



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

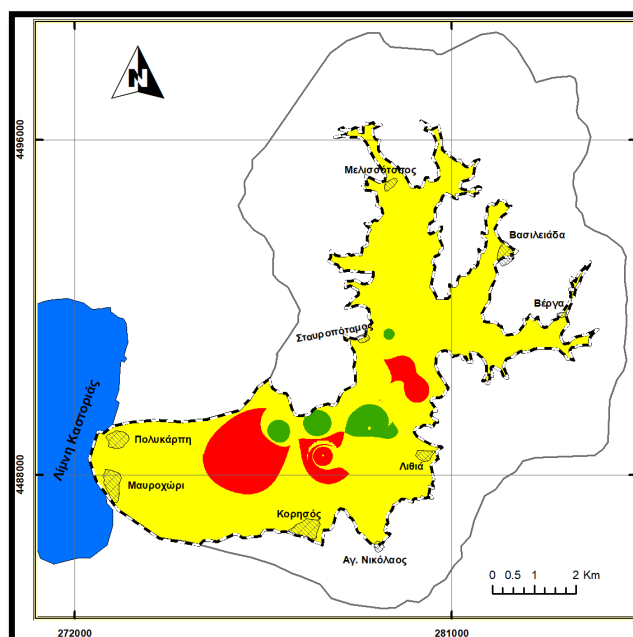


ΓΙΑΜΑΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
‘ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ’
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ‘ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ’



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2021



[λευκή σελίδα]



ΓΙΑΜΑΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Εφαρμοσμένη Γεωλογία και Περιβάλλον',

Κατεύθυνση 'Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 08/06/2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος: Επιβλέπων

ΕΔΠ, Κακλής Τριαντάφυλλος: Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

ΕΔΠ, Μάττας Χρήστος: Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής



© Σταύρος Γιαμαλής, Γεωλόγος, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Stavros Giamalis, Geologist, 2021

All rights reserved.

AQUIFER VULNERABILITY ASSESSMENT TO EXTERNAL
POLLUTION USING THE DRASTIC METHOD IN KASTORIA BASIN
– Master Thesis

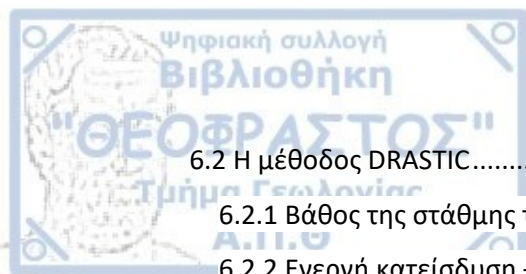
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

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



Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Στόχος - Σκοπός της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας	1
1.2 Εργασίες που εκτελέστηκαν	1
1.3 Συνοπτική περιγραφή της δομής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	3
2.1 Γεωγραφική θέση	3
2.2 Πληθυσμιακά στοιχεία	5
2.3 Μορφολογία	7
2.4 Υδρογραφικό δίκτυο	12
2.4.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου	13
2.5 Χρήσεις γης και πηγές ρύπανσης	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	21
3.1 Γεωλογικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής	21
3.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης	22
3.2.1 Τεκτονική - Σεισμική επικινδυνότητα λεκάνης Κορησού	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	27
4.1 Εισαγωγή - Κλιματικά στοιχεία	27
4.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	28
4.3 Θερμοκρασία Αέρα	31
4.4 Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	36
5.1 Εισαγωγή	36
5.2 Διάκριση των σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητα	36
5.1.1 Περαιοί σχηματισμοί	37
5.1.2 Αδιαπέρατοι σχηματισμοί	38
5.2 Διαμόρφωση υπόγειου υδροφορέα - Χαρακτηριστικά	38
5.3 Πιεζομετρικές συνθήκες και μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού	41
5.4 Ισοπιεζομετρικός χάρτης	45
5.5 Ποιότητα υπόγειου νερού	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τρωτότητα υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση	49
6.1 Εισαγωγή	49



6.2 Η μέθοδος DRASTIC.....	50
6.2.1 Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού – D	53
6.2.2 Ενεργή κατείσδυση – R	55
6.2.3 Υλικό υδροφορέα – A	57
6.2.4 Έδαφος – S.....	60
6.2.5 Κλίση αναγλύφου - T	62
6.2.6 Επίδραση της ακόρεστης ζώνης – I	64
6.3 Αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη DRASTIC- Τελικός χάρτης τρωτότητας	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	70
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	73
ABSTRACT.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αναμφισβήτητα, τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται πολύς λόγος για την ραγδαία αύξηση των υδατικών αναγκών στις σύγχρονες κοινωνίες, λόγω της αστικοποίησης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου. Το νερό είναι απαραίτητο για την ανθρώπινη υγεία και την επιβίωση του ανθρώπου. Παρά το γεγονός ότι η επιφάνεια του πλανήτη μας καλύπτεται κατά 70% από νερό, το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό είναι αλμυρό. Το 97% του νερού βρίσκεται σε θάλασσες και ωκεανούς, ενώ μόνο το 3% είναι πόσιμο γλυκό νερό. Οι υδατικές αυτές ανάγκες καλύπτονται από ένα σημαντικό μέρος του υπόγειου νερού. Το υπόγειο νερό αποτελεί μόνο το 0,61% του συνολικού νερού στον πλανήτη μας και είναι ένας σημαντικός γεωλογικός παράγοντας, ο οποίος συμμετέχει ενεργά στον υδρολογικό κύκλο (βλ. σχήμα). Το υδρολογικό ενδιαφέρον έγκειται σε μεγάλο βαθμό στην ταχύτητα και την κατεύθυνση που κινείται το υπόγειο νερό και την άμεση αλληλεπίδραση που έχει με το περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο, ότι όχι μόνο ο ρυθμός κίνησης των υπόγειων υδάτων είναι πολύ αργός, σε σύγκριση με των επιφανειακών, αλλά είναι επίσης και μεταβλητός. Δυστυχώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ποσοτική (υπεράντληση) και ποιοτική υποβάθμιση (ρύπανση, υφαλμύριση) του υπόγειου νερού, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η ζωή των ανθρώπων και να διαταράσσονται οι περιβαλλοντικές ισορροπίες. Επομένως κρίνεται απαραίτητο, όλοι να κατανοήσουμε την μεγάλη σημασία που έχει το νερό στην ζωή του καθενός, το οποίο αποτελεί έναν περιορισμένο φυσικό πόρο και η ορθή χρήση του αποτελεί μονόδρομο, ώστε να διασφαλιστεί η ποσότητά του αλλά και η ποιότητα του μελλοντικά.



Ο κύκλος του νερού (πηγή: [wikipedia](http://www.wikipedia))



Τα ανωτέρω προβλήματα πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, στα πλαίσια της οποίας αρχικά μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, με σκοπό την ορθολογικότερη διαχείριση του υπόγειου υδατικού δυναμικού, ενώ κύριο αντικείμενο αποτέλεσε η εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης Κορησού (Καστοριάς) στην εξωτερική ρύπανση, με αποτέλεσμα να εκτιμηθεί το δυναμικό ρύπανσης.

Στο σημείο αυτό, με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που ο καθένας με τον δικό του τρόπο συνέβαλλε σε αυτή την προσπάθεια.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως, τον Καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, για την ανάθεση της μεταπτυχιακής διατριβής, την αμέριστη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχε. Ακόμη τον ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια και σε προπτυχιακό επίπεδο αλλά και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσε και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε σε εμένα.

Ευχαριστώ τον κ. Κακλή Άκη, για τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και τις επιστημονικές του υποδείξεις.

Ευχαριστώ τον κ. Μάττα Χρήστο, για τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και τις επιστημονικές του υποδείξεις.

Ευχαριστώ τον Διδάκτορα Ηλία Λάζο, για τις συμβουλές του και τη βοήθειά του στη μεταπτυχιακή μου διατριβή.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου για την στήριξη και υπομονή που μου έδειξαν. Ιδιαίτερα ένα μεγάλο ευχαριστώ στον φίλο μου Ρήγα Γιώβο, για τη βοήθειά του και τις συμβουλές του στην χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου στους γονείς μου και την αδερφή μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους στο δύσκολο αυτό έργο μου, αλλά και την ψυχολογική τους υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Στόχος - Σκοπός της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, η οποία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών “Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία”, με κατεύθυνση στην “Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον”, έχει ως αντικείμενο την μελέτη των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης Κορησού, του νομού Καστοριάς που βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της πόλης της Καστοριάς (σχήμα 2.1). Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του προσχωματικού υδροφορέα της λεκάνης Κορησού. Για την εκτίμηση της τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DRASTIC και τέλος κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας σε περιβάλλον GIS, ο οποίος αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο στην χάραξη ζωνών προστασίας και την ορθή διαχείριση των υδάτινων πόρων, χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται την κατάργηση της έρευνας στο πεδίο. Ακόμη έγινε επαλήθευση της μεθόδου σε συσχέτιση με τις τιμές των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-) στην λεκάνη.

1.2 Εργασίες που εκτελέστηκαν

Αναγκαία κρίνεται η γνώση των υδρογεωλογικών, υδροχημικών και γεωλογικών συνθηκών της περιοχής για την εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης στην εξωτερική ρύπανση, γι’ αυτό τον λόγο οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- Συλλογή προγενέστερων μελετών, στοιχείων που αφορούσαν τα γεωλογικά-υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.
- Αναζήτηση ελληνικών και διεθνών ερευνητικών άρθρων, που αφορούσαν κυρίως την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην ρύπανση με την μέθοδο DRASTIC.
- Συλλογή λιθολογικών τομών προϋπαρχόντων γεωτρήσεων από Τ.Ο.Ε.Β Καστοριάς και Ψηφιοποίηση χαρτών κλίμακας 1:50.000 ΙΓΜΕ & ΓΥΣ, (τοπογραφικών, γεωλογικών, υδρολογικών, κ.ά.) με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S) στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ’87.



- Συλλογή δορυφορικών εικόνων και εικόνων ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (SRTM).
- Σύνταξη θεματικών χαρτών (βροχομετρικός, γεωλογικός, υδρολιθολογικός, κλίσεων κ.ά.)
- Εκτίμηση των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC και σύνταξη των αντίστοιχων θεματικών χαρτών στο περιβάλλον ArcMap.
- Σύνταξη τελικού χάρτη τρωτότητας του υπόγειου υδροφορέα στην ρύπανση με το λογισμικό πρόγραμμα ArcGIS.

1.3 Συνοπτική περιγραφή της δομής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα εισαγωγικά στοιχεία της μεταπτυχιακής διατριβής, όπου αναλύεται το αντικείμενο, ο στόχος συγγραφής της και παρατίθενται συνοπτικά τα κεφάλαια από τα οποία αποτελείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Γίνεται αναφορά στον γεωγραφικό προσδιορισμό της λεκάνης και περιγράφονται τα μορφολογικά και πληθυσμιακά στοιχεία της. Έπειτα περιγράφεται το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και τέλος αναφέρονται οι χρήσεις γης και οι πηγές ρύπανσης σε αυτήν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναφέρονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελείται η ευρύτερη περιοχή έρευνας και η λεκάνη, και τα τεκτονικά στοιχεία αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σε αυτό το κεφάλαιο, περιγράφονται οι κλιματικές συνθήκες και αποτυπώνεται το προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης Κορησού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Παρουσιάζονται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, και διαχωρίζονται οι σχηματισμοί με βάση την υδροπερατότητά τους. Έπειτα γίνεται ανάλυση των λιθολογικών τομών και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης Κορησού. Τέλος παρουσιάζονται οι πιεζομετρικές συνθήκες, η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού ενώ αξιολογείται και η ποιότητά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Περιλαμβάνει την εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου νερού, στην εξωτερική ρύπανση με την μέθοδο DRASTIC.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή έρευνας, γεωγραφικά βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας (σχήμα 2.1) , ανατολικά της πόλης Καστοριάς και της λίμνης της, και καταλαμβάνει συνολική έκταση 89.25 Km² (σχήμα 2.2 , 2.3). Η εξεταζόμενη περιοχή, ανήκει στο 9^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδος, στον δήμο Καστοριάς του νομού Καστοριάς, με έκταση που ανέρχεται στα 97,32 Km² (Πηγή: ΕΣΥΕ) και οι συντεταγμένες του κέντρου της είναι: E 279763 – N 4491553 (σχήμα 2.4). Αποτελεί υδρολογική υπολεκάνη της λεκάνης Καστοριάς και αποστραγγίζεται από τον χείμαρρο του Ξηροποτάμου, ενώ στα Β-ΒΑ συνορεύει με τον νομό Φλώρινας.

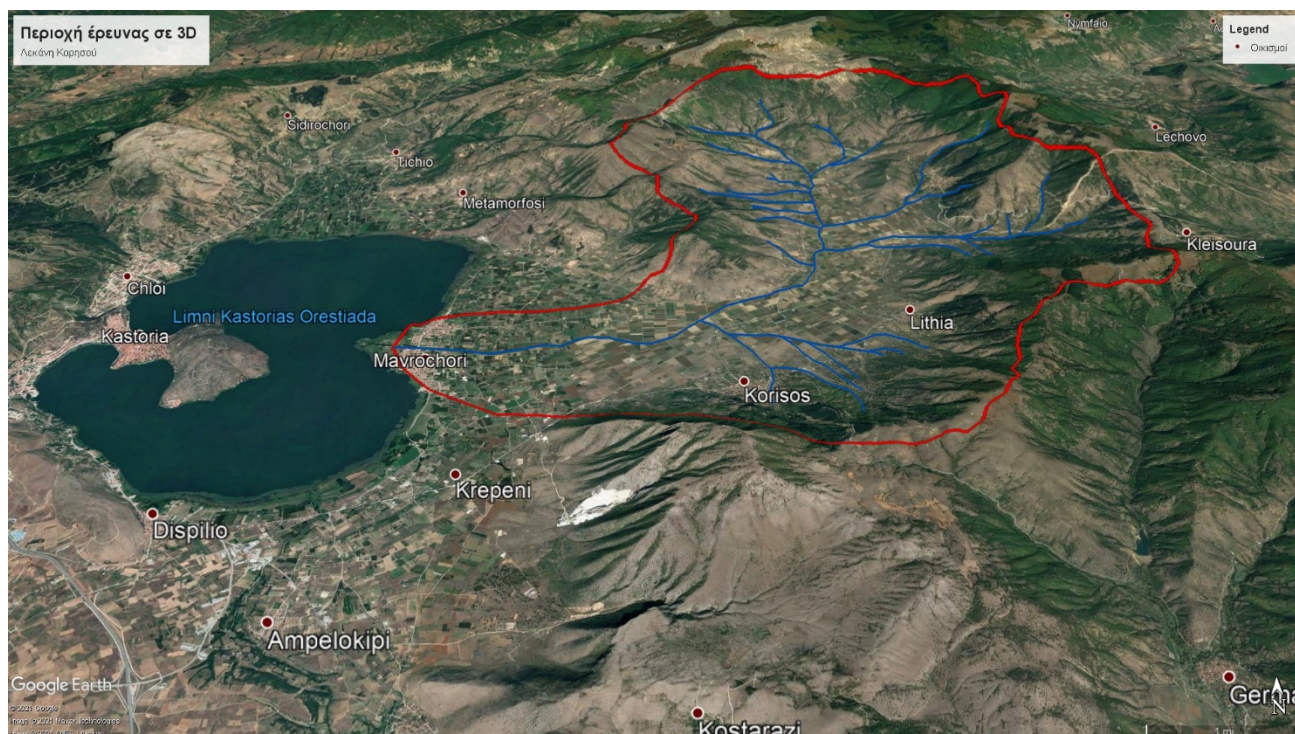


Σχήμα 2.1: Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής έρευνας

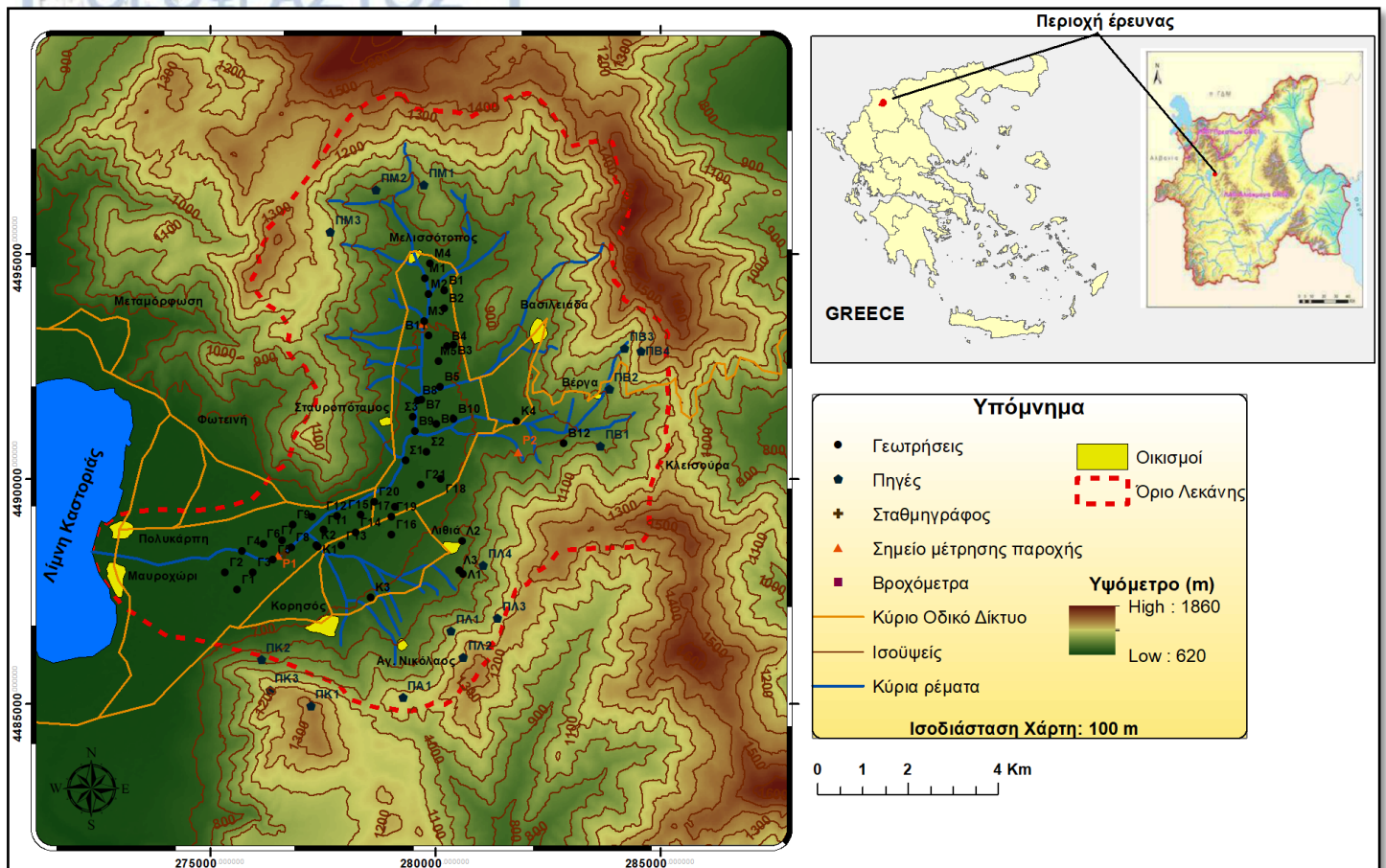
(πηγή: Base map from ArcGIS, τροποποιημένη από τον συγγραφέα).



Σχήμα 2.2: Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης, τροποποιημένο από Google Earth Pro (με κόκκινη διαγράμμιση απεικονίζεται η ερευνώμενη λεκάνη απορροής Κορησού με έκταση 89.25 Km^2 , ενώ με μπλε διαγράμμιση απεικονίζεται το κύριο υδρογραφικό δίκτυο).



Σχήμα 2.3: Τρισδιάστατη Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μελέτης, τροποποιημένο από Google Earth Pro (με κόκκινη διαγράμμιση απεικονίζεται η ερευνώμενη λεκάνη απορροής Κορησού με έκταση 89.25 Km^2 , ενώ με μπλε διαγράμμιση απεικονίζεται το κύριο υδρογραφικό δίκτυο).



Σχήμα 2.4: Τοπογραφικός χάρτης με την λεκάνη Κορησού (κόκκινη διαγράμμιση, αριστερά χάρτης) και την λεκάνη απορροής στο 9^ο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας (απόσπασμα δεξιού χάρτη, Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας).

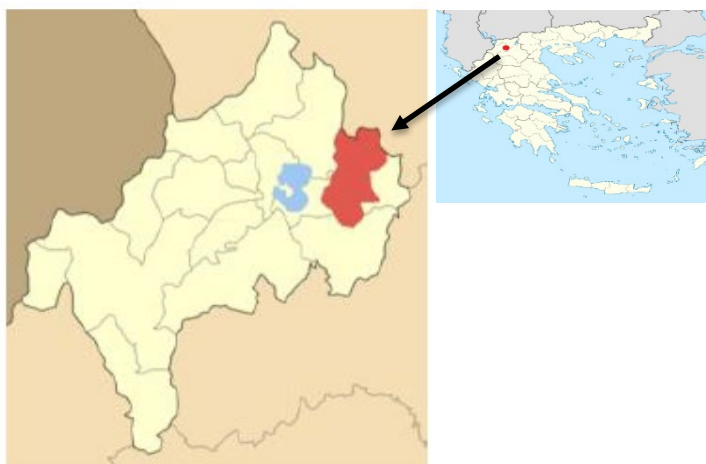
2.2 Πληθυσμιακά στοιχεία

Η περιοχή έρευνας, όπως αναφέρθηκε ανήκει στον νομό Καστοριάς. Σύμφωνα με το Προγράμματος «Καλλικράτης» από το 2011, ο νομός Καστοριάς αποτελεί την Περιφερειακή Ενότητα Καστοριάς (με έδρα την Καστοριά) της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Με την συνένωση και συγχώνευση των Δήμων από 12 σε 3 όπως προέβλεπε το πρόγραμμα, οι νέοι δήμοι που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Πληθυσμιακά στοιχεία Περιφερειακής Ενότητας Καστοριάς (ΕΣΥΕ, 2011).

Περιφερειακή ενότητα	Δήμοι/Έδρα	Πληθυσμός
Καστοριάς	Καστοριάς/Καστοριά	35.874
	Νεστορίου/Νεστόριο	2.646
	Ορεστίδος/Άργος Ορεστικό	11.802
Σύνολο		50.322

Συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης ανήκει στην δημοτική ενότητα των Αγίων Αναργύρων, του Δήμου Καστοριάς (συνολικής έκτασης 763,3 Km²) και αποτελείται από τέσσερα (4) δημοτικά διαμερίσματα (Κορησού (σχήμα 2.5), Βασιλειάδος, Λιθιάς και Μελισσοτόπου). Ο συνολικός πληθυσμός της δημοτικής ενότητας, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.2), ανέρχεται στους 2.138 κατοίκους. Αντίστοιχα ο πληθυσμός της δημοτικής ενότητας Αγίων Αναργύρων το 1991 ανερχόταν στους 2.581 κατοίκους, ενώ το 2001 στους 2845 κατοίκους. Από αυτό συμπεραίνεται μία αύξηση του πληθυσμού, της τάξης του 10,2 % κατά τα έτη 1991-2001, ενώ μία μείωση του πληθυσμού της τάξης του 24,9 % κατά τα έτη 2001-2011. Τα αποτελέσματα των απογραφών για την δημοτική ενότητα των Αγίων Αναργύρων και των μεταβολών του πληθυσμού κατά τα προαναφερθέντα έτη παρουσιάζονται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.5: Δημοτικό διαμέρισμα Κορησού.

Πίνακας 2.2: Πληθυσμιακά στοιχεία του Δήμου Καστοριάς και συγκεκριμένα της δημοτικής ενότητας Αγίων Αναργύρων (πηγή: ΕΣΥΕ).

Δήμος	Δημοτική ενότητα	Τοπική κοινότητα	Χωριά	Πληθυσμός (2011)
Καστοριάς	Αγίων Αναργύρων	Βασιλειάδος	Αγία Παρασκευή	453
			Βασιλειάδα	
			Βέργα	
		Κορησού	Άγιος Νικόλαος	1020
			Κορησός	
		Λιθιάς	Λιθιά	311
		Μελισσοτόπου	Μελισσότοπος	354
			Μονή Αγίων Αναργύρων	
			Σταυροπόταμος	
			Σύνολο: 2138	



Σχήμα 2.6: Διακύμανση συνολικού πληθυσμού της Δ.Ε Αγίων Αναργύρων (πηγή: ΕΣΥΕ).

2.3 Μορφολογία

Η μορφολογία της περιοχής έρευνας καθορίζεται από την γεωλογική δομή, την τεκτονική εξέλιξη και την διάβρωση που συντελεί στην προοδευτική εξομάλυνση του αναγλύφου. Ο υπολογισμός των μορφολογικών παραμέτρων, πραγματοποιήθηκε με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης Κορησού.

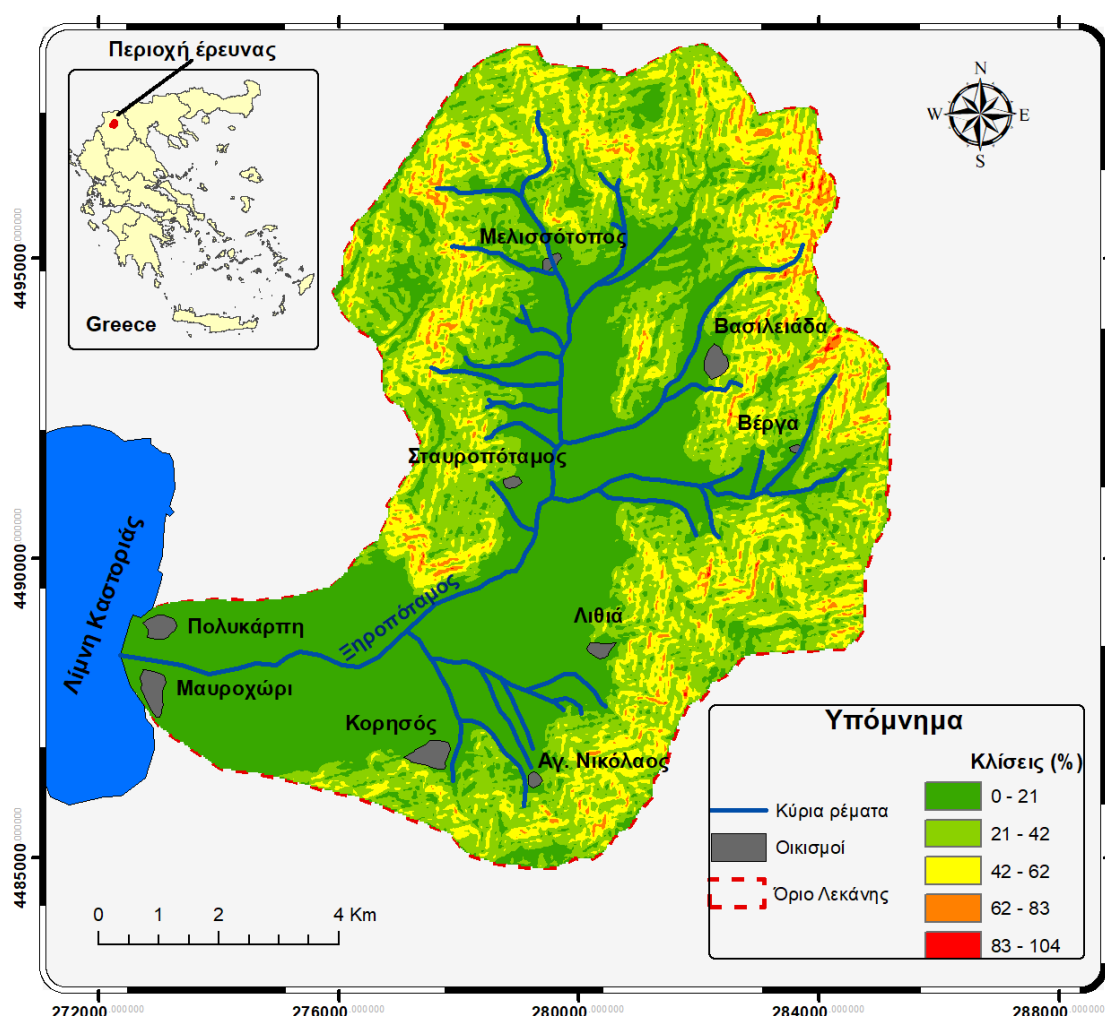
i	Εμβαδόν (E)	89.25 Km ²
ii	Περίμετρος (P)	41.15 Km
iii	Μέγιστο μήκος (L _{ew})	10.22 Km
iv	Μέγιστο υψόμετρο (H _{max})	1651 m
v	Ελάχιστο υψόμετρο (H _{min})	649 m
vi	Μέσο υψόμετρο (H _{mean})	984.04 m
vii	Μέγιστο ανάγλυφο (Z _{max})	1002 m
viii	Μέση κλίση (S)	28.58 %
ix	Δείκτης αναγλύφου (R _h)	0.098

Τα όρια της υδρολογικής λεκάνης, σύμφωνα με τον τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ, (κλίμακας 1:50.000) είναι τα εξής:

- Ανατολικά οριοθετείται από τα Βουνά, α) Οξυά με υψόμετρο 1374 m, b) Καλορράχη με υψόμετρο 1374 m, c) Πύργος με υψόμετρο 1413 m, d) Στενά κλεισούρας με υψόμετρο 1279 m, e) Δούκας με υψόμετρο 1623 m, f) Κρόνος με υψόμετρο 1680 m, g) Κορομηλιά με υψόμετρο 1434 m.

- Βόρεια οριοθετείται από τα Βουνά, α) Κορυφούλα με υψόμετρο 1470 m, β) Τσουγκα με υψόμετρο 1577 m.
- Δυτικά οριοθετείται από τα Βουνά, α) Πετροβούνι με υψόμετρο 1375 m, β) Βελανιδιά με υψόμετρο 1195 m, γ) Αγία Γκόρτσα με υψόμετρο 1190 m, δ) Μαυροβούνι με υψόμετρο 1157 m.

