



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

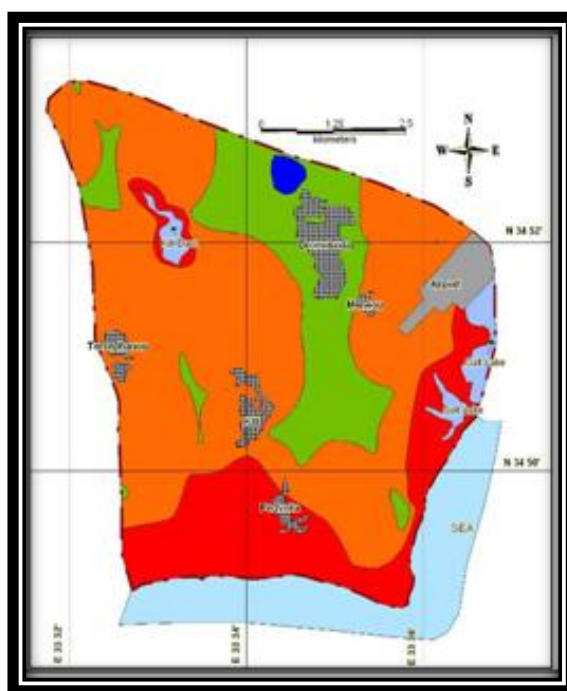
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΙΤΙΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS»**



ΖΗΝΩΝΟΣ ΕΥΡΙΔΙΚΗ Α.Ε.Μ. 4377
ΖΟΥΒΑΝΗ ΕΥΗ Α.Ε.Μ. 3942

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κωνσταντίνος Βουδούρης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΙΤΙΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS»**

ΖΗΝΩΝΟΣ ΕΥΡΙΔΙΚΗ Α.Ε.Μ. 4377
ΖΟΥΒΑΝΗ ΕΥΗ Α.Ε.Μ. 3942

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Κωνσταντίνος Βουδούρης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΜΕΘΟΔΟΣ DRASTIC	5
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	9
3.1. Μορφολογία – Θέση	9
3.2. Κλιματικά Δεδομένα	11
3.2.1. Θερμοκρασία	11
3.2.2. Βροχοπτώσεις	12
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	15
4.1. Σχηματισμός Τροόδους	15
4.2. Σχηματισμός Λευκάρων	17
4.3. Σχηματισμός Πάχνας	19
4.4. Νεώτερες Αποθέσεις	20
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	26
5.1. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων	26
5.2. Υδροφόροι της Κύπρου	27
5.3. Υδροφορέας Κιτίου	28
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΙΤΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC	31
6.1. Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (D)	32
6.2. Εμπλουτισμός (R)	34
6.3. Υλικό υδροφορέα (A)	36
6.4. Έδαφος (S)	37
6.5. Κλίση αναγλύφου (T)	38
6.6. Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)	39
6.7. Υδραυλική αγωγιμότητα (C)	41
6.8. Αποτελέσματα	42
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης στον κλάδο Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Ο τίτλος της εργασίας είναι **«Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα Κιτίου με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS.»**

Στην παρούσα εργασία γίνεται εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών, του υδροφορέα του Κιτίου που βρίσκεται ΝΑ της Κύπρου, στην επαρχία Λάρνακας. Για την εκτίμηση της τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση, χρησιμοποιήθηκε η διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδος DRASTIC σε περιβάλλον GIS. Η μέθοδος αυτή εκτιμά την τρωτότητα του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση χρησιμοποιώντας υδρογεωλογικές, υδραυλικές και εδαφολογικές παραμέτρους. Με το συνδυασμός του χάρτη τρωτότητας που προκύπτει από τη μέθοδο, με της χρήσεις γης της περιοχής μπορεί να υπολογιστεί η διακινδύνευση στην εξωτερική ρύπανση του υδροφορέα από εξωτερικά ρυπαντικά φορτία.

Με βάση τις τιμές της μεθόδου DRASTIC, κατασκευάστηκε ο χάρτης της τρωτότητας όπου διακρίνονται περιοχές πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας του υδροφορέα του Κιτίου. Ο χάρτης τρωτότητας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τη χάραξη των ζωνών προστασίας, το σχεδιασμό χρήσεων γης και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Τον καθηγητή μας κύριο Κώστα Βουδούρη αισθανόμαστε υποχρέωση να ευχαριστήσουμε θερμά για το θέμα που μας ανέθεσε και για το ενδιαφέρον που έδειξε στη διάρκεια της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζουμε και στον κύριο Νεραντζή Καζάκη για την καθοδήγηση και την σημαντική του βοήθεια καθώς επίσης και για την προθυμία του να συνδράμει στην διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας που με την υπομονή τους, στάθηκαν δίπλα μας και μας στήριξαν σε κάθε μας βήμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις περισσότερες μεσογειακές χώρες, μεγάλο μέρος των υδάτινων αναγκών, καλύπτεται από το υπόγειο νερό. Η ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα τόσο στον κοινωνικό, όσο και στον οικονομικό τομέα μιας περιοχής. Γι' αυτό το λόγο η πρόσληψη αποτελεί το σημαντικότερο μέτρο για την προστασία της ποιότητας του υπόγειου νερού. Με βάση τα πιο πάνω, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων γίνονται εκτενείς μελέτες στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου καθώς με τον έλεγχο της τρωτότητας μπορούμε να καθορίσουμε τις περιοχές όπου τα υπόγεια νερά επηρεάζονται αρνητικά από την εξωτερική ρύπανση, σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Μια από τις ιδιότητες του φυσικού περιβάλλοντος είναι ότι μπορεί να προστατεύσει μέχρι ορισμένου βαθμού το νερό που βρίσκεται στους υπόγειους υδροφορείς. Το πόσο εύκολα ή δύσκολα ένας ρύπος που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να φτάσει στον υπόγειο υδροφόρα μιας περιοχής, σχετίζεται με την έννοια της τρωτότητας. Αυτό καθορίζεται με διάφορες πρακτικής διαχείρισης των χρήσεων γης από τα χαρακτηριστικά του ρύπου και από την ευαισθησία του υδροφορέα.

Έτσι η τρωτότητα του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφορέα, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή. Για την εκτίμηση της τρωτότητας έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι π.χ. βαθμονόμησης, προσομοίωσης και στατιστικές.

Οι κυριότερες τεχνικές και μέθοδοι βαθμονόμησης είναι οι εξής: DRASTIC, GOD, SEEPAGE, AVI, SINTACS, ISIS, DASTI. Οι πιο πάνω μέθοδοι χρησιμοποιούν ένα αριθμό παραμέτρων που κυμαίνεται από 2 (AVI) έως 7 (DRASTIC, SINTACS). Οι μέθοδοι προσομοίωσης επιλύουν αριθμητικά τις εξισώσεις κίνησης του υπόγειου νερού. Οι στατιστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν απλή περιγραφική στατιστική των συγκεντρώσεων διαφόρων επιλεγμένων ρυπαντών καθώς και ανάλυση συσχέτισης. Επίσης μπορεί να εφαρμοσθεί σύνθετη ανάλυση συσχέτισης, που ενσωματώνει τα αποτελέσματα μερικών παραμέτρων και προβλέπει τις πιθανότητες εμφάνισης της ρύπανσης.

Στην εργασία αυτή για την εκτίμηση της τρωτότητας στον υδροφορέα του Κιτίου, εφαρμόστηκε η διεθνώς γνωστή μέθοδος DRASTIC σε περιβάλλον GIS αφού πρώτα καθορίστηκαν τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του.

Για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι πιο κάτω εργασίες:

- 1) Συλλογή εργασιών με κύριο γνωστικό αντικείμενο την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην ρύπανση και συλλογή προγενέστερων μελετών και εργασιών που αφορούσαν τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του φράγματος του Κιτίου.
- 2) Συλλογή λιθολογικών τομών από προϋπάρχοντες γεωτρήσεις, υδρολογικών δεδομένων, μετεωρολογικών δεδομένων, γεωλογικών και τοπογραφικών χαρτών καθώς και χάρτες κατανομής εδαφών της ευρύτερης περιοχής έρευνας.
- 3) Συλλογή δορυφορικών εικόνων, ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου και αεροφωτογραφιών της περιοχής.
- 4) Παραγωγή των θεματικών χαρτών και του τελικού χάρτη τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση.

Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στοιχεία που λήφθηκαν από το τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου και την ερευνητική εργασία των Voudouris et al. (2009).

2. ΜΕΘΟΔΟΣ DRASTIC

Η μεθοδολογία DRASTIC (Aller et al., 1987) ανήκει στις μεθόδους δεικτών και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση τρωτότητας των υπόγειων νερών με βάση υδρογεωλογικές παραμέτρους. Το μοντέλο DRASTIC θεωρεί ότι:

- 1) κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους,
- 2) ο ρύπος εισάγεται στο υπόγειο νερό από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης
- 3) ο ρύπος έχει την ταχύτητα του νερού.

Η λέξη DRASTIC προκύπτει από τα ακρωνύμια των : D (Depth) βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, R (Recharge) ενεργή κατείσδυση, A (Aquifer) υδροφορέας, S (Soil) έδαφος, T (Topography) κλίση αναγλύφου, I (Impact of the vadose zone) επίδραση της ακόρεστης ζώνης, C (Hydraulic Conductivity of the aquifer) συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας.

Ο δείκτης DRASTIC (DI) υπολογίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw \quad (1)$$

όπου: ο δείκτης r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και

ο δείκτης w τη βαρύτητα της καθεμίας.

Για την κάθε παράμετρο υπάρχουν δύο τιμές βαρύτητας. Η πρώτη είναι για την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση οικιακών και βιομηχανικών ρύπων (γενική, typical DRASTIC) και η δεύτερη είναι για τη χρήση φυτοφαρμάκων σε αρδευόμενες περιοχές (ειδική, pesticide DRASTIC). Η βαρύτητα κάθε παραμέτρου φαίνεται στον Πίνακα 1 από όπου προκύπτει ότι οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη βαρύτητα (5) είναι το βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού, η επίδραση της ακόρεστης ζώνης και το έδαφος (στην ειδική περίπτωση των φυτοφαρμάκων), αφού είναι οι πλέον σημαντικοί λόγοι.

Οι τιμές των παραμέτρων κυμαίνονται από 1 (ελάχιστο δυναμικό ρύπανσης) έως 10 (μέγιστο δυναμικό ρύπανσης).

Πίνακας 1: Βαρύτητα κάθε παραμέτρου στη μεθοδολογία DRASTIC.

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

Με βάση τις τιμές του δείκτη τρωτότητας DI δημιουργούνται οι χάρτες τρωτότητας σε περιβάλλον GIS, που προσφέρουν ευκολία αποθήκευσης και ανάλυσης των δεδομένων σε διάφορες μορφές και κλίμακες. Αυτή η τεχνική των GIS απαιτεί όλες οι παράμετροι να γεω-αναφερθούν, ψηφιοποιηθούν και εισαχθούν σε μια βάση δεδομένων. Από τη βάση αυτή είναι δυνατό να ψηφιοποιηθούν τα δεδομένα σε θεματικά επίπεδα με κοινό σύστημα συντεταγμένων και να παραχθούν οι θεματικοί χάρτες και ο τελικός χάρτης τρωτότητας.

Η μέθοδος DRASTIC (Aller et al., 1987) δεν εισάγει κατηγοριοποίηση με βάση τις τιμές του δείκτη τρωτότητας (DI), αλλά επιτρέπει στον χρήστη να το κάνει με βάση την εμπειρία πεδίου και τις υδρογεωλογικές συνθήκες. Η τρωτότητα χωρίζεται σε πέντε κλάσεις : Πολύ υψηλή τρωτότητα (>199), Υψηλή (160-199), Μέση (120-159), Χαμηλή (80-119), Πολύ χαμηλή (<79) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση της τρωτότητας για την τυπική μέθοδο DRASTIC.

Τιμή δείκτη DRASTIC	Χρώμα	Τρωτότητα
<79	Μωβ	Πολύ χαμηλή
80-99	Γαλάζιο	Χαμηλή
100-119	Μπλε	
120-139	Σκούρο πράσινο	Ενδιάμεση
140-159	Ανοιχτό πράσινο	
160-179	Κίτρινο	Υψηλή
180-199	Πορτοκαλί	
>200	Κόκκινο	Πολύ υψηλή

Η τεχνική DRASTIC είναι ευέλικτη και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την τροποποιήσει προσθέτοντας παραμέτρους ή αλλάζοντας τις τιμές βαρύτητας (Adamat et al., 2003).

Ο Aller et al. (1987) τόνισαν τα παρακάτω σημεία που αφορούν την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC και τα οποία κάθε μελετητής πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της μεθόδου DRASTIC είναι το χαμηλό κόστος για την εφαρμογή της. Συνεπώς η διεξαγωγή αυτής της μεθόδου συμφέρει ιδιαίτερα σε περιοχές οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση.
- Σε κάθε μέθοδο βαθμονόμησης, συμπεριλαμβανομένης και της μεθόδου DRASTIC, είναι πολύ πιθανή η διεξαγωγή σφαλμάτων τα οποία κατά συνέπεια επηρεάζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Σφάλματα της συγκεκριμένης μεθόδου μπορεί να εμφανιστούν και σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, η χρήση της μεθόδου για τον υπολογισμό της τρωτότητας του υπόγειου νερού στην ρύπανση, η οποία προκαλείται από την άμεση έγχυση ρυπασμένου νερού δια μέσου μιας γεώτρησης, δεν είναι αποδεκτή. Με την άμεση εισαγωγή ενός ρυπαντή στον υδροφόρο, αναιρούνται αυτόματα όλοι εκείνοι οι φυσικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη από τη μέθοδο DRASTIC.
- Για να διεξάγει σωστότερα συμπεράσματα ένας υδρογεωλόγος θα πρέπει να υπολογίσει τόσο τις ιδιαίτερες παραμέτρους που ανταποκρίνονται στο φυσικό σύστημα του υδροφορέα, όσο και τις συνθήκες που επικρατούν στην εν λόγω περιοχή π.χ. ανθρώπινες παρεμβάσεις, λατομικές δραστηριότητες κ.α
- Η μεθοδολογία που ακολουθείται δεν έχει σκοπό, ούτε σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει την έρευνα πεδίου.
- Παρότι η μέθοδος DRASTIC δίνει ένα μέτρο σχετικής τρωτότητας ενός υδροφορέα, δεν πρέπει να είναι το μοναδικό κριτήριο σύμφωνα με το οποίο ένας μελετητής θα εκτιμήσει την τρωτότητα στον εκάστοτε υδροφόρο.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προληπτικούς σκοπούς, για την κατηγοριοποίηση περιοχών, όπου η προστασία και η διασφάλιση των υπόγειων νερών είναι μείζονος σημασίας. Η μέθοδος επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό περιοχών στις οποίες απαιτούνται άμεσα προστατευτικά μέτρα. Όταν συνδυαστεί και με άλλους παράγοντες όπως π.χ. τις εφαρμοζόμενες μεθόδους καλλιέργειας σε μια περιοχή, μπορεί να διαχωρίσει τις περιοχές όπου η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και η αύξηση συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων αποτελούν άμεση απειλή για το υπόγειο νερό.

