

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας



ΧΡΙΣΤΟΥ ΚΑΤΕΡΙΝΑ

A.E.M: 4083

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΟΚΚΙΝΟΧΩΡΙΩΝ ΚΥΠΡΟΥ-ΣΤΗΝ
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΟΠΕΤΡΙ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Επ. Καθ. Βουδούρης Κων/νος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΠΡΟ	5
2.1. Γενικά.....	5
2.2. Γεωτεκτονική Εξέλιξη Κύπρου.....	6
2.3. Γεωλογία.....	8
2.4. Μετεωρολογικά στοιχεία	10
2.5. Γεωμορφολογία της Κύπρου	12
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	13
3.1. Περιοχή μελέτης.....	13
3.2. Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας.....	15
3.3. Υφή του εδάφους	17
3.4. Μετεωρολογικά δεδομένα - Κλίμα	17
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ	24
4.1. Γενικά.....	24
4.2. Γεωμετρία του υδροφορέα	24
4.3. Πιεζομετρία	27
4.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα Κοκκινοχωρίων	33
4.5. Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας.....	35
4.6. Ποιότητα υπόγειου νερού.....	37
4.7. Πιέσεις στο υπόγειο νερό	44
5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	47
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους βοήθησαν στην αποπεράτωση της.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο, επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής, ο οποίος μου υπέδειξε το θέμα της και είχε την επίβλεψη και την επιστημονική καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της.

Ευχαριστώ επίσης το τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου και το τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων για την παροχή δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Μαθιουδάκη Μαρία για την πολύτιμη βοήθειά της στη συλλογή πληροφοριών για το θέμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι ένας μοναδικός φυσικός πόρος, τόσο γιατί είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου, όσο και εξαιτίας του γεγονότος ότι, σε μακροχρόνια κλίμακα, η συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού σε κάθε περιοχή, είναι κατά βάση σταθερή. Το νερό είναι ο πιο σημαντικός κρίκος όλων των βιοχημικών κύκλων, οι οποίοι μεταφέρουν υλικά μεταξύ των μεγαλύτερων γήινων δεξαμενών (ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, πεδόσφαιρα και υδρόσφαιρα). Εκτός από την ικανότητα του να μεταφέρει διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά και τον ουσιώδη ρόλο του στη βιόσφαιρα, το νερό μπορεί να θεωρηθεί ένας κινούμενος διαλύτης, ένας καταλύτης και ένα αντιδραστήριο για τις περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις και διαδικασίες.

Το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης των «πεπερασμένων» υδατικών πόρων, όπως και οποιουδήποτε άλλου φυσικού πόρου, στηρίζεται στη τεχνοκρατική αντίληψη, σύμφωνα με την οποία σημασία έχει η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος και συνεπώς κάθε φυσικός πόρος αποτελεί μια από τις συνιστώσες της ανάπτυξης αυτής. Το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας εφαρμογής του μοντέλου αυτού εκδηλώνεται τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες περιοχές, με την ανεπάρκεια του νερού η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητας του.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά εξαιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Οι περισσότερες περιπτώσεις ρύπανσης αναπτύχθηκαν βαθμιαία μέχρις ότου έγιναν φανερές και μετρήσιμες. Χρειάστηκε πολύς χρόνος μέχρι να φτάσει ο άνθρωπος στην αναγνώριση των προβλημάτων μόλυνσης και ακόμα περισσότερος για να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και οι έλεγχοι. Στον 21^ο αιώνα και ταυτόχρονα με τη μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη, εμφανίστηκε στα μεγάλα ποτάμια της Ευρώπης το πρόβλημα της σοβαρής εποχιακής μείωσης του οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτωση των ποταμών με

αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης και προκάλεσε γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους. Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα διαφορετικής μορφής, έκτασης και έντασης ποιοτικά προβλήματα (ευτροφισμός, συσσώρευση βαρέων μετάλλων και οργανικών μικρορύπων, οξίνιση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών).

Η ρύπανση και η μόλυνση υδατικών πόρων απασχολεί επί δεκαετίες τη Διεθνή Κοινότητα. Η ρύπανση του νερού από μικροβιακά παθογόνα είναι το κύριο πρόβλημα στις περισσότερες υπανάπτυκτες και αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ η χημική ρύπανση του νερού έχει ανακύψει σαν εξίσου σοβαρή απειλή σε όλες τις χώρες με γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη.

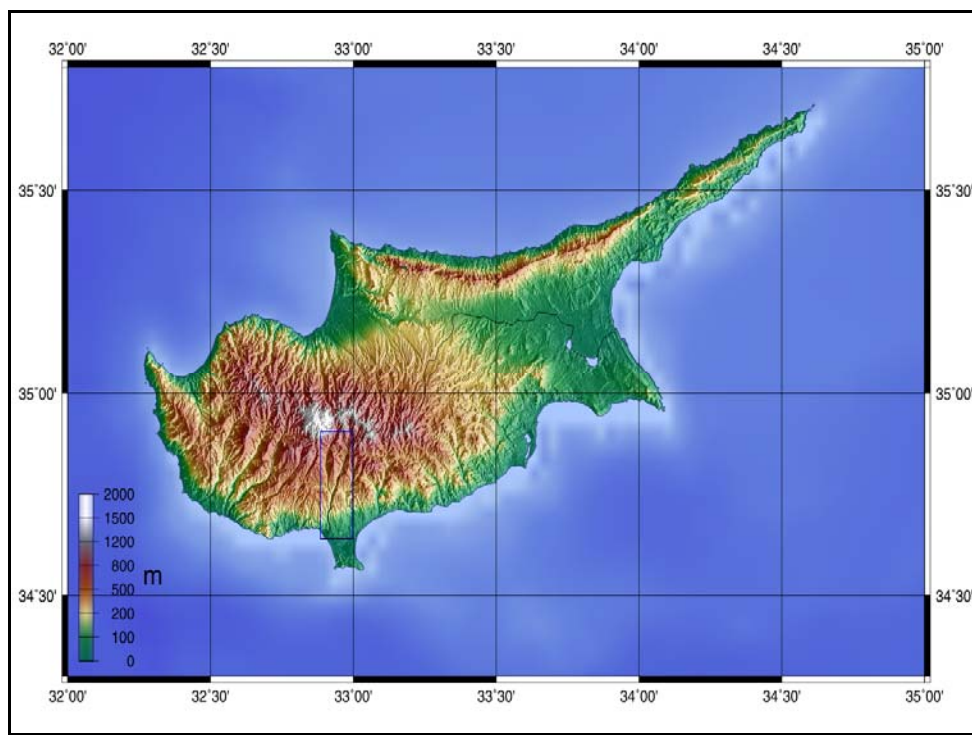
Αυτοί οι κίνδυνοι για τον άνθρωπο και το Περιβάλλον αναγνωρίστηκαν από τον Ο.Η.Ε. και το 1975, στα πλαίσια του Προγράμματος του για το Περιβάλλον (UNEP), ιδρύθηκε το Παγκόσμιο Σύστημα Επιμελητείας (GEMS). Οι εθνικές δράσεις στο τομέα του Περιβάλλοντος ενισχύθηκαν και ενώθηκαν κάτω από την ομπρέλα του GEMS. Πολλά διεθνή προγράμματα ελέγχου εφαρμόστηκαν από την UNEP, τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO), τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), τον Οργανισμό Εκπαίδευσης, Επιστήμης και Πολιτισμού (UNESCO) και άλλους διεθνείς και διακυβερνητικούς οργανισμούς.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΠΡΟ

2.1. Γενικά

Το νησί της Κύπρου βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της ανατολικής Μεσογείου, μεταξύ των παραλλήλων 34° 33' και 35° 42' Β και των μεσημβρινών 32° 16' και 34° 35' Α. Καταλαμβάνει έκταση 9.251 km² και είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Έχει μέγιστο μήκος 225 km (απόσταση μεταξύ των ακρωτηρίων Δρέπανο και

Απόστολος Ανδρέας) και πλάτος 94 km (απόσταση μεταξύ των ακρωτηρίων Κορμακίτη και Γάτας). Το συνολικό μήκος των ακτών της είναι 782 km (Χάρτης 2.1.1).

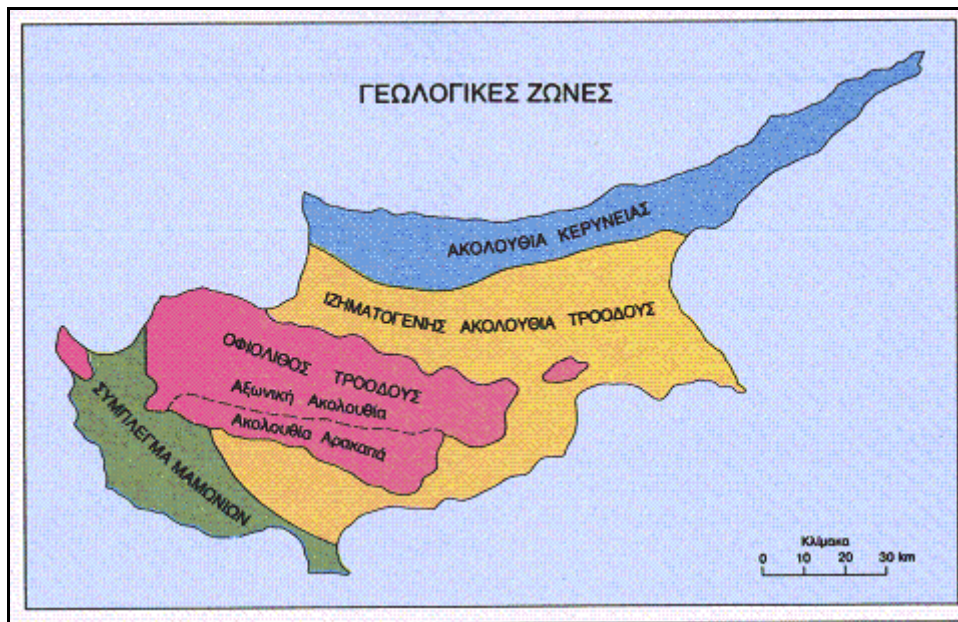


Χάρτης 2.1.1: Γεωμορφολογικός χάρτης Κύπρου.

2.2. Γεωτεκτονική Εξέλιξη Κύπρου

Πριν από περίπου 20 εκατομμύρια χρόνια εμφανίστηκε η πρώτη ξηρά, στην περιοχή του Τροόδους. Κατά το μέσο Μειόκαινο, ένα μικρό νησί αναδύθηκε από την θάλασσα, εκεί όπου σήμερα βρίσκεται ο Όλυμπος. Η ανυψωτική κίνηση συνεχίστηκε και κατά το Πλειστόκαινο, το οποίο αρχίζει πριν 1,8 εκατομμύρια χρόνια περίπου. Κατά την περίοδο αυτή, λόγω της ισχυρής ανοδικής κίνησης του Τροόδους με κέντρο τον Όλυμπο, το Τρόοδος ανέρχεται στα σημερινά επίπεδα, δηλαδή 2.000 m περίπου, από την επιφάνεια της θάλασσας και υφίσταται έντονη διάβρωση. Τα προϊόντα της διάβρωσης, αρχίζουν να καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της Μεσαορίας και των παρυφών του Τροόδους. Πολυάριθμες υποθέσεις και θεωρίες έχουν δημοσιευθεί για τη τεκτονική εξέλιξη της ανατολικής Μεσογείου.

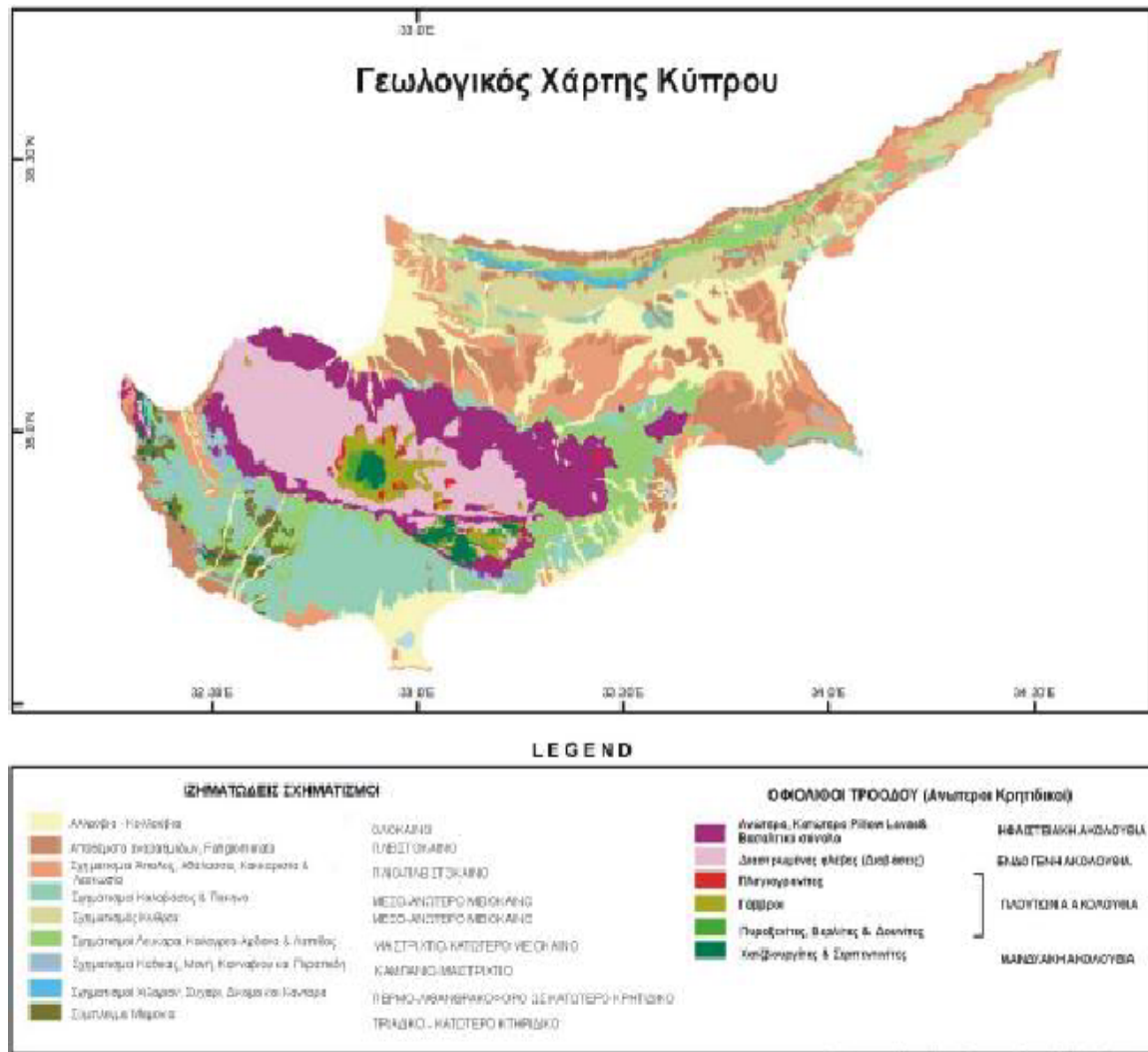
Η πιο ευρέως αποδεκτή θεωρία για την τεκτονική εξέλιξη της Κύπρου αναφέρει ότι η συγκλίνουσα κίνηση της αφρικανικής και της ευρασιατικής πλάκας, διατάραξε τη διάταξη μικροπλάκων που κινήθηκαν βορειότερα. Οι μικροπλάκες αυτές είχαν δημιουργηθεί από τον κατατεμαχισμό του βόρειου περιθωρίου της Αφρικής. Μία σύγκρουση κάποιας μικροπλάκας με τον σχηματισθέντα ωκεάνιο φλοιό του Τροόδους και ταυτόχρονα η συνεχιζόμενη πίεση της αφρικανικής πλάκας, ανάγκασαν το Τρόοδος, μέρος του οποίου βρισκόταν ακόμη κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε μία σταδιακή περιστροφή 90° (A.H.F. Roberson, N.H.Woodcock, 1979), σε φορά αντίθετη των δεικτών του ωρολογίου. Η περιστροφή αυτή, σε συνδυασμό με την πίεση της αφρικανικής πλάκας, επηρέασε κάποια μικροπλάκα και δημιούργησε έντονες τεκτονικές διαταραχές βόρεια έως βορειοανατολικά του Τροόδους. Επακόλουθο, ήταν η μεταμόρφωση (ανακρυστάλλωση), η πτύχωση και ο θρυμματισμός εναποθέντων ασβεστόλιθων και άλλων πετρωμάτων που ανήλθαν και αναδύθηκαν από τη θάλασσα, σχηματίζοντας έτσι την οροσειρά του Πενταδακτύλου κατά το Ανώτερο Μειόκαινο. Έτσι, πριν από 15 εκατομμύρια χρόνια περίπου, έχουμε το σχηματισμό δύο νησιών, του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου. Ο θαλάσσιος χώρος μεταξύ των δύο νησιών, δηλαδή η σημερινή κεντρική πεδιάδα της Κύπρου, η Μεσαορία, καθώς και οι υπόλοιπες περιοχές γύρω από τα δύο νησάκια, καλύπτονταν από αβαθή μέχρι και βαθιά νερά. Ο βυθός της θάλασσας στις περιοχές αυτές, δεχόταν υλικά προερχόμενα από διάβρωση τόσο των πετρωμάτων του Τροόδους, όσο και του Πενταδακτύλου. Σιγά - σιγά δημιουργήθηκαν λιμνοθάλασσες που αποκόπηκαν από την υπόλοιπη θάλασσα, ενώ συνεχιζόταν και η ανυψωτική κίνηση μέχρι και το Πλειστόκαινο. Η τελική διαμόρφωση της Κύπρου ήταν αποτέλεσμα αφενός της διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας κατά τις περιόδους των παγετώνων του Πλειστοκαίνου και αφετέρου της διαφορικής ανύψωσης του νησιού.



Χάρτης 2.3.1: Γεωλογικές ζώνες της Κύπρου.