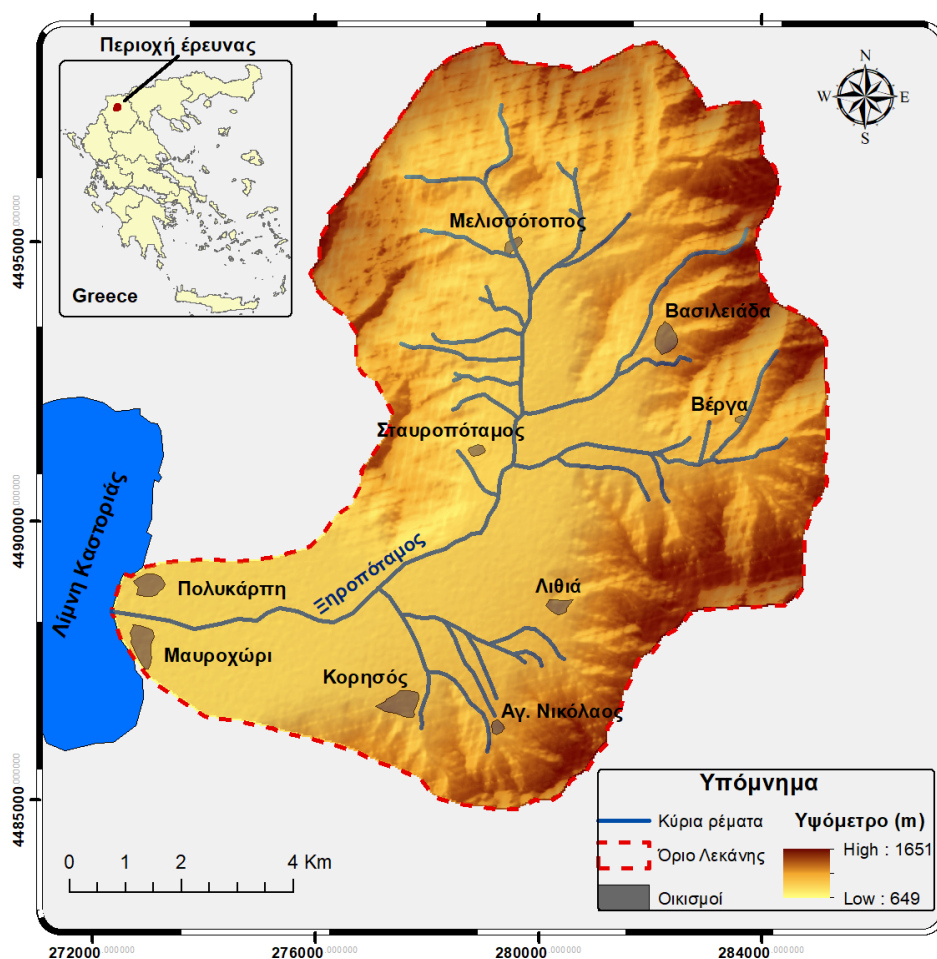
Το ανάγλυφο της περιοχής έρευνας, εμφανίζεται κυρίως ημιορεινό, απότομο με μέτριες έως υψηλές κλίσεις (σχήμα 2.7 , πίνακας 2.4). Σε γενικές γραμμές, περιμετρικά το ανάγλυφο εμφανίζεται ορεινό και αντίστοιχα εξαιρετικά απότομο, ενώ ομαλοποιείται προς το κεντρικό ημιορεινό τμήμα και όσο κινούμαστε προς τα Νοτιοδυτικά, δηλαδή την έξοδο της λεκάνης (σχήμα 2.8 , πίνακας 2.5). Ακόμη το σχήμα της λεκάνης απορροής είναι ελαφρά επίμηκες (μικρότερη απορροή από τις κυκλικές) με αποτέλεσμα να επηρεάζεται το μέγεθος της απορροής στην έξοδό της.



Σχήμα 2.7: Χάρτης κλίσεων της λεκάνης απορροής Κορησού.

Πίνακας 2.4: Κατανομή των κλίσεων και χαρακτηρισμός αναγλύφου κατά Demek (1972).

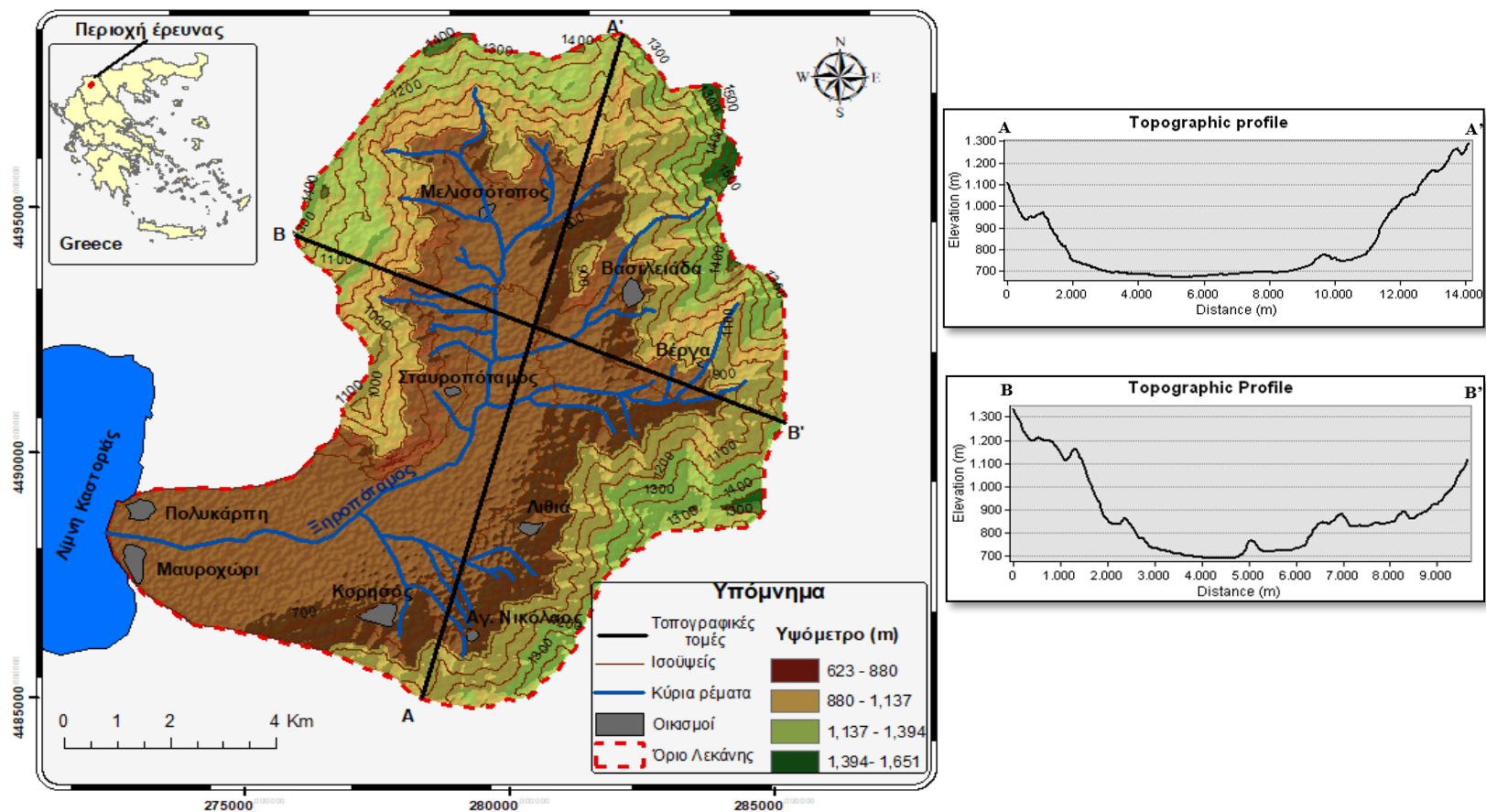
Κλίσεις (%)	Κλίσεις (°)	Χαρακτηρισμός αναγλύφου
0-21	0-9	Επίπεδο έως ισχυρά κεκλιμένο
21-42	9-18	Ισχυρά κεκλιμένο έως απότομο
42-62	18-28	Απότομο έως εξαιρετικά απότομο
62-83	28-37	Εξαιρετικά απότομο έως απόκρημνο
83-104	37-46	Απόκρημνο



Σχήμα 2.8: Μορφολογικός χάρτης λεκάνης απορροής Κορησού.

Πίνακας 2.5: Ταξινόμηση αναγλύφου κατά Dikau (1989).

Ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας σε (m)	Χαρακτηρισμός αναγλύφου
<150	Πεδινό
150-600	Λοφώδης
600-900	Ημιορεινό
>900	Ορεινό

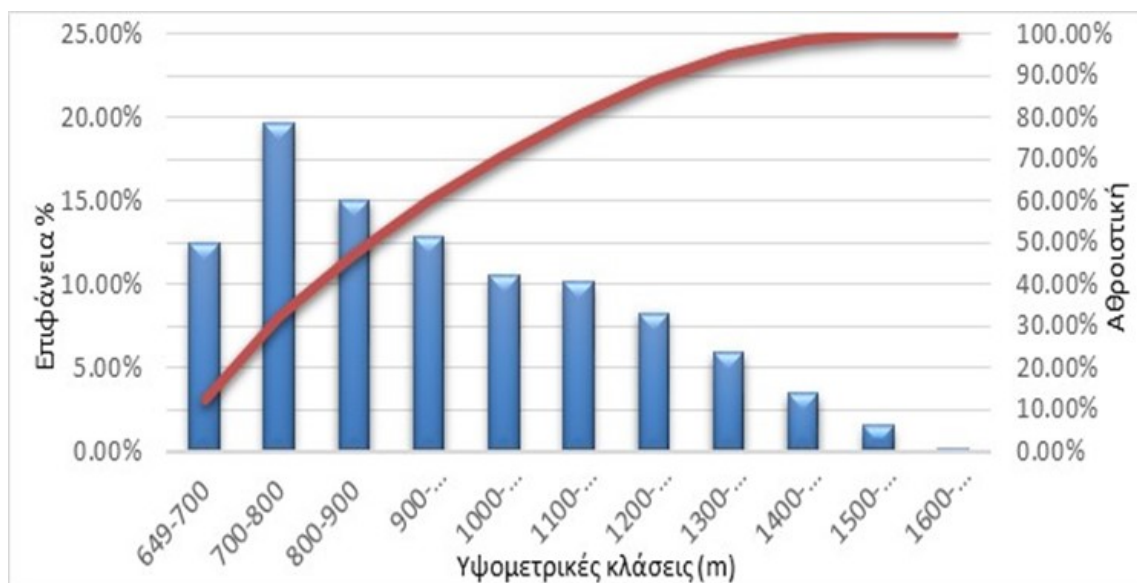


Σχήμα 2.9: Χάρτης απεικόνισης υψομέτρου, με τις αντίστοιχες τοπογραφικές τομές.

Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης Κορησού. Η υψομετρική ή υψογραφική καμπύλη, εκφράζει την κατανομή επιφάνειας - υψομέτρου μιας λεκάνης. Βασίζεται στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιο υψόμετρο και το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που έχει υψόμετρο πάνω ή κάτω απ' αυτό. Όπως παρατηρείται από την καμπύλη, εμφανίζεται ομοιόμορφη κατανομή στα διαφορετικά υψόμετρα. Τα δεδομένα της καμπύλης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Κατανομή επιφάνειας στην περιοχή έρευνας.

Ισοϋψείς (m)	E (Km ²)	E (%)	ΣΕ (%)
649-700	11.132	12.47	12.47
700-800	17.578	19.70	32.17
800-900	13.455	15.08	47.25
900-1000	11.501	12.89	60.13
1000-1100	9.389	10.52	70.65
1100-1200	9.012	10.10	80.75
1200-1300	7.371	8.26	89.01
1300-1400	5.261	5.90	94.90
1400-1500	3.096	3.47	98.37
1500-1600	1.352	1.52	99.89
1600-1700	0.099	0.11	100.00
Σύνολο	89.25	100.00	



Σχήμα 2.10: Υψογραφική καμπύλη της περιοχής έρευνας.

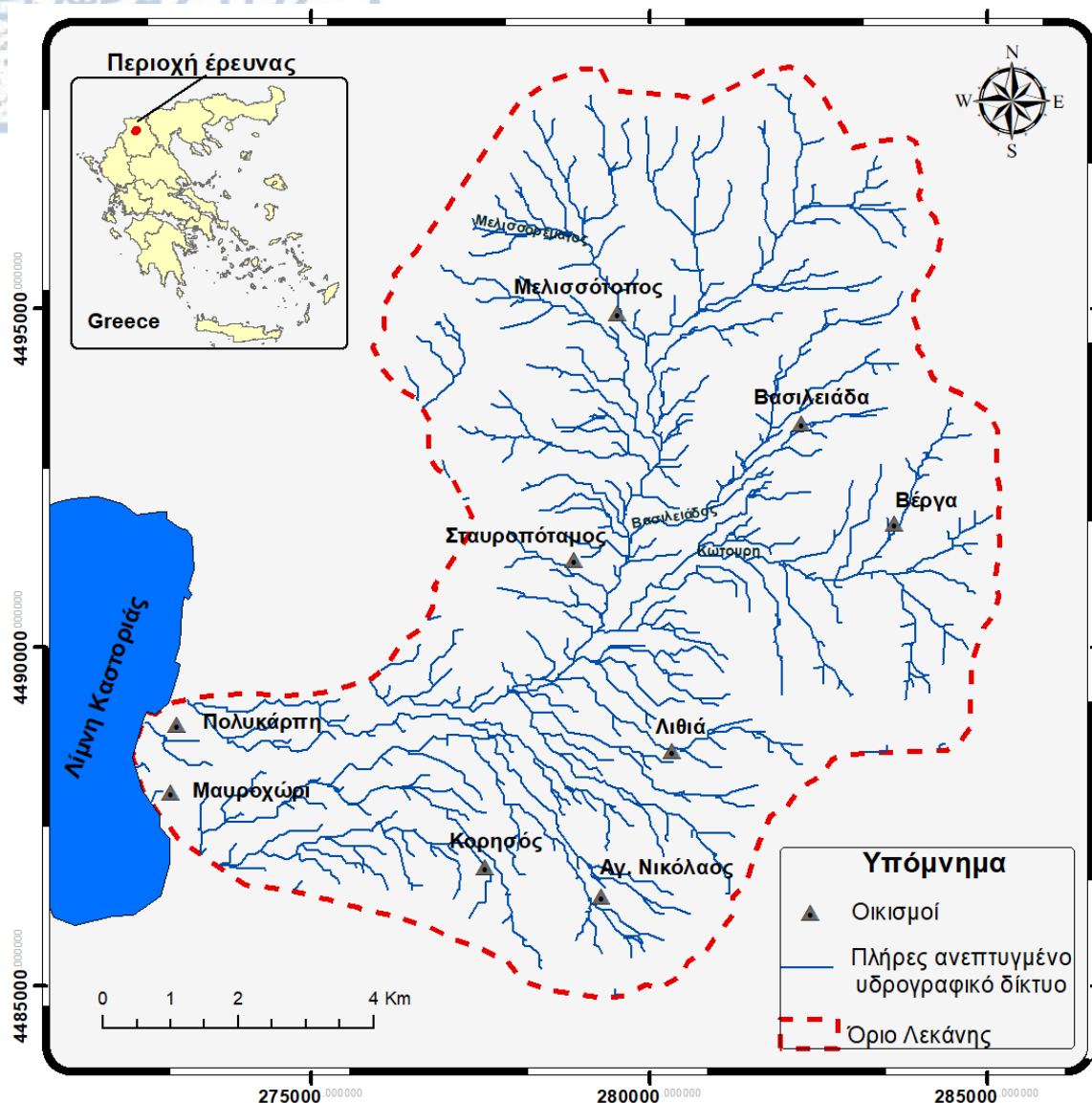
Από την υψογραφική καμπύλη του σχήματος 2.10, γίνεται σαφές ότι πάνω από το 50% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 1000 m. Διαπιστώνεται επίσης ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης (20%) βρίσκεται μεταξύ 700-800 m και ακολουθεί με ποσοστό 15% το υψόμετρο μεταξύ 800-900 m. Ακόμη από το σχήμα 2.10, παρατηρείται ότι η μέση τιμή του υψομέτρου (50% της αθροιστικής επιφάνειας) ανέρχεται περίπου στα 875 m.

2.4 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής αποτελεί το ενιαίο σύνολο των χειμάρρων, ρυακιών, παραποτάμων και ποταμών που αποστραγγίζουν την λεκάνη αυτή, ενώ έχει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του αναγλύφου της επιφάνειας μιας περιοχής και αποτελεί τον βασικό μεταφορέα των υλικών διάβρωσης και αποσάθρωσης των πετρωμάτων. Εμφανίζεται υπό διάφορες μορφές, οι οποίες είναι συνάρτηση του αναγλύφου, της λιθολογικής σύστασης, της τεκτονικής καθώς και των κλιματικών συνθηκών της περιοχής.

Στην περιοχή μελέτης το υδρογραφικό δίκτυο έχει ως κύριο κλάδο τον χείμαρρο Ξηροπόταμο. Η διεύθυνση του είναι ΒΑ-ΝΔ καταλήγοντας στην λίμνη της Καστοριάς. Κατά τη διαδρομή του ο Ξηροπόταμος δέχεται από τα αριστερά (ΒΔ) τις εκβολές της κεντρικής κοίτης της υπολεκάνης Μελισσορέματος και από τα δεξιά (Ανατολικά) τις εκβολές των κεντρικών κοιτών των υπολεκανών Βασιλειάδος και Κώτουρη (σχήμα 2.11). Στην 'πεδινή' περιοχή, η οποία συνίσταται από νεότερες αποθέσεις υψηλής περατότητας, το δίκτυο εμφανίζεται αραιό και όχι ιδιαίτερα αναπτυγμένο. Αντίθετα στην ορεινή περιοχή, η οποία συνίσταται από πρακτικά αδιαπέρατα πετρώματα, όπως σχιστόλιθους, φυλλίτες και γνεύσιους, το υδρογραφικό δίκτυο εμφανίζεται καλά αναπτυγμένο, έχει δενδριτική μορφή και υψηλό συντελεστή διακλάδωσης, λόγω της ομοιογένειας της πετρολογικής σύστασης.

Η ροή στην κύρια κοίτη του Ξηροποτάμου δεν είναι μόνιμη και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται έλλειμμα νερού και μειωμένη ροή στην έξοδο της λεκάνης, ενώ στην διάρκεια του έτους παρατηρούνται πλημμυρικές παροχές, λόγω έντονης βροχόπτωσης με αποτέλεσμα την ροή μεγάλων ποσοτήτων νερού και φερτών υλικών προς τη λίμνη.

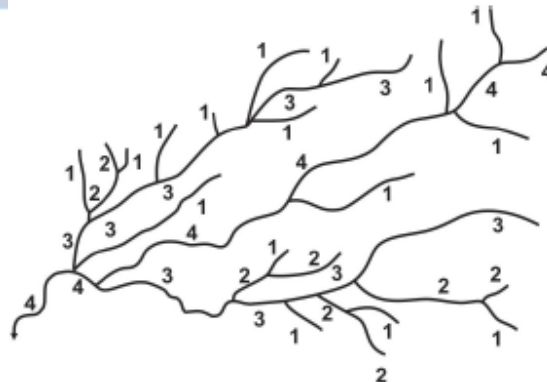


Σχήμα 2.11: Ολοκληρωμένο υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Κορησού.

2.4.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

Η ποσοτική ανάλυση ενός υδρογραφικού δικτύου καθορίζει κάποια σχέση μεταξύ των κλάδων του. Οι βασικές αρχές ταξινόμησης του υδρογραφικού δικτύου, αναπτύχθηκαν από τον Horton (1945), τον Strahler (1952), τον Scheidegger (1965) και τον Shreve (1964,1966). Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, η ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου βασίστηκε στην μέθοδο Horton, κατά την οποία, οι κλάδοι ενός υδρογραφικού δικτύου, οι οποίοι δεν δέχονται τα νερά κανενός μικρότερου κλάδου, αλλά μόνο τα επιφανειακά νερά μιας μικρής λεκάνης, ονομάζονται κλάδοι 1^{ης} τάξης. Κλάδοι που δέχονται τα νερά κλάδων 1^{ης} τάξης ονομάζονται κλάδοι 2^{ης} τάξης κ.ο.κ. Η αρίθμηση ενός κλάδου ισχύει από την αρχή του

μέχρι το τέλος του, επομένως οι μεγαλύτεροι σε μήκος κλάδοι είναι και μεγαλύτερης τάξης (σχήμα 2.12).



Σχήμα 2.12: Αρίθμηση υδρογραφικού δικτύου κατά Horton 1945.

Κατά την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου υπολογίστηκαν οι εξής παράμετροι:

a) Συντελεστής διακλάδωσης R_b (bifurcation ratio)

Εκφράζει το λόγο μεταξύ του αριθμού των κλάδων μιας δεδομένης τάξης (N_u) δια του αριθμού των κλάδων της επόμενης τάξης ($u+1$).

b) Η υδρογραφική πυκνότητα D (drainage density)

Ως υδρογραφική πυκνότητα, ορίζεται ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων του δικτύου μιας αυτοτελούς λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης αυτής. Η υδρογραφική πυκνότητα, είναι ένας ποσοτικός δείκτης ο οποίος είναι ευαίσθητος στην μεταβολή των βροχοπτώσεων, στις αλλαγές γεωλογίας και γεωλογικών δομών, εδαφών και βλάστησης μέσα σε μία υδρολογική λεκάνη.

c) Η υδρογραφική συχνότητα F (stream frequency)

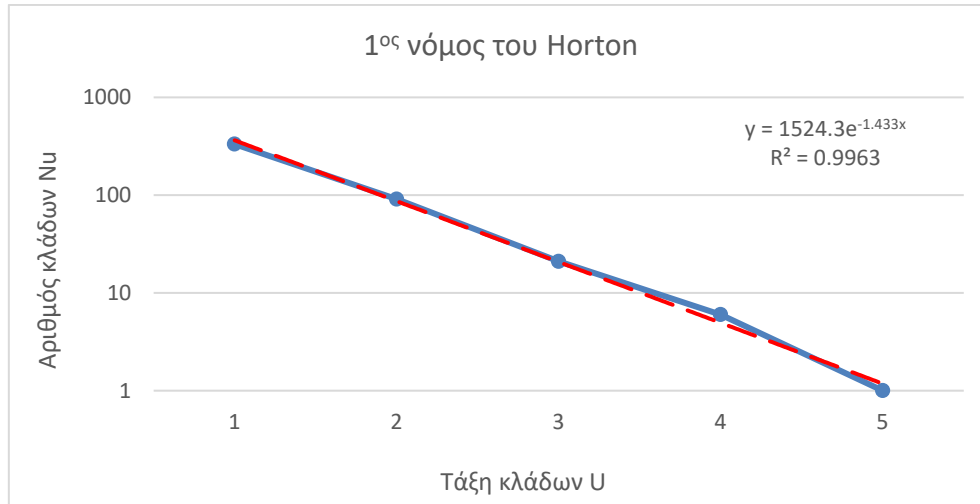
Ως υδρογραφική συχνότητα ορίζεται ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων μιας λεκάνης απορροής προς το εμβαδόν της λεκάνης αυτής.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου στην λεκάνη απορροής Κορησού, παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Στοιχεία υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας (Γιαννέλη, 2009).

Υδρογραφική πυκνότητα (D)	2.46
Υδρογραφική συχνότητα (F)	4.61
Μέσος συντελεστής διακλάδωσης (R_{bm})	4.19

Σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Horton, δηλαδή τον νόμο του αριθμού των κλάδων κατασκευάστηκε το παρακάτω ημιλογαριθμικό διάγραμμα (σχήμα 2.13), στο οποίο η εξίσωση που εκφράζει τον νόμο του αριθμού των κλάδων είναι εκθετική.



Σχήμα 2.13: Νόμος πλήθους των κλάδων κατά Horton 1945.

Απ' όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι ο χείμαρρος Ξηροπόταμος είναι 5^{ης} τάξης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Horton, και το υδρογραφικό δίκτυο έχει δενδριτική μορφή. Ο μέσος συντελεστής διακλάδωσης για όλη την λεκάνη ανέρχεται στα 4,19 που υποδηλώνει ένα φυσικά αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο. Η υδρογραφική πυκνότητα ανέρχεται στα 2,46 που υποδηλώνει δίκτυο με αραιή ανάπτυξη των κλάδων του. Τέλος η υδρογραφική συχνότητα του υδρογραφικού δικτύου είναι ίση με 4,61 τιμή σχετικά υψηλή, που υποδηλώνει ότι η λεκάνη δημιουργεί μεγάλες πλημμυρικές απορροές στην έξοδο της.

2.5 Χρήσεις γης και πηγές ρύπανσης

Ως *χρήσεις γης*, νοείται ο τρόπος λειτουργικής χρησιμοποίησης τμήματος εδάφους, ή κτισμάτων ή έργων υποδομής, σύμφωνα με τη νομοθετική έννοια του άρθρου 2 παρ. 5 του Νομοθετικού Διατάγματος 1262/1972. Η διάρθρωση των χρήσεων γης επιδρά σημαντικά στη λειτουργική δομή του χώρου, και αφορά τόσο τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται στο έδαφος, όσο και στα ίδια τα κτίρια τα οποία υπόκεινται στους κανόνες δόμησης. Οι χρήσεις γης, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την μορφολογία του εδάφους, από το υδάτινο σύστημα καθώς και από την γενικότερη ανάπτυξη της περιοχής έρευνας. Επιπλέον, δίνουν σημαντικές πληροφορίες

για τις εκτάσεις που καταλαμβάνουν, καθώς και την πιθανότητα εκδήλωσης ενός επεισοδίου ρύπανσης.

Η λεκάνη Κορησού καλύπτεται, ως επί το πλείστον από δασικές και γεωργικές περιοχές, ενώ ένα μικρό ποσοστό καταλαμβάνουν οι αστικές δομές (σχήμα 2.14), με καταμερισμό όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 2.8 και χωρική κατανομή όπως αυτή αποτυπώνεται στο σχήμα 2.15.



Σχήμα 2.14: Κατανομή Χρήσεων γης λεκάνης Κορησού.

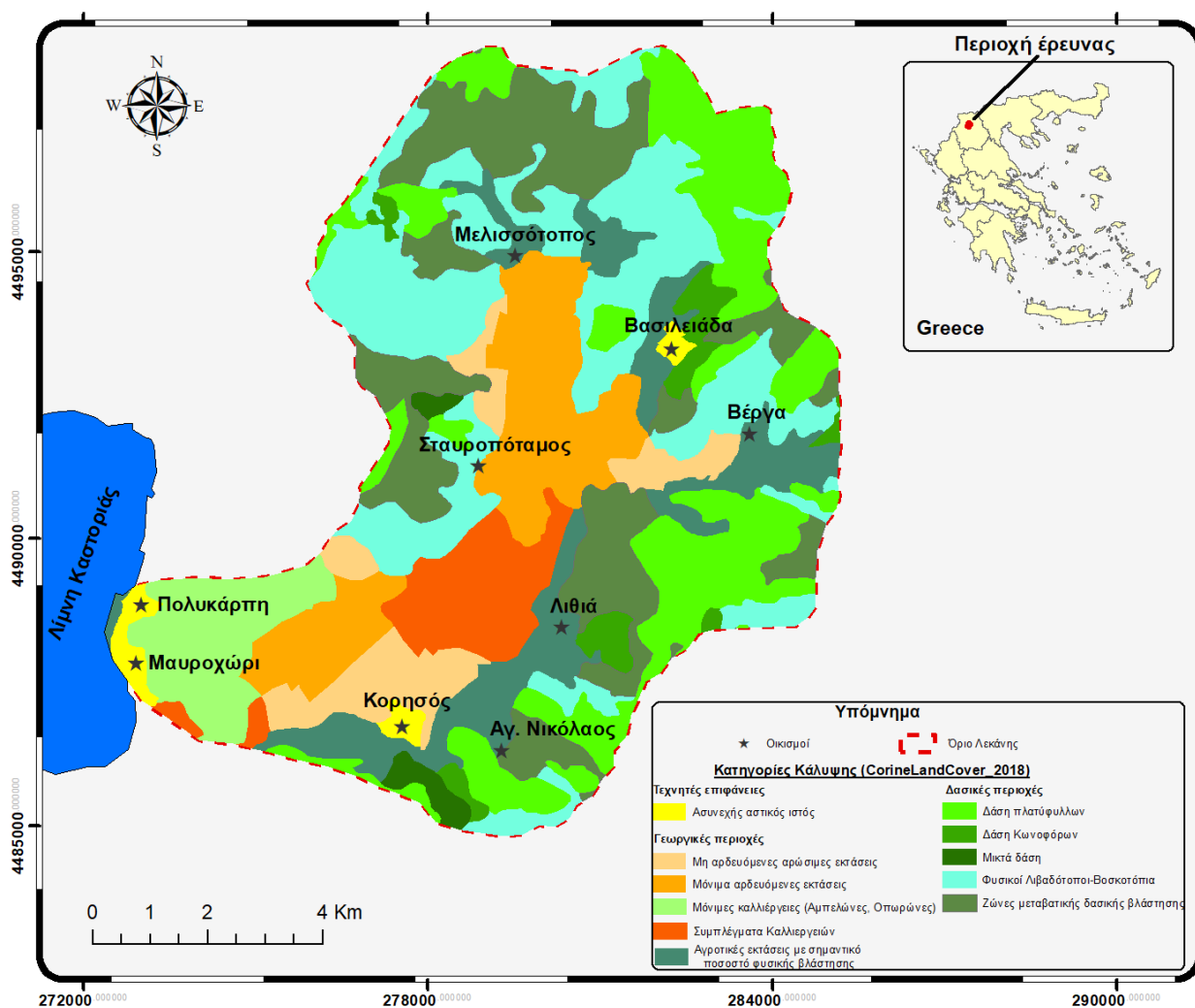
Πίνακας 2.8: Κατανομή εκτάσεων λεκάνης Κορησού (Corine 2018).

Κατηγορία κάλυψης	Έκταση σε Km ²	Ποσοστό %
Τεχνητές Επιφάνειες	1.4	1.57
Ασυνεχείς αστικός ιστός	1.4	1.57
Γεωργικές περιοχές	32.42	36.35
Συμπλέγματα καλλιεργείων	4.69	5.26
Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις	9.4	10.54
Μη αρδευόμενες αρώσιμες εκτάσεις	5.01	5.62
Μόνιμες καλλιέργειες	4.72	5.29
Αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό φυσικής βλάστησης	8.6	9.64
Δασικές περιοχές	55.38	62.09
Βοσκοτόπια-Φυσικοί λιβαδότοποι	20.25	22.70
Δάση πλατύφυλλων	17.16	19.24
Δάση κωνοφόρων	2.41	2.70
Μικτά δάση	1.06	1.19
Ζώνες μεταβατικής δασικής βλάστησης	14.5	16.26
Σύνολο	89.2	100.00

Επομένως σύμφωνα με τον πίνακα 2.8 και τα σχήματα 2.14 και 2.15 , παρατηρείται ότι οι δασικές περιοχές αποτελούν την κυρίαρχη χρήση με ποσοστό 62,09%. Οι φυσικοί Λιβαδότοποι-Βοσκοτόπια, αναπτύσσονται στο Βόρειο κυρίως τμήμα της λεκάνης και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό (22,7%) από τις δασικές

εκτάσεις, ενώ ακολουθούν τα δάση πλατύφυλλων με διάσπαρτη κατανομή και ποσοστό 19,24%.