- Η μέθοδος DRASTIC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση περιοχών στις οποίες υπάρχουν ελλιπή δεδομένα, οπότε επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα της εκτίμησης της τρωτότητας. Για παράδειγμα, η προσπάθεια αιτιολόγησης των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου και οι κατά θέσεις πιθανή αδυναμία ασφαλούς αιτιολόγησης, μπορεί να οδηγήσει τον ερευνητή στον προσδιορισμό περιοχών, στις οποίες οφείλουν να γίνουν περισσότερες έρευνες για την αποσαφήνιση των επικρατούντων υδρογεωλογικών και γεωλογικών συνθηκών. Με αυτό τον τρόπο θα δημιουργηθεί μια πλησιέστερη βάση δεδομένων, η οποία ακολούθως θα οδηγήσει στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1.Μορφολογία - Θέση

Η περιοχή έρευνας αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμοχειμάρρου Τρέμιθου και βρίσκεται ΝΑ της Κύπρου, στην επαρχία της Λάρνακας. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσεται ο υδροφορέας Κιτίου.

Το έδαφος είναι πεδινό και από το επίπεδο της θάλασσας καταλήγει σε μία λοφώδη περιοχή ύψους 50 m στα ΒΔ. Χαρακτηριστικά μορφολογικά στοιχεία της περιοχής είναι η αλμυρή λίμνη στα ανατολικά, ο Τρέμιθος ποταμός, το φράγμα του Κιτίου στα βορειοδυτικά και η λοφώδης περιοχή δυτικά του χωριού Τερσεφάνου.

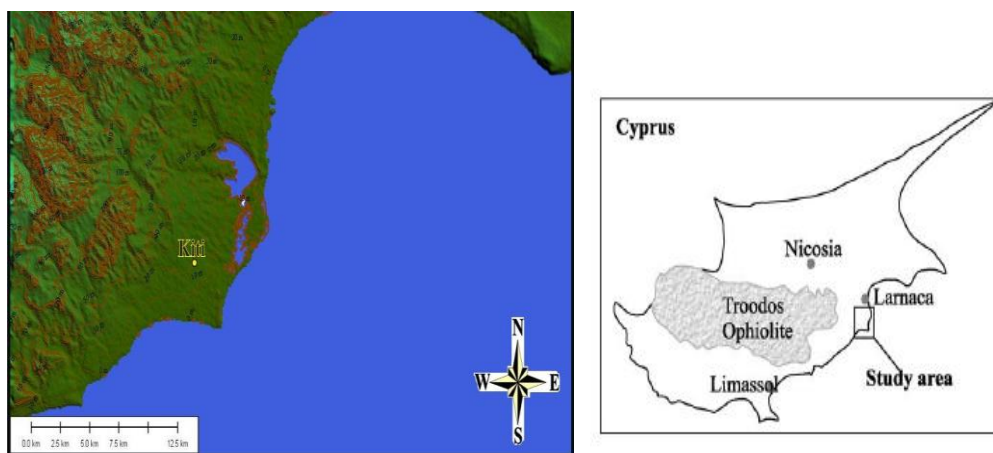
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Τρέμιθου ξεκινά από Βόρεια και Βορειοανατολικά του Σταυροβουνίου, που αποτελεί το Ανατολικότερο άκρο της οροσειράς του Τροόδους. Στην περιοχή υπάρχουν οι οικισμοί Κίτι, Μενεού, Σοφτάδες, Δρομολαξιά, Περιβόλια και Τερσεφάνου. Η ροή του Τρέμιθου περιορίζεται μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες. Η περιοχή του υδροφορέα καλύπτει έκταση 38 km² και είναι αγροτική και τουριστική (παράκτιο τμήμα).



Σχήμα 1: Τοποθεσία περιοχής έρευνας (Δορυφορική φωτογραφία google earth).

Η τοπογραφία στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής είναι επίπεδη με κλίσεις $<2\%$, ενώ ένα μικρής έκτασης τμήμα στο Βορρά έχει κλίσεις που φθάνουν περίπου το 10% .

Στο Βορειοδυτικό άκρο του υδροφορέα βρίσκεται το φράγμα του Κιτίου που κατασκευάστηκε το 1965 για αρδευτικούς σκοπούς. Το φράγμα εμφανίζει μεγάλη διακύμανση της στάθμης και γεμίζει μία φορά κάθε 3 χρόνια, ενώ παραμένει και άδειο κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων. Σημαντικά προβλήματα διαρροών προέκυψαν κατά τη λειτουργία του φράγματος, διαμέσου μιας παλαιάς συστοιχίας πηγαδιών.



Σχήμα 2: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

3.2. Κλιματικά Δεδομένα

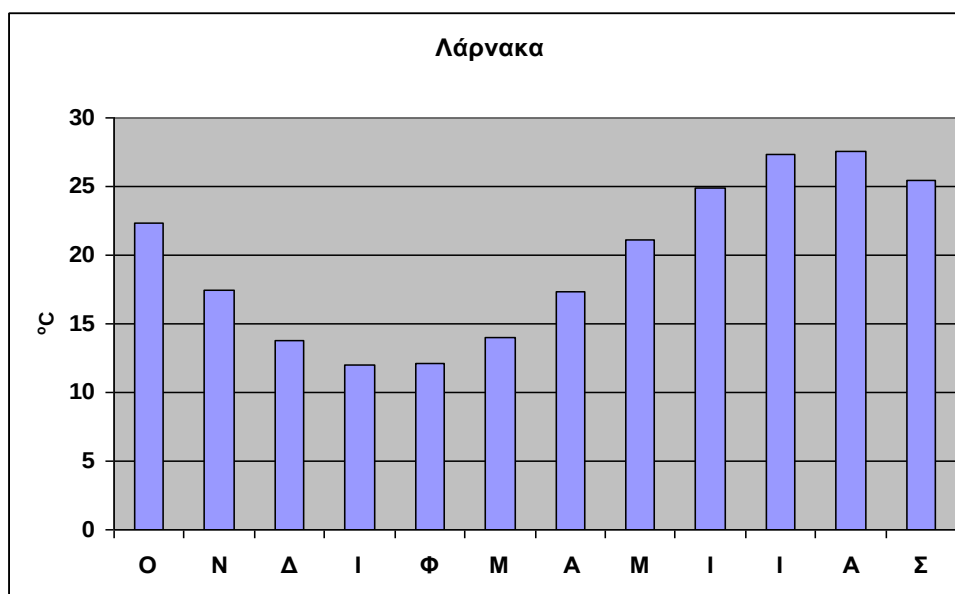
3.2.1. Θερμοκρασία

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ημίξηρες συνθήκες με μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 19,6 °C (σταθμός Λάρνακας). Από τα στοιχεία του Πίνακα 3, όπου παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στο σταθμό της Λάρνακας για την περίοδο 1985-86 έως 2007-08, παρατηρούνται τα εξής:

- Η θερμοκρασία της περιοχής κατά τους μήνες Ιανουάριο- Φεβρουάριο ανέρχεται σε 12 °C. Από τον Μάρτιο μέχρι και τον Αύγουστο παρατηρείται μία συνεχής αύξηση μέχρι και 27,6 °C και από τον Αύγουστο μέχρι τον Δεκέμβριο μια ομαλή μείωση (Σχήμα 3). Κατά τη διάρκεια πολλών ημερών στους θερινούς μήνες καταγράφονται μέγιστες θερμοκρασίες 40 °C (συνθήκες καύσωνα).
- Ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος (12 °C) και ακολουθεί ο Φεβρουάριος (12,1 °C).
- Ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος (27,6 °C) και ακολουθεί ο Ιούλιος (27,4 °C).

Πίνακας 3: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στο σταθμό Λάρνακας (περίοδος 1985-86 έως 2007-08).

Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
22,3	17,4	13,8	12,0	12,1	14,0	17,3	21,1	24,9	27,4	27,6	25,4



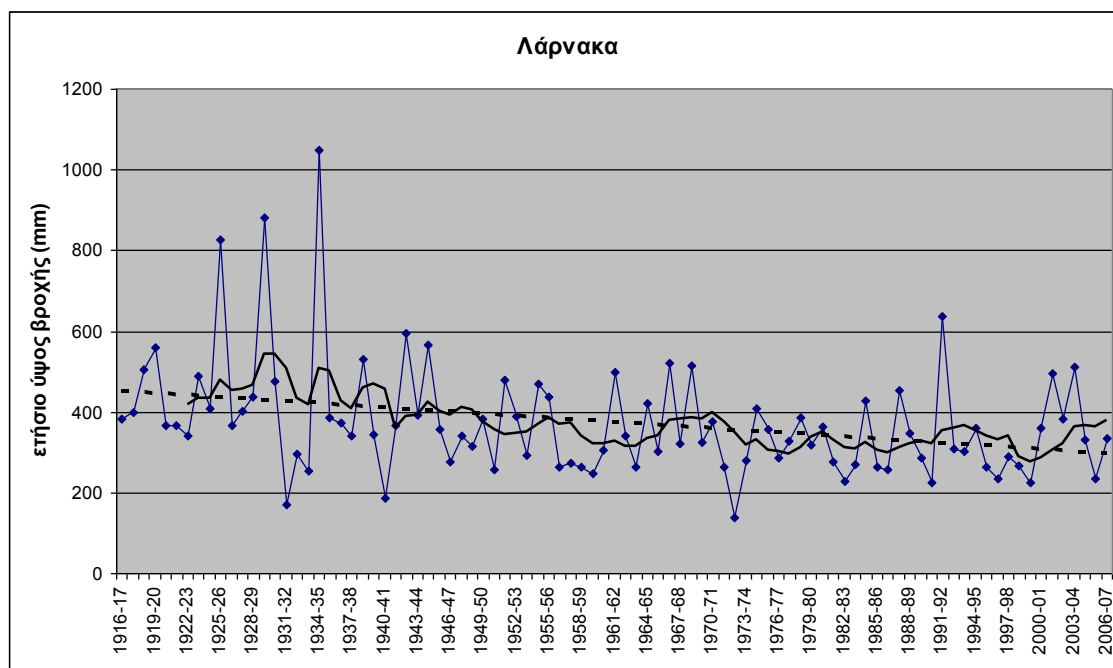
Σχήμα 3: Ραβδόγραμμα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στο σταθμό της Λάρνακας (περίοδος 1985-86 έως 2007-08).

3.2.2. Βροχοπτώσεις

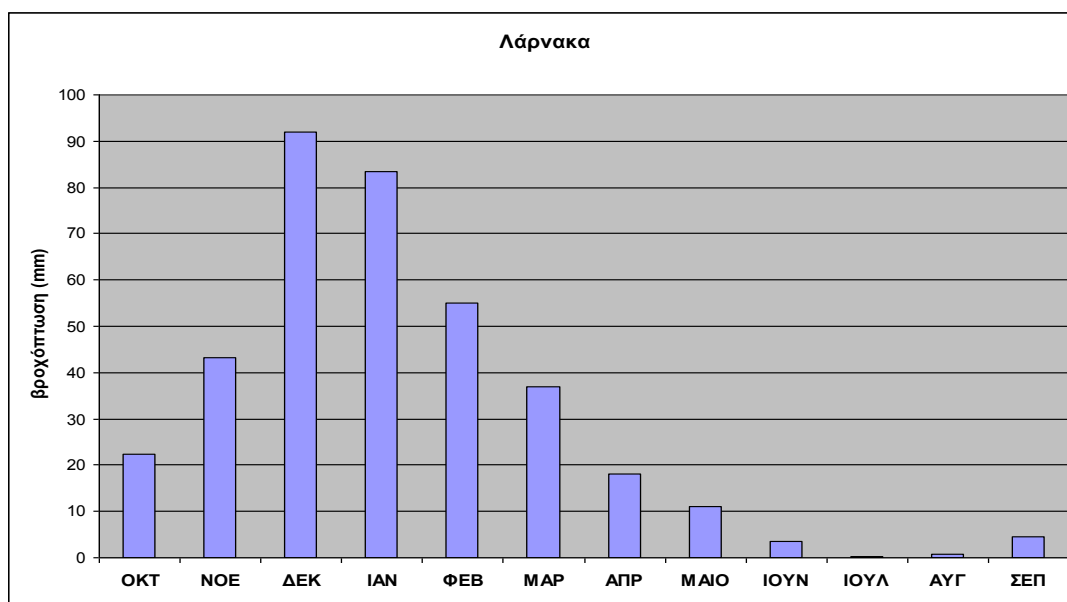
Από το διάγραμμα (Σχήμα 4), όπου παρουσιάζεται η χρονοσειρά των ετησίων τιμών βροχόπτωσης στο σταθμό της Λάρνακας, προκύπτει ευρεία διακύμανση των ετήσιων τιμών βροχόπτωσης. Τα μέγιστα της χρονοσειράς καταγράφηκαν τη δεκαετία 1920-30. Από το υδρολογικό 2003/04 μέχρι σήμερα παρατηρείται μια ξηρή περίοδος. Από το ίδιο διάγραμμα, με βάση τον κινούμενο μέσο 7 ετών, προκύπτει μια πτωτική τάση των ετησίων τιμών βροχόπτωσης με το χρόνο.

Το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό παρουσιάζεται κατά το μήνα Δεκέμβριο (24,6%), ενώ εξίσου σημαντικά ποσοστά εμφανίζονται και κατά τους μήνες Ιανουάριο (22,3%) και Φεβρουάριο (14,7%). Οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με συνήθως μηδενική βροχόπτωση (Σχήμα 5).

Ο δείκτης ξηρότητας (I_d) ο οποίος ορίζεται από τη σχέση $I_d = P/(T+10)$, όπου P = η μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm και T = η μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C, στο σταθμό Λάρνακας έχει τιμή 12,6 που υποδηλώνει ημίξηρο τύπο κλίματος.