Στη γεωλογία της Κύπρου χαρακτηριστικό είναι το Οφιολιθικό σύστημα της, το οποίο αποτελείται από πυριγενή Οφιολιθικά πετρώματα, ηλικίας 90 εκατομμυρίων χρόνων. Το Οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους θεωρείται ότι αποτελεί μέρος ενός αρχαίου ωκεάνιου φλοιού, του ωκεανού Τηθύ και του ανώτερου μανδύα της γης.(S. Jowitt). Οι οφιολίθοι του Τροόδους περιβάλλονται από ασβεστολιθικές αποθέσεις, κυρίως μάργες και κρητίδες με παρεμβολές από ασβεστολιθικές φλέβες και γύψο. Η Οροσειρά του Πενταδακτύλου στον Βορρά αποτελείται από συμπαγείς ασβεστολίθους, δολομίτες και μάρμαρα με ασυμφωνίες από μάργες και κρητίδες. Κλαστικές αποθέσεις μεγάλου βάθους καλύπτουν αυτούς τους σχηματισμούς. Αυτοί οι σχηματισμοί καλύπτονται πάλι από σχηματισμούς φλύσχη μεγάλου βάθους προς το Βορρά και προς το Νότο.

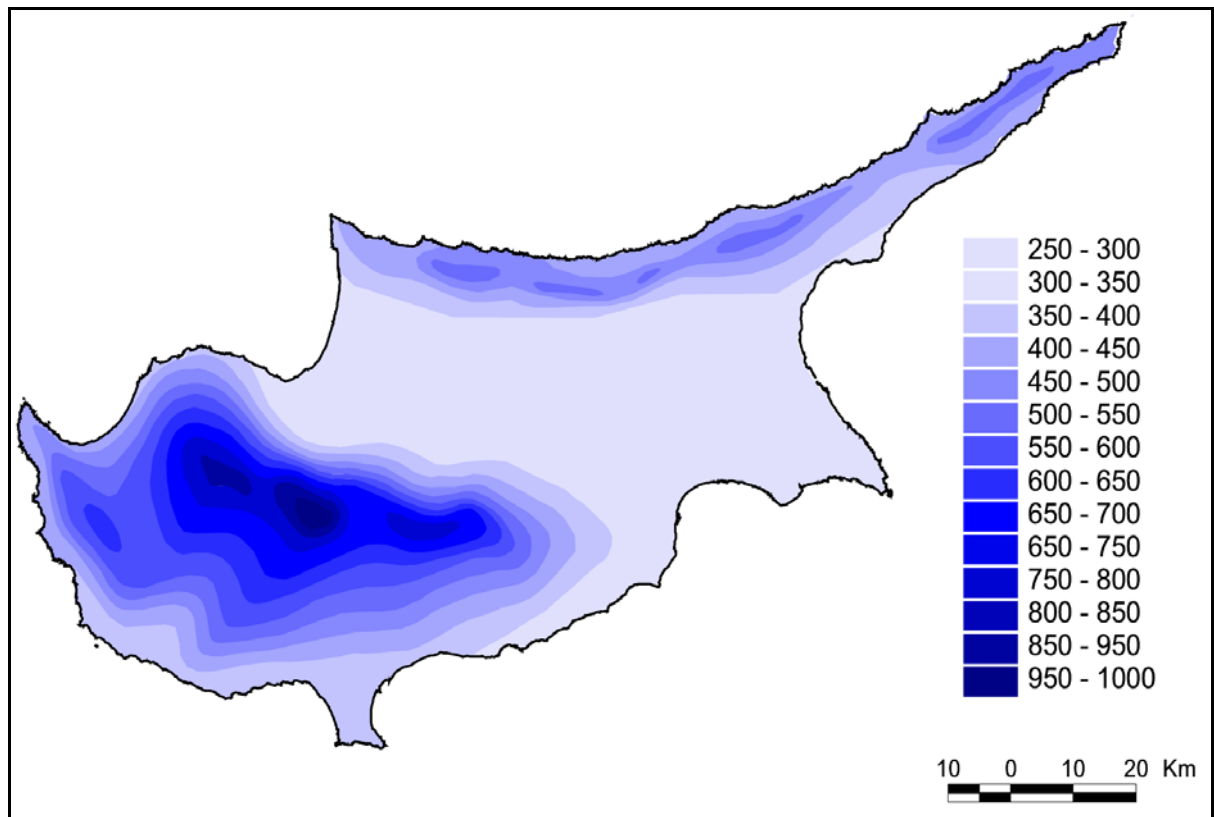
Τα πετρώματα στην περιοχή της Πάφου αποτελούνται από ιζηματογενή και οφιολιθικά πετρώματα, γηραιότερα από αυτά στο Τρόδος, όπως σερπεντινίτες, λάβες, κερατόλιθοι, αμφιβολίτες, μαργαϊκοί σχιστόλιθοι, άργιλο και μάρμαρα. Η πεδιάδα Μεσαορία ανάμεσα στα όρη Τρόδος και Πενταδάκτυλος και το παράκτιο πεδίο αποτελούνται από Τεταρτογενείς Αποθέσεις (άμμο, κροκάλες, ιλύ, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και μάργες κ.τ.λ.).(χάρτης 2.3.2).



Χάρτης 2.3.2: Γεωλογικός χάρτης Κύπρου.

2.4. Μετεωρολογικά στοιχεία

Το κλίμα της Κύπρου αναφέρεται ως μεσογειακό, χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και από ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Οι βροχοπτώσεις στο νησί ποικίλουν από χρόνο σε χρόνο αλλά ως μέση ετήσια θεωρούμε αυτή των 500 mm. Πληροφοριακά αναφέρουμε τις βροχοπτώσεις στην πεδιάδα της Μεσαορίας που κυμαίνονται μεταξύ 200 - 300mm, ενώ στις ορεινές περιοχές του Τροόδους μεταξύ 600 - 1100mm. Εδώ φαίνεται και η μεγάλη σημασία της οροσειράς του Τροόδους που χωρίς αυτήν η Κύπρος θα ήταν μία ημιέρημος με βροχοπτώση μόλις 200 - 250mm (βλέπε βροχομετρικό χάρτη).



Χάρτης 2.4.1: Βροχομετρικός χάρτης Κύπρου.

Ο όγκος νερού σε ένα χρόνο με μέση ετήσια βροχόπτωση (500mm), είναι περίπου 4.600 εκατομμύρια m^3 . Απ' αυτά, τα 3.550 εκατομμύρια m^3 εξατμίζονται, ενώ 600 εκατομμύρια m^3 ρέουν ως επιφανειακό νερό. Τα υπόλοιπα 450 εκατομμύρια m^3 εισχωρούν στη γη διαμέσου των πόρων και των ρωγμών των πετρωμάτων και δημιουργούν έτσι τα υπόγεια νερά (απ' αυτά, τα 30 εκατομμύρια περίπου επανέρχονται στην επιφάνεια της γης μέσω πηγών).

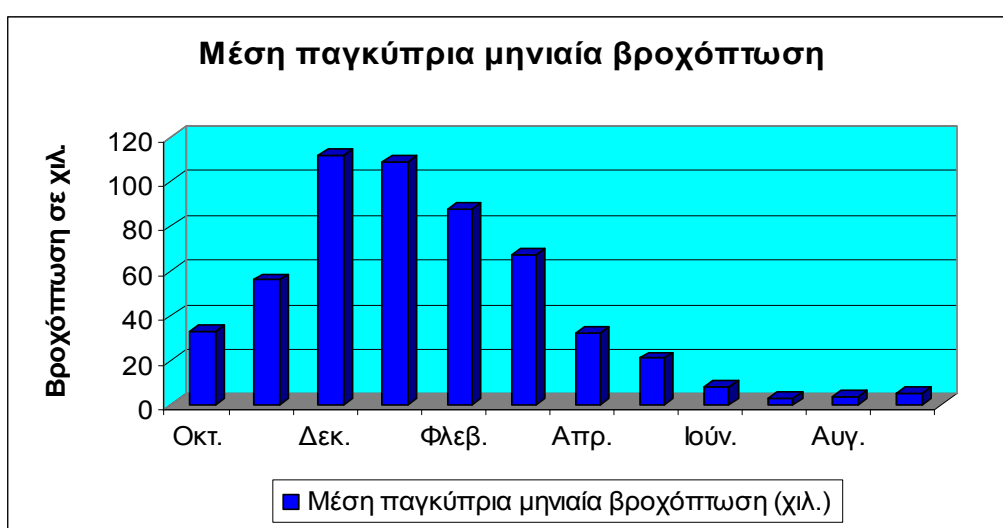
Από τα 600 εκατομμύρια m^3 του επιφανειακού νερού, ποσότητα 190 εκατομμυρίων m^3 αποθηκεύεται στα φράγματα και στις λιμνοδεξαμενές (συνολική τους χωρητικότητα 300 εκατομμύρια m^3), και η ίδια ποσότητα χρησιμοποιείται κάθε χρόνο για άρδευση και ύδρευση.

Κατά την διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης όπου οι περισσότεροι χείμαρροι έχουν επιφανειακή ροή, 150 εκατομμύρια m^3 αρδεύουν

παραποτάμια χωράφια. Τέλος, μια ποσότητα 260 εκατομμυρίων m^3 επιφανειακού νερού ρέει στη θάλασσα.

Από τα υδροφόρα στρώματα αντλούνται κάθε χρόνο περίπου 250 εκατομμύρια m^3 υπογείου νερού, ενώ μία ποσότητα 70 εκατομμυρίων m^3 ρέει υπόγεια μέσω των υδροφόρων στρωμάτων και χάνεται στη θάλασσα.

Όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία αποτελούν το υδατικό ισοζύγιο της Κύπρου σε ένα χρόνο με μέση ετήσια βροχόπτωση τα 500 mm.



Γράφημα 2.4.1: Γράφημα μέσης παγκύπριας βροχόπτωσης.

2.5. Γεωμορφολογία της Κύπρου

Το 50 % περίπου της συνολικής έκτασης της Κύπρου είναι πεδινό με υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 200 m, ενώ οι ημιορεινές εκτάσεις με υψόμετρο 200 – 400 m καλύπτουν το 23 % της έκτασης και οι ορεινές εκτάσεις με υψόμετρο πάνω από 400 m το 27 %. Μορφολογικά η Κύπρος μπορεί να υποδιαιρεθεί στις πιο κάτω περιοχές:

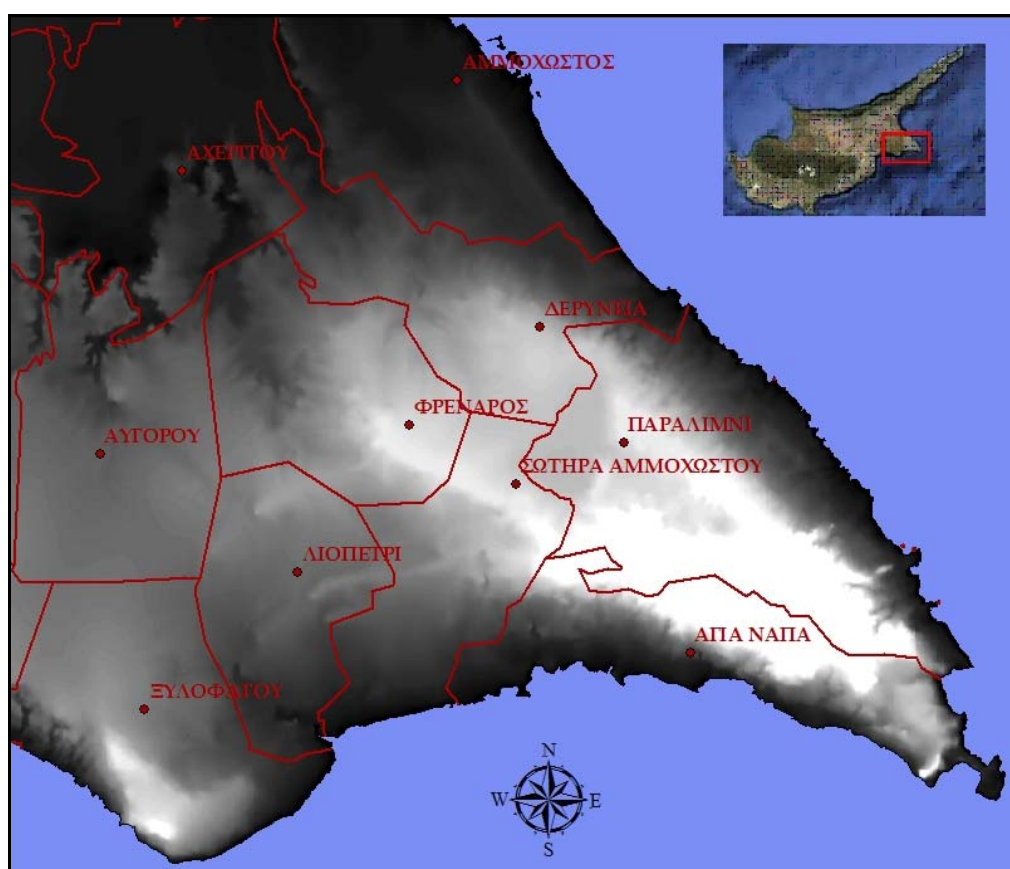
- Το ορεινό σύμπλεγμα Τρόοδος
- Τη βόρεια οροσειρά του Πενταδακτύλου
- Την κεντρική πεδιάδα
- Τη λοφώδη περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τρόοδος
- Τις παράκτιες πεδιάδες

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης ορίζεται από τα όρια των Δήμων που εξυπηρετούνται σήμερα και των Κοινοτήτων που θα συνδεθούν στο προσεχές μέλλον με την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Αγ. Νάπας - Παραλιμνίου, ως εξής:

Αγ. Νάπα, Παραλίμνι, Δερύνεια, Λιόπετρί , Αγ. Γεώργιος - Αχερίτου, Σωτήρα και Φρέναρος.

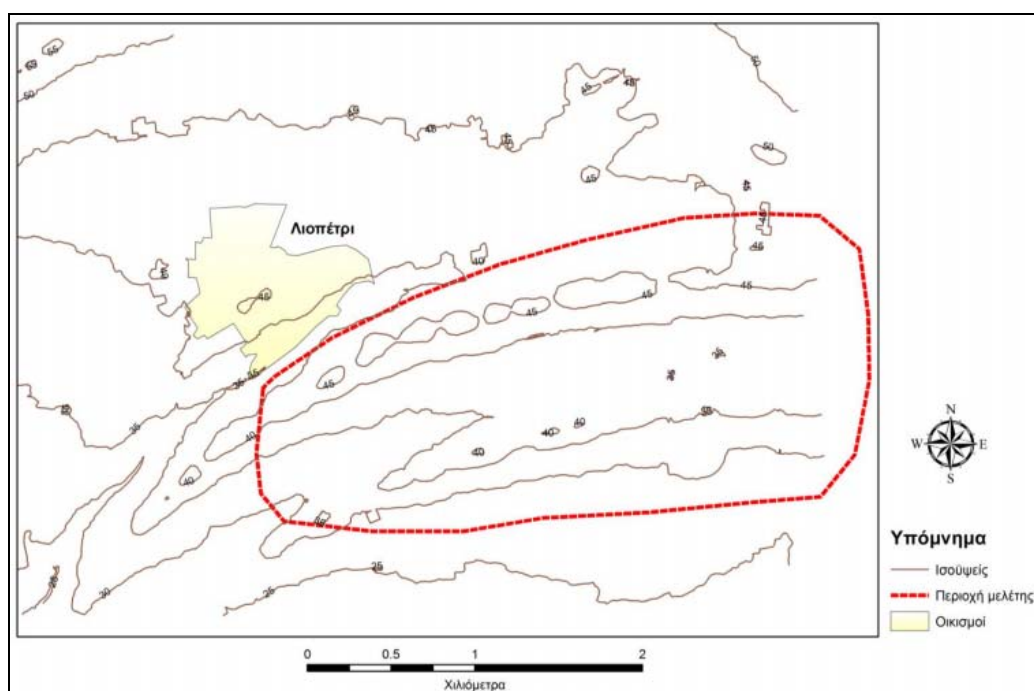


Χάρτης 3.1.1: Χάρτης που απεικονίζει τα όρια κοινοτήτων και τις κοινότητες στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (Μαθιουδάκη Μ.,2009).

Η περιοχή του σχεδιαζόμενου εμπλουτισμού (περιοχή έρευνας) αποτελεί τμήμα της ΝΑ/κής Μεσαορίας και βρίσκεται Νότια του οικισμού Λιοπέτρί και στα Ανατολικά επεκτείνεται μέχρι τον οικισμό Σωτήρα. Η απόσταση της περιοχής έρευνας από την πλησιέστερη θάλασσα των νότιων

ακτών ανέρχεται περίπου σε 5 km. Η περιοχή έρευνας παρουσιάζεται στο χάρτη 3.1.1 και στο χάρτη 3.1.2 αποικονίζεται η τοπογραφία της περιοχής.

Η έκταση της περιοχής έρευνας είναι 6 km², εκ των οποίων τα 3 km² είναι κρατική γη. Η περιοχή έχει ήπιο ανάγλυφο με υψόμετρο έως 50 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Από γεωλογική άποψη, καλύπτεται από δευτερογενή ασβεστόλιθο (καυκάλα) ή από αργίλους (κοκκινοχώματα) πλούσιες σε οξείδια του σιδήρου.



Χάρτης 3.1.2: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής και τα όρια της περιοχής έρευνας.

Στην περιοχή διακρίνονται δύο ημιλοφώδη τμήματα με διεύθυνση Α - Δ, στα οποία απουσιάζει ή έχει μερική ανάπτυξη το εδαφικό κάλυμμα. Τα τμήματα αυτά καλύπτονται από καυκάλα και είναι κυρίως κρατική γη. Μεταξύ των δύο ανωτέρων τμημάτων, καθώς και οι περιοχές Βόρεια και Νότια από αυτά, καλύπτονται από εδαφικό κάλυμμα με πάχος που υπερβαίνει το 1 m. Στις εκτάσεις αυτές που ανήκουν σε ιδιώτες - γεωργούς εφαρμόζεται εντατική γεωργία με καλλιέργεια κυρίως πατατών.

Στην ευρύτερη περιοχή αυτήν αναπτύσσεται ο υδροφορέας των Κοκκινοχωρίων με συνολική έκταση 295 km². Η περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλό ύψος βροχόπτωσης (300 mm για τη δεκαετία 1990 - 2000).

Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στα Κοκκινοχώρια ανέρχονται σε 48.690 δεκάρια, από τα οποία τα 39.490 δεκάρια καλλιεργούνται με ετήσιες καλλιέργειες (κυρίως πατάτες σε έκταση 35.500 δεκάρια περίπου).

