

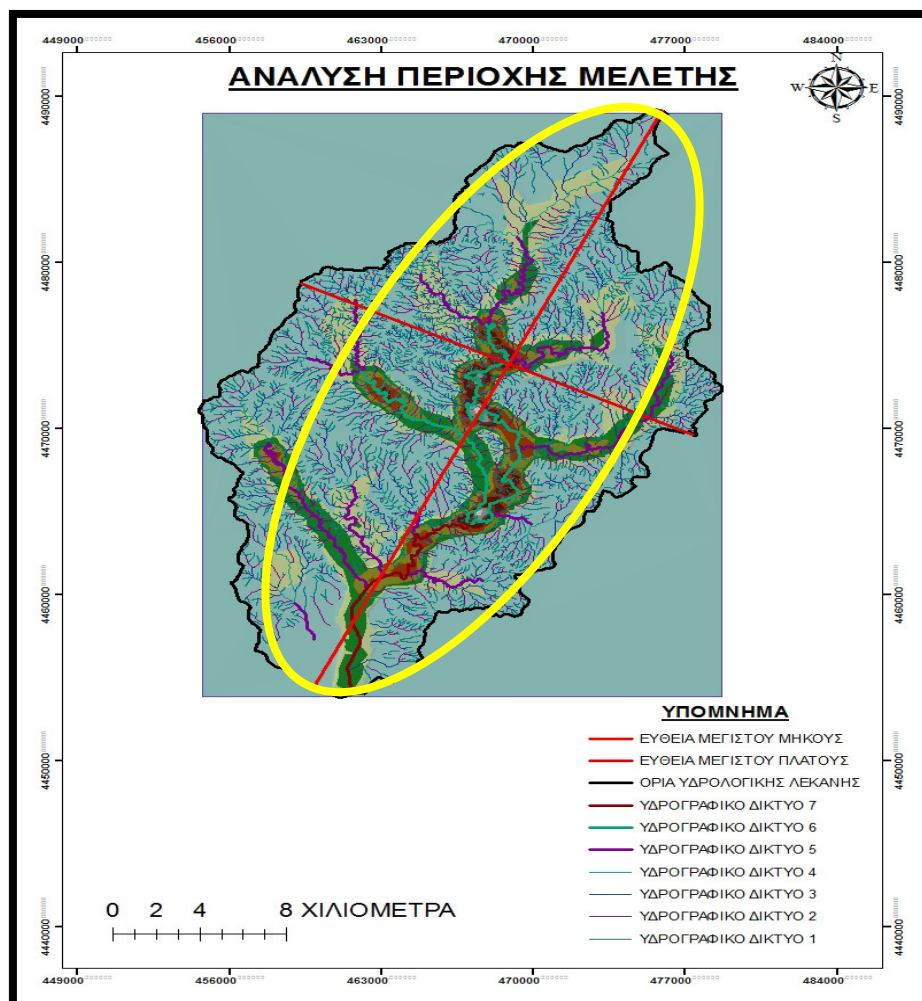
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΕΡΓ. ΤΕΧΝ. ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ :

«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

Πτυχιούχος Γεωλόγος – Σχης (ΠΖ) ε.α.



«ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ
ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΧΑΒΡΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ Δ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, ΑΕΜ: 492

Πτυχιούχος Γεωλόγος – Σχης (ΠΖ) ε.α.

«ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΧΑΒΡΙΑ»

**Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία»**

Τομέας Υδρογεωλογίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αν. Καθηγητής : Κ. Βουδούρης, Επιβλέπων

Αν. Καθηγητής : Κ. Βουβαλίδης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Λέκτορας : Α. Μουρατίδης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Ευστάθιος Δ. Παπαδόπουλος, 2017

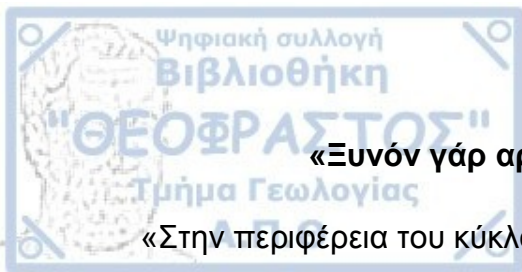
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

«ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΧΑΒΡΙΑ»

(Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Τεχνική Γεωλογία – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία» με ειδίκευση «Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία» του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου 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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του ΑΠΘ.



«Ξυνόν γάρ αρχή και πέρας επί κύκλου περιφέρειας»

«Στην περιφέρεια του κύκλου κάθε σημείο είναι ταυτόχρονα η αρχή και το τέλος»

Ηράκλειτος

Έλληνας Προσωκρατικός Φιλόσοφος

6^{ος} – 5^{ος} αι. Π.Χ

“Νερό, νερό παντού

Και ούτε μια σταγόνα να πιούμε»

Samuel Taylor Coleridge

Άγγλος ποιητής – φιλόσοφος

1772-1834

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	10
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	12
<u>ABSTRACT</u>	13
<u>ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</u>	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. <u>ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</u>	20
2.1 Γεωγραφική Θέση	20
2.2 Γεωμορφολογία – Ποτάμια Μορφολογία και Γεωμορφολογία	20
2.3 Φυσιογραφία της Ευρύτερης Περιοχής	21
2.3.1 Φυσιογραφία της Περιοχής Μελέτης	22
2.4 Γεωλογία – Τεκτονική της Περιοχής	23
2.5 Κλιματολογικά – Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία	28
2.5.1 Γενικά – Κλίμα της Περιοχής Ενδιαφέροντος	28
2.5.2 Θερμοκρασία	29
2.5.3 Σχέση Βροχής -Υψομέτρου	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. <u>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</u>	32
3.1 Υδρομορφολογική Ανάλυση	32
3.1.1 Γενικά	32
3.2 Μελέτη του Υδρογραφικού Δικτύου της Περιοχής Ενδιαφέροντος	32
3.2.1 Ανάλυση του Υδρογραφικού Δικτύου	34
3.2.1.1 Τάξεις – Κλάδοι Υδρογραφικού Δικτύου	35
3.2.1.2 Αριθμός Κλάδων Τάξεως u	37
3.2.1.3 Συνολικός Αριθμός Κλάδων Εντός της Λεκάνης (ΣΝυ)	37
3.2.1.4 Μήκος Κλάδων Τάξεως u (L_u)	37
3.2.1.5 Μέσο Μήκος Κλάδων Τάξεως u (ML_u)	37
3.2.1.6 Συνολικό Μήκος Κλάδων Τάξεως u (SL_u)	38
3.2.1.7 Λόγος Διακλάδωσης (R_b)	38
3.2.1.8 Λόγος Μήκους Κλάδων (RL)	39
3.2.1.9 Μισγάγγεια (CI)	40
3.2.1.10 Μήκος της Κοιλιάδας (VI)	41

3.2.1.11	Συντελεστής RHO (ρ)	42
3.2.1.12	Ελάχιστη Εναέρια Απόσταση (Adm)	42
3.2.1.13	Δείκτης Κοίτης του Ποταμού (Ci)	42
3.2.1.14	Δείκτης Κοιλιάδας (Vi)	42
3.2.2	Ανάλυση της Γεωμετρίας της Λεκάνης Απορροής	43
3.2.2.1	Μήκος από το Κέντρο Μέχρι το Στόμιο της Λεκάνης Απορροής (Lem)	43
3.2.2.2	Πλάτος στο Κέντρο Βάρους της Λεκάνης Απορροής (Wcm)	44
3.2.2.3	Μήκος της Λεκάνης (Lb)	45
3.2.2.4	Μέσο Πλάτος της Λεκάνης (Wb)	45
3.2.2.5	Εμβαδόν της Λεκάνης (A)	45
3.2.2.6	Περίμετρος της Λεκάνης (P)	45
3.2.2.7	Σχετική Περίμετρος (Pr)	46
3.2.2.8	Συσχέτιση Μήκους – Εμβαδού της Λεκάνης (Lar)	47
3.2.2.9	Λόγος Συντελεστή Σχήματος (Rf)	47
3.2.2.10	Λόγος Συντελεστή Μορφής (Rs)	47
3.2.2.11	Δείκτης Ελλειπτικότητας (Ie)	47
3.2.2.12	Λόγος Υφής (Rt)	48
3.2.2.13	Υφή του Υδρογραφικού Δικτύου (Dt)	48
3.2.2.14	Συντελεστής Συμπαγούς (Ec)	49
3.2.2.15	Λόγος Φυσικότητας (Rf)	49
3.2.2.16	Λόγος Παρεκτροπής (Rw)	49
3.2.2.17	Εκκεντρικότητα Υδροκρίτη (τ)	49
3.2.2.18	Κέντρο Βάρους του Υδροκρίτη (Ge)	50
3.2.2.19	Δείκτης Υδραυλικής Ελίκωσης (Hsi)	50
3.2.2.20	Δείκτης Τοπογραφικής Ελίκωσης (Tsi)	50
3.2.2.21	Δείκτης Πρότυπης Ελίκωσης (Ssi)	52
3.2.2.22	Μέγιστη Απόσταση (Lcp)	52
3.2.2.23	Λόγος Κυκλικότητας (Rc)	52
3.2.2.24	Κατανομή Κυκλικότητας (Rcn)	53
3.2.2.25	Λόγος Επιμήκυνσης Λεκάνης (Re)	53
3.2.3	Ανάλυση της Υφής του Υδρογραφικού Δικτύου	54
3.2.3.1	Υδρογραφική Συχνότητα (Fs)	54

3.2.3.2	Υδρογραφική Πυκνότητα (Dd)	54
3.2.3.3	Μήκος της Επιφάνειας Ροής (Lg)	56
3.2.3.4	Βαθμός Κατείσδυσης (If)	56
3.2.3.5	Ένταση του Υδρογραφικού Δικτύου (Di)	56
3.2.3.6	Μοτίβο του Υδρογραφικού Δικτύου (Dp)	56
3.2.4	Ανάλυση –Χαρακτηρισμός του Ανάγλυφου	57
3.2.4.1	Υψόμετρο Στομίου Λεκάνης (z)	57
3.2.4.2	Υψόμετρο Υψηλότερου Σημείου (Z)	57
3.2.4.3	Συνολικό Ανάγλυφο της Λεκάνης (H)	57
3.2.4.4	Λόγος Ανάγλυφου (Rhl)	58
3.2.4.5	Λόγος Σχετικού Ανάγλυφου (Rhp)	58
3.2.4.6	Απόλυτο Ανάγλυφο (Ra)	58
3.2.4.7	Κλίση της κοίτης του Ποταμού (Cg)	58
3.2.4.8	Βαθμός Τραχύτητας (Rn)	59
3.2.4.9	Βαθμός Τραχύτητας Melton (MRn)	59
3.2.4.10	Δείκτης Ανατομίας (Dsi)	59
3.2.4.11	Λόγος Κλίσης (Rg)	59
3.2.4.12	Ανάλυση Κλίσης (Sa)	60
3.2.4.13	Μέση Κλίση της Λεκάνης Απορροής (S)	60
3.2.4.14	Μέση Κλίση της Χερσαίας Λεκάνης (Θs)	62
3.2.4.15	Υψομετρική Ανάλυση (Hs)	62
3.2.4.16	Προφίλ Μηκοτομής (Lp)	66
3.2.4.17	Υδρογραφική Κλίση (Sw)	68
3.2.4.18	Συνολικό Μήκος Ισοϋψών (Ctl)	68
3.2.4.19	Ισοδιάσταση Ισοϋψούς (Cin)	69
3.2.4.20	Μήκος 2 Διαδοχικών Ισοϋψών	69
3.2.4.21	Μέση Κλίση Πλάτους Ισοϋψών (Swc)	69
3.2.4.22	Ασυμμετρία της Υδρογραφικής Λεκάνης (Af)	70
3.2.5	Μέσο Υψόμετρο της Λεκάνης	70
3.2.6	Ανάλυση των Νόμων του HORTON	72
3.2.6.1	Νόμος του Αριθμού των Κλάδων (1 ^{ος} Νόμος)	72
3.2.6.2	Νόμος του Μήκους των Κλάδων (2 ^{ος} Νόμος)	73
3.2.7	Διαπιστώσεις	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.	<u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ</u>	77
	<u>ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ</u>	
	<u>ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ</u>	
4.1	Ανάλυση της Βροχόπτωσης	79
4.2	Ανάλυση της Λιθολογίας	82
4.3	Ανάλυση Υψομετρικών Δεδομένων	86
4.4	Ανάλυση Χρήσης/Κάλυψης Γής	90
4.5	Ανάλυση Κλίσης (Slope) Ανάγλυφου	94
4.6	Ανάλυση Υδρογραφικού Δικτύου	96
4.7	Ανάλυση Δείκτη S-L (Stream Length)	99
4.8	Αποτελέσματα Στοιχείων και Δεδομένων	104
4.9	Παρατηρήσεις Υπαίθρου και Αντιπαραβολή – Έλεγχος Αξιοπιστίας με τα Θεωρητικά Δεδομένα	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.	<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.	<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	116
6.1	Ελληνόγλωσση	116
6.2	Ξενόγλωσση	117
6.3	Διαδίκτυο	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</u>	125



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

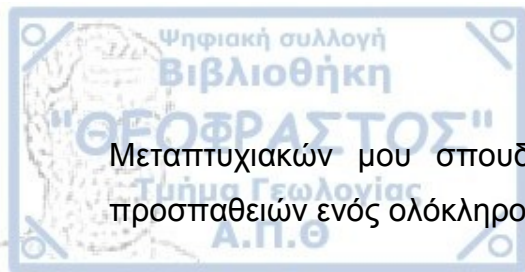
Η παρούσα εργασία αποτελεί την διατριβή ειδίκευσης, η οποία και εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, με τίτλο «Τεχνική Γεωλογία – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία» του Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ανάθεση του θέματος έγινε έπειτα από πρόταση των Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη, ο οποίος ήταν και ο κύριος επιβλέπωντας, του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Βουβαλίδη, καθώς επίσης και του Λέκτορα κ. Α. Μουρατίδη.

Τίτλος της εργασίας αυτής είναι : **«Συσχέτιση της Γεωμορφολογικής ανάλυσης με την εμφάνιση υδροφοριών : Εφαρμογή στην λεκάνη απορροής του Χαβρία».**

Σκοπός τη εργασίας αυτής είναι η συνδυασμένη γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης με βάση δείκτες και παράγοντες που είναι διεθνώς αναγνωρισμένοι και αποδεκτοί με την συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για τον εντοπισμό περιοχών πιθανής υδροφορίας. Κύρια γεωμορφολογικά στοιχεία τα οποία εξετάζονται είναι : α) το υδρογραφικό δίκτυο, β) η γεωμετρία της λεκάνης, γ) η υψή του υδρογραφικού δικτύου και δ) ο χαρακτηρισμός του ανάγλυφου. Παράλληλα, εξετάζονται στοιχεία από την καταγραφή δεδομένων από αριθμό γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και επικυρώνουν τα αποτελέσματα της μελέτης. Βασικός σκοπός είναι η κατάληξη σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία με την χρήση γεωμορφολογικών δεικτών που μπορεί να οδηγήσουν με ασφάλεια στον εντοπισμό περιοχών που είναι πολύ πιθανές για την φιλοξενία υδροφόρων σωμάτων.

Με το πέρας της διατριβής ειδίκευσής μου θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη, επιβλέποντα της εργασίας μου, για την εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπό μου με την ανάθεση της συγκεκριμένης διατριβής, καθώς επίσης και για τις υποδείξεις και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια των



Μεταπτυχιακών μου σπουδών. Αυτή η διατριβή αποτέλεσε επιστέγασμα των προσπαθειών ενός ολόκληρου κύκλου σπουδών.

Ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Βουβαλίδη για την σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς επίσης και για τις υποδείξεις και επισημάνσεις του σε κομβικά σημεία της εργασίας μου.

Ευχαριστώ τον Λέκτορα κ. Α. Μουρατίδη για την βοήθεια που μου προσέφερε προκειμένου να επιλύσω προβλήματα και δυσκολίες που αντιμετώπισα κατά την χρήση των προγραμμάτων που είχαν σχέση με τα ΓΣΠ .

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην υποψήφια διδάκτορα δις Π. Βενετσάνου για την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών που συντελέστηκαν στην ύπαιθρο προκειμένου να συλλεχθούν στοιχεία από τις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και για την παροχή χρήσιμων δεδομένων και πληροφοριών που βοήθησαν στην συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Τομέα Υδρολογίας και Φυσικής Γεωγραφίας για την βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχαν.

Ευχαριστώ θερμά όλους τους συμφοιτητές μου κυρίως για την ηθική συμπαράστασή που παρείχαν στο πρόσωπό μου όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

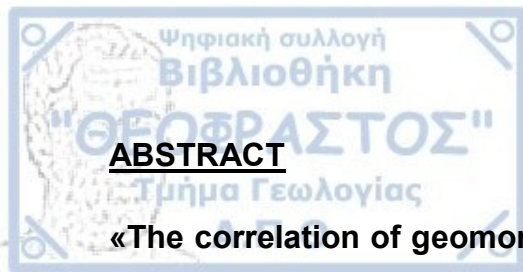
Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγό μου Παρθένα για την αμέριστη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχε, καθώς επίσης και για την ατελείωτη υπομονή που επέδειξε όλα αυτά τα χρόνια. Αυτή η εργασία είναι αφιερωμένη αποκλειστικά σε αυτήν, γιατί χωρίς αυτήν δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στην λεκάνη απορροής του Χαβρία ποταμού, στην περιοχή της Ορμύλιας – Χαλκιδικής. Η λεκάνη καταλαμβάνει έκταση **273.28 km²** και βρίσκεται στο **ΝΔ** τμήμα του νομού Χαλκιδικής. Η γεωμορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο στις περιοχές με χαμηλά υψόμετρα, ενώ είναι σχετικά έντονο κατά τόπους στις περιοχές με υψηλό υψόμετρο. Η λεκάνη απορροής του Χαβρία ποταμού είναι πληρωμένη από Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα στις περιοχές όπου το υψόμετρο είναι χαμηλό, ενώ στα υψηλότερα σημεία παρατηρούνται σχηματισμοί του υποβάθρου (μάρμαρα, σχιστόλιθοι, γρανίτες).

Τα στοιχεία τα οποία εξετάζονται έχουν ως σκοπό να αναδείξουν την σχέση που υπάρχει ανάμεσα στους γεωμορφολογικούς παράγοντες και δείκτες με την πιθανή ύπαρξη υπόγειου νερού σε περιοχές που εντοπίζονται ανάλογα με την διακύμανσή τους. Σύμφωνα με τους χάρτες του προγράμματος **«CORINE 2000»**, κυρίαρχα στοιχεία της περιοχής μελέτης είναι οι γεωργικές καλλιέργειες και οι εκτάσεις που καλύπτονται από δάση και βλάστηση.

Με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν από την έρευνα, και σύμφωνα με την οδηγία **2000/60** της ΕΕ, είναι επιβεβλημένη ανάγκη να αναγνωρισθούν και να οριοθετηθούν όλα τα υδάτινα σώματα (ποτάμια, λίμνες, υδάτινα σώματα) που βρίσκονται στην επικράτεια του κάθε κράτους. Η διατριβή αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα αρχικό εργαλείο για τον εντοπισμό υπόγειων υδάτινων σωμάτων, σε συνδυασμό με την υπαίθρια έρευνα. Αυτός είναι και ο βασικός στόχος της εργασίας αυτής, να συνδυάσει πληροφορίες και επεξεργασία στοιχείων και αρχικών δεδομένων με τα ΓΣΠ, για να καταλήξει και να επικεντρώσει την τελική έρευνα σε συγκεκριμένες περιοχές με υψηλό ποσοστό ύπαρξης υπόγειου νερού.

Λέξεις κλειδιά : Γεωμορφολογία, Χαβρίας, Λεκάνη απορροής, ΓΣΠ (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών), Υπόγειοι υδροφορείς



ABSTRACT

«The correlation of geomorphological analysis with the occurrence of aquifers : A case study from Havrias river basin»

The following specialisation thesis was developed based on the watershed of Havrias river, in the region of Ormyllia-Chalkidiki. The basin covers an area of **273.28 Km²** and is located in the **SW** part of municipality of Chalkidiki. The geomorphology of the area is characterized by a mild relief in low-altitude-areas, while in high-altitude-areas it becomes rather intense at some places. The watershed of Havrias river is rich in Tertiary and Quaternary residues in low-altitude-areas, while at higher areas bedrock formations can be observed (marbles, slates, granites).

The data examined here have as a goal to underline the correlation between the geomorphological factors and indexes and the possible existence of underground water, in the areas where they're located, depending on their fluctuation. According to the maps of the **«CORINE 2000»** program, dominant traits of the study area are agricultural crops and expanses covered by forests and vegetation.

Based on the data resulting from the research, and according to the instruction **2000/60** of the E.U., it is of utmost need to recognize and delineate all aquatic bodies (rivers, lakes) located in the areas of every country. This study could comprise a fundamental tool for the location of underground aquatic bodies in combination with the field study. And this is the main goal of this study, to combine information and evidence and data processing with GIS to conclude and focus the final study on specific areas with a high percentage of underground water existence.

Key Words: Geomorphology, Havrias, Watershed, GIS (Geographical Information System), Groundwater Aquifers

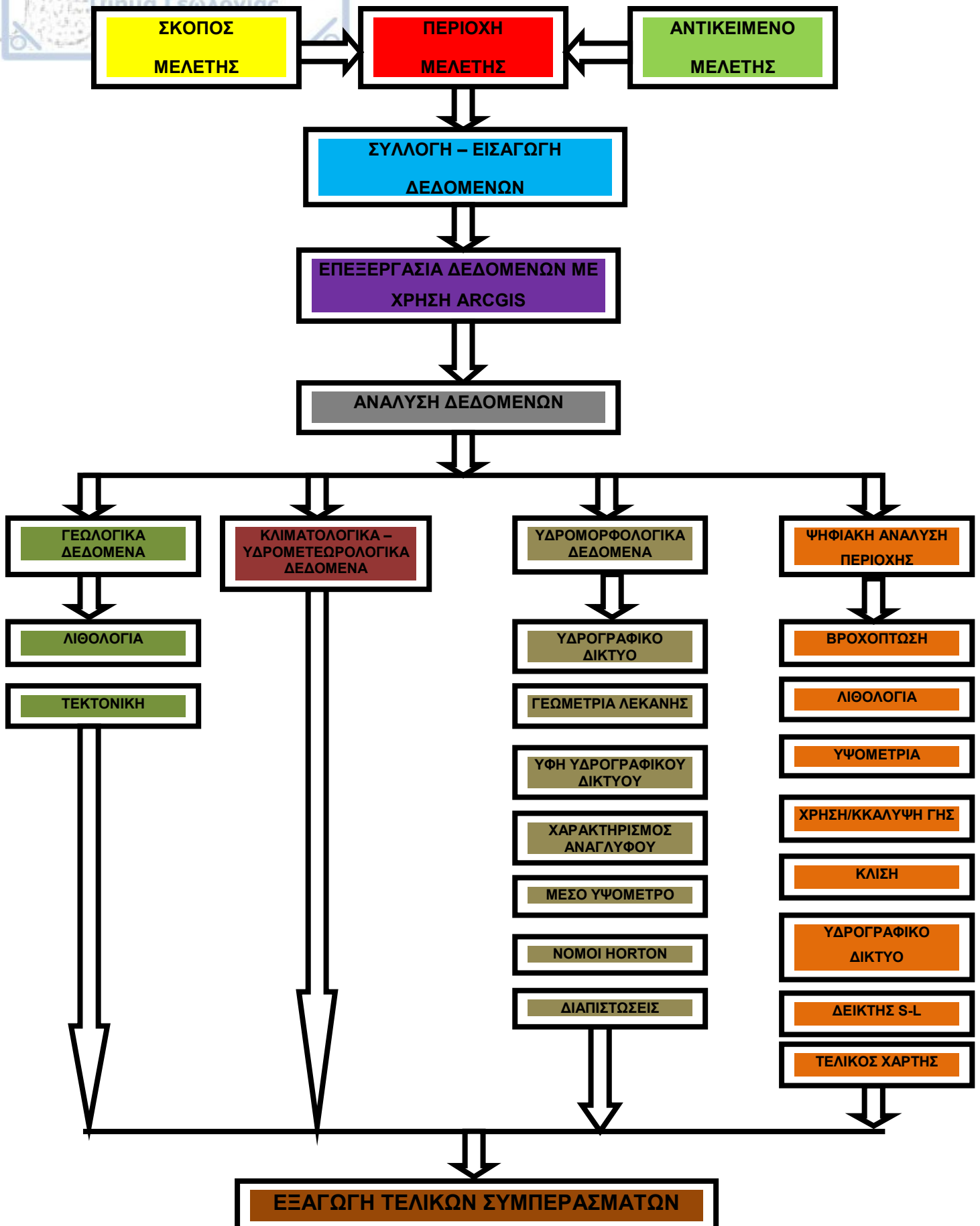
ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω:

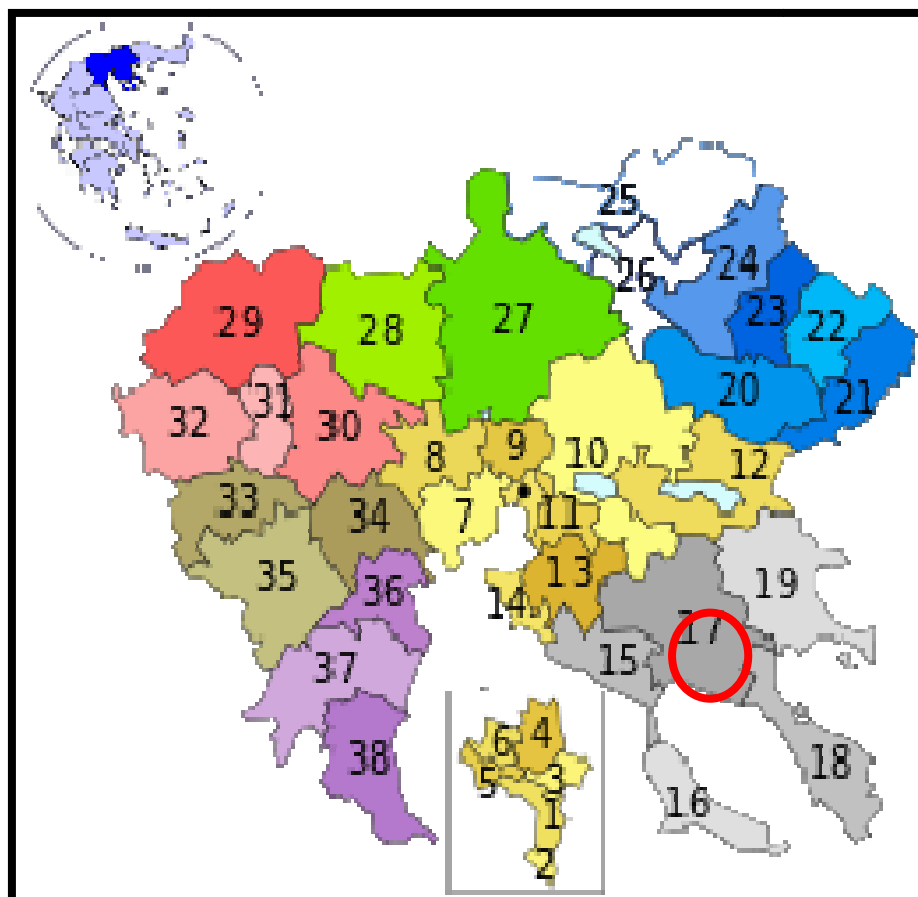
- Γεωλογικοί χάρτες του **ΙΓΜΕ**, κλίμακας **1:50000** (φύλλα **ΑΡΝΑΙΑ, ΚΑΣΣΑΝΔΡΕΙΑ, ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ, ΣΤΑΥΡΟΣ, ΣΤΡΑΤΟΝΙΚΗ, ΖΑΓΚΛΙΒΕΡΙ**).
- Γεωλογικοί χάρτες (**Kockel - Mollat**).
- Τοπογραφικοί χάρτες της **ΓΥΣ** κλίμακας **1:50000** (φύλλα **ΖΑΓΚΛΙΒΕΡΙ 2022 II, ΣΤΑΥΡΟΣ 2122 III, ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ 2021 I, ΑΡΝΑΙΑ 2121 IV**).
- Τοπογραφικοί χάρτες της **Κτηματικής Υπηρεσίας του Δημοσίου**.
- Δορυφορική εικόνα από το **GoogleMap**.
- Εικόνα **ASTERGDEM**.
- Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων (μέτρηση στάθμης γεωτρήσεων της περιοχής σε δύο περιόδους, δημιουργία πιεζομετρικών δεδομένων και χαρτών, εύρεση και επεξεργασία τοπογραφικών – γεωλογικών χαρτών, εύρεση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων) από Δημόσιους και Ιδιωτικούς φορείς, καθώς επίσης και από εργασίες και μετρήσεις στην ύπαιθρο.
 - Εύρεση και μελέτη της Διεθνούς και Ελληνικής βιβλιογραφίας, καθώς επίσης και πηγών από το Διαδίκτυο.
 - Επεξεργασία και ψηφιοποίηση των δεδομένων (γεωλογικών, τοπογραφικών, υδρογεωλογικών) με το **ΓΣΠ ArcGIS**, στο προβολικό σύστημα **ΕΓΣΑ' 87**.
 - Ανάλυση και επεξεργασία γεωμορφολογικών δεικτών με βάση τα διεθνή πρότυπα και εγκεκριμένες και δημοσιευμένες εργασίες.

Στην παρούσα διατριβή, και για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα ροής, το οποίο και απεικονίζει την σειρά και το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ



Ο ποταμός Χαβρίας πηγάζει κυρίως από τους ορεινούς όγκους του όρους Χολομώντα και του Στρατονικού όρους προς τα βόρεια, και του όρους Κάκαβου προς τα ανατολικά. Το συνολικό του μήκος υπολογίσθηκε στα **59.04 Km**, και κατανέμεται στους Δήμους Πολύγυρου, Αριστοτέλη και Σιθωνίας, σύμφωνα με το Σχέδιο «**ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ**»(Εικ. 1).



Εικόνα 1. Δήμοι Νομού Χαλκιδικής (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας)

Η γενική διεύθυνση της ροής του είναι **ΒΒΑ-ΝΝΔ**, και εκβάλλει στον όρμο της Ορμύλιας. Οι μεγαλύτεροι παραπόταμοι – χείμαρροι που εκβάλλουν στον Χαβρία είναι ο «**Τρανός Λάκκος**» ή «**Μηλιαδινό Ποτάμι**», ο «**Ξεροπόταμος**», ο «**Κυριαζή Λάκκος**», το «**Κουτλουμούσι**» και η «**Καπρινίκια**» ή «**Κούντουρα**».

Οι συγκεκριμένοι παραπόταμοι, καθώς και πλήθος χειμάρρων που εκβάλλουν στον Χαβρία δεν παρουσιάζουν επιφανειακή ροή στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους, παρά μόνο έπειτα από δυνατές και έντονες βροχοπτώσεις και για μικρό χρονικό διάστημα. Το ίδιο συμβαίνει και με τον Χαβρία, που τους καλοκαιρινούς

μήνες η επιφανειακή ροή είναι μειωμένη και παρατηρείται κυρίως στην περιοχή των Πλανών και του Μεταγγισίου, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα του η ροή είναι μέσω των ιζημάτων που έχουν πληρώσει την κοίτη του (Εικ. 2). Σε περιόδους όμως έντονης και δυνατής βροχόπτωσης, παρατηρούνται πλημμυρικά φαινόμενα (Εικ. 3).



Εικόνα 2. Ο Χαβρίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες
(Περιοχή Νέας Οδικής Γέφυρας)



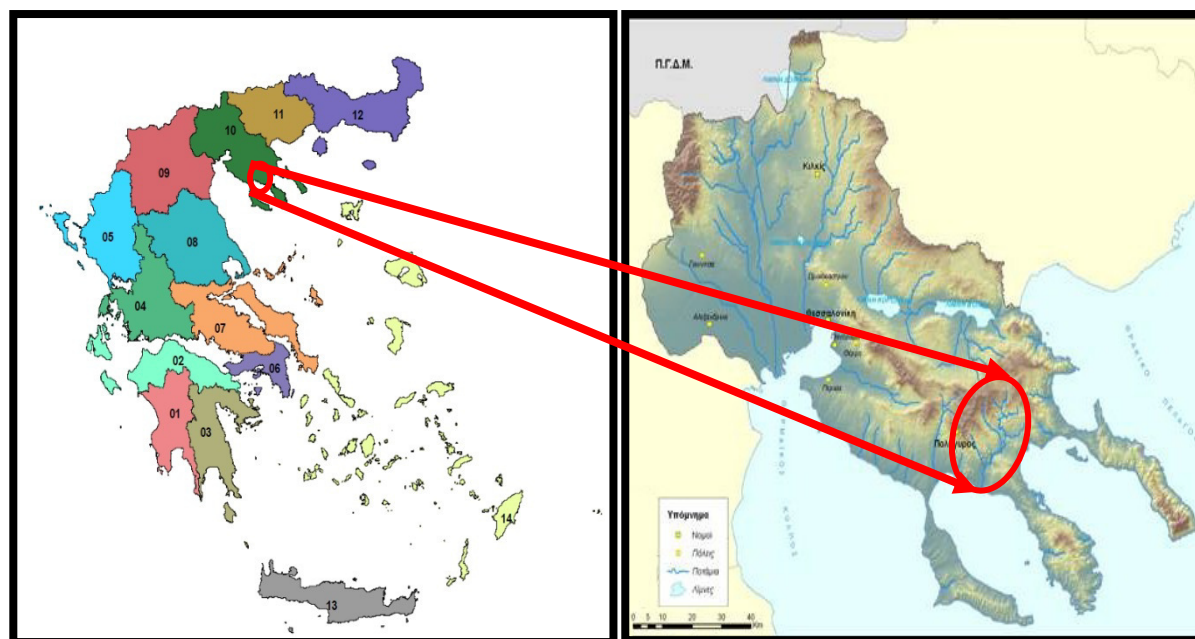
Εικόνα 3. Ο Χαβρίας έπειτα από έντονη βροχόπτωση
(<https://eneolaia.wordpress.com/2009/12/10>)

Η κύρια λεκάνη απορροής έχει έκταση **473.28 Km²** και με βάση το υψομετρικό ολοκλήρωμα υποδηλώνει στάδιο γήρατος, ενώ για κάποιες από τις μικρότερες λεκάνες υποδηλώνει στάδιο νεότητας. Το σχήμα της κύριας κοιλάδας έχει σχήμα **V** προσομοιάζει με έλλειψη, ενώ οι μικρότερες κοιλάδες εντός της λεκάνης απορροής έχουν σχήμα όψη **U**. Πιθανόν η διαμόρφωση της λεκάνης απορροής του Χαβρία να οφείλεται σε τεκτονική δράση, ενώ των υπολεκανών σε άλλες εξωγενείς δυνάμεις (διάβρωση).

Το μέσο υψόμετρο συνολικά της λεκάνης είναι περίπου **389 m**, κάτι που χαρακτηρίζει την λεκάνη ως λοφώδη. Ειδικότερα όμως στα **ΔΒΔ** και **Β** η περιοχή είναι ορεινή-ημιορεινή με υψόμετρα που φτάνουν τα **1165 m**, ενώ στα ΒΑ και Α είναι ημιορεινή με υψόμετρα μέχρι **750 m** περίπου. Τέλος, στα **Ν** και στα κεντρικά τμήματα η περιοχή είναι λοφώδης και πεδινή με πολύ χαμηλά υψόμετρα έως **150 m**.

Η περιοχή της λεκάνης στο σύνολό της κυριαρχείται από καλλιέργειες (**155.46 Km²**) και δασικές εκτάσεις (**315.23 Km²**) σύμφωνα με το «**CORINE 2000**» (σύνολο **470.69 Km²**, ήτοι το **99.46%**), ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό αντιστοιχεί σε αστικές περιοχές (**2.45 Km²**) και υδάτινα σώματα (**0.14 Km²**).

Σύμφωνα με τον **Νόμο 1739/1987** (Διαίρεση της Ελλάδας σε Υδατικά Διαμερίσματα (πρώην **ΥΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε**, νυν **ΥΠΕΚΑ**), ο Χαβρίας και η λεκάνη απορροής του ανήκουν στο **10^ο Υδατικό Διαμέρισμα** (Κεντρική Μακεδονία) (Εικ. 4)



Εικόνα 4. Διαίρεση της Ελλάδας σε υδατικά διαμερίσματα (www.YPEKA.gr)

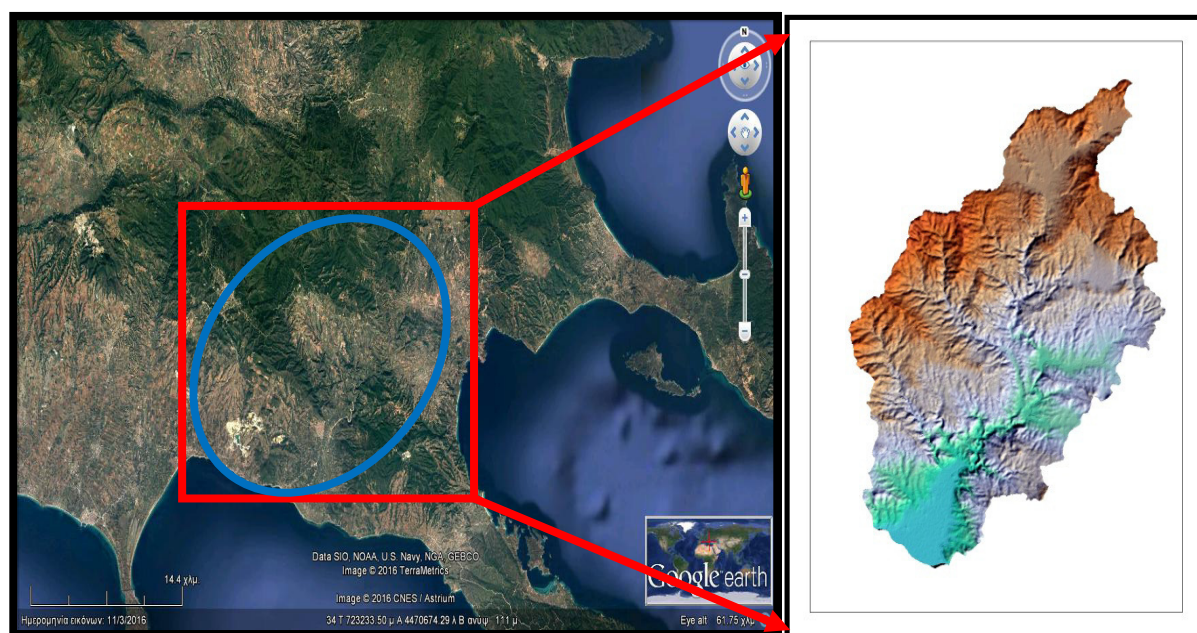
Τέλος, σύμφωνα με την Οδηγία **2008/915/ΕΚ**, ο Χαβρίας κατατάσσεται στην κατηγορία **R-M 4**, με βάση τα χαρακτηριστικά των ποταμών της Μεσογείου που παρουσιάζονται (Van de Bund et al, 2004 ; 2009)(Πιν. 1)

Πίνακας 1. Κατάταξη ποταμών με βάση τα χαρακτηριστικά τους

Τύπος	Χαρακτηρισμός Ποταμού	Λεκάνη Απορροής	Υψόμετρο	Γεωλογία Υποβάθρου	Καθεστώς Ροής Ποταμού
R-M 1	Μικρός σε μεσαίο υψόμετρο	10-100 Km ²	200-800 m	Μικτή	Έντονα εποχικό
R-M 2	Μεσαίος σε χαμηλό υψόμετρο	10-1000 Km ²	<400 m	Μικτή	Έντονα εποχικό
R-M 3	Μεγάλος σε χαμηλό υψόμετρο	1000-10000 Km ²	<600 m	Μικτή	Έντονα εποχικό
R-M 4	Μικρός/Μεσαίος σε Μεσογειακού τύπου βουνό	10-1000 Km ²	400-1500 m	Μη πυριτικό υπόβαθρο (Μικτή)	Έντονα εποχικό
R-M 5	Μικρός/Εποχικός	10-100 Km ²	<300 m	Μικτή	Πρόσκαιρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στον νομό Χαλκιδικής και βρίσκεται στην περιοχή του κόλπου Κασσάνδρας στα νότια του νομού, μεταξύ των χερσονήσων Ποτεΐδαιας και Κασσάνδρας (Εικ. 5). Με βάση το σχέδιο «**ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ**», υπάγεται σε **3** Δήμους (Αριστοτέλη, Πολύγυρου και Σιθωνίας) και αποτελείται από αριθμό υπολεκανών, που διαρρέονται από παραποτάμους και χείμαρρους που εκβάλλουν στον Χαβρία, το χρονικό διάστημα που παρουσιάζουν επιφανειακή ροή.



Εικόνα 5. Περιοχή Μελέτης (**GoogleEarth**)

2.2 Γεωμορφολογία – Ποτάμια Μορφολογία και Γεωμορφολογία

Η λέξη «**Γεωμορφολογία**» προέρχεται από τις Ελληνικές λέξεις «**γεω+μορφή+λόγος**», όπου «**γεω**»- είναι η γή, το ανάγλυφο ή η επιφάνεια, - «**μορφή**»- είναι οι σχηματισμοί και οι γεωμορφές που παρατηρούνται είτε στην επιφάνεια της Γής είτε κάτω από την επιφάνεια των υδάτων , ενώ – «**λόγος**» είναι η ανάλυση, η εξέλιξη ή η επιστήμη (Huggett; Encyclopedia of Geomorphology; Slaymaker et al, 2009).

Με τον όρο «**Γεωμορφολογία**» εννοούμε την επιστήμη που εξετάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων μορφών του ανάγλυφου της Γης, και τις

διεργασίες που επιδρούν στην διαμόρφωσή του (απορροή, γεωλισθήσεις-γεωκατακρημνίσεις, στερεομεταφορά υδατορευμάτων) (Μάρης) ή είναι ένας κλάδος των Γεωεπιστημών, που μελετά, ερευνά και αναλύει τις διαδικασίες διαμόρφωσης του γήινου ανάγλυφου, αναγνωρίζοντας, ταξινομώντας και αναλύοντας τις γεωμορφές, προσδιορίζοντας ταυτόχρονα τις συνθήκες δημιουργίας και εξέλιξής τους στη διάρκεια του χρόνου (Παυλόπουλος).

Σε ότι αφορά την «**ποτάμια μορφολογία**», είναι η μορφολογία του επιφανειακού ανάγλυφου η οποία έχει δημιουργηθεί από την δράση του ρέοντος ύδατος (Βουβαλίδης, 2011), ενώ η «**ποτάμια γεωμορφολογία**» είναι η επιστήμη που μελετά την αλληλεπίδραση μεταξύ των μορφών και των διαδικασιών των ποτάμιων κοιτών στην ευρεία κλίμακα του χώρου και του χρόνου (Charlton, 2008). Η ποτάμια μορφολογία είναι αποτελεί ένα κομμάτι της γεωμορφολογίας και της ποτάμιας γεωμορφολογίας, και είναι ένας από τους παράγοντες που επιδρούν και διαμορφώνουν το ανάγλυφο και την επιφάνεια της λεκάνης απορροής. Επομένως είναι ένα βασικό στοιχείο μελέτης και έρευνας της παρούσας διατριβής.

2.3 Φυσιογραφία της Ευρύτερης Περιοχής

Ο Νομός Χαλκιδικής στον οποίο υπάγεται η λεκάνη απορροής του Χαβρία ανήκει στην Περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας και υπάγεται στο **10^ο** Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδας. Κύριο χαρακτηριστικό του Νομού είναι το σχήμα που παρουσιάζει με τις **3** χερσονήσους να προσομοιάζουν με δάχτυλα και το ότι είναι η μοναδική χερσόνησος της Μακεδονίας, η οποία και αποτελεί την νοτιότερη απόληξη της Κεντρικής Μακεδονίας και εισχωρεί στο Αιγαίο Πέλαγος (Εικ. 6).

Γεωγραφικά εντοπίζεται μεταξύ των παραλλήλων **39° 50'** και **40° 45'** Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος, και των μεσημβρινών **22° 45'** και **24° 30'** Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος.

Ο Νομός διαχωρίζεται σε δύο τμήματα, το Βόρειο το οποίο περιλαμβάνει την λεκάνη της Μυγδονίας, και το Νότιο το οποίο περιλαμβάνει τις χερσονήσους Κασσάνδρας, Σιθωνίας και Αγ. Όρους. Μεταξύ των χερσονήσων σχηματίζονται ο Τορωναίος και ο Σιγγιτικός Κόλπος. Το Νότιο κομμάτι περιβρέχεται από θάλασσα και στα ανατολικά σχηματίζεται ο Στρυμωνικός κόλπος, ενώ Δυτικά σχηματίζεται ο Θερμαϊκός κόλπος.



Το ανάγλυφο του Νομού Χαλκιδικής διαμορφώνεται κυρίως από μια ορεινή-ημιορεινή ζώνη στο Βόρειο και Κεντρικό τμήμα, στο οποίο και εμφανίζονται τα κυριότερα βουνά του Νομού, με εξαίρεση τον Άθω που εντοπίζεται στην αντίστοιχη χερσόνησο. Το κύριο χαρακτηριστικό των βουνών της Χαλκιδικής είναι η παρουσία πολλών δασών. Σχεδόν ο μισός νομός καλύπτεται από αυτά.

Κυριότερα υδάτινα ρεύματα είναι αυτά του Χαβρία και του Ολύνθιου, που δημιουργούν και τις αντίστοιχες λεκάνες απορροής.

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο Νότιο και Κεντρικό τμήμα του Νομού Χαλκιδικής, μεταξύ των χερσονήσων Κασσάνδρας και Σιθωνίας .

Η λεκάνη απορροής του Χαβρία ορίζεται στα **B-BA** από την Ασπρόπετρα και τον Χολομώντα, στα **B-BA** από την Σταύρου Τούμπα και το Καστρί. Στα **A** από την Σβούλα και στα **N** από τον Τωρωναίο κόλπο.

Στο **B-BA** τμήμα η μορφολογία είναι έντονα ορεινή-ημιορεινή με την παρουσία των υψηλότερων ορεινών όγκων του Χολομώντα, Καστρί, Σταύρου Τούμπα, Ασπρόπετρα. Το ίδιο ισχύει και στο **BA** τμήμα της λεκάνης με την παρουσία της Σβούλας. Στα υπόλοιπα τμήματα η μορφολογία κυμαίνεται από πεδινή έως λοφώδης. Ιδιαίτερα στο **N** τμήμα το υψόμετρο είναι πολύ χαμηλό.

Η διεύθυνση ροής του Χαβρία είναι **B-BA** προς **ND-N**, με το ίδιο να ισχύει για τους περισσότερους παραποτάμους του. Χαρακτηριστικό του ποταμού είναι ο μαιανδρισμός που παρατηρείται σε ορισμένα σημεία από το μέσο προς τα κατάντη προς την έξοδο της ροής του στη θάλασσα.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ποσοστό κάλυψης του εδάφους από δασικές εκτάσεις και εκτάσεις με φυτοκάλυψη, ενώ σε ότι αφορά την ανθρώπινη δραστηριότητα είναι έντονη η αγροτική καλλιέργεια στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και πέριξ του Χαβρία.

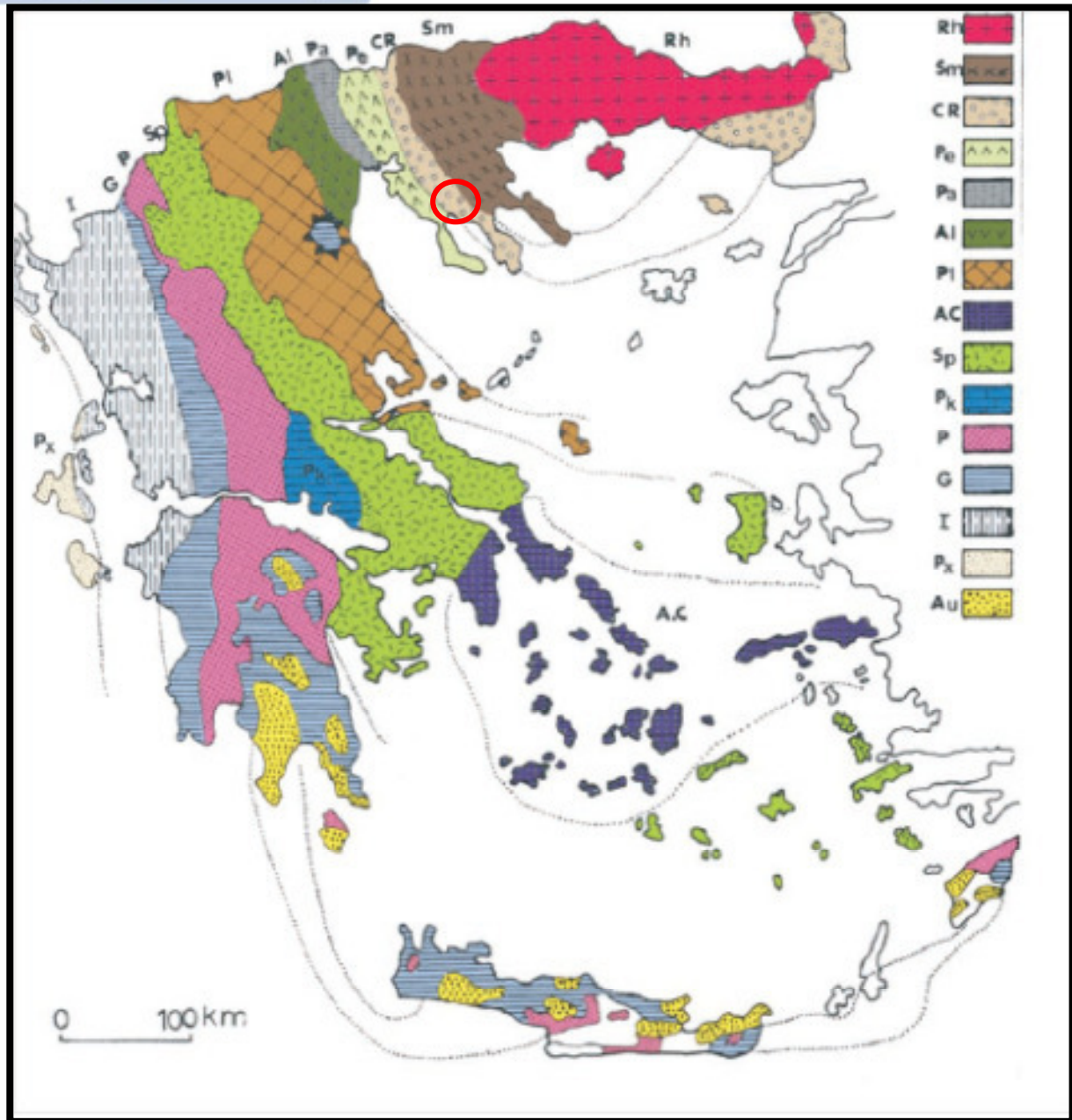
2.4 Γεωλογία – Τεκτονική της Περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται στην Σερβομακεδονική, την Περιοδοτική Ζώνη και την Ζώνη Αξιού (Υποζώνη Παιονίας) (Μουντράκης, 1985 & 2010) (Εικ. 7).

