

ΑΠΘ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ
ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ



ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΠΑΛΙΔΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας είχα τη συμπαράσταση και τη βοήθεια ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους επιθυμώ να αναφέρω και να ευχαριστήσω.

Καταρχήν ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, για την ουσιαστική του βοήθεια και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Από τη συνεργασία και τις συζητήσεις μας αποκόμισα γνώσεις, που είναι σίγουρο ότι θα αποτελέσουν τα καλύτερα εφόδια για όλες μου τις προσπάθειες.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον κ. Παναγιώτη Σοφίου, Γεωλόγο, στέλεχος της ΔΕΥΑΗ, για το υλικό και την εμπειρία του που μου πρόσφερε για την διπλωματική εργασία.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Σάββα Παρίτη, Γεωλόγο, Σύμβουλο Μελετητή, για την προσφορά της βοήθειάς του και στοιχείων που διέθετε για την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Ακόμη ευχαριστώ τον κ. Ηρακλή Μπουλουκάκη, Γεωλόγο-Υδρογεωλόγο, Διευθυντή της διεύθυνσης υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης που πρόθυμα διέθεσε στοιχεία από τα αρχεία της Υπηρεσίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Φασουλά, Γεωλόγο στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας, Ηρακλείου για την βοήθεια και το υλικό που μου πρόσφερε στην αρχή της μελέτης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	σελ.5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΣΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	σελ.6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	σελ.8
2.1 Στρωματογραφία	σελ. 10
2.1.1 Προνεογενείς σχηματισμοί	
2.1.2 Νεογενείς σχηματισμοί	
2.2 Καρστικοποίηση των σχηματισμών της λεκάνης	σελ.14
2.3 Καρστικοποίηση ζωνών επαφής και διάρθρωση της στράγγισης	σελ.15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	σελ.16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	
4.1 Υδρογεωλογική αναγνώριση πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης από τους D.J. Burdon και Ν.Ι. Παπάκη (ΙΓΕΥ) – 1964	σελ.21
4.2 Προκαταρκτική υδρογεωλογική μελέτη από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) – 1969	σελ.22
4.3 Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφάλμυρου πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης από τους Δ.Γ. Μονόπωλη και Κ.Ι. Μάστορη – 1969	σελ.23
4.4 Έκθεση FAO – Αποτελέσματα ερευνητικών γεωτρήσεων (Υπ. Γεωργίας) – 1971	σελ.24
4.5 Υδρογεωλογική μελέτη FAO (G. Dietrich και R.E. RE) – 1972	σελ.24
4.6 Μελέτη περί του μηχανισμού υφαλμύρινσης της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου (Breznik) – 1978	σελ.25
4.7 Υδρογεωλογική μελέτη του Π. Οικονομόπουλου – 1982	σελ.25
4.8 Μελέτη για τον Αλμυρό Ηρακλείου και τις πηγές του Μπαλίου (Κ. Μπεζές) – 1985	σελ.26
4.9 Πείραμα ανύψωσης της στάθμης της πηγής του Αλμυρού (Υπ. Γεωργίας) – 1987	σελ.26
4.10 Υδρογεωλογική μελέτη των Μονόπωλη Δ., Σοφίου Π., Στειακάκη Εμμ., Κλειδοπούλου Μ., Βαβαδάκη Διον., - 1987	σελ.27
4.11 Υδρογεωλογική έκθεση περιοχής Τυλίσσου Ηρακλείου Κρήτης (Κ. Μπεζέ) -1990	σελ.28
4.12 Έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση της πηγής του Αλμυρού από την ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ – 1991	σελ.28

4.13 Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Τυλίσσου νομού Ηρακλείου Κρήτης (Κ. Μπεζές) – 1992	σελ.30
4.14 Υδρογεωλογική μελέτη των Μονόπωλη Δ., Σοφίου Π., Παπαμαστοράκη Δημ., Στειακάκη Εμμ., Κλειδοπούλου Μ. και Βαβαδάκη Δ. – 1994	σελ.31
4.15 Freshwater-saltwater motion in a coastal karstic aquifer-The case of Almyros of Heraklio,Crete,Greece (Bruno Arfib, Ghislain de Marsily, Jacques Ganoulis) – 2001	σελ.32
4.16 Simulation of brackish karst springs operation with the modkarst deterministic model (Α. Μαράμαθας, Ι. Γιαλαμάς και Α. Μπουντουβής) – 2003-2004	σελ.33
4.17 Contribution to hydrological analysis of the coastal karst spring Almyros (Ognjen Bonacci and Ivana Fistanic, Faculty of Civil Engineering & Architecture) – 2005	σελ.35
4.18 Coastal karst springs in the Mediterannean basin: Study of the mechanisms of saline pollution at the Almyros spring(Crete) (Arfib, Marsily, Γκανούλης) – 2006	σελ.38
4.19 A new approach for the development and management of brackish karst springs (Α. Μαράμαθας) – 2004	σελ.40
4.20 Έρευνα των Bruno Arfib και Ι. Γκανούλη – 2004	σελ.42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΗΓΗΣ	
5.1 Τα όρια της λεκάνης τροφοδότησης	σελ.45
5.2 Στοιχεία Υδρογεωλογίας	σελ.47
5.3 Τροφοδοσία της πηγής Αλμυρού	σελ.47
5.4 Παροχές της πηγής Αλμυρού	σελ.48
5.5 Λεκάνη τροφοδοσίας – Υδρογεωλογικό σύστημα του Αλμυρού Ηρακλείου	σελ.53
5.6 Ποιότητα του νερού	σελ.55
5.6.1 Περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες	
5.6.2 Περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια κατά τους χειμερινούς μήνες	
5.6.3 Επίδραση στην ποιότητα του νερού μετά την ανύψωση του φράγματος	
5.6.4 Χρονική υστέρηση της εμφάνισης της περιεκτικότητας σε χλώρια έναντι των παροχών	
5.6.5 Στάθμες των γεωτρήσεων και ποιότητα του νερού	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ.60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	σελ.68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.69
	σελ.72