3.2. Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας

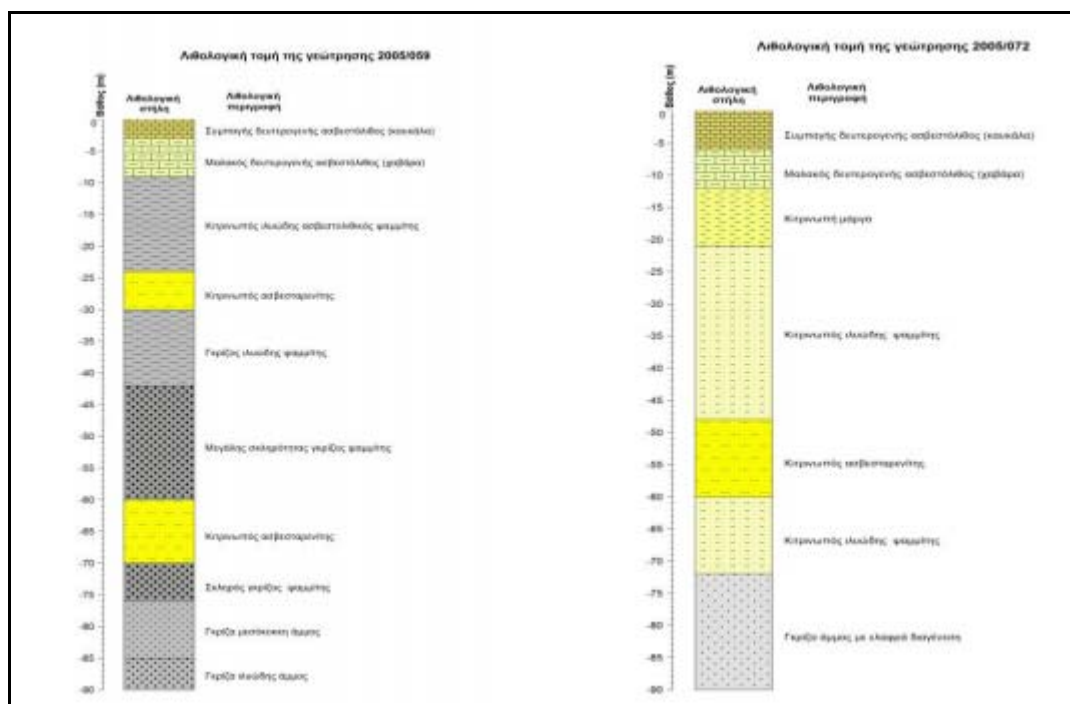
Η περιοχή έρευνας καλύπτεται από αποθέσεις του σχηματισμού Λευκωσίας, πλειοκαινικής ηλικίας. Ο σχηματισμός Λευκωσίας με συνολικό πάχος που υπερβαίνει τα 800 m, αποτελείται από απολιθωματοφόρες μάργες και λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ασβεστιτικούς ψαμμίτες (Κωνσταντίνου, 2004).

Στο Σχήμα 3.2.1 παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές λιθολογικές τομές γεωτρήσεων της προτεινόμενης περιοχής εμπλουτισμού. Στο Παράρτημα παρουσιάζονται όλες οι λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν στην περιοχή από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης. Ο χάρτης 3.2.1 αποικονίζει ένα απλοποιημένο γεωλογικό χάρτη της περιοχής.

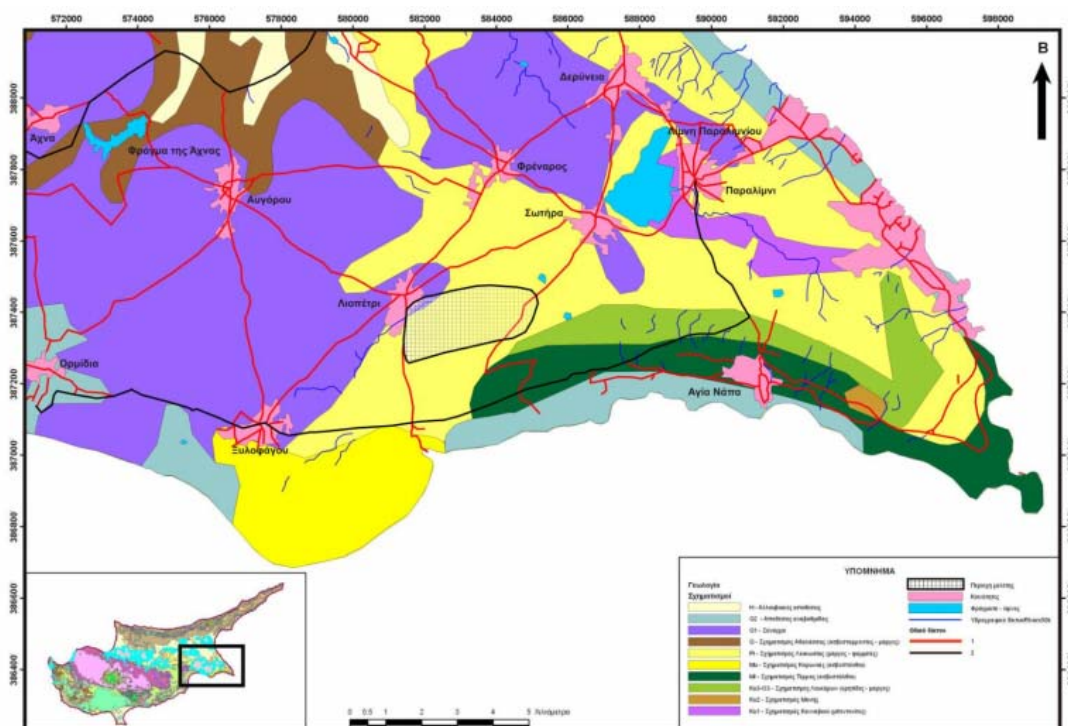
Το ψαμμιτικό υλικό είναι οφιολιθικής προέλευσης. Επίσης, η σύσταση των μαργών υποδηλώνει ότι η κύρια πηγή τροφοδοσίας ήταν ο διαβάσης του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους. Τα κλαστικά υλικά είχαν πηγή προέλευσης τα ανθρακικά πετρώματα της οροσειράς της Κερύνειας.

Από την επεξεργασία των λιθολογικών τομών των ερευνητικών γεωτρήσεων που ανόρυξε το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, προκύπτει πως το ανώτερο τμήμα της περιοχής έρευνας καλύπτεται από συμπαγή δευτερογενή ασβεστόλιθο, γνωστό με την τοπική ονομασία καυκάλα. Κάτω από τον ασβεστόλιθο αυτόν απαντάται ο μαλακός δευτερογενής ασβεστόλιθος, γνωστός με το όνομα χαβάρα. Το μέσο πάχος των ανωτέρω ασβεστολίθων ανέρχεται σε 6 m. Η παρουσία της καυκάλας παρεμποδίζει την

κατείσδυση του νερού σε βαθύτερα στρώματα. Ο ψαμμίτης και οι αμμούχες φάσεις εμφανίζονται συνήθως σε βάθος 50 m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 3.2.1: Λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων 059/2005 και 072/2005/ (στοιχεία από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης).



Χάρτης 3.2.1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Κωνσταντίνου & Ηρακλέους, 2006).

3.3. Υφή του εδάφους

Εκτός των περιοχών που καλύπτονται από την καυκάλα, το έδαφος αποτελείται από:

➤ Επιφανειακό εδαφικό ορίζοντα A

Έχει μια αργιλοπηλώδη έως αργιλώδη υφή (clay loam to clay texture) με ποσοστό συμμετοχής της αργίλου που κυμαίνεται από 35 - 40%. Το ασβεστίτικο υλικό κυμαίνεται από 0 - 3% και η περιεκτικότητα του οργανικού υλικού είναι χαμηλή και δεν υπερβαίνει το 1%. Γενικά χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικές συνθήκες αερισμού.

➤ Υπεδαφικό ορίζοντα B

Έχει πιο κόκκινο χρώμα και είναι βαρύτερος από τον ορίζοντα A. Η υφή του είναι αργιλώδης με το ποσοστό συμμετοχής της αργίλου να κυμαίνεται από 50 - 60%. Όταν διαβραχεί αποκτά πλαστική μορφή. Χαρακτηρίζεται από μικρότερο πορώδες σε σχέση με τον ορίζοντα A.

Η περιεκτικότητα του οργανικού και του ασβεστίτικού υλικού κυμαίνεται από 0 - 3%. Κατά τόπους παρατηρείται συγκέντρωση ασβεστίτικού υλικού στα κατώτερα τμήματα του ορίζοντα B, σχηματίζοντας τον ορίζοντα B_(Ca), ο οποίος είναι πλούσιος σε ασβεστίτικο υλικό.

3.4. Μετεωρολογικά δεδομένα - Κλίμα

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ημίξηρες συνθήκες με μέση ετήσια βροχόπτωση 330 mm. Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 19,6 °C. Από τα στοιχεία του Πίν. 3.4.1, 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 (Σχ. 3.4.1). Κατά τη διάρκεια πολλών ημερών

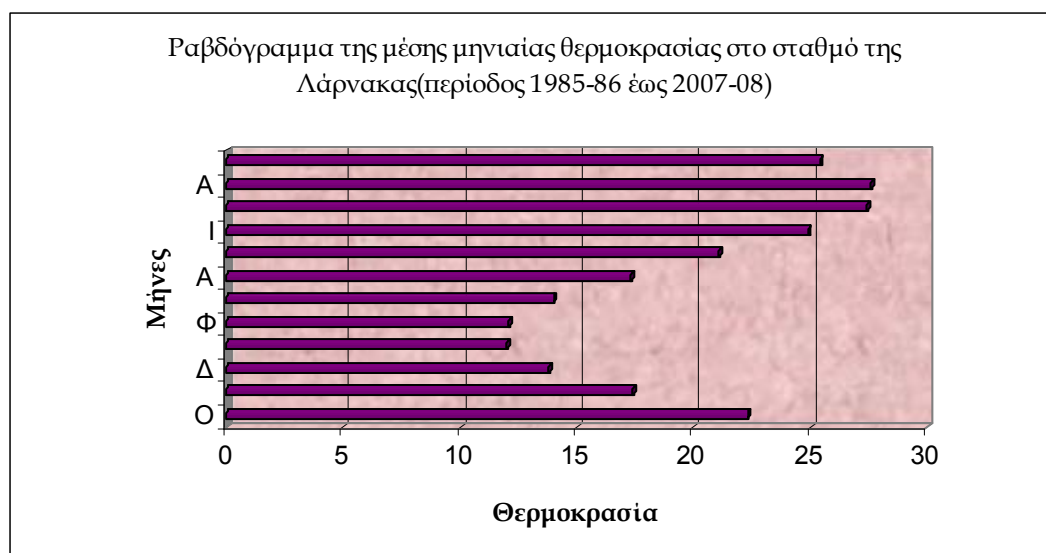
στους θερινούς μήνες καταγράφονται μέγιστες θερμοκρασίες 40 °C (συνθήκες καύσωνα).

Ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος (12 °C) και ακολουθεί ο Φεβρουάριος (12,1 °C).

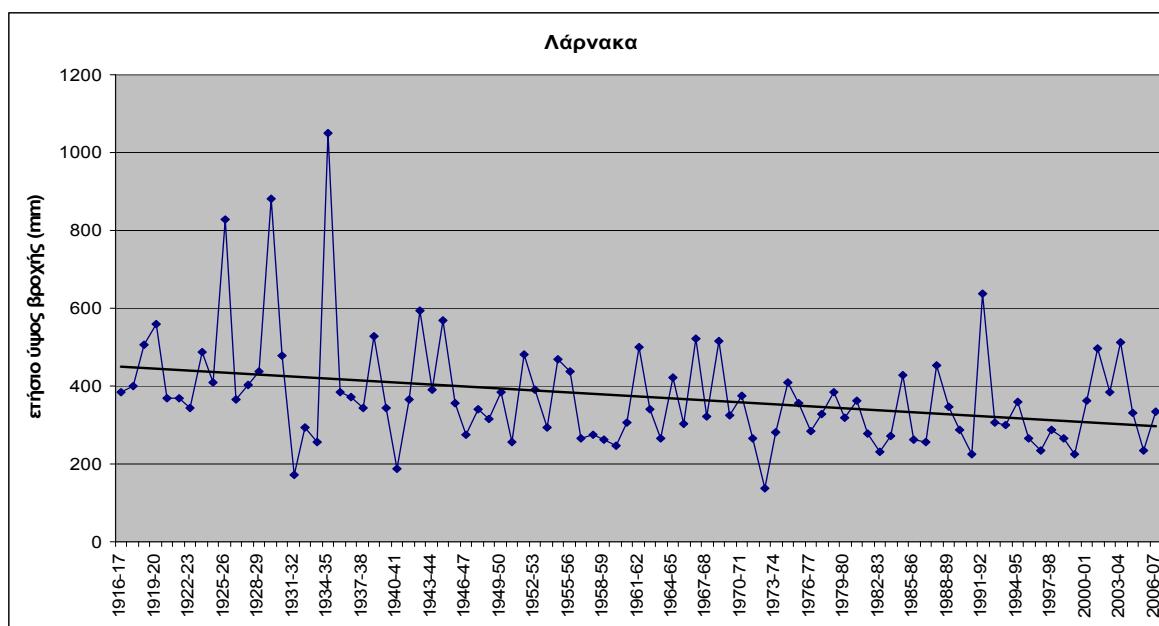
Ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος (27,6 °C) και ακολουθεί ο Ιούλιος (27,4 °C).

Πίνακας 3.4.1: 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 3.4.1: Ραβδόγραμμα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στο σταθμό της Λάρνακας (περίοδος 1985-86 έως 2007-08).



Σχήμα 3.4.2: Διακόμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στη Λάρνακα (περίοδος 1916-17 έως 2007-08).

Πίνακας 3.4.2: Μέση μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό Λάρνακας (περίοδος 1916-17 έως 2007-08).

Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	□	Έτος
22,3	43,2	92,0	83,4	55,0	37,0	18,0	11,1	3,6	0,3	0,7	4,5	373,8

Πίνακας 3.4.3: Μηνιαία βροχόπτωση (mm) στους σταθμούς Σωτήρα, Αγ.Νάπα, Παραλίμνι, Φρέναρος, Ξυλοφάγου (υδρολογικά έτη 2006-2007).

2006-2007	Σωτήρα	Αγ. Νάπα	Παραλίμνι	Φρέναρος	Ξυλοφάγου
Ο	35.7	23,6	42.2	44.4	38.5
Ν	11	10,6	7	3.1	4.8
Δ	10.4	30,5	4.8	2.9	7.7
Ι	33.1	28,5	18.8	24.6	30.2
Φ	141.1	136,6	151.5	140.1	134.2
Μ	26.8	16,3	36.7	58.2	19.1
Α	11.4	9,4	22	8.1	17
Μ	52	52,9	53.8	52.2	65.9
Ι	0	0	0	0	0
Ι	0	0	0	0	0
Α	0	0	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0

Πίνακας 3.4.4.: Μηνιαία βροχόπτωση (mm) στους σταθμούς Σωτήρα, Αγ.Νάπα, Παραλίμνι, Φρέναρος, Ξυλοφάγου (υδρολογικά έτη 2007-2008).

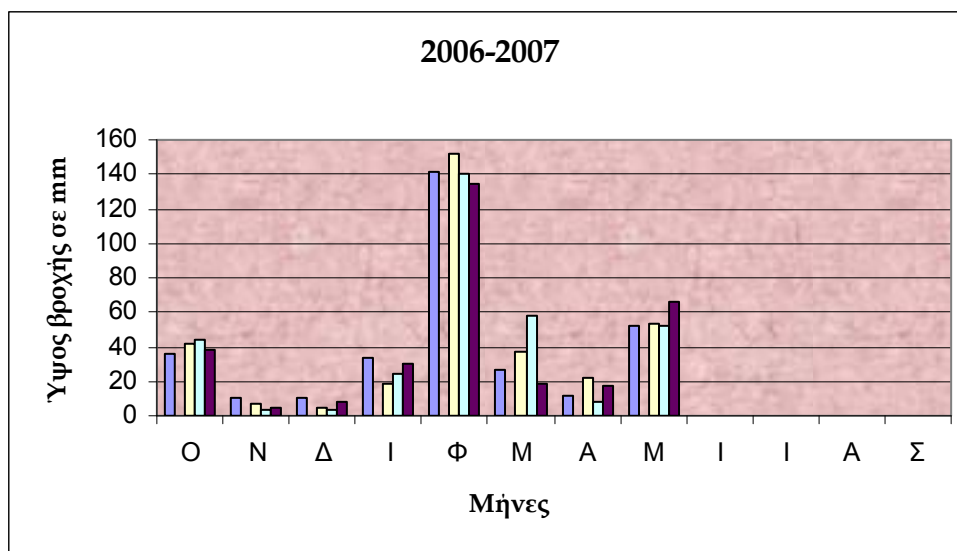
2007-2008	Σωτήρα	Αγ.Νάπα	Παραλίμνι	Φρέναρος	Ξυλοφάγου
Ο	14	0	12.2	1.2	0.4
Ν	16.2	28.4	21.3	22.6	23.5
Δ	68.5	52.1	82.4	85.6	72.2
Ι	39.2	37.2	32.7	34.9	31.9
Φ	9	2.3	12.1	11.6	11.2
Μ	3.5	1.8	4.7	0	3.8
Α	4.5	0.2	2.4	6.5	2.4
Μ	6.9	11.8	5.7	7.5	16.8
Ι	0	0	0	0	0
Ι	0	0	0	0	0
Α	0	0	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0

Πίνακας 3.4.5: Ετήσιο ύψος βροχής σε mm στους σταθμούς Σωτήρα, Αγ.Νάπα, Παραλίμνι, Φρέναρος, Ξυλοφάγου (υδρολογικά έτη 2006-07 και 2007-08).