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής αποτελείται από δύο σειρές πετρωμάτων : την κατώτερη σειρά των Κερδυλλίων, που είναι και η αρχαιότερη, και την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου, που είναι και η νεώτερη. Η σειρά των Κερδυλλίων βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Χαλκιδικής και η σειρά του Βερτίσκου βρίσκεται δυτικά της σειρά των Κερδυλλίων και καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της Χαλκιδικής.

Ειδικότερα για την περιοχή μελέτης, εντοπίζονται σχηματισμοί που ανήκουν στην Σερβομακεδονική μάζα και στην Περιοδοτική ζώνη, καθώς επίσης και εκρηξιγενή μεταμορφωμένα πετρώματα, σχηματισμοί του Νεογενούς και του Τεταρογενούς (Μουντράκης, 1985 & 2010).

Από την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου στην περιοχή εντοπίζονται κυρίως διμαρμαρυγικοί γνέυσιοι.



Εικόνα 7. Γεωτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας (Μουντράκης et al, 1983)
(Rh:Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική Μάζα, CR: Περιροδοτική Ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάϊκου, Al:Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική Ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική Ζώνη, Sp: Υποπελαγονική Ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι-Ταλέα Όρη» πιθανόν της Ιονίου Ζώνης)

Από την Περιροδοτική ζώνη εντοπίζονται χαλαζίτες, χαλαζιτικοί ψαμμίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, ενώ από την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη εντοπίζονται κερατόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μάργες, χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, με παρεμβολές οφειολιθικών σωμάτων και μεταμορφωμένων όξινης μαγματικής προέλευσης πετρωμάτων (διορίτες, γρανίτες που μεταμορφώθηκαν σε γνευσιακά πετρώματα) με εναλλαγές φυλλιτών, σχιστολίθων και μαρμάρων.

Στην Ανατολική Παιονία εντοπίζονται μεταμορφωμένα ιζήματα που έχουν αναμιχθεί με τους οφειόλιθους, και στα κατώτερα στρώματα με ένα λεπτό ασβεστολιθικό στρώμα και ένα παχύ στρώμα από μαρμαροειδή ασβεστόλιθο.

Αυτοί οι σχηματισμοί αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, ενώ τα ιζήματα και οι αποθέσεις που εμφανίζονται στην περιοχή αποτελούνται από Τεταρτογενή αποθέσεις και Νεογενή ιζήματα.

Τα Τεταρτογενή ιζήματα διακρίνονται σε Ολοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις (Βεράνης Ν. & Χατζηκύρκου Α., 2010).

Οι Ολοκαινικές αποθέσεις διακρίνονται σε :

- α. Αλλουβιακές αποθέσεις.
- β. Παράκτιες αποθέσεις.
- γ. Ιζήματα λιμνοθαλασσών.
- δ. Λιμναία ιζήματα.

Οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις διακρίνονται σε:

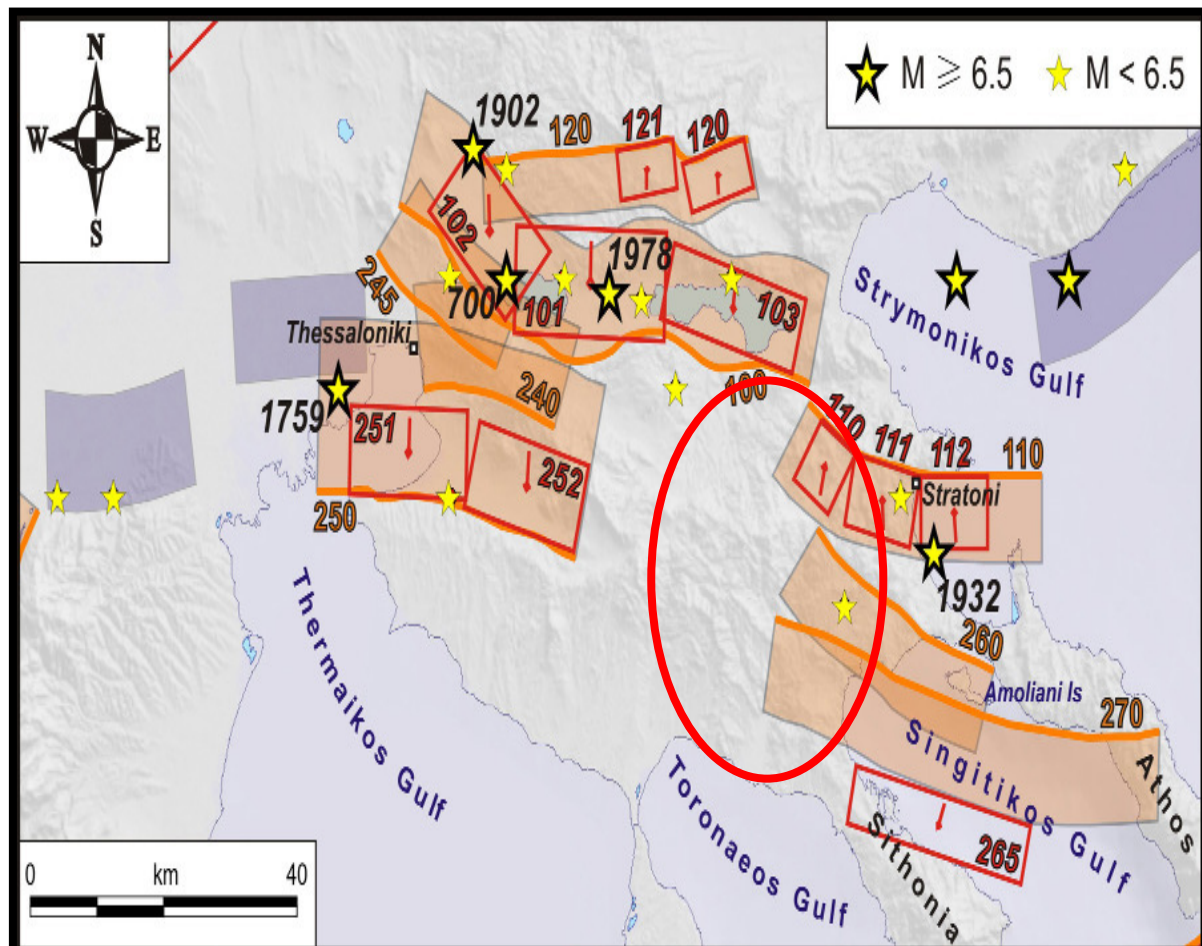
- α. Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων .
- β. Ριπίδια προσχώσεων -Τεταρτογενές αδιαίρετο.

Τέλος τα Νεογενή ιζήματα (Α. Μειόκαινο – Κ. Πλειόκαινο) διακρίνονται σε :

- α. Σειρά των ερυθρών αργίλων.
- β. Βασική σειρά κροκαλοπαγών.

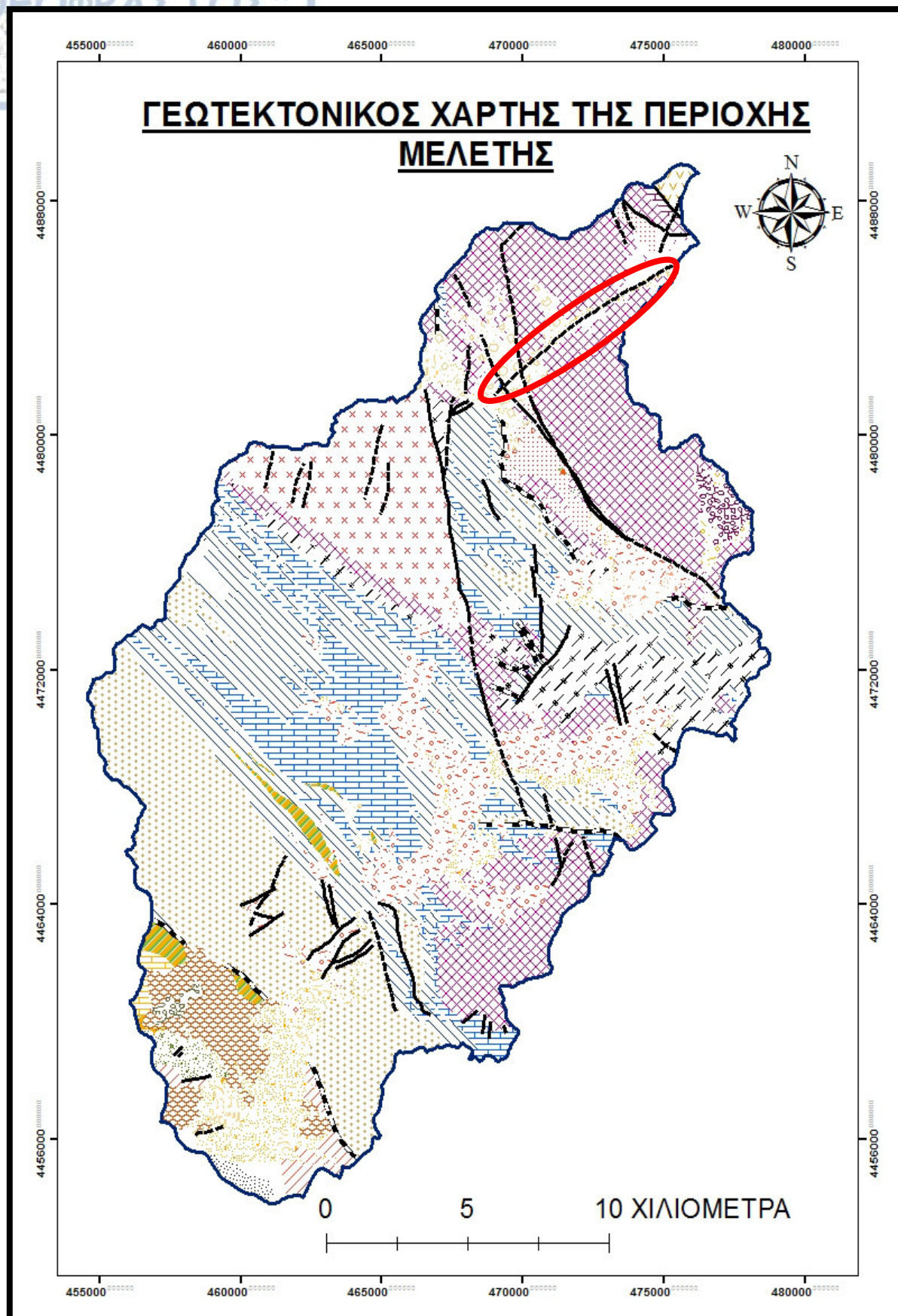
(Εικόνα του Γεωλογικού Χάρτη της περιοχής μελέτης και Υπόμνημα των Γεωλογικών Σχηματισμών, όπως στο Παράρτημα 1).

Στην ευρύτερη περιοχή, και ιδιαίτερα στον Νομό Χαλκιδικής, εντοπίζονται ρήγματα τα οποία έχουν δώσει κατά καιρούς ιδιαίτερα ισχυρούς σεισμούς (Caputo et al, 2012)(Εικ. 8).



Εικόνα 8. Χάρτης Ρηγμάτων (Caputo et al., 2012)

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται ένα ρήγμα με **BA-NA** διεύθυνση στην περιοχή Παλαιοχωρίου – Νεοχωρίου (Μουντράκης et al, 2003). Έχει συνεχές ευθύγραμμο ίχνος μήκους περίπου **9 Km** και διαμορφώνει την στενή κοιλάδα μεταξύ των χωριών Παλαιοχώρι και Νεοχώρι. Η συγκεκριμένη κοιλάδα είναι πληρωμένη με Τεταρτογενή ποτάμια ιζήματα. Το ρήγμα αυτό διαχωρίζει τα γνευσιακά πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας και συνδέεται με τον σεισμό της Αρναίας (03/05/1995, μέγεθος **M=5.3**) (Εικ. 9).



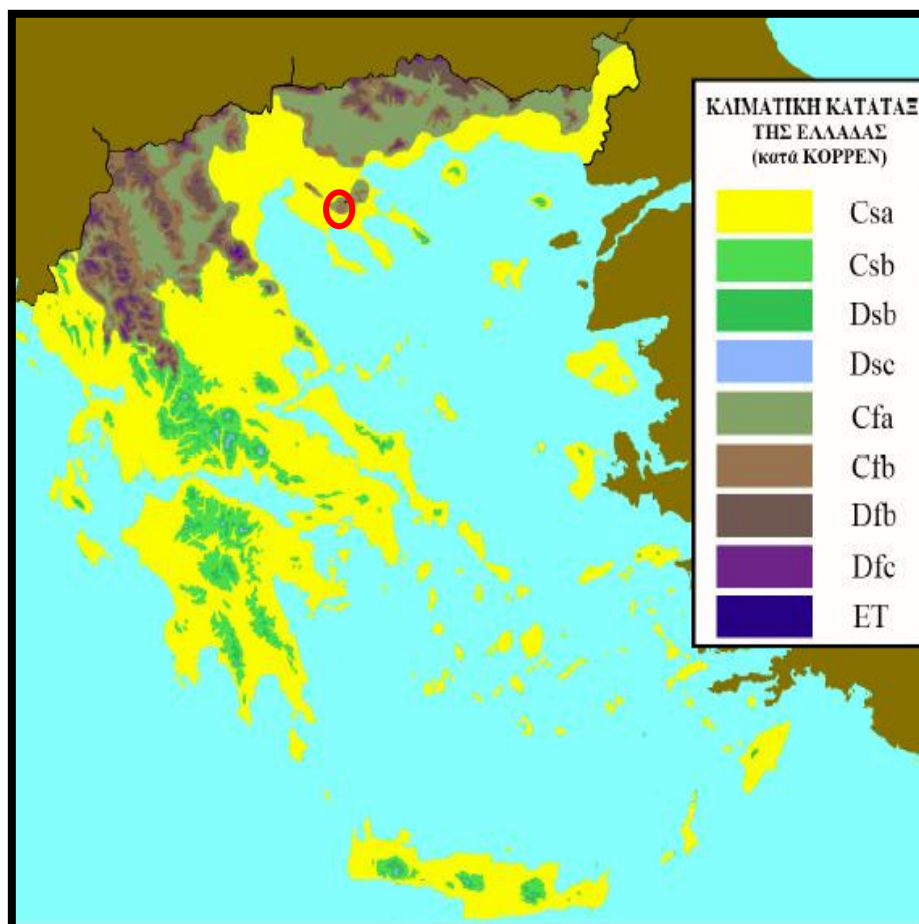
Εικόνα 9. Γεωτεκτονικός χάρτης της περιοχής έρευνας

2.5 Κλιματολογικά – Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία

2.5.1 Γενικά – Κλίμα της Περιοχής Μελέτης

Το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως «**Μεσογειακό**», με υγρούς και ήπιους χειμώνες και μεγάλα, θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων του έτους παρατηρείται τον χειμώνα, ενώ οι μήνες ξηρασίας μπορεί να είναι πολλοί.

Σύμφωνα με την κατάταξη **Koppen** (Korpen, 1918) κατατάσσεται στην κατηγορία **Csb**, δηλ. παράκτιο μεσογειακό με ήπιους χειμώνες και μικρό, ξηρό και θερμό καλοκαίρι. Στα πιο ορεινά και ενδότερα η κατηγορία μεταβαίνει σε **Csa**, δηλ. μεσογειακό ενδοχώρας, με ήπιους χειμώνες και μικρό και πολύ ζεστό καλοκαίρι (Μπαλαφούτης; Μπαλαφούτης & Μαχαίρας, 1985)(Εικ. 10).



Εικόνα 10. Κλιματική κατάταξη της Ελλάδας κατά Korpen

(<http://www.meteoclub.grt>)

Η κατάταξη βασίζεται σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας και του αέρα. Το γράμμα «**C**» χαρακτηρίζει την μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα που πρέπει να είναι **>18 °C**, και η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα μεταξύ **0-18 °C**. Το γράμμα «**s**» αναφέρεται στην βροχή του ξηρότερου μήνα που πρέπει να είναι **< 30 mm** και **<** από το **1/3** της βροχής του υγρότερου μήνα (μικρό καλοκαίρι). Τέλος το γράμμα «**a**» αναφέρεται στην μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα που πρέπει να είναι **> 22 °C**, για το γράμμα **b** ισχύει για θερμοκρασίες του θερμότερου μήνα **< 22 °C** και **4** τουλάχιστον μήνες θα πρέπει να έχουν θερμοκρασία **> 10 °C**.

Για την εξαγωγή στοιχείων που αφορούν την λεκάνη απορροής, μελετήθηκαν τα δεδομένα από **4** Μετεωρολογικούς Σταθμούς (Ορμύλιας, Ταξιάρχη, Πολύγυρου, Αρναίας) (Πίν. 2).

Πίνακας 2. Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ Z (m)	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	X	Y
ΟΡΜΥΛΙΑ	40	440.36	462394	4457961
ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ	580	515.42	453115	4470052
ΑΡΝΑΙΑ	595	638	466109	4481944
ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ	862	794.4	457906	4475520

2.5.2 Θερμοκρασία

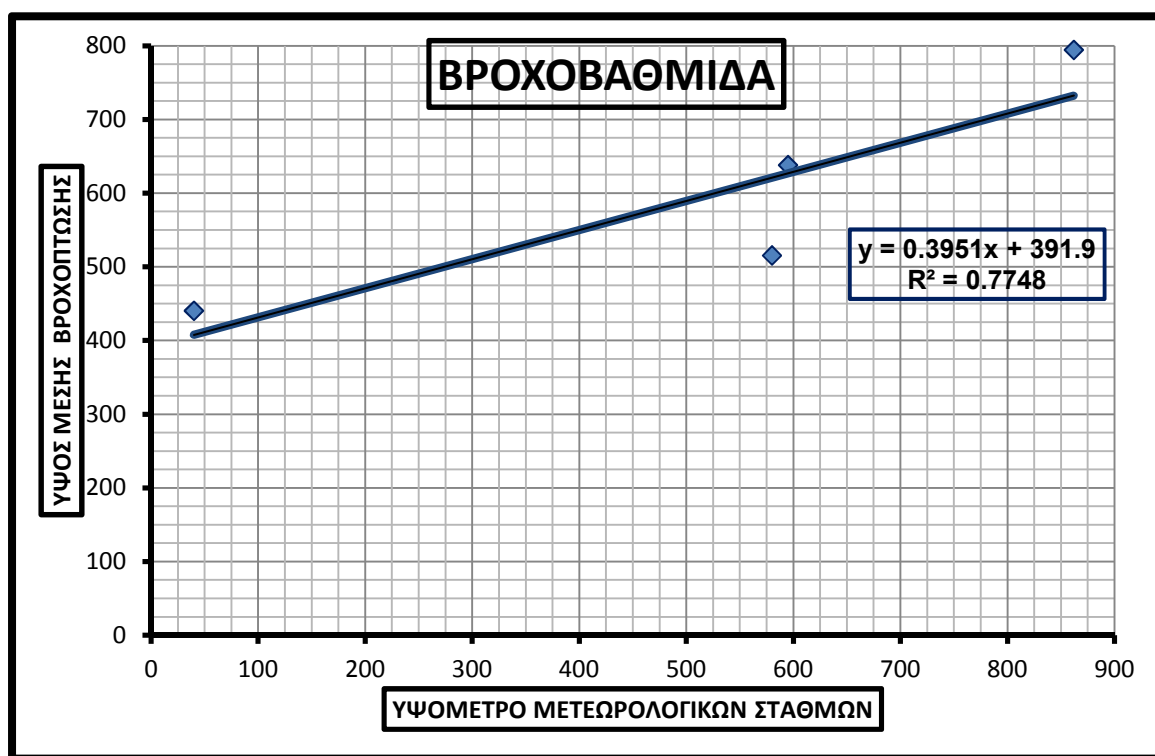
Από τις μετρήσεις των στοιχείων των μετεωρολογικών σταθμών και την επεξεργασία τους υπολογίσθηκε η **μέση θερμοκρασία**, η οποία είναι **13.8° C** (για τον υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό του Ταξιάρχη και από την Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης της Σιμελιάδου, 2011).

Η γενική κατακόρυφη θερμοβαθμίδα για την Ελλάδα είναι **0.65 °C/100m**, και αυτή θεωρητικά ισχύει και για την περιοχή μελέτης. Λέγοντας θερμοβαθμίδα εννοούμε την αναλογική μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου

(αυτό ισχύει για την Τροπόσφαιρα). Αυτό σημαίνει πως έχουμε μεταβολή της θερμοκρασίας (μείωση) όσο μετακινούμαστε από τα μικρά υψόμετρα της ακτής προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα των ορεινών όγκων.

2.5.3 Σχέση Βροχής - Υψομέτρου

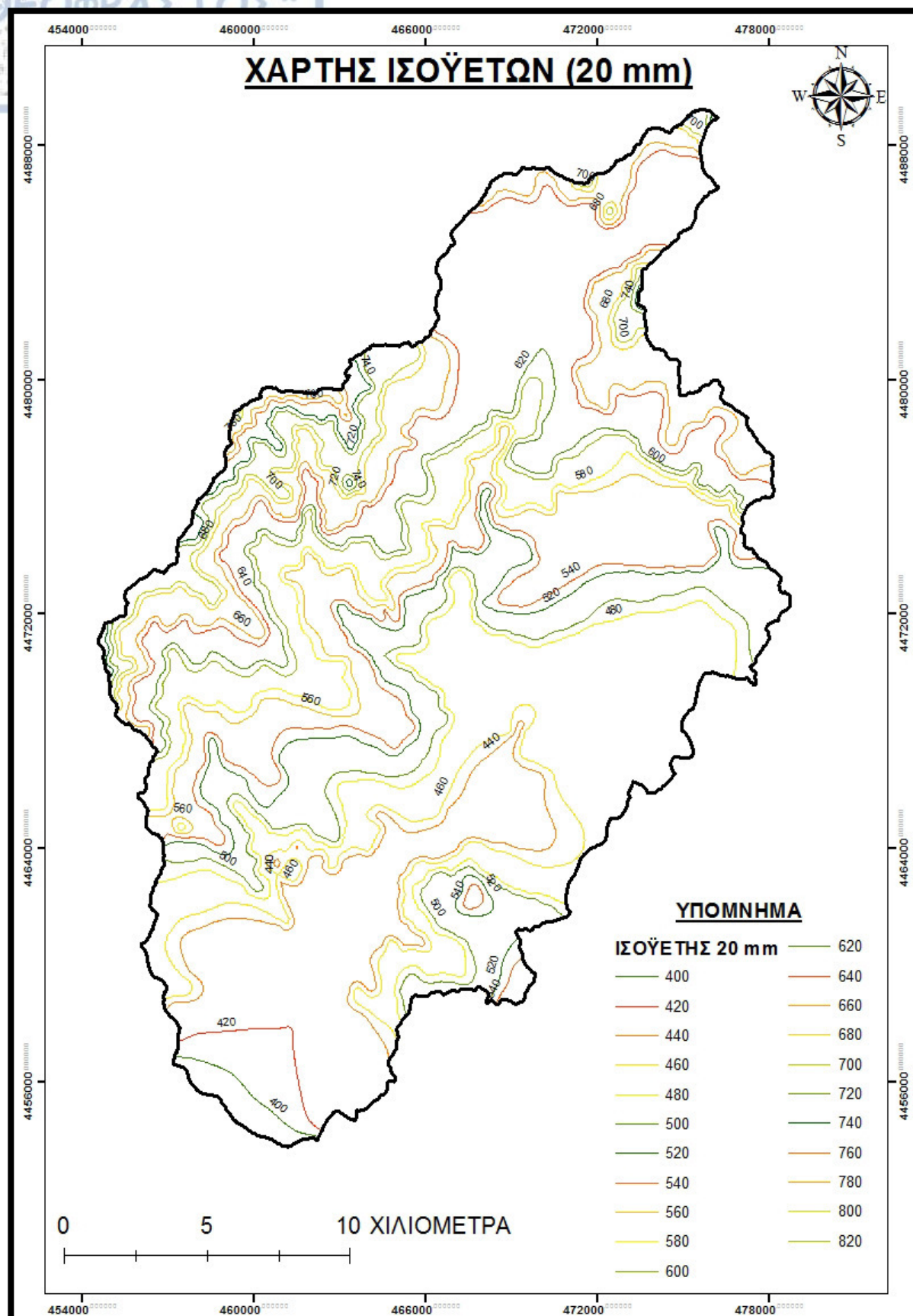
Με βάση τα στοιχεία από τους Μετεωρολογικούς Σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν, κατασκευάστηκε η «**βροχοβαθμίδα**» που είναι αντιπροσωπευτική για την περιοχή μελέτης. Με τον όρο βροχοβαθμίδα εννοούμε την μεταβολή που παρατηρείται στο ύψος της βροχής ανά μονάδα μεταβολής του υψομέτρου (Σχ. 1).



Σχήμα 1. Εύρεση βροχοβαθμίδας

Η σχέση που ισχύει μεταξύ υψομέτρου και ύψους βροχόπτωσης είναι $Y=0.3951 \cdot X+391.9$, δηλ. παρατηρείται μεταβολή της βροχόπτωσης κατά **39.51 mm** κάθε **100 m**.

Αφού υπολογίσθηκε η βροχοβαθμίδα, δημιουργήθηκε ένας χάρτης με τις ισοϋέτιες καμπύλες της λεκάνης απορροής (Εικ. 11). Υσοϋέτια ονομάζουμε την καμπύλη που ενώνει τον γεωμετρικό τόπο των σημείων με το ίδιο ύψος βροχής.



Εικόνα 11. Χάρτης ισοϋετών (20 mm)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Γεωμορφολογική Ανάλυση

3.1.1 Γενικά

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η Γεωμορφολογία μελετά και αναλύει τα διάφορα ήδη γεωμορφών που παρατηρούνται στην επιφάνεια της Γής και το ανάγλυφό της, καθώς επίσης και τις αιτίες οι οποίες συνετέλεσαν στην δημιουργία τους στη διάρκεια του χρόνου. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός μελετούνται και εξετάζονται διάφοροι παράγοντες και δείκτες.

Οι Υδρογεωλόγοι στις μελέτες τους εξετάζουν διαφορετικό αριθμό παραγόντων, δεικτών και συντελεστών, χρησιμοποιώντας και διαφορετικές μεθοδολογίες (κατασκευή θεματικών χαρτών, ανάλυση γεωλογικών-γεωγραφικών-κλιματικών-λιθολογικών-σεισμοτεκτονικών παραγόντων, εξέταση εδαφολογικών στοιχείων, βαθμονόμηση και δεικτοδότηση συντελεστών κλπ). Υπάρχει όμως ένας κοινός κατάλογος στον οποίο ανατρέχουν προκειμένου να αντλήσουν και να επιλέξουν αυτά τα στοιχεία.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε ο μέγιστος αριθμός Γεωμορφολογικών παραγόντων, δεικτών και συντελεστών, προκειμένου να εξαχθούν όσο το δυνατόν ασφαλέστερα και ποιοτικότερα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Χρησιμοποιήθηκαν 4 κατηγορίες δεικτών – συντελεστών -παραμέτρων (Pareta & Pareta, 2011; Suresh et al, 2016; Tribhuvan, Sonar, 2016; κ.α), οι οποίες είναι :

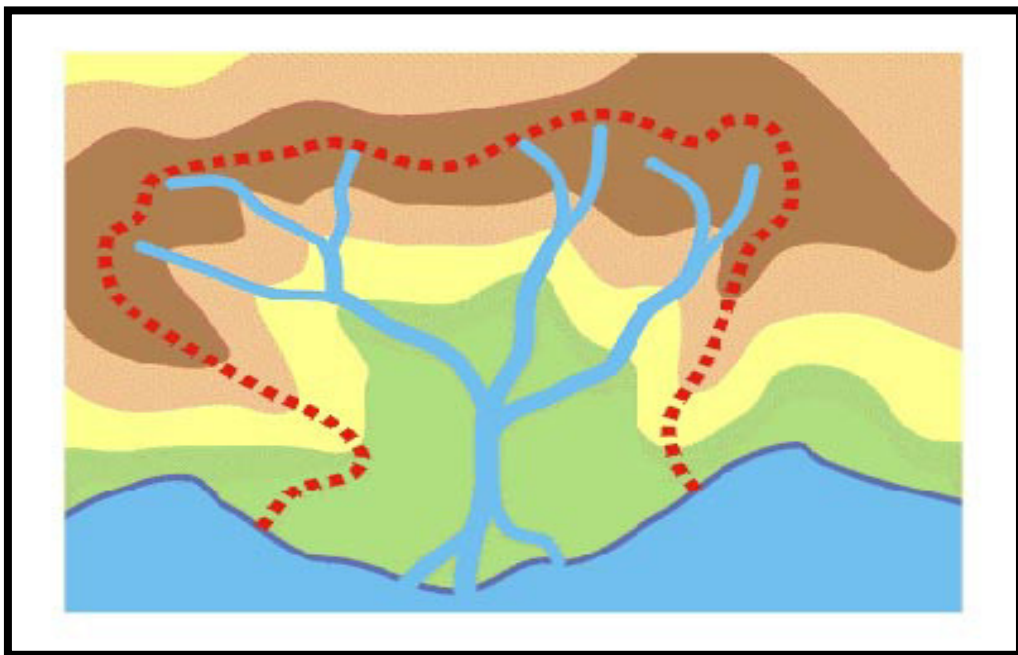
- α. Το υδρογραφικό δίκτυο,
- β. Η γεωμετρία της λεκάνης,
- γ. Η υφή του υδρογραφικού δικτύου και
- δ. Ο χαρακτηρισμός του ανάγλυφου (Ανάλυση των κατηγοριών, όπως Παράρτημα 2).

3.2 Μελέτη του Υδρογραφικού Δικτύου της Περιοχής Ενδιαφέροντος

Πριν την έναρξη της ανάλυσης του Υδρογραφικού Δικτύου είναι χρήσιμο να καθορισθούν και να διευκρινισθούν 2 όρους που συχνά είναι αλληλένδετοι και

δημιουργούν αμφιβολίες και διενέξεις. Οι όροι αυτοί είναι υδρολογική και υδρογεωλογική λεκάνη.

Υδρολογική λεκάνη ή λεκάνη απορροής εννοείται μια καλά καθορισμένη τοπογραφική και υδρολογική ενότητα, η οποία αποτελεί τη στοιχειώδη χωρική μονάδα της αποστράγγισης της επιφάνειας της χέρσου (Βουβαλίδης, 2011), ή είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα (Οδηγία 2000/60 Ε.Ε ; Βουδούρης, 2013)(Εικ. 12).



Εικόνα 12. Καθορισμός υδρολογικής λεκάνης (<http://www.oocities.org>)

Ενώ η υδρογεωλογική λεκάνη είναι μια υπόγεια λεκάνη που συγκεντρώνει τα υπόγεια νερά και εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων της περιοχής και από την επικοινωνία με τις διπλανές υδρογεωλογικές λεκάνες της περιοχής.

Βασικό στοιχείο για τον καθορισμό της υδρολογικής λεκάνης είναι η χάραξη του υδροκρίτη ή της υδροκριτικής γραμμής, δηλ. της νοητής γραμμής που συνδέει τα υψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας της Γής (λόφοι, βουνοκορφές) και διαχωρίζει την γραμμή των όμβριων υδάτων (Βουβαλίδης, 2011) (Εικ. 13)



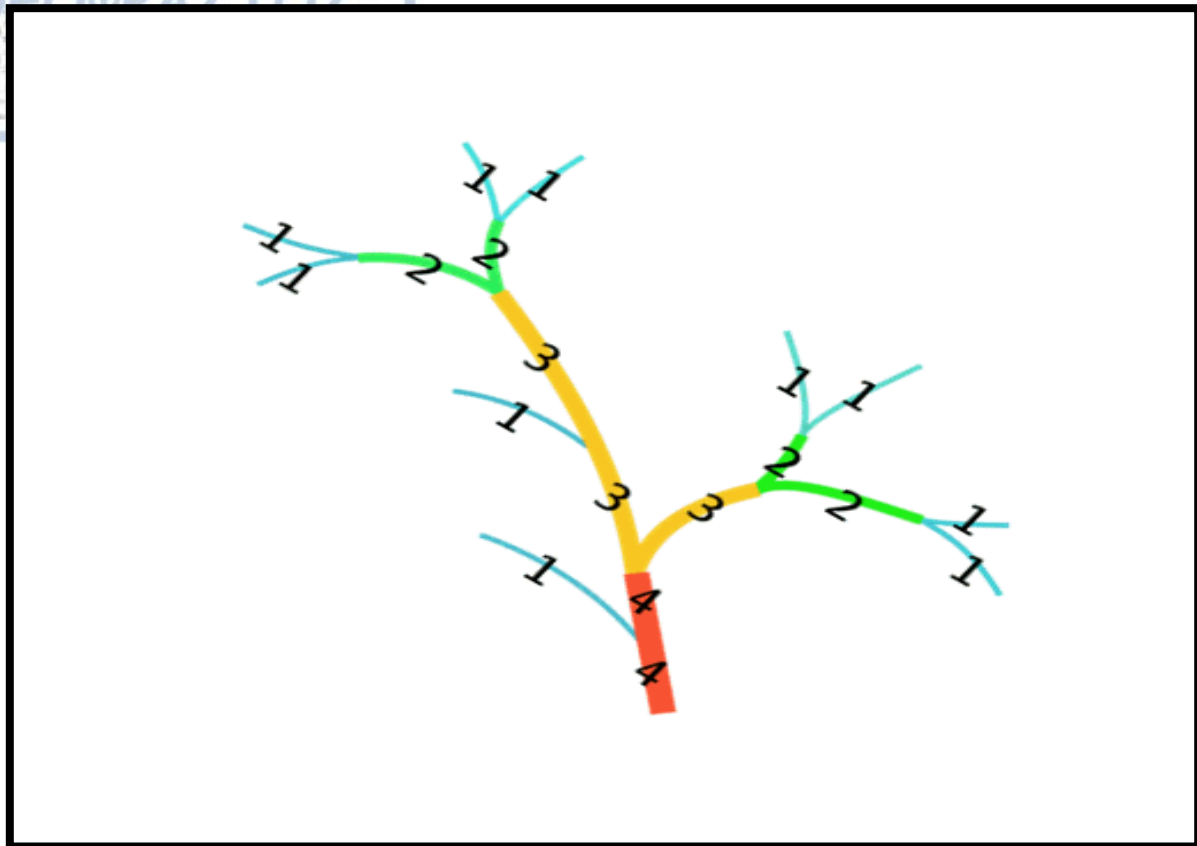
Εικόνα 13. Καθορισμός υδροκρίτη

(http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion1.pdf)

Για τον καθορισμό του υδροκρίτη και της υδρολογικής λεκάνης χρησιμοποιήθηκε το **ArcGIS** σε συνδυασμό με τους τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής μελέτης.

3.2.1 Ανάλυση του Υδρογραφικού Δικτύου

Η ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου χρησιμεύει στο να καθορισθεί εάν υπάρχει ή όχι οποιαδήποτε σχέση μεταξύ των κλάδων του δικτύου. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η αρίθμηση των κλάδων κατά **Strahler** (Strahler, 1952). Σύμφωνα με την αρίθμηση αυτή κάθε κλάδος που δεν δέχεται νερά από άλλο μικρότερο κλάδο ανήκει στην 1^η τάξη. Η σύνδεση 2 κλάδων 1^{ης} τάξης οδηγεί σε έναν κλάδο ανώτερης τάξης, δηλ. 2^{ης} τάξης κ.ο.κ., ενώ όταν ένας κλάδος μικρότερης τάξης ενώνεται με έναν ανώτερης τάξης, δεν έχουμε αλλαγή της τάξης (Εικ. 14).



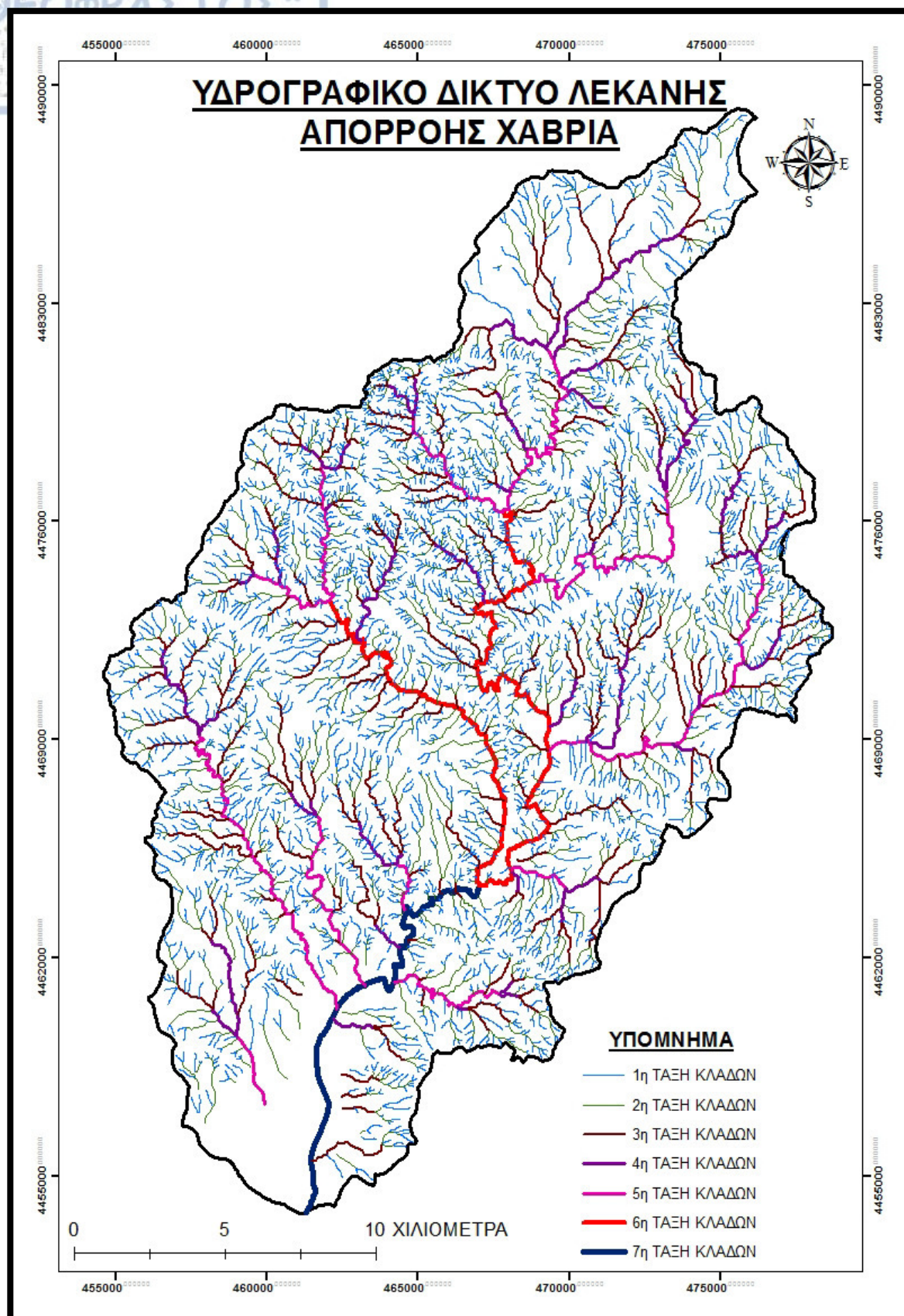
Εικόνα 14. Αρίθμηση κλάδων υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler

(usgs-mrs.cr.usgs.gov)

3.2.1.1 Τάξεις – Κλάδοι Υδρογραφικού Δικτύου (Stream Order)

Οι κλάδοι του δικτύου αποστράγγισης της λεκάνης απορροής κατατάσσονται στις τάξεις **1-7**, μετά από την χαρτογράφησή τους με το **ArcGIS**, και την χρήση των τοπογραφικών χαρτών και των δεδομένων που αντλήθηκαν από το DEM της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με την κατάταξη Strahler.

Το συνολικό υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Χαβρία, μετά την επεξεργασία με το **ArcGIS**, είναι αυτό που παρουσιάζεται στην Εικ. 15.



Εικόνα 15. Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Χαβρία όπως αποτυπώνεται στους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ, κλίμακα 1:50.000

3.2.1.2 Αριθμός Κλάδων Τάξεως u (N_u) (Stream Number)

Με βάση την κατάταξή τους σε τάξεις, υπολογίσθηκε ο αριθμός των κλάδων κάθε τάξης που υπάρχει εντός της λεκάνης απορροής (Horton, 1945). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Πίνακας αριθμού κλάδων

u	1	2	3	4	5	6	7
N_u	3493	846	202	45	12	2	1

3.2.1.3 Συνολικός Αριθμός Κλάδων Εντός της Λεκάνης (ΣN_u)

Ο συνολικός αριθμός των κλάδων όλων των τάξεων της υδρολογικής λεκάνης είναι το άθροισμα του αριθμού όλων των κλάδων κάθε τάξης, και ισούται με $\Sigma N_u=4601$.

Η ποσοστιαία κατανομή των κλάδων στον συνολικό αριθμό είναι η εξής: $N_1=75.92\%$, $N_2=18.39\%$, $N_3=4.39\%$, $N_4=0.98\%$, $N_5=0.26\%$, $N_6=0.04\%$ και $N_7=0.02\%$.

Παρατηρείται ότι το **98.7%** των κλάδων ανήκουν σε **3** τάξεις, την **1^η**, **2^η** και **3^η**. Αυτό δείχνει ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο για αυτές τις τάξεις.

(Η κατανομή αυτή είναι προσωπική και χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση της συχνότητας του υδρογραφικού δικτύου για την εξαγωγή του συγκεντρωτικού χάρτη της παραγράφου 4.6).

3.2.1.4 Μήκος Κλάδων Τάξεως u (L_u) (Stream Length)

Με την βοήθεια του **ArcGIS** υπολογίσθηκε το άθροισμα του μήκους των κλάδων κάθε τάξης σε **Km** (Strahler, 1964). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Πίνακας μήκους κλάδων

u	1	2	3	4	5	6	7
L_u (Km)	838.80	399.70	216.38	74.26	79.51	38.33	16.61

3.2.1.5 Μέσο Μήκος Κλάδων Τάξεως u (ML_{ur}) (Mean Stream Length)

Ως μέσο μήκος εννοούμε το πηλίκο του μήκους των κλάδων μιας τάξης δια του αριθμού των κλάδων αυτής ($ML_u = L_u/N_u$) (Strahler, 1964). Τα μέσα μήκη των κλάδων της λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Πίνακας μέσων μηκών κλάδων

u	1	2	3	4	5	6	7
L_u (Km)	838.80	399.70	216.38	74.26	79.51	38.33	16.61
N_u	3493	846	202	45	12	2	1
ML_{ur}	0.24	0.47	1.07	1.65	6.63	19.67	16.61

3.2.1.6 Συνολικό Μήκος Κλάδων Τάξεως u (ΣL_u)

Το συνολικό μήκος όλων κλάδων εντός της λεκάνης είναι το άθροισμα τους και ισούται με $\Sigma L_u = 1663.59$ Km.

Η ποσοστιαία κατανομή των μηκών των κλάδων κάθε τάξης στο συνολικό μήκος είναι η εξής: $L_1=50.42\%$, $L_2=24.03\%$, $L_3=13.01\%$, $L_4=4.5\%$, $L_5=4.78\%$, $L_6=2.3\%$ και $L_7=1\%$.

Παρατηρείται ότι το **87.46%** ανήκει σε **3** τάξεις, την **1^η**, **2^η** και **3^η**. Επομένως τα **9/10** περίπου του μήκους των κλάδων ανήκουν σε αυτές τις **3** τάξεις, δηλ. πρόκειται για κλάδους με μικρό μήκος, γεγονός που υποδηλώνει, σε συνδυασμό με το **98.7%** του μήκους των κλάδων που ανήκουν σε αυτές τις δύο τάξεις, ένα περιβάλλον που δεν επιτρέπει την κατείσδυση του νερού και οδηγεί στην δημιουργία ενός πυκνού και συχνού υδρογραφικού δικτύου και κατευθύνει το νερό από τα υψηλότερα και αδιαπέρατα στρώματα προς τα κατάντη.

(Η κατανομή αυτή είναι προσωπική και χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου για την εξαγωγή του συγκεντρωτικού χάρτη της παραγράφου **4.6**).

3.2.1.7 Λόγος Διακλάδωσης (R_b) (Bifurcation Ratio)

Συντελεστή διακλάδωσης καλούμε τον λόγο μεταξύ του αριθμού των κλάδων μιας δεδομένης τάξης δια του αριθμού των κλάδων της αμέσως επόμενης ανώτερης τάξης ($R_b = N_u/N_{u+1}$) (Strahler, 1964). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Ο Μέσος Λόγος Διακλάδωσης (Mean Bifurcation Ratio) είναι $R_{bm}=4.09$, ενώ ο Σταθμισμένος Μέσος Λόγος Διακλάδωσης (Weighted Mean Bifurcation Ratio) είναι $R_{bwm}=4.15$ (Strahler, 1953; Schumm, 1956).

Ο μέσος λόγος διακλάδωσης είναι ένας δείκτης του ανάγλυφου και των διεργασιών που συντελούνται μέσα στην λεκάνη απορροής. Η τιμή του γενικά κυμαίνεται μεταξύ 3~5, με μικρές τιμές να επικρατούν σε περιοχές που δεν παρατηρούνται δομικές διαταραχές (τεκτονική δραστηριότητα, διάβρωση), ενώ υψηλές τιμές σε περιοχές με έντονη τεκτονική και γεωμορφολογική δραστηριότητα. Υψηλές τιμές για την περιοχή της λεκάνης του Χαβρία παρατηρούνται στο λόγο μεταξύ κλάδων 5^{ης} και 6^{ης} τάξης, ενώ χαμηλές τιμές παρατηρούνται στο λόγο μεταξύ των κλάδων 6^{ης} και 7^{ης} τάξης.

Πίνακας 6. Πίνακας λόγου διακλάδωσης

1	2	3						4	5	6	7
u	N_u	R_b						R_{bm}	N_u+N_{u+1}	(5*3)	R_{bwm} (6/5)
1	3493	4.13							4339	17915.04	
2	846										
3	202	4.19							1048	4389.15	
4	45										
5	12	4.49							247	1108.76	
6	2										
7	1	3.75							57	213.75	
		6.00							14	84.00	
		2.00							3	6.00	
	4601							4.09	5708	23716.70	4.15

3.2.1.8 Λόγος Μήκους Κλάδων (L_{ur}) (Stream Length Ratio)

Ως λόγος του μήκους των κλάδων είναι ο λόγος μεταξύ του μέσου μήκους των κλάδων μιας δεδομένης τάξης δια του μέσου μήκους των κλάδων της αμέσως προηγούμενης τάξης ($RL=L_u/L_{u-1}$) (Horton, 1945). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Ο Μέσος Όρος του Λόγου του Μέσου Μήκους L_{ur} των κλάδων της

υδρολογικής λεκάνης είναι $L_{urm}=2.26$, ενώ ο Σταθμισμένος Μέσος όρος του Λόγου του Μέσου Μήκους είναι $L_{uwm}=2.14$.

Ο λόγος αυτός είναι και μία ένδειξη της σχετικής περατότητας των πετρωμάτων που συναντάται στην λεκάνη απορροής. Λεκάνες με μικρό λόγο μήκους παρέχουν περισσότερο χρόνο στο νερό να κατεισδύσει, με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρή επιφανειακή απορροή, ενώ λεκάνες με μεγάλο λόγο μήκους παρέχουν μικρότερο χρόνο κατείσδυσης με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν και μεγαλύτερη απορροή.