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

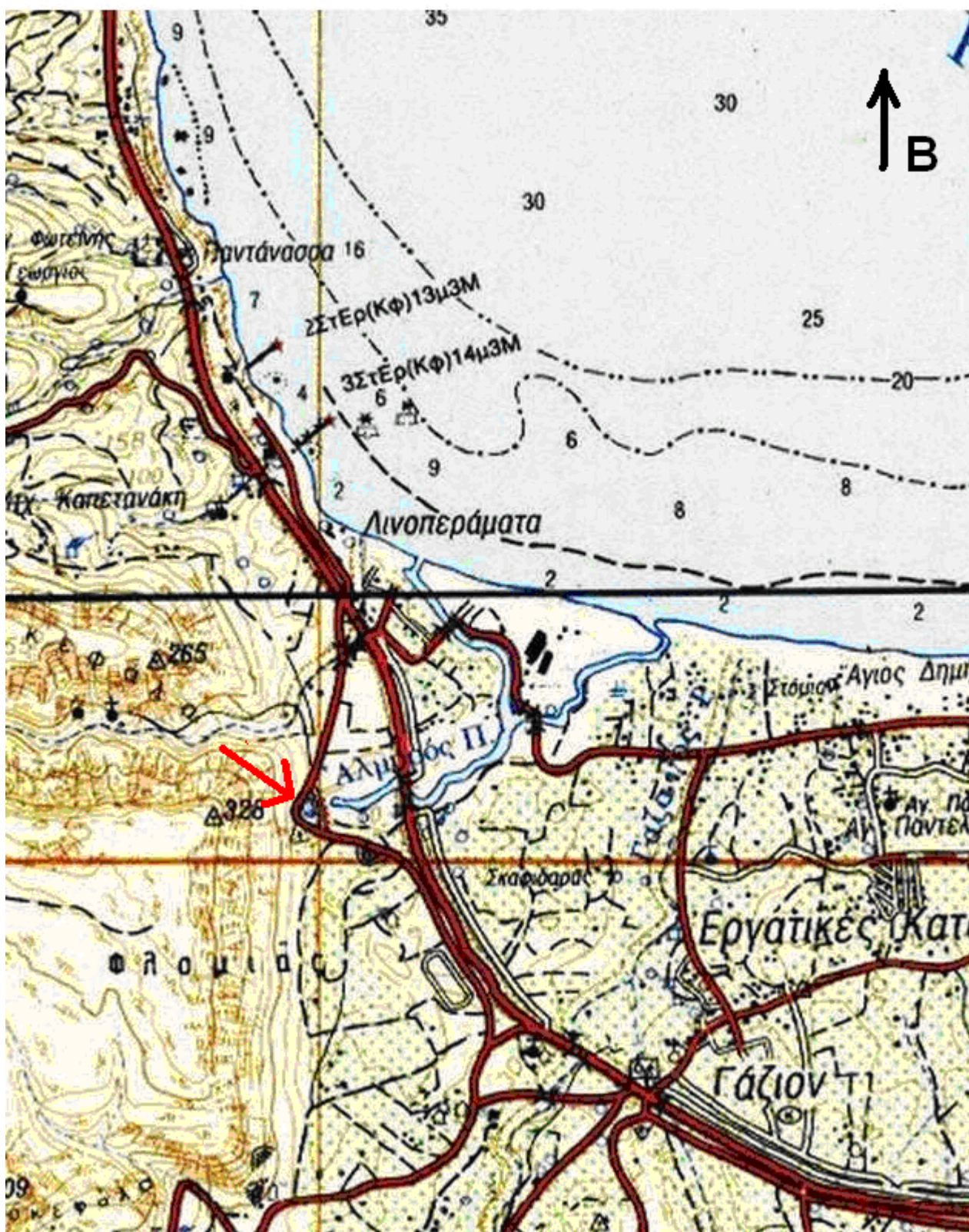
Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς της υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου. Οι εργασίες που έγιναν για τη μελέτη αφορούν τη συλλογή στοιχείων που σχετίζονται με τη γεωλογία της περιοχής, τη στάθμη και την ποιότητα του νερού και την παροχή της πηγής. Οι πληροφορίες που αξιοποιήθηκαν προέρχονται από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου (ΔΕΥΑΗ), την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ), το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας και από τεχνικό γραφείο. Ακόμη πραγματοποιήθηκε συλλογή και επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων. Τέλος συλλέχθηκε φωτογραφικό υλικό από την περιοχή της πηγής του Αλμυρού αλλά και της ευρύτερης περιοχής του Γαζίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

ΘΕΣΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Η πηγή του Αλμυρού βρίσκεται σε απόσταση 8 km από τη πόλη του Ηρακλείου και 1 km από την παραλία του κόλπου του Ηρακλείου (Σχήμα 1.1). Αποτελεί καρστική πηγή πολύ μεγάλης παροχής υφάλμυρου νερού. Το νερό αναβλύζει μέσα από ένα κατακόρυφο χωανοειδές άνοιγμα, διαμέτρου 50 m περίπου, σχηματίζοντας μία μικρή λίμνη. Αυτή εμφανίζεται στη βάση της απόκρημνης ασβεστολιθικής πλαγιάς του ρήγματος του Αλμυρού, το οποίο διαχωρίζει το ύψωμα της Κέρης από τη νεογενή λεκάνη του Ηρακλείου. Το νερό της λίμνης μετά από υπερχείλιση, ακολουθεί φυσική κοίτη (Αλμυρός ποταμός) μήκους περίπου 1.500 m και καταλήγει στη θάλασσα.

Η καρστική πηγή του Αλμυρού αποτελεί την υπερχείλιση ενός υπόγειου υδροφορέα που τροφοδοτείται από ύδατα εκ διηθήσεως. Το νερό αποθηκεύεται μέσα σε ρωγμές διαφόρων μεγεθών ανάλογα με το βαθμό της καρστικοποίησης και μερικές φορές μέσα στον βραχώδη ιστό των ασβεστολίθων, όταν το ενεργό πορώδες έχει σημαντική τιμή. Στη συνέχεια, το νερό διοχετεύεται μέσω ενός περίπλοκου συστήματος αγωγών που επικοινωνούν μεταξύ τους, παίζουν το ρόλο στραγγιστήρων και αναπτύσσονται μέσα σε ζώνη κορεσμένη με νερό (κάτω από το υψόμετρο ανάβλυσης της πηγής). Στο σύνολό τους οι ενεργοί αγωγοί βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 100 m και προχωρούν σε ελαφρά ανωφέρεια προς τα ανάντη με κλίση από 1 - 5 %.



Σχήμα 1.1 Τοπογραφικός χάρτης περιοχής Αλμυρού Ηρακλείου.
(Η θέση της πηγής του Αλμυρού απεικονίζεται με το κόκκινο βέλος.)

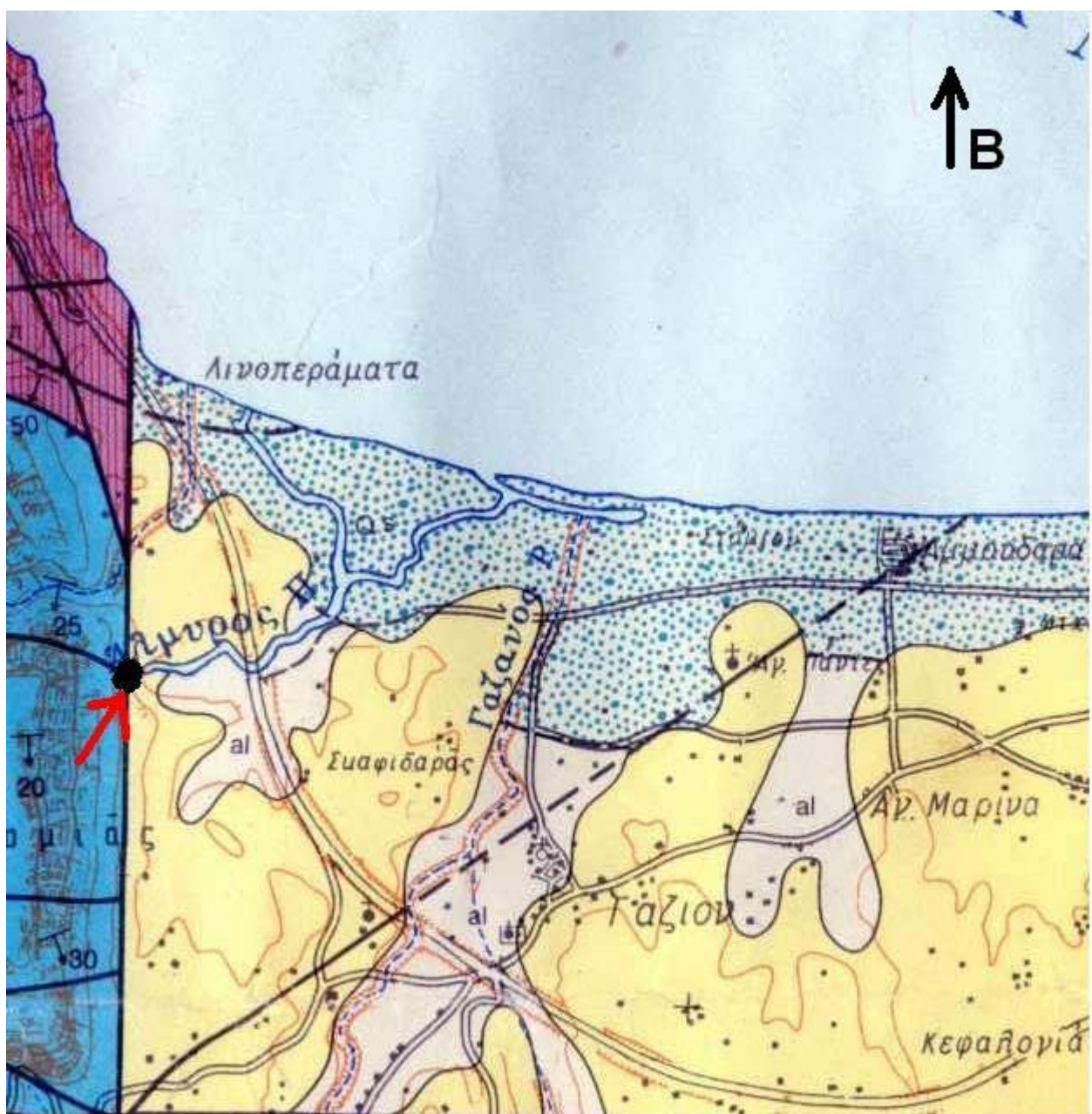
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεωλογικά η πηγή του Αλμυρού βρίσκεται στα όρια μεταξύ δύο ευδιάκριτων γεωλογικών και γεωμορφολογικών περιοχών (Σχήμα 2.1).