Η γεωργική γη, είναι η αμέσως επόμενη κυρίαρχη χρήση στην λεκάνη Κορησού, με ποσοστό 36,35% επί του συνόλου. Κυριαρχούν οι μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις και οι αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό φυσικής βλάστησης, με ποσοστά 10,54% και 9,64% αντίστοιχα, ενώ τα συμπλέγματα καλλιεργειών, η μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις και η μόνιμες καλλιέργειες αποτελούν μαζί το 16,17% επί του συνόλου.



Σχήμα 2.15: Χάρτης χρήσεων γης στη λεκάνη Κορησού.

Όσον αφορά τις πιέσεις ρύπανσης, ως προς την πηγή προέλευσης των ρύπων, αυτές διακρίνονται σε:

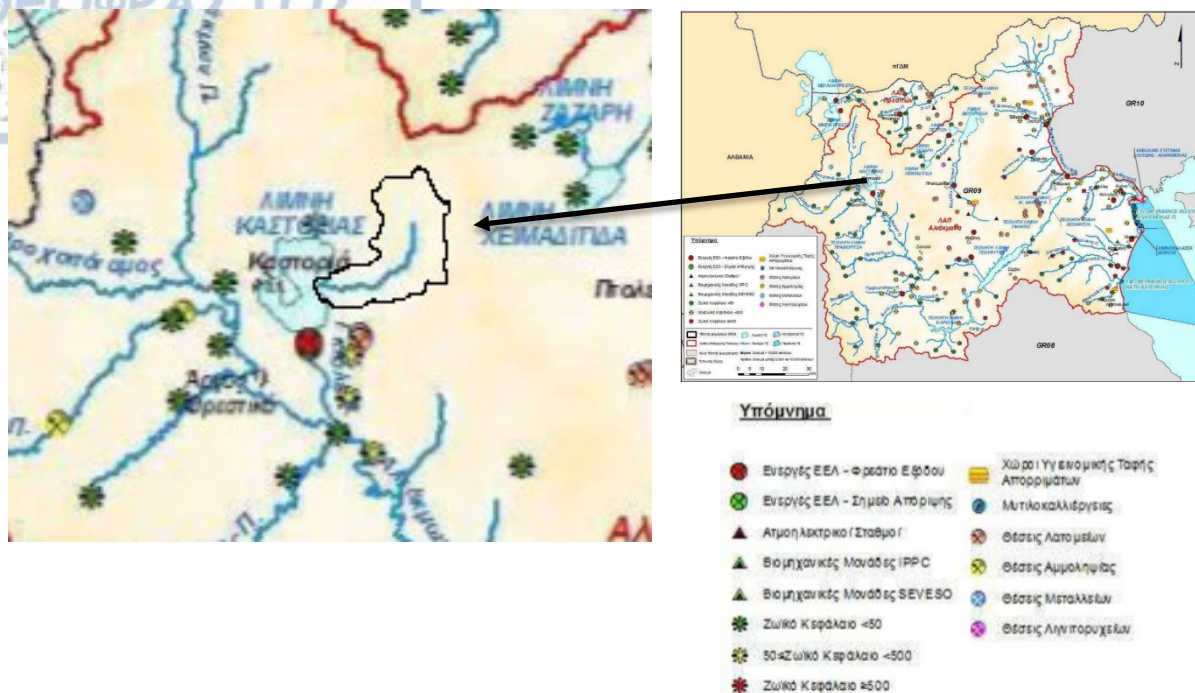
1) Σημειακές πηγές ρύπανσης, οι οποίες σχετίζονται με τις ακόλουθες πηγές ρύπανσης:

- a) Αστικά υγρά απόβλητα από οικισμούς
- b) Υπερχειλίσσεις ομβρίων υδάτων
- c) Βιομηχανική δραστηριότητα
- d) Σταβλισμένη κτηνοτροφία
- e) Στραγγίσματα από Χ.Υ.Τ.Α.
- f) Υδατοκαλλιέργειες
- g) Μεταλλεία

2) Μη σημειακές πηγές ρύπανσης, οι οποίες σχετίζονται με τις ακόλουθες πηγές ρύπανσης:

- a) Αστικές απορροές και υπερχειλίσσεις όμβριων υδάτων (στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν είναι επαρκή, ώστε να αντιμετωπιστούν ως σημειακή πηγή ρύπανσης)
- b) Μεταφορές και υποδομές (οδοί, κ.α.)
- c) Αστικά υγρά απόβλητα από οικισμούς που δεν εξυπηρετούνται από ΕΕΛ (Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων)
- d) Απορροές από την αγροτική δραστηριότητα
- e) Μη Σταβλισμένη κτηνοτροφία
- f) Στραγγίσματα από Χ.Α.Δ.Α (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων)

g) Στο υδατικό σώμα της υπολεκάνης απορροής Κορησού, σύμφωνα με τη μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας «Εγκεκριμένα σχέδια διαχείρισης ΥΔ09 – Δυτικής Μακεδονίας», δεν παρατηρείται καμία σημειακή πηγή ρύπανσης (σχήμα 2.16). Οι πιο κοντινές σημειακές πηγές ρύπανσης, βρίσκονται νοτιότερα της περιοχής μελέτης και αφορούν μια ενεργή ΕΕΛ (Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων) και μια θέση λατομείου, καθώς και θέσεις αμμοληψιών, ενώ Βορειοδυτικά της περιοχής παρατηρείται μικρό ζωικό κεφάλαιο. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, δεν έχουν άμεση επιρροή στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 2.16: Σημειακές πηγές ρύπανσης ΥΔ-09 (με μαύρη διαγράμμιση σημειώνεται η περιοχή έρευνας), Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.

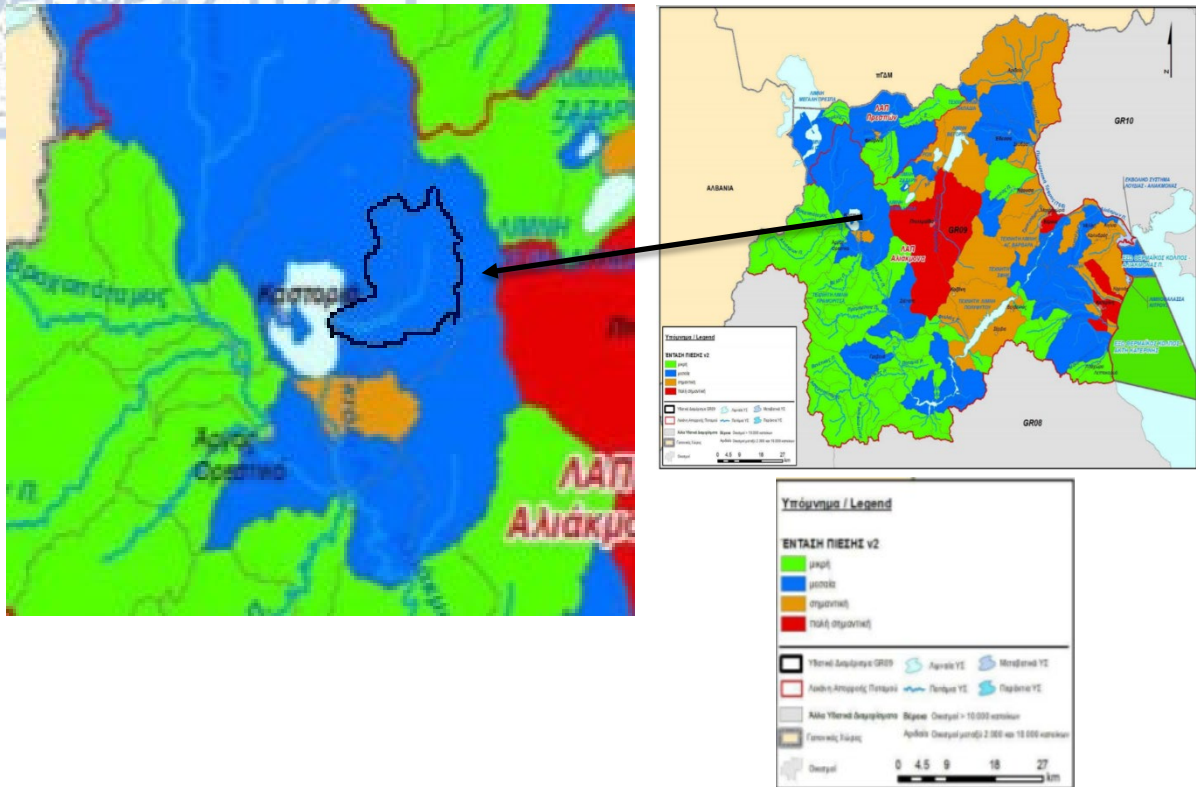
Αντίθετα, όσο αφορά τις διάχυτες πηγές ρύπανσης, το επιφανειακό υδατικό σώμα του Ξηροποτάμου, ο οποίος διατρέχει τη λεκάνη Κορησού, χαρακτηρίζεται από υψηλή ένταση πίεσης ρύπανσης, λόγω μη σταβλισμένης κτηνοτροφίας και συγκεκριμένα από υψηλές τιμές BOD (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο) >10 mg/l (πίνακας 2.9).

Πίνακας 2.9: Επιφανειακό υδατικό σύστημα Ξηροποτάμου με υψηλή ένταση πίεσης από διάχυτες πηγές ρύπανσης στην ΛΑΠ Αλιάκμονα (BOD >10 mg/l),

Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.

Κωδικός υδατικού σώματος	Ονομασία υδατικού σώματος	Συγκέντρωση οργανικού φορτίου και θρεπτικών της επιφανειακές απορροές mg/L		
		BOD	AZΩΤΟ	ΦΩΣΦΟΡΟΣ
GR092R0002440062N	Ξηροπόταμος	X	-	-

Τέλος, όσον αφορά την συνολική εκτίμηση της έντασης πίεσης ρύπανσης (σημειακές και μη πιέσεις ρύπανσης), η περιοχή έρευνας ανήκει στην μεσαία κλίμακα έντασης πίεσης, η οποία απεικονίζεται χρωματικά στο σχήμα 2.17.

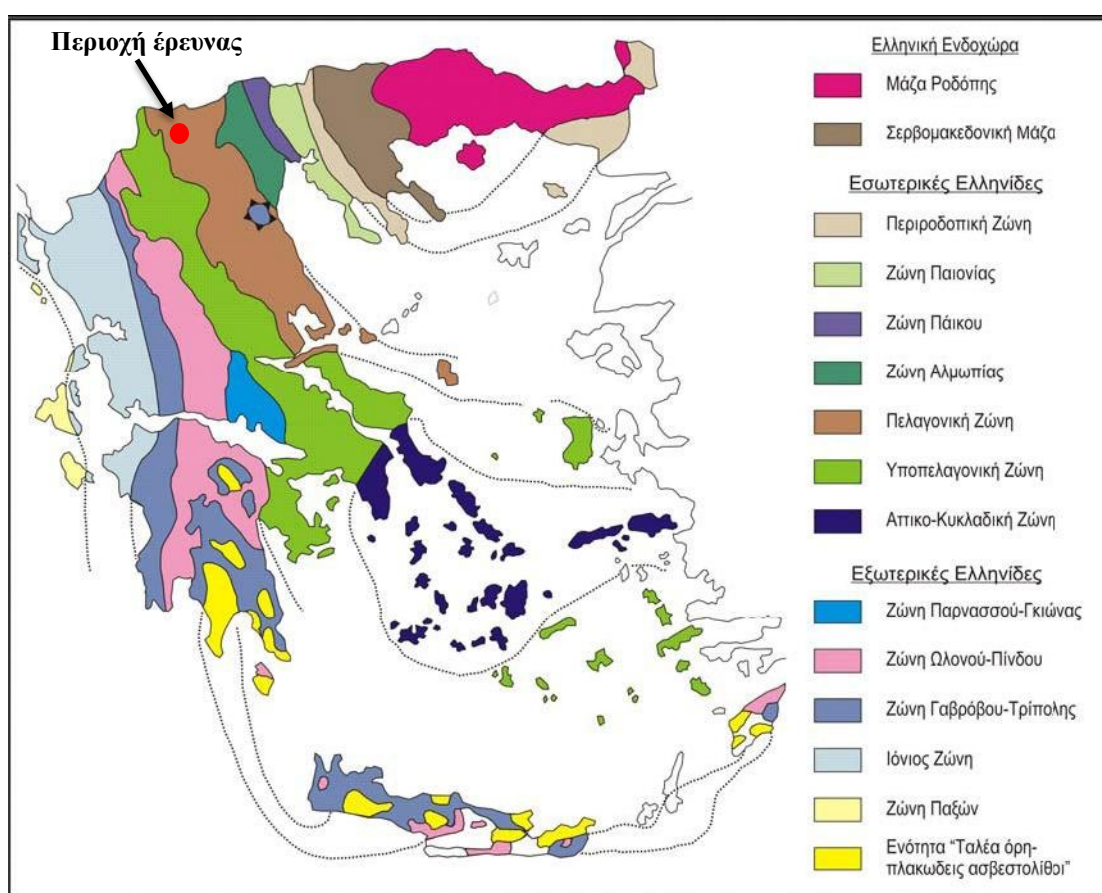


Σχήμα 2.17: Συνολική ένταση πίεσης ρύπανσης ανά υδρολογική λεκάνη υδατικού συστήματος (με μαύρη διαγράμμιση σημειώνεται η περιοχή έρευνας), Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1 Γεωλογικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη (σχήμα 3.1), και συγκεκριμένα στο δυτικό περιθώριο αυτής. Αποτελείται από μεταμορφωμένα και πλουτωνικά πετρώματα, αλπικά ανθρακικά ιζήματα και μεταλπικά μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας, Πλειστοκαινικά ιζήματα και τέλος χαλαρούς τεταρτογενείς σχηματισμούς (σχήμα 3.2). Οι τεκτονικές διεργασίες καθόρισαν το σημερινό σχήμα της λεκάνης με διεύθυνση BBA-NNΔ.



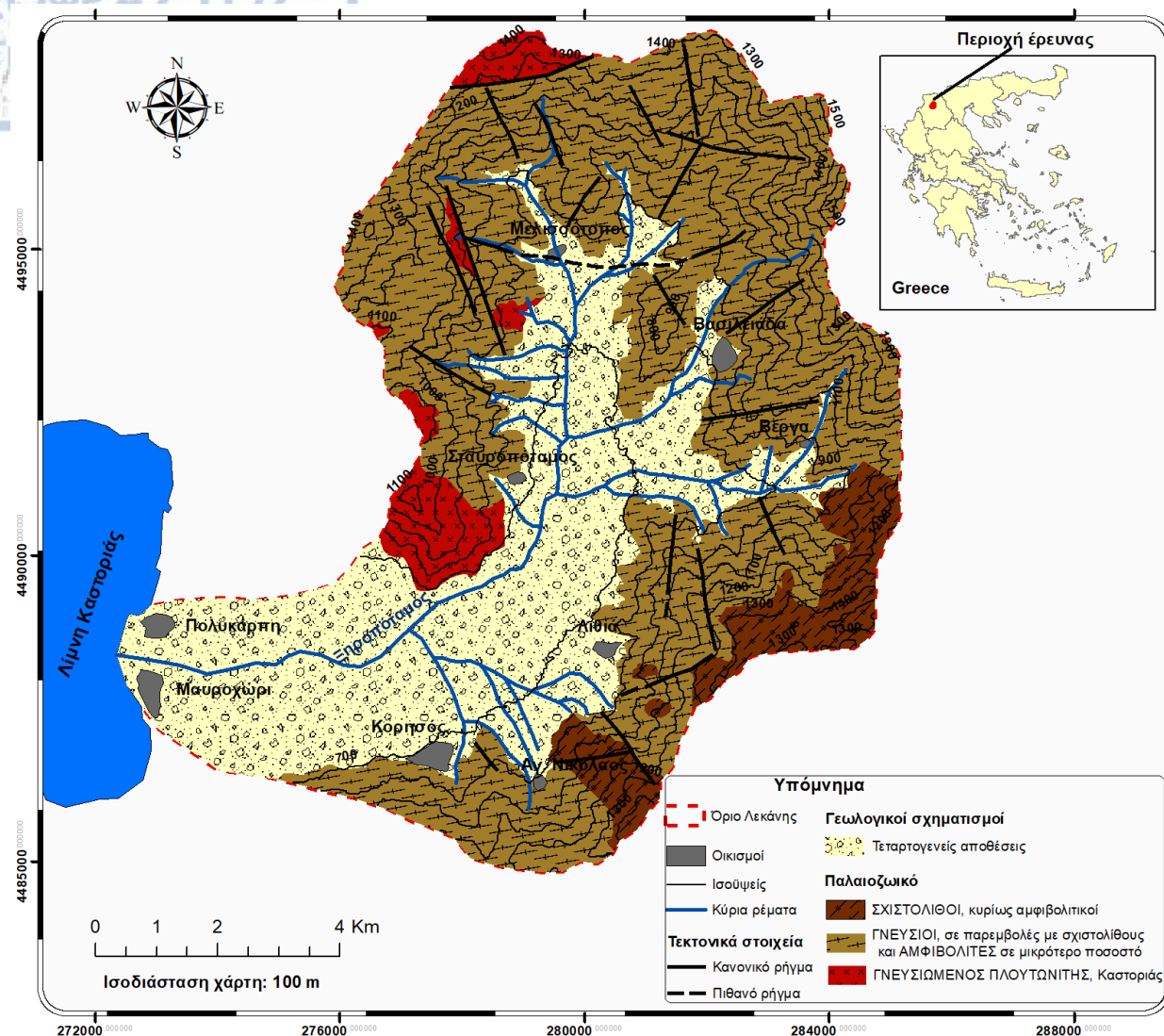
Σχήμα 3.1: Γεωτεκτονικό σχήμα των ελληνίδων ζωνών (Μουντράκης, 2010).

συνιστούν αλληπάλληλα τεκτονικά λέπια. Η πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης και έλαβε χώρα πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα εμφανίζονται στο σύνολό τους πτυχωμένα, λόγω του πλήθους των τεκτονικών φάσεων που έδρασαν στην περιοχή. Η γενική διεύθυνση κλίσης των γνευσίων και σχιστόλιθων είναι ΒΑ έως ΒΔ και σχεδόν πάντα παρουσιάζουν μικρές κλίσεις. Η σειρά της Κλεισούρας, μία εκ των δύο σειρών του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου, η οποία απαντάται στην λεκάνη Κορησού, αποτελείται κυρίως από σχιστολιθικά και αμφιβολιτικά πετρώματα και συγκεκριμένα από αμφιβολίτες, επιδοιτικούς-αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς - γρανατούχους σχιστόλιθους και γνεύσιους, ενώ συχνά παρατηρούνται και μαγματικές διεισδύσεις μέσα στα πετρώματα της σειράς.

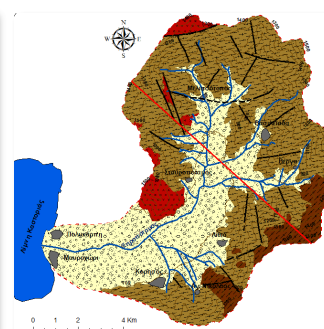
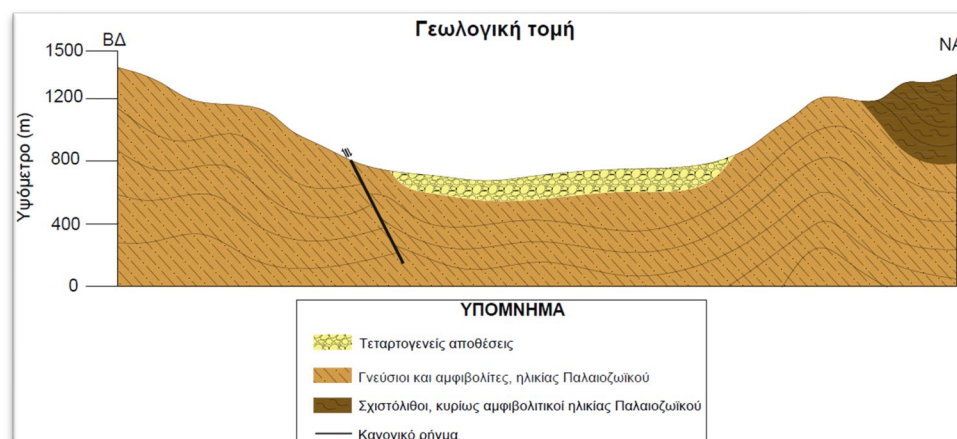
2. **Γνευσιωμένος Πλουτωνίτης Καστοριάς Άνω Λιθανθρακοφόρου.** Συναντάται κυρίως, στο Β-ΒΔ τμήμα της ερευνώμενης λεκάνης, ενώ ένα μέρος του εμφανίζεται και στο ΝΔ τμήμα αυτής. Πρόκειται για μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Ο γρανιτικός όγκος, σε όλη του την έκταση έχει υποστεί επιζωνική μεταμόρφωση και έχει μεταβληθεί σε σχιστοποιημένο γνευσιακό γρανίτη. Παρουσιάζει γνευσιακή έως σχιστοποιημένη υφή και πορφυροκατακλαστικό έως βλαστομυλονιτικό ιστό. Χαρακτηριστικό είναι το ελαφρύ πράσινο χρώμα του και ο έντονος γραμμικός και επιφανειακός προσανατολισμός κυρίως των φυλλοπυριτικών ορυκτών, στον οποίο οφείλεται η σχιστότητα του πετρώματος. Τα κύρια ορυκτά από τα οποία αποτελείται είναι: α) χαλαζίας, β) αλκαλικοί άστριοι, γ) όξινα πλαγιόκλαστα και σερίκιτης, ενώ δευτερεύοντα ορυκτά είναι α) μοσχοβίτης, β) βιοτίτης, γ) επίδοτο και τιτανίτης. Τέλος, ο γνευσιακός πλουτωνίτης της Καστοριάς βρίσκεται συμπτυχωμένος με τα μεταμορφωμένα πετρώματα της σειράς Κλεισούρας.
3. **Περμοτριάδική μετακλαστική ακολουθία.** Συναντάται, κυρίως στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης. Πρόκειται για μια μετα-κλαστική ιζηματογενής σειρά πάχους περίπου 200m, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μετα-ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά λόγω της παρουσίας παλιών κλαστικών και ηφαιστειακών ιζημάτων, τα οποία στην συνέχεια μεταμορφώθηκαν. Επομένως σύμφωνα με τους Mountrakis 1979, 1982a; Papanikolaou and Zambetakis 1980; Ferriere 1982 (όπως αναφέρεται στο Mountrakis, D., 1986), τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν κατά το Πέρμιο-Κάτω

Τριαδικό, σύμφωνα με τα απολιθώματα που βρέθηκαν πάνω τους και στη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού υπέστησαν χαμηλή πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση. Τα πετρώματα που συνιστούν τη μετακλαστική σειρά είναι μετα-αρκόζες, φυλλίτες, λεπτόκκοκοι μετα-πηλίτες, χονδρόκοκοι μετα-ψαμμίτες, χαλαζιακά κροκαλοπαγή, αλλεπάλληλες παρεμβολές φακών ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων και λατυποπαγών ασβεστολίθων, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, οι οποίοι εναλλάσσονται με ανδεσίτες, τόφφους και ρυολιθικές φλέβες (όπως αναφέρεται στο Mountrakis, D., 1986). Βρίσκονται πάνω από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους του Άνω Λιθανθρακοφόρου.

4. **Τεταρτογενείς αποθέσεις.** Συναντώνται στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης και αποτελούνται από: σύγχρονες χερσαίες αποθέσεις με τη μορφή χαλαρών προσχώσεων κοιλάδων, παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες, αλλουβιακές αποθέσεις, ποταμοχειμάριους κώνους και ριπίδια, κορήματα και λιμναία ιζήματα. Πρόκειται για Τεταρτογενή ιζήματα ηλικίας Ολοκαίνου-Κάτω Πλειστοκαίνου. Οι χειμαρρώδεις κώνοι και τα ριπίδια, απαντώνται αμέσως κατάντη της ορεινής ζώνης και αποτελούνται από αδρομερή κυρίως υλικά (κροκάλες, λατύπες, χάλικες, κ.α) σε συνδυασμό με αμμώδη υλικά. Τα κορήματα κλιτύων εμφανίζονται στη βάση απότομων κλιτύων. Τα αλλουβιακά ριπίδια, εμφανίζονται στις εξόδους των χειμάρρων, και συνίστανται από λατύπες και κροκάλες, ενώ ανάμεσά τους υπάρχει άμμος, αμμοϊλός ή καστανέρυθρη άργιλος. Στο 'πεδινό' κεντρικό τμήμα της λεκάνης συναντώνται τα λεπτομερέστερα υλικά, όπως καστανοκίτρινοι άμμοι, ιλουόχοι άμμοι και αμμούχες ιλύες ασθενέστατα συνεκτικές. Προς την έξοδο της λεκάνης εμφανίζονται αλλουβιακές αποθέσεις σε μεγάλη έκταση και αποτελούνται από καστανοκίτρινες άμμους, αμμοϊλούς, ερυθρογαίες και καστανέρυθρη άργιλο. Τέλος στην έξοδο της λεκάνης σχηματίζονται δελταϊκές προσχώσεις που συνίστανται από άμμους και ιλύς με διάσπαρτα αδρομερή υλικά από τα περιβάλλοντα πετρώματα της λεκάνης.



Σχήμα 3.3: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Κορησού.

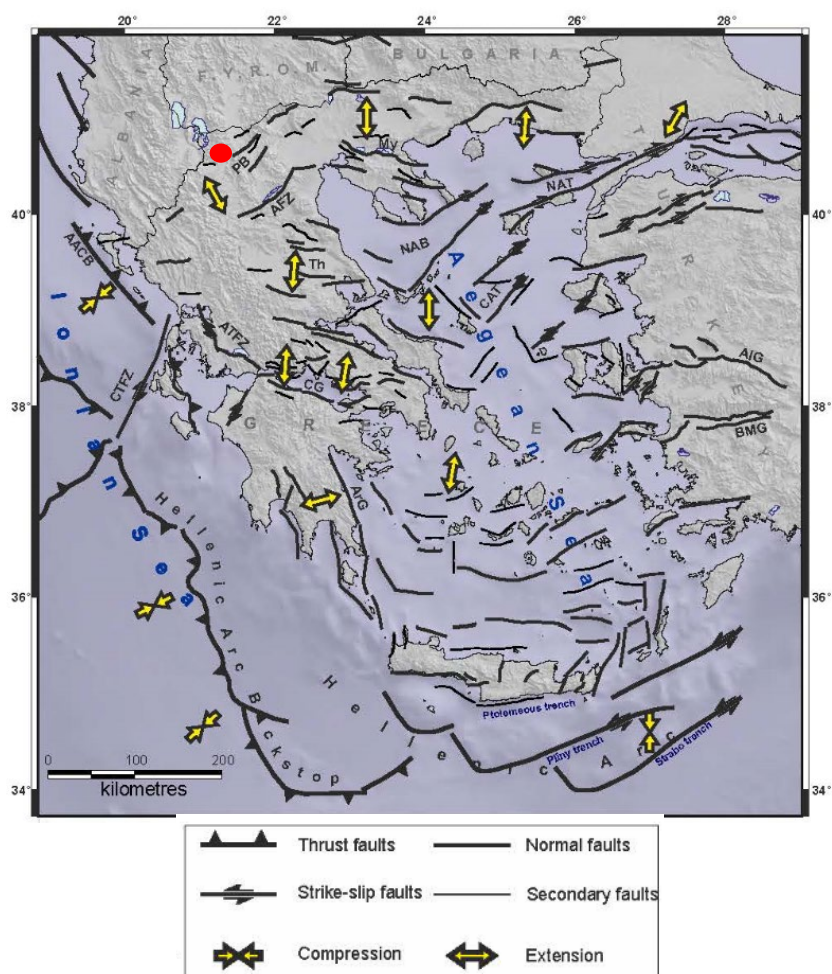


Σχήμα 3.4: Αντιπροσωπευτική τομή της λεκάνης Κορησού.

3.2.1 Τεκτονική - Σεισμική επικινδυνότητα λεκάνης Κορησού

Η λεκάνη Κορησού, υπέστη αρκετές παραμορφώσεις και μεταμορφώσεις. Επομένως τα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου εμφανίζονται έντονα πτυχωμένα με ισοκλινείς πτυχές ή πτυχές τύπου knick, ενώ η παράταξη της σχιστότητας ποικίλει λόγω των πτυχώσεων. Ακόμη κατά τις ορογενετικές περιόδους λόγω του ισχυρού τεκτονισμού, αλλά και των εναλλαγών από εφελκυστικές σε συμπιεστικές τάσεις, δημιουργήθηκαν πολλά ρήγματα μικρής κατά βάση έκτασης, τα οποία επαναδραστηριοποιήθηκαν, όπως αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3. Να σημειωθεί ότι από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα ο ευρύτερος χώρος βρίσκεται σε μια εφελκυστική φάση με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (σχήμα 3.5).

Η περιοχή μελέτης, ανήκει σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΦΕΚ 2184 Β'/20-12-1999) στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ι με συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης $\alpha = 0,16 \text{ g}$.