Πίνακας 7. Πίνακας λόγου μήκους κλάδων

1	2	3	4	5						6	7	8	9
u	N_u	L_u	L_u/N_u	ΛΟΓΟΣ ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ L_{ur}						L_{urm}	L_u+L_{u+1}	$6*5$	L_{uwm} (8/7)
1	3493	838.80	0.24	1.97									
2	846	399.70	0.47		2.27						1238.50	2436.69	
3	202	216.38	1.07			1.54					616.08	1396.82	
4	45	74.26	1.65				4.02				290.64	447.75	
5	12	79.51	6.63					2.89			153.77	617.40	
6	2	38.33	19.17						0.87		117.84	340.85	
7	1	16.61	16.61								54.94	47.62	
	4601.00	1663.59	6.55							2.26	2471.77	5287.12	2.14
	ΣN_u	ΣL_u	ML_u										

3.2.1.9 Μισγάγγεια (C_I)(Main Channel Length)

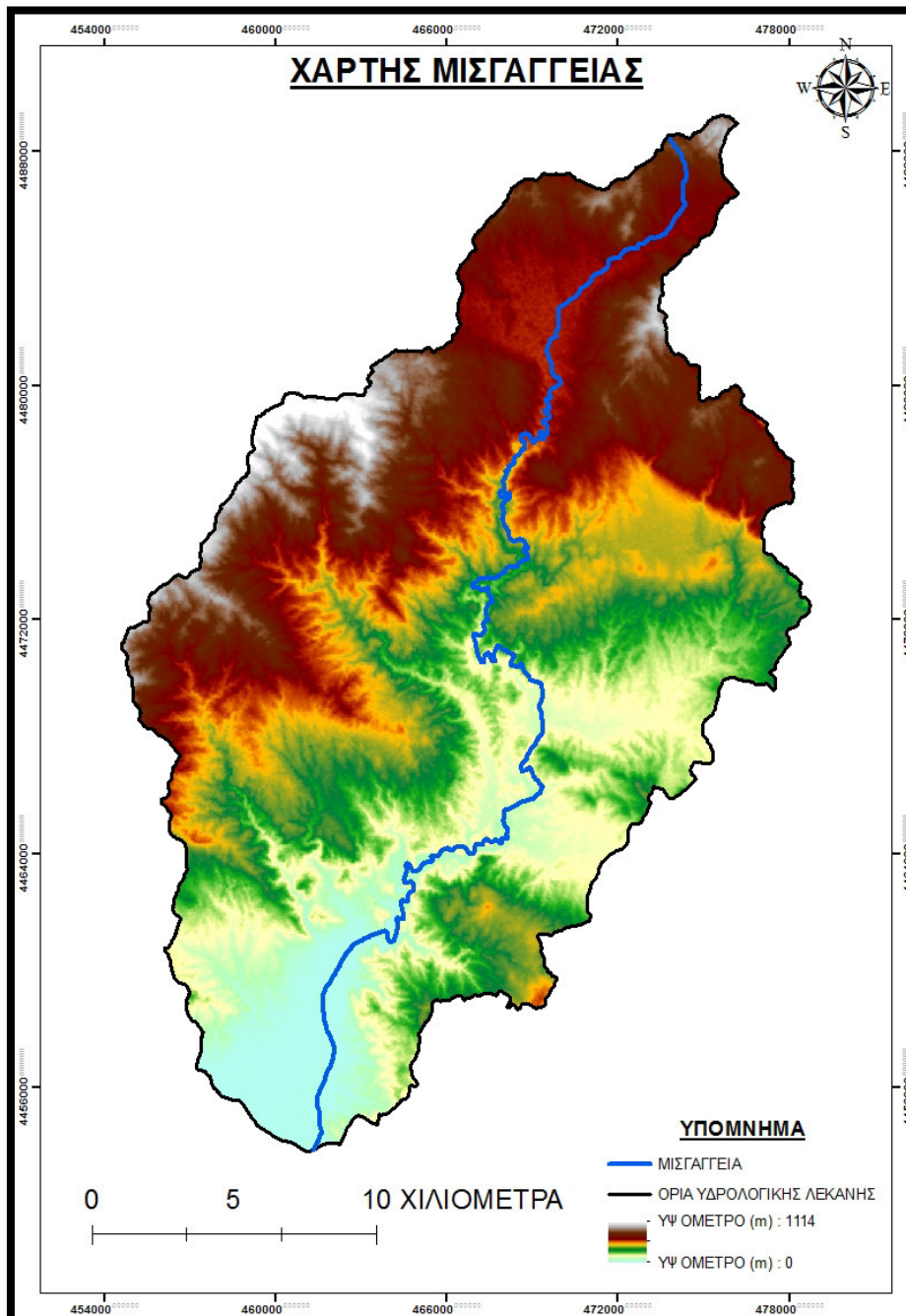
Ως μισγάγγεια νοείται ο μεγαλύτερος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου, και ο οποίος ξεκινάει από τα όρια του υδροκρίτη και καταλήγει στο στόμιο της λεκάνης απορροής (Βουδούρης, 2013).

Στην λεκάνη απορροής του Χαβρία η μισγάγγεια έχει μήκος $C_I=59.04$ Km (Εικ. 16).

3.2.1.10 Μήκος της Κοιλάδας (V_l) (Valley Length)

Είναι η απόσταση από την άκρη του υδροκρίτη, από την οποία αρχίζει η ροή, μέχρι το στόμιο της λεκάνης.

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία, υπολογίσθηκε με την χρήση των ΓΣΠ (ArcGIS), και βρέθηκε $V_l=45.1$ Km.



Εικόνα 16. Μισγάγγεια της περιοχής μελέτης

3.2.1.11 Συντελεστής RHO (ρ) (RHO Coefficient)

Ο συντελεστής ρ είναι μια σημαντική παράμετρος που συσχετίζει την υδρογραφική πυκνότητα με την φυσιογραφική δημιουργία και εξέλιξη της λεκάνης απορροής και διευκολύνει την εκτίμηση και αξιολόγηση της αποθηκευτικής ικανότητας του υδρογραφικού δικτύου. Συνεπώς είναι ένας αποφασιστικός και καθοριστικός παράγοντας του απόλυτου βαθμού της ανάπτυξης μιας δεδομένης λεκάνης απορροής (Horton, 1945).

Ο συντελεστής ρ ισούται με τον λόγο L_{ur}/R_b και είναι ίσος με $\rho=0.55$.

Παράγοντες που καθορίζουν και επηρεάζουν τις αλλαγές στην παράμετρο αυτή είναι το κλίμα, η γεωλογία, η βιολογία, η γεωμορφολογία και οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η τιμή του συντελεστή ρ για την λεκάνη του Χαβρία, υποδηλώνει πως η μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα σε νερό εντοπίζεται σε περιόδους που παρατηρούνται πλημμυρικά φαινόμενα, και μείωση των φαινομένων διάβρωσης τις περιόδους ελλατμένης αποφόρτισης.

3.2.1.12 Ελάχιστη Εναέρια Απόσταση (A_{dm})(Minimum Aerial Distance)

Είναι η ελάχιστη απόσταση (ευθεία) από την αρχή έναρξης του υδρογραφικού δικτύου προς το στόμιο της λεκάνης απορροής. Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία, με την χρήση των ΓΣΠ (ArcGIS) υπολογίσθηκε σε $A_{dm}=36.86$ Km.

3.2.1.13 Δείκτης Ποτάμιας Κοίτης (C_i) (Channel Index)

Είναι ο λόγος του μήκους του κύριου υδρορεύματος της λεκάνης απορροής (C_i), δια της ελάχιστης εναέριας απόστασης (A_{dm}), $C_i=C_i/A_{dm}$ (Miller, 1968).

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία, υπολογίσθηκε σε $C_i=1.6$.

3.2.1.14 Δείκτης Κοιλάδας (V_i) (Valley Index)

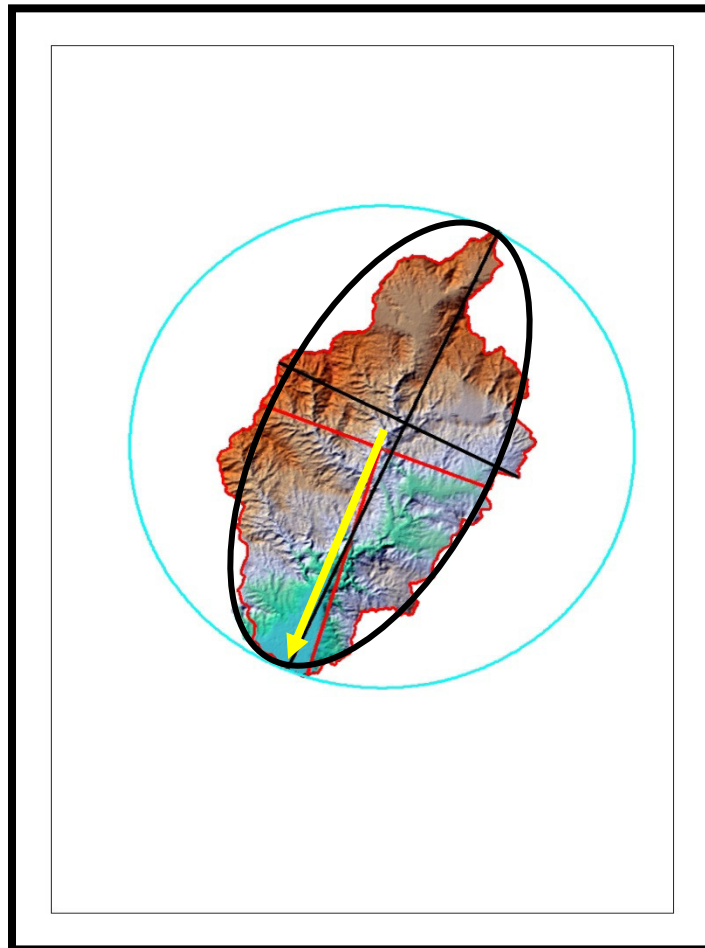
Είναι ο λόγος του μήκους της κοιλάδας (V_i) δια της ελάχιστης εναέριας απόστασης (A_{dm}), $V_i=V_i/A_{dm}$ (Miller, 1968).

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία, υπολογίσθηκε σε $V_i=1.22$.

3.2.2 Ανάλυση της Γεωμετρίας της Λεκάνης Απορροής

3.2.2.1 Μήκος από το Κέντρο Μέχρι το Στόμιο της Λεκάνης Απορροής (L_{cm}) (Length From W's Center to Mouth of W's)

Είναι η απόσταση από το κέντρο της λεκάνης απορροής μέχρι το στόμιο εξόδου του Χαβρία στη θάλασσα (Black, 1972). Ως κέντρο της λεκάνης απορροής θεωρήθηκε το μέσο σημείο μεταξύ του κέντρου κύκλου που εγγράφει την λεκάνη και της έλλειψης που εγγράφει τα μέγιστα μεγέθη μήκους και πλάτους της λεκάνης , και η ευθεία η οποία καταλήγει στο στόμιο της λεκάνης στη θάλασσα υλοποιεί το αναζητούμενο μήκος (Εικ. 17).



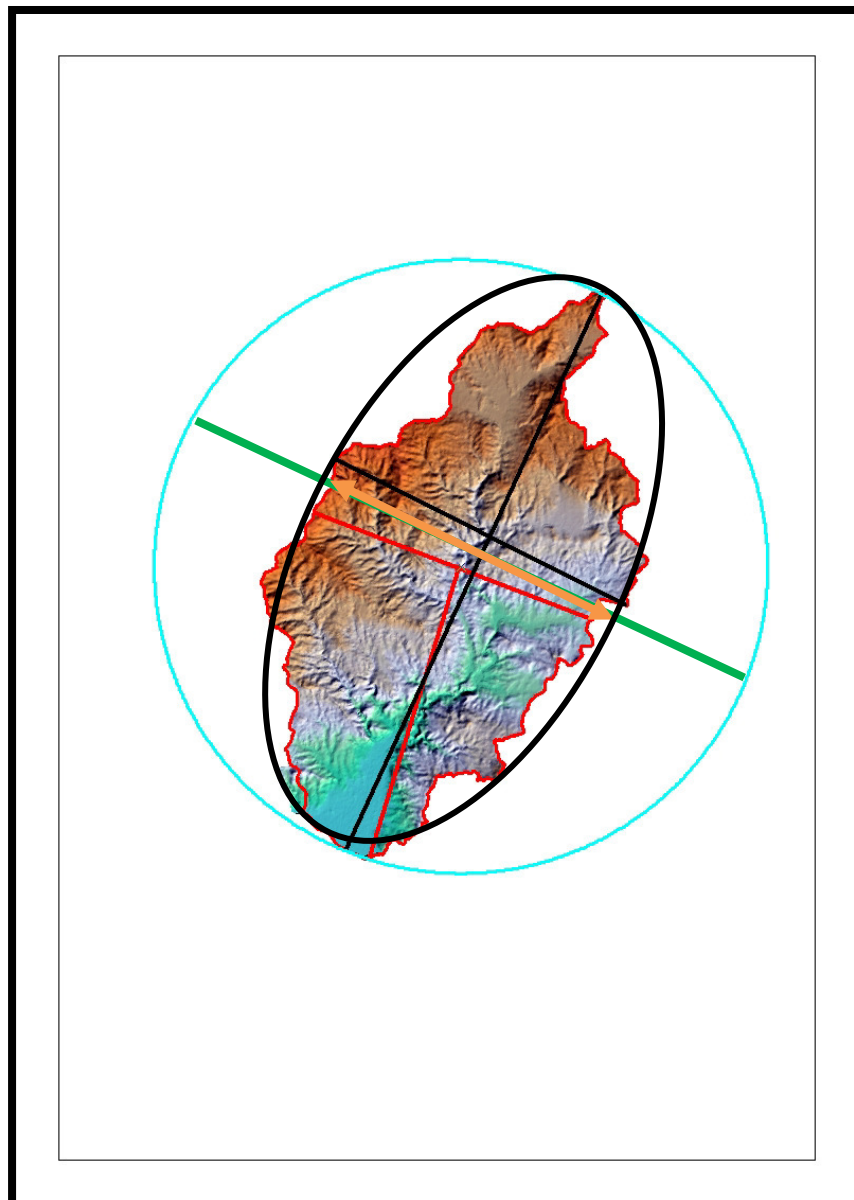
Εικόνα 17. Μήκος από το κέντρο μέχρι το στόμιο της λεκάνης απορροής

Για την λεκάνη του Χαβρία το μήκος αυτό υπολογίσθηκε σε $L_{cm}=20.33$ Km.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.2.2.2 Πλάτος στο Κέντρο Βάρους της Λεκάνης Απορροής (W_{cm}) (Width of W's at the Center of Mass)

Είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων της περιφέρειας της λεκάνης απορροής πάνω στην διάμετρο του κύκλου που εγγράφει την λεκάνη και διέρχεται από το κέντρο της (Black, 1972). Ως κέντρο της λεκάνης απορροής θεωρήθηκε το μέσο σημείο μεταξύ του κέντρου κύκλου που εγγράφει την λεκάνη και της έλλειψης που εγγράφει τα μέγιστα μεγέθη μήκους και πλάτους της λεκάνης. (Εικ. 18).



Εικόνα 18. Πλάτος της λεκάνης στο κέντρο μάζας

Για την λεκάνη του Χαβρία το πλάτος αυτό υπολογίσθηκε σε $W_{cm}=18.65 \text{ Km}$.

3.2.2.3 Μήκος της Λεκάνης (L_b) (Basin Length)

Ως μήκος της λεκάνης εννοείται η μέγιστη απόσταση δύο σημείων της περιφέρειας της λεκάνης ή του υδροκρίτη, παράλληλα με την μισγάγγεια (Schumm, 1956).

Για την λεκάνη του Χαβρία το μήκος αυτό υπολογίσθηκε σε $L_b=38.354 \text{ Km}$.

3.2.2.4 Μέσο Πλάτος της Λεκάνης (W_b) (Mean Basin Width)

Ως μέσο πλάτος της λεκάνης ορίζεται ο λόγος μεταξύ της επιφάνειας της λεκάνης A (εμβαδόν λεκάνης) προς το μήκος της λεκάνης L_b , $W_b=A/L_b$ (Horton, 1932).

Για την λεκάνη του Χαβρία το μέσο πλάτος υπολθθηκε σε $W_b=12.34 \text{ Km}$.

3.2.2.5 Εμβαδόν της Λεκάνης (A) (Basin Area)

Είναι η επιφάνεια που περικλείεται από τον υδροκρίτη και πάνω στην οποία αναπτύσσεται το υδρογραφικό δίκτυο (Schumm, 1956).

Για την λεκάνη του Χαβρία το εμβαδόν υπολογίσθηκε με την χρήση ΓΣΠ (ArcGIS), και βρέθηκε $A=473.28 \text{ Km}^2$.

Αν εγγράψουμε την λεκάνη σε μια έλλειψη, τότε τα μήκη των αξόνων της είναι $\alpha=38.354 \text{ Km}$ και $\beta=20.245 \text{ Km}$ (Εικ. 22). Με βάση αυτά τα στοιχεία, το εμβαδόν της έλλειψης υπολογίζεται σε $A=\pi \cdot \alpha/2 \cdot \beta/2 = 609.84 \text{ Km}^2$.

(Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής ρυθμίζει την συνολική επιφανειακή απορροή, ενώ το σχήμα της επηρεάζει το μέγεθος της απορροής).

3.2.2.6 Περίμετρος της Λεκάνης (P) (Basin Perimeter)

Είναι η γραμμή η οποία περικλείει τον υδροκρίτη, περιβάλλει την λεκάνη απορροής και διέρχεται από τα υψηλότερα σημεία της περιοχής και διαχωρίζει τα όμβρια ύδατα (Schumm, 1956).

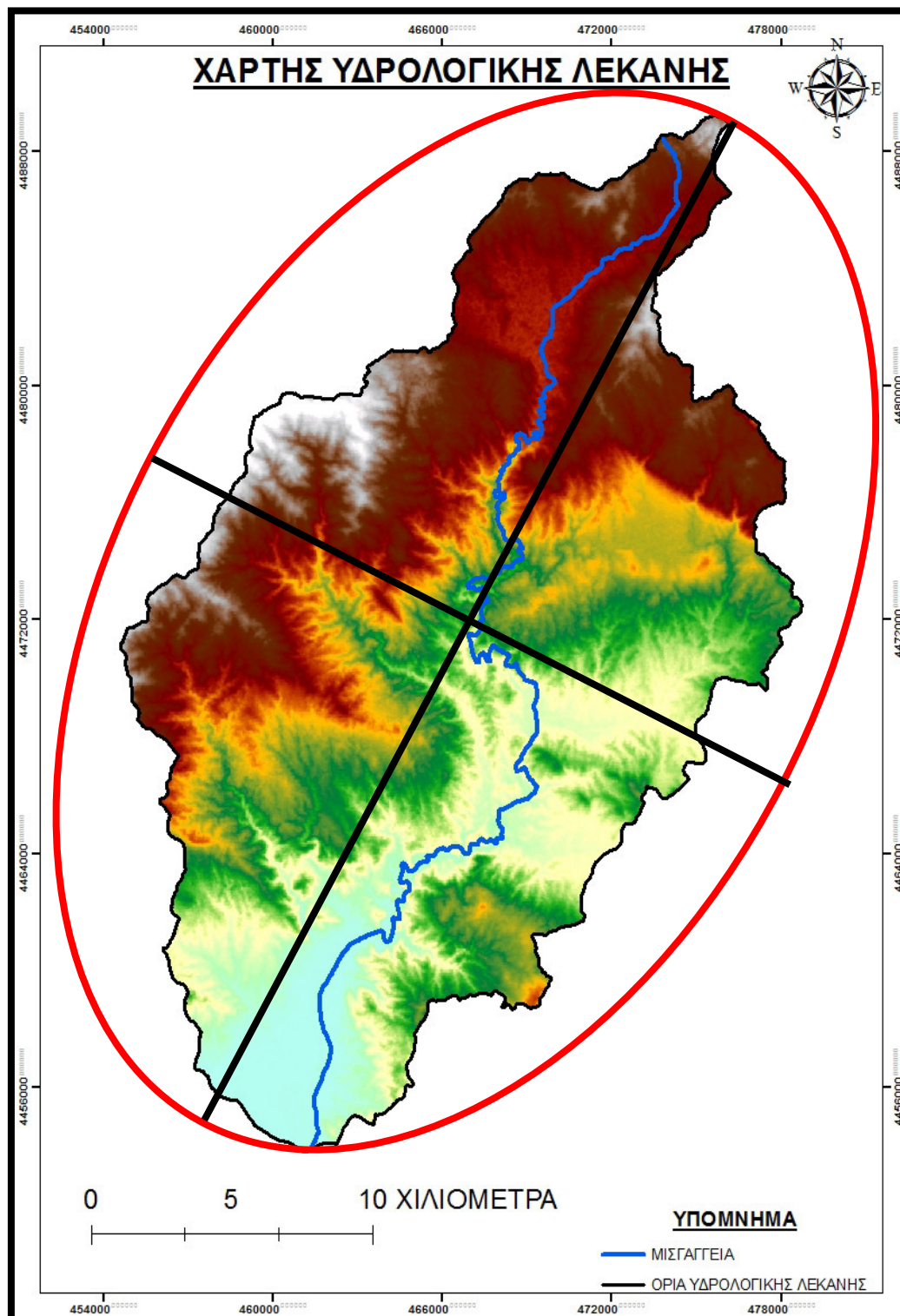
Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε με την χρήση ΓΣΠ (ArcGIS), και βρέθηκε $P=118.24 \text{ Km}$.

(Αν εγγράψουμε την λεκάνη σε έλλειψη (Εικ. 19), τότε η περίμετρος της έλλειψης υπολογίζεται σε $P=2 \cdot \pi \cdot ((\alpha^2 + \beta^2)/2)^{0.5} = 96.32 \text{ Km}$).

3.2.2.7 Σχετική Περίμετρος (P_r) (Relative Perimeter)

Είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης (A) προς την περίμετρο της λεκάνης (P), $P_r = A/P$ (Schumm, 1956).

Για την λεκάνη του Χαβρία η σχετική περίμετρος είναι $P_r=4.00$.



Εικόνα 19. Χάρτης υδρολογικής λεκάνης

3.2.2.8 Συσχέτιση Μήκους και Εμβαδού της Λεκάνης (L_{ar}) (Length Area Relation)

Είναι μια σχέση που συνδέει το μήκος της μισγάγγειας με το εμβαδόν της λεκάνης (Hack, 1957), και δίνεται από τον τύπο $L_{ar}=1.4*A^{0.6}$.

Για την λεκάνη του Χαβρία είναι $L_{ar}=56.39$, και σε σύγκριση με τα $C_1=59.04$ Km που υπολογίσθηκε η μισγάγγεια, παρατηρείται ότι η διαφορά είναι μικρή (2.65 Km ή 4.5%).

3.2.2.9 Λόγος Συντελεστή Σχήματος (R_f) (Form Factor Ratio)

Είναι ο λόγος της επιφάνειας της λεκάνης (A) προς το τετράγωνο του μήκους της λεκάνης (L_b^2), $R_f=A/L_b^2$ (Horton, 1932).

Για την λεκάνη του Χαβρία η αναλογία συντελεστή σχήματος είναι $R_f=0.136$

Ο λόγος συντελεστή σχήματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από **0.754** (τιμή που αντιστοιχεί σε κυκλικές λεκάνες.). Οι επιμήκεις λεκάνες με μικρό λόγο συντελεστή σχήματος (**<0.42**) παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ροής στα πλημμυρικά φαινόμενα, ενώ οι κυκλικές με μεγάλο συντελεστή παρουσιάζουν υψηλή ροή, αλλά για μικρότερο χρονικό διάστημα.

Ο λόγος αυτός αντιστοιχεί σε λεκάνη με επίμηκες σχήμα.

3.2.2.10 Λόγος Συντελεστή Μορφής (R_s) (Shape Factor Ratio)

Είναι ο αντίστροφος λόγος από την αναλογία συντελεστή σχήματος, δηλ. είναι ο λόγος του τετραγώνου του μήκους της λεκάνης (L_b^2) προς την επιφάνεια της λεκάνης (A), $R_s=L_b^2/A$ (Horton, 1956)

Για την λεκάνη του Χαβρία ο συντελεστής αναλογίας μορφής είναι $R_s=3.11$.

3.2.2.11 Δείκτης Ελλειπτικότητας (I_e) (Ellipticity Index)

Είναι ο δείκτης που ορίζεται από την σχέση $I_e=\pi*V_l^2/4*A$, και για την λεκάνη του Χαβρία είναι $I_e=3.37$.

3.2.2.12 Λόγος Υφής (R_t) (Texture Ratio)

Είναι μια παράμετρος που ορίζεται από τον λόγο του αριθμού των κλάδων 1^{ns} τάξης (N_1) προς την περίμετρο της λεκάνης απορροής (P) $R_t = N_1/P$ (Schumm, 1956), και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_t = 29.54$.

Ο λόγος υφής εξαρτάται αποκλειστικά από την λιθολογία της περιοχής, το ανάγλυφο και την ικανότητα κατείσδυσης των σχηματισμών. Μεγάλος λόγος υφής υποδηλώνει μικρή ικανότητα κατείσδυσης, κάτι το οποίο ισχύει για την λεκάνη του Χαβρία.

3.2.2.13 Υφή του Υδρογραφικού Δικτύου (D_t) (Drainage Texture)

Είναι ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (ΣN_u) προς την περίμετρο της λεκάνης απορροής (P), $D_t = \Sigma N_u/P$ (Horton, 1945), και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $D_t = 39.91$.

Η υδρογραφική υφή υπολογίζεται επίσης και από τον τύπο $T = D_d * F_s$, είναι δηλ. το γινόμενο της υδρογραφικής πυκνότητας (D_d) επί την υδρογραφική συχνότητα (F_s) (Dornkamp & King, 1971).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $T = 34.21$, και σύμφωνα με την κατάταξη των Dornkamp & King (Πίν. 8), η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε πετρώματα και γεωλογικούς σχηματισμούς με πολύ μικρή περατότητα, επομένως και με πολύ μικρή κατείσδυση και μεγάλη επιφανειακή απορροή.

Όταν η τιμή της υδρογραφικής υφής είναι χαμηλή, τότε στην περιοχή απαντώνται σχηματισμοί με πολύ υψηλό πορώδες και υψηλή κατείσδυση, συνεπώς με μικρή επιφανειακή απορροή.

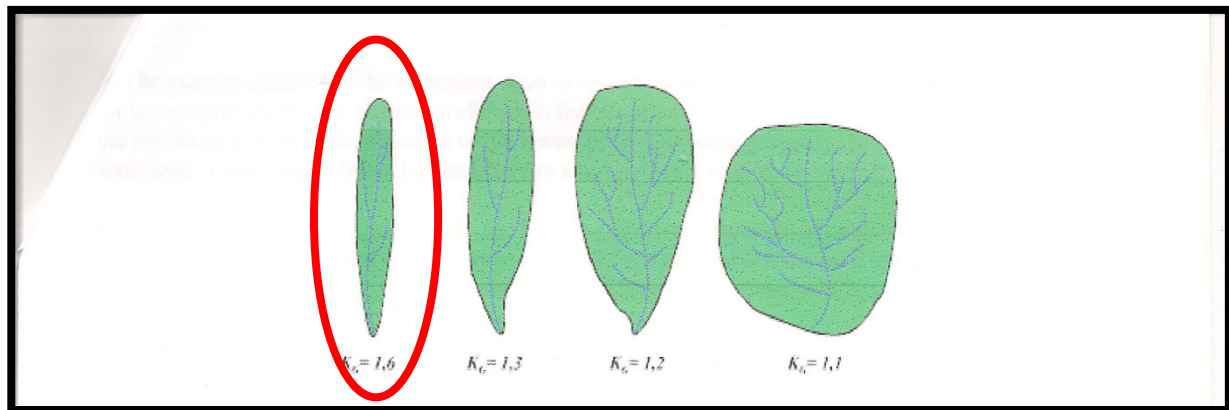
Πίνακας 8. Τιμές υδρογραφικής υφής

A/A	ΤΙΜΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΥΦΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΦΗΣ
1	$T < 4$	ΧΑΜΗΛΗ
2	$4 < T < 10$	ΜΕΣΗ
3	$10 < T < 15$	ΥΨΗΛΗ
4	$T > 15$	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ

3.2.2.14 Συντελεστής Συμπαγούς (C_c) (Compactness Coefficient)

Είναι ένας συντελεστής που υπολογίζεται από την σχέση $C_c = 0.2841 \cdot P/A^{0.5}$ (Gravelius, 1914), και για την λεκάνη του Χαβρία είναι $C_c = 1.54$.

Ο συντελεστής αυτός καθορίζει το σχήμα και την μορφή της λεκάνης, είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος της λεκάνης, εξαρτάται μόνο από τις κλίσεις και κατατάσσει τις λεκάνες σε 4 κατηγορίες (Εικ. 20).



Εικόνα 20. Κατηγορίες λεκανών κατά Gravelius, 1914 (K_G)

Με βάση αυτήν την κατάταξη, η λεκάνη του Χαβρία ανήκει στην 1^η κατηγορία.

3.2.2.15 Λόγος Φυσικότητας (R_f) (Fitness Ratio)

Είναι ένας παράγοντας που ορίζεται από τον λόγο του μήκους της μισγάγγειας (C_l) προς την περίμετρο της λεκάνης απορροής (P) (Melton, 1957), $R_f = C_l/P$, και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_f = 0.5$.

3.2.2.16 Λόγος Παρεκτροπής (R_w) (Wandering Ratio)

Είναι μια παράμετρος που ορίζεται από τον λόγο του μήκους της μισγάγγειας (C_l) προς το μήκος της λεκάνης (L_b) (Smart & Surkan, 1967) $R_w = C_l/L_b$, και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_w = 1.54$.

3.2.2.17 Εκκεντρικότητα Υδροκρίτη (τ) (Watershed Eccentricity)

Είναι μια παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $\tau = [(L_{cm}^2 - W_{cm}^2)]^{0.5}/W_{cm}$ (Black, 1972), όπου L_{cm} και W_{cm} είναι το μήκος από το κέντρο μέχρι το στόμιο της

λεκάνης και το πλάτος στο κέντρο βάρους της λεκάνης αντίστοιχα. Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $\tau=0.43$.

3.2.2.18 Κέντρο Βάρους της Λεκάνης Απορροής (G_c) (Centre of Gravity of Watershed)

Είναι το σημείο το οποίο βρίσκεται πάνω στην μισγάγγεια, ξεκινώντας από τα όρια της λεκάνης και κινούμενοι προς το κέντρο της λεκάνης, και βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτό (Rao, 1998).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε εγγράφοντας την λεκάνη σε κύκλο που να περικλείει τα όρια της, σε συνδυασμό με την εγγραφή της σε έλλειψη με άξονες $\alpha=38.354$ και $\beta=20.245$. Το κέντρο βάρους βρίσκεται στο σημείο με συντεταγμένες **467631- 4473238** (Εικ. 21).

3.2.2.19 Δείκτης Υδραυλικής Ελίκωσης (H_{is}) (Hydraulic Sinuosity Index)

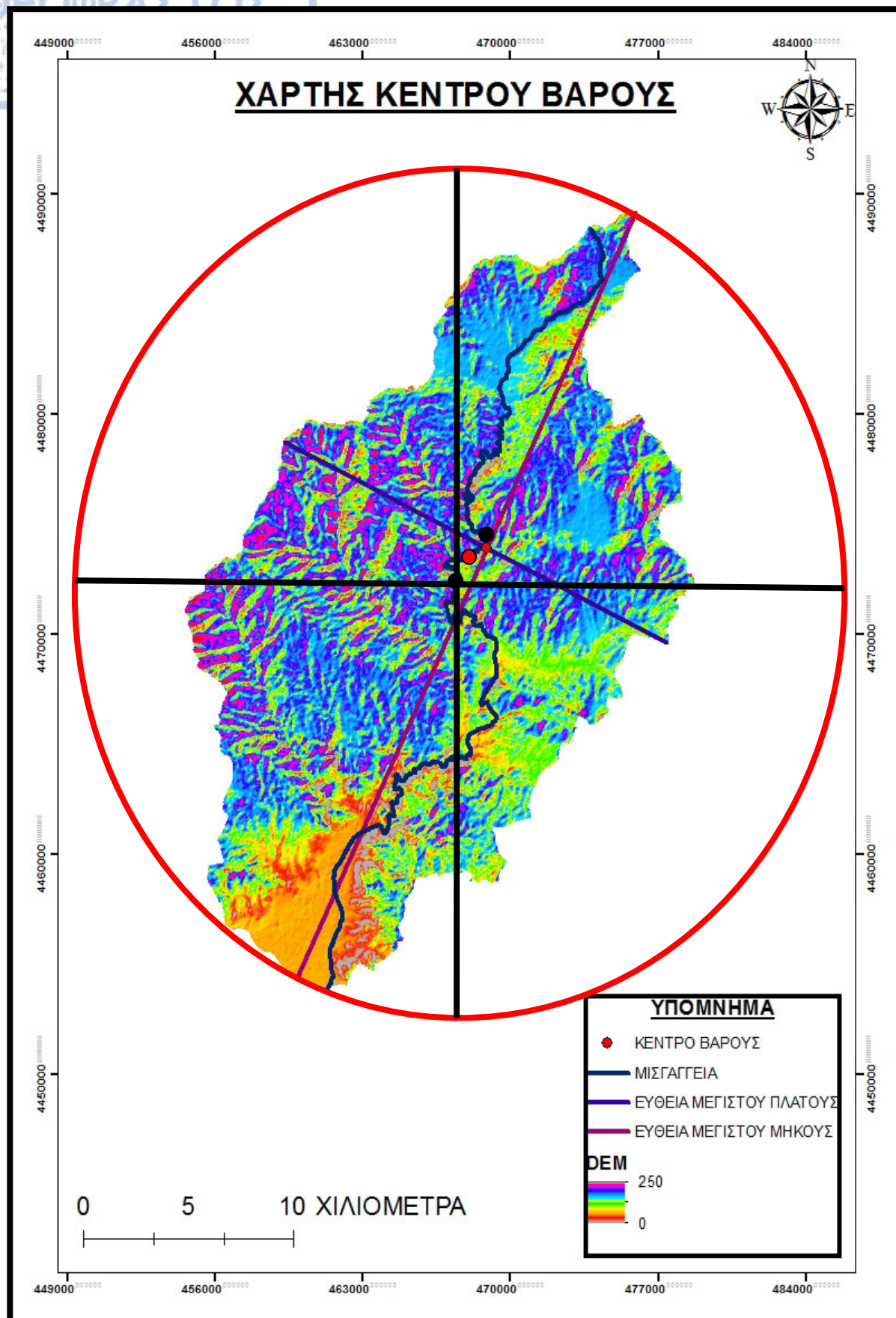
Είναι ο δείκτης που ορίζεται από τον τύπο $H_{is}=(C_i-V_i)/(C_i-1)*100$ (Mueller, 1968), όπου (C_i) και (V_i) είναι οι δείκτες ποτάμιας κοίτης και κοιλάδας που έχουν ήδη υπολογισθεί.

Για την λεκάνη του Χαβρία ο δείκτης υδραυλικής ελίκωσης υπολογίσθηκε $H_{is}=63.3\%$.

3.2.2.20 Δείκτης Τοπογραφικής Ελίκωσης (T_{is}) (Topographic Sinuosity Index)

Είναι ο δείκτης που ορίζεται από τον τύπο $T_{is}=(V_i-1)/(C_i-1)*100$ (Mueller, 1968).

Για την λεκάνη του Χαβρία ο δείκτης τοπογραφικής ελίκωσης υπολογίσθηκε $T_{is}=37.7\%$.



Εικόνα 21. Χάρτης κέντρου βάρους της λεκάνης απορροής του Χαβρία

3.2.2.21 Δείκτης Πρότυπης Ελίκωσης (Μαιανδρικός Λόγος) (S_{is}) (Standard Sinuosity Index)

Είναι ο δείκτης που ορίζεται από τον τύπο $S_{si}=C_i/V_i$ (Mueller, 1968).

Για την λεκάνη του Χαβρία ο δείκτης πρότυπης ελίκωσης υπολογίσθηκε $S_{is}=1.31$.

(Υπάρχει και ο τύπος του Schumm (Schumm S. A., 1963), σύμφωνα με τον οποίο $S_{is}=C_i/V_i$, και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $S_{is}=1.31$, δηλ. δεν έχουμε απόκλιση).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (και με βάση την κατάταξη του Morisawa (Morisawa M., 1985) και Brice (Brice J. C., 1964), ο Χαβρίας ανήκει στους ελικοειδείς ποταμούς (Πίνακας 9).

Πίνακας 9. Κατάταξη ποταμών με βάση τον δείκτη πρότυπης ελίκωσης (S_{is})

TYPE	SINUOSITY	SINUOSITY
Straight	<1.05	1.05
Sinuuous	>1.05	1.05-1.5
Meandering	>1.5	1.5
Braided	>1.3	
Anastomosing	>2	
Source : Morisawa, 1985, p.91		Source : Brice

3.2.2.22 Μεγαλύτερη Απόσταση Παράλληλη προς το Κύριο Υδατόρευμα του Υδρογραφικού Δικτύου (C_{ip}) (Longest Dimension Parallel to the Principal Drainage Line)

Είναι η απόσταση από την άκρη του υδροκρίτη που αρχίζει η μισογάγγεια μέχρι το στόμιο της λεκάνης, παράλληλα προς τον υδροκρίτη. Η απόσταση αυτή υπολογίσθηκε και είναι $C_{ip}=38.354$ Km.

3.2.2.23 Λόγος Κυκλικότητας (R_c) (Circularity Ratio)

Ο δείκτης κυκλικότητας R_c είναι μια παράμετρος που χαρακτηρίζει το σχήμα και την μορφή που έχει αποκτήσει μια λεκάνη απορροής λόγω της υδατικής δράσης μέσα στο χρόνο.

Ως δείκτης κυκλικότητας ορίζεται ο λόγος της επιφάνειας της λεκάνης (εμβαδόν λεκάνης) δια την επιφάνεια κύκλου με περίμετρο ίση με αυτήν της λεκάνης απορροής $R_c = 4 \cdot \pi \cdot A / P^2$, ή $R_c = 12.57 \cdot (A / P^2)$ (Miller, 1953).

Οι τιμές που μπορεί να λάβει ο δείκτης κυκλικότητας είναι **0-1**. Τιμές κοντά στο **1**, δείχνουν κυκλικές λεκάνες που είναι το αποτέλεσμα από την μακρόχρονη δράση του νερού που ρέει μέσα στην λεκάνη και από ασθενείς τεκτονικές δραστηριότητες. Αντίθετα τιμές κοντά στο **0** δείχνουν επιμήκεις λεκάνες με ροή προσανατολισμένη και είναι αποτέλεσμα πρόσφατης τεκτονικής δράσης.

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία ο δείκτης κυκλικότητας είναι **$R_c = 0.433$** , γεγονός που υποδεικνύει ότι το σχήμα του προσομοιάζει περισσότερο με αυτό έλλειψης.

Ο δείκτης αυτός μας δείχνει επίσης πόσο γρήγορα το νερό εισέρχεται και εξέρχεται σε έναν κλάδο. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μια παράμετρος ώστε να μπορέσουμε να διακρίνουμε και να ξεχωρίσουμε μεταξύ τους λεκάνες που έχουν υποστεί ανύψωση ή όχι από τεκτονικά ή άλλα αίτια.

3.2.2.24 Κατανομή Κυκλικότητας (R_{cn}) (Circularity Ration)

Είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης (**A**) προς την περίμετρο λεκάνης (**P**) $R_{cn} = A / P$ (Strahler, 1964).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε **$R_{cn} = 4$** .

3.2.2.25 Λόγος Επιμήκυνσης (R_e) (Elongation Ratio)

Ο δείκτης επιμήκυνσης **R_e** είναι μια παράμετρος που χαρακτηρίζει το σχήμα της λεκάνης σε σχέση με έναν κύκλο. Ως δείκτης κυκλικότητας ορίζεται ο λόγος της διαμέτρου κύκλου που έχει εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν της λεκάνης απορροής δια της μέγιστης διάστασης της λεκάνης $R_e = 2 \cdot R / L_{bmax}$ ή $R_e = 2 / L_b (A / \pi)^{0.5}$ (Schumm, 1956).

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία ο δείκτης επιμήκυνσης είναι **$R_e = 0.64$** .

Σύμφωνα με τον Strahler, η τιμή του λόγου επιμήκυνσης κυμαίνεται μεταξύ **0.6~1**, και διαμορφώνεται από κλιματικούς και γεωλογικούς παράγοντες. Υπάρχει η εξής κατηγοριοποίηση η οποία βοηθάει στην κατάταξη των υδρολογικών λεκανών : α.

0.9-1.0 για κυκλικές λεκάνες, β. **0.8-0.9** για οβάλ λεκάνες, γ. **0.7-0.8** για λιγότερο επίμηκες λεκάνες, δ. **0.5-0.7** για επίμηκες λεκάνες και ε. **<0.5** για πολύ επίμηκες λεκάνες.

Επομένως η λεκάνη του Χαβρία ανήκει στις επίμηκες λεκάνες.

3.2.3 Ανάλυση της Υφής του Υδρογραφικού Δικτύου

3.2.3.1 Υδρογραφική Συχνότητα ή Συχνότητα Κλάδων (F_s) (Stream Frequency)

Ως υδρογραφική συχνότητα ορίζεται ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων όλων των τάξεων της λεκάνης απορροής δια του εμβαδού αυτής ($F_s = \Sigma N_u / A$) (Horton, 1932). Ο δείκτης αυτός μας δείχνει πόσο καλά είναι ανεπτυγμένο το υδρογραφικό δίκτυο το οποίο αποστραγγίζει την λεκάνη. Όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης τόσο μικρότερη είναι η υδροπερατότητα των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής, με αποτέλεσμα να έχουμε την εμφάνιση μεγάλων πλημμυρικών απορροών στην έξοδο και στο στόμιο της λεκάνης, λόγω χαμηλής κατείσδυσης, και την μεταφορά και συγκέντρωση σημαντικής ποσότητας φερτών υλικών. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης τόσο μεγαλύτερη είναι η υδροπερατότητα των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής, με αποτέλεσμα να έχουμε κανονική ροή στο μήκος της κύριας κοίτης και των κλάδων, λόγω της υψηλής κατείσδυσης.

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία η υδρογραφική συχνότητα είναι $F_s = 9.72$ κλάδοι/ Km^2 . Αυτό δείχνει ότι ο συντελεστής υδροπερατότητας των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης του Χαβρία είναι μικρός με αποτέλεσμα να έχουμε και μικρή κατείσδυση.

(Υπάρχει και η σχέση $F_s = 0.694 \cdot D_d^2$ (Melton, 1985), σύμφωνα με την οποία η υδρογραφική συχνότητα F_s εξαρτάται από την υδρογραφική πυκνότητα D_d , και είναι ίση με $F_s = 8.6$ κλάδοι/ Km^2 , έχουμε δηλ. μια απόκλιση της τάξης του **1.12 ή 11.5%**).

3.2.3.2 Υδρογραφική Πυκνότητα (D_d) (Drainage Density)

Υδρογραφική πυκνότητα είναι ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων της λεκάνης δια του εμβαδού που τους περικλείει, $D_d = L_u / A$ (Horton, 1932, 1945).

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία η υδρογραφική πυκνότητα είναι $D_d=3.52$ Km/Km^2 .

Ο δείκτης αυτός συγκρίνει την σχετική διαβρωτική δράση δηλ. την διαβρωτική ικανότητα των κοιτών των ποταμών σε μια λεκάνη απορροής, και εκφράζει το μήκος των ποτάμιων κοιτών σε Km/Km^2 της λεκάνης απορροής. Επίσης εκφράζει το πόσο κοντά βρίσκονται οι κλάδοι του δικτύου και έχει άμεση σχέση με την λιθολογία της λεκάνης.

Σύμφωνα με τον Smith (Smith, 1950), η κατάταξη ακολουθεί τον παρακάτω διαχωρισμό: **<2** πολύ τραχιά, **2-4** τραχιά, **4-6** καλή και **> 8** πολύ καλή, ενώ σύμφωνα με τον Gardiner (Gardiner et al, 1979) έχουμε την εξής κατηγοριοποίηση : **0-1** πολύ χαμηλή, **1-2** χαμηλή, **2-4** μέτρια, **4-6** υψηλή και **>6** πολύ υψηλή .

Όταν οι τιμές της είναι μικρές, έχουμε χαμηλή υδρογραφική πυκνότητα και αναφερόμαστε σε περιοχές με πολύ σκληρά πετρώματα και πυκνή βλάστηση. Για μεσαίες τιμές, αναφερόμαστε σε μέση υδρογραφική πυκνότητα και σε περιοχές με μαλακά πετρώματα και πυκνή βλάστηση. Ενώ για υψηλές τιμές, έχουμε υψηλή υδρογραφική πυκνότητα και αναφερόμαστε σε περιοχές με μαλακά πετρώματα και υψηλό ανάγλυφο, χωρίς κάλυψη βλάστησης.

Η τιμή **3.52 km/km²** του Χαβρία, υποδηλώνει υδρογραφικό δίκτυο με χαμηλή - μέτρια υδρογραφική πυκνότητα, με πολύ μικρή υδροπερατότητα των πετρωμάτων και πυκνή βλάστηση, κάτι το οποίο συναντάμε στην μεγαλύτερη έκταση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής του Χαβρία.

Το αντίστροφο της υδρογραφικής πυκνότητας $C_c=1/D_d$, ονομάζεται **Σταθερά Συντήρησης του Ποταμού (Constant of Channel Maintance)** και εκφράζει την έκταση που απαιτείται για να διατηρηθεί ένα γραμμικό χιλιόμετρο υδρορεύματος (Schumm, 1956), και για τον Χαβρία είναι $C_c=0.28 Km^2/Km$.

Υψηλές τιμές δείχνουν υψηλή υδροπερατότητα των πετρωμάτων της λεκάνης, ενώ χαμηλές τιμές δείχνουν χαμηλή υδροπερατότητα των πετρωμάτων της. Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία η τιμή είναι χαμηλή και δείχνει ότι τα πετρώματα που απαντώνται έχουν χαμηλή υδροπερατότητα.

3.2.3.3 Μήκος της Επιφανειακής Ροής (L_g) (Length of Overland Flow)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από τον λόγο του εμβαδού της λεκάνης απορροής (A) δια του διπλάσιου του συνολικού μήκους όλων των κλάδων της λεκάνης (L_u), $L_g = A/2 \cdot L_u$ (Horton, 1945).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $L_g = 0.14 \text{ Km}$.

3.2.3.4 Βαθμός Κατείσδυσης (I_f) (Infiltration Number)

Είναι ένας παράγοντας που ορίζεται από το γινόμενο της υδρογραφικής συχνότητας F_s επί την υδρογραφική πυκνότητα D_d , $I_f = F_s \cdot D_d$ (Faniran, 1968).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $I_f = 34.21$.

Ο παράγοντας αυτός μας δείχνει τον βαθμό κατείσδυσης στην λεκάνη και την επιφανειακή απορροή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης κατείσδυσης τόσο μικρότερη είναι η κατείσδυση και αντιστρόφως τόσο μεγαλύτερη απορροή παρατηρείται.

Στην λεκάνη του Χαβρία, η κατείσδυση είναι πολύ μικρή και η επιφανειακή απορροή πολύ μεγάλη.

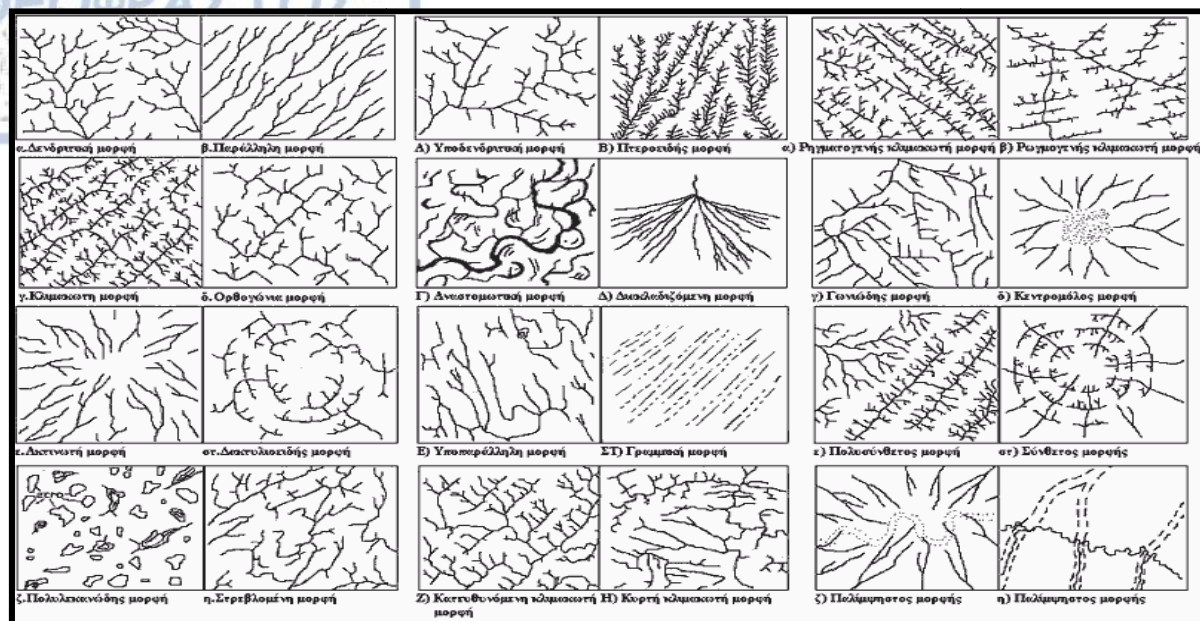
3.2.3.5 Ένταση του Υδρογραφικού Δικτύου (D_i) (Drainage Intensity)

Είναι ένας παράγοντας που ορίζεται από τον λόγο της υδρογραφικής συχνότητας F_s προς την υδρογραφική πυκνότητα D_d , $D_i = F_s / D_d$ (Faniran, 1968).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $D_i = 2.76 \text{ κλάδοι/Km}$.

3.2.3.6 Μοτίβο του Υδρογραφικού Δικτύου (D_p) (Drainage Pattern)

Μοτίβο ονομάζουμε την μορφή που παρουσιάζει το υδρογραφικό δίκτυο εντός της υδρολογικής λεκάνης προκειμένου να διαπιστωθεί το στάδιο εξέλιξής του και η επίτευξη ή όχι της κατάστασης που θα επιτρέπει την μέγιστη απομάκρυνση του ρέοντος νερού, καθώς επίσης και των ιζημάτων που αυτό μεταφέρει, με δεδομένες τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο και στην υδρολογική λεκάνη. Υπάρχουν διάφορες μορφές του υδρογραφικού δικτύου, οι οποίες αναπτύσσονται και επηρεάζονται από συγκεκριμένους παράγοντες (κλίμα, τοπογραφία, τεκτονική κλπ), όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 22).



