

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μιμιδης Θ., Ρίζος Σ.

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση της υδρογεωλογίας της περιοχής της λίμνης Κουμουνδούρου καθώς επίσης και της υδροχημείας των επιφανειακών, πηγαίων και υπόγειων υδάτων αυτής, στα πλαίσια μιας προγραμματισμένης παρέμβασης για την απορρύπανσή της από υπογείως διαφεύγοντες πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες των Διυλιστηρίων των Ελληνικών Πετρελαίων (ΕΠ) (πρώην ΕΛΔΑ) προς τη λίμνη. Για τη μελέτη των υδρολιθολογικών σχηματισμών της περιοχής γύρω από τη λίμνη ανοίχθηκαν γεωτρήσεις και πραγματοποιήθηκαν αντλητικές δοκιμές. Επιπλέον κατασκευάσθηκαν το υδρογράφημα και η καμπύλη στέρειυσης της πηγής της λίμνης, με τη βοήθεια μετρήσεων παροχών στο σημείο που η λίμνη εκβάλλει στη θάλασσα. Πρόκειται για καρστική πηγή με συντελεστή στέρειυσης πολύ μικρό. Ο μικρός συντελεστής στέρειυσης εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαίου νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο μέσα στη λίμνη και συνεπώς τη διατήρηση του δυναμικού του υδροσυστήματος της για φυσική απορρύπανση. Για την καταλληλότητα του νερού της λίμνης Κουμουνδούρου πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις, με βάση ένα εκτεταμένο δίκτυο παρακολούθησης. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σχεδόν όλα τα δείγματα νερού των γεωτρήσεων είναι επηρεασμένα από το νερό της λίμνης και ότι πρόκειται για νερά ακατάλληλα για χρήση.

HYDROGEOLOGY OF THE AREA SURROUNDING LAKE KOUMOUNDOUROU ASPROPIRGOU OF ATTICA

Mimides T., Rhizos S.

Agricultural University of Athens

Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering

Abstract

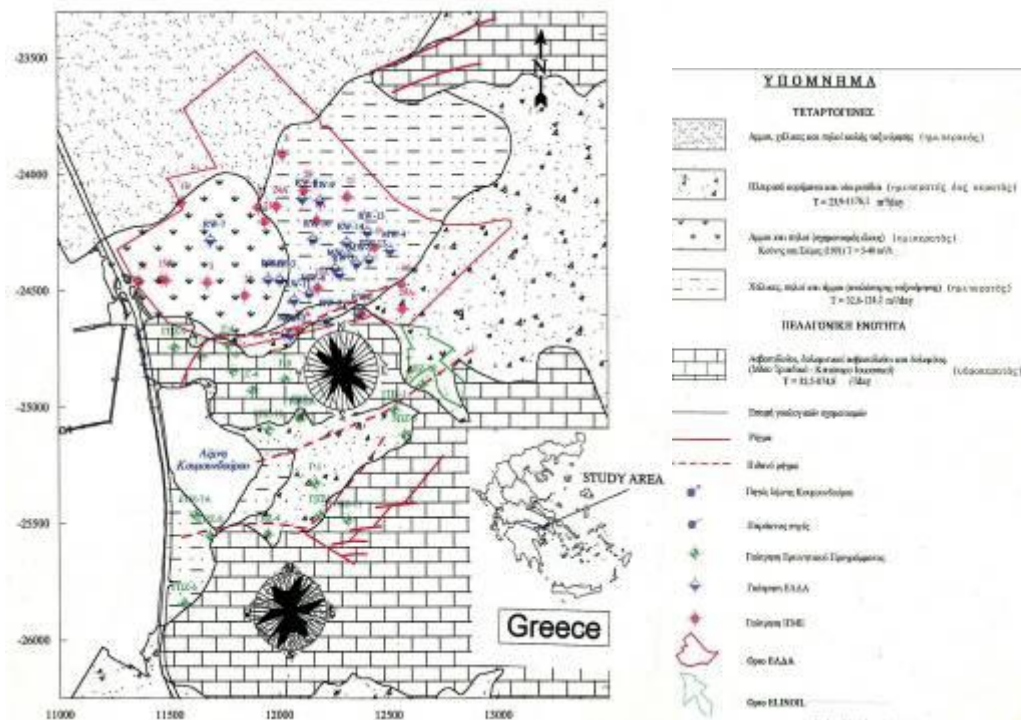
In this study, the hydrogeology of the area surrounding lake Koumoundourou as well as the hydrochemistry of its surface, spring and ground waters were investigated, in the framework of a programmed intervention for its decontamination from underground leaking of hydrocarbons from the Greek Petroleum Refineries towards the lake. For the investigation of stratigraphy and transmissivity of the hydrolithological formations of the watershed, boreholes were drilled and pumping test took place. In addition, the hydrograph and the recession curve of the karstic spring were constructed, taking into consideration the flow measurements at the exit of the lake to the sea. It is a karstic spring with a very small discharge coefficient, and thus it is guaranteed that the discharged of the spring water, enriched with dissolved oxygen, will be unhindered. Consequently, the potential of the hydrosystem of the lake will present a dynamic attitude towards natural decontamination. For the suitability of the water of the lake Koumoundourou, chemical analyses were performed based on an expanded monitoring network. The laboratory chemical analysis results proved that almost all boreholes samples are influenced by the water of the lake and almost are unsuitable for every water demand.

