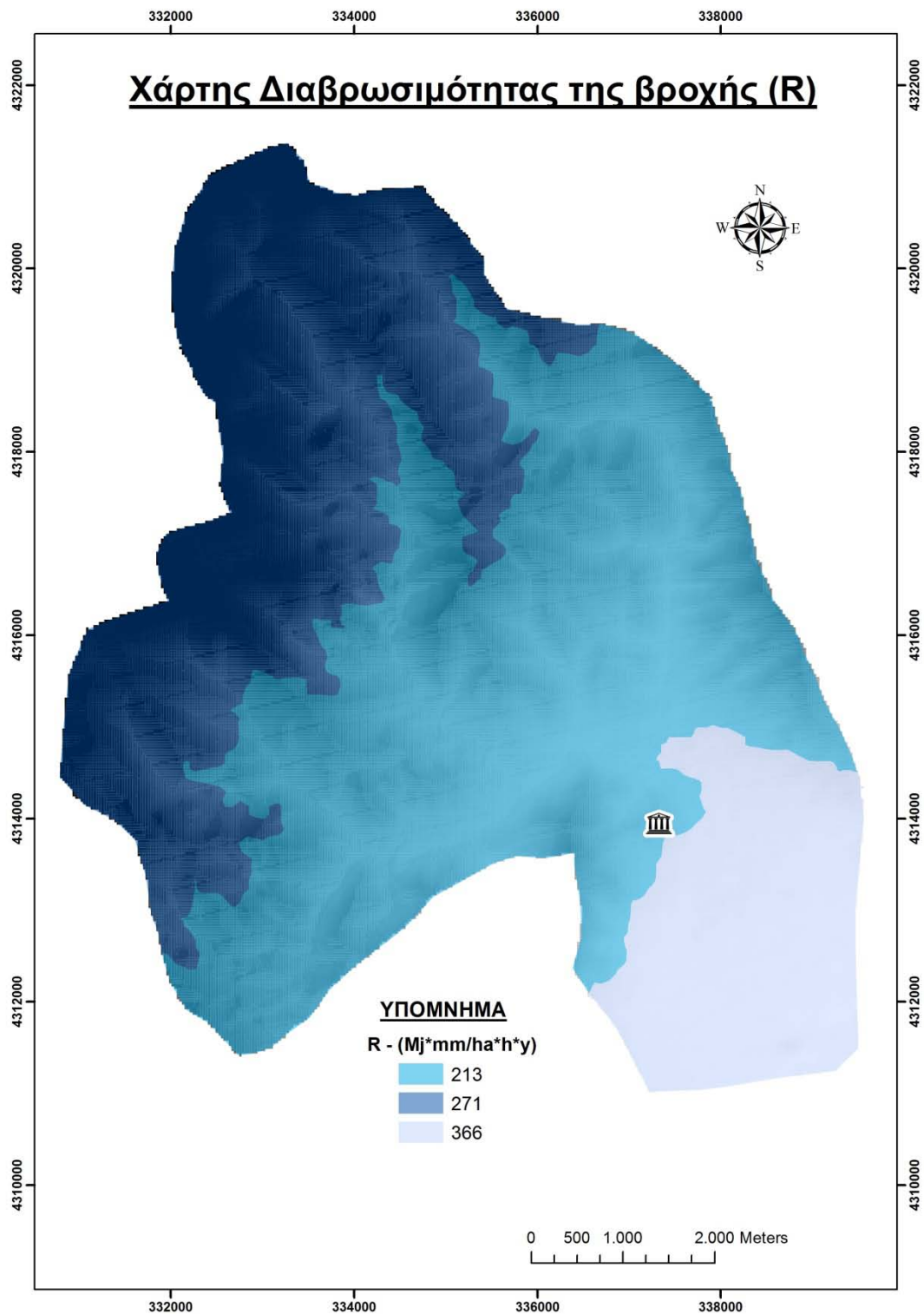
Πίνακας 17. Βροχομετρικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Τριλόφου για τη χρονική περίοδο 1981-2000 (ΥΠΕΧΩΔΕ, από Παπαρίζος & Χατζημηριάδης, 2010)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	237,2	41,1	20,1	51,6	6,9	34,3	25,3	18,3	40,5	78,5	100	79
1982	27,4	80,3	78,6	80,5	91,2	21,3	2,6	14,7	16	33,6	123,3	32,2
1983	14	41,5	37	12,3	17,4	96,1	63,3	47,7	9,5	37,5	90,8	207,9
1984	37,8	109,5	66,3	131,3	45,5	8,5	14	54	6,3	21,5	58	101,8
1985	150,3	27	60,7	28,5	10,5	2,8	2,3	0	9	50,5	172	35
1986	33,9	87,5	78,5	13	92,5	49,5	14,5	8	19	147,5	24,5	59,5
1987	58	89,3	258	119	24,5	18	0	13	0	88	91	28
1988	64	39	50	43,5	39,5	9	2	15	1	18,5	210	71
1989	7	15,5	102	20,5	33	15	61	3	14	68	77,5	45,2
1990	6,9	11	21,5	45	38,5	9	0	66	17	42	193,5	48
1991	101	26	87	156	82	1,5	25	21,5	3	21	60	31
1992	26	30	35	80	57	65	39	0	1,5	6	17	43
1993	10,5	111,1	45,5	28	57	15	1	0	5,3	7	146	74
1994	147	136	41	64	68	14	11	10,5	0	166	87,5	53,5
1995	97	16,5	108,5	66,5	28	6,5	43	37	39	15	48	116,5
1996	70,5	107	111	35,5	40,5	10	11	56,5	16,5	142	29	61
1997	134	19,5	57	40,5	60	12	6	30	10	49,5	128,5	141
1998	27	73	64	10,5	84	4	0	0	37	55,5	110,5	43,5
1999	50	46	144	44,5	15	1,5	24,5	4,5	32	28	300,5	101
2000	21	102,5	32	10,5	14,5	3	43	3	10	144	49	49
M.O.	66	60,5	75	54	45,3	19,8	19	20	14	61	106	71