Εικόνα 22. Μορφές υδρογραφικών δικτύων

(Βουβαλίδης, 2011 – κατά Howard, 1967, από Αστάρια, 1997).

Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία κυρίαρχη μορφή είναι η δενδριτική, και σε ορισμένα τμήματα της λεκάνης εμφανίζεται η παράλληλη.

Η δενδριτική μορφή του υδρογραφικού δικτύου υποδηλώνει σχετικά ομαλές περιοχές ή νέες περιοχές με ομογενή πετρολογική σύσταση, ενώ η παράλληλη περιοχές με πετρώματα που έχουν μεγάλη κλίση.

3.2.4 Ανάλυση – Χαρακτηρισμός του Ανάγλυφου

3.2.4.1 Υψόμετρο Στομίου της Λεκάνης (z) (Height of Basin Mouth)

Το υψόμετρο στο στόμιο της λεκάνης απορροής είναι $z=0$ m, γιατί καταλήγει στη θάλασσα, που είναι και το βασικό επίπεδο για τον Χαβρία.

3.2.4.2 Μέγιστο Υψόμετρο της Λεκάνης (Z) (Maximum Height of the Basin)

Το υψόμετρο του υψηλότερου σημείου της υδρολογικής λεκάνης είναι $Z=1165$ m.

3.2.4.3 Συνολικό Ανάγλυφο της Λεκάνης (H) (Total Basin Relief)

Είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψηλότερου σημείου της λεκάνης (Z) και του υψόμετρου του στομίου της λεκάνης (z), $H=Z-z$ (Strahler, 1952).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $H=1165\text{ m}$.

3.2.4.4 Λόγος Ανάγλυφου (R_{hl}) (Relief Ratio)

Είναι λόγος της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του υψηλότερου σημείου της υδρολογικής λεκάνης και του χαμηλότερου σημείου στο στόμιό της (H), δια της του μήκους της παράλληλης ευθείας προς την μισγάγγεια (L_b), $R_{hl}=H/L_b$ (Schumm , 1956).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_{hl}=0.019$.

Ο λόγος ανάγλυφου είναι ένας λόγος ο οποίος δεν διαθέτει διαστάσεις, και εκφράζει την σχέση μεταξύ υψόμετρου και μήκους. Ο λόγος αυτός είναι ίσος με την εφαπτομένη της γωνίας, η οποία σχηματίζεται μεταξύ 2 επιπέδων που τέμνονται στο στόμιο της λεκάνης απορροής. Το ένα επίπεδο είναι το οριζόντιο επίπεδο, και το άλλο είναι το επίπεδο το οποίο διέρχεται από το υψηλότερο σημείο του υδροκρίτη που βρίσκεται στο τέλος της μισγάγγειας.

Ο λόγος αυτός μετράει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης και είναι ένας δείκτης της έντασης της διάβρωσης που συντελέστηκε και συντελείται στις κλιτύες της λεκάνης:

$$\text{Tan}^{-1}(0.019)=1^{\circ} 5' 18.56$$

3.2.4.5 Λόγος Σχετικού Ανάγλυφου (R_{hp}) (Relative Relief Ratio)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $R_{hp}=(H*100)/P$ (Melton, 1957), όπου (H) το απόλυτο ανάγλυφο της λεκάνης και (P) η περίμετρος αυτής.

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_{hp}=0.98$.

3.2.4.6 Απόλυτο Ανάγλυφο (R_a) (Absolute Relief)

Είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ δεδομένου σημείου της λεκάνης και της επιφάνειας της θάλασσας πχ. του υψηλότερου σημείου με υψόμετρο 1165 m και της επιφάνειας της θάλασσας είναι $R_a=1165\text{ m}$.

3.2.4.7 Κλίση της Κοίτης του Ποταμού (C_g) (Channel Gradient)

Είναι μια παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $C_g = (H / [(\pi/2) * C_{lp}])$ (Broscoe, 1959).

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $C_g = 19.34 \text{ m/Km}$.

Υπάρχει και η μέση κλίση της μισγάγγειας (i), η οποία είναι ο λόγος της υψομετρικής διαφοράς της μισγάγγειας (ΔH) προς την οριζόντια απόσταση του συνολικού μήκους της μισγάγγειας (C_l), και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $i = \Delta H / C_l = 0.013$.

3.2.4.8 Βαθμός Τραχύτητας (R_n) (Ruggedness Number)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $R_n = D_d * (H/1000)$ (Patton & Baker, 1976), όπου (D_d) είναι η υδρογραφική πυκνότητα και (H) το απόλυτο ανάγλυφο της λεκάνης, εκφραζόμενα και τα δύο στις ίδιες διαστάσεις.

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_n = 4.1$.

Υψηλές τιμές εμφανίζονται σε περιοχές όπου και οι δύο μορφομετρικοί παράγοντες έχουν μεγάλες τιμές. Πχ. όταν οι κλίσεις σε μια περιοχή δεν είναι μόνο απότομες αλλά έχουν και μεγάλο μήκος.

3.2.4.9 Βαθμός Τραχύτητας του Melton (MR_n) (Melton Ruggedness Number)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $MR_n = H/A^{0.5}$ (Melton, 1965), και για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $MR_n = 53.55$.

3.2.4.10 Δείκτης Ανατομίας (D_{si}) (Dissection Index)

Είναι ο δείκτης που ορίζεται από την σχέση $D_{si} = H/R_a$ (Singh & Dubey, 1994), όπου (H) είναι το απόλυτο ανάγλυφο της λεκάνης και (R_a) είναι το απόλυτο ανάγλυφο.

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_a = 1$.

3.2.4.11 Λόγος Κλίσης (R_g) (Gradient Ratio)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $R_g = (Z-z)/L_b$ (Sreedevi et al, 2004), όπου (Z) είναι το μέγιστο υψόμετρο στην λεκάνη, (z) το υψόμετρο στο στόμιο

της λεκάνης στην έξοδό της και (L_b) το μήκος της παράλληλης ευθείας προς την μισογάγγεια .

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $R_g=0.03 \text{ m/Km}$.

3.2.4.12 Ανάλυση Κλίσης (S_a) (Slope Analysis)

Η ανάλυση της κλίσης S_a (Rich, 1916), για την λεκάνη του Χαβρία έγινε με την χρήση **ΓΣΠ (ArcGIS)**, και παρουσιάζεται στην εικ. 23.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από το **DEM** της περιοχής και με την αντίστοιχη εντολή (**slope**) και κατηγοριοποίηση ($0 - 3^\circ$, $3.01 - 10^\circ$, $10.01 - 20^\circ$, $20.01 - 30^\circ$, $30.01 - 45^\circ$, $45.01 - 75^\circ$) δημιουργήθηκε ο αντίστοιχος χάρτης.

(Η μέση κλίση της λεκάνης από την ανάλυση με τα **GIS** μας δίνει 22.14% ή $12^\circ 14' 42''$ ή σε αντιστοιχία με την μέση κλίση της λεκάνης απορροής 0.375 m/Km ή 0.0375% ή $0^\circ 1' 16.95''$).

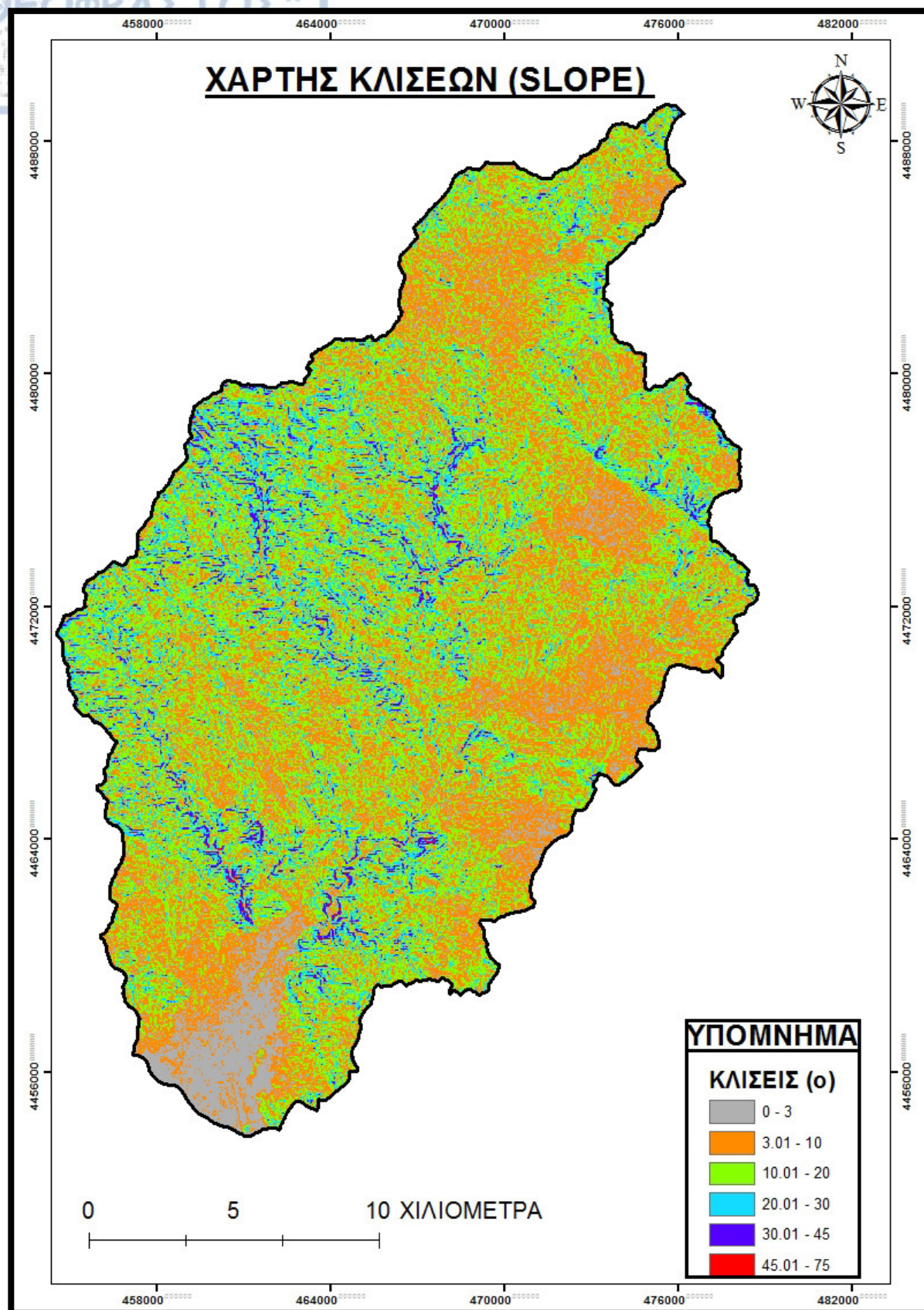
3.2.4.13 Μέση Κλίση της Λεκάνης Απορροής (S) (Average Slope)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $S=(Z*(C_{ti}/H))/(10*A)$ (Wentworth, 1930), όπου (Z) είναι το μέγιστο υψόμετρο στην λεκάνη απορροής, (C_{ti}) είναι το συνολικό μήκος των ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης (με ισοδιάσταση 100 m), (H) είναι το απόλυτο ανάγλυφο της λεκάνης και (A) είναι το εμβαδόν της λεκάνης.

Για την λεκάνη του Χαβρία η μέση κλίση της λεκάνης υπολογίσθηκε $S=0.25 \text{ m/Km}$ ή 0.025% ή $0^\circ 0' 51.3''$.

Όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό, τόσο πιο μεγάλη είναι και η διάβρωση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διάβρωση εντός της λεκάνης είναι μικρή.

(Αυτά τα στοιχεία σε συσχέτιση με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση με τα **GIS**, μας δείχνουν μια διαφοροποίηση περίπου 50% , διαφορά η οποία προκύπτει από την ακρίβεια των στοιχείων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στην συγκεκριμένη μέθοδο η χρησιμοποίηση της ισοδιάστασης των 100 m δείχνει ότι έχουμε αρκετά μεγάλη απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα).



Εικόνα 23. Χάρτης κλίσεων

3.2.4.14 Μέση Κλίση της Χερσαίας Λεκάνης (Θ_s) (Mean Slope of Overall Basin)

Είναι η παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $\Theta_s = (C_{tl} * C_{in}) / A$ (Chorley, 1972), όπου (C_{tl}) είναι το συνολικό μήκος των ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης (με ισοδιάσταση **100 m**), (C_{in}) είναι η τιμή της ισοϋψούς και (**A**) είναι το εμβαδόν της λεκάνης.

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $\Theta_s = 0.25 \text{ m/Km}$.

3.2.4.15 Υψομετρική Ανάλυση (H_s) (Hypsometric Analysis)

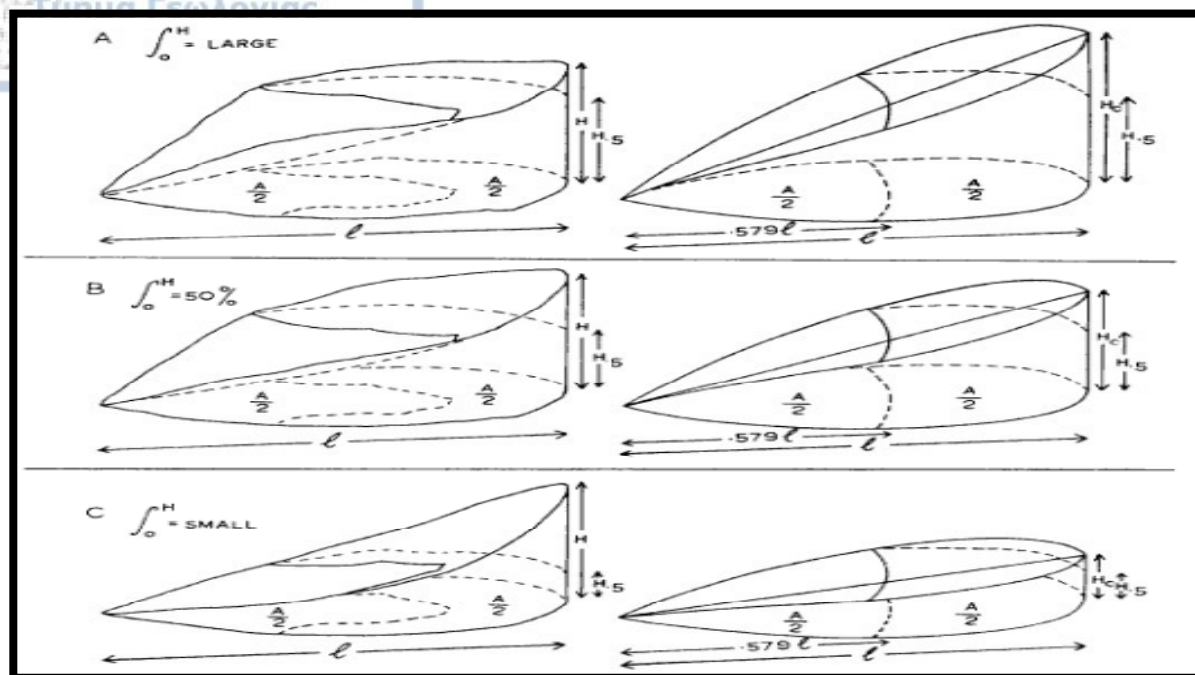
Ο δείκτης του υψομετρικού ολοκληρώματος αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη της τεκτονικής ενεργότητας και δραστηριότητας μιας υδρολογικής λεκάνης. Με τον δείκτη αυτό περιγράφουμε την κατανομή του υψομέτρου (h/H) προς μια δεδομένη επιφάνεια (a/A) της λεκάνης απορροής (Strahler, 1952), με αρχή το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης, είτε αυτό είναι το στόμιο και βρίσκεται στη θάλασσα είτε είναι κάποιο άλλο σημείο της λεκάνης.

Για τον σχεδιασμό της καμπύλης χρησιμοποιούμε ως τεταγμένη το σχετικό εμβαδόν της λεκάνης, ενώ ως τετμημένη το σχετικό υψόμετρο. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι η επιφάνεια η οποία βρίσκεται κάτω από την καμπύλη που δημιουργείται από την προβολή των ζευγών των σημείων που έχουμε δημιουργήσει σε ένα καρτεσιανό σύστημα.

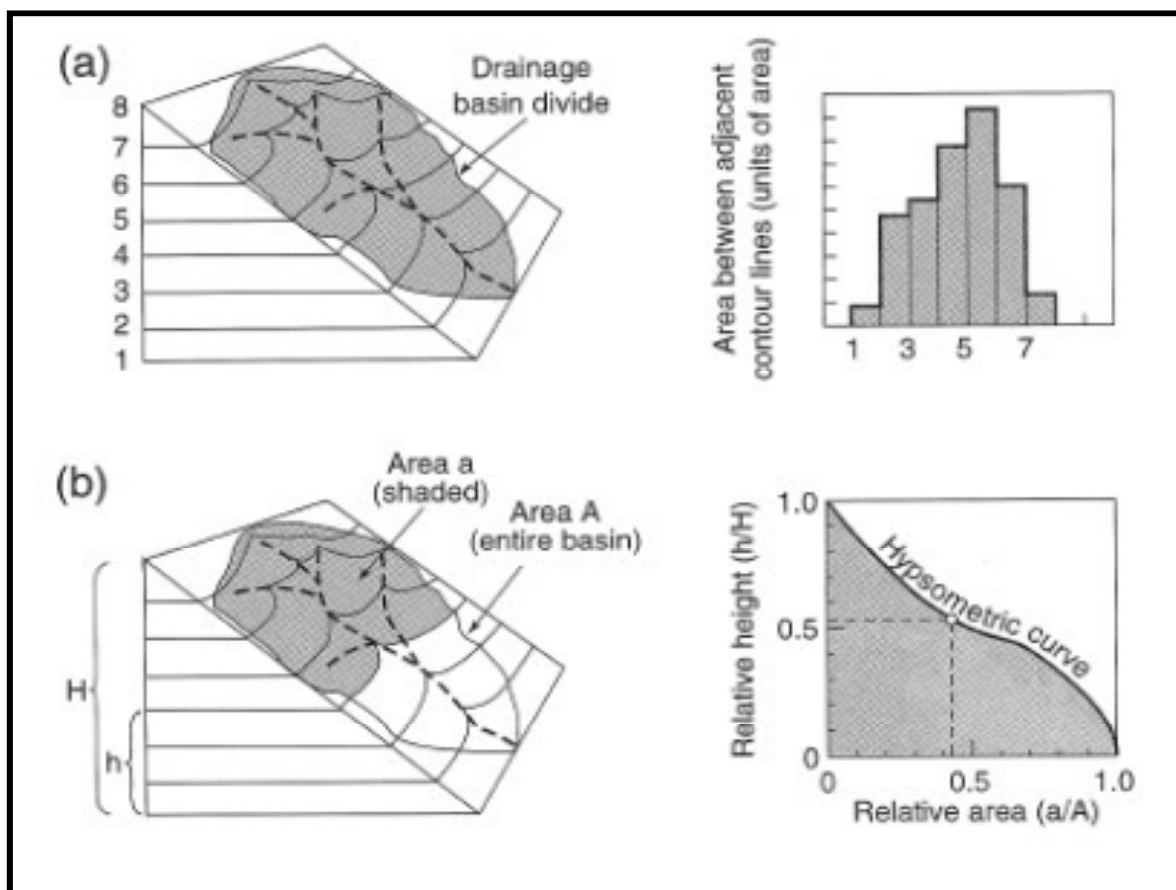
Το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι η τιμή που μας δείχνει το στάδιο απογυμνώσεως στο οποίο βρίσκεται μια λεκάνη απορροής (Εικ. 24), και η υψομετρική καμπύλη την κατανομή της μάζας του ανάγλυφου μέσα σε αυτήν (Εικ. 25).

Την λεκάνη απορροής την καθορίζουν δύο επίπεδα, ένα βασικό που περνάει από το στόμιο της λεκάνης απορροής, και ένα επίπεδο που διέρχεται από το υψηλότερο σημείο της υδρολογικής λεκάνης.

Για την επίλυση του υψομετρικού ολοκληρώματος, χρησιμοποιούμε τον τύπο $HI = (H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}) / (H_{\text{max}} - H_{\text{min}})$, σύμφωνα με τον οποίο είναι απαραίτητη η εύρεση του μέσου υψομέτρου της λεκάνης, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται από την ανάλυση των ισοϋψών καμπυλών (Παράρτημα 3).

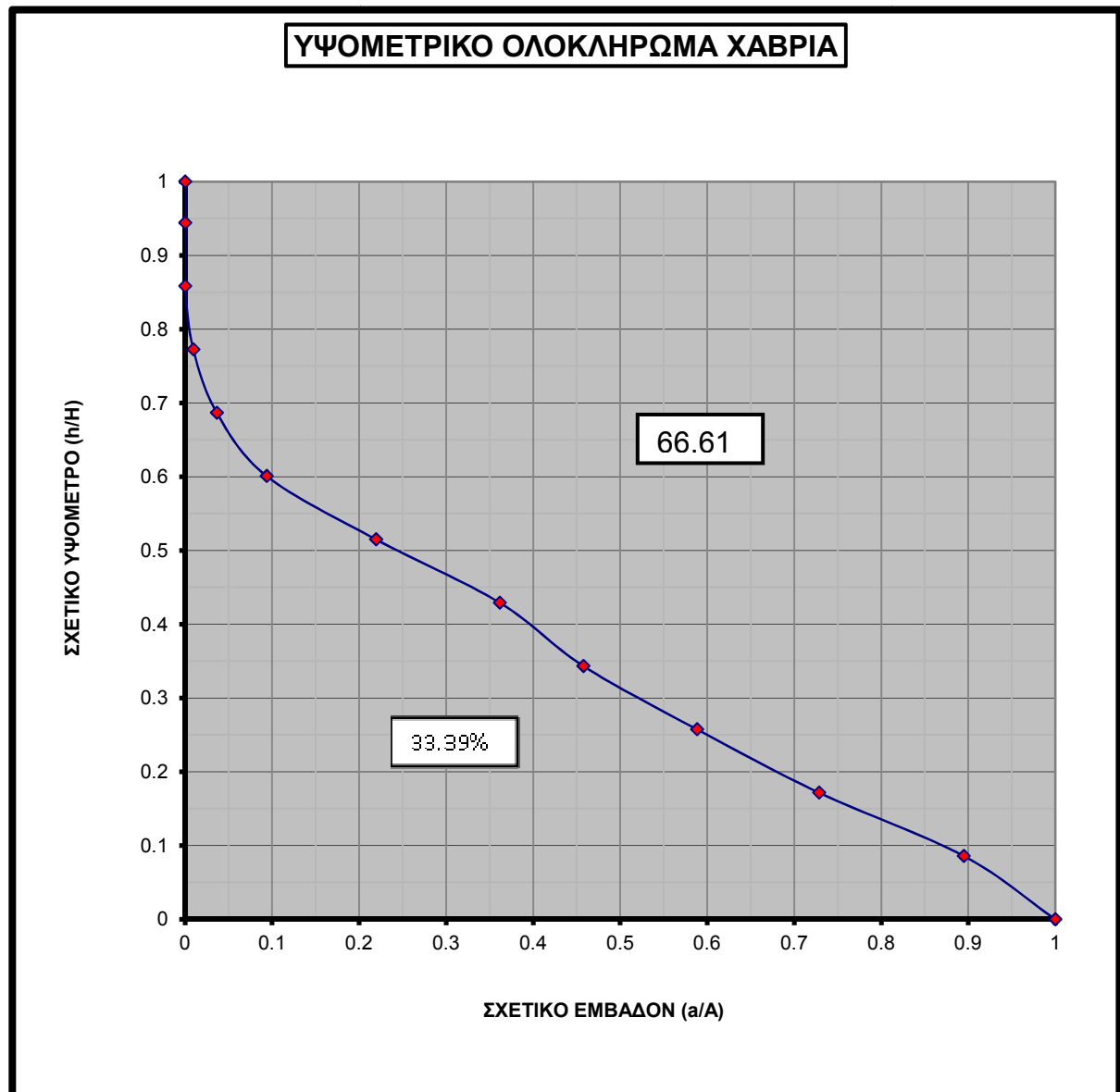


Εικόνα 24. Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Chorley & Morley, 1959)



Εικόνα 25. Υψομετρική καμπύλη (Strahler, 1952; Mayer, 1990)

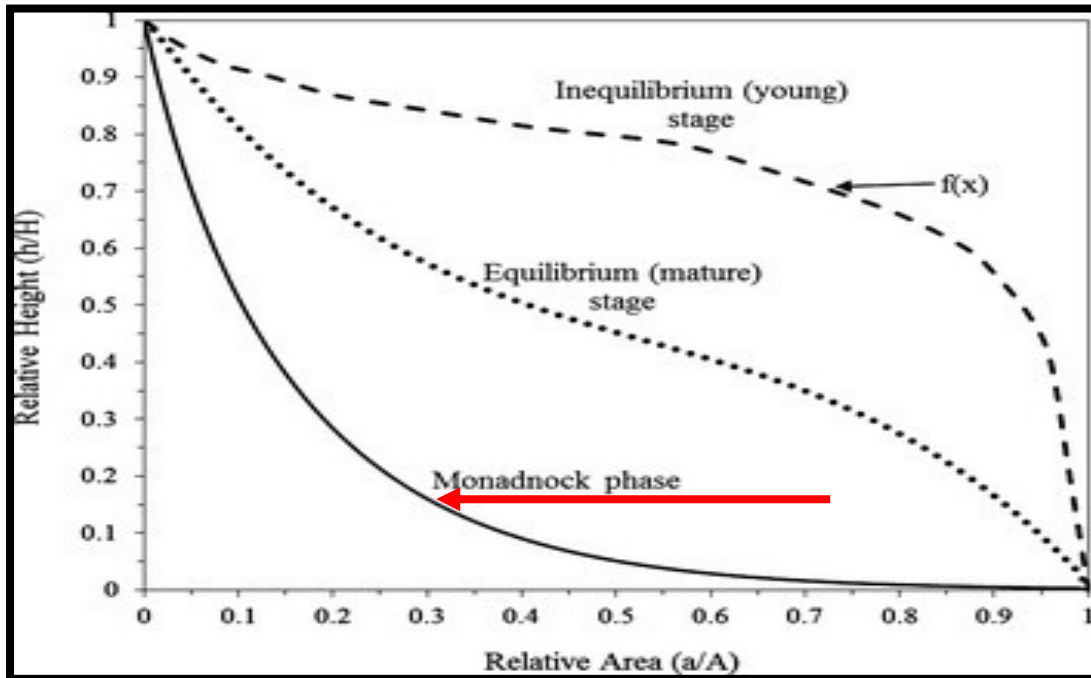
Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε το $H_{\text{mean}}=388.96 \text{ m}$, και γνωρίζοντας ότι $H_{\text{max}}=1165 \text{ m}$ και $H_{\text{min}}=0 \text{ m}$, το υψομετρικό ολοκλήρωμα υπολογίσθηκε $HI=0.3339$ ή $HI=33.39\%$ (Εικ. 26).



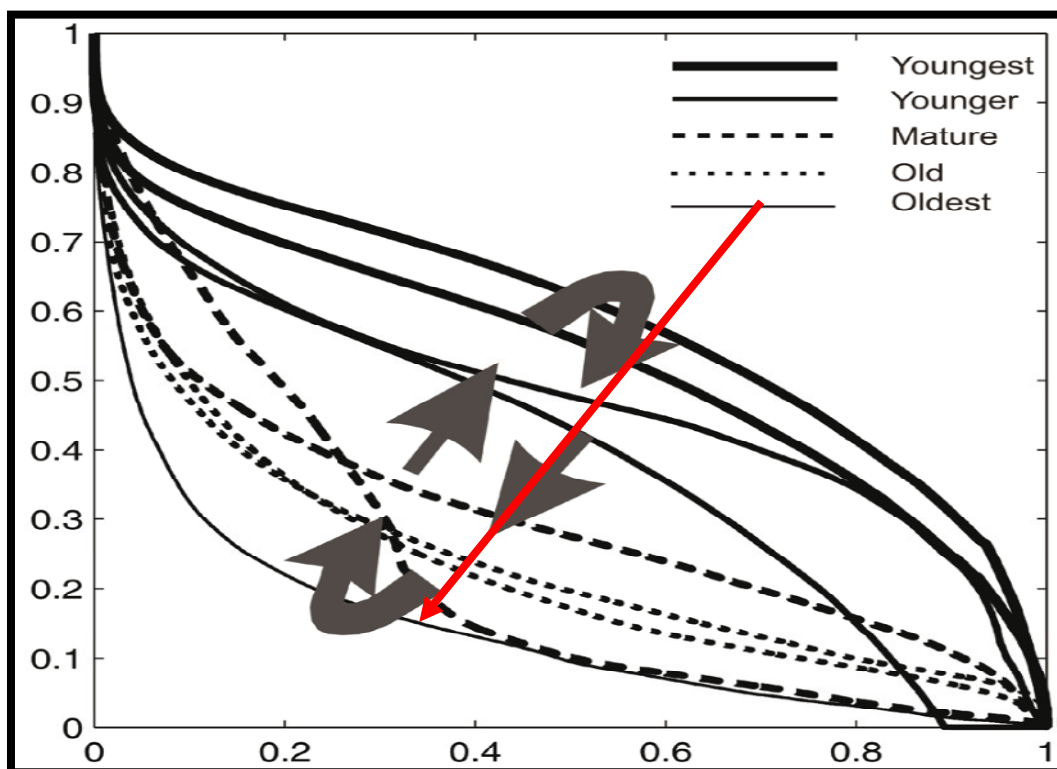
Εικόνα 26. Υψομετρική καμπύλη Χαβρία

Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από την εμβαδομέτρηση της επιφάνειας που βρίσκεται κάτω από την υψομετρική καμπύλη. Αυτό μας δείχνει ότι το τμήμα κάτω από την υψομετρική καμπύλη (**33.39%**), είναι αυτό το οποίο δεν έχει διαβρωθεί, ενώ το **66.61%** είναι το ποσοστό της λεκάνης που έχει διαβρωθεί από την δράση του Χαβρία. Συνεπώς η υψομετρική καμπύλη υποδεικνύει ένα ποτάμι το οποίο βρίσκεται στο στάδιο του γήρατος (Εικ. 27-28).

Η κατάταξη που ακολουθήθηκε (King, 1966) περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες:
α. 30% = στάδιο γήρατος, β. 30-59%=στάδιο ωριμότητας, γ. 60-79%=στάδιο νεότητας, δ. 80-99%=μέσο στάδιο και ε. 100%=αρχικό στάδιο.



Εικόνα 27. Τύποι υψομετρικών καμπυλών (Keller E. A. and Pinter N., 2002)



Εικόνα 28. Τύποι υψομετρικών καμπυλών (Ohmori, 1993)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

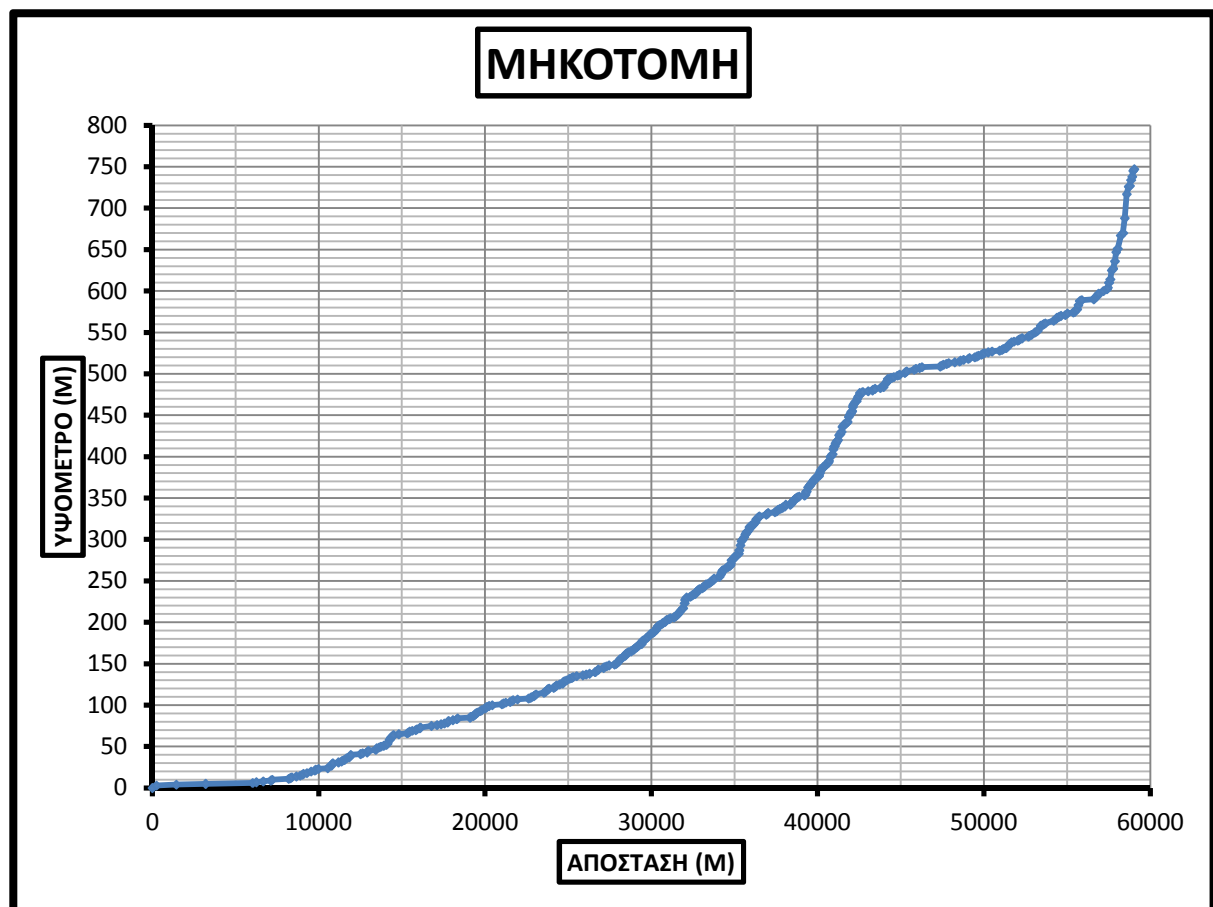
3.2.4.16 Προφίλ Μηκοτομής (L_p) (Longitudinal Profile)

Είναι η συσχέτιση της αύξησης του υψομέτρου από το στόμιο της λεκάνης μέχρι το υψηλότερο σημείο της μισγάγγειας μέσα στην υδρολογική λεκάνη, σε σχέση με την απόσταση από το στόμιο της λεκάνης μέχρι το υψηλότερο σημείο (Εικ. 29).

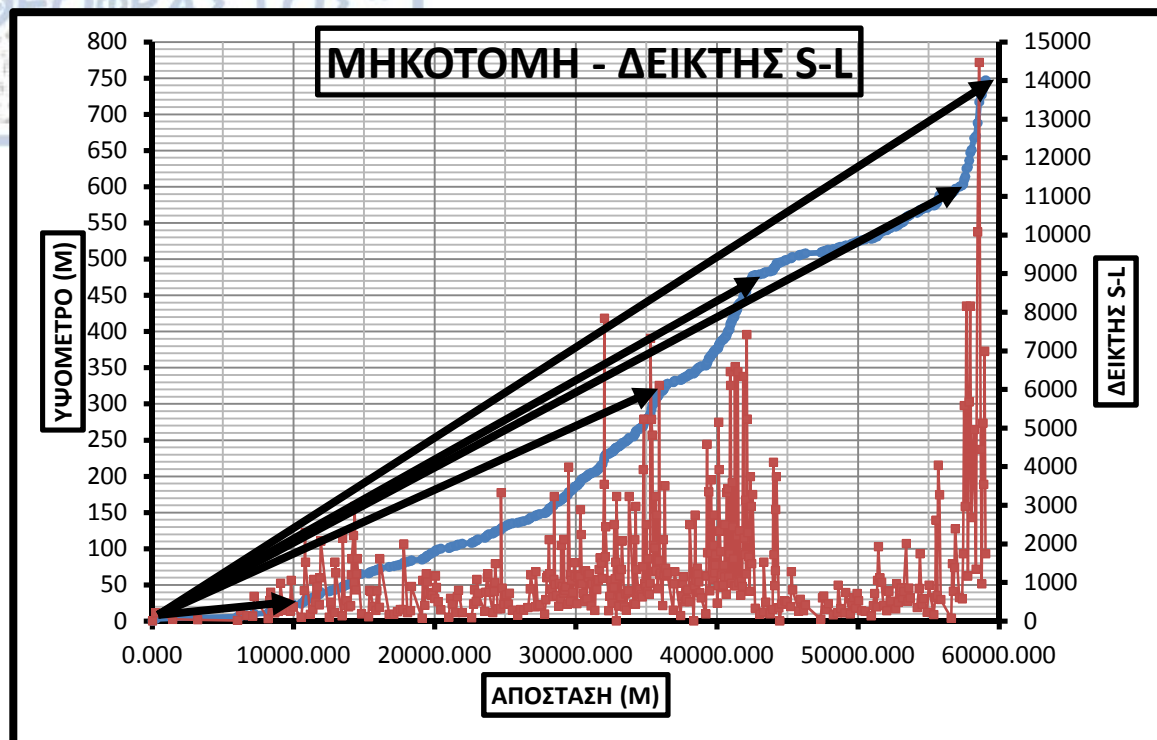
Παράλληλα με το προφίλ εξετάζεται και ο συντελεστής **S-L (Stream – Length Gradient Index)**(Keller & Pinter, 2002), ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$S-L=(\Delta H/\Delta L)*L$$

όπου ΔH =η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων της μισγάγγειας, ΔL =η οριζόντια απόσταση των σημείων αυτών, και L =η απόσταση του κέντρου του υπό μελέτη τμήματος της κοίτης της μισγάγγειας από το ακρότατο σημείο του υδρογραφικού δικτύου στον υδροκρίτη (Εικ. 30).

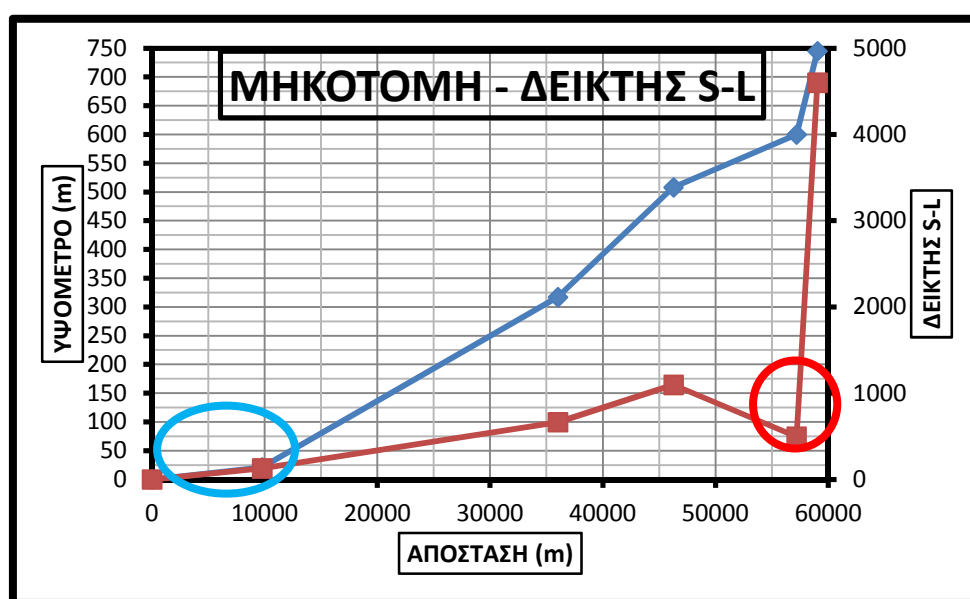


Εικόνα 29. Προφίλ μηκοτομής

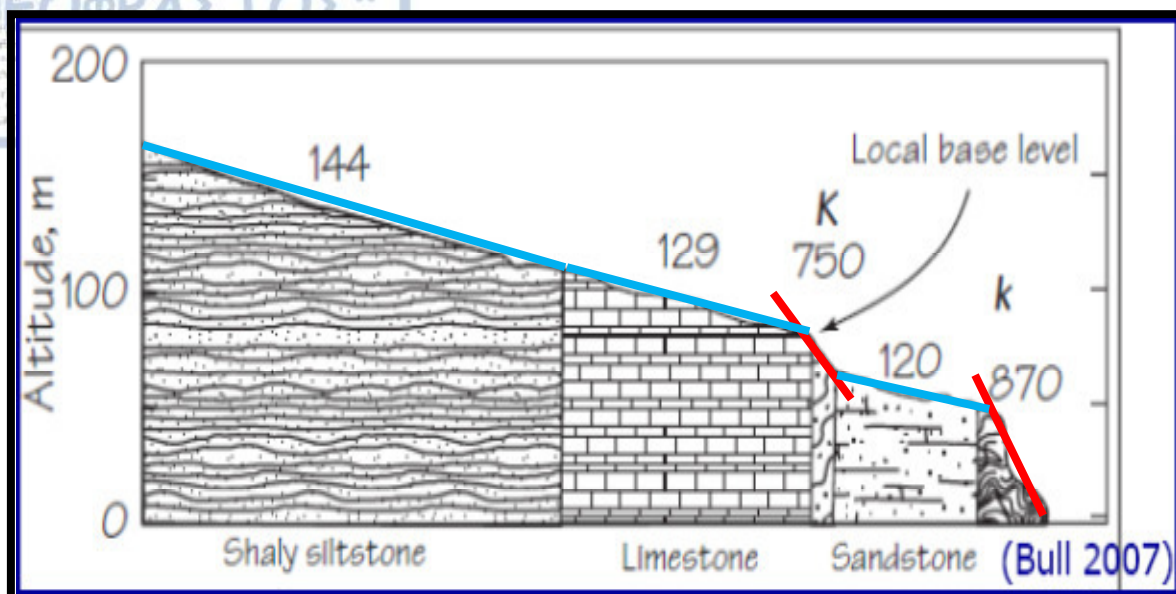


Εικόνα 30. Συντελεστής S-L

Στην εικόνα 30 παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημεία στα οποία ο δείκτης μεταβάλλεται ιδιαίτερα και παρουσιάζονται σημαντικές αλλαγές. Απεικονίζοντας αυτές τις αλλαγές σε μια νέα μηκοτομή (Εικ. 31), βλέπουμε ομαλές περιοχές με μικρή κλίση, και περιοχές στις οποίες ο συντελεστής είναι υπερβολικά μεγάλος εμφανίζοντας **knickpoints** (Bull, 2007), κάτι το οποίο υποδηλώνει έντονη τεκτονική δραστηριότητα (Εικ. 32).



Εικόνα 31. Νέα μηκοτομή



Εικόνα 32. Knickpoints by Bull (2007)

3.2.4.17 Υδρογραφική Κλίση (S_w) (Watershed Slope)

Είναι ο λόγος του απόλυτου ανάγλυφου της λεκάνης (H) προς το μήκος της παράλληλης προς την μισογάγγεια (L_b) $S_w = H/L_b$.

Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκε $S_w = 0.03$.

3.2.4.18 Συνολικό Μήκος Ισοϋψών (C_{ti}) (Total Contour Length)

Είναι το άθροισμα του μήκους των ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης του Χαβρία (ισοδιάσταση **100 m**) , το οποίο υπολογίσθηκε με την βοήθεια του **ArcGIS**, και είναι $C_{ti} = 1201.65 \text{ Km}$.

Η ανάλυση των ισοϋψών καμπυλών φαίνεται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Ανάλυση ισοϋψών καμπυλών

A/A	ΙΣΟΥΨΗΣ	ΜΗΚΟΣ (Km)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
1	0	6.239	0.519
2	100	121.968	10.150
3	200	183.197	15.245
4	300	170.842	14.217
5	400	159.930	13.309
6	500	118.090	9.827
7	600	213.472	17.764
8	700	138.380	11.515
9	800	54.183	4.509
10	900	29.119	2.423
11	1000	5.828	0.485
12	1100	0.400	0.033
		1201.648	100

3.2.4.19 Ισοδιάσταση Ισοϋψούς (C_{in}) (Contour Interval)

Είναι η τιμή της απόστασης μεταξύ δύο ισοϋψών καμπυλών που χρησιμοποιήθηκε στην χαρτογράφηση της λεκάνης, και είναι $C_{in}=100$ m.

3.2.4.20 Μήκος 2 Διαδοχικών Ισοϋψών (Length of two Successive Contours)

Είναι το μήκος που προκύπτει από την πρόσθεση των μηκών δύο διαδοχικών ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης (Strahler, 1952). Για την λεκάνη του Χαβρία υπολογίσθηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11. Άθροισμα διαδοχικών ισοϋψών καμπυλών

ΙΣΟΨΗΣ	ΜΗΚΟΣ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΙΣΟΨΩΝ										
0	6.24	128.2										
100	121.97		305.2									
200	183.2			354								
300	170.84				330.8							
400	159.93					278						
500	118.09						331.6					
600	213.47							351.8				
700	138.38								192.6			
800	54.18									83.3		
900	29.12										34.9	
1000	5.83											6.2
1100	0.4											
	1201.65											

3.2.4.21 Μέση Κλίση Πλάτους Ισοϋψών (S_{wc}) (Average Slope Width of Contour)

Είναι μια παράμετρος που ορίζεται από την σχέση $S_{wc}=A/[(L_u+L_{u+1})/2]$ (Strahler, 1952), όπου (A) είναι το εμβαδόν της λεκάνης και (L_1, L_2) δύο διαδοχικές ισοϋψείς.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12. Μέση κλίση πλάτους ισοϋψών

A/A	Lu	ΜΗΚΟΣ	Lu+Lu+1											A/[(Lu+Lu+1)/2]
1	L1	6.2	128.2											7.4
2	L2	122		305.2										3.1
3	L3	183.2			354									2.7
4	L4	170.8				330.8								2.9
5	L5	159.9					278							3.4
6	L6	118.1						331.6						2.8
7	L7	213.5							351.8					2.7
8	L8	138.4								192.6				4.9
9	L9	54.2									83.3			11.4
10	L10	29.1										34.9		27.1
11	L11	5.8											6.2	151.9
12	L12	0.4												

3.2.4.22 Ασυμμετρία της Υδρογραφικής Λεκάνης (Af) (Drainage Basin Asymmetry)

Είναι ένας δείκτης που ορίζεται από την σχέση $A_f=100*(A_r/A_t)$ (Hare & Gardner, 1985), όπου (A_r) είναι το εμβαδόν της υπολεκάνης που βρίσκεται δεξιά της μισγάγγειας, κοιτάζοντας από τα ανάντη προς τα κατόντη, και (A_t) το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής (Εικ. 33).

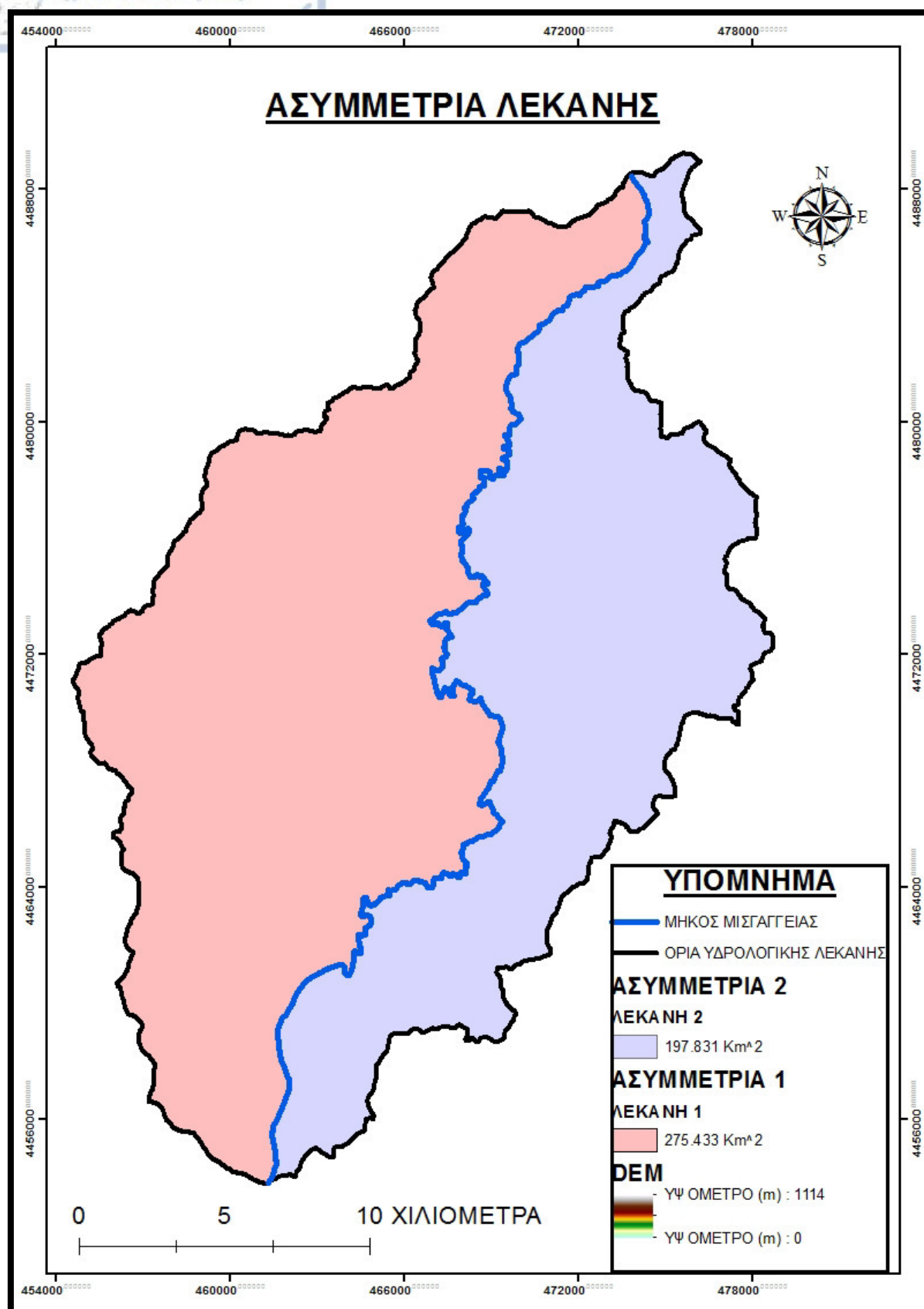
Τιμές < ή > του **50%** υποδηλώνουν περιστροφές στον χώρο της λεκάνης απορροής. Για την λεκάνη απορροής του Χαβρία ο δείκτης ασυμμετρίας υπολογίσθηκε $A_f=58.2 \%$, κάτι που υποδηλώνει πως έχουμε περιστροφή.