Λέξεις κλειδιά: Λίμνη Κουμουνδούρου, υπολίμνια πηγή, καμπύλη στείρευσης, υδρογεωλογία, ρυπογόνοι υδρογονάνθρακες.

Key words: Koumoundourou lake, bottom lake spring, recession spring curve, hydrogeology, polluting hydrocarbons.

1. Εισαγωγή

Η λίμνη Κουμουνδούρου εντοπίζεται στις νοτιοανατολικές εξόδους του Θριάσιου Πεδίου προς τη θάλασσα. Οριοθετείται βόρεια των νοτιοδυτικών απολήξεων του όρους Αιγάλεω μεταξύ των υψωμάτων Καφαλώνας (273 m υψόμετρο, ΝΑ του στρατοπέδου 871 ΑΒΕΚ) και Γκίκα (ή Διυλιστηρίων, με υψόμετρο 77 m). Μεταξύ του κόλπου της Ελευσίνας στα δυτικά και της λίμνης, παρεμβάλλεται χερσαία ζώνη πλάτους περίπου 50 m εκ των οποίων τα 20 m αποτελούν το οδόστρωμα της Εθνικής Οδού Αθηνών - Κορίνθου. Βρίσκεται σε απόσταση 15 km. από την Αθήνα, σε γεωγραφικό πλάτος 38° 02' Β και γεωγραφικό μήκος 23° 37' Α. Η επιφάνεια της λίμνης είναι περίπου 143.000 m², το μήκος των ακτών της είναι περίπου 1300 m, ενώ το μέγιστο μήκος και πλάτος της είναι 600 m και 400 m αντίστοιχα. Διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Ασπρόπυργου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Υδρολιθολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κουμουνδούρου (κλ 1:50000).

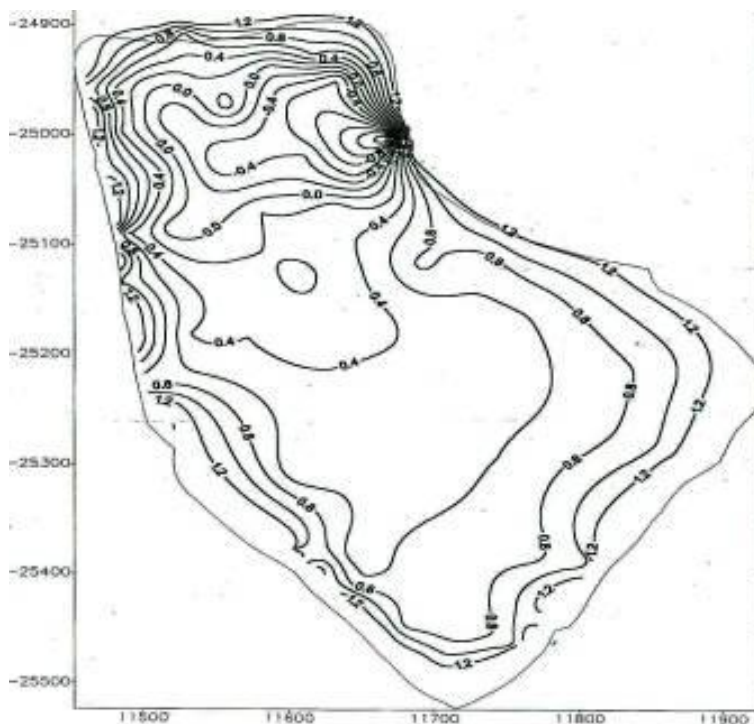
2. Γεωμορφολογία

Οι πλαγιές του λόφου Καφαλώνας, οι οποίες ορθώνονται ΝΑ του στρατοπέδου είναι τραχείες, απότομες και κατακερματισμένες λόγω ρηγμάτων. Στις ζώνες όπου ο κατακερματισμός είναι έντονος, σχηματίζονται βαθιές ρεματιές και μικρές μισγάγγειες. Μετά

από έντονες βροχοπτώσεις όλα τα επιφανειακά ύδατα δια μέσου του σχηματιζόμενου υδρογραφικού δικτύου καταλήγουν μέσα στο στρατόπεδο και από εκεί στη λίμνη αφού παρασύρουν επιφανειακούς ρύπους. Στις αρχές του περασμένου αιώνα οι πρόποδες αυτοί, που αποτελούν μέρος του όρους Αιγάλεω, ήταν κατάφυτοι από πεύκα, κυπαρίσσια και πικροδάφνες. Πυκνή βλάστηση με αντίστοιχη πανίδα χαρακτήριζε τις περισσότερες περιοχές του παραπάνω όρους. Οι καταστρεπτικές υλοτομίες των 1917, 1922-1924, 1941-1944 καθώς και πυρκαγιές οδήγησαν στην αποψίλωση της περιοχής με εξαίρεση αυτές του Δαφνίου και του Σκαραμαγκά Νέζης (1983).