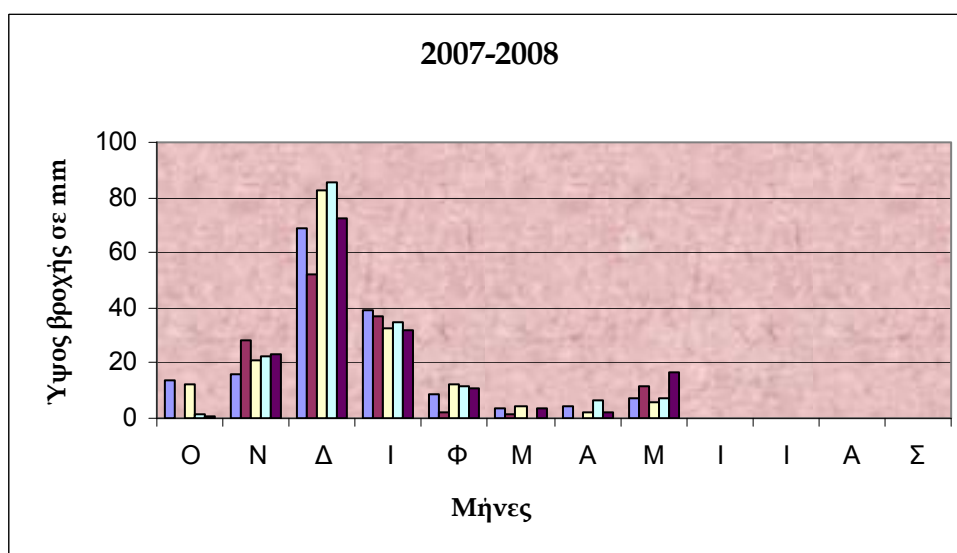
Έτος	Σωτήρα	Αγ.Νάπα	Παραλίμνι	Φρέναρος	Ξυλοφάγου
2006-07	322	308	337	334	317
2007-08	162	144	174	170	162

Από το διάγραμμα του Σχ. 3.4.2, 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.

Στους Πίνακες 3.4.3 και 3.4.4 παρουσιάζονται οι μηνιαίες βροχοπτώσεις σε πέντε σταθμούς της ευρύτερης περιοχής (Σωτήρα, Αγ. Νάπα, Παραλίμνι, Φρέναρος, Ξυλοφάγου) για την περίοδο των δύο τελευταίων υδρολογικών ετών και στα Σχήματα 3.4.3 και 3.4.4 τα ιστογράμματα της μηνιαίας βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 2006 - 07 και 2007 - 08 στους ανωτέρω σταθμούς. Το ιστόγραμμα της μέσης μηνιαίας τιμής βροχόπτωσης του σταθμού της Λάρνακας φαίνεται στο Σχήμα 3.4.5.



Σχήμα 3.4.3: Διακόμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης την περίοδο 2006 - 2007.



Σχήμα 3.4.4: Διακόμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης την περίοδο 2007 - 2008.

Από την εξέταση των ανωτέρω Πινάκων καθώς και των γραφικών παραστάσεων προκύπτουν τα εξής:

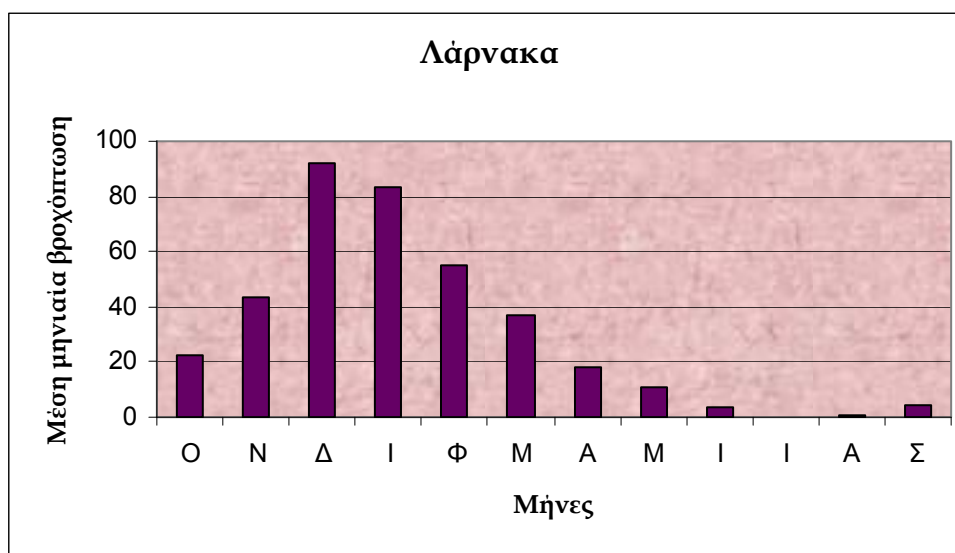
α) Με βάση τα στοιχεία του σταθμού της Λάρνακας με μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων, το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό παρουσιάζεται κατά το μήνα Δεκέμβριο (24,6%), ενώ εξίσου σημαντικά ποσοστά εμφανίζονται και κατά τους μήνες Ιανουάριο (22,3%) και Φεβρουάριο (14,7%). Στους άλλους

σταθμούς που είναι πιο κοντά στην περιοχή μελέτης με βάση τα δεδομένα των δύο τελευταίων υδρολογικών ετών προκύπτει ότι, ο βροχερότερος μήνας ήταν ο Φεβρουάριος (ακολουθεί ο Μάιος) το υδρολογικό έτος 2006 - 07 και ο Δεκέμβριος το υδρολογικό έτος 2007 - 08 (ακολουθεί ο Ιανουάριος).

β) Παρόλο τα χαμηλά ετήσια ύψη βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή, καταγράφονται ραγδαίες βροχοπτώσεις με ύψος βροχόπτωσης 24-ωρης διάρκειας που ανέρχεται σε 200 mm (σταθμός Φρέναρος, έτος 1988). Επίσης τον Φεβρουάριο του 2007 καταγράφηκαν μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις 70,5 mm (σταθμός Σωτήρα), 84 mm (σταθμός Αγ. Νάπας), 68,6 mm (σταθμός Φρέναρος) και 62 mm (σταθμός Ξυλοφάγου).

γ) Κατά τον χειμώνα η περιοχή έρευνας δέχεται κατά μέσο όρο 61,6% των κατακρημνισμάτων, ενώ αντίθετα το καλοκαίρι το ποσοστό βροχόπτωσης σχεδόν μηδενίζεται (1,2%). Το φθινόπωρο το ποσοστό ανέρχεται σε 19,6% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης και την άνοιξη σε 17,6%.

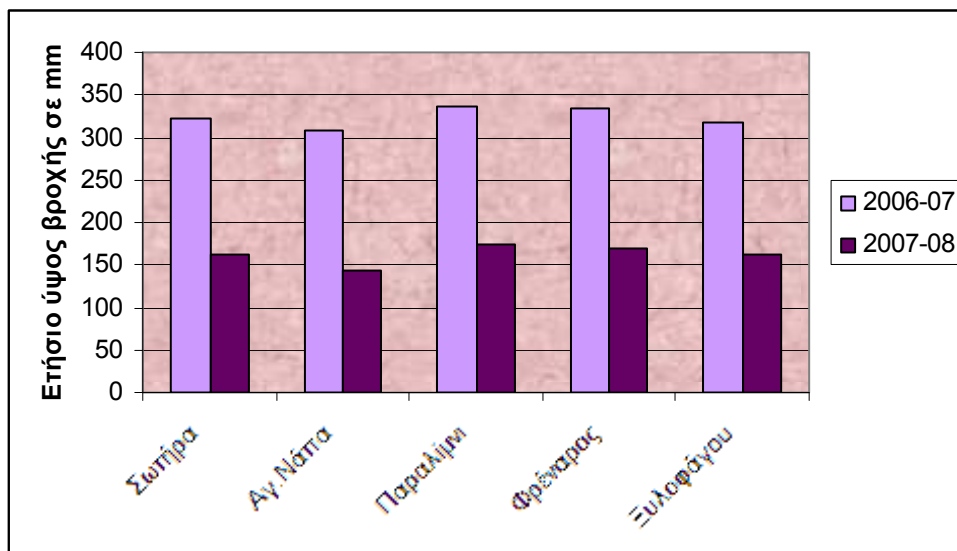
δ) Παρατηρείται ότι οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με συνήθως μηδενική βροχόπτωση.



Σχήμα 3.4.5: Ραβδόγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Λάρνακα (περίοδος 1916-17 έως 2007-08).

ε) Παρουσιάζεται ισχυρή ξηρασία κατά το υδρολογικό έτος 2007/08, όπου καταγράφεται μείωση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης σε σχέση με το

προηγούμενο έτος 2006/07 που ανέρχεται σε 50%. Αυτό είχε ως συνέπεια τη μειωμένη επιφανειακή απορροή και τη μείωση της εισροής στους ταμιευτήρες, καθώς και τον μειωμένο φυσικό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.

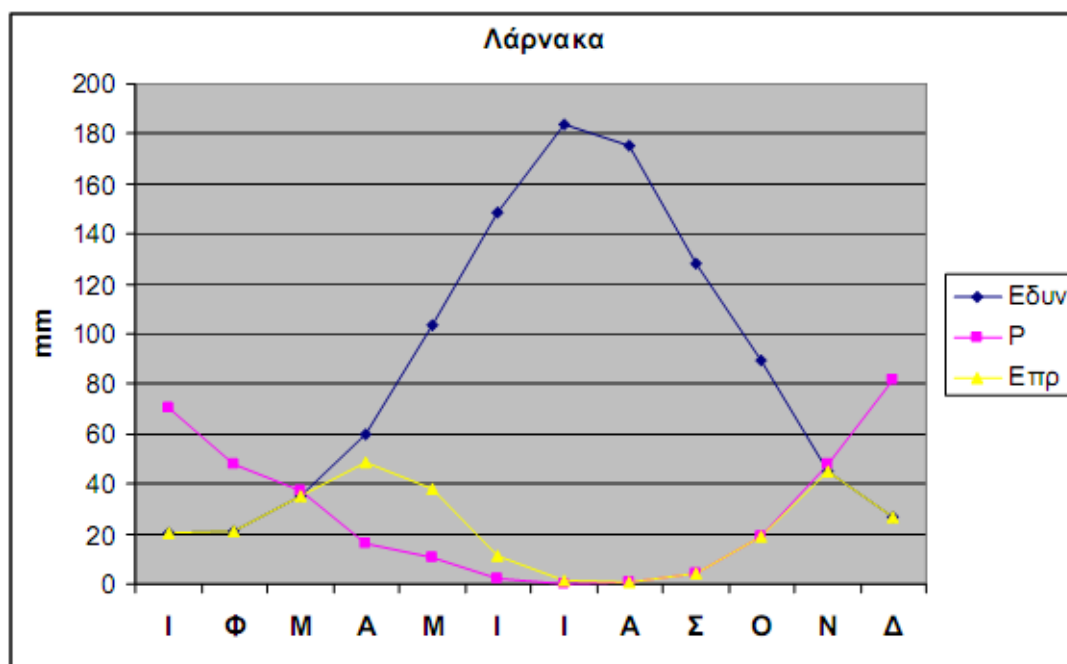


Σχήμα 3.4.6: Ετήσιο ύψος βροχής σε mm στους σταθμούς Σωτήρα, Αγ.Νάπα, Παραλίμνι, Φρέναρος, Ξυλοφάγου (υδρολογικά έτη 2006-07 και 2007-08).

ζ) Καταγράφεται μια πτωτική τάση της ετήσιας βροχόπτωσης, όπως προκύπτει από την ευθεία τάσης στη χρονοσειρά του σταθμού Λάρνακας (Σχήμα3.4.2.).

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.

Στο Σχήμα 3.4.7 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 ότι πλεόνασμα νερού υπάρχει από Ιανουάριο έως Μάρτιο. Εξάτμιση με δαπάνη της υγρασίας του εδάφους γίνεται το διάστημα Απριλίου - Ιουνίου, έλλειμμα νερού καταγράφεται από Ιούλιο έως Νοέμβριο και αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας γίνεται τον Δεκέμβριο.



Σχήμα3.4.7: Πορεία μέσου ισοζυγίου νερού στο σταθμό Λάρνακας

(Εδυν=δυναμική εξατμισοδιαπνοή, P=βροχόπτωση, Επρ=πραγματική εξατμισοδιαπνοή).

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

4.1. Γενικά

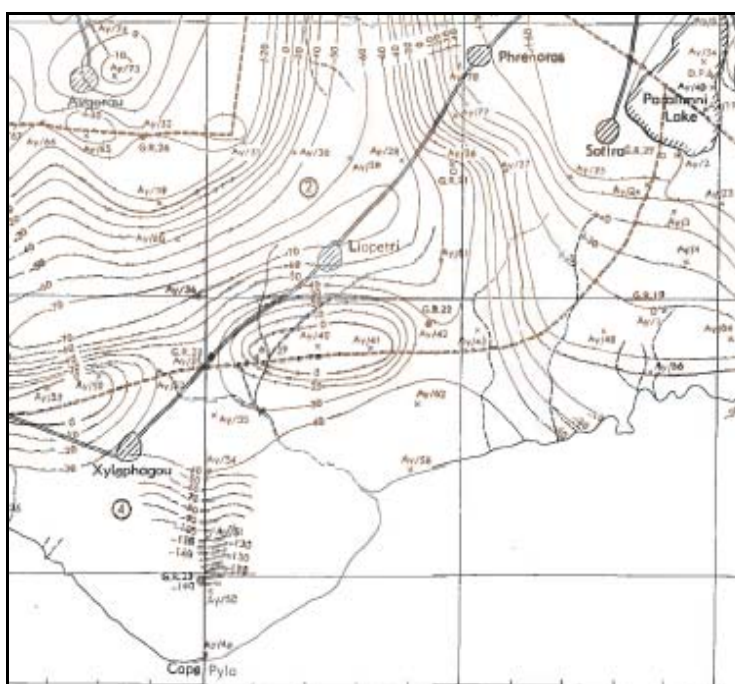
Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας και κυρίως στους ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους αναπτύσσεται ο υδροφορέας των Κοκκινοχωρίων (CY_1, σύμφωνα με την κατάταξη του ΤΑΥ), με συνολική έκταση 295 km². Η μαργαϊκή ακολουθία Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας και οι μάργες του Ανώτερου Μειοκαίνου, όπου ο υδροφορέας λεπταίνει, αποτελούν τη βάση του υδροφορέα. Το υπόβαθρο έχει ανώμαλη τοπογραφία με εναλλαγές βυθισμάτων στα οποία ο υδροφορέας έχει μεγάλο πάχος και υβωμάτων, όπου ο υδροφορέας έχει μικρό πάχος.

4.2. Γεωμετρία του υδροφορέα

Το μέσο πάχος του υδροφορέα ανέρχεται σε 80 m και το μέγιστο σε 120 m. Στην προτεινόμενη περιοχή εμπλουτισμού παρά το Λιοπέτρι το βάθος του αδιαπέρατου μαργαϊκού υποβάθρου κυμαίνεται από - 25 έως - 40 m από την επιφάνεια θάλασσας (α.ε.θ.). Στο Σχήμα 4.2.1 επιβεβαιώνονται τα ανωτέρω

από μελέτη της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Εθνών (1982). Λόγω της παρουσίας στεγανών σχηματισμών στην επιφάνεια, κατά τόπους απουσιάζει ο φρεάτιος υδροφορέας και διαμορφώνονται υπό πίεση υδροφορίες.

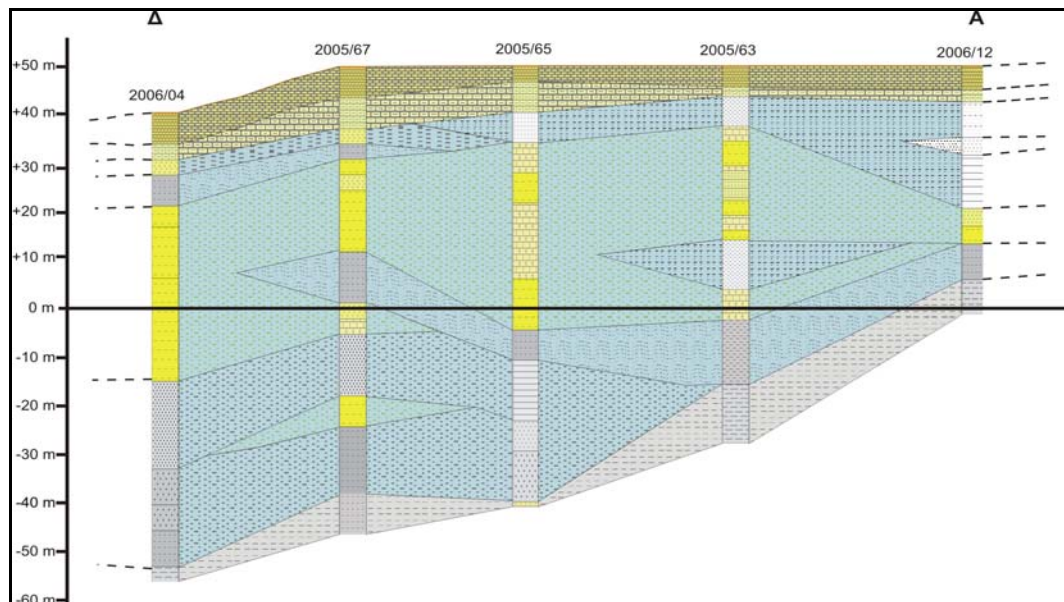
Στην περιοχή έρευνας, το μέσο πάχος της ακόρεστης ζώνης, κάτω από το επίπεδο της θάλασσας είναι 25 m, ενώ το μέσο πάχος των πετρωμάτων της ακόρεστης ζώνης, τα οποία βρίσκονται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι 50 m.