3.2.5 Μέσο Υψόμετρο της Λεκάνης

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίζεται από την ανάλυση των ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης (ισοδιάσταση **100 m**) (Παράρτημα 3), και χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του υψομετρικού ολοκληρώματος.

Είναι το πηλίκο του αθροίσματος των γινομένων του μέσου υψομέτρου **2** διαδοχικών ισοϋψών επί την επιφάνεια που περικλείουν, δια του συνολικού εμβαδού της λεκάνης.

Για την λεκάνη του Χαβρία το μέσο υψόμετρο υπολογίσθηκε σε **~389 m**.



Εικόνα 33. Δείκτης ασυμμετρίας της λεκάνης απορροής του Χαβρία

3.2.6 Ανάλυση των Νόμων του HORTON

3.2.6.1 Α.Π. Νόμος του Αριθμού των Κλάδων (1^{ος} Νόμος)

Σύμφωνα με τον Horton, ο αριθμός των διαδοχικώς μικρότερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίζει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, στην οποία ο πρώτος όρος είναι η μονάδα (ο κλάδος που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάξη) και ο λόγος είναι ο λόγος διακλάδωσης (R_b).

Ο τύπος που ορίζει αυτήν ακολουθία είναι:

$$N_u = R_b^{(k-u)},$$

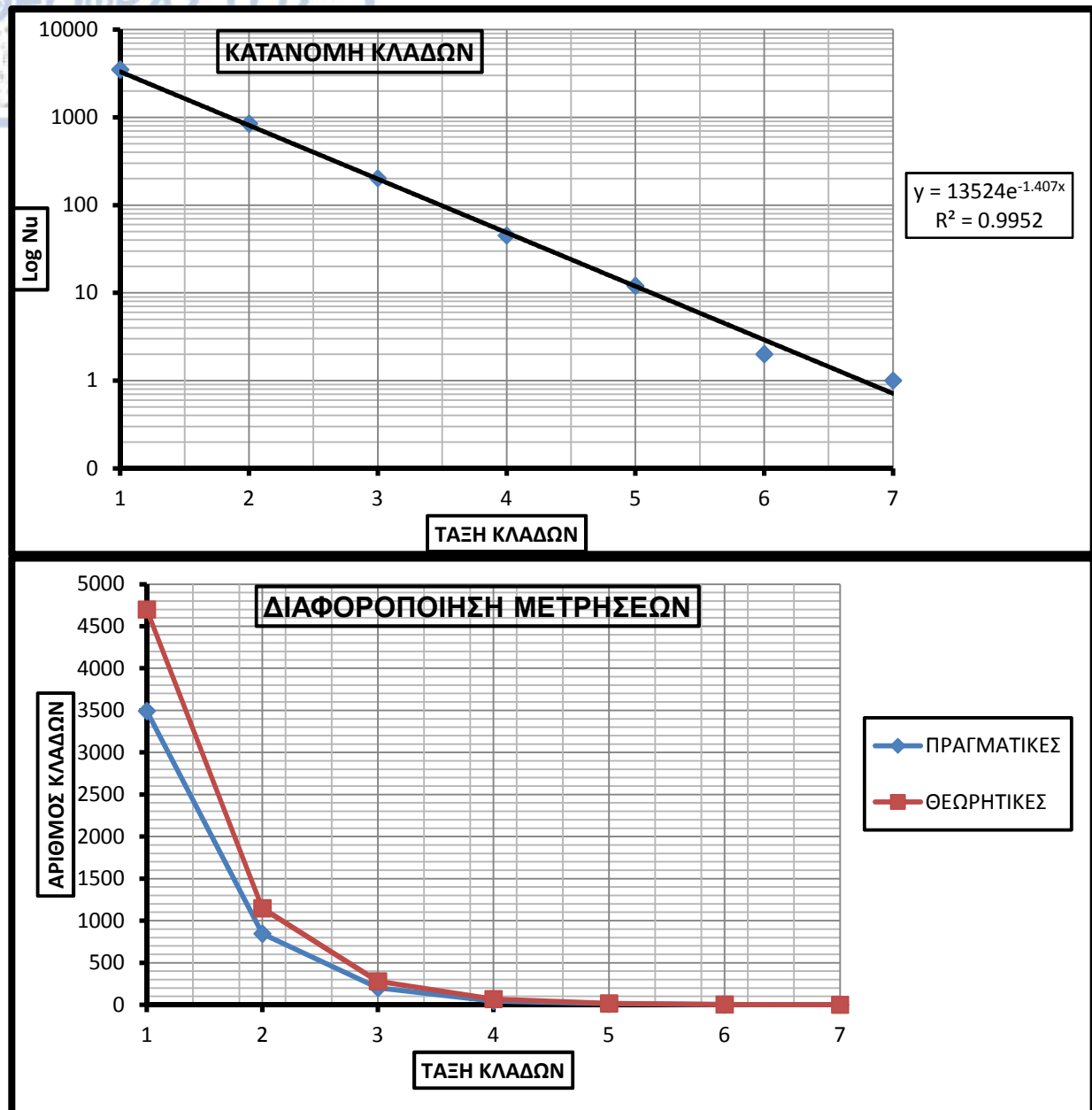
όπου $R_b = N_u / N_{(u+1)}$ (N_u = ο αριθμός των κλάδων τάξης u , k = η μέγιστη τάξη, u = η ζητούμενη τάξη)(Βουβαλίδης, 2011)(Πίνακας 13)(Εικ. 34).

Ο νόμος αυτός εκφράζει την πολυπλοκότητα και κατά πόσο είναι διαμελισμένη η λεκάνη απορροής. Όταν οι τιμές του λόγου διακλάδωσης R_b , είναι **2~3**, πρόκειται για ένα φυσικά αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο, ενώ όταν η τιμή είναι **>5**, τότε πρόκειται για ένα υδρογραφικό δίκτυο του οποίου η ανάπτυξη ελέγχεται από τεκτονικά αίτια και δράση.

Για την λεκάνη του Χαβρία ο μέσος λόγος διακλάδωσης είναι $R_{bm}=4.09$, κάτι το οποίο δείχνει μια ενδιάμεση κατάσταση στο υδρογραφικό δίκτυο. Δηλ. σε κάποια τμήματα υπάρχει ένα φυσικά αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο, ενώ σε κάποια άλλα υπάρχει τεκτονική δράση που ελέγχει την ανάπτυξή του.

Πίνακας 13. Ανάλυση 1^{ου} νόμου HORTON

u	Nu	Rb						Rbm	log Nu	Nu (Ideal Nu= $R_b^{(k-u)}$)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ Nu	%
1	3493							4.09	3.54	4699	1206	25.67
2	846	4.13							2.93	1148	302	26.32
3	202		4.19						2.31	281	79	28.00
4	45			4.49					1.65	69	24	34.36
5	12				3.75				1.08	17	5	28.36
6	2					6.00			0.30	4	2	51.13
7	1						2.00		0.00	1	0	0.00
	4601									6219	1618	26.02



Εικόνα 34. Γραφικές παραστάσεις του 1^{ου} νόμου του HORTON

3.2.6.2 Νόμος του Μήκους των Κλάδων (2^{ος} Νόμος)

Σύμφωνα με τον Horton, τα αθροιστικά μήκη των διαδοχικώς μεγαλύτερων τάξεων κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος κλάδων 1^{ης} τάξεως και λόγος, ο λόγος του μήκους R_L .

Ο τύπος που ορίζει αυτήν την ακολουθία είναι:

$$\Sigma L_u = L_1 * R_L^{(u-1)},$$

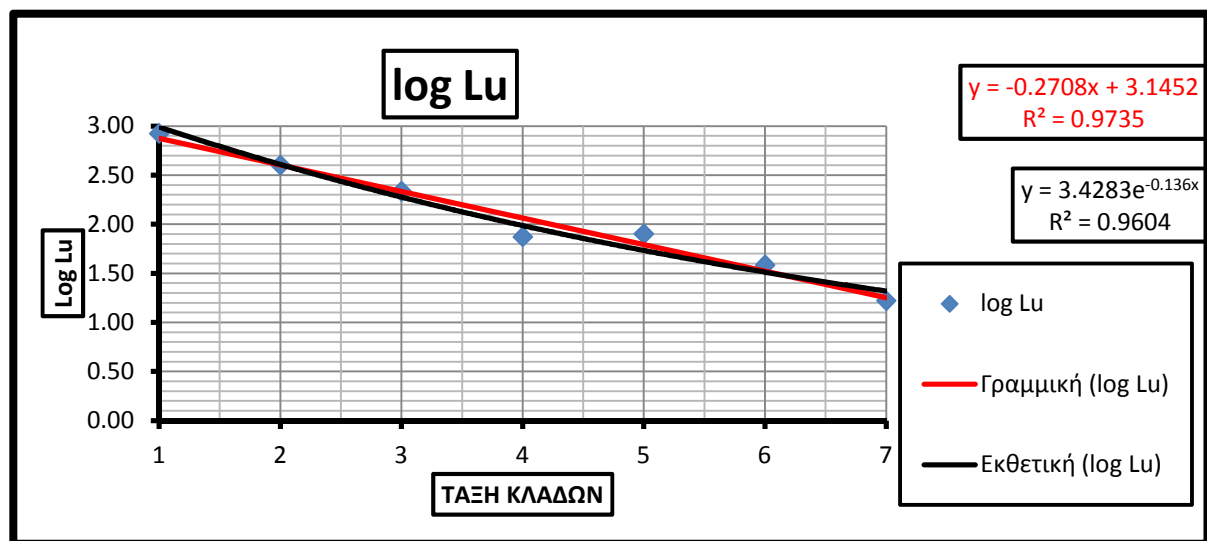
όπου ο λόγος του μήκους δίνεται από την σχέση $R_L = \Sigma L_u / \Sigma (L_{u-1})$ (L_u =το μέσο μήκος των κλάδων τάξεως u , L_1 = το μέσο μήκος του κλάδου 1^{ης} τάξεως, u =η ζητούμενη τάξη)(Βουβαλίδης, 2011)(Πίνακας 14)(Εικ. 35).

Ο λόγος του μήκους των κλάδων είναι μια ένδειξη της σχετικής περατότητας των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής. Όταν ο λόγος είναι μικρός, είναι ένδειξη ότι οι σχηματισμοί είναι υδροπερατοί και παρέχουν αρκετό χρόνο στο νερό να κατεισδύσει με αποτέλεσμα να απορρέει επιφανειακά μικρή ποσότητα όμβριων υδάτων. Ενώ όταν ο λόγος είναι μεγάλος, οι σχηματισμοί είναι αδιαπέρατοι, και παρέχουν μικρό χρόνο για κατείσδυση και μεγάλη επιφανειακή απορροή.

Για την λεκάνη του Χαβρία ο λόγος είναι $R_{L_u} = 2.26$, κάτι που δείχνει ότι οι λιθολογικοί σχηματισμοί είναι ημιπερατοί – αδιαπέρατοι και δεν επιτρέπουν την κατείσδυση αλλά διευκολύνουν την επιφανειακή απορροή.

Πίνακας 14. Ανάλυση του 2^{ου} νόμου του HORTON

u	Nu	Lu	MEAN Lu	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ	ΛΟΓΟΣ ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ R_{L_u}	log Lu	log Lu (Ideal $\log L_u = L_1 \cdot R_L^{(u-1)}$)	ΔΙΑΦΟΡΑ	%
1	3493	838.80	0.24	0.24		2.92	2.99	0.07	2.22
2	846	399.70	0.47	0.71	1.97	2.60	2.61	0.01	0.32
3	202	216.38	1.07	1.78	2.27	2.34	2.28	-0.06	-2.42
4	45	74.26	1.65	3.43	1.54	1.87	1.99	0.12	5.99
5	12	79.51	6.63	10.06	4.02	1.90	1.74	-0.16	-9.22
6	2	38.33	19.17	29.22	2.89	1.58	1.52	-0.06	-4.18
7	1	16.61	16.61	45.83	0.87	1.22	1.32	0.10	7.55
	4601.00	1663.59	6.55		2.26				



Εικόνα 35. Γραφικές παραστάσεις του $2^{\text{ου}}$ νόμου του HORTON

3.2.7 Διαπιστώσεις

- ✓ Η λεκάνη του Χαβρία είναι μια λεκάνη με επίμηκες και ελλειψοειδές σχήμα.
- ✓ Η επιφάνεια της λεκάνης καλύπτει έκταση **473.28 Km²**, και το μήκος της μισγάγγειας έχει μήκος **59.04 Km**.
- ✓ Το **98.7%** του αριθμού των κλάδων ανήκει στην **1^η**, **2^η** και **3^η** τάξη, ενώ αντίστοιχα το **87.46%** του μήκους των κλάδων ανήκει σε αυτές τις τρεις τάξεις, γεγονός που υποδηλώνει την κυριαρχία τους στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου.
- ✓ Το επίμηκες σχήμα της λεκάνης καθορίζει την ποσότητα και την διάρκεια της ροής σε πλημμυρικά επεισόδια και την κατεύθυνση κίνησης του ύδατος.
- ✓ Η λεκάνη στο μεγαλύτερο μέρος της είναι πληρωμένη με λιθολογικούς σχηματισμούς μικρής περατότητας και πορώδους, κάτι που υποδηλώνει την μικρή κατείσδυση του νερού και την αναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων σωμάτων.
- ✓ Ο Χαβρίας είναι ένα ελικοειδές ποτάμι που παρουσιάζει πλημμυρικές απορροές και στερεομεταφορά.
- ✓ Στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης υπάρχει πυκνό και συχνό υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής και παράλληλης μορφής, γεγονός που καταδεικνύει σχετικά ομαλές περιοχές με μικρές κλίσεις και ομοιογενή πετρολογική σύσταση και περιοχές με σχετικά μεγάλη κλίση των πετρωμάτων. Τα πετρώματα της λεκάνης απορροής είναι ημιπερατά – αδιαπέρατα, γεγονός που διευκολύνει την απορροή και εμποδίζει την κατείσδυση.
- ✓ Το υδρογραφικό δίκτυο είναι φυσικά αναπτυσσόμενο στις περιοχές με δενδριτική μορφή, και τεκτονικά ελεγχόμενο στις περιοχές με παράλληλη μορφή.
- ✓ Η λεκάνη βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας και δεν έχει διαβρωθεί το **33.39%**.

ΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα ΓΣΠ με την ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας, και ιδιαίτερα των Η/Υ, έχουν καταστεί ένα πολύτιμο και απαραίτητο εργαλείο στα χέρια κάθε επιστήμονα, οποιασδήποτε κατεύθυνσης. Η χρήση τους σε τομείς, όπως η Γεωλογία, είναι βασική και προϋποθέτει την γνώση τους και την τροφοδοσία τους με αξιόπιστα στοιχεία και δεδομένα, προκειμένου και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι έγκυρα.

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής, επιλέχθηκαν για ανάλυση, συγκεκριμένοι γεωμορφολογικοί δείκτες και παράγοντες, προκειμένου τα αποτελέσματά τους να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση και οριοθέτηση περιοχών που συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες ύπαρξης υπόγειου νερού. (Δεν χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση και η απόδοση συντελεστή βαρύτητας στους 7 παράγοντες για να προκύψει ένας τελικός χάρτης που να παρουσιάζει τις περιοχές που συγκεντρώνουν τον μεγαλύτερο δείκτη, όπως συμβαίνει σε μεγάλη πληθώρα εργασιών και μελετών).

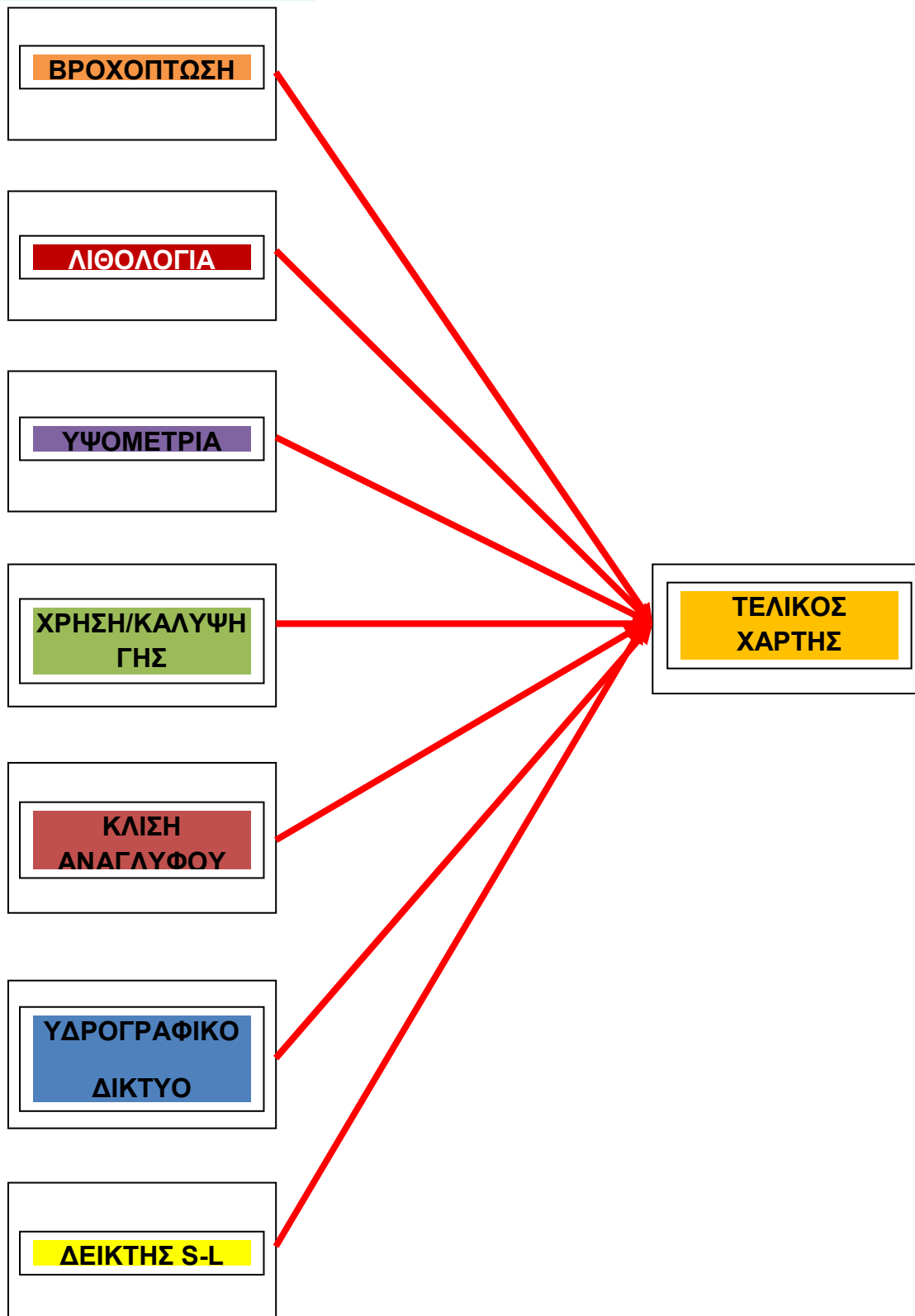
Οι παράγοντες αυτοί είναι η βροχόπτωση, η λιθολογία, η υψομετρία, η χρήση/κάλυψη γης, η κλίση του ανάγλυφου, το υδρογραφικό δίκτυο και ο δείκτης **S-L**.

Η επιλογή βασίστηκε στο ότι τα αποτελέσματα από αυτούς τους δείκτες μπορούν να απεικονιστούν σε χάρτες, κάτι το οποίο διευκολύνει την παρουσίασή τους.

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε στηρίχθηκε στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένοι παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε **3** κατηγορίες – ομάδες, γεγονός το οποίο διευκολύνει στην κοινή προβολή τους σε έναν τελικό χάρτη.

Η ανάλυση κάθε παράγοντα αποσκοπεί στον εντοπισμό περιοχών με μεγάλο ή μικρό δείκτη (ανάλογα με το πώς εκλαμβάνεται ο κάθε ένας από αυτούς και σύμφωνα με τον τύπο που ισχύει), και σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία έχουν προκύψει. Ο συγκερασμός όλων των αποτελεσμάτων οδηγεί σε έναν τελικό χάρτη

στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές που εμφανίζονται με την μεγαλύτερη συχνότητα στους περισσότερους από τους παράγοντες (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Ανάλυση και συσχετισμός γεωμορφολογικών δεικτών και παραγόντων

4.1 Ανάλυση της Βροχόπτωσης

Η βροχόπτωση αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων με νέες ποσότητες νερού.

Το ύψος της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται από **391.9-852.19 mm**, με βάση την διαβάθμιση των υψομέτρων. Για την επεξεργασία των δεδομένων της βροχόπτωσης, σε σχέση με το υψόμετρο της λεκάνης, κατηγοριοποιήθηκε αυτή σε **3** κλάσεις, σύμφωνα με την κατανομή κατά Κατιρτζόγλου. Για να επιτευχθεί αυτό έγινε αναγωγή των τριών κλάσεων των υψομέτρων στα αντίστοιχα ύψη βροχής, σύμφωνα με την βροχοβαθμίδα. Έτσι η τελική κατανομή είναι η εξής :

- α. **0-150 m → 391.9- 451.65 mm (59.75 mm)**
- β. **150-600 m → 451.65 – 628.96 mm (177.311 mm)**
- γ. **600-1165 m → 628.96 – 852.19 mm (223.23 mm)**

Δεδομένου ότι, στην περιοχή των υψομέτρων **0-150 m (27.15%** της έκτασης της λεκάνης ή **128.4955 Km²)** το ύψος της βροχόπτωσης είναι **59.75 mm**, στην περιοχή των υψομέτρων **150-600 m (50.91%** της έκτασης της λεκάνης ή **240.9468 Km²)** το ύψος της βροχόπτωσης είναι **177.311 mm** και στην περιοχή των υψομέτρων **600-1165 (21.94%** της έκτασης της λεκάνης ή **103.8376 Km²)** το ύψος της βροχόπτωσης είναι **223.23 mm**, γίνεται κατανοητό ότι το μεγαλύτερο ποσό της βροχόπτωσης εντοπίζεται στην δεύτερη ζώνη υψομέτρων.

Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη ενός νέου βροχομετρικού χάρτη, με τις ισοϋέτιες να είναι κατανεμημένες στις **3** αυτές κατηγορίες (Εικ. 36).

Η κατανομή αυτή δείχνει περιοχές με μικρό ύψος βροχόπτωσης που συναντάται στα χαμηλά υψόμετρα, περιοχές με μέσο ύψος βροχόπτωσης στις μεσαίες κατηγορίες υψομέτρων και τέλος περιοχές με υψηλή βροχόπτωση στις μεγάλες κατηγορίες υψομέτρων.

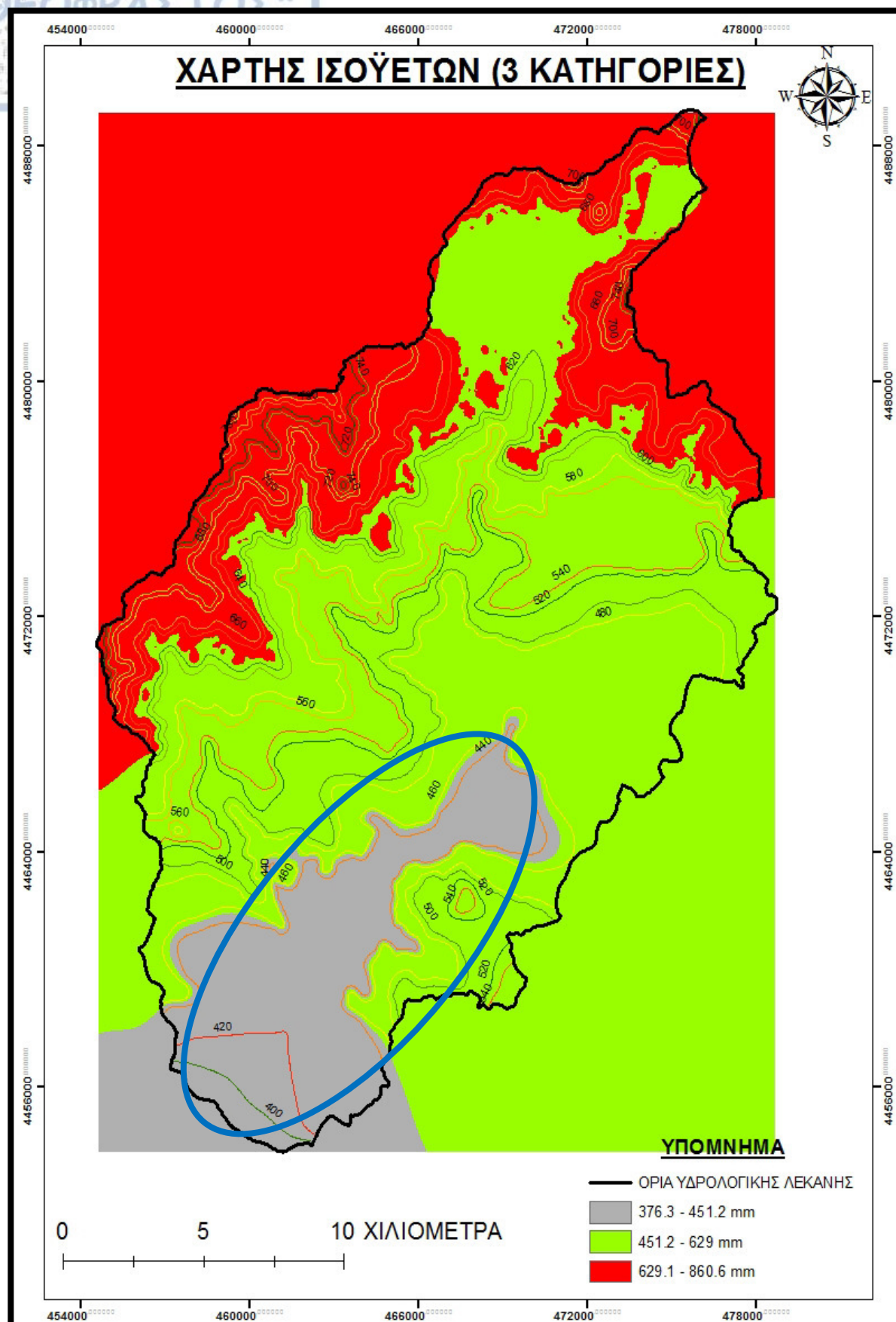
Αυτή η ανάλυση χρησιμοποιείται αντίστροφα, δηλ. στις περιοχές με χαμηλά υψόμετρα, με μικρές κλίσεις, καλλιεργούμενες κατά βάση εκτάσεις και ιζηματογενή πετρώματα με υψηλό πορώδες και μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης, η βροχόπτωση

είναι μικρή και δεν συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων. Σε αυτήν την κατηγορία σημαντικό ρόλο στην τροφοδοσία τους παίζει η επιστροφή από την χρήση νερού στις καλλιεργούμενες εκτάσεις για το πότισμα των φυτών και η κατείσδυση από τα υδατορεύματα λόγω των μικρών κλίσεων και των μεγάλων αποστάσεων που διασχίζουν διαμέσου των ιζηματογενών πετρωμάτων μεταφέροντας το νερό της βροχής από τα μεγαλύτερα υψόμετρα. Στις περιοχές αυτές γίνεται συγκέντρωση του συνόλου του απορρέοντος ύδατος των νερών της βροχής και της αποστράγγισης και εκροής από το σύνολο της λεκάνης, μέσω των κλάδων μεγάλων τάξεων (4-7).

Ενώ αντίθετα, στις περιοχές με υψηλό υψόμετρο, με μεγάλες κλίσεις, με φυτοκάλυψη και σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα με χαμηλούς συντελεστές κατείσδυσης και πορώδες, η βροχόπτωση είναι υψηλή, αλλά δεν μπορεί να συνεισφέρει στην τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων, λόγω της μεγάλης ταχύτητας του νερού που κινείται εντός ενός πυκνού και συχνού υδρογραφικού δικτύου (τάξεις 1-3). Εφόσον οι κλίσεις είναι μικρές και δημιουργούνται περιοχές με επίπεδες επιφάνειες και ιζηματογενείς αποθέσεις, υπάρχει η δυνατότητα να κατεisdύσει το νερό και να δημιουργήσει υπόγειους υδροφορείς.

Επομένως οι περιοχές με το χαμηλό ύψος βροχόπτωσης, αλλά και αυτές που παρουσιάζουν μικρή κλίση, είναι αυτές που συγκεντρώνουν και τις μεγαλύτερες πιθανότητες για την ύπαρξη υπόγειων υδροφορέων.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, οι περιοχές που έχουν επισημανθεί στον βροχομετρικό χάρτη, είναι αυτές που συγκεντρώνουν και τις μεγαλύτερες πιθανότητες για την ύπαρξη υπόγειου νερού (Εικ. 36).



Εικόνα 36. Χάρτης ισοϋετών (3 κατηγορίες)

4.2 Ανάλυση της Λιθολογίας

Ένας εξίσου σημαντικό παράγοντας για την δημιουργία και τροφοδοσία υπόγειων υδροφόρων σωμάτων αποτελούν και τα πετρώματα που συνιστούν το υπόβαθρο και πληρώνουν την λεκάνη απορροής ενός υδατορεύματος.

Ο παράγοντας ο οποίος συμβάλλει στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων σωμάτων είναι η κατείσδυση που παρουσιάζουν οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής. Για τον υπολογισμό της έχουν συνταχθεί πίνακες που καθορίζουν τις τιμές του συντελεστή κατείσδυσης για τους διάφορους τύπους πετρωμάτων και λιθολογιών, και οι τιμές κυμαίνονται από **3%** που είναι π.χ για τον φλύσχη, έως **60%** που είναι για τα ανθρακικά πετρώματα.

Μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική κατείσδυση με βάση τον ολικό συντελεστή κατείσδυσης (ενιαίος συντελεστής για όλη την λεκάνη, ανεξάρτητα από τα διαφορετικά είδη πετρωμάτων που εμφανίζονται μέσα στην λεκάνη απορροής), με βάση τον τύπο:

$$I_{ολ.}=(E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + \dots + E_v \cdot I_v)/E_{ολ}$$

όπου $I_{ολ.}$ = ο ολικός συντελεστής κατείσδυσης για όλη την λεκάνη, $E_1, E_2, E_3, \dots, E_v$ = οι επιφάνειες που καλύπτουν οι διαφορετικοί λιθολογικοί σχηματισμοί ή τα πετρώματα της λεκάνης απορροής, $I_1, I_2, I_3, \dots, I_v$ = οι συντελεστές κατείσδυσης των λιθολογικών σχηματισμών ή πετρωμάτων και $E_{ολ}$ = η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής.

Αντικαθιστώντας στον τύπο τα μεγέθη που ήδη είναι γνωστά, υπολογίζεται $I_{ολ.}=0.098$.

Πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή $I_{ολ.}=0.098$ με το μέσο ύψος βροχής **545.6 mm** (που έχουμε ήδη υπολογίσει) και με την συνολική επιφάνεια $E=473.28 \text{ Km}^2$, υπολογίζουμε την κατείσδυση $I=25.31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ή **53.46 mm (9.8%)**(οι συντελεστές κατείσδυσης του κάθε λιθολογικού σχηματισμού ευρέθησαν από την βιβλιογραφία (Σούλιος, 1986)(Παράρτημα 4)).

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκε ένας νέος λιθογραφικός χάρτης που παρουσιάζει τις **3** κατηγορίες σχηματισμών και την αντίστοιχη επιφάνεια που καλύπτουν (με πράσινο χρώμα είναι τα μεταμορφωμένα πετρώματα, με κόκκινο τα πυριγενή και με γαλάζιο τα ιζηματογενή) (Εικ. 37).

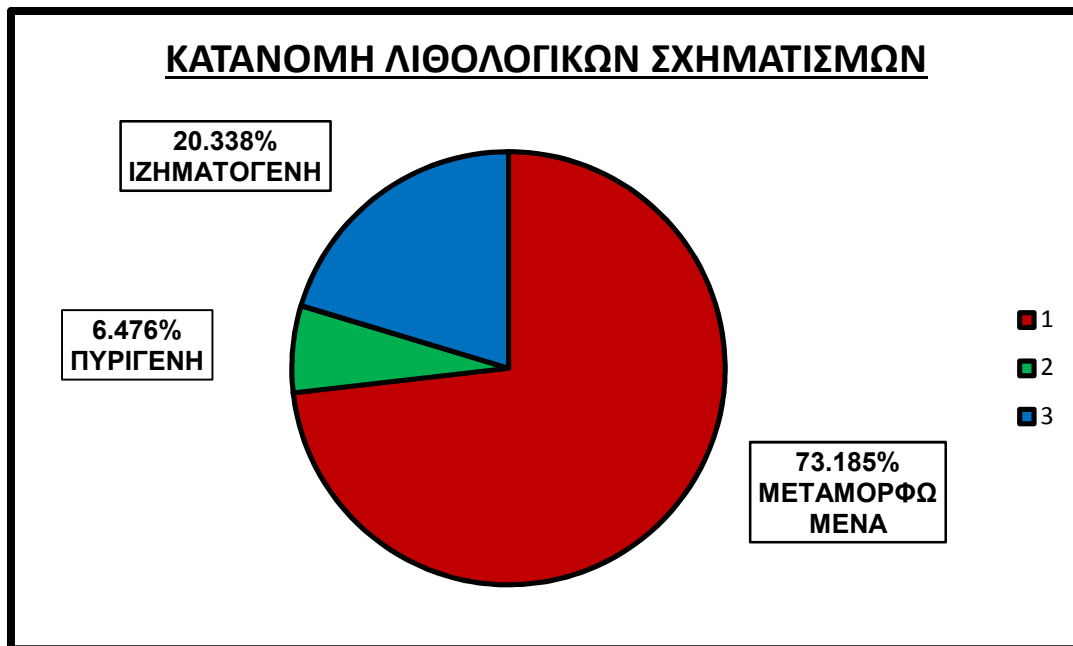
Η έκταση που καλύπτει η κάθε κατηγορία είναι η παρακάτω (Πίν. 15) :

α. Μεταμορφωμένα πετρώματα: **346.387 km² (73.185%)**,

β. Πυριγενή πετρώματα: **30.652 km² (6.476%)** και

γ. Ιζηματογενή πετρώματα: **96.261 km² (20.338%)**.

Πίνακας 15. Πίτα κατανομής λιθολογικών σχηματισμών



Ένα επιπλέον στοιχείο το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, και έχει σχέση με το είδος των πετρωμάτων, είναι ο βαθμός διήθησης και το πορώδες που παρουσιάζουν αυτοί οι σχηματισμοί και αφορά την ροή του νερού διαμέσου αυτών.

Οι ιζηματογενείς σχηματισμοί έχουν μεγάλη διηθητική ικανότητα και πορώδες και διευκολύνουν τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων από το νερό των υδάτινων σωμάτων που τους διαρρέουν, αλλά και από το νερό το οποίο χρησιμοποιείται για τις αρδεύσεις των καλλιεργειών που ευνοούνται και υπερτερούν σε αυτούς τους τύπους εδαφών, σε αντίθεση με τους πυριγενείς και μεταμορφωμένους σχηματισμούς (πλύν των περιπτώσεων που διαθέτουν δευτερογενές πορώδες λόγω διάβρωσης ή τεκτονικής καταπόνησης και επιτρέπουν την διήθηση, αλλά όχι σε μεγάλο βάθος).

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατείσδυση, και για αυτόν τον λόγο διακρίνονται οι σχηματισμοί σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους. Με βάση αυτά τα στοιχεία κατατάσσονται τα πετρώματα σε 3 κατηγορίες:

- α. Ιζηματογενή = υδροπερατά,
- β. Μεταμορφωμένα = ημιπερατά και
- γ. Πυριγενή = αδιαπέρατα.

(Αυτή η κατηγοριοποίηση είναι αυθαίρετη και υποθετική, γιατί δεν υπάρχουν στοιχεία και δεδομένα από γεωτρήσεις και έρευνες για το δευτερογενές πορώδες τους ούτε και στοιχεία για τον βαθμό διάβρωσης και τεκτονικής καταπόνησης τους και χρησιμοποιείται μόνο για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, και βασίστηκε στον Πίνακα 16, που ακολουθεί με τις τιμές του ολικού πορώδους (Καλλέργης, 1999), και στα στοιχεία του Παραρτήματος 4).

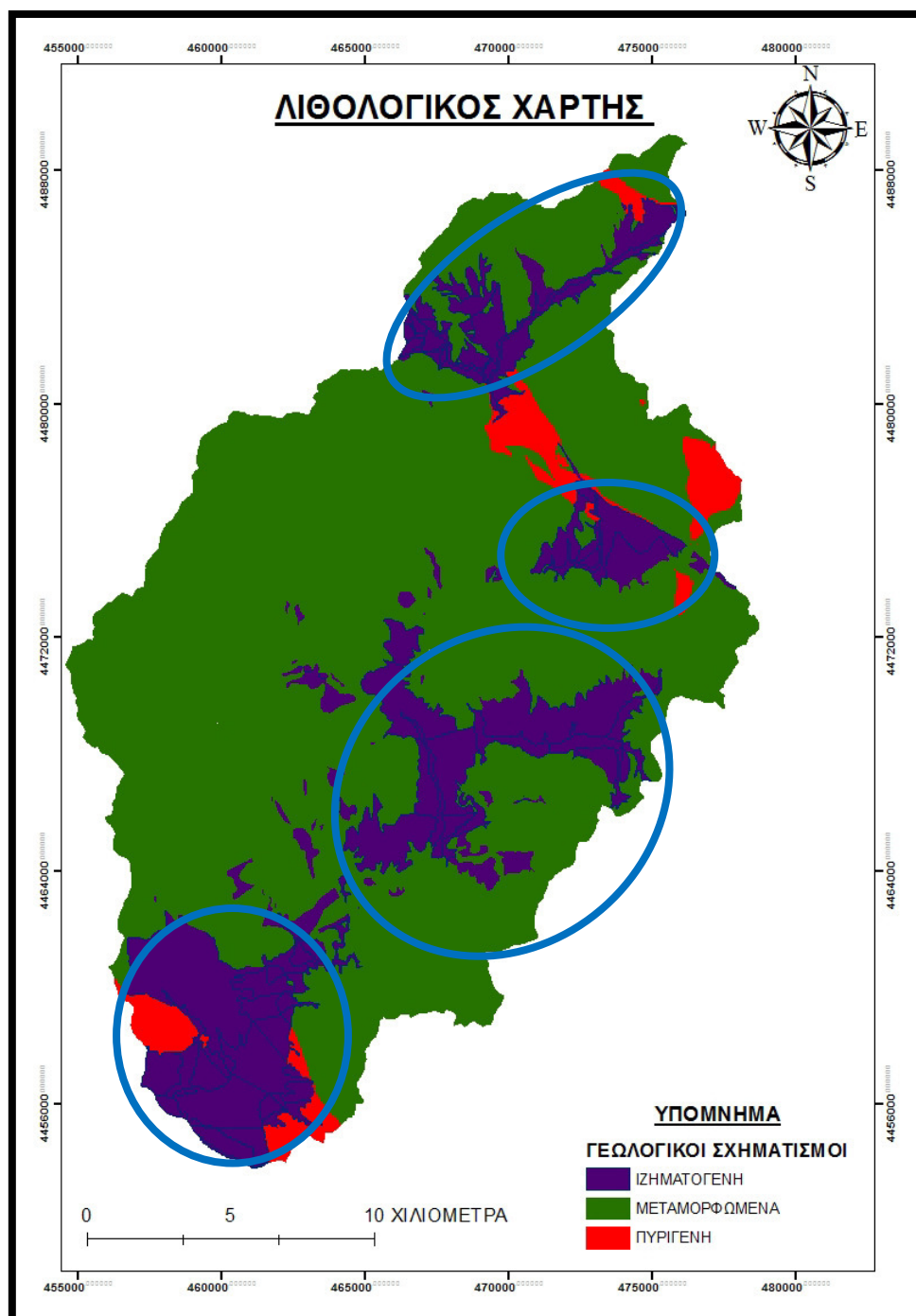
Πίνακας 16. Πίνακας τιμών ολικού πορώδους κατά Καλλέργη, 1999

Προσχώσεις	Πορώδες (%)	Ιζηματογενή Πετρώματα	Πορώδες (%)	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες (%)
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματοωμένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Ιλυόλιθοι	21-41	Μη ρωγματοωμένα	0-5
Χονδρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Ιλύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10		
Άργιλος	34-60				

Αυτό θα πρέπει να συνυπολογισθεί με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, γιατί αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα ο οποίος επηρεάζει όχι μόνο την ποσότητα του νερού που εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, αλλά συμβάλλει και στην μορφή

του υδρογραφικού μοτίβου, στην πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και σε άλλους δείκτες και παράγοντες που εξετάστηκαν παραπάνω.

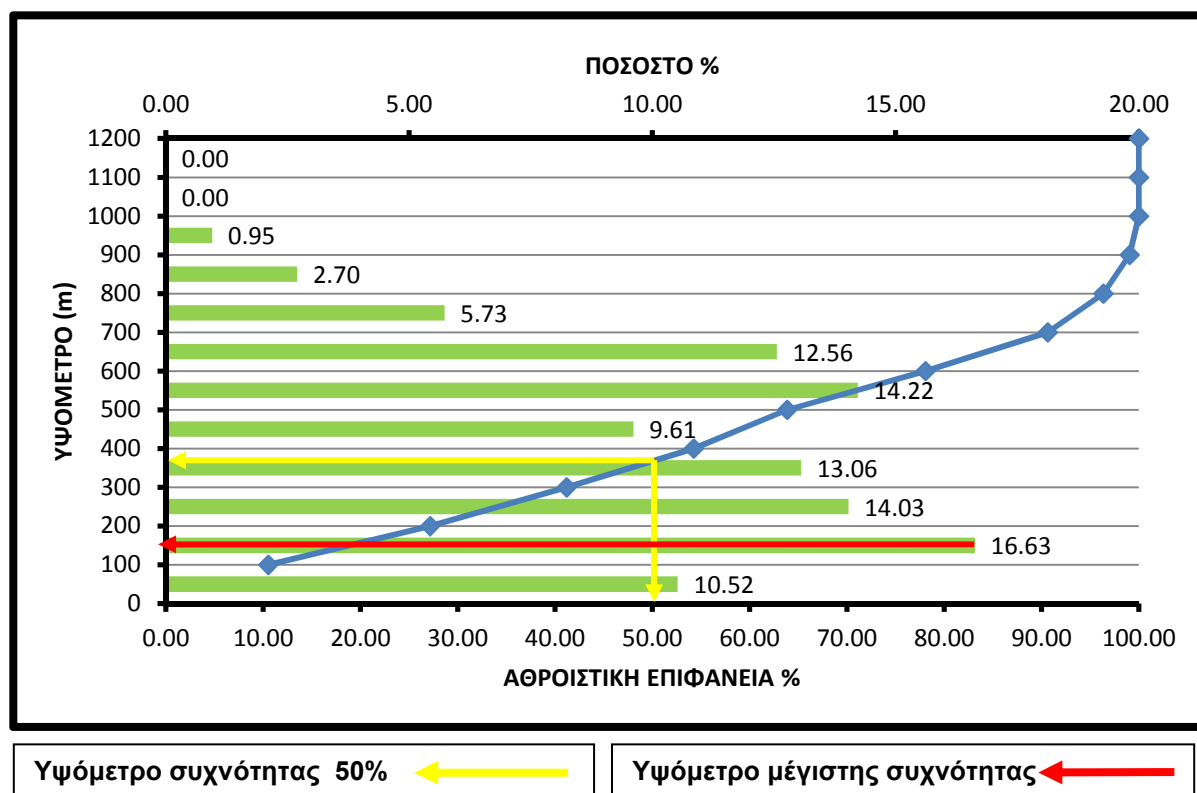
Συνυπολογίζοντας τα παραπάνω στοιχεία και δεδομένα, εντοπίσθηκαν 4 περιοχές στις οποίες λόγω της ύπαρξης ιζηματογενών πετρωμάτων, υπάρχει υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, εξαιτίας των ιδιοτήτων τους και τις μεγάλης διηθητικής ικανότητας και του υψηλού πορώδους τους (Εικ. 37).



Εικόνα 37. Λιθογραφικός χάρτης με τρεις κατηγορίες σχηματισμών

4.3 Ανάλυση Υψομετρικών Δεδομένων

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη της υψομετρίας της περιοχής από το **DEM** και από τους τοπογραφικούς χάρτες, χαράχθηκε η υψογραφική καμπύλη, που εκφράζει την κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης στα διάφορα υψόμετρα, και υπολογίζει το υψόμετρο συχνότητας **50%** (αντιστοιχεί στο **50%** της αθροιστικής επιφάνειας), που είναι **~380 m**, και το υψόμετρο μέγιστης συχνότητας (αντιστοιχεί στο υψόμετρο της επιφάνειας (μέσο) μεταξύ των **2** ισοϋψών με το μεγαλύτερο εμβαδόν), που ανέρχεται σε **150 m** (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης του Χαβρία

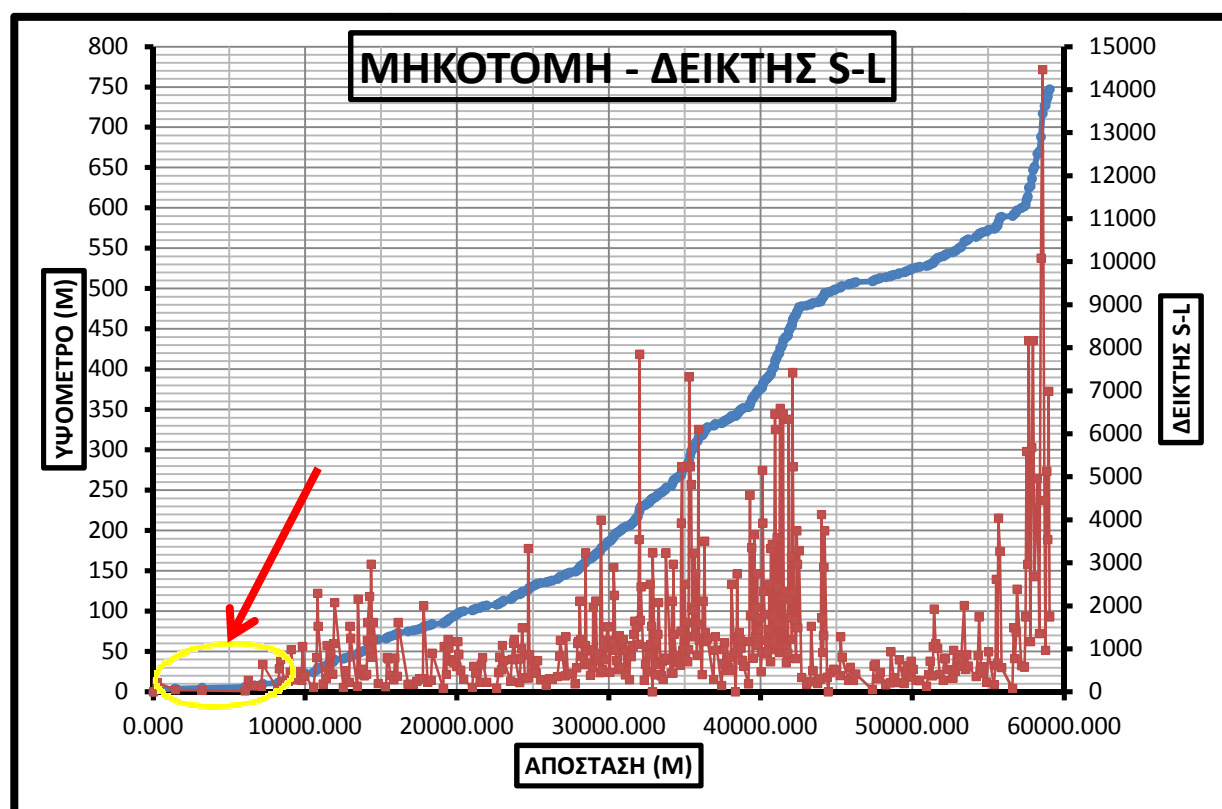
Αυτό το οποίο παρατηρείται είναι πως στο **~25%** της λεκάνης τα υψόμετρα είναι χαμηλά (**<150 m = 27.15%**), ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται στα υψόμετρα **150-600 m (50.92%)**, με τα πολύ μεγάλα υψόμετρα (**>600 m**) να συγκεντρώνουν **21.94%** (Πίν. 17).

Πίνακας 17. Πίνακας κατανομής υψομέτρων

ΥΨΟΜΕΤΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
<150 m	27.15
150-600 m	50.91
>600 m	21.94

Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκε ένας χάρτης υψομέτρων που κατανέμει τα υψόμετρα στις **3** κατηγορίες που προαναφέρθηκαν, και εντοπίζονται **2** περιοχές με υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειων υδροφορέων (Εικ. 38).