Με βάση το ΦΕΚ 5/8-1-1994 ΥΑ 41/1/2-72 η λίμνη που στην αρχαιότητα ήταν αφιερωμένη στη θεά Δήμητρα, ανακηρύχθηκε αρχαιολογικής σημασίας χώρος και καθορίστηκε προστατευόμενη ζώνη 50 m από την περίμετρό της. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αποστραγγίστηκαν και τα τελευταία στρέμματα που της απέμειναν για την επέκταση των εκεί υπαρχόντων βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Το ίδιο όμως δε συνέβη και στην περιοχή γύρω από την είσοδο των σημερινών ΕΠ, όπου βρίσκονταν άλλη μια μικρή λίμνη προς τιμή της Περσεφόνης, η οποία όμως αποξηράνθηκε εδώ και αρκετά χρόνια όταν έγινε και η τελική διευθέτηση των τότε ΕΛΔΑ.

Η λίμνη στο μεγαλύτερο μέρος της είναι αβαθής με μέσο βάθος 1,5 m και μόνο εκεί που εντοπίζονται οι υπολίμνιες πηγές της το βάθος φτάνει τα 3 m. Το απόλυτο υψόμετρό της είναι 1,40 m περίπου από την επιφάνεια της θάλασσας. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μορφολογία του πυθμένα της λίμνης μετά από βυθομετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα 77 σημεία ενός καννάβου και αναχθηκαν στο απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειάς της. Στο σημείο που πυκνώνουν οι ισουψείς



Σχήμα 2. Ισοΰψεις καμπύλες του πυθμένα της λίμνης Κουμουνδούρου (κλίμακα 1: 3000).

3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

3.1 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί

3.1.1. Κοκκώδεις σχηματισμοί

Από υδρογεωλογικής συμπεριφοράς τα πετρώματα γύρω από τη λίμνη διακρίνονται σε ημιπερατούς και περατούς σχηματισμούς (Σχήμα 1).

Ημιπερατοί σχηματισμοί μπορούν να θεωρηθούν οι άμμοι, χάλικες και πηλοί καλής ταξινόμησης, καθώς και αυτοί που έχουν χαρακτηριστεί σαν ατελέστερης ταξινόμησης. Επίσης στους ημιπερατούς κατατάσσονται και οι αποθέσεις των ελών (άμμοι και πηλοί), ενώ τα πλευρικά κορήματα – νέα ριπίδια είναι ημιπερατοί έως περατοί σχηματισμοί.

Ημιπερατές και κατά θέσεις περατές είναι οι αποθέσεις που έχουν κοκκώδη σύσταση με κυριαρχία του πρωτογενούς πορώδους.

Σύμφωνα με τους Κούνη και Σιέμο (1991) οι παροχές των γεωτρήσεων στους κοκκώδεις υδροφόρους σχηματισμούς εντός των ΕΛΔΑ θεωρούνται μικρές. Η παροχетеυτικότητα τους T κυμαίνεται μεταξύ 0.20 και 1.70 m²/day. Η ειδική απόδοση (ενεργό πορώδες του σχηματισμού) υπολογίστηκε με την προσεγγιστική μέθοδο Boulton και βρέθηκε 17% και 41% με επικρατούσες τιμές μεταξύ 17% και 28% (μέση δεκτή τιμή 20%).

Η παροχетеυτικότητα T , η οποία υπολογίστηκε μετά από τις αντλητικές δοκιμές που εκτελέστηκαν στις γεωτρήσεις του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΓΠΑ) στους σχηματισμούς, κυμαίνεται:

- πλευρικά κορήματα και νέα ριπίδια (ημιπερατά έως περατά με $T = 23.9 - 1176$ m²./day)

- χάλικες πηλοί και άμμοι (ατελέστερης ταξινόμησης) – ημιπερατοί με $T = 32.6 - 124.2$ m²./day).

3.1.2. Καρστικοί σχηματισμοί

Πρόκειται για πολύ υδροπερατούς σχηματισμούς οι οποίοι εντοπίζονται στην ημιορεινή περίμετρο της λεκάνης της λίμνης και είναι αποτέλεσμα της καρστικής διεργασίας των ασβεστόλιθων. Η καρστικότητα των Τριαδικοϊουρασικών αυτών ασβεστόλιθων δεν παρουσιάζει ομοιογένεια λόγω του σποραδικά δολομιτικού χαρακτήρα τους καθώς και της ειδικής παλαιογεωγραφικής και τεκτονικής εξέλιξής τους. Επίσης καρστική διεργασία έχουν υποστεί και τα πλευρικά κορήματα, ιδιαίτερα περιμετρικά, όπου παρουσιάζονται πολύ καλά συγκολλημένα.