Πίνακας 18. Βροχομετρικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Ζηλευτού για τη χρονική περίοδο 1981-2000 (ΥΠΕΧΩΔΕ, από Παπαρίζος & Χατζημηριάδης, 2010)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1981	188,8	33	4,5	40,3	5,6	5,8	9,9	15,2	33,3	64	92,9	61
1982	24,6	80,9	78,2	47,7	52,9	16,2	2	11,7	18,9	33,5	107,6	43
1983	12,3	42,1	25,3	12	5,5	66	78,7	41,6	0,6	24,4	96,8	192,7
1984	31,9	152,7	98	108	23,5	6,3	5,3	52	0,6	11	63,1	93,3
1985	76,7	37,8	61,2	33,5	10,6	1,6	0	0	1,2	61,3	138,2	25,5
1986	51	70,9	51,1	7,8	24,2	21,5	2,8	0	3,2	34	19,9	35,7
1987	18	2,5	220,2	28,6	12,4	13,7	0,7	5	0,6	107,1	56	26
1988	53,7	45,4	46,2	21,4	9,4	1,8	0,2	0	4,8	14,8	109,5	39,2
1989	4,5	14,6	37,2	9,9	6,8	7,6	6,6	0,2	0	29,3	18,8	13,3
1990	0	0	0	29,8	7,3	0,8	0	50,7	18,1	44,3	123,4	45,1
1991	83,9	29,2	73,5	81,7	48,3	5,2	4,4	16,9	9,1	37,3	87,9	31
1992	30,2	32,6	42,8	8,9	7,6	4,9	0,3	0	10	29	13,5	56,6
1993	17	218,5	29,5	27,6	57,4	9	0	12,1	104	0	78,9	68,3
1994	122,4	128,3	20,3	55,1	85,7	6	2,7	14	0	267,9	86	47,3
1995	66,5	6,8	86,3	46	16,3	0	106	2,8	41	2,6	36,5	100,4
1996	119,2	122,6	93,7	7,7	0	0	0	24	4,5	86,7	30,5	32,7
1997	142,7	23,9	34,1	40,7	14,5	6	0	15	8,6	32,4	165,1	60
1998	11,8	42,3	34,5	5,2	522,6	0	0	0,5	22,4	16,3	241,3	78
1999	42,6	24,5	76,4	12,7	7	0	5,7	0	26,2	67,1	89,4	27,3
2000	15	92,1	26,5	79	0,5	3,9	1,8	0	7,3	53,7	23,8	52,8
M.O.	55,64	60	57	35	46	9	11,4	13,1	15,7	51	4	56,5

Σύμφωνα με τα δεδομένα των σταθμών υπολογίστηκε ο παράγοντας R και κατασκευάστηκε ο ανάλογος χάρτης.



Σχήμα 47.: Χάρτης παράγοντα διαβρωσιμότητας της βροχής (R).

☉ Η διαβρωσιμότητα του εδάφους

Ο παράγοντας της διαβρωσιμότητας του εδάφους αντιπροσωπεύει την αντίσταση των σωματιδίων του εδάφους στο να αποκοπούν από την κύρια μάζα και να μεταφερθούν με την επιφανειακή απορροή. Η φόρμουλα που εισήγαγαν οι Wischmeier & Smith (1978) ανταποκρίνεται στις συνθήκες που επικρατούν στις ΗΠΑ για τις οποίες και δημιουργήθηκε το μοντέλο. Έτσι για την περιοχή της Ευρώπης χρησιμοποιείται η εξίσωση του Römken et. al. (1986) που αναθεωρήθηκε από τον Renard & Freimund (1993). (J.M. van der Knijff, 2000)

$$K = 0.0034 + 0.0405 \exp \left[-0.5 \left(\frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right]$$

Όπου D_g : συνάρτηση της υφής του εδάφους η οποία δίνεται από τον τύπο

$$D_g = \exp \left(\sum f_i \ln \left(\frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right) \right)$$

Για κάθε τάξη μεγέθους των κόκκων της άμμου, της αργίλου και της ιλύος.

d_i = η μέγιστη διάμετρος(mm)

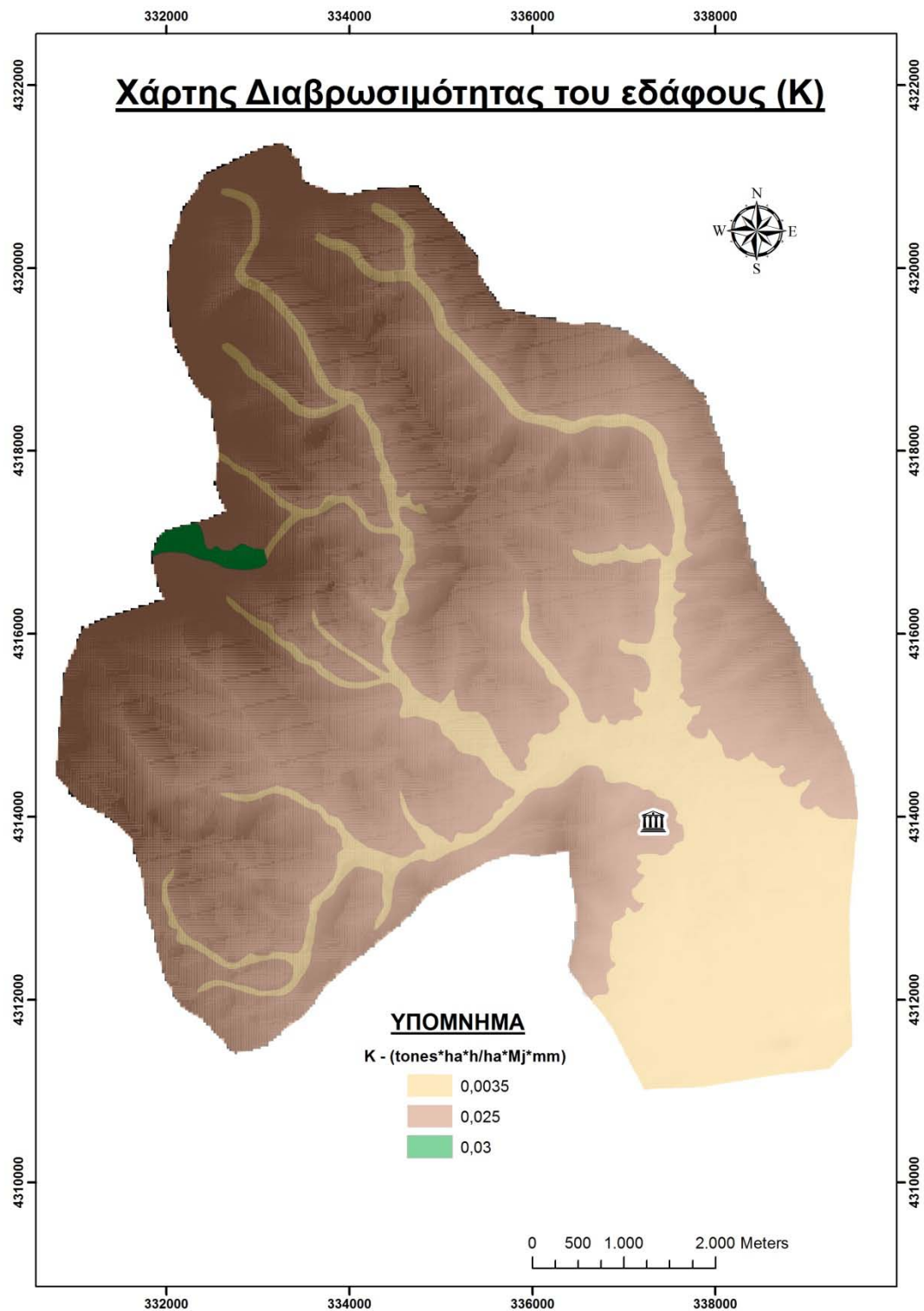
d_{i-1} = η μικρότερη διάμετρος

f_i = η αντίστοιχη μάζα των κόκκων

Στην παρούσα εργασία οι τιμές του K βασίστηκαν στις τιμές που υπολόγισαν για τα πετρώματα τις λεκάνης του Σπερχειού οι Sigalos et al. (2010) βάση των γεωλογικών σχηματισμών που υπάρχουν στην περιοχή. Οι τιμές φαίνονται στον πίνακα 19.

