ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΜΙΧΑΗΛ Γ. ΔΑΣΚΑΛΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης στην περιοχή του Ρήχιου ποταμού

Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης

Θεσσαλονίκη
2015

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΜΙΧΑΗΛ Γ. ΔΑΣΚΑΛΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης στην περιοχή του Ρήχιου ποταμού

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

Επιβλέπων καθηγητής:

Αλμπανάκης Κωνσταντίνος: Αναπληρωτής Καθηγητής

Υπόλοιπα μέλη τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής:

Τσούρλος Παναγιώτης: Αναπληρωτής Καθηγητής

Βουβαλίδης Κωνσταντίνος: Αναπληρωτής Καθηγητής

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°

© ΜΙΧΑΗΛ Γ. ΔΑΣΚΑΛΟΥ, 2015
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

«ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΡΗΧΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ»

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Αφιερώνεται

στη μνήμη του παππού μου

Βαλή Ευστράτιου

και στους γονείς μου

Γεώργιο και

Ευαγγελία

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης με θέμα**:** Παλαιογεωγραφική Εξέλιξη του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης και του Ρήχειου ποταμού, εκπονήθηκε στον τομέα Φυσικής και περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κατά τη διάρκεια των ετών 2013-2015.

Με την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής θα ήθελα εξαρχής να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα της εργασίας μου, Αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας και διευθυντή του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. **Κωνσταντίνο Αλμπανάκη** για τις γνώσεις και συμβουλές που μου μετέφερε όπως και για την σωστή επιστημονική καθοδήγηση και την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών για την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου κ. **Παναγιώτη Τσούρλο** για τις επιστημονικές γνώσεις και την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλο αυτό διάστημα πάνω στον τομέα των ηλεκτρικών γεωφυσικών διασκοπήσεων που χωρίς την βοήθεια του δεν θα ερχόταν σε πέρας.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω επίσης στον Αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας και μέλος επίσης της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου κ. **Κωνσταντίνο Βουβαλίδη** για τις επιστημονικές γνώσεις και συμβουλές που μου μετέφερε σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Λέκτορα του τμήματος Γεωλογίας κ. **Δημήτριο Οικονομίδη** για την πολύτιμη βοήθεια μου παρείχε πάνω στο λογισμικό του ArcGis.

Ευχαριστώ επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα **Χρήστο Δομακίνη** για τις πολύ εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε καθώς και για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση του πάνω στο λογισμικό του ArcGis.

Δεν πρέπει να παραλείψω να ευχαριστήσω τις συμφοιτήτριες στον μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών **Γεωργία Καραδήμου** και **Σοφία Δοάνη** για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των υπαίθριων ηλεκτρικών γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Ακόμη πολλές ευχαριστίες στους συναδέλφους και φίλους στο μεταπτυχιακό κύκλο σπουδών: **Αλέξανδρο Γαϊτανόπουλο, Λαμπρινή Δεργιανλή, Μαρίνα Καλπάκη**, **Γιάννη Καραμήτρο, Λία Ολάσογλου, Δήμητρα Παλάντζα, Αγγελική Ρεϊζοπούλου και Σάββα Χρυσουλίδη** για την συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το χρονικό διάστημα, καθώς επίσης και σε όλο το επιστημονικό και διοικητικό προσωπικό του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για την οικονομική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν, την υπομονή τους καθώς και την αμέριστη συνεισφορά τους στο να ξεπεράσω τις όποιες δυσκολίες ώστε να επιτευχθεί η εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....06

1. Εισαγωγή..... 10

2. Γενικά στοιχεία..... 11

Α. Εισαγωγικά στοιχεία ευρύτερης Μυγδονίας λεκάνης..... 11

2.1. Γεωμορφολογική τοποθέτηση..... 11

2.2. Κλίμα και κλιματικά στοιχεία 12

2.3 Ιστορικά στοιχεία 12

2.4. Γεωλογική τοποθέτηση.....14

2.4.1. Προαλπικό υπόβαθρο..... 14

2.4.2. Νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί.....16

2.4.2.1 Προμυγδονιακή ομάδα.....17

2.4.2.2. Μυγδονιακή ομάδα.....20

2.5. Τεκτονικές δομές 20

2.6. Γεωλογική εξέλιξη Μυγδονίας λεκάνης.....21

Β. Εισαγωγικά στοιχεία περιοχής μελέτης..... 23

2.7. Γεωμορφολογική τοποθέτηση 23

2.8. Κλίμα και κλιματικά στοιχεία.....25

2.9. Γεωλογική τοποθέτηση..... 27

3. Μεθοδολογία.....32

3.1. Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης..... 32

3.1.1. Ταξινόμηση αναγλύφου.....32

3.1.2. Κλίση αναγλύφου..... 33

3.1.3. Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου..... 33

3.1.4. Δείκτης δαντέλωσης μετώπου όρους.....34

3.2. Υδρογραφικές συνθήκες.....35

3.2.1. Ανάλυση υδρογραφικού συστήματος..... 35

3.2.2. Ποιοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου..... 35

3.2.3. Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου……..…… **36**

3.2.3.1. Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα…...… **37**

3.2.3.2. 1ος νόμος του Horton……...……..**40**

3.2.3.3. 2ος νόμος του Horton……...……..**40**

3.2.3.4. Υδρογραφική πυκνότητα…….…… **41**

3.2.3.5. Υδρογραφική συχνότητα……..…… **42**

3.2.3.6. Λόγος αναγλύφου…….…… **42**

3.2.3.7. Λόγος επιμήκυνσης……..……**43**

3.2.3.8. Βαθμός τραχύτητας……..…….....**43**

3.2.3.9. Δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης……..…… **44**

3.2.3.10. Δείκτης μήκους κλίσης ρέματος…….…….... **45**

4. Εργασία πεδίου…….……..**46**

4.1. Σύστημα εντοπισμού απόλυτου υψομέτρου μέσω του βαρόμετρου…… **46**

4.1. Διεξαγωγή ηλεκτρικών διασκοπήσεων…..…..……..**47**

4.2. Ανάλυση ηλεκτρικών τομογραφιών……..……..... **49**

5. Αποτελέσματα…… **50**

5.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες…….…… **50**

5.1.1. Ταξινόμηση αναγλύφου…….……**51**

5.1.2. Κλίση αναγλύφου…….…… **53**

5.1.3. Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου…….…….... **56**

5.1.4. Χάρτης τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων……..…….....**58**

5.1.5. Δείκτης δαντέλωσης μετώπου όρους……..……...**59**

5.2. Υδρογραφικές συνθήκες……...…… **61**

5.2.1. Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα…...……..... **61**

5.2.2. 1ος νόμος του Horton……..……**67**

5.2.3. 2ος νόμος του Horton……..……**68**

5.2.4. Υδρογραφική πυκνότητα…….…….. **69**

5.2.5. Υδρογραφική συχνότητα……..…… **70**

5.2.6. Λόγος αναγλύφου…….. **71**

5.2.7. Λόγος επιμήκυνσης……..…….**71**

5.2.8. Βαθμός τραχύτητας…….……...**72**

5.2.9. Δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης……... **73**

5.2.10. Δείκτης μήκους κλίσης ρέματος…… **74**

5.3. Ανάλυση ηλεκτρικών τομογραφιών…… **78**

5.3.1. Ηλεκτρική τομογραφία DD1…….... **84**

5.3.2. Ηλεκτρική τομογραφία DD2…….... **86**

5.3.3. Ηλεκτρική τομογραφία DD3…….... **88**

6. Σύνοψη..... **90**

7. Συμπεράσματα……...….**93**

Περίληψη…….……...**95**

Abstract……..**96**

Βιβλιογραφία……..…..**97**

Κεφάλαιο 1^{ο}: Εισαγωγή

Σε αυτή τη διατριβή ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε μελέτη της γεωμορφολογίας του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης, στην περιοχή του Ρήχειου ποταμού και ερευνήθηκε η επίδραση που ασκείται από τις εξωγενείς και τις ενδογενείς διεργασίες όσον αφορά τη διαμόρφωση του μορφολογικού του ανάγλυφου. Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά θεματικά δεδομένα με τα οποία έγινε συσχέτιση με το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της λεκάνης με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Παρουσιάζονται δεδομένα που αφορούν το μορφολογικό και το υδρογραφικό ανάγλυφο της λεκάνης και καταγράφηκαν οι σημαντικότερες γεωμορφές αυτού, ενώ μετρήθηκε τέλος το πάχος του υποβάθρου με τη χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης.

Για την πραγμάτωση της διατριβής χρησιμοποιήθηκαν ο γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) Φύλλο Σταυρός, καθώς και ο τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.), Φύλλο Σταυρός. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν σε λογισμικό πρόγραμμα Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (ArcGis10). Ψηφιοποιήθηκε η λιθολογία της περιοχής μελέτης, η τεκτονική, το υδρογραφικό δίκτυο και οι ισοϋψείς καμπύλες για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου πάνω στο γεωλογικό και τοπογραφικό χάρτη. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση και την επεξεργασία των δεδομένων είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ’87.

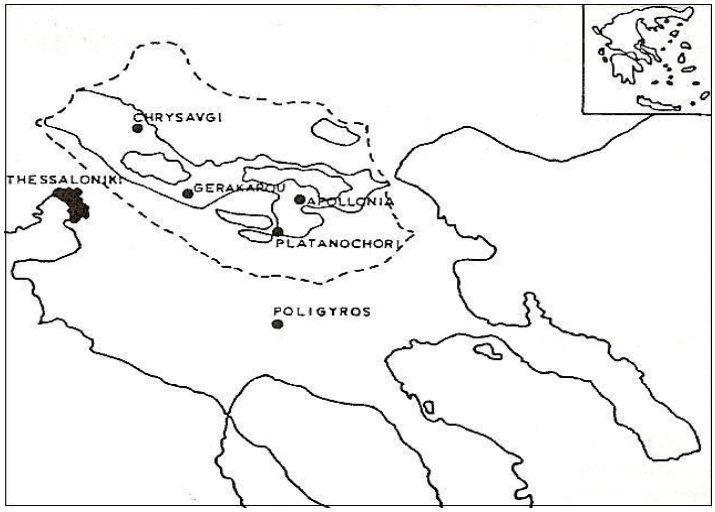
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 2^{ο}: Γενικά στοιχεία

Α. Εισαγωγικά στοιχεία ευρύτερης Μυγδονίας λεκάνης

2.1 Γεωμορφολογική τοποθέτηση

Η Μυγδονία λεκάνη αποτελεί ένα ενεργό τεκτονικό βύθισμα, και είναι μέρος ενός ευρύτερου βυθίσματος που ονομάζεται Μυγδονιακό, που χωρίζει τη χερσόνησο της Χαλκιδικής με τη Μακεδονία. Περιλαμβάνει τις γειτονικές λεκάνες του Ζαγκλιβερίου, της Μαραθούσης και των Βρωμολιμνών. Τοποθετείται 30 km ΒΒΑ της πόλης της Θεσσαλονίκης και η έκταση της είναι 2115 km². Η διεύθυνση της είναι Ανατολή – Δύση και πιο συγκεκριμένα από το Όρος Καμήλας μέχρι τη Ρεντίνα. Τα όρια της λεκάνης είναι ο υδροκρίτης των όρεων: Βόλβης και Βερτίσκου στα Βόρεια, Κερδυλλίων και Στρατονίκου στα Ανατολικά, Χορτιάτη και Χολομώντα στα Νότια, ενώ στα δυτικά υπάρχει έλλειψη σαφών φυσικών ορίων.



Χάρτης 1: Χάρτης Μυγδονίας λεκάνης (Koufos, et al., 1995)

Η λεκάνη της Μυγδονίας χωρίζεται σε 2 υπολεκάνες: την υπολεκάνη της Βόλβης με διεύθυνση Α-Δ που περιλαμβάνει την λίμνη Βόλβη καθώς και την υπολεκάνη του Λαγκαδά με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ που περιλαμβάνει τη λίμνη Κορώνεια. Και οι 2 λίμνες είναι υπολειμματικές μορφές της Πλειστοκαινικής Μυγδονίας λίμνης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.2 Κλίμα και κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα αποτελεί έναν από τους κυριότερους εξωγενείς παράγοντες που διαμορφώνουν την επιφάνεια του εδάφους μέσα από τις διεργασίες της διάβρωσης και της αποσάθρωσης. Αποτελεί το μέσο όρο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή. Λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τις παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας, όπως η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία, τα κατακρημνίσματα, η ταχύτητα και η διεύθυνση των ανέμων που δρούνε σε μια υδρολογική λεκάνη και καθορίζουν την διάβρωση, την αποσάθρωση, το επιφανειακό και το υπόγειο υδρογραφικό δίκτυο και την μεταφορά των ιζημάτων. Οι κλιματικές συνθήκες μπορούν εύκολα να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στο ανάγλυφο και ιδιαίτερα σε τοπογραφικές ενότητες περιορισμένης έκτασης. Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό το έδαφος, καθώς και τα είδη της βλάστησης από αυτό. Το κλίμα είναι ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία των διάφορων γεωμορφών καθώς επίσης και για την ανάπτυξη των υδρογραφικών δικτύων σε μια λεκάνη απορροής.

Το κλίμα στην Μυγδονία λεκάνη θεωρείται Μεσόθερμου τύπου (ενός ενδιάμεσου τύπου μεταξύ του Μεσογειακού και του Ηπειρωτικού). Με την ξηρή περίοδο να εμφανίζεται τους θερινούς μήνες, ενώ οι χειμερινοί μήνες είναι ήπιας μορφής και με υγρή περίοδο. Στα ανώτερα υψόμετρα επικρατούν δριμύτερες κλιματικές συνθήκες με το μέσο ύψος βροχής σπάνια να ξεπερνάει τα 650mm στις ημιορεινές περιοχές ενώ στις πεδινές περιοχές να ανέρχεται στα 600mm. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα είναι περίπου 15°C (Μυλόπουλος και συν., 2001). Η ύπαρξη βλάστησης μεσογειακού τύπου στα παραλίμνια τμήματα συνηγορεί στην άποψη του μεσογειακού τμήματος. Τονίζεται ότι η λίμνη Βόλβη για το ανατολικό τμήμα (όπως και η λίμνη Λαγκαδά για το δυτικό) αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα για το κλίμα της περιοχής, και οι υδάτινοι τους όγκοι αποτελούν αποθήκες θερμότητας, επηρεάζοντας έτσι τη θερμοκρασία και την υγρασία όσον αφορά την περιοχής μελέτης. Έτσι οι καύσωνες και οι παγετοί είναι μικρότερης έντασης και διάρκειας γύρω από τη λίμνη (Μυλόπουλος και συν., 2001).

2.3. Ιστορικά στοιχεία

Η Μυγδονία, ήταν η περιοχή που εκτεινόταν γύρω από την λίμνη Βόλβη (Θουκυδίδης 1.58.2), βόρεια της Χαλκιδικής και νότια από την Κρηστωνία και τη Βισαλτία.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ο Όμηρος μας πληροφορεί (Ιλιάς XXI 209–211) πως ο Παίονας ευγενής Μύδων σκοτώνεται από τον Αχιλλέα κατά την διάρκεια του Τρωικού πολέμου. Κατά την διάρκεια του 5ου αιώνα προ Χριστού, στην περίοδο της βασιλείας του Αλέξανδρου Ι (495-452 προ Χριστού), ο Ηρόδοτος περιγράφει την Μυγδονία ως μια ιδιαίτερα ξεχωριστή περιοχή στη Μακεδονία.

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο (VII 123.3) περιγράφοντας την εκστρατεία του Ξέρξη εναντίον της Ελλάδος το 480 προ Χριστού, αναφέρεται ότι το Περσικό Ναυτικό μπήκε στο Θερμαϊκό Κόλπο, πηγαίνοντας κατά μήκος της Μυγδονίας. Εξασφάλισε την κατοχή της Θέρμης, Σίνδου και Χαλάστρας, ενώ προς τα Δυτικά, ο Αξιός χώριζε την Μυγδονία από την Βοττιαία. Ο Θουκυδίδης δίνει πλήρη περιγραφή της Μακεδονικής εξάπλωσης στα εδάφη άλλων λαών και αναφέρει πως οι Αργεάδες βασιλείς εκδίωξαν τους Ήδωνες από την Μυγδονία (Θουκυδίδης ΙΙ, 99). Πιθανολογείται οι Μύγδονες αποτελούσαν μέρος του βασιλείου των Ηδωνών και ήταν συγγενικό φύλο με αυτούς.

Οι κυριότερες πόλεις της Μυγδονίας, σύμφωνα πάντα με αρχαίες γραμματειακές πηγές ήταν η Απολλωνία, η Αρέθουσα, ο Βρομίσκος ή Βορμίσκος, η Χαλάστρη ή Χαλέστρη, η Ηράκλεια, η Λητή, η Σίνδος και η Θέρμη.

Το όνομα της Μυγδονίας γεννήθηκε κατά την αρχαιότητα για να δηλώσει τους πρώτους κατοίκους αυτού του πλούσιου και εύφορου χώρου και μας καθορίζει και εξηγεί την τοπική σημασία σε μια διασταύρωση πολύτιμων στοιχείων του νερού, του εδάφους και την παραγωγικότητα της γης. Το πρώτο συνθετικό της λέξης Μύγδων είναι το άκλιτο Μ, το δωδέδακατο γράμμα του ελληνικού αλφάβητου που πλοήλθε από το δέκατο τρίτο του φοινικικού αλφάβητου μεμ που δηλώνει την λέξη νερό. Το δεύτερο συνθετικό αυτής της λέξεως γδών είναι ίσο με το χθων που δηλώνει το έδαφος.

Πρέπει, επομένως, να γίνει παραδεκτό και να θεωρηθεί απόλυτα πειστική η ερμηνεία της λέξεως Μύγδων και Μύχθων με τις παράγωγες λέξεις Μυγδονία και Μυχθονία ως την περιοχή που είναι πολύ εύφορη με πολλά νερά. Ο Αξιός, από τη μια μεριά, και ο Στρυμόνας, από την άλλη, έως 2 υδάτινα σύνορα της περιοχής, μαζί με τους εποχιακούς παραποτάμους διασχίζουν ακόμα και σήμερα τις καταπράσινες και καρποφόρες πεδιάδες της.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Οι αρχαίες Μυγδονιακές λίμνες, η Κορώνεια και η Βόλβη, έθρεψαν με τα ψάρια τους για χιλιάδες χρόνια τους κατοίκους της περιοχής και αποτελούν δύο μεγάλες δεξαμενές νερού.

2.4. Γεωλογική τοποθέτηση

2.4.1. Προαλπικό υπόβαθρο

Το προαλπικό υπόβαθρο της Μυγδονίας λεκάνης από γεωτεκτονική άποψη υπάγεται στην Σερβομακεδονική μάζα, με εξαίρεση το δυτικό τμήμα της το οποίο και αποτελεί το όριο της Σερβομακεδονικής με την Περιροδοπική ζώνη. Το όριο του υποβάθρου εξακριβώνεται πολύ δύσκολα διότι εντοπίζεται κάτω από τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της Μυγδονίας λεκάνης που καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις.

- Η **Σερβομακεδονική** μάζα συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που ανήκουν σε 2 μεγάλες σειρές: την κατώτερη σειρά των Κερδυλλίων και την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου (Μουντράκης, 1985). Η σειρά των Κερδυλλίων αποτελείται από ορθογνεύσιους και παραγνεύσιους, μιγματίτες, μάρμαρα και αμφιβολίτες. Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται κατά κύριο λόγο από πετρώματα της ανώτερης σειράς του Βερτίσκου που αποτελούνται από βιοτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, οφθαλμογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μεταγάβρους, μεταδιαβάσες, αμφιβολίτες καθώς και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων.

Σχήμα 1: Σερβομακεδονική Μάζα (Μουντράκης ,1985).

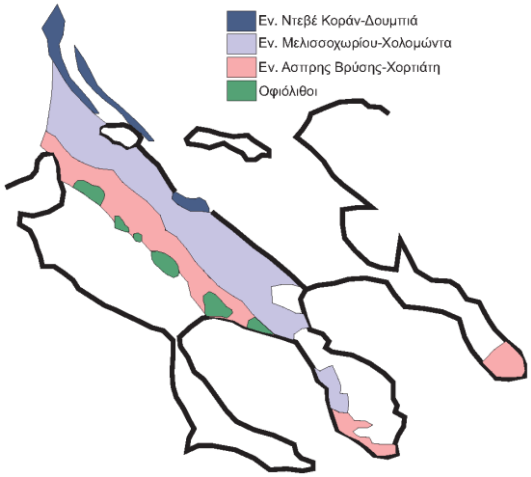
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Η **Περιροδοπική** εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 χιλιομέτρων, με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ στα δυτικά της Σερβομακεδονικής και χωρίζεται σε 3 μεγάλες ενότητες : Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

  Η ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά περιλαμβάνει στη βάση της μετακλαστικά ιζήματα ακολουθεί μια ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά μέσα στην οποία βρίσκονται ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι και ολοκληρώνεται προς τα πάνω με την απόθεση μιας ανθρακικής νηριτικής σειράς που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς. Η ηλικία της ενότητας είναι Μεσο-Τριαδική έως Μεσο-Ιουρασική.

  Η ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη έκταση από τις τρεις και εκτείνεται από τη λίμνη Δοϊράνη μέχρι το Χολομώντα. Ο κατώτερος σχηματισμός της είναι μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, ηλικίας Μέσου - ΄Ανω Τριαδικού. Ο ανώτερος σχηματισμός, ηλικίας Κάτω – Μέσου Ιουρασικού, αποτελείται από τουρβιδικές εναλλαγές ψαμμιτών, μαργών και ασβεστολιθικών ενστρώσεων και είναι γνωστός ως φλύσχης της Σβούλας.

  Η ενότητα ΄Ασπρης Βρύσης – Χορτιάτη αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης, περνά από το Χορτιάτη, φτάνει στο νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου κάμπτεται και συνεχίζει στο άκρο του Αγίου ΄Ορους. Μετακλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα, ανάλογα της ενότητας Δουμπιάς, αποτελούν τα κατώτερα τμήματα. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (φυλλίτες).

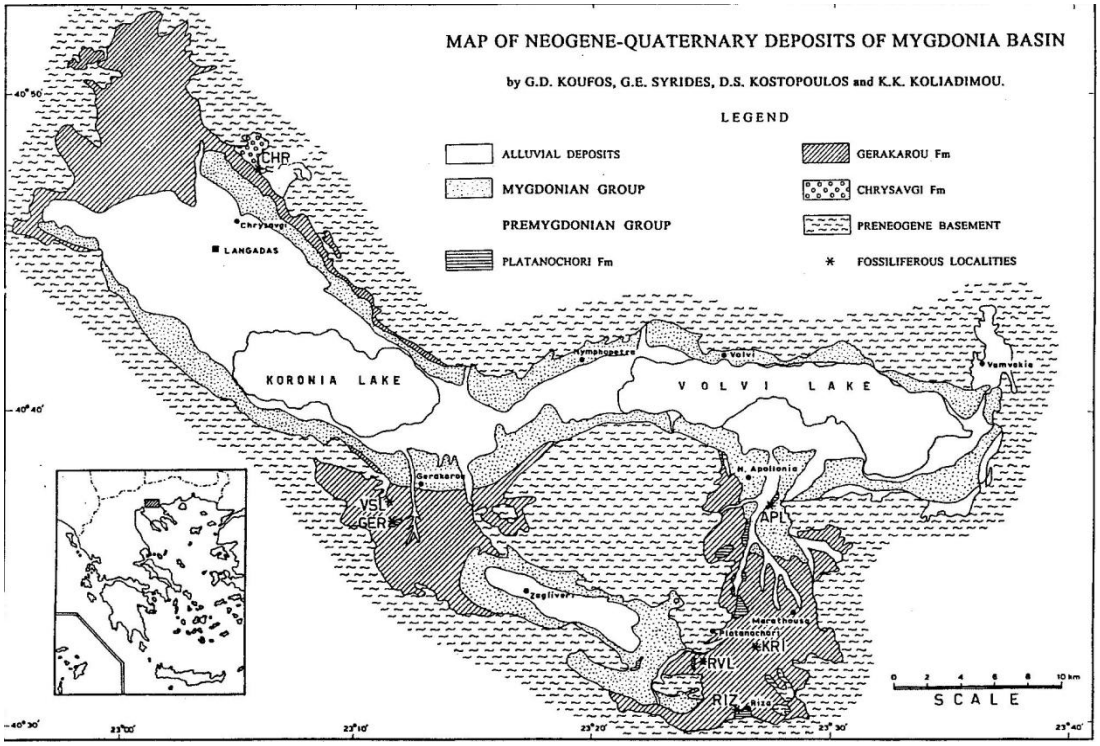


Σχήμα 2: Περιροδοπική Ζώνη Μουντράκης (1985).

2.4.2. Νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί

Πάνω στο υπόβαθρο της Μυγδονίας λεκάνης υποτίθενται ασύμφωνα οι Νεογενείς και οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί που είναι χερσαίας φύσεως κυρίως και χωρίστηκαν σε 2 μεγάλες ομάδες το Προμυγδονιακό και Μυγδονιακό Σύστημα (Ψιλοβίκος, 1977). Αρχικά το Προμυγδονιακό σύστημα με ηλικία **Μειόκαινο – Κ. Πλειστόκαινο** αποτέθηκε πάνω στη Προμυγδονιακή λεκάνη και στη συνέχεια το υπερκείμενο Μυγδονιακό σύστημα με ηλικία **Μέσο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο**. Η μετάβαση των 2 ιζηματογενών συστημάτων στις περισσότερες θέσεις γίνεται σταδιακά, ενώ σε κάποιες περιοσμένες θέσεις το Μυγδονιακό σύστημα αποτίθεται ασύμφωνα πάνω στο Προμυγδονιακό.

Έπειτα από μεταγενέστερες στρωματογραφικές έρευνες στη λεκάνη της Μυγδονίας οι Koufos et al. (1995) και την διαιρέσαν σε 2 κύριες ομάδες: Την Προμυγδονιακή και την Μυγδονιακή ομάδα.



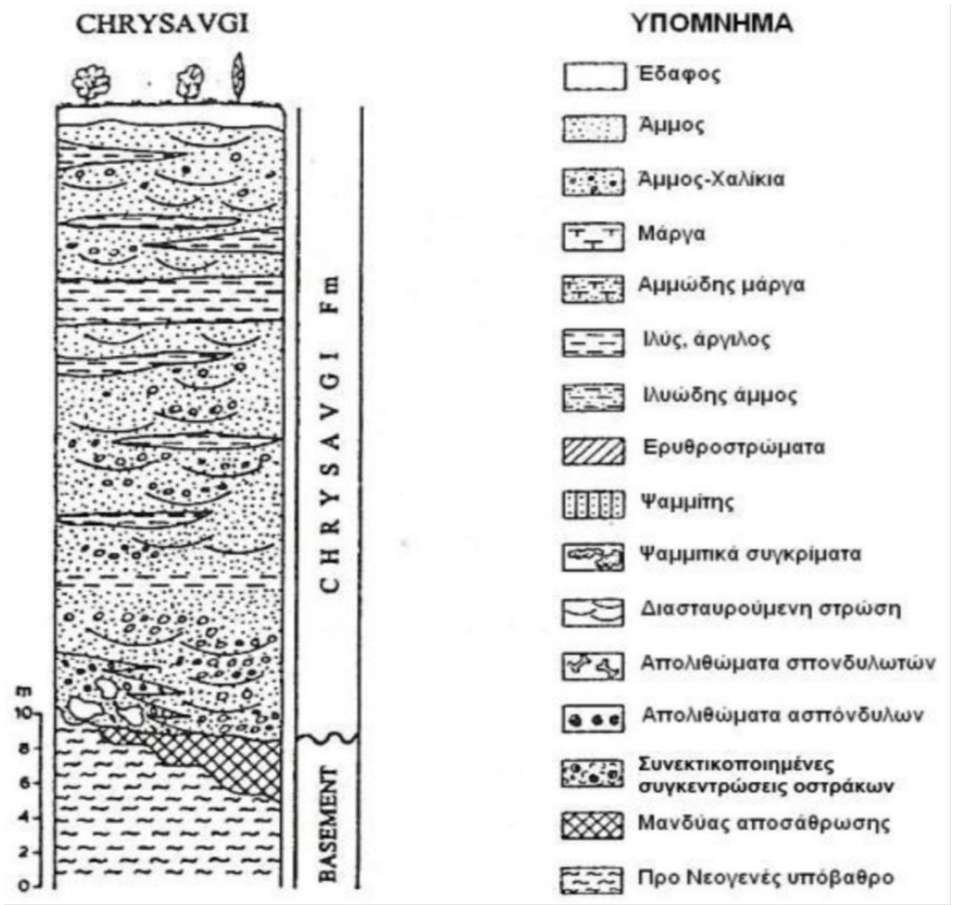
Χάρτης 2: Οι κύριες λιθοστρωματογραφικές ενότητες της Μυγδονίας λεκάνης δίνονται στο χάρτη του Σχήματος, (Koufos et al., 1995).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.4.2.1. Προμυγδονιακή ομάδα

Σχηματισμός Χρυσαυγής

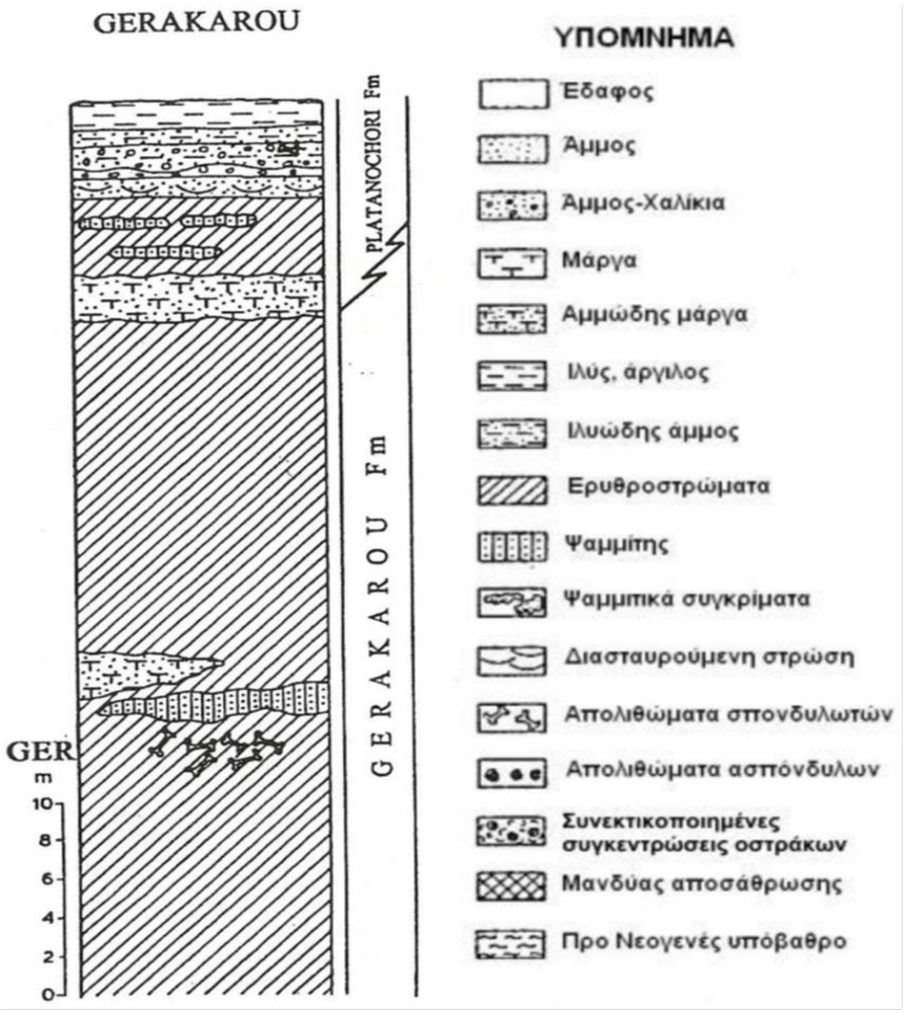
Θεωρείται ο παλαιότερος σχηματισμός στη Μυγδονία λεκάνη και είναι υπερκείμενος του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής. Εμφανίζεται στα βόρεια του χωριού Χρυσαυγή, σε πολύ περιορισμένες εμφανίσεις. Αποτελείται από φακοειδείς εναλλαγές κροκαλοπαγών και άμμων με φακούς ιλύος και αργίλων. Το κατώτερο μέρος του σχηματισμού χρίζει έντονης εμφάνισης χονδρόκοκκων κροκαλοπαγών και βαθμιαία μειώνεται το μέγεθος τους, από τη βάση προς την κορυφή. Το πάχος του σχηματισμού Χρυσαυγής κυμαίνεται από 40 έως 50m (Koufos et al., 1995).



