



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΡΓΥΡΟΥ ΑΝΤΡΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

“ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΟΠΕΤΡΙΟΥ,
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΥΠΡΟΣ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018



ΑΡΓΥΡΟΥ ΑΝΤΡΙΑ

Φοιτήτρια του τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5084

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

Φοιτήτρια του τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5094

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΟΠΕΤΡΙΟΥ,
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΥΠΡΟΣ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Αν. Καθηγητής Κωνσταντίνος Βουδούρης



Αργυρού Άντρια, Γεωργίου Κυριακή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Γεωλογίας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΛΙΟΠΕΤΡΙΟΥ, ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΥΠΡΟΣ – Διπλωματική Εργασία

Argyrou Antria, Georgiou Kyriaki, School of Geology, Lab. of Engineering
Geology & Hydrogeology, 2018

All rights reserved.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND POSSIBILITIES OF
ARTIFICIAL RECHARGE IN AQUIFER OF LIOPETRI, SOUTH-
EASTERN CYPRUS – Bachelor Thesis

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

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



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

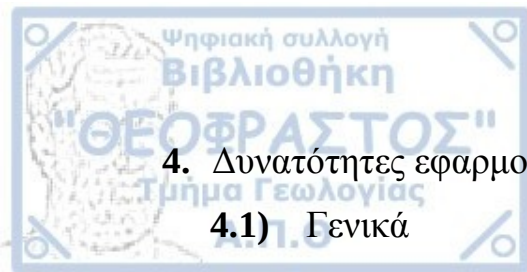
Πρόλογος

Εισαγωγή

- 1. Περιοχή Μελέτης - Χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας**
 - 1.1) Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας**
 - 1.2) Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας**
 - 1.3) Μετεωρολογικά Δεδομένα- Βροχομετρικά Δεδομένα**

- 2. Υδρογεωλογία – Χαρακτηριστικά του υδροφορέα**
 - 2.1) Γενικά**
 - 2.2) Γεωμετρία του υδροφορέα**
 - 2.3) Πιεζομετρία**
 - 2.4) Υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας**
 - 2.5) Ποιότητα Υπόγειου Νερού**
 - 2.6) Πιέσεις στα υπόγεια νερά**

- 3. Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού της περιοχής**
 - 3.1) Γενικά**
 - 3.2) Τρόποι τεχνητού Εμπλουτισμού**
 - a) Με τη χρήση ανακυκλωμένου νερού**
 - b) Με τη διάνοιξη φρεατίων (γεωτρήσεων) εμπλουτισμού**
 - 3.3) Τεχνητός Εμπλουτισμός στην Κύπρο**
 - 3.4) Προϋποθέσεις Τεχνητού Εμπλουτισμού**
 - 3.5) Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Τεχνητού Εμπλουτισμού**



4. Δυνατότητες εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού

4.1) Γενικά

4.2) Τεχνικά χαρακτηριστικά εμπλουτιστικών γεωτρήσεων

5. Εκτίμηση της ποσοτικής και ποιοτικής ανάκαμψης του υδροφορέα –

Βιώσιμη διαχείριση

5.1) Ποσοτική ανάκαμψη του υδροφορέα

5.2) Ποιοτική βελτίωση των υπόγειων νερών

5.3) Βιώσιμη διαχείριση του υδροφορέα στην περιοχή έρευνας

6. Τελικά Συμπεράσματα

Ελληνική περίληψη

Αγγλική περίληψη

Βιβλιογραφία



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία “Διαχρονικές μεταβολές της στάθμης και της ποιότητας του υπόγειου νερού στην ευρύτερη περιοχή Λιοπετρίου, Νοτιοανατολική Κύπρος”, είναι βασισμένη στην Τεχνικοοικονομική μελέτη του Αν. Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. Κωνσταντίνου Βουδούρη με τίτλο “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 Υδροφόρου παρά το Λιοπέτρι” (ΤΑΥ 2/2008).

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η υδρογεωλογική έρευνα του υδροφορέα στην περιοχή Λιοπέτρι και οι δυνατότητες εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από παλαιότερη έρευνα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του ΑΠΘ (Επιστ. Υπεύθυνος Κ. Βουδούρης), καθώς και στοιχεία που μας παραχωρήθηκαν από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης της Κύπρου.

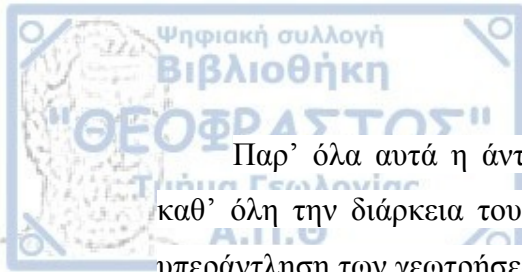
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Κύπρος βρίσκεται στην ανατολική Μεσόγειο με έκταση 9.251 Km². Αποτελείται από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους το οποίο βρίσκεται στο κεντρικό έως νότιο τμήμα του νησιού, τη βόρεια οροσειρά του Πενταδακτύλου, την κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας, τη λοφώδη περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους και τις παράκτιες πεδιάδες.

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αφορά την περιοχή των Κοκκινοχωρίων, ειδικότερα το Λιοπέτρι. Εντάσσεται στην κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας η οποία βρίσκεται μεταξύ της οροσειράς του Τροόδους και του Πενταδακτύλου. Οριοθετείται στα δυτικά από τον κόλπο της Μόρφου και στα ανατολικά από τον κόλπο της Αμμοχώστου με υψόμετρο 0-350 m. Παρουσιάζεται μια αύξηση στις τιμές του υψομέτρου από την περιοχή της Αμμοχώστου προς τη Μόρφου.

Υδρογεωλογικά, το νησί αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα στην ισορροπία του υδρολογικού ισοζυγίου. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των μεγάλων περιόδων ανομβρίας ή ολιγομβρίας που επικρατούν. Το πρόβλημα αυτό δεν πλήττει την Κύπρο μόνο τα τελευταία χρόνια, αλλά απειλεί το νησί από τον 4^ο αιώνα μ.Χ. Συγκεκριμένα, από την περίοδο 290 μ.Χ. μέχρι το 326 μ.Χ., η βροχόπτωση ήταν ελάχιστη έως μηδενική και έτσι μεγάλος μέρος του πληθυσμού μετανάστευσε αφού δημιουργήθηκαν σημαντικά προβλήματα στην καθημερινότητα τους, όπως η έλλειψη πόσιμου νερού καθώς επίσης και του φαγητού αφού παλιότερα οι περισσότεροι κάτοικοι του νησιού τρέφονταν από δικά τους προϊόντα που έσπερναν στα χωράφια τους. Μετέπειτα, το φαινόμενο κάνει έντονη την παρουσία του και στις περιόδους της Λατινοκρατίας και της Τουρκοκρατίας, καθώς και σε νεότερες περιόδους.

Τα μειωμένα ποσοστά βροχόπτωσης επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στη ζωή των ανθρώπων, εξαιτίας της μεγάλης ενασχόλησης των κατοίκων με την γεωργία και την κτηνοτροφία, επαγγέλματα τα οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με το έδαφος και τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Κατά την χειμερινή περίοδο δεν εμπλουτίζεται ικανοποιητικά το έδαφος και κατά συνέπεια οι υπόγειοι υδροφορείς, οι οποίοι λειτουργούν ως αγωγοί αποθήκευσης νερού, παραμένουν ποσοτικά ελλειπείς.



Παρ' όλα αυτά η άντληση νερού από τις γεωτρήσεις πραγματοποιείται συνεχώς, καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, γεγονός που προκαλεί καινούρια προβλήματα. Η υπεράντληση των γεωτρήσεων προκαλεί πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού και όταν πρόκειται για παράκτιους υδροφορείς, ακολουθεί η διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Στην κατηγορία παράκτιων υδροφορέων εντάσσεται και ο υδροφορέας των Κοκκινοχωριών μαζί με την ευρύτερη περιοχή Λιοπετρίου.

Ένας τρόπος επίλυσης μεγάλου μέρους της ανομβρίας ανέλαβαν οι δυο μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν στο νησί με την μια μονάδα να βρίσκεται στην περιοχή της Αμμοχώστου και συγκεκριμένα στην περιοχή της Δεκέλειας. Η μονάδα αφαλάτωσης της Δεκέλειας παράγει σήμερα 60.000 m³ νερό την ημέρα και προμηθεύει με πόσιμο νερό μεγάλο μέρος της πόλης της Λάρνακας, της Λευκωσίας και της Αμμοχώστου. Συνολικά, οι δυο μονάδες αφαλάτωσης του νησιού συνεισφέρουν 84% πόσιμο νερό στο υδατικό ισοζύγιο του νησιού.

1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας

Η περιοχή μελέτης αφορά την περιοχή Λιοπετρίου και την ευρύτερη περιοχή της ΝΑ Κύπρου οι οποίες εντάσσονται στην επαρχία Αμμοχώστου. Η περιοχή Λιοπετρίου συνορεύει με την Ξυλοφάγου, το Αυγόρου, το Φρέναρος και τη Σωτήρα. Κάποια άλλα χωριά τα οποία εντάσσονται στην επαρχία Αμμοχώστου είναι η Αχερίτου, η Δερύνεια, το Παραλίμνι, η Αγία Νάπα, η Άχνα και ο Πρωταράς.



Σχήμα 1.1: Χάρτης ευρύτερης περιοχής επαρχίας Αμμοχώστου (Google Earth).

Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι το ήπιο ανάγλυφο και η παρουσία δύο ημιλοφωδών εκτάσεων διεύθυνσης Α-Δ. Στις εκτάσεις αυτές δεν παρουσιάζεται εδαφικό κάλυμμα ενώ ανάμεσα στα δύο τμήματα υπάρχει εδαφικό κάλυμμα το οποίο ευνοεί την καλλιέργεια προϊόντων όπως οι πατάτες. Το υψόμετρο της περιοχής φτάνει μέχρι 50 m

από την επιφάνεια της θάλασσας. Κοντά στον ποταμό Λιοπετρίου διαμορφώθηκε ένα δάσος έκτασης 89 εκταρίων (89.000 στρεμμάτων), το οποίο αποσκοπεί στην αξιοποίηση της κοίτης του ποταμού.

1.2 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας

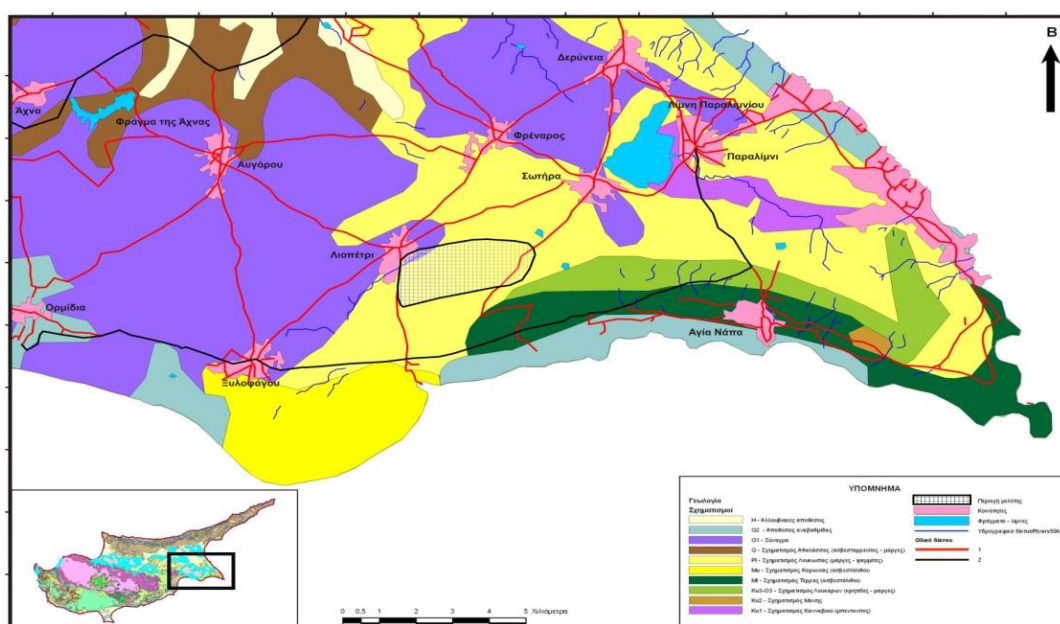
Αναφορικά με τη γεωλογία της περιοχής, εμφανίζεται ο σχηματισμός της Λευκωσίας ο οποίος έχει Πλειοκαινική ηλικία. Αποτελείται από απολιθωματοφόρες μάργες και λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ασβεστιτικούς ψαμμίτες. (Κωνσταντίνου, 2004). Οι ψαμμίτες προέρχονται από τους οφιόλιθους, οι μάργες από τον διαβάση του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους και τα κλαστικά υλικά από τα ανθρακικά πετρώματα της οροσειράς της Κερύνειας. Το πάχος του ξεπερνά τα 800 m, ενώ στο ανώτερο τμήμα της περιοχής υπάρχει σκληρός δευτερογενής ασβεστόλιθος γνωστός ως «*καυκάλα*» (Σχήμα 1.2), ο οποίος αποτρέπει την κατείσδυση νερού σε χαμηλότερους εδαφικούς ορίζοντες. Σε κατώτερους ορίζοντες συναντάται μαλακός δευτερογενής ασβεστόλιθος, γνωστός ως «*χαβάρα*» με πάχος περίπου 6 m. Επιπρόσθετα, συναντάται άργιλος πλούσια σε οξείδια τα οποία προσδίδουν το χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα στο έδαφος (κοκκινοχώματα). Ο ψαμμίτης και οι άμμοι εμφανίζονται σε βάθος 30-45 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η κορεσμένη ζώνη φτάνει το πάχος από 1-5 m.



Σχήμα 1.2: Καυκάλα στην περιοχή Λιοπετρίου

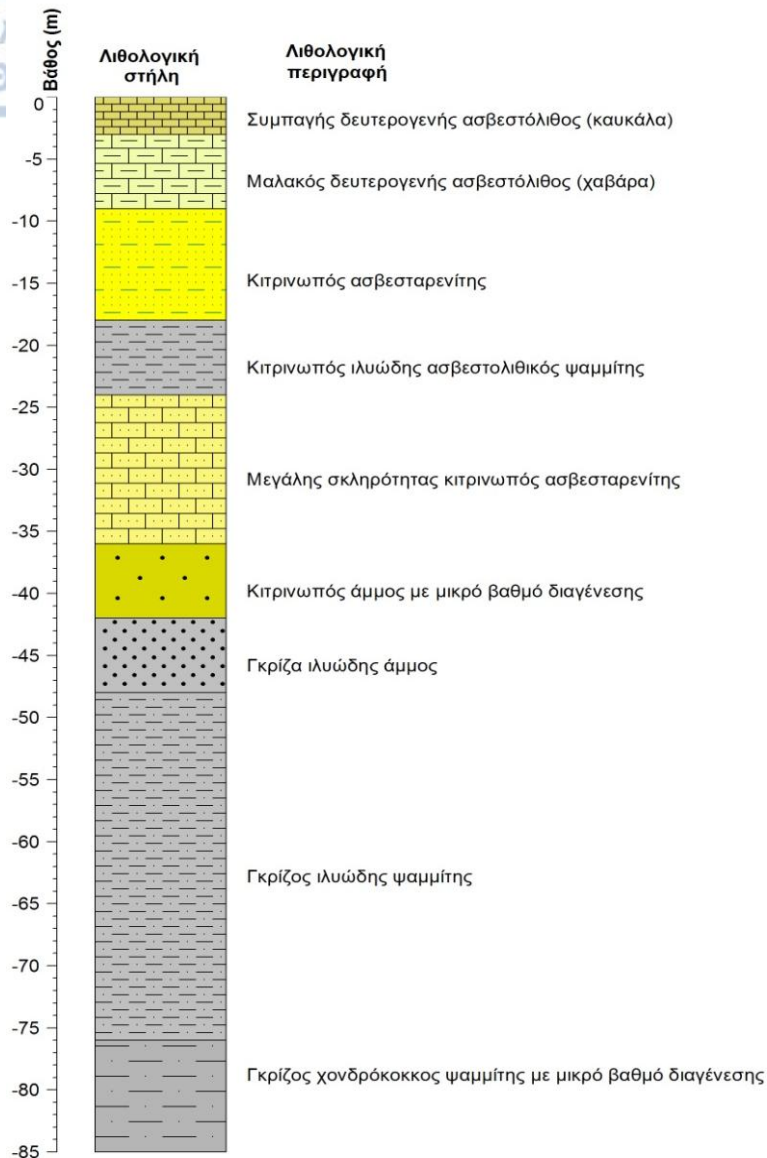
Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος-Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων.