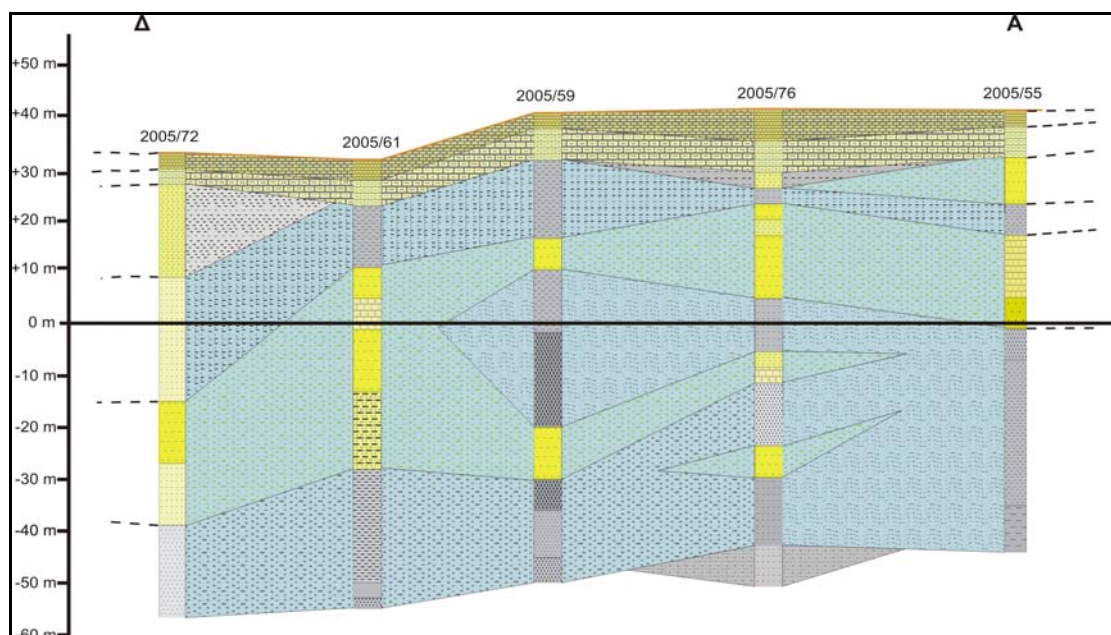
Σχήμα 4.2.1: Κατανομή της βάσης του υδροφορέα σε m επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 1982).

Στα Σχήματα 4.2.2 και 4.2.3 παρουσιάζεται η λιθολογική συσχέτιση (διαγράμματα Fence) με βάση τις τομές των γεωτρήσεων. Από τις υδρογεωλογικές αυτές τομές προκύπτει ότι στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας ο υδροφορέας έχει μικρότερο πάχος. Το μαργαϊκό υπόβαθρο εμφανίζεται στο Βόρειο ύψωμα της περιοχής έρευνας σε βάθος 88 m από επιφάνεια εδάφους (α.ε.ε.) (γεώτρηση 2006/004) και σε βάθος 36 m α.ε.ε. (γεώτρηση 2006/012). Στο Νότιο ύψωμα της περιοχής έρευνας, το μαργαϊκό υπόβαθρο εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα του και συγκεκριμένα στη γεώτρηση 2005/076 σε βάθος 83 m α.ε.ε., ενώ στο ανατολικό και δυτικό του

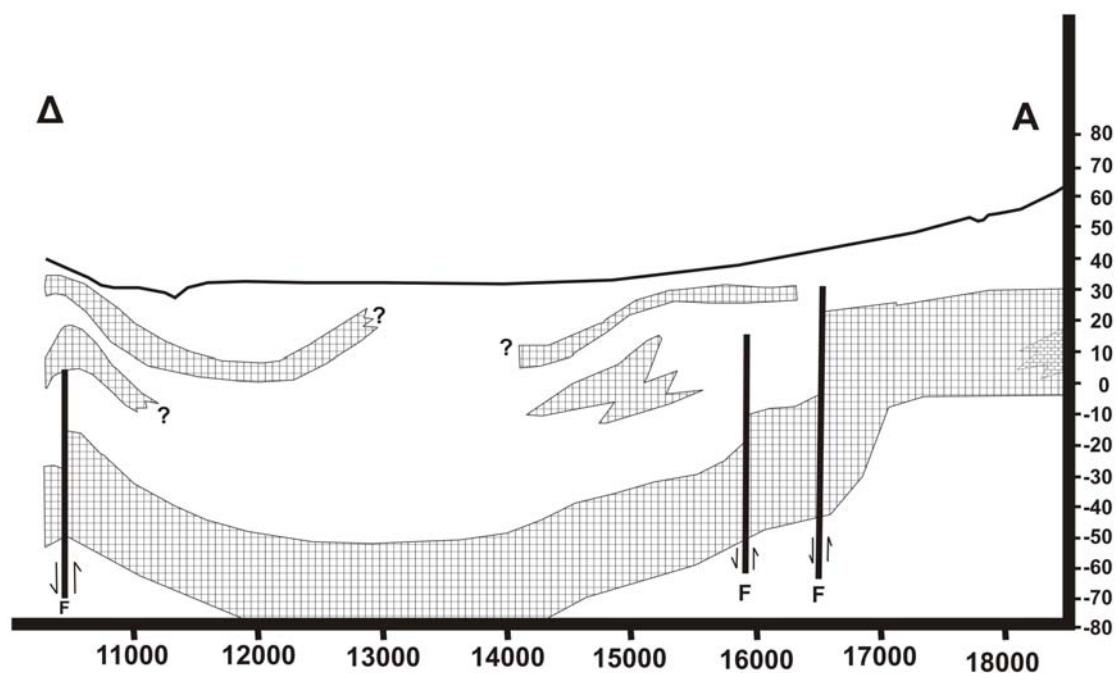
τμήμα δεν εμφανίζεται καθόλου με βάση τις λιθολογικές τομές των υφιστάμενων γεωτρήσεων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης. Η εμφάνιση του μαργαϊκού υποβάθρου σε διαφορετικά υψόμετρα υποδηλώνει την πιθανή παρουσία ρηγμάτων, όπως προκύπτει από την τομή του Southern Conveyor Project (Σχ. 4.2.4).



Σχήμα 4.2.2: Λιθολογική συσχέτιση κατά τη διεύθυνση Δ-Α στο Βόρειο ύβωμα (Βουδούρης Κ., 2008).



Σχήμα 4.2.3: Λιθολογική συσχέτιση κατά τη διεύθυνση Δ-Α στο Νότιο ύβωμα (Βουδούρης Κ., 2008).



Σχήμα 4.2.4: Υδρογεωλογική τομή του υδροφορέα κατά τη διεύθυνση Δ-Α, Νότια του Λιοπετρίου (Southern Conveyor Project, 1982).

4.3. Πιεζομετρία

Η υπεράντληση των τελευταίων δεκαετιών μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων, οδήγησε σε σημαντική πτώση στάθμης του υπόγειου νερού με ρυθμό της τάξεως 1,5 m/yr. Το ετήσιο έλλειμμα νερού την περίοδο 1960-1980 ήταν $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ (φυσικός εμπλουτισμός $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ και απολήψεις $25 \times 10^6 \text{ m}^3$). Οι ενδείξεις υπερεκμετάλλευσης ήταν ορατές από τη δεκαετία του 1960 και για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν μικρά εμπλουτιστικά φράγματα. Προσπάθειες για εκμετάλλευση βαθύτερων υδροφόρων στρωμάτων ήσαν ανεπιτυχείς, όπως έδειξε η ανόρυξη βαθιών γεωτρήσεων (500 m), λόγω του ότι το πάχος του μαργαϊκού υποβάθρου, το οποίο σαν υλικό είναι αδιαπέρατο, είναι πολύ μεγάλο. Την ίδια περίοδο (1968) λήφθηκαν νομοθετικά μέτρα για τη χρήση του νερού, τα είδη καλλιέργειας, τις ποσότητες νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, τη βελτίωση των αρδευτικών συστημάτων, καθώς και τον έλεγχο των αντλούμενων ποσοτήτων νερού. Παρά τις προσπάθειες για έλεγχο των αντλήσεων, η συνεχιζόμενη υπεράντληση οδήγησε σε εξάντληση και θαλάσσια διείσδυση στην παράκτια ζώνη. Διαπιστώθηκε δε πως για να

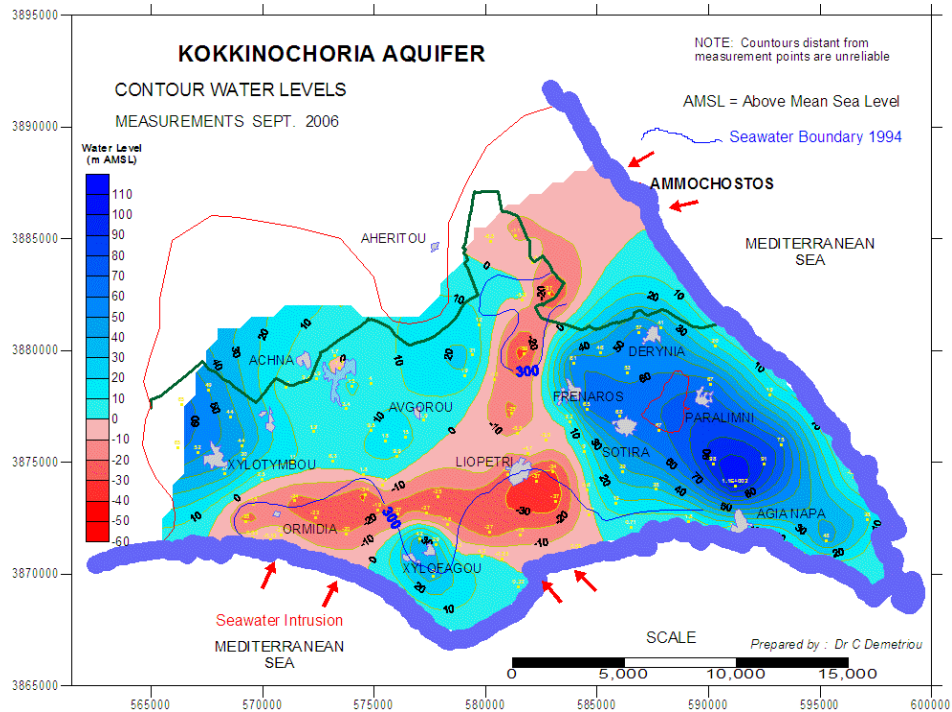
παραμένει αγροτική η περιοχή των Κοκκινοχωρίων πρέπει να μεταφερθεί νερό από περιοχές που πλεονάζει. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο Νότιος αγωγός για να προμηθεύει τις απαραίτητες ποσότητες νερού στην περιοχή των Κοκκινοχωρίων, καλύπτοντας το έλλειμμα.

Η φυσική διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι από Βορρά προς τη Νότια ακτή, αλλά η διεύθυνση ελέγχεται από τη δημιουργία κώνων κατάπτωσης (πτώσης στάθμης) σε περιοχές όπου γίνεται υπεράντληση. Το έτος 1963 η στάθμη ήταν + 6 m (α.ε.θ.), ενώ το έτος 1981 ήταν - 30 m (α.ε.θ.). Σύμφωνα με πρόσφατες μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας καταγράφονται αρνητικές στάθμες, που ανέρχονται έως -40 m από το επίπεδο της θάλασσας. Στην περιοχή ΝΑ/κά του οικισμού Λιοπέτρι δημιουργείται ένας κώνος κατάπτωσης.

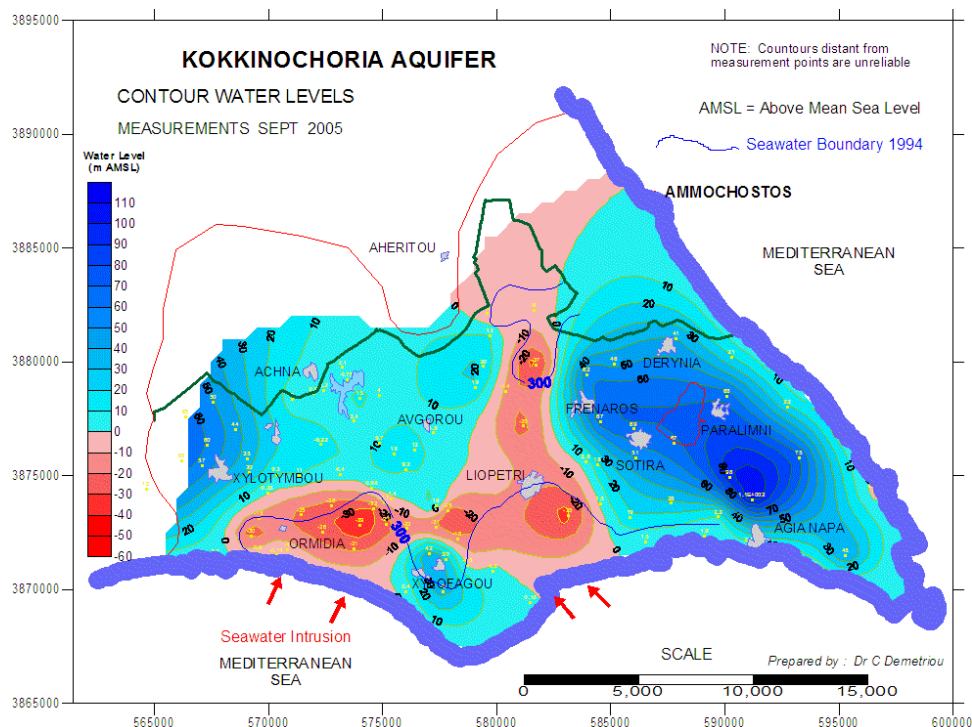
Μετρήσεις στα πλαίσια της εκπόνησης των δοκιμών απορροφητικότητας από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης προκύπτει ότι την περίοδο Μαρτίου 2006 η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 23,28 m από την επιφάνεια του εδάφους (α.ε.ε.) στη γεώτρηση 2006/004 έως 85,82 (α.ε.ε.) στη γεώτρηση 2005/067 (βλ. Πίνακα 4.5.1).

Στα Σχήματα που ακολουθούν (4.3.1 - 4.3.3) παρουσιάζονται οι πιεζομετρικοί χάρτες για διάφορες χρονικές περιόδους (στοιχεία από το ΤΑΥ). Οι περιοχές που έχουν χρώμα κόκκινο είναι τα τμήματα του υδροφορέα όπου η στάθμη του νερού είναι κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Όσο πιο βαθύ το κόκκινο τόσο η στάθμη είναι πιο κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Σε αυτές τις περιοχές, θαλασσινό νερό ρέει μέσα στον υδροφορέα. Η μπλε γραμμή οριοθετεί την περιοχή που έχει επηρεαστεί από τη διείσδυση της θάλασσας. Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές με στάθμες πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Τα κίτρινα σημεία, είναι τα σημεία από όπου έγιναν οι μετρήσεις στάθμης νερού.

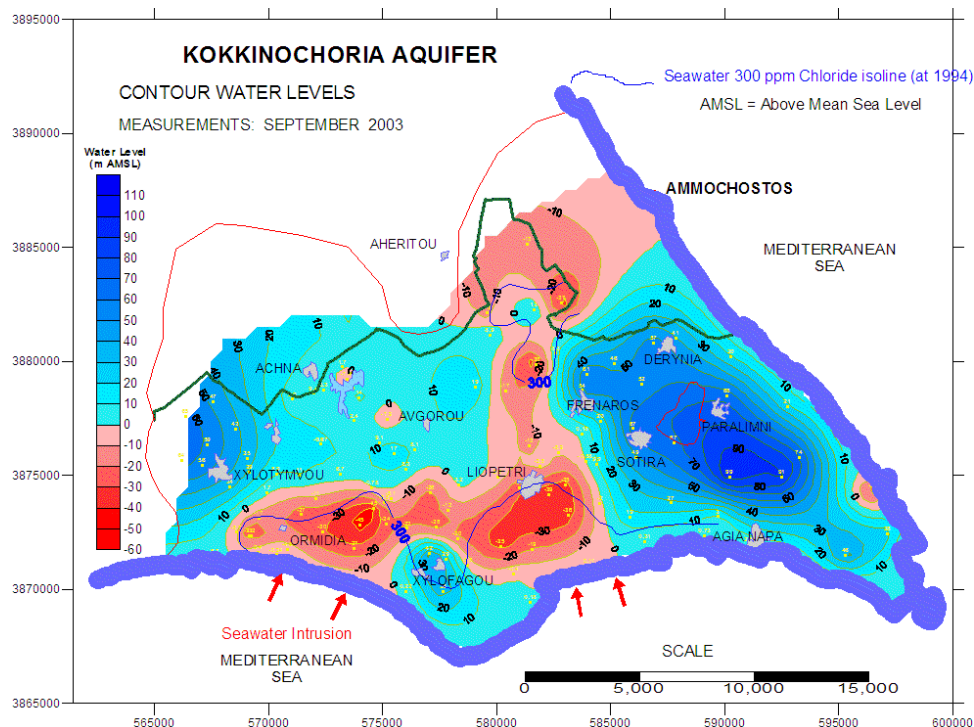
Το πάχος της κορεσμένης ζώνης εξαρτάται από τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες και τις συνθήκες άντλησης, κυμαινόμενο μεταξύ 1 - 5 m. Ουσιαστικά ο υδροφορέας είναι πλήρως εξαντλημένος.



Σχήμα 4.3.1: Πιεζομετρικός χάρτης του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων (Σεπτέμβριος 2006) (Από Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων).



Σχήμα 4.3.2: Πιεζομετρικός χάρτης του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων (Σεπτέμβριος 2005) (Από Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων).



Σχήμα 4.3.3: Πιεζομετρικός χάρτης του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων (Σεπτέμβριος 2003) (Από Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων).