Σχήμα 3: Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Χρυσαυγής (Koufos et al., 1995).

Σχηματισμός Γερακαρούς

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται κατά κύριο λόγο από ερυθροστρώματα. Εμφανίζεται σε πολλά σημεία στην περιοχή της Μυγδονίας με τις περισσότερες εμφανίσεις κοντά στο χωριό Γερακαρού. Τα ερυθροστρώματα αποτελούνται από φακούς κροκάλων και χαλικιών χονδρόκοκκων άμμων, ιλύων και αργίλων σε χερσοποτάμιες συνθήκες ιζηματογένεσης. Τοπικά μέσα στα ερυθροστρώματα εναλλάσσονται τοπικά λίγοι φακοί ψαμμιτών και μαργών. Τα ερυθροστρώματα τονίζεται ότι εμφανίζουν μια χαρακτηριστική μορφή διάβρωσης, με βαθιές κοιλάδες με απότομες πλευρές. Το πάχος του σχηματισμού συνήθως είναι πάνω από 100 m, σύμφωνα πάντα με δεδομένα γεωτρήσεων (Koufos et al., 1995).

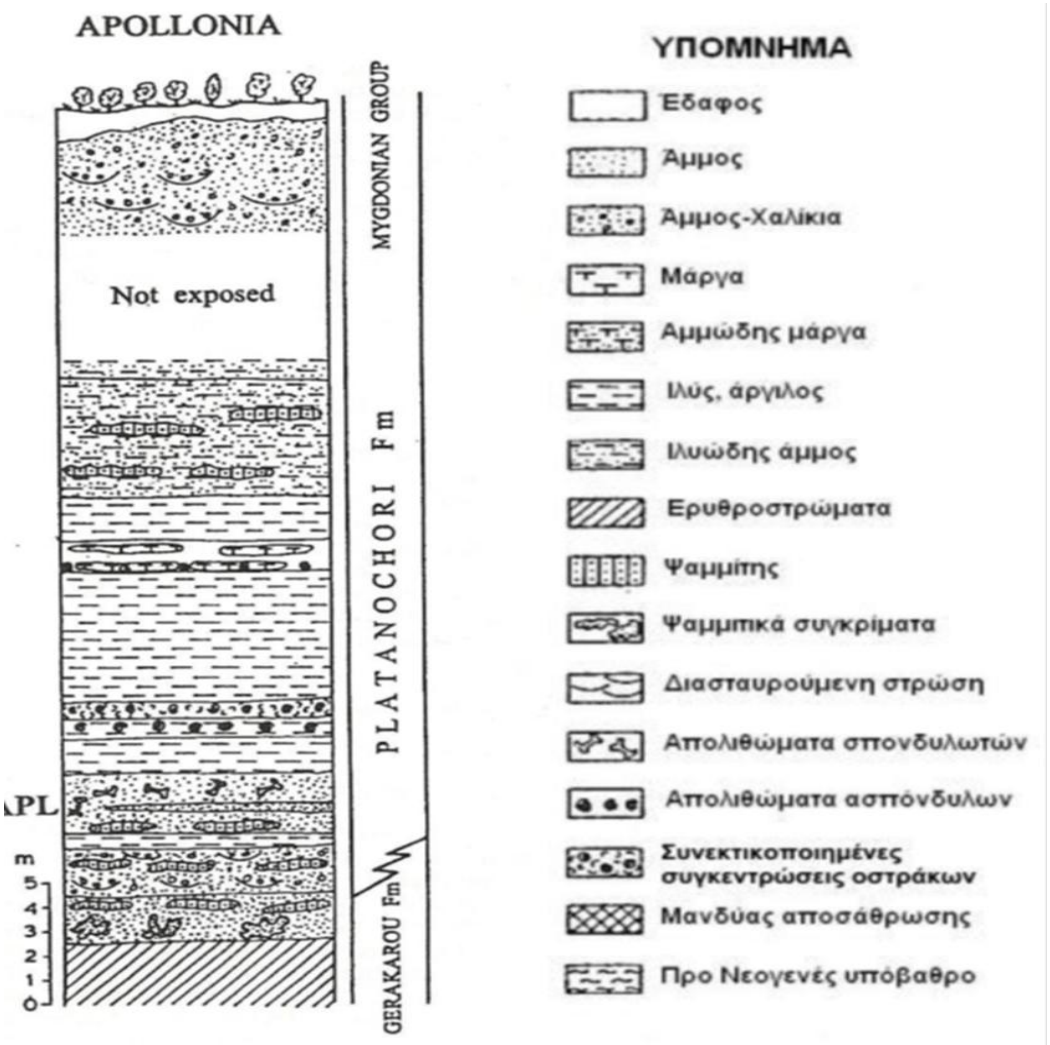


Σχήμα 4: Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Γερακαρούς (Koufos et al., 1995).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Σχηματισμός Πλατανοχωρίου

Κατά κύριο λόγο, αποτελείται από ιζήματα και πετρώματα ποτάμιας και ποταμολιμναίας φύσεως, και είναι υπερκείμενος του Σχηματισμού Γερακαρούς. Αποτελείται από άμμους, ψαμμίτες , κροκαλοπαγή και σε αρκετές θέσεις από μάργες και ασβεστόλιθους. Χαρακτηρίζεται από περιορισμένες εμφανίσεις στη Μυγδονία λεκάνη. Ο Σχηματισμός εμφανίζεται σε ανώτερα τμήματα σε λοφώδη ανάγλυφο ως υπολείμματα διάβρωσης στις περιοχές Πλατανοχώρι, Ρίζα, Απολλωνία και το πάχος του κυμαίνεται από 10-20 μέτρα (Koufos et al., 1995).



Σχήμα 5: Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Πλατανοχωρίου (Απολλωνίας) (Koufos et al., 1995).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.4.2.2. Μυγδονιακή Ομάδα

Περιλαμβάνονται τα λιμναία ιζήματα κλαστικά ιζήματα της Μυγδονίας λεκάνης. Στο κατώτερο μέρος αποτίθενται τα χονδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα και διαβαθμίζονται από λιγότερο χονδρόκοκκα. Αποτέθηκαν κατά το Μέσο – Άνω Πλειστόκαινο ασύμφωνα πάνω στην Προμυγδονιακή Ομάδα. Σε ορισμένες θέσεις υπάρχουν στο ανώτερο τμήμα της ομάδας εμφανίσεις ψαμμιτών, τραβερτινών και άμμων (Koufos et al., 1995).

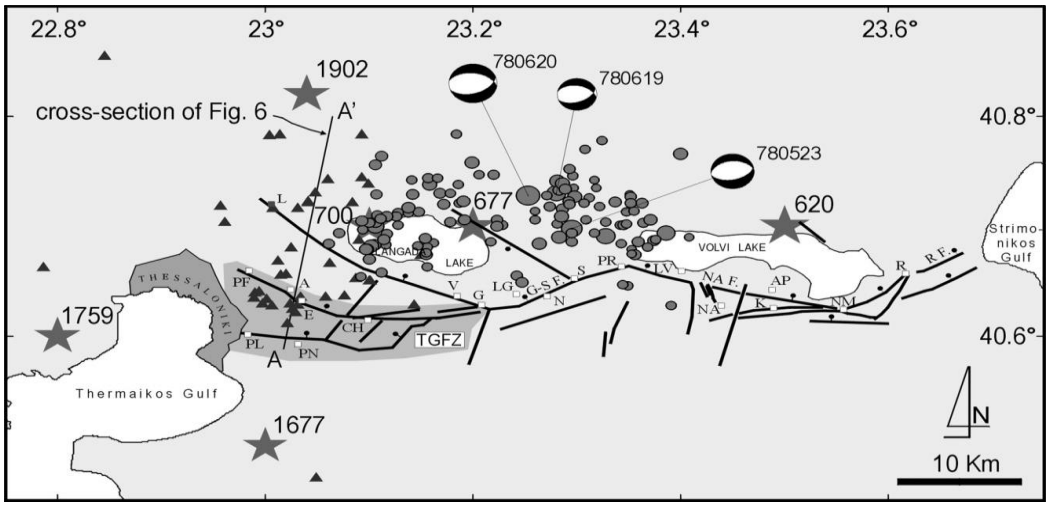
2.5. Τεκτονικές δομές

Οι κυριότερες τεκτονικές δομές που παρατηρούνται στο δυτικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης (υπολεκάνη του Λαγκαδά) είναι το ρήγμα του Χορτιάτη και του Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνα στη νότια πλευρά της, καθώς και του Ευαγγελισμού – Δρακοντίου – Κολχικού στη βορειοδυτική πλευρά του (Kockel et al. 1971). Στο ανατολικό τμήμα της Μυγδονίας (υπολεκάνη της Βόλβης) παρατηρούνται κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α – Δ, ΒΑ – ΝΔ και ΒΔ – ΝΑ κυρίως στη βόρεια και στη νότια πλευρά αυτού. Οι Μουντράκης και συν. (1997) μελέτησαν τα ρήγματα της περιοχής και με βάση στρωματογραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία, στις επιφάνειες τους, στην κατανομή επικέντρων μικροσεισμών τα χαρακτήρισαν σε σεισμικά ενεργά, πιθανά ενεργά και ανενεργά.

Το πιο σημαντικό ρήγμα είναι του Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνα, όπου σύμφωνα με τους προαναφερόμενους ερευνητές θεωρείται σεισμικά ενεργό. Αναπτύσσεται σε μήκος 12 km περίπου με κύρια διεύθυνση Α - Δ η οποία κατά διαστήματα γίνεται ΔΒΔ - ΑΝΑ, ΑΒΑ - ΔΝΔ, λόγω της τοξοειδούς ανάπτυξής του. Πρόκειται για ένα τυπικά λιστρωτό ρήγμα με διεύθυνση κλίσης προς το βορρά και γωνία κλίσης 70° – 80° η οποία με την αύξηση του βάθους μειώνεται στις 35° (Pavlidis and Kilias 1987, Pavlides et al. 2006, Tranos et al. 2003). Εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ του υποβάθρου και των Νεογενών - Τεταρτογενών αποθέσεων αλλά και μεταξύ των τελευταίων. Με βάση ιζηματολογικές ενδείξεις το συνολικό γεωλογικό άλμα στο Τεταρτογενές φτάνει τα 250 m, ενώ ο ρυθμός ολίσθησης κατά τη διάρκεια Ολοκαίνου - Άνω Πλειστοκαίνου κυμαίνεται μεταξύ 0.06 - 0.7 mm/year (Χατζηπέτρος 1988).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Το ρήγμα διαχωρίζεται στη θέση του Στίβου σε δύο επιμέρους κλάδους. Ο βόρειος με μήκος 8 km αναπτύσσεται κατά μήκος του άξονα Σχολαρίου - Στίβου με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ και μετάπτωση προς τα ΝΔ και αποτελεί μια γεωμορφολογική αναβαθμίδα ως όριο του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου με τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Ο μεσαίος κλάδος απεικονίζεται ως F-VL και κόβει τις πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις της Μυγδονίας λεκάνης. Η λεκάνη της Μυγδονίας εφίσταται την επέκταση Β-Ν του Αιγαίου και προς τα δυτικά κίνηση του βόρειου ρήγματος της Ανατολίας.



Χάρτης 3: Νεοτεκτονικός χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης (Tranos et al., 2003). Παρατηρείται η σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και των κυριότερων ρηγμάτων στο νότιο τμήμα των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης. Τα επίκεντρα των ιστορικά γνωστότερων ισχυρών σεισμών (Μ. 6.0) παρουσιάζονται με αστέρια.

2.6. Γεωλογική εξέλιξη Μυγδονίας λεκάνης

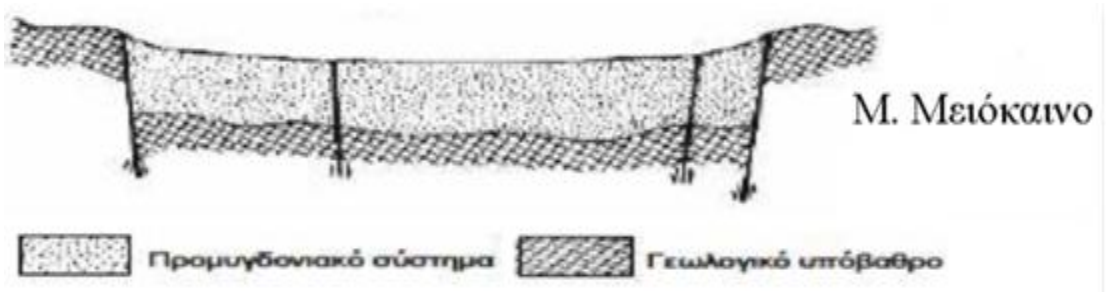
Σύμφωνα με την Διδακτορική διατριβή του Ψιλοβίκου (1977) στην Προμυγδονιακή Λεκάνη έλαβαν χώρα 2 κύρια τεκτονικά στάδια. Κατά το πρώτο γεωτεκτονικό στάδιο, εφελκυστικές τάσεις στην λεκάνη δημιούργησαν ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής και καταβύθισαν την περιοχή εντός των ζωνών. Το γεωτεκτονικό αυτό στάδιο δεν είναι επαρκώς χρονολογημένο λόγω απουσίας απολιθωμάτων στα παλαιότερα ιζήματα της λεκάνης και υποθετικά συσχετίζεται με παλαιότερη εφελκυστική δράση στο τέλος Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου (Mountrakis et al. 1983). Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και ασύμφωνα σε αυτό έλαβε χώρα η ιζηματογένεση της Προμυγδονιακής ακολουθίας ιζημάτων, ενώ λόγω της δράσης των ρηξιγενών ζωνών στο τέλος του Μέσου Μειόκαινου δημιουργήθηκε η Προμυγδονιακή λεκάνη. Η καταβύθιση της περιοχής συνεχίστηκε από τη δράση

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μικρότερων τεκτονικών ζωνών με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία της Μυγδονίας λεκάνης.

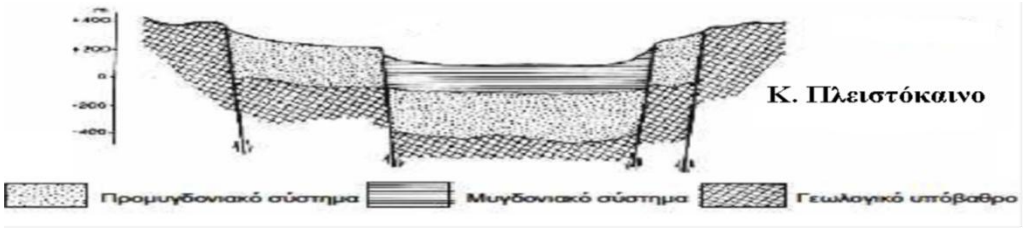
Τα μεταφερόμενα ύδατα που δεν κατάφεραν να βρούνε διέξοδο προς τη γειτονική λεκάνη του Στρυμόνα συγκεντρώθηκαν στη Μυγδονία λεκάνη και δημιούργησαν τη Μυγδονία λίμνη, με έκταση 500 τετραγωνικά χιλιόμετρα όπου κάλυπτε το χαμηλότερο τμήμα των υπολεκανών Λαγκαδά και Βόλβης καθώς επίσης το Βόρειο τμήμα της Μαραθούσης λεκάνης. Το δεύτερο τεκτονικό στάδιο έλαβε χώρα στο Κάτω Πλειστόκαινο, όπου υπήρξε καταβύθιση της Μυγδονίας λεκάνης και απόθεση της Μυγδονιακής ακολουθίας ιζημάτων. Στη συνέχεια η στάθμη της Μυγδονίας λίμνης ταπεινώθηκε, λόγω της διοχέτευσης ενός μέρους από τα μεταφερόμενα ύδατα στη γειτονική λεκάνη του Στρυμόνα, με αποτέλεσμα να χωριστεί σε 2 υπολεκάνες (Λαγκαδά, Βόλβης).

Σχήμα 6: Πρώτο γεωτεκτονικό στάδιο εξέλιξης της Προμυγδονιακής λεκάνης (Ψιλοβίκος, 1977).



Σχήμα 7: Ιζηματογένεση της Προμυγδονιακής ακολουθίας ιζημάτων (Ψιλοβίκος, 1977).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 8: Δεύτερο γεωτεκτονικό στάδιο εξέλιξης της Προμυγδονιακής λεκάνης (Ψιλοβίκος, 1977).

Οι 2 λίμνες διαχωριστήκαν από ένα έξαρμα ράχεων και αναβαθμίδων ανάμεσα στα χωριά Σχολάρι και Στίβο. Η παρουσία αυτού του εξάρματος βρέθηκε με διασκοπίσεις σεισμικής διάθλασης κατά μήκος του ποταμού Δερβένι που ρέει στο κέντρο της λεκάνης. Σύμφωνα με τους, Ψιλοβίκο (1977) και Σωτηριάδη (1983) οφείλεται κυρίως σε μεταφορά κλαστικών ιζημάτων και υλικών μέσω της ποτάμιας δράσης (χείμαρροι, ρεύματα) και στην απόθεση αυτών στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Λόγω της έντονης διάβρωσης που ακολούθησε στη περιοχή είχε σαν αποτέλεσμα να υπάρξει μείωση στο ύψος του εξάρματος με αποκατάσταση της επικοινωνίας των 2 υπολεκανών (Βόλβης, Λαγκαδά), με συνέπεια την πτώση της στάθμης των λιμνών.

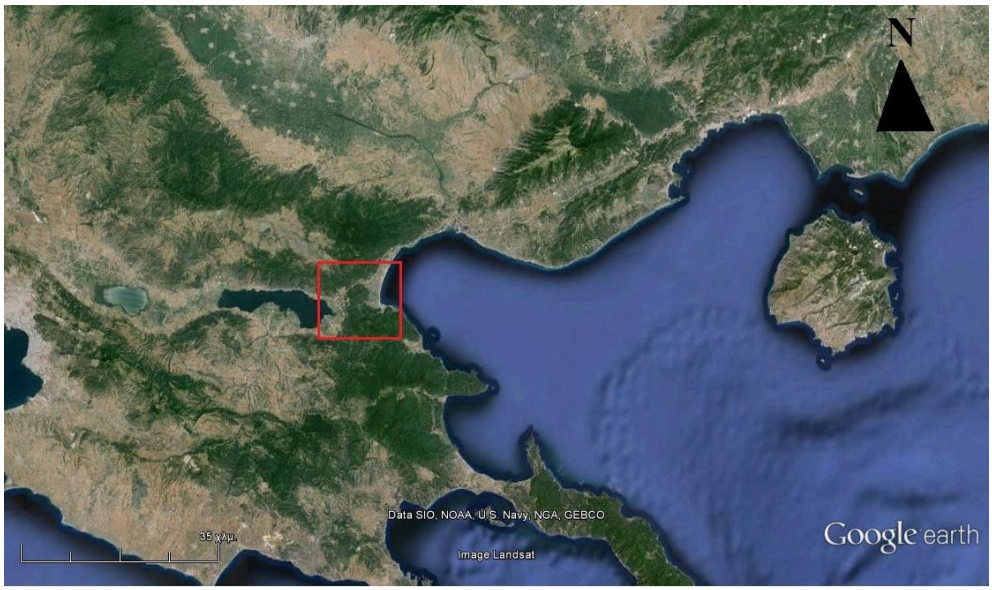
Β. Εισαγωγικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης

2.7. Γεωμορφολογική τοποθέτηση

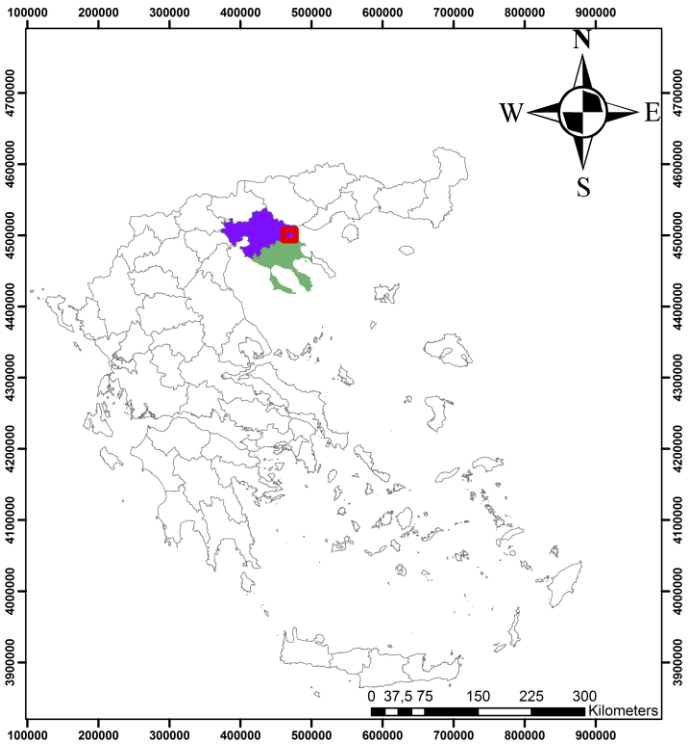
Η περιοχή μελέτης είναι το ανατολικό περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης και πιο συγκεκριμένα η κοιλάδα των Μακεδονικών Τεμπών, η κοιλάδα αυτή ξεκινά από τα δυτικά στο χωριό Ρεντίνα κοντά στη λίμνη Βόλβη και καταλήγει στον Στρυμονικό Κόλπο. Σε αυτήν την κοιλάδα ρέει ο Ρήχιος ποταμός που είναι ένας μικρός ποταμός με μήκος 9 χιλιομέτρων περίπου, ο οποίος μεταφέρει τα υπερεκχειλίζοντα ύδατα της λίμνης Βόλβης στο Στρυμονικό κόλπο. Η περιοχή μελέτης ανήκει διοικητικά στο Δήμο Βόλβης του Νομού Θεσσαλονίκης και στην περιφέρεια Μακεδονίας. Ο Δήμος Βόλβης δημιουργήθηκε μέσω του προγράμματος του Καλλικράτη το 2011 από τη συγχώνευση έξι προυπαρχόντων δήμων: Αγίου Γεωργίου, Μαδύτου, Αρέθουσας, Απολλωνίας, Ρεντίνας και Εγνατίας. Ο πληθυσμός του Δήμου σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ανέρχεται στους 23.478 κατοίκους και η έδρα του Δήμου Βόλβης είναι ο Σταυρός, ενώ οι δημότες του δήμου ανέρχονται στους 26.004. Η έκταση του δήμου είναι 782 km². Έλαβε το όνομα του από την ομώνυμη λίμνη, και εντός των ορίων του βρίσκονται τα Όρη Βόλβης, το Όρος Περιστερώνας καθώς και μερικά

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

τμήματα των Όρεων: Κερδύλια, Στρατωνίκου και Βερτσίσκου, ενώ στα ανατολικά του δήμου βρέχεται από τον Στρυμονικό κόλπο. Τα όρια της περιοχής μελέτης σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 είναι: 469125.930 - 4507793.673 για το βόρειο τμήμα της, 460383.844 - 4501125.440 στα δυτικά, 477784.205 - 4501125.440 στα ανατολικά και 469125.93 - 4492849.339 στα νότια.



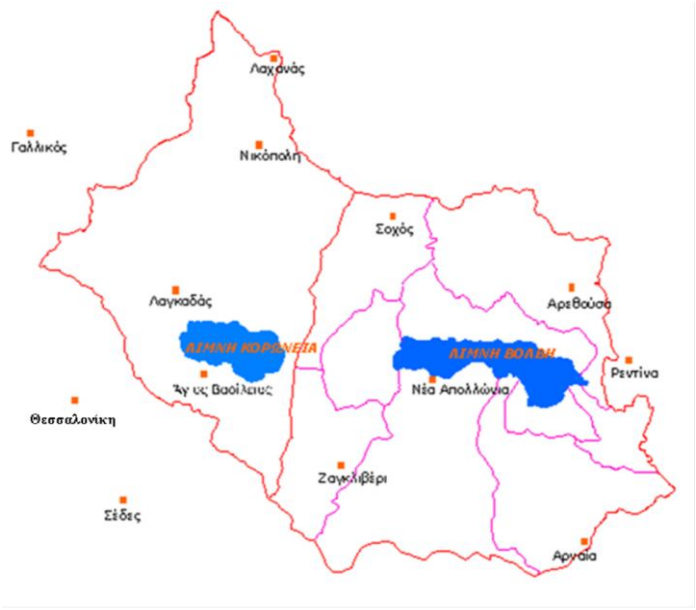
Χάρτης 4: Η θέση της περιοχής μελέτης από το Google earth.



Χάρτης 5: Η θέση της περιοχής μελέτης στον Ελληνικό χώρο (Ο νομός Θεσσαλονίκης αποτυπώνεται στο χάρτη με μωβ χρώμα, ενώ ο νομός Χαλκιδικής με πράσινο χρώμα από ΟΚΧΕ).

2.8. Κλιματικά στοιχεία

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματολογικά δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό της Ρεντίνας για τα έτη 1970-1992 από την υπηρεσία του υπουργείου γεωργίας «ΕΜΥΜΕΘ». Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος σταθμός, διότι βρίσκεται εντός της περιοχής μελέτης και τα δεδομένα του θεωρήθηκαν αξιόπιστα.



Σχήμα 9: Λεκάνη Μυγδονίας και σταθμοί, (Μυλόπουλος & συν. 2001). Στα ανατολικά του χάρτη στην περιοχή της Ρεντίνας είναι ο μετεωρολογικός σταθμός όπου έγιναν οι μετρήσεις κατά τα έτη 1970-1992.

Τα κλιματικά δεδομένα παρατηρούνται στους παρακάτω 2 πίνακες όπου στον πρώτο προσδιορίζεται ο μέσος όρος των μηνιαίων βροχοπτώσεων, ενώ στον δεύτερο οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα σε ^{o}C για τα έτη 1970-1992.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Μήνες	Μέσο μηναίο ύψος βροχής σε mm	Μέγιστο ύψος βροχής σε mm	Ελάχιστο ύψος βροχής σε mm
Ιανουάριος	41,23	109,10	18,03
Φεβρουάριος	45,79	103,00	18,10
Μάρτιος	46,80	93,20	9,80
Απρίλιος	45,41	136,90	18,60
Μάιος	49,21	104,90	1,00
Ιούνιος	37,69	97,74	1,50
Ιούλιος	34,34	71,30	0,00
Αύγουστος	31,66	54,21	4,20
Σεπτέμβριος	33,23	103,70	4,10
Οκτώβριος	52,26	208,30	4,80
Νοέμβριος	47,07	122,49	1,60
Δεκέμβριος	45,25	123,21	4,00
ΕΤΟΣ	**509,94**	**1328,05**	**85,73**

Πίνακας 1: Μέσος όρος μηνιαίων βροχοπτώσεων όπως καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικού σταθμό της Ρεντίνας για τη χρονική περίοδο 1970-1992 (Υπουργείο Γεωργίας, «ΕΜΥΜΕΘ»). Οι τιμές αναγράφονται σε mm.

Μήνες	Μέση Μηνιαία	Μέση Μέγιστη	Μέση Ελάχιστη
Ιανουάριος	4,6	8,6	2,2
Φεβρουάριος	7,3	11,0	3,8
Μάρτιος	9,1	11,0	6,6
Απρίλιος	13,3	15,1	10,8
Μάιος	18,6	19,7	15,8
Ιούνιος	22,9	24,5	20,4
Ιούλιος	25,1	26,9	23,1
Αύγουστος	25,1	27,2	23,3
Σεπτέμβριος	21,0	23,0	18,1
Οκτώβριος	16,5	19,9	14,4
Νοέμβριος	11,6	13,9	9,2
Δεκέμβριος	7,2	10,0	4,5
ΕΤΟΣ	**15,2**	**17,6**	**12,7**

Πίνακας 2: Μέσος όρος μηνιαίων θερμοκρασιών αέρα όπως καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικού σταθμό της Ρεντίνας για τη χρονική περίοδο 1970-1992 (Υπουργείο Γεωργίας, «ΕΜΥΜΕΘ»). Οι τιμές αναγράφονται σε ^{o}C.

Για τον προσδιορισμό του κλιματικού τύπου της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε η κατάταξη Köppen. Πρόκειται για μια αρκετά απλή κατάταξη ή οποία είναι ευρέως αποδεκτή και προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά του κλίματος παγκοσμίως. Σύμφωνα με αυτήν την κατάταξη απαιτούνται οι μέσες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας μιας περιοχής. Στην περιοχή μελέτης πιο συγκεκριμένα εύκολα παρατηρείται ότι η μέση τιμή της βροχόπτωσης του πιο βροχερού μήνα (Οκτώβριος με 52,26 mm) σε σχέση με τον ξηρότερο (Αύγουστος με 31,66 mm) δεν εμφανίζει πολύ μεγάλη διαφορά. Επίσης η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Ιούλιος και Αύγουστος με 25,1 ^{o}C) είναι μεγαλύτερη από 22 ^{o}C. Επομένως σύμφωνα με την κατάταξη Köppen το κλίμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως **Cfa (**Μεσογειακού τύπου υγρό υποτροπικό) δηλαδή με ήπιους χειμώνες και υγρές όλες τις εποχές του χρόνου και μακρύ και πολύ θερμό θέρος κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Κύριο λόγο στη ρύθμιση αυτού του είδους του κλίματος παίζει η λίμνη Βόλβη όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

2.9. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Το προαλπικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα, και χαρακτηρίζεται κυρίως από γνευσιακά πετρώματα βιοτιτικής φύσεως, μέσα στα οποία επικρατούν σε ορισμένες θέσεις ορίζοντες μαρμάρων, αμφιβολίτες καθώς και φυλίτες. Σε περιορισμένες θέσεις παρατηρούνται μικρής έκτασης ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με μάρμαρα καθώς και χαλαζίτες. Σύμφωνα με το φύλλο Σταυρός του χάρτη του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) τα πετρώματα στην περιοχή μελέτης παρουσιάζονται κατά χρονολογική σειρά από τα παλαιότερα προς τα νεότερα.