Οι καρστικοί ανθρακικοί υδροφόροι μπορούν να τροφοδοτούν γεωτρήσεις με παροχές πολλών δεκάδων m³/ώρα με μικρή πτώση της στάθμης με $T = 32.5 - 124.2$ m² /day.

Όσον αφορά τα καρστικά επίπεδα εντοπίστηκαν δύο: ένα στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (σύγχρονο καρστ) και ένα ενδοκάρστ, πολύ παλαιότερο.

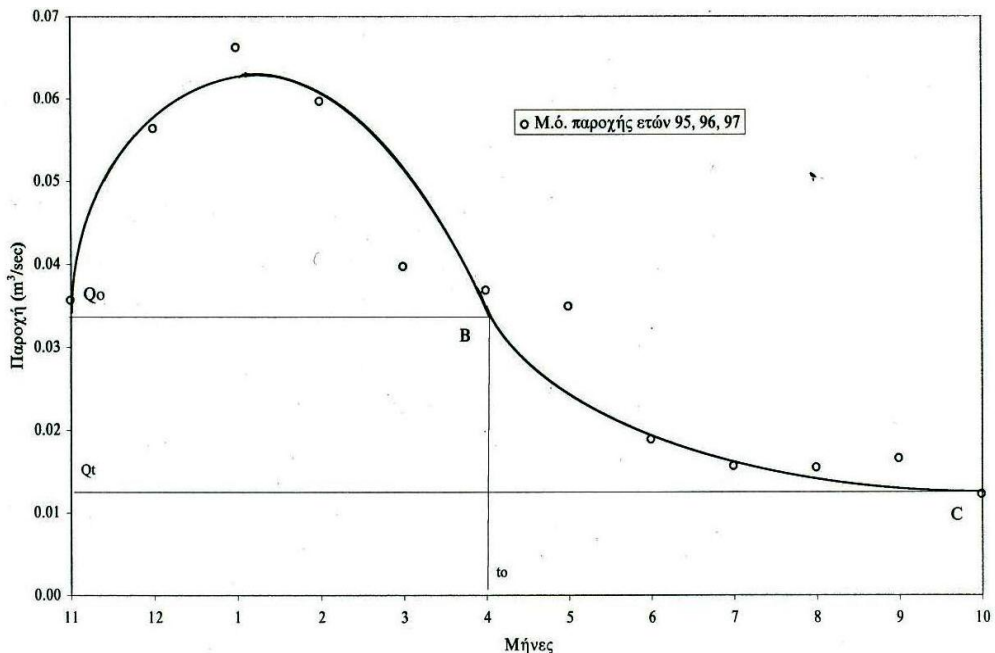
Σημαντικό ρόλο για την υδρολογία της περιοχής έπαιξαν οι δύο τελευταίες παροξυσμικές φάσεις της Αλπικής ορογένεσης στο Μ. – Α. Ηώκαινο και Μ. Μειόκαινο. Κατά τις φάσεις αυτές σχηματίστηκαν "επίπεδα βάσης" του καρστ άσχετα από τη στάθμη της θάλασσας (ενδοκάρστ) μέσα σε μεγάλες ανθρακικές μάζες που με επώθηση βρέθηκαν να κάθονται πάνω σε στεγανά πετρώματα. Συνέπεια αυτής της παροξυσμικότητας είναι η δημιουργία τεκτονικών κεράτων (λόφος Γκίκα) και βυθισμάτων τα οποία συνέβαλαν στην τελική διαμόρφωση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κουμουνδούρου.

Το παράκτιο ενδοκαρστικό σύστημα της λίμνης βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα

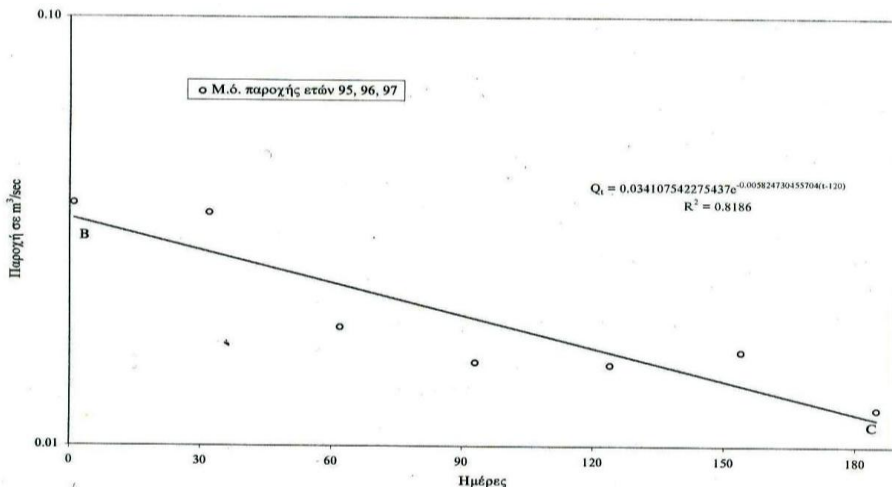
(- 60 έως - 20 m). Η παρουσία αργιλικών σχηματισμών σε αυτά τα αρνητικά βάθη, στη στενή περιοχή έμπροσθεν της λίμνης, υποδηλώνει φραγμένο καρστ προς τη θάλασσα Βορειοδυτικά όμως της λίμνης το καρστ παρουσιάζεται ατελώς φραγμένο, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις περιορισμένες παράκτιες αναβλύσεις νερού στην περιοχή αυτή. Επίσης, ανατολικά της λίμνης εντοπίστηκε και επικρεμάμενο καρστ το οποίο αναπτύσσεται εντός των συμπαγών κορημάτων, εκεί όπου τα πάχη τους φθάνουν τα 20 m.