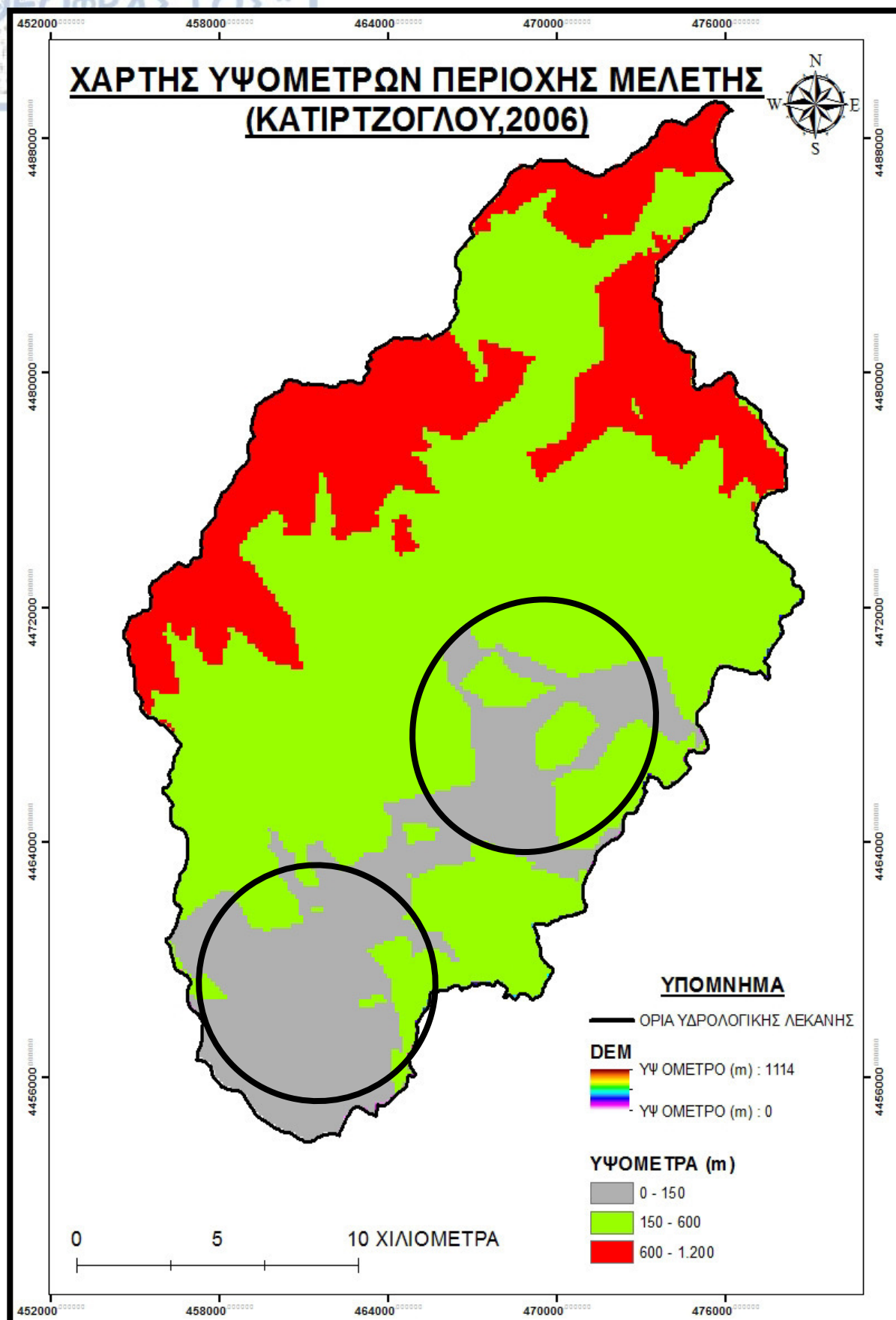
Συνδυάζοντας αυτά τα δεδομένα, καθώς επίσης και τα στοιχεία από το προφίλ της μηκοτομής σε συνδυασμό με τον δείκτη **S-L**, προσδιορίζεται η περιοχή, από το στόμιο της λεκάνης μέχρι περίπου την απόσταση των **10000 m** όπου το υψόμετρο είναι πολύ χαμηλό (**~50 m**) και οι κλίσεις είναι πάρα πολύ μικρές, και με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα και το σχήμα (βεντάλια), εικάζεται ότι πρόκειται για Δελταϊκό Ριπίδιο, το οποίο σχημάτισε ο Χαβρίας στη διάρκεια της ροής του μέσα στην λεκάνη απορροής (Σχ. 3).



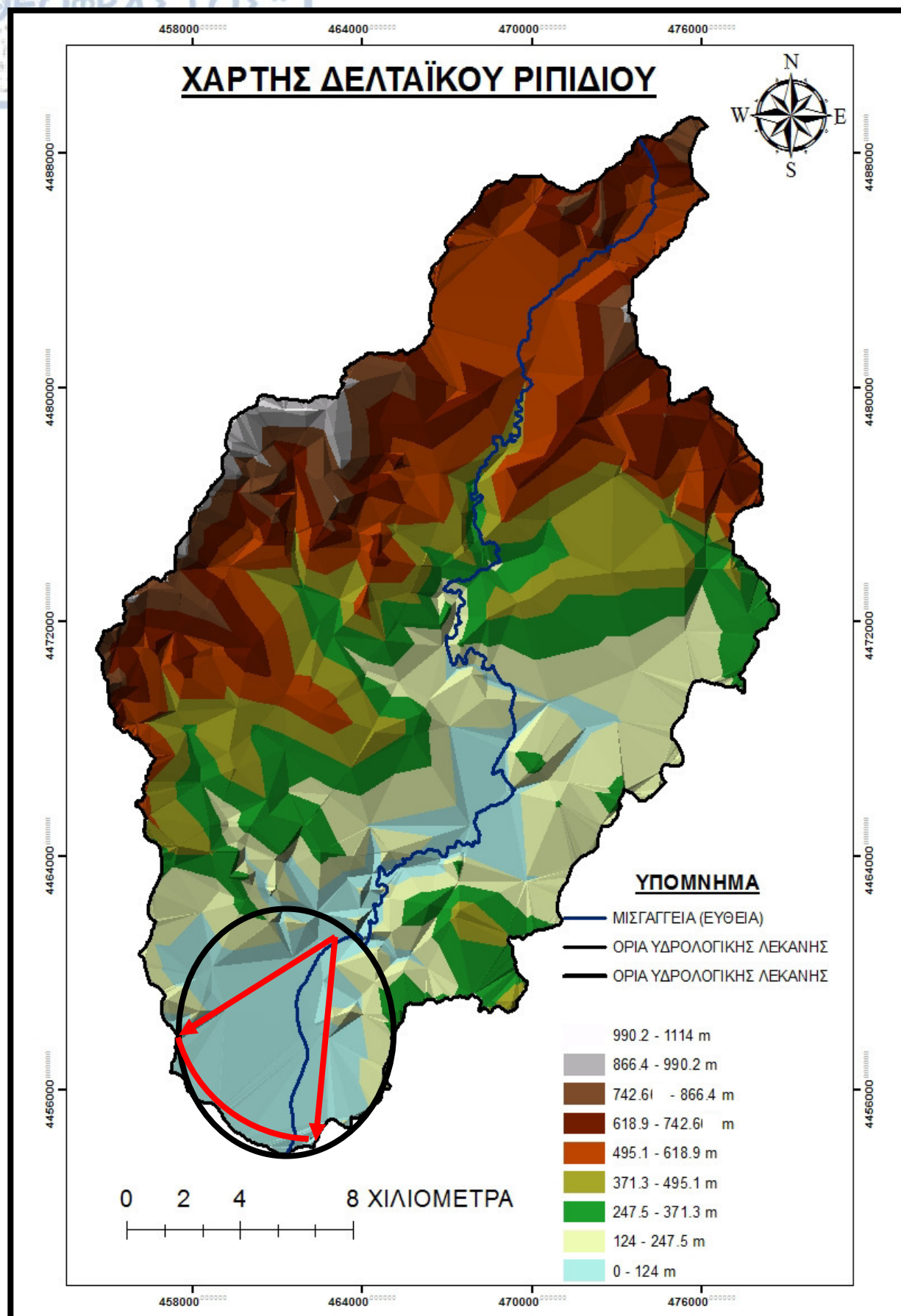
Σχήμα 3. Προφίλ μηκοτομής – δείκτης **S-L**

Η έκταση αυτού του ριπιδίου είναι **~25.45 Km²** (Εικ. 39).

Στον χώρο αυτό βρίσκεται ο οικισμός της **Ορμύλιας** και του **Βατοπεδίου**, είναι πληρωμένος από ιζήματα μεγάλου πάχους και χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική δραστηριότητα.



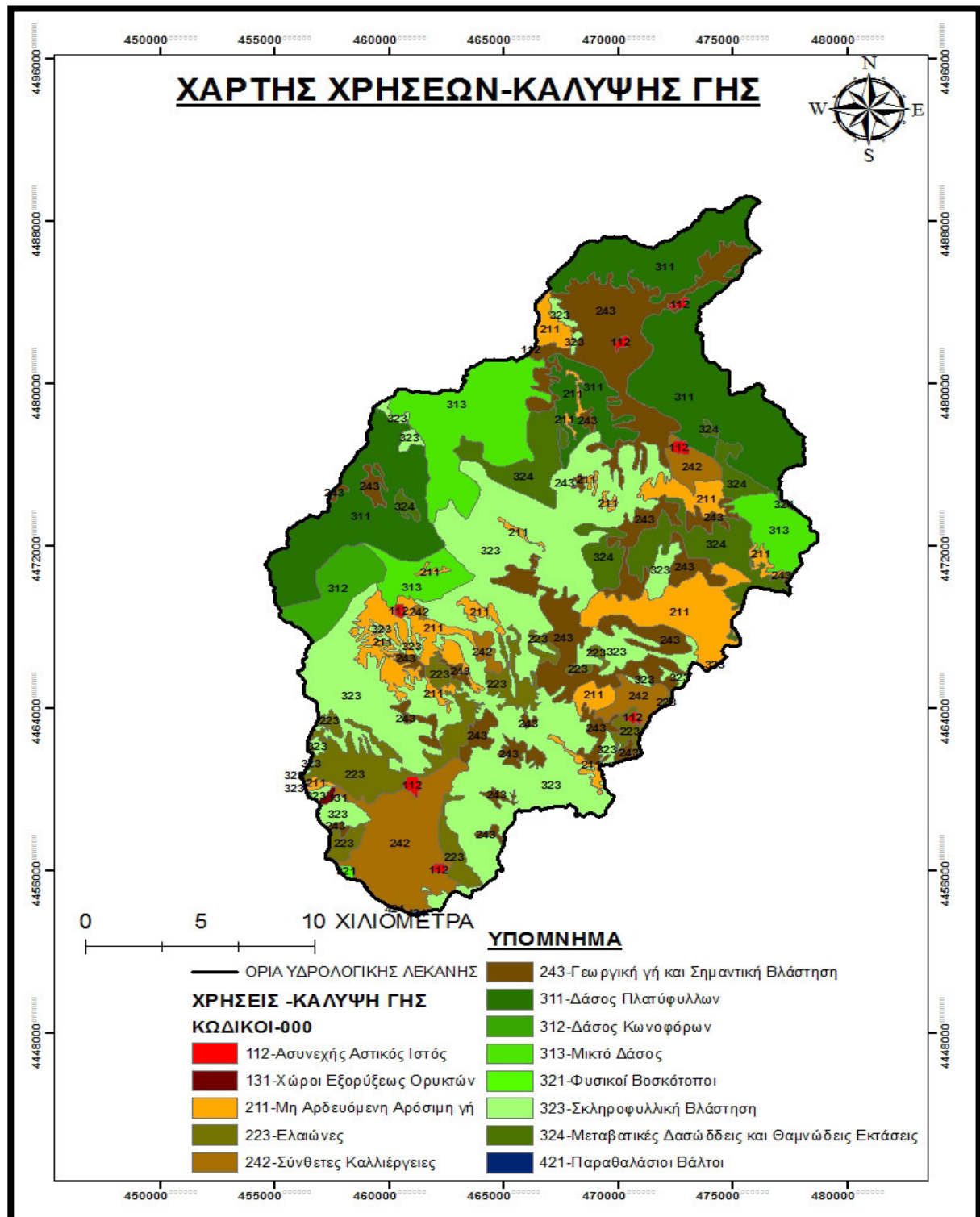
Εικόνα 38. Χάρτης κατανομής υψομέτρων (κατά Κατιρτζόγου, 2006)



Εικόνα 39. Χάρτης περιοχής δελταϊκού ριπιδίου

4.4 Ανάλυση Χρήσης/Κάλυψης γης

Με βάση το πρόγραμμα «**CORINE 2000**» η επιφάνεια της λεκάνης απορροής του Χαβρία κατανέμεται σε **4** μεγάλες γενικές κατηγορίες χρήσεων/κάλυψης του εδάφους, οι οποίες υποδιαιρούνται σε υποκατηγορίες ανάλογα με την περίπτωση (Εικ. 40).



Εικόνα 40. Χάρτης χρήσεων-κάλυψης γης

Οι κατηγορίες αυτές είναι οι παρακάτω:

α. Τεχνητές επιφάνειες (κωδ. 1) (Διακεκομμένη αστική δόμηση (κωδ. 112) – Χώροι εξόρυξης ορυκτών (κωδ. 131)), με συνολική έκταση **2.45 Km² (0.52%)**.

β. Γεωργικές περιοχές (κωδ. 2) (Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη (κωδ. 211) – Ελαιώνες (κωδ. 223) – Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (κωδ. 242) – Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (κωδ. 243)), με συνολική έκταση **155.46 Km² (32.85%)**.

γ. Δάση και ημιφυσικές περιοχές (κωδ. 3) (Δάσος πλατυφύλλων (κωδ. 311) – Δάσος κωνοφόρων (κωδ. 312) – Μικτό δάσος (κωδ. 313) – Φυσικοί βοσκότοποι (κωδ. 321) – Σκληροφυλλική βλάστηση (κωδ. 323) – Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις (κωδ. 324)), με έκταση **315.23 Km² (66.61%)**.

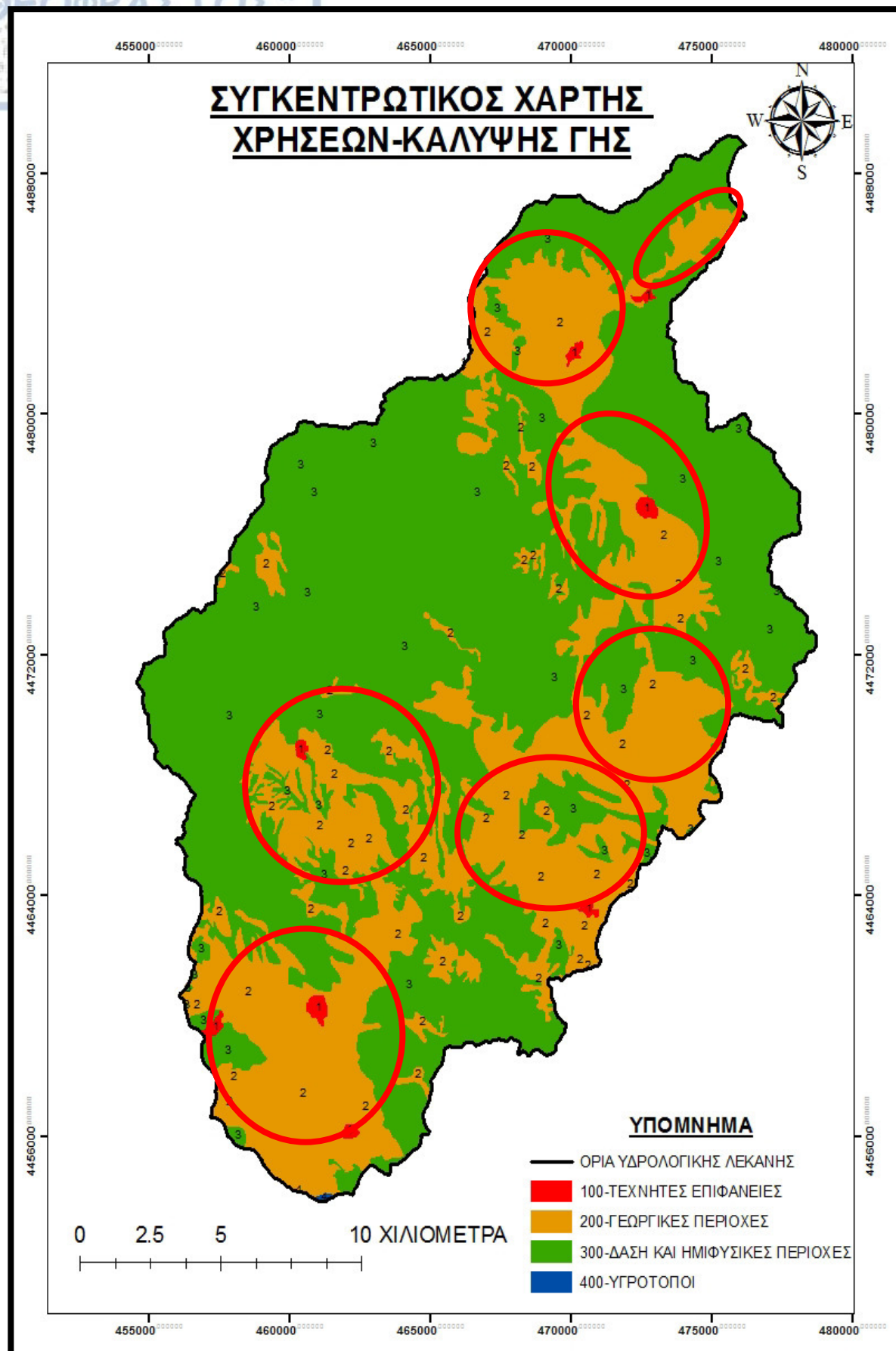
δ. Υγρότοποι (κωδ. 4) (Παραθαλάσσιοι βάλτοι (κωδ. 421)), με έκταση **0.14 Km² (0.03%)**.

Οι υποκατηγορίες ομαδοποιήθηκαν για να δημιουργηθεί ένας ενιαίος χάρτης που να απεικονίζει μόνο τις 3 γενικές κατηγορίες (οι υγρότοποι με ποσοστό 0.03%, παραλήφθηκαν διότι η θέση τους δεν επηρεάζει την ύπαρξη και εμφάνιση υδροφορίας)(Εικ. 41).

Η κατανομή των εκτάσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 18.

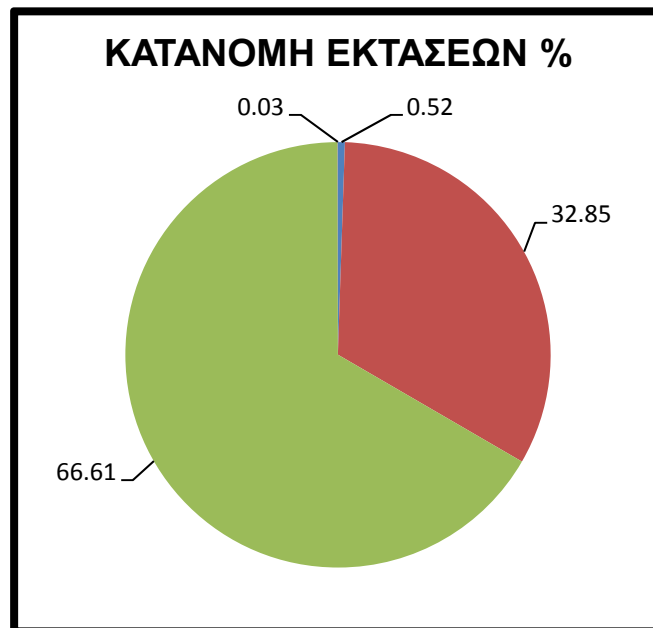
Πίνακας 18. Κατανομή εκτάσεων

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΙ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
1	100	2.45	0.52
2	200	155.46	32.85
3	300	315.23	66.61
		473.14	99.97



Εικόνα 41. Χάρτης χρήσεων-κάλυψης γης

Με βάση αυτήν την κατανομή, γίνεται φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης απορροής του Χαβρία καλύπτεται από γεωργικές και δασικές εκτάσεις. Αυτές οι περιοχές είναι κατάλληλες, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, να υποβοηθούν και να ενισχύουν την κατείσδυση του όμβριου ύδατος, αλλά και του νερού που χρησιμοποιείται από τις γεωτρήσεις για το πότισμα των καλλιεργούμενων εκτάσεων (Σχ. 4).



Σχήμα 4. Διάγραμμα κατανομής εκτάσεων

Η διαφοροποίηση που υπάρχει μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών είναι ότι τα δάση και οι περιοχές με βλάστηση εντοπίζονται στα μεσαία και μεγάλα υψόμετρα, εκεί όπου επικρατούν οι μεγάλες κλίσεις, το ύψος της βροχόπτωσης είναι μεγάλο και επικρατούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα και η μεγάλη συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου. Αντίθετα οι καλλιεργούμενες εκτάσεις βρίσκονται στα χαμηλά υψόμετρα, με μικρές κλίσεις και μικρά ύψη βροχόπτωσης, αλλά σε περιοχές ιζηματογενών πετρωμάτων, με μικρή συχνότητα και πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου. Σε ότι αφορά τις αστικές περιοχές, εκεί υπάρχει περιορισμένη κατείσδυση η οποία προέρχεται από τις απώλειες που παρατηρούνται στα δίκτυα ύδρευσης.

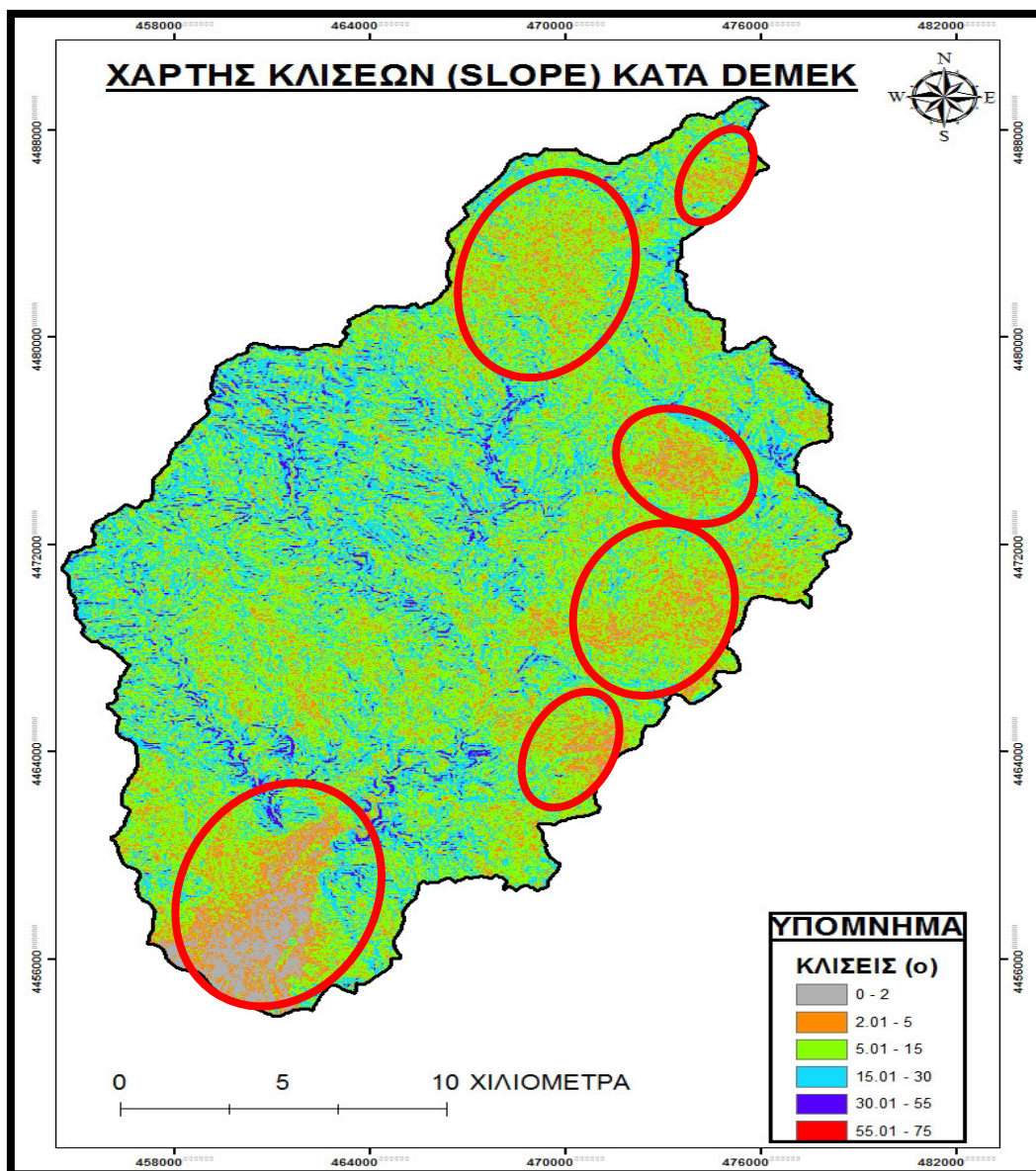
Με βάση αυτά τα δεδομένα, υπάρχουν 7 περιοχές που υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού (Εικ. 41).

4.5 Ανάλυση της Κλίσης του Ανάγλυφου (Slope)

Η ανάλυση της κλίσης του ανάγλυφου (**slope**) έγινε με την χρήση του **ArcGIS** και με την εφαρμογή της αντίστοιχης εντολής. Η κλίση μπορεί να υπολογισθεί είτε επί τοις % είτε σε μοίρες ($^{\circ}$), ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα ή τις ανάγκες της έρευνας, και η αντιστοιχία είναι **1%~0.57 $^{\circ}$** .

Για την ανάλυση της κλίσης χρησιμοποιήθηκε η εξής κατηγοριοποίηση (Demek, 1972)(Εικ. 42),

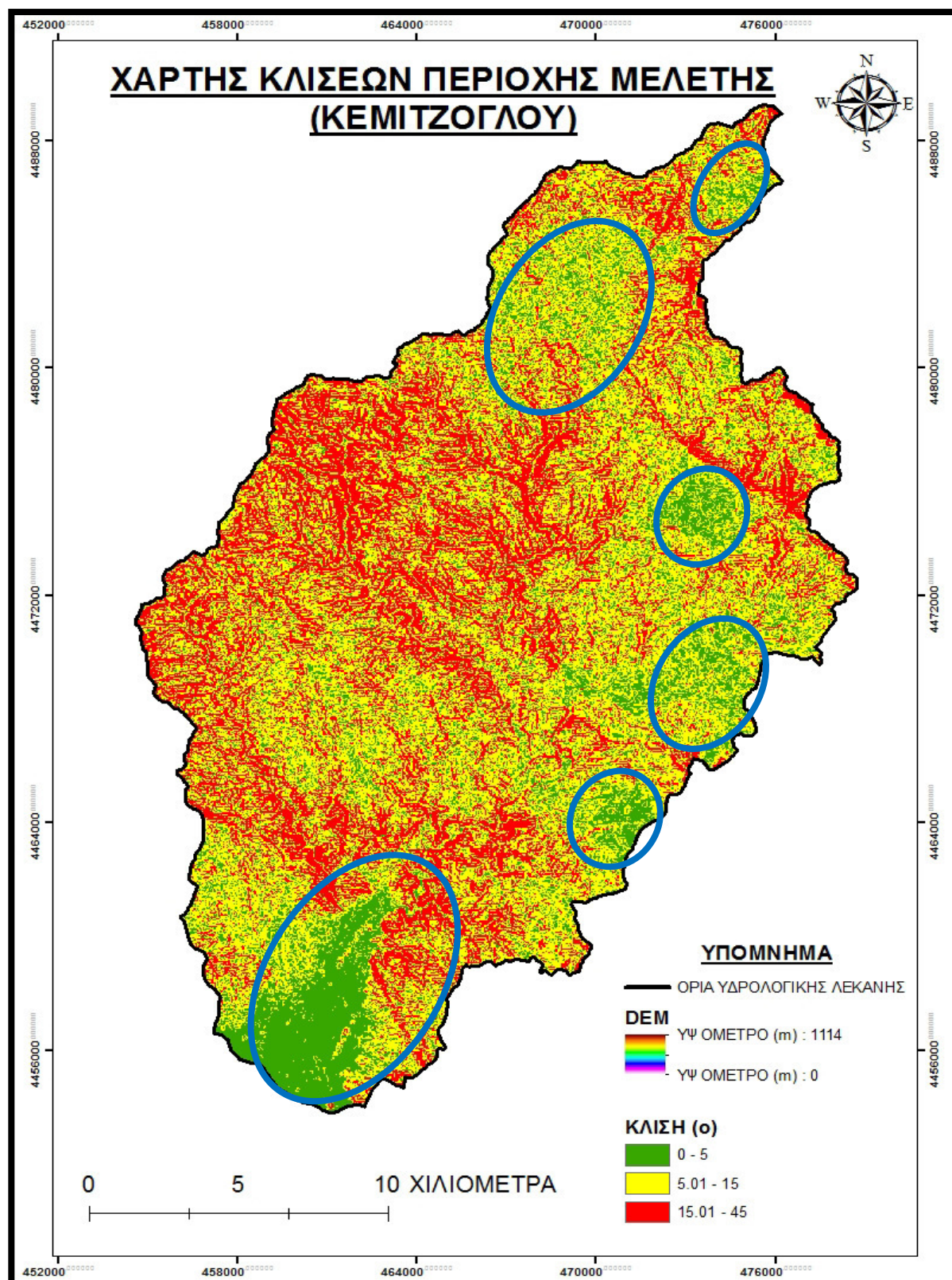
0-2 $^{\circ}$ (0-3.5%), 2-5 $^{\circ}$ (3.5-8.7%), 5-15 $^{\circ}$ (8.7-26.8%), 15-35 $^{\circ}$ (26.8-70%), 35-55 $^{\circ}$ (70-135%), >55 $^{\circ}$ (>135%),



Εικόνα 42. Χάρτης κλίσεων ανάγλυφου κατά Demek, 1972

η οποία τροποποιήθηκε (Κεμιτζόγλου, 2006)(Εικ. 43),

0-5° (0-8.74%), 5-15° (8.74-26.79%), >15° (>26.79%)



Εικόνα 43. Χάρτης κλίσεων ανάγλυφου κατά Κεμιτζόγλου, 2006

για να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη η διαφοροποίηση και η ανάδειξη των μεταβολών.

Με βάση αυτήν την κατηγοριοποίηση έχουμε **επίπεδα – ελαφρά κεκλιμένα, ισχυρώς κεκλιμένα και απότομα – κάθετα** εδάφη.

(Υπάρχει και η κατηγοριοποίηση της μορφολογικής κλίσης σύμφωνα με την οποία έχουμε τις εξής ομάδες:

$<3^\circ$ (2-5%) = Ανεπαίσθητη

$3-10^\circ$ (5-17%) = Ομαλή

$11-20^\circ$ (18-35%) = Απότομη

$21-35^\circ$ (36-70%) = Πολύ απότομη

$36-45^\circ$ (71-100%) = Δύσβατη

$>45^\circ$ ($>100\%$) = Απόκρημνη

και η οποία εξετάσθηκε σε προηγούμενη ενότητα (3.2.4.12)).

Στον χάρτη των κλίσεων κατά Demek, 1972 και κατά Κεμιτζόγλου, 2006 (Εικ. 43) προσδιορίζονται **6** περιοχές στις οποίες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης υπόγειων υδροφόρων σωμάτων, με βάση τα χαρακτηριστικά και την επίδραση της κλίσης στην διαμόρφωση υπόγειων υδροφορέων και στην τροφοδοσία τους.

4.6 Ανάλυση του Υδρογραφικού Δικτύου

Για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν **2** παράγοντες οι οποίοι έχουν άμεση σχέση με τον αριθμό και το μήκος των κλάδων των **3** πρώτων τάξεων (**1^η** , **2^η** και **3^η** τάξη κλάδων), και είναι η υδρογραφική συχνότητα και πυκνότητα.

Χρησιμοποιήθηκαν οι **3** πρώτες τάξεις, γιατί αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο ποσοστό μήκους και αριθμού κλάδων στο σύνολο της λεκάνης, και γιατί είναι αυτές οι τάξεις που καθορίζουν το μοτίβο του υδρογραφικού δικτύου και δείχνουν το αν έχουμε κατείσδυση ή όχι σε μια λεκάνη, σε συνδυασμό με την λιθολογία , τις κλίσεις και την χρήση/κάλυψη της περιοχής.

Στην συχνότητα του υδρογραφικού δικτύου, η οποία δίνεται από την σχέση $F_s = \Sigma Nu/A$, στις **3** πρώτες τάξεις κλάδων αντιστοιχεί το **98.7%** του συνολικού αριθμού των κλάδων ($1^{\text{η}} = 3493$ ή **75.92%**, $2^{\text{η}} = 846$ ή **18.39%**, $3^{\text{η}} = 202$ ή **4.39%**) όλης της λεκάνης απορροής (**4541** κλάδοι στους **4601**).

Με βάση αυτά τα στοιχεία δημιουργήθηκε ένας χάρτης συχνότητας του υδρογραφικού δικτύου για τις **3** αυτές τάξεις (Παράρτημα 5).

Στον χάρτη αυτό εντοπίζονται **6** πιθανές περιοχές για την ύπαρξη υδροφόρων σωμάτων.

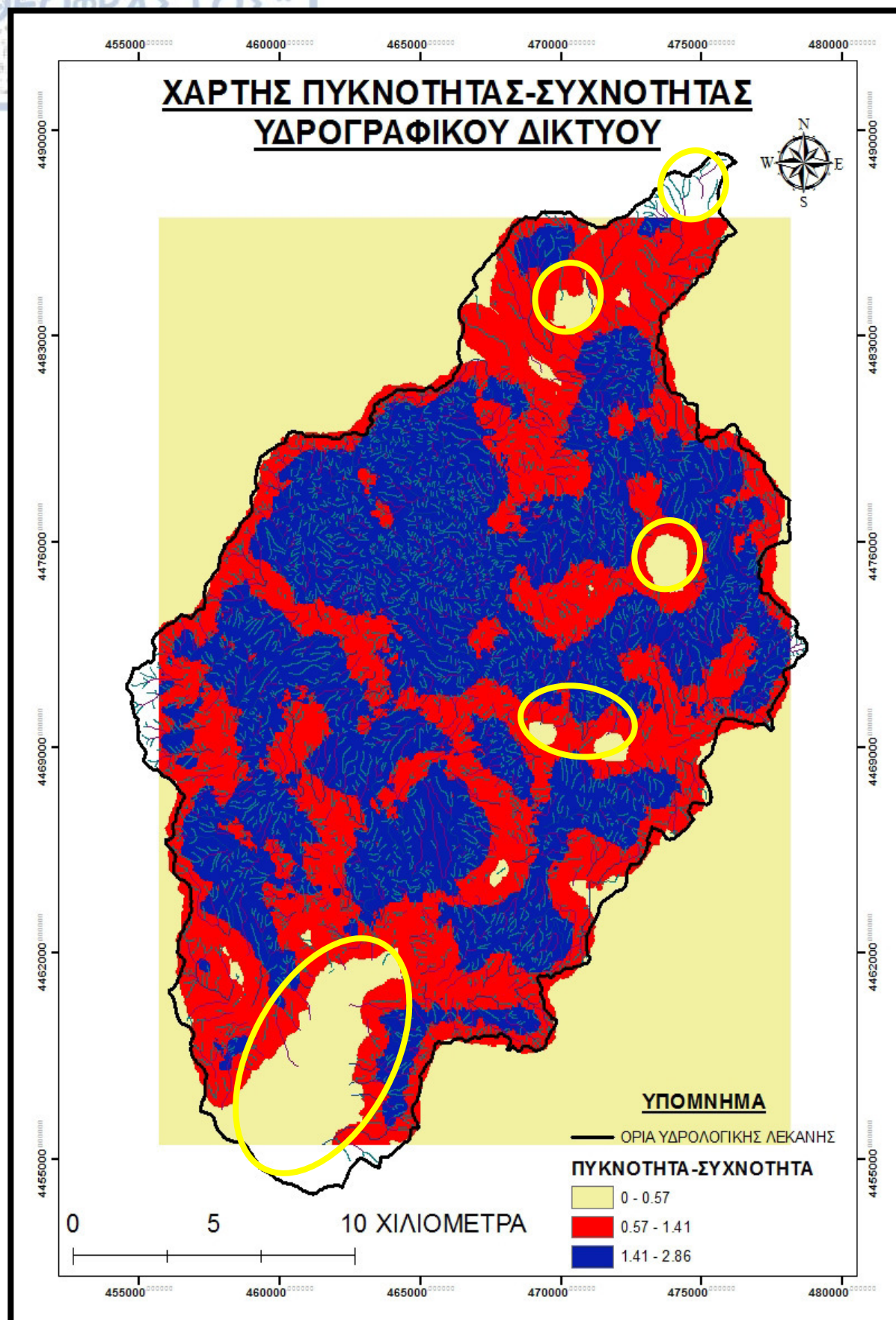
Στην πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, η οποία δίνεται από την σχέση $Dd = Lu/A$, στις **3** πρώτες τάξεις κλάδων αντιστοιχεί το **87.45%** του συνολικού μήκους των κλάδων ($1^{\text{η}} = 838.8 \text{ Km}$ ή **50.42%**, $2^{\text{η}} = 399.7 \text{ Km}$ ή **24.03%**, $3^{\text{η}} = 216.4 \text{ Km}$ ή **13%**) όλης της λεκάνης απορροής (**1454.9 Km** στα **1663.6**).

Με βάση αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκε ένας χάρτης πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου για τις **3** αυτές τάξεις (Παράρτημα 6).

Στον χάρτη αυτό προσδιορίζονται **6** πιθανές περιοχές για την ύπαρξη υδροφορίας.

Συνδυάζοντας αυτούς τους **2** χάρτες, και χρησιμοποιώντας τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας (**0.5**), δημιουργήθηκε ένας τελικός χάρτης που συνδυάζει την συχνότητα και την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (Εικ. 44).

Στον χάρτη αυτό οι περιοχές στις οποίες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας είναι **5**.



Εικόνα 44. Χάρτης πυκνότητας – συχνότητας υδρογραφικού δικτύου

4.7 Ανάλυση Δείκτη S-L (Stream Length Gradient Index)

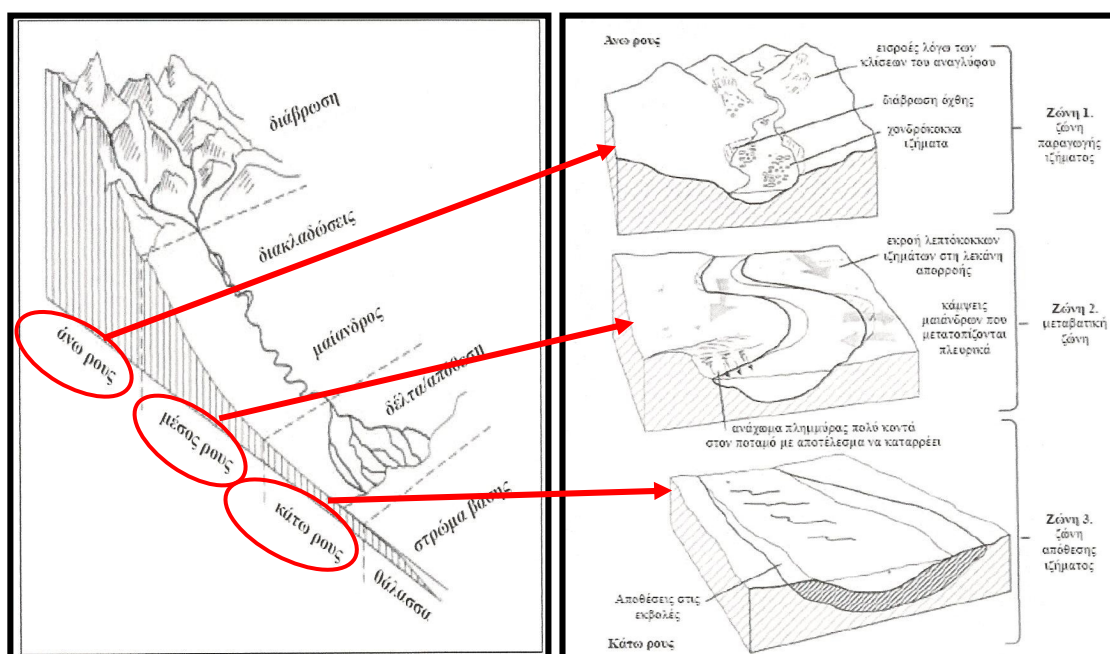
Το κάθε υδάτινο ρεύμα διαιρείται σε **3** τμήματα που διαμορφώνουν τα κύρια χαρακτηριστικά του, όπως είναι η ταχύτητα ροής, η κλίση, η ικανότητα διάβρωσης, η μεταφορική ικανότητα, η απόθεση των μεταφερόμενων υλικών, η δημιουργία μαιανδρισμών κ.α (Εικ. 45).

Τα τρία αυτά τμήματα είναι:

α. Ο **άνω ρους**, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες κλίσεις, την μεγάλη ταχύτητα ροής, την έντονη διάβρωση και δημιουργία ανάγλυφου και την μεγάλη μεταφορά χονδρόκοκκων ιζημάτων προς τα κατάντη.

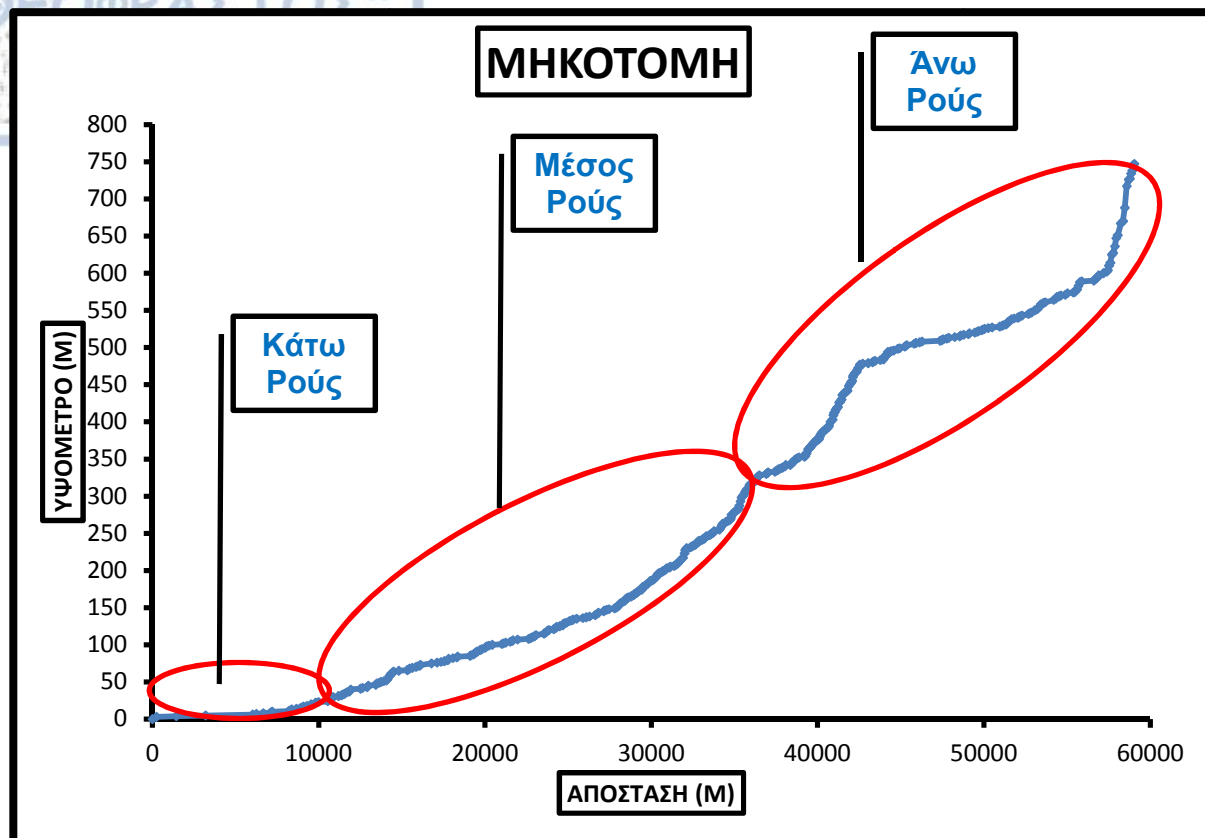
β. Ο **μέσος ρους**, που χαρακτηρίζεται από μέσες - ήπιες κλίσεις, την παρουσία μαιανδρισμών, τις μέσες ταχύτητες ροής, την διάβρωση των πλευρικών τοιχωμάτων των όχθων και την μεταφορά λεπτόκοκκων ιζημάτων.

γ. Ο **κάτω ρους**, που χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές κλίσεις, μικρή ταχύτητα ροής, την δημιουργία δέλτα (δελταϊκό ριπίδιο) από την απόθεση των μεταφερόμενων ιζημάτων και την εισροή του ύδατος στην θάλασσα ή σε λίμνη (επίπεδο βάσης).



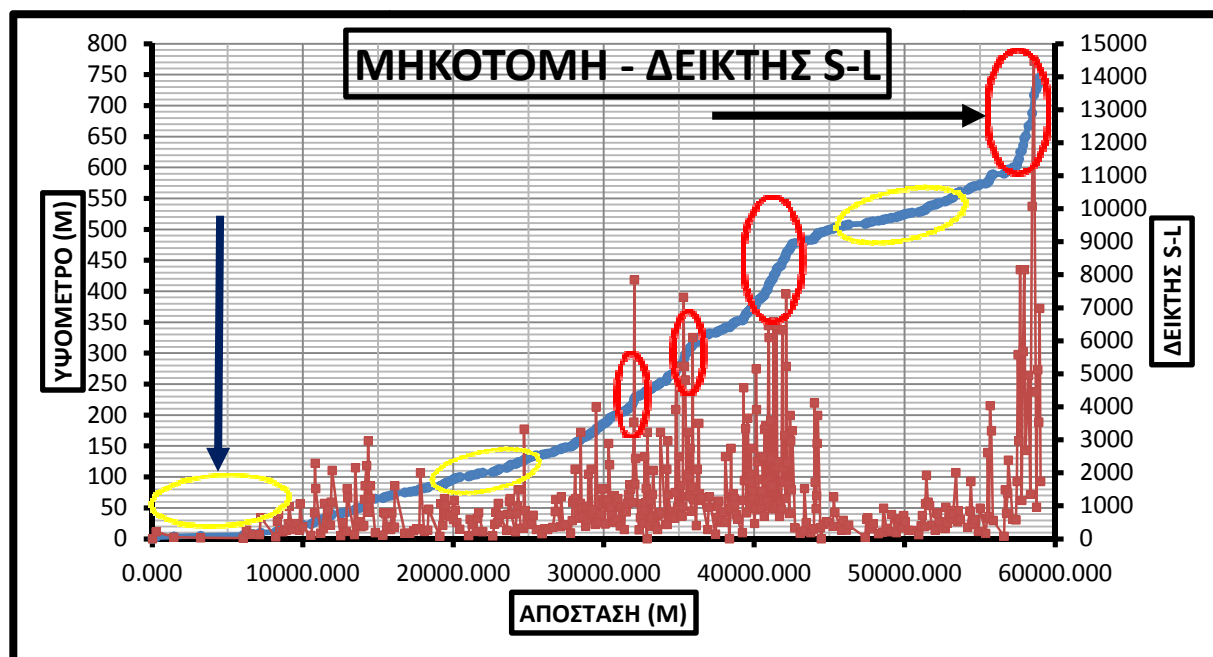
Εικόνα 45. Διάρθρωση και κατανομή ενός ρέματος
(Nachtnebel et al, 1991; Ward et al, 1994)

Για τον Χαβρία η κατανομή αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5 .



Σχήμα 5. Διάρθρωση – κατανομή Χαβρία

Σε ότι αφορά τον δείκτη **S-L**, η μεταβολή στην κοίτη του πυθμένα του ποταμού αντανακλά την ύπαρξη ή όχι τεκτονικής δραστηριότητας και την διαμόρφωση μιας κατάστασης ισορροπίας (Εικ. 46).



Εικόνα 46. Συντελεστής **S-L**

Αυτό το οποίο παρατηρείται στην προβολή του δείκτη **S-L** είναι η ύπαρξη περιοχών με έντονη υψομετρική διαφοροποίηση, κάτι το οποίο αντανακλάται στις κλίσεις και στην μεταβολή του δείκτη, και περιοχές στις οποίες η υψομετρική διαφορά είναι αμελητέα με την αντίστοιχη διαφοροποίηση των κλίσεων και του δείκτη (σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή των αποστάσεων της μηκοτομής που εξετάζονται, γιατί αντίστοιχα μεταβάλλονται και διαφοροποιούνται τα υψόμετρα, οι κλίσεις και ο δείκτης **S-L** (παρ. 3.2.4.16)).

Με βάση αυτήν την παραδοχή, παρατηρείται η ύπαρξη **4** περιοχών με έντονη διαφοροποίηση και **3** περιοχών με πολύ μικρή (ειδικά στο ανώτερο τμήμα της μηκοτομής, είναι έντονη η μεταβολή των υψομέτρων και των κλίσεων με αποτέλεσμα και ο δείκτης **S-L** να παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες περιοχές, γεγονός το οποίο ίσως έχει άμεση σχέση και συνδέεται με την τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής και την ύπαρξη ενός ενεργού ρήγματος μεταξύ των χ. Παλαιοχώρι – Νεοχώρι (παρ. 2.4)).