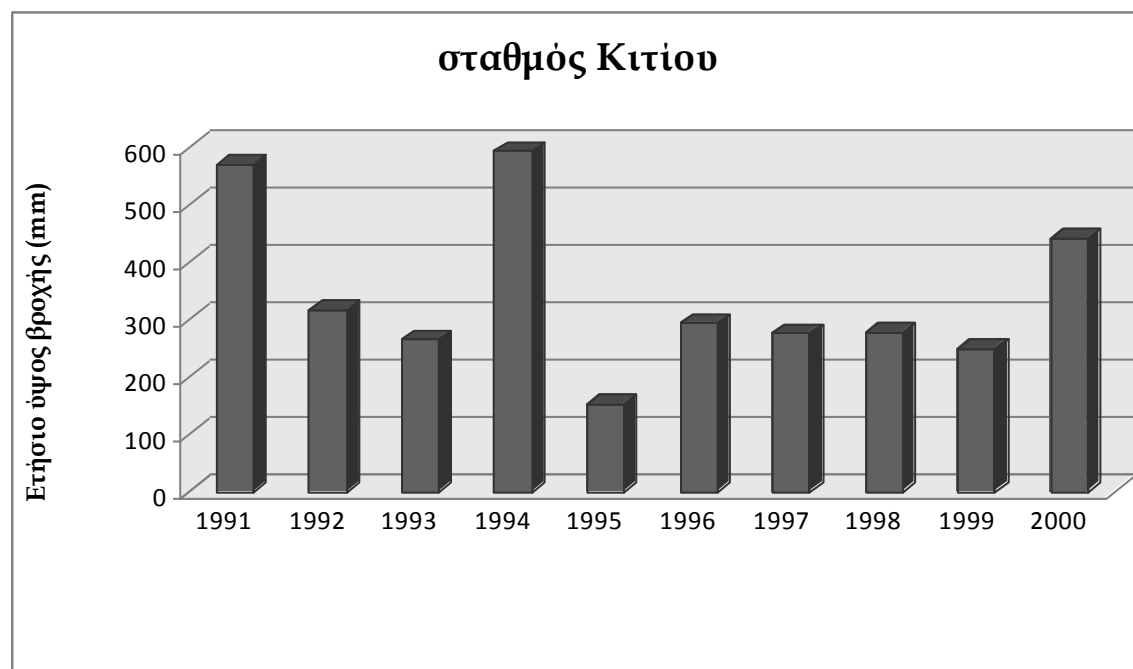


Σχήμα 4: Διάγραμμα με τη χρονοσειρά των ετησίων τιμών βροχής του σταθμού Λάρνακας (περίοδος 1916-17 έως 2007-08). Με διακεκομμένη γραμμή παρίσταται η γραμμική τάση και με έντονη γραμμή ο κινούμενος μέσος όρος 7 ετών.



Σχήμα 5: Ραβδόγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Λάρνακα (περίοδος 1916-17 έως 2007-08).

Τα διαθέσιμα δεδομένα που προέρχονται από τον βροχομετρικό σταθμό του Κιτίου καλύπτουν μικρότερη χρονική περίοδο 1991-2000. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο σταθμό αυτόν ανέρχεται σε 342,5 mm (Σχήμα 6).

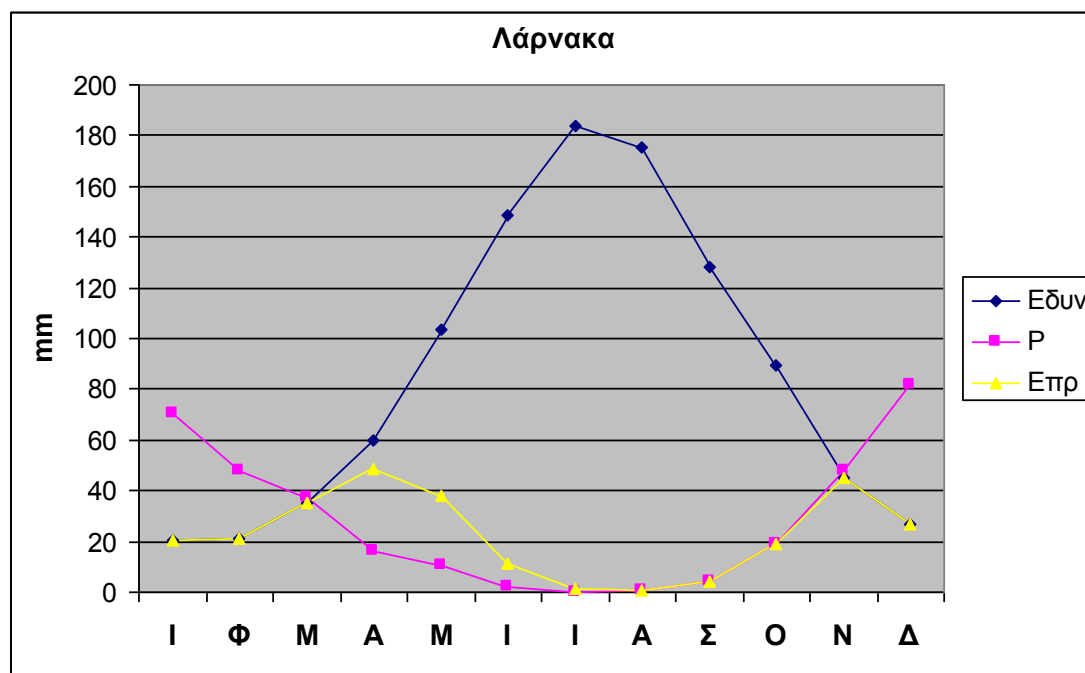


Σχήμα 6: Ραβδόγραμμα ετήσιας βροχόπτωσης στο σταθμό Κιτίου (περίοδος 1991-2000).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης ανέρχεται σε 320 mm, ενώ την περίοδο 1070-2000 ήταν 350 mm (Σχήμα 6).

Η μέση ετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι της τάξης των 1500 mm. Ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite σε μηνιαίο βήμα, ανέρχεται σε 80% του ετησίου ύψους βροχόπτωσης. Το υπόλοιπο ποσοστό αντιστοιχεί στις διαδικασίες επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης.

Στο Σχήμα 7 φαίνεται η πορεία του μέσου ισοζυγίου νερού για το σταθμό της Λάρνακας για το χρονικό διάστημα από 1986-87 έως 2006-07 κατά το οποίο υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Από το Σχήμα αυτό προκύπτει πλεόνασμα νερού υπάρχει από Ιανουάριο έως Μάρτιο, εξάτμιση με δαπάνη της υγρασίας του εδάφους γίνεται το διάστημα Απριλίου-Ιουνίου, έλλειμμα νερού καταγράφεται από τον Ιούλιο έως τον Νοέμβριο και αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας γίνεται τον Δεκέμβριο.



Σχήμα 7: Διάγραμμα με την πορεία μέσου ισοζυγίου του νερού στο σταθμό Λάρνακας ($E_{δυν}$ =δυναμική εξατμισοδιαπνοή, P =βροχόπτωση, $E_{πρ}$ =πραγματική εξατμισοδιαπνοή).

4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

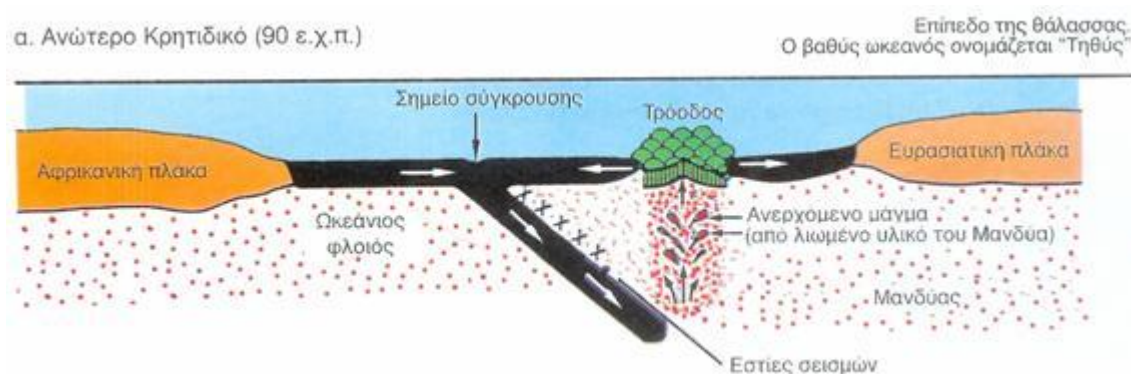
Σε σχέση με την ευρύτερη γεωλογία της ανατολικής Μεσογείου, η Κύπρος τοποθετείται μεταξύ της πλάκας της Ανατολίας και της Αφρικανικής πλάκας. Σύμφωνα με τη γεώτρηση που έγινε στην περιοχή, τα πετρώματα αποτελούν σχηματισμούς της σειράς Τροόδους.

Τα γεωλογικά όρια του υδροφορέα Κιτίου καθορίζονται από τις εμφανίσεις των κρητίδων και των μαργών του σχηματισμού Λευκάρων. Η κύρια εξάπλωση του σχηματισμού των Λευκάρων βρίσκεται Δυτικά του φράγματος του Κιτίου μέχρι Νότια του χωριού Τερσεφάνου. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται και κοντά στη θάλασσα στην περιοχή Φάρος, Νότια της κοινότητας Μενεού. Στα Βόρεια και Βορειοδυτικά, εμφανίζονται πετρώματα του σχηματισμού της Πάχνας. Στην παράκτια ζώνη απαντούν Πλειο-Πλειστοκαινικές και αλλουβιακές αποθέσεις.

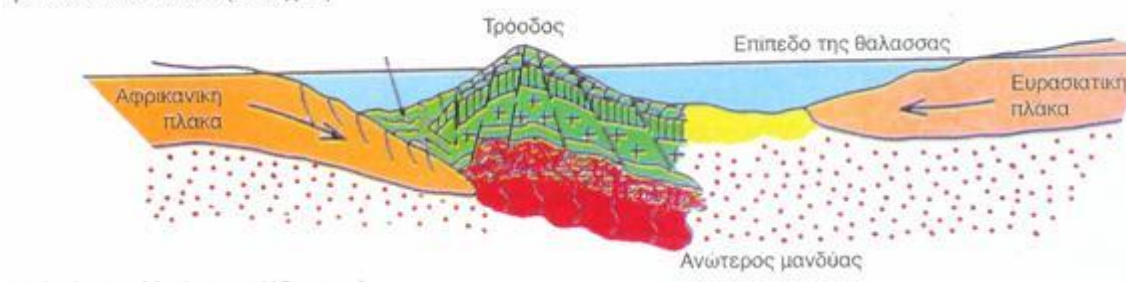
Αναλυτικά οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής έρευνας περιγράφονται παρακάτω.

4.1. Σχηματισμός Τροόδους

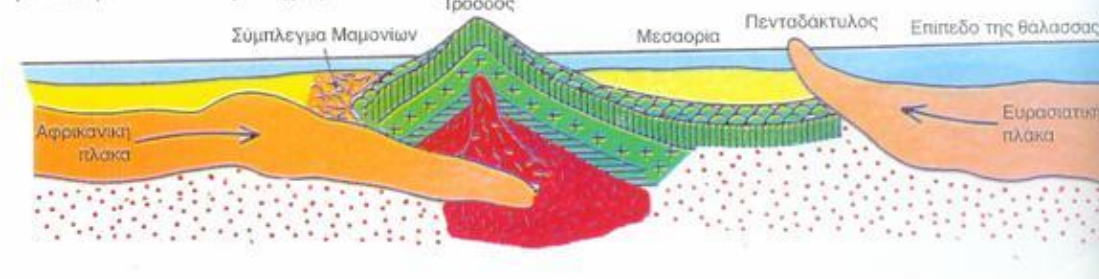
Ο σχηματισμός αυτός είναι οφιόλιθος και αποτελεί μέρος ενός αρχαίου ωκεάνιου φλοιού, η ανύψωση του οποίου οφείλεται στη σύγκρουση της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική και τη βύθιση της πρώτης κάτω από τη δεύτερη (Σχήμα 8).



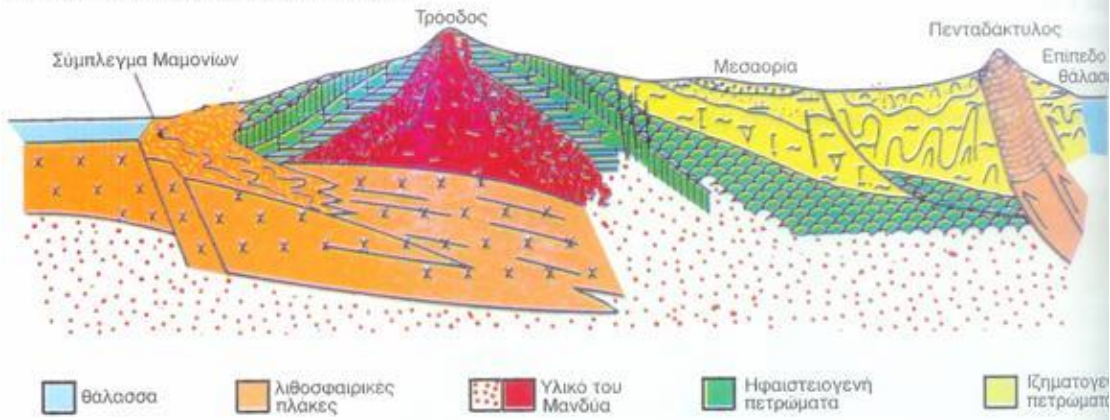
β. Μέσο Μειόκαινο (20 ε.χ.π.)



γ. Ανώτερο Μειόκαινο (10 ε.χ.π.)



δ. Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο (3-0,5 ε.χ.π.)



Σχήμα 8: Απεικόνιση της σύγκρουσης των λιθοσφαιρικών πλακών και ο σχηματισμός του Τρόδους. (<http://www.gsekkes.com/B%20GRADE%20-%20Material%20Taught/Cyprus%20Geomorphological%20Evolution.htm>)

Ο όρος οφιόλιθος χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει μια ακολουθία βασικών και υπερβασικών, πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα πετρώματα αυτά, ξεκινώντας από τα ανώτερα στρώματα προς τα κατώτερα είναι:

- Ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι και πηλίτες με ενδιάμεσες, ασυνεχείς εμφανίσεις φαιοχρωμάτων.
- Ηφαιστειακά πετρώματα και κυρίως ροές προσκεφαλοειδών λαβών.
- Φλεβικά πετρώματα βασαλτικής κυρίως σύστασης.
- Πλουτώνια πετρώματα.
- Πετρώματα της ακολουθίας του μανδύα.

Στον οφιόλιθο του Τροόδους βρίσκονται όλα τα πετρώματα ενός οφιολιθικού συμπλέγματος. Τα πετρώματα αυτά δεν έχουν διαταραχθεί από την αρχική τους θέση, ούτε έχουν υποστεί οποιαδήποτε αλλαγή, εκτός από τη θαλάσσια εξαλλοίωση. Ο οφιόλιθος του Τροόδους είναι στρωματογραφικά πλήρης και από τους καλύτερα διατηρημένους στη γη.

4.2. Σχηματισμός Λευκάρων

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από πελαγικές και άσπρες κρητίδες με παρουσία ή όχι κερατολίθων. Πήρε το όνομα του από το χωριό Λεύκαρα, λόγω της μεγάλης ανάπτυξης του στην περιοχή του χωριού αυτού. Η ανάπτυξη του σχηματισμού αυτού αντιπροσωπεύεται με τέσσερα στρωματογραφικά μέλη: τις κατώτερες μάργες, τις κρητίδες και τους κερατόλιθους, τις κρητίδες και τις ανώτερες μάργες.