3.1.3. Υδρολογική διαίτα πηγής

Το υδρογράφημα μιας πηγής παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη της διαίτας των υπογείων νερών που την τροφοδοτούν. Για τη δημιουργία του υδρογραφήματος της λίμνης Κουμουνδούρου χρησιμοποιήθηκε η θεωρία του Schoeller (1967) βελτιωμένη από τον Mijatovic (1967, 1968). Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το υδρογράφημα της λίμνης το οποίο χαράχθηκε με τη βοήθεια παροχών που μετρήθηκαν στην έξοδο της για τρία συνεχή χρόνια. Η καμπύλη στέρειυσης (Σχήμα 4) της καρστικής πηγής με τη βοήθεια των εξισώσεων του Mailliet (1905) φανέρωσε συντελεστή στέρειυσης $\alpha = 0.0058$, δηλαδή μικρή τιμή, πράγμα που σημαίνει ότι η εκκένωση του καρστικού υδροφόρου της πηγής που εκβάλλει στο βυθό της λίμνης Κουμουνδούρου γίνεται με βραδύ ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι οι παροχτευτικότητες του καρστικού συστήματος είναι μικρές, ενώ οι ειδικές αποδόσεις μεγάλες, όπως μεγάλος είναι και ο όγκος του υδροφόρου. Αυτό εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαίου νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο μέσα στη λίμνη και άρα την αειφόρο διατήρηση του οικοσυστήματος της.



Σχήμα 3. Υδρογράφημα λίμνης Κουμουνδούρου και καμπύλη στέρειυσης.



Σχήμα 4. Λογαριθμική απεικόνιση καμπύλης στείρευσης λίμνης Κουμουندούρου.

3.2 Αντλητικές δοκιμές γεωτρήσεων

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν 17 αντλητικές δοκιμές στις γεωτρήσεις που ανοίχθηκαν από το ΓΠΑ στους τρεις διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς γύρω από τη λίμνη Κουμουندούρου. Από τις αντλήσεις αυτές, 8 εκτελέστηκαν στην περιοχή των πλευρικών κορημάτων και νέων ριπιδίων, 2 στην περιοχή των χαλικών, πηλών και άμμων και 7 στην περιοχή των ασβεστόλιθων, δολομιτικών ασβεστόλιθων και δολομιτών. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αντλητικών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Harrill (1971).

Η εξίσωση του Harrill προϋποθέτει κατά στάδια αντλητική δοκιμασία, της οποίας έπεται επαναφορά στάθμης μέχρι αυτή εξισωθεί με την αρχική στάθμη ηρεμίας. Η εξίσωση του Harrill μπορεί να γραφεί:

$$s = \frac{2,3Q_n}{T} \log \left[\frac{t_1^{\Delta Q1/Q_n} * t_2^{\Delta Q2/Q_n} * \dots * t_n}{t'} \right] \quad (1)$$

Όπου, s η προκύπτουσα πτώση στάθμης σε m, n ο αριθμός των σταδίων άντλησης, t_n ο χρόνος από τη στιγμή που άρχισε το στάδιο Q_n (day), Q_n η παροχή του n-σταδίου σε 3(m³/day), ΔQ₁, ΔQ₂ η ποσοστιαία αύξηση της παροχής στα διάφορα στάδια που ακολουθούν (m³/day), t' ο χρόνος από τη στιγμή που άρχισε η επαναφορά (day), T η παροχетеυτικότητα σε m³/day. Η εξίσωση εντός της μεγάλης αγκύλης καλείται log (function).

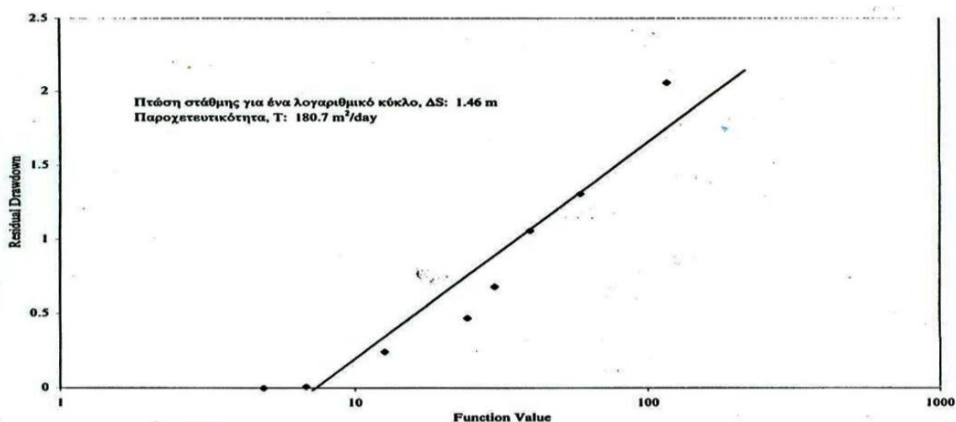
Για τον υπολογισμό της παροχетеυτικότητας T χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα Fortran (Summers 1972) το οποίο τροποποιήθηκε όσον αφορά τις μονάδες μέτρησης από Αγγλοσαξονικές σε Ευρωπαϊκές.