<u>Σχηματισμοί Υποβάθρου</u>

- **Γνεύσιοι (Σχηματισμού Βερτίσκου)**

Οι γνεύσιοι στην περιοχή μελέτης είναι κυριώς βιοτιτικοί ενώ νοτιοδυτικά εμφανίζονται ως διμαρμαρυγιακοί και χαρακτηρίζονται από χαλαζιοδιοριτική σύσταση και γρανοβλαστικό ιστό, είναι προϊόντα μεταμόρφωσης παλαιότερων ιζημάτων ασβεσταλκαλικής σύστασης και μπορούν να θεωρηθούν ως παραγνεύσιοι (Δημητριάδης, 1974). Η ηλικία των γνευσιακών πετρωμάτων θεωρείται Παλαιοζωική – Προκάμβρια (Osswald 1938, Kockel et al. 1971, Δημητριάδης 1974).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- **Μάρμαρα (Σχηματισμού Κερδυλίων)**

Τα μάρμαρα στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται σε ορισμένες θέσεις σε μορφή ταινιών ή οριζόντων μέσα στα γνευσιακά πετρώματα. Χωρίζονται σε ανώτερο και κατώτερο ορίζοντα. Στα νότια και νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης πιο συγκεκριμένα, εμφανίζονται μέσα στους βιοτιτικούς γνεύσιους σε αρκετές θέσεις ενώ στα βόρεια συναντώνται σε λιγότερες περιπτώσεις. Η διεύθυνση τους στην περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών είναι Β-Ν.

- **Αμφιβολίτες**

Οι αμφιβολίτες εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης οφείλονται κυρίως σε μεταμόρφωση παλαιών πυριγενών βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων (διαβασών - γάβρων) της οφειολιθικής σειράς του παλαιοζωικού. (Osswald 1938, Neubauer 1957, Kockel et. al. 1971), ενώ σε ορισμένες θέσεις η μεταμόρφωση τους βρέθηκε ότι προήλθε από παλαιότερα ιζήματα και για αυτό θεωρούνται παρα- αμφιβολίτες (Δημητριάδης 1974).

- **Γάββρος**

Εμφανίζεται στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης σε μορφή ταινιών και φλεβών μέσα στους αμφιβολίτες και χαρακτηρίζεται από το λευκό του χρώμα (πλαγιόκλαστα με ανορθίτη περίπου 60%).

- **Περιδοτίτες και Δουνίτες**

Είναι πλήρως σερπεντιωμένοι και εξαλλοιωμένοι σε ταλκικούς γραμματιτικούς σχιστόλιθους. Εμφανίζονται σε περιορισμένες θέσεις στα νοτιοδυτικά κυρίως της περιοχής μελέτης σε μορφή φλεβών και ταινιών.

- **Γνεύσιος (Πλαγιοκλαστικός, μικροκλινικός)**

Εμφανίζεται στα νοτιοανατολικά και στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης και χαρακτηρίζεται ως λευκοκρατικός, μεσόκοκκος έως λεπτόκοκκος με καλή στρώση και οφθαλμοειδή ιστό. Πολλές φορές εναλλάσσεται με μετα – ιζήματα

- **Φυλλίτες**

Οι φυλλίτες που μπορούν να θεωρηθούν και φυλλιτική σειρά συναντώνται σε πολύ περιορισμένες θέσεις στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα ,κυρίως φυλλίτες που εναλλάσσονται με ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους. Έχουν σαν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, και χρονολογούνται Τριαδικό - Μέσο Ιουρασικό.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- **Ασβεστόλιθοι (Ανακρυσταλλωμένοι με μάρμαρα)**

Οι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι συναντώνται στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης μέσα στους διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, και χρονολογούνται στο Μέσο – Άνω Τριαδικό σύμφωνα με μικροαπωλιθώματα που έχουν βρεθεί (Osswald 1938, Mercier 1966, Kockel et al. 1971). Το σύστημα αυτών των ασβεστολίθων είναι υπερκείμενο της ηφαιστειοιζηματογενούς σειράς, η οποία με τη σειρά της είναι υπερκείμενη των γνευσίων (Mercier 1968, Kockel et al. 1971).

Νεογενή ιζήματα – (Προμυγδονιακή ομάδα)

- **Ψαμμιτομαργαική σειρά**

Αποτίθενται στον βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και αποτελούνται από μάργες καθώς και εύθρυπτους ψαμμίτες λίγο ως πολύ συγκολλημένους που μεταπίπτουν τοπικά σε μικρά κροκαλοπαγή με διασταυρούμενη στρώση, ενώ σε ορισμένες θέσεις τοπικά εμφανίζονται ορίζοντες κίτρινων και λευκών μαργών. Χρονολογούνται στο Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο.

- **Σειρά ερυθρών αργίλων**

Ερυθρές έως κεραμόχρωμες. Πρόκειται για ιλυώδεις αργίλους με μαρμαρυγία, που περιέχουν μικρά ασβεστιτικά συγκρίματα.

Πλειστοκαινικά ιζήματα (Μυγδονιακή ομάδα)

- **Κατώτερο σύστημα των αναβαθμίδων**

Χαλίκια και άμμοι κάτω από το αργιλώδες κάλυμμα της αναβαθμίδας

- **Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

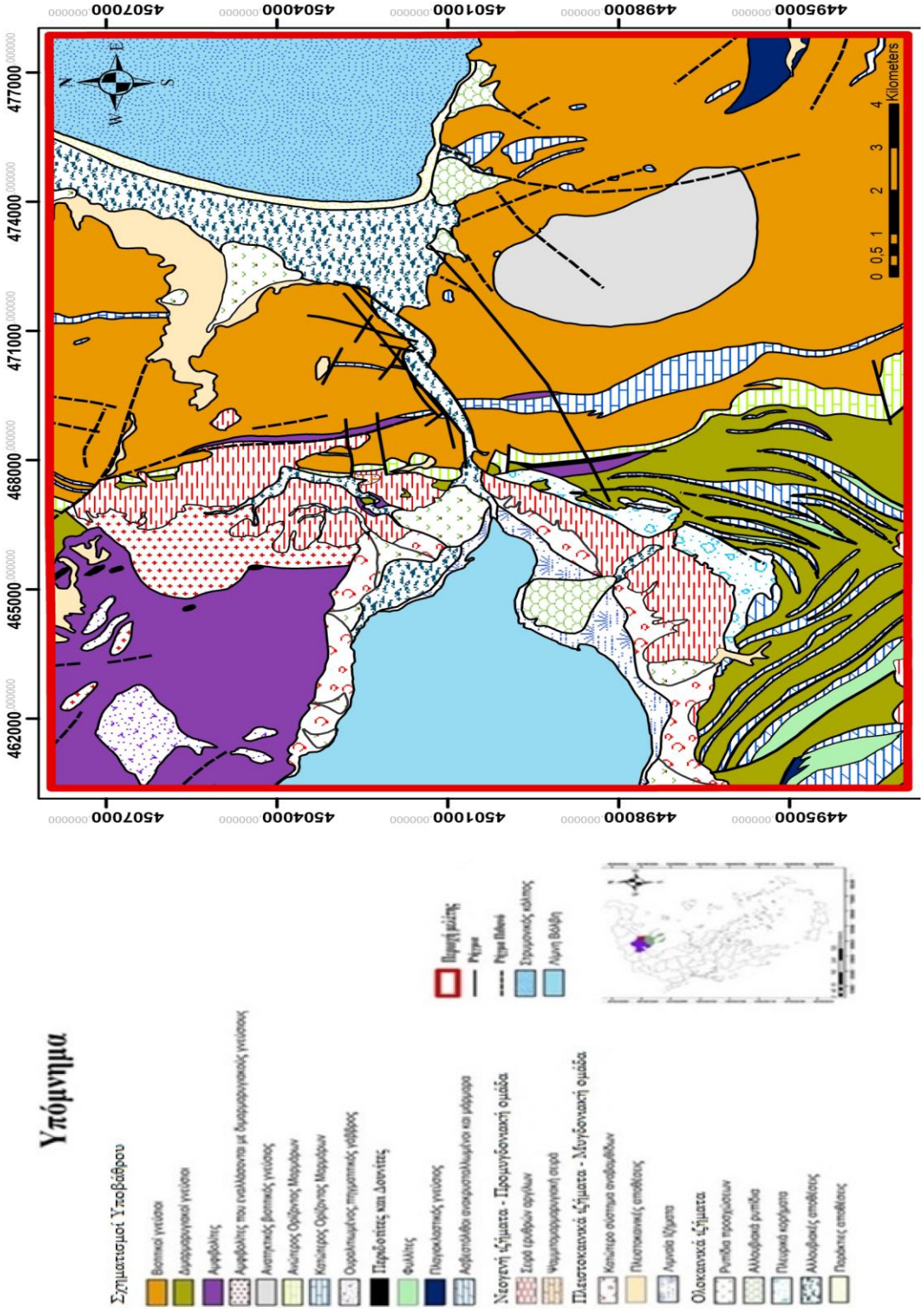
Ανώτερο σύστημα των αναβαθμίδων, καθώς και συγκολλημένα πλευρικά κορήματα κυρίως ερυθρού χρώματος και τεμαχισμένοι κώνοι κορημάτων.

Ολοκαινικά ιζήματα

Στις αποθέσεις του Ολοκαίνου στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται κατά κύριο λόγο τα ριπίδια προσχώσεων καθώς και τα αλλουβιακά ριπίδια, τα πλευρικά κορήματα, καθώς επίσης και οι αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις. Τα ιζήματα αυτά καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης και η απόθεση τους έχει προέλθει από τη δράση χειμάρρων στην περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Εικόνα 1 & Εικόνα 2: Ποτάμιες χονδρόκοκκες αποθέσεις από την δράση των χειμάρρων εντός της κοίτης του Ρήχιου ποταμού.



Χάρτης 6: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης από το Ι.Γ.Μ.Ε. (1978) Φύλλο Σταυρός, επεξεργασμένος στο ArcGis 10. Ψηφιοποιήθηκε η λιθολογία στην περιοχή μελέτης καθώς επίσης και τα κύρια ρήγματα, από το Ι.Γ.Μ.Ε. (1978) καθώς επίσης και από τον Νεοτεκτονικό χάρτη της Μυγδονίας λεκάνης (Tranos et al., (2003).

Κεφάλαιο 3ο: Μεθοδολογία

3.1 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης

Για να μπορέσουν να κατανοηθούν εκτενέστερα οι διάφορες διεργασίες που οδήγησαν στη διαμόρφωση του ανάγλυφου στην περιοχή του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση αυτού με τη χρήση των υψομετρικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (Digital Elevation Model που ονομάζεται D.E.M.). Αυτό προέκυψε έπειτα από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών με ισοδιάσταση 20 μέτρα από τον τοπογραφικό χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, Φύλλο Σταυρός σε περιβάλλον ArcGis 10 μέσω της εντολής Topo to Raster, με χωρική ανάλυση 20 μέτρων (ArcToolbox → Raster Interpolation → Topo to Raster). Στη συνέχεια πάντα σε περιβάλλον ArcGis 10 πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του D.E.M. με τη δημιουργία του χάρτη υψόμετρων ενώ στην συνέχεια αναλύθηκε και η πρώτη παράγωγος των υψομέτρων με αποτέλεσμα τη δημιουργία του χάρτη κλίσεων.

3.1.1. Ταξινόμηση ανάγλυφου

Προκειμένου να χαρακτηριστεί το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ταξινόμησης των υψομέτρων που προτείνει ο Dikau, 1989 (από Παράσχου, 2005). Σύμφωνα με αυτήν την ταξινόμηση μια περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ανάλογα με το απόλυτο υψόμετρο που παρουσιάζει.

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

Πίνακας 3: Ταξινόμηση ανάγλυφου κατά Dikau (1989).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.1.2. Κλίση αναγλύφου

Η κλίση αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για την ανάλυση του αναγλύφου , αφού με βάση αυτή εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για το βαθμό διάβρωσης που υπόκειται στην περιοχή μελέτης. Για την ταξινόμηση των κλίσεων του Ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ταξινόμησης της Διεθνούς Γεωγραφικής Εταιρίας (I.G.U.) (Demek, 1972). Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή οι κλίσεις του αναγλύφου χωρίστηκαν σε 6 ομάδες οι οποίες χαρακτηρίζουν διαφορετικές επιφάνειες καθώς και διαφορετικό ρυθμό διάβρωσης τους (Demek, 1972) από Παράσχου, 2005.

Γωνία Κλίσης (^{o})	Μορφολογικά χαρακτηριστικά επιφάνειας και τρόπος διάβρωσης
0-2	Επίπεδο έως ελαφρά κεκλιμένο ανάγλυφο. Έναρξη διάβρωσης τύπου καλύμματος.
2-5	Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Διάβρωση καλύμματος και έναρξη αυλακωτής διάβρωσης.
5-15	Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, έντονες διαβρωτικές διεργασίες.
15-35	Έντονες διεργασίες, απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση.
35-55	Απόκρημνο ανάγλυφο. Πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα εδάφους, έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος.
>55	Κάθετο ανάγλυφο. Απουσία εδάφους, απογύμνωση πετρωμάτων και κατάρρευση βράχων.

Πίνακας 4: Πίνακας κλίσης αναγλύφου κατά Demek (1972).

3.1.3 Χάρτης Σκιασμένου Ανάγλυφου

Μια άλλη μέθοδος για τον υπολογισμό της μορφολογίας της περιοχής μελέτης αποτελεί ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου. Σε γενικές γραμμές ο χάρτης αυτός αποτελεί μια ψευδοτρισδιάστατη εικόνα η οποία δημιουργείται όταν μια φωτεινή πηγή σε μια καθορισμένη διεύθυνση στον ορίζοντα και με μια συγκεκριμένη γωνία που καθορίζεται από τον χρήστη κάνει διακριτές τις υψομετρικές διαφορές της περιοχής. Έτσι επικρατεί μια διαφοροποίηση στις περιοχές που είναι άμεσα φωτισμένες από την πηγή από αυτές που παρουσιάζουν σκιά και αυτό αναγνωρίζεται

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

εύκολα στην τιμή που λαμβάνει το κάθε εικονοστοιχείο, οπότε και δίνει τιμές από -1 έως +1 για κάθε κελί ανάλογα με το αν αυτό βρίσκεται στη πλευρά του φωτός. Οι αρνητικές τιμές που προκύπτουν ανεξάρτητα από την τιμή που έχουν τελικά παίρνουν την τιμή 0 και απεικονίζονται ως σκιές στο χάρτη.

3.1.4. Δείκτης δαντέλωσης μετώπου όρους

Ο δείκτης δαντέλωσης μετώπου όρους (Smf) (mountain –front sinuosity), ορίζεται ως ο αδιάστατος λόγος της μετρούμενης απόστασης μεταξύ 2 σημείων (Lmf) που βρίσκονται στη ζώνη μέγιστης καμπυλότητας στους πρόποδες ενός όρους, προς την οριζόντια τους απόσταση (Ls) (Bull and McFadden ,1977). Οπότε ισχύει:

Smf = Lmf / Ls

Πρόκειται για έναν αρκετά χρήσιμο δείκτη και σε γενικές γραμμές αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων διάβρωσης, οι οποίες έχουν την τάση να ταπεινώσουν καθώς και να εξομαλύνουν το ανάγλυφο και των τεκτονικών δυνάμεων που έχουν ως κύριο γνώρισμα πιο απότομες μορφές όποτε πολλές φορές χωρίς ιδιαίτερο σφάλμα το μέτωπο του όρους συμπίπτει με μια ενεργά τεκτονική περιοχή (Keller & Printer, 2002). Στην περίπτωση που τα μέτωπα των όρεων συσχετίζονται με τεκτονική δράση παρατηρείται ότι ο δείκτης δαντέλωσης παίρνει μικρές τιμές, ενώ στην αντίθετη περίπτωση όπου επικρατούν οι δυνάμεις διάβρωσης δίνουν στο μέτωπο του όρους ένα ακανόνιστο σχήμα και παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές στον δείκτη.

Ο δείκτης δαντέλωσης υπολογίζεται από τοπογραφικούς χάρτες, από αεροφωτογραφίες καθώς και από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου. Η κλίμακα των χαρτών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να παρατηρούνται εύκολα οι ανωμαλίες που παρουσιάζει το μέτωπο, έτσι χάρτες μικρής κλίμακας 1:100.000 και πάνω αποφεύγονται για τον υπολογισμό του δείκτη γιατί δεν χρίζουν υψηλής ευκρίνειας και δίνουν μια πολύ χαμηλή εκτίμηση.

Σύμφωνα με τους Bull and McFadden (1977), και Keller (1986), οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Περιοχές με σχετικά υψηλή ενεργότητα με τις τιμές του δείκτη να κυμαίνονται από 1.0 έως 1.6.
- Περιοχές με μέση ενεργότητα με τις τιμές του δείκτη να κυμαίνονται από 1.4 έως 3.
- Περιοχές με χαμηλή ενεργότητα με τις τιμές του δείκτη να κυμαίνονται από 1.8 έως και πάνω από το 5.

3.2. Υδρογραφικές συνθήκες

3.2.1. Ανάλυση υδρογραφικού συστήματος

Η μελέτη ενός υδρογραφικού δικτύου συμπεριλαμβάνει την ποιοτική και ποσοτική ανάλυσή του. Κατά την ποιοτική ανάλυση καθορίζεται η μορφή του υδρογραφικού δικτύου, η οποία οφείλεται στο συνδυασμό διαφόρων παραγόντων, όπως είναι οι γεωλογικοί, τεκτονικοί, κλιματολογικοί και άλλοι. Η ποσοτική ανάλυση πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό ορισμένων μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου, από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την υδρολογική συμπεριφορά του.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης του ψηφιακού αναγλύφου της περιοχής που προέκυψε από την επεξεργασία με το πρόγραμμα ArcGIS 10 των υψομετρικών δεδομένων από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) με κλίμακα 1:50.000 με κεντρικό φύλλο, το φύλλο Σταυρός. Οι μετρήσεις για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου έγιναν με την εντολή Hydrology του προγράμματος ArcGIS 10.

3.2.2. Ποιοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης χαρακτηρίζεται από ομοιομορφία και αποτελείται από επιμέρους κλάδους οι οποίοι καταλήγουν σε έναν κεντρικό κλάδο, τον Ρήχειο ποταμό στην περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών που με τη σειρά του διοχετεύει τα επιφανειακά ύδατα στο Στρυμονικό κόλπο. Η ανάπτυξη του είναι πιο έντονη στα νότια και στα νοτιοανατολικά και οφείλεται στη διαφορετική πετρολογία της περιοχής. Στα νοτιοανατολικά εμφανίζεται κυρίως γνευσιακό υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μάζας, ενώ στα βορειοδυτικά οι εμφανίσεις του υπόβαθρου είναι κυρίως αμφιβολιτικής φύσεως. Χαρακτηρίζεται ως δενδριτικής μορφής υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο είναι χαρακτηριστικό στοιχεία των ομοιογενών λιθολογικά περιοχών, όπως η περιοχή του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης, ενώ σε κάποιες θέσεις ίσως λόγω μεγάλων κλίσεων θα μπορούσε να θεωρηθεί και παράλληλη η ανάπτυξη του δικτύου.

3.2.3. Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Αρίθμηση υδρογραφικού δικτύου

Για την ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου έχουν γίνει προτάσεις από διάφορους επιστήμονες (Horton 1945, Strahler 1952, Scheidegger 1965, Shreve 1967).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η αρίθμηση κατά Strahler (1952), η οποία αποτελεί μια τροποποίηση ενός προϋπάρχοντος συστήματος αρίθμησης του Horton (1945). Σύμφωνα με αυτήν την αρίθμηση, ρέματα τα οποία δεν δέχονται νερό από κανένα άλλο κλάδο αποτελούν κλάδο $1^{ης}$ τάξεως. Στο σημείο οπού 2 κλάδοι $1^{ης}$ τάξεως συναντιούνται δημιουργούν ένα κλάδο $2^{ης}$ τάξεως. Στο σημείο όπου 2 κλάδοι $2^{ης}$ τάξεως συναντιούνται δημιουργούν ένα κλάδο $3^{ης}$ τάξεως. Στο σημείο όπου 2 κλάδοι $3^{ης}$ τάξεως συναντιούνται δημιουργούν ένα κλάδο $4^{ης}$ τάξεως και ούτω καθεξής .

Στην περίπτωση όπου συνδέονται 2 κλάδοι διαφορετικής τάξης ο κλάδος που θα προκύψει θα ακολουθεί πάντα την αρίθμηση του μεγαλύτερου κλάδου. Για παράδειγμα αν ένας κλάδος $4^{ης}$ τάξης συνδεθεί με έναν $1^{ης}$ τάξης ο κλάδος που θα προκύψει θα είναι $4^{ης}$ τάξης. Σύμφωνα με την αρίθμηση των κλάδων κατά Strahler σε ένα υδρογραφικό δίκτυο ακολουθούνται και οι λεκάνες απορροής δημιουργώντας λεκάνες $1^{ης}$, $2^{ης}$, $3^{ης}$, $4^{ης}$ και ούτω καθεξής τάξης.

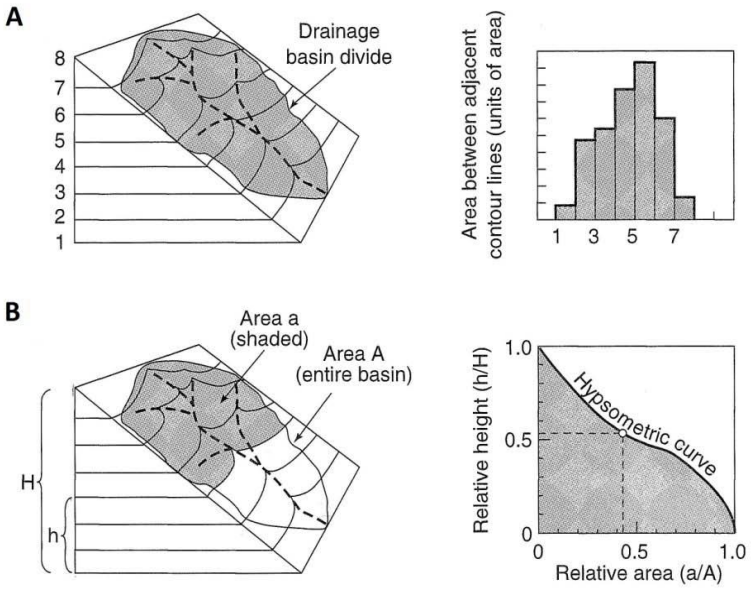
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Υπολογισμός μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου

3.2.3.1. Υψομετρική Καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη χρησιμοποιείται για την περιγραφή της κατανομής των υψομέτρων μέσα στα όρια μιας υδρολογικής λεκάνης. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την κατασκευή της είναι να υπολογισθούν το σχετικό υψόμετρο h/H και το σχετικό εμβαδόν a/A. Σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής το h αποτελεί το ύψος της βάσης κάθε τμήματος από την βάση της λεκάνης, το H αποτελεί τη διαφορά του υψηλότερου σημείου της λεκάνης από το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης, που αλλιώς αναγνωρίζεται και ως τοπικό ανάγλυφο της λεκάνης. Το a είναι το εμβαδόν της επιφάνειας από το υψόμετρο h (ύψος της βάσης κάθε τμήματος από τη βάση της λεκάνης) μέχρι και το ανώτερο σημείο της λεκάνης, ενώ το A αποτελεί το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης. Οι τιμές του λόγου a/A κυμαίνονται από 1 στο στόμιο της λεκάνης όπου ο λόγος h/H είναι ίσος με το 0, ενώ στο υψήλοτερο σημείο αυτής προσεγγίζουν το 0, όπου ο λόγος h/H είναι ίσος με 1 (Keller & Printer , 2002).

Σε κάθε περίπτωση επισημαίνεται ότι η υψομετρική καμπύλη είναι ανεξάρτητη από την κλίμακα του χάρτη, καθώς και από το μέγεθος και το ανάγλυφο της λεκάνης απορροης. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να συγκρίνονται μεταξύ τους διαφορετικές λέκανες.



Σχήμα 10: Υπολογισμός υψομετρικής καμπύλης (Keller & Printer , 2002).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Για να χαρακτηριστεί η μορφή μιας υψομετρικής καμπύλης υπολογίζεται το υψομετρικό ολοκλήρωμα το οποίο και εκφράζει το εμβαδό που βρίσκεται κάτω από την υψομετρική καμπύλη. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του υψομετρικού ολοκληρώματος δίνεται παρακάτω:

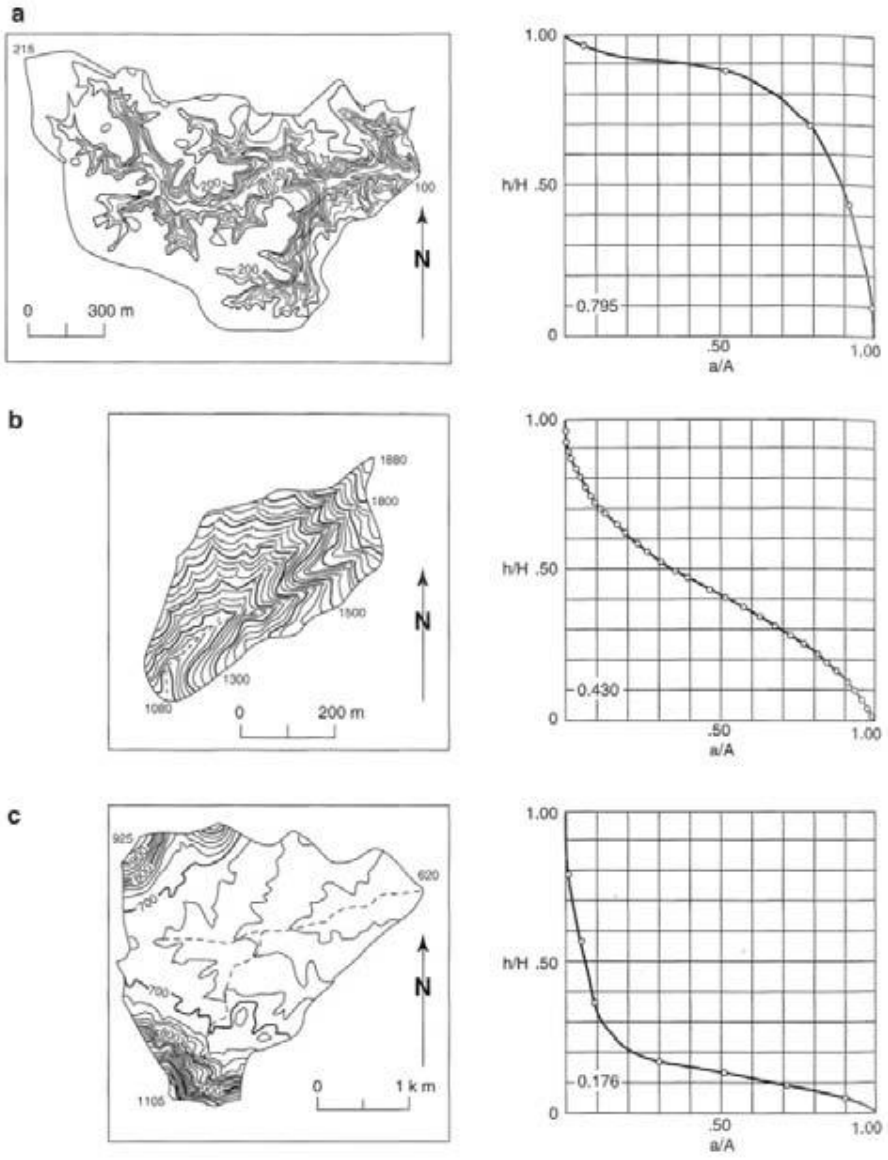
$$Hi = (h_{mean} - h_{min}) / (h_{max} - h_{min})$$ (Keller & Printer, 2002)

Στον τύπο αυτό το h_{mean} αντιστοιχεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης, το h_{min} το ελάχιστο υψόμετρο αυτής και αντιστοίχως το h_{max} το μέγιστο. Οι τιμές του μέγιστου και του ελάχιστου υψομέτρου υπολογίζονται απευθείας από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου για την κάθε λεκάνη απορροής, ενώ οι τιμές του μέσου υψομέτρου υπολογίζονται με 2 τρόπους: είτε υπολογίζοντας το μέσο όρο σε 50 τυχαία σημεία στη λεκάνη, είτε ως η μέση τιμή όλων των υψομέτρων της λεκάνης χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis 10. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα θα μπορούσε χωρίς σφάλμα να συσχετιστεί με το βαθμό απογύμνωσης του αναγλύφου. Η συσχέτιση αυτή το καθιστά σημαντικό δείκτη του σταδίου που βρίσκεται η λεκάνη απορροής μέσα στον κύκλο διάβρωσης.

Ο κύκλος αυτός αποτελείται από 3 στάδια: νεότητας, ωριμότητας και γήρατος. Σύμφωνα με τον Strahler (1952, 1957,1964) η μορφή που παρουσιάζει η υψομετρική καμπύλη όπως και η εκάστοτε τιμή μπορούν να δώσουν στοιχεία για το εξελικτικό στάδιο της λεκάνης. Υψηλές τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος χαρακτηρίζουν περιοχές που βρίσκονται στο στάδιο νεότητας, οπού το ανάγλυφο είναι τραχύ και κυριαρχούν βαθιές και τραχείς κοιλάδες σχήματος V. Ενδιάμεσες τιμές και σιγμοειδής μορφή της υψομετρικής καμπύλης χαρακτηρίζουν περιοχές όπου οι γεωμορφολογικές διεργασίες βρίσκονται σε μια σχετική ισορροπία. Τέλος, χαμηλές τιμές του ολοκληρώματος και παρουσία ‘πλατώματος’ στην καμπύλη αντιπροσωπεύουν κοιλάδες που βρίσκονται στο στάδιο του γήρατος όπου κυριαρχούν οι πεπλατυσμένες κοιλάδες καθώς και ότι οι περιοχές χαρακτηρίζονται από τεκτονική αδράνεια αφού οι διαβρωτικές διεργασίες υπερισχύουν κατά πολύ των ενδογενών.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Η μετάβαση από το στάδιο της νεότητας στο στάδιο της ωριμότητας ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση σε τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος που αγγίζουν το 60%, ενώ αντίστροφα η μετάβαση από το στάδιο της ωριμότητας σε αυτό του γήρατος ανταποκρίνεται σε τιμές του υψομετρικού ολοκληρώματος κοντά στο 35% (Strahler 1952, 1957, 1964, Αστάρας, 1980, Πέννος, 2009).



Σχήμα 11: Τα τρία εξελικτικά στάδια του αναγλύφου και οι αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες που τα χαρακτηρίζουν (Keller & Printer, 2002).

Μετά την αρίθμηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, ακολουθεί η αριθμητική ανάλυση, με τον υπολογισμό ορισμένων μορφομετρικών παραμέτρων του

υδρογραφικού συστήματος. Έτσι αρχικά, εφαρμόστηκαν ο πρώτος και ο δεύτερος νόμος του Horton.

3.2.3.2. 1ος νόμος του Horton

Μια από τις μορφομετρικές παραμέτρους που υπολογίστηκαν για το υδρογραφικό δίκτυο είναι ο συντελεστής διακλάδωσης (Rb). Για την επίτευξη αυτού του υπολογισμού εφαρμόστηκε ο πρώτος νόμος του Horton που ονομάζεται αλλιώς ως νόμος της υδρογραφικής διακλάδωσης και διατυπώνεται ως εξής: Ο αριθμός των διαδοχικώς μικρότερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίσει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα που είναι ο κλάδος της μέγιστης τάξης και λόγος, ο λόγος διακλάδωσης Rb.

Μαθηματικά αυτός ο νόμος εκφράζεται: $\mathbf{Nu = Rb^{(k-u)}}$

Όπου Nu είναι ο αριθμός ρεμάτων τάξης u, k είναι η μέγιστη τάξη και u είναι η ζητούμενη τάξη.