Πίνακας 19.: Οι τιμές της διαβρωσιμότητας εδάφους για κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

Γεωλογικός Σχηματισμός	K-value
Φλύσχης	0,025
Αλλουβιακά	0,0035
Κολλουβιακές αποθέσεις	0,03



Σχήμα 48.: Χάρτης παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (Κ).

☉ Το μήκος κλίσης (SL)

Το μήκος και η κλίση τη λεκάνης απορροής υπολογίζονται μαζί συνήθως στο μοντέλο RUSLE. Το μήκος κλίσης είναι η οριζόντια απόσταση από το σημείο που ξεκινά η επιφανειακή απορροή μέχρι το σημείο όπου η κλίση μειώνεται αρκετά ώστε να αρχίσει η απόθεση. (Panagopoulos et al, 2010)

Χρησιμοποιούνται οι τύποι του Moore et al. (1993) (από J.M. van der Knijff, 2000)

$$L = 1.4 \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^{0.4}$$

$$S = \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1.3}$$

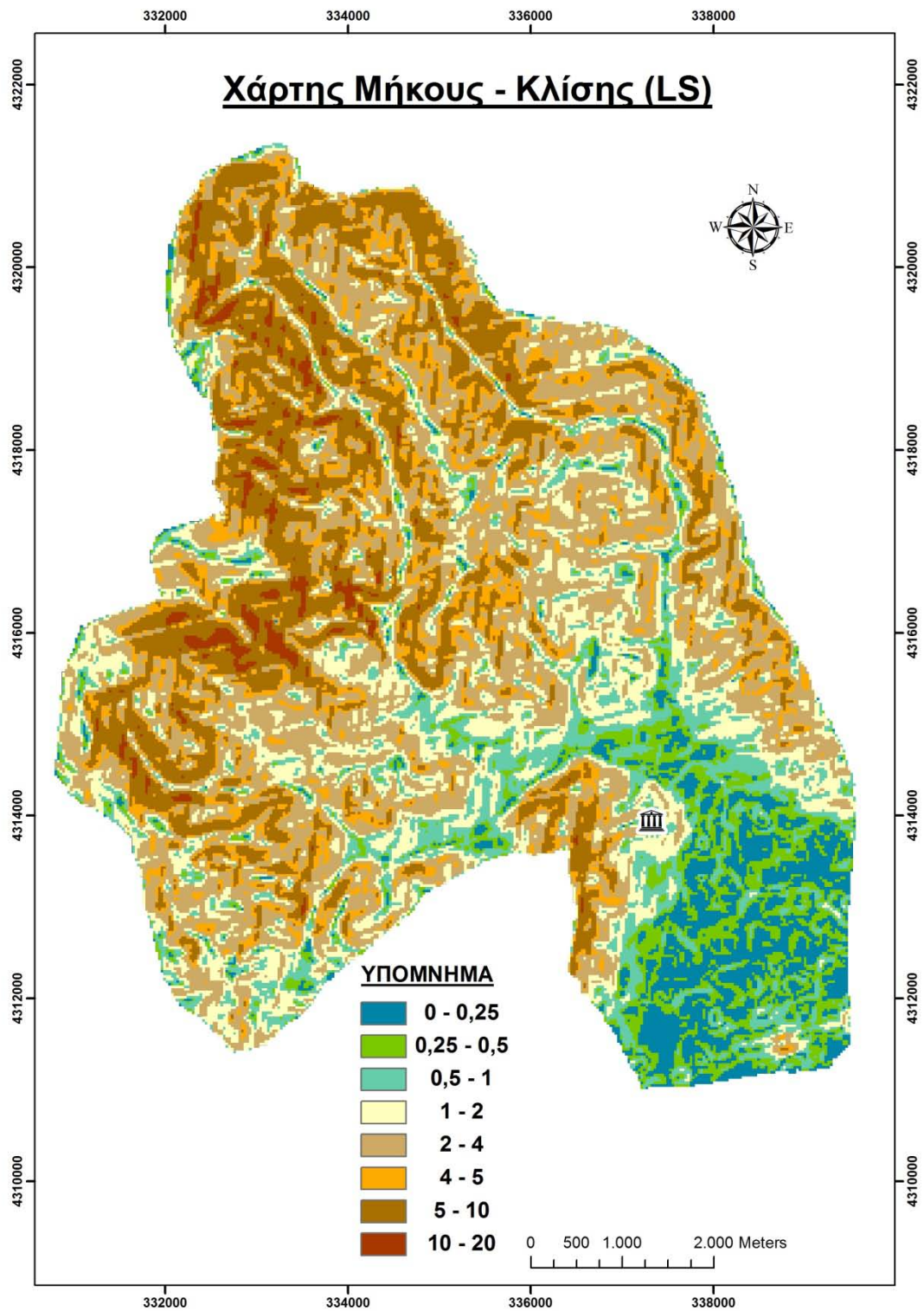
Όπου A_s : είναι το μήκος του ρέματος από τα ανάντη προς τα κατόντη

β : η κλίση σε μοίρες

Πρακτικά στο πρόγραμμα ArcMap 10 ο παράγοντας SL υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SL = (\text{FlowAccumulation} * \text{cellsize} / 22,13)^{0,4} * (\sin(\text{slope}) / 0,0896)^{1,3}$$

Η τιμή του FlowAccumulation υπολογίζεται εκτελώντας την εντολή Hydrology στο πρόγραμμα και η τιμή του cellsize βρίσκεται με βάση το μοντέλο ψηφιακού αναγλύφου που στην περίπτωση του μοντέλου RUSLE χρησιμοποιήθηκε το ASTER-GDEM.



Σχήμα 49.: Χάρτης παράγοντα μήκους κλίσης (SL).