Παρακάτω, στο Σχήμα 1.4 παραθέτονται δύο λιθολογικές τομές γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν στην περιοχή από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης. Αφορούν την γεώτρηση 2005/055 και τη γεώτρηση 2006/012. Γενικά, στις γεωτρήσεις της περιοχής συναντήθηκαν σε διάφορες μορφές ασβεστόλιθοι (συμπαγής, μαλακή, δευτερογενής), ψαμμίτης (κιτρινωπός, γκρίζος, ιλυώδης, ασβεστολιθικός, χονδρόκοκκος, μεγάλης σκληρότητας, με μικρό βαθμό διαγένεσης), άμμος (κιτρινωπή, γκρίζα, μεσόκοκκη, λεπτόκοκκη, ιλυώδης, με μικρό βαθμό διαγένεσης), ασβεσταρρενίτης (κιτρινωπός, λευκώδης, χονδρόκοκκος, μεγάλης σκληρότητας) και μάργα (κιτρινωπή, ανοιχτόχρωμη, γκρίζα, ασβεσταρρενιτική, αμμούχα). Το σύνολο των γεωτρήσεων είναι 10 και στις πρώτες 7, δεν χρησιμοποιήθηκε χαλικόφιλτρο, ενώ υπήρχαν φίλτρα σε όλο το μήκος. Στη γεώτρηση (2005/076) για βάθος 74-86 m χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ενώ για τα βάθη 0-74 m και 86-92 m η γεώτρηση ήταν τυφλή. Στη γεώτρηση (2006/004) για βάθος 73-85 m χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ενώ για τα βάθη 0-73 m και 85-91 m η γεώτρηση ήταν τυφλή. Τέλος, όσον αφορά τη γεώτρηση (2006/012) για βάθος 24-36 m χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα, ενώ για τα βάθη 0-24 m και 36-42 m η γεώτρηση ήταν τυφλή.



Σχήμα 1.3: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Κωνσταντίνου & Ηρακλέους, 2006).

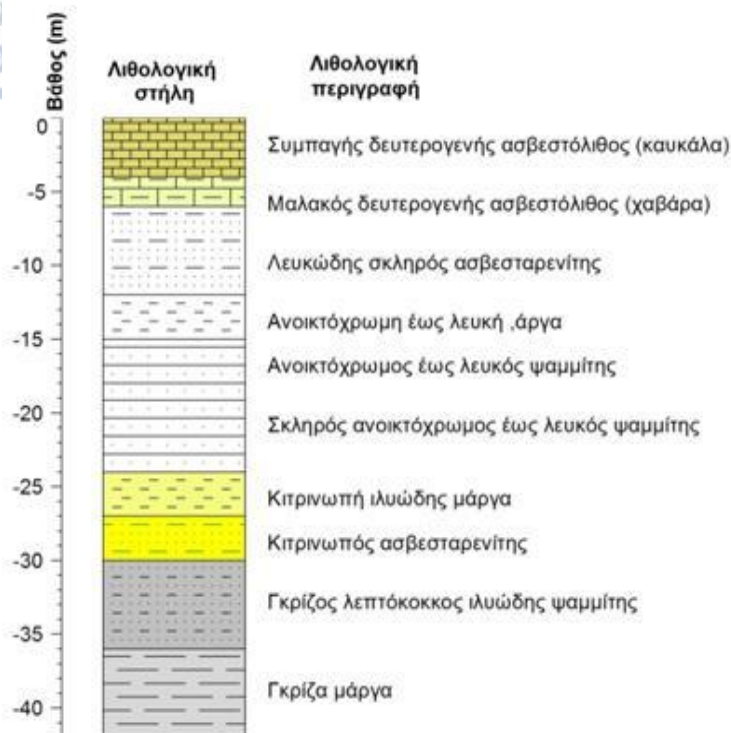
Λιθολογική τομή της γεώτρησης 2005/055



ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (cm)	ΕΙΔΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (cm)
90	22,2	Πλαστική	15,25

Σχήμα 1.4: Λιθολογική τομή της γεώτρησης 2005/055
Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου

Λιθολογική τομή της γεώτρησης 2006/012



ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (cm)	ΕΙΔΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (cm)
42	38,10	Μεταλλική	15,25

Σχήμα 1.5: Λιθολογική τομή της γεώτρησης 2006/012

Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου

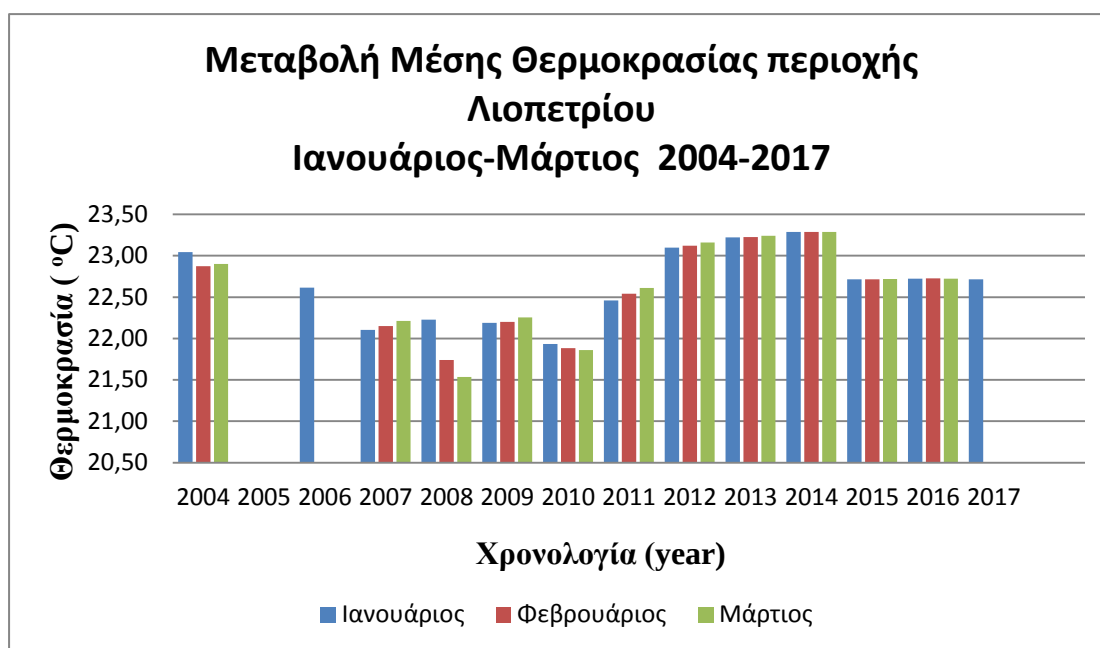
Γενικά, η περιοχή του Λιοπετρίου και ευρύτερα των Κοκκινοχωρίων αποτελεί ένα οροπέδιο λόγω των απότομων κλίσεων των πρανών και αποτελεί το νοτιοανατολικό τμήμα της κεντρικής πεδιάδας. Το ανάγλυφο είναι ομαλό και το μέσο υψόμετρο δεν ξεπερνά τα 70 m με εξαίρεση την περιοχή από τα βορειοδυτικά της περιοχής Αγίας Νάπας μέχρι το ακρωτήριο Κάβο Γκρέκο όπου μπορεί να ξεπεράσει τα 120 m με σχηματισμό λοφωδών περιοχών με πιο γνωστό τον λόφο 'Φανό' ο οποίος φτάνει τα 175 m. Επίσης, υπάρχει θαλάσσια αναβαθμίδα η οποία ξεκινάει από τα ανατολικά του ποταμού του Λιοπετρίου, κατευθύνεται στο ακρωτήριο Κάβο Γκρέκο και καταλήγει στη Δερύνεια. Το υπερυψωμένο οδικό δίκτυο σε συνδυασμό με τη μικρή κλίση του εδάφους και τη μικρή απορροφητικότητα προκάλεσε προβλήματα στην αποστράγγιση της περιοχής ιδίως μετά

από εμφάνιση έντονης βροχόπτωσης και έτσι προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας 120 απορροφητικών πηγαδιών και γεωτρήσεων στην περιοχή Ξυλοφάγου και Ορμήδεια. Συνοψίζοντας, η ευρύτερη περιοχή των Κοκκινοχωρίων αποτελείται από ιζηματογενείς αποθέσεις, οι οποίες ποικίλουν ηλικιακά από το Άνω Κρητιδικό μέχρι το Ολόκαινο.

1.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα- Βροχομετρικά Δεδομένα

Η Κύπρος χαρακτηρίζεται από Μεσογειακό κλίμα με θερμά ξηρά καλοκαίρια, τα οποία διαρκούν από τα μέσα Μαΐου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου και βροχερούς ήπιους χειμώνες οι οποίοι διαρκούν από τα μέσα Νοεμβρίου μέχρι τα μέσα Μαρτίου. Στις ενδιάμεσες μικρής διάρκειας περιόδους έχουμε την εμφάνιση του Φθινοπώρου και της Άνοιξης, των δύο μεταβατικών εποχών.

Κατά τον 20^ο αιώνα, παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας της Κύπρου με ρυθμό αύξησης 0,01 °C/έτος. Στην ευρύτερη περιοχή Λιοπετρίου η μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά την περίοδο 2000 – 2007 κυμαίνεται μεταξύ 14,1 °C – 28,2 °C και ο μέσος αριθμός ημερών το χρόνο με παγετό αέρα είναι 0,5, ενώ με παγετό εδάφους 3,7. Σύμφωνα με μετρήσεις του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, η μέση θερμοκρασία για την περίοδο Ιανουαρίου- Μαρτίου για τα έτη 2004 -2017 μεταβάλλεται ως εξής (Σχήματα 1.6 και 1.7):

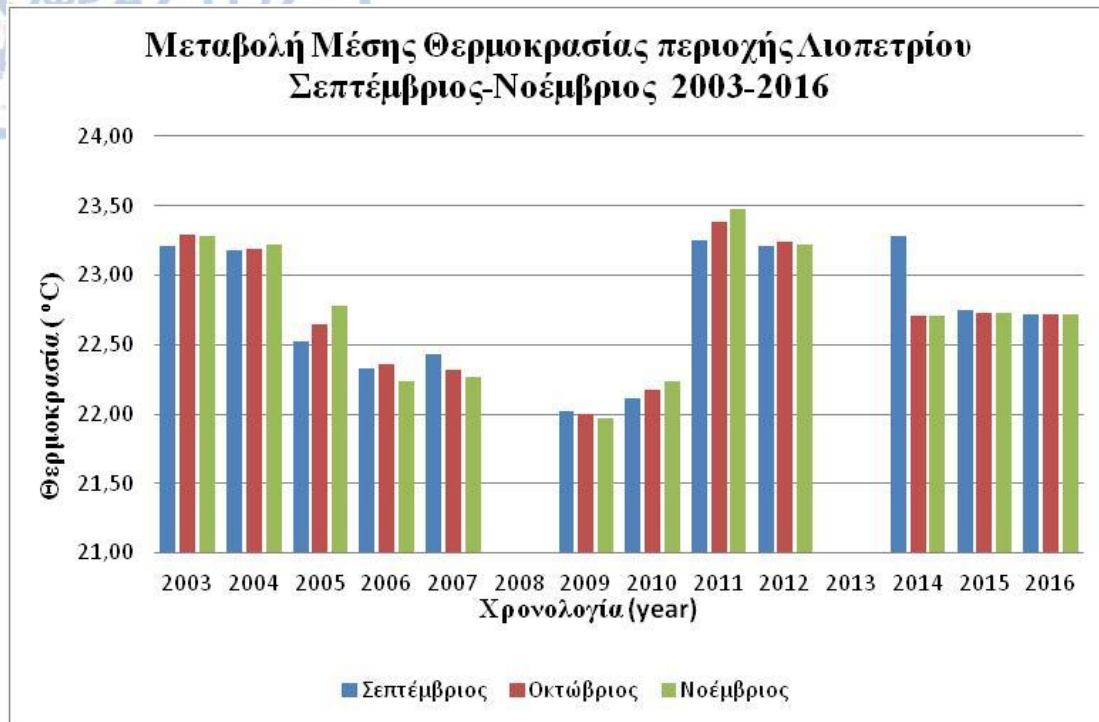


Σχήμα 1.6: Μεταβολή της ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή Λιοπετρίου.

- Τον Ιανουάριο του 2004 η μέση θερμοκρασία φτάνει τους 23,04 °C, ενώ τα δεδομένα για το 2005 απουσιάζουν. Στη συνέχεια, το 2006 παρατηρείται μείωση η οποία συνεχίζεται μέχρι το 2007. Το 2008 παρατηρείται αύξηση η οποία το 2009 μεταπίπτει σε μείωση η οποία συνεχίζεται μέχρι το 2010. Το 2011-2014 παρατηρείται αύξηση, το 2015 μείωση, το 2016 αύξηση και τέλος το 2017 μείωση.
- Τον Φεβρουάριο του 2004 η μέση θερμοκρασία φτάνει τα 22,87 °C ενώ τα δεδομένα απουσιάζουν για τις χρονολογίες 2005 και 2006. Το 2007 και το 2008 παρατηρείται μείωση, ενώ το 2009 αύξηση. Το 2010 παρατηρείται μείωση και στη συνέχεια, μέχρι το 2014 παρατηρείται αύξηση. Το 2015 παρατηρείται μείωση ενώ το 2016 αύξηση. Τα δεδομένα για το 2017 απουσιάζουν.
- Τον Μάρτιο η μέση θερμοκρασία φτάνει τα 22,90 °C και οι μεταβολές των τιμών της μέσης βροχόπτωσης είναι ανάλογες με τις μεταβολές των τιμών του μήνα Φεβρουαρίου.