α) Κατώτερες μάργες

Είναι τα κατώτερα πετρώματα του σχηματισμού των Λευκάρων. Είναι γκρι ή ροδόχροες-καστανόχρες, λεπτοστρωματώδεις μάργες με φακοειδείς συγκεντρώσεις κερατόλιθων καθώς επίσης μαργαϊκές κρητίδες στην κορυφή. Το πάχος κυμαίνεται από 25 έως 100m.

β) Κρητίδες και κερατόλιθοι

Λόγω της πετρολογικής τους σύστασης αντιστέκονται στη διάβρωση και σχηματίζουν κρημνούς. Αποτελείται από καλά στρωμένες λευκές κρητίδες, γκρι μαργαϊκές κρητίδες και από γκρι μάργες και πυριτιωμένα στρώματα (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Σχηματισμός Λευκάρων (κρητίδες και κερατόλιθοι)
(<http://talefkara.blogspot.gr/2012/05/blog-post.html>)

γ) Κρητίδες

Είναι ιζηματογενή πετρώματα που υπέρκειται των κρητίδων και κερατολίθων και χαρακτηρίζονται από πλευρικές λιθολογικές αλλαγές. Το κατώτερο τμήμα τους αποτελείται από συμπαγείς κρητίδες. Το ανώτερο τμήμα τους αποτελείται από στρώσεις φυλλωδών και ελαφρώς μαργαϊκών κρητίδων. Το πάχος τους στην επαρχία Λάρνακας φθάνει τα 250m.

δ) Ανώτερες μάργες

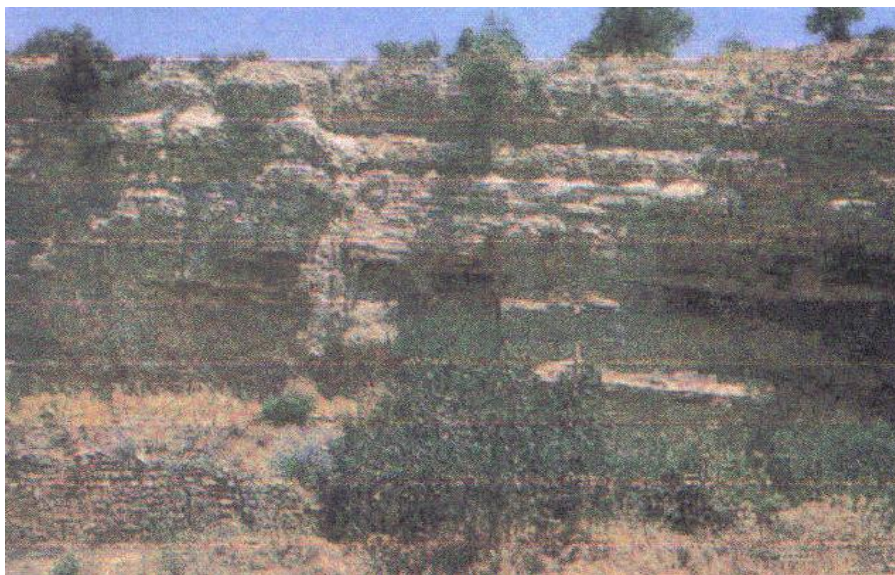
Παρουσιάζουν μια τυπική λιθολογία από γκρι μάργες. Στην κορυφή τους και πολύ κοντά στην επαφή με τον υπερκείμενο σχηματισμό της Πάχνας βρίσκονται λεπτά στρώματα ασβεστιτικού ψαμμίτη. Το πάχος τους κυμαίνεται από 3 μέχρι 200m (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Συμπαγείς κρητίδες του σχηματισμού Λευκάρων.
(<http://talefkara.blogspot.gr/2012/05/blog-post.html>)

4.3. Σχηματισμός Πάχνας

Τα ιζήματα που υπάρχουν κυρίως στο σχηματισμό αυτό είναι υποκίτρινες έως φαιοκίτρινες κρητίδες και μάργες που διακρίνονται εύκολα από το κατάλευκο χρώμα του υποκείμενου σχηματισμού των Λευκάρων. Επίσης χαρακτηριστική είναι και η παρουσία στρωμάτων ασβεστιτικού ψαμμίτη και η κατά τόπους ανάπτυξη κροκαλοπαγών όπου στους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού περιέχουν θραύσματα από τα οφιολιθικά πετρώματα του Τροόδους, καθώς και ανθρακικά υλικά αβαθών νερών. Ο σχηματισμός Πάχνας εμφανίζεται Βόρεια και Βορειοδυτικά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 11: Ασβεστιτικοί ψαμμίτες σε οριζόντιες στρώσεις (Σχηματισμός Πάχνας).

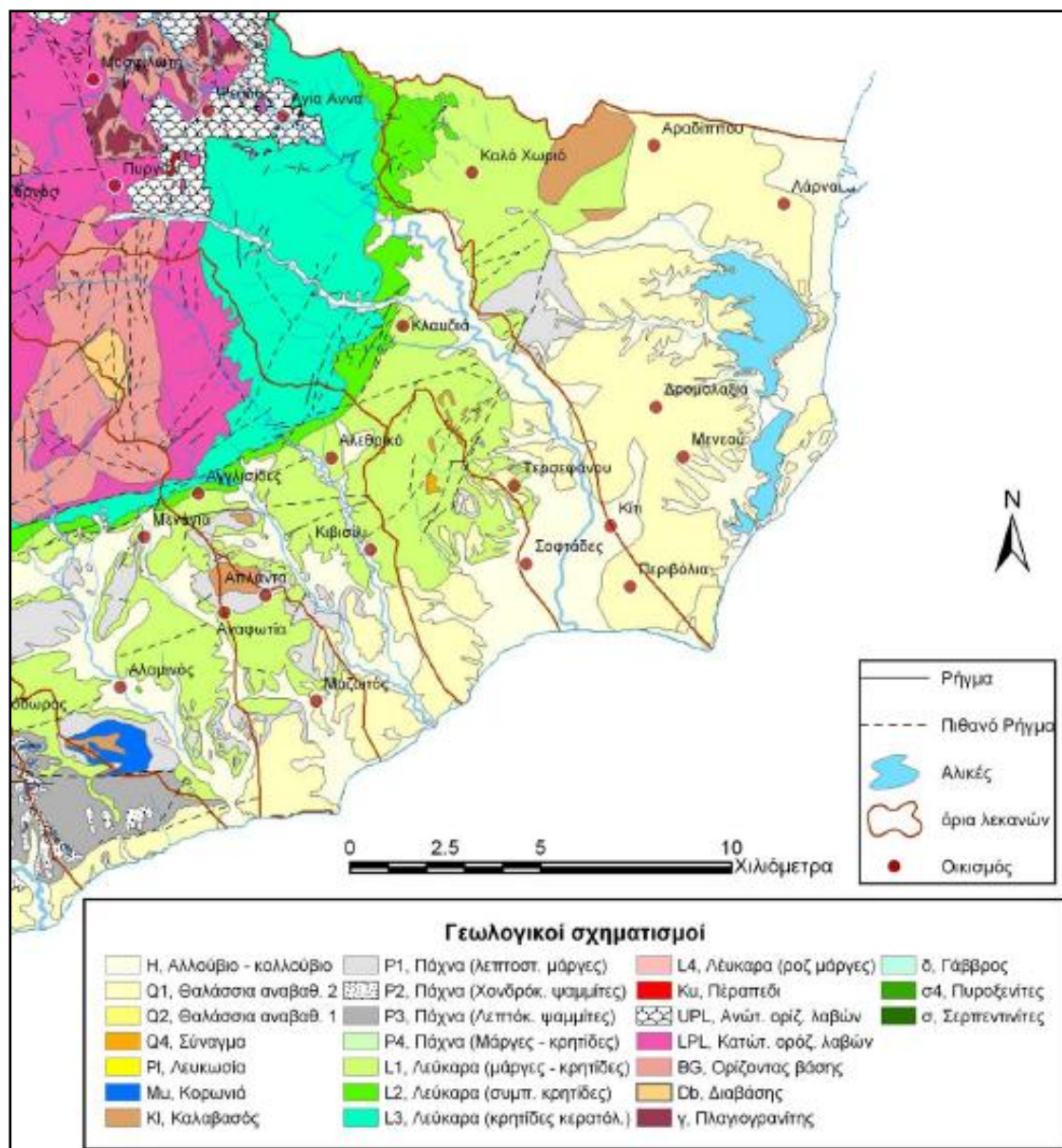


Σχήμα 12: Ασβεστιτικοί ψαμμίτες με συγγενετικές δομές ολίσθησης (Σχηματισμός Πάχνας).

4.4. Νεώτερες αποθέσεις

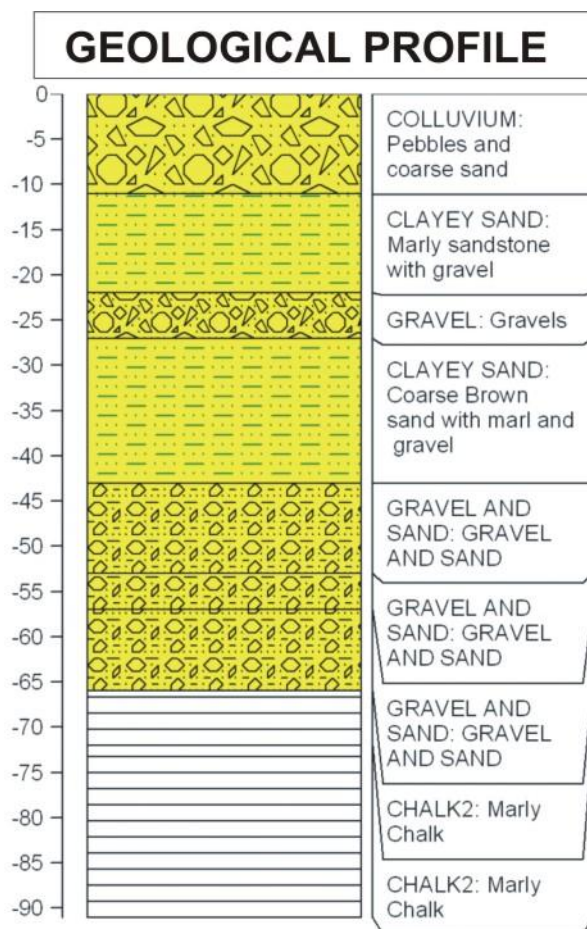
Στην παράκτια ζώνη της περιοχής έρευνας απαντώνται και νεώτερες αποθέσεις που συνίστανται απο:

- Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα που αποτελούνται από μάργες, αργίλους και ψαμμίτες με μέγιστο πάχος 15m.
- Αλλουβιακές αποθέσεις με μέγιστο πάχος 15m.



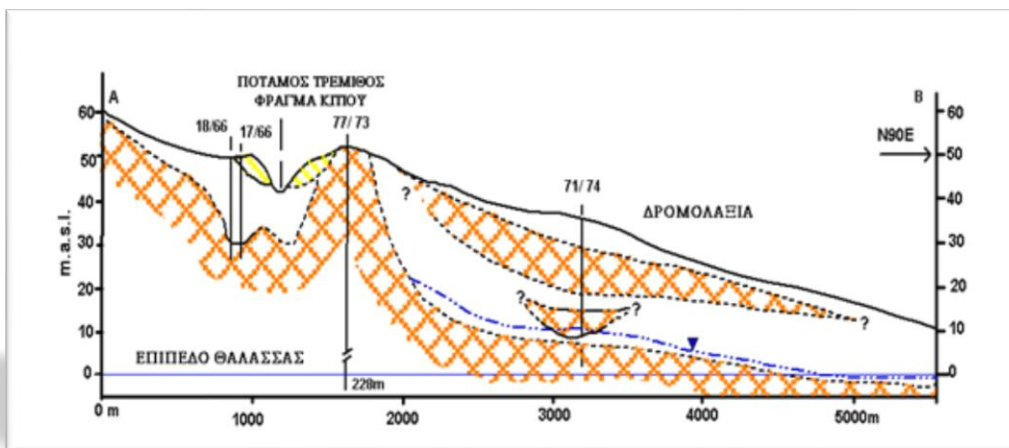
Σχήμα 13: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Κωνσταντίνου, 2004).

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής και στο Σχήμα 14 μια χαρακτηριστική γεωλογική τομή. Χαρακτηριστικές γεωλογικές τομές από τις υφιστάμενες μελέτες παρουσιάζονται στα πιο κάτω σχήματα (Σχήμα 15α μέχρι 15η).

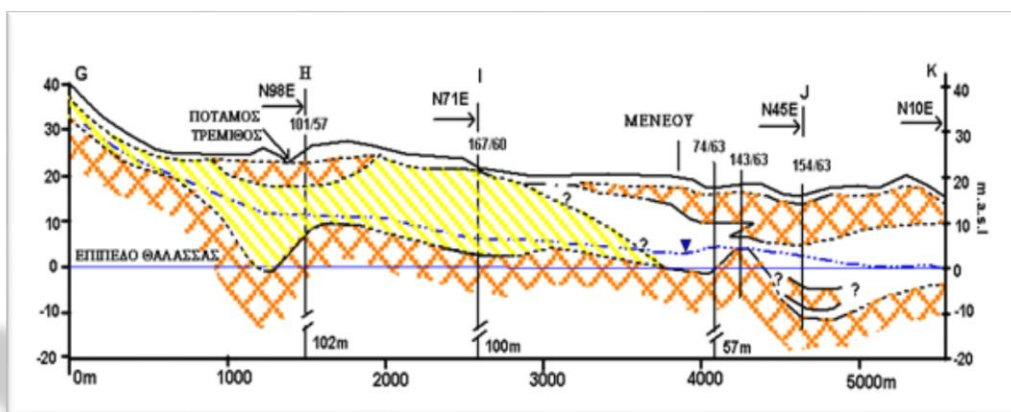


Σχήμα 14: Χαρακτηριστική γεωλογική τομή.