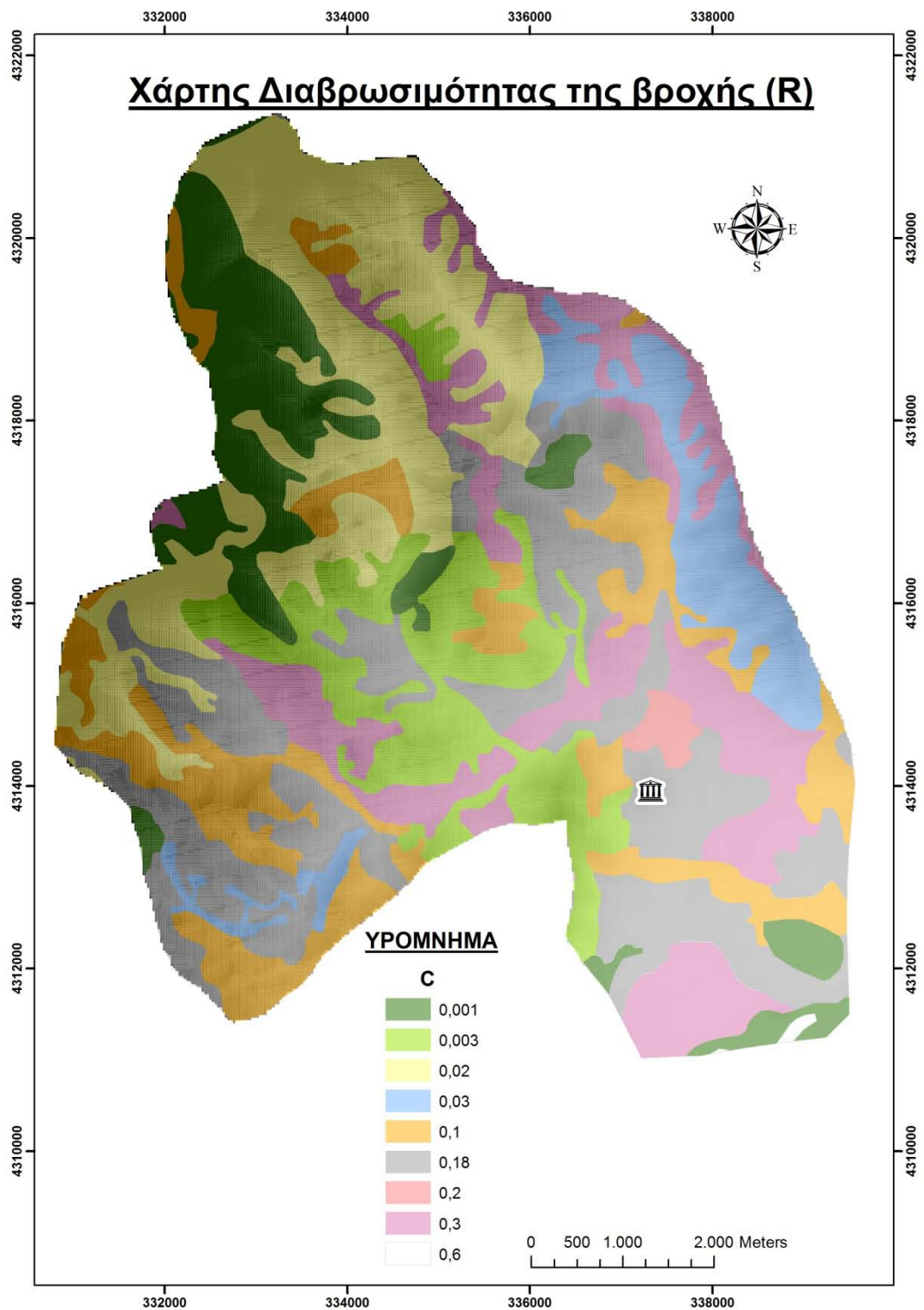
☉ Η φυτοκάλυψη (C)

Η φυτοκάλυψη είναι ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας στο μοντέλο RUSLE μετά την τοπογραφία. Ορίζεται ως ο λόγος της απώλειας εδάφους από καλλιεργούμενη γη προς την αντίστοιχη απώλεια από περιοχές χωρίς άροση. (Wischmeier & Smith, 1978) Η τιμή του C εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό εδάφους που καλύπτει η βλάστηση, το είδος της βλάστησης και το στάδιο ανάπτυξης της. (J.M. van der Knijff, 2000)

Στην παρούσα εργασία οι τιμές του παράγοντα C υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα του προγράμματος Corine 2000 όπως φαίνονται στον πίνακα 20. (Ζάρρης κ.α., 2011)

Πίνακας 20.: Οι τιμές του παράγοντα φυτοκάλυψης (C) για τους αντίστοιχους συντελεστές του προγράμματος Corine.

Συντελεστής	Χρήση γης	C-value
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.001
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.3
221	Αμπελώνες	0.2
223	Ελαιώνες	0.1
231	Λιβάδια	0.1
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.18
243	Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.1
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.001
312	Δάσος κωνοφόρων	0.001
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.3
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.003
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	0.02
331	Αμμόλοφοι	0.6



Σχήμα 50.: Χάρτης παράγοντα φυτοκάλυψης (C).

☉ Πρακτικές Συντήρησης (P)

Ορίζεται ως ο λόγος της απώλειας εδάφους από τα ανάντη προς τα κατόντη σε μια περιοχή όπου έχουν ληφθεί μέτρα για τον περιορισμό της διάβρωσης. Ο παράγοντας P επηρεάζεται από διάφορους τύπους γεωργικών εκτάσεων, από τον τρόπο που αυτές καλλιεργούνται και από την κλίση. Παίρνει τιμές από μηδέν, στις περιπτώσεις που ο άνθρωπος έχει πάρει μέτρα για να περιορίσει τη διάβρωση, έως ένα όταν δεν έχει ληφθεί κανένα μέτρο πρόληψης. Οι συνήθεις πρακτικές που εφαρμόζονται για να αποφευχθεί η διάβρωση σχετίζονται με την καλλιέργεια παράλληλα στις ισοϋψείς και την κατασκευή αναβαθμίδων.

Όπως είναι φυσικό εάν δεν έχει διεξαχθεί μια συλλογική προσπάθεια από τους τοπικούς παράγοντες μιας περιοχής για να αποτραπεί η διάβρωση είναι αδύνατον να γνωρίζουμε αν έχει γίνει κάποια προσπάθεια από κάποιον ιδιώτη για να την περιορίσει και φυσικά σε ποιο ποσοστό αυτή η προσπάθεια είχε αποτέλεσμα. Γι' αυτό το λόγο στην παρούσα εργασία η τιμή του P λήφθηκε ίση με τη μονάδα.