Ανάλογα, η μέση θερμοκρασία της περιοχής Λιοπετρίου για την περίοδο Σεπτέμβριος-Νοέμβριος 2003-2016, σύμφωνα με μετρήσεις από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης ορίζεται ως εξής:

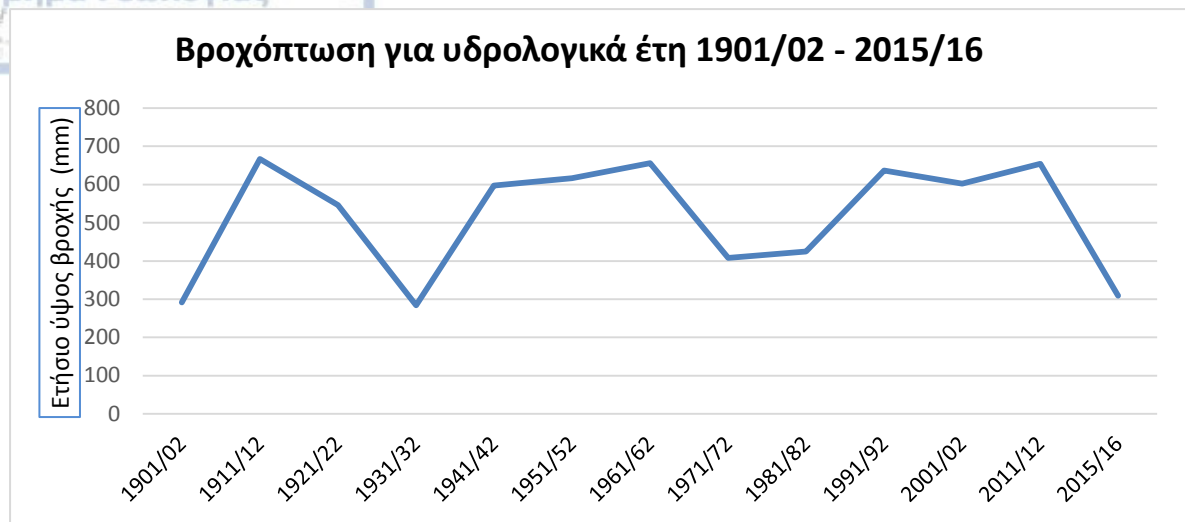
- Τον Σεπτέμβριο του 2003 η μέση θερμοκρασία έχει τιμή 23,21 °C. Από το 2004 μέχρι το 2006 υπάρχει σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας. Το 2007 παρατηρείται αύξηση ενώ για το 2008 απουσιάζουν τα δεδομένα. Το 2009 παρατηρείται μείωση ενώ το 2010 υπάρχει σταδιακή αύξηση η οποία εξελίσσεται το 2011 σε πιο έντονη. Το 2012 παρατηρείται μικρή ελάττωσή της, το 2013 απουσιάζουν τα δεδομένα, το 2014 υπάρχει αύξηση ενώ στη συνέχεια το 2015-2016 παρατηρείται μείωση.
- Τον Οκτώβριο του 2003 η μέση θερμοκρασία έχει τιμή 23,29 °C. Από το 2004 μέχρι το 2007 υπάρχει σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας. Το 2008 απουσιάζουν τα δεδομένα, ενώ η μείωση συνεχίζεται μέχρι το 2009. Το 2010 υπάρχει μικρή αύξηση, ενώ το 2011 έντονη αύξηση. Το 2012 υπάρχει μικρή μείωση η οποία συνεχίζεται μέχρι το 2014 ενώ το 2013 απουσιάζουν τα δεδομένα. Από το 2014 μέχρι το 2016 παρατηρούνται πολύ μικρές αυξομειώσεις.
- Το Νοέμβριο του 2003 η μέση θερμοκρασία έχει τιμή 23,29 °C και οι τιμές είναι ανάλογες με τον Σεπτέμβριο με τη διαφορά ότι το 2014 παρατηρείται μείωση και όχι αύξηση. Το 2015 και 2016 οι τιμές παραμένουν περίπου οι ίδιες με μικρές αυξομειώσεις.



Σχήμα 1.7: Μεταβολή της ετήσιας θερμοκρασίας στην περιοχή Λιοπετρίου.

Αντιστρόφως ανάλογη είναι η πορεία της βροχόπτωσης η οποία παρουσίασε μείωση ιδιαίτερα στο δεύτερο μισό του αιώνα με έντονες περιόδους ολιγομβρίας και ανομβρίας. Τα μεγαλύτερα ύψη βροχής εμφανίζονται στο διάστημα Νοεμβρίου- Μαρτίου με πιο αντιπροσωπευτική την περίοδο Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου. Εξαιρετική πολυομβρία παρουσιάστηκε στην Κύπρο το 1969 με ποσό βροχής 800mm, τιμή η οποία ήταν 130% πάνω από τα κανονικά επίπεδα. Αντίστοιχα, σοβαρή ανομβρία παρουσιάστηκε το έτος 1973 με ποσό βροχής 213 mm, τιμή η οποία είναι 70% κάτω από τα κανονικά επίπεδα. Για το διάστημα 1901-2016, σύμφωνα με το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, η μέση βροχόπτωση αντιστοιχεί σε 512 mm.

Γενικά, σύμφωνα με τη μορφολογία της Κύπρου, η βροχόπτωση ελαττώνεται σταθερά κατευθυνόμενοι προς τα βόρεια και τα ανατολικά. Παρακάτω, στο διάγραμμα του Σχήματος 1.8 παρουσιάζεται η μεταβολή της βροχόπτωσης από το υδρολογικό έτος 1901/02 - 2015/16.



Σχήμα 1.8: Ετήσια βροχόπτωση (mm) για υδρολογικά έτη 1901/02 - 2015/16

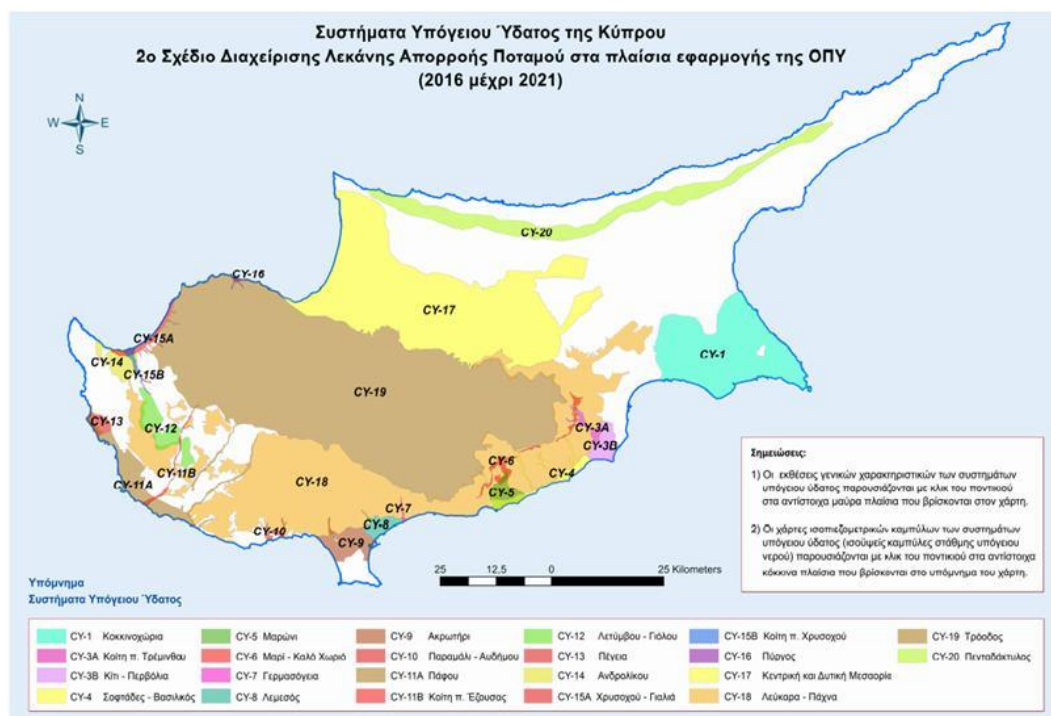
Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου.

2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ-

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

2.1 Γενικά

Ο υδροφορέας των Κοκκινοχωρίων εμπίπτει στη ζώνη Συστήματος Υπόγειου Ύδατος 1 της Κύπρου (CY-1), σύμφωνα με το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Ο σταθμός παρακολούθησης του στάθμης του υπόγειου νερού του είναι τηλεμετρικός. Η παρακολούθηση γίνεται ανά έξι μήνες με την εκτέλεση δειγματοληψίας στην οποία ελέγχεται η χημική κατάσταση του υπόγειου νερού. Αποτελεί τον μεγαλύτερο υδροφορέα της ανατολικής Κύπρου. Την βάση του υδροφορέα αποτελούν οι μάργες Άνω Μειοκαινικής ηλικίας και η μαργαϊκή ακολουθία Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας. Το ανάγλυφο είναι υψηλό και υπάρχουν εναλλαγές βυθισμάτων του υδροφορέα με μεγάλο πάχος και υβωμάτων του υδροφορέα με μικρό πάχος.



Σχήμα 2.1: Συστήματα Υπόγειου Ύδατος της Κύπρου (2016-2021)

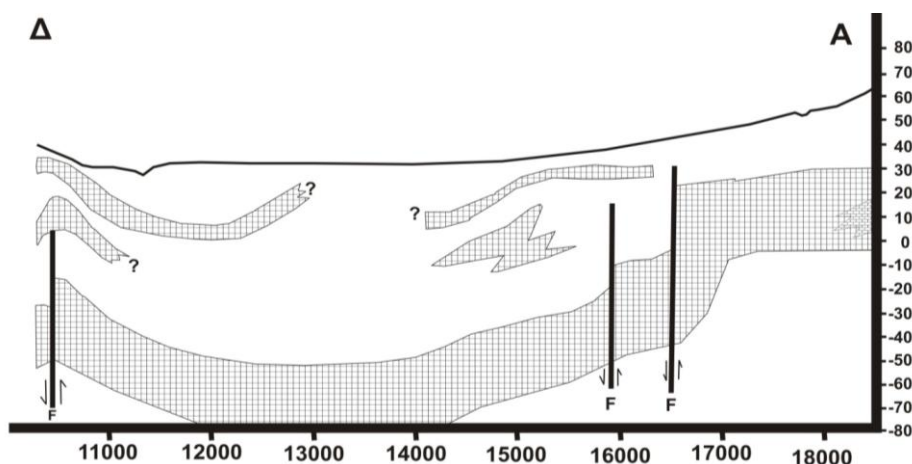
Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων.

2.2 Γεωμετρία του υδροφορέα

Το μέσο πάχος του υδροφορέα είναι 80 m και φτάνει την μέγιστη τιμή των 120 m. Στο ανατολικότερο τμήμα φτάνει την ελάχιστη τιμή πάχους. Κοντά στο Λιοπέτρι, το βάθος του αδιαπέρατου μαργαϊκού στρώματος φτάνει τα 25 έως 40 m από την επιφάνεια θάλασσας. Η συνολική του έκταση είναι 295 km² και το ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 1990-2000 φτάνει τα 300 mm, κάτι το οποίο δηλώνει χαμηλές τιμές βροχόπτωσης. Ο κύριος υδροφορέας συναντάται στις άμμους και στους ψαμμίτες. Ο τύπος του υδροφορέα, είναι υδροφορέας υπό πίεση, εξαιτίας της εμφάνισης στεγανών σχηματισμών στην επιφάνεια και λόγω της απουσίας του φρεάτιου υδροφορέα (υδροφορέας με ελεύθερη επιφάνεια) κατά τόπους.

Δυστυχώς, ο υδροφορέας παρουσιάζεται εξαντλημένος λόγω των υπεραντλήσεων οι οποίες πραγματοποιούνται τα τελευταία 40-45 χρόνια. Ποιοτικά εμφανίζεται υποβαθμισμένος λόγω της υφαλμύρισης, η οποία προκύπτει από τη διείσδυση θαλασσινού νερού στο νότιο τμήμα καθώς και λόγω της νιτρορύπανσης από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες. Η διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφορέα και συνεπώς η ποιοτική υποβάθμιση οφείλονται στην πτώση της στάθμης του υδροφορέα, η οποία είναι επακόλουθο της υπεραντλήσης η οποία έχει προαναφερθεί.

Παρακάτω στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η υδρογεωλογική τομή του υδροφορέα κατά τη διεύθυνση Δ-Α, Νότια του Λιοπετρίου η οποία δηλώνει την παρουσία μαργαϊκού υποβάθρου σε διαφορετικά υψόμετρα. Αυτό συνεπάγεται πιθανή ύπαρξη ρηγμάτων στην περιοχή τα οποία μετακίνησαν το υπόβαθρο ανάλογα προς τα ανάντη ή προς τα κατόντη.



Σχήμα 2.2: Υδρογεωλογική τομή του υδροφορέα κατά τη διεύθυνση Δ-Α, Νότια του Λιοπετρίου Πηγή: Southern Conveyor Project, 1982.

2.3 Πιεζομετρία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο υδροφορέας παρουσιάζεται εξαντλημένος λόγω της υπεράντλησης η οποία φτάνει και το 40% της επιτρεπόμενης άντλησης. Ο ρυθμός πτώσης της στάθμης του υπόγειου νερού ανέρχεται στα 1,5 m/year. Το ετήσιο έλλειμμα νερού για την χρονική περίοδο 1960-1980 ανερχόταν σε $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ εξαιτίας της απόληψης νερού $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ εφόσον ο φυσικός εμπλουτισμός κάλυπτε μόνο τα $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ των υδατικών αναγκών. Το 1963 η στάθμη ανερχόταν στα +6 m από το απόλυτο επίπεδο της θάλασσας (α.ε.θ.), ενώ το 1981 έφτασε τα -30 m αντίστοιχα (στοιχεία Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων). Επακόλουθο αυτής της κατάστασης ήταν η διείσδυση του θαλάσσιου νερού στην παράκτια ζώνη το οποίο προκάλεσε και εξακολουθεί να προκαλεί οικολογικά-περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ποιοτική υποβάθμιση της γεωργίας και της κτηνοτροφίας.

Έτσι, γεννήθηκε η ανάγκη για την λήψη ανάλογων μέτρων με σκοπό την αποτροπή επιβάρυνσης του φαινομένου προτού καταστεί μη αναστρέψιμο. Αποτέλεσμα αυτής της ανάγκης ήταν το 1968 να ληφθούν κάποια νομοθετικά μέτρα τα οποία αφορούσαν τα είδη των καλλιεργειών, τις ποσότητες νερού οι οποίες αντλούνται καθώς επίσης και την βελτίωση των αρδευτικών συστημάτων.

Μια πιθανή λύση για αντιμετώπιση του φαινομένου ορίστηκε η εκμετάλλευση βαθύτερων στρωμάτων η οποία όμως κατέστη μη εφικτή εξαιτίας της παρουσίας μεγάλου πάχους μαργαϊκού υποβάθρου. Σημαντική θεωρήθηκε και η διόρθωση των αγωγών υδροδότησης κυρίως στις αγροτικές περιοχές όπου υπήρχαν οι μεγαλύτερες απώλειες νερού. Μετέπειτα διαδικασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ήταν η κατασκευή μικρών φραγμάτων με σκοπό τον εμπλουτισμό του υδροφορέα και η μεταφορά νερού από άλλες πλεονάζουσες περιοχές όπως είναι τα εμπλουτιστικά φράγματα της περιοχής Ξυλοφάγου και Ορμήδειας.

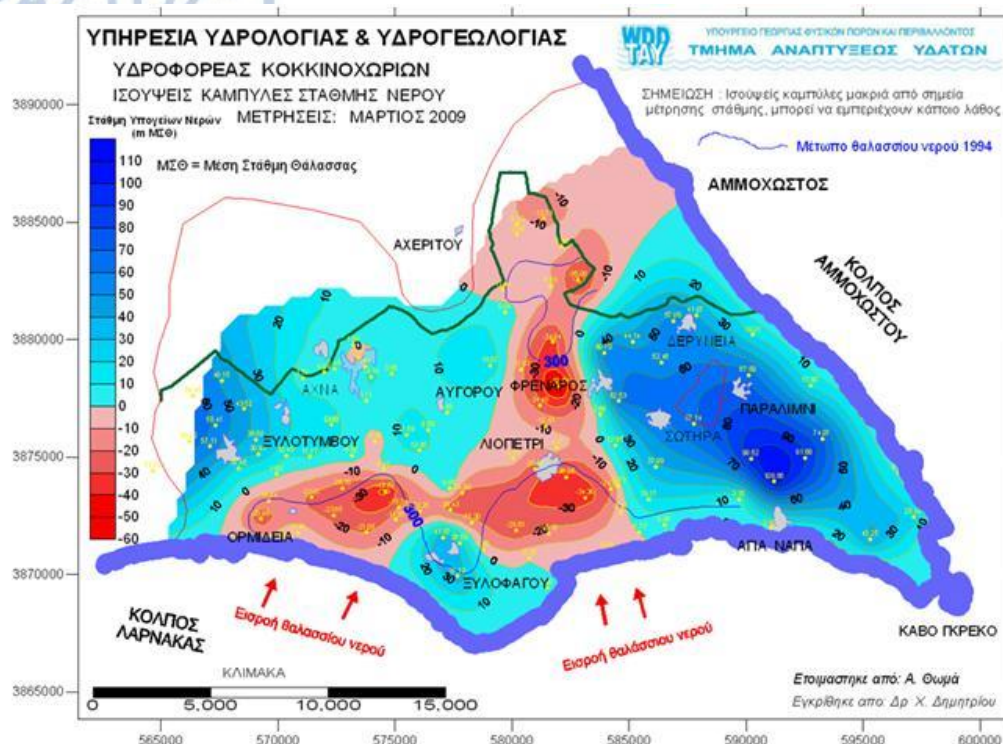
Ο Νότιος αγωγός δημιουργήθηκε με σκοπό να εξυπηρετήσει αυτές τις ανάγκες, δηλαδή να μεταφέρει το νερό το οποίο αρχικά θα κατευθυνόταν στη θάλασσα και να το διοχετεύσει μέσω διαπεριφερειακού αγωγού στις περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν ελλειμματικό ισοζύγιο νερού. Ο αγωγός αυτός καλύπτει τις νότιες περιοχές της Κύπρου ξεκινώντας από το δυτικό κομμάτι της Κύπρου και τον ποταμό Διαρίζο στην Πάφο στα Νοτιοδυτικά φτάνοντας μέχρι τα Κοκκινοχώρια στα Νοτιοανατολικά. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα φράγματα Κούρη, Καλαβασού, Λευκάρων, Διπόταμου, Γερμασόγειας,

Αρμίνου, Πολεμιδιών και Άχνας. Το έργο ήταν πολύ δαπανηρό και χρονοβόρο οπότε αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί σε δύο στάδια.