Η δυτική περιοχή περιλαμβάνει το ορεινό συγκρότημα του Ψηλορείτη και αποτελείται από ‘ Πλακώδεις Ασβεστόλιθους’ της ‘ημιαυτόχθονης σειράς της Κρήτης, πάνω στους οποίους επωθείται η μεταμορφωμένη σειρά ‘Φυλλιτών- Χαλαζιτών’. Πάνω στη σειρά αυτή βρίσκονται επωθημένα τα Μεσοζωϊκά - Τριτογενή ανθρακικά ιζήματα της τεκτονικής ζώνης ‘Τρίπολης’ (ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες) και ο φλύσχος της. Στα χαμηλότερα σημεία της ορεινής περιοχής εντοπίζονται εμφανίσεις Νεογενών σχηματισμών, οι οποίες, λόγω της περιορισμένης συμμετοχής τους, δεν επηρεάζουν ουσιαστικά τη γενικότερη διάταξη της περιοχής.

Η ανατολική περιοχή, καταλαμβάνει το πεδινό και λοφώδες βύθισμα Ηρακλείου – Φαιστού και περιλαμβάνει, σχεδόν αποκλειστικά, Νεογενή ιζήματα (μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, γύψοι, κροκαλολατυποπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι κ.λ.π.) και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Τα όρια των 2 περιοχών διαγράφονται από μεταπτωτική ζώνη ρηγμάτων σημαντικού άλματος, η οποία εκτείνεται κατά μήκος της βάσης των ανατολικών πρανών του υψώματος της Κέρης με διεύθυνση περίπου Β-Ν.



Υπόμνημα

Qs = τεταρτογενή ιζήματα

al = αλλουβιακές αποθέσεις

Pl = ασβεστόλιθοι

Σχήμα 2.1 : Γεωλογικός χάρτης περιοχής αλμυρού.

Πηγή: ΙΓΜΕ

2.1 Στρωματογραφία

2.1.1. Προνεογενείς σχηματισμοί

1.Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι – Ενότητα Ταλέα Όρη (Plattenkalk)

Η ενότητα των ‘Πλακωδών Ασβεστολίθων’ αποτελείται από μαύρους έως γκριζόχρωμους πλακώδεις ασβεστόλιθους, συνήθως λεπτοπλακώδεις με πλακέτες πάχους 2-20 cm αλλά και παχυστρωματώδεις, μέσα στους οποίους παρατηρούνται κόνδυλοι ή αλλεπάλληλες ενστρώσεις πυριτιολίθων πάχους 1-5 cm. Συχνές είναι επίσης και οι ενστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων. Εμφανίζονται στην επιφάνεια ως μια σαφώς στρωσιγενής σειρά, με παχειές στρώσεις, που βυθίζονται προς τα βόρεια με δομή μονοκλινή, με κλίση κοντά στις 45°. Πρόκειται για μεταμορφωσιγενείς ασβεστόλιθους και θεωρούνται ότι ανήκουν στο κατώτερο μέρος της σειράς Plattenkalk. Όλοι οι ασβεστόλιθοι της σειράς παρουσιάζουν σημαντική ανακρυστάλλωση αποτέλεσμα μιας γενικής, χαμηλού βαθμού, πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης. Η ηλικία τους τοποθετείται από το Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο του Τριτογενούς. Αποτελούν το αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτονται σε πολλές περιοχές του νησιού υπό μορφή πολλαπλών τεκτονικών παραθύρων κάτω από τα αλλεπάλληλα επωθημένα καλύμματα.

Στην περιοχή της μελέτης οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι σηματοδοτούν εκτεταμένες εμφανίσεις. Η οροσειρά του Ψηλορείτη αποτελείται στη βάση της από πλακώδεις ασβεστόλιθους οι οποίοι στις ανατολικές του παρυφές, έρχονται σε πλευρική επαφή μέσω του ρήγματος Τυλίσου- Γέργερης, με το Νεογενές της λεκάνης Ηρακλείου. Βορειότερα όμως βυθίζονται κάτω από τους Φυλλίτες και τη ζώνη της Τρίπολης. Από γεωτρητική έρευνα αποδείχθηκε ότι η οροφή των πλακωδών ασβεστολίθων βρίσκεται στην περιοχή αυτή περίπου στο επίπεδο της θάλασσας ή λίγο πιο κάτω από αυτό.

2.Σειρά Φυλλιτών- Χαλαζιτών

Είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα Ταλέα Όρη και αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, μετακροκαλοπαγή, μετα-ψαμμίτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μεταβασίτες και μετα-ανδεσίτες. Η ηλικία της σειράς τοποθετείται μεταξύ Περμίου- Τριαδικού, ενώ η μεταμόρφωσή της έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης, γλαυκοφανιτικής.

Έχει σημαντική εξάπλωση σε όλη την Κρήτη. Στην περιοχή μελέτης η σειρά παρουσιάζει σχετικά μικρό πάχος 50- 100 μ.

3.Ζώνη Τρίπολης

Τοποθετείται πάνω στη σειρά Φυλλιτών- Χαλαζιτών και αντιπροσωπεύεται από μαύρους ασβεστόλιθους με ρουδιστές του ανωτέρου Κρητιδικού, και του ανωτέρου Λουθησίου και τον φλύσχη. Η ενότητα παρουσιάζει ευρεία ανάπτυξη σε ολόκληρη την περιοχή των Αστερουσίων ορέων όπου κυρίως επικρατεί ο σχηματισμός του φλύσχη ο οποίος καλύπτει το 40 έως και 50 % της επιφάνειας της ενώ μικρότερες είναι οι εμφανίσεις των ανθρακικών μελών της ενότητας.

Στην περιοχή της μελέτης οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης παρουσιάζονται σε 2 ζώνες. Η πρώτη αντιστοιχεί στην ορεινή μάζα του Ψηλορείτη και η δεύτερη στην πεδινή περιοχή της Τυλίσου και γενικότερα της λεκάνης του Ηρακλείου, της οποίας αποτελεί τοπικά το υπόβαθρο.

2.1.2. Νεογενείς σχηματισμοί

A) Ενότητα Πρίνας

Περιλαμβάνει λατυποπαγή και κροκαλολατυποπαγή αποτελούμενα από τεμάχια σκούρου γκρι ασβεστόλιθου της ζώνης της Τριπόλεως και Ιονίου. Το σύνολο του σχηματισμού είναι καλά στερεοποιημένο και τσιμεντωμένο από ασβεστολιθικό συνδετικό υλικό.

B) Ενότητα Τεφελίου

Περιλαμβάνει κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους με μεγάλο πάχος. Είναι ασύνδετοι συνήθως σχηματισμοί, χρώματος γκρι σκούρου, γκρι-μπλε, καφέ ή πράσινου.