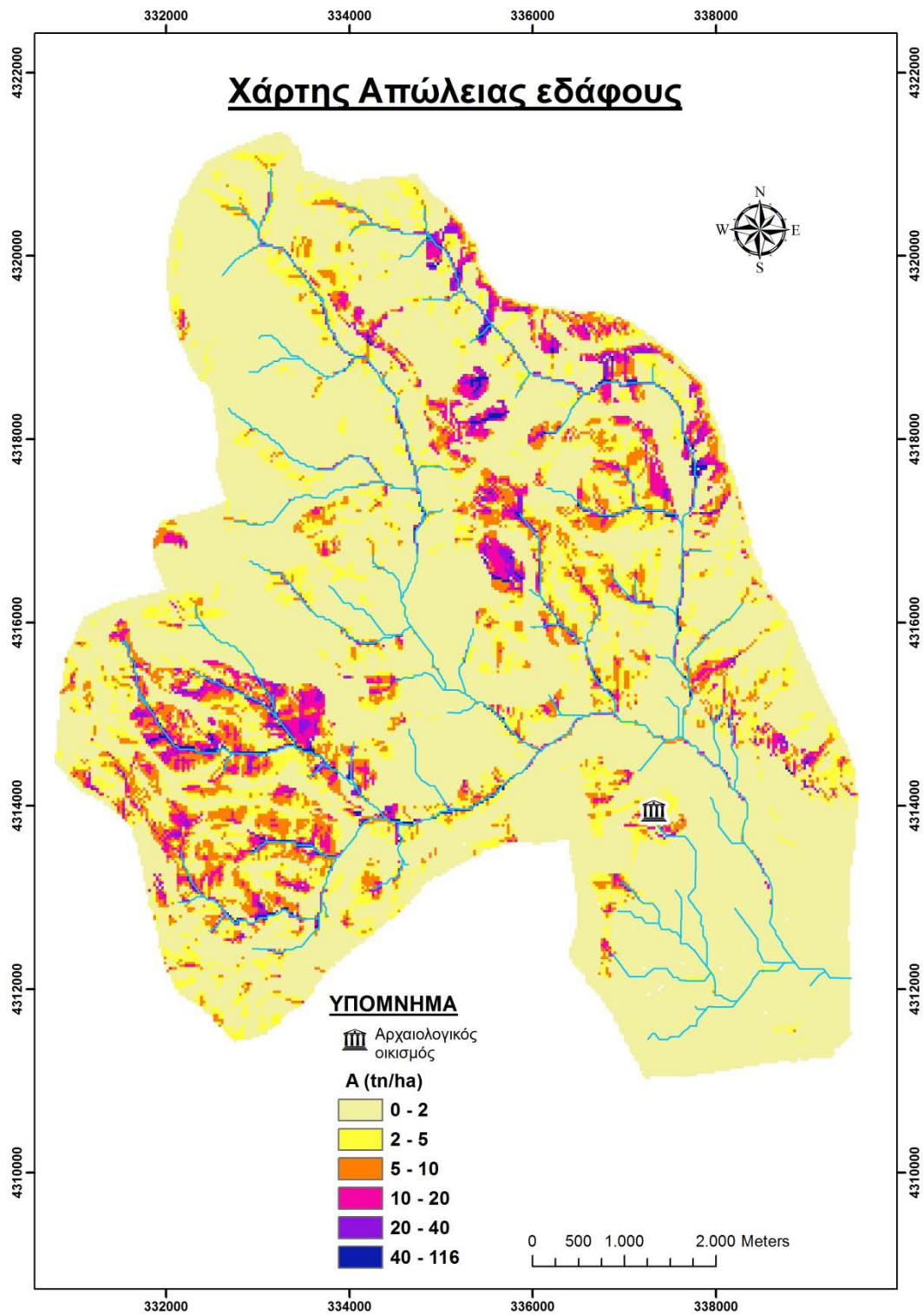
5.5.2 Εφαρμογή στην περιοχή - Χάρτης απώλειας εδάφους

Από το συνδυασμό όλων των παραπάνω χαρτών προέκυψε ο χάρτης της απώλειας εδάφους του σχήματος 41. Το αποτέλεσμα του μοντέλου διάβρωσης δείχνει ότι στα ορεινά της περιοχής που οριοθετεί η λεκάνη του Ψαροφωλιά σημειώνονται υψηλές τιμές εδαφικής απώλειας εξαιτίας των ενδιάμεσων έως υψηλών τιμών SL και των υψηλών τιμών C που αντιπροσωπεύουν εκτάσεις καλλιεργήσιμες ή με χαμηλή βλάστηση που διευκολύνουν την εδαφική απώλεια. Στην περιοχή της λεκάνης του Χλιαράδη εμφανίζονται τα μικρότερα ποσά απώλειας εδάφους γεγονός που οφείλεται στις μικρές τιμές C που αντιστοιχούν σε δασώδεις περιοχές όπου το νερό της βροχής εμποδίζεται να φτάσει στο έδαφος και επίσης οι βαθιές ρίζες των δέντρων το συγκρατούν και πιθανώς το στρώμα φύλλων στην επιφάνεια του εδάφους εμποδίζει τη μεταφορά των ιζημάτων. Όσον αφορά την υπόλοιπη λεκάνη του Φυσσίνα, εμφανίζει υψηλές τιμές απώλειας εδάφους, σε περιοχές με ενδιάμεσες έως υψηλές τιμές SL. Σε αυτές τις περιοχές επικρατούν βοσκότοποι με χαμηλή βλάστηση, η οποία δεν μπορεί να εμποδίσει τη μεταφορά των ιζημάτων, και καλλιεργήσιμες εκτάσεις, όπου ενέργειες όπως η άροση μειώνουν την συνοχή του εδάφους και αυξάνουν την εδαφική διάβρωση. Παρατηρείται επίσης ότι οι περιοχές με αυξημένη

διάβρωση βρίσκονται σε πλαγιές τα νερά των οποίων καταλήγουν στην κοίτη κάποιου ρέματος. Χαμηλές τιμές απώλειας εδάφους σημειώνονται στο τμήμα της λεκάνης του Φυσίνα που βρίσκεται κοντά στην κύρια κοίτη του Σπερχειού και επικρατούν πολύ μικρές κλίσεις.

Με το μοντέλο που εφαρμόστηκε υπολογίστηκε μόνο το ποσό διάβρωσης και όχι το ποσό ιζηματογένεσης. Παρόλα αυτά μπορούν να εντοπιστούν οι περιοχές με υψηλό κίνδυνο ιζηματογένεσης. Οι περιοχές αυτές εμφανίζονται στο χάρτη με χαμηλό κίνδυνο διάβρωσης και διαδέχονται περιοχές με υψηλό κίνδυνο απ' όπου και μεταφέρονται τα ιζήματα. (Λυκούδης & Ζάρρης, 2002)

Στην περιοχή του αρχαιολογικού οικισμού οι τιμές διάβρωσης είναι από τις πιο χαμηλές του σημειώνονται στο χάρτη παρά το γεγονός ότι αυτή τη στιγμή η περιοχή του οικισμού καλύπτεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Συμπεραίνεται έτσι ότι ο ρόλος της διάβρωσης δεν θα μπορούσε να είναι καθοριστικής σημασίας σε ότι αφορά την απομάκρυνση του αρχαιολογικού στρώματος. Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι τα ίχνη κατοίκησης που εντοπίζονται σήμερα αντιπροσωπεύουν μια μικρής χρονικής διάρκειας ανθρώπινη εγκατάσταση.



Σχήμα 51.: Χάρτης απώλειας εδάφους.