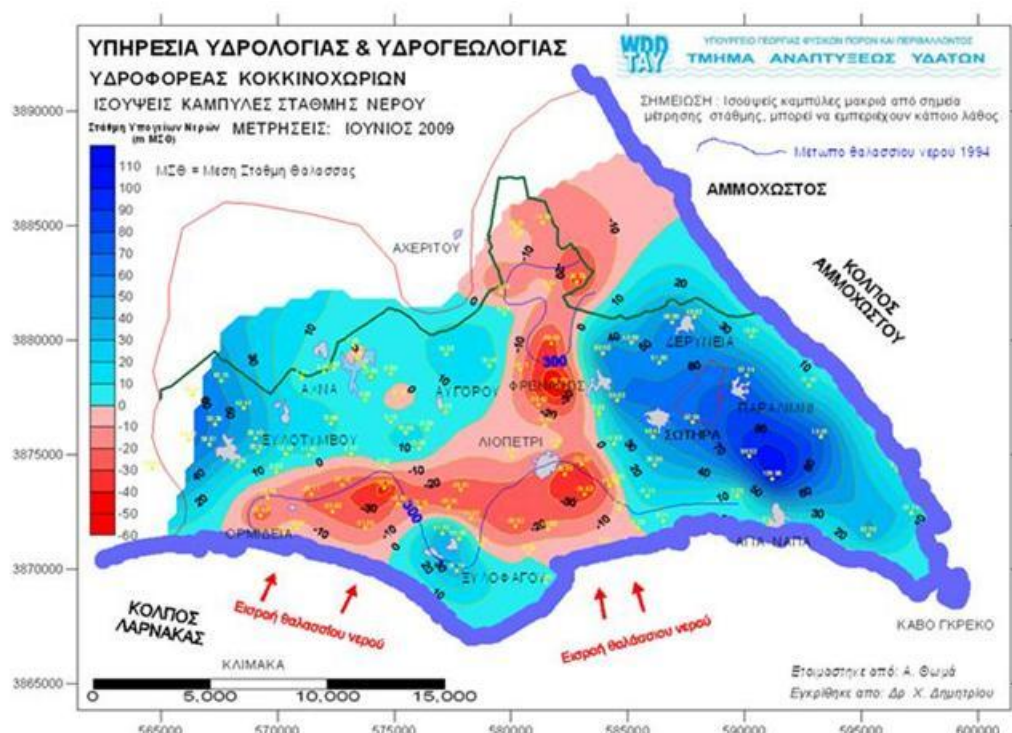
Σύμφωνα με μετρήσεις του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, το Μάρτιο του 2006 η στάθμη του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 2006/012 έφτανε 23,28 m από την απόλυτη επιφάνεια του εδάφους (α.ε.ε.). Αντίστοιχα, στη γεώτρηση 2005/067 έφτανε 85,82 m. Πιο πρόσφατες μετρήσεις παρουσιάζουν τη στάθμη να φτάνει τα -40 m από το επίπεδο της θάλασσας και στην περιοχή Νοτιοανατολικά του οικισμού Λιοπετρίου δημιουργείται ένας κώνος πτώσης στάθμης.

Οι παρακάτω χάρτες αποτελούν πιεζομετρικούς χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τις ισοϋψείς καμπύλες στάθμης νερού του υδροφορέα Κοκκινοχωρίων. Εμφανίζονται οι τιμές για τέσσερεις μήνες του έτους 2009, συγκεκριμένα για τον Μάρτιο, τον Ιούνιο, τον Σεπτέμβριο και τον Δεκέμβριο στα Σχήματα 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6, αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη αρνητική τιμή είναι η -30 m από τη στάθμη της θάλασσας η οποία βρίσκεται στην περιοχή Λιοπετρίου, Ορμήδεια, Φρέναρος και Ξυλοφάγου. Συνεπώς, σε αυτά τα σημεία ο υδροφορέας έχει την μικρότερη στάθμη και την μεγαλύτερη έλλειψη νερού. Αυτό συνεπάγεται την διείσδυση μεγαλύτερης ποσότητας θαλασσινού νερού σε αυτόν και την αυξημένη ρύπανσή του. Αυτό καθιστά τον υδροφορέα μη βιώσιμο σε μερικά τμήματά του. Αντιθέτως, η ψηλότερη στάθμη έχει τιμή +90 m από τη στάθμη της θάλασσας και βρίσκεται κυρίως στην περιοχή Παραλιμνίου - Αγίας Νάπας.

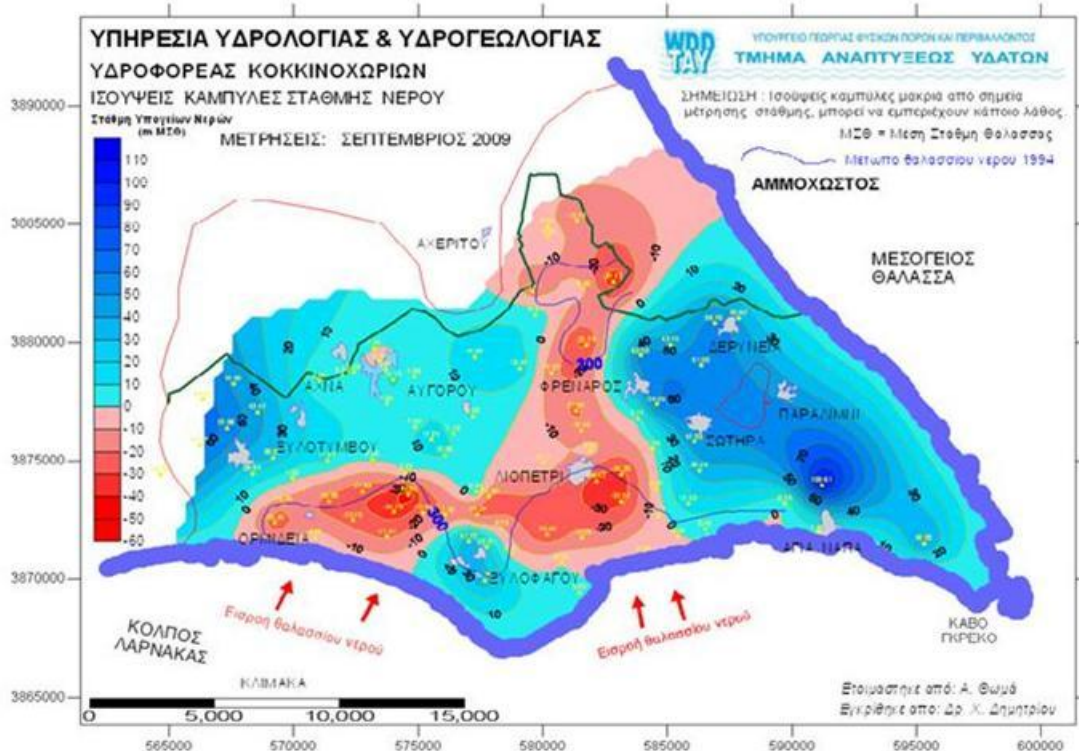
Η θαλάσσια διείσδυση προκαλεί μεταβολή του υδραυλικού φορτίου του οποίου γίνονται προσπάθειες για αύξησή του με σκοπό την αποτροπή της υφαλμύρισης. Στους χάρτες, το **κόκκινο χρώμα** αντιστοιχεί στη στάθμη του νερού η οποία βρίσκεται κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας και παίρνει αρνητικές τιμές. Όσο πιο έντονο κόκκινο έχουμε, τόσο πιο χαμηλά βρίσκεται η στάθμη. Σε αντίθεση, το **μπλε χρώμα** αντιστοιχεί στις περιοχές στις οποίες η στάθμη του νερού βρίσκεται πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Αντίθετα με το κόκκινο χρώμα, όσο πιο έντονο μπλέ έχουμε τόσο πιο ψηλά είναι η στάθμη του νερού. Με κίτρινο χρώμα εμφανίζονται τα σημεία στα οποία έγιναν οι μετρήσεις στάθμης νερού πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και οι αριθμοί οι οποίοι είναι οι τιμές των αντίστοιχων μετρήσεων. Τέλος, η μπλε γραμμή εμφανίζει τις περιοχές οι οποίες επηρεάστηκαν από τη θαλάσσια διείσδυση.



Σχήμα 2.3: ΙσοΨείς καμπύλες στάθμης νερού, Μάρτιος 2009
Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπηρεσία Υδρολογίας & Υδρογεωλογίας.

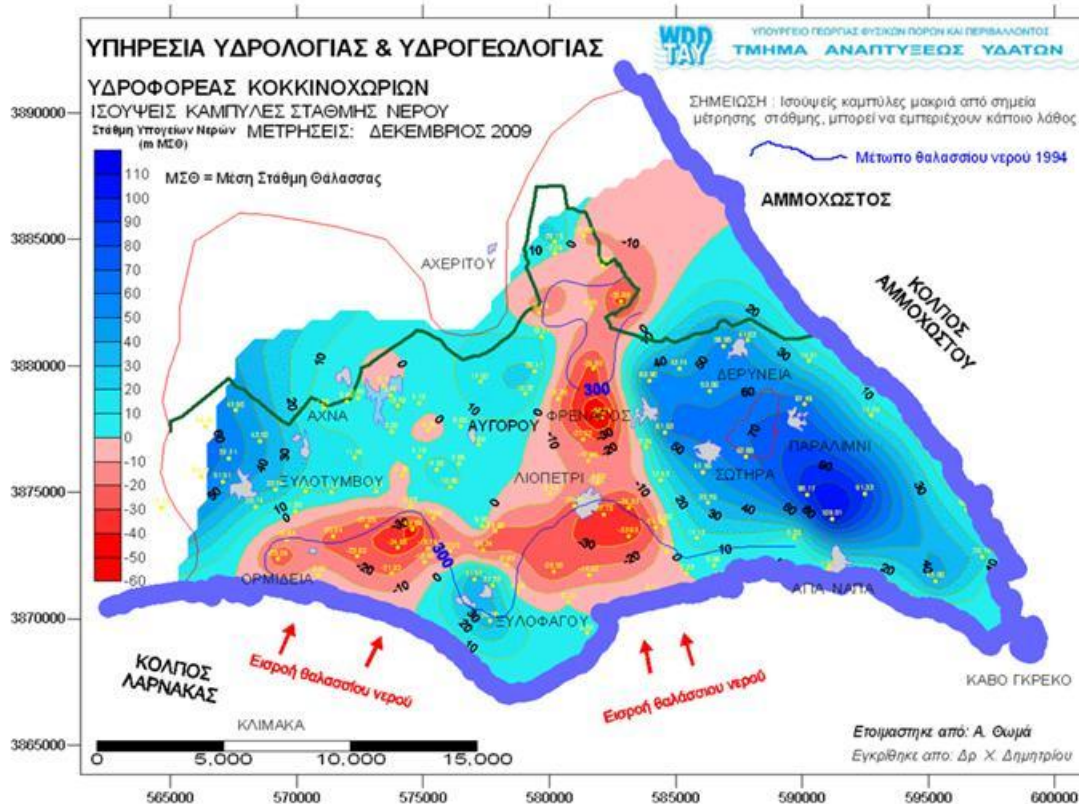


Σχήμα 2.4: ΙσοΨείς καμπύλες στάθμης νερού, Ιούνιος 2009. Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπηρεσία Υδρολογίας & Υδρογεωλογίας.



Σχήμα 2.5: ΙσοΨείς καμπύλες στάθμης νερού Σεπτέμβριος 2009

Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπηρεσία Υδρολογίας & Υδρογεωλογίας



Σχήμα 2.6: ΙσοΨείς καμπύλες στάθμης νερού Δεκέμβριος 2009.

Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπηρεσία Υδρολογίας & Υδρογεωλογίας

Από το 2007 εγκαταστάθηκαν προγράμματα παρακολούθησης της στάθμης του υπόγειου νερού. Υπάρχουν 85 σταθμοί παρακολούθησης, εκ των οποίων οι 20 είναι εξοπλισμένοι με αυτόματους μετρητές στάθμης. Η παρακολούθηση αυτή εκτελείται από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης μέσω διαφόρων συστημάτων και συγκεκριμένα για την περιοχή την οποία μελετάμε είναι το Σύστημα Υπόγειου Ύδατος 1 (CY-1) το οποίο απευθύνεται στην ευρύτερη περιοχή των Κοκκινοχωριών.

Παρόλο που από το 2009 και μετέπειτα παρουσιάζεται αύξηση της βροχόπτωσης και συνεπώς της στάθμης, η ποσοτική κατάσταση του CY-1 χαρακτηρίζεται ως «κακή» και εμφανίζει αρνητικές τιμές (στάθμης κάτω από το επίπεδο της θάλασσας). Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μείωσης της βροχόπτωσης η οποία προηγήθηκε το 1991 και έκτοτε προκάλεσε σημαντική μείωση στη φυσική τροφοδοσία του υδροφορέα.

Συγκεκριμένα, για την χρονική περίοδο 2000-2008 ο εμπλουτισμός ο οποίος προέρχεται από τη βροχόπτωση, από το νερό που κατεισδύει από ροές ποταμών, τις επιστροφές από την άρδευση, τις υπόγειες εισροές από γειτονικούς υδροφορείς, τις απώλειες από φράγματα και τους τεχνητούς εμπλουτισμούς φτάνει τα 10 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά έτος. Οι αντλήσεις οι οποίες εκτελούνται φτάνουν τα 10,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και οι φυσικές απώλειες, συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων εκροών προς τη θάλασσα και των υπόγειων μεταγγίσεων σε γειτονικούς υδροφορείς που βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους, φτάνουν τα 2 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Συνεπώς, πραγματοποιείται υπεράντληση στον υδροφορέα η οποία φτάνει τα -2,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά έτος.