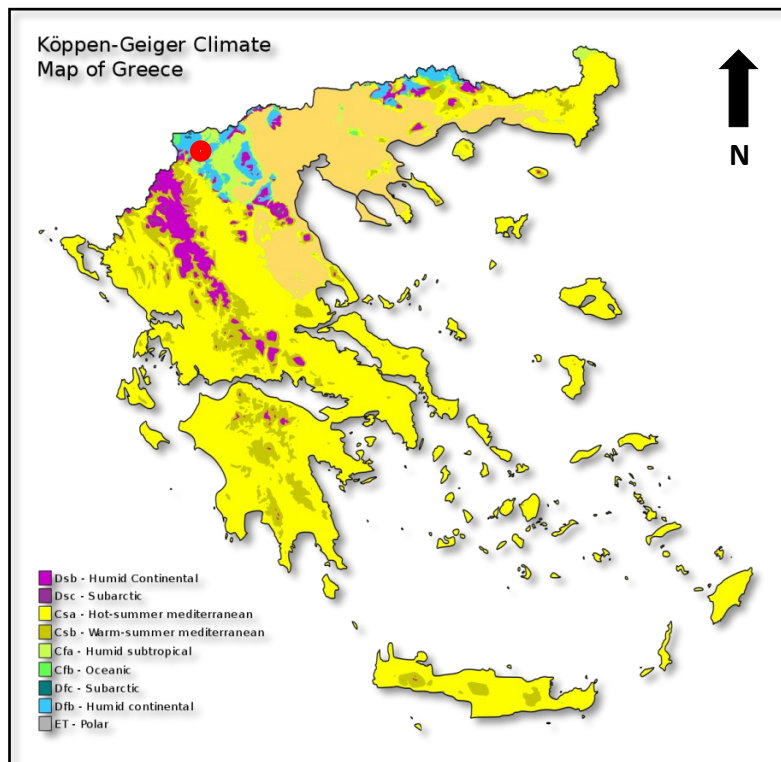


Σχήμα 3.5: Χάρτης απεικόνισης κύριων τεκτονικών δομών και τρεχόντων βασικών αξόνων πεδίου οριζόντιας τάσης (πηγή: Gre.Da.S.S.). Με κόκκινη βούλα απεικονίζεται η περιοχή μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

4.1 Εισαγωγή - Κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, σύμφωνα με το πιο διαδεδομένο σύστημα ταξινόμησης του κλίματος, κατά Köppen-Geiger (1936), χαρακτηρίζεται ως υγρό Ηπειρωτικό κλίμα (ενδιάμεσος τύπος Μεσογειακού-Μεσοευρωπαϊκού). Τα υγρά ηπειρωτικά κλίματα χαρακτηρίζονται από σταθερές βροχοπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με το σύνολό τους να ξεπερνά τα 2000 mm ετησίως, ενώ η βλάστησή τους αποτελείται από φυτά προσαρμοσμένα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με το σχήμα 4.1, το κλίμα της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται, ως υγρό εύκρατο ηπειρωτικό κλίμα (Dfb). Αντίστοιχα με βάση την ταξινόμηση του κλίματος κατά Thornthwaite (1951), χαρακτηρίζεται ως ημίυγρο με μέτρια έλλειψη βροχής το καλοκαίρι.



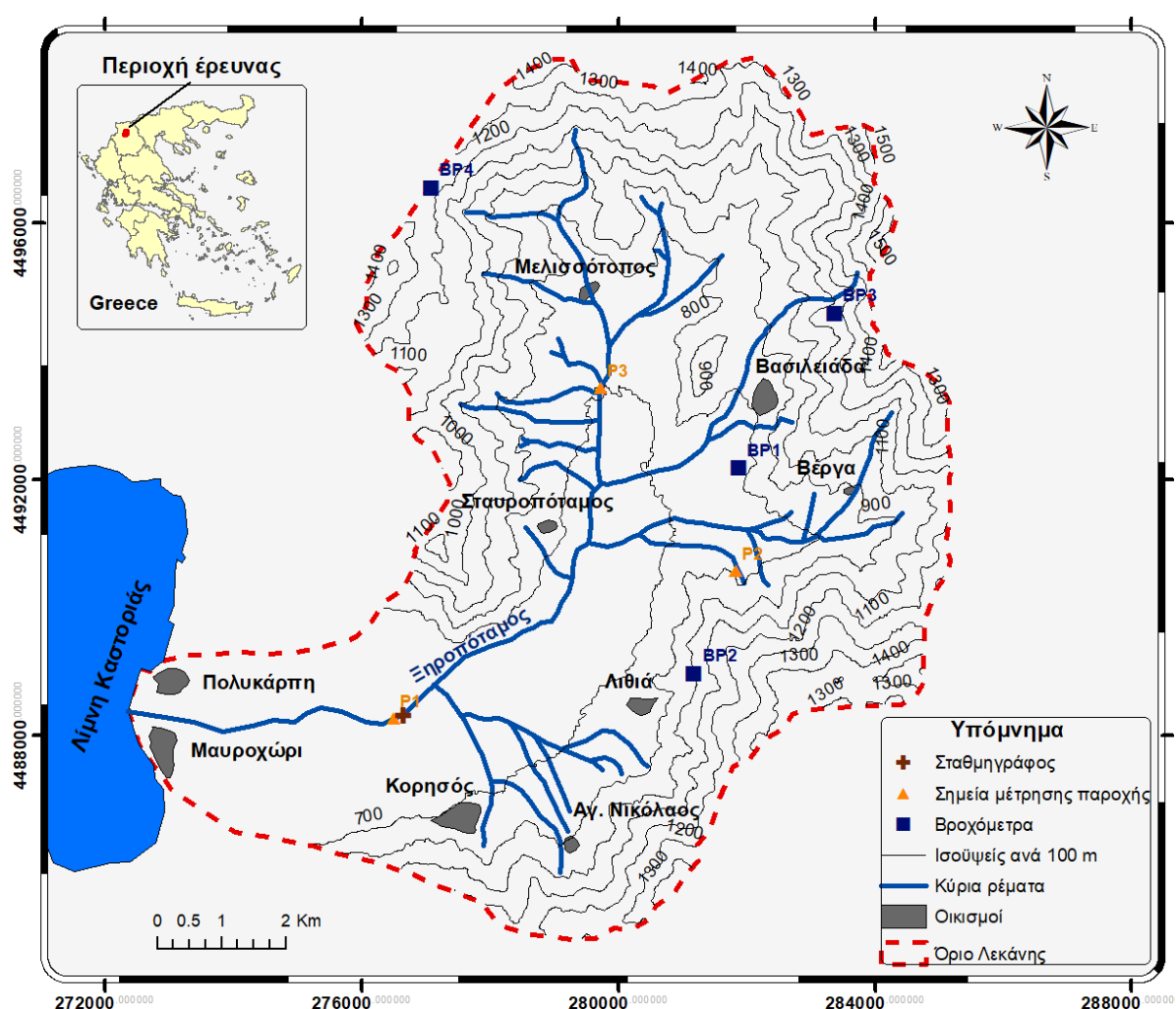
Σχήμα 4.1: Κλιματικός χάρτης της Ελλάδος, σύμφωνα με την [Köppen classification](#), 1936 (με κόκκινη βούλα παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας).

4.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Από τα τέσσερα βροχόμετρα που εγκαταστάθηκαν περιμετρικά της λεκάνης (σχήμα 4.2, πίνακας 4.1) στο πλαίσιο εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής της Χρ. Γιανέλλη (2009) προέκυψαν τα εξής:

Πίνακας 4.1: Βροχομετρικοί σταθμοί υδρολογικής λεκάνης Κορησού.

Βροχόμετρα	Τοποθεσία	Υψόμετρο (m)	Γεωγραφικό μήκος/πλάτος
BP1	Πεδινό	760	281883.483/4492169.725
BP2	Λιθιά	940	281187.917/4488967.771
BP3	Βασιλειάδα	1170	283377.363/4494581.800
BP4	Πολυκέρασος	1250	277081.602/4496545.286



Σχήμα 4.2: Γεωγραφική κατανομή των βροχομετρικών σταθμών, των σημείων μέτρησης παροχής και του σταθμηγράφου στη λεκάνη Κορησού.

- Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 4.4, προκύπτει ευρεία διακύμανση των ετήσιων τιμών βροχόπτωσης στα τρία υδρολογικά έτη (2004-2007), η οποία κυμαίνεται από 587 mm (BP1) έως 752 mm (BP4).

- Οι περισσότερες βροχοπτώσεις καταγράφονται την υγρή περίοδο δηλ. από Οκτώβριο έως Απρίλιο. Οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

- Το υδρολογικό έτος 2005-2006 εμφανίζεται το πιο βροχερό, με αυξημένα ύψη βροχής και στους τέσσερις σταθμούς σε σχέση με τα υδρολογικά έτη του 2004-2005, και του 2006-2007 (πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2: Ετήσια ύψη βροχόπτωσης στην διάρκεια των τριών υδρολογικών ετών.

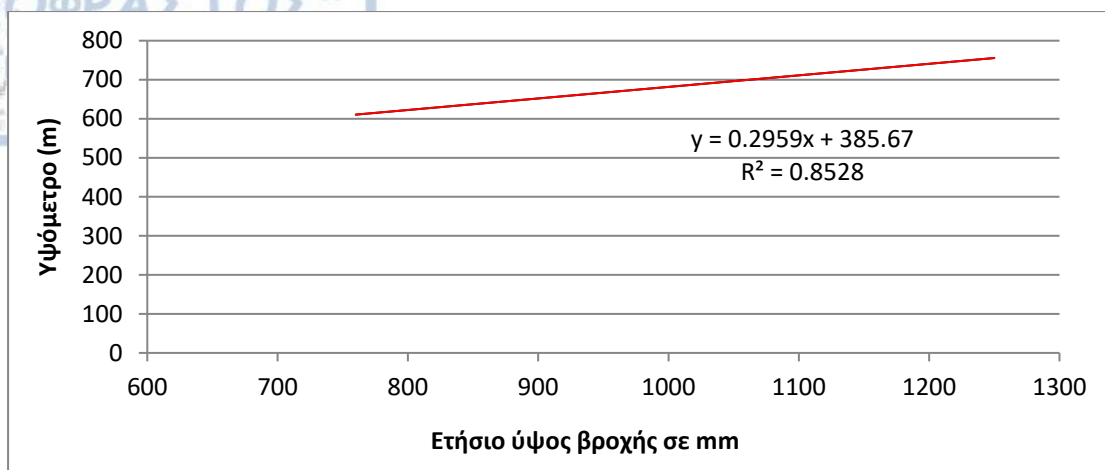
Χρονολογία	Βροχόμετρα			
Υδρολογικό έτος	BP1	BP2	BP3	BP4
2004-2005	535,6	672,4	678,6	773,9
2005-2006	800,1	907,4	937,6	942,1
2006-2007	427,8	529,8	539,9	540,5
Ετήσια βροχόπτωση σε mm	587,83	703,2	718,7	752,17

Με βάση τα δεδομένα των τεσσάρων (4) βροχομετρικών σταθμών για τα τρία υδρολογικά έτη, η σχέση μεταξύ ετήσιου ύψους βροχής (P σε mm) – υψόμετρου (h σε m) δίνεται από την εξής εξίσωση (σχήμα 4.3):

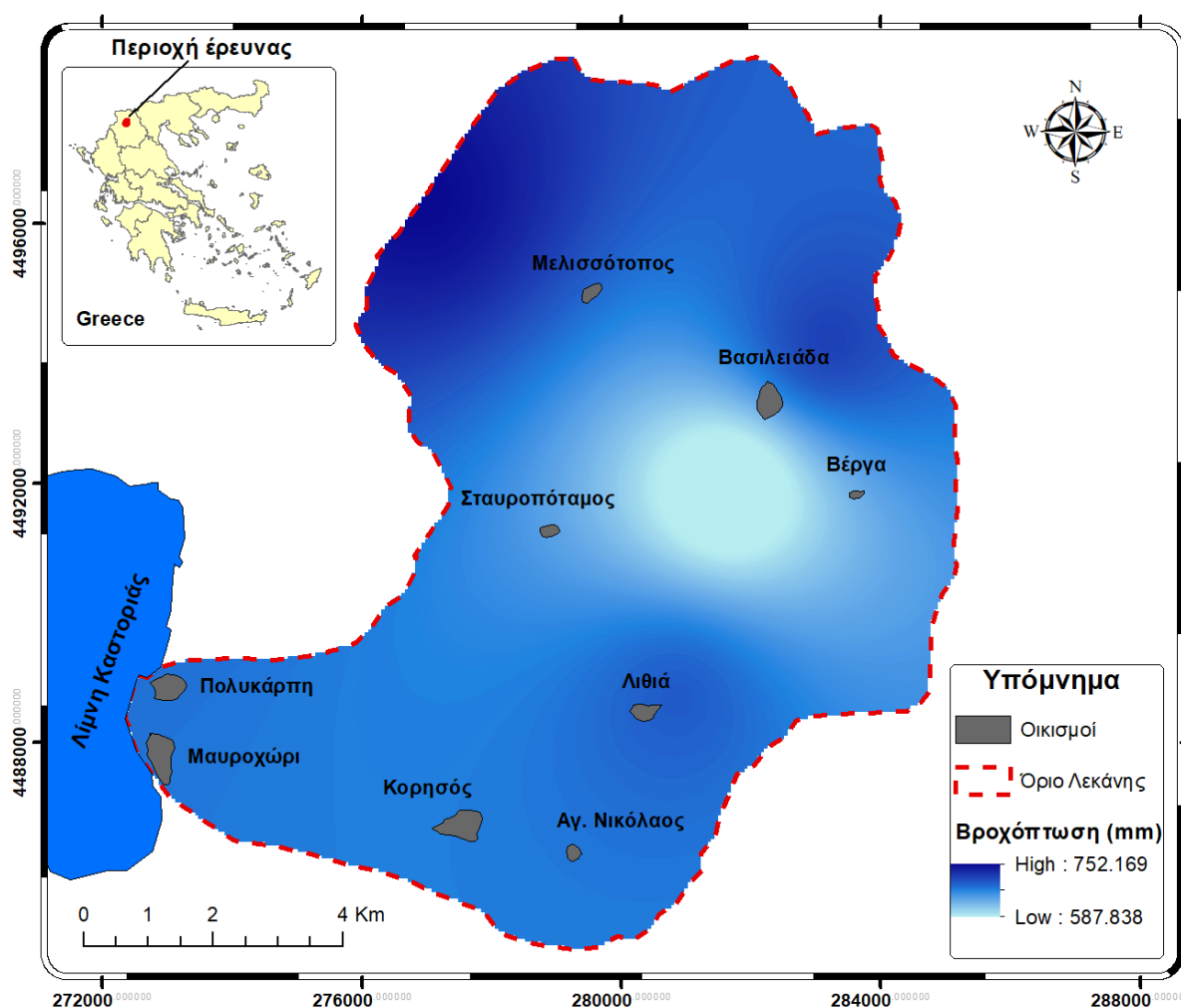
$$P=0,29 h+385,7 \quad (\text{σχέση 4.1})$$

Η βροχοβαθμίδα, ισούται με τον συντελεστή $a=0,29$ και δηλώνει αύξηση του ύψους βροχής κατά 29 mm ανά 100 m. Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ίσος με $R^2=0,85$ που υποδηλώνει πολύ καλή συσχέτιση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης με το αντίστοιχο υψόμετρο του βροχομετρικού σταθμού.

Με βάση τη βροχοβαθμίδα αυτή κατασκευάστηκε ο βροχομετρικός χάρτης της λεκάνης (σχήμα 4.4). Όπως φαίνεται και από τον χάρτη τα υψηλότερα ύψη βροχής σημειώνονται κατά κύριο λόγο σε περιοχές με υψηλότερο υψόμετρο, κυρίως Β-ΒΔ της λεκάνης.



Σχήμα 4.3: Γραμμική συσχέτιση ετήσιου ύψους βροχής με το υψόμετρο στη λεκάνη Κορησού.



Σχήμα 4.4: Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 2004-2007 στη λεκάνη απορροής Κορησού.

4.3 Θερμοκρασία Αέρα

Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας βασίστηκε στα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα στον σταθμό του Άργους Ορεστικού (πίνακας 4.3), ο οποίος βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την εξεταζόμενη λεκάνη (~15 Km) σε υψόμετρο 660 m. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στην ερευνώμενη λεκάνη τα δεδομένα του σταθμού Άργους Ορεστικού, ανήχθησαν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (984,04 m). Έτσι, αν λάβουμε υπόψη, ότι η μέση θερμοβαθμίδα στον ελληνικό χώρο, δηλαδή η μείωση της θερμοκρασίας είναι 0,6 °C ανά 100 m (Βουδούρης 2013), και σύμφωνα με τη σχέση 4.2, προκύπτουν οι τελικές θερμοκρασίες στη λεκάνη Κορησού, στην διάρκεια των τριών υδρολογικών ετών (πίνακας 4.4).

$$T_i = T_{t(i)} - \frac{\Delta H}{100} B \quad (4.2)$$

Όπου, T_i =Αναγόμενη θερμοκρασία της λεκάνης Κορησού κατά τον μήνα i

$T_{t(i)}$ = Θερμοκρασία στον σταθμό Άργος Ορεστικό κατά τον μήνα i

B = Η μέση θερμοβαθμίδα στον ελληνικό χώρο (0,6 °C, ανά 100 m)

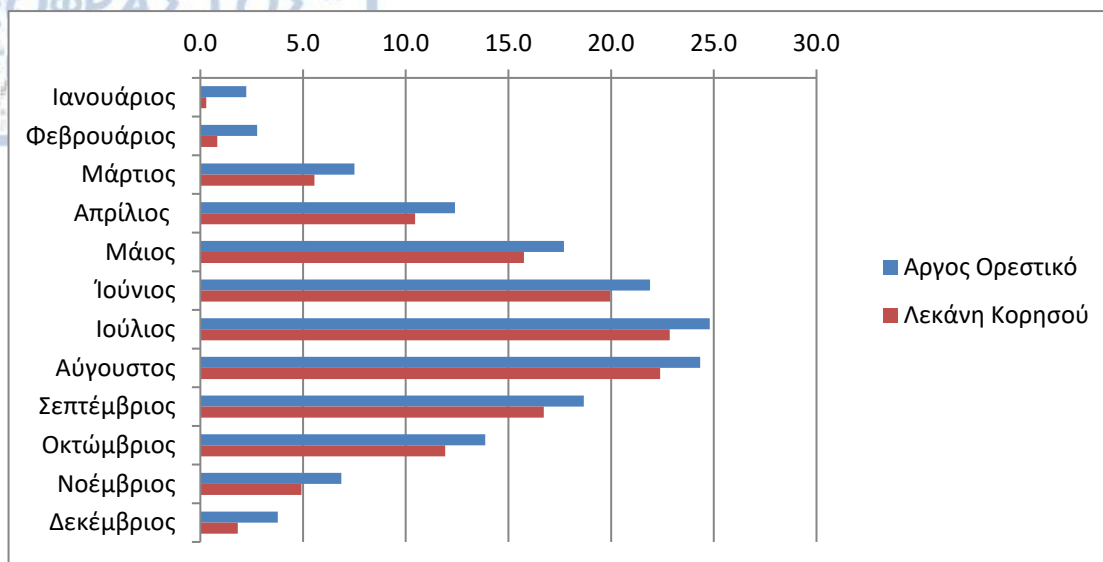
ΔH = Διαφορά μεταξύ του υψομέτρου του Άργους Ορεστικού (660 m) με το μέσο υψόμετρο της λεκάνης Κορησού (984,04), και ισούται με $\Delta H=324,04$ m.

Πίνακας 4.3: Θερμοκρασίες σε °C στον σταθμό του Άργους Ορεστικού.

	Μήνες											
Υδρολογικά έτη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
2004-2005	2.2	1.1	7.2	11.9	17.9	21.2	25	23.5	19.2	15.1	7.9	4.8
2005-2006	-1	2	7.5	12.8	17.3	21.3	22.7	24.1	18.6	12.5	6.1	3.2
2006-2007	5.5	5.2	7.8	12.5	17.9	23.2	26.7	25.4	18.2	14	6.6	3.3
M.O	2.2	2.8	7.5	12.4	17.7	21.9	24.8	24.3	18.7	13.9	6.9	3.8
Μέση ετήσια Θερμοκρασία °C	13,1											

Πίνακας 4.4: Θερμοκρασίες σε °C στη λεκάνη Κορησού.

	Μήνες											
Υδρολογικά έτη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
2004-2005	0.3	-0.8	5.3	10.0	16.0	19.3	23.1	21.6	17.3	13.2	6.0	2.9
2005-2006	-2.9	0.1	5.6	10.9	15.4	19.4	20.8	22.2	16.7	10.6	4.2	1.3
2006-2007	3.6	3.3	5.9	10.6	16.0	21.3	24.8	23.5	16.3	12.1	4.7	1.4
M.O	0.3	0.8	5.6	10.5	15.8	20.0	22.9	22.4	16.7	11.9	4.9	1.8
Μέση ετήσια Θερμοκρασία °C	11,1											

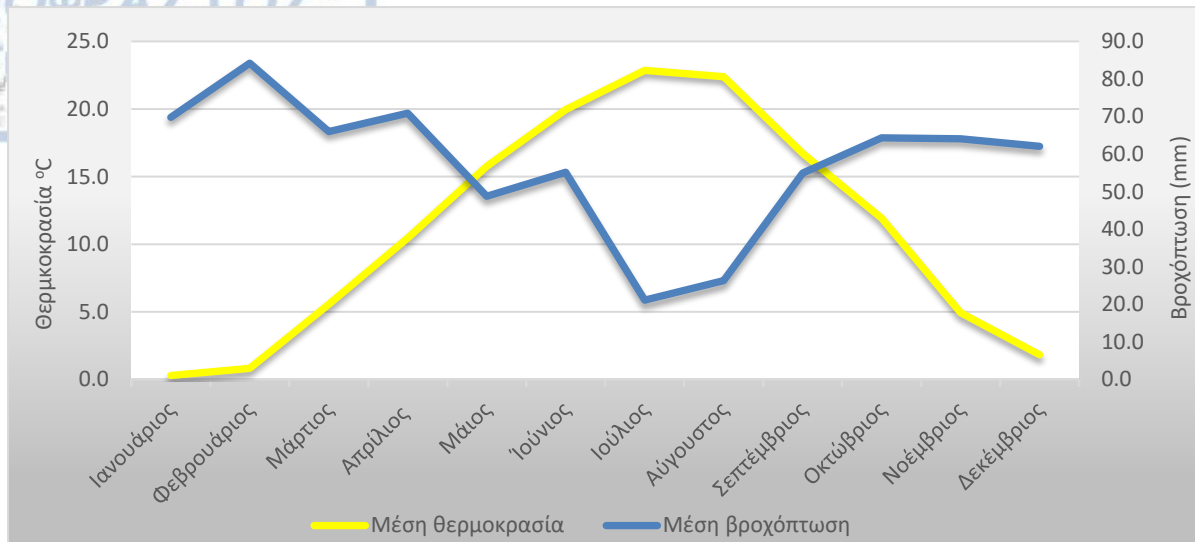


Σχήμα 4.5: Διακύμανση μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών στον σταθμό του Άργος Ορεστικού και στη λεκάνη Κορινθού.

Συμπερασματικά, όπως παρατηρείται από τους πίνακες 4.3, 4.4 και το σχήμα 4.5:

- Η μέση μηνιαία θερμοκρασία στη λεκάνη Κορινθού για τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο ανέρχεται στους 0,55 °C, ενώ κατά τους μήνες Μάρτιο - Απρίλιο παρουσιάζει μια σταδιακή αύξηση, όπου τον Ιούλιο και Αύγουστο φτάνει στη μέγιστη τιμή με μέση μηνιαία θερμοκρασία 22,65 °C. Τέλος συνεχίζει με σταδιακή μείωση μέχρι και τον Δεκέμβριο.
- Οι μήνες με την χαμηλότερη θερμοκρασία είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, ενώ θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Τέλος, δημιουργήθηκε το ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης Κορινθού (σχήμα 4.6). Όπως διαπιστώνεται η ξηροθερμική περίοδος (χαμηλότερες βροχοπτώσεις και υψηλότερες θερμοκρασίες) για τη λεκάνη εκτείνεται από αρχές Μαΐου, μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου, περίοδος που οι ανάγκες της περιοχής σε νερό είναι αυξημένες, λόγω γεωργίας.



Σχήμα 4.6: Ομβροθερμικό διάγραμμα λεκάνης απορροής Κορησού.

4.4 Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο

Το υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού της κύκλου, η οποία εκφράζεται με την παρακάτω υδρολογική εξίσωση, στην οποία η μεταβολή των αποθεμάτων του νερού είναι αμελητέα, και ο ανθρώπινος παράγοντας ασήμαντος:

$$P=E+I+R$$

Όπου: P= ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

E= πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

I= κατείδυση (infiltration)

R= επιφανειακή απορροή (runoff)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο, όπως συντάχθηκε από την Χρ. Γιανέλλη (2009).

Πίνακας 4.5: Προσεγγιστικό μέσο υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης Κορησού (Γιανέλλη, 2009).

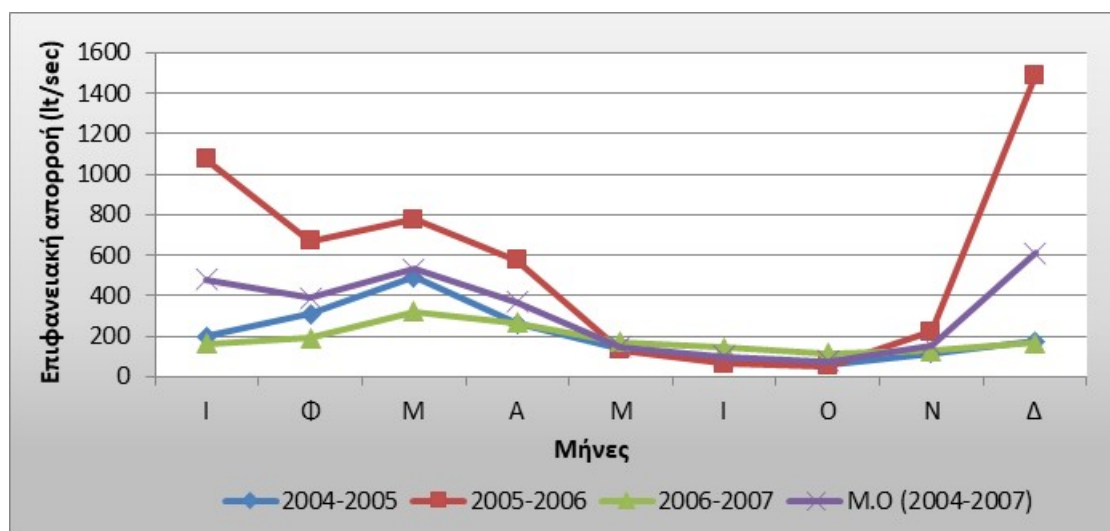
P	E	I	R
59,14x10 ⁶ m ³	42,41x10 ⁶ m ³	7,31x10 ⁶ m ³	9,42x10 ⁶ m ³
100%	71,7%	12,4%	15,9%
663 mm	475,4 mm	82,2 mm	105,4 mm

Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού από βροχόπτωση που δέχεται συνολικά η λεκάνη Κορησού ανέρχεται στα $59,14 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή στα 663 mm.

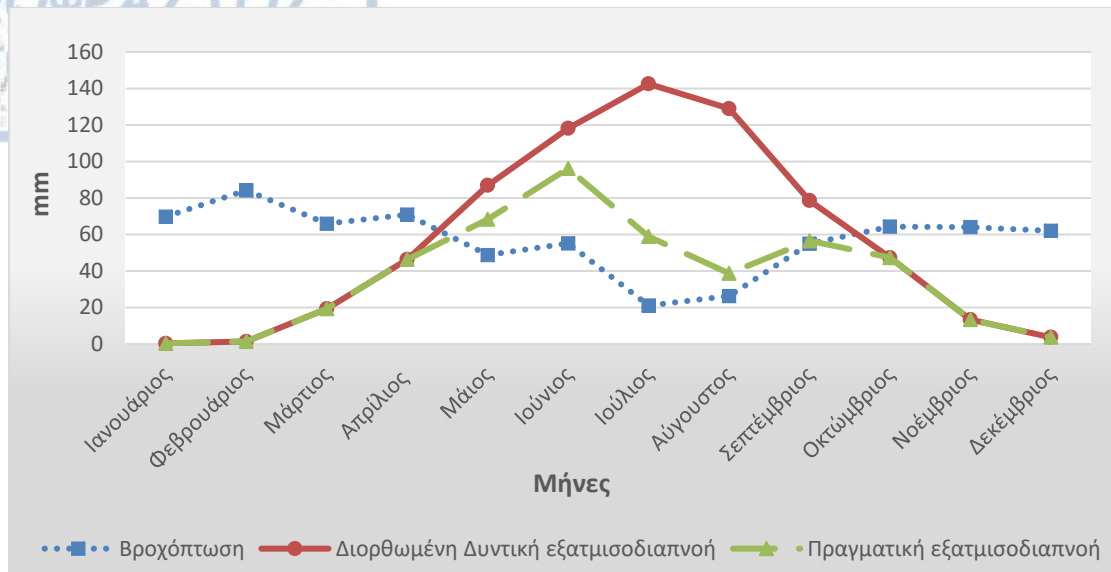
Η εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη μέθοδο Thornthwaite & Mather (1955) και ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εκτιμήθηκε ίσος με 67,5% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα με τις διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής είναι $42,41 \times 10^6 \text{ m}^3$ και αντιστοιχεί σε ποσοστό 71,7% της ετήσιας βροχόπτωσης.

Η μέτρηση της επιφανειακής απορροής έγινε με εγκατάσταση σταθμηγράφου στην έξοδο της λεκάνης για την μέτρηση της στάθμης του νερού του χειμάρρου Ξηροπόταμου. Με βάση τις μετρήσεις, η ολική απορροή ανέρχεται στα $16,73 \times 10^6 \text{ m}^3$, από τα οποία τα $9,42 \times 10^6 \text{ m}^3$ (15,7%) απορρέουν επιφανειακά, ενώ τα $7,31 \times 10^6 \text{ m}^3$ (12,2%) κατεισδύουν. Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία απορροή σε lit/sec στον Ξηροπόταμο Καστοριάς. Από το σχήμα αυτό, προκύπτει ότι για τα έτη 2004-2005 και 2006-2007, η μέγιστη επιφανειακή απορροή παρατηρείται το μήνα Μάρτιο, ενώ για το έτος 2005-2006, η μέγιστη επιφανειακή απορροή παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο. Και στα τρία υδρολογικά έτη οι μήνες Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος έχουν πρακτικά μηδενική απορροή.

Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η ετήσια πορεία του υδρολογικού ισοζυγίου. Με βάση το σχήμα, παρατηρείται ότι έλλειμα εδαφικής υγρασίας καταγράφεται από τον μήνα Μάιο έως Ιούλιο, και κατανάλωση εδαφικής υγρασίας τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Πλεόνασμα νερού εμφανίζεται τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο. Η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας λαμβάνει χώρα από τον Οκτώβριο έως και τον Δεκέμβριο.



Σχήμα 4.7: Διακύμανση μέσης μηνιαίας απορροής lit/sec στον Ξηροπόταμο Καστοριάς.