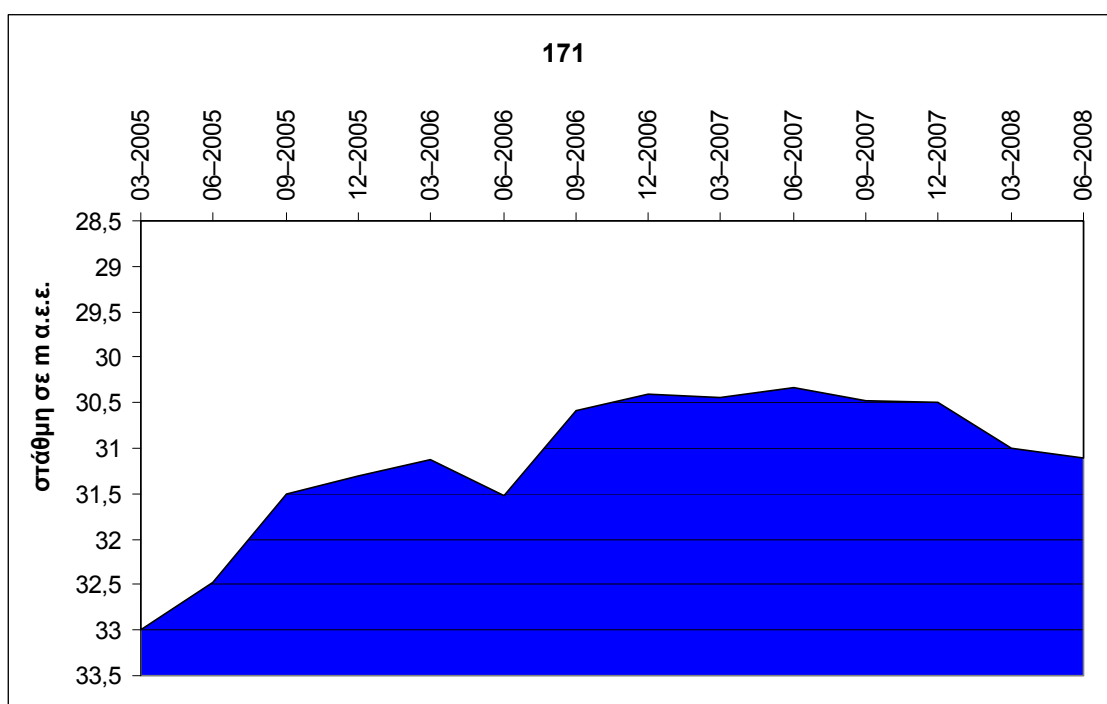
Από τους πιο πάνω χάρτες προκύπτει ότι στην περιοχή του υδροφορέα εμφανίζεται αρνητική πιεζομετρία που φθάνει έως - 30 m από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Αποτέλεσμα της πτώσης στάθμης ήταν η θαλάσσια διείσδυση σε αποστάσεις 1 - 2 Km στην ενδοχώρα. Οι περιεκτικότητες των χλωριόντων κυμαίνονται μεταξύ 1.000 - 4.000 mg/l στην παράκτια ζώνη και 200 - 450 mg/l στην εσωτερική ζώνη. Λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης πολλά παραγωγικά τμήματα του υδροφορέα εγκαταλείφθηκαν. Την τελευταία δεκαετία οι ετήσιες απολήψεις νερού ανέρχονται περίπου σε $12 - 14 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού θα αυξήσει το υδραυλικό φορτίο και θα απωθήσει το μέτωπο της υφαλμύρινης, προστατεύοντας την ενδοχώρα από τη θαλάσσια διείσδυση.

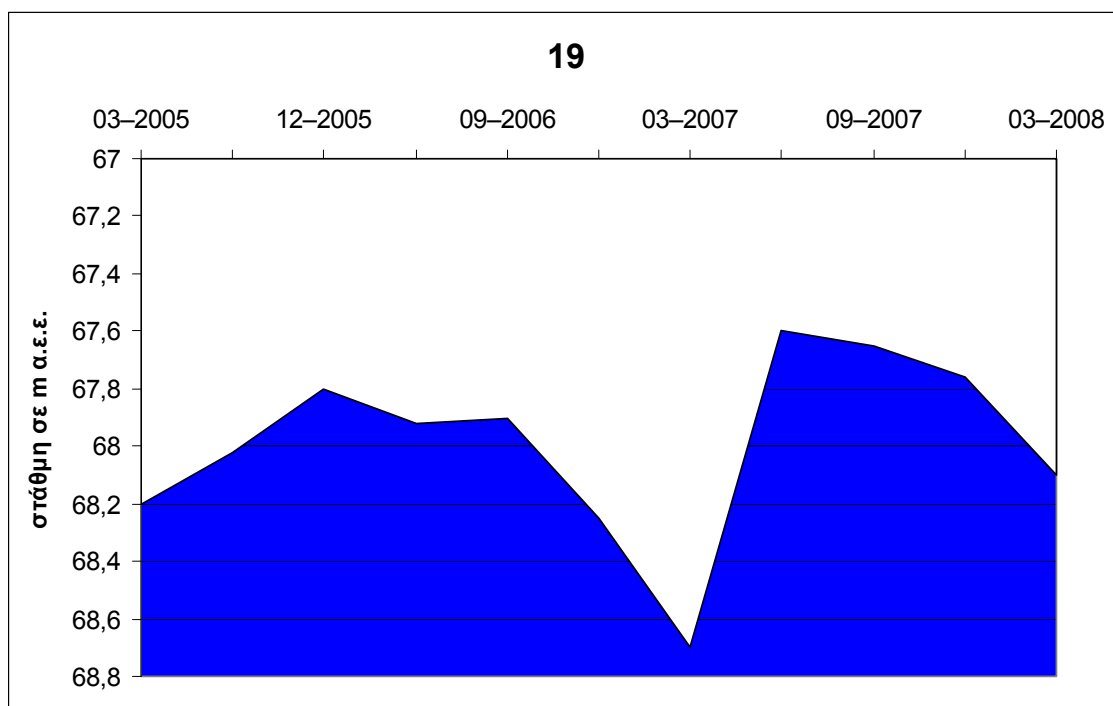
Στα παρακάτω Σχήματα (4.3.4 - 4.3.7) παρουσιάζεται η διακόμανση της στάθμης του υπόγειου νερού σε τέσσερις γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής του οικισμού Λιοπέτρι. Τα στοιχεία παραχωρήθηκαν από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης και το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Από τα

Σχήματα αυτά προκύπτει ευρεία διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού που σχετίζεται με την εποχή, το υδρολογικό έτος και το καθεστώς άντλησης της ευρύτερης περιοχής. Στις γεωτρήσεις 171 και 2003/058 παρατηρείται άνοδος της στάθμης στο χρονικό διάστημα 2003 - 2008 κατά 1,9 m και 5,6 m, αντίστοιχα. Αντίθετα στη γεώτρηση 105 καταγράφεται πτώση της στάθμης στο ίδιο χρονικό διάστημα 2003 - 2008 κατά 1,65 m.

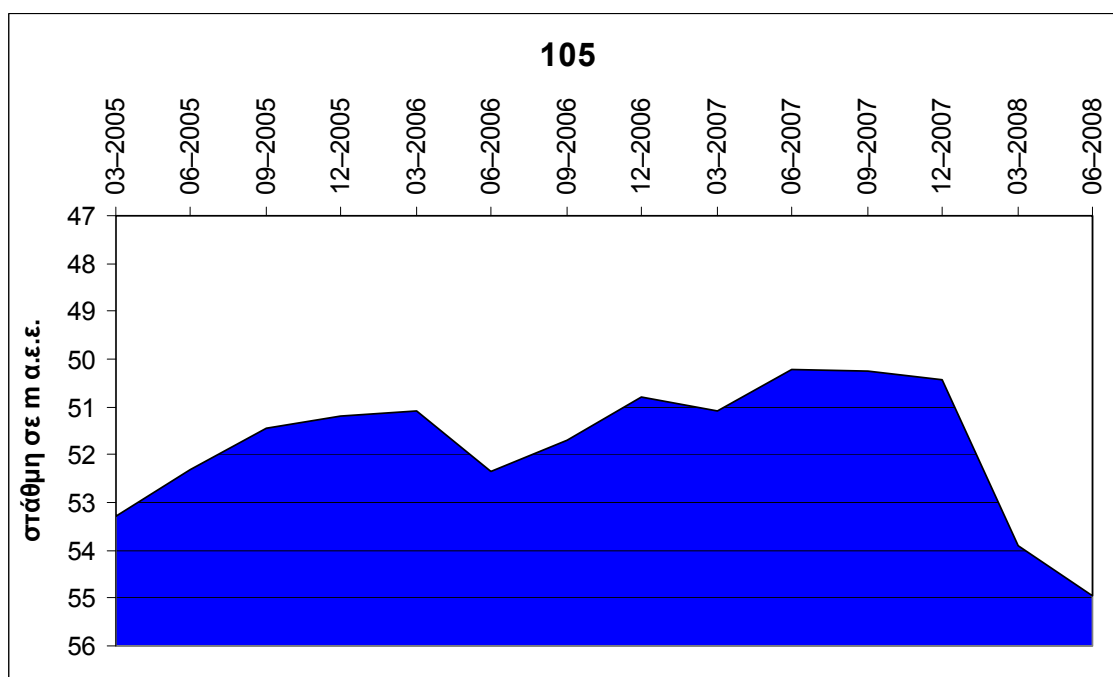
Στα Σχήματα 4.3.8 και 4.3.9 παρουσιάζεται η διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού σε δύο γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής του οικισμού Σωτήρα. Στη γεώτρηση 339 καταγράφεται πτώση της στάθμης στο χρονικό διάστημα 2003 - 2008 κατά 5 m, ενώ στη γεώτρηση 122 παρατηρείται άνοδος της στάθμης στο ίδιο χρονικό διάστημα 2003 - 2008. κατά 1,56 m.



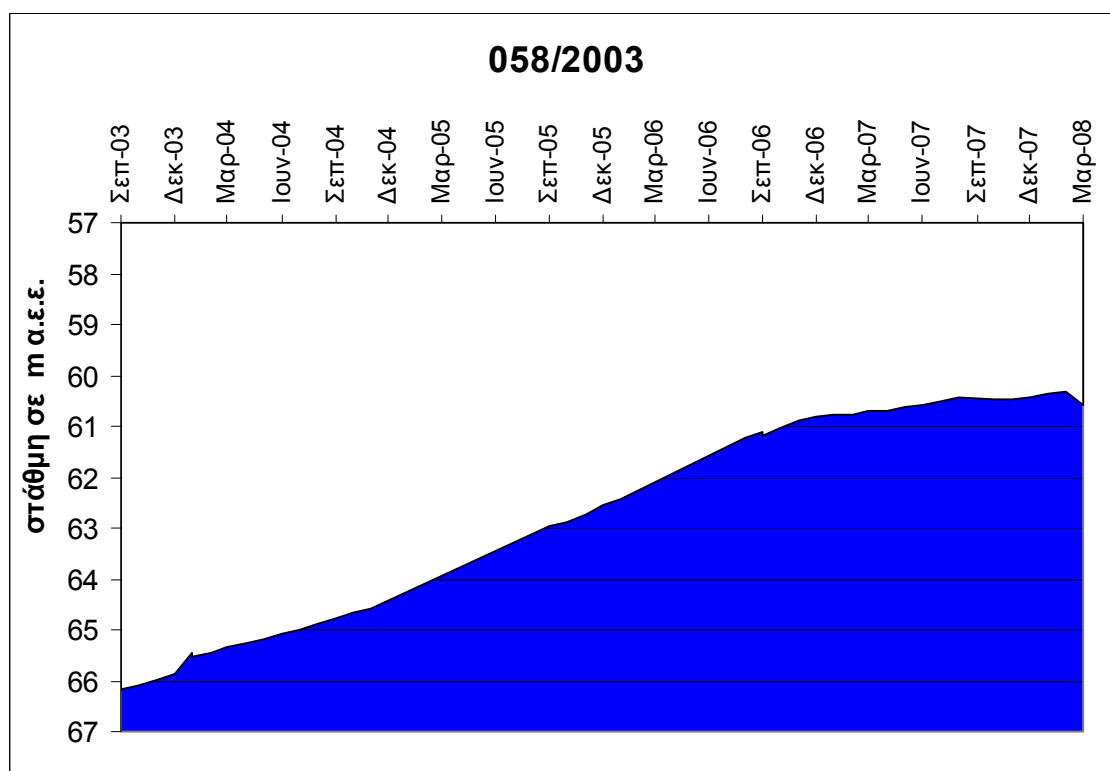
Σχήμα 4.3.4: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 171(Βουδούρης Κ., 2008).



Σχήμα 4.3.5: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 19(Βουδούρης Κ., 2008).



Σχήμα 4.3.6: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 105(Βουδούρης Κ., 2008).



Σχήμα 4.3.7: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 058/2003(Βουδούρης Κ., 2008).

4.4. Υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα Κοκκινοχωρίων

Με βάση παλαιότερες μελέτες (Southern Conveyor Project, 1982) η υδροπερατότητα (υδραυλική αγωγιμότητα, hydraulic conductivity) στην προτεινόμενη περιοχή εμπλουτισμού ποικίλλει με τιμές 1 - 20 m/day. Η ειδική απόδοση (specific yield) κυμαίνεται μεταξύ 0,1% και 10% με μέση τιμή 8,5%. Οι τιμές του συντελεστή μεταβιβαστικότητας (T) στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται μεταξύ 60 και 180 m²/day και του συντελεστή αποθηκευτικότητας (S) μεταξύ 0,02 και 0,1. Ο συντελεστής T εκφράζει την ικανότητα του υδροφορέα να μεταβιβάζει νερό και ο συντελεστής S την ικανότητα να αποθηκεύει νερό. Σύμφωνα με τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας που προέκυψαν από τις δοκιμές απορροφητικότητας μακράς διάρκειας και το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων προκύπτει T=18 m²/day.

Από τις λιθολογικές τομές των ερευνητικών γεωτρήσεων και τη βιβλιογραφία εκτιμάται, ότι η τιμή του ενεργού πορώδους των πετρωμάτων

της ακόρεστης ζώνης, κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι της τάξης του 10%, ενώ το ενεργό πορώδες των πετρωμάτων της ακόρεστης ζώνης, τα οποία βρίσκονται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι της τάξης του 7% (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης).

Η παροχή των γεωτρήσεων Νότια του Λιοπετρίου ήταν 20 - 35 m³/hr τη δεκαετία του 1960 και 5 - 20 m³/hr τη δεκαετία του 1980. Σήμερα σε πολλές περιοχές του υδροφορέα η παροχή είναι <3 m³/hr και πολλά υδρομαστευτικά έργα έχουν αχρηστευθεί. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα. Με βάση τα στοιχεία του Έργου Νοτίου Αγωγού (Southern Conveyor Project) το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα στην περιοχή έρευνας το έτος 1978 ήταν 18 - 26 m, ενώ σήμερα έχει μειωθεί σημαντικά (1 - 5 m), λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης που έχει υποστεί ο υδροφορέας.

Η κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα είναι η κατείδυση του νερού της βροχόπτωσης, που έχει μικρό ετήσιο ύψος στην περιοχή, όπως προαναφέρθηκε. Ο ρυθμός τροφοδοσίας (φυσικού εμπλουτισμού) είναι μικρός. Επιπλέον, οι επιστροφές από τις αρδεύσεις συμβάλλουν στην επανατροφοδοσία του υδροφορέα. Το ποσοστό των επιστροφών από τις αρδεύσεις εξαρτάται από το είδος των καλλιεργειών, την υφή του εδάφους, τη λιθολογία, κ.ά. και κυμαίνεται από 10 - 25% του συνολικού νερού άρδευσης.

Πίνακας 4.4.1: Τιμές υδραυλικών παραμέτρων.

	T (m ² /day)	S	K(m/day)
Μελέτη Έργου Νοτίου Αγωγού (1982)	60-80	0,02-0,1	1-20
Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης (2006)	13,5		0,22*

4.5. Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας

Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) εφαρμόστηκε η μέθοδος κατερχόμενου φορτίου από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης (ΤΓΕ). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή διοχετεύεται κάποιος όγκος νερού μέχρι να σταθεροποιηθεί η στάθμη στη γεώτρηση και μετρούνται οι πτώσεις στάθμης του νερού σε δύο διαφορετικούς χρόνους. Η μέθοδος εφαρμόστηκε συνδυαστικά με τη μέθοδο σταθερού φορτίου, δηλ. αρχικά εφαρμόστηκε η μέθοδος σταθερού φορτίου για τον υπολογισμό της απορροφητικότητας και στη συνέχεια η μέθοδος κατερχόμενου φορτίου για τα πρώτα 30 min μετά τη διακοπή του εμπλουτισμού.

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται με βάση την πιο κάτω σχέση:

$$k = \frac{A}{C(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{H_1}{H_2}$$

όπου: A =η διατομή της στήλης νερού στη γεώτρηση ($A=\pi r^2$, r =ακτίνα της γεώτρησης).

C =συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του τμήματος της γεώτρησης που γίνεται εισπίεση,

H_1 , H_2 =οι πτώσεις στάθμης του υπόγειου νερού σε χρόνους t_1 και t_2 αντίστοιχα.

Με βάση τα αποτελέσματα προέκυψαν οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας που φαίνονται στον Πίνακα 4.5.1 Από τον Πίνακα αυτόν προκύπτει η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί σε ολόκληρο το μήκος της γεώτρησης (μέση τιμή) κυμαίνεται από $3,7 \times 10^{-7}$ m/s έως $8,9 \times 10^{-8}$ m/s, τιμές που αντιπροσωπεύουν λεπτόκοκκα υλικά. Επειδή η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας αντιστοιχεί στη μέση τιμή, είναι προφανές ότι τα

αδρομερέστερα υλικά (ψαμμίτες, χονδρόκοκκοι άμμοι) θα έχουν μεγαλύτερη τιμή.

Επίσης από τα αποτελέσματα των δοκιμών μικρής διάρκειας προκύπτει ότι η παροχή σταθεροποίησης της στάθμης κυμαίνεται από 6 m³/h (061/2005, 070/2005) έως 20 m³/h (012/2006). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2006, εκτός από τη γεώτρηση 012/2006 που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του ίδιου έτους.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών μακράς διάρκειας, προέκυψαν οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας που φαίνονται στον Πίνακα 4.5.2 Από τον Πίνακα αυτόν προκύπτει μέση τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας ίση με $2,6 \times 10^{-6}$ m/s.

Πίνακας 4.5.1: Δεδομένα δοκιμών μικρής διάρκειας και τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας k(m/s) με τη μέθοδο κατερχόμενου φορτίου (στοιχεία Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης).

α/α	Αριθμός μητρώου γεώτρησης	Διάρκεια (h)	Στατική στάθμη (m α.ε.ε.)	Όγκος νερού (m ³)	Παροχή σταθεροποι- ησης (m ³ /h)	Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/s)
1	2005/055	4	62,17	61	15	$1,4 \times 10^{-7}$
2	2005/059	3	76,76	31	6,3	$8,9 \times 10^{-8}$
3	2005/061	5	77,82	35	6	$7,4 \times 10^{-8}$
4	2005/063	3	41,74	43	12	$2,1 \times 10^{-7}$
5	2005/065	3	82,45	32	10	$8,8 \times 10^{-8}$
6	2005/067	3	85,82	35	8,5	10^{-7}
7	2005/070	4	78,05	29	6	$1,2 \times 10^{-7}$
8	2005/072	5	71,15	110,5	16	$1,3 \times 10^{-7}$
9	2005/076	3	73,12	40	11	$1,3 \times 10^{-7}$
10	2006/004	6	76,42	77	11	$1,7 \times 10^{-8}$
11	2006/012	3	23,28	62	20	$3,7 \times 10^{-7}$

Πίνακας 4.5.2: Δεδομένα δοκιμών μεγάλης διάρκειας και τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας k(m/s) με τη μέθοδο κατερχόμενου φορτίου (στοιχεία Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης).