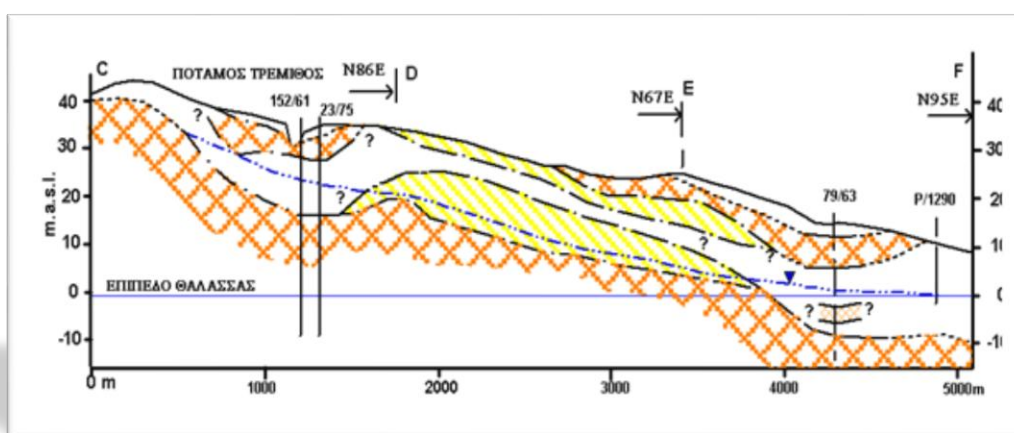
Οι επικρατούντες εδαφικοί τύποι είναι: λεπτόκοκκος υφής (fine textured), μέσης (medium textured), αδρομερούς υφής (coarse textured), λεπτό στρώμα (thin layer of soil), και απουσία εδαφικού στρώματος (no soil).



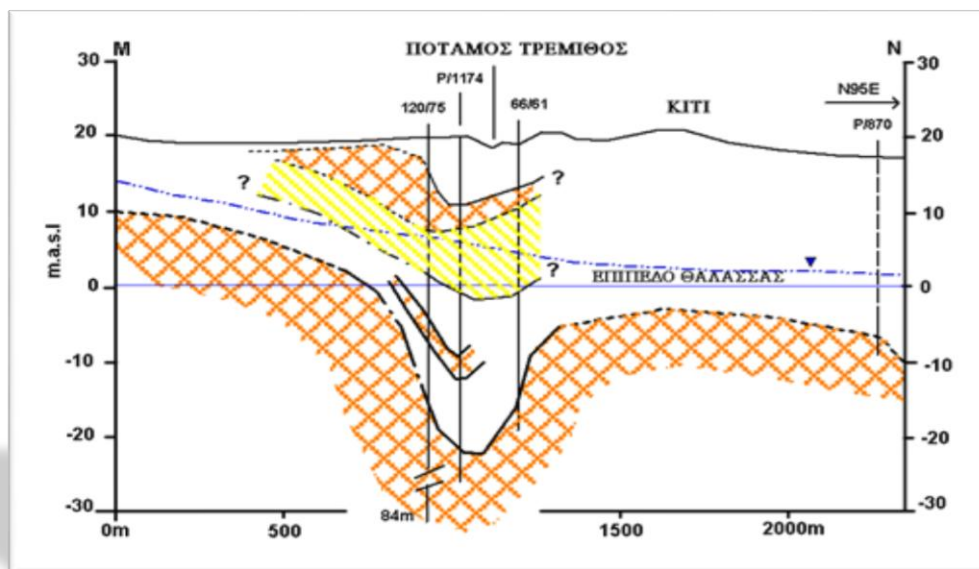
Σχήμα 15α: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



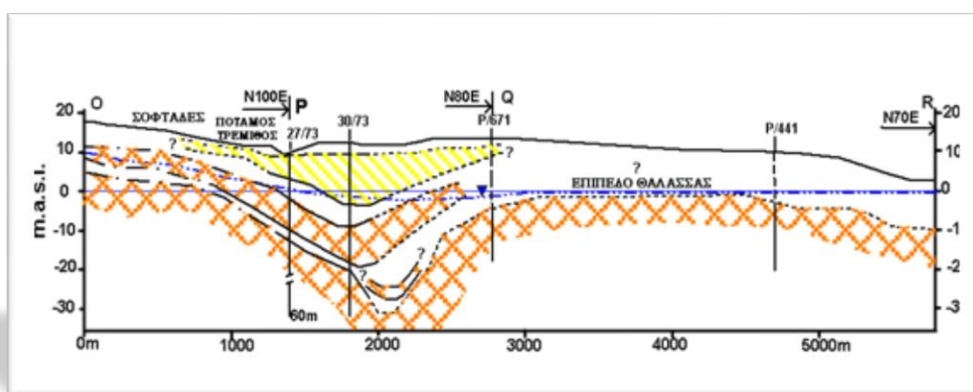
Σχήμα 15β: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



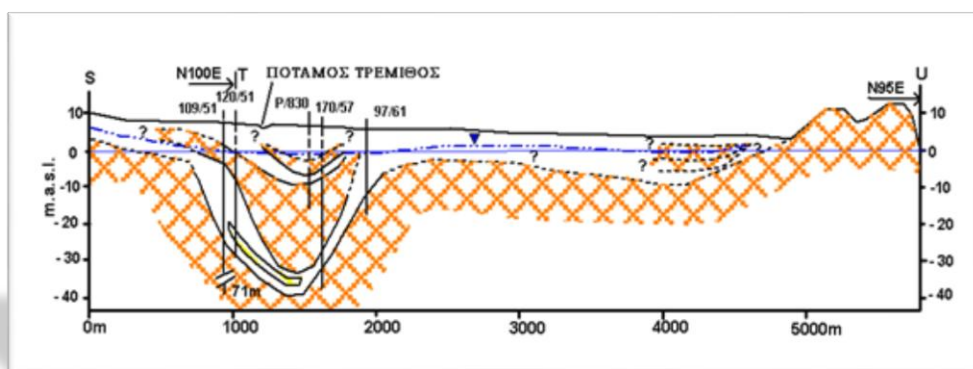
Σχήμα 15γ: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



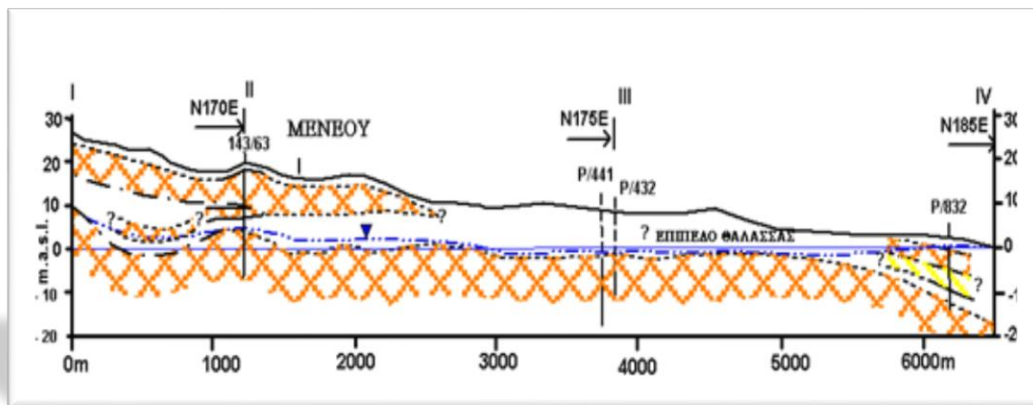
Σχήμα 15δ: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



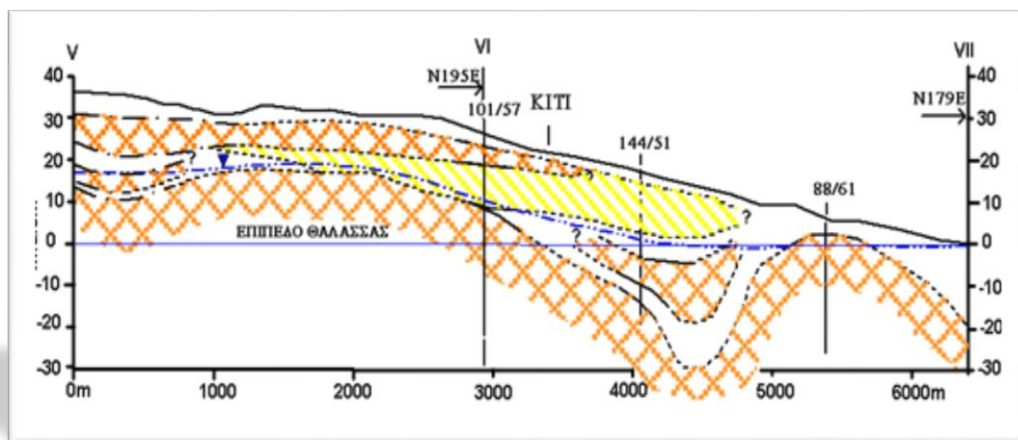
Σχήμα 15ε: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



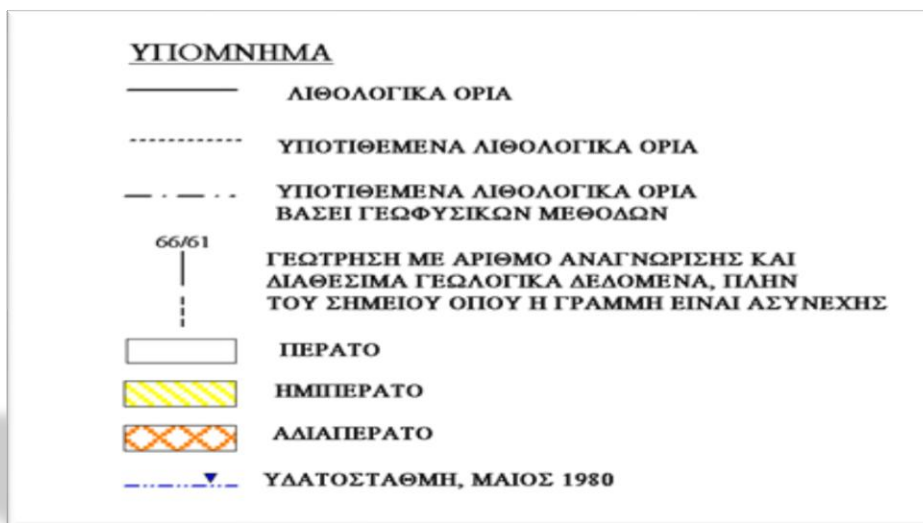
Σχήμα 15στ: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



Σχήμα 15ζ: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



Σχήμα 15η: Γεωλογική τομή (Iakovides et al., 1985, Από Φωτιάδη κ.ά., 2006).



Σχήμα 15θ: Υπόμνημα των πιο πάνω γεωλογικών τομών.

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

5.1. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων

Υδροφορείς ή υδροφόροι είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν εκμεταλλεύσιμο νερό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις και πηγές. Δρουν σαν αγωγοί δηλαδή έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό. Το υδροφόρο στρώμα αποτελείται από το γεωλογικό σχηματισμό και το υπεδαφικό νερό. Οι κυριότεροι τύποι υπόγειων υδροφορέων είναι:

1) Ελεύθεροι υδροφορείς

Είναι οι υδροφορείς που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην ελεύθερη επιφάνεια των υπόγειων νερών, η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφορέα. η εκμετάλλευσή τους γίνεται με τη διάνοιξη πηγαδιών ή γεωτρήσεων μικρού βάθους.

2) Υπό πίεση υδροφορείς

Στους υδροφορείς αυτούς το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής. Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Έτσι η πιεζομετρική επιφάνεια, συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφορέα και βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής.

3) Ημιαρτεσιανοί υδροφορείς

Είναι υδροφορείς ανάλογοι με τους υπό πίεση, με τη διαφορά ότι το υπερκείμενο στρώμα είναι ημιπερατό. Από πετρογραφικής άποψης διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες υδροφορέων:

- i. Καρστικοί, που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα
- ii. Πορώδεις, που αναπτύσσονται σε κοκκώδεις σχηματισμούς
- iii. Υδροφορείς διαρρηγμένων πετρωμάτων που αναπτύσσονται σε ρηξιγενείς ζώνες και ζώνες διακλάσεων των σκληρών πετρωμάτων.

5.2. Οι υδροφόροι της Κύπρου

Στην Κύπρο υπάρχουν τρεις κατηγορίες υδροφόρων. Στην πρώτη ανήκουν οι κλαστικοί υδροφόροι, οι οποίοι αναπτύσσονται κυρίως στις ποταμοχειμάρειες και δελταϊκές αποθέσεις καθώς και σε θαλάσσιες αναβαθμίδες. Το υπόγειο νερό στους υδροφόρους αυτούς γεμίζει τα κενά που δημιουργούν οι κόκκοι της άμμου και των χαλικιών. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι καρστικοί και ψευδοκαρστικοί υδροφόροι. Οι πρώτοι δημιουργούνται σε ασβεστολιθικά πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα και οι δεύτεροι κυρίως σε γύψους. Στους υδροφόρους αυτούς, το υπόγειο νερό καταλαμβάνει τα κενά (σπήλαια), που δημιουργούνται από τη διάλυση των πιο πάνω πετρωμάτων. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι υδροφορίες στα διαρρηγμένα πετρώματα, όπου το υπόγειο νερό πληρώνει τα κενά που δημιουργούνται από τη διάρρηξη των συμπαγών πετρωμάτων (ζώνες ρηγμάτων). Οι υδροφορίες αυτές εξαρτώνται κυρίως από τη λιθολογία, το βαθμό τεκτονισμού και την απουσία (δευτερογενών) αργιλικών ορυκτών.

Ο σημαντικότερος **κλαστικός υδροφόρος** είναι αυτός της Δυτικής Μεσαορίας (Μόρφου), ο οποίος αναπτύσσεται κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις του χειμάρρου Σερράχη. Έχει αποθηκευτική ικανότητα 1660 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Τα ανανεώσιμα αποθέματα του είναι περίπου 63 εκατομμύρια. Το μεγαλύτερο μέρος του εμπλουτισμού προέρχεται από τη ροή των παραπόταμων του Σερράχη, που πηγάζουν από το βορειοδυτικό τμήμα του Τροόδους (χειμαροί Περιστερώνας και Ακακίου). Λόγω της υπεράντλησης παρατηρείται ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, με συνεπακόλουθο την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού και την υφαλμύριση ενός μεγάλου τμήματος του υδροφόρου. Άλλοι σημαντικοί κλαστικοί υδροφόροι είναι αυτοί της Νοτιοανατολικής Μεσαορίας (Κοκκινοχώρια), του Ακρωτηρίου με αποθηκευτική ικανότητα 96 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και της παράκτιας ζώνης της Πάφου.

Ο σημαντικότερος **καρστικός υδροφόρος** απαντά στον Πενταδάκτυλο και συγκεκριμένα σε ασβεστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα ο οποίος έχει αποθηκευτική ικανότητα 11 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πριν την αξιοποίηση του υδροφόρου με γεωτρήσεις, το υπόγειο νερό εκφορτιζόταν στις γνωστές καρστικές πηγές υπερχειλίσας, όπως αυτή της Κυθραίας. Μικρότερης σημασίας καρστικοί υδροφόροι αναπτύσσονται επίσης, στους ασβεστόλιθους των σχηματισμών της Τέρρας και της Κορωνιάς σε διάφορες περιοχές της Κύπρου. Ψευδοκαρστικοί υδροφόροι απαντούν

στους γύψους του σχηματισμού της Καλαβασού όπως π.χ. του Μαρωνιού στην επαρχία Λάρνακας και της Γιόλου - Λετύμπου στην Πάφο.