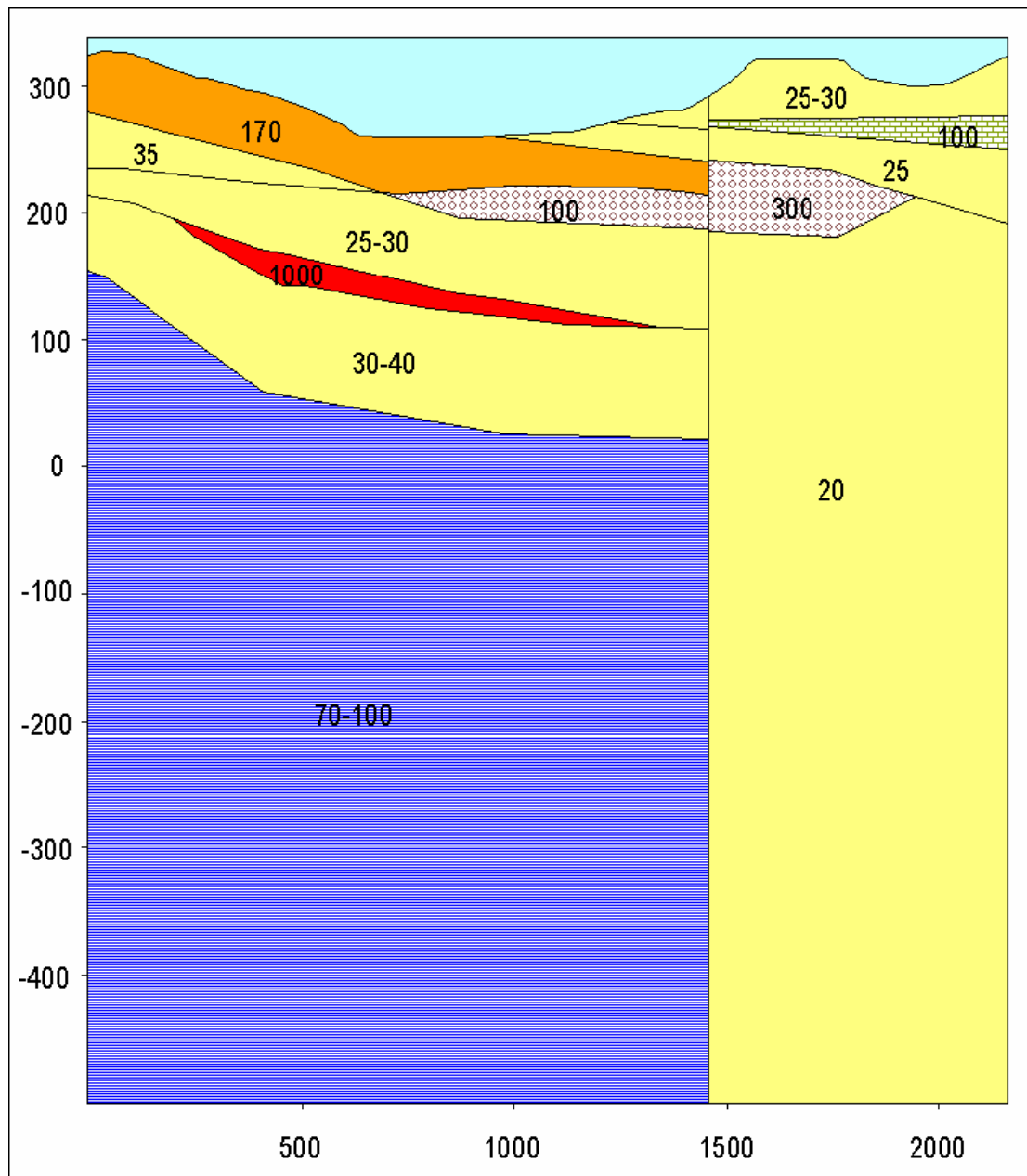
Γ) Ενότητα Βρυσών

Περιλαμβάνει βιοκλαστικούς, κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθους με εναλλαγές λεπτοστρωμένων μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Δ) Ενότητα Φοινικιάς

Περιλαμβάνει ιζήματα βαθιάς θάλασσας και συγκεκριμένα μάργες μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Ακολουθεί στρωματογραφική στήλη της ευρύτερης περιοχής του Αλμυρού (Σχήμα 2.2).



ΣΧΗΜΑ 2.2: Στρωματογραφική στήλη

Επεξήγηση: Κίτρινο χρώμα: μάργες, κόκκινο: γύψοι, στικτό ανοιχτό πράσινο:

μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, σκούρο μπλέ: φλύσχης Ζώνης Τρίπολης, στικτό μπλέ: ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίπολης, πορτοκαλλί: μάργες και ψαμμίτες, στικτό σκούρο καφέ: κροκαλοπαγή, κόκκινη γραμμωση: Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά. Μπλέ γραμμή: υδροφόρος ορίζοντας ανθρακικών Ζώνης Τρίπολης.

(Από Σ.Ν. Παρίτσης)

2.2. Καρστικοποίηση των σχηματισμών της λεκάνης

Η καρστικοποίηση αφορά ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, όπου με την επίδραση κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας και το σχηματισμό ανθρακικού οξέος σε συνδυασμό με το νερό, ο ασβεστόλιθος αποσθρώνεται χημικά διευρύνοντας τις ασυνέχειες και σχηματίζοντας έγκοιλα, δολίνες.

Στην περιοχή του Αλμυρού η ρωγμάτωση που δημιουργεί κατακερματισμό είναι πυκνή και επιτείνεται από την καρστικοποίηση. Αντίθετα οι αυλακώσεις είναι πολύ σπάνιες και κάτω από τα 1.700 m το επιφανειακό δίκτυο ροής των υδάτων είναι καλά διαρθρωμένο και κατανεμημένο. Το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό της καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών και δολομιτικών όγκων της ζώνης τροφοδότησης είναι το μέγεθος της έμφραξης των διακένων (συγκρίματα - σταλακτίτες, σταλαγμίτες και ερυθρογή terra rosa). Το χαρακτηριστικό αυτό συναντιέται σ' όλους τους ασβεστολιθικούς όγκους της Κρήτης. Αναλυτικότερα:

Συγκρίματα :Ασβεστολιθικοί όγκοι με συγκρίματα (σταλακτίτες, σταλαγμίτες) βρίσκονται παντού στην επιφάνεια, στα βραχώδη πρανή των οδών. Πρόκειται για παλιές πληρώσεις σπηλαίων που εμφανίστηκαν με τη διάβρωση των όγκων που τις περιβάλλουν. Η ηλικία τους θεωρείται ότι είναι του Μειοκαίνου.

Ερυθρογή : Όλες οι ρωγμές του καρστικού σχηματισμού και ο πυθμένας της πόλγης έχουν πληρωθεί με ερυθρογή. Ο σχηματισμός αυτός αντιστοιχεί στα αδιάλυτα κατάλοιπα της φθοράς των εδαφών που προκλήθηκε από την καρστική διάβρωση από την εποχή της ανάδυσης των ορεινών όγκων. Για ορισμένους συγγραφείς, η σημασία της ερυθρογής συνδέεται με τη φθορά μιας επικάλυψης από φυλλίτες, η οποία αναγνωρίζεται στους ασβεστολιθικούς όγκους των plattenkalk.

Καρστικές κοιλότητες : Διακρίνονται δύο ζώνες, μία κατώτερη με υψόμετρο από 0 ως 1.200 m και μία ανώτερη από 1.200 έως και πάνω από 2.000 m. Για την κατώτερη ζώνη, δηλαδή τις υψηλές περιοχές είναι γνωστή η ύπαρξη μόνο καταβόθρων. Πρόκειται για κατακόρυφα «φρέατα», που έχουν δημιουργηθεί σε διακλάσεις ή σε ρήγματα και χωρίζονται με μαιάνδρους μικρού μήκους. Το πλάτος τους είναι συχνά μικρό, οι στενώσεις πολλές και οι καταπτώσεις που συνδέονται με τον εσωτερικό κατακερματισμό του πετρώματος περιορίζουν ή επιβραδύνουν την προχώρηση της εξερεύνησης.

Η κατώτερη ζώνη περιλαμβάνει δύο ενδιαφέρουσες κοιλότητες, το σπήλαιο του Σάρχου και την καταβόθρα Αστιρακίου.

2.3. Καρστικοποίηση ζωνών επαφής και διάρθρωση της στράγγισης

Σύμφωνα με την έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση της πηγής του Αλμυρού από τους μελετητές της ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Η ένταση της καρστικοποίησης εμφανίζεται μέγιστη στις ζώνες επαφής μεταξύ των δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα η τεκτονική κατακερματισμού μετά τη δημιουργία της επωθήσεως έχει καταστήσει πιο ευπαθείς σε καρστικοποίηση, ζώνες που επηρεάζονται από κανονικά ρήγματα.