α/α	Αριθμός μητρώου γεώτρησης	Διάρκεια (h)	Στατική στάθμη (m α.ε.ε.)	Όγκος νερού (m ³)	Παροχή σταθεροποι- ησης (m ³ /h)	Υδραυλική Αγωγιμότη- τα (m/s)
1	2006/004	336	76,40	2.870	10	$2,5 \times 10^{-6}$
2	2006/012	337	24,46	4.650	14	$2,7 \times 10^{-6}$

4.6. Ποιότητα υπόγειου νερού

Στον παρακάτω Πίνακα 4.6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από πέντε (5) γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας, που πραγματοποιήθηκαν από το Χημείο του Τμήματος Γεωλογικής Επισκοπήσης τον Φεβρουάριο του 2009.

Ο προσδιορισμός των κύριων ιόντων έγινε με τη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας και των μετάλλων (Ba, Li, Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) και μεταλλοειδών (As) με τη χρήση ICP-OES.

Πίνακας 4.6.1 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (Τμήμα Γεωλογικής Επισκοπήσης).

Γεώτρηση/ Παράμετρος	2005/055	2005/067	2005/072	2005/076	2006/012
Αγωγιμότητα (μS/cm)	715	1439	1357	3150	810
pH	7,80	7,52	8,12	6,62	8,60
Θερμοκρασία (°C)	21,6	22,8	22,7	21,5	21,4
Διαλυμένο O ₂ (mg/l)	4	2,31	3,2	1,78	2,83
Αγωγιμότητα (μS/cm) (εργ.)	701	1455	1319	3080	809
pH (εργ.)	8,15	7,70	8,15	6,67	8,25
Ca (mg/l)	32	80	22	276	31
Na (mg/l)	72	115	225	129	78
K (mg/l)	5	88	69	130	35
Mg (mg/l)	21	65	28	142	30
Cl (mg/l)	86	114	82	278	81
HCO ₃ (mg/l)	209	492	443	<24,4	155
NO ₃ (mg/l)	26	79	4,0	4,5	7,2
SO ₄ (mg/l)	21	143	218	1446	146
Ολική Σκληρότητα (mg/l CaCO ₃)	167	468	170	1274	201
B	-	-	-	-	-
Ba (mg/l)	<0,017	<0,017	<0,017	0,025	0,022
As (mg/l)	<0,057	<0,057	<0,057	<0,057	<0,057
Li (mg/l)	<0,016	0,025	<0,016	0,081	<0,016
Al (mg/l)	<0,100	<0,100	<0,100	0,209	<0,100
Cr (mg/l)	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Mn (mg/l)	<0,153	<0,153	<0,153	10,4	<0,153
Fe (mg/l)	0,419	0,098	0,015	193	0,13
Co (mg/l)	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Ni (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cu (mg/l)	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017
Zn (mg/l)	<0,055	0,07	<0,055	<0,055	<0,055
Cd (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Pb (mg/l)	<0,011	<0,011	<0,011	0,028	<0,011

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, η θερμοκρασία και το διαλυμένο Οξυγόνο μετρήθηκαν στο πεδίο. Επιπλέον, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το pH προσδιορίστηκαν και στο εργαστήριο. Η θέση των γεωτρήσεων φαίνεται στο Σχ. 4.6.1.

Από τον ανωτέρω Πίνακα 4.6.1 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2006/055) έως 3150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2005/076). Η υψηλή τιμή καταγράφεται στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας.
- Το pH τιμές έχει τιμές μεγαλύτερες του 7 (εκτός από τη γεώτρηση 2005/076) υποδηλώνοντας αλκαλική συμπεριφορά του υπόγειου νερού.
- Η περιεκτικότητα των χλωριόντων κυμαίνεται από 82 mg/l έως 278 mg/l. Η υψηλή περιεκτικότητα καταγράφηκε στη γεώτρηση 2005/076 που εμφανίζει και την υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και αποδίδεται σε επηρεασμό από θαλάσσια διείσδυση.
- Η περιεκτικότητα των νιτρικών ιόντων σε ένα μόνο δείγμα (2005/067) υπερβαίνει το όριο των 50 mg/l, ανώτερη αποδεκτή τιμή, με βάση την Ευρωπαϊκή Ένωση, για πόσιμο νερό, αλλά και τον χαρακτηρισμό ευπρόσβλητων ζωνών από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Από μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας-Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Κυπριακής Δημοκρατίας προκύπτει ότι η περιοχή του υδροφορέα Κοκκινοχωρίων είναι ευπρόσβλητη (τρωτή, vulnerable) στη νιτρορύπανση αγροτικής προέλευσης με την έννοια της Οδηγίας 91/676/EC. Από τον Πίν. 4.6.2 που υπάρχουν δεδομένα για την περιεκτικότητα των νιτρικών ιόντων προκύπτει ότι, παρόλο που στο Λιοπέτρι η περιεκτικότητα των νιτρικών ιόντων είναι μικρή (10 mg/l), στην ευρύτερη περιοχή οι τιμές είναι πολύ υψηλές, λόγω νιτρορύπανσης.
- Το κυρίαρχο κατιόν είναι το ιόν του νατρίου με περιεκτικότητες που κυμαίνονται μεταξύ 72 και 225 mg/l.
- Το κυρίαρχο ανιόν είναι το όξινο ανθρακικό ιόν, εκτός από το δείγμα της γεώτρησης 2005/076 στο οποίο επικρατεί το ιόν του χλωρίου.

- Υψηλές τιμές της περιεκτικότητας των θεικών ιόντων (143-1446 mg/l) καταγράφονται σε όλα τα δείγματα, εκτός το δείγμα από τη γεώτρηση 2005/055.

Πίνακας 4.6.2 : Περιεκτικότητα νιτρικών ιόντων σε mg/l (Υπουργείο Γεωργίας-Φυσιικών Πόρων-Περιβάλλοντος).

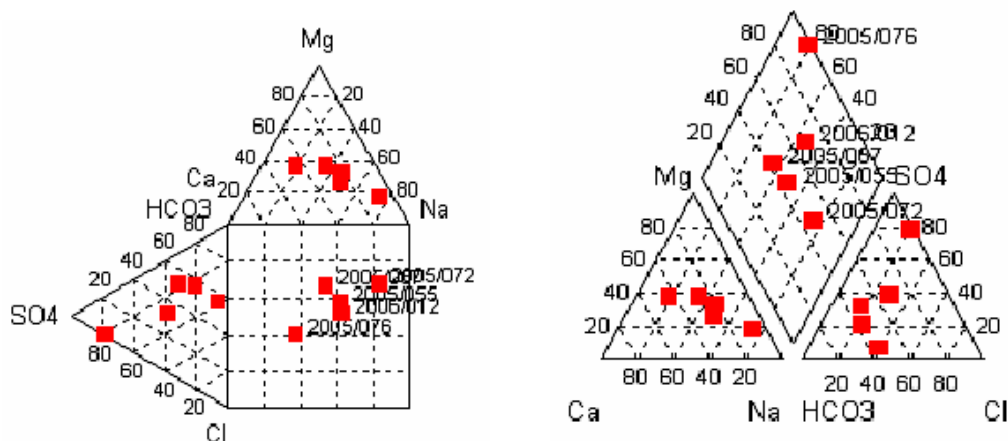
Location	Feature (Serial and/or Hydro Nr)	Coordinates WGS84(E,N)	No. Samples	Mean	Maximum
Agia Napa	Borehole / Well (/ 453)	586400 3871860	4	34.3	51.9
Agia Napa	Borehole / Well (/ 609)	594730 3871110	4	28.1	47.8
Agia Napa	Borehole / Well (/ 296)	590210 3872330	4	67.2	109.6
Avgorou	Borehole / Well (/ 461)	576340 3877440	4	22.0	66.0
Liopetri	Borehole / Well (/ 1479)	581754 3873620	4	6.4	10.2
Nikos	Borehole / Well (/)		1	9.3	9.3
Ormidhia	Borehole / Well (/ 419A)	573690 3871920	4	5.7	10.6
Ormidhia	Borehole / Well (/ 1147)	570731 3873145	4	6.7	12.4
Paralimni	Borehole / Well (/ 607)	591815 3878805	4	422.9	528.0
Paralimni	Borehole / Well (/ 382)	597480 3872845	4	65.8	92.6
Paralimni	Borehole / Well (/ 318)	595535 3876185	4	92.9	124.9
Phrenaros	Borehole / Well (/ 1071)	582538 3876800	4	9.5	18.6
Xylophagou	Borehole / Well (/ 37)	577370 3872923	4	9.9	17.7
Xylophagou	Borehole / Well (/ 338)	578126 3871772	4	218.4	253.9

- Πολύ υψηλές περιεκτικότητες σιδήρου και μαγγανίου εμφανίζει το δείγμα από τη γεώτρηση 2005/076 και συγκεκριμένα 193 mg/l και 10,4 mg/l, αντίστοιχα.

- Οι τιμές των υπόλοιπων μετάλλων είναι σχετικά χαμηλές.

Στο Σχήμα 4.6.3 φαίνονται τα διαγράμματα DUROV και PIPER, απ' όπου προκύπτει ότι πρόκειται κυρίως για νερά ανάμειξης. Ο κυρίαρχος υδροχημικός τύπος είναι:

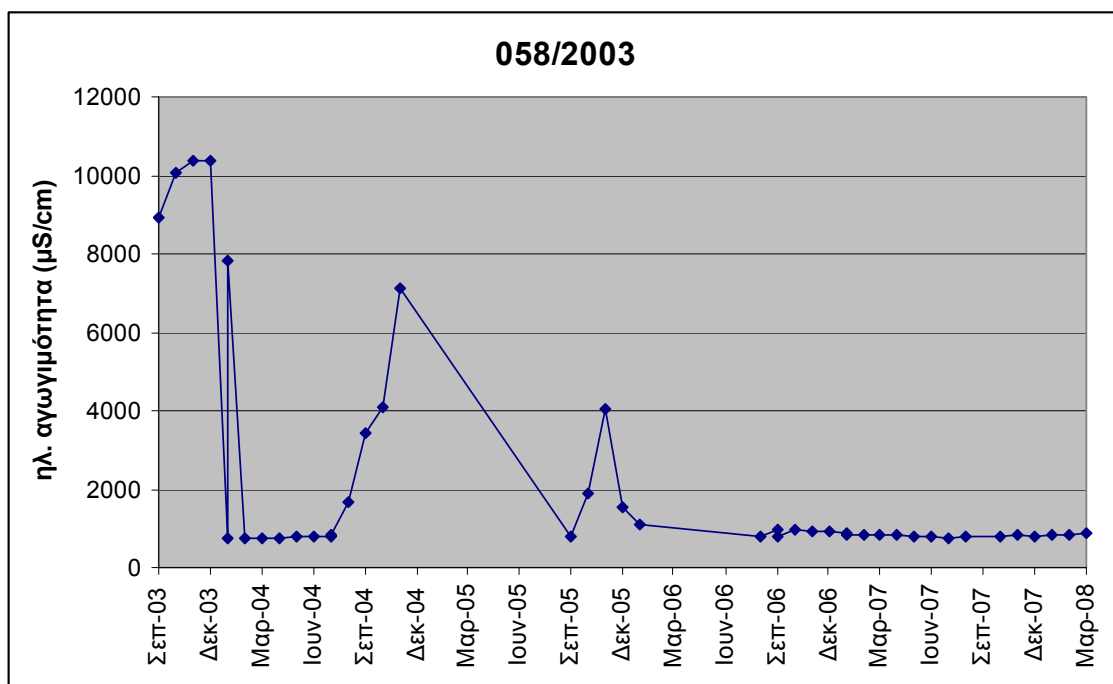
Na (Mg) - HCO₃ (SO₄).



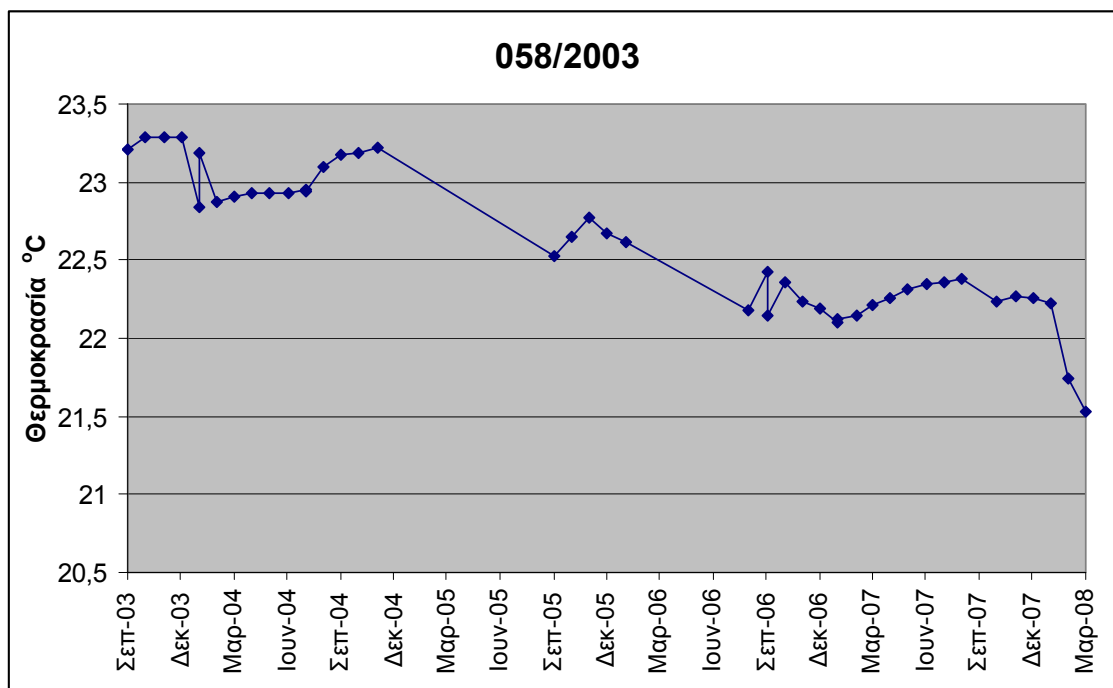
Σχήμα 4.6.3: Διαγράμματα DUROV (πάνω) και PIPER (κάτω) για δείγματα νερού από 5 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης την περίοδο Ιανουαρίου 2009.

Στα Σχήματα 4.6.4 και 4.6.5 παρουσιάζονται η διακύμανση της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 2003/058. Ενδιαφέρον εμφανίζει η διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η οποία από τιμές 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ τον Σεπτέμβριο του 2003 τα τελευταία δύο έτη έχει σταθεροποιηθεί στα 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αντίθετα η θερμοκρασία εμφανίζει μια μείωση από 23,5 $^{\circ}\text{C}$ σε περίπου 22 $^{\circ}\text{C}$.

Τέλος, στον Πίνακα 4.6.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από παλαιότερες χημικές αναλύσεις δειγμάτων υπόγειου νερού από γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας (στοιχεία ΤΑΥ), τα οποία επιβεβαιώνουν τα προηγούμενα συμπεράσματα.



Σχήμα 4.6.4: Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm) του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 2003/058 (στοιχεία ΤΤΕ).



Σχήμα 4.6.5: Διακύμανση της θερμοκρασίας (°C) του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 2003/058 (στοιχεία ΤΤΕ).

Πίνακας 4.6.3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (mg/l, αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.) από γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας (στοιχεία ΤΑΥ).

Γεώτρηση	Περιοχή	Ημερομηνία	Field_pH	field_EC	NO ₂	NO ₃	NH ₄	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	Ca	Mg	K	B	Pb	As	Cr
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	15-Απρ-05	8,14	1231	0	2,812												
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	14-Νοε-05	7,81	1030	1,398	2,513												
2006/004	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	06-Φεβ-06				0,45		185	52,58	234	136,89	42,5	27	13,75	0,15			
2006/012	ΣΩΤΗΡΑ	15-Μαρ-06				88,8		130	43,4	218	90,29	40	37,5	17,56	0,266			
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	08-Μαϊ-06		1330	1,72	2,436												
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	11-Οκτ-06	8,42	1400	<0,05	0,225												
2006/012	ΣΩΤΗΡΑ	05-Δεκ-06				16,24		148	26,62									
2006/004	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	05-Δεκ-06						130	206									
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	31-Μαϊ-07	8,1	1275	<0,05	0,43												
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	03-Δεκ-07	8,25	1305		0,56	0,031	200	126						0,36			
H3104-1479	ΛΙΟΠΕΤΡΙ	06-Μαϊ-08	7,98	1375	<0,1	2,9	0,052						2,84		0,431	1,66	0,96	0,56

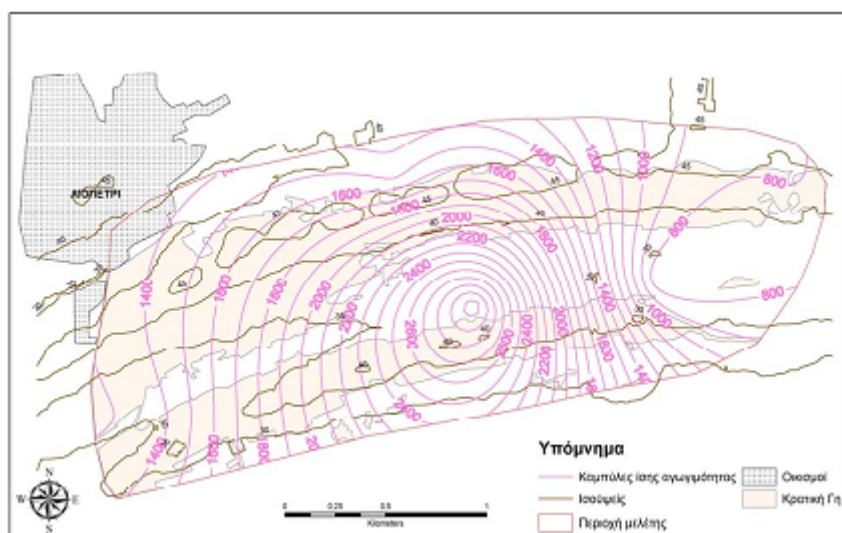
Στα Σχήματα 4.6.6 - 4.6.8 παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χλωριόντων και νιτρικών ιόντων με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της περιόδου 2009.