Επομένως συμπεραίνεται ότι ο λόγος διακλάδωσης εκφράζεται μαθηματικά:

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

3.2.3.3. 2ος Νόμος του Horton (νόμος του μήκους των κλάδων)

Ο δεύτερος νόμος, είναι ο νόμος του μήκους των κλάδων και διατύπωσή του είναι η εξής: τα αθροιστικά μέσα μήκη των διαδοχικώς μεγαλύτερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων $1^{ης}$ τάξης και λόγος, ο λόγος του μήκους R_L.

Η μαθηματική έκφραση του νόμου είναι:

$$\Sigma\, \bar{L}_u = \bar{L}_1 R_L^{(u-1)}$$

Όπου: $\bar{L}_u$ = το μέσο μήκος των κλάδων τάξεως u

$\bar{L}_1$ = το μέσο μήκος των κλάδων $1^{ης}$ τάξεως

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

u = ζητούμενη τάξη

Ο λόγος του μήκους δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mathbf{R_L = \Sigma \bar{L}_u / \Sigma \bar{L}_{(u+1)}}$$

Υπολογισμός μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής

Οι μορφομετρικές παράμετροι που υπολογίστηκαν για τις λεκάνες απορροής είναι η υδρογραφική πυκνότητα, υδρογραφική συχνότητα, ο λόγος αναγλύφου, ο λόγος επιμήκυνσης, ο βαθμός τραχύτητας, δείκτης ασυμμετρίας της λεκάνης, η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα.

Οι παράμετροι της υδρογραφικής πυκνότητας και της υδρογραφικής συχνότητας αποτελούν αριθμητικές εκφράσεις της υφής μιας λεκάνης απορροής και συνδέονται με το κλίμα της περιοχής, τη λιθολογική σύσταση, τη βλάστηση και το ανάγλυφο των λεκανών (Αστάρας, 1980, Πεχλιβανίδου, 2007).

3.2.3.4. Υδρογραφική Πυκνότητα

Ως υδρογραφική πυκνότητα D ορίζεται ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων του δικτύου μιας λεκάνης απορροής, δια του εμβαδού της λεκάνης αυτής. Η μαθηματική έκφραση της υδρογραφικής πυκνότητας είναι:

$$\mathbf{D = \Sigma Lu / Au \ Km^{-1}}$$

Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας ποικίλλουν. Υδρογραφική πυκνότητα με τιμές μεταξύ 3-4 Km^{-1} θεωρείται χαμηλή, μέτρια για τιμές 8-16 Km^{-1} και υψηλή για τιμές από 30-50 Km^{-1}. Σε περιοχές με σκληρά πετρώματα και καλυπτόμενες από πυκνή βλάστηση, η υδρογραφική πυκνότητα είναι χαμηλή. Σε περιοχές με μαλακά πετρώματα και καλυπτόμενες από πυκνή βλάστηση, η υδρογραφική πυκνότητα είναι

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μέτρια. Τέλος, υψηλή υδρογραφική πυκνότητα παρατηρείται σε περιοχές με ιζηματογενή πετρώματα, υψηλό ανάγλυφο και απουσία φυτοκάλυψης (Σωτηριάδης & Ψιλοβίκος, 1984). Να τονισθεί επίσης ότι η υδρογραφική πυκνότητα δίνει αρκετές πληροφορίες για την ανάλυση του αναγλύφου και το πόσο προσιτή είναι αυτή. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το κλίμα στην περιοχή, το πόσο συνεκτικά είναι τα πετρώματα στην περιοχή, τη φυτοκάλυψη που έχει η εκάστοτε περιοχή καθώς και το ανάγλυφο (Αστάρας, 1980).

3.2.3.5. Υδρογραφική Συχνότητα

Ως υδρογραφική συχνότητα ορίζεται ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων μιας λεκάνης απορροής, δια του εμβαδού της λεκάνης αυτής. Η μαθηματική έκφραση της υδρογραφικής συχνότητας είναι:

$$\mathbf{F=\Sigma Nu/Au\ Km^{-2}}$$

Η υδρογραφική συχνότητα εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες, που εξαρτάται και η υδρογραφική πυκνότητα ως προς τις τιμές. Εξαρτάται όπως και υδρογραφική πυκνότητα από τη γεωλογική δομή της περιοχής δηλαδή από τη συνεκτικότητα που έχουν τα πετρώματα, το κλίμα της περιοχής καθώς και την παρουσία φυτοκάλυψης (Horton, 1945).

3.2.3.6. Λόγος Αναγλύφου

Ο λόγος αναγλύφου είναι ένας χωρίς διαστάσεις λόγος που ισούται με το γινόμενο του υψομέτρου και του μέγιστου μήκους της λεκάνης απορροής. Ο Rh μετράει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης και είναι δείκτης της εντάσεως των διαβρωτικών διεργασιών που συντελούνται.

Ο λόγος του αναγλύφου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mathbf{Rh=(Hmax-Hmin)/Lbmax}$$

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.2.3.7. Λόγος Επιμήκυνσης

Ο λόγος επιμήκυνσης εκφράζει το σχήμα των λεκανών απορροής του υδρογραφικού δικτύου και ορίζεται ως ο λόγος της διαμέτρου του κύκλου (d) ο οποίος έχει εμβαδό ίσο με το εμβαδό της λεκάνης προς τη μέγιστη απόσταση της λεκάνης (Lbmax). Η μέγιστη διάσταση της λεκάνης υπολογίζεται παράλληλα προς την κυρίως υδρογραφική γραμμή, όπως αυτή λαμβάνεται από τον τοπογραφικό χάρτη (Schumm, 1956, Αστάρας, 1980, Πέννος, 2009).

Ο λόγος του επιμήκυνσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

Er=d/Lbmax=2($\sqrt{Au/\pi}$**)/Lbmax**

Οι τιμές του λόγου επιμήκυνσης κυμαίνονται από 0 έως 1,57. Η τιμή 1,57 αντιπροσωπεύει μία λεκάνη με ιδανικό σχήμα κύκλου, ενώ η τιμή 0 περιγράφει μία πλήρως επιμηκυσμένη λεκάνη. Τιμές μεταξύ 0,6 έως 0,8 σχετίζονται γενικά με λεκάνες έντονου αναγλύφου και απότομες κλίσεις κλιτύων, ενώ τιμές μεγαλύτερες του 0,8 αναφέρονται σε λεκάνες με χαμηλό ανάγλυφο (Lykoudi & Angelaki, 2004, Πεχλιβανίδου, 2007, Πέννος, 2009).

Ο λόγος επιμήκυνσης 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).

3.2.3.8. Βαθμός Τραχύτητας

Βαθμός τραχύτητας είναι το γινόμενο της υδρογραφικής πυκνότητας και του μέγιστο αναγλύφου της λεκάνης απορροής εκφραζόμενων και των δύο με τις ίδιες διαστάσεις. Υψηλές τιμές του Rn εμφανίζονται σε περιοχές όπου οι κλιτύες είναι απότομες και έχουν μεγάλο μήκος.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ο βαθμός τραχύτητας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Rn=Hmax*D$$

Κατόπιν, υπολογίστηκαν οι Μορφομετρικοί - Μορφοτεκτονικοί δείκτες που σχετίζονται με την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Στις ενεργές τεκτονικά περιοχές, η γεωμετρία των υδρολογικών λεκανών παρουσιάζει ιδιαίτερη εικόνα τις περισσότερες φορές.

3.2.3.9. Δείκτης Ασυμμετρίας Λεκάνης

Ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης χρησιμοποιείται για την ανίχνευση πιθανής τεκτονικής που έχει επηρεάσει την υδρολογική λεκάνη ή και μεγαλύτερης κλίμακας περιοχές.

Ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$AF=100(A_r/A_t)$$

Όπου $\mathbf{A_r}$ = η επιφάνεια της λεκάνης που βρίσκεται στα δεξιά του κύριου κλάδου προς τα κατάντη και $\mathbf{A_t}$ = η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής.

Εάν οι τιμές της AF είναι κοντά στο 50 τότε δεν υπάρχει ή 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. Η εφαρμογή του δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν η λεκάνη απορροής αναπτύσσεται σε ομοιόμορφο λιθολογικά υπόβαθρο. Επίσης, ο δείκτης AF είναι ευαίσθητος μόνο σε κάθετες περιστροφές στην ανάπτυξη του κυρίου ρέματος και θεωρείται ότι η λιθολογία και το κλίμα δεν επηρεάζουν τη διαμόρφωσή του (Keller&Printer, 2002, Παράσχου, 2005).

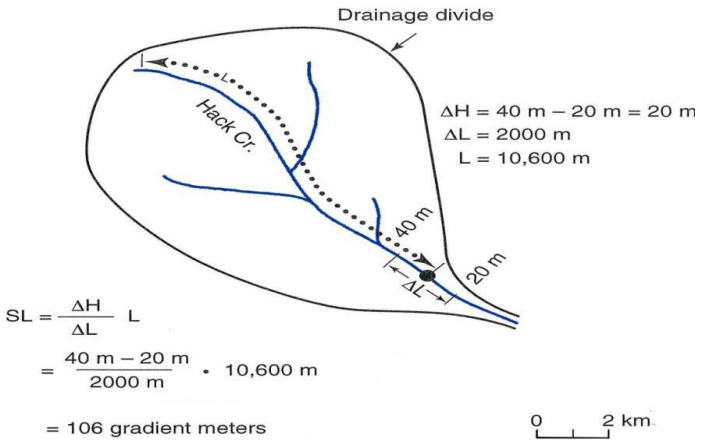
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.2.3.10. Δείκτης μήκους - κλίσης ρέματος

Ο δείκτης κλίσης ρέματος παρουσιάζει την αλλαγή στην κλίση που μπορεί να υπάρξει κατά μήκος ενός ποταμού και επηρεάζεται άμεσα από τη δύναμη του ρέματος. Σε ένα χαρακτηριστικό και συγκεκριμένο σημείου του ποταμού μπορεί να υπολογιστεί η συνολική δύναμη του, και για αυτόν το λόγο χρήζει σημαντικότητας ως δείκτης διότι συσχετίζεται άμεσα με την διαβρωτική ικανότητα του ρέματος και κατά συνέπεια με την μεταφορά των ιζημάτων μέσα σε αυτό. Ο δείκτης αυτός εμφανίζει μια ιδιαίτερη ευαισθησία τόσο στις διάφορες αλλαγές της κλίσης της κοίτης του ρέματος και αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό καθώς και την εκτίμηση για μια πιθανή τεκτονική επίδραση στην λεκάνη απορροής (Ανύψωση – Καταβύθιση), όσο και στην αλλαγή της λιθολογικής δομής δηλαδή της αντίστασης των πετρωμάτων και την τοπογραφία. Για αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα του δείκτη κλίσης ρέματος προτιμούνται κυρίως κλάδοι μικρής τάξης οι οποίοι χαρακτηρίζονται με μικρή δύναμη.

Ο δείκτης υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο: **SL = (ΔH/ΔL)L**

Για να υπάρχει μεγαλύτερη ευκρίνεια στο δείκτη SL το εκάστοτε ρέμα διαχωρίζεται σε μικρότερα τμήματα, με ΔH να ορίζεται ως η υψομετρική διαφορά του κάθε τμήματος, ΔL το μήκος του κάθε τμήματος και L να ορίζεται ως το συνολικό μήκος του κάθε τμήματος μέχρι το πιο ψηλό σημείο του ρέματος. Το διάγραμμα των τιμών προκύπτει από το αθροιστικό ΔH καθώς και το υψόμετρο.



Σχήμα 12: Σχεδιάγραμμα για τον τρόπο υπολογισμού του δείκτη SL (Keller& Printer, 2002)

Κεφάλαιο 4ο Εργασίες πεδίου

Εισαγωγή

Η έρευνα για την περιοχή μελέτης ξεκίνησε την άνοιξη του 2013 και το καλοκαίρι του 2013 και 2014, και χωρίζεται σε 2 στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε μια γενική χαρτογράφηση της κοίτης του Ρήχιου ποταμού με τη χρήση GPS, ενώ σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκαν 3 ηλεκτρικές τομογραφίες στην περιοχή μελέτης με σκοπό την εξέταση της λιθολογίας του υπεδάφους. Ταυτόχρονα με τις διασκοπήσεις αποτυπώθηκε το γεωγραφικό στίγμα καθώς και το απόλυτο υψόμετρο τους με τη χρήση του δέκτη GPS , με σκοπό την ακριβή προβολή τους στο χάρτη, επεξεργασμένες σε περιβάλλον ArcGis 10.

4.1. Σύστημα εντοπισμού απόλυτου υψομέτρου μέσω του βαρόμετρου

Για τον υπολογισμό του απόλυτου υψομέτρου χρησιμοποιήθηκαν 2 δέκτες GPS της εταιρίας Garmin τύπου GPSMAP 60 CSx. Ό ένας δέκτης τοποθετήθηκε σε σταθερό σημείο με γνωστές συντεταγμένες (από τα τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ.) και γνωστό απόλυτο υψόμετρο (μέσα από τον υπολογισμό της ατμοσφαιρικής πίεσης από το βαρόμετρο του δέκτη). Ό άλλος δέκτης είναι φορητός και υπολογίζει μέσω του βαρόμετρου το απόλυτο υψόμετρο σε κάθε σημείο. Η διαφορά μεταξύ των υπολογισμένων και των γνωστών απόλυτων υψομέτρων είναι το σφάλμα που υπολογίζεται απευθείας από τους δέκτες.

Εικόνα 3: Δέκτης GPS της εταιρίας Garmin τύπου GPSMAP 60 CSx.

4.2. Διεξαγωγή γεωφυσικών διασκοπήσεων

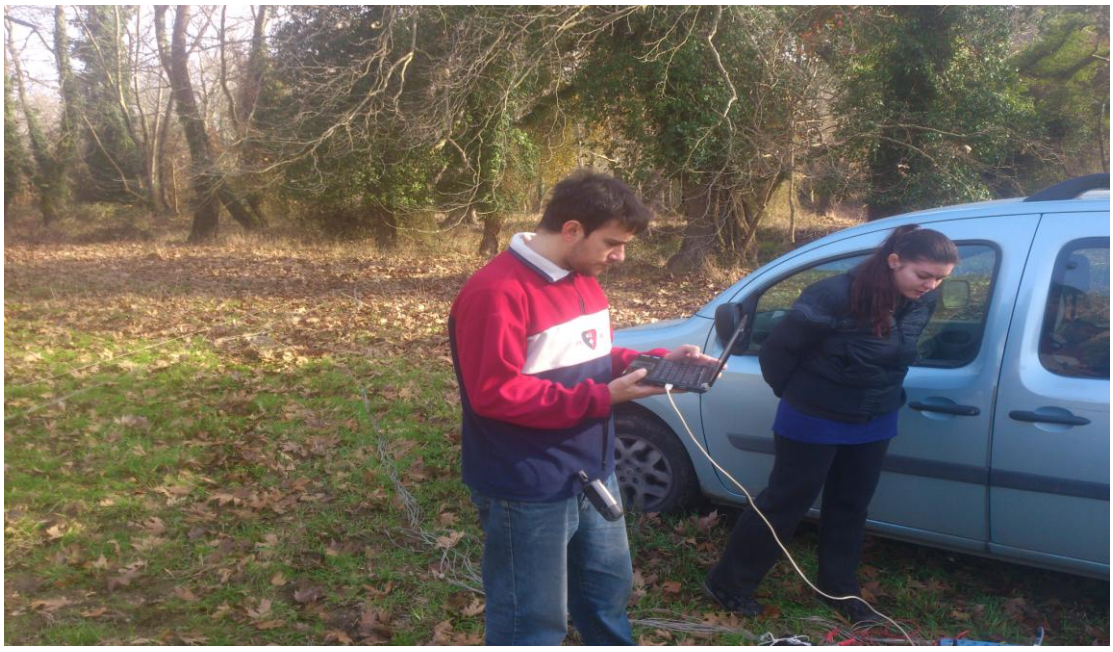
Στις ηλεκτρικές μεθόδους ηλεκτρικής διασκόπησης εισάγουμε ρεύμα στη Γη ανάμεσα σε 2 ηλεκτρόδια και μετράμε τη διαφορά δυναμικού σε 2 άλλα. Η μέτρηση της αντίστασης που προκύπτει ανάγεται σε τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και το φαινόμενο αποτέλεσμα αυτής είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Τσόκας κ.α. 2012).

Πιο συγκεκριμένα οι διασκοπήσεις στην περιοχή μελέτης έλαβαν χώρα στις 20/01/2014. Χρησιμοποιήθηκε το όργανο Syscal Pro της Iris Instrument.

Εικόνα 4: Όργανο Syscal Pro

Αυτό χαρακτηρίζεται ως ένα όργανο που μετράει αυτόματα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση και λειτουργεί με την παροχή συνεχούς ρεύματος. Η μέγιστη τάση του είναι τα 800V και έχει μέγιστη παροχή ρεύματος με ένταση που φτάνει ως 2500 mA. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης ηλεκτρόδια από ατσάλι, πολυκαναλικό καλώδιο και μετροταινία ώστε τα ηλεκτρόδια να χωρομετρηθούν σε ευθείες γραμμές.

Εικόνα 5: Πολυκαναλικό καλώδιο που συνδέει τα ηλεκτρόδια με το όργανο Syscal Pro.



Εικόνα 6: Ανάλυση αποτελεσμάτων των διασκοπήσεων από το όργανο Syscal Pro.

Έγιναν τρείς ηλεκτρικές διασκοπήσεις όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Οι δυο πρώτες έγιναν παράλληλα με την κοίτη του Ρήχειου ποταμού ενώ η τρίτη έγινε κάθετα σε αυτήν. Σε κάθε μια από αυτές χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια που συνδέονται με το πολυκαναλικό καλώδιο, τοποθετημένα σε ευθείες γραμμές με τη χρήση της μετροταινίας. Στην πρώτη και στην δεύτερη διασκόπηση η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ήταν στα 10 μέτρα ενώ στην τρίτη διασκόπηση ήταν στα 7

μέτρα. Στη συνέχεια με τη χρήση του GPS πάρθηκε το στίγμα για κάθε ηλεκτρόδιο καθώς και το υψόμετρο του.

4.3. Ανάλυση των ηλεκτρικών τομογραφιών

Σε επόμενο στάδιο τα δεδομένα των γεωφυσικών διασκοπήσεων υποβλήθηκαν στη διαδικασία μιας πολύπλοκης μαθηματικά και υπολογιστικά διαδικασίας που ονομάζεται αντιστροφή. Αυτό συμβαίνει διότι οι μετρήσεις που προκύπτουν εμφανίζουν μια παραμόρφωση ως προς τις πραγματικές ηλεκτρικές αντιστάσεις του υπεδάφους. Οπότε είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα μοντέλο αντίστασης του υπεδάφους που να παράγει συνθετικές μετρήσεις οι οποίες να εμφανίζουν πολύ μικρή τυπική απόκλιση σε σχέση με τις μετρημένες φαινόμενες ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Επισημαίνεται ότι υπάρχει ο περιορισμός σε αυτά τα μοντέλα, δηλαδή οι παραγόμενες μετρήσεις να εμφανίζουν μια συμβατότητα με την κατανομή της αντίστασης.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται DC_2DPRO (Kim, 2010) και πρόκειται για έναν επαναληπτικό αλγόριθμο όπου εκτελεί μια κανονικοποιημένη μη γραμμική δυσδιάστατη αντιστροφή γεωηλεκτρικών δεδομένων με τη μέθοδο αντιστροφής του Occam (Constable, 1987, Tsourlos et al., 1998; Tsourlos and Ogilvy, 1999).

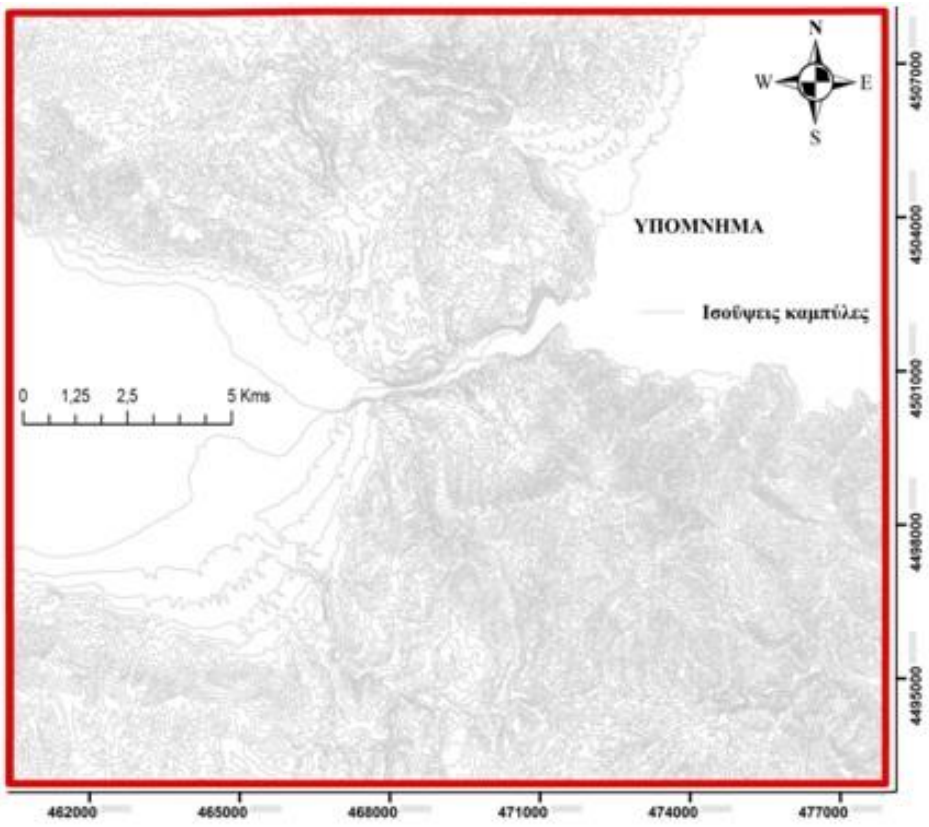
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 5^{ο} : Αποτελέσματα

Σύμφωνα με το 3^{ο} κεφάλαιο της παρούσας διατριβής ειδίκευσης υπολογίστηκαν σε περιβάλλον ArcGis 10 οι μορφοτεκτονικοί δείκτες για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων για την περιοχή μελέτης. Χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες: Στους **γεωμορφολογικούς δείκτες** και στους **υδρολογικούς δείκτες**.

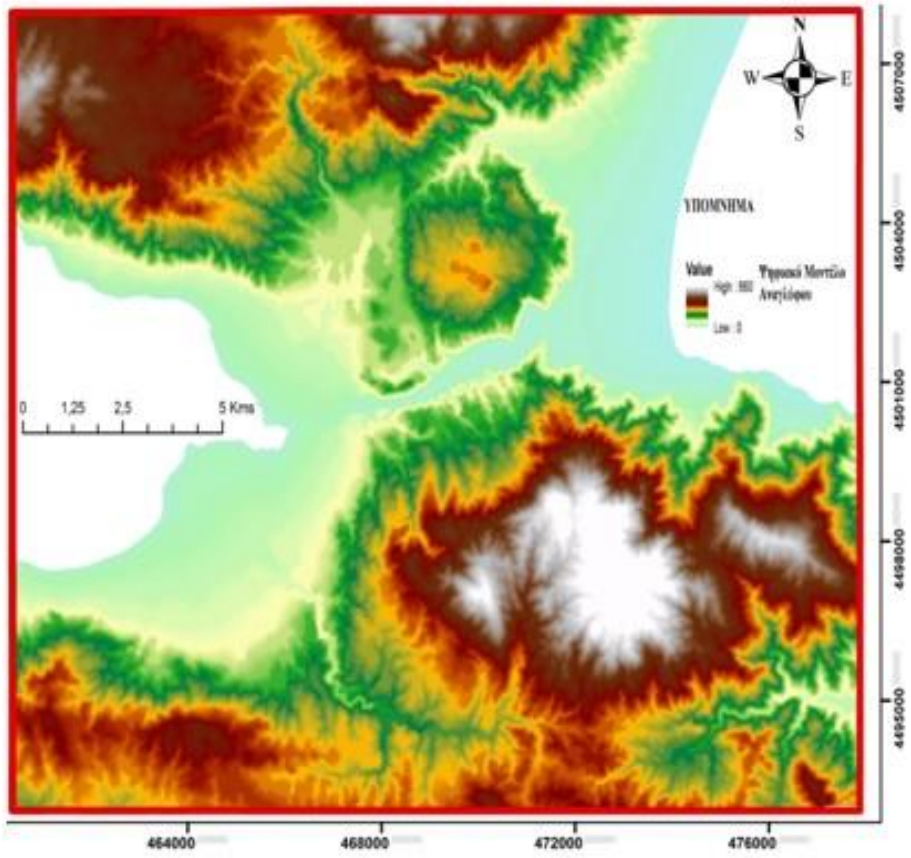
5.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες

Σε πρώτη φάση ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 20 μέτρων από τον Τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ. 1:50.000 Φύλλο Σταυρός μέσω του ArcGis10.



Χάρτης 7: Ισοϋψείς καμπύλες της περιοχής μελέτης από τον τοπογραφικό χάρτη της Γ.ΥΣ. Φύλλο Σταυρός ψηφιοποιημένες στο ArcGis 10 με ισοδιάσταση 20 m.

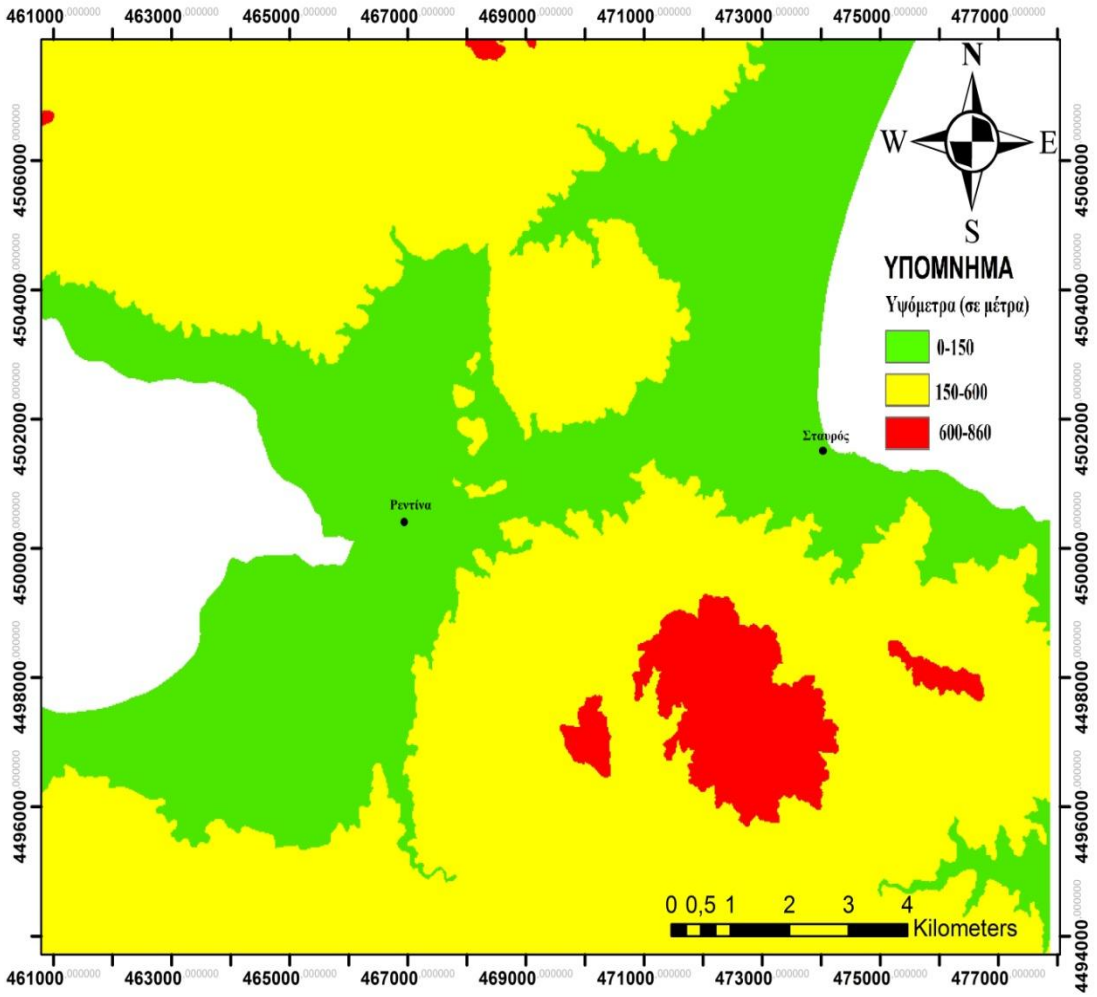
Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών ώστε να εξαχθούν οι παρακάτω γεωμορφολογικοί δείκτες.



Χάρτης 8: Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου έπειτα από ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπύλων στο ArcGis 10 από τον τοπογραφικό χάρτη του Γ.Υ.Σ. Φύλλο Σταυρός

5.1.1. Ταξινόμηση αναγλύφου

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις τιμές των υψομέτρων του πίνακα ταξινόμησης αναγλύφου κατά Dikau (1989) καθώς και το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου της περιοχής μελέτης, μέσω της εντολής σε περιβάλλον ArcGIS 10: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify, δημιουργήθηκε ο χάρτης υψομέτρων της περιοχής μελέτης.



Χάρτης 9: Χάρτης Υψομέτρων στην περιοχή του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης.

Επίσης υπολογίστηκε η έκταση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km²), και το ποσοστό επί τοις εκατό που καταλαμβάνει κάθε περιοχή, ανάλογα με το χαρακτηρισμό κατά Dikau, 1989. Για τη μέτρηση της έκτασης χρησιμοποιήθηκε η εντολή ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to Polygon, ώστε το αρχείο raster να μετατραπεί σε πολύγωνο, και να μετρηθεί η έκταση της κάθε τάξης αυτού.