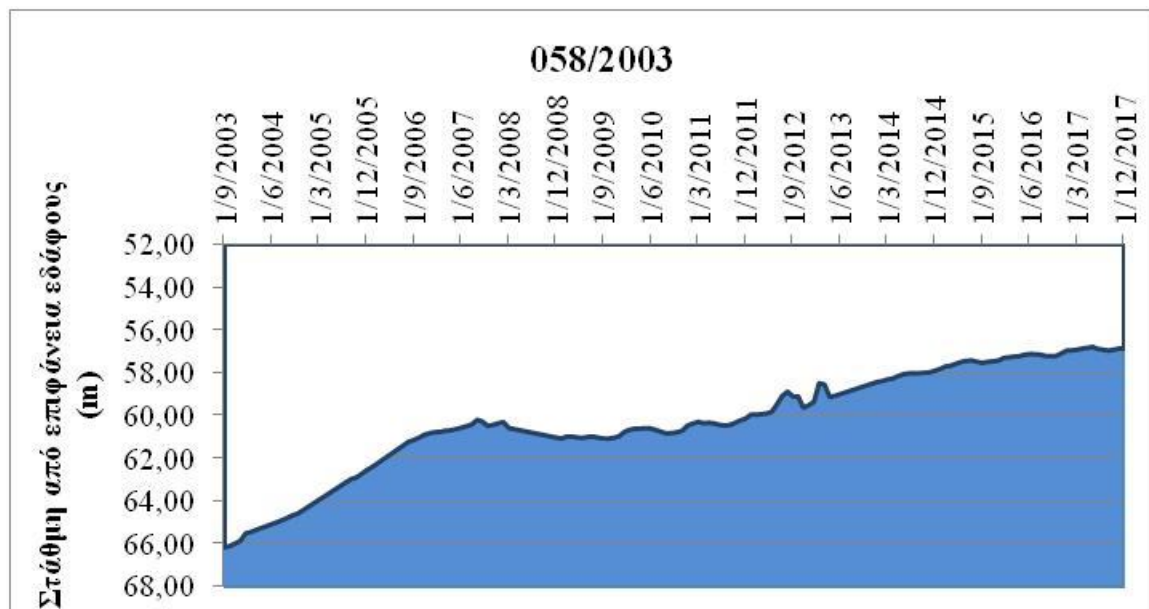
Εξαιτίας της απουσίας ποταμών στον υδροφορέα των Κοκκινοχωριών (CY-1), η μόνη πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα παραμένει η βροχόπτωση και η επιστροφή του νερού από την άρδευση. Αυτό καθιστά τον υδροφορέα μη επαρκή να εξυπηρετήσει συστήματα ύδρευσης, η οποία τελικά επιτυγχάνεται μέσω των συστημάτων αφαλάτωσης τα οποία υπάρχουν στις επαρχίες Λεμεσού και Λάρνακας. Όσο αφορά την άρδευση, ένα μεγάλο ποσοστό της εξυπηρετείται με την επιφανειακή μεταφορά νερού μέσω του Νότιου Αγωγού.

Παρακάτω, παρουσιάζεται η ποσοτική κατάσταση των Συστημάτων Υπόγειου Ύδατος της Κύπρου για τη χρονική περίοδο 2008-2013, όπου με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα συστήματα τα οποία βρίσκονται σε κακή κατάσταση και με πράσινο χρώμα τα αντίστοιχα τα οποία βρίσκονται σε καλή κατάσταση:

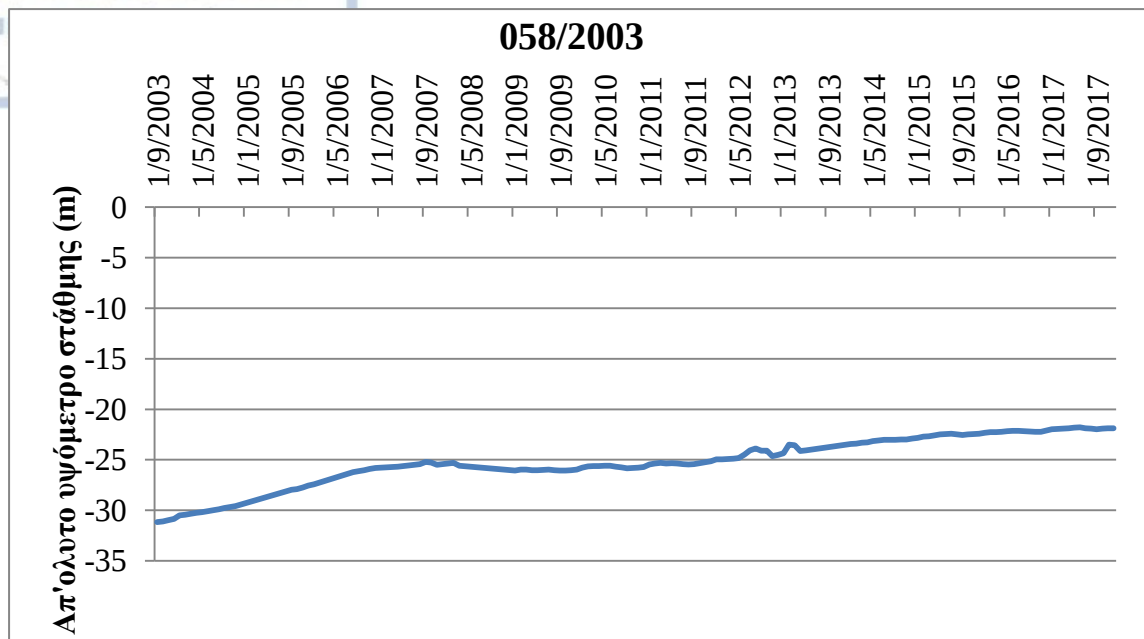


Σχήμα 2.7: Ποσοτική Κατάσταση των Συστημάτων Υπόγειου Ύδατος της Κύπρου για τη χρονική περίοδο 2008-2013. Πηγή: Τμήμα Μετεωρολογίας

Η στάθμη του νερού στον υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων από την επιφάνεια του εδάφους και από το επίπεδο της θάλασσας τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ανοδική πορεία αλλά παραμένει κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των Σχημάτων 2.8. και 2.9.



Σχήμα 2.8: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 058/2003 σε m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 2.9: Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στη γεώτρηση 058/2003 σε m από την επιφάνεια της θάλασσας (απόλυτο υψόμετρο).

2.4 Υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας

Σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, το πορώδες παίρνει τιμή 10% στην ακόρεστη ζώνη κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ 7% στην ακόρεστη ζώνη πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Ως **ειδική απόδοση** ορίζεται ο λόγος του βαρυτικού νερού (V_w) προς τον αντίστοιχο όγκο που κατέχει αυτός ο σχηματι

σμός (V). Στην περιοχή Λιοπετρίου υπολογίστηκε μεταξύ 0,1%-10% με μέσο τιμή την 8,5%.

Υδραυλική αγωγιμότητα (ή συντελεστής υδροπερατότητας) ορίζεται ως η ιδιότητα η οποία δείχνει την ευκολία ροής του νερού μέσα σε ένα πέτρωμα ή σε έδαφος ανάλογα. Στην περιοχή ενδιαφέροντος η μέση υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίστηκε 0,22 m/day.

Ο **συντελεστής αποθηκευτικότητας** (ή υδροχωρητικότητα) εκφράζει τον όγκο του νερού το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα υδροφορέα και παίρνει διαφορετικές τιμές στους φρεάτιους και στους υπό πίεση υδροφορείς. Η τιμή που παίρνει στην περιοχή Λιοπετρίου είναι 0,02 και 0,1.

Τέλος, ο **συντελεστής μεταβιβαστικότητας** (ή υδαταγωγιμότητας) εκφράζει την ιδιότητα του υδροφορέα να μεταβιβάζει νερό. Δεν υπολογίζεται άμεσα αλλά μέσω της σχέσης $T=k \cdot D$ όπου το T είναι ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας, το k η υδραυλική αγωγιμότητα και το D το συνολικό πάχος των υδροφόρων στρωμάτων. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της περιοχής έρευνας, η υδραυλική αγωγιμότητα παίρνει μια μέση τιμή $0,22 \text{ m/day}$ και το μέσο πάχος ($D=80 \text{ m}$) των υδροφόρων στρωμάτων προκύπτει μέση τιμή $T=18 \text{ m}^2/\text{day}$.

Νότια της περιοχής Λιοπετρίου, το 1960 η παροχή υπολογίστηκε στα $20\text{-}35 \text{ m}^3/\text{h}$ ενώ τη 1980 στα $5\text{-}20 \text{ m}^3/\text{h}$. Πλέον, πολλά υδρομαστευτικά έργα κατέστησαν ανενεργά λόγω την πολύ μικρής παροχής η οποία είναι μικρότερη από $3 \text{ m}^3/\text{h}$. Αυτό οφείλεται στη μείωση του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα και αντίστοιχα στην αύξηση του ακόρεστου. Συγκεκριμένα, το 1987 βάση στοιχείων από το Έργο του Νότιου Αγωγού, το κορεσμένο πάχος ήταν $18\text{-}26 \text{ m}$ και σήμερα είναι $1\text{-}5 \text{ m}$. Συνεπώς υπήρξε μια δραματική μείωση του πάχους η οποία προέκυψε από την υπεράντληση νερού στην περιοχή.

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται με εργαστηριακές δοκιμές, επιτόπου δοκιμές και από την παρακάτω σχέση:

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

όπου k : η υδραυλική αγωγιμότητα,

A : η διατομή της στήλης του νερού στη γεώτρηση και $A=\pi r^2$ με r =η ακτίνα της γεώτρησης,

C : συντελεστής ο οποίος επηρεάζεται από τη μορφή την οποία έχει το τμήμα της γεώτρησης όπου γίνεται εισπίεση,

t_1 - t_2 οι χρόνοι και

H_1 , H_2 =οι πτώσεις στάθμης του υπόγειου νερού για τους αντίστοιχους χρόνους.

Έτσι, προκύπτουν οι εξής τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας για τις παρακάτω (Πίνακας 2.10) γεωτρήσεις:

Πίνακας 2.10 Υδραυλική αγωγιμότητα σε 11 γεωτρήσεις

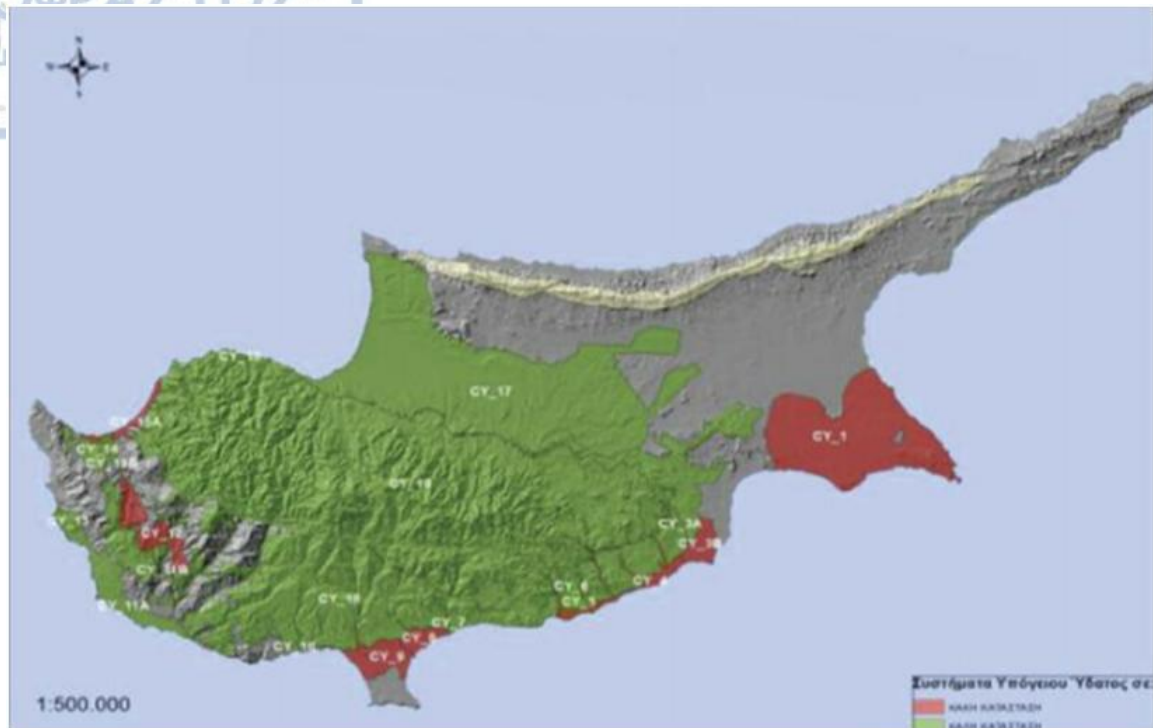
Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

Αριθμός γεώτρησης	Υδραυλική αγωγιμότητα (m/s)
2005/055	$1,4 \times 10^{-7}$
2005/059	$8,9 \times 10^{-8}$
2005/061	$7,4 \times 10^{-8}$
2005/063	$2,1 \times 10^{-7}$
2005/065	$8,8 \times 10^{-8}$
2005/067	10^{-7}
2005/070	$1,2 \times 10^{-7}$
2005/072	$1,3 \times 10^{-7}$
2005/076	$1,3 \times 10^{-7}$
2006/004	$1,7 \times 10^{-8}$
2006/012	$3,7 \times 10^{-7}$

2.5 Ποιότητα Υπόγειου Νερού

Η ποιοτική κατάσταση της περιοχής επηρεάζεται άμεσα από την ποσοτική. Η υπεράντληση του νερού προκαλεί τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφορέα και συνεπώς υποβαθμίζεται η ποιότητα λόγω υφαλμύρισης και ο υδροφορέας χαρακτηρίζεται ως «κακός» ποιοτικά. Επιπλέον, το νερό υποβαθμίζεται από την εφαρμογή λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και άλλων βλαβερών ουσιών τα οποία καταλήγουν στο υπόγειο νερό μέσω κάποιων φυσικών διεργασιών, όπως η απορροή. Συνέπεια αυτών των καταστάσεων είναι η ρύπανση του νερού με επιβλαβή χημικά στοιχεία και ουσίες. Καθοριστικός είναι και ο παράγοντας του τουρισμού καθώς επίσης και ο αυξημένη παραγωγή αστικών λυμάτων.

Η χημική κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων της Κύπρου παρουσιάζονται στον χάρτη που ακολουθεί στον οποίο εμφανίζεται ο υδροφορέας των Κοκκινοχωρίων με κόκκινο χρώμα, χαρακτηρίζοντάς τον ως «κακό» όπως έχει προαναφερθεί.



Σχήμα 2.11: Χημική κατάσταση Συστημάτων Υπόγειου Ύδατος της Κύπρου 2008-2013
Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου.

Υπάρχουν τέσσερεις σταθμοί παρακολούθησης των υδροφορέων οι οποίοι είναι ο σταθμός Λιοπετρίου με κωδικό H3104-1479, ο σταθμός Φρενάρου με κωδικό H3105-1071, ο σταθμός Αυγόρου με κωδικό H3110-0461 και ο σταθμός Ξυλοφάγου με κωδικό H4107-0338. Στους σταθμούς Φρενάρου, Αυγόρου και Ξυλοφάγου το νερό χρησιμοποιείται αποκλειστικά για άρδευση. Κατά το 2008-2009 καταγράφηκαν αυξημένα ποσοστά ορισμένων χημικών παραμέτρων στην περιοχή Κοκκινοχωρίων.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή Ξυλοφάγου καταγράφηκε η μέγιστη τιμή των νιτρικών αλάτων 71,16 mg/L και μέση τιμή το 19,50 mg/L. Αυτό οφείλεται στην εντατική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Επίσης, στην ίδια περιοχή καταγράφηκε η μέγιστη τιμή των χλωριόντων 606 mg/L με μέση τιμή 344,17 mg/L. Η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανέρχεται σε 2705 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με μέση τιμή 2003 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Την ευθύνη για τις αυξημένες τιμές χλωριόντων και ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Αντίστοιχα, στην περιοχή Αυγόρου παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή θεικών αλάτων (SO_4^{2-}) με τιμή 456,38 mg/L, μέση τιμή 172,94 mg/L, η οποία οφείλεται στη θαλάσσια διείσδυση.