Με βάση τα εξαγόμενα του προγράμματος έγιναν γραφικές παραστάσεις σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων, του s (βλ. εξ. 1) σαν συνάρτηση της [log (function)]. Οι πιο

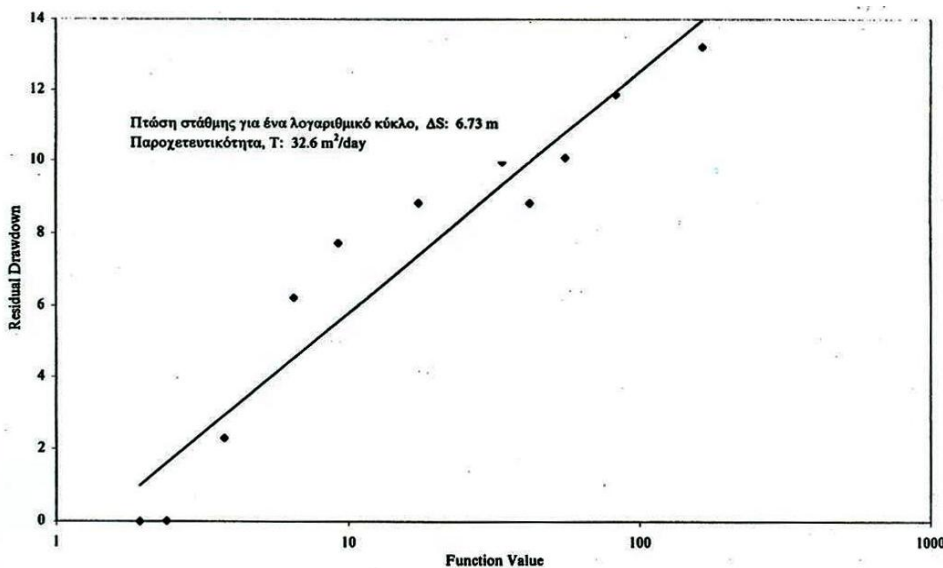
χαρακτηριστικές από αυτές για τους τρεις διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς απεικονίζονται στα Σχήματα 5, 6 και 7. Αυτή η διαδικασία είναι παρόμοια με την κλασική όπου το s παριστάνεται ενάντια στο t/t' σε ημιλογαριθμικό χαρτί για επαναφορά σταθμών μετά από άντληση σταθερής παροχής. Η παροχτευτικότητα υπολογίζεται από την:

$$T = \frac{2,3 Q_p}{\Delta s} \quad (2)$$

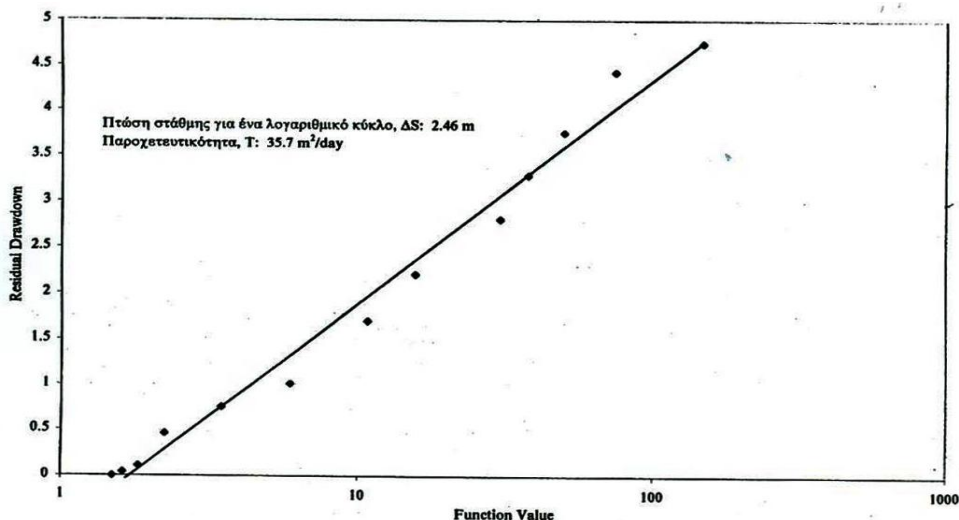
όπου το Δs είναι η μεταβολή της προκύπτουσας πτώσης στάθμης για ένα λογαριθμικό κύκλο της τιμής της συνάρτησης (function value).