Απόλυτο υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός περιοχής	Έκταση $(km)^2$	Ποσοστό (%)
< 150	Πεδινή	072,22	32,98
150 - 600	Λοφώδης	137,95	63,00
600 - 860	Ημιορεινή	008,80	04,02
	Συνολική έκταση	**218,97**	**100,00**

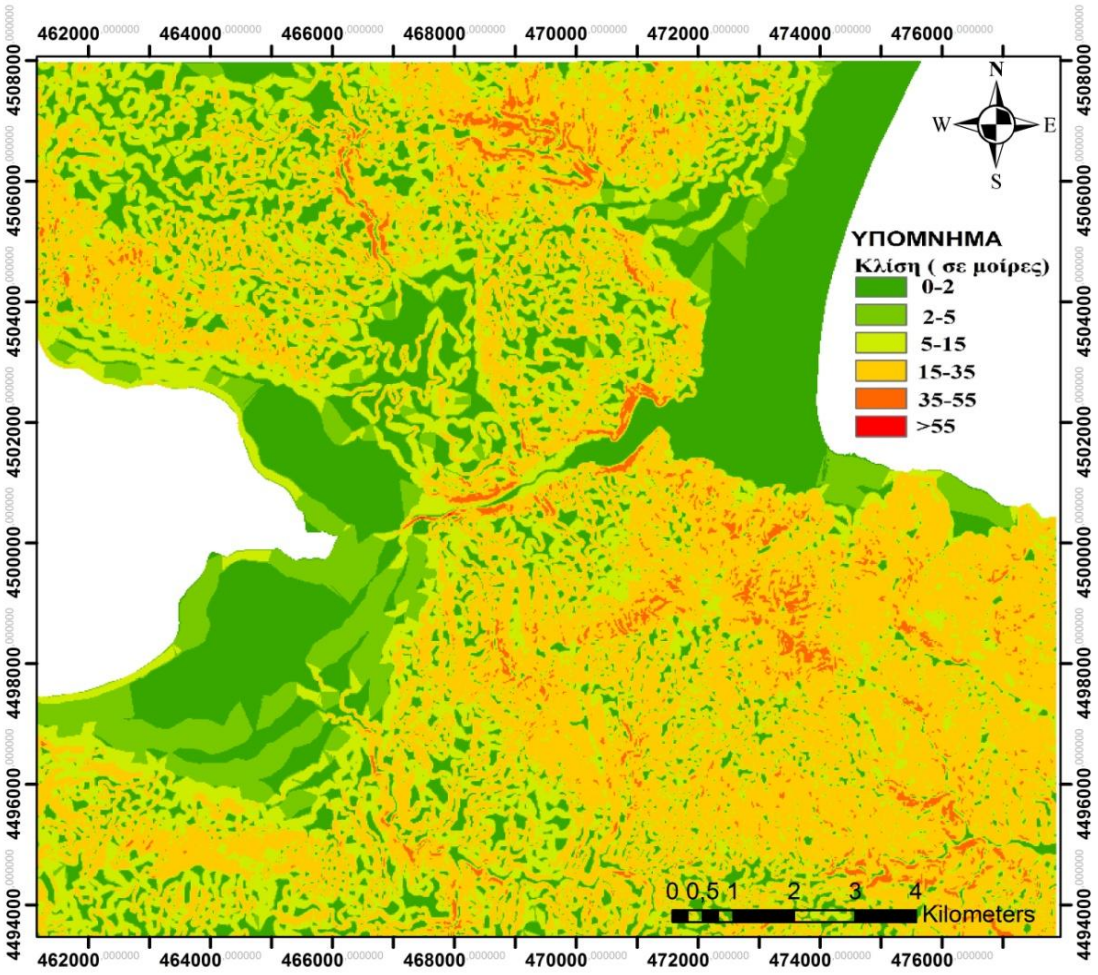
Πίνακας 5: Έκταση και ποσοστά ανάγλυφου με βάση την ταξινόμηση Dikau (1989) όπως αυτά διαμορφώνονται στην περιοχή.

Με βάση την κατανομή των παραπάνω τιμών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται λοφώδες (63,00 %) έως πεδινό (32,98 %). Το πεδινό μέρος με το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα στο χάρτη αναπτύσσεται στην όχθη της λίμνης Βόλβης καθώς και κατά μήκος του Ρήχιου ποταμού στα Μακεδονικά Τέμπη και καταλήγει στο Στρυμονικό κόλπο. Αναπτύσσεται στο μέρος του ανατολικού περιθωρίου όπου αποτίθενται τα τεταρτογενή ιζήματα. Σε πεδινό υψόμετρο βρίσκονται και τα αστικά συγκροτήματα της περιοχής μελέτης που είναι η πόλη της Ρεντίνας στα δυτικά του χάρτη καθώς και η πόλη του Σταυρού στο ανατολικό τμήμα του χάρτη. Κατά κύριο λόγο η περιοχή καλύπτεται με κίτρινο χρώμα οπού αναπαριστάται το λοφώδες ανάγλυφο στην περιοχή μελέτης, και είναι οι πρόποδες των όρεων Χολομώντα στα νότια και των Κερδυλίων στα βόρεια στην περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών. Ο Χολομώντας είναι όρος του νομού Χαλκιδικής με μέγιστο υψόμετρο τα 1165 μέτρα, ενώ τα Κερδύλια είναι όρη ανάμεσα στους νομούς Θεσσαλονίκης και Σερρών και αποτελούν μια συνέχεια της μεγάλης ορεινής αλυσίδας Κερκίνης - Δυσώρου - Μαυροβουνίου – Βερτίσκου με μέγιστο υψόμετρο τα 1100 μέτρα. Στην περιοχή μελέτης συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα αναπαριστάται το ημιορεινό ανάγλυφο αυτών των όρεων με σημαντικές κορυφές στο όρος του Χολομώντα στα νότια του χάρτη τα 864 μέτρα, ενώ στα βόρεια του χάρτη στα Όρη των Κερδυλίων τα 636 μέτρα.

5.1.2. Κλίση ανάγλυφου

Με βάση την κατηγοριοποίηση του Demek (1972), κατασκευάστηκε ο χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης με την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) σε περιβάλλον ArcGis 10 με την εντολή: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Slope.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Χάρτης 10: Χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις τιμές των κλίσεων του παραπάνω χάρτη σε περιβάλλον ArcGIS 10: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify, δημιουργήθηκε ο χάρτης υψομέτρων της περιοχής μελέτης, και κατασκευάστηκε στη συνέχεια ο παρακάτω πίνακας, οπού φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνει η κάθε ομάδα κλίσεων καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό αυτής επί τοις εκατό. Για τη μέτρηση της έκτασης και σε αυτήν την περίπτωση μετέπειτα χρησιμοποιήθηκε η εντολή ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to Polygon, ώστε το αρχείο raster να μετατραπεί σε πολύγωνο, και να μετρηθεί η έκταση της κάθε τάξης αυτού.

Γωνία Κλίσης (^{o})	Έκταση (km^2)	Ποσοστό Έκτασης (%)
0-2	46,11	21,06
2-5	20,68	09,44
5-15	54,84	25,05
15-35	89,54	40,89
35-55	04,64	02,12
>55	03,16	01,44
Συνολική έκταση	**218,97**	**100,00**

Πίνακας 6: Η έκταση και το ποσοστό της κάθε τάξης κλίσης στην περιοχή μελέτης.

Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα καθώς και παρατηρώντας τον χάρτη κλίσεων καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Κατά κύριο λόγο, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από κλίσεις αναγλύφου **15° - 35°** σε ποσοστιαία αναλογία 40,89%, και βρίσκονται διασκορπισμένες σε όλη σχεδόν την έκταση του χάρτη υποδεικνύοντας σε πολλές θέσεις απογύμνωση του μητρικού πετρώματος, καθώς και ερπυσμό του εδάφους, λασπορροή καθώς και έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση. Αυτές οι κλίσεις αναγλύφου εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στους ορεινούς όγκους των Κερδυλίων στα βόρεια και του Χολομώντα στα νότια του χάρτη.
- Μετέπειτα η περιοχή χαρακτηρίζεται από κλίσεις αναγλύφου **5° - 15°** σε ποσοστιαία αναλογία 25,05%, και εντοπίζονται σε ορισμένες θέσεις κοντά στην όχθη της λίμνης Βόλβης στα δυτικά του χάρτη, κοντά στα παράλια του Στρυμονικού κόλπου στα δυτικά καθώς και σε διασκορπισμένες θέσεις στους 2 ορεινούς όγκους (Κερδυλλίων, Χολομώντα). Οι κλίσεις αυτές παρατηρούνται σε υψόμετρα λοφώδη έως ορεινά και έχουν άμεση επίδραση με τη δράση των ρεμάτων στην περιοχή, όπου υπόκεινται κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση, και σε ορισμένες θέσεις αυλακωτή διάβρωση. Σχηματίζοντας πολλές φορές απότομες χαραδρώσεις και φαράγγια (Μακεδονικά Τέμπη), αν και δεν πρέπει ποτέ να αποκλείεται και η ενεργός τεκτονική δράση για τη δημιουργία αυτών, πάντα σε ζώνες ρηγμάτων.
- Ακολουθούν στην συνέχεια οι κλίσεις αναγλύφου **0° - 2°** και **2° - 5°** σε ποσοστιαία αναλογία αντίστοιχα 21,06% και 9,44%, όπου εμφανίζονται

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

κατά κύριο λόγο στα παράλια της λίμνης Βόλβης στα ανατολικά καθώς και στα παράλια του Στρυμονικού κόλπου στα δυτικά και δείχνουν ένα ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο, και πολλές φορές αναφέρονται και ως επιφάνειες επιπέδωσης. Στις χαρακτηριστικές κλίσεις αναγλύφου συναντάται κυρίως πρόσφατη ιζηματογένεση με τα μεταλπικά ιζήματα, ενώ εμφανίζονται και σε μεγαλύτερα υψόμετρα στους 2 ορεινούς όγκους της περιοχής (Κερδυλίων, Χολομώντα) όπως παρατηρείται εύκολα και στον χάρτη, σε σπάνιες περιπτώσεις όπου η πιθανότερη συσχέτιση είναι με καρστικές επίπεδες μορφές.

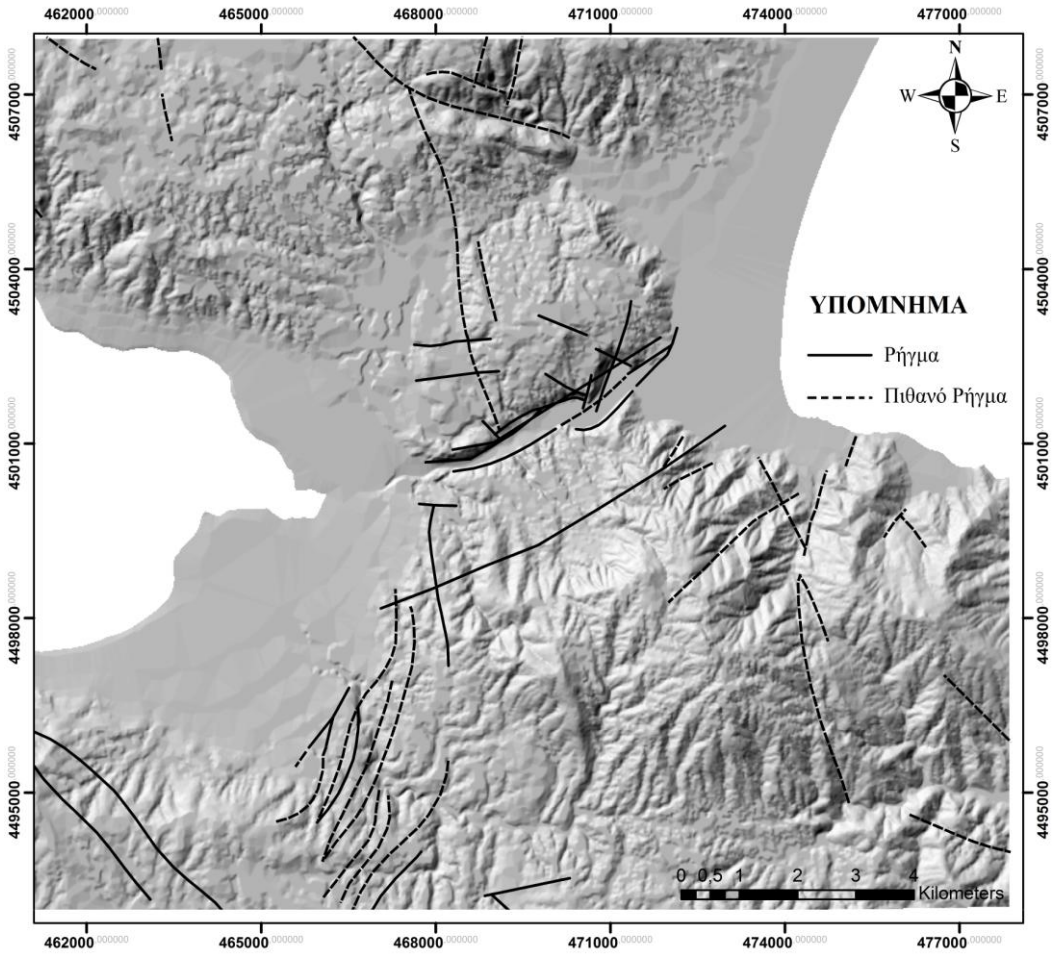
- Τέλος εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης οι κλίσεις αναγλύφου **35° - 55°**, καθώς και οι κλίσεις **> 55°** σε ποσοστιαία αναλογία αντίστοιχα 2,12% και 1,44%. Εμφανίζονται στην περιοχή σε ορισμένες θέσεις στο χάρτη με μεγάλα υψόμετρα (> 600m) και υποδηλώνουν ένα απόκρημνο ανάγλυφο με ένα πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα εδάφους οπού το μητρικό πέτρωμα έχει απογυμνωθεί τελείως ενώ στη σπάνιες περιπτώσεις που συναντώνται οι μεγαλύτερες κλίσεις το ανάγλυφο τείνει να γίνει κάθετο με το έδαφος σχεδόν να απουσιάζει, τα πετρώματα να απογυμνώνονται σε πολλές θέσεις και την κατάρρευση βράχων να έχει μεγάλες πιθανότητες να συμβεί.

5.1.3. Χάρτης Σκιασμένου Ανάγλυφου

Ο χάρτης αυτός προκύπτει από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) χωρικής ανάλυσης 20 μέτρων σε περιβάλλον ArcGis10 με την εντολή ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Hillshade. Το αζιμούθιο της φωτεινής πηγής ρυθμίζεται στις 315° και το ύψος αυτής ρυθμίζεται στις 45°.

Η χρήση αυτού του χάρτη χρήζει ιδιαίτερης σημαντικότητας γιατί γίνονται εύκολα κατανοητές συγκεκριμένες δομές που αφορούν τη γεωλογία και τη τεκτονική μιας περιοχής (Παράσχου, 2005).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



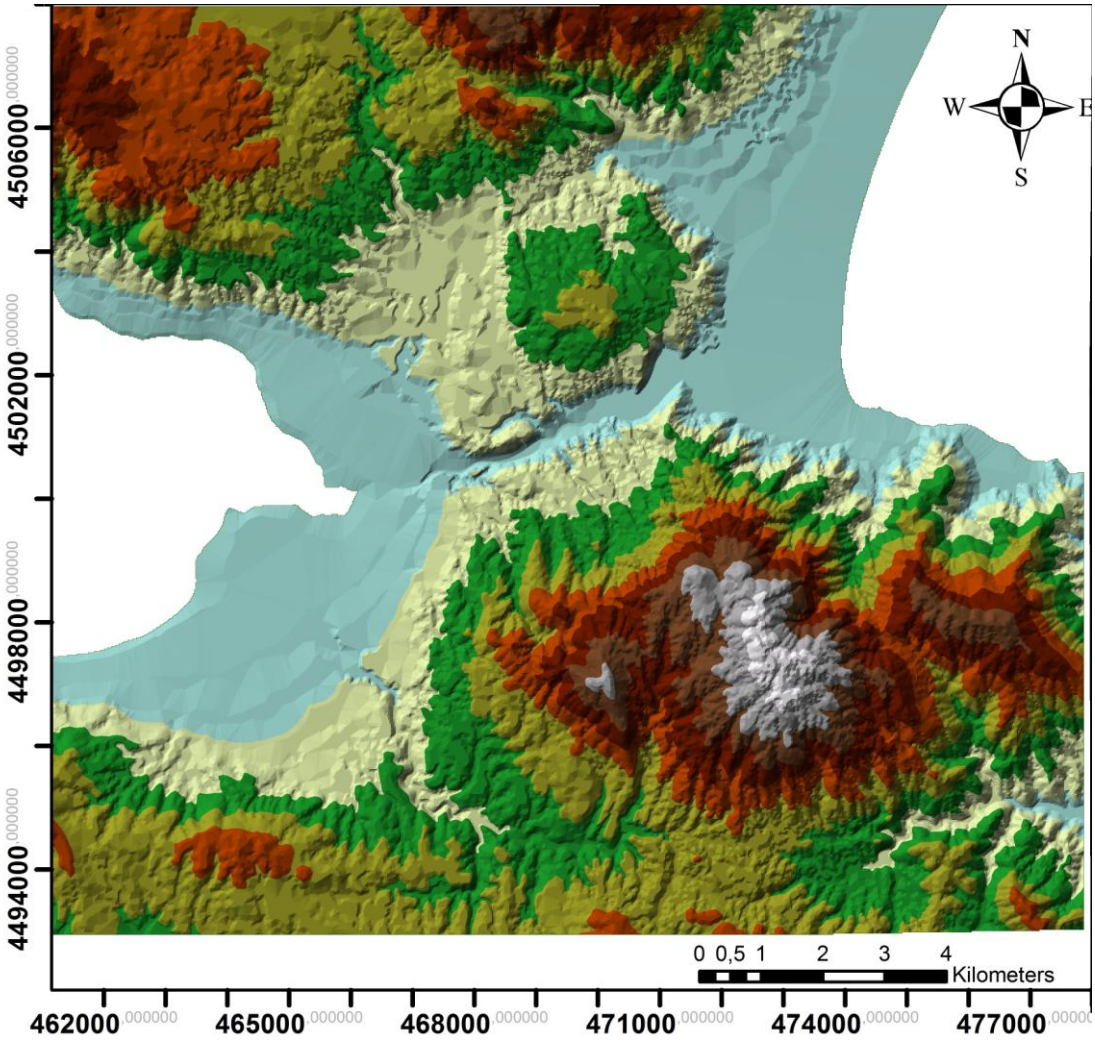
Χάρτης 11: Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης. Απεικονίζονται τα ρήγματα και τα πιθανά ρήγματα της περιοχής με συνεχή και διακεκομμένες γραμμές αντίστοιχα από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (1978), καθώς επίσης και τον Νεοτεκτονικό χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης (Tranos et al., 2003).

Στο ανατολικό περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης τα ρήγματα είναι εύκολα διακριτά στην περιοχή των ορεινών όγκων Κερδυλίων στα βόρεια και Χολομώντα στα νότια στην περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών (στο κεντρικό μέρος του χάρτη). Οι τεκτονικές δομές συνδέονται κατά κύριο λόγο με την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή το οποίο εντοπίζεται σε απότομα φαράγγια και σε δομές κατά βάθος διάβρωσης. Να επισημανθεί εδώ ότι ο σχηματισμός τριγωνικών πρανών κατά μήκων των τεκτονικών δομών είναι γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό της δράσης των κανονικών ρηγμάτων (Παράσχου 2005). Μέσω αυτού του χάρτη εξάγονται εύκολα συμπεράσματα σχετικά με τη γεωμορφολογία του ανατολικού περιθωρίου.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.1.4. Χάρτης τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων

Και αυτός ο χάρτης προκύπτει από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) χωρικής ανάλυσης 20 μέτρων σε περιβάλλον ArcGis 10 με την εντολή ArcToolbox → 3D Analyst Tools → Conversion → From Raster → Raster to TIN. Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους όπου χρησιμοποιούνται ακανόνιστα κατανεμημένα υψομετρικά σημεία και αναπαριστώντας το ανάγλυφο της περιοχής με ένα δίκτυο τριγωνικών επιφανειακών εδρών. Τα υψομετρικά δεδομένα σε αυτόν τον χάρτη λειτουργούν με τη μορφή διανυσμάτων.



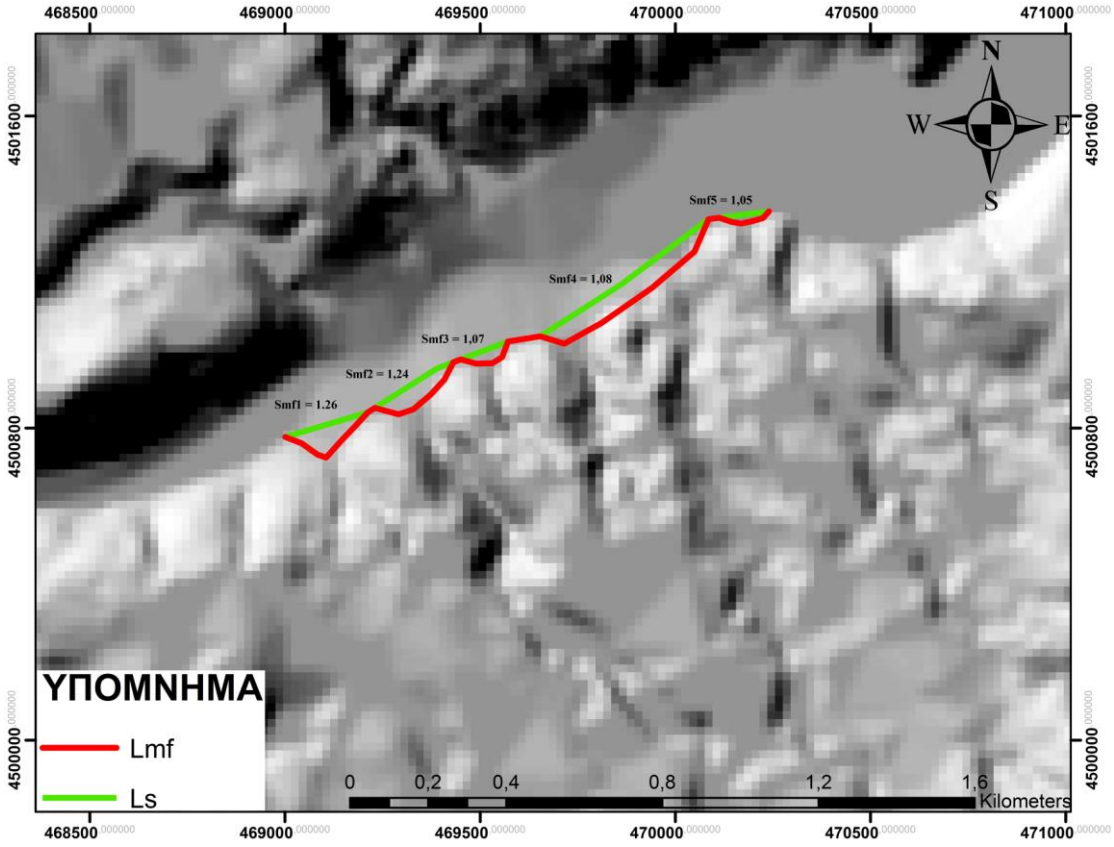
Χάρτης 12: Χάρτης τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης.

Ο χάρτης αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός γιατί δίνει μια καλύτερη αποτύπωση του αναγλύφου σε σχέση με ένα χάρτη ψηφιακού αναγλύφου. Εύκολα

παρατηρούνται οι ορεινοί όγκοι των Κερδυλίων στα βόρεια και του Χολομώντα στα νότια της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και οι περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο περιμετρικά της λίμνης Βόλβης στα δυτικά και στο Στρυμονικό κόλπο στα ανατολικά.

5.1.5. Δείκτης δαντέλωσης μετώπου όρους

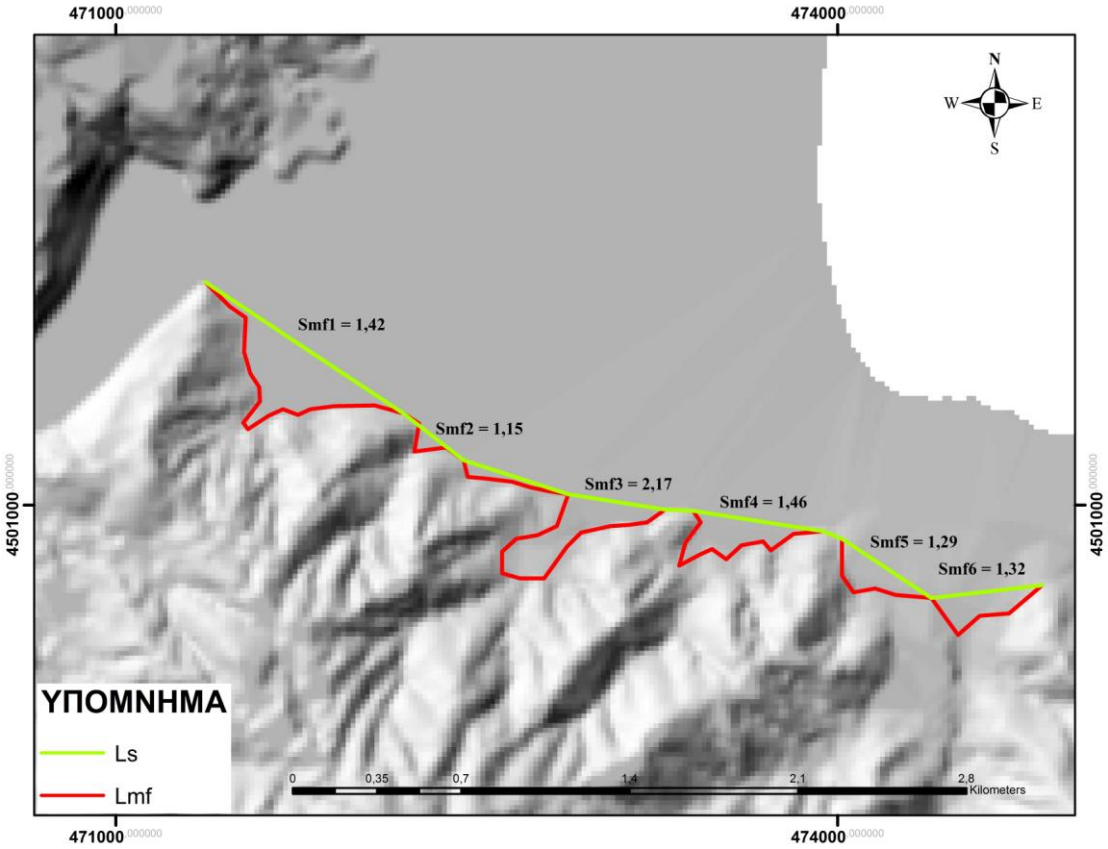
Στην παρούσα διατριβή ο δείκτης δαντέλωσης υπολογίστηκε πάνω σε ορισμένες θέσεις στα μέτωπα του όρεος του Χολομώντα, εντός της κοίτης του Ρήχιου ποταμού στην περιοχή όπου έγιναν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ο χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου, όπως φαίνεται παρακάτω.



Χάρτης 13: Χάρτης υπολογισμού δαντέλωσης μετώπου στους πρόποδες στο όρος Χολομώντα. Με πράσινο χρώμα αποτυπώνεται η οριζόντια απόσταση, ενώ με κόκκινο χρώμα η πραγματική. Το υπόβαθρο είναι ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου.

Παρατηρούνται χαμηλές τιμές στο δείκτη δαντέλωσης στα μέτωπα του όρους με τιμές:1.26, 1.24, 1.07, 1.08 και 1.05 που δηλώνουν ενεργό τεκτονική δράση στην περιοχή και σχετικά υψηλή ενεργότητα όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Παράλληλα ο δείκτης δαντέλωσης υπολογίστηκε σε ορισμένες θέσεις στους πρόποδες του Χολομώντα ανατολικά από τον προηγούμενο χάρτη, όπως παρατηρείται στον παρακάτω χάρτη.



Χάρτης 14: Χάρτης υπολογισμού δαντέλωσης μετώπου στους πρόποδες στο όρος Κερδύλια. Με πράσινο χρώμα αποτυπώνεται η οριζόντια απόσταση, ενώ με κόκκινο χρώμα η πραγματική. Το υπόβαθρο είναι ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου.

Σε αυτό το χάρτη παρατηρούνται πιο υψηλές τιμές στο δείκτη δαντέλωσης στα 6 μέτωπα από ότι προηγουμένως, όπου έγιναν οι υπολογισμοί με τιμές 1.42, 1.15, 2.17, 1.46, 1.29, 1.32 αντίστοιχα για το κάθε ένα που δηλώνουν ότι η τεκτονική δράση στην περιοχή έχει δευτερεύοντα ρόλο διότι η διάβρωση υπερισχύει αυτής.

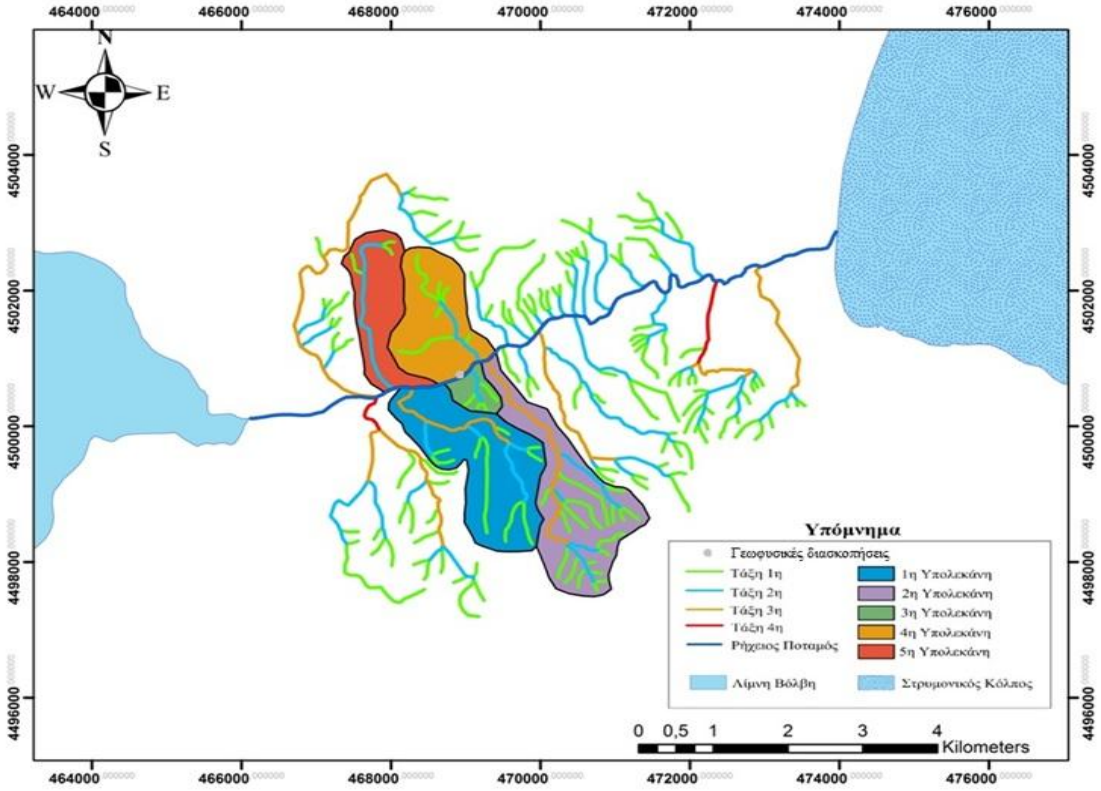
Τα μέτωπα διακρίνονται από χαμηλή ενεργότητα και θεωρούνται ανενεργά, αφού αντιπροσωπεύουν την παλιά κοίτη του Ρήχιου ποταμού.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.2. Υδρογραφικές συνθήκες

Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν πέντε υπολεκάνες απορροής (Η $1^{η}$ και η $2^{η}$ υπολεκάνη είναι $3^{ης}$ τάξης, ενώ η $3^{η}$, $4^{η}$ και $5^{η}$ υπολεκάνη είναι $2^{ης}$ τάξης) στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Ρήχειου ποταμού στην περιοχή όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη, και πραγματοποιήθηκε αριθμητική ανάλυση κατά Strahler (1952) του υδρογραφικού δικτύου σε αυτές με τον υπολογισμό ορισμένων μορφομετρικών παραμέτρων.



Χάρτης 15: Χάρτης αρίθμησης του υδρογραφικού δικτύου των πέντε υπολεκανών της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης του Ρήχειου ποταμού κατά Strahler (1952).