Επίσης, στην περιοχή Αυγόρου παρατηρείται η μέγιστη ποσότητα αμμωνίας ($\text{NH}_3\text{-N}$) με τιμή 2,51 mg/L, μέση τιμή 0,45 mg/L. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αυξημένη

κτηνοτροφία η οποία παρατηρείται στην περιοχή. Τέλος, στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται αυξημένα τα ποσοστά νιτρικών (NO_3^-), μεταλλοειδών (As) και τετραχλωροαιθυλενίου (C_2Cl_4).

Στον σταθμό παρακολούθησης Λιοπετρίου κατά τη χρονική περίοδο 2008-2012 η χημική κατάσταση η οποία επικρατεί χαρακτηρίζεται ως καλή με τα θεϊκά ιόντα να εμφανίζουν ανοδική τάση, ενώ το 2011-2012 η κατάσταση του υδροφορέα καθίσταται πιο «κακή». Στο σταθμό παρακολούθησης Φρενάρου τη χρονική περίοδο 2008-2013 ορίζεται ως «κακή», λόγω της παρουσίας αυξημένων αμμωνιακών ιόντων και ταυτόχρονα χλωριούχων ιόντων. Αντίστοιχα, στον σταθμό παρακολούθησης Αυγόρου κατά τη χρονική περίοδο 2008-2013, η χημική κατάσταση ορίζεται «κακή» εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσης νιτρικών και θεικών ιόντων. Τέλος, στον σταθμό παρακολούθησης Ξυλοφάγου η χημική κατάσταση ορίζεται και πάλι ως «κακή» εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσης χλωριούχων και νιτρικών ιόντων καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαιτίας της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού.

Ως επακόλουθο της υποβάθμισης της ποιοτικής κατάστασης του υδροφορέα, κρίθηκε ακατάλληλος να παρέχει νερό με σκοπό την ύδρευση. Η χρήση του πλέον είναι μόνο για σκοπούς άρδευσης, χωρίς όμως να αποτελεί την μόνη πηγή νερού για αυτή τη χρήση. Όσο αφορά την ύδρευσης, πηγή αυτής αποτελεί το νερό το οποίο προέρχεται από την αφαλάτωση. Στον παρακάτω Πίνακα (2.12) παρουσιάζονται πέντε γεωτρήσεις με τις αντίστοιχες παραμέτρους οι οποίες τις χαρακτηρίζουν. Από τον Πίνακα αυτόν παρατηρούνται τα εξής:

- Η αγωγιμότητα παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή, κυρίως στη γεώτρηση 2005/055 και 2005/076 τόσο σε επιτόπου δοκιμές όσο και σε εργαστηριακές.
- Όσο αφορά το pH, οι περισσότερες γεωτρήσεις παρουσιάζουν βασικού χαρακτήρα υπόγειο νερό με εξαίρεση τη γεώτρηση 2005/076 η οποία παρουσιάζει νερό με όξινο έως σχεδόν ουδέτερο χαρακτήρα. Αυτό αποδεικνύεται και εργαστηριακά με παρόμοιες τιμές pH.
- Η μέση θερμοκρασία σε όλες τις γεωτρήσεις κυμαίνεται μεταξύ 21-22 βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$).
- Το διαλυμένο οξυγόνο παρουσιάζεται σε μέγιστη ποσότητα στη γεώτρηση 2005/055 και σε ελάχιστη στη γεώτρηση 2005/076.



- Το ασβέστιο (Ca) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/072 και τη μέγιστη με μεγάλη διαφορά στη γεώτρηση 2005/076.
- Το νάτριο (Na) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/055 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/072.
- Το κάλιο (K) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/055 με πολύ μικρή τιμή και τη μέγιστη με μεγάλη διαφορά στη γεώτρηση 2005/076.
- Το μαγνήσιο (Mg) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/055 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.

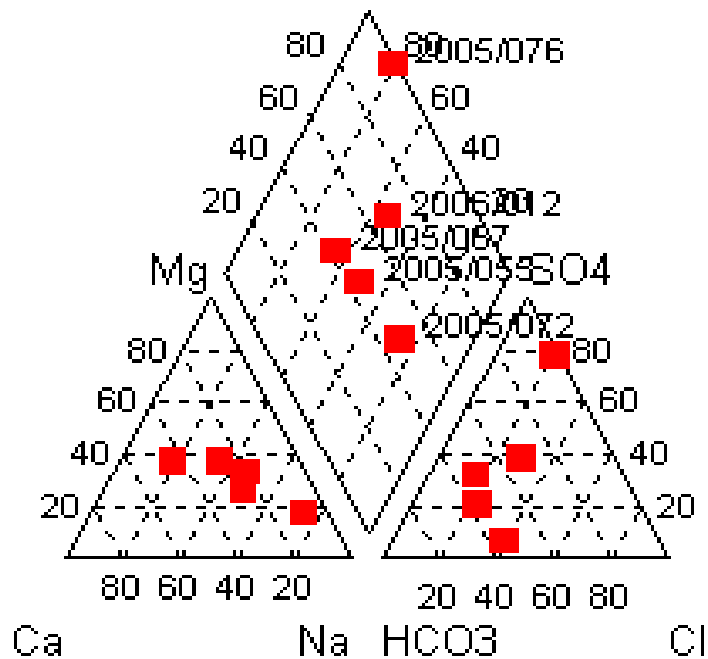
Πίνακας 2.12: Παράμετροι γεωτρήσεων
Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου.

<i>Γεώτρηση</i>	2005/055	2005/067	2005/072	2005/076	2006/012
<i>Παράμετρος</i>					
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

- Το χλώριο (Cl) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2006/012 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.
- Τα όξινα ανθρακικά άλας (HCO_3) παρουσιάζουν την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/076 και τη μέγιστη με μεγάλη διαφορά στη γεώτρηση 2005/067.
- Τα νιτρικά άλατα (NO_3) παρουσιάζουν την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/072 και τη μέγιστη με πολύ μεγάλη διαφορά στη γεώτρηση 2005/067.
- Τα θειικά άλατα (SO_4) παρουσιάζουν την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/055 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076 με πολύ μεγάλη διαφορά στην τιμή.
- Η ολική σκληρότητα παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/055 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076 με πολύ μεγάλη διαφορά στην τιμή.
- Βόριο (B) δεν έχει παρουσιαστεί στις χημικές αναλύσεις του υπόγειου νερού των συγκεκριμένων περιοχών λήψης γεωτρήσεων.
- Το βάριο (Ba) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/067 και 2005/072 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.
- Στο αρσενικό (As) βρέθηκαν οι ίδιες τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις.
- Το λίθιο (Li) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/072 και 2006/012 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.
- Το αργίλιο (Al) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/067, 2005/072 και 2006/012 τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.
- Στο χρώμιο (Cr) βρέθηκαν οι ίδιες τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις.
- Το μαγγάνιο (Mn) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/067, 2005/072 και 2006/012 τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076 όπως και το αργίλιο.
- Ο σίδηρος (Fe) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στη γεώτρηση 2005/072 και τη μέγιστη με μεγάλη διαφορά στη γεώτρηση 2005/076
- Στο κοβάλτιο (Co) βρέθηκαν οι ίδιες τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις.
- Στο νικέλιο (Ni) βρέθηκαν οι ίδιες τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις.
- Στο χαλκό (Cu) βρέθηκαν οι ίδιες τιμές σε όλες τις γεωτρήσεις.

- Ο ψευδάργυρος (Zn) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/072, 2005/076 και 2006/012 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/067.
- Το κάδμιο (Cd) παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή στις γεωτρήσεις 2005/055, 2005/067, 2005/072 και 2006/012 και τη μέγιστη στη γεώτρηση 2005/076.
- Ο μόλυβδος (Pb) παρουσιάζει την ίδια αναλογία τιμών με το κάδμιο.

Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται από αυτές τις μετρήσεις είναι ότι η γεώτρηση 2005/076 παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές σχεδόν σε όλα τα χημικά στοιχεία και ιόντα, ενώ αντίθετα η γεώτρηση 2005/055 παρουσιάζει τις περισσότερες αντίστοιχες χαμηλές τιμές.



Σχήμα 2.13: Διάγραμμα PIPER (δεξιά) για δείγματα νερού από 5 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης για τον Ιανουάριο 2009.

Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ατλαντίς Συμβουλευτική Κύπρου

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ **ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

3.1 Γενικά

Οι υπόγειοι υδροφορείς εμπλουτίζονται με επιφανειακά νερά. Αυτό μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές όπως είναι τα κατακρημνίσματα, οπότε σε αυτή την περίπτωση έχουμε τον «φυσικό εμπλουτισμό». Ο φυσικός εμπλουτισμός επηρεάζεται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, μορφολογία και την περατότητα του εδάφους. Υπάρχουν δύο είδη φυσικού εμπλουτισμού, ο άμεσος ο οποίος πραγματοποιείται κατά την κατείσδυση των κατακρημνισμάτων και ο έμμεσος ο οποίος συμβαίνει μέσω της διήθησης διαμέσου των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου.

Όταν οι συνθήκες οι οποίες προαναφέρθηκαν δεν είναι οι ιδανικές, δηλαδή όταν υπάρχει ανομβρία, μειωμένη επιφανειακή ροή νερού και αρκετά επίπεδη μορφολογία η οποία δεν ευνοεί τη δημιουργία ρεμάτων και την τελική κατείσδυση, τότε οι υπόγειοι υδροφορείς εμπλουτίζονται τεχνητά. Ο εμπλουτισμός αυτός λέγεται «τεχνητός εμπλουτισμός» και γίνεται με ανθρώπινη παρέμβαση. Το νερό το οποίο προστίθεται στους υπόγειους υδροφορείς έχει μετεωρική προέλευση. Αυτή η μέθοδος εμπλουτισμού είναι ευρέως γνωστή και χρησιμοποιείται για περίπου δύο αιώνες στο διεθνή χώρο. Η αρχική του εφαρμογή αφορούσε την ηλεκτροδότηση πόλεων μέσω επαγωγικού εμπλουτισμού. Γενικά, υπάρχουν πολλές μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού.

3.2 Τρόποι τεχνητού Εμπλουτισμού

a) Με τη χρήση ανακυκλωμένου νερού

Ένας τρόπος τεχνητού εμπλουτισμού ενός υπόγειου υδροφορέα, είναι η εισαγωγή ανακυκλωμένου νερού σε αυτό μέσω γεωτρήσεων φόρτισης. Το ανακυκλωμένο νερό προκύπτει μέσω της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων με βιολογικές διεργασίες και χρησιμοποιείται για την άρδευση δημόσιων χώρων πρασίνου, καλλιεργειών, οικιστικών περιοχών, αντλιοστασίων και κήπων ξενοδοχείων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποφυγή ρύπανσης της θάλασσας και γενικά του περιβάλλοντος καθώς επίσης και ένα περιβάλλον με καλύτερες συνθήκες υγιεινής. Συνεπώς, είναι μια επωφελής μέθοδος η οποία βοηθάει σημαντικά περιοχές με μειωμένη ποσότητα κατακρημνισμάτων και

γενικότερα με μειωμένη ποσότητα υδάτων οποιασδήποτε μορφής και προέλευσης. Αυτό συμβαίνει διότι για δραστηριότητες άρδευσης για τις οποίες θα χρησιμοποιείτο νερό ύδρευσης, πλέον χρησιμοποιείται το ανακυκλωμένο νερό.

b) Με τη διάνοιξη φρεατίων (γεωτρήσεων) εμπλουτισμού

Μια άλλη μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού είναι με τη διάνοιξη γεωτρήσεων φρεατίων όπου στην πραγματικότητα πρόκειται για το μέσο διοχέτευσης του ανακυκλωμένου νερού στον υδροφόρα. Η πιο βέλτιστη μέθοδος διάνοιξης των φρεατίων είναι σταδιακά, έτσι ώστε να υπάρξει ομαλή λειτουργία στο αρχικό στάδιο στο οποίο δεν θα παρέχονται μεγάλες ποσότητες νερού. Υπάρχει μία μέγιστη τιμή γεωτρήσεων εμπλουτισμού (φρεάτια) και αυτές στη συγκεκριμένη περίπτωση της περιοχής Λιοπετρίου είναι 90 καταλαμβάνοντας έκταση 3 Km². Είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια συγκεκριμένη ελάχιστη απόσταση και να βρίσκονται κατανεμημένες σε κρατική γη. Γενικά, ο αριθμός των γεωτρήσεων σε συνδυασμό με κάποιους άλλους παράγοντες όπως είναι η απορροφητικότητα, καθορίζουν τον μέγιστο όγκο του νερού ο οποίος θα εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφόρα.

3.3 Τεχνητός Εμπλουτισμός στην Κύπρο

Στην επαρχία Αμμοχώστου και συγκεκριμένα στην Αγία Νάπα υπάρχει Σταθμός Επεξεργασίας Λυμάτων, στον οποίο γίνεται επεξεργασία των λυμάτων των περιοχών Αγίας Νάπας και Παραλιμνίου. Στην περιοχή Παραλιμνίου για τη χρονική περίοδο 2003-2006 παρατηρείται έλλειμμα ποσότητας του ανακυκλωμένου νερού και κατά την περίοδο 2007-2008 πλεόνασμα.

Στην περιοχή Αγίας Νάπας, παρατηρείται πλεόνασμα ανακυκλωμένου νερού για τη χρονική περίοδο 2003-2008. Έτσι, η περιοχή Παραλιμνίου προμηθεύεται το πλεόνασμα του ανακυκλωμένου νερού από την Αγία Νάπα, θέτοντας το συνολικό ισοζύγιο της περιοχής πλεονασματικό, με εξαίρεση το έτος 2006.

3.4 Προϋποθέσεις εφαρμογής Τεχνητού Εμπλουτισμού

Για την εφαρμογή Τεχνητού Εμπλουτισμό είναι βασικό να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Πρώτα απ' όλα, πρέπει να υπάρχουν αρκετά αποθέματα επιφανειακού νερού. Εάν όμως δεν υπάρχουν, τότε είναι σημαντική η παρουσία αρκετών αποθεμάτων τεχνητού νερού. Ακόμη, σημαντικό είναι το νερό εμπλουτισμού να έχει παρόμοια χημική σύσταση με το υπόγειο νερό έτσι ώστε να μην υποβαθμίσει την ποιότητά του κατά τον εμπλουτισμό. Η γεωμορφολογία είναι ένας ακόμη παράγοντας ο οποίος μπορεί να επηρεάσει τον τεχνητό εμπλουτισμό και πρέπει να είναι τέτοια ώστε να τον ευνοεί, δηλαδή να είναι ήπιο το ανάγλυφο.

Αναφορικά με το κόστος, τα έξοδα κατασκευής και συντήρησης πρέπει να ανταποκρίνονται σε λογικά πλαίσια. Επιπρόσθετα, το έδαφος είναι βασικό να έχει αυξημένη περατότητα έτσι ώστε να επιτρέπει στο επιφανειακό νερό να διεισδύσει και να προστεθεί στο υπόγεια αποθέματα. Αναγκαία είναι και η εξασφάλιση της απαραίτητης έκτασης γης, η ρύθμιση όλων των νομικών προβλημάτων σχετικά με τη μεταφορά νερού και η ύπαρξη κατάλληλων υποδομών ώστε να διευκολύνουν την εκτέλεση του έργου και να την καθιστούν εφικτή. Τέλος, βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχουν οι κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες οι οποίες εντοπίζονται σε περιοχές με υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα (k).

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Τεχνητού Εμπλουτισμού

Ο Τεχνητός Εμπλουτισμός εμφανίζει πολλά μειονεκτήματα. Πρώτον ενισχύει τα υπόγεια αποθέματα και έτσι αντικαθιστά τα εξαντλημένα αποθέματα του υδροφορέα. Ακόμη, βελτιώνει την ποιότητα των υπόγειων υδάτων με την προϋπόθεση ότι είναι χημικά συμβατά και με αυτό τον τρόπο προστατεύει τους υγρότοπους και τις πηγές. Με τον Τεχνητό Εμπλουτισμό επιτυγχάνεται η ελάττωση της απώλειας νερού από εξάτμιση εφόσον το νερό αποθηκεύεται υπόγεια και δεν εκτίθεται τόσο στα φυσικά φαινόμενα. Τέλος, με την προσθήκη νερού στους υπόγειους υδροφορείς μέσω του Τεχνητού Εμπλουτισμού, καθίσταται δυνατή η αποφυγή διείσδυσης του θαλασσινού νερού και η προστασία της ποιότητας των υπόγειων νερών. Από την άλλη, ο τεχνητός εμπλουτισμός παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι εξίσου σημαντικά.