Η απουσία στεγανού υποστρώματος και η τεκτονική κατακερματισμού εξηγούν την απουσία οριζόντων δικτύων. Σύμφωνα με μελέτες, μόνο κοντά στη στάθμη του υδροφορέα υπάρχουν αγωγοί με μικρή κλίση. Ελλείπει δομής ικανής να κατευθύνει τη στράγγιση, οι κύριοι καρστικοί αγωγοί θα βρίσκονται μέσα σε τεκτονισμένες λωρίδες που τονίζουν τις μεγάλες επαφές. Στα ανατολικά υπάρχει η λωρίδα επαφής μεταξύ των ασβεστολιθικών όγκων και της πεδιάδας Ηρακλείου. Αυτή η τεκτονισμένη λωρίδα μπορεί να υπερβαίνει το 1 km πλάτους. Τα επηρεαζόμενα εδάφη θα είναι ουσιαστικά οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες της σειράς Τριπόλεως.

Οι κύριοι αγωγοί που διοχετεύουν το νερό στην πηγή Αλμυρού βρίσκονται :

- Καταμήκος του ανατολικού ορίου της λεκάνης απορροής

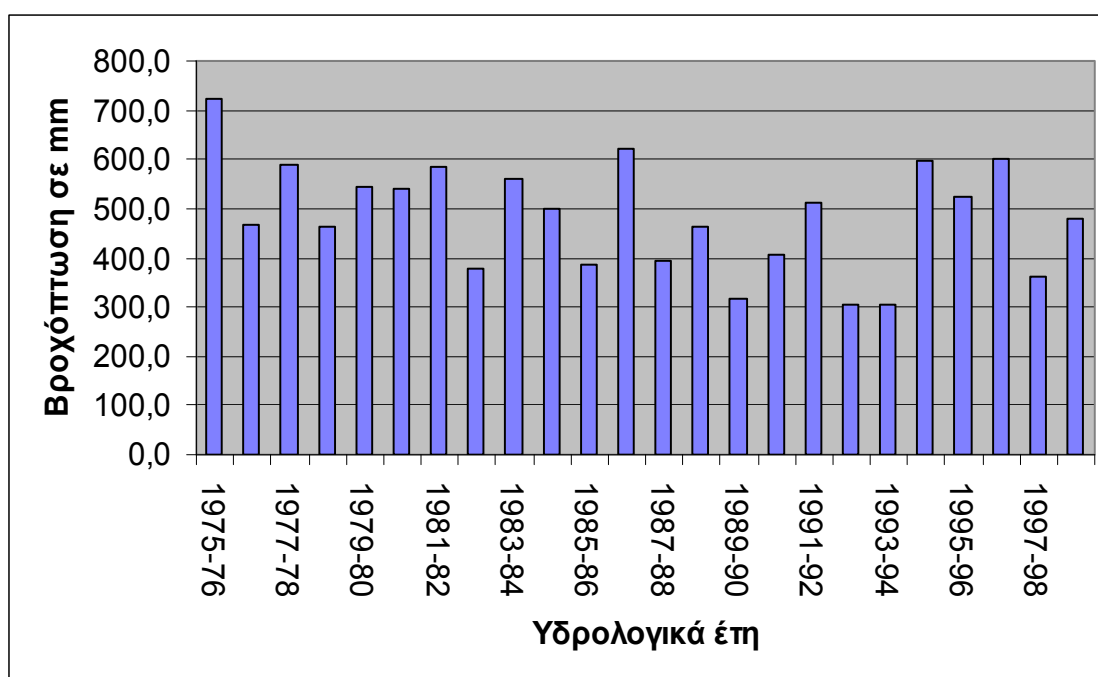
- Καταμήκος του βορείου ορίου ως τον οικισμό Μάραθας, με διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

- Ενας σημαντικός αγωγός διαμορφώνεται πιθανώς στα βόρεια του παραθύρου στις Γωνιές (από τα δυτικά προς τα ανατολικά, με αρχή τον οικισμό Αστιράκι).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για τη μελέτη χρησιμοποιούνται τα βροχομετρικά δεδομένα από το σταθμό του Υ.Ε.Β. Ηρακλείου, το Σταθμό Κρουσώνα Ηρακλείου και το σταθμό Φοινικιάς Ηρακλείου.

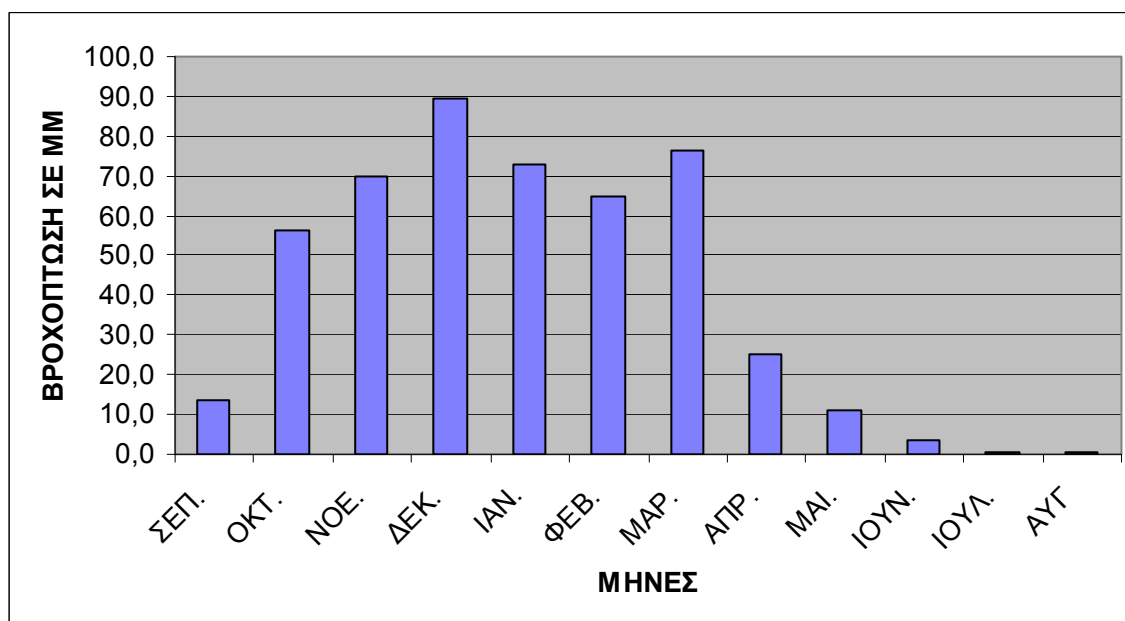
1. Σταθμός Υ.Ε.Β. Ηρακλείου



Σχήμα 3.1.Ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων σε mm. Σταθμός Υ.Ε.Β Ηρακλείου

Τα δεδομένα των βροχοπτώσεων ανά υδρολογικό έτος (Σχήμα 3.1) προέρχονται από το σταθμό της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων Ηρακλείου και αναφέρονται σε τιμές που μετρήθηκαν από βροχόμετρα στην ανατολική υδρολογική λεκάνη του Ηρακλείου κατά τα υδρολογικά έτη 1975 - 1999. Παρατηρείται ότι κατά το υδρολογικό έτος 1992-93 σημειώθηκαν οι μικρότερες τιμές βροχόπτωσης (303,9 mm), ενώ κατά το υδρολογικό έτος 1975-76 οι υψηλότερες (724,1 mm).

Πιο αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2) φαίνεται ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων για κάθε μήνα για τα ίδια υδρολογικά έτη 1975 – 1999 στην ανατολική υδρολογική λεκάνη του Ηρακλείου. Ως μήνας με την μεγαλύτερη τιμή κατακρημνισμάτων παρουσιάζεται ο Δεκέμβριος (89,3 mm), ενώ ως μήνες με τις μικρότερες τιμές κατακρημνισμάτων παρουσιάζονται ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (0,5 mm).