Από τα Σχήματα αυτά προκύπτει ότι, όσον αφορά την κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου, το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης εμφανίζεται περισσότερο υποβαθμισμένο ποιοτικά, λόγω του επηρεασμού από θαλάσσια διείσδυση.

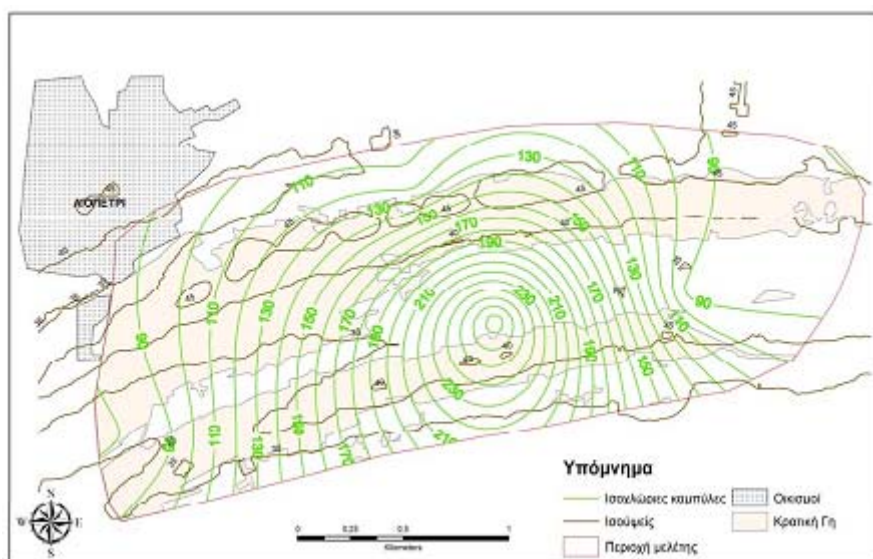
Οι χάρτες ίσης αγωγιμότητας και κατανομής των χλωριόντων σχετίζονται με τον πιεζομετρικό χάρτη (Σχ. 4.6.2), δηλ. οι μεταβολές της ποιότητας του υπόγειου νερού ακολουθούν την πορεία του.

Όσον αφορά την κατανομή των νιτρικών ιόντων στο βόρειο τμήμα εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές.

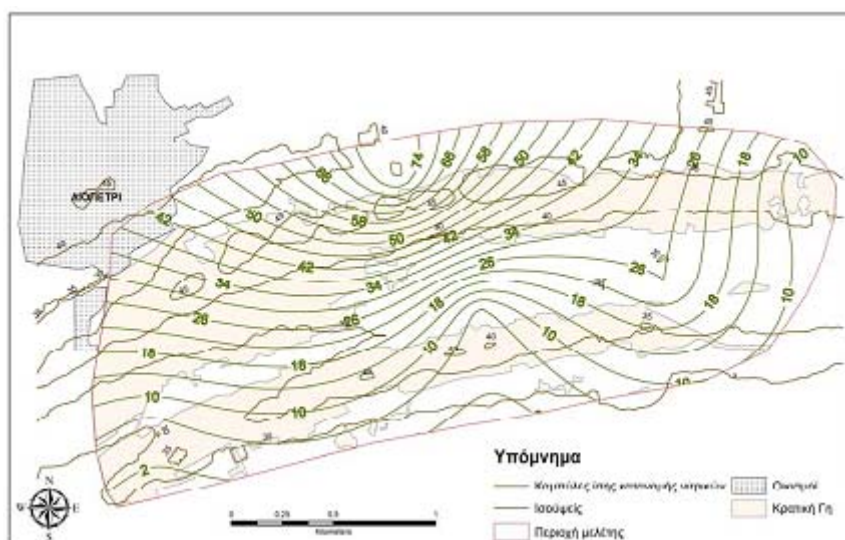
Γενικά παρατηρείται μια θετική συσχέτιση νιτρικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου. Αυτό ενισχύει την υπόθεση ότι μια πρόσθετη υφαλμύριση λαμβάνει χώρα, λόγω των επιστροφών του νερού άρδευσης.



Σχήμα 4.6.6: Χάρτης κατανομής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) του υπόγειου νερού (στοιχεία ΤΓΕ, περίοδος Ιανουάριος 2009, Βουδούρης Κ., 2009).



Σχήμα 4.6.7: Χάρτης κατανομής περιεκτικότητας ιόντων χλωρίου (mg/l) του υπόγειου νερού (στοιχεία ΤΓΕ, περίοδος Ιανουάριος 2009, Βουδούρης Κ., 2009).



Σχήμα 4.6.8: Χάρτης κατανομής περιεκτικότητας νιτρικών ιόντων (mg/l) του υπόγειου νερού (στοιχεία ΤΓΕ, περίοδος Ιανουάριος 2009, Βουδούρης Κ., 2009).

4.7. Πιέσεις στο υπόγειο νερό

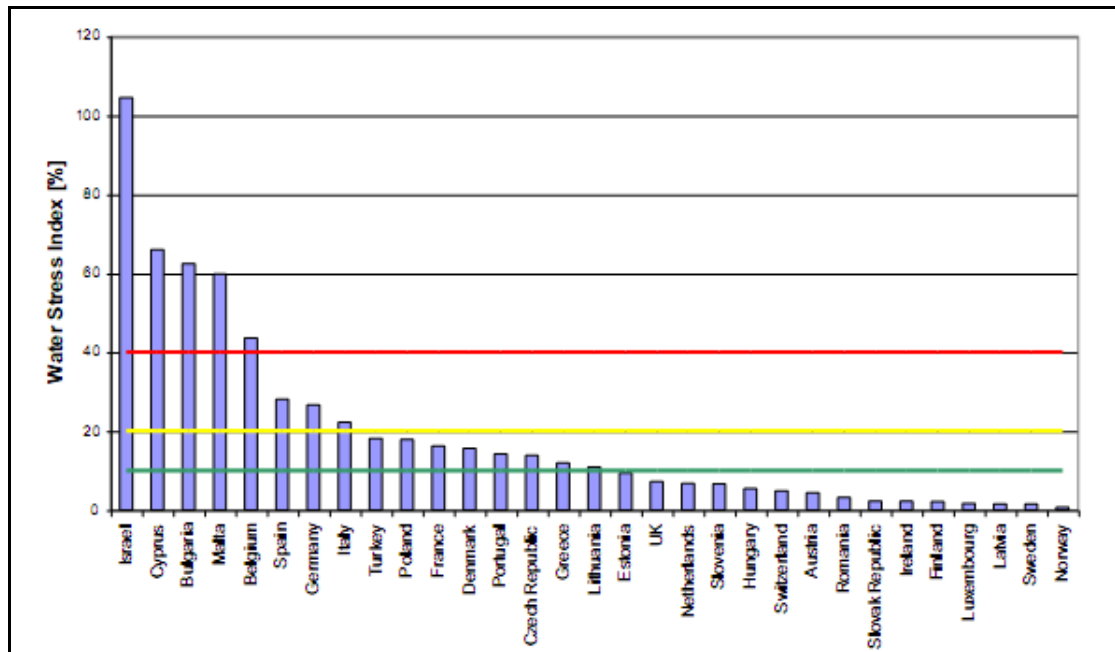
Ο δείκτης πίεσης νερού (Water stress index), που ισούται με το λόγο των απολήψεων προς τη διαθεσιμότητα νερού (abstraction/availability ratio) είναι ένας δείκτης για την εκτίμηση της κατάστασης των υδατικών πόρων.

Από το Γράφημα 4.7.1 προκύπτει ότι τα υπόγεια νερά στην Κύπρο βρίσκεται στη δεύτερη θέση μετά το Ισραήλ από πλευράς πίεσης, κάτι που υποδηλώνει μεγάλες απολήψεις σε σχέση με τη διαθεσιμότητα του νερού.

Από τα ανωτέρω προκύπτει η ανάγκη τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της περιοχής με σκοπό την ποσοτική ανάκαμψή του. Αυτό είναι συμβατό με τις βασικές αρχές της Υδατικής Πολιτικής στην Κύπρο μετά τον επανακαθορισμό το έτος 1995, λόγω της συνεχιζόμενης έλλειψης νερού, και οι οποίες περιλαμβάνουν (Βουδούρης Κ., 2009):

- την επιτάχυνση κατασκευής έργων διαχείρισης υδατικών πόρων,
- την εξοικονόμηση νερού, με προώθηση της αρχής «διαχείριση της ζήτησης»,

- τη χρήση ανακυκλωμένου νερού (επεξεργασμένα λύματα) για άρδευση, αντικαθιστώντας νερό κατάλληλο για ύδρευση,
- την προώθηση της αφαλάτωσης για την κάλυψη ελλειμμάτων, που δεν μπορούν να καλυφθούν με φυσικό νερό ή με “ανακυκλωμένο νερό”.



Γράφημα 4.7.1.: Δείκτης πίεσης νερού σε διάφορες χώρες (Από Wintgens et al., 2005).

Σε ότι αφορά τα υπόγεια νερά της περιοχής των Κοκκινοχωρίων, που αποτελεί το μεγαλύτερο υδροφορέα της Κύπρου, αξίζει να σημειωθούν τα εξής (με βάση στοιχεία μελέτης FAO, σε ετήσια βάση, μέσοι όροι της δεκαετίας 1991- 2000):

- Η ετήσια εισροή ανέρχεται σε 15,7 Mm³, εκ των οποίων τα 5,5 Mm³ προέρχονται από εισροή θαλασσινού νερού, ποσοστό δηλαδή 35%. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στην υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων με μετρούμενες συγκεντρώσεις χλωρίου τοπικά μεγαλύτερες από 1.000 ppm, γεγονός ιδιαίτερα κρίσιμο για την περιοχή, λόγω της σύστασης των εδαφών τα οποία είναι ευπαθή σε νερά με αυξημένη αλατότητα.
- Αντλούνται σε ετήσια βάση 14 Mm³, ενώ η ενδεικνυόμενη ποσότητα άντλησης είναι 8 Mm³. Επομένως η υπεράντληση φθάνει τα 6 Mm³. Η

υπεράντληση στα Κοκκινοχώρια συμβαίνει εδώ και περίπου 40 χρόνια με αποτέλεσμα η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τοπικά να φθάνει τα 50 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η σπουδαιότητα των καλλιεργειών πατάτας στην περιοχή για την εθνική οικονομία, σε συνδυασμό με την εξάντληση του υδροφόρου ορίζοντα οδήγησαν στην ένταξη της άρδευσης της περιοχής αυτής στο έργο του Νότιου Αγωγού.

Η αυξανόμενη ζήτηση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών σε συνδυασμό με τις συχνά εμφανιζόμενες περιόδους ξηρασίας καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση της αξιοποίησης μη συμβατικών υδατικών πόρων (επεξεργασμένα λύματα), καθώς και εφαρμογής μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα της υδρογεωλογικής έρευνας και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα στην προτεινόμενη περιοχή εμπλουτισμού παρά το Λιοπέτρι, η οποία αποτελεί τμήμα της ευρύτερης περιοχής του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων:

- Ο υδροφορέας αναπτύσσεται στους ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους. Το υπόβαθρο έχει ανώμαλη τοπογραφία με εναλλαγές βυθισμάτων και υβωμάτων και αποτελείται από τη μαργαϊκή ακολουθία.
- Το μέσο πάχος του υδροφορέα ανέρχεται σε 80 m και το μέγιστο πάχος σε 120 m. Στην προτεινόμενη περιοχή εμπλουτισμού παρά το Λιοπέτρι το βάθος του αδιαπέρατου μαργαϊκού υποβάθρου κυμαίνεται από - 25 έως - 40 m από την επιφάνεια θάλασσας (α.ε.θ.). Μόνο στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής (οικισμός Σωτήρα) το αδιαπέρατο υπόβαθρο εμφανίζεται στο επίπεδο της θάλασσας. Λόγω της παρουσίας στεγανών σχηματισμών στην επιφάνεια, κατά τόπους απουσιάζει ο φρεάτιος υδροφορέας και διαμορφώνονται υπό πίεση υδροφορίες.
- Στην περιοχή έρευνας, το μέσο πάχος της ακόρεστης ζώνης, κάτω από το επίπεδο της θάλασσας είναι 25 m, ενώ το μέσο πάχος των πετρωμάτων της ακόρεστης ζώνης, τα οποία βρίσκονται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι 50 m.
- Από τις υδρογεωλογικές τομές προκύπτει ότι στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας ο υδροφορέας έχει μικρότερο πάχος.
- Η κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα είναι η κατείδυση του νερού της βροχόπτωσης, που έχει μικρό ετήσιο ύψος στην περιοχή. Ο ρυθμός τροφοδοσίας (φυσικού εμπλουτισμού) είναι μικρός. Επιπλέον, οι επιστροφές από τις αρδεύσεις συμβάλλουν στην επανατροφοδοσία του υδροφορέα.

- Η φυσική διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι από Βορρά προς τη Νότια ακτή, αλλά η διεύθυνση ελέγχεται από τη δημιουργία κώνων κατάπτωσης (πτώσης στάθμης) σε περιοχές όπου γίνεται υπεράντληση.
- Από τους πιεζομετρικούς χάρτες προκύπτει ότι στην περιοχή του υδροφορέα παρά το Λιοπέτρι, εμφανίζεται αρνητική πιεζομετρία που φθάνει έως - 30 m από τη μέση στάθμη της θάλασσας.
- Το πάχος της κορεσμένης ζώνης εξαρτάται από τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες και τις συνθήκες άντλησης, κυμαινόμενο μεταξύ 1 - 5 m.
- Η ειδική απόδοση (specific yield) με βάση τη λιθολογία έχει μέση τιμή 8,5%. Οι τιμές του συντελεστή μεταβιβαστικότητας (T) στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται μεταξύ 60 και 180 m²/day και του συντελεστή αποθηκευτικότητας (S) μεταξύ 0,02 και 0,1 (Southern Conveyor Project, 1982). Με βάση τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας που προέκυψαν από τις δοκιμές απορροφητικότητας μακράς διάρκειας και το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων προκύπτει T = 18 m²/day.
- Σήμερα σε πολλές περιοχές του υδροφορέα η παροχή των γεωτρήσεων είναι <3 m³/hr και πολλά υδρομαστευτικά έργα (γεωτρήσεις, πηγάδια) έχουν αχρηστευθεί. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα.
- Διαπιστώνεται ευρεία διακύμανση των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως υπολογίσθηκαν από τα πειράματα μικρής διάρκειας με τη μέθοδο κατερχόμενου φορτίου (στοιχεία ΤΠΕ). Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται, κυρίως στο σχετικά υψηλό βαθμό λιθολογικής ανομοιογένειας που επικρατεί τόσο στην ακόρεστη όσο και στην κορεσμένη ζώνη. Οι τιμές κυμαίνονται από 3,7 x 10⁻⁷ m/s έως 8,9 x 10⁻⁸ m/s και αντιστοιχούν σε μέσες τιμές γιατί αντιστοιχούν σε όλο το βάθος της γεώτρησης. Αυτό υποδηλώνει ότι στα αδρομερή

υλικά του υδροφορέα, όπως ψαμμίτες και άμμοι, οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας θα είναι μεγαλύτερες από τις μέσες τιμές.

- Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών μακράς διάρκειας, η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι της τάξεως των $2,6 \times 10^{-6}$ m/s, μεγαλύτερη από αυτήν που προέκυψε από τις δοκιμές μικρής διάρκειας. Σύμφωνα με τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία οι τιμές που προκύπτουν από τα πειράματα που πραγματοποίησε το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, φαίνεται να είναι υποεκτιμημένες. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες (Southern Conveyor Project, 1982) η υδραυλική αγωγιμότητα στην προτεινόμενη περιοχή εμπλουτισμού ποικίλλει με τιμές 1 - 20 m/day, που αντιστοιχεί σε μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη (10^{-5} m/s).
- Η υφαλμύριση λόγω θαλάσσιας διείσδυσης στο παράκτιο τμήμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης και η νιτρορύπανση από την εντατική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες είναι οι δύο κύριες αιτίες ποιοτικής υποβάθμισης του υδροφορέα των Κοκκινοχωριών.
- Προκύπτει η ανάγκη τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της περιοχής με σκοπό την ποσοτική ανάκαμψή του, λόγω των πιέσεων που ασκούνται σε αυτόν.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ηλιάδης Μ., Αναστασίου Κ., 2008 «Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των φερτών υλών στην κοίτη και το φράγμα του Κούρη-Κύπρος».

Βουδούρης, Κ., Κακλής, Τ., LDK Σύμβουλοι τεχνικών και αναπτυξιακών έργων, Ατλαντίς Συμβουλευτική Κύπρου (2008): Μελέτη σκοπιμότητας και τελικής μελέτης για τη χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου νερού από τα αποχετευτικά συστήματα των Δήμων Παραλιμνίου – Αγίας Νάπας και άλλων πέντε Κοινοτήτων για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα παρά το Λιοπέτρι, Κύπρου. Κυπριακή Δημοκρατία. - Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Προκαταρκτική τεχνική έκθεση. Ερευνητικό πρόγραμμα. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.

Κωνσταντίνου, Κ., (2004): Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Λάρνακας-Βασιλικών, Κύπρου. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Θεοδοσίου, Ν., (1994): Μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης και διαχείρισης υπόγειων υδροφορέων. Εφαρμογή στον υδροφορέα Κοκκινοχωρίων Κύπρου. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, (1982): Southern Conveyor Project. Volume 3: Groundwater Resources.

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.

Υπουργείο Γεωργίας-Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, (2004): Re-evaluation of groundwater resources of Cyprus.

Μαθιουδάκη Μ., (2009): «Αποκατάσταση υπόγειων υδροφορέων με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού και τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων: Η

περίπτωση υδροφορέα Κοκκινοχωρίων Κύπρου». Διατριβή Ειδικευσης.
Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

<http://www.moa.gov.cy/>

<http://www.moa.gov.cy>