Σχήμα 4.8: Πορεία του μέσου ισοζυγίου ύδατος στη λεκάνη Κορησού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

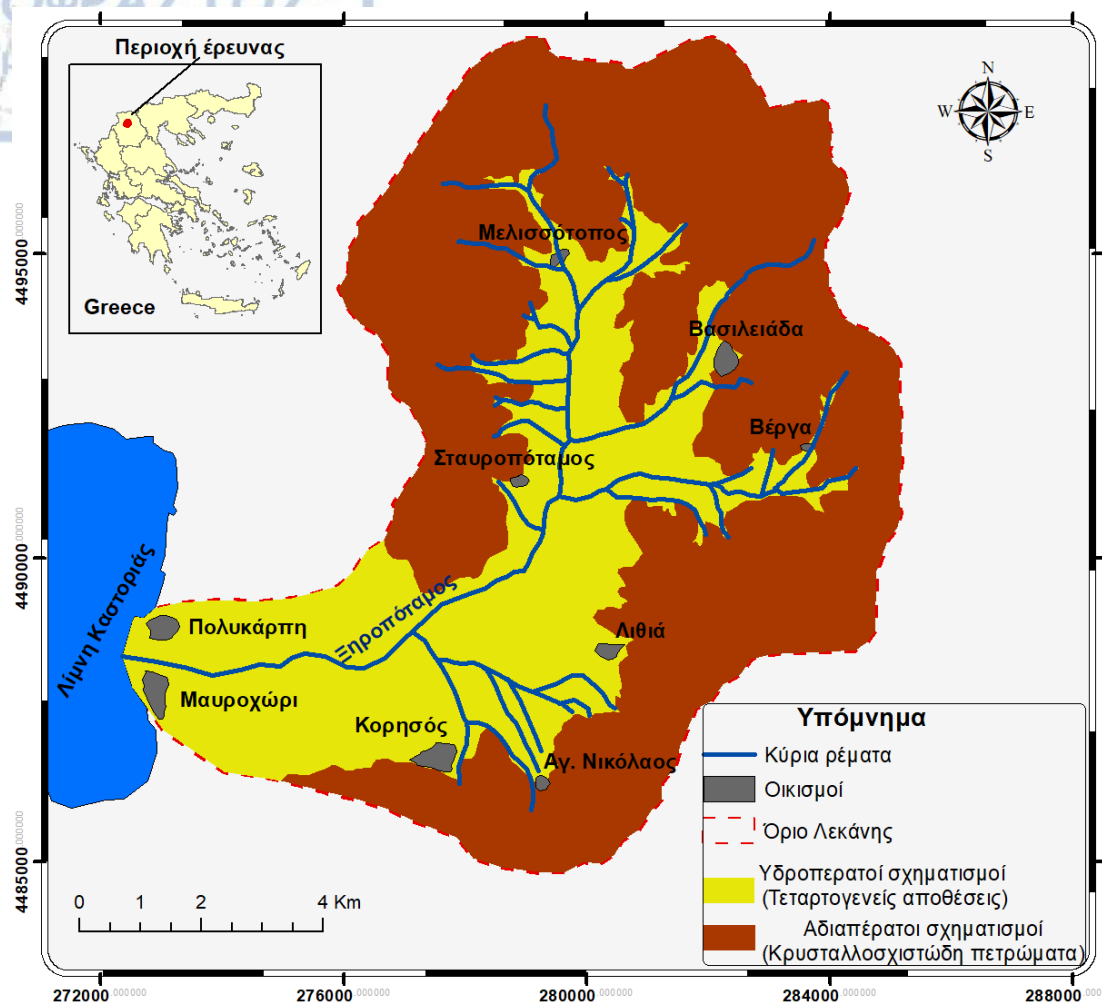
5.1 Εισαγωγή

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες σε μια περιοχή εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων την οποία δέχεται, αλλά και από την σύσταση και δομή των γεωλογικών σχηματισμών της. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν διαφορετική υδρολιθολογική συμπεριφορά ανάλογα της πετρολογικής τους σύστασης, της κοκκομετρικής τους σύνθεσης, τον βαθμό διαγένεσης και της τεκτονικής τους καταπόνησης. Επομένως για την περιγραφή της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, σύμφωνα με προγενέστερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή (Γιαννέλη 2009, Βαφειάδης 1983), οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές ομάδες, σε κάθε μία από τις οποίες η ικανότητα αποθηκεύσεως και διακινήσεως του υπόγειου νερού παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές.

5.2 Διάκριση των σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητα

Όπως προαναφέρθηκε σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα (Γιαννέλη 2009, Gianneli et al. 2011) και τα δεδομένα των γεωτρήσεων, οι σχηματισμοί της λεκάνης Κορησού, με βάση την υδροπερατότητα τους, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (σχήμα 5.1):

- 1) Τους **περατούς σχηματισμούς**, στους οποίους ανήκουν τα Τεταρτογενή ιζήματα,
- 2) Τους **αδιαπέρατους σχηματισμούς**, στους οποίους ανήκουν τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου.



Σχήμα 5.1: Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης απορροής Κορησού.

5.1.1 Περαιοί σχηματισμοί

Οι υδροπερατοί σχηματισμοί, αποτελούνται κυρίως από τεταρτοταγείς αποθέσεις. Αυτά τα ιζήματα του Ολοκαίνου και ως επί το πλείστον Πλειστοκαίνου, χαρακτηρίζονται από ποτάμιες αναβαθμίδες, λιμναίες και ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, προσχώσεις, καθώς και αποθέσεις στις κοίτες των κλάδων του ποταμού. Πιο αναλυτικά τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από καστανοκίτρινη ιλυούχος άμμο, αμμούχες ιλεις, κροκαλοπαγή, κώνους κορημάτων και ερυθρογαίες. Λόγω του γεγονότος ότι οι σχηματισμοί αυτοί συνίστανται από υλικά μη συνεκτικά, η υδροπερατοτητά τους απορρέει από το πρωτογενές πορώδες. Ως αποτέλεσμα της προέλευσής τους, οι Τεταρτογενείς αποθέσεις χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας και ανισοτροπίας, προκαλώντας μεγάλες διακυμάνσεις στις υδρογεωλογικές συνθήκες. Η έκταση που καταλαμβάνει η επιφανειακή εμφάνιση των υδροπερατών αυτών σχηματισμών ανέρχεται στα 24,6 Km², δηλαδή ποσοστό 27,6% της λεκάνης στο σύνολό της.

5.1.2 Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου, Παλαιοζωικής ηλικίας και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της ερευνώμενης λεκάνης (64,65 Km², δηλαδή 72,4% της συνολικής έκτασης αυτής). Πιο συγκεκριμένα στο Νοτιοανατολικό τμήμα των ορεινών και ημιορεινών περιοχών εμφανίζονται κυρίως σχιστόλιθοι και φυλλίτες, ενώ στο Βόρειο τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται γρανιτογενέσιοι, γνεύσιοι και αμφιβολίτες. Η εμφάνιση μικρών υδροφόρων συστημάτων στα μεταμορφωμένα πετρώματα συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τις κατακερματισμένες ζώνες όπου αναπτύσσεται το δευτερογενές πορώδες (τεκτονική δράση), ενώ το πρωτογενές πορώδες είναι πολύ μικρό.

5.2 Διαμόρφωση υπόγειου υδροφορέα - Χαρακτηριστικά

Το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο 'πεδινό' τμήμα της λεκάνης Κορησού, όπου παρατηρείται η ανάπτυξη ενός πορώδους (προσχωματικού) υδροφορέα, ο οποίος αναπτύσσεται στους τεταρτογενείς σχηματισμούς, οι οποίοι με την σειρά τους λόγω της λιθολογικής τους σύστασης (υψηλή περατότητα) είναι ικανοί να αναπτύξουν έναν αξιόλογο υδροφορέα. Ο υδροφορέας της περιοχής, αποτελείται από επάλληλα υδροφόρα στρώματα και οριοθετείται από τον ορεινό όγκο της υδρογεωλογικής λεκάνης. Όπως γίνεται αντιληπτό από τις τομές που υπάρχουν στην Υ.Ε.Β του νομού Καστοριάς (σχήμα 5.2), για 13 γεωτρήσεις της λεκάνης, το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 40-50 m, ενώ σε κάποια σημεία ξεπερνάει τα 100 m. Χαρακτηριστικό είναι ότι το πάχος του υδροφορέα, αυξάνεται από τις παρυφές των βουνών στα Βόρεια της λεκάνης προς την έξοδό της. Οι εναλλαγές των λεπτόκοκκων και αδρομερών υλικών του, παρουσιάζουν ικανοποιητική υδροφορία, η οποία τροφοδοτεί τις γεωτρήσεις της περιοχής. Ακόμη βάσει των τομών των γεωτρήσεων αποτυπώνονται οι σχηματικές απεικονίσεις του υδροφορέα, ο οποίος αναπτύσσεται εντός των τεταρτογενών αποθέσεων (σχήματα 5.3 & 5.4).

Η τροφοδοσία του υδροφορέα πραγματοποιείται κυρίως λόγω της απευθείας κατείσδυσης του νερού της βροχόπτωσης και της διήθησης από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου.

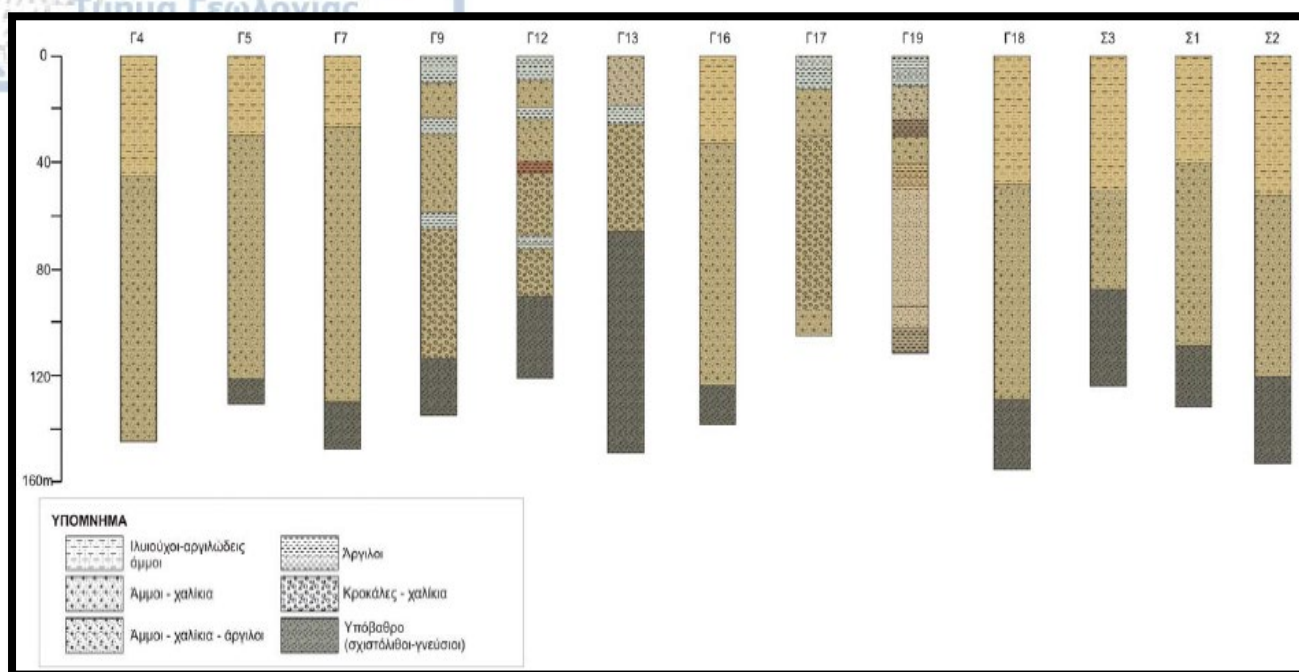
Η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι παράλληλη της επιφανειακής (σχήμα 5.9, παράγραφος 5.4) , δηλαδή από ΒΒΑ προς ΝΝΔ προς την λίμνη της Καστοριάς. Η υδραυλική κλίση παρουσιάζει ελάττωση από τα ανάντη προς τα κατόντη λόγω της

αύξησης του πάχους του υδροφορέα. Με βάση τις τιμές του συντελεστή αποθηκευτικότητας (S) $1,9 \times 10^{-4}$ έως 1×10^{-2} (Γιαννέλη 2009), προκύπτει ότι ο υδροφορέας χαρακτηρίζεται ημι-ελεύθερος στα ανάντη και μεταπίπτει σε ημι-εγκλωβισμένο στα κατάντη. Ακόμη σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες στην περιοχή (Γιαννέλη 2009, Βαφειάδης 1983) στις οποίες έγινε ανάλυση δοκιμαστικών αντλήσεων, βρέθηκε ότι η μέση τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k είναι της τάξης του 10^{-5} m/sec και 3.3×10^{-5} m/sec αντίστοιχα, η μεταβιβαστικότητα (T) κυμαίνεται μεταξύ 1.4×10^{-3} - 1.1×10^{-2} m²/sec και 7.2×10^{-1} m²/sec αντίστοιχα και ο συντελεστής αποθηκευτικότητας (S) κυμαίνεται μεταξύ 1.9×10^{-4} - 10^{-2} και 8×10^{-4} - 3×10^{-2} αντίστοιχα.

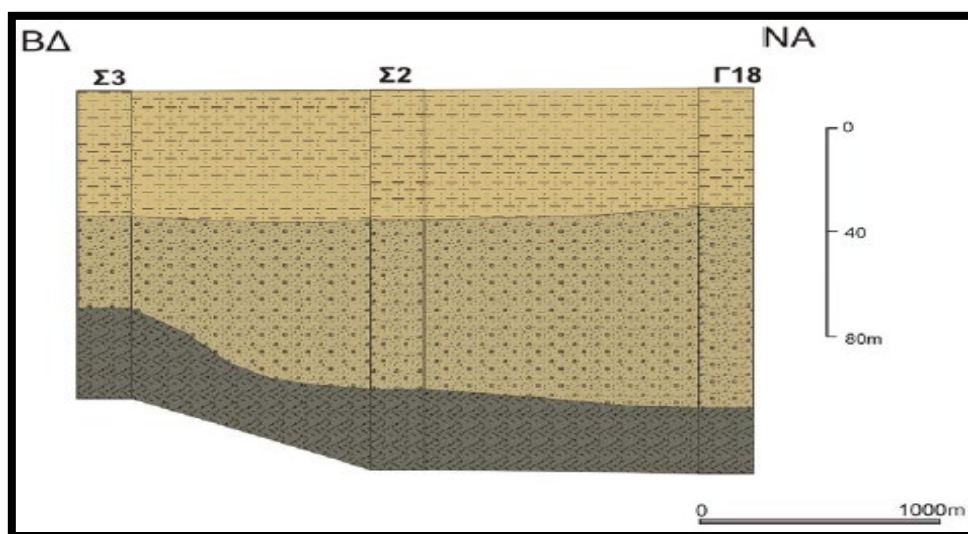
Συμπερασματικά για τον υδροφορέα της λεκάνης Κορησού, παρόλο που αποτελείται από επάλληλα υδροφόρα στρώματα, προτείνεται ένας ομοιόμορφος υδροφορέας καθώς οι περισσότερες μετρήσεις στάθμης υπόγειων υδάτων είναι ενδεικτικές μιας ενιαίας πιεζομετρικής επιφάνειας. Η εκμετάλλευση του προσχωματικού υδροφορέα γίνεται από 49 γεωτρήσεις με παροχές που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 150 m³/h. (Gianneli et al. 2011).

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά των 13 γεωτρήσεων (πηγή: Υ.Ε.Β Καστοριάς).

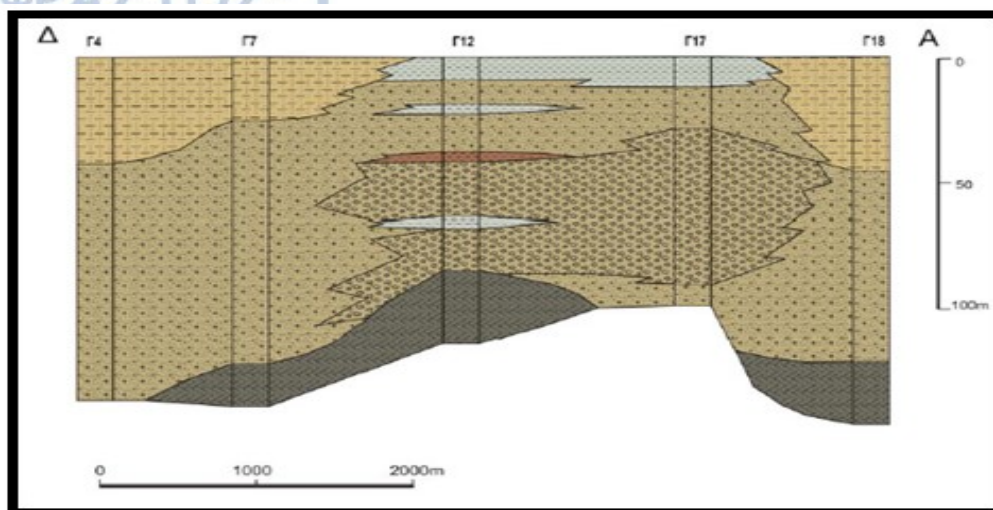
Γεώτρηση	Βάθος (m)	Παροχή (m ³ /h)
Γ4	145	40
Γ5	132	55
Γ7	144	74
Γ9	136	70
Γ12	120	80
Γ13	150	45
Γ16	140	40
Γ17	105	80
Γ18	156	60
Γ19	110	68
Σ1	133	120
Σ2	154	80
Σ3	124	33



Σχήμα 5.2: Λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων, (πηγή: Τ.Ο.Ε.Β. Καστοριάς).



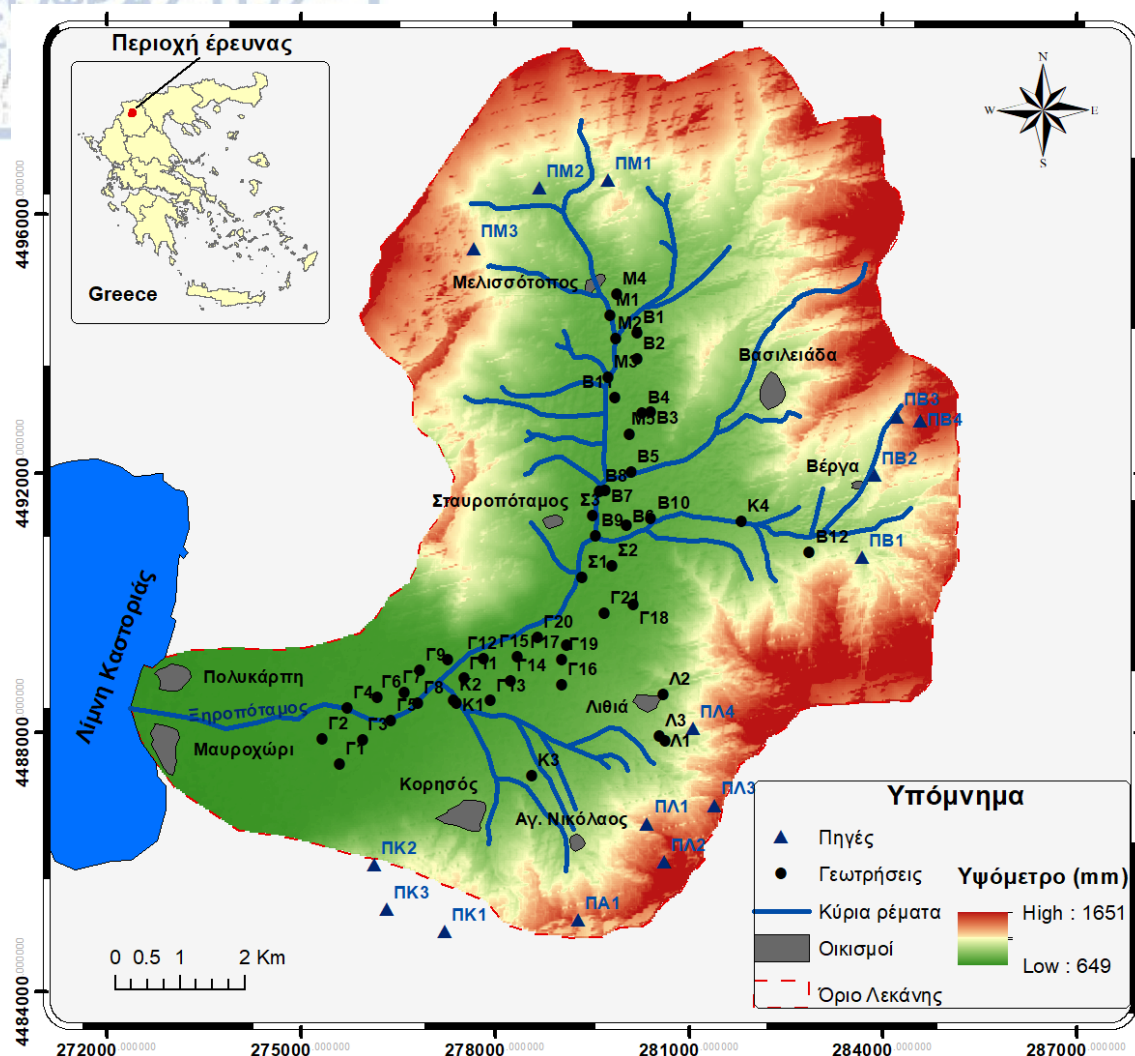
Σχήμα 5.3: Τομή υδροφορέα (ΒΔ-ΝΑ), (πηγή: Τ.Ο.Ε.Β. Καστοριάς).

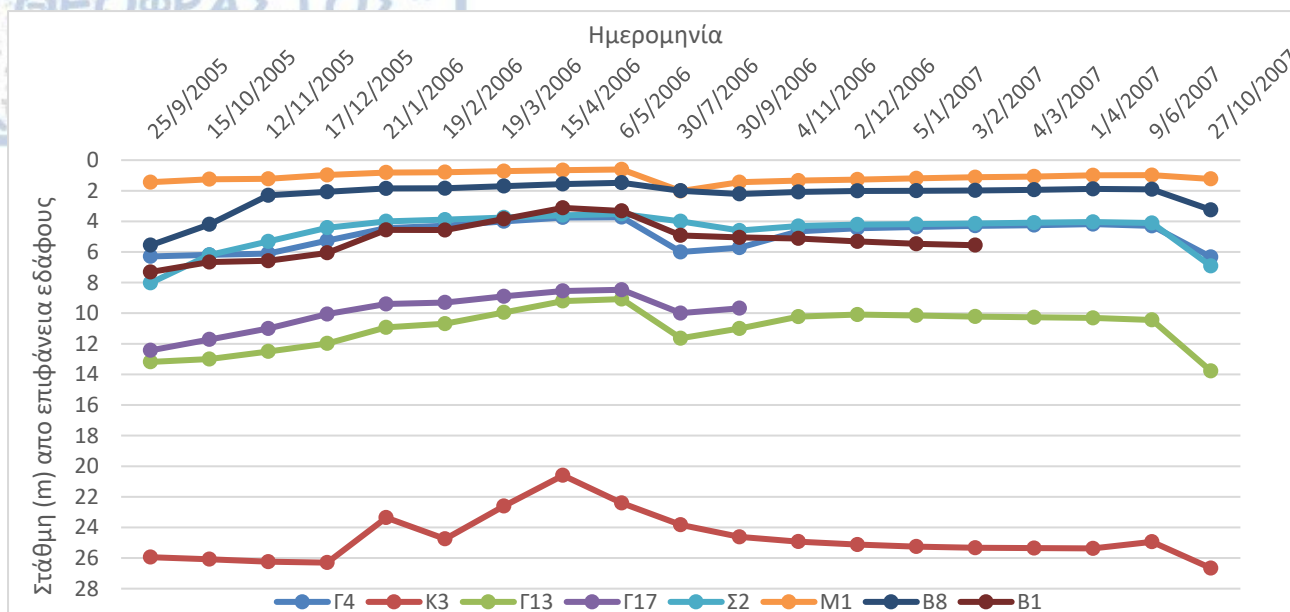


Σχήμα 5.4: Τομή υδροφορέα (Δ-Α), (πηγή: Τ.Ο.Ε.Β. Καστοριάς).

5.3 Πιεζομετρικές συνθήκες και μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού

Το υδροφόρο σύστημα της περιοχής έρευνας όπως αναφέρθηκε αναπτύσσεται εντός των τεταρτογενών αποθέσεων. Για τη μελέτη της πιεζομετρίας στον προσχωματικό υδροφορέα της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη διδακτορική διατριβή της Χρ. Γιανέλλη (2009). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης κατά την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου (ανώτερη στάθμη) και κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου (κατώτερη στάθμη) για τα έτη 2005-2007. Οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα σε σαράντα τρεις (43) γεωτρήσεις (σχήμα 5.5). Επιλέχθηκαν οκτώ (8) γεωτρήσεις από το σύνολο, με κατάλληλη χωρική κατανομή, ώστε να καλύπτεται ικανοποιητικά η έκταση της λεκάνης στο σύνολο της, στις οποίες μετρήθηκε η μηνιαία στάθμη κατά το χρονικό διάστημα Σεπτέμβριος του 2005 έως Οκτώβριος του 2007 και η διακύμανση αυτής αποτυπώνεται στο σχήμα 5.6.





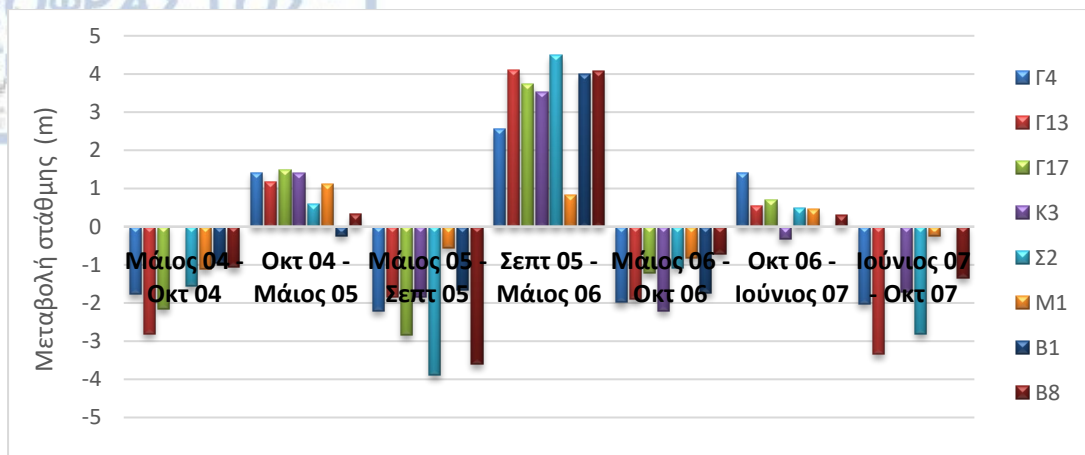
Σχήμα 5.6: Μηνιαία διακύμανση στάθμης των οκτώ (8) γεωτρήσεων της περιοχής.

Πίνακας 5.2: Γεωτρήσεις της λεκάνης Κορησού

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ'87)		ΧΡΗΣΗ
-	x	y	-
Γ1	275592.956	4487505.862	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ2	275324.734	4487893.582	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ3	275946.484	4487887.876	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ4	275709.446	4488372.801	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ5	276387.804	4488182.085	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ6	276183.527	4488534.523	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ7	276592.745	4488607.465	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ8	276802.677	4488443.773	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ9	276829.451	4488961.525	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ10	277270.992	4489124.284	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ11	277515.517	4488841.053	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ12	277812.700	4489139.634	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ13	277922.209	4488497.452	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ14	278236.110	4488788.143	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ15	278339.421	4489173.987	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ16	279031.599	4488734.938	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ17	279106.192	4489345.724	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ18	280128.185	4489980.407	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ19	279034.676	4489125.607	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ20	278649.043	4489464.820	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Γ21	279679.115	4489845.490	αρδευτική/ΤΟΕΒ Α΄
Κ1	277398.095	4488457.491	ύδρευση Κορησού
Κ2	277362.595	4488499.292	ύδρευση Κορησού
Κ3	278563.284	4487333.921	νέο στάδιο Κορησού
Κ4	281804.703	4491262.745	ιδιωτική

Λ1	280622.693	4487862.092	ύδρευση Λιθιάς
Λ2	280597.447	4488590.634	ύδρευση Λιθιάς
Λ3	280537.367	4487940.526	ιδιωτική/Τραντόπουλος
Σ1	279337.737	4490390.780	αρδευτική/TOEB Β΄
Σ2	279803.731	4490573.326	αρδευτική/TOEB Β΄
Σ3	279506.024	4491352.519	αρδευτική/TOEB Β΄
M1	279775.163	4494439.164	αρδευτική/TOEB Β΄
M2	279860.673	4494082.917	αρδευτική/TOEB Β΄
M3	279751.091	4493480.568	αρδευτική/TOEB Β΄
M4	279880.884	4494767.540	αρδευτική/TOEB Β΄
M5	280071.009	4492595.163	αρδευτική/TOEB Β΄
B1	280199.212	4494165.529	εκτός λειτουργίας
B2	280197.201	4493761.866	εκτός λειτουργίας
B3	280403.560	4492952.050	αρδευτική/TOEB Β΄
B4	280264.337	4492924.667	αρδευτική/TOEB Β΄
B5	280109.255	4492023.641	αρδευτική/TOEB Β΄
B6	280022.886	4491202.077	αρδευτική/TOEB Β΄
B7	279695.124	4491728.434	αρδευτική/TOEB Β΄
B8	279611.632	4491723.491	αρδευτική/TOEB Β΄
B9	279544.834	4491040.247	αρδευτική/TOEB Β΄
B10	280410.305	4491309.193	αρδευτική/TOEB Β΄
B11	279849.161	4493166.547	αρδευτική/TOEB Β΄
B12	282856.091	4490774.075	αρδευτική/TOEB Β΄

Παρακάτω, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην μεταβολή της στάθμης των υπόγειων νερών (α.ε.ε), για τις οκτώ γεωτρήσεις αναφοράς, μεταξύ όλων των διαδοχικών περιόδων σταθμιμέτρησης (υγρή-ξηρή, ξηρή-υγρή) για τα τρία υδρολογικά έτη. Σύμφωνα με την Gianneli et al. 2011, η πτώση της στάθμης των υπογείων υδάτων μεταξύ της αρχής και του τέλους της ξηράς περιόδου (Μάιος – Οκτώβριος για κάθε ένα από τα τρία υδρολογικά έτη) ήταν 2.49 m, 3.34 m και 2.04 m, αντίστοιχα. Τέλος η υψηλότερη άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού έλαβε χώρα κατά τον Σεπτέμβριο 2005 - Μάιο 2006 στη γεώτρηση Σ2 και ανέρχεται στα +4.5 m, ενώ η υψηλότερη πτώση της στάθμης πραγματοποιήθηκε κατά τον Μάιο 2005 - Σεπτέμβριο 2005 στη γεώτρηση Σ2 και ανέρχεται στα -3.9 m (σχήμα 5.7).