6. Συμπεράσματα

Στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Μακρακώμης του νομού Φθιώτιδας διενεργήθηκε γεωμορφολογική μελέτη σε συνδυασμό με γεωαρχαιολογική μελέτη στον αρχαιολογικό οικισμό που βρίσκεται περίπου 2km βόρεια από την πόλη της Μακρακώμης στην περιοχή Αστέρια.

Η περιοχή τοποθετείται στις πλαγιές της δυτικής Όρθρυς με κλίμα που εντάσσεται στην Ηπειρωτική – Μεσογειακή ζώνη. Ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη Ωλονού – Πίνδου και καταλαμβάνεται κυρίως από το δεύτερο φλύσχη της ζώνης και μερικές αλλουβιακές αποθέσεις γύρω από τις κοίτες των ρεμάτων.

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται λοφώδες στη μεγαλύτερη του έκταση έως ημιορεινό. Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής σημειώνεται κοντά στην κύρια κοίτη του Σπερχειού ποταμού στα 110m και φτάνει μέχρι τα 1047m στην κορυφή Πασχάλευρα.

Η υδρολογική λεκάνη του παραποτάμου του Σπερχειού του Φυσίνα (4^{ης} τάξης) με τις υπολεκάνες του Ψαροφωλιά (4^{ης} τάξης) και του Χλιαράδη (3^{ης} τάξης) έπαιξαν βασικό ρόλο στους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για να μελετηθεί η μορφολογία της περιοχής. Η υψομετρική καμπύλη των λεκανών δείχνει ότι όλες οι λεκάνες βρίσκονται στο στάδιο Ωριμότητας του κύκλου της διάβρωσης.

Ενδείξεις πιθανής τεκτονικής επίδρασης εντοπίστηκαν εφαρμόζοντας τον μορφοτεκτονικό δείκτη της ασυμμετρίας λεκάνης (AF). Μόνο οι λεκάνες του Ψαροφωλιά και του Χλιαράδη εμφανίζονται να έχουν στραφεί δεξιόστροφα κάτι που είναι φανερό και από την ανάπτυξη των κλάδων τους. Παρόλα αυτά ο δείκτης μήκους – κλίσης (SL) δεν έδειξε την ύπαρξη τεκτονικής δράσης.

Όσον αφορά την γεωαρχαιολογική έρευνα αυτή βασίστηκε στα δεδομένα που προέκυψαν από τους πυρήνες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που διεξήχθησαν στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού. Σύμφωνα με την ανάλυση των προφίλ των γεωτρήσεων η περιοχή Αστέρια αποτελούσε ένα χερσαίο περιβάλλον κατά το Ολόκαινο. Επίσης η περιοχή δεν επηρεάστηκε καθόλου από την ποτάμια δράση η οποία γενικά στην περιοχή μελέτης είναι έντονη. Τα ρέματα βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον οικισμό και δεν θα μπορούσαν να τον επηρεάσουν με κάποιον τρόπο ούτε τη διαβίωση των τότε ανθρώπων αλλά ούτε και τη διατήρηση των

σημερινών αρχαιολογικών ευρημάτων. Η στρωματογραφία της περιοχής αποτελείται από ένα ανώτερο στρώμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε αργιλικά. Το στρώμα αυτό βρίσκεται στα 45-55cm από την επιφάνεια της γης, και μπορεί να θεωρηθεί το αρχαιολογικό στρώμα δηλαδή το στρώμα κατοίκησης. Γενικά όμως στο στρώμα αυτό η παρουσία των αρχαιολογικών ευρημάτων είναι μικρή και περιορίζεται μόνο στη παρουσία κάποιων τεμαχίων από κεραμικά. Το ενδιάμεσο στρώμα είναι ο μανδύας αποσάθρωσης ή ρεγκόλιθος του υποκείμενου φλύσχη με μικρό πάχος. Το τελευταίο στρώμα συναντάται στα 60-65cm από την επιφάνεια της γης και είναι το υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή ο φλύσχος.

Οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος όλων των πυρήνων συμφωνούν με τη στρωματογραφική ανάλυση. Το ανώτερο στρώμα με βάση τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας επίσης εντοπίζεται στα 45-55cm. Στο στρώμα αυτό οι τιμές είναι υψηλές αν και εμφανίζουν διακυμάνσεις. Με βάση τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας μπορούμε από το πάχος του στρώματος αυτού να αφαιρέσουμε τα πρώτα 10-20cm που μπορούν να οφείλονται σε σύγχρονες ανθρώπινες διεργασίες δεδομένου ότι στην περιοχή του οικισμού σήμερα υπάρχουν καλλιέργειες δένδρων και τα γεωργικά εργαλεία σε τέτοιου είδους καλλιέργειες δεν φτάνουν σε μεγαλύτερο βάθος. Κάτω από το ανώτερο αργιλούχο στρώμα οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι ιδιαίτερα χαμηλές και αντιπροσωπεύουν στρώματα ανεπηρέαστα από την ανθρώπινη δραστηριότητα που δεν έχουν έρθει και σε επαφή με τις επιφανειακές συνθήκες. Συμπίπτουν δηλαδή με τα στρώματα του μανδύα αποσάθρωσης και του υποβάθρου.

Το μοντέλου απώλειας εδάφους RUSLE εφαρμόστηκε στη λεκάνη απορροής του Φυσίνα. Γενικά στην περιοχή που οριοθετεί η λεκάνη του Ψαροφωλιά παρουσιάζεται κατά θέσεις έντονη εδαφική διάβρωση που οφείλεται στις απότομες κλίσεις και στο γεγονός ότι η περιοχή καλλιεργείται έντονα. Στην περιοχή της λεκάνης του Χλιαράδη εμφανίζεται η μικρότερη απώλεια εδάφους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στις μεγάλες δασώδεις εκτάσεις και λιγότερο στις απότομες κλίσεις του εμφανίζει. Στο υπόλοιπο της λεκάνης του Φυσίνα σημειώνονται υψηλές τιμές διάβρωσης κυρίως στα βόρεια και δυτικά ορεινά. Οι απότομες κλίσεις σε συνδυασμό με τη χαμηλή βλάστηση αυτών των περιοχών δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες έτσι ώστε να παρουσιάζεται εκτεταμένη εδαφική απώλεια. Στα νότια και δυτικά της λεκάνης του Φυσίνα βρίσκεται ο λόφος με τον αρχαιολογικό οικισμό. Αν και στα πιο ψηλά

τμήματα του λόφου ο χάρτης απώλειας εδάφους σημειώνει σχετικά μεγάλες τιμές, στην περιοχή που έγιναν οι γεωτρήσεις και οι ηλεκτρικές γεωφυσικές διασκοπήσεις η ετήσια απώλεια εδάφους είναι πολύ μικρή. Από όλα αυτά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εδαφική διάβρωση δεν ευθύνεται για την εικόνα των αρχαιολογικών ευρημάτων.