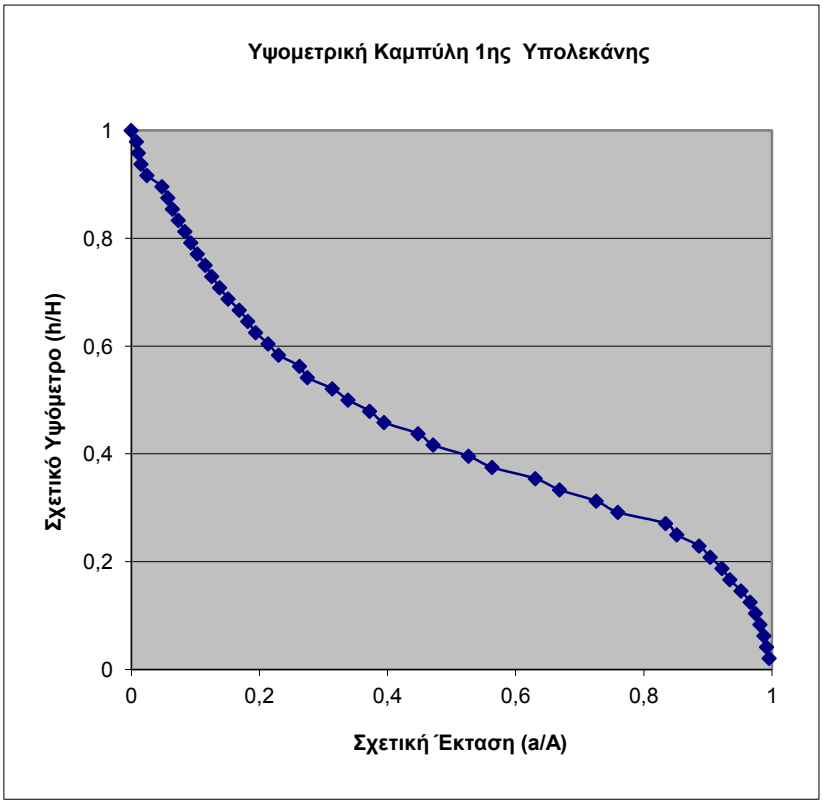
5.2.1. Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Στην περιοχή του ανατολικού περιθωρίου έγινε η κατασκευή των υψομετρικών καμπύλων και των υψομετρικών ολοκληρωμάτων για τις πέντε υπολεκάνες, όπως φαίνεται στον προηγούμενο χάρτη που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον ArcGis 10.

- $1^{η}$ υπολεκάνη ($3^{ης}$ τάξης)

Όσον αφορά το υψομετρικό ολοκλήρωμα: Η $1^{η}$ υπολεκάνη βρίσκεται Νοτιοδυτικά από το σημείο όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και εκτείνεται από τα 20 μέτρα έως τα 500 μέτρα μέγιστου ύψους με μέσο υψόμετρο τα 236,68 μέτρα. Ο μαθηματικός υπολογισμός του υψομετρικού ολοκληρώματος υπολογίζεται: Hi = (236,68 – 20)/(500-20) = 45,14% και η λεκάνη στον υδρολογικό κύκλο διάβρωσης βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας με το ανάγλυφο να ποικίλει σε ένα μεγάλο εύρος κλίσεων.

Όσον αφόρα την περιγραφή της υψομετρικής καμπύλης (σύμφωνα με το Σχήμα 11, σελ. 39), η καμπύλη βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας και διακρίνεται ότι στα μεγαλύτερα υψόμετρα της λεκάνης (500-400 m) επικρατεί μια απότομη μεταβολή του αναγλύφου. Η διάβρωση συνεχίζεται με χαμηλότερους ρυθμούς σε ενδιάμεσα υψόμετρα (400 – 150 m), ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα (150 – 20 m) το ανάγλυφο μεταβάλλεται ξανά απότομα στους πρόποδες του Όρους του Χολομώντα.



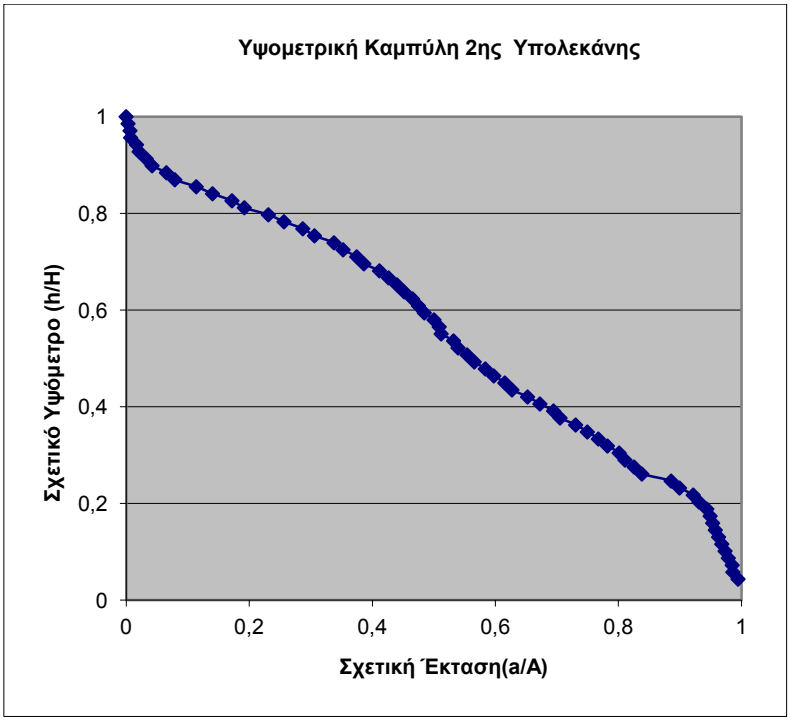
Σχήμα 13Α: Υψομετρική καμπύλη $1^{ης}$ υπολεκάνης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- $2^{η}$ υπολεκάνη ($3^{ης}$ τάξης)

Όσον αφορά το υψομετρικό ολοκλήρωμα: Η $2^{η}$ υπολεκάνη βρίσκεται Νοτιοανατολικά από το σημείο όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και εκτείνεται από τα 20 μέτρα έως τα 700 μέτρα μέγιστου ύψους με μέσο υψόμετρο τα 386,47 μέτρα. Ο μαθηματικός υπολογισμός του υψομετρικού ολοκληρώματος υπολογίζεται: Hi = (386,47 – 20)/(700-20) = 46,83% και η λεκάνη στον υδρολογικό κύκλο διάβρωσης βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας με το ανάγλυφο να ποικίλει σε ένα μεγάλο εύρος κλίσεων, ενώ στο τέλος της καμπύλης παρατηρούνται υψηλοί ρυθμοί διάβρωσης.

Όσον αφόρα την περιγραφή της υψομετρικής καμπύλης (σύμφωνα με το Σχήμα 11, σελ. 39), η καμπύλη βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας, οπού στα πρώτα 70 m (700- 630 m) παρατηρείται μια απότομη μεταβολή του ανάγλυφου, ενώ στο ενδιάμεσο στάδιο της καμπύλης παρατηρείται μια ανύψωση, για αυτό και δεν ακολουθεί την κλασική ανάπτυξη μιας υψομετρικής καμπύλης στο στάδιο ωριμότητας. Στα χαμηλότερα υψόμετρα (180 – 20 m) επικρατεί μια απότομη μεταβολή του αναγλύφου στους πρόποδες του Όρους του Χολομώντα.



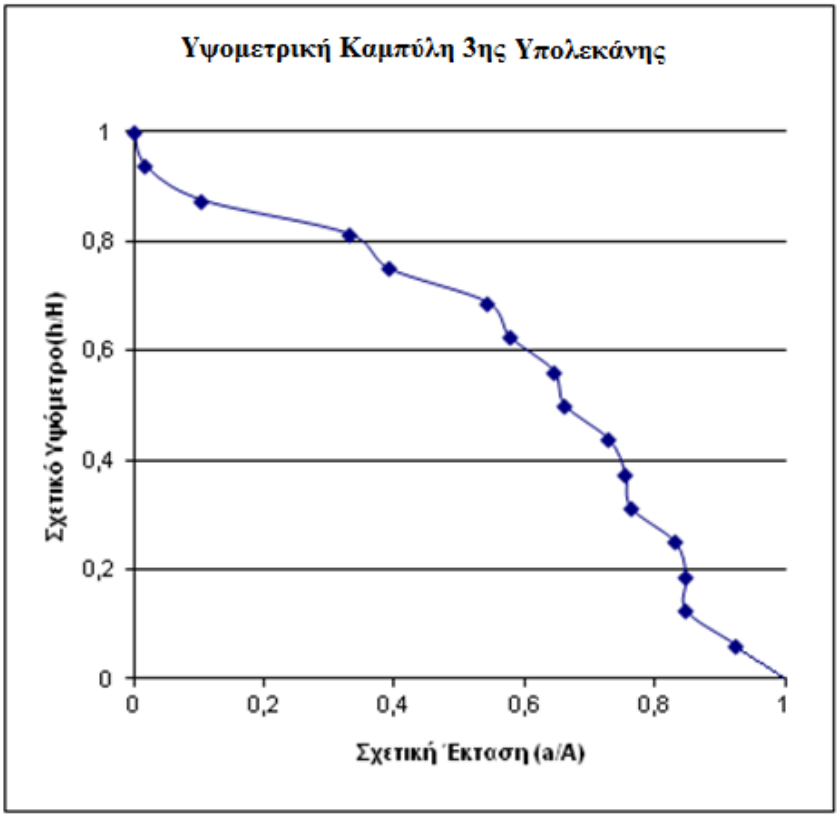
Σχήμα 13Β: Υψομετρική καμπύλη $2^{ης}$ υπολεκάνης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- 3η υπολεκάνη (2ης τάξης)

Όσον αφορά το υψομετρικό ολοκλήρωμα: Η 3η υπολεκάνη βρίσκεται Νότια από το σημείο όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και εκτείνεται από τα 20 μέτρα έως τα 180 μέτρα μέγιστου υψομέτρου με μέσο υψόμετρο τα 115,08 μέτρα. Μαθηματικά το υψομετρικό ολοκλήρωμα υπολογίζεται: Hi = (115,08 – 20)/(180-20) = 59,43% και η υπολεκάνη βρίσκεται στο στάδιο της πρώιμης ωριμότητας.

Όσον αφορά την περιγραφή της υψομετρικής καμπύλης (σύμφωνα με το Σχήμα 11, σελ. 39) η καμπύλη βρίσκεται στο στάδιο της πρώιμης ωριμότητας (μεταβατικό στάδιο μεταξύ νεότητας και ωριμότητας). Λόγω του ότι πρόκειται για μια μικρή υπολεκάνη η υψομετρική καμπύλη εμφανίζει μια ανομοιομορφία σε σχέση με την κλασική υψομετρική καμπύλη στο στάδιο ωριμότητας. Επομένως επικρατεί μια ανομοιόμορφη μεταβολή του αναγλύφου σε αυτήν.



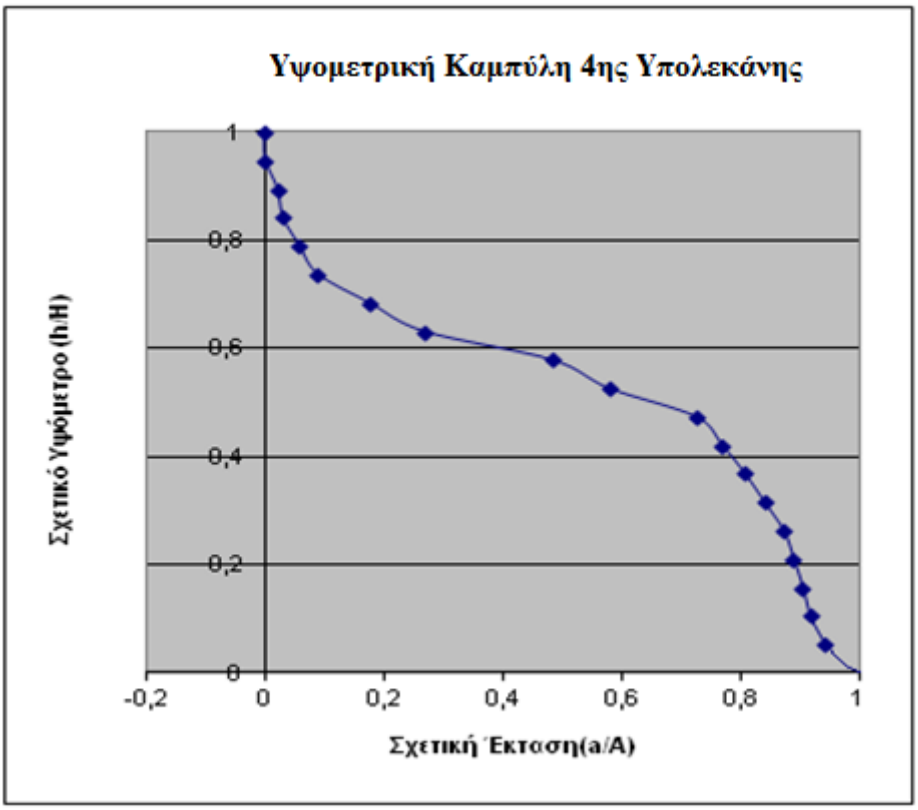
Σχήμα 13Γ: Υψομετρική καμπύλη 3ης υπολεκάνης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- $4^{η}$ υπολεκάνη ($2^{ης}$ τάξης)

Όσον αφορά το υψομετρικό ολοκλήρωμα: Η $4^{η}$ υπολεκάνη βρίσκεται Βορειοανατολικά από το σημείο όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και εκτείνεται από τα 20 μέτρα έως τα 200 μέτρα μέγιστου υψομέτρου με μέσο υψόμετρο τα 120,12 μέτρα. Μαθηματικά το υψομετρικό ολοκλήρωμα υπολογίζεται: Hi = (120,12 – 20)/(210-20) = 52,69% και η υπολεκάνη θεωρείται ότι βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας.

Όσον αφορά την περιγραφή της υψομετρικής καμπύλης (σύμφωνα με το Σχήμα 11, σελ. 39) η καμπύλη βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας. Παρατηρείται στα μεγαλύτερα υψόμετρα (200 – 160m) το ανάγλυφο να μεταβάλλεται απότομα. Σε ενδιάμεσα υψόμετρα (160 – 95 m) ο ρυθμός της μεταβολής του αναγλύφου εμφανίζεται με χαμηλότερους ρυθμούς, ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα (95 – 20 m) το ανάγλυφο της υπολεκάνης εμφανίζει μια πιο απότομη μεταβολή στους πρόποδες του Όρους των Κερδυλλίων.

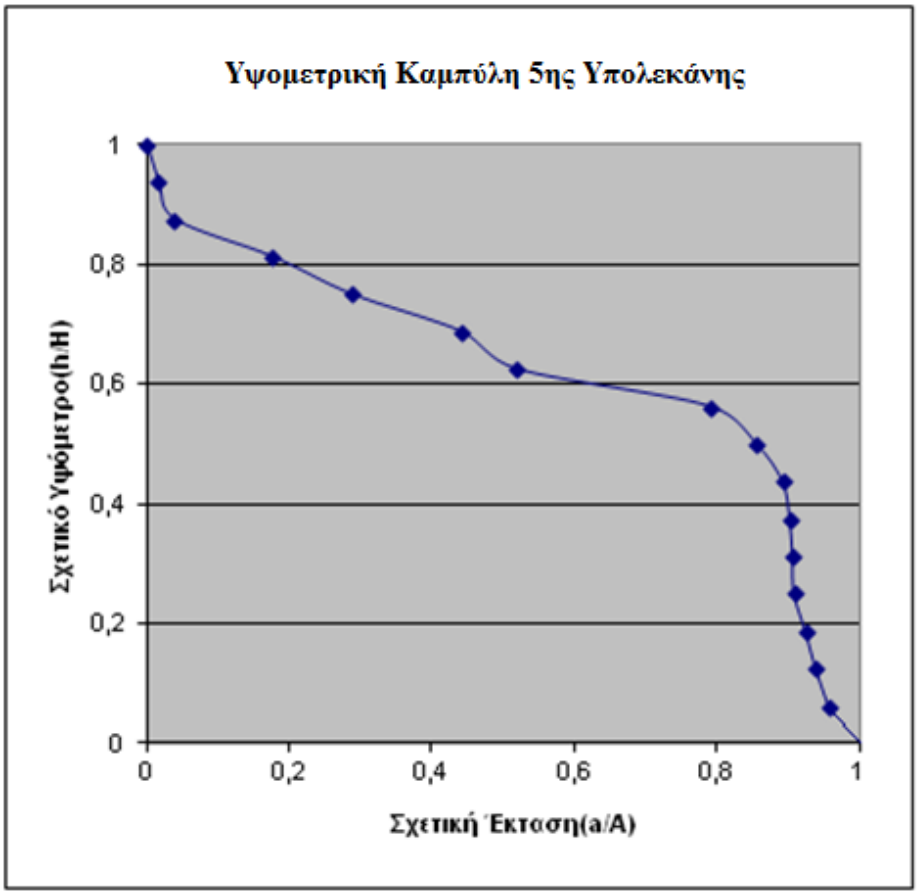


Σχήμα 13Δ: Υψομετρική καμπύλη $4^{ης}$ υπολεκάνης.

- 5η υπολεκάνη (2ης τάξης)

Όσον αφορά το υψομετρικό ολοκλήρωμα: Η 5η υπολεκάνη βρίσκεται Βορειοδυτικά από το σημείο όπου έλαβαν χώρα οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και εκτείνεται από τα 20 μέτρα έως τα 180 μέτρα μέγιστου υψομέτρου με μέσο υψόμετρο τα 121,8 μέτρα. Μαθηματικά το υψομετρικό ολοκλήρωμα υπολογίζεται: Hi = (121,8 – 20)/(180-20) = 63% και η λεκάνη θεωρείται ότι είναι στο στάδιο ωριμότητας.

Όσον αφορά την περιγραφή της υψομετρικής καμπύλης (σύμφωνα με το Σχήμα 11, σελ. 39) παρατηρείται και σε αυτήν την καμπύλη στα μεγαλύτερα υψόμετρα (180 – 160 m) μια έντονη μεταβολή του αναγλύφου. Σε ενδιάμεσα υψόμετρα (160 – 108 m) η μεταβολή του αναγλύφου εμφανίζεται με χαμηλότερους ρυθμούς, ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα (108 – 20 m) το ανάγλυφο μεταβάλλεται απότομα στους πρόποδες του Όρους των Κερδυλλίων.



Σχήμα 13Ε: Υψομετρική καμπύλη 5ης υπολεκάνη.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.2.2. 1ος νόμος του Horton

Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ο δείκτης διακλάδωσης για τις 5 υδρολογικές υπολεκάνες που αναφέρθηκαν προηγουμένως στους παρακάτω πίνακες:

1η Υπολεκάνη		
u	Nu	Rb
1	9	2,25
2	4	4
3	1	
Μέσο Rb = 3,13		

Πίνακας 7Α

2η Υπολεκάνη		
u	Nu	Rb
1	18	4,5
2	4	4
3	1	
Μέσο Rb = 4,25		

Πίνακας 7Β

3η Υπολεκάνη		
u	Nu	Rb
1	4	4
2	1	
Μέσο Rb= 4		

Πίνακας 7Γ

4η Υπολεκάνη		
u	Nu	Rb
1	6	6
2	1	
Μέσο Rb= 6		

Πίνακας 7Δ

5η Υπολεκάνη		
u	Nu	Rb
1	3	3
2	1	
Μέσο Rb= 3		

Πίνακας 7Ε

Πίνακες 7Α, 7Β, 7Γ, 7Δ, 7Ε: Εφαρμογή του νόμου υδρογραφικής διακλάδωσης για τις πέντε υπολεκάνες.

Παρατηρείται ότι το υδρογραφικό δίκτυο σε όλες τις υπολεκάνες εκτός από την 4η είναι ανεπηρέαστο από την τεκτονική δράση καθώς και τη λιθολογία αφού είναι εντός των φυσιολογικών ορίων (3<Rb<5) και ακολουθεί μια φυσιολογική ανάπτυξη (Σωτηριάδης Λ. & Ψιλοβίκος Α. , 1984).

5.2.3. 2ος νόμος του Horton

Ο 2ος νόμος του Horton (Νόμος του μήκους των κλάδων) στην περιοχή μελέτης αναλύθηκε στις 5 υπολεκάνες όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

u	1	2	3
Lu (m)	4335,95	2004,99	2155,78
ΣLu mean (m)	481,77	501,25	2155,78
ΣLu mean (m)	481,77	983,02	3138,80
RL	--	2,04	3,19
RL mean = 2,62			

Πίνακας 8Α : Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945) για την 1η υπολεκάνη.

u	1	2	3
Lu (m)	6608,29	2525,16	3390,02
ΣLu mean (m)	367,13	631,29	3390,02
ΣLu mean (m)	367,13	998,42	4388,44
RL	--	2,72	4,39
RL mean = 3,55			

Πίνακας 8Β : Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945) για την 2η υπολεκάνη.

u	1	2
Lu (m)	848,23	1524,30
ΣLu mean (m)	212,06	1524,30
ΣLu mean (m)	212,06	1736,36
RL	--	8,19
RL mean = 8,19		

Πίνακας 8Γ: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945) για την 3η υπολεκάνη.

u	1	2
Lu (m)	2612,7	1100,60
ΣLu mean (m)	435,45	1100,60
ΣLu mean (m)	435,45	1536,05
RL	--	3,53
RL mean = 3,53		

Πίνακας 8Δ: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945) για την 4η υπολεκάνη.

u	1	2
Lu (m)	719,66	2530,71
ΣLu mean (m)	239,89	2530,71
ΣLu mean (m)	239,89	2770,60
RL	--	11,54
RL mean = 11,54		

Πίνακας 8Ε: Εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton (1945) για την 5η υπολεκάνη.

Σαν συμπέρασμα από τους 2 πρώτους νόμους του Horton στο υδρογραφικό δίκτυο που αναλύθηκε στις πέντε υπολεκάνες της περιοχή μελέτης παρατηρείται ότι η ανάπτυξη του δεν παρουσιάζει παντού μια ομοιομορφία αλλά παρουσιάζεται μια ανισοκατανομή κυρίως στους κλάδους 2ης και 3ης τάξης όπου κύριο λόγο λαμβάνει η επίδραση της γεωλογικής δομής και σημαντικό λόγω παίζει επίσης η δράση της τεκτονικής σε αυτές.

Υπολογισμός μορφομετρικών παραμέτρων των λεκανών απορροής

Στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκαν οι ακόλουθες μορφομετρικές παράμετροι: η υδρογραφική πυκνότητα, η υδρογραφική συχνότητα, ο λόγος αναγλύφου, ο λόγος επιμήκυνσης, ο βαθμός τραχύτητας και ο δείκτης ασυμμετρίας της λεκάνης.

5.2.4. Υδρογραφική Πυκνότητα

Η υδρογραφική πυκνότητα υπολογίζεται με τον τύπο όπως αναλήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο: **D= (ΣLu/Au) Km^{-1}**

Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης υπολογίστηκε η υδρογραφική πυκνότητα για τις 5 υπολεκάνες από την ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Ρήχειου ποταμού όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα:

	ΣLu(km)	**Au(km)^2**	**D (km)$^{-1}$**
1η υπολεκάνη	8,50	2,73	**3,11**
2η υπολεκάνη	12,52	2,67	**4,69**
3η υπολεκάνη	2,37	0,33	**7,18**
4η υπολεκάνη	3,71	1,80	**2,06**
5η υπολεκάνη	3,25	1,40	**2,32**

Πίνακας 9: Υπολογισμός υδρογραφικής πυκνότητας για τις πέντε υπολεκάνες.

Οι τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας σε όλες σχεδόν τις υπολεκάνες είναι χαμηλότερες από το 5 και θεωρούνται χαμηλές με αραιή ανάπτυξη των κλάδων στην εκάστοτε υπολεκάνη. Αντίθετα στην 3η υπολεκάνη η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας είναι μεγαλύτερη από 6 και θεωρείται ενδιάμεση, με μεγαλύτερη ανάπτυξη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου. Γενικώς οι σχετικά χαμηλές τιμές οφείλονται στα αρκετά συνεκτικά υπερκείμενα πετρώματα καθώς και στην παρουσία φυτοκάλυψης που διέπει τις υπολεκάνες.

5.2.5. Υδρογραφική Συχνότητα

Η υδρογραφική συχνότητα υπολογίζεται με τον τύπο όπως αναλήθηκε εκτενέστερα σε προηγούμενο κεφάλαιο: **F= (ΣNu/Au) Km^{-2}**

Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης υπολογίστηκε η υδρογραφική συχνότητα για τις πέντε υπολεκάνες όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα:

	ΣNu	**Au $(km)^2$**	**F $(km)^{-2}$**
1η υπολεκάνη	14	2,73	**5,13**
2η υπολεκάνη	23	2,67	**8,61**
3η υπολεκάνη	5	0,33	**15,15**
4η υπολεκάνη	7	1,80	**3,88**
5η υπολεκάνη	4	1,40	**2,85**

Πίνακας 10: Υπολογισμός υδρογραφικής συχνότητας για τις πέντε υπολεκάνες.

Και στον υπολογισμό της υδρογραφικής συχνότητας η λεκάνη του Ρήχειου χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλή τιμή που οφείλεται όπως και στην υδρογραφική πυκνότητα στα πολύ συνεκτικά πετρώματα της περιοχής καθώς και στην παρουσία έντονης φυτοκάλυψης.

5.2.6. Λόγος αναγλύφου

Ο λόγος αναγλύφου υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο: **Rh=(Hmax-Hmin)/Lbmax**

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Στην παρούσα εργασία για την περιοχή μελέτης υπολογίστηκε ο λόγος αναγλύφου για τις 5 υπολεκάνες όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα:

	Hmax(m)	Hmin(m)	Lbmax(km)	Rh
1η υπολεκάνη	500	20	3,96	**121,21**
2η υπολεκάνη	700	20	4,31	**157,77**
3η υπολεκάνη	180	20	0,81	**197,53**
4η υπολεκάνη	210	20	2,12	**89,62**
5η υπολεκάνη	180	20	2,83	**56,54**

Πίνακας 11: Υπολογισμός λόγου αναγλύφου για τις πέντε υπολεκάνες.

Ο λόγος αναγλύφου Rh μετράει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης υδρολογικής λεκάνες και θεωρείται έως ένας χαρακτηριστικός δείκτης της έντασης των διαβρωτικών διεργασιών που υπόκειται αυτή. Οι αρκετά υψηλές τιμές του δείκτη αναγλύφου οφείλονται κατά κύριο λόγο στις διαβρωτικές διεργασίες που αναπτύσσονται στις επιφάνειες των πέντε υπολεκανών.

5.2.7. Λόγος επιμήκυνσης

Όπως αναλύθηκε σε προγενέστερο κεφάλαιο ο λόγος επιμήκυνσης υπολογίζεται από τον τύπο: **Er=d/Lbmax=2(**$\sqrt{Au/\pi}$**)/Lbmax** [*Ισχύει ότι Au =* πr^2 *πού είναι το εμβαδόν του κύκλου, οπότε r =* $\sqrt{Au/\pi}$ *και επειδή η διάμετρος d είναι διπλάσια από την ακτίνα r του κύκλου συνεπάγεται ότι d = 2(*$\sqrt{Au/\pi}$*)*]

Στην παρούσα εργασία ο λόγος επιμήκυνσης υπολογίστηκε για τις 5 υπολεκάνες όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Au(km)^2	$\sqrt{Au/\pi}$	d(km)	Lb_{max}(km)	Er
1η υπολεκάνη	2,73	0,93	1,86	3,96	**0,47**
2η υπολεκάνη	2,67	0,92	1,84	4,31	**0,43**
3η υπολεκάνη	0,33	0,32	0,64	0,81	**0,79**
4η υπολεκάνη	1,80	0,76	1,52	2,12	**0,72**
5η υπολεκάνη	1,40	0,67	1,34	2,83	**0,47**

Πίνακας 12: Υπολογισμός λόγου επιμήκυνσης για τις πέντε υπολεκάνες.

Οι τιμές του λόγου επιμηκύνσεως ποικίλουν στις πέντε υπολεκάνες. Σύμφωνα με τον Πέννο (2009) οι τιμές του λόγου επιμηκύνσεως δηλώνουν έντονο ανάγλυφο όταν κυμαίνονται μεταξύ 0,6 και 0,8 ενώ δηλώνουν χαμηλό ανάγλυφο για τιμές μεγαλύτερες από 0,8. Στην $1^{η}$ στην $2^{η}$ και στην $5^{η}$ οι τιμές είναι μικρότερες από 0,6 που δηλώνει αρκετά έντονο ανάγλυφο και έντονη επιμήκυνση, ενώ στην $4^{η}$ και στην $5^{η}$ οι τιμές είναι ανάμεσα στα όρια 0,6-0,8 και υποδηλώνουν έντονο ανάγλυφο. Σε γενικές γραμμές χωρίς ιδιαίτερο σφάλμα μπορεί να θεωρηθεί ότι όλες οι υπολεκάνες είναι αρκετά επιμηκυμένες με έντονο ανάγλυφο.

5.2.8. Βαθμός τραχύτητας

Όπως αναλύθηκε σε προγενέστερο κεφάλαιο ο βαθμός τραχύτητας υπολογίζεται από τον τύπο: **$Rn = H_{max}*D$**

Στην παρούσα εργασία ο βαθμός τραχύτητας υπολογίστηκε για τις 5 υπολεκάνες από την ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Ρήχειου ποταμού όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Hmax(m)	D $(km)^{-1}$	Rn
$1^{η}$ υπολεκάνη	500	3,11	**1555**
$2^{η}$ υπολεκάνη	700	4,69	**3283**
$3^{η}$ υπολεκάνη	180	7,18	**1292,4**
$4^{η}$ υπολεκάνη	210	2,06	**432,6**
$5^{η}$ υπολεκάνη	180	2,32	**417,6**

Πίνακας 13: Υπολογισμός βαθμού τραχύτητας για τις πέντε υπολεκάνες.