Σχήμα 5. Γεώτρηση ΓΠΖ1, Υπολογισμός παροχτευτικότητας (m^2/day) με τη μέθοδο Harrill (1972).



Σχήμα 6. Γεώτρηση ΓΠΖ8, Υπολογισμός παροχτευτικότητας (m^2/day) με τη μέθοδο Harrill (1972)



Σχήμα 7. Γεώτρηση Γ3, Υπολογισμός παροχευευστικότητας (m^2/day) με τη μέθοδο Harrill (1972).

5. Υδροχημεία

Οι χημικές αναλύσεις των ανόργανων στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο δεν έδωσαν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των υδατικών δειγμάτων της λίμνης Κουμουνδούρου όσο αφορά το σημείο δειγματοληψίας, το βάθος τους αλλά και τη χρονική στιγμή δειγματοληψίας τους. Επειδή δεν παρατηρήθηκε μεγάλη παραλλακτικότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου οι εβδομαδιαίες δειγματοληψίες μετατράπηκαν αργότερα σε μηνιαίες. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις 14 στοιχείων στην έξοδο της λίμνης καθώς και σε διάφορα σημεία αυτής. Στους παρακάτω δύο Πίνακες 1 και 2 δίνονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των στοιχείων που μετρήθηκαν. Πρόκειται για μέτρια αλατούχο υφάλμυρο νερό όχι όμως πολύ επιβαρυσμένο σε θρεπτικές ουσίες.

Πίνακας 1. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαφόρων στοιχείων στην έξοδο της λίμνης Κουμουνδούρου

E.C	19000 - 25100 $\mu S/cm$
pH	7.58 - 8.20
Cl	7100 - 10500 ppm
HCO ₃	300 - 595 ppm
SO ₄	1050 - 1350 ppm
NO ₂	0.009 - 0.08 ppm
NO ₃	1.739 - 9.133 ppm
PO ₄	0.0 - 1.720 ppm
Na	3400 - 5232 ppm
K	145 - 222 ppm
Ca	320 - 700 ppm
Mg	340 - 680 ppm
NH ₄	0.071 - 0.484 ppm
Turbidity	0 - 10 FTU

Πίνακας 2. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαφόρων στοιχείων στα διάφορα σημεία της λίμνης Κουμουνδούρου

E. C	20200 - 26800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	7.50 - 8.0
Cl	7455 - 7810 ppm
HCO ₃	317 - 390 ppm
SO ₄	1075 - 1325 ppm
NO ₂	0.012 - 0.019 ppm
NO ₃	2.953 - 4.967 ppm
PO ₄	0.011 - 0.123 ppm
Na	3914 - 5041 ppm
K	148 - 175 ppm
Ca	400 - 640 ppm
Mg	364 - 560 ppm
NH ₄	0.065 - 0.365 ppm
Turbidity	0 - 10 FTU

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε δείγματα νερού γεωτρήσεων, έδειξαν ότι αυτά είναι επηρεασμένα από το νερό της λίμνης και ότι πρόκειται για νερά ακατάλληλα για χρήση εκτός από αυτά των γεωτρήσεων ΓΠΖ2 και ΓΠΖ2α (επικρεμάμενο καρστ). Ειδικά αυτό της ΓΠΖ2 θα χρησιμοποιηθεί για το πότισμα έργων πρασίνου μετά την περιβαλλοντική αναβάθμιση της λίμνης και τη δημιουργία του οικολογικού πάρκου της (βλ. για τις θέσεις των γεωτρήσεων Σχήμα 1).

Επιπλέον ταυτόχρονα με τις μετρήσεις παροχής στην έξοδο της λίμνης λάμβαναν χώρα και επί τόπου μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού όπως: ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), pH, διαλυμένο οξυγόνο (DO), Ταέρα, Τνερού και Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh). Οι διακυμάνσεις των παραμέτρων αυτών έχουν ως εξής: ανάλογα με τη ξηρή ή υγρή περίοδο, η EC κυμαίνεται από 19.300 - 27.350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, σε 25ο C, το pH από 7.60 - 8.23, το DO από 4.90 - 13.40 mg/l, η Τνερού 10.90 - 28.70 ° C, η Ταέρα 10.1 - 34.5 ° C και τέλος το Eh από 90 - 256 mV.

Τα επιφανειακά, τα πηγαία καθώς και τα υπόγεια νερά της λίμνης Κουμουνδούρου κατατάσσονται σύμφωνα με το διάγραμμα Durov, (Lloyd and Heathcote, 1985) κατά πλειοψηφία στον τύπο Na - Cl.

Οι δείκτες αρδευσιμότητας SAR, SSP, RSP, RSC, PI, SI, Μιμίδης (2007) παρουσιάζουν τιμές που καταστούν το νερό τελείως ακατάλληλο για άρδευση, με εξαίρεση αυτό της ΓΠΖ2 και μερικώς αυτό της ΓΠΖ2α.