Μια ανάλυση της μισγάγγειας δείχνει την κατανομή του μήκους της στα διάφορα υψόμετρα και παρέχει πληροφορίες για τις κλίσεις και την υψομετρική μεταβολή (Πίν. 19).

Πίνακας 19. Ανάλυση μισγάγγειας

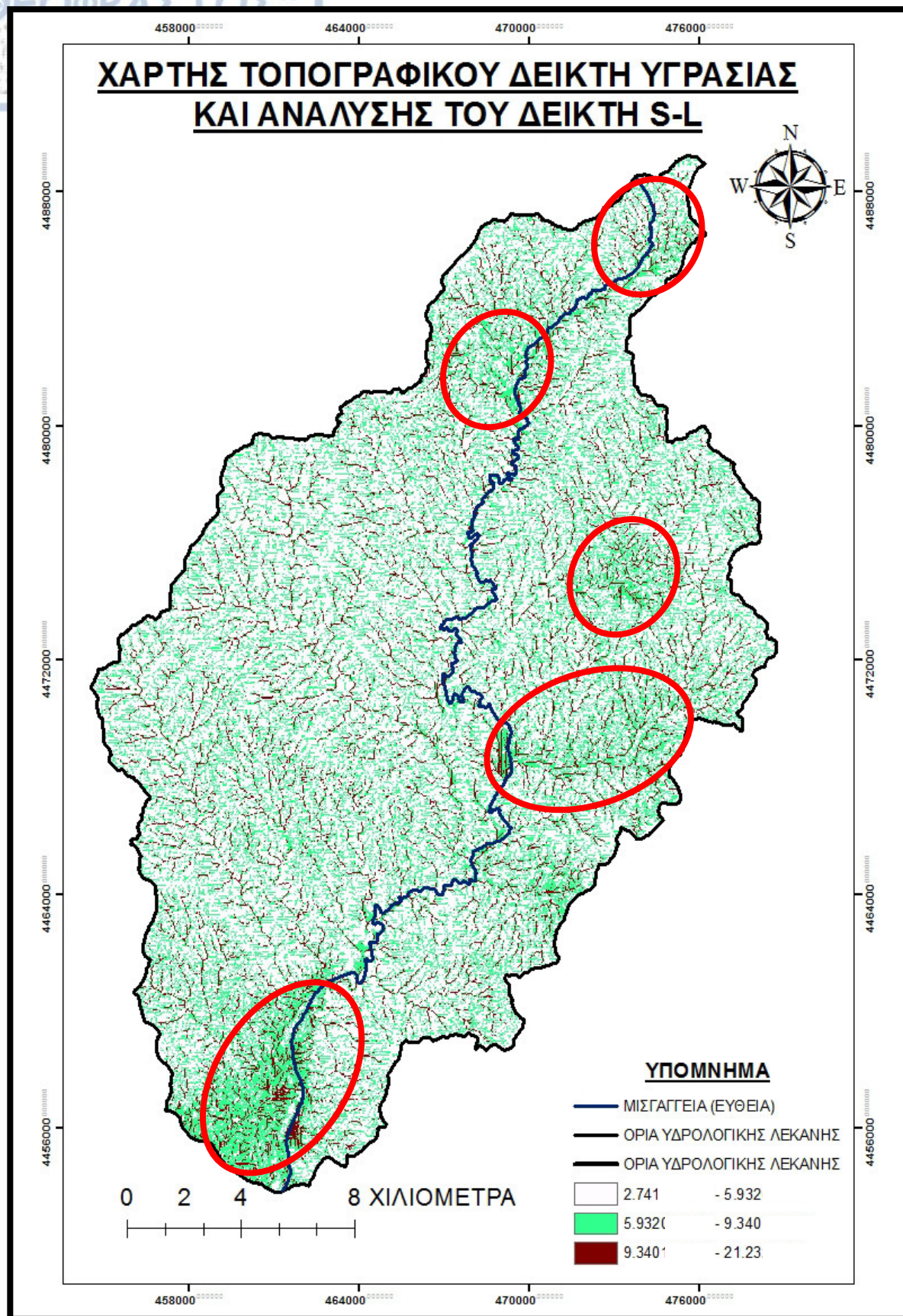
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΜΗΚΟΣ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ (Km)	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΚΛΙΣΗ (%)	ΜΟΙΡΕΣ (°)
0-100	20.34	34.6	0.49	0.28
100-200	10.35	17.53	0.97	0.55
200-300	4.7	7.96	2.13	1.21
300-400	5.29	8.96	1.89	1.08
400-500	4.28	7.25	2.34	1.33
500-600	12.13	20.55	0.82	0.47
600-700	1.33	2.25	7.52	4.29
700-745	0.53	0.9	8.5	4.84
	59.04	100	1.26	0.72

Η μέση απόσταση της μισγάγγειας (**29520 m**) αντιστοιχεί σε υψόμετρο **178.5 m**, δηλ. το **50%** της μισγάγγειας βρίσκεται σε χαμηλά υψόμετρα και με μικρή μέση κλίση (**0.6% ή 0.34°**).

Τέλος στις περιοχές **0~7500 m**, **18500~25000 m** και **45500~54500 m**, η μεταβολή του υψομέτρου είναι πολύ μικρή, με κυριότερη αυτή που αντιστοιχεί στο δέλτα του ποταμού (δελταϊκό ριπίδιο) και βρίσκεται στο στόμιο του ποταμού (Εικ. 45-46).

Ταυτόχρονα με την ανάλυση του δείκτη **S-L** χρησιμοποιήθηκε και ο **τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (Topographic Wetness Index)**, ένας δείκτης που καταδεικνύει και περιγράφει την επίδραση που έχει η τοπογραφία στο πως κατανέμεται η υγρασία του εδάφους στην εξεταζόμενη περιοχή (Beven and Kirby, 1979). Βασικός παράγοντας που ρυθμίζει την συμπεριφορά του νερού στο έδαφος και στην κατανομή του είναι η τοπογραφία, και όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της λεκάνης απορροής και όσο μικρότερη είναι η γωνία κλίσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που παίρνει ο δείκτης, κάτι το οποίο υποδεικνύει ότι το βάθος του υδροφορέα είναι πολύ μικρό. Συνεπώς είναι αναμενόμενο να εντοπίζονται περιοχές με υγρό έδαφος.

Στον χάρτη που ακολουθεί έχουν προσδιορισθεί οι περιοχές με τον μεγαλύτερο τοπογραφικό δείκτη υγρασίας, και σε συνδυασμό με την ανάλυση του δείκτη **S-L**, μπορεί να θεωρηθούν και οι πιο ελπιδοφόρες και πιθανές για την ύπαρξη υπόγειων υδροφόρων σωμάτων (Εικ. 47).



Εικόνα 47. Χάρτης ανάλυσης δείκτη S-L

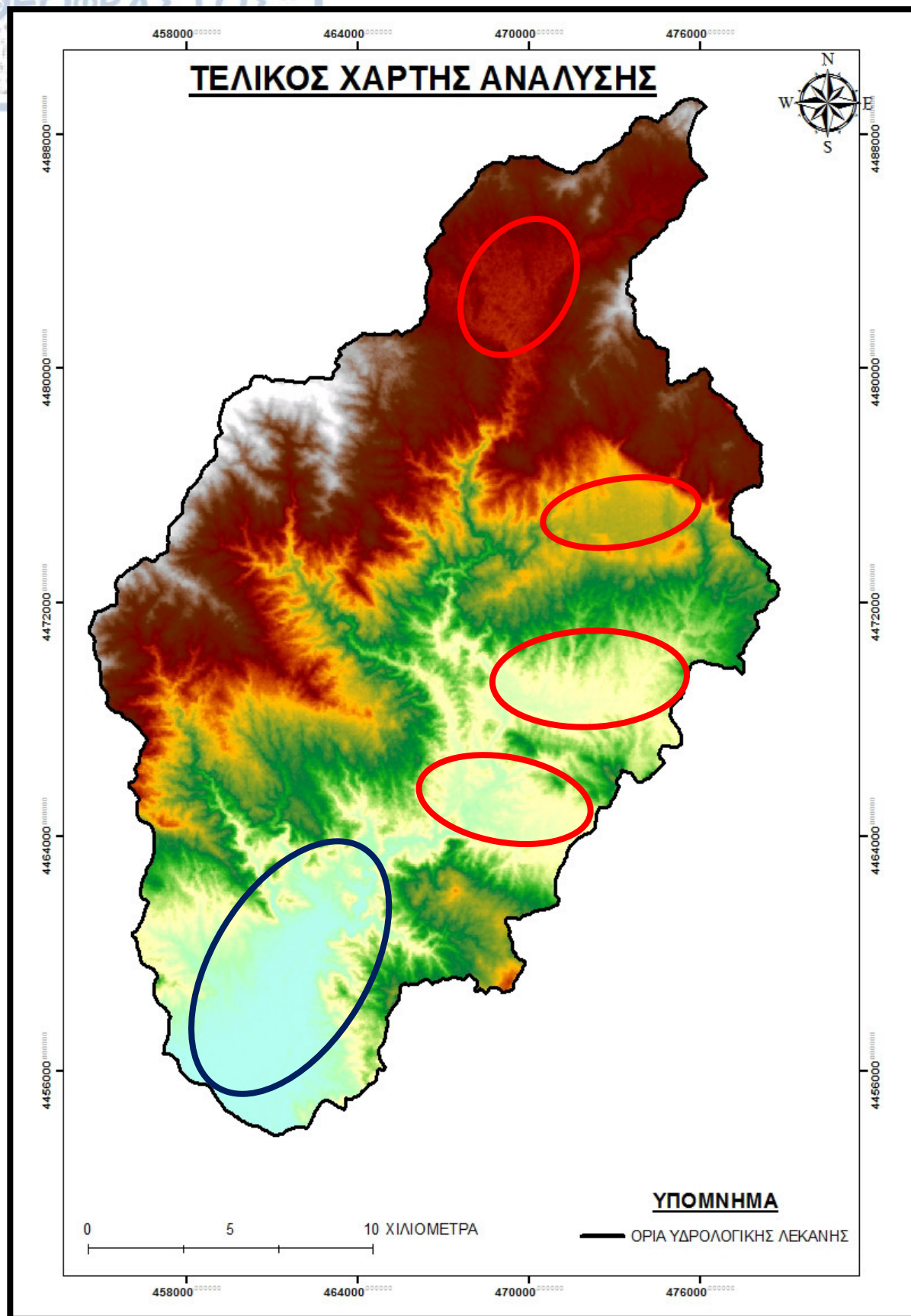
4.8 Αποτελέσματα Επεξεργασίας Στοιχείων – Δεδομένων

Με βάση τα στοιχεία και τα δεδομένα από τις προηγούμενες αναλύσεις των γεωμορφολογικών δεικτών και παραγόντων, και συνδυάζοντάς τους χάρτες που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία τους, προέκυψε ένας τελικός χάρτης στον οποίο αποτυπώνονται οι περιοχές με την συχνότερη εμφάνιση και οι οποίες είναι οι πιο πιθανές περιοχές ύπαρξης υπόγειου νερού (Εικ. 48).

Οι περιοχές αυτές συνδυάζουν τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεικτών και παραγόντων της γεωμορφολογικής ανάλυσης και άλλων στοιχείων και δεδομένων, τα οποία συμβάλλουν στην διαμόρφωση της λεκάνης απορροής του Χαβρία, και ο ρόλος τους είναι σημαντικός στην εξέλιξη και τελική μορφή της κοίτης και της ροής του ποταμού.

Στον τελικό χάρτη εμφανίζονται **5** περιοχές με υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού, με βάση τη συλλογιστική που εφαρμόσθηκε στην παρούσα διατριβή.

Η περιοχή η οποία προσελκύει το ενδιαφέρον είναι αυτή η οποία αντιστοιχεί στο δελταϊκό ριπίδιο του Χαβρία. Στην περιοχή αυτή κυριαρχούν τα ιζηματογενή πετρώματα λόγω της διάβρωσης των πυριγενών και μεταμορφωμένων και της μεταφοράς των υλικών από τον ποταμό προς το δέλτα, στις εκβολές του και στο χώρο επαφής του με την θάλασσα. Επίσης στον συγκεκριμένο χώρο κυριαρχούν οι εκτάσεις με καλλιέργειες, το ύψος της βροχόπτωσης μπορεί να είναι μικρό αλλά ο Χαβρίας με την μεταφορά του όμβριου ύδατος από τα υψηλότερα σημεία προς το βασικό επίπεδό του, κυρίως μέσω της βασικής του κοίτης, συμβάλλει στην τροφοδοσία των οποιοδήποτε υδροφόρων σωμάτων της περιοχής. Τέλος τα χαμηλά υψόμετρα με τις μικρές κλίσεις και τον υψηλό τοπογραφικό δείκτη υγρασίας συμβάλλουν και αυτά στην κατείσδυση του νερού προς τα υδροφόρα σώματα.

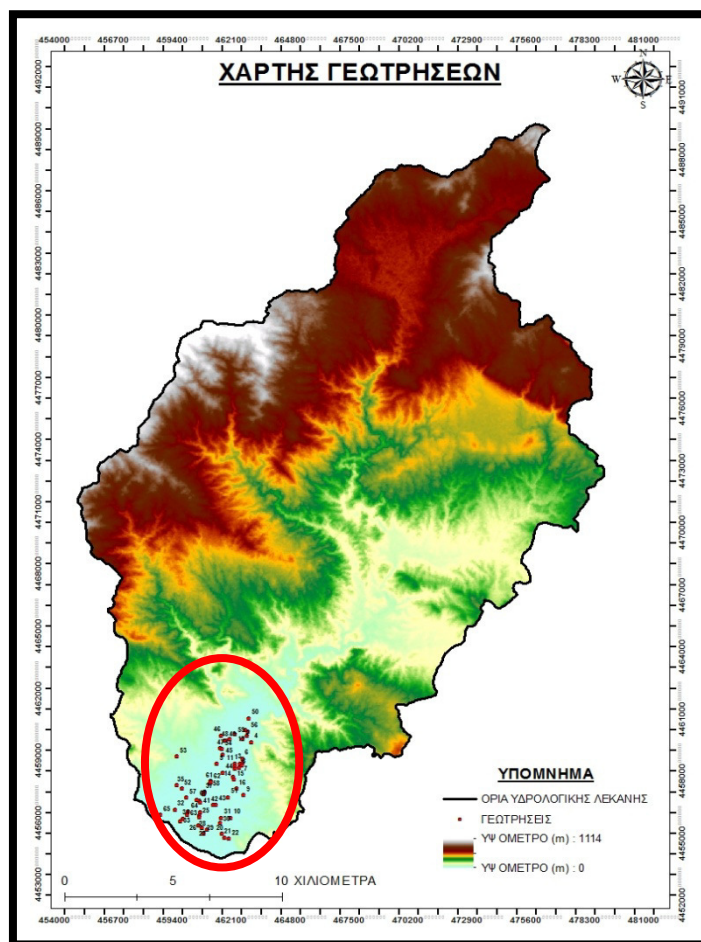


Εικόνα 48. Τελικός χάρτης πιθανών περιοχών για ύπαρξη υπόγειου νερού

4.9 Παρατηρήσεις Υπαίθρου και Αντιπαραβολή – Έλεγχος Αξιοπιστίας με τα Θεωρητικά Δεδομένα

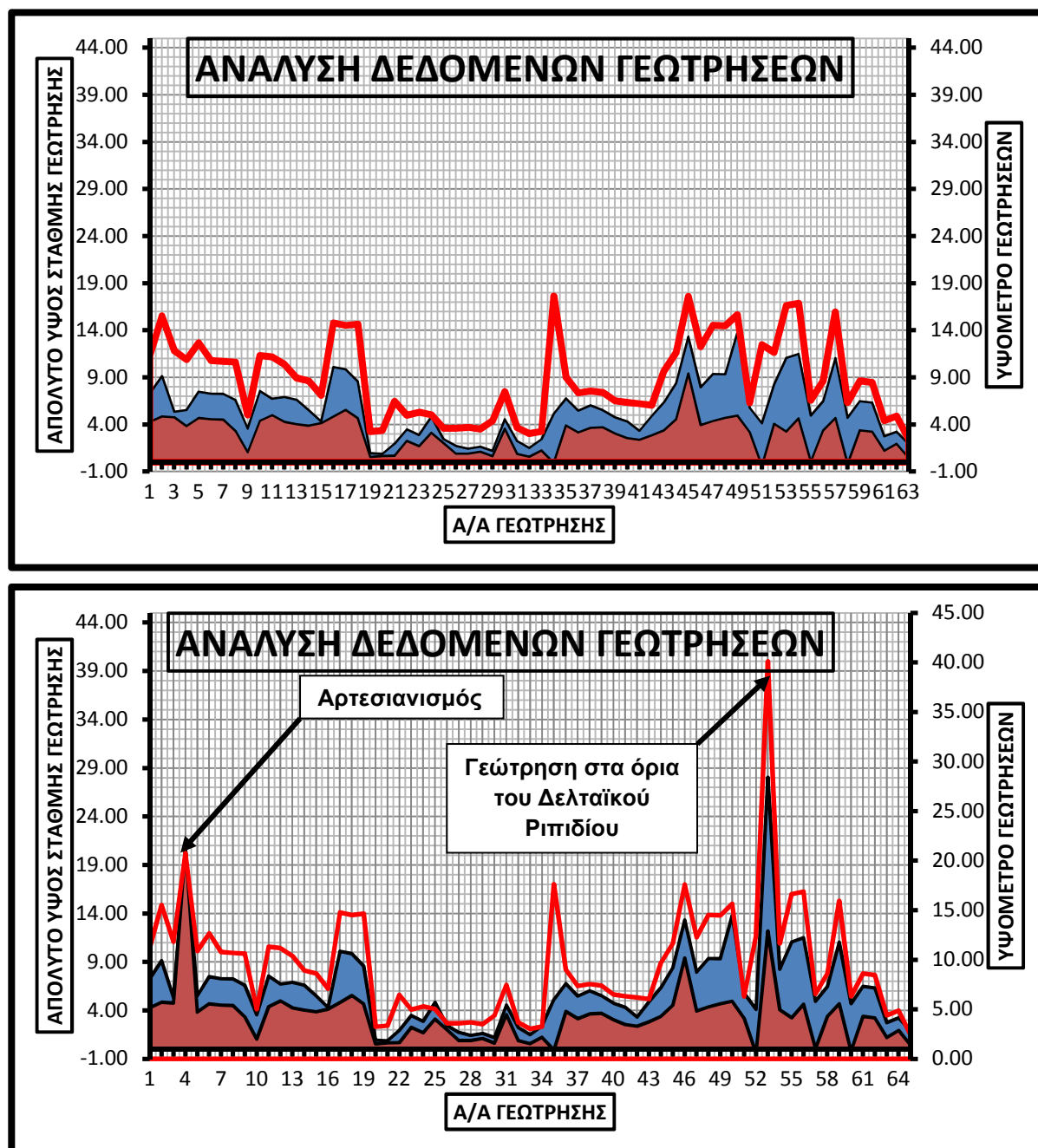
Για την συσχέτιση και επαλήθευση των θεωρητικών στοιχείων και δεδομένων της μελέτης, επιλέχθηκε ως περιοχή έρευνας υπαίθρου το δελταϊκό ριπίδιο του Χαβρία (Εικ. 48). Για τον σκοπό αυτό ερευνήθηκε η περιοχή, η οποία διαθέτει μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων λόγω της έντονης γεωργικής δραστηριότητας, και μελετήθηκαν **65** γεωτρήσεις εντός του δελταϊκού ριπιδίου που σχηματίζει ο Χαβρίας στο στόμιό του και στην έξοδό του προς την θάλασσα (Εικ. 49).

Σε αυτές τις γεωτρήσεις συμπεριλαμβάνονται και **2** γεωτρήσεις εκ των οποίων η μία παρουσιάζει αρτεσιανισμό (**N° 4**) και η δεύτερη βρίσκεται στα όρια του δελταϊκού ριπιδίου (**N° 53**). Οι γεωτρήσεις αυτές συμπεριλήφθηκαν για να χρησιμοποιηθούν και ως δείκτες στις μετρήσεις και στην ανάλυση δεδομένων από τις στάθμες των γεωτρήσεων. Στο Παράρτημα 7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία για τις γεωτρήσεις.

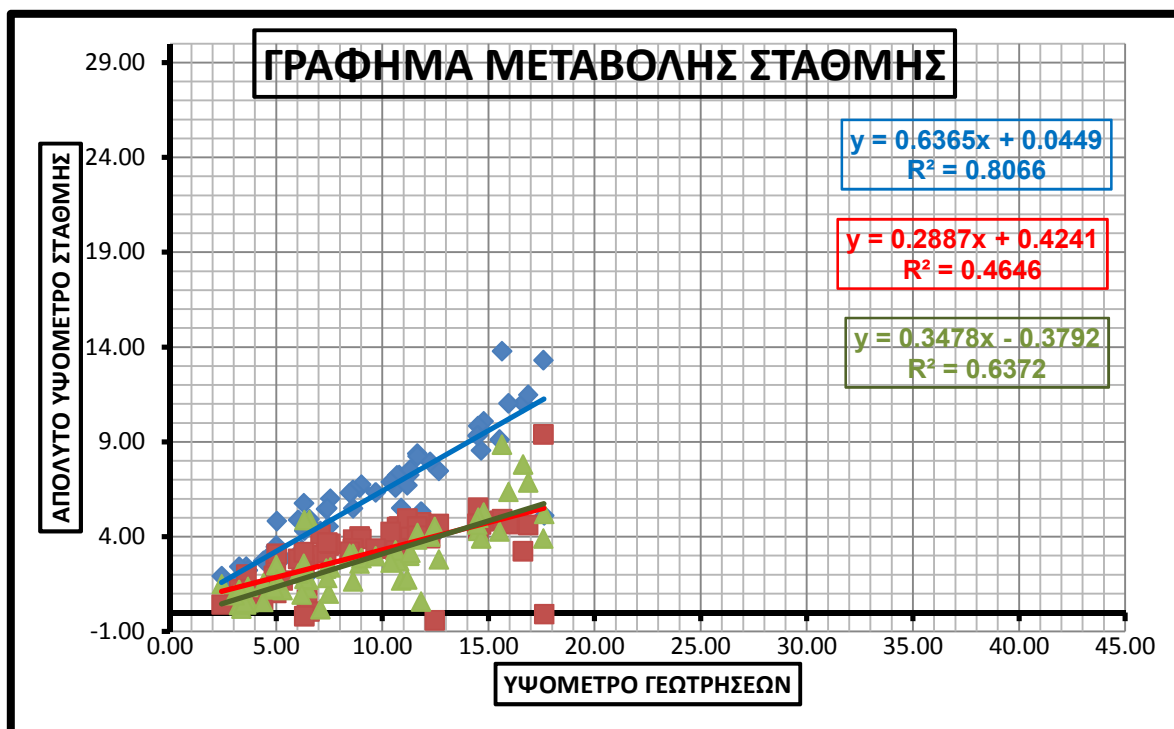
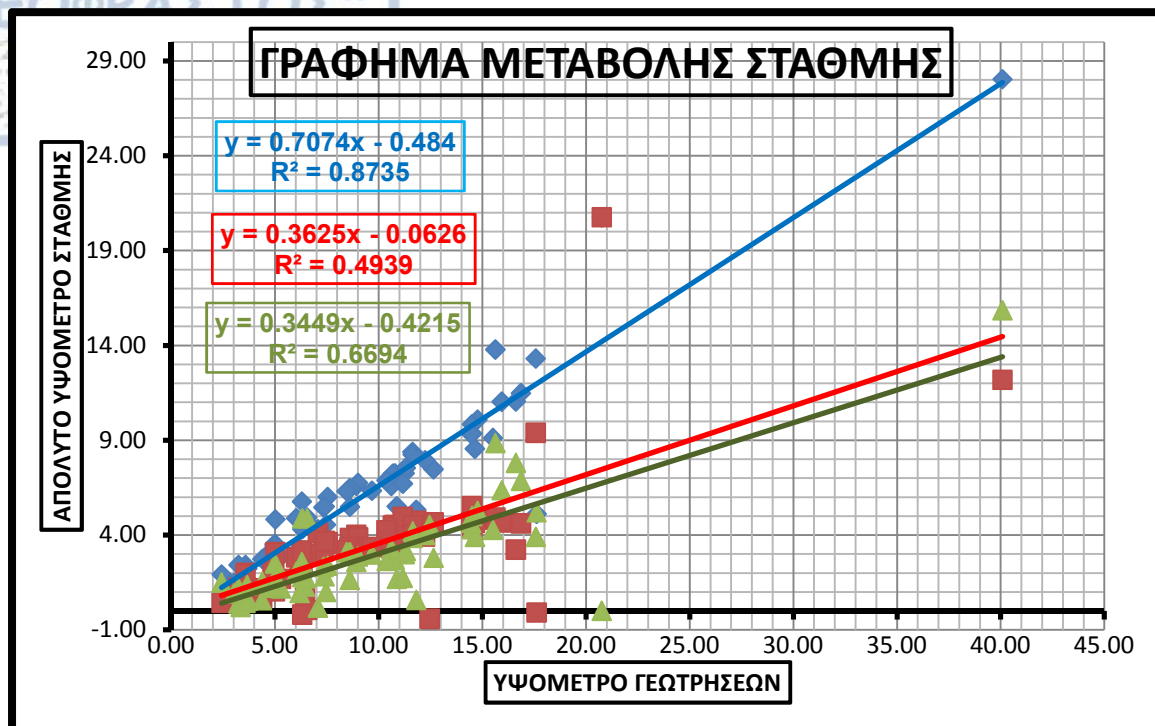


Εικόνα 49. Χάρτης γεωτρήσεων

Οι στάθμες του υπόγειου νερού των γεωτρήσεων μετρήθηκαν σε δύο περιόδους, μία τον **Απρ. 2016** (υγρή περίοδος- γαλάζιο) και μία τον **Οκτ. 2016** (ξηρή περίοδος- κόκκινο) και με έντονη κόκκινη γραμμή προβάλλεται το υψόμετρο της κάθε στάθμης (Σχ. 6). Μετρήθηκε η στάθμη τους και υπολογίσθηκε το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού στις δύο περιόδους, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την υποστήριξη της μελέτης (Σχ. 7).



Σχήμα 6. Διάγραμμα ανάλυσης δεδομένων γεωτρήσεων



Σχήμα 7. Διάγραμμα μεταβολής στάθμης γεωτρήσεων

Με βάση τα στοιχεία αυτά παρατηρείται ότι το βάθος του υπόγειου νερού στις 2 περιόδους κυμαίνεται από **0.85~28.03 m** πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, την περίοδο του **Απρ. 2016**, και από **-0.41~20.7 m** πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, την περίοδο του **Οκτ. 2016**. Έχουμε δηλ. γεωτρήσεις στις οποίες η στάθμη του νερού βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (ιδίως την υγρή

περίοδο), αλλά και γεωτρήσεις στις οποίες η στάθμη του υπόγειου νερού υποχωρεί και κάτω από το επίπεδο της θάλασσας (ξηρή περίοδος και μετά από άντληση για το πότισμα των καλλιεργειών). Σε ότι αφορά την υγρή περίοδο, ο **συντελεστής συσχέτισης** είναι **θετικά ισχυρός (0.8~0.87)**, γεγονός το οποίο υποδεικνύει και ισχυρή συσχέτιση του υψομέτρου της γεώτρησης με την στάθμη του υπόγειου νερού. Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται και γίνεται **μέτριος (0.49~0.46)** την ξηρή περίοδο. Δεδομένου της εντατικής χρήσης των γεωτρήσεων για τις ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών τους μήνες του καλοκαιριού, είναι αναμενόμενο αυτό το γεγονός όπως και ότι η στάθμη σε κάποιες γεωτρήσεις βρίσκεται κάτω από το βασικό επίπεδο (επίπεδο θάλασσας). Τέλος ο συντελεστής της διαφοράς της στάθμης μεταξύ των **2** περιόδων παρατηρήσεων, είναι **θετικά μέτριος (0.63~0.67)** και γίνεται φανερό ότι επηρεάζεται και αυτός από την εντατική χρήση των γεωτρήσεων.

(Τα στοιχεία αυτά αφορούν την συγκεκριμένη χρονική περίοδο 2016, και ενδέχεται να μεταβάλλονται σε σχέση με τα βροχομετρικά δεδομένα και τις ανάγκες για άρδευση και ύδρευση κάθε υδρολογικού έτους).

Με βάση αυτά τα στοιχεία κατασκευάστηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες της περιοχής για τις **2** περιόδους παρατηρήσεων με την χρήση του **ArcGIS** και της **MATLAB** (Εικ. 50 - 52).

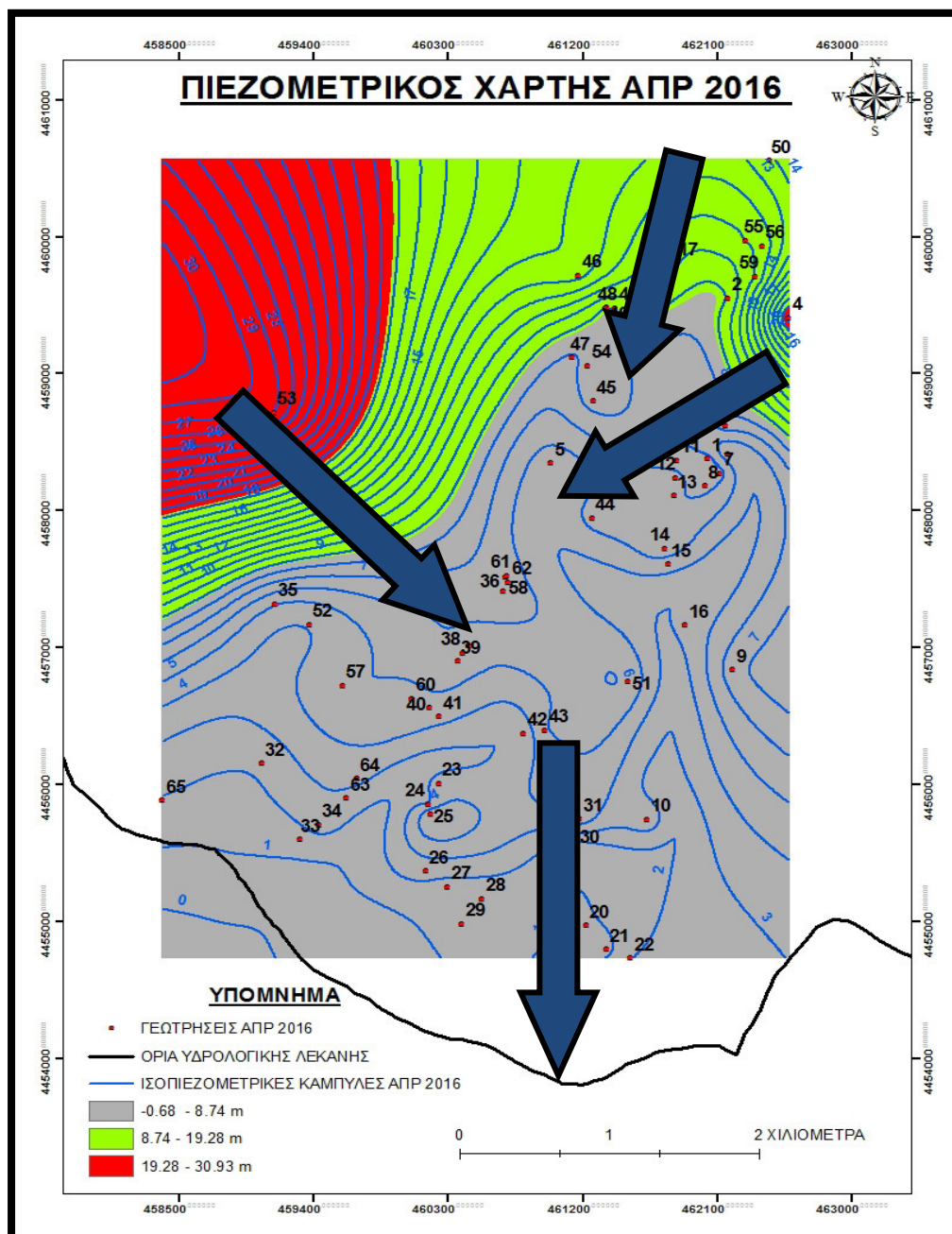
Εξετάζοντας αυτούς τους χάρτες διαπιστώνεται ότι η στάθμη του υπόγειου νερού, στην υγρή αλλά και στην ξηρή περίοδο, είναι σε πολύ μικρό βάθος, και η διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού είναι προς το δελταϊκό ριπίδιο, γεγονός που υποδηλώνει τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων σωμάτων. Επίσης στα **ΝΑ** όρια της λεκάνης, την ξηρή περίοδο (Εικ. 51), εμφανίζεται και αρνητική πιεζομετρία, γεγονός που επισημαίνει την εντατική χρήση των γεωτρήσεων στην συγκεκριμένη περιοχή.

Ανεξάρτητα όμως από τα παραπάνω στοιχεία, αυτό το οποίο είναι σημαντικό είναι η έντονη παρουσία νερού σε ολόκληρη την έκταση του ριπιδίου και σε ιδιαίτερα μικρό βάθος. Σε αυτό συμβάλλει η χαμηλή κλίση του Χαβρία σε όλο το μήκος του μέσα στο ριπίδιο, η γεωλογία της περιοχής, που κατά βάση αποτελείται από ιζήματα και κοκκώδη σχηματισμούς που διευκολύνουν την κατείσδυση και αποθήκευση του

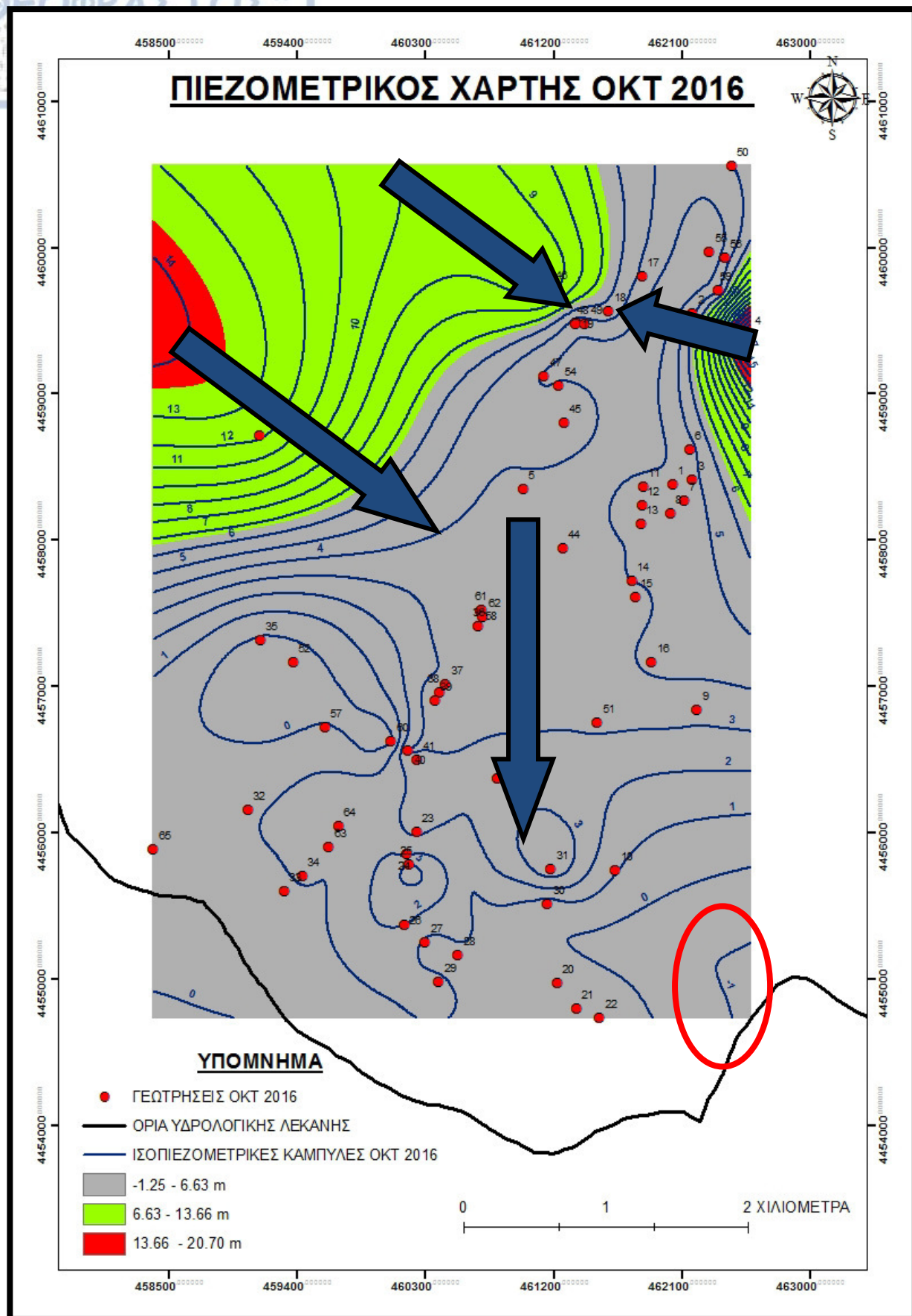
υπόγειου νερού, οι επιστροφές του νερού από τις αγροτικές δραστηριότητες και από τις διαρροές στο δίκτυο ύδρευσης στους αστικούς ιστούς της περιοχής.

Αυτό είναι και το βασικό συμπέρασμα της μελέτης και των παρατηρήσεων για την συγκεκριμένη περιοχή, που επιλέχθηκε βάση κριτηρίων, για το αν μπορεί να φιλοξενεί ή όχι υπόγειους υδροφορείς.

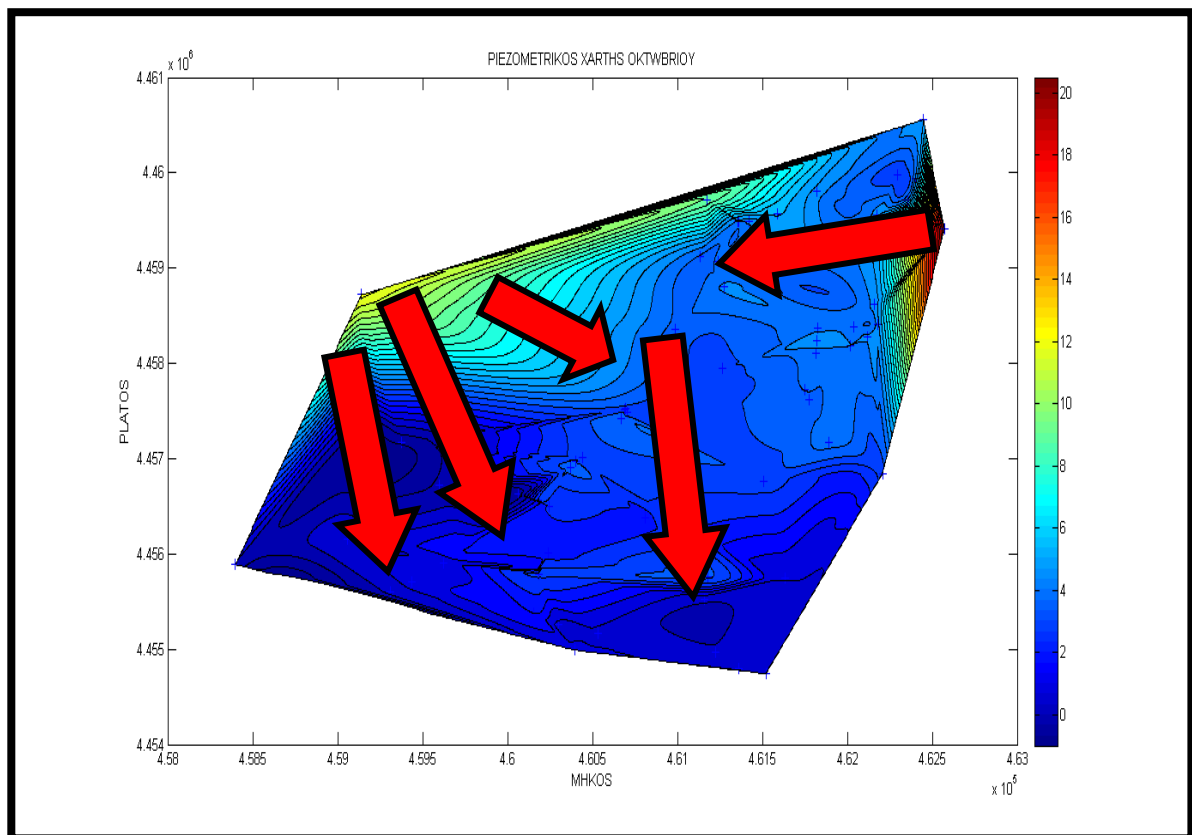
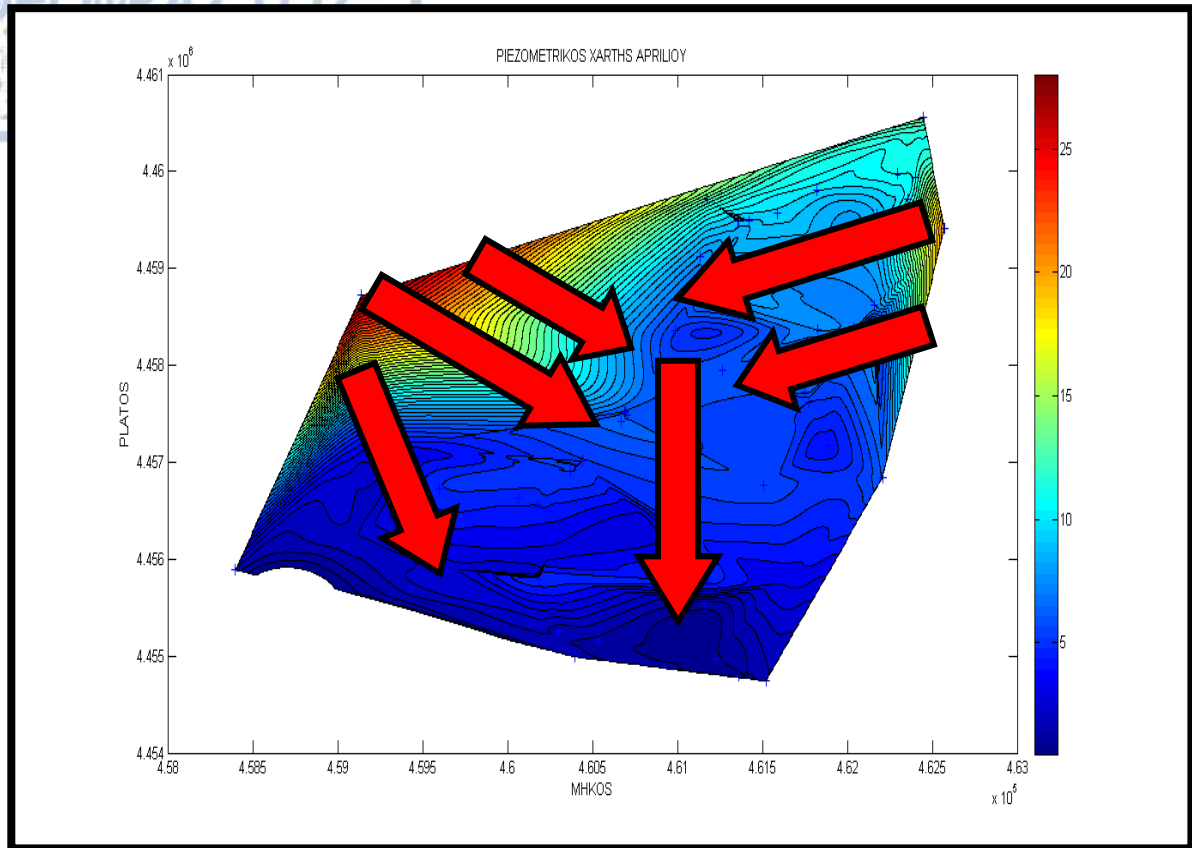
Επομένως τα στοιχεία και τα δεδομένα τα οποία συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη και αναλύθηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες κατάδειξης περιοχών που συγκεντρώνουν υψηλή πιθανότητα ύπαρξης υπόγειου νερού.



Εικόνα 50. Χάρτης πιεζομετρικός Απρ. 2016



Εικόνα 51. Χάρτης πιεζομετρικός Οκτ. 2016



Εικόνα 52. Πιεζομετρικοί χάρτες περιοχής μελέτης (MATLAB)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης και την συσχέτιση και σύγκρισή τους με τις παρατηρήσεις από την υπαίθρια έρευνα, προέκυψαν τα εξής ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

➤ Η ανάλυση γεωμορφολογικών δεικτών, όπως ο λόγος επιμήκυνσης, ο λόγος συντελεστή σχήματος και ο δείκτης κυκλικότητας, επιβεβαιώνουν το επίμηκες σχήμα της λεκάνης απορροής του Χαβρία.

➤ Η επικράτηση των κλάδων 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} τάξης σε ότι αφορά τον αριθμό και το μήκος, σε συνδυασμό με την υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα, τον δείκτη κατείσδυσης και τους Νόμους του Horton, συνιστούν έναν αξιόπιστο δείκτη της μικρής κατείσδυσης των λιθολογικών σχηματισμών στην λεκάνη απορροής, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την ανάλυση της λιθολογίας των σχηματισμών της λεκάνης, και της μεγάλης επιφανειακής απορροής.

➤ Ο δείκτης ελίκωσης καταδεικνύει ότι ο Χαβρίας είναι ελικοειδής, και σε συνδυασμό με την υψομετρική καμπύλη, υποδεικνύει το στάδιο ωριμότητας στο οποίο βρίσκεται ο ποταμός, έχοντας διαβρώσει το **66.61%** της επιφάνειας της λεκάνης.

➤ Το μοτίβο του υδρογραφικού δικτύου, σε συνάρτηση με την πυκνότητά του, επιβεβαιώνουν την ύπαρξη πυκνής βλάστησης σε μεγάλο τμήμα της επιφάνειας της λεκάνης, κάτι το οποίο αποδεικνύει και η επεξεργασία και ανάλυση της περιοχής με τα στοιχεία από το πρόγραμμα **«CORINE 2000»**.

➤ Η ανάλυση της μηκοτομής της μισγάγγειας και του δείκτη **S-L**, σε συνδυασμό με τον τοπογραφικό δείκτη υγρασίας, μας δείχνει τις περιοχές με τις μεγάλες κλίσεις, γεγονός που συνδέεται με την ύπαρξη **«knickpoints»** και με πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή. Επίσης εμφανίζονται οι περιοχές με πολύ μικρές κλίσεις και υψηλό τοπογραφικό δείκτη υγρασίας, υποψήφιος για μελέτη και ανάλυση.

➤ Η συνδυασμένη χρήση χαρτών, που προέκυψαν από την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων και στοιχείων, με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (**ArcGIS**), αποδεικνύεται ένα πολύ χρήσιμο και αναγκαίο εργαλείο για την μελέτη μια υδρολογικής λεκάνης, που χρησιμεύει στον εντοπισμό υποψήφιων περιοχών για την ύπαρξη υπόγειου νερού και υδροφοριών.

➤ Η λεπτομερής ανάλυση των κλίσεων, της βροχόπτωσης, του υψομέτρου, της χρήσης/κάλυψης γης, της λιθολογίας και του υδρογραφικού δικτύου, αποτελούν

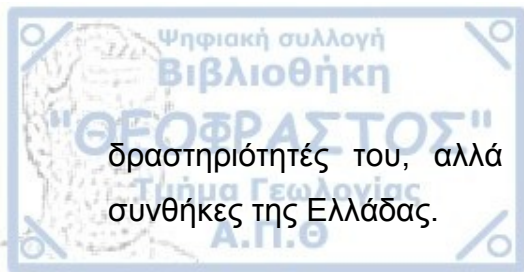
κρίσιμους δείκτες και παράγοντες, που η μελέτη τους κρίνεται αναγκαία και επιβεβλημένη, σε ότι αφορά μια υδρολογική λεκάνη. Η άντληση στοιχείων, και η αντιπαραβολή τους με γεωμορφολογικούς δείκτες, μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα, τα οποία όμως θα πρέπει να επιβεβαιωθούν από μελέτη και υπαίθρια δεδομένα.

➤ Η παρακολούθηση και μελέτη των στοιχείων από τις στάθμες του υπόγειου νερού αριθμού γεωτρήσεων εντός του δελταϊκού ριπιδίου στο στόμιο της κοίτης του Χαβρία, επιβεβαιώνει και επικυρώνει τις προβλέψεις για την περιοχή, ως υποψήφια ύπαρξης υπόγειων υδροφόρων σωμάτων. Αυτό αποδεικνύει και επιτάσσει την υπαίθρια παρατήρηση και έρευνα στην περιοχή μελέτης, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, για στοιχεία που να ολοκληρώνουν και να αποδεικνύουν την ορθότητα των υπολογισμών (ύπαρξη αρτεσιανισμού, ενδείξεις τεκτονικής δραστηριότητας και διάβρωσης, καρστικοποίηση, υδροχημική μελέτη στοιχείων-δεικτών κ.α).

➤ Υπάρχει η ανάγκη συνέχειας, εμπλουτισμού και εξέλιξης της μεθόδου, για την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων, και σε άλλες λεκάνες, καθώς επίσης και ο συνδυασμός της με άλλες τεχνικές εντοπισμού υπόγειων υδροφόρων σωμάτων (γεωφυσικές, υδροχημικές) που θα τελειοποιήσουν την λειτουργία της, και θα μπορούν να εστιάσουν και επικεντρώσουν την έρευνα σε ακόμη πιο συγκεκριμένες περιοχές.