Τέλος, οι **υδροφόροι διαρρηγμένων πετρωμάτων** αναπτύσσονται κυρίως στα οφιολιθικά πετρώματα του Τροόδους. Στα πετρώματα αυτά, οι καλύτερες υδρογεωλογικές συνθήκες παρατηρούνται στους γάββρους, ενώ στις λάβες οι πλέον δυσμενείς. Ανάλογου τύπου υδροφορία αναπτύσσεται επίσης στις συμπαγείς κρητίδες του σχηματισμού Λευκάρων.

5.3. Υδροφορέας Κιτίου

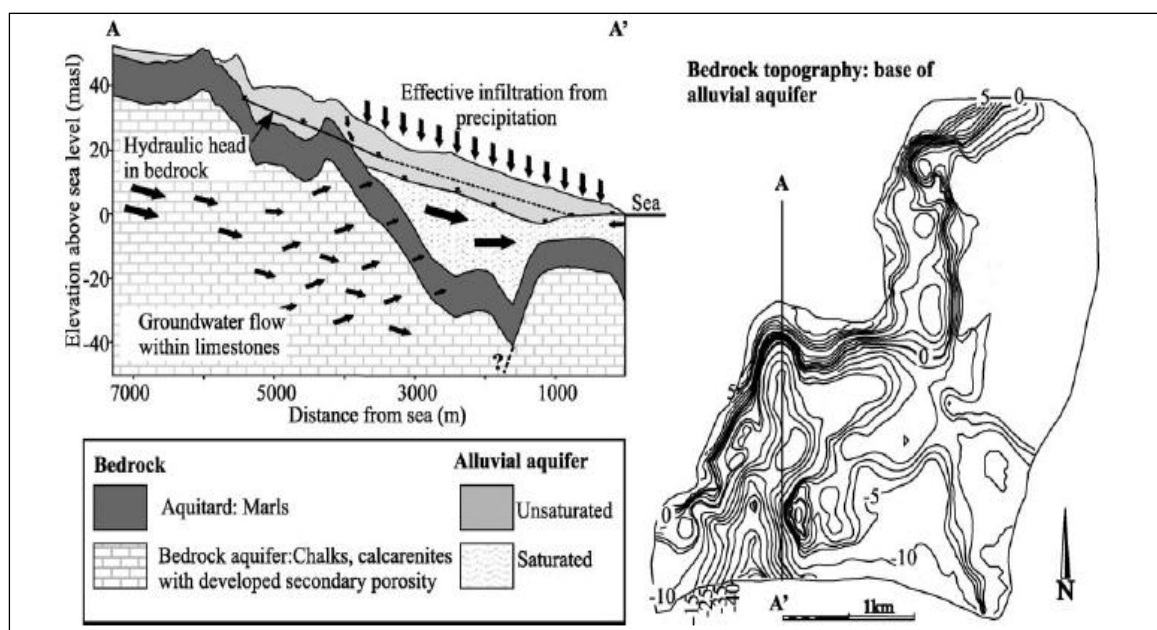
Η υδροφορία στην περιοχή Τροόδους αναπτύσσεται κυρίως σε ζώνες, όπου τα πετρώματα είναι τεκτονισμένα. Ο τεκτονισμός αυτός οφείλεται στην ανύψωση του Τροόδους. Ο φυσικός εμπλουτισμός είναι της τάξης των 100 κυβικών το χρόνο. Στην περιοχή του Τροόδους υποβιβάζεται κατά τρία περίπου μέτρα το χρόνο, γεγονός που δείχνει ότι αντλούνται περισσότερες ποσότητες νερού απ' ότι είναι ο φυσικός εμπλουτισμός.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει και ο υδροφόρος της περιοχής έρευνας μας, δηλαδή ο υδροφόρος του Κιτίου ο οποίος αναπτύσσεται στους ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους. Ο υδροφόρος αυτός οριοθετείται Ανατολικά από τις αλυκές της Λάρνακας, Βόρεια από το φράγμα του Κιτίου και στα Δυτικά από τις εμφανίσεις Κρητίδων και μαργών του σχηματισμού των Λευκάρων (κοντά στο χωριό Τερσεφάνου). Στο Νότιο μέρος του εκτείνεται μέχρι τη θάλασσα. Καλύπτει επιφανειακή έκταση 38 km² περίπου (πλάτος 5,5 km και μήκος 7 km), με μικρή κλίση προς τη θάλασσα και τις αλυκές. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από 0 έως 40m.

Σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι πρόκειται για μικρού βάθους και μικρού πλάτους υδροφορέα με μέγιστο βάθος πυθμένα της τάξης των -40m στο Νότιο τμήμα και κάτω από την κοίτη του Τρέμιθου ποταμού. Στο Ανατολικό τμήμα ο πυθμένας βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ στο Δυτικό και Βορειοδυτικό του άκρο, ο πυθμένας κυμαίνεται από 0 έως 20m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (Φωτιάδης κ.ά., 2006). Παρόμοια είναι και η κατανομή του πάχους του υδροφορέα, με μέγιστο πάχος της τάξης των 45m στο νότιο τμήμα, πάχος της τάξης των 10m στο Ανατολικό τμήμα και κυμαινόμενο πάχος από 10 έως 20 m στο Βόρειο και Δυτικό τμήμα. Ο

υδροφορέας αποτελείται από μεταβαλλόμενες κατά πάχος, βάθος και έκταση διαπερατές, αδιαπέρατες και ημιπερατές στρώσεις (χαλίκια, άμμους και φακοειδείς ενστρώσεις αργιλοϊλύος).

Ο εμπλουτισμός του υδροφορέα αυτού γίνεται κατευθείαν από τη βροχόπτωση, τις πλευρικές διηθήσεις από τον Τρέμιθο, τις επιστροφές των αρδεύσεων και τις ενδεχόμενες διαρροές (εφόσον υπάρχει νερό) από το φράγμα του Κιτίου. Επίσης γίνεται από το σύστημα υπόγειων αγωγών Μενεού, από απ' ευθείας κατείδυση και από επιστροφή μέρους του αρδευόμενου νερού.



Σχήμα 16: Γεωλογική τομή στην περιοχή του υδροφορέα Κιτίου (Από Milnes & Renard, 2004).

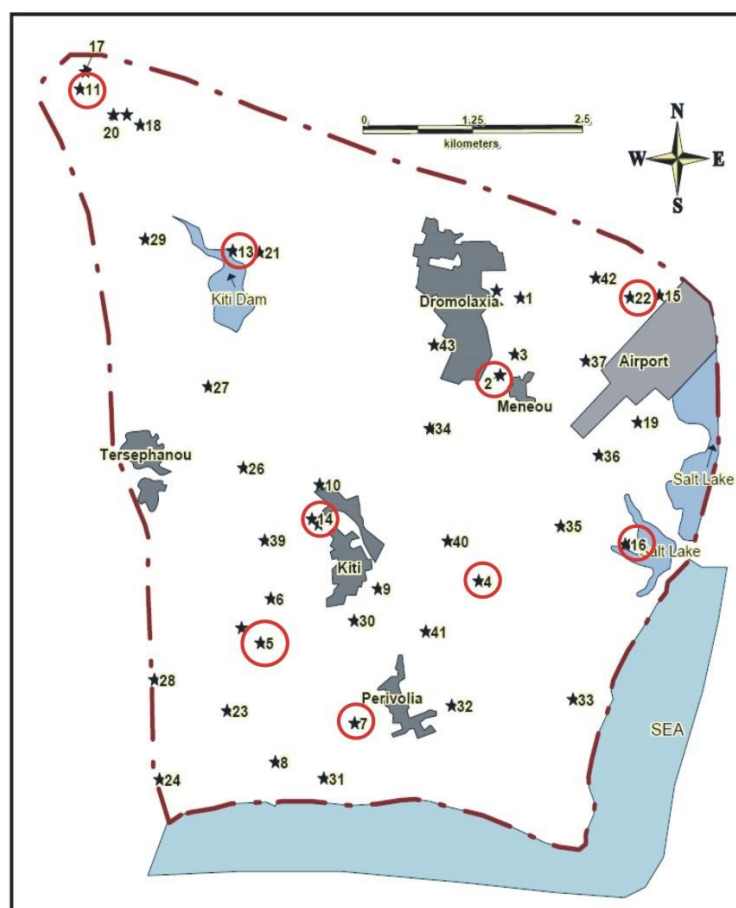
Σημαντικό ρόλο στον εμπλουτισμό του υδροφόρου παίζει το φράγμα Κιτίου και ο ποταμός Τρέμιθος. Το φράγμα του Κιτίου που είναι κυρίως φράγμα εμπλουτισμού, είναι μικρό, χωμάτινο φράγμα χωρητικότητας 1,6 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων. Από το φράγμα γίνεται υπόγειος εμπλουτισμός του υδροφόρου. Υπάρχουν και επιφανειακές διαρροές που συλλέγονται στην κοίτη του ποταμού Τρέμιθου. Ποσότητες νερού απελευθερώνονται από το φράγμα για εμπλουτισμό του υδροφορέα, μέσω της κοίτης του Τρέμιθου.

Ο υδροφορέας εμφανίζει συνθήκες ελεύθερης ροής. Το κορεσμένο πάχος είναι 2-3m. Ο ετήσιος εμπλουτισμός του είναι περίπου $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ και ο αντλούμενος όγκος $2-3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, αλλά μειώθηκε σε $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ τα τελευταία χρόνια (Milnes & Renard, 2004). Η υπεράντληση των τελευταίων χρόνων είχε ως

αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλασσινού νερού περί τα 3 km μέσα στον υδροφόρο. Η εκμετάλλευση του υδροφορέα γίνεται μέσω περίπου 300 γεωτρήσεων, οι παροχές των οποίων κυμαίνονται από 2-10 m³/h (Σχήμα 16).

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΟΥ ΚΙΤΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DRASTIC

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή της μεθόδου typical DRASTIC που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών του υδροφορέα Κιτίου. Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά, υδρογεωλογικά, μορφολογικά, υδρομετεωρολογικά και εδαφολογικά δεδομένα. Ο δείκτης DRASTIC εκτιμήθηκε με βάση τις τιμές κάθε παραμέτρου σε κάθε θέση σημείου νερού (γεωτρήσεις, πηγάδια) για το οποίο υπάρχει λιθολογική τομή, μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού, πάχος της ακόρεστης ζώνης κλπ (Σχήμα 17). Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου στον υδροφορέα Κιτίου συντάχθηκε ο χάρτης τρωτότητας.



Σχήμα 17: Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν, για τον υπολογισμό του δείκτη DRASTIC, στην περιοχή έρευνας.

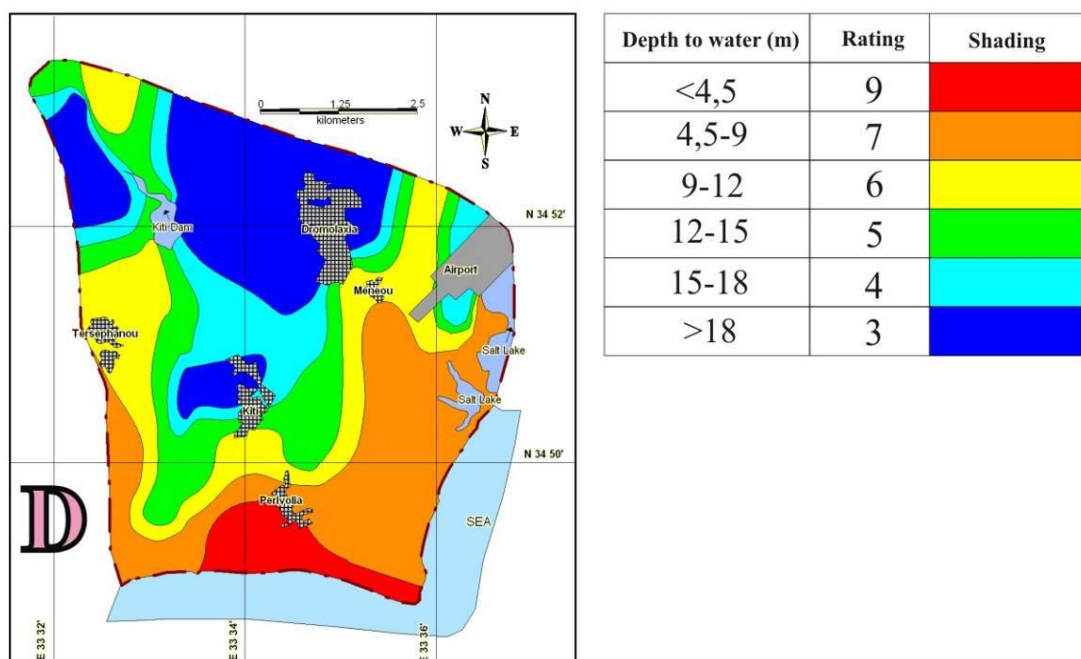
6.1. Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (D)

Με βάση τις μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού, η οποία εξήχθη από τους πιεζομετρικούς χάρτες, κατά την περίοδο 1991-2003 (μηνιαία δεδομένα της στάθμης) η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 2 έως 25 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα δεδομένα αυτά παραχωρήθηκαν από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου. Μικρότερα σχετικά βάθη καταγράφονται στο νότιο τμήμα του φράγματος. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική και το μεγάλο βάθος υποδηλώνει καλύτερη προστασία του υδροφορέα από τη ρύπανση. Ανάλογα με το βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε και η αντίστοιχη τιμή. Επομένως, για μικρό βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μεγάλη τιμή στη βαθμονόμηση, ενώ για μεγάλο βάθος του υπόγειου νερού δόθηκε μικρή τιμή στη βαθμονόμηση. Στον Πίνακα 3 δίνεται η βαθμονόμηση του βάθους του υπόγειου νερού.

Πίνακας 3: Βαθμονόμηση του Βάθους του υπόγειου νερού.

Βάθος του υπόγειου νερού (m)	Βαθμονόμηση
<4.5	9
4.5-9	7
9-12	6
12-15	5
15-18	4
>18	3

DEPTH TO GROUNDWATER (m)



Σχήμα 18: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης του βάθους του υπόγειου νερού στον υδροφορέα του Κιτίου (Voudouris et al., 2009).