Παρατηρείται ότι οι τιμές του βαθμού τραχύτητας για την $4^{η}$ και $5^{η}$ υπολεκάνη που βρίσκονται εμφανίζουν αισθητά μικρότερες τιμές από τις τιμές στην $1^{η}$, στην $2^{η}$ και στην $3^{η}$ υπολεκάνη. Οι τιμές του βαθμού τραχύτητας επηρεάζονται άμεσα από τις μορφομετρικές παραμέτρους (υψόμετρο και υδρογραφική πυκνότητα) και παίρνουν μέγιστες τιμές όταν αυτές έχουν υψηλές τιμές. Συμπεραίνεται ότι το υψόμετρο στις τρείς πρώτες υπολεκάνες είναι εμφανώς μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες 2 με αποτέλεσμα οι κλιτύες να είναι εμφανώς επιμηκυμένες σε αυτές καθώς επίσης να είναι ιδιαίτερα απότομες σε σχέση με τις κλιτύες στην $4^{η}$ και $5^{η}$ υπολεκάνη.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.2.9. Δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης

Ο δείκτης ασυμμετρίας λεκάνης ,όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ορίζεται ως ο λόγος $AF=100(A_r/A_t)$ και υπολογίστηκε στην περιοχή μελέτης στις 5 υπολεκάνες σε περιβάλλον ArcGis 10. Τα αποτελέσματα αυτού του υπολογισμού παρατηρούνται στον παρακάτω πίνακα:

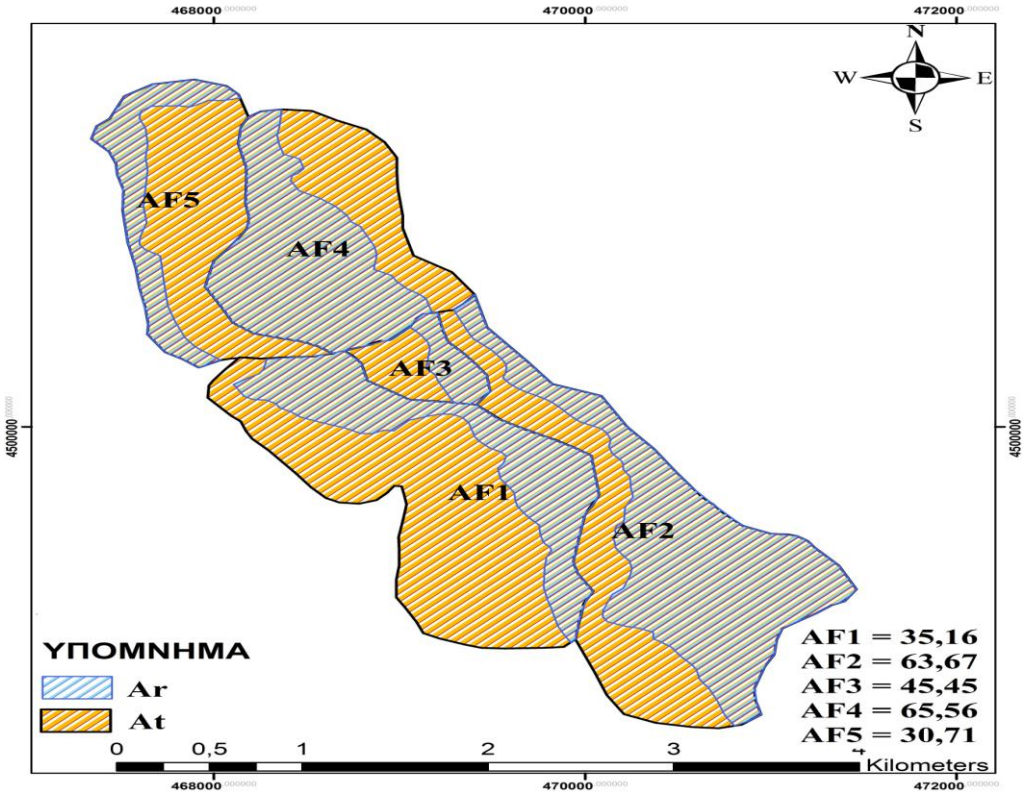
	A_r (km^2)	A_t (km^2)	**AF**
1η υπολεκάνη	0,96	2,73	**35,16**
2η υπολεκάνη	1,70	2,67	**63,67**
3η υπολεκάνη	0,15	0,33	**45,45**
4η υπολεκάνη	1,18	1,80	**65,56**
5η υπολεκάνη	0,43	1,40	**30,71**

Πίνακας 14: Υπολογισμός δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης για τις πέντε υπολεκάνες.

Παρατηρείται ότι εμφανίζονται ποικίλες τιμές στο δείκτη ασυμμετρίας όπου στην 1η στην 3η και στην 5η υπολεκάνη ισχύει ότι AF<50 ενώ στην 2η και στην 4η υπολεκάνη ισχύει ότι AF>50. Το υπόβαθρο δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές (υπέρκειται του γνευσιακού κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Σερβομακεδονικής μάζας), οπότε θεωρείται ότι η τεκτονική παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση τους.

Σε επόμενο στάδιο σε περιβάλλον ArcGis 10 δημιουργήθηκε ο παρακάτω χάρτης για την περιοχή μελέτης:

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Χάρτης 16: Χάρτης ασυμμετρίας για τις πέντε υπολεκάνες.

Οι τιμές του δείκτη ασυμμετρίας χωρίς ιδιαίτερο σφάλμα υποδεικνύουν την έντονη τεκτονική που διέπει τις πέντε υπολεκάνες. Πιο συγκεκριμένα στην $1^{η}$, στην $3^{η}$ και στην $5^{η}$ υπολεκάνη λόγου του ότι ο δείκτης ασυμμετρίας εμφανίζει τιμές μικρότερες από 50 οι υπολεκάνες εμφανίζουν μια δεξιόστροφη περιστροφή με το αριστερό τέμαχος να παρουσιάζει μια ανύψωση ενώ η κύρια ανάπτυξη των παραπόταμων είναι από την αριστερή φορά του κύριου κλάδου, ενώ στην $2^{η}$ και στην $4^{η}$ υπολεκάνη εμφανίζεται μια αριστερόστροφη περιστροφή με το δεξιό τέμαχος να παρουσιάζει μια ανύψωση με την κύρια ανάπτυξη των παραπόταμων να είναι από την δεξιά φορά του κύριου κλάδου.

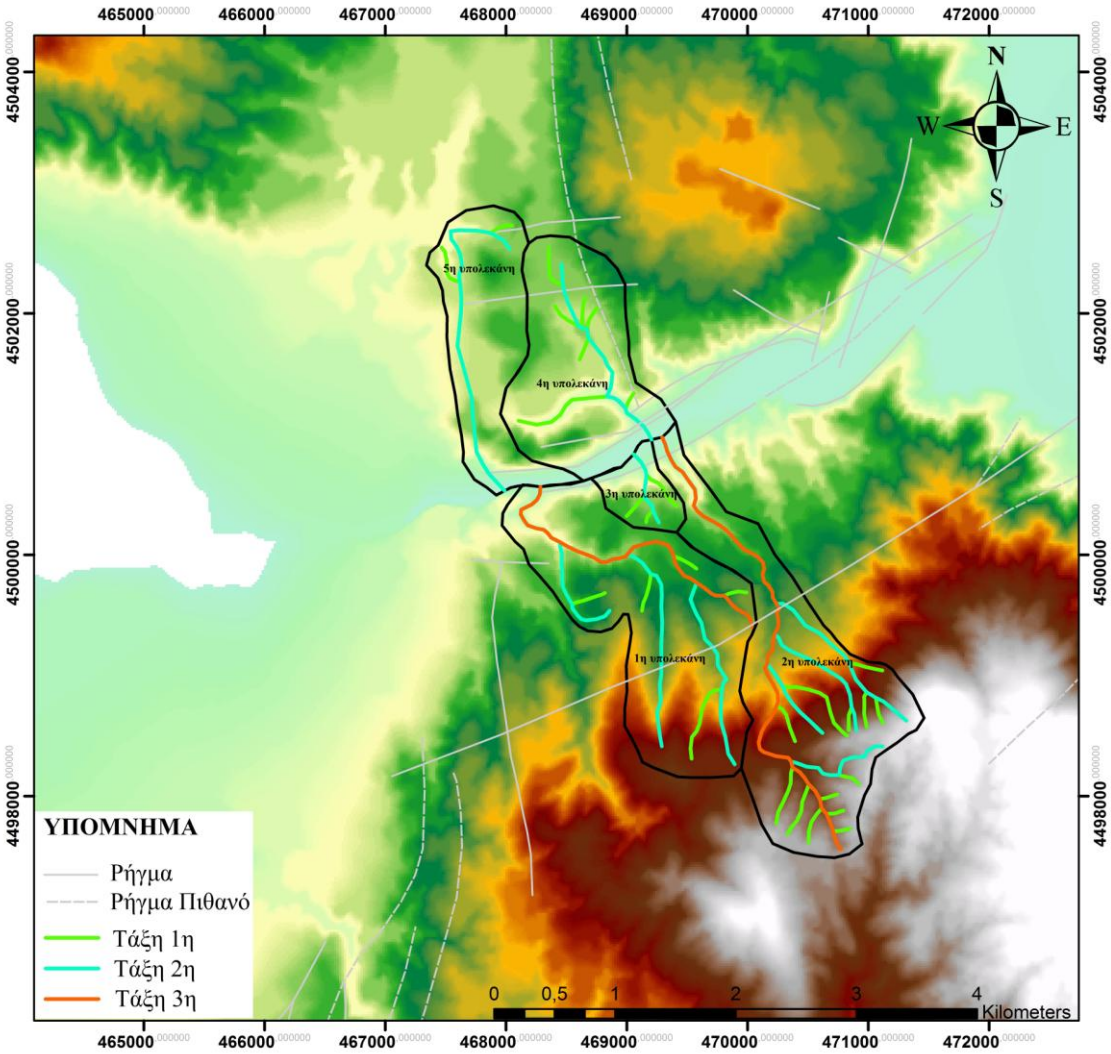
5.2.10. Δείκτης μήκους - κλίσης ρέματος

Παίρνοντας ως βάση τα αποτελέσματα του δείκτη ασυμμετρίας λεκάνης στις 5 υπολεκάνες, που υποδεικνύει την πιθανή ύπαρξη τεκτονικής δράσης εφαρμόστηκε ο δείκτης μήκους – κλίσης ρέματος SL σε αυτές.

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο δείκτης μήκους – κλίσης ρέματος ορίζεται μαθηματικά: **SL = (ΔH/ΔL)L**

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Παίρνοντας υπόψιν την πιθανή ύπαρξη τεκτονικής σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ καθώς επίσης και τα αποτελέσματα του δείκτη ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε ο δείκτης μήκους – κλίσης ρέματος σε αυτές. Σε περιβάλλον ArcGis 10 δημιουργήθηκε ο παρακάτω χάρτης για τις πέντε υπολεκάνες για τον υπολογισμό του δείκτη μήκους – κλίσης ρέματος όπου σαν μέγιστος κλάδος σε κάθε μια υπολεκάνη θεωρείται ο μεγαλύτερης τάξης κλάδος σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Horton, ενώ για υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) για μεγαλύτερη ακρίβεια.



Χάρτης 17: Οι κλάδοι που έγιναν οι υπολογισμοί του δείκτη μήκους - κλίσης ρέματος για τις πέντε υπολεκάνες, της περιοχής μελέτης με την πιθανή και την ορατή τεκτονική σε αυτές σύμφωνα με το ΙΓΜΕ (1978) και τον Νεοτεκτονικό Χάρτη της Μυγδονίας λεκάνης (Tranos et al., 2003). Χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε υπολεκάνη ο μέγιστης τάξης κλάδος σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Horton, ενώ σαν υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (D.E.M.).

Στην πρώτη και στην δεύτερη λεκάνη επιλέχθηκε ο μέγιστος κλάδος 3^{ης} τάξης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Horton, ενώ στην τρίτη, στην τέταρτη και στην πέμπτη υπολεκάνη επιλέχθηκε ο μέγιστος κλάδος 2^{ης} τάξης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Horton.

Το συνολικό μήκος του ρέματος στην πρώτη υπολεκάνη μετρήθηκε στα 2753 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο του στα 260 m, οπότε και χωρίστηκε σε 6 μέρη για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη κλίσης ρέματος SL. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας:

Τμήμα κλάδου	ΔH(m)	ΔL(m)	L(m)	ΔH/ΔL	SL
1	40 (020 - 060)	274	2616	0,15	**381,90**
2	40 (060 - 100)	520	2219	0,08	**170,69**
3	40 (100 - 140)	614	1652	0,07	**107,62**
4	40 (140 - 180)	800	0945	0,05	**047,25**
5	40 (180 - 220)	398	0346	0,10	**034,77**
6	40 (220 - 260)	147	0074	0,27	**020,00**

Πίνακας 15Α: Υπολογισμός του δείκτη κλίσης ρέματος στην 1^{η} υπολεκάνη για την περιοχή μελέτης.

Το συνολικό μήκος του ρέματος στην δεύτερη υπολεκάνη μετρήθηκε στα 4237 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο του στα 560 m, οπότε και χωρίστηκε σε 14 μέρη για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη κλίσης ρέματος SL. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας:

Τμήμα κλάδου	ΔH(m)	ΔL(m)	L(m)	ΔH/ΔL	SL
1	40 (020 - 060)	432	4021	0,09	**372,31**
2	40 (060 - 100)	209	3701	0,19	**708,23**
3	40 (100 - 140)	391	3401	0,10	**347,88**
4	40 (140 - 180)	620	2895	0,06	**186,77**
5	40 (180 - 220)	371	2400	0,11	**258,71**
6	40 (220 - 260)	360	2034	0,11	**226,00**
7	40 (260 - 300)	253	1728	0,16	**273,12**
8	40 (300 - 340)	231	1486	0,17	**257,23**
9	40 (340 - 380)	178	1281	0,22	**287,87**
10	40 (380 - 420)	095	1145	0,42	**481,89**
11	40 (420 - 460)	218	0988	0,18	**181,28**
12	40 (460 - 500)	327	0716	0,12	**087,52**
13	40 (500 - 540)	341	0382	0,12	**044,75**
14	20 (540 - 560)	211	0106	0,09	**010,00**

Πίνακας 15Β: Υπολογισμός του δείκτη κλίσης ρέματος στην 2^{η} υπολεκάνη για την περιοχή μελέτης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Όσον αφορά την τρίτη υπολεκάνη το συνολικό μήκος του ρέματος μετρήθηκε στα 646 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο του στα 160 m, οπότε και χωρίστηκε σε 4 μέρη για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη κλίσης ρέματος SL. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας:

Τμήμα κλάδου	ΔH(m)	ΔL(m)	L(m)	ΔH/ΔL	SL
1	40 (020 - 060)	203	544	0,07	**038,08**
2	40 (060 - 100)	110	388	0,36	**139,68**
3	40 (100 - 140)	181	242	0,22	**053,24**
4	20 (140 - 160)	152	076	0,13	**009,88**

Πίνακας 15Γ: Υπολογισμός του δείκτη κλίσης ρέματος στην 3η υπολεκάνη για την περιοχή μελέτης.

Στην τέταρτη υπολεκάνη το συνολικό μήκος του ρέματος μετρήθηκε στα 1784 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο του στα 140 m, οπότε και χωρίστηκε σε 4 μέρη για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη κλίσης ρέματος SL. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας:

Τμήμα κλάδου	ΔH(m)	ΔL(m)	L(m)	ΔH/ΔL	SL
1	40 (020 - 060)	538	1515	0,07	**106,05**
2	40 (060 - 100)	204	1144	0,20	**228,00**
3	20 (100 - 120)	543	0771	0,03	**023,13**
4	20 (120 - 140)	499	0250	0,04	**010,00**

Πίνακας 15Δ: Υπολογισμός του δείκτη κλίσης ρέματος στην 4η υπολεκάνη για την περιοχή μελέτης.

Στην πέμπτη υπολεκάνη το συνολικό μήκος του ρέματος μετρήθηκε στα 2816 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο του στα 140 m, οπότε και χωρίστηκε σε 4 μέρη για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του δείκτη κλίσης ρέματος SL. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας:

Τμήμα κλάδου	ΔH(m)	ΔL(m)	L(m)	ΔH/ΔL	SL
1	40 (020 - 060)	304	2664	0,13	**346,32**
2	40 (060 - 100)	085	2469	0,47	**1160,4**
3	20 (100 - 120)	1717	1568	0,01	**015,68**
4	20 (120 - 140)	710	0355	0,02	**007,10**

Πίνακας 15Ε: Υπολογισμός του δείκτη κλίσης ρέματος στην 5η υπολεκάνη για την περιοχή μελέτης.

Παρατηρείται σε όλες σχεδόν τις υπολεκάνες ότι ο δείκτης μήκους – κλίσης ρέματος SL εμφανίζει πολύ μεγάλες τιμές για τα πρώτα 2 τμήματα σε κάθε κλάδο, ενώ στα άλλα τμήματα εμφανίζει χαρακτηριστικά μικρότερες τιμές. Συμπεραίνεται έτσι ότι η τεκτονική δεν κατάφερε να επηρεάσει τις υπολεκάνες σε μεγαλύτερα υψόμετρα (μεγαλύτερα από 100 – 120 m περίπου), και να υπερβεί στη δύναμη της ποτάμιας δράσης. Αντίθετα στα χαμηλότερα υψόμετρα (20 – 120 m περίπου) η τεκτονική επηρεάζει τις υπολεκάνες και υπερβαίνει της ποτάμιας δράσης σε αυτές.

5.3. Ανάλυση ηλεκτρικών τομογραφιών

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στο 4^{ο} κεφάλαιο πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης τρείς συνολικά ηλεκτρικές τομογραφίες, οι θέσεις των οποίων επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον ArcGis 10 ανάλογα με τις συντεταγμένες τους το υψόμετρο τους και παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη. Ως υπόβαθρο επιλέχθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου για την ύπαρξη μεγαλύτερης ακρίβειας. Οι συντεταγμένες των σημείων και τα υψομετρικά τους δεδομένα παρουσιάζονται εκτενέστερα στους παρακάτω πίνακες για την κάθε μία διασκόπηση ξεχωριστά:

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Α/Α	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Η(m)	Απόσταση(m)
101	468808,61000	4500714,39700	34	0
102	468818,08728	4500715,90058	34	10
103	468826,54068	4500715,86530	35	20
104	468834,99408	4500715,83002	35	30
105	468847,68806	4500719,10725	35	40
106	468857,84139	4500721,28503	36	50
107	468857,84139	4500721,28503	35	60
108	468887,30731	4500726,75420	34	70
109	468887,45137	4500726,71194	35	80
110	468896,76396	4500730,00334	35	90
111	468908,60793	4500732,17415	34	100
112	468917,91588	4500734,35554	34	110
113	468929,75522	4500735,41634	34	120
114	468939,06317	4500737,59775	34	130
115	468950,90711	4500739,76863	34	140
116	468960,21043	4500740,84002	34	150
117	468968,66380	4500740,80490	34	160
118	468977,11717	4500740,76979	34	170
119	468987,27042	4500742,94775	34	180
120	468998,27362	4500746,23225	34	190
121	469008,42686	4500748,41024	33	200
122	469016,88943	4500750,59525	34	210
123	469027,03806	4500751,66323	32	220
124	468868,33500	4500724,31900	35	230

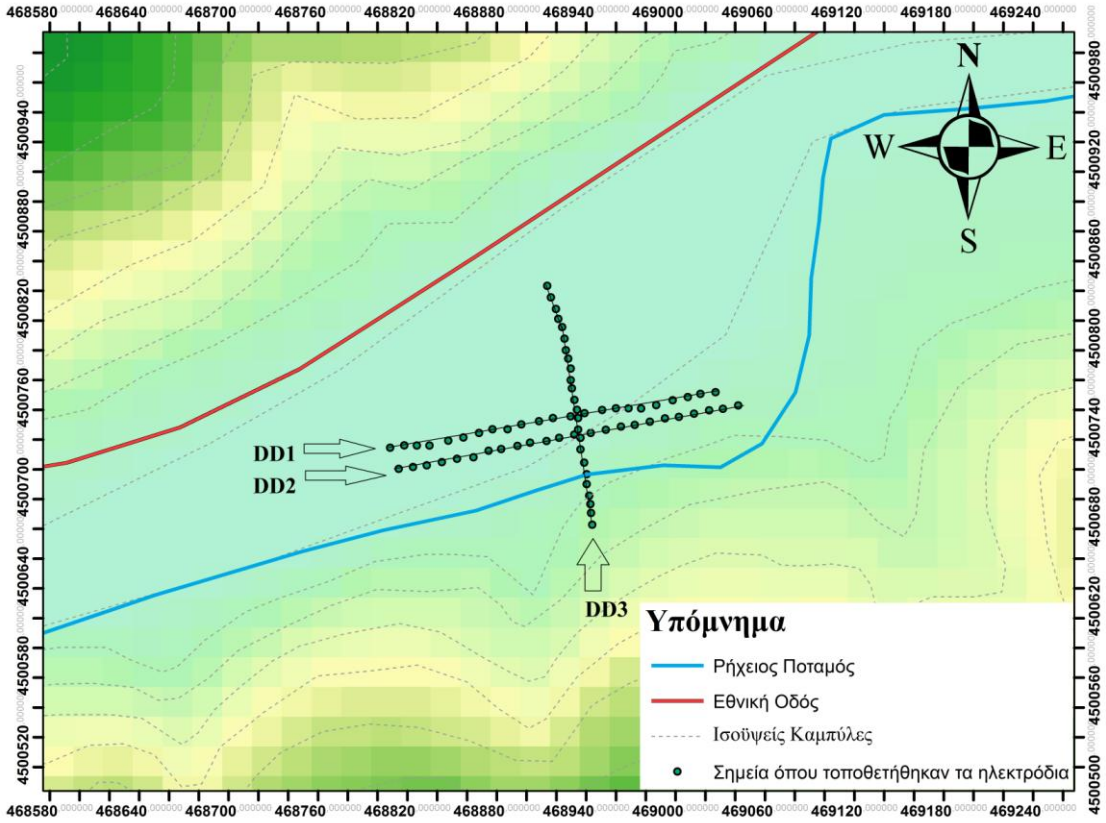
Πίνακας 16: Συντεταγμένες σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 και υψόμετρα όπου τοποθετηθήκαν τα ηλεκτρόδια για την πρώτη γεωφυσική διασκόπηση καθώς και η απόσταση τους από την αρχική τιμή.

Α/Α	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Η(m)	Απόσταση(m)
201	468814,43100	4500700,10900	32	0
202	468823,94443	4500701,44535	32	10
203	468833,24782	4500702,51659	32	20
204	468843,40117	4500704,69435	34	30
205	468853,55452	4500706,87213	33	40
206	468864,54858	4500707,93636	34	50
207	468874,71116	4500712,33424	34	60
208	468883,16919	4500713,40906	33	70
209	468894,16785	4500715,58337	33	80
210	468902,63049	4500717,76826	33	90
211	468913,62452	4500718,83256	33	100
212	468922,08715	4500721,01746	33	110
213	468932,24045	4500723,19535	32	120
214	468943,23447	4500724,25969	34	130
215	468953,38776	4500726,43760	34	140
216	468963,54105	4500728,61553	34	150
217	468972,84438	4500729,68694	34	160
218	468982,99765	4500731,86489	33	170
219	468993,15092	4500734,04286	33	180
220	469002,45424	4500735,11431	34	190
221	469012,60749	4500737,29230	33	200
222	469022,76074	4500739,47031	33	210
223	469032,06405	4500740,54179	32	220
224	469042,21729	4500742,71983	33	230

Πίνακας 17: Συντεταγμένες σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ ‘ 87 και υψόμετρα όπου τοποθετηθήκαν τα ηλεκτρόδια για την δεύτερη γεωφυσική διασκόπηση καθώς και η απόσταση τους από την αρχική τιμή.

Α/Α	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Η(m)	Απόσταση(m)
301	468944,33333	4500662,59600	35	0
302	468943,54800	4500670,47600	35	7
303	468943,03602	4500676,52795	32	14
304	468942,21375	4500682,08167	33	21
305	468940,55537	4500689,85898	32	28
306	468940,58307	4500696,51922	33	35
307	468938,92469	4500704,29654	34	42
308	468936,42560	4500713,18740	32	49
309	468936,45791	4500720,95769	33	56
310	468934,79032	4500726,51492	34	63
311	468934,82263	4500734,2852	34	70
312	468934,00038	4500739,83892	34	77
313	468932,33740	4500746,50620	34	84
314	468930,67905	4500754,28351	33	91
315	468929,85680	4500759,83723	32	98
316	468929,88912	4500767,60752	34	105
317	468928,22616	4500774,27479	32	112
318	468926,55858	4500779,83203	32	119
319	468925,74557	4500787,60583	32	126
320	468924,08724	4500795,38314	32	133
321	468921,57434	4500800,9439	32	140
322	468919,91139	4500807,61118	31	147
323	468916,56241	4500815,39553	32	154
324	468914,05876	4500823,17637	32	161

Πίνακας 18 : Συντεταγμένες σε προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 και υψόμετρα όπου τοποθετηθήκαν τα ηλεκτρόδια για την τρίτη γεωφυσική διασκόπηση καθώς και η απόσταση τους από την αρχική τιμή.



Χάρτης 18: Χάρτης στιγμάτων όπου τοποθετήθηκαν τα 24 ηλεκτρόδια σε κάθε διασκόπηση. Η πρώτη διασκόπηση είναι η σχεδόν οριζόντια, από κάτω εμφανίζεται η δεύτερη διασκόπηση ενώ η τρίτη διασκόπηση είναι κάθετη στις πρώτες 2. Στην πρώτη και δεύτερη τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν ανά 10 μέτρα, ενώ στην τρίτη ανά 7. Σαν υπόβαθρο τοποθετήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου.

Χάρτης 19: Οι παραπάνω τρεις διασκοπήσεις σε περιβάλλον Google earth.

Έπειτα επεξεργάστηκαν τα δεδομένα των και προέκυψαν οι παρακάτω τομογραφίες όπου απεικονίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους και γίνεται μια στρωματογραφική ερμηνεία για τις ηλεκτρικές τομογραφίες DD1, DD2 και DD3.

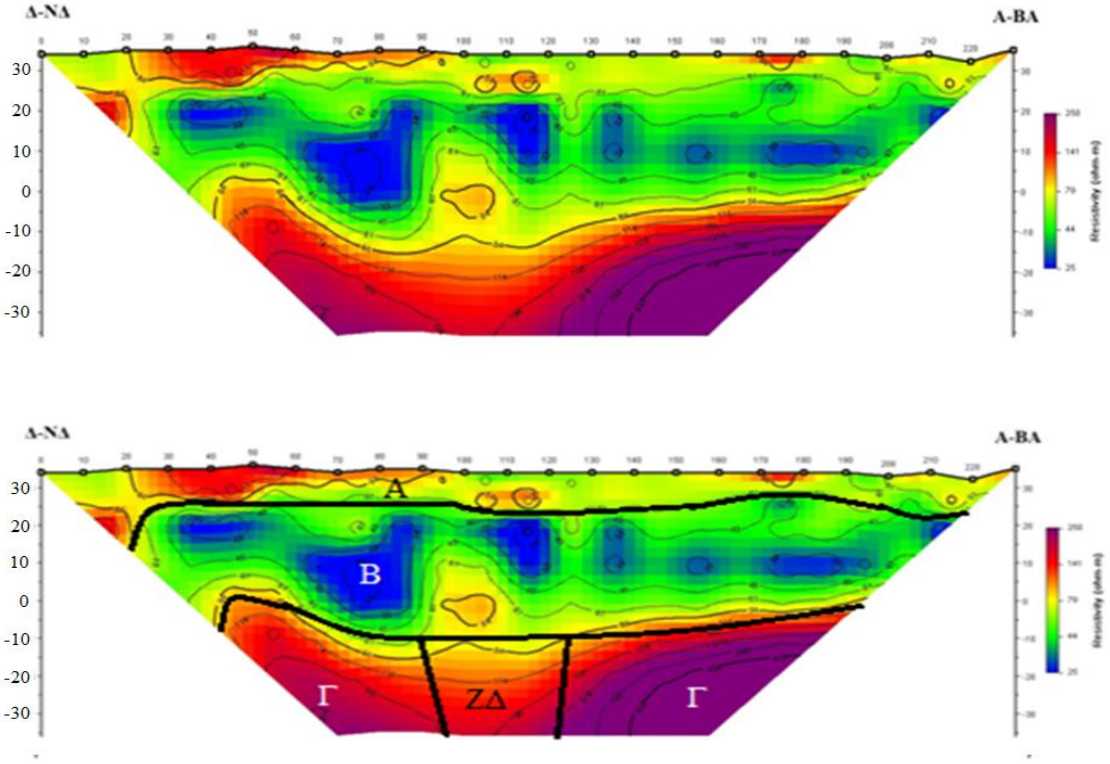
Με βάση την ομαδοποίηση των αντιστάσεων που παρατηρήθηκαν εμφανίζονται σε όλες τις τομογραφίες 3 διακριτοί γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Σχηματισμός	Αντιστάσεις (Ωμ)	Γεωλογική Ερμηνεία
Α	60-120	Ανδρόκοκκα υλικά (Άμμοι, χαλίκια, κροκάλες)
Β	25-60	Μεσόκοκκα υλικά (Άμμοι, Χαλίκια, Ιλύες)
Γ	>120	Σχηματισμός Υποβάθρου

Πίνακας 19: Οι 3 διακριτοί γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί στις τομογραφίες.

5.3.1. Ηλεκτρική τομογραφία DD1

Στην τομογραφία DD1 με προσανατολισμό ΔΝΔ – ΑΒΑ χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια, με την μεταξύ τους απόσταση να ανέρχεται στα 10m. Η τομή λήφθηκε με διάταξη διπόλου – διπόλου και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και η ερμηνεία της παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες. Οι αντιστάσεις εμφανίζονται με μια διαβάθμιση στα χρώματα ανάλογα με την συνεκτικότητα που διέπει την λιθολογία, ενώ τα βάθη της τομογραφίας παρουσιάζονται σε απόλυτα υψόμετρα.



Σχήμα 14Α και Σχήμα 14Β: Απεικόνιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους της τομογραφίας DD1 στην περιοχή μελέτης, και η σχετική ερμηνεία της (κάτω).

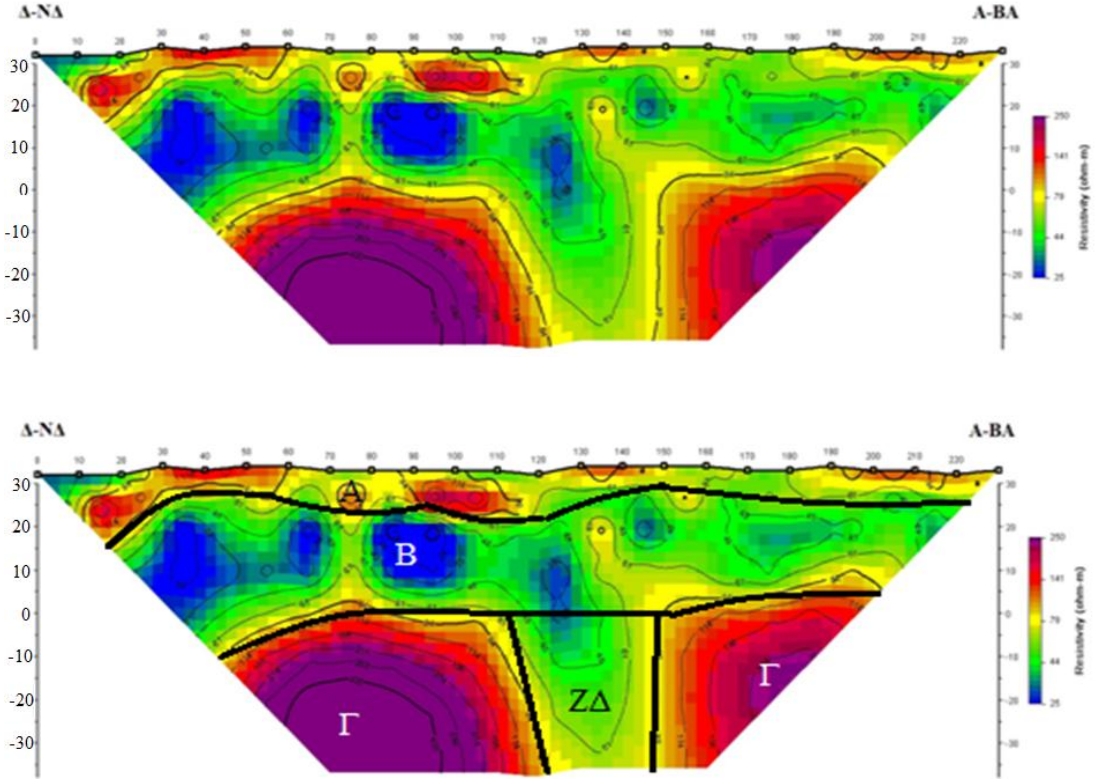
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Παρατηρείται ένας σχηματισμός (Σχηματισμός Α) μέσης αντίστασης (60-120 ohm) στα πρώτα 10 μέτρα με μέσο πάχος 10 m που αποτελείται κυρίως από ανδρόκοκκα υλικά (π.χ. αμμοχάλικα και κροκάλες). Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται φακοί από σχηματισμούς χαμηλότερης αντίστασης (25 – 60 ohm) πάχους έως και 20m που αποτελούνται κυρίως από μεσόκοκκα υλικά (άμμοι, ιλύες, χαλίκια) που πολύ πιθανά χαρακτηρίζονται από υδροφορία (Σχηματισμός Β). Το γνευσιακό υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής (Σχηματισμός Γ) παρατηρείται να εμφανίζεται στο βασικό επίπεδο (σε βάθος 35 μέτρα από την επιφάνεια) με αντιστάσεις μεγαλύτερες από 120 ohm στην αρχή και στο τέλος της τομογραφίας ενώ στο ενδιάμεσο τμήμα της (90-130μ της τομής) παρουσιάζεται διακοπή των μεγάλων αντιστάσεων σηματοδοτώντας μια ζώνη με πορώδες που ενδεχομένως είναι υπόλειμμα παλαιότερων τεκτονικών – διαβρωτικών δράσεων (Σχηματισμός ΖΔ), με διεύθυνση κάθετη προς την κοίτη του Ρήχιου ποταμού.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.3.2. Ηλεκτρική τομογραφία DD2

Στην τομογραφία DD2 με προσανατολισμό ΔΝΔ – ΑΒΑ χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια, με την μεταξύ τους απόσταση να ανέρχεται στα 10m. Η τομή λήφθηκε με διάταξη διπόλου – διπόλου και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και η ερμηνεία της παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες. Οι αντιστάσεις εμφανίζονται με μια διαβάθμιση στα χρώματα ανάλογα με την συνεκτικότητα που διέπει την λιθολογία, ενώ τα βάθη της τομογραφίας παρουσιάζονται σε απόλυτα υψόμετρα.