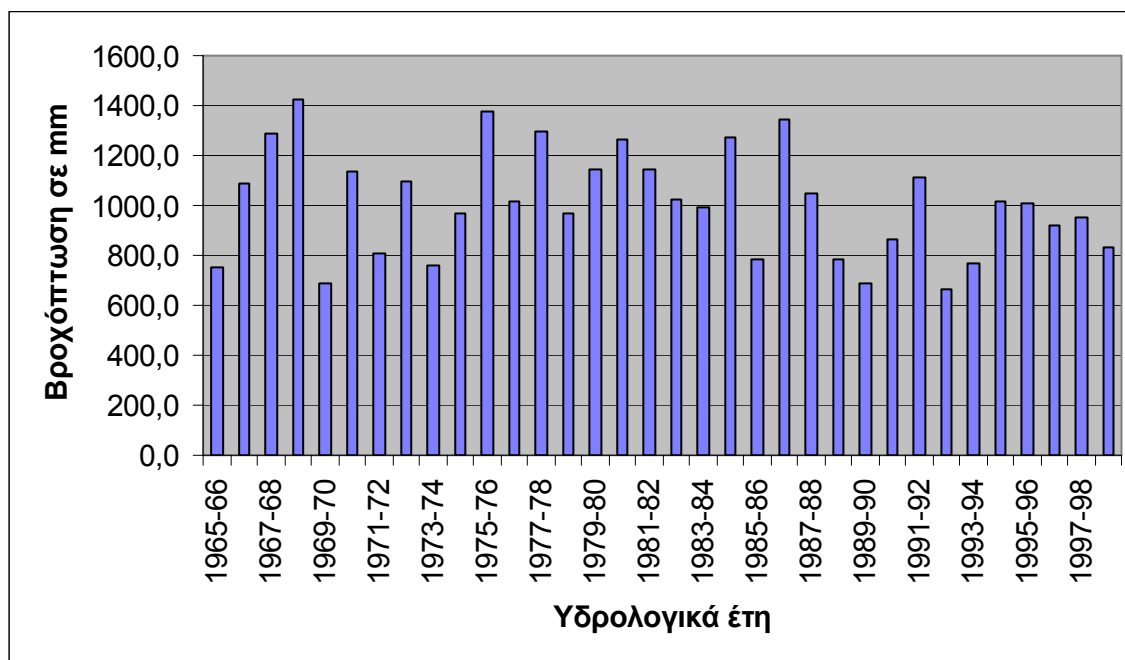


Σχήμα 3.2. Μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων σε mm. Σταθμός Υ.Ε.Β. Ηρακλείου

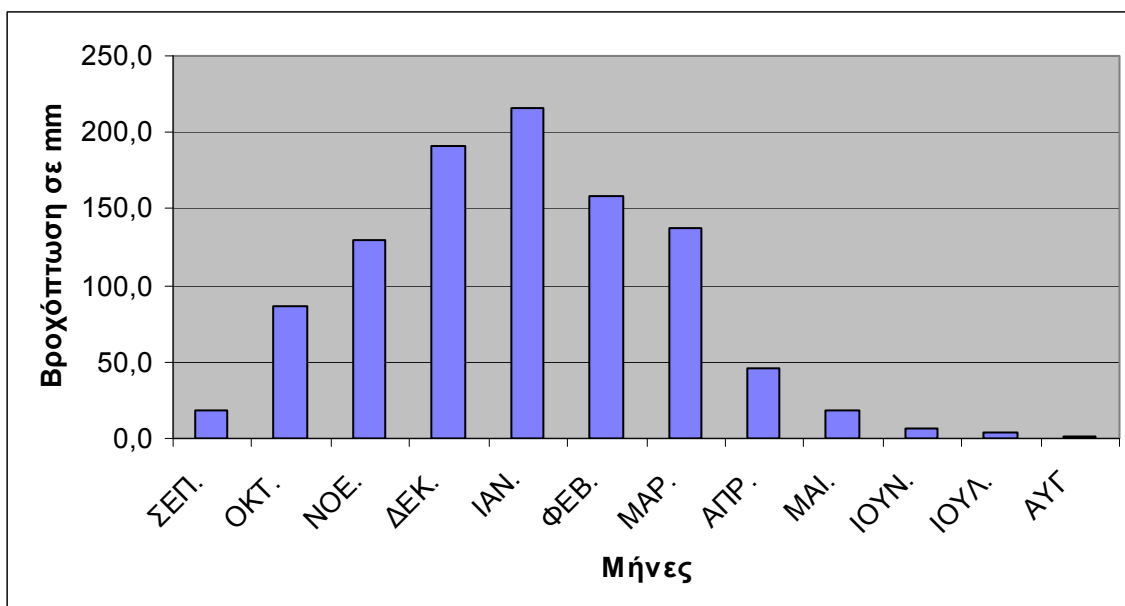
2. Σταθμός Κρουσώνας Ηρακλείου

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.3) φαίνονται οι τιμές των βροχοπτώσεων ανά υδρολογικό έτος στην δυτική υδρολογική λεκάνη του Ηρακλείου που πάρθηκαν από το σταθμό του Κρουσώνα Ηρακλείου για τα υδρολογικά έτη 1965 – 1999. Το υδρολογικό έτος με τις μικρότερες τιμές βροχοπτώσεων (688,3 mm) ήταν το 1989-90, ενώ οι υψηλότερες τιμές βροχοπτώσεων (1423,7 mm) παρατηρήθηκαν κατά το υδρολογικό έτος 1968-69. Ως γενική παρατήρηση διαπιστώνεται η τάση της μείωσης του μέσου όρου των βροχοπτώσεων.

Επίσης στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.4) δίνεται ο μέσος όρος των κατακρημνισμάτων για κάθε μήνα κατά τα ίδια υδρολογικά έτη 1965 – 1999. Για την δυτική λεκάνη του Ηρακλείου ως πιο βροχερός μήνας παρουσιάζεται ο Ιανουάριος (216,6 mm), ενώ ως μήνας ξηρασίας παρουσιάζεται ο Αύγουστος (0,8 mm).



Σχήμα 3.3. Ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων σε mm. Σταθμός Κρουσώνα Ηρακλείου.

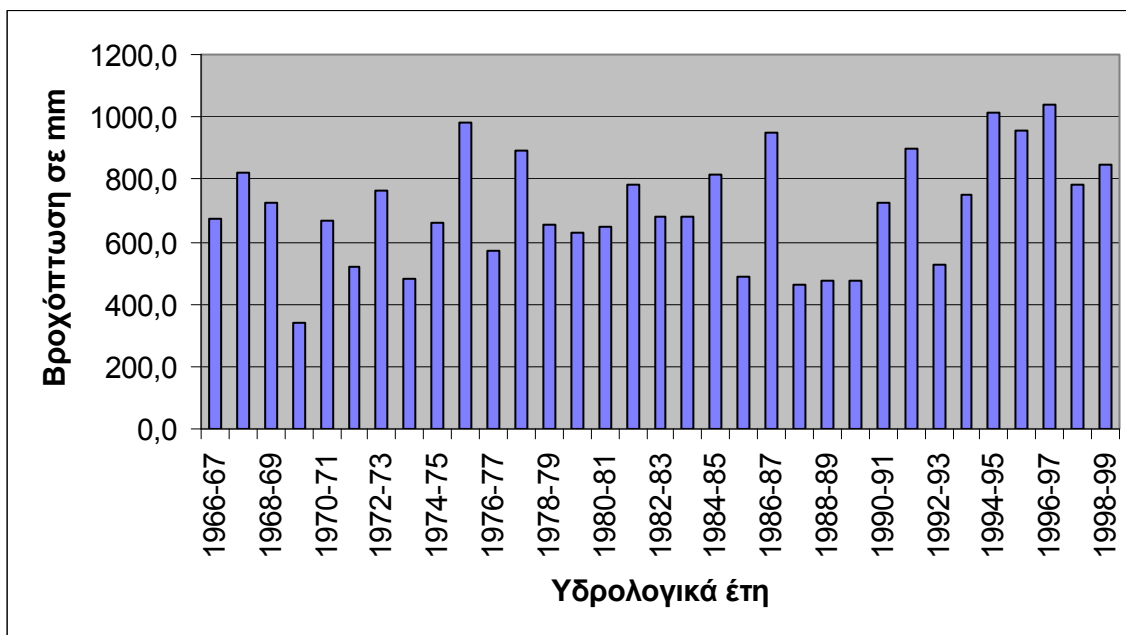


Σχήμα 3.4. Μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων σε mm. Σταθμός Κρουσώνα Ηρακλείου.