➤ Σημαντικό κομμάτι της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάλυση και στον διαχωρισμό της κύριας λεκάνης σε υπολεκάνες. Με τον τρόπο αυτό θα είναι ακόμα πιο ακριβή τα αποτελέσματα από την ανάλυση των γεωμορφολογικών παραγόντων, καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ τους και η συνθετική ανάλυση ολόκληρης της λεκάνης, χρησιμοποιώντας και εστιάζοντας σε δείκτες που μπορούν να προσφέρουν σαφή και αποκαλυπτικά στοιχεία για την περιοχή, γεγονός που θα οδηγήσει στον καλύτερο εντοπισμό και εστίαση σε μικρότερες περιοχές με καλύτερες πιθανότητες για την ύπαρξη υπόγειου νερού.

➤ Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, κρίνεται αναγκαία η εξέλιξη και σύνθεση νέων μεθοδολογιών για την εξεύρεση υπόγειου νερού, όχι μόνο επιφανειακά και σε μικρά βάθη, αλλά και σε μεγαλύτερα, λόγω της συνεχούς και αυξανόμενης ανάγκης για νερό από τον άνθρωπο στις διάφορες



δραστηριότητές του, αλλά και της αλλαγής που παρατηρείται στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας.

Αστάρας Θ., Οικονομίδης Δ. & Μουρατίδης Α. (2011): Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΔΙΣΙΓΜΑ»

Βεράνης Ν. & Χατζηκύρκου Α. (2010): Υδρογεωλογική Μελέτη – Υδροφόρα Συστήματα Επανομής-Μουδανιών, Κασσάνδρας, Ορμύλιας και Σιθωνίας του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ10), ΙΓΜΕ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος-Διεύθυνση Υδρογεωλογίας-Περιφερειακή Μονάδα Κεντρικής Μακεδονίας, Γ ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα ΑνταγωνιστικότηταΒουβαλίδης Κ. (2011): Φυσική Γεωγραφία. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΔΙΣΙΓΜΑ»

Βουβαλίδης Κ. (2011): Φυσική Γεωγραφία. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΔΙΣΙΓΜΑ»

Βουδούρης Κ. (2013): Τεχνική Υδρογεωλογία-Υπόγεια Νερά. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΤΖΙΟΛΑ»

Καλλέργης Γ. Α. (1999): Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας

Κεμιτζόγλου Δ. (2006): Καθορισμός των Τύπων Ποτάμιων Συστημάτων της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας, ΑΠΘ

Κουτσόπουλος Κ. & Ανδρουλάκης Ν. (2005): Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS 9x με Απλά Λόγια. Αθήνα, Εκδόσεις «ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ»

Μηλιαρέσης Γ. Χ.(2006): Ειδικές Εφαρμογές στο ArcGIS. Αθήνα, Εκδόσεις «ΙΩΝ»

Μάρης Φ. Π., Υδρολογία Φυσικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου

Μουντράκης Δ. (1985 & 2010): Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Θεσσαλονίκη, «UNIVERSITY STUDIO PRESS»

Μουντράκης Δ. & Παπαζάχος Κ. (2003): Τελική Έκθεση του Ερευνητικού Προγράμματος «Προσδιορισμός των Χαρακτηριστικών των Σεισμικών-Ενεργών Ρηγμάτων του Βόρειου Ελληνικού Χώρου με την Χρήση Σεισμολογικών Δεδομένων»

Μπαλαφούτης Χρ. : Γενική Κλιματολογία και Κλίμα Μεσογείου και Ελλάδος

Μπαλαφούτης Χ. & Μαχαίρας Χ. Π. (1985): Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με Στοιχεία Βιοκλιματολογίας. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΓΙΑΧΟΥΔΗ»

Οδηγία 2008/915/ΕΚ

Παράσχου Θ. (2005): Η Γεωμορφολογική Μελέτη της Κοιλάδας του Ίναχου Ποταμού της Φθιώτιδας, Παραπόταμου του Σπερχειού Ποταμού. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ

Παυλόπουλος Κοσμάς Π. : Γεωμορφολογία – Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες, Αθήνα, Εκδόσεις «ΙΩΝ»

Σιμελιάδου Ε. (2011): Εκτίμηση της Οικολογικής Ποιότητας του Ποταμού Χαβρία το έτος 2011. ΔΠΜΣ, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Σούλιος Γ. (1986): Γενική Υδρολογία, Τόμος Ι/ΙΙΙ. Θεσσαλονίκη, University Studio Press

Τσουχλαράκη Α. & Αχιλλέως Γ. (2010): Μαθαίνοντας τα GIS στην Πράξη – Το ArcGIS 9.3. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις «ΔΙΣΙΓΜΑ»

Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων – Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος – Ενημέρωση της Βάσης Δεδομένων Κάλυψης Γης CORINE LAND COVER για το Έτος 2000

6.2 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Beven K. J., Kirby M. J., (1979): A Physically Based Variable Contribution Area Model of Basin Hydrology. Hydrological Science Bulletin 24, pp 43-69

Black P. E. (1972): Hydrograph Responses to Geomorphic Model Watershed Characteristics and Precipitation Variables. Journal of Hydrology, 17, pp 309-329

Bull W. B. (2007): Tectonic Geomorphology of Mountains. Blackwell Publishing, p. 326

Brice J. C. (1964): Channel Patterns and Terraces of the Long Rivers In Nebraska. U.S Geol. Surv. Prof. Pap. 422-D, pp 1-41

Broscoe A. J. (1959): Quantitative Analysis of Longitudinal Stream Profile of Small Watersheds. Project N. 389-042, Tech. Rep. 18, Geology Department, Columbian University, ONR, Geography Branch, New York

Charlton R. (2008): Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Routledge, London and New York

Chorley R. J. (1972): Spatial Analysis in Geomorphology. Methuen and Co. Ltd, London

Chorley R. J., Morley L. S. D. (1959): A Simplified Approximation for the Hypsometric Integral. J. Geology 67, No. 5, pp. 566-571

Demek J., 1972, Manual of Detailed Geomorphological Mapping, Academia, Prague, pp. 334

Dikau R. (1989): The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis. IN. Three Dimensional Application in Geographical Information Systems, J. F. Raper (ed.), pp. 51-77, London : Taylor and Francis

Doornkamp J. C., King C. A. M. (1971): Numerical Analysis in Geomorphology. Edward Arnold, London, 608 pp

Encyclopedia of Geomorphology (2004). Vol. 1, Edited by Abdreww s. Goudie

EU Water Framework Directive 2000/60

European Decision 2008, Commission Decision of 30 October 2008 Establishing, Pursuant to Directive 2000/60/EC of European Parliament and of the Council, The Values of the Member State Monitoring System Classification as a Result of the Intercalibration Exercise (Notified under Document Number C(2008) 6016, (Text with EEA Relevanvance) (2008/915/EC), Official Journal of the European Communities L332/20, Luxemburg, 10 Dec. 2008

Faniran A. (1968): The Index of Drainage Intensity – A provisional New Drainage Factor. Australian Journal of Science, 31, pp. 328-330

Gardiner V., J. S. Pethich, R. I. Ferguson, A. J. Gerrard, K. J. Gregory, D. E. Walling (1979): Drainage Density – Basin Area Relationship. The Royal Geographical Society, vol. 10, No 5, pp 349-355

Gravelius H. (1914): Grundrifi der Gesamten Gewcisserkunde. Band 1: Flufikunde (Compendium of Hydrology, vol. 1: Rivers in German), Goschen, Berlin, Germany, pp. 179

Hack J. T. (1957): Studies of Longitudinal Stream Profiles in Virginia and Maryland. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 294-B

Hare P. H., Gardner T. W. (985): Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism Along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa M. and Hack J. T. (Eds), Tectonic Geomorphology, Allen and Unwin, Boston, pp. 75-104

Horton R. E. (1932): Drainage Basin Characteristics. Transactions, American Geophysical Union, 13, pp 350-361

Horton R. E. (1945): Erosional Development of Streams and their Drainage Basins. Bulletin of the Geological Society of America, 56, pp 275-370

Howard A. D. (1967): Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 51, pp. 2246-2259

Huggett R. J. (2007): Fundamentals of Geomorphology. Second Edition, Routledge, London and New York

Keller E. A., Pinter N. (2002): Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape, Upper Saddle River, NJ. USA: Prentice Hall

King C. A. M. (1966): Techniques in Geomorphology. Arnold, London, 342 p

Koppen W. (1918): Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf. Petermanns Geographische Mitteilungen, 64, pp. 193-203&243-248

Mayer L. (1990): Introduction to Quantitative Geomorphology: An Exercise Manual. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall

Melton M. A. (1957): An Analysis of the Relations Among of Climate, Surface Properties and Geomorphology. Technical Report II, New York Department of Geology, Columbia University

Melton M. A. (1958): Correlation Structure of Morphometric Properties of Drainage Systems and their Controlling Agents. J. Geol. 66, pp. 35-56

Melton M. A. (1965): The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona. J. Geol. 73, pp. 1-38

Miller V. C. (1953): A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee. Tech. Rept. 3, Dept. of Geol., Columbia Univ. New York

Morisawa M. (1985): River – Forms and Process. Longman, London

Mountrakis D., Sapountzis E., K;illias A., Eleftheriadis G., Christofides G. (1983): Paleogeographic conditions in the western Pelagonian

margin in Greece during the initial rifting of the continental area. Cn. J. Earth Sci., vol. 20. Pp. 1673-1681

Mueller J. R. (1968): An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. Annals of the Association of American Geographers, vol. 58, No 2, pp. 371-385

Nachtnebel H. P., Furst J., Holzmann H. (1991): Expert System for Groundwater Management in the Marchfeld Region, Austria. Final Report to the Ministry of Agriculture and Forestry, Vienna, Austria (in German)

Ohmori H. (1993): Changes in the Hypsometric Curve Through Mountain Building Resulting from Concurrent Tectonics and Denudation. Geomorphology 8, pp. 263-277

Pareta Kuldeep, Pareta Upasana (2011): Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER(DEM) Data and GIS. International Journal of Geomatics and Geosciences, Vol. 2, No 1

Patton P. C., Baker V. R. (1976)Q Morphometry and Floods in Small Drainage Basins Subject to Diverse Hydrogeomorphic Controls. Wat. Resour. Res. 12, pp. 941-952

Rao V. V. S. G., Thangarajan M. (1998): Groundwater Pollution Due to Discharge of Tannery Effluents in Upper Palar Basin, Tamilnadu, India. Environ. Eng. Pol., pp 201-208

Riccardo Caputo, Alexandros Chatzipetros, Spyros Pavlides, Sotiris Sboras (2012): The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS):state-of-the-art for northern Greece. Annals of Geophysics

Rich J. L. : A Graphical Method of Determining the Average Inclination of a Land Surface from a Contour Map. Transactions, Illinois Academy of Science, Vol. 9, pp. 195-199

Rosgen D. L. (1996): Applied River Morphology. 2nd Edition, Wildland Hydrology Books, 1481 Stevens Lake Road, Pagosa Springs, Co. 81147, 385 pp

Schumm S. A. (1956): Evolution of Drainage Systems & Slopes in Badlands at Perth Anboy, New Jersey. Bulletin of Geological Society of America, 67, pp 597-646

Schumm S. A.(1963): A Tentative Classification of Alluvial River Channels. U.S Geological Survey Circular 477 (10)

Singh S., Dubey A. (1994): Geoenvironmental Planning of Watersheds in India. Chugh Publications, Allahabad, pp. 28-69

Slaymaker O., Spencer T., Embleton-Hamann C. (2009): Geomorphology and Global Environmental Change. Cambridge University Press

Smart S., Surkan A.J. (1967): The Relationship Between Mainstream Length and Area in Drainage Basins. Water Resources Research 3: 963-973

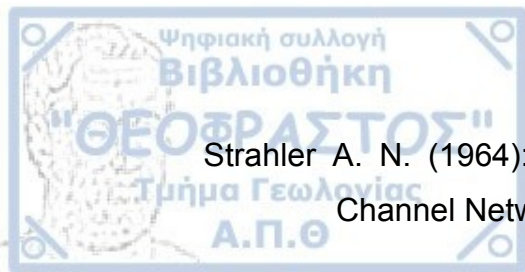
Smith K. G. (1950): Standards for Grading Texture of Erosional Topography. American Journal of Science, 248, pp 655-668

Sreedevi T. K., Shiferaw B., Wani S. P. (2004): Adarsha Watershed in Kothapally Understanding the Drivers of Higher Impact. An Open Access Journal, ICRISAT

Strahler A. N. (November 1952): Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 63, pp 117-1142, 23 Figs, 1Pl

Strahler A. N. 9December 1957): Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 38, No 6, pp 913-920

Strahler A. N. (1958): Dimensional Analysis Applied to Fluvially Dissected Landforms. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 69, pp 279-300



Strahler A. N. (1964): Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Network. Handbook of Applied Hydrology, pp. 39-76

Suresh S., Mani K., Aneesh M. R. (2016): Quantitative Evaluation of Kallar Watershed Using Geospatial Technology. Thiruvananthapuram, India, International Journal of Geomatics and Geosciences, Vol. 7, No 2

Tribhuvan P. R., Sonar M. A. (2016): Morphometric Analysis of a Phulambri Drainage Basin (Gp8 Watershed), Aurangabad District (Maharashtra) Using Geographical Information System. Cloud Publications, International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, Vol. 5, Issue 6, pp. 1813-1828, Article ID Tech-593

Van de Bund W. J., Cardoso A. C., Heiskanen A. S., Noges P. (2004): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Overview of Common Intercalibration Types, Final Version 5.1, Ecological Status Working Group 2.A, Available at: <http://wfd-reporting-jrc.it/>

Van de Bund W. J. (2009): Water Framework Directive Intercalibration Technical Report. Part 1: Rivers, European Commission, EUR 23838 EN/1, <http://europa.eu/>

Ward R. D., Woodward M., Skibinski D. O. F. (1994): A Comparison of Genetic Diversity Levels in Marine. Freshwater and Anadromous Fish, J. Fish Biol. 44, pp. 213-232

Wentworth C. K. (1930): A Simplified Method of Determining the Average Slope of Land Surfaces. American Journal of Science, vol. 20, pp. 184-194

6.3 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<https://eneolaia.wordpress.com>

www.GoogleEarth.com

www.halkidikinews.gr



<http://usgs-mrs.cr.usgs.gov>

<http://www.oocities.org>

<http://users.itia.ntua.gr>

www.orykta.gr

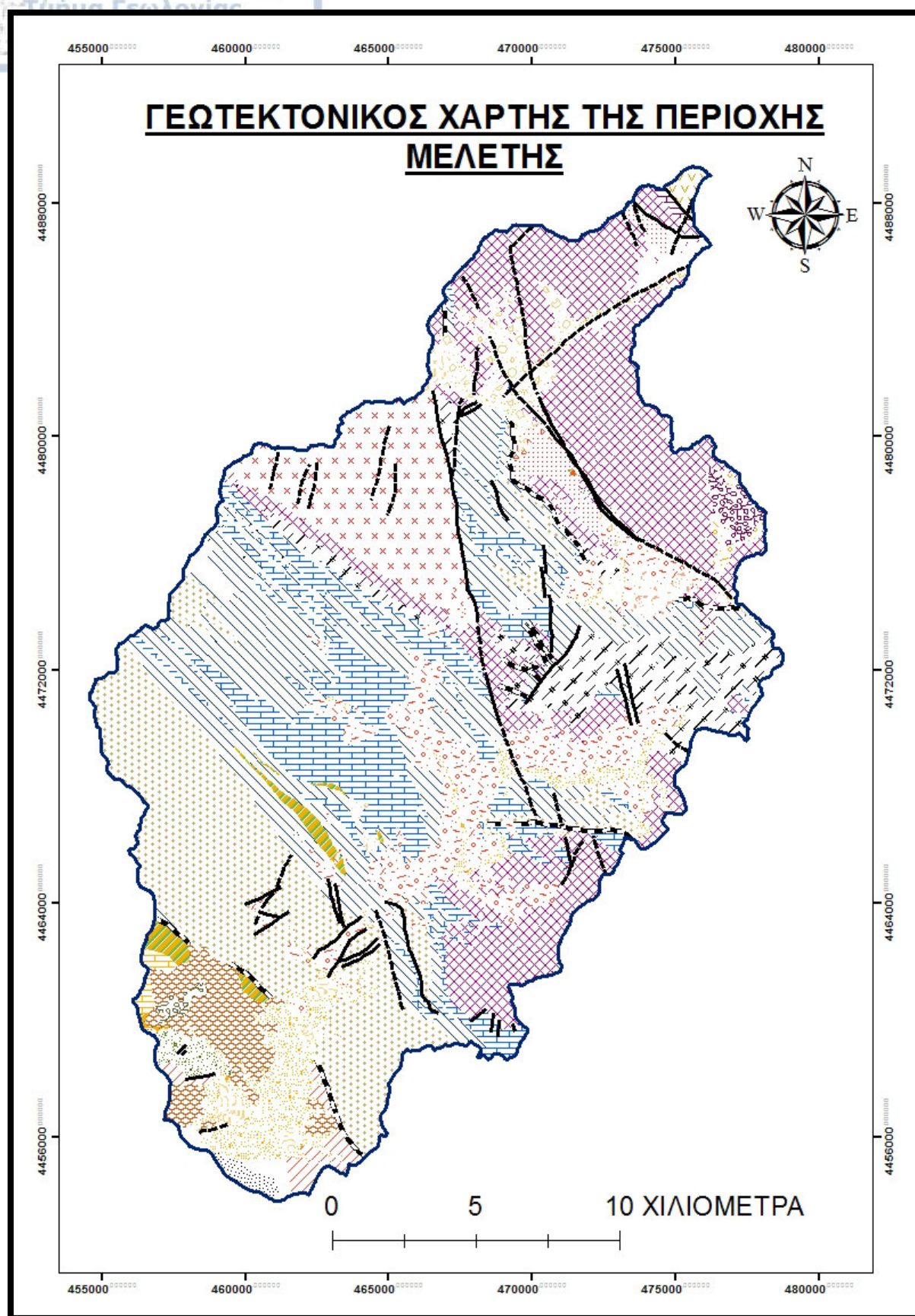
<http://portal.tee.gr>

CORINE LAND COVER 2000



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1. Γεωλογικός χάρτης



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

	πγ
	lr
	πφ.η
	Tm.s?k
	Cd,dn
	π
	νπ
	ab-gn
	n
	H.lg
	θ1
	π.ο
	πρ
	H.lk
	n,n.q
	M4.c
	sch.gn
	γ2
	(gn)Mz
	Q.cs2
	Qcs1
	ab
	al
	H.t.c
	gn2
	Pt.t1.c
	T.Jm.st
	T.Jm.ph
	mr2
	gn.bi
	T.Jm.mr

Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη

A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΟΛΟΚΑΙΝΟ				
1	al	Αλλουβιακές αποθέσεις	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Αμμούχες άμμοι , άργιλοι και ψηφίδες
2	cd,cdn	Παράκτιες αποθέσεις	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Άμμοι και θίνες
3	H.lg	Ιζήματα λιμνοθαλασσών	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Άμμοι και αμμούχες άργιλοι
4	H.lk	Λιμναία ιζήματα	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Άργιλοι, ιλύς και άμμοι
5	H.t.c	Κατώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Κυρίως άμμοι και κροκάλες
ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ (ΧΕΡΣΑΙΟ)				
6	Pt.t1.c	Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	Άμμοι, ψηφίδες, κροκάλες κυρίως σχιστολιθικές, μικρής συνοχής
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΟ				
7	Q.cs1-Q.cs2	Ριπίδια προσχώσεων (διαφορετικής ηλικίας)	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	
ΝΕΟΓΕΝΕΣ (ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ?)				
8	M4.c	Λιμναίοι ασβεστόλιθοι	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	
9	M4.Pli.mk	Βασική σειρά κροκαλοπαγών	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	
10	M4.Pli.st.4	Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	
11	M4.Pli.l	Σειρά ερυθρών αργίλων	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ	
ΜΕΤΑΪΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙΟΥ – ΧΟΛΟΜΩΝΤΑ (ΤΡΙΑΔΙΚΟ – ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ) ΟΜΑΔΑ ΣΒΟΥΛΑΣ				
12	T.Jm.st	Χαλαζίτες, χαλαζιτικοί ψαμμίτες σε ενστρώσεις	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
13	T.Jm.mr	Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι,	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	

		μάρμαρα, χαλαζιακά σερικιτικά μάρμαρα και ασβεστίτικοι σχιστόλιθοι		
14	T.Jm.ph	Φυλλίτες	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ				
ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟΣ (Ή ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗ)				
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ				
15	gn2	Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ				
16	mr2	Ανώτερος ορίζοντας μαρμάρων	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
17	gn.bi	Βιοτιτικός γνεύσιος	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΠΡΗΣ ΒΡΥΣΗΣ - ΧΟΡΤΙΑΤΗ				
ΜΕΣΟ ΚΑΙ ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ				
18	Tm.s?.k	Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ				
ΧΩΡΙΣ ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑ				
19	n.q	Κεροστιλβικός-Βιοτιτικός- Χαλαζοδιοριτικός πορφύρης	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
20	n	Πιζονιτικός-Κεροστιλβικός- Βιοτιτικός διορίτης	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΧΙΣΤΩΔΗ				
ΜΕΣΟΖΩΪΚΟ				
21	γ2	Διμαρμαρυγιακός και Βιοτιτικός Γρανίτης (τύπου Αρναίας)	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
22	(gn).M2	Πλαγιокλαστικός- Μικροκλινικός γνεύσιος	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
ΜΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΧΟΡΤΙΑΤΗ				
23	sch.gn	Πρασινοςχιστόλιθοι και αλβιτικοί γνεύσιοι	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	
24	n,n.q	Διορίτης και χαλαζιακός	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ	

		διορίτης (σύμπλεγμα Γερακινής)		
ΣΕΙΡΑ ΓΑΒΒΡΟΥ ΛΑΝΑΡΙΟΥ				
25	θ	Γάββρος	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΗ ΣΕΙΡΑ				
26	πρ	Πυροξενίτες	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
27	π.ο	Δουνίτες και περιδοτίτες	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟ (Ή ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΑ)				
28	ab	Αμφιβολίτες	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
29	ab.gn2	Αμφιβολίτες	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
30	π	Περιδοτίτες και δουνίτες	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
31	lr	Σιδηρούν επικάλυμμα	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
32	πγ	Ουραλιτιωμένος πηγματιτικός γάββρος	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	
33	πφ.η	Κεροστιλβικός-Βιοιτικός- Διοριτικός πορφύρης	ΠΥΡΙΓΕΝΕΣ	

Παράρτημα 2. Δείκτες μορφολογικής ανάλυσης

A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΕΙΚΤΗ	ΤΥΠΟΣ	ΤΙΜΗ
Υδρογραφικό Δίκτυο				
1		Τάξεις – Κλάδοι Υδρογραφικού Δικτύου (Stream Order)	u	1~7
2	Nu	Αριθμός Κλάδων Τάξεως u (Stream Number)	Nu	1=3493 2=846 3=202 4=45 5=12 6=2 7=1
3	ΣNu	Συνολικός Αριθμός Κλάδων Εντός της Λεκάνης	ΣNu	4601
4	Lu	Μήκος Κλάδων Τάξεως u (Km) (Stream Length)	GIS	1=838.8 2=399.7 3=216.38 4=74.26 5=79.51 6=38.33 7=16.61
5	MLur	Μέσο Μήκος Κλάδων Τάξεως u (Km) (Mean Stream Length)	MLur=Lu/Nu	1=0.24 2=0.47 3=1.07 4=1.65 5=6.63 6=19.67 7=16.61
6	ΣLu	Συνολικό Μήκος Κλάδων Τάξεως u (Km)	ΣLu	1663.59

7	Rb	Λόγος Διακλάδωσης (Bifurcation Ratio)	$Rb = Nu / Nu + 1$	
	Rbm	Μέσος Λόγος Διακλάδωσης (Mean Bifurcation Ratio)		4.09
	Rwbm	Σταθμισμένος Μέσος Λόγος Διακλάδωσης (Weighted Mean Bifurcation Ratio)		4.15
8	RLur	Λόγος Μήκους Κλάδων (Stream Length Ratio)	$RLur = Lu / Lu - 1$	
	RLurm	Μέσος Όρος του Λόγου του Μέσου Μήκους Κλάδων (Mean Stream Length Ratio)		2.26
	RLuwm	Σταθμισμένος Μέσος Όρος του Λόγου του Μέσου Μήκους Κλάδων (Weighted Mean Stream Length Ratio)		2.14
9	CI	Μισγάγγεια (Main Channel Length)	GIS	59.04 Km
10	VI	Μήκος της Κοιλάδας (Valley Length)	GIS	45.1 Km
11	ρ	Συντελεστής RHO (RHO Coefficient)	$P = Lur / Rb$	0.55
12	Adm	Ελάχιστη Εναέρια Απόσταση (Minimum Aerial Distance)	GIS	36.86 Km
13	Ci	Δείκτης Κοίτης Ποταμού (Channel Index)	$Ci = CI / Adm$	1.6
14	Vi	Δείκτης Κοιλάδας (Valley Index)	$Vi = VI / Adm$	1.22

Γεωμετρία της Λεκάνης				
15	Lcm	Μήκος από το Κέντρο Μέχρι το Στόμιο της Λεκάνης Απορροής (Length from W's Center to Mouth of W's)	GIS	20.33 Km
16	Wcm	Πλάτος στο Κέντρο Βάρους της Λεκάνης Απορροής Width of W's at the Center of Mass)	GIS	18.65 Km
17	Lb	Μήκος της Λεκάνης (Basin Length)	GIS	38.354 Km
18	Wb	Μέσο Πλάτος της Λεκάνης (Mean Basin Width)	$Wb=A/Lb$	12.34 Km
19	A	Εμβαδόν της Λεκάνης (Basin Area)	GIS	473.28 Km ²
20	P	Περίμετρος της Λεκάνης (Basin Perimeter)	GIS	118.24 Km
21	Pr	Σχετική Περίμετρος (Relative Perimeter)	$Pr=A/P$	4.00 Km
22	Lar	Συσχέτιση Μήκους – Εμβαδού της Λεκάνης (Length Area Relation)	$Lar=1.4 * A^{0.6}$	56.39 K m
23	Rf	Λόγος Συντελεστή Σχήματος (Form Factor Ratio)	$Rf=A/Lb^2$	0.136
24	Rs	Λόγος Συντελεστή Μορφής (Shape Factor Ratio)	$Rs=Lb^2/A$	3.11
25	Ie	Δείκτης Ελλειπτικότητας (Ellipticity Index)	$Ie=\pi*Vl^2/4*A$	3.37
26	Rt	Λόγος Υφής (Texture Ratio)	$Rt=N1/P$	29.54

27	Dt	Υφή του Υδρογραφικού Δικτύου (Drainage Texture)	$Dt = \Sigma Nu/P$ $T = Dd * Fs$	39.91 34.21
28	Ec	Συντελεστής Συμπαγούς (Compactness Coefficient)	$Cc = 0.2841 * P/A$	1.54
29	Rf	Λόγος Φυσικότητας (Fitness Ratio)	$Rf = Ci/P$	0.5
30	Rw	Λόγος Παρεκτροπής (Wandering Ratio)	$Rw = Ci/Lb$	1.54
31	τ	Εκκεντρικότητα Υδροκρίτη (Watershed Eccentricity)	$\tau = [(Lcm^2 - Wcm^2)]^{0.5} / Wcm$	0.43
32	Ge	Κέντρο Βάρους του Υδροκρίτη (Center of Gravity of Watershed)	GIS	467631 – 4473238
33	Hsi	Δείκτης Υδραυλικής Ελίκωσης (Hydraulic Sinuosity Index)	$His = (Ci - Vi) / (Ci - 1) * 100$	63.3%
34	Tsi	Δείκτης Τοπογραφικής Ελίκωσης (Topographic Sinuosity Index)	$Tis = (Vi - 1) / (Ci - 1) * 100$	36.7%
35	Ssi	Δείκτης Πρότυπης Ελίκωσης (Standard Sinuosity Index)	$Sis = Ci / Vi$	1.31
36	Lcp	Μέγιστη Απόσταση Παράλληλη προς το Κύριο Υδατόρευμα του Υδρογραφικού Δικτύου (Longest Dimension Parallel to the Principal Drainage Line)	GIS	38.354 Km

37	Rc	Δείκτης Κυκλικότητας (Circularity Ratio)	$Rc=4*\pi*A/P^2$ $Rc=12.57*(A/P^2)$	0.433
38	Rcn	Κατανομή Κυκλικότητας (Circularity Ration)	$Rcn=A/P$	4
39	Re	Δείκτης Επιμήκυνσης Λεκάνης (Elongation Ratio)	$Re=2*R/Lb_{max}$ $Re=2/Lb*(A/\pi)$	0.64
Υφή του Υδρογραφικού Δικτύου				
40	Fs	Υδρογραφική Συχνότητα (Stream Frequency)	$Fs=\Sigma Nu/A$ $Fs=0.694*Dd^2$	9.72 κλάδοι/Km ² 8.6 κλάδοι/Km ²
41	Dd Cc	Υδρογραφική Πυκνότητα (Drainage Density) Σταθερά Συντήρησης της Κοίτης του Ποταμού (Constant of Channel Maintance)	$Dd=Lu/A$ $Cc=1/Dd$	3.52 Km/Km ² 0.28 Km ² /Km
42	Lg	Μήκος της Επιφάνειας Ροής (Length of Overland Flow)	$Lg=A/2*Lu$	0.14 Km
43	If	Βαθμός Κατείσδυσης (Infiltration Number)	$If=Fs*Dd$	34.21
44	Di	Ένταση του Υδρογραφικού Δικτύου (Drainage Intensity)	$Di=Fs/Dd$	2.76 κλάδοι/Km
45	Dp	Μοτίβο του Υδρογραφικού Δικτύου (Drainage Pattern)	GIS	Εικόνα 25
Ανάλυση – Χαρακτηρισμός Ανάγλυφου				
46	z	Υψόμετρο Στομίου Λεκάνης (Height of Basin Mouth)	GIS	0 m
47	Z	Μέγιστο Υψόμετρο της	GIS	1165 m

		Λεκάνης (Maximum Height of the Basin)		
48	H	Συνολικό Ανάγλυφο της Λεκάνης (Total Basin Relief)	$H=Z-z$	1165 m
49	Rhl	Λόγος Ανάγλυφου (Relief Ratio)	$Rhl=H/Lb$ $\tan^{-1}(0.019)$	0.019 1° 5' 18.56"
50	Rhp	Λόγος Σχετικού Ανάγλυφου (Relative Relief Ratio)	$Rhp=(H*100)/P$	0.98
51	Ra	Απόλυτο Ανάγλυφο (Ra) (Total Relief)	GIS	1165 m
52	Cg	Κλίση της Κοίτης του Ποταμού (Channel Gradient)	$Cg=(H/[(\pi/2)*Clp])$	19.34 m/Km
53	Rn	Βαθμός Τραχύτητας (Ruggedness Number)	$Rn=Dd*(H/1000)$	4.1
54	MRn	Βαθμός Τραχύτητας Melton (Melton Ruggedness Number)	$MRn=H/A^{0.5}$	53.55
55	Dsi	Δείκτης Ανατομίας (Dissection Index)	$Dsi=H/Ra$	1
56	Rg	Λόγος Κλίσης (Gradient Ratio)	$Rg=(Z-z)/Lb$	0.03
57	Sa	Ανάλυση Κλίσης (Slope Analysis)		Εικόνα 26
58	S	Μέση Κλίση της Λεκάνης Απορροής (Average Slope)	$S=(Z*(CtI/H))/(10*A)$	0.25 m/Km
59	Θs	Μέση Κλίση της Χερσαίας Λεκάνης	$\Theta s=(CtI*Cin)/A$	0.25 m/Km

		(Mean Slope of Overall Basin)		
60	Hs	Υψομετρική Ανάλυση (Hypsometric Analysis)	GIS - EXCELL	Εικόνα 29
61	Lp	Προφίλ Μηκοτομής (Longitudinal Profil)	GIS - EXCELL	Εικόνα 33
62	Sw	Υδρογραφική Κλίση (Watershed Slope)	$Sw=H/Lb$	0.03
63	Ctl	Συνολικό Μήκος Ισοϋψών (Total Contour Length)	GIS - EXCELL	1201.65 Km
64	Cin	Ισοδιάσταση Ισοϋψούς (Contour Interval)	GIS	100 m
65		Μήκος 2 Διαδοχικών Ισοϋψών (Length of Two Successive Contours)	GIS - EXCELL	Πίνακας 13
66	Swc	Μέση Κλίση Πλάτους Ισοϋψών (Swc) (Average Slope Width of Contour)	$Swc=A/[(Lu+Lu+1)/2]$	Πίνακας 14
67	Af	Ασυμμετρία της Υδρογραφικής Λεκάνης (Af) (Drainage Basin Asymmetry)	$Af=100*(Ar/At)$	58.2%

**Παράρτημα 3. Υπολογισμός μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής του
Χαβρία**

1	2	3	4
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (Km ²)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΓΙΝΟΜΕΝΟ (2X3)
0-100	49.79	50	2489.50
100-200	78.71	150	11806.50
200-300	66.41	250	16602.50
300-400	61.79	350	21626.50
400-500	45.48	450	20466.00
500-600	67.30	550	37015.00
600-700	59.43	650	38629.50
700-800	27.11	750	20332.50
800-900	12.76	850	10846.00
900-1000	4.50	950	4275.00
1000-1100	0.00	1050	0.01
1100-1200	0.00	1150	0.00
	473.28		184089.01

ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ (m) (4/2)	388.96 m
--	-----------------

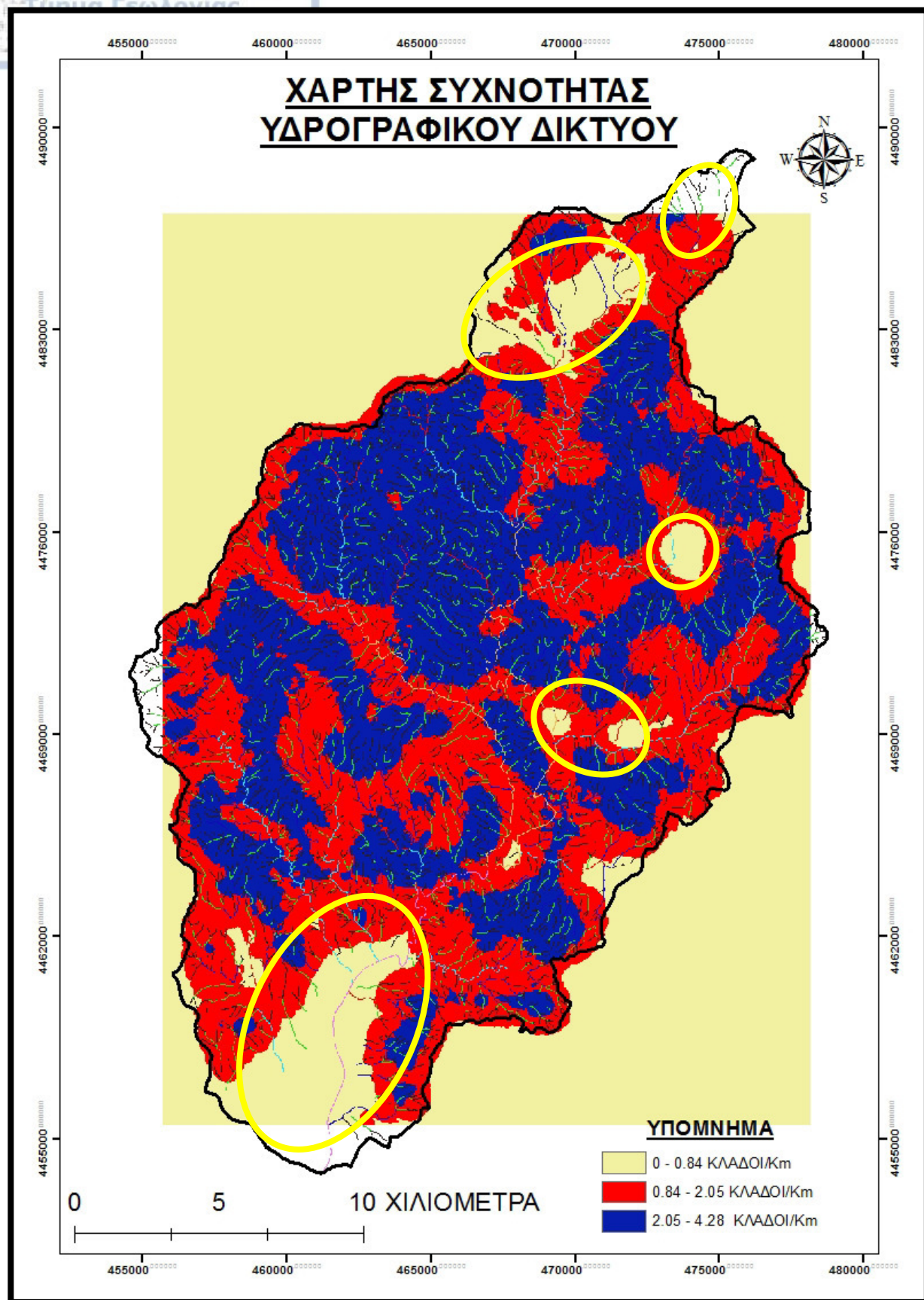
Παράρτημα 4. Συντελεστές κατείσδυσης γεωλογικών σχηματισμών

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ
1	gn.bi	ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ	0.07
2	mr2	ΜΑΡΜΑΡΑ	0.3
3	gn2	ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ	0.07
4	ab	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ	0.06
5	H.t.c	ΚΑΤΩΤΕΡΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΕΣ	0.15
6	al	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0.2
7	T.Jm.mr	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ-ΜΑΡΜΑΡΑ-ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ	0.15
8	T.Jm.ph	ΦΥΛΛΙΤΕΣ	0.07
9	Q.cs1	ΡΙΠΙΔΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΕΩΝ	0.2
10	Q.cs2	ΡΙΠΙΔΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΕΩΝ	0.2
11	(gn)M ₂	ΓΝΕΥΣΙΟΣ	0.07
12	γ2	ΓΝΕΥΣΙΟΣ ΑΡΝΑΙΑΣ	0.07
13	T.Jm.st	ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ	0.06
14	sch.gn	ΠΡΑΣΙΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ+ΓΝΕΥΣΙΟΙ	0.06
15	Σειρά M4.c	ΛΙΜΝΑΙΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ-ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑΙΤΕΣ-ΕΡΥΘΡΟΙ ΑΡΓΙΛΟΙ-ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ	0.1
16	n,n.q	ΔΙΟΡΙΤΗΣ-ΧΑΛΑΖΙΑΚΟΣ ΔΙΟΡΙΤΗΣ	0.06
17	H.lk	ΛΙΜΝΑΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	0.1
18	πρ	ΠΥΡΟΞΕΝΙΤΕΣ	0.06
19	π.ο	ΔΟΥΝΙΤΕΣ-ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	0.06
20	θ1	ΓΑΒΒΡΟΣ	0.06
21	H.lg	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	0.1
22	Pt.t1.c	ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ	0.15
23	n	ΔΙΟΡΙΤΗΣ	0.06
24	ab-gn	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ	0.06
25	νπ	ΔΟΥΝΙΤΕΣ-ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	0.06
26	π	ΔΟΥΝΙΤΕΣ-ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	0.06
27	Cd,dn	ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ-ΘΙΝΕΣ	0.1
28	Tm.s?.k	ΓΡΑΝΙΤΟΓΝΕΥΣΙΟΣ	0.07
29	πφ.η	ΠΟΡΦΥΡΗΣ	0.06
30	lr	ΣΙΔΗΡΟΥΝ ΕΠΙΚΑΛΥΜΜΑ	0.06
31	πγ	ΠΗΓΜΑΤΙΤΕΣ	0.06

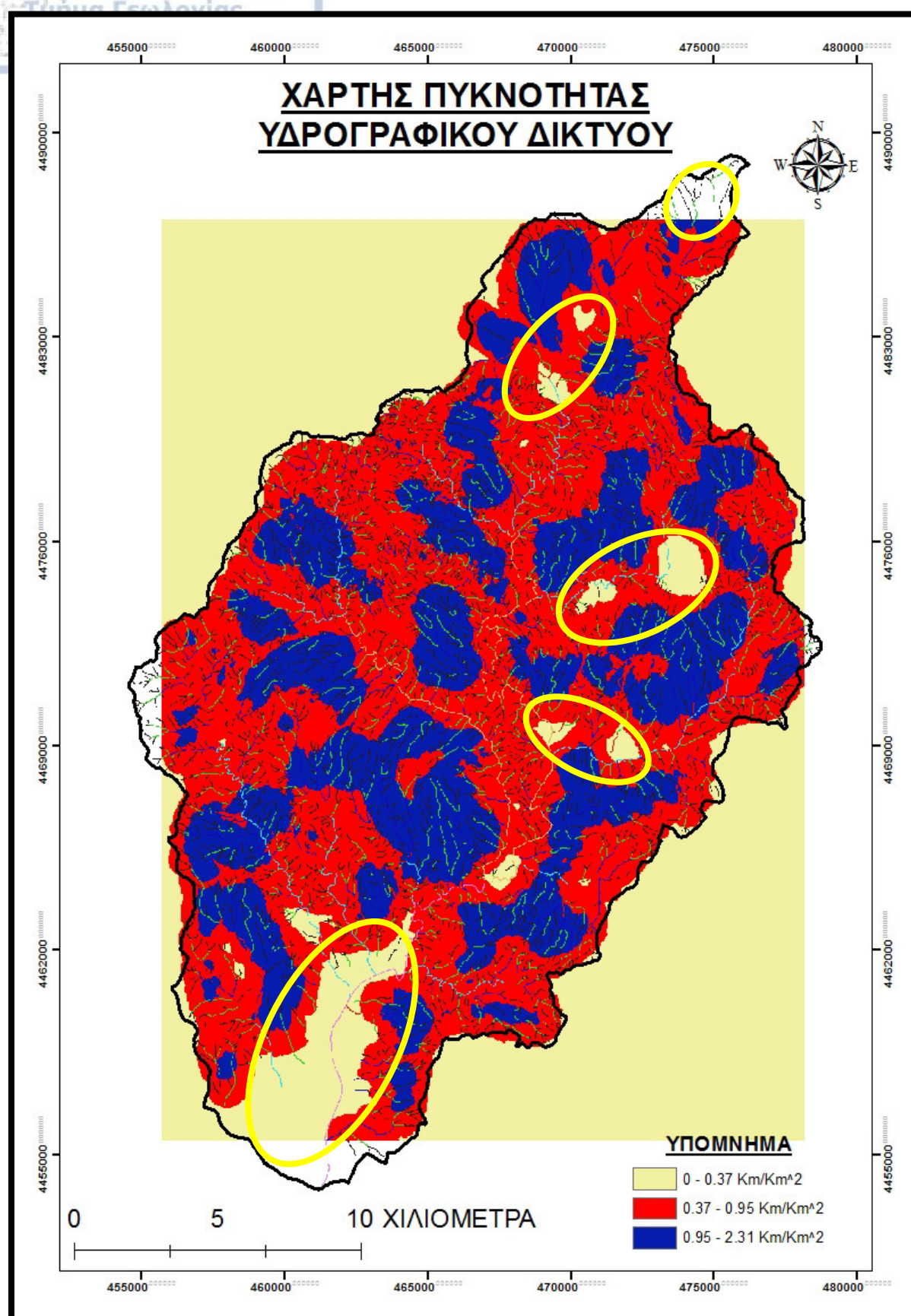
Συντελεστές κατείδυσης (κατά Σούλιο)

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ
1	Πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες	0.15
2	Αλλουβιακές αποθέσεις – Κώνοι κορημάτων – Πλευρικά κορήματα	0.2
3	Παλιές αναβαθμίδες	0.15
4	Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί	0.2
5	Ελλουβιακός μανδύας	0.2
6	Αμφιβολιτικοί – Μαρμαρυγικοί γνεύσιοι	0.07
7	Παλαιοί κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα	0.15
8	Ποταμολιμναίες αποθέσεις	0.1
9	Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι – Γνευσιοσχιστόλιθοι - Αμφιβολίτες	0.06
10	Κροκαλοπαγή	0.2
11	Μάρμαρα	0.3
12	Σχιστόλιθοι	0.04

Παράρτημα 5. Χάρτης υδρογραφικής συχνότητας



Παράρτημα 6. Χάρτης υδρογραφικής πυκνότητας



Παράρτημα 7. Πίνακας στοιχείων γεωτρήσεων

Χ	Υ	Ζ	ΑΠΡ. 2016	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΟΚΤ. 2016	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
462036.35	4458382.87	11.26	4.00	7.26	7.00	4.26	3.00
462173.98	4459553.22	15.51	6.39	9.12	10.67	4.84	4.28
462176.79	4458415.46	11.81	6.48	5.33	7.06	4.75	0.58
462575.62	4459410.63	20.76	0.00	20.76	0.00	20.76	0.00
460989.08	4458353.04	10.87	5.36	5.51	7.05	3.82	1.69
462156.59	4458626.46	12.65	5.18	7.47	7.98	4.67	2.80
462116.59	4458277.01	10.78	3.53	7.25	6.24	4.54	2.71
462018.34	4458183.16	10.68	3.44	7.24	6.18	4.50	2.74
462208.60	4456840.96	10.61	4.02	6.59	7.30	3.31	3.28
461634.77	4455750.50	4.99	1.45	3.54	3.96	1.03	2.51
461828.01	4458372.81	11.30	3.77	7.53	6.93	4.37	3.16
461820.27	4458243.35	11.16	4.45	6.71	6.20	4.96	1.75
461813.94	4458112.04	10.38	3.49	6.89	6.12	4.26	2.63
461749.65	4457727.56	8.92	2.32	6.60	4.90	4.02	2.58
461774.58	4457612.74	8.61	3.12	5.49	4.76	3.85	1.64
461889.97	4457170.01	7.07	2.77	4.30	2.95	4.12	0.18
461821.09	4459808.45	14.76	4.68	10.08	9.95	4.81	5.27
461587.52	4459565.43	14.50	4.66	9.84	8.97	5.53	4.31
461360.46	4459488.89	14.64	6.09	8.55	10.00	4.64	3.91
461225.40	4454973.74	3.23	2.30	0.93	2.70	0.53	0.40
461359.18	4454799.16	3.35	2.50	0.85	2.71	0.64	0.21
461523.32	4454739.13	6.44	4.50	1.94	5.78	0.66	1.28
460239.97	4456013.00	4.97	1.50	3.47	2.72	2.25	1.22
460169.73	4455861.67	5.29	2.42	2.87	3.60	1.69	1.18
460183.51	4455787.60	5.01	0.19	4.82	1.92	3.09	1.73
460155.82	4455373.35	3.58	1.15	2.43	1.58	2.00	0.43
460301.21	4455257.88	3.57	1.85	1.72	2.68	0.89	0.83
460530.40	4455171.58	3.68	2.26	1.42	2.80	0.88	0.54
460396.20	4454989.14	3.49	1.87	1.62	2.40	1.09	0.53
461160.17	4455521.67	4.37	3.19	1.18	3.75	0.62	0.56
461181.21	4455754.67	7.46	2.92	4.54	3.92	3.54	1.00
459058.67	4456159.90	3.66	1.43	2.23	2.79	0.87	1.36
459309.37	4455601.70	3.02	1.53	1.49	2.45	0.57	0.92
459438.95	4455712.00	3.24	0.82	2.42	2.02	1.22	1.20
459145.74	4457323.08	17.61	12.50	5.11	17.70	-0.09	5.20
460671.08	4457418.59	9.00	2.25	6.75	5.12	3.88	2.87
460443.65	4457016.48	7.34	1.88	5.46	4.20	3.14	2.32
460400.88	4456966.75	7.54	1.53	6.01	3.91	3.63	2.38
460369.39	4456907.72	7.39	1.89	5.50	3.71	3.68	1.82
460181.47	4456566.46	6.49	1.75	4.74	3.47	3.02	1.72
460243.95	4456499.53	6.31	2.00	4.31	3.78	2.53	1.78
460808.82	4456378.18	6.19	2.88	3.31	3.83	2.36	0.95

X	Y	Z	ΑΠΡ. 2016	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΟΚΤ. 2016	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
460953.50	4456399.63	6.02	1.14	4.88	3.20	2.82	2.06
461267.57	4457950.16	9.67	3.33	6.34	6.30	3.37	2.97
461274.77	4458802.98	11.63	3.25	8.38	7.10	4.53	3.85
461173.22	4459721.10	17.57	4.27	13.30	8.18	9.39	3.91
461134.73	4459121.89	12.24	4.30	7.94	8.31	3.93	4.01
461357.60	4459485.20	14.51	5.16	9.35	10.16	4.35	5.00
461421.35	4459484.88	14.46	5.14	9.32	9.78	4.68	4.64
462448.16	4460560.11	15.63	1.85	13.78	10.70	4.93	8.85
461508.08	4456759.39	6.29	0.53	5.76	3.11	3.18	2.58
459375.91	4457170.14	12.46	8.35	4.11	12.87	-0.41	4.52
459139.11	4458719.86	40.08	12.05	28.03	27.90	12.18	15.85
461237.86	4459064.01	11.64	3.40	8.24	7.59	4.05	4.19
462293.69	4459978.13	16.61	5.57	11.04	13.38	3.23	7.81
462401.14	4459936.89	16.86	5.38	11.48	12.24	4.62	6.86
459596.04	4456726.81	6.55	1.62	4.93	6.50	0.05	4.88
460687.17	4457516.56	8.60	2.15	6.45	5.24	3.36	3.09
462354.7	4459713.27	15.93	4.90	11.03	11.26	4.67	6.36
460061.15	4456630.34	6.31	1.62	4.69	6.50	-0.19	4.88
460695.09	4457529.82	8.61	2.15	6.46	5.24	3.37	3.09
460704.76	4457483.52	8.45	2.14	6.31	5.24	3.21	3.10
459625.67	4455905.25	4.38	1.65	2.73	3.19	1.19	1.54
459691.63	4456047.35	4.87	1.65	3.22	2.94	1.93	1.29
458395.26	4455887.87	2.42	0.50	1.92	2.00	0.42	1.50