Όταν το νερό εμπλουτισμό δεν είναι χημικά συμβατό με το υπόγειο νερό, τότε προκαλείται ρύπανση του υπόγειου νερού. Εφόσον το νερό ρυπανθεί, τότε είναι δύσκολο να απορρυπανθεί λόγω της θέσης του η οποία είναι υπόγεια και λόγω της μεγάλης έκτασης την οποία κατέχει. Ακόμη, είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί και το φαινόμενο έμφραξης των πόρων του εδάφους και των φιλτροσωλήνων των γεωτρήσεων εμπλουτισμού, γνωστό ως clogging,

3.6 Δυνατότητες εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή Λιοπετρίου

Οι επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων απαιτούσαν να εφαρμοστεί τεχνητός εμπλουτισμός μέσω βαθιών γεωτρήσεων. Η κατασκευή των συγκεκριμένων γεωτρήσεων εκτιμήθηκε ποσοτικά στις 90 γεωτρήσεις (Σχήμα 3.1), με μέση απορροφητική ικανότητα για την καθεμιά $120 \text{ m}^3/\text{day}$. Ο συγκεκριμένος αριθμός των γεωτρήσεων οφείλεται στην έκταση της περιοχής της έρευνας που υπολογίζεται στα 3 Km^2 πριν το Λιοπέτρι.

Ο σχεδιασμός των γεωτρήσεων εμπλουτισμού και της άντλησης του νερού θα γινόταν είτε με την εφαρμογή και αποταμίευση νερού μέσα σε μια γεώτρηση καθώς και την άντληση του από την συγκεκριμένη γεώτρηση, είτε από την εφαρμογή και αποταμίευση του νερού μέσα σε μία γεώτρηση με την άντληση να λαμβάνει χώρα στην γειτονική γεώτρηση αφού θα υλοποιείται και επιπρόσθετη επεξεργασία του υπεδάφους. Καταλληλότερος σχεδιασμός στην περιοχή έρευνας αποδείχθηκε ο δεύτερος, δηλαδή η άντληση να γίνεται από γειτονική γεώτρηση, γιατί το νερό του εμπλουτισμού καθώς βρίσκεται στο υπέδαφος αυτοκαθαρίζεται από τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο περιβάλλον εκεί.

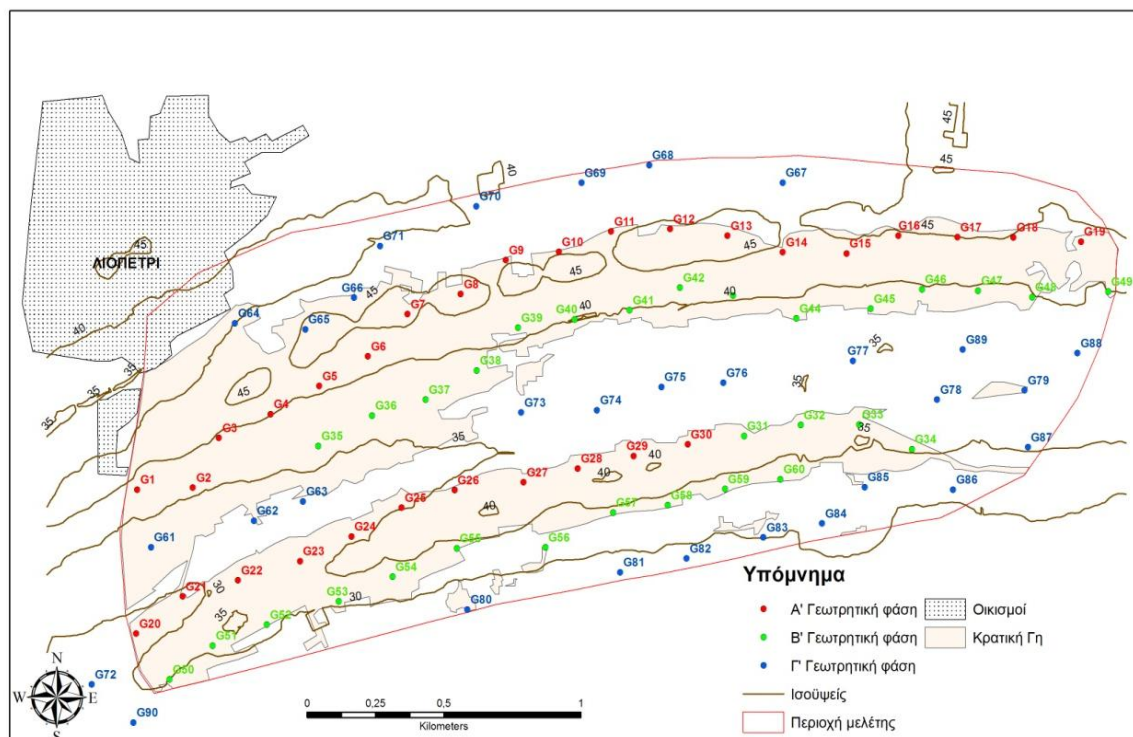
Απαραίτητο, ανά συχνά χρονικά διαστήματα, είναι να τοποθετούνται, μέσα στις παραπάνω γεωτρήσεις, αντλητικά συγκροτήματα για να μην υπάρχει κίνδυνος έμφραξης των γεωτρήσεων και για να καθαρίζονται. Από τους υπολογισμούς που έγιναν στην περιοχή παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή του ανακυκλωμένου νερού θα παρουσιάζει αύξηση μέχρι το 2040, με διπλάσια ποσότητα από την σημερινή. Έτσι κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή των εμπλουτιστικών γεωτρήσεων να γίνει σε τρεις φάσεις (Βουδούρης κ.ά., 2007):

1^η φάση: η κατασκευή να αρχίσει με τριάντα γεωτρήσεις, 200 μέτρων απόστασης η μια από την άλλη και σε παράλληλες σειρές. Η μέγιστη εμπλουτιστική ικανότητα των γεωτρήσεων αυτών υπολογίστηκε περίπου σε $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος.

2^η φάση: νοτιότερα από την πρώτη φάση να ανορυχθούν τριάντα (30) γεωτρήσεις. Η μέγιστη εμπλουτιστική ικανότητα των γεωτρήσεων αυτών υπολογίστηκε σε $2,16 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος.

3^η φάση: η τελευταία πρόσθεση γεωτρήσεων αφορούσε τριάντα γεωτρήσεις ακόμα, οι οποίες τοποθετήθηκαν τόσο περιφερειακά, όσο και στο κέντρο με απόσταση 200 μέτρων η μια από την άλλη. Η μέγιστη εμπλουτιστική ικανότητα των γεωτρήσεων αυτών υπολογίστηκε σε $3,24 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος.

Σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατόν οι αντλούμενες ποσότητες των γεωτρήσεων να υπερβαίνουν το φυσικό και τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφορέα, για να μπορεί να γίνει η αποκατάστασή του. Εάν εφαρμοστεί το παραπάνω σχέδιο, τότε ο υδροφορέας θα παρουσιάσει ποσοτική ανάκαμψη και θα παρατηρηθεί σταδιακή άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού.

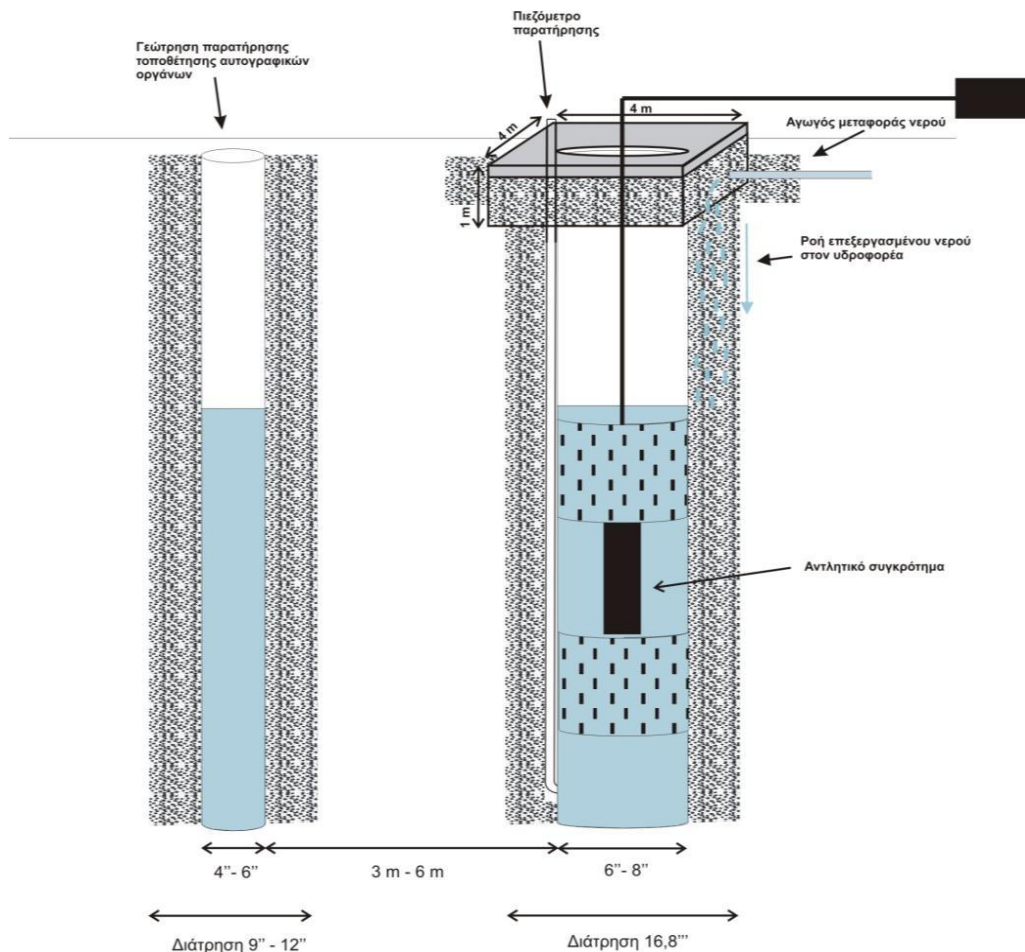


Σχήμα 3.1: Η θέση ανόρυξης των γεωτρήσεων εμπλουτισμού.

3.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά εμπλουτιστικών γεωτρήσεων

Ο τεχνητός εμπλουτισμός από τις γεωτρήσεις ορίστηκε και πραγματοποιήθηκε σε βάθος 90 m με διάμετρο 381 mm, σωληνωμένες με μεταλλικές σωλήνες 152 mm και πληρωμένες με χαλικόφιλτρο. Τοποθετήθηκαν επίσης και φιλτροσωλήνες στα βαθύτερα σημεία που εμφανίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας.

Μεταξύ των σωλήνων και των τοιχωμάτων της γεώτρησης τοποθετήθηκε χαλικόφιλτρο διαμέτρου 15 mm. Το νερό που διέρχεται από το χαλικόφιλτρο, δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για τον εξαερισμό και την στρωτή ροή.



Σχήμα 3.2: Προτεινόμενο σκαρίφημα γεώτρησης τεχνικού εμπλουτισμού (Από Βουδούρης, 2007).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων εμπλουτισμού στην περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων.

Μέθοδος διάτρησης:	Περιστροφική με χρήση αφρού
Διάμετρος διάτρησης:	427 mm. Δείγματα πετρώματος κάθε 1m διάτρησης.
Διάμετρος σωλήνωσης:	152 mm
Βάθος:	Έως 90 m στο Δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και μικρότερο βάθος ~50 m στο Ανατολικό τμήμα, λόγω μικρότερου πάχους υδροφορέα
Φιλτροσωλήνες:	Στο κατώτερο τμήμα της γεώτρησης, όπου απαντώνται τα υδροφόρα στρώματα
Είδος φιλτροσωλήνων:	Μεταλλικοί με άνοιγμα φίλτρων 2mm και θα συνδέονται με μούφες.
Χαλικόφιλτρο:	Μεταξύ της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Τα χαλίκι θα είναι διαβασικής προέλευσης διαμέτρου 15 mm, πλήρως αποστρογγυλωμένο και καλά πλυμένο.
Επιφανειακή προστασία:	Στην κεφαλή της γεώτρησης προτείνεται η κατασκευή ορύγματος διαστάσεων 4m x 4m x 1m, το οποίο θα πληρωθεί αυτό με χαλικόφιλτρο. Τα ορύγματα αυτά θα καλυφθούν επιφανειακά από τσιμεντένια πλάκα για προστασία από τα όμβρια νερά.
Πιεζομετρικός σωλήνας:	Στο χώρο μεταξύ των εξωτερικών τοιχωμάτων της γεώτρησης της σωλήνωσης θα τοποθετηθεί πιεζομετρικός σωλήνας 1½ ίντσας.
Γεώτρηση παρατήρησης - Όργανα παρακολούθησης:	Σε μικρή απόσταση περίπου 3-6 m από επιλεγμένες γεωτρήσεις θα ανορυχθεί γεώτρηση παρατήρησης ίδιου βάθους με διάμετρο διάτρησης 9 5/8" και διάμετρο σωλήνωσης 4". Στην πιεζομετρική γεώτρηση θα γίνει τοποθέτηση των αυτογραφικών οργάνων, καθώς και μέτρηση της στάθμης με χειροκίνητο σταθμήμετρο.

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ **ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ – ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

4.1 Ποσοτική ανάκαμψη του υδροφορέα

Ο υδροφορέας των Κοκκινοχωριών λαμβάνει χώρα σε ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους, στοιχεία που αναπτύξαμε σε προηγούμενα κεφάλαια και η έκτασή του υπολογίστηκε ίση με 295 Km^2 . Όπως σε όλους τους υδροφορείς η κύρια πηγή τροφοδοσίας συνδέεται άρρηκτα με την βροχόπτωση, έτσι και ο συγκεκριμένος υδροφορέας τροφοδοτείται από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης με μερικά όμως προβλήματα. Τα υψηλά ποσοστά ανομβρίας στην Κύπρο δημιουργούν μεγάλες επιπλοκές, μια από αυτές είναι το χαμηλό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, την κύρια πηγή για την τροφοδοσία των υδροφόρων. Για την επανατροφοδοσία του υδροφορέα λαμβάνονται υπόψη και οι επιστροφές των αρδεύσεων με αποτέλεσμα ο συνολικός ετήσιος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφορέα των Κοκκινοχωριών να είναι $10 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Η κορεσμένη ζώνη έχει πάχος 1-5 m και επηρεάζεται από τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τις συνθήκες άντλησης της περιοχής. Η ακόρεστή ζώνη διαχωρίζεται σε δύο επίπεδα. Το πρώτο είναι κάτω από τη επιφάνεια της θάλασσας και έχει πάχος 25 m, ενώ το δεύτερο είναι πάνω από τη επιφάνεια της θάλασσας με το πάχος των πετρωμάτων να κυμαίνεται περίπου στα 50 m. Το σημείο στο οποίο ο υδροφορέας έχει μικρό πάχος βρίσκεται ανατολικότερα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Το υπόγειο νερό έχει διεύθυνση ροής από Βόρεια προς Νότια, η διεύθυνση του όμως διευθύνεται από τους κώνους καταπτώσεως που σχηματίζονται όταν η γεώτρηση υπεραντλείται. Αυτό παρατηρείται ελάχιστα στην περιοχή του Λιοπετρίου, αφού η διεύθυνση ροής είναι από τα Βορειοανατολικά προς τα Νοτιοδυτικά. Αξιοσημείωτο να αναφερθεί είναι ότι ο κατά μήκος του υδροφορέα, πριν το Λιοπέτρι παρουσιάζεται αρνητική πιεζομετρία -30 m συγκριτικά με τη μέση στάθμη του θαλασσινού νερού.