Από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν η MKR-1 η οποία έγινε στο ανώτερο τμήμα του οικισμού, όπως οριοθετήθηκε από το χάρτη των ηλεκτρικών διασκοπήσεων, δεν εμφανίζει καθόλου αρχαιολογικό στρώμα και τα πρώτα 20 cm που παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με τα βαθύτερα οφείλονται πιθανώς σε σύγχρονες ανθρώπινες διεργασίες (π.χ. άροση). Με βάση τα δεδομένα των υπόλοιπων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων MKR-2 έως MKR-8 τόσο η στρωματογραφική ανάλυση όσο και οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας δίνουν ένα αρχαιολογικό στρώμα μικρού πάχους που φτάνει μέχρι τα 45-55 cm από την επιφάνεια της γης. Το μικρού πάχους και κατ' επέκταση φτωχό αρχαιολογικό στρώμα δεν σχετίζεται με την επιφανειακή συγκέντρωση κεραμικής η οποία θα μπορούσε να υποδηλώσει ένα πλούσιο αρχαιολογικό στρώμα. Επίσης η εφαρμογή του μοντέλου απώλειας εδάφους έδωσε πολύ χαμηλές τιμές ετήσιας απώλειας υλικού στην περιοχή που οριοθετείται ο οικισμός. Οι χαμηλοί αυτοί ρυθμοί διάβρωσης δεν είναι ικανοί να μειώσουν το πάχος του αρχαιολογικού στρώματος. Το αρχαιολογικό στρώμα που αρχίζει μόλις από τα 20 cm από την επιφάνεια της γης δημιουργήθηκε πιθανώς από μια παροδική ή μικρής διάρκειας κατοίκηση που δεν επέτρεψε τη δημιουργία και απόθεση μεγαλύτερου πάχους αρχαιολογικών λειψάνων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής ειδίκευσης αποτέλεσε η γεωαρχαιολογική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο “Αστέρια” στη Μακρακώμη Φθιώτιδας. Στη διατριβή ειδίκευσης εξετάστηκε η γεωμορφολογία της περιοχής αναλύοντας το υψομετρικό καθεστώς και την κατανομή των κλίσεων που παρουσιάζει το ανάγλυφο. Η υδρογραφία της ευρύτερης περιοχής αναλύθηκε εξετάζοντας την ανάπτυξη των κλάδων των ποταμών και εφαρμόζοντας μορφομετρικούς και μορφοτεκτονικούς δείκτες τόσο για το υδρογραφικό δίκτυο όσο και για τις λεκάνες απορροής. Επιπλέον εξήχθησαν συμπεράσματα για την τεκτονική της περιοχής βασιζόμενα στην μελέτη του υδρογραφικού δικτύου. Έλαβαν χώρα δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με τη βοήθεια ενός κρουστικού δειγματοληπτικού γεωτρύπανου, στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου, προκειμένου να οδηγηθούμε στην ανάδειξη της στρωματογραφίας του οικισμού και στον εντοπισμό του πάχους και του επιπέδου κατοίκησης. Παράλληλα οι μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας συνέβαλαν στον προσδιορισμό των ορίων μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών στρωμάτων που κυμαίνεται μεταξύ 45-55 cm από την επιφάνεια της γης. Τέλος επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε το μοντέλο απώλειας εδάφους RUSLE (Revised Universal Soil Erosion Equation) στη λεκάνη απορροής του ποταμού Φυσίνα, παραπόταμου του Σπερχειού ποταμού, ώστε να υπολογιστεί η ποσότητα των ιζημάτων που απομακρύνεται από το χώρο του οικισμού και πως αυτή επηρέασε την σημερινή εικόνα των αρχαιολογικών στρωμάτων.

ABSTRACT

The aim of this post-graduate thesis was the Geoarchaeological study of the archaeological site "Asteria" in Makrakomi village of Fthiotida. The Thesis examined the geomorphology of the study area analyzing the elevation data and distribution of slope angles of the surface relief. The hydrological regime of the region was analyzed by examining the evolution river's streams and applying morphometric and Morphotectonic indices for both the drainage network and its river basins. Further conclusions were reached for the tectonics of the region based on the study of the drainage network. Sampling drillings took place, with the aid of vibracore-drilling in the area of the site, in order to cast light on the stratigraphy of the ancient settlement and to identify the thickness and the stratigraphic level of occupancy. While the magnetic susceptibility measurements have helped identify the boundaries between layers of natural and manmade stratas, which were found from 45 cm to 55 cm from the surface of the earth. Finally the soil loss model RUSLE (Revised Universal Soil Erosion Equation) was selected and applied on Fisina's river basin, which is a tributary of Sperchios River, in order to calculate the amount of sediment that was removed from the area of the settlement and to determine how it affected the current position of archaeological strata.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αστάρας, Θ. (1980). *Ποσοτική Γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δ. πλευρών του όρους Βερτίσκου (Κ. Μακεδονία)*. [Διδακτορική Διατριβή]
- Βουβαλίδης, Κ. (2002). *Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας*. Τμήμα εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ευθυμίου, Γ., Μερτζάνης, Α., Σαπουντζής, Μ., Ζακυνθινός, Γ. (2005). *Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο δέλτα του ποταμού Σπερχειού- μέτρα προστασίας, ανάδειξης και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων*. HELECO, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Ζάρρης, Δ., Λυκούδης, Ε., Κουτσογιάννης, Δ., (2011). *Τελική Έκθεση, Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 243 σελίδες, Αθήνα.*
- Θεοδωρακοπούλου, Α. (2009). *Η επίδραση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών στην παλαιογεωγραφική εξέλιξη αρχαιολογικών θέσεων και στη διατήρηση των καταλοίπων αυτών*. [Διδακτορική Διατριβή]
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1970). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, 1:50.000. Φύλλο Σπερχειάς.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1962). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, 1:50.000. Φύλλο Λεοντάριον.
- Καρκάνας, Π., (2008) *Σημειώσεις γεωαρχαιολογίας*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.
- Κουράκλη, Π., Στεφανίδης, Π., (2011). *Διάβρωση και ανάπτυξη μοντέλων διάβρωσης στην Ευρώπη*, 4ο Περιβαλλοντικό συνέδριο Θεσσαλονίκης, Ενότητα V.
- Λυκούδης, Ε., Ζάρρης, Δ. (2002). *Πρόσβλεψη περιοχών υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Κεφαλληνία με χρήση της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας*. 6^ο Γεωγραφικό συνέδριο Θεσσαλονίκης, Τόμος II, 412-416
- Μουντράκης, Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδος*, University studio press, Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης, Δ (1988). *Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου*, Τμήμα εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Μπαλαφούτης, Χ., Μαχαίρας, Π., (1985). *Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας – Με Στοιχεία Βιοκλιματολογίας*. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.