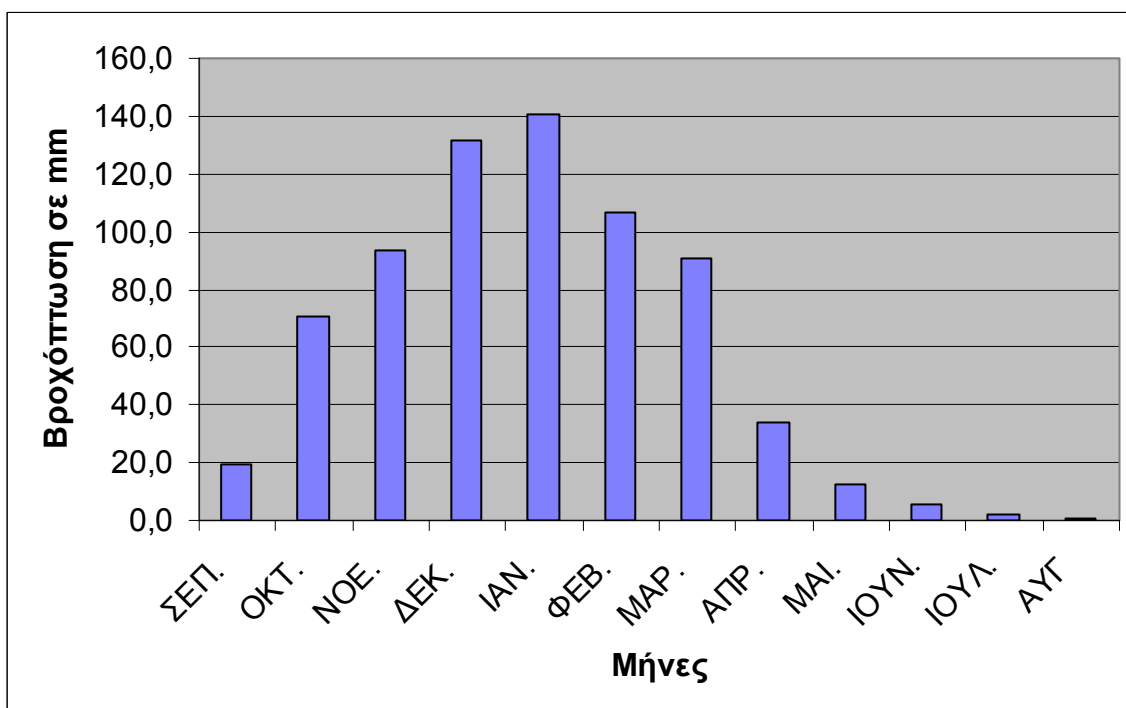
3. Σταθμός Φοινικιάς Ηρακλείου

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.5) παρατηρούνται οι τιμές των βροχοπτώσεων που καταγράφηκαν κατά τα υδρολογικά έτη 1966-1999 από τον βροχομετρικό σταθμό της Φοινικιάς Ηρακλείου για την δυτική λεκάνη του Ηρακλείου. Οι μικρότερες τιμές βροχόπτωσης (341,5 mm) καταγράφηκαν κατά το υδρολογικό έτος 1969-70, ενώ οι υψηλότερες τιμές (1042,1 mm) κατά το υδρολογικό έτος κατά το υδρολογικό έτος 1996-97.

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.6) δίνονται πιο αναλυτικά οι μέσες τιμές των κατακρημνισμάτων για κάθε μήνα κατά τα ίδια υδρολογικά έτη 1966-1999. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται κατά τον μήνα Ιανουάριο (140,8 mm), ενώ οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται κατά τον μήνα Αύγουστο (0,8 mm).



Σχήμα 3.5 Ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων. Σταθμός Φοινικιάς Ηρακλείου.



Σχήμα 3.6 Μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων. Σταθμός Φοινικιάς Ηρακλείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

4.1. Υδρογεωλογική αναγνώριση πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης από τους D.J. Burdon και N. I. Παπάκη (ΙΓΕΥ) -1964

Στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O) και του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (ΙΓΕΥ), πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1961 υδρογεωλογική αναγνώριση στον Αλμυρό Ηρακλείου από τους D.J. Burdon και N.I. Παπάκη. Η έκθεση δημοσιεύτηκε το 1964 και περιλαμβάνει παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά της πηγής του Αλμυρού.

Από τη μελέτη βρέθηκε η θερινή στάθμη της λίμνης του Αλμυρού σε ύψος 1.96 m. και η χειμερινή σε ύψος 2.5 m. ενώ η περιεκτικότητα του νερού σε χλωριόντα εκτιμήθηκε στα 5.400 ppm και 39 ppm αντίστοιχα. Από αυτή τη σχέση μεταξύ ύψους στάθμης και χημικής σύστασης φανερώθηκε ότι η ύπαρξη χλωριόντων στο νερό οφείλεται στην ανάμιξη του νερού της πηγής με το θαλασσινό νερό χωρίς να εξηγείται ο μηχανισμός με τον οποίο πραγματοποιείται αυτό.

Ακόμη οι μελετητές αναφέρουν την πιθανότητα να οφείλεται η υφαλμύριση στη διέλευση του νερού από ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα και να απέκτησε με αυτόν τον τρόπο τα άλατά του το νερό.

Τελικώς, οι Burdon και Παπάκης καταλήγουν ότι η υφαλμύριση οφείλεται στην ανάμιξη θαλάσσιου ύδατος και γλυκών ασβεστολιθικών υδάτων. Προτείνεται η κατασκευή φράγματος σε υψόμετρο 10 m. με σκοπό να μειωθεί και να εμποδιστεί η υφαλμύριση με την ανύψωση του επιπέδου εκφόρτισης της πηγής.

4.2. Προκαταρκτική υδρογεωλογική μελέτη από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) - 1969

Σε αυτή τη μελέτη πραγματοποιήθηκαν κάποιες χημικές αναλύσεις στις σημαντικότερες πηγές και γεωτρήσεις της περιοχής με τα ακόλουθα αποτελέσματα.

1) Βρέθηκε ότι το νερό της θάλασσας εισέρχεται από τη ζώνη που βρίσκεται ανάμεσα στην πηγή και τον χείμαρρο της Κέρης.

2) Επίσης βρέθηκε ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού εκτείνεται προς το εσωτερικό της πηγής του Αλμυρού, σε απόσταση τουλάχιστον 2 km από τα ανάντι της.

Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα προτείνονται τρεις μέθοδοι για την αντιμετώπιση της υφαλμύρινσης.

1) Προτείνεται να γίνει ανύψωση του επιπέδου των πηγών, έτσι ώστε η διαχωριστική επιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού να μετατοπισθεί βαθύτερα και να βρεθεί σε βάθος μεγαλύτερο από εκείνο που βρίσκονται τα στόμια από τα οποία διεισδύει η θάλασσα.

2) Ακόμη προτείνεται η κατασκευή υπόγειου φράγματος ούτως ώστε να παρεμποδιστεί η διείσδυση του θαλασσινού νερού.

3) Τέλος, προτείνεται η ανόρυξη γεωτρήσεων για τη σύλληψη του νερού πριν υποστεί μόλυνση από το θαλασσινό νερό.

4.3. Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφάλμυρου πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης από τους Δ.Γ. Μονόπωλη και Κ.Ι. Μάστορη - 1969

Το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Έρευνας Υπεδάφους πραγματοποίησε τέσσερις ερευνητικές γεωτρήσεις στην περιοχή του Αλμυρού με τα ακόλουθα αποτελέσματα.