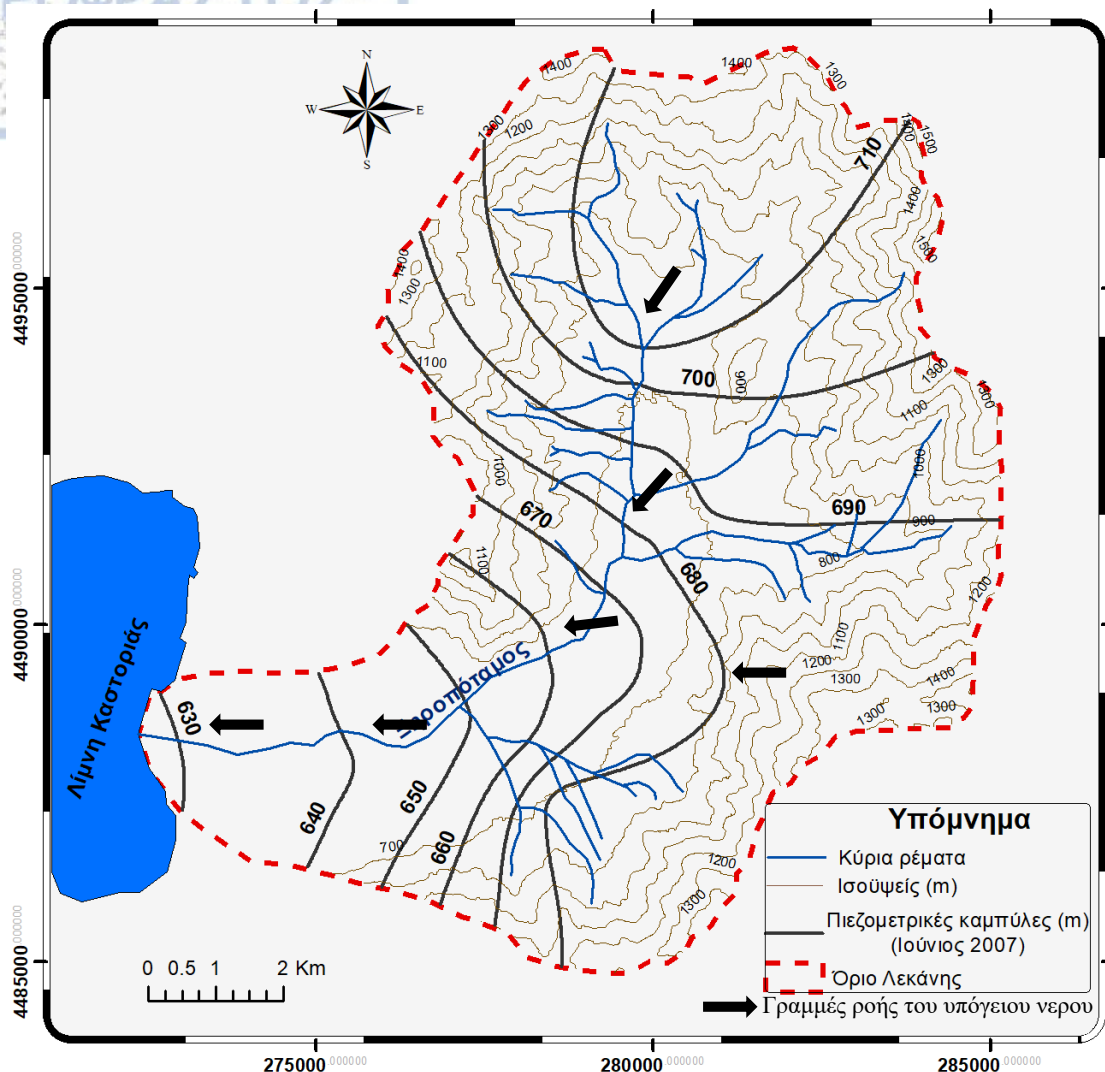
Σχήμα 5.7: Μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού μεταξύ υγρών και ξηρών περιόδων, στις οκτώ (8) γεωτρήσεις αναφοράς της περιοχής έρευνας.

5.4 Ισοπιεζομετρικός χάρτης

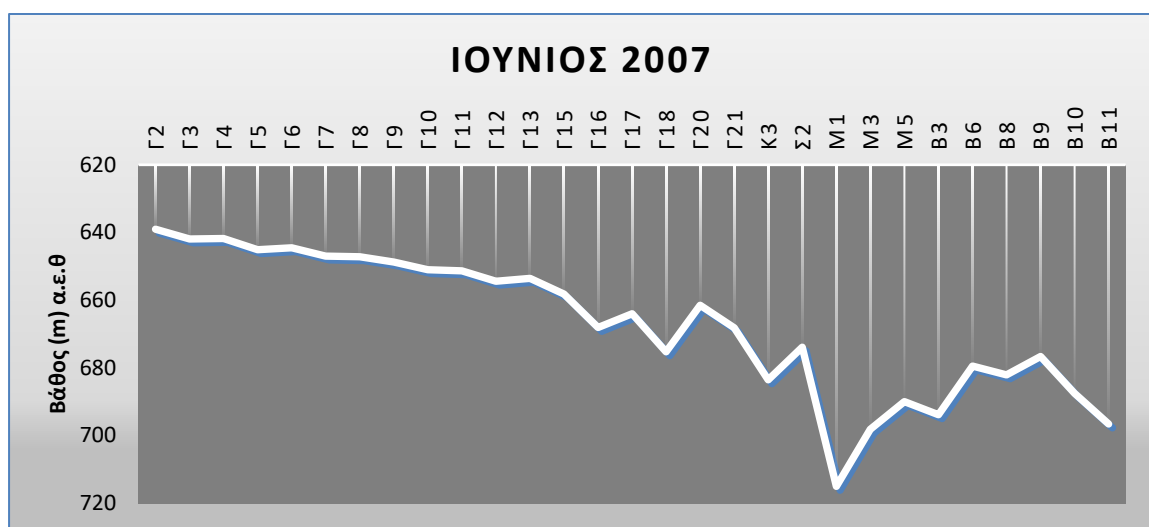
Οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τη διεύθυνση ροής, τις περιοχές τροφοδοσίας κ.λ.π. σε μια περιοχή (Βουδούρης, 2013). Παρακάτω στα σχήματα 5.8 και 5.9 παρουσιάζεται ενδεικτικά, ο πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο Ιούνιος 2007 (υψηλή στάθμη), καθώς και η μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού αντίστοιχα.

Από τη μελέτη των ισοπιεζομετρικών χαρτών προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Γενικά, οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες εμφανίζονται ανοιχτές και η στάθμη των υπόγειων υδάτων ταυτίζεται με αυτή του ποταμού, αρά πρόκειται για θετικές υδραυλικές συνθήκες.
- Από τη γενική διαμόρφωση των πιεζομετρικών καμπυλών (κυρτότητα προς τα ανάντη) προκύπτει ότι μιλάμε για αποστράγγιση του προσχωματικού υδροφορέα από τον χείμαρρο Ξηροπόταμο και απουσία τροφοδοσίας από τα περιβάλλοντα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Ακόμη αυτό φαίνεται και από την σύγκλιση των γραμμών ροής προς τον άξονα του Ξηροποτάμου.
- Σε γενικές γραμμές, η διεύθυνση ροής είναι προς την κοίτη της λεκάνης, δηλαδή προς ΝΔ, με κατεύθυνση κίνησης των υπόγειων νερών από Β-ΒΑ προς Ν-ΝΔ.
- Το υδραυλικό φορτίο εμφανίζει υψηλότερες τιμές (+715 m) στην περιοχή Μελισσότοπος και τις χαμηλότερες τιμές (+615 m) στην έξοδο της λεκάνης.



Σχήμα 5.8: Ισοπιεζομετρικός χάρτης περιόδου Ιουνίου 2007 της λεκάνης Κορησού.



Σχήμα 5.9: Διακύμανση στάθμης του υπόγειου νερού την περίοδο Ιούνιος 2007 σε γεωτρήσεις της λεκάνης Κορησού.

5.5 Ποιότητα υπόγειου νερού

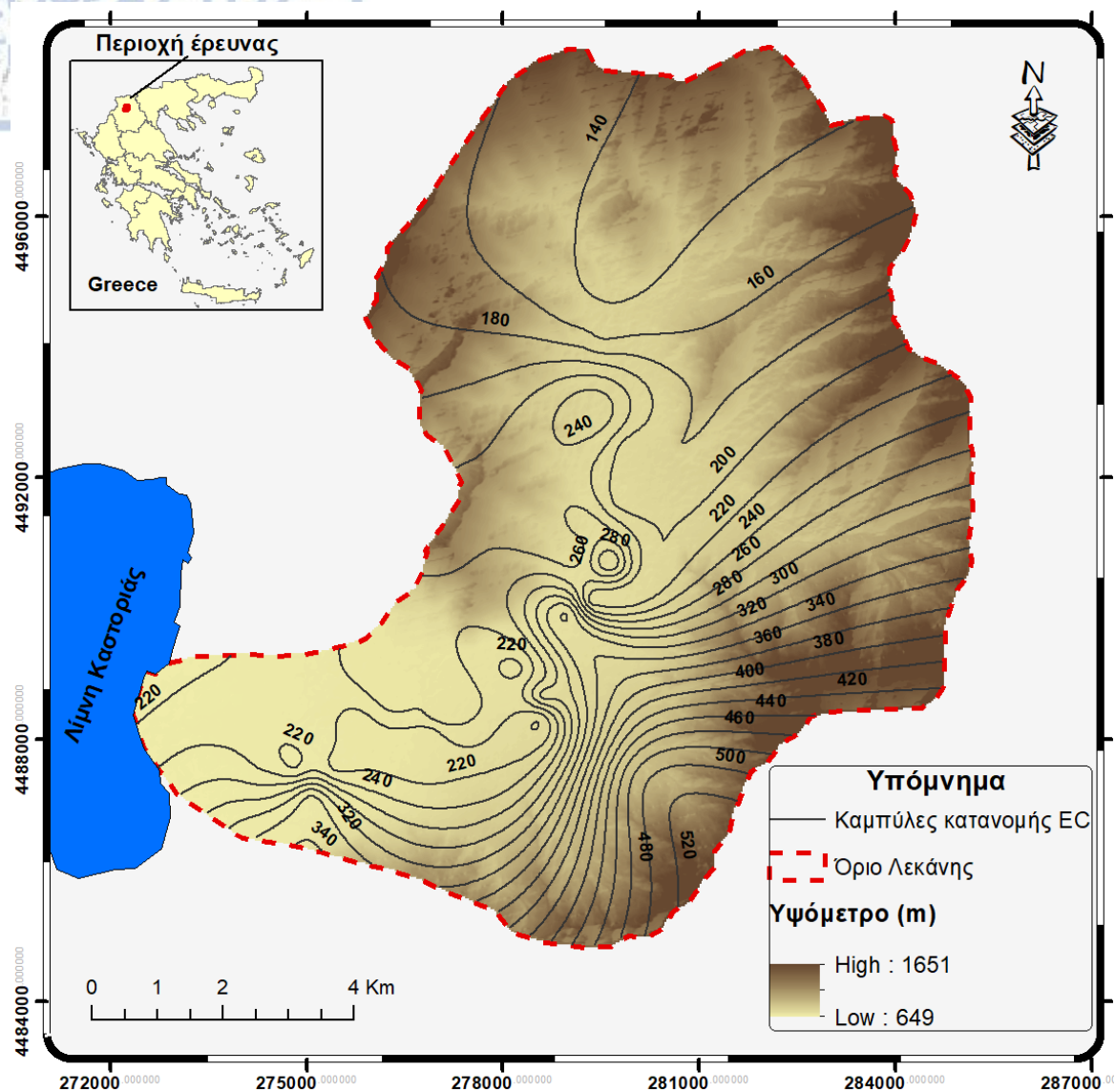
Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, έξι δειγματοληψιών σε διάστημα τριών ετών (Ιούλιος 2004, Οκτώβριος 2004, Μάιος 2005, Οκτώβριος 2005, Ιούλιος 2006 και Οκτώβριος 2006) προέκυψαν τα εξής (Γιανέλλη, 2009):

Ο υδροχημικός τύπος του υπόγειου νερού στον προσχωματικό υδροφορέα της περιοχής έρευνας, όπως προέκυψε από το Aquachem ανήκει στον ανθρακικό και συγκεκριμένα είναι οξυανθρακικός-ασβεστούχος Ca-HCO_3 . Γενικά εντοπίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στην περιοχή έρευνας λόγω της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων (Voudouris et al., 2004).

Η σκληρότητα κυμαίνεται από 38 (γεώτ. Γ13) μέχρι 304,1 (γεώτ. Λ3) mg/l και η μέση τιμή της είναι 106 mg/l CaCO_3 (μέτρια σκληρό). Το pH τόσο των υπόγειων αλλά και επιφανειακών υδάτων ποικίλλει από 6.59 (γεώτ. Β7) έως 8.19 (γεώτ. Β7), ενώ οι περισσότερες τιμές pH παρουσιάζονται >7 , που αντιστοιχεί σε ελαφρώς αλκαλικό τύπο.

Αντίστοιχα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, συνολικά για τις έξι (6) περιόδους που πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις, κυμαίνεται από 115 (γεώτ. Γ13) έως 547 (γεώτ. Λ3) $\mu\text{S/cm}$. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας για το πόσιμο νερό ανέρχεται περίπου στα 400 $\mu\text{S/cm}$. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων και πιθανή ρύπανση του νερού. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στην κατάντη περιοχή (Νότια), λόγω εμπλουτισμού του υπόγειου νερού με άλατα κατά τη διάρκεια της κίνησής του. Τέλος όσον αφορά τα συνολικά διαλυμένα στερεά T.D.S αυτά κυμαίνονται από 67 (γεώτ. Γ13) έως 463,4 (γεώτ. Λ3) με μέσο όρο 172,6 mg/l, οπότε το νερό εμφανίζεται γλυκό.

Παρακάτω στο σχήμα 5.10 απεικονίζεται ενδεικτικά η χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για την περίοδο δειγματοληψίας του Οκτωβρίου 2006.



Σχήμα 5.10: Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) την περίοδο Οκτώβριος 2006 στη λεκάνη Κορησού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τρωτότητα υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση

6.1 Εισαγωγή

Η ρύπανση των υπογείων υδάτων σχετίζεται με την τεχνητή υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων νερών. Σε αντίθεση με τη ρύπανση των επιφανειακών υδάτων, η υπόγεια ρύπανση είναι δύσκολο να ανιχνευθεί, ενώ είναι ακόμη πιο δύσκολο να ελεγχθεί, και μπορεί να συνεχιστεί για χρόνια, δεκαετίες ή ακόμη και αιώνες. Η αξιολόγηση της τρωτότητας διενεργήθηκε ως ουσιαστικό μέρος των στρατηγικών προστασίας για τον χωροταξικό σχεδιασμό και την προστασία των υπόγειων υδάτων (Foster & Hirata, 1988). Στην πραγματικότητα, ο όρος "τρωτότητα των υπόγειων υδάτων στην ρύπανση" χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Margat, 1968, σύμφωνα με τον οποίο εκφράζει τον βαθμό προστασίας του περιβάλλοντος απέναντι στην ρύπανση των υπόγειων υδάτων (Bhuvaneswaran & Ganesh, 2019). Ωστόσο μελλοντικά ο ορισμός άλλαξε και προτάθηκαν αρκετοί ορισμοί. Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή, ότι το φυσικό περιβάλλον είναι ικανό να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό. Συνεπώς, κάποιες περιοχές είναι πιο εύαλωτες σε σχέση με κάποιες άλλες. Επομένως η τρωτότητα ή ρυπαντική επιδεκτικότητα ή ευαλωσιμότητα (vulnerability) σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφορέα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφορέα. Άρα, αποτελεί συνάρτηση:

1. των χαρακτηριστικών του υδροφορέα,
2. της απόστασης από την πηγή ρύπανσης,
3. των χαρακτηριστικών του ρύπου και
4. άλλων παραγόντων που πιθανώς να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή.

Η τρωτότητα διακρίνεται σε: α) ειδική ή ολοκληρωτική (specific or integrated), η οποία αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών και β) στην γενική ή ιδιοτρωτότητα (intrinsic), η οποία προσδιορίζεται αποκλειστικά σε σχέση με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή (Βουδούρης, 2016). Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι

(προσομοίωσης, στατιστικές και βαθμονόμησης), μία από τις οποίες είναι και η μέθοδος DRASTIC, η οποία αναλύεται παρακάτω.

6.2 Η μέθοδος DRASTIC

Η μέθοδος DRASTIC, είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους βαθμονόμησης, που αναπτύχθηκε από τον Aller et al. (1987) για την αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA), προκειμένου να προβεί σε συστηματική αξιολόγηση του δυναμικού ρύπανσης των υπόγειων υδάτων σε οποιοδήποτε υδρογεωλογικό περιβάλλον (Bhuvaneswaran & Ganesh, 2019).

Αν και πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιεί υποκειμενική βαθμονόμηση (αξιολόγηση) και αντιστοίχιση των παραμέτρων σε αριθμητικές τιμές, αυτοί οι παράμετροι και οι τιμές βαθμονόμησης, οι οποίες στηρίζονται στην κατανόηση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, μπορεί να αντικατοπτρίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τον κύριο μηχανισμό των υπόγειων οδών ρύπανσης (Yang & Wang, 2010). Επομένως η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εκτίμηση τρωτότητας των υπόγειων υδάτων (Worrall & Kolpin, 2004; Babiker et al., 2005)

Σύμφωνα, με την γενική έννοια της τρωτότητας (intrinsic vulnerability) η μέθοδος DRASTIC βασίζεται σε επτά υδρογεωλογικές παραμέτρους, οι οποίες είναι:

Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού – D (Depth to water): Αντιπροσωπεύει το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο καθορίζει το μέσο βάθος μέσω του οποίου ο ρύπος ταξιδεύει πριν φτάσει τον υδροφορέα.

Ενεργή κατείσδυση - R (Net Recharge): Αφορά την ποσότητα νερού που διεισδύει στην επιφάνεια του εδάφους και φτάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και λειτουργεί ως βασική δίοδος για την μεταφορά ρύπων στον υδροφόρο ορίζοντα, μέσω της διαδικασίας της κατείσδυσης.

Υλικό υδροφορέα - A (Aquifer media): Αναφέρεται στις ιδιότητες των κορεσμένων υλικών, ενώ ελέγχει την περατότητα και τις διεργασίες εξασθένησης του ρύπου.

Έδαφος - S (Soil): Πρόκειται για το ανώτερο αποσαθρωμένο τμήμα της ακόρεστης ζώνης (~30-50 cm) που χαρακτηρίζεται από σημαντική βιολογική δραστηριότητα και ελέγχει την ποσότητα ύδατος που μπορεί να κατεisdύσει περαιτέρω.

Κλίση αναγλύφου - T (Topography): Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους, σχετίζεται με την πιθανότητα να παραμείνει η απορροή στην επιφάνεια του εδάφους για να επιτρέψει την κατείσδυση του ρυπαντή στην κορεσμένη ζώνη.

Επίδραση της ακόρεστης ζώνης - I (Impact of vadose zone): Αντιπροσωπεύει τον τύπο του υλικού στη ζώνη πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και κάτω από τον τυπικό ορίζοντα του εδάφους, ο οποίος ελέγχει τη διέλευση και την εξασθένιση του ρύπου στην κορεσμένη ζώνη.

Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας υδροφορέα - C (Hydraulic conductivity of the aquifer): Αναφέρεται στην ικανότητα του υδροφορέα να μεταφέρει νερό, και ως εκ τούτου καθορίζει τον ρυθμό της ροής του ρύπου στο σύστημα των υπόγειων υδάτων.

Δεδομένου ότι η σημασία των παραμέτρων στις διαδικασίες ρύπανσης των υπόγειων υδάτων είναι διαφορετική, σε κάθε παράμετρο αποδόθηκε ένα σχετικό βάρος (βαρύτητα) που κυμαίνεται από 1 έως 5. Ο σημαντικότερος παράγοντας έχει βαρύτητα 5 ενώ ο λιγότερο σημαντικός βαρύτητα 1 (πίνακας 6.1). Επιπλέον σε κάθε παράμετρο δόθηκε και αριθμητική βαθμονόμηση, η οποία κυμαίνεται από 1 (ελάχιστο δυναμικό ρύπανσης) έως 10 (μέγιστο δυναμικό ρύπανσης).

Πίνακας 6.1: Σχετικά βάρη που αποδόθηκαν σε κάθε παράμετρο της μεθοδολογίας DRASTIC (Aller, et al., 1987).

Παράμετρος	*Βαρύτητα (γενική)	Βαρύτητα (Ειδική)
D Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού	5	5
R Ενεργή κατείσδυση	4	4
A Υλικό υδροφορέα	3	3
S Έδαφος	2	5
T Κλίση αναγλύφου	1	3
I Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	5	3
C Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας	3	2

Ο γραμμικός πρόσθετος συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων με τα σχετικά βάρη και τις βαθμονομήσεις, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας DRASTIC (DVI), όπως δίνεται παρακάτω (Aller et al., 1987):

$$DVI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (\text{σχέση 6.1})$$

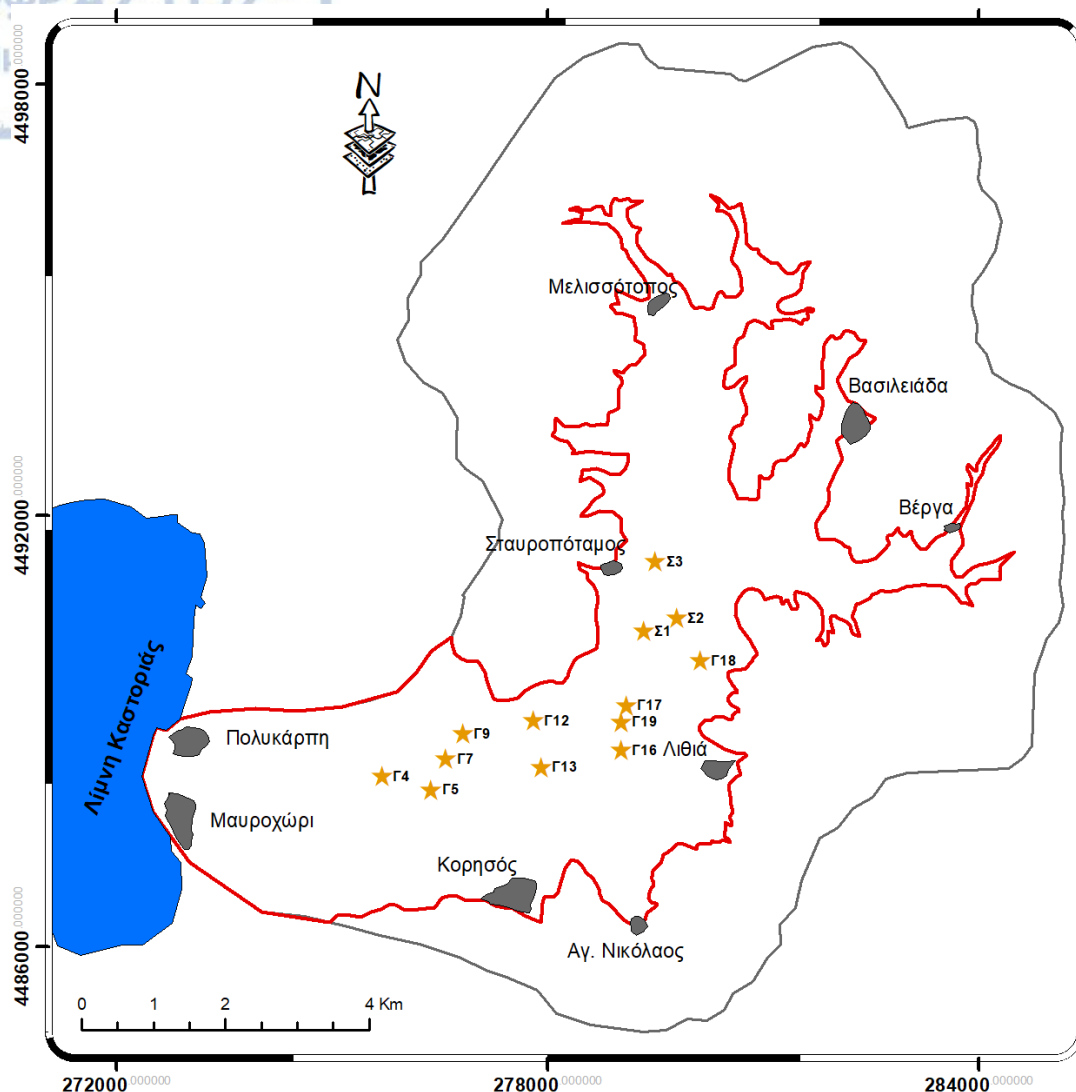
Όπου : Ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου (1 έως 10)

Ο δείκτης w εκφράζει την βαρύτητα κάθε παραμέτρου (1 έως 5)

Η μέθοδος DRASTIC εφαρμόστηκε λαμβάνοντας υπόψη τέσσερις παραδοχές (Al-Zabet, 2002):

1. Ο ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους.
2. Ο ρύπος εισάγεται στο υπόγειο νερό μέσω της κατείδσδυσης του νερού της βροχόπτωσης.
3. Ο ρύπος έχει ίδια ταχύτητα με το νερό.
4. Η έκταση στην οποία εφαρμόζεται είναι ίση ή μεγαλύτερη από 40 Εκτάρια (ή $0,4 \text{ Km}^2$).

Στη συγκεκριμένη διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία, εφαρμόστηκε η μέθοδος Typical DRASTIC*, για την εκτίμηση της γενικής τρωτότητας ή ιδιοτρωτότητας του υπόγειου προσχωματικού υδροφορέα της υδρολογικής υπολεκάνης Κορησού. Χρησιμοποιήθηκαν 13 λιθολογικές τομές και αντίστοιχα 13 γεωτρήσεις (σχήμα 5.2 και 6.1) για την μελέτη των παραμέτρων, καθώς ήταν οι μόνες λιθολογικές τομές που ήταν διαθέσιμες. Ακόμη, για κάθε παράμετρο με την χρήση του λογισμικού ArcGIS 10.5, κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης με την μέθοδο IDW (interpolation), ώστε να καταλήξουμε σύμφωνα με την σχέση (6.1) του δείκτη τρωτότητας DRASTIC (DVI) στον τελικό χάρτη τρωτότητας, μέσω ενός μαθηματικού υπολογισμού των Raster αρχείων, μέσω του λογισμικού ArcMap. Εν κατακλείδι να αναφερθεί, ότι στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία δεν λήφθηκε υπόψη η παράμετρος του συντελεστή της υδραυλικής αγωγιμότητας (C), λόγω του ότι δεν υπήρχαν στα πρωτογενή δεδομένα (Γιαννέλη 2009) τιμές αυτής της παραμέτρου καθώς δεν είχαν πραγματοποιηθεί δοκιμαστικές αντλήσεις. Όπως αναφέρεται, η μέθοδος DRASTIC είναι ευέλικτη και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την τροποποιήσει προσθέτοντας ή αφαιρώντας παραμέτρους ή ακόμη και αλλάζοντας τις τιμές βαρύτητας (Al-Adamat et al., 2003; Βουδούρης, 2016).



Σχήμα 6.1: Χάρτης με τις θέσεις των λιθολογικών τομών γεωτρήσεων, και των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραμέτρων του δείκτη DRASTIC στην περιοχή έρευνας.

6.2.1 Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού – D

Το βάθος της στήλης του υπόγειου νερού, αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της μεθόδου DRASTIC και βαθμονομείται με βαρύτητα ίση με 5, σύμφωνα με τον πίνακα 6.1. Στην περιοχή έρευνας με βάση τις μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού (Γιαννέλη, 2009) από την επιφάνεια του εδάφους, κατά την περίοδο του Ιουνίου 2007 (η δυσχερέστερη περίοδος εκτίμησης της τρωτότητας, λόγω υψηλής στάθμης νερού), η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 2.81 έως 13.15 m (πίνακας 6.3). Μεγάλο βάθος υποδηλώνει καλύτερη προστασία του υδροφορέα από την ρύπανση, καθώς μεγαλώνει ο χρόνος που απαιτείται ώστε να ταξιδέψει ο ρύπος

από την επιφάνεια του εδάφους στον υπόγειο υδροφορέα, ενώ αντίστοιχα μικρότερο βάθος υποδηλώνει μεγαλύτερη τρωτότητα του υδροφορέα στην ρύπανση. Συνεπώς για μεγαλύτερο βάθος υπόγειου νερού δόθηκε μικρότερη τιμή, ενώ για μικρότερο βάθος δόθηκε μεγαλύτερη τιμή (πίνακας 6.2).