6.2. Εμπλουτισμός (R)

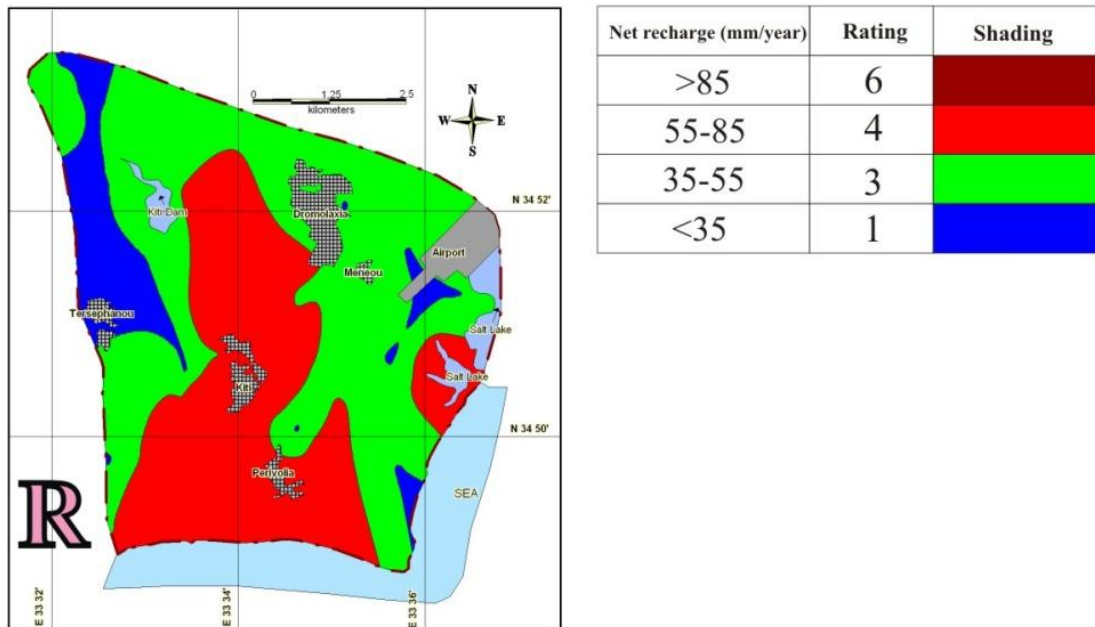
Ο εμπλουτισμός αντιπροσωπεύει την ετήσια ποσότητα του νερού σε mm που κατείσδύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφορέα. Η μεταφορά των ρυπών από την επιφάνεια, λόγω της βροχόπτωσης που κατείσδύει στην ακόρεστη ζώνη είναι σημαντικός σχηματισμός. Ο εμπλουτισμός στον υδροφορέα του Κιτίου κυμαίνεται από 30-90 mm ανά έτος.

Ο συντελεστής κατείσδυσης είναι συνάρτηση του ύψους βροχόπτωσης, της κλίσης του αναγλύφου και της υδροπερατότητας του εδάφους. Στην παρούσα έρευνα η παράμετρος υπολογίστηκε από τα δεδομένα βροχόπτωσης και τους συντελεστές κατείσδυσης των γεωλογικών σχηματισμών. Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 3. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του εμπλουτισμού τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των ρυπών που μεταφέρονται στο υπόγειο νερό. Επομένως για μεγάλες τιμές κατείσδυσης δόθηκε μεγαλύτερη τιμή σε κάθε σημείο, ενώ για τις μικρές τιμές του εμπλουτισμού δόθηκε μικρή τιμή στη βαθμονόμηση. Στον Πίνακα 4 δίνεται η βαθμονόμηση του Εμπλουτισμού των υπόγειων νερών από την κατείσδυση.

Πίνακας 4: Βαθμονόμηση του Εμπλουτισμού

Εμπλουτισμός (mm ανά έτος)	Βαθμονόμηση
>85	6
55-85	4
35-55	3
<35	1

RECHARGE (mm/year)



Σχήμα 19: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου R (Voudouris et al., 2009).

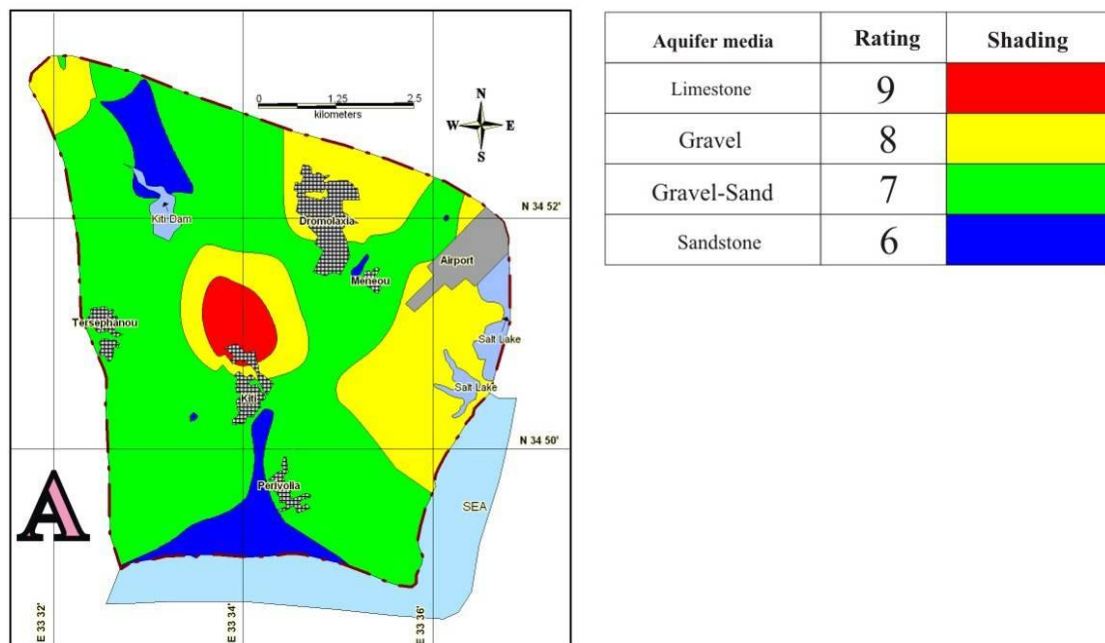
6.3. Υλικό υδροφορέα (A)

Γενικά τα αδρομερή υλικά εμφανίζουν μεγαλύτερη υδροπερατότητα και μικρή εξασθένηση των ρύπων. Με βάση τη λιθολογική περιγραφή, από τις λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας το υδροφόρο μέσο ταξινομήθηκε ως: ασβεστόλιθος (βαθμοί 9), χαλίκια (βαθμοί 8), άμμος και χαλίκια (βαθμοί 7) και ψαμμίτης (βαθμοί 6) (Πίνακας 5). Όσο πιο χονδρόκοκκο είναι το υλικό του υδροφορέα, τόσο μεγαλύτερη τιμή δόθηκε στη βαθμονόμηση, ενώ σε πιο λεπτόκοκκο υλικό του υδροφόρου δόθηκε μικρότερη τιμή. Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 3.

Πίνακας 5: Βαθμονόμηση του υλικού του υδροφορέα.

Υλικό του Υδροφορέα	Βαθμονόμηση
Ασβεστόλιθος	9
Χαλίκια	8
Άμμος και Χαλίκια	7
Ψαμμίτης	6

AQUIFER MEDIA



Σχήμα 20: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου A (Voudouris et al., 2009).

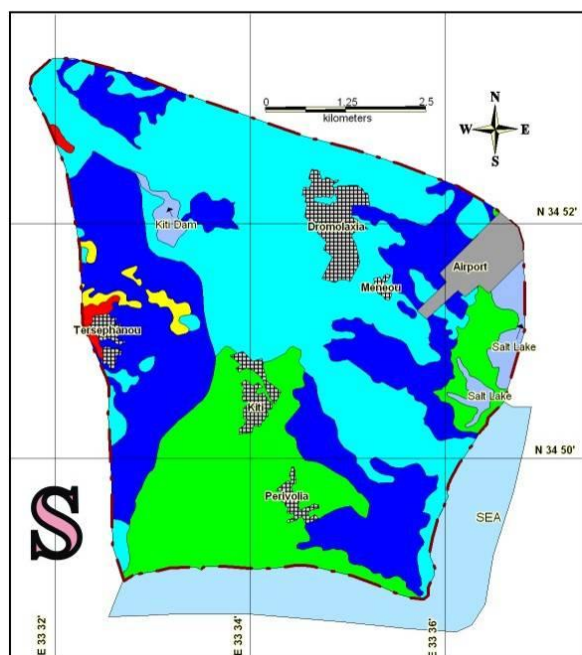
6.4. Έδαφος (S)

Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών, το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί και πολλές ουσίες αποδομούνται από μικροοργανισμούς. Παρουσία λεπτού υλικού μειώνει τη διήθηση και κατά συνέπεια και δυναμικό ρύπανσης. Με βάση την ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων, το έδαφος ταξινομήθηκε σε πέντε κλάσεις: λεπτόκοκκα (βαθμοί 4), μεσόκοκκα (βαθμοί 6), αδρόκοκκα (βαθμοί 8), λεπτό έδαφος(βαθμοί 9) και δεν υπάρχει έδαφος (βαθμοί 10) (Πίνακας 6). Στα λεπτόκοκκα υλικά δόθηκε μικρή τιμή καθώς το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ τα πιο αδρόκοκκα βαθμονομήθηκαν με μεγαλύτερη τιμή καθώς συμβάλουν σε μικρότερο βαθμό στην εξασθένιση των ρύπων. Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 2.

Πίνακας 6: Βαθμονόμηση του εδάφους.

Έδαφος	Βαθμονόμηση
Δεν υπάρχει έδαφος	10
Λεπτό έδαφος	9
Αδρόκοκκα υλικά	8
Μεσόκοκκα υλικά	6
Λεπτόκοκκα υλικά	4

Soil Media



Soil media	Rating	Shading
No Soil	10	Red
Thin	9	Yellow
Coarse textured	8	Green
Medium textured	6	Cyan
Fine textured	4	Blue

Σχήμα 21: Θεματικός χάρτης ταξινόμησης του εδάφους (Voudouris et al.,2009).

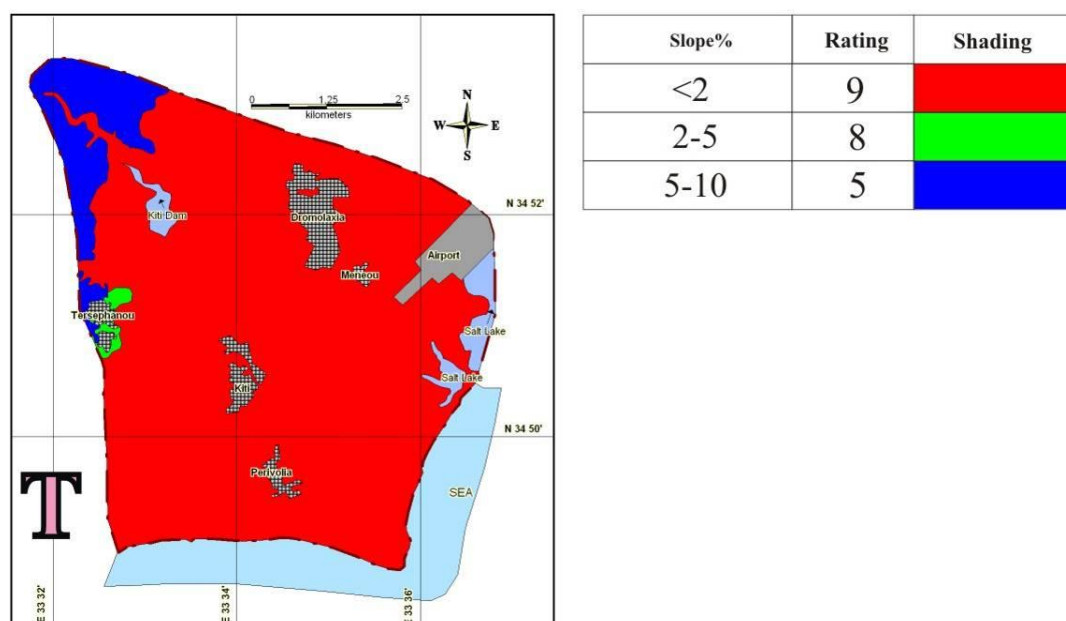
6.5. Κλίση αναγλύφου (T)

Οι μικρές κλίσεις που ευνοούν την κατείσδυση σχετίζονται με υψηλή τρωτότητα, ενώ οι μεγάλες κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή και σχετίζονται με μικρό δυναμικό ρύπανσης. Το ανάγλυφο της περιοχής του υδροφορέα του Κιτίου είναι ήπιο, με κλίση σχετικά χαμηλή (<2%), ενώ μια μικρή περιοχή στο βόρειο τμήμα του υδροφορέα φθάνει σχεδόν το 10% (Πίνακας 7). Ο καθορισμός των κλίσεων έγινε με την μέθοδο της τριγωνοποίησης του συστήματος ARC/INFO. Οι μικρές κλίσεις βαθμονομήθηκαν με υψηλή τιμή, ενώ οι μεγάλες κλίσεις με μικρή τιμή. Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 1.

Πίνακας 7: βαθμονόμηση της κλίσης

Κλίση (%)	Βαθμονόμηση
<2	9
2-5	8
5-10	5

TOPOGRAPHY



Σχήμα 22: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου T (Voudouris et al.,2009).

6.6. Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

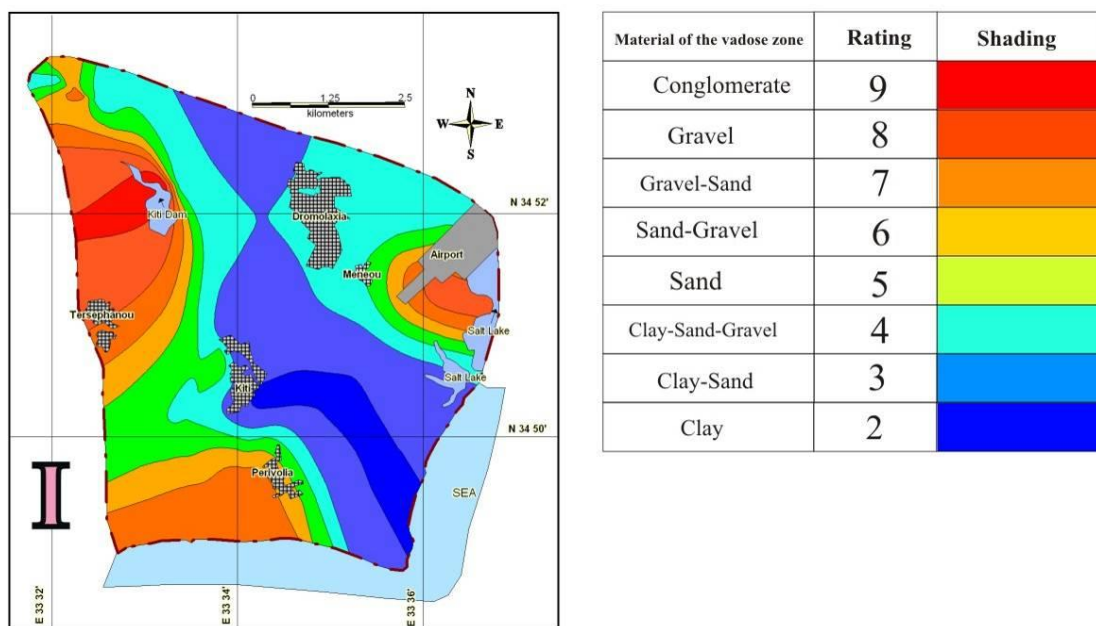
Η ακόρεστη ζώνη είναι η υπεδαφική ζώνη η οποία βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, η οποία είναι ακόρεστη σε νερό. Τα χαρακτηριστικά της καθορίζουν το δρόμο κίνησης και τη συγκέντρωση των ρύπων. Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω των διάφορων χημικών αντιδράσεων που γίνονται σ' αυτήν, π.χ. προσρόφηση και κατιοανταλλαγή, βιολογικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κ.α. Το μεγάλο πάχος της ακόρεστης ζώνης και η παρουσία αργιλικών υλικών συμβάλλουν στην μείωση του ρυπαντικού φορτίου.