- Παπαρρίζος, Σ., Χατζημηνιάδης, Α.Μ., (2010). *Το χειμαρρικό περιβάλλον του ποταμού Σπερχειού*. [Πτυχιακή Εργασία]
- Πέννος, Χ., (2009). *Γεωμορφολογική μελέτη της λεκάνης του Αγγίτη ποταμού*. [Διατριβή Ειδίκευσης]
- Πεχλιβανίδου, Σ., (2012). *Ιζηματολογικά και φυσικογεωγραφικά μοντέλα ανάπτυξης Ολοκαινικών Δελταϊκών ακολουθιών στην κοιλάδα του Σπερχειού ποταμού*. [Διδακτορική Διατριβή]
- Τσόκας, Γ., Τσούρλος, Π., Βαργεμέζης, Γ., Βουβαλίδης, Κ., Σταμπολίδης, Α., Φίκος, Η., Διαμαντή, Ν. (2012). *Γεωφυσική διασκόπηση στο θέατρο της αρχαίας Ασκληπιάδας*. Θεσσαλονίκη.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Aidona, E., Sarris, A., Kondopoulou, D., Sanakis, I., (2001). *Application of Magnetic and Spectrometry Methods in the Detection of Human Activity in Soils: A Case Study at the Archaeological Site of Kitros (Northern Greece)*. *Archaeological Prospection*: **8**, 187–198
- Arnoldus, H.M.J. (1980). *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*. In: De Boodt, M. & Gabriels, D. (eds): *Assessment of erosion*, p. 127-132. Wiley, Chichester.
- Broscoe, A. (1959). *Quantitative analysis of longitudinal stream profiles of small watersheds*. Techn. Report, No. 18, office of Naval Research, Geogr. Branch, Department of Geology, Columbia university, New York.
- Commission of the European Communities (1994). *Corine Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community*.
- De Vente, & Poesen J., (2005). *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models*. *Earth-Science Reviews* 71, 95–125
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan. A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., (2010). *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran*. doi:10.1016/j.geomorph.2010.05.002

- De Jong, E., Nestor, P.A., Pennock, D.J., (1997). *The use of magnetic susceptibility to measure long-term soil redistribution*. Catena 32 _1998. 23–35
- Demek, J. (1972) (Ed.) *Manual of detailed geomorphological mapping*. Academia, Prague, pp. 344.
- Dikau, R., (1989). *The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology*. In Raper, J. (Ed.): Three Dimensional Application in Geographic Information Systems, p: 51-77
- Getahun, Mulatie Mekonnen (2011). *GIS for Watershed based natural resource management*, LAP Lambert Academic Publishing.
- Ghilardi, M., Kunesch, S., Styllas, M., Fouache, E. (2008). *Reconstruction of Mid-Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece), based on microfaunal identification, magnetic susceptibility and grain-size analyses*, Geomorphology: 97, 617–630
- Ghilardi, M., Collet, M., Pavlopoulos, K., Fachard, S., Psomiadis, D., Rochette, P., Demory, F., Knodell, A., Triantaphyllou, M., Delanghe-Sabatier, D., Bicket, A., Fleury, J. (2013). *Geoarchaeology of Ancient Aulis (Boeotia, Central Greece): human occupation and Holocene landscape changes*. Journal of Archaeological Science 40, 2071-2083
- Herz, N. & Garrison, G. E. (1998). *Geological methods for archaeology*, Oxford University Press, Oxford and New York.
- Horton, R.E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative morphology*. Bulletin of the Geological Society of America. 56, 275-370
- Keller, E. & Pinter, N., (1996). *Active tectonics, earthquakes, uplifts and landscape*, Second edition, Prentice – Hall, Inc., New Jersey
- Moore, I.D., Turner, A.K., Wilson, J.P., Jenson, S.K. & Band, L.E. (1993). *GIS and land-surface-subsurface process modeling*. In: Goodchild, M.F.R., Parks, B.O. & Steyaert, L.T. (eds): Environmental modeling with GIS, p. 196-230.
- Mullins, C.E., 1977, Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-a review, J.Soil. Sci., Vol. 28, 223-246.
- Panagopoulos, T., Ferreira, V. (2010). *Erosion Risk Map of a Foupana River Watershed in Algarve, Portugal*, WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 9, Volume 6.

- Psomiades, E., Parcharidis, I., Poulos, S., Stamatis, G., Migiros, G., Pavlopoulos, A., (2005). *Earth observation data in seasonal and long term coastline changes monitoring: The case of Sperchios river delta (Central Greece)*, Z. Geomorph. N.F., p. 159-175.
- Renard, K. & Freimund, J. (1993). *Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE*. Journal of Hydrology 157 (1994) 287-306
- Renfrew, C. (1976). *Archaeology and the earth sciences*, in *Geoarchaeology: Earth science and the past*, Davidson D and Shackley M (eds), Boulder, 1-5
- Römken, M.J.M, Prasad, S.N. & Poesen, J.W.A. (1986). *Soil erodibility and properties*. Trans. 13th congress of the Int. Soc. Of Soil Sci., Hamburg, Germany 5, p. 492-504.
- Sadiki A., Faleh A., Navas A., Bouhlassa S. (2009). *Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 34 (15), 2057-2069
- Strahler, A.N. (1969). *Physical Geography*. 3d ed. New York, NY: J. Wiley & Son, 733pp.
- Sigalos, G., Loukaidi, V., Dasaklis, S., Alexouli-Livaditi, A. (2010). *Assessment of the quantity of the material transported downstream of Sperchios river, central Greece*. Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patras
- Thompson R., Olfield F. (1986) *Environmental magnetism*, Allen & Unwin, London
- The Makrakomi archaeological Landscape Project (MALP)*, A preliminary report on investigations carried out in 2010-2012.
- Tuan, L.T. & Shibayama, T. (2003). *Application of GIS to Evaluate Long Term Variation of Sediment due to Coastal Environment*, Coastal Engineering Journal, JSCE, 45(2), 275-293.
- Van der Knijff, M.J., Jones, R.J.A., Montanarella, L., (2000). *Soil Erosion Risk Assessment in Europe*, European soil bureau, Joint Research Center of the European Commission.
- Vouvalidis, K., Syrides, G., Pavlopoulos, K., Pechlivanidou, S., Tsourlos, P., Papakonstantinou, M.-F. (2010) *Palaeogeographical reconstruction of the battle terrain in ancient Thermopylae, Greece*. Geodynamica Acta, 23/5-6, p.241-253

- Vouvalidis, K., Syrides, G., Pavlopoulos, K., Papakonstantinou, M., Tsourlos, P. (2009). *Holocene palaeoenvironmental changes in Agia Paraskevi prehistoric settlement, Lamia, Central Greece*. Quaternary International, xxx 1–11
- Tsokas, G, Tsourlos, P., Stampolidis, I., Fikos, I., Tassis, G., Papakonstantinou, M.F., Psarogianni, K. (Painting printing) *Geophysical investigations in area C (Asteria)*.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses –a guide for conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537