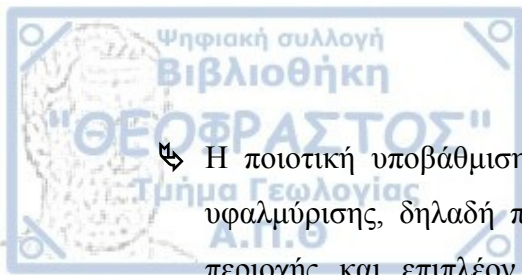
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο υδροφορέας χρειάζεται τεχνητό εμπλουτισμό γιατί υπάρχει σημαντική μείωση στα αποθέματα του και σε συνδυασμό με την υπεράντλησή του, δεν μπορεί να γίνει η ποσοτική του ανάκαμψη. Θετικό στοιχείο είναι η αύξηση της παραγωγής του ανακυκλωμένου νερού, όμως η ετήσια απορρόφηση του υδροφορέα σε έκταση 3 Km^2 έχει τιμή $3,24 \times 10^6 \text{ m}^3$. Οι ποσότητες νερού που

5. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✚ Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Λιοπετρίου με έκταση 6 Km², το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται ως ήπιο και το υψόμετρο φτάνει τα 50 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Η απόσταση της περιοχής έρευνας από θάλασσα είναι περίπου στα 5 Km. Εμφανίζονται δύο ημιλοφώδη τμήματα στην περιοχή με διεύθυνση Ανατολή – Δύση, όπου η ανάπτυξη του εδαφικού καλύμματος δεν είναι αρκετή.
- ✚ Το κλίμα στην περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ημίξηρες συνθήκες με μέση ετήσια βροχόπτωση 330 mm και θερμοκρασία 19,6 °C. Η τιμή των κατακρημνισμάτων κατά τη χειμερινή περίοδο ανέρχεται σε 61,6% και το καλοκαίρι 1,2% του συνολικού ποσοστού βροχόπτωσης. Ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με βάση τη μέθοδο Thornthwaite ανέρχεται σε 80% του ετησίου ύψους βροχόπτωσης.
- ✚ Η περιοχή έρευνας καλύπτεται από αποθέσεις του σχηματισμού Λευκωσίας, πλειοκαινικής ηλικίας και αποτελείται από απολιθωματοφόρες μάργες και λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ασβεστιτικούς ψαμμίτες.
- ✚ Το ανώτερο τμήμα της περιοχής καλύπτεται από συμπαγή δευτερογενή ασβεστόλιθο, που ονομάζεται καυκάλα και κάτω από τον ασβεστόλιθο υπάρχει ένας μαλακός δευτερογενής ασβεστόλιθος που ονομάζεται χαβάρα. Το μέσο πάχος των ανωτέρω ασβεστολίθων είναι περίπου σε 6 m.
- ✚ Ο συμπαγής δευτερογενής ασβεστόλιθος εμποδίζει την κατείσδυση του νερού σε βαθύτερα στρώματα. Ο ψαμμίτης και οι αμμούχες φάσεις εμφανίζονται σε βάθος 30-45 m από την επιφάνεια του εδάφους. Το υπόβαθρο είναι ανώμαλο και παρουσιάζει εναλλαγές βυθισμάτων και υβωμάτων που συνθέτουν τη μαργαϊκή ακολουθία.
- ✚ Ο υδροφορέας αναπτύσσεται μέσα στους ψαμμιτικούς ορίζοντες και άμμους. Η παρουσία στεγανών σχηματισμών στην επιφάνεια απουσιάζει και ο φρεάτιος υδροφορέας μετατρέπεται σε υπό πίεση υδροφορέας. Το μέσο πάχος του

υδροφορέα ανέρχεται σε 80 m και το μέγιστο σε 120 m. Στο Ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας ο υδροφορέας έχει μικρότερο πάχος.

- ✚ Το βάθος του αδιαπέρατου μαργαϊκού υποβάθρου, στην περιοχή έρευνας, κυμαίνεται από -25 έως -40 m από την επιφάνεια θάλασσας. Κάτω από το επίπεδο της θάλασσας το μέσο πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι 25 m, ενώ το μέσο πάχος των πετρωμάτων της ακόρεστης ζώνης πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι 50 m.
- ✚ Το πάχος της κορεσμένης ζώνης εξαρτάται από τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες και τις συνθήκες άντλησης που έχουν τιμή μεταξύ 1-5 m. Έτσι πρακτικά ο υδροφορέας βρίσκεται σε πλήρη εξάντληση.
- ✚ Όπως είναι λογικό, η φυσική διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι βόρεια προς νότια, όμως η διεύθυνση ελέγχεται από τη δημιουργία κώνων πτώσης στάθμης σε περιοχές όπου γίνεται υπεράντληση.
- ✚ Η στάθμη του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας καταγράφει αρνητικές τιμές, που ανέρχονται έως -40 m από το επίπεδο της θάλασσας. Στην περιοχή ΝΑ/κά του οικισμού Λιοπέτρι δημιουργείται ένας κώνος κατάπτωσης. Ο υδροφορέας είναι εξαντλημένος λόγω της υπεράντλησης των τελευταίων δεκαετιών με συνολικό πάχος ακόρεστης ζώνης ~75, από τα οποία τα 25-50 m προσφέρονται για τεχνητό εμπλουτισμό. Επίσης εμφανίζεται αρνητική πιεζομετρία περίπου -34 m, εκτός από το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής.
- ✚ Η παροχή των γεωτρήσεων του υδροφορέα είναι $<3 \text{ m}^3/\text{hr}$ σε πολλές περιοχές, λόγω της μείωσης του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα. Η κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα είναι η κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης με τον ρυθμό τροφοδοσίας να είναι μικρός.
- ✚ Η υδραυλική αγωγιμότητα στην περιοχή έχει τιμές 1-20 m/day, οι τιμές του συντελεστή μεταβιβαστικότητας κυμαίνονται μεταξύ 60 και $180 \text{ m}^2/\text{day}$ και του συντελεστή αποθηκευτικότητας μεταξύ 0,02 και 0,1. Η μέση απορροφητική ικανότητα των γεωτρήσεων υπολογίστηκε σε $120 \text{ m}^3/\text{day}$.



✚ Η ποιοτική υποβάθμιση του υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων συμβαίνει λόγω υφαλμύρισης, δηλαδή παρατηρείται θαλάσσια διείσδυση στο νότιο τμήμα της περιοχής και επιπλέον από τη νιτρορρύπανση λόγω της εντατικής χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες.

✚ Από τα ποιοτικά στοιχεία που συλλέχθηκαν δεν προκύπτει επιβάρυνση του υδροφορέα σε βαρέα μέταλλα (Pb, Cd, Cr, Ni) και μεταλλοειδή (As).

✚ Στον υδροφορέα Κοκκινοχωρίων προτείνεται ο τεχνητός εμπλουτισμός με επεξεργασμένα λύματα να γίνει μέσω βαθιών γεωτρήσεων και όχι με επιφανειακή κατάκλιση. Για την αποκατάσταση του υδροφορέα, απαιτείται οι αντλούμενες ποσότητες να μην υπερβαίνουν το φυσικό και τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφορέα.

✚ Η ακτίνα επίδρασης των γεωτρήσεων είναι 150-200 m και μπορούν να κατασκευασθούν συνολικά 90 εμπλουτιστικές γεωτρήσεις, με βάθος μέχρι 90 m στα δυτικά και 50 m στα ανατολικά. Ο χρόνος εμπλουτισμού εκτιμάται σε 300 ημέρες.

✚ Η μέση απορροφητική ικανότητα κάθε γεώτρησης εκτιμήθηκε σε $120 \text{ m}^3/\text{day}$. Η ετήσια απορροφητική ικανότητα του υδροφορέα μέσω 90 εμπλουτιστικών γεωτρήσεων στην ανέρχεται σε $3,24 \times 10^6 \text{ m}^3$.

✚ Ο μέγιστος όγκος για τον κορεσμό του υδροφορέα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας είναι $13,5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

✚ Από την ανάμειξη του ανακυκλωμένου νερού με το νερό εμπλουτισμού, αναμένεται και βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή Λιοπετρίου η οποία βρίσκεται στην επαρχία Αμμοχώστου της Κύπρου, εντάσσεται στον Υδροφορέα των Κοκκινοχωρίων ο οποίος εμπίπτει στη ζώνη Συστήματος Υπόγειου Ύδατος 1 (CY-1). Ο υδροφορέας είναι υπό πίεση λόγω της παρουσίας στεγανών σχηματισμών και αποτελείται από τον σχηματισμό Λευκωσίας Πλειστοκαινικής ηλικίας, δηλαδή από απολιθωματοφόρες μάργες, λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ασβεστιτικούς ψαμμίτες, άργιλο και ασβεσταρρενίτη.

Η θερμοκρασία στην Κύπρο παρουσίασε αύξηση $0,01^{\circ}\text{C}$ ανά έτος τον 20^ο αιώνα. Η βροχόπτωση παρουσιάζει μείωση η οποία προκαλεί ανομβρία και μακροπρόθεσμα ξηρασία.

Λόγω των υπεραντλήσεων εξαντλούνται τα αποθέματα με αποτέλεσμα τη θαλάσσια διείσδυση στις παράκτιες περιοχές και την υφαλμύριση του υδροφορέα και την ποιοτική υποβάθμιση. Για αποφυγή ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισης του υδροφορέα, χρειάζεται να γίνουν κάποιες δράσεις, όπως η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού. Στην περιοχή σχεδιάστηκε η διάνοιξη 90 γεωτρήσεων για τεχνητό εμπλουτισμό με επεξεργασμένα λύματα.

Για την επιτυχημένη εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού και την ποσοτική ανάκαμψη του υδροφορέα, καθοριστικό ρόλο παίζει η απορροφητικότητα, η υδροπερατότητα, οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, καθώς και η ύπαρξη αναγκαίας ποσότητας επεξεργασμένων λυμάτων.

ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

The Liopetri district, located in the Famagusta province of Cyprus, is part of the Kokkinohorion Aquifer, which falls under the Groundwater System Zone 1 (CY-1). The aquifer is under pressure due to the presence of watertight formations and consists of the Nicosia Pleistocene age formation, ie from fossil marls, fine grains to coarse limestone sand, clay and calcarearnite.

The temperature in Cyprus increased by 0.01 °C per year in the 20th century. Rainfall is declining, causing water shortage and long-term drought.

Owing to oversupply, stocks are depleted resulting in marine penetration in coastal areas and the deterioration of the aquifer and qualitative degradation. Aquifer overexploitation causes increased groundwater pressures. To avoid qualitative and quantitative degradation of the aquifer, some actions need to be done, such as artificial recharge using treated wastewater through deep boreholes.

For the successful implementation of the artificial recharge and the quantitative recovery of the aquifer, the permeability and the hydrogeological conditions of the area, as well as the quantity of treated waste water, play an important role.



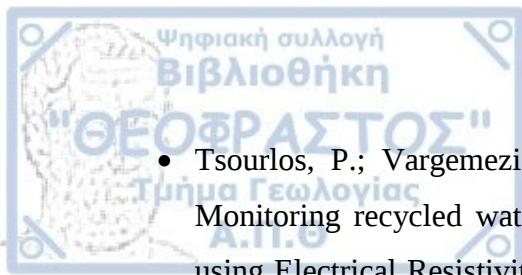
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Βουδούρης, Κ. (2015). *Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού*
- Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, (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 Υδροφόρου παρά το Λιοπέτρι (Κ. Βουδούρης κ.ά.).*
- Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Δεκέμβριος (2014). *Έκθεση Επανεξέτασης, Αναθεώρησης και Επαναχαρακτηρισμού των Συστημάτων Υπόγειου Ύδατος της Κύπρου για την Εφαρμογή του άρθρου 5 της Οδηγίας-Πλαίσιο περί Υδάτων, 2000/60/EK*
- Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Ταμείο Συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Σεπτέμβριος (2011). *Σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού Κύπρου.*
- Πλιάκας, Φ., Διαμαντής, Ι. (1999). *Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων νερών και εφαρμογές του στην Ελλάδα και το Διεθνές χώρο.*

Ξενόγλωσση

- Artificial Recharge of Groundwater: Proceedings of the 3rd International Symposium—TISAR 98; Peters, J.H., Ed.; Amsterdam, The Netherlands, 21–25 September 1998; Balkema: Rotterdam, The Netherlands.
- Asano, T.; Levine, A.D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. *Water Sci. Tech.* 33, 1-16.
- Bouwer, H. Issues in artificial recharge (1996). *Water Sci. Tech.* 33, 381-390.
- Constantinou, C.; Georgiou, A. (1999). Applications of artificial recharge in Cyprus. In *Proceedings of Hellenic Hydrogeological Association; Xanthi, Greece, 28-29 May 1999; pp. 1-13.*



- Tsourlos, P.; Vargemezis, G.; Voudouris, K.; Spachos, T.; Stampolidis, A. (2007). Monitoring recycled water injection into a confined aquifer in Sindos (Thessaloniki) using Electrical Resistivity Tomography (ERT): Installation and preliminary results. In Proceedings of the 11th International Congress; Athens, Greece, May 2007; Volume XXXVII, Part 2, pp. 580-592.
- Voudouris, K.; Kaklis, T.; Constantinou, K.; Evaggelatos, F.; Papageorgiou, S.; Mentis, A.; Irakleous, T.; Panagiotou, C. (2010). Pilot study for artificial recharge of the Kokkinochoria aquifer (Cyprus), using treated wastewater. In Proceedings of XIX Congress of Carpathian Balkan Geological Association; Thessaloniki, Greece, 23–26 September 2010; Christofides, G., Kantiranis, N., Kostopoulos, D., Chatzipetros, A., (Eds); Special Volume 99, pp. 173-181.

Διαδικτυακές Πηγές

- Δρ. Γιώργος Γιώργος Κοτζαγεώργης Εμπειρογνώμονας του Taiex, Enveco A.E.
Οδηγία Πλαίσιο Πλαίσιο Περί Υδάτων & Δημόσια Διαβούλευση- Τα Σημαντικά Ζητήματα Νερού στην Κύπρο
[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/BEE025FBA9F43E7DC22573B100290909/\\$file/10-Kotz-SWMI-FINAL.pdf?openelement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/all/BEE025FBA9F43E7DC22573B100290909/$file/10-Kotz-SWMI-FINAL.pdf?openelement)
- IKE Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης- Βιβλιοθήκη
<http://ikee.lib.auth.gr/record/124682?ln=el>
- Κώστας Α. Κωνσταντίνου – Άδωνις Γεωργίου, *Εφαρμογές Τεχνητού Εμπλουτισμού στην Κύπρο- Προβλήματα*: <https://www.slideshare.net/nikosveranis/01-29986581>
- Σπύρος Στεφάνου, Ανώτερος Υδραυλικός Μηχανικός, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, *Υδρομορφολογικές Πιέσεις στα Επιφανειακά Νερά*
[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/0/70AB184006C5B86CC225741D002B1F1F/\\$file/Article.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/0/70AB184006C5B86CC225741D002B1F1F/$file/Article.pdf?OpenElement)
- Συμβούλιο Αποχετεύσεων Παραλιμνίου: <http://www.psb.org.cy/el/page/home>
- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου - *Ετήσια Βροχόπτωση στην Κύπρο*
<http://www.moa.gov.cy/moa/WDD/WDD.nsf/All/D618275164EF4DDEC2256E60003ADE14?OpenDocument>
- Τμήμα Μετεωρολογίας Κύπρου
http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLfaq_gr?openform#6