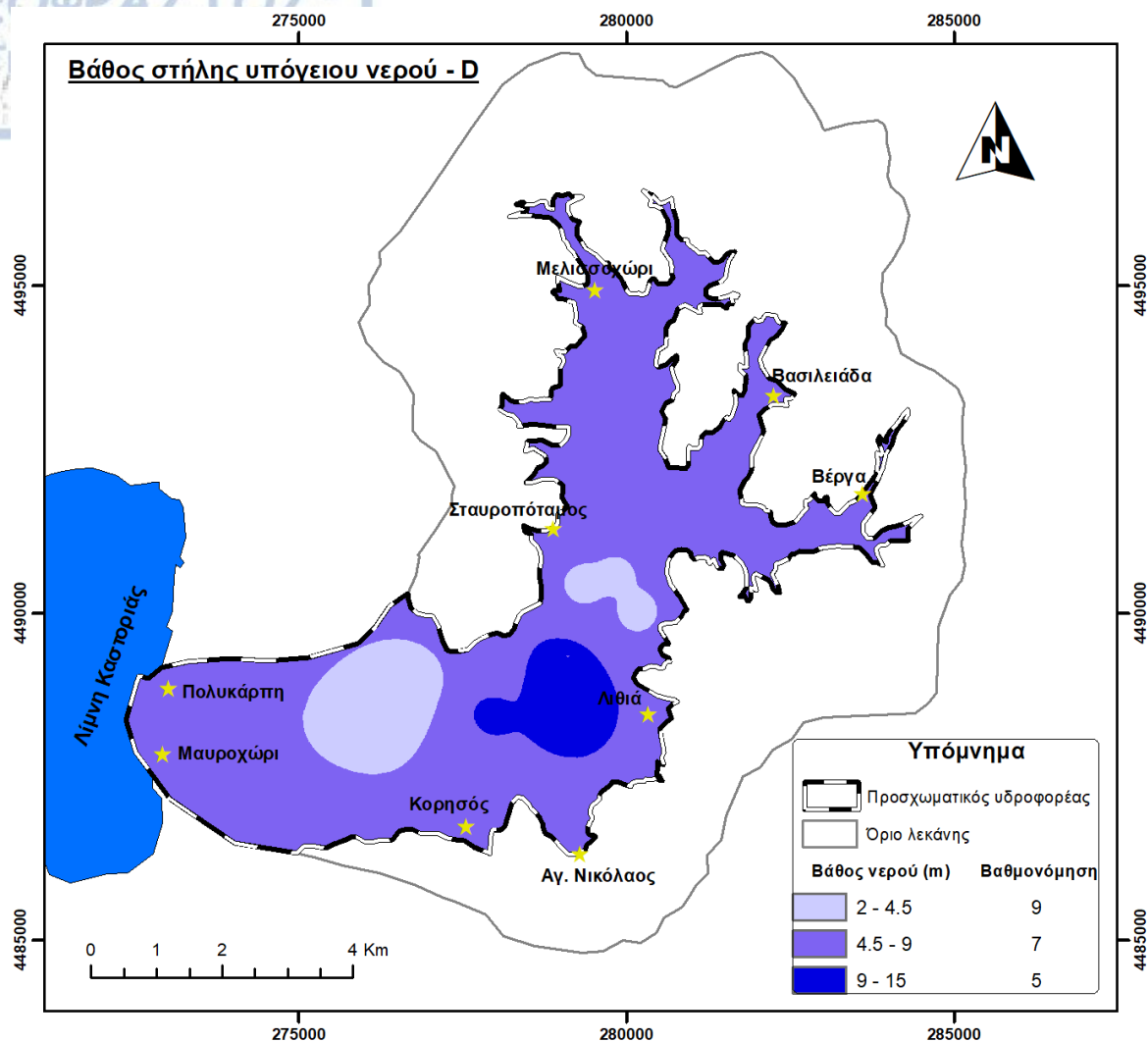
Πίνακας 6.2: Βαθμονόμηση της παραμέτρου D.

Βάθος υπόγειου νερού (m)	
Κλάσεις	Βαθμονόμηση
0-2	10
2-4.5	9
4.5-9	7
9-15	5

Πίνακας 6.3: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου D.

Γεωτρήσεις	Βάθος υπόγειου νερού σε m (D_w)	Τιμή βαθμονόμησης (D_r)
Γ4	4.30	9
Γ5	3.93	9
Γ7	2.81	9
Γ9	3.08	9
Γ12	4.58	7
Γ13	10.44	5
Γ16	11.91	5
Γ17	8.98	7
Γ18	3.74	9
Γ19	13.15	5
Σ1	3.55	9
Σ2	4.11	9
Σ3	5.18	7

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου D, ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2. Σύμφωνα με αυτόν, υψηλή τιμή (βαθμονόμηση), άρα χαμηλό βάθος υπόγειου νερού, παρατηρείται στο Κεντρικό-Δυτικό τμήμα της λεκάνης, ΒΒΔ της περιοχής Κορησού καθώς και σε μικρό ποσοστό Νότια της περιοχής Σταυροποτάμου, ενώ αντίθετα χαμηλή τιμή (βαθμονόμηση), άρα μεγάλο βάθος νερού, παρατηρείται κυρίως στο κεντρικό τμήμα αυτής κοντά στην περιοχή Λιθιά.



Σχήμα 6.2: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης του βάθους του υπόγειου νερού (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

6.2.2 Ενεργή κατείσδυση – R

Ο εμπλουτισμός ή αλλιώς ενεργή κατείσδυση αποτελεί ακόμη έναν σημαντικό παράγοντα για την τρωτότητα των υπόγειων υδροφορέων, καθώς ο ρύπος κινείται υπόγεια μέσω του νερού της βροχόπτωσης. Επομένως σύμφωνα με τον πίνακα 6.1 η βαρύτητα αυτής της παραμέτρου είναι ίση με 4 και για υψηλές τιμές κατείσδυσης δόθηκε και μεγάλη τιμή στην βαθμονόμηση, ενώ για μικρότερο εμπλουτισμό δόθηκε και μικρότερη τιμή στην βαθμονόμηση. Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζονται οι κλάσεις και η αντίστοιχη βαθμονόμηση της παραμέτρου R. Στην περιοχή έρευνας, η ενεργή κατείσδυση προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή κατείσδυσης σε κάθε γεώτρηση, ο οποίος είναι συνάρτηση της κλίσης, του τύπου εδάφους καθώς και της

βροχόπτωσης. Οι τιμές της για την περίοδο του Ιουνίου 2007 κυμαίνονται από 77.8 έως 136.4 (πίνακας 6.5).

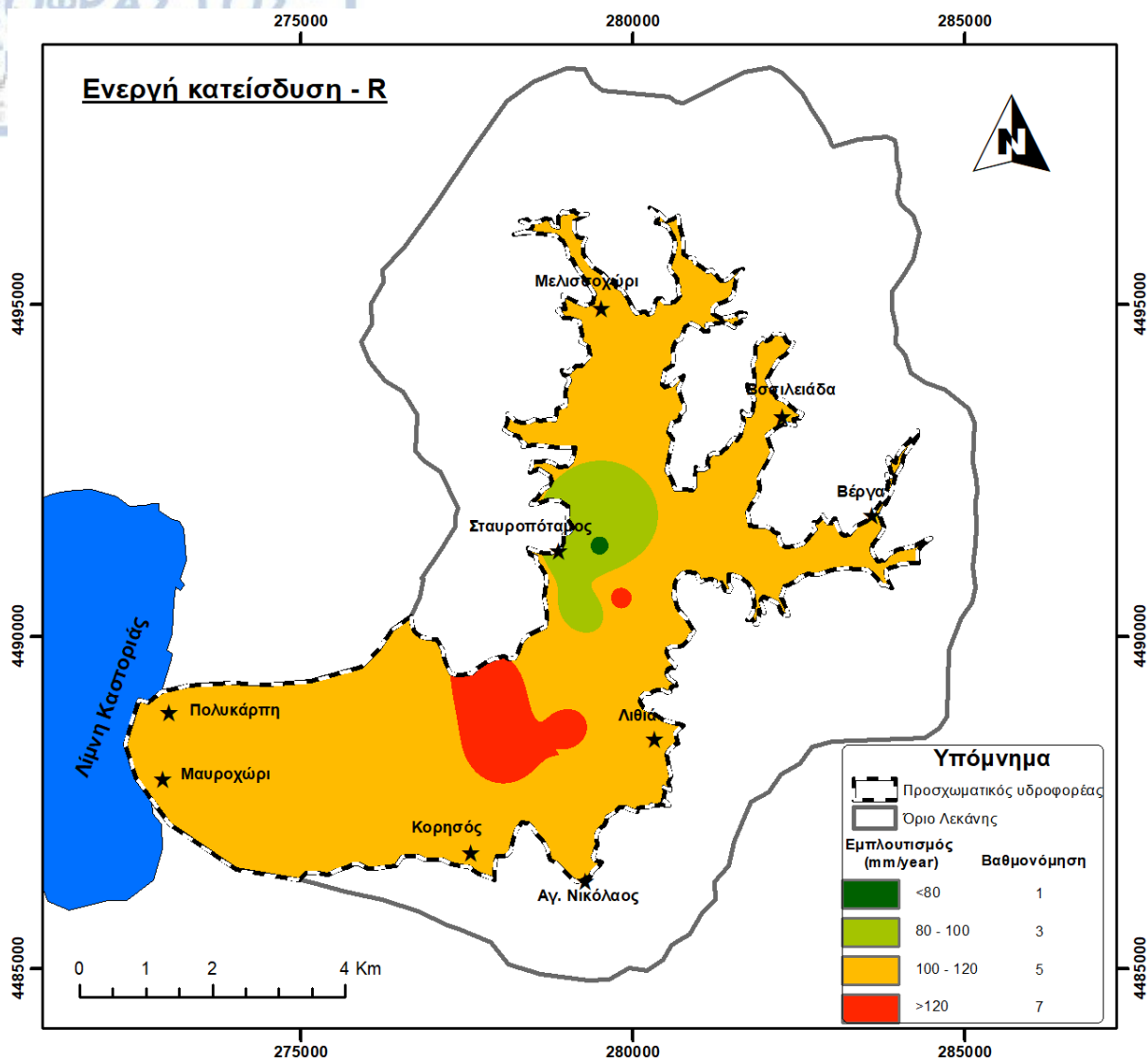
Πίνακας 6.4: Βαθμονόμηση της παραμέτρου R.

Εμπλουτισμός σε mm/year	
Κλάσεις	Βαθμονόμηση
<80	1
80-100	3
100-120	5
>120	7

Πίνακας 6.5: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου R.

Γεωτρήσεις	Κατείσδυση σε mm/year (R_w)	Τιμή βαθμονόμησης (R_r)
Γ4	109.7	5
Γ5	116.4	5
Γ7	116.3	5
Γ9	109.3	5
Γ12	136.4	7
Γ13	123.2	7
Γ16	123.9	7
Γ17	109.5	5
Γ18	108.3	5
Γ19	116.6	5
Σ1	86.8	3
Σ2	125.2	7
Σ3	77.9	1

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου R, ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3. Σύμφωνα με αυτόν, υψηλή κατείσδυση παρατηρείται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, ενώ αντίθετα η μικρότερη ενεργή κατείσδυση παρατηρείται, γύρω από την περιοχή Σταυροπόταμος.



Σχήμα 6.3: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της ενεργής κατείδυσης (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

6.2.3 Υλικό υδροφορέα – Α

Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει την φύση του γεωλογικού σχηματισμού. Ο υδροφορέας αποτελεί την δίοδο του ρύπου μέσω αυτού. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κόκκων και όσα περισσότερα διάκενα υπάρχουν μέσα στον υδροφορέα, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα και μικρότερη η ικανότητα εξασθένισης που έχει ο υδροφορέας. Η βαρύτητα αυτής της παραμέτρου σύμφωνα με τον πίνακα 6.1 εκτιμήθηκε ίση με 3. Στην περιοχή έρευνας, με βάση την λιθολογική περιγραφή δεκατριών (13) λιθολογικών τομών γεωτρήσεων (σχήμα 5.2), το υδροφόρο μέσο ταξινομήθηκε με βάση των πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6: Βαθμονόμηση της παραμέτρου Α.

Υλικό υδροφορέα	Βαθμονόμηση
Αργίλοι	1
Μεταμορφωμένα πετρώματα	2
Ιλυούχοι άμμοι	3
Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλοι	4
Άμμοι-Χαλίκια	5
Χαλίκια-Κροκάλες	7

Πίνακας 6.7: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου Α, με βάση τις λιθολογικές τομές (βλ.

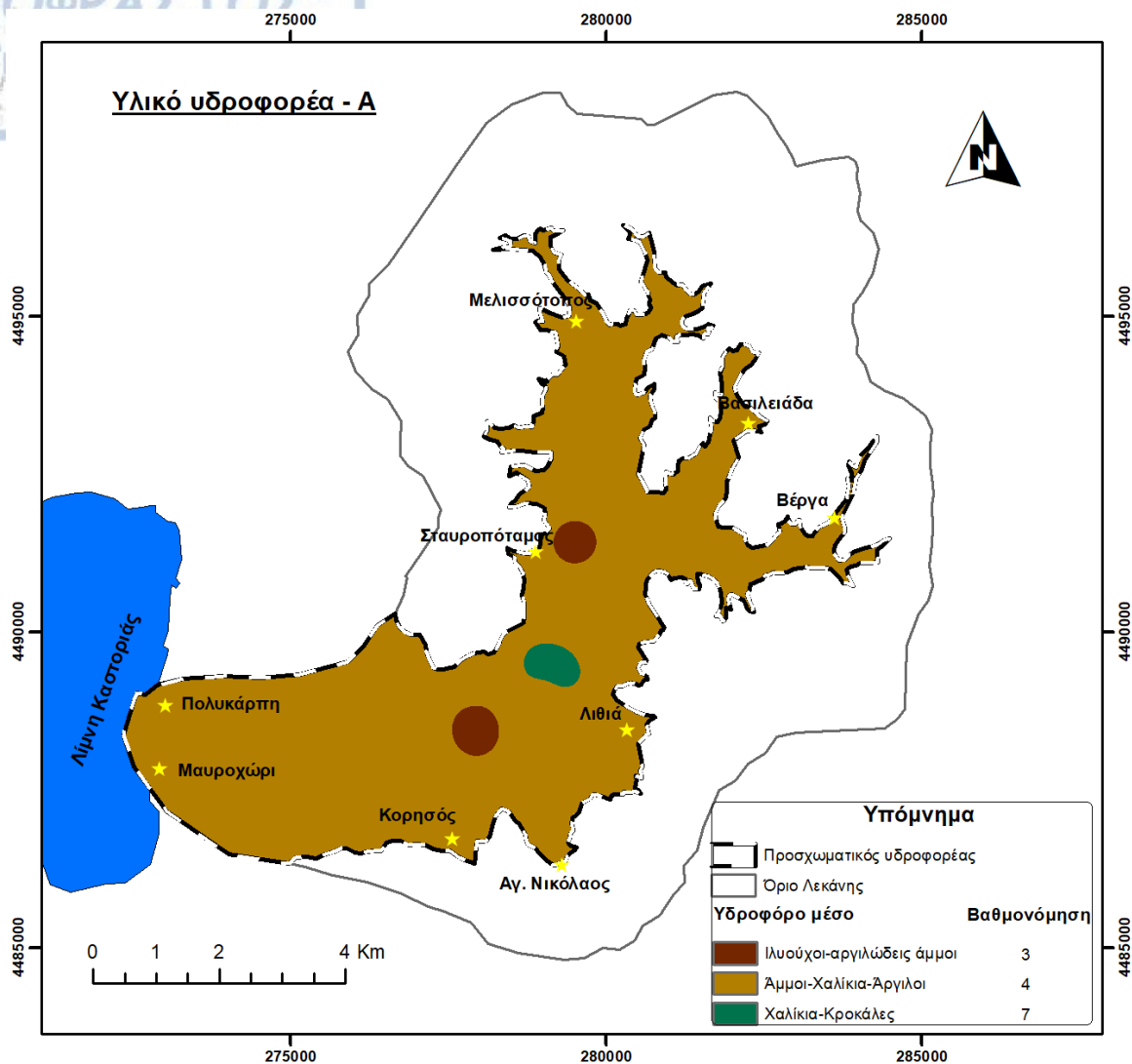
σχήμα 5.2)

Γεωτρήσεις	Βάθος υλικού (m)	Υ.Ο (m)	Βάθος υλικού υδροφορέα (m)	Συνολικό βάθος στήλης υδροφορέα (m)	Υλικό υδροφορέα (D _w)	Τιμή Βαθμονόμησης (D _r)
Γ4	45	4.30	40.7	140.7	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	4
	100		100		Άμμοι-Χαλίκια	
Γ5	30	3.93	26.1	128.1	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	4
	92		92		Άμμοι-χαλίκια	
	10		10		Μεταμορφωμένα	
Γ7	28	2.81	25.19	141.19	Ιλυούχοι-αργιλώδεις άμμοι	4
	104		104		Άμμοι-Χαλίκια	
	12		12		Μεταμορφωμένα	
Γ9	10	3.08	6.92	132.92	Αργίλος	4
	12		12		Άμμοι-Χαλίκια	
	8		8		Αργίλος	
	28		28		Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλος	
	4		4		Αργίλος	
	48		48		Κροκάλες-Χαλίκια	
	26		26		Μεταμορφωμένα	
Γ12	10	4.58	5.42	113.42	Αργίλος	4
	10		10		Άμμοι-Χαλίκια	
	2		2		Αργίλος	
	16		16		Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλος	
	2		2		Αργίλος	
	26		26		Άμμοι-Χαλίκια	
	4		4		Αργίλος	
	20		20		Άμμοι-Χαλίκια	
	28		28		Μεταμορφωμένα	
Γ13	20	10.44	9.56	139.56	Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλος	3
	8		8		Αργίλος	
	40		40		Άμμοι-Χαλίκια	
	82		82		Μεταμορφωμένα	
Γ16	36	11.91	24.09	128.09	Αργίλος	4
	88		88		Άμμοι-Χαλίκια	
	16		16		Μεταμορφωμένα	

Γ17	16	8.98	7.02	96.02	Ιλυούχοι-Αργιλώδεις άμμοι	7
	14		14		Άμμοι-Χαλίκια	
	68		68		Κροκάλες-Χαλίκια	
	7		7		Μεταμορφωμένα	
Γ19	16	3.74	12.26	106.26	Άργιλος	4
	8		8		Άμμοι-Χαλίκια-Αργιλος	
	8		8		Άργιλος	
	8		8		Άμμοι-Χαλίκια	
	12		12		Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	
	44		44		Άμμοι-Χαλίκια	
	6		6		Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	
	8		8		Άργιλος	
Γ18	50	13.15	36.85	142.85	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	4
	80		80		Άμμοι-Χαλίκια	
	26		26		Μεταμορφωμένα	
Σ3	50	3.55	46.45	120.45	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	3
	38		38		Άμμοι-Χαλίκια	
	36		36		Μεταμορφωμένα	
Σ1	40	4.11	35.89	128.89	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	4
	68		68		Άμμοι-Χαλίκια	
	25		25		Μεταμορφωμένα	
Σ2	54	5.18	48.82	148.82	Ιλυούχοι- αργιλώδεις άμμοι	4
	66		66		Άμμοι-Χαλίκια	
	34		34		Μεταμορφωμένα	

*Η τελική βαθμονόμηση προέκυψε με βάση τον παρακάτω υπολογισμό ((Βάθος υλικού x βαθμονόμηση υλικού υδροφορέα) / συνολικό βάθος στήλης υδροφορέα)

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου Α, ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4. Σύμφωνα με αυτόν, το υδροφόρο μέσο το οποίο επικρατεί στην περιοχή της λεκάνης Κορησού είναι οι Άμμοι-Χαλίκια-Άργιλοι (τιμή 4), ενώ σε μικρό ποσοστό εμφανίζονται οι ιλυώδεις-αργιλώδεις άμμοι καθώς και τα Χαλίκια-Κροκάλες.



Σχήμα 6.4: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης του υδροφόρου μέσου (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

6.2.4 Έδαφος – S

Το εδαφικό υλικό αναφέρεται στο ανώτερο μέρος του ακόρεστου στρώματος (φτάνει μέχρι 2 m), όπου υπάρχει εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου και αποδόμηση πολλών ουσιών. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους καθορίζουν τον ρυθμό διήθησης. Η διαπερατότητα εξαρτάται από την υφή του εδάφους. Σύμφωνα με τον Kumari (όπως αναφέρεται στο Ihem Abdeslam, Chemseddine Fehdi και Larbi Djabri, 2017), το έδαφος λειτουργεί ως δίοδος για την κατακόρυφη κίνηση του ρύπου προς τα κάτω για να φτάσει στον υπόγειο υδροφορέα και να επηρεάσει την τρωτότητά του. Η βαρύτητα (w) της παραμέτρου S , με βάση τον πίνακα 6.1 εκτιμήθηκε ίση με 2. Στην περιοχή έρευνας, λόγω μη ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων, η ταξινόμηση του εδαφικού

υλικού προήλθε από την μελέτη των δεκατριών (13) λιθολογικών τομών και παρουσιάζεται στον πίνακα 6.8 με την αντίστοιχη βαθμονόμηση.

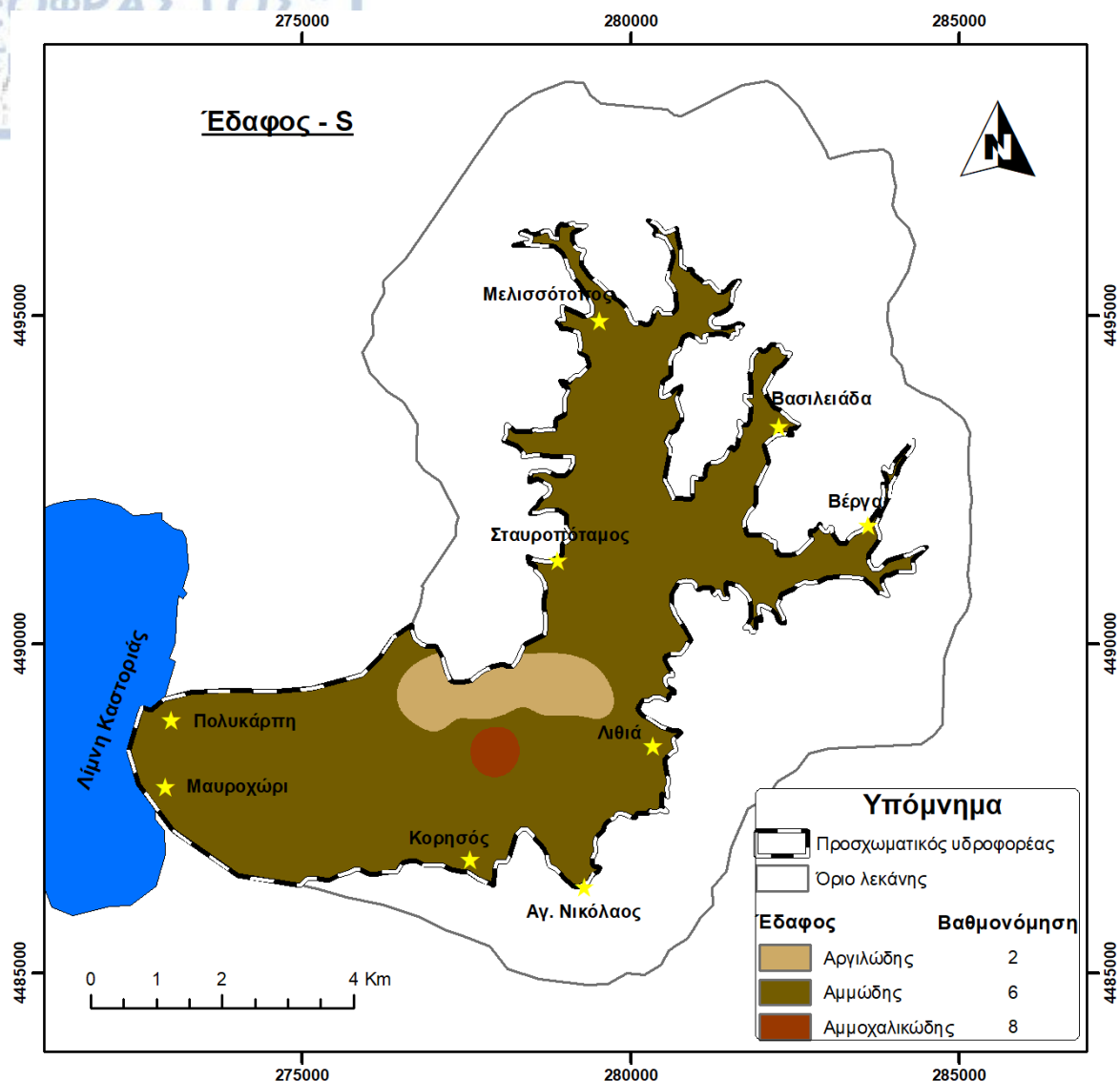
Πίνακας 6.8: Βαθμονόμηση της παραμέτρου S.

Έδαφος	Βαθμονόμηση
Αμμοχαλικώδης	8
Αμμώδης	6
Αργιλώδης	2

Πίνακας 6.9: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου S.

Γεωτρήσεις	Εδαφικό υλικό (S_w)	Βαθμονόμηση (S_r)
Γ4	Αμμώδης	6
Γ5	Αμμώδης	6
Γ7	Αμμώδης	6
Γ9	Αργιλώδης	2
Γ12	Αργιλώδης	2
Γ13	Αμμοχαλικώδης	8
Γ16	Αμμώδης	6
Γ17	Αργιλώδης	2
Γ18	Αμμώδης	6
Γ19	Αργιλώδης	2
Σ1	Αμμώδης	6
Σ2	Αμμώδης	6
Σ3	Αμμώδης	6

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου S, ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5. Σύμφωνα με αυτόν, το εδαφικό υλικό το οποίο επικρατεί στην περιοχή της λεκάνης Κορησού είναι Αμμώδης (τιμή 6), ενώ σε μικρό ποσοστό απέναντι του χωριού Λιθιά, το έδαφος χαρακτηρίζεται αργιλώδης. Τέλος, αμμοχαλικώδες εδαφικό υλικό παρατηρείται τοπικά μόνο στα Κεντρικά-Νότια της λεκάνης.



Σχήμα 6.5: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης του εδαφικού υλικού (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

6.2.5 Κλίση αναγλύφου - T

Το ανάγλυφο μπορεί να οριστεί ως μέτρο της κλίσης μιας περιοχής. Οι περιοχές με χαμηλές τιμές κλίσεων οδηγούν σε αποθήκευση του νερού, άρα απαιτείται περισσότερος χρόνος ώστε το νερό να κατεισδύσει σε σύγκριση με περιοχές υψηλών κλίσεων. Επομένως, σύμφωνα με τον Kumari (όπως αναφέρεται στο Ihem Abdeslam, Chemseddine Fehdi και Larbi Djabri, 2017) οι περιοχές με μικρές κλίσεις έχουν μεγαλύτερο δυναμικό ρύπανσης και είναι πιο τρωτές στην ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Το ανάγλυφο της περιοχής του προσχωματικού υδροφορέα είναι ήπιο (κλίσεις <5%) και ο καθορισμός του έγινε με βάση το ψηφιακό μοντέλο υποβάθρου (DEM). Η

βαρύτητα της παραμέτρου T , σύμφωνα με τον πίνακα 6.1 εκτιμήθηκε ίση με 1, ενώ η κλάσεις και η αντίστοιχη βαθμονόμηση των κλίσεων στη λεκάνη Κορησού παρουσιάζονται στον πίνακα 6.10.

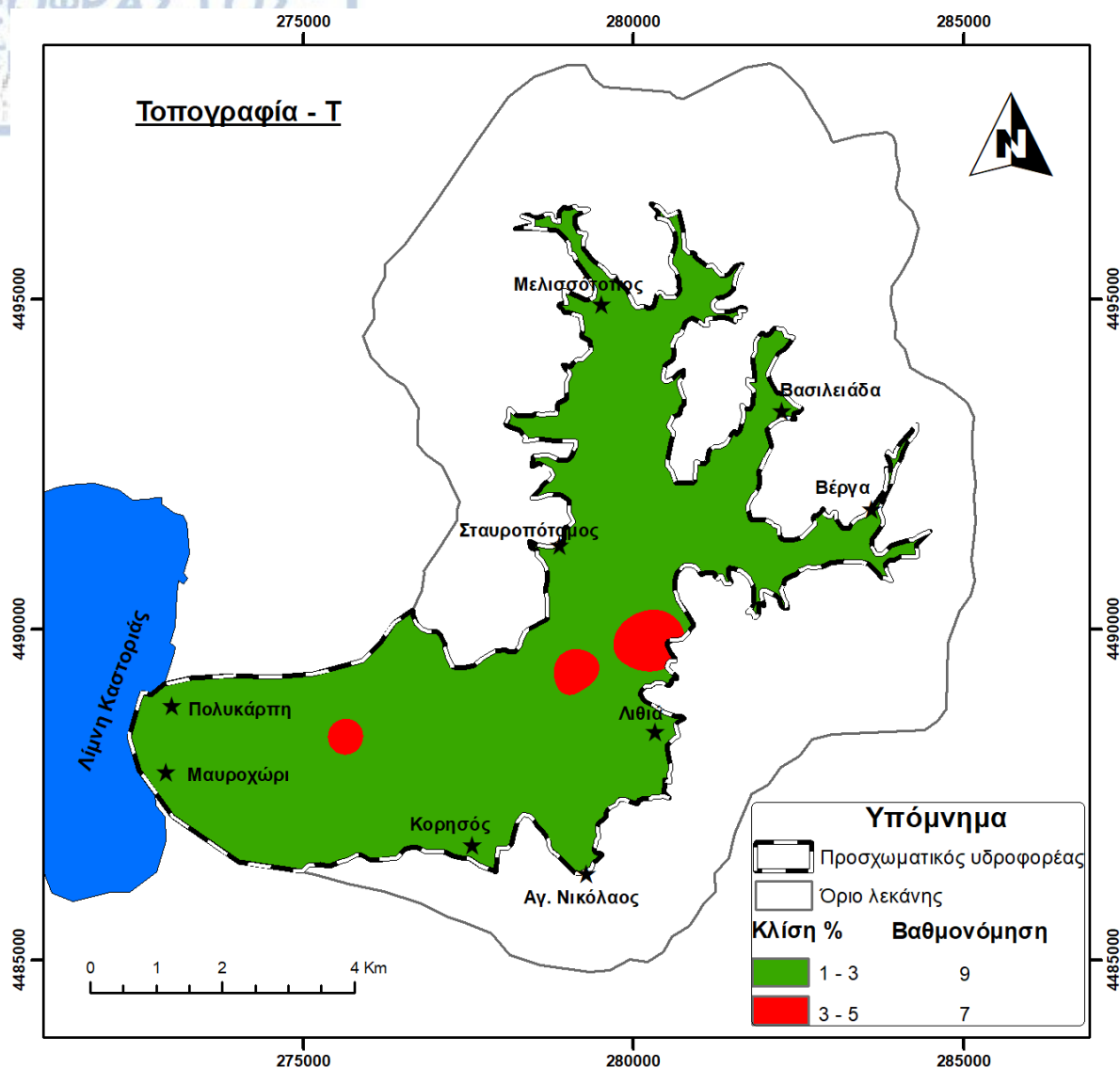
Πίνακας 6.10: Βαθμονόμηση της παραμέτρου T .

Κλίση αναγλύφου %	
Κλάσεις	Βαθμονόμηση
<1	10
1 - 3	9
3 - 5	7

Πίνακας 6.11: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου T .