6. Συμπεράσματα

Οι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την περιοχή γύρω από τη λίμνη Κουμουνδούρου αποτελούνται από τεταρτογενείς αποθέσεις:

Άμμοι, χάλικες και πηλοί καλής ταξινόμησης (ημιπερατοί)

Πλευρικά κορήματα και νέα ριπίδια (ημιπερατά έως περατά με $T = 23.9 - 1176.1 \text{ m}^2/\text{day}$ μετά από αντλητικές δοκιμές)

Άμμοι και πηλοί (σχηματισμός έλους) (ημιπερατοί)

Χάλικες, πηλοί και άμμοι (ατελέστερης ταξινόμησης) - (ημιπερατοί με $T = 32.6 - 124.5 \text{ m}^2/\text{day}$ μετά από αντλητικές δοκιμές) και από ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες

του Μέσου Τριαδικού και Κατώτερου Ιουρασικού (υδροπερατούς με $T = 32.5 - 124.2 \text{ m}^2/\text{day}$ μετά από αντλητικές δοκιμές).

Το παράκτιο ενδοκαρστικό σύστημα της λίμνης Κουμουνδούρου βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα (- 60 έως - 20 m) με φραγμένο καρστ προς τη θάλασσα στη στενή περιοχή μπροστά από αυτή και ατελώς φραγμένο ΒΔ αυτής.

Ο μικρός συντελεστής στείρευσης της καρστικής πηγής ($a = 0.0058$) της λίμνης Κουμουνδούρου εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαιού νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο, άρα την αειφόρο διατήρηση του όλου οικοσυστήματος της.

Σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 75/440/EC, 80/778/EC καθώς και η θυγατρική της 98/83/EC, 76/464/EC και 80/68/EC και λαμβάνοντας ως κριτήριο μόνο τις ηλεκτρικές αγωγιμότητες, τα χλωριόντα, τα νάτρια και τα ασβέστια, το νερό της λίμνης συμπεριλαμβανομένης και της καρστικής πηγής της όσο και τα υπόγεια νερά γύρω από αυτή, κρίνονται σχεδόν ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση. Η πλειοψηφία όμως των χημικών παραμέτρων και δεικτών παρουσιάζουν τιμές πολύ κάτω από τα όρια ποσιμότητας τόσο των Ελληνικών όσο και των Ευρωπαϊκών σταθεροτήτων. Οι δείκτες αρδευσιμότητας έχουν τιμές που καταστούν το νερό τελείως ακατάλληλο για άρδευση με εξαίρεση το επικρεμάμενο. Επιπλέον τα νερά αυτά είναι υπερκορεσμένα σε ασβεσίτη, δολομίτη και αραγωνίτη με αποτέλεσμα να γίνεται απόθεση των ορυκτών αυτών σε διάφορα σημεία της υπόγειας διαδρομής τους όταν υφίστανται διαταράξεις της θερμοκρασίας τους καθώς και των συντελεστών που καθορίζουν τη συμπεριφορά της χημικής τους ισορροπίας.

Βιβλιογραφία

Κούνης Γ. Ο. και Σιέμος Ν. Ε., 1991: Σημειακή Υδρογεωλογική Έρευνα των Υδροφορέων του Θριάσιου Πεδίου για την υδροδότηση των ΕΛΔΑ, ΙΓΜΕ Γ2002 Υ1382.

Μιμιδης Μ. Θ., 2007: Υδρογεωχημεία και Μικροβιολογία των Υπόγειων Νερών, Σημειώσεις για τους φοιτητές της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων, ΓΠΑ, σελ. 87.

Νέζης Ν., 1983: Τα βουνά της Αττικής, Ορεογραφία - Οδηγός - Τοπωνύμια, Εκδόσεις Τάσος Πιτσιλός.

Harrill J. R., 1971: Determining transmissivity from water level recovery of a step drawdown test (in Geological Survey Research, 1970), U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 700-C, C212-C213.

Lloyd J. W. and Heathcote J. A., 1985: Natural inorganic hydrochemist in relation to groundwater, An introduction, Claredon press, Oxford pp.296.

Maillet E., 1905: *Mecanique physique du globe. Esjais d' hydraulique souterraine et fluviale*, -218 S, Paris (A. Hermann).

Mijatovic B., 1967: Hydraulic mechanism of karst aquifers located within low coastal collectors, Vesnik Geozavoda VII, Beograd, Yugoslavia.

Mijatovic B., 1968: Investigation methods of hydrodynamic regime of karst aquifers by the analysis of the recession curve and fluctuation of the aquifer water level under recession conditions, Vesnik Geozavoda VII, Beograd, Yugoslavia.

Milanovic, P. T., 1981: Karst Hydrogeology, Water Resources Publications, pp 330, Colorado.

Schoeller H., 1962: Les aux souterraines, Masson, Paris.

Summers W. K., 1972: Application of Harrill's aquation to limestone aquifers, Groundwater, 10, No 4, July - August, pp.21 - 23.