1) Υποστηρίζεται ότι η ποιότητα του ύδατος εντός του υδροφόρου είναι συνάρτηση της στάθμης του υδροφόρου. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου μειώνεται όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ανυψώνεται ενώ αντιθέτως, αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου όταν η στάθμη του υπόγειου ύδατος υφίσταται ταπείνωση.

2) Ακόμη από τη μελέτη συμπεραίνεται ότι η περιεκτικότητα σε άλατα του υφάλμυρου νερού της πηγής του Αλμυρού παρουσιάζει εποχικές διακυμάνσεις και για μικρά χρονικά διαστήματα καθίσταται πόσιμο με περιεκτικότητα σε χλώρια μικρότερη των 250 mg/l.

3) Άλλο ένα συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε άλατα οφείλεται στην ανάμιξη του γλυκού ασβεστολιθικού νερού με το θαλασσινό.

4) Τέλος, υποστηρίζεται ότι η κύρια διείσδυση του θαλάσσιου ύδατος πραγματοποιείται μέσω άξονα διεύθυνσης Α-Δ που διέρχεται από το σημείο που αναβλύζει η πηγή. Αυτό αποδίδεται στην ύπαρξη ευρείας ζώνης διαρρήξεων των καρστικών αγωγών.

Από τους μελετητές προτείνεται η εξόρυξη κεκλιμένης στοάς στο φαράγγι της Κέρης, πάνω από τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα. Ακόμη από τη στοά αυτή μπορούν να ανοιχθούν δευτερεύοντες οριζόντιοι κλάδοι, προσανατολιζόμενοι με διεύθυνση Β-Ν, δηλαδή κάθετα στη ροή. Στη συνέχεια μπορεί να πραγματοποιηθεί εκμετάλλευση του υδροφόρου με διάνοιξη κατακόρυφων αβαθών γεωτρήσεων ή φρεάτων από τον πυθμένα των παραπάνω έργων.

4.4. Έκθεση FAO – Αποτελέσματα ερευνητικών γεωτρήσεων (Υπ. Γεωργίας) - 1971

Τα αποτελέσματα των 15 αυτών ερευνητικών γεωτρήσεων περιλαμβάνονται στην έκθεση του Breznik το 1971, ο οποίος υποστηρίζει ότι η μόλυνση του υφάλμυρου νερού της πηγής του Αλμυρού γίνεται από το στρώμα των πλακωδών ασβεστολίθων, που βρίσκονται κάτω από τους φυλλίτες, σε άγνωστο όμως βάθος. Ακόμη αναφέρει ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού μπορεί να γίνεται από το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της νεογενούς λεκάνης του Ηρακλείου.

4.5. Υδρογεωλογική μελέτη FAO (G. Dietrich και R.E. RE) - 1972

Έπειτα από έρευνες οι δύο μελετητές κατέληξαν στα παρακάτω συμπεράσματα.

1) Υποστηρίζουν ότι υπάρχουν δύο ξεχωριστές υδρογεωλογικές λεκάνες στην περιοχή του Αλμυρού. Η πρώτη με διαστάσεις 50 km² βρίσκεται κοντά στην πηγή του Αλμυρού, ενώ η δεύτερη με διαστάσεις 170 km² βρίσκεται μακρύτερα. Ο εντοπισμός τους και οι διάκρισή τους έγινε λόγω της διαφορετικής περιεκτικότητάς τους σε χλώρια.

2) Πιστεύεται από τους μελετητές ότι η είσοδος της θάλασσας γίνεται μέσω ενός ή περισσοτέρων αγωγών, που φθάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα λίγο ανάντη της πηγής.

Προτείνεται η κατασκευή φράγματος ύψους 10 m, το οποίο και κατασκευάστηκε πέντε χρόνια αργότερα, επίσης η κατασκευή γεωτρήσεων στην περιοχή δυτικά του όρους Κέρης με την ελπίδα να διατηρηθούν ανοιχτοί καρστικοί αγωγοί.

4.6. Μελέτη περί του μηχανισμού υφαλμύρινσης της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου (Breznik) - 1978

Ο Breznik σε άρθρο του υποστηρίζει ότι η είσοδος του θαλασσινού νερού στην πηγή του Αλμυρού, πραγματοποιείται μέσα από μία φλέβα η οποία βρίσκεται μέσα στους ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως κάτω από τα νεογενή ιζήματα. Πιστεύει ότι το στόμιο της φλέβας αυτής βρίσκεται στον πυθμένα της θάλασσας σχηματίζοντας μία καταβόθρα θαλασσινού νερού κατά τη θερινή περίοδο.

Για την αντιμετώπιση της υφαλμύρινσης, προτείνει να ανυψωθεί το υπάρχον φράγμα στα 17,4 m.

4.7. Υδρογεωλογική μελέτη του Π. Οικονομόπουλου - 1982

Ο κ. Π. Οικονομόπουλος με την βοήθεια του ΙΓΜΕ που πρόσφερε προσωπικό επιφανείας, της Αμερικάνικης Βάσης που πρόσφερε προσωπικό καταδύσεων και του Υπ. Γεωργίας που πρόσφερε μυλίσκους για τη μέτρηση αμφίδρομης ροής κατέληξε στο παρακάτω συμπέρασμα. Υποστηρίζει τη σχέση μεταξύ δύο υδραυλικών συστημάτων με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση της πηγής του Αλμυρού από τη μοναδική είσοδο της θάλασσας από τις εσταβέλλες του Μπαλί. Σε απόσταση 46 km προς Χανιά και στο μυχό του κόλπου Μπαλί εντοπίστηκαν δεκαπέντε κύρια καρστικά υποθαλάσσια στόματα πηγών με το χαρακτηριστικό γνώρισμα των εσταβελλών, δηλαδή υποθαλασσίων πηγών με αμφίδρομη ροή. Στη μελέτη διευκρινίζεται ότι όταν είναι γνωστή η ημερομηνία της εισόδου της θάλασσας στο Μπαλί πρέπει να αναμένεται αύξηση της υφαλμύρωσεως στην πηγή εξόδου του Αλμυρού, η οποία ως υφάλμυρη σχετίζεται με τη συγκεκριμένη είσοδο της θάλασσας. Επειδή το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται μετά από διάστημα 18 ημερών, ο μελετητής το ονόμασε ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΤΩΝ 18 ΗΜΕΡΩΝ.

Για την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης προτείνεται από τον κ. Οικονομόπουλο η Νέα Μέθοδος Αφαλατώσεως. Με τη μέθοδο αυτή το προϊόν της πηγής που εξαναγκάζεται με

κατάλληλη υποθαλάσσια κατασκευή να εξέρχεται μόνο από ένα αγωγό μικρής διαμέτρου, μειώνει την αλμυρότητα και την ποσότητα σε τέτοιο βαθμό που καθίσταται πόσιμο επ' αόριστον. Η ρύθμιση γίνεται με «στραγγαλισμό» της εξόδου όπου με συνεχείς μετρήσεις καθορίζεται το περιθώριο απολήψεως.

4.8. Μελέτη για τον Αλμυρό Ηρακλείου και τις πηγές του Μπαλίου (Κ. Μπεζές) -1985

Στη μελέτη του ο κ. Μπεζές εκφράζει τη γνώμη του για τη σχέση μεταξύ των υποθαλάσσιων πηγών του Μπαλίου και της πηγής του Αλμυρού.

Υποστηρίζει ότι η ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού γίνεται σε μεγάλη απόσταση ανάντη της πηγής και ότι πιθανότατα η υφαλμύριση του νερού της πηγής του Αλμυρού να προκαλείται από το θαλασσινό νερό, που εισχωρεί το καλοκαίρι στις υποθαλάσσιες πηγές του Μπαλίου και μεταφέρεται υπογείως μέχρι την περιοχή της πηγής.

4.9. Πείραμα ανύψωση της στάθμης της πηγής του Αλμυρού (Υπ. Γεωργίας) - 1987

Πραγματοποιήθηκε από το Υπ. Γεωργίας μακροχρόνιο πείραμα ανύψωσης της στάθμης της λίμνης της πηγής του Αλμυρού. Σε έκθεση τους οι γεωλόγοι της ΥΕΒ