Γεωτρήσεις	Κλίση σε % (T_w)	Βαθμονόμηση (T_r)
Γ4	3.1	7
Γ5	2.6	9
Γ7	2.8	9
Γ9	2.9	9
Γ12	1.6	9
Γ13	2.4	9
Γ16	1.8	9
Γ17	3.3	7
Γ18	3.6	7
Γ19	3.2	7
Σ1	2.9	9
Σ2	1.8	9
Σ3	2.3	9

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου T , ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.6. Σύμφωνα με αυτόν, εντονότερες κλίσεις συναντώνται τοπικά στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, ενώ κατά βάση η κλίσεις που επικρατούν στην λεκάνη κυμαίνονται μεταξύ 1-3%.



Σχήμα 6.6: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της κλίσης του αναγλύφου (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

6.2.6 Επίδραση της ακόρεστης ζώνης – I

Η ακόρεστη ζώνη, είναι η ζώνη πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και είναι ακόρεστη ή ελαφρώς κορεσμένη (Aller et al., 1987). Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατείδυση της βροχόπτωσης και στην επιφανειακή απορροή. Τα χαρακτηριστικά της, καθορίζουν την δίοδο και την συγκέντρωση του ρύπου και σχετίζονται με την εξασθένηση του, λόγω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ακόρεστη ζώνη. Στην περιοχή έρευνας με βάση τα στοιχεία των δεκατριών (13) λιθολογικών τομών αποτελείται από (πίνακας 6.12): Αργίλους (τιμή 2), Ιλυούχους-αργιλώδεις άμμους (τιμή 5) και από Άμμους-Χαλίκια-Αργίλους (τιμή 7). Όπως είναι λογικό

μεγαλύτερη βαθμονόμηση (τιμή) δόθηκε στα πιο αδρόκοκκα υλικά, λόγω της μεγαλύτερης περατότητας που παρουσιάζουν, ενώ τα πιο λεπτόκοκκα υλικά βαθμονομήθηκαν με μικρότερη τιμή. Η βαρύτητα της παραμέτρου σύμφωνα με τον πίνακα 6.1 εκτιμήθηκε ίση με 5.

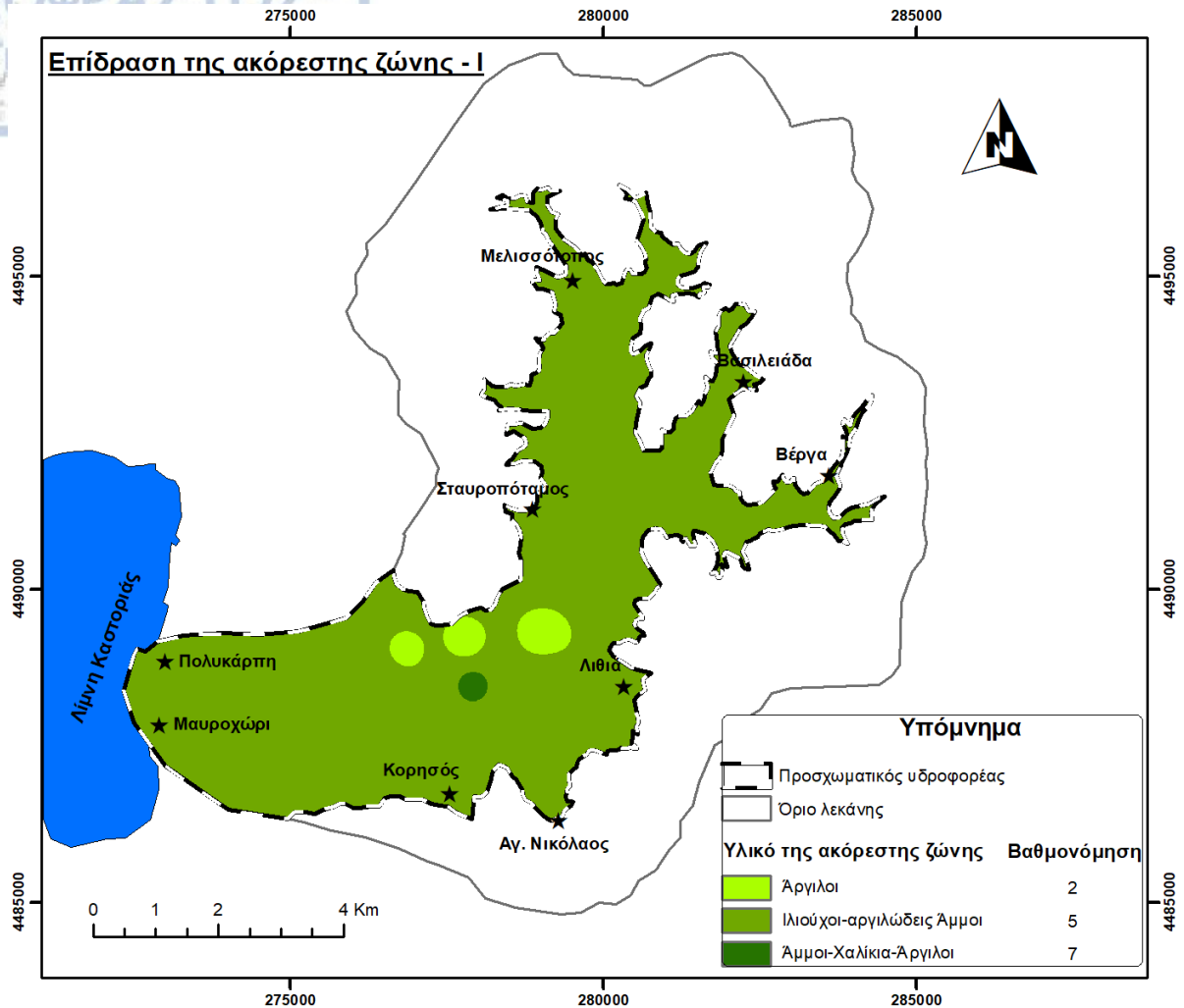
Πίνακας 6.12: Βαθμονόμηση της παραμέτρου I.

Υλικό της ακόρεστης ζώνης	Βαθμονόμηση
Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλοι	7
Ιλυούχοι-αργιλώδεις Άμμοι	5
Αργίλοι	2

Πίνακας 6.13: Δεδομένα υπολογισμού της παραμέτρου I.

Γεωτρήσεις	Υλικό ακόρεστης ζώνης (I_w)	Βαθμονόμηση (I_r)
Γ4	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Γ5	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Γ7	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Γ9	Αργίλοι	2
Γ12	Αργίλοι	2
Γ13	Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλοι	7
Γ16	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Γ17	Αργίλοι	2
Γ18	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Γ19	Αργίλοι	2
Σ1	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Σ2	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5
Σ3	Ιλιούχοι-αργιλώδεις άμμοι	5

Ο θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου I, ο οποίος κατασκευάστηκε με την μέθοδο IDW στο λογισμικό ArcMap, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.7. Σύμφωνα με αυτόν, η ακόρεστη ζώνη αποτελείται ως επι τον πλείστον από Ιλυούχους-αργιλώδεις Άμμους, ενώ στο Κεντρικό-Νότιο τμήμα αυτής εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό οι Αργίλοι και οι Άμμοι-Χαλίκια-Αργίλοι, κάτι το οποίο συνάδει και με το υλικό του εδάφους (βλ. παράγραφο 7.2.3).



Σχήμα 6.7: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης επίδρασης της ακόρεστης ζώνης (Ιούνιος 2007) στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Κορίνθου.

6.3 Αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη DRASTIC- Τελικός χάρτης τρωτότητας

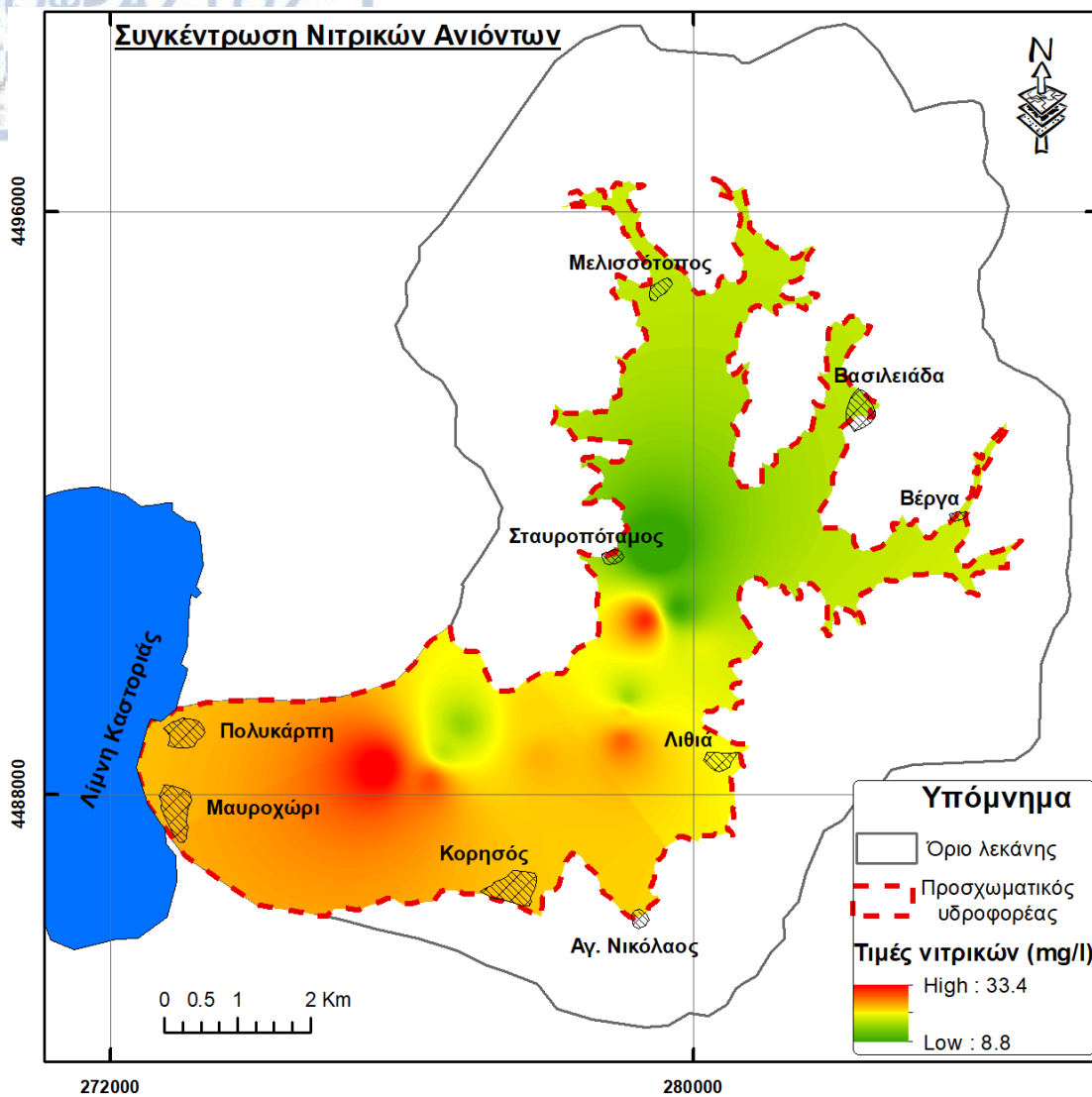
Ο τελικός χάρτης τρωτότητας, δημιουργήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την σχέση 6.1 του δείκτη DRASTIC, τις τιμές του πίνακα 6.1 που αφορούν την γενική βαρύτητα κάθε παραμέτρου και την χρήση του εργαλείου Raster calculator στο περιβάλλον ArcGis. Ωστόσο δεν λήφθηκε υπόψη η παράμετρος C της μεθόδου DRASTIC, όπως αναφέρθηκε. Οι τιμές του δείκτη τρωτότητας DRASTIC ποικίλουν στην περιοχή έρευνας, από 78 έως 131 και χωρίστηκαν σε τρεις (3) κλάσεις, σύμφωνα με τον πίνακα 6.14.

Πίνακας 6.14: Κατηγοριοποίηση της τρωτότητας για την μέθοδο DRASTIC.

Τιμή δείκτη DRASTIC	Τρωτότητα
78-100	Χαμηλή
100-120	Μεσαία
>120	Υψηλή

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον τελικό χάρτη τρωτότητας (σχήμα 6.8), ο προσχωματικός υδροφορέας της λεκάνης Κορησού χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό (85,2%) από μεσαία διακινδύνευση τρωτότητας, η οποία σχετίζεται με αρκετά ικανοποιητικό βάθος του υπόγειου νερού (>4.5 m) και της ακόρεστης ζώνης η οποία αποτελείται κυρίως από αργιλώδεις-ιλυούχους άμμους. Υψηλή τιμή τρωτότητας (11,1%) εμφανίζεται κατά βάση στο ΝΑ τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με χαμηλό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (<2 m), ενώ αντίστοιχα χαμηλή τιμή τρωτότητας (3,6%) εμφανίζεται διάσπαρτα και σχετίζεται κυρίως με το υλικό της ακόρεστης ζώνης το οποίο σε εκείνα τα σημεία είναι αργιλικό. Τέλος να σημειωθεί, ότι χαμηλό δυναμικό ρύπανσης, δηλ. χαμηλή τρωτότητα δεν σημαίνει ότι ο υδροφορέας δεν κινδυνεύει από ρύπανση, αλλά ότι είναι λιγότερο ευάλωτος σε σχέση με θέσεις υψηλού δυναμικού.

Ως μέθοδος επαλήθευσης της μεθόδου DRASTIC, συχνά χρησιμοποιούνται οι τιμές των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-). Υψηλές περιεκτικότητες σε νιτρικά ανιόντα οδηγούν στην νιτρορύπανση του υδροφορέα, με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, και οφείλεται κυρίως στην αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Στη λεκάνη Κορησού και συγκεκριμένα στον προσχωματικό υδροφορέα, οι τιμές κυμαίνονται από 8,8 mg/l έως 33,4 mg/l και η κατανομή τους παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 6.9. Σύμφωνα με τον χάρτη των νιτρικών, μπορεί να εξαχθεί ότι οι περιοχές με υψηλή τιμή τρωτότητας σχετίζονται επίσης και με υψηλές τιμές σε νιτρικά, κάτι το οποίο οδηγεί στην επαλήθευση της μεθόδου DRASTIC.



Σχήμα 6.9: Χάρτης συγκέντρωσης NO_3^- του προσχωματικού υδροφορέα της λεκάνης Κορησού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην λεκάνη Κορησού, από τα αποτελέσματα της γεωμορφολογικής, υδρολογικής, υδρογεωλογικής, υδροχημικής έρευνας και την εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου υδροφορέα στην εξωτερική ρύπανση με την μέθοδο DRASTIC, τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- ✚ Η ερευνώμενη λεκάνη, έχει έκταση 89.25 Km^2 και αποτελείται από την 'πεδινή' ζώνη έκτασης $24,6 \text{ km}^2$ και την ορεινή ζώνη έκτασης $64,65 \text{ km}^2$. Το ανάγλυφο της περιοχής έρευνας εμφανίζεται ημιορεινό, απότομο με μέτριες έως υψηλές κλίσεις. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 649 έως 1651 m, με μέση τιμή 984 m και μέση κλίση 28,6%.
- ✚ Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, είναι δενδριτικής μορφής, καλά ανεπτυγμένο με υψηλό συντελεστή διακλάδωσης 4,19, ενώ ο κύριος κλάδος του εκτιμήθηκε 5^{ης} τάξης σύμφωνα με την κατάταξη κατά Horton (1945). Η υδρογραφική πυκνότητα είναι ίση με 2,46, ενώ η συχνότητα διακλάδωσης ισούται με 4,61 τιμή σχετικά υψηλή.
- ✚ Οι χρήσεις γης στην λεκάνη Κορησού κατανέμονται ως εξής: 62,09% καταλαμβάνουν οι δασικές περιοχές, 36,35% οι γεωργικές περιοχές και μόλις 1,57% οι τεχνητές επιφάνειες. Ακόμη σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, δεν παρατηρείται καμία σημειακή πηγή ρύπανσης, ενώ αντίθετα όσο αφορά τις διάχυτες πηγές ρύπανσης στο επιφανειακό υδατικό σώμα του Ξηροποτάμου, παρατηρείται υψηλή ένταση πίεσης ρύπανσης, λόγω μη σταβλισμένης κτηνοτροφίας και συγκεκριμένα από υψηλές τιμές $\text{BOD} > 10 \text{ mg/l}$. Τέλος η περιοχή έρευνας ανήκει στην μεσαία κλίμακα συνολικής έντασης πίεσης (σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης).
- ✚ Γεωτεκτονικά, η περιοχή έρευνας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και γεωλογικά συνίσταται από τεταρτογενείς χερσαίες αποθέσεις, οι οποίες καλύπτουν το κεντρικό 'πεδινό' τμήμα της λεκάνης (27,6% της συνολικής έκτασης) και από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου που δομούν τον ορεινό όγκο (72,4% της συνολικής έκτασης). Υδρολιθολογικά, η λεκάνη χωρίζεται στους περατούς σχηματισμούς, στους οποίους ανήκουν τα Τεταρτογενή ιζήματα και στους αδιαπέρατους σχηματισμούς, στους οποίους ανήκουν τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου.

Τεκτονικά, επικρατεί έντονος τεκτονισμός και τα πετρώματα εμφανίζονται έντονα πτυχωμένα με την ανάπτυξη πολλών μικρών κανονικών ρηγμάτων.

- ✚ Κατά την διάρκεια της υγρή περιόδου (Οκτώβριος-Απρίλιος), η λεκάνη δέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων ($> 60\%$).
- ✚ Η βροχοβαθμίδα στην λεκάνη είναι $+29 \text{ mm}$ ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.
- ✚ Η μέση ετήσια θερμοκρασία στη λεκάνη ανέρχεται σε $11,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και η θερμοβαθμίδα είναι $-0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά 100 m .
- ✚ Η μέση ετήσια βροχόπτωση, ανέρχεται στα 663 mm (περίοδος 2004-2007), τα οποία αντιστοιχούν σε $59,14 \times 10^6 \text{ m}^3$ όγκου νερού.
- ✚ Ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Thornthwaite & Mather, 1955) είναι ίσος με $67,5\%$ του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.
- ✚ Η ολική απορροή ανέρχεται στα $16,73 \times 10^6 \text{ m}^3$, από τα οποία τα $9,42 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($15,7\%$) απορρέουν επιφανειακά, ενώ τα $7,31 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($12,2\%$) κατεισδύουν.
- ✚ Στους τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης αναπτύσσεται προσχωματικός υδροφορέας, με υψηλή υδροφορία και με αξιόλογο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.
- ✚ Η κατεύθυνση κίνησης των υπόγειων υδάτων είναι από B-BA προς N-ΝΔ. Το υδραυλικό φορτίο εμφανίζει υψηλότερες τιμές ($+715 \text{ m}$) στην περιοχή Μελισσότοπος και τις χαμηλότερες τιμές ($+615 \text{ m}$) στην έξοδο της λεκάνης.
- ✚ Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, σύμφωνα με δοκιμαστικές αντλήσεις έχουν ως εξής: ο συντελεστής αποθηκευτικότητας (S) κυμαίνεται από $1,9 \times 10^{-4}$ έως 1×10^{-2} , η μέση τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας (k) είναι της τάξης του 10^{-5} m/sec και η μεταβιβαστικότητα (T) κυμαίνεται μεταξύ $1,4 \times 10^{-3}$ - $1,1 \times 10^{-2}$.
- ✚ Η παροχή των γεωτρήσεων του υδροφορέα κυμαίνεται μεταξύ 50 και $150 \text{ m}^3/\text{h}$.
- ✚ Σε γενικές γραμμές το υπόγειο νερό εμφανίζεται μέτρια σκληρό και είναι καλής ποιότητας, κατάλληλο για άρδευση και ύδρευση.
- ✚ Ο υδροχημικός τύπος του υπόγειου νερού είναι ασβεστούχος οξυανθρακικός (CaCO_3).

✚ Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει αύξηση στην κατάντη περιοχή, λόγω εμπλουτισμού του υπόγειου νερού με άλατα κατά τη διάρκεια της κίνησής του.

✚ Οι τιμές των νιτρικών ανιόντων (NO_3^-), κυμαίνονται από 8,8 έως 33,4 mg/l και υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση με τις τιμές τρωτότητας του δείκτη DRASTIC.

✚ Σύμφωνα με τον τελικό χάρτη τρωτότητας, η λεκάνη παρουσιάζει ως επί το πλείστον μεσαίο δυναμικό στην ρύπανση (~84%). Υψηλό δυναμικό στην ρύπανση εμφανίζεται σε μικρό ποσοστό (~11%), στο ΝΑ τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το χαμηλό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, ενώ αντίστοιχα χαμηλό δυναμικό ρύπανσης εμφανίζεται σε χαμηλότερο ποσοστό (~4%) στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το υλικό της ακόρεστης ζώνης το οποίο σε εκείνα τα σημεία εμφανίζεται αργιλικό.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί τη βάση για περαιτέρω διερεύνηση με σκοπό την προστασία του υπόγειου νερού. Επομένως προτείνεται:

- Η εφαρμογή του κώδικα ορθής γεωργικής χρήσης (αποφυγή αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων και συνεχής ενημέρωση των αγροτών).
- Βελτίωση και επικαιροποίηση του χάρτη τρωτότητας με καινούργια στοιχεία, γιατί στην παρούσα εργασία τα δεδομένα ήταν περιορισμένα.
- Ο εντοπισμός των ζωνών 'ανησυχίας' και ο βέλτιστος χωροταξικός σχεδιασμός με την βοήθεια του τελικού χάρτη τρωτότητας.
- Χάραξη των ζωνών προστασίας των υδροληπτικών έργων με την βοήθεια του τελικού χάρτη τρωτότητας.
- Μελέτη τυχόν διαφυγών στραγγισμάτων από Χ.Υ.Τ.Α ή Χ.Α.Δ.Α της ευρύτερης περιοχής έρευνας και άμεση λήψη μέτρων για την αποφυγή της διάθεσης των ανεπεξέργαστων λυμάτων στους ποταμοχειμάρρους των ευρύτερων λεκανών απορροής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετάει την υδρολογική λεκάνη της Καστοριάς, και συγκεκριμένα την υπολεκάνη Κορησού, η οποία βρίσκεται στην Δυτική Ελλάδα, στον νομό Καστοριάς, στον δήμο των Αγίων Αναργύρων. Η ερευνώμενη λεκάνη, αποστραγγίζεται από τον χείμαρρο Ξηροπόταμο, ενώ η έκταση της ανέρχεται στα 89,25 Km². Μορφολογικά η λεκάνη αποτελείται από την 'πεδινή' ζώνη έκτασης 24,6 km² και την ορεινή ζώνη έκτασης 64,65 km². Το ανάγλυφο της περιοχής έρευνας εμφανίζεται ημιορεινό, απότομο με μέτριες έως υψηλές κλίσεις. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 649 έως 1651 m, με μέση τιμή 984 m και μέση κλίση 28,6%. Αναφορικά με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, είναι δενδριτικής μορφής, καλά ανεπτυγμένο με υψηλό συντελεστή διακλάδωσης, ενώ ο κύριος κλάδος του εκτιμήθηκε 5^{ης} τάξης σύμφωνα με την κατάταξη κατά Horton (1945).

Γεωτεκτονικά, η περιοχή έρευνας εντάσσεται στην Πελαγονική ζώνη και συνίσταται από τεταρτογενείς χερσαίες αποθέσεις, οι οποίες καλύπτουν το κεντρικό 'πεδινό' τμήμα της λεκάνης (27,6% της συνολικής έκτασης) και από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου, που δομούν τον ορεινό όγκο (72,4% της συνολικής έκτασης).

Το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον εστιάζεται στον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης, ο οποίος αναπτύσσεται στα τεταρτογενή ιζήματα και θεωρείται ενιαίος. Η τροφοδοσία του υδροφορέα πραγματοποιείται κυρίως μέσω της απευθείας κατείσδυσης του νερού της βροχόπτωσης, από την διήθηση από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου, και μέσω των επιστροφών του νερού από αρδεύσεις.

Τέλος, κύριος στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η εκτίμηση της ιδιοτρωτότητας του υπόγειου προσχωματικού υδροφορέα της υπολεκάνης Κορησού με την μέθοδο DRASTIC. Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα, η λεκάνη παρουσιάζει ως επί το πλείστον μεσαίο δυναμικό στην ρύπανση, δηλ. μεσαία τρωτότητα. Υψηλό δυναμικό στην ρύπανση εμφανίζεται κατά βάση σε μικρό ποσοστό, στο ΝΑ τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το χαμηλό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, ενώ αντίστοιχα χαμηλό δυναμικό ρύπανσης εμφανίζεται σε εξίσου πολύ χαμηλό ποσοστό στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το υλικό της ακόρεστης ζώνης το οποίο σε εκείνα τα σημεία εμφανίζεται αργιλικό. Τέλος όσο αφορά τις τιμές των νιτρικών (NO₃⁻), αυτές κυμαίνονται από 8,8 έως 33,4 mg/l και υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση με τις τιμές τρωτότητας του δείκτη DRASTIC.

ABSTRACT

The present postgraduate thesis, studies the river basin of Kastoria, and specifically the river sub-basin of Korisos, which is located in Western Greece, in the prefecture of Kastoria, in the municipality of Agioi Anargyroi. The investigated sub-basin, drained from Xiropotamos torrent, while it's area amounts to 89.25 Km². Morphologically, the sub-basin consists of the lowland area (24,6 Km²) and the mountainous area (64,65 km²). The topography of the study area, appears semi-mountainous, steep with moderate to high slopes. The altitude ranges from 649 to 1651 m, with an average value of 984 m and an average slope of 28.6%. Regarding the drainage network of the area, it is dendritic, well developed with a high bifurcation ratio, while it's main tributary is rated as fifth class according to the Horton classification (1945).

Geotectonically, the study area is part of the Pelagonian zone and consists of quaternary terrestrial deposits, which cover the central lowland part of the basin (27.6% of the total area) and crystalline and metamorphic rocks from the bedrock, which form the mountainous area (72,4% of the total area).

The hydrogeological interest, regards the catchment's alluvial aquifer, which is developed in quaternary sediments and is considered to be unique. Groundwater recharge in the alluvial aquifer occurs from direct infiltration of rainfall, infiltration through torrent beds and return flow of irrigated water.

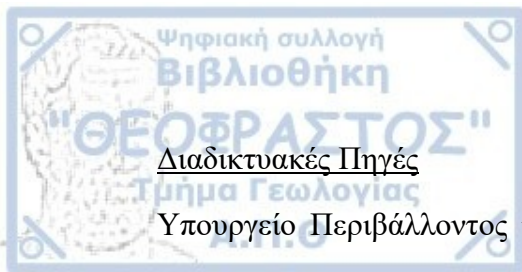
Finally, the main goal of the thesis is to assess the intrinsic vulnerability of the underground alluvial aquifer of the Korisos sub-basin using the DRASTIC method. In accordance to the final conclusions the basin presents for the most part a medium potential of pollution, i.e a moderate vulnerability. High pollution potential, occurs mainly in a small percentage, in the SE part of the aquifer and is mainly related to the low depth of the groundwater level, while correspondingly low pollution potential occurs in a very low percentage in the central part of the aquifer and is mainly related to material of the unsaturated zone, which in those places appears clayey. Finally, regarding the values of nitrates (NO₃⁻), they vary from 8.8 to 33.4 mg/l and there is a satisfactory correlation with the vulnerability values of the DRASTIC index.

- Βαφειάδης, Π., 1983. Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς. *Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
- Βουδούρης, Κ., 2013. Τεχνική Υδρογεωλογία – Υπόγεια νερά. *Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.*
- Βουδούρης, Κ., 2016. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος - Υπόγεια νερά & Περιβάλλον. *Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.*
- Γιαννέλη, Χ., 2009. Υδρογεωλογική έρευνα λεκανών του Ελληνικού χώρου. Παράδειγμα από τη λεκάνη Αγίων Αναργύρων (Καστοριά). *Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*
- Μουντράκης, Δ. Μ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. *Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.*

Αγγλική Βιβλιογραφία

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US Environ. Protection Agency EPA/600/2-85-018.
- Al-Adamat, R.A.N., Foster, , I.D.L., Baban, S.M.J., 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23 (4), 303-324. doi: [10.1016/j.apgeog.2003.08.007](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2003.08.007)
- Al-Zabet, T. 2002. Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method. *Environmental Geology* 43, 203-208. doi: [10.1007/s00254-002-0645-5](https://doi.org/10.1007/s00254-002-0645-5)

- Bhuvaneswaran, C., Ganesh, A., 2019. Spatial assessment of groundwater vulnerability using DRASTIC model with GIS in Uppar odai sub-watershed, Nandiyar, Cauvery Basin, Tamil Nadu. Groundwater for Sustainable Development, Vol. 9. doi: [10.1016/j.gsd.2019.100270](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100270)
- Foster, S.S.D., Hirata, R., 1988. Groundwater pollution risk assessment: A methodology using available data. Pan Ame. Cent. for Sanit. Engin. and Envir. Scien. (CEPIS) Lima, pp. 81.
- Gianneli, C., Voudouris, K., Soulios, G., 2011. Water resources in Korisos basin, NW Greece: interactions between surface and ground water. International Journal of Water, Vol. 6, Nos. 1/2.
- Ilhem Abdeslam, Chemseddine Fehdi, Larbi Djabri, 2017. Application of drastic method for determining the vulnerability of an alluvial aquifer: Morsott - El Aouinet north east of Algeria: using arcgis environment. Energy Procedia 119, 308-317. doi: [10.1016/j.egypro.2017.07.114](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.114)
- Mountrakis, D., 1986. The Pelagonian Zone in Greece: A Polyphase-Deformed Fragment of the Cimmerian Continent and Its Role in the Geotectonic Evolution of the Eastern Mediterranean. The Journal of Geology, 94(3), 335–347. doi: [10.1086/629033](https://doi.org/10.1086/629033)
- Yang, Y. S., Wang, L., 2010. Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study. Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 55:7, 1206-1216, doi: [10.1080/02626667.2010.508872](https://doi.org/10.1080/02626667.2010.508872)



Διαδικτυακές Πηγές

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης ΥΔ09-Δυτικής Μακεδονίας, 2014),

<http://wfdver.ypeka.gr/el/management-plans-gr/approved-management-plans-gr/gr09-approved-gr/>

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (ΕΣΥΕ),

<https://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>

Köppen climate classification, 1936,

https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική_ταξινόμηση_Κέππεν

Εισαγωγή στην Τρωτότητα των υπόγειων υδατικών συστημάτων, χ.χ.,

<file:///C:/Users/stavr/Downloads/01-Εισαγωγικό%20Μάθημα.pdf>