Με βάση τα στοιχεία των λιθολογικών τομών, η ακόρεστη ζώνη αποτελείται από: κροκάλες (βαθμοί 9), χαλίκια (βαθμοί 8), χαλίκια και άμμος (βαθμοί 7), άμμος και χαλίκια (βαθμοί 6), άμμος (βαθμοί 5), άργιλος, άμμος και χαλίκια (βαθμοί 4), άργιλος και άμμος (βαθμοί 3), άργιλος (βαθμοί 2) (Πίνακας 8). Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 5.

Πίνακας 8: Βαθμονόμηση του υλικού της ακόρεστης ζώνης.

Υλικό της ακόρεστης ζώνης	Βαθμονόμηση
Κροκάλες	9
Χαλίκια	8
Χαλίκια - Άμμος	7
Άμμος - Χαλίκια	6
Άμμος	5
Άργιλος - Άμμος - Χαλίκια	4
Άργιλος - Άμμος	3
Άργιλος	2

IMPACT OF THE VADOSE ZONE



Σχήμα 23: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου I (Voudouris et al., 2009).

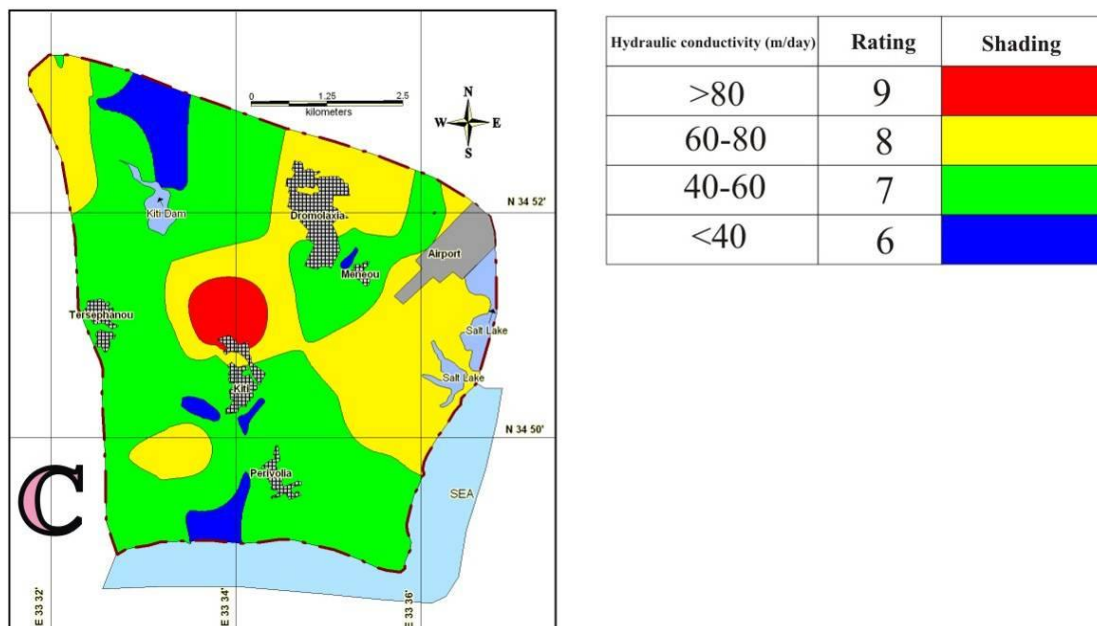
6.7. Υδραυλική Αγωγιμότητα (C)

Η υδραυλική αγωγιμότητα ελέγχει την ταχύτητα των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη. Η τιμή της καθορίζεται από τις ιδιότητες του υδροφορέα. Όσο αυξάνει η υδραυλική αγωγιμότητα, τόσο οι ρύποι κινούνται πιο γρήγορα και αυξάνουν την τρωτότητα. Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίστηκε από την αξιολόγηση των δοκιμαστικών αντλήσεων, που έχουν γίνει στο φράγμα. Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας τόσο μεγαλύτερη η τιμή βαθμονόμησης, ενώ όσο μικρότερος ο συντελεστής τόσο μικρότερη η τιμή της βαθμονόμησης. (Πίνακας 9) Ο συντελεστής υπολογίστηκε από τα δεδομένα δοκιμής της άντλησης και κυμαίνεται μεταξύ 2-80 μέτρα την ημέρα. Η βαρύτητα της παραμέτρου είναι ίση με 3.

Πίνακας 9: Βαθμονόμηση του συντελεστή Υδραυλικής Αγωγιμότητας.

Συντελεστής Υδραυλικής Αγωγιμότητας (μέτρα ανά ημέρα)	Βαθμονόμηση
>80	9
60-80	8
40-60	7
<40	6

HYDRAULIC CONDUCTIVITY (m/day)



Σχήμα 24: Θεματικός βαθμονομημένος χάρτης της παραμέτρου C (Voudouris et al., 2009).

6.8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές του δείκτη DRASTIC χωρίστηκαν σε τέσσερις κλάσεις όπως φαίνονται στο υπόμνημα του σχήματος 25. Οι τέσσερις περιοχές είναι: χαμηλή, μέση, υψηλή και πολύ υψηλή τρωτότητα.

Με βάση τις τιμές του δείκτη DRASTIC όπως προέκυψε από τη σχέση (1) της παραγράφου 2, κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας για τον υδροφορέα του Κιτίου. Οι υψηλές τιμές αντιπροσωπεύουν μεγάλο δυναμικό για ρύπανση του υδροφορέα ή υψηλή τρωτότητα.

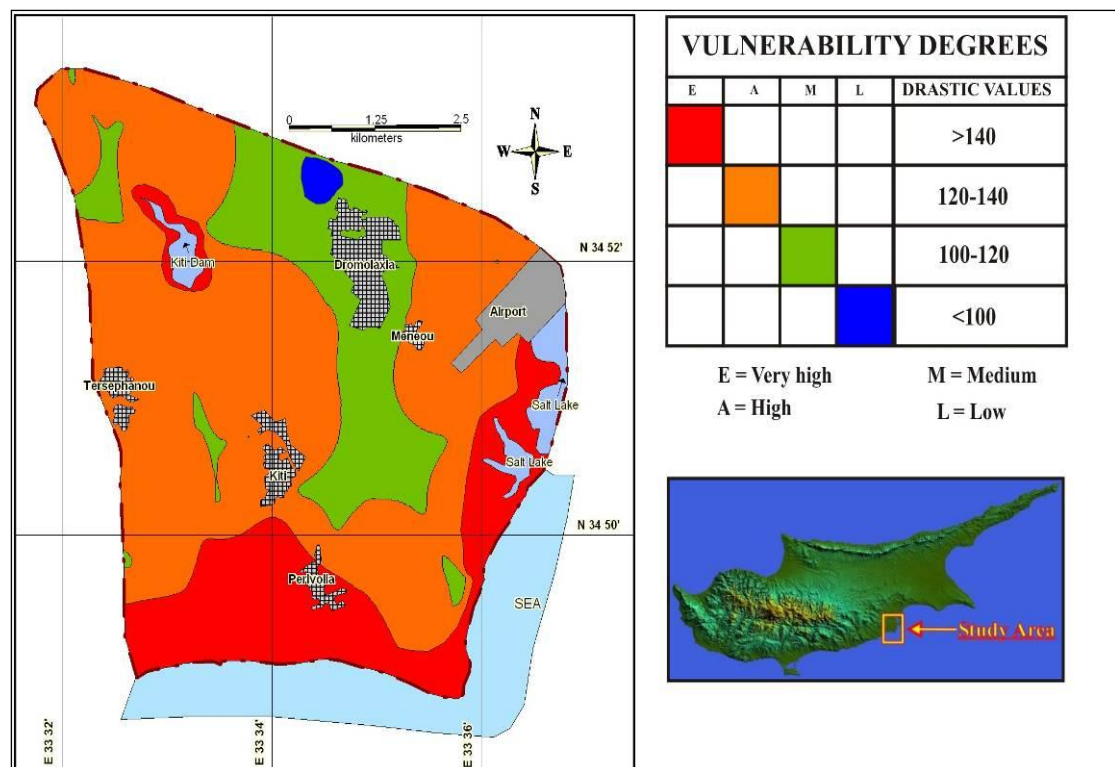
Με βάση το χάρτη τρωτότητας απέναντι στην εξωτερική ρύπανση που έγινε στο πλαίσιο ενός ευρωπαϊκού προγράμματος Interreg (Voudouris et al., 2009) προκύπτει ότι:

Υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (120-140) εμφανίζεται σε ένα μεγάλο μέρος της περιοχής, στο Βόρειο - κεντρικό τμήμα του υδροφορέα. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Για το λόγο αυτό απαιτείται η εφαρμογή μέτρων προστασίας της περιοχής αυτής από πιθανές πηγές ρύπανσης.

Ο τομέας πολύ υψηλής διακινδύνευσης (>140) καταλαμβάνει το Νοτιοανατολικό τμήμα του υδροφορέα.

Μέση και χαμηλή τρωτότητα εμφανίζεται στο Βόρειο και κεντρικό τμήμα κοντά στον οικισμό Δρομολαξιά. Στην περιοχή αυτή ο υδροφορέας έχει ακόρεστη ζώνη αργιλικής σύστασης με μεγαλύτερο πάχος, που προστατεύει τον υδροφορέα από τη ρύπανση.

Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι οι τιμές είναι σχετικές σε μία θέση και χαμηλό δυναμικό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ο υδροφορέας δεν κινδυνεύει από ρύπανση, αλλά είναι σχετικά λιγότερο ευάλωτος από άλλες θέσεις με υψηλό δείκτη DRASTIC.



Σχήμα 25: Χάρτης τρωτότητας στην εξωτερικής ρύπανσης της περιοχής του υδροφορέα Κιτίου (Voudouris et al., 2009).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την υδρογεωλογική μελέτη και την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στη ρύπανση προκύπτουν τα εξής:

- Η περιοχή του υδροφορέα Κιτίου αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Τρέμιθου, ΝΑ της Κύπρου.
- Το ανάγλυφο είναι πεδινό με κλίσεις <2%.
- Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 342,5 mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 19,6°C .
- Η λεκάνη καλύπτεται γεωλογικά από κρητίδες, μάργες, κερατόλιθους, Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα και αλλουβιακές αποθέσεις.
- Ο υδροφορέας Κιτίου αναπτύσσεται σε ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους. Είναι ελεύθερης ροής με κορεσμένο πάχος 2-3 m.
- Από την εφαρμογή της μεθόδου DRASTIC προέκυψε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης είναι υψηλής διακινδύνευσης στην ρύπανση (δείκτης DRASTIC 120-140).
- Μέση και χαμηλή τρωτότητα εμφανίζεται στο Βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

Χρειάζεται να ληφθούν μέτρα, όπως περιορισμός των αντλήσεων, τεχνητός εμπλουτισμός για την προστασία του υδροφορέα από τη νιτρορύπανση και τη θαλάσσια διείσδυση.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- Βουδούρης, Κ., (2009): Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Καζάκης, Ν., (2008): Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση. Εφαρμογή στη λεκάνη Φλώρινας. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Κωνσταντίνου, Κ., (2004): Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Λάρνακας – Βασιλικών, Κύπρου. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Μουντράκης, Δ., (2010): Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press.
- Σούλιος, Γ., (1986): Γενική Υδρογεωλογία. Εκδόσεις University Studio Press.
- Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων-Περιβάλλοντος (2003): Study of the protection of waters caused by nitrate for agricultural sources according to the Directive 91/676/EEC HSI and Geoinvest Ltd.
- Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων-Περιβάλλοντος (2004): Re-evaluation of groundwater resources of Cyprus.
- Φωτιάδης, Χ., Τολίκας, Π., Σιδηρόπουλος, Ε. (2006): Εμπλουτισμός υδροφορέα Κιτίου με επεξεργασμένα λύματα του αποχετευτικού συστήματος Λάρνακας. Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr J.H., Petty, R.J., Hackett, G. (1987): DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency, Report 600/2-85/018, Washington.
- Iakovides et al. (Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων-Περιβάλλοντος) (1982): Southern Conveyor Project. Volume 3: Groundwater Resources.
- Kazakis, N., Voudouris, K., (2011): Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece. Advances in the Research of aquatic environment, (Eds: Lambrakis, N., Stournaras, G., Katsanou, K.), Springer. Proc. of 9th International Conference on Hydrogeology, Kalavrita, October 5-8, 2011. Vol. 2, 359-367.

- Milnes, E., Renard, P. (2004): The problem of salt recycling and seawater intrusion in coastal irrigated plains: an example from the Kiti aquifer, S. Cyprus. *Journal of Hydrology* 288, 327-343.
- Schmidt, Avramides et al. (1998): Groundwater model investigation. Technical Cooperation Project. Hannover.
- UNESCO (1998): Summary and recommendations of the Int. Conf. on World Water Resources at the beginning of the 21st century 'Water: a looming crisis'. Paris, France.
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M., Kareklas, K. (2009): Groundwater vulnerability assessment in Kiti aquifer, Cyprus. *Proc. of 7th International Conference "Water Resources Conservation and Risk Reduction under Climatic Instability. European Water Resources Association (EWRA). 25-27 June, Limassol.*
- Voudouris, K., Manos, B., Adamidou, K., Patrikaki, O., Trikilidou, E., Goutzios, B., Arabatzis, S., Papadopoulou, O., Polemio, M. (2007): Development and utilization of vulnerability maps for the monitoring and management of groundwater resources in the ARCHIMED areas: Presentation of an INTERREG III B Project. *Proc. of International Scientific Conference "Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection (SGEM 2007)". 11-15 June, Varna, Bulgaria.*

ΔΙΑΙΚΤΥΟ

<http://www.gsekkas.com/B%20GRADE%20-%20Material%20Taught/Cyprus%20Geomorphological%20Evolution.htm>
<http://talefkara.blogspot.gr/2012/05/blog-post.html>