Σχήμα 15Α και Σχήμα 15Β: Απεικόνιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους της τομογραφίας DD2 στην περιοχή μελέτης, και η σχετική ερμηνεία της (κάτω).

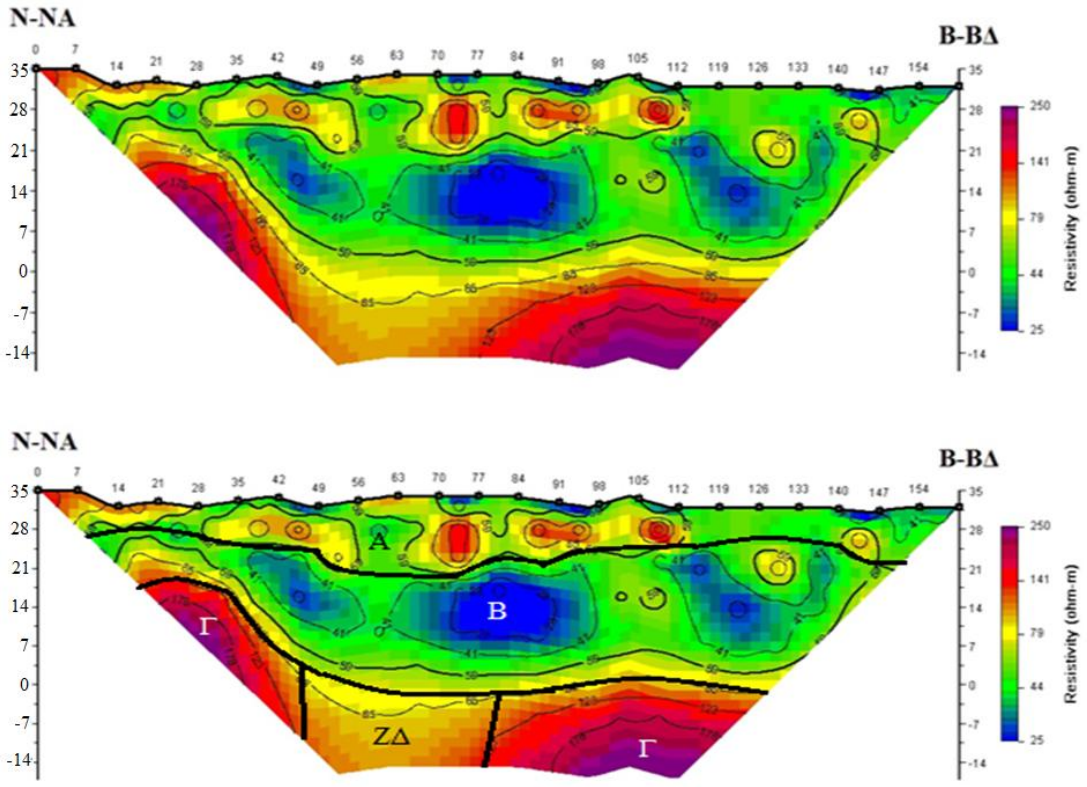
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Παρατηρείται ένας σχηματισμός (Σχηματισμός Α) μέσης αντίστασης (60-120 ohm) στα πρώτα 10 μέτρα με μέσο πάχος 10 m που αποτελείται κυρίως από ανδρόκοκκα υλικά (π.χ. αμμοχάλικα και κροκάλες). Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται φακοί από σχηματισμούς χαμηλότερης αντίστασης(25 – 60 ohm) πάχους έως και 16m που αποτελούνται κυρίως από μεσόκοκκα υλικά(άμμοι, ιλύες, χαλίκια) που πολύ πιθανά χαρακτηρίζονται από υδροφορία (Σχηματισμός Β). Το γνευσιακό υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής (Σχηματισμός Γ) παρατηρείται να εμφανίζεται σε βάθος 40 μέτρων από την επιφάνεια με αντιστάσεις μεγαλύτερες από 120 ohm στην αρχή και στο τέλος της τομογραφίας, ενώ στο ενδιάμεσο τμήμα της (110 – 140μ της τομής) παρουσιάζεται διακοπή των μεγάλων αντιστάσεων σηματοδοτώντας την ίδια ζώνη που προαναφέρθηκε στην προηγούμενη τομογραφία (DD1) (Σχηματισμός ΖΔ) με διεύθυνση κάθετη στην κοίτη του Ρήχιου ποταμού.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

5.3.3. Ηλεκτρική τομογραφία DD3

Στην τομογραφία DD3 με προσανατολισμό ΝΝΑ – ΒΒΔ χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια, με την μεταξύ τους απόσταση να ανέρχεται στα 7m. Η τομή λήφθηκε με διάταξη διπόλου – διπόλου και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και η ερμηνεία της παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες. Οι αντιστάσεις εμφανίζονται με μια διαβάθμιση στα χρώματα ανάλογα με την συνεκτικότητα που διέπει την λιθολογία, ενώ τα βάθη της τομογραφίας παρουσιάζονται σε απόλυτα υψόμετρα.



Σχήμα 16Α και Σχήμα 16Β: Απεικόνιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους της τομογραφίας DD3 στην περιοχή μελέτης, και η σχετική ερμηνεία της (κάτω).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Παρατηρείται ένας σχηματισμός (Σχηματισμός Α) μέσης αντίστασης (60-120 ohm) μεταβαλλόμενου πάχους που αποτελείται κυρίως από ανδρόκοκκα υλικά (π.χ. αμμοχάλικα και κροκάλες). Σε μεγαλύτερο βάθος (14μ βάθος από την επιφάνεια) συναντώνται φακοί από σχηματισμούς χαμηλότερης αντίστασης (25-60 ohm) πάχους έως και 14m που αποτελούνται κυρίως από μεσόκοκκα υλικά (άμμοι, ιλύες, χαλίκια) που πολύ πιθανά χαρακτηρίζονται από υδροφορία (Σχηματισμός Β). Το γνευσιακό υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής (Σχηματισμός Γ) με αντιστάσεις μεγαλύτερες από 120 ohm παρατηρείται να εμφανίζεται στην αρχή της τομογραφίας σε βάθος 15 m από την επιφάνεια, ενώ στο τέλος εμφανίζεται στο βασικό επίπεδο (33μ βάθος από την επιφάνεια), ενώ στο ενδιάμεσο τμήμα της (42 – 77μ της τομής) επικρατεί μια βύθιση αυτού διότι παρουσιάζεται διακοπή των μεγάλων αντιστάσεων σηματοδοτώντας την ίδια ζώνη που προαναφέρθηκε στις προηγούμενες τομογραφίες (DD1, DD2) (Σχηματισμός ΖΔ) αλλά με τη διεύθυνση της να είναι παράλληλη στην κοίτη του Ρήχιου ποταμού.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 6^{ο}: Σύνοψη

Στη ευρύτερη περιοχή του Καλλικρατικού Δήμου Βόλβης του Νομού Θεσσαλονίκης έγινε γεωμορφολογική μελέτη στο ανατολικό περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την εξέλιξη του.

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται ανατολικά της λίμνης Βόλβης και οριοθετείται από τα όρη Βόλβης, Περιστερώνας, Στρατωνίκου και Βερτίσκου. Εντός αυτής βρίσκονται οι πρόποδες των όρεων Κερδυλίων και Χολομώντα, ενώ στα ανατολικά βρέχεται από το Στρυμονικό κόλπο. Κλιματικά το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακού τύπου και πιο συγκεκριμένα κατά Köppen χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακού τύπου υγρό υποτροπικό με τη λίμνη Βόλβη να παίζει ρόλο ρυθμιστή ως προς την διαμόρφωση του.

Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα και καταλαμβάνεται κυρίως από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο στους ορεινούς όγκους των Κερδυλίων και του Χολομώντα ενώ νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις εμφανίζονται γύρω από την κοίτη τις λίμνης καθώς και του Ρήχειου ποταμού.

Επικρατεί έντονη τεκτονική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή με πολλά ρήγματα να αναπτύσσονται παράλληλα των Μακεδονικών Τεμπών με διεύθυνση κυρίως ΒΑ-ΝΔ, που στην συνέχεια δημιούργησαν τις χαρακτηριστικές μορφοτεκτονικές δομές όπως τα Μακεδονικά Τέμπη, οι επιφάνειες επιπέδωσης καθώς και μερικές από τις απότομες κάμψεις των κλάδων στο υδρογραφικό δίκτυο. Η τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή επιβεβαιώνεται από τις χαμηλές τιμές του δείκτη δαντέλωσης μετώπου όρους που έγινε στους πρόποδες των όρεων Κερδυλίων και Χολομώντα.

Το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως λοφώδες στη μεγαλύτερη του έκταση, έως πεδινό. Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής σημειώνεται στο Στρυμονικό κόλπο όπου το υψόμετρο είναι το βασικό επίπεδο (0 m), ενώ το υψηλότερο είναι 860 μέτρα στον ορεινό όγκο του Χολομώντα. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 15^{ο} και

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

35° στου ορεινούς όγκους των Κερδυλίων και του Χολομώντα. Αυτές οι κλίσεις υποδεικνύουν έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση σε ένα ισχυρά κεκλιμένο ανάγλυφο.

Η περιοχή των Μακεδονικών Τεμπών μέσα από τα οποία διέρχεται ο Ρήχιος υπερχειλιστικά από την λίμνη Βόλβη προς τη θάλασσα διαπιστώνεται ότι στα πλευρά των Στενών της Ρεντίνας βρίσκονται μικρές λεκάνες απορροής από τοπικούς χειμάρρους. Αυτές οι υπολεκάνες στη Βόρεια πλευρά είναι μικρότερες σε μέγεθος και σχήμα σε σχέση με την νότια πλευρά που διακρίνονται 2 ειδών χείμαρροι. Οι πρώτοι χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές λεκάνες απορροής με δενδριτική ανάπτυξη και οι δεύτεροι χαρακτηρίζονται από μεγάλες λεκάνες απορροής με ένα τμήμα με δενδριτική ανάπτυξη και ένα τμήμα με ευθύγραμμη.

Για την ύπαρξης μεγαλύτερης ακρίβειας στην έρευνα του υδρογραφικού δικτύου επιλέχθηκαν πέντε υπολεκάνες απορροής από την ευρύτερη λεκάνη απορροής του Ρήχειου ποταμού, για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη του μορφολογικού αναγλύφου. Κατασκευάστηκαν αρχικά οι υψομετρικές καμπύλες και παρατηρήθηκε ότι οι 5 υπολεκάνες είναι στο στάδιο Ωριμότητας του κύκλου της διάβρωσης. Όλες οι υπολεκάνες εκτός από την $3^{η}$ επηρεάζονται από την τεκτονική δράση που συμπεραίνεται από τον έντονο ρυθμό μεταβολής του αναγλύφου. Η $3^{η}$ υπολεκάνη είναι η νεότερη από τις πέντε και είναι ανεπηρέαστη από την τεκτονική.

Σε αυτές τις πέντε υπολεκάνες έγινε η ποσοτική ανάλυση του με τους υδρογραφικούς δείκτες για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την εξέλιξη του.

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις που διεξήχθησαν συμπεραίνεται ότι το πάχος των ιζημάτων φτάνει τα 35 μέτρα περίπου ενώ παρατηρούνται 3 γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί. Τα ανδρόκοκκα υλικά (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες) παρατηρούνται στα πρώτα βάθη, με τα μεσόκοκκα υλικά (άμμοι, χαλίκια, ιλύες) να εμφανίζονται σε χαμηλότερα βάθη σε μορφή φακών, με ενδεχόμενη ύπαρξη υδροφορίας μέσα σε αυτά, ενώ το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής εμφανίζεται στο βασικό επίπεδο. Στην περιοχή κάθετα στην κοίτη με βάση τις 2 τομογραφίες (DD1, DD2) εμφανίζονται δομές χαμηλών αντιστάσεων μέσα στο σχηματισμό του υποβάθρου οι οποίες πιθανότατα συνδέονται με τεκτονική δράση σε συνδυασμό με διαβρωτικές διεργασίες οι οποίες και έχουν εξομαλύνει το

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

υπόβαθρο. Με βάση την τομογραφία 3 (DD3) εμφανίζεται μια ζώνη διάρρηξης παράλληλη με την κοίτη του Ρήχιου ποταμού στην οποία είναι ορατή η βύθιση του αριστερού τέμαχους του υποβάθρου.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Κεφάλαιο 7^{ο}: Συμπεράσματα

Από την μορφή του υδρογραφικού δικτύου συμπεραίνεται ότι η ασύμμετρη κατανομή των λεκανών στις 2 πλευρές του φαραγγιού φαίνεται να προέρχεται από τεκτονικό έλεγχο. Αυτό φαίνεται διότι οι λεκάνες της νότιας πλευράς έχουν ένα τμήμα με δενδριτική ανάπτυξη και ένα τμήμα με ευθύγραμμη ανάπτυξη, με την τεκτονική επίδραση να ευθύνεται για την αλλαγή αυτή (Ρήγμα στο Νεοτεκτονικό χάρτη της Μυγδονίας λεκάνης, Tranos et al., 2003, Σχήμα 3, Σελ. 21), όπου το υδρογραφικό δίκτυο επιμηκύνθηκε και έμεινε ένας κύριος κλάδος σε κάθε μια από αυτές.

Από την μορφομετρική ανάλυση των ισοϋψών καμπυλών και την ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου, επειδή εμφανίζουν δείκτες χαμηλού βαθμού διάβρωσης συμπεραίνεται ότι το υδρογραφικό δίκτυο δεν κατάφερε να διαβρώσει σε σημαντικό βαθμό τα υποκείμενα πετρώματα, γεγονός που θα μπορούσε να οφείλεται στο μικρό χρόνο λειτουργίας αυτών των υπολεκανών.

Από το δείκτη ασυμμετρίας καθώς το δείκτη κλίσης ρέματος για τις πέντε υπολεκάνες συμπεραίνεται ότι οι λεκάνες του νότιου τεμάχους εμφανίζουν δεξιόστροφη περιστροφή ενώ οι λεκάνες του βόρειου τεμάχους εμφανίζουν αριστερόστροφη καταδεικνύοντας τεκτονικό έλεγχο στα στενά.

Από τις ηλεκτρικές τομογραφίες διαπιστώνεται ότι τα Μακεδονικά Τέμπη δηλαδή τα στενά του Ρήχιου ποταμού έχουν συνέχεια σε βάθος με σχεδόν κατακόρυφα τοιχώματα 35m κάτω από το επίπεδο της σημερινής επιφάνειας που ρέει το ποτάμι. Η βάση του φαραγγιού αυτού αντιστοιχεί στο σημερινό απόλυτο υψόμετρο των 0m. Η διάνοιξη ενός τέτοιου φαραγγιού πρέπει να έγινε όταν το βασικό επίπεδο ήταν πολύ χαμηλότερα από σήμερα, στη διάρκεια παγετώδους περιόδου από ένα ποτάμιο σύστημα με αρκετή ενέργεια. Στο παλαιό αυτό φαράγγι έγινε απόθεση ιζημάτων πάχους 35 μέτρων, αλλά στην βάση του από όπου αρχίζουν οι αποθέσεις, διαπιστώνονται κάποια ίχνη από τεκτονική δραστηριότητα και υποδεικνύουν ότι θα πρέπει η διάνοιξη των Στενών της Ρεντίνας να έγινε πάνω σε κάποιο ρήγμα.

Οι αποθέσεις πάχους 35m διακρίνονται σε 2 βασικές ενότητες:

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Η πρώτη ενότητα η οποία βρίσκεται από το υπόβαθρό ως το βάθος των 14 m παρουσιάζει ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες υποδηλώνουν υλικά μικρότερης κοκκομετρίας από τα επιφανειακά, τα οποία πρέπει να αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά ποτάμιας (fluvial) κατάστασης. Χρειάζεται επιπλέον έρευνα για διερεύνηση αυτής της κατάστασης.

Η δεύτερη ενότητα βρίσκεται από την επιφάνεια ως το βάθος των 14 m παρουσιάζει ηλεκτρικές αντιστάσεις που υποδηλώνουν χονδρόκοκκο υλικό με κροκάλες, το οποίο αντιστοιχεί σε ποταμοχειμάρρια (torrential) κατάσταση. Την κατάσταση αυτή την βλέπουμε σήμερα στην επιφάνεια όπου ο Ρήχιος ρέει υπερχειλιστικά από τα στενά και τα χονδροκλαστικά υλικά με τις κροκάλες προέρχονται από τους πλευρικούς χειμάρρους. Τα υλικά αυτά αποτίθενται ανεβάζοντας το επίπεδο ροής του Ρήχιου γιατί υπάρχει αδυναμία να μεταφερθούν από το ποτάμι. Αν τα υλικά αυτά δεν απομακρυνθούν από την κοίτη με τεχνητό τρόπο ενισχύουν πλημμυρικά φαινόμενα στη Βόλβη, για το λόγο ότι εμποδίζουν τη ροή του ποταμού.

Από τα συμπεράσματα αυτά προκύπτουν πολλά αναπάντητα ερωτήματα και για να απαντηθούν θα πρέπει η έρευνα να επεκταθεί σε όλο το μήκος των Μακεδονικών Τεμπών, καθώς και στην είσοδο και στην έξοδο του Ρήχιου μέσα από αυτά.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή έχει ως αντικείμενο την γεωμορφολογική μελέτη του αναγλύφου του ανατολικού περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης ως προς την εξέλιξη του.

Αρχικά έγινε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στην περιοχή μελέτης όπου αναφέρονται κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες για αυτήν, καθώς και για την ευρύτερη Μυγδονία λεκάνη.

Στο πλαίσιο της μελέτης της γεωμορφολογίας της περιοχής έγινε η εκτενέστερη ανάλυση του υψομετρικού καθεστώτος που την χαρακτηρίζει, και δημιουργήθηκαν οι ακόλουθοι χάρτες σε σχέση με τους μορφοτεκτονικούς της δείκτες: αναγλύφου, δείκτη κλίσεων, σκιασμένου αναγλύφου, δείκτη δαντέλωσης μετώπου όρους, ενώ υπολογίστηκαν τα υψομετρικά ολοκληρώματα σε πέντε υπολεκάνες απορροής που επιλέχθηκαν από την ευρύτερη περιοχή. Προηγήθηκε εξαρχής μια περιγραφή της λιθολογίας της περιοχής καθώς και των κυριότερων τεκτονικών της δομών, ενώ έγιναν και μορφολογικές παρατηρήσεις για την ευρύτερη περιοχή.

Σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης της περιοχής πραγματοποιήθηκε αρχικά η ποιοτική του περιγραφή ενώ μετέπειτα ακολούθησε η ποσοτική του ανάλυση. Στην ποσοτική ανάλυση εφαρμόστηκαν οι νόμοι της υδρογραφικής σύνθεσης και έπειτα υπολογίστηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι σε αυτή προς τη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκαν τρείς ηλεκτρικές τομογραφίες στην περιοχή μελέτης, όπου στην συνέχεια αναλύθηκαν με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση των λιθολογικών δομών του υπεδάφους. Παρατηρούνται αποθέσεις με πάχος 35m (πάχος 35m ως το απόλυτο υψόμετρο των 0m) πάνω στο υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας ενώ πάνω σε αυτό παρατηρούνται κάποια ίχνη από τεκτονική δραστηριότητα υποδεικνύοντας ότι η διάνοιξη των Μακεδονικών Τεμπών έγινε πάνω σε κάποιο ρήγμα.

Οι αποθέσεις χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες: σε μια ενότητα που βρίσκεται στο βάθος των τομογραφιών με ποτάμια χαρακτηριστικά και μια επιφανειακή με ποταμοχειμάρρια χαρακτηριστικά με υλικά πιο χονδροκλαστικά που προέρχονται από τους πλευρικούς χειμάρρους. Το ποτάμι ρέει υπερχειλιστικά και εμφανίζει αδυναμία στο να τα μεταφέρει ενισχύοντας πλημμυρικά φαινόμενα, για αυτό τα υλικά αυτά απομακρύνονται με τεχνητό τρόπο από την κοίτη του.

Η μελέτη του μορφολογικού αναγλύφου καθώς και αρκετών μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση των ψηφιακών υψομετρικών δεδομένων με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGis 10).

Τέλος, ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την έρευνα οδήγησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής μελέτης.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Abstract

The aim of this post-graduate Thesis is to study of the geomorphological – paleogeographical evolution of the east margin of Mygdonia Basin.

Firstly, there was written a literature review of the study area where there are some valuable pieces of information about the east margin and for the whole Mygdonia basin.

During the study of morphological terrain, there was an evaluation of the altitude characteristics, and the development of the following morphotectonic maps: elevation map, slope map, shade relief map, mountain front sinuosity map and the hypsometric integrals for five sub-basins who were selected from the whole drainage basin. Before that, there has been a description of the lithology and tectonic structures of the wider region in conjunction with the morphological observation of the whole Mygdonia basin.

As far as drainage network of the basin is concerned, the qualitative description of the study area has been done according to the relevant quantitative analysis. Regarding quantitative analysis the laws of hydrographic synthesis were implemented and the morphometric parameters were calculated.

In another stage of this Thesis, three electrical sections were obtained and analyzed in the study area in order to investigate further the lithological structure of the subsoil.

There are obtained deposits with 35m thickness (35m depth to the absolute altitude of 0m) on the Servo – Macedonian Massif while on this, there are observed some traces of tectonic activity indicating that the opening of east margin of Mygdonia basin was on a fault line.

These deposits are divided in two main categories: firstly a unity located at bigger depths in the tomographies with fluvial characteristics and secondly a unity located near surface in the tomographies with torrential characteristics, with materials from the side streams. The river flowing spillway and shows weakness to carry those increasing floods, so these materials are artificially removed from its riverbed.

The study of morphological relief and of hydrological parameters was accomplished with the analysis of digital elevation data by using Geographic Information Systems (ArcGis 10).

Finally, the combination of the above results of the research resulted in drawing conclusions related to geomorphological – paleogeographical evolution of the study area.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Βιβλιογραφία

1) Ελληνική Βιβλιογραφία

Αστάρας, Θ., (1980). *Ποσοτική Γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των Δυτικών πλευρών του όρους Βερτίσκου (Κ. Μακεδονία).* (Διδακτορική Διατριβή) Α.Π.Θ.

Βουβαλίδης, Κ., (2002). *Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας*. Τμήμα εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Δημητριάδης, Σ., (1974). *Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλτας – Σταυρού – Ολυμπιάδος*. (Διδακτορική Διατριβή) Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

Ηρόδοτος (Πιθανολογείται 485-415 π.Χ). *Ιστορία (VII: Πολύμνια , 123.3)*

Θουκυδίδης (Πιθανολογείται 455-399 π.Χ). *Ιστορίαι.(1.58.2), (II,99)*

Ι.Γ.Μ.Ε., (1978). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Σταυρός*, Κλίμακα 1:50.000, Αθήνα

Κολιαδήμου, Κ. (1996). *Παλαιοντολογική και Βιοστρωματογραφική μελέτη των απολιθωμένων Μικροθηλαστικών της Μυγδονίας λεκάνης*. (Διδακτορική Διατριβή)

Μανάκου Μ. (2007). *Συμβολή στον προσδιορισμό τρισδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης: Εφαρμογή στην ιζηματογενή Μυγδονία λεκάνη*. (Διδακτορική Διατριβή)

Μουντράκης, Δ. (1985). *Γεωλογία της Ελλάδος*, University studio press, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης, Δ., Κοίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Λ., Ψιλοβίκος Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Λ., Κουφός, Γ., Δημόπουλος Γ., ,Σούλιος Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν., Λάγγαλης, Θ., (1997). *Ειδική έκδοση του*

Νεοτεκτονικού Χάρτη της Ελλάδας. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόγνωσης και Πρόληψης Σεισμών

Μουρατίδης, Α., (2010). *Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS διαστημικής τηλεπισκόπησης στη μορφοτεκτονική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας.* (Διδακτορική διατριβή) Α.Π.Θ.

Μυλόπουλος, Γ., Μυλόπουλος, Ν., Τόλικας, Δ., Κολοκυθά, Ε., Μεντές, Α., (2001). *Διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης λίμνης Κορώνειας, Ν. Θεσσαλονίκης. Το Μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης – Σενάρια διαχείρισης.* Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.

Όμηρος (πιθανολογείται 8ο αιώνα π.Χ). *Ιλιάδα (XXI)*

Παράσχου, Θ., (2005). *Η γεωμορφολογική εξέλιξη της κοιλάδας του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας παραπόταμου του Σπερχειού ποταμού*. (Διατριβή Ειδίκευσης) Α.Π.Θ.

Πέννος, Χ., (2009). *Γεωμορφολογική μελέτη της λεκάνης του Αγγίτη ποταμού*. (Διατριβή Ειδίκευσης) Α.Π.Θ.

Πεχλιβανίδου, Σ., **(**2007). *Η γεωμορφολογία της νήσου Σκύρου και η επίδρασή της στις χρήσεις γης*. (Διατριβή ειδίκευσης) Α.Π.Θ.

Πεχλιβανίδου, Σ., (2012). *Ιζηματολογικά και φυσικογεωγραφικά μοντέλα ανάπτυξης Ολοκαινικών Δελταϊκών ακολουθιών στην κοιλάδα του Σπερχειού ποταμού*. (Διδακτορική Διατριβή) Α.Π.Θ.

Σαββαίδης, Α., (1998). *Γεωφυσική μελέτη του βορειοδυτικού τμήματος της χερσονήσου της Χαλκιδικής* (Διδακτορική διατριβή) Α.Π.Θ.

Τσόκας, Γ., Τσούρλος, Π., Βαργεμέζης, Γ., Βουβαλίδης, Κ., Σταμπολίδης, Α., Φίκος, Η., Διαμαντή, Ν. (2012). *Γεωφυσική διασκόπηση στο θέατρο της αρχαίας Άσκρης*. Θεσσαλονίκη.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Χατζηπέτρος, Α., (1988). *Παλαιοσεισμολογική και μορφοτεκτονική μελέτη του ενεργού συστήματος ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης, Ανατολικής Χαλκιδικής και Κοζάνης – Γρεβενών*. (Διδακτορική Διατριβή) Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος, Α., (1977). *Παλαιογεωγραφική εξέλιξης της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβης)*. (Διδακτορική διατριβή) Α.Π.Θ.

2) Διεθνής Βιβλιογραφία

Bull, W., McFadden, L., (1977). *Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O., (Ed.), Proceedings of Eighth Annual Geomorphology Symposium, Geomorphology in Arid Regions*. State University of New York, Binghamton, 115–138

Demek, J., (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping.* Academia, Prague, pp. 344

Dikau, R., (1989). *The application of digital relief model to landform analysis. In Raper, J. (Ed.): Three Dimensional Application in Geographic Information Systems*. pp: 51-77

Horton, R., (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., and Pinter, N., (2002). *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape.* Second edition, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Kockel, F., Mollat, H., and Walther, H., (1971). *Geologie des Serbo-macedonischen massivs und seines mesozoischen Rahmens* (Nordgriechenland). Geol. Jb., 89, 529-551.

Koufos, G., Syrides G., Kostopoulos, D., and Koliadimou, K., (1995). *Preliminary results about the stratigraphy and the palaeoenvironment of Mygdonia Basin, Macedonia, Greece.* GEOBIOS, M.S., 18, 243-249.

Lykoudi, E., & Angelaki, M., (2004). *The contribution of the morphometric parameters of an hydrographic network to the investigation of the neotectonic activity: an application to the upper Acheloos river*. Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April, Bul. of the Geol. Soc. of Greece, vol. XXXVI.

Mercier, J., (1966). *Movements orogeniques, epirogeniques et magmatisme d'age Jurassique superieur-eocretace dans les zones internes des Hellenides (Macedoine, Grece).* Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn., VIII, 265-278.

Mercier, J., (1968). *Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). 1re These*. Ann. Geol. Pays Hellen. 20, 596 p.

Mountrakis, D., Psilovikos, A., Papazachos, B., (1983). *The geotectonic regime of the Thessaloniki earthquakes. In: Papazachos, B. and Carydis, P. (Eds), The Thessaloniki , Northern Greece, Earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence , Technical Chamber of Greece*. pp 11-27

Neubauer, W., (1957). *Die sudgrenze der Rodopen. Ein Beitraz zur stratigraphischen Auflosung der Kristalline der Halbinsel Chalkidikie*. Sb. Ak. Wiss., Wien, Abt. 1, 13 d. 166, 1-18.

Osswald, K., (1938). *Geologische Geschichte von Griechisch – Nordmakedonien. Denkschr. Der geol. Landesanstalt von Griechenland*. Heft 3, Athen

Pavlides, S., Kilias, A., (1987). *Neotectonic and active faults along the Servomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece)*. Annales Tectonicae, Vol. 1 pp 97-104.

Pavlides, S., Caputo, R., Koukouvelas, I., Kokkalas S., Chatzipetros, A., (2006). *Paleioseismological investigations of Aegean- type active faults in mainland Greece and their implications*. Geological Society of America, Special Paper 409, pp 176-188

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Schumm, S., (1956). *Evolution of drainage systems and slopes in the badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Geol. Soc. Amer. Bull., 67 597-646.

Sotiriadis, L., Psilovikos, A., Vavliakis, E., Syrides G., (1983). *Some Tertiary and Quaternary Basins of Macedonia/Greece. Formation and Evolution*. Clausthaler Geologische Abhandlungen

Strahler, A., (1952). *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.* (Geol. Soc. America Bulletin, 63: 1117-1142

Strahler, A., (1957). *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. (Amer. Geophys. Union Transactions, 38(6): 913-920)

Strahler, A., (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks.* (In: Chow V. (Ed.) Handbook of applied hydrology. Section 4-II: 39-76, McGraw-Hill Book Co. New York)

Tranos, M., Papadimitriou, E. Kilias, A., (2003). *Thessaloniki – Gerakarou Fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. Journal of Structural Geology*, Vol. 25, pp 2109-2123

Tsourlos, P, Szymanski, J., Tsokas, G.N., (1998). *A smoothness constrained algorithm for the fast 2-Dinversion of DC resistivity and induced polarization data*. J. Balkan Geophys. Soc. 1, 3–13.

Tsourlos, P., Ogilvy, R., (1999). *An algorithm for the 3-D Inversion of Tomographic Resistivity and Induced Polarisation data: Preliminary Results*. Journal of the Balkan Geophysical Society, 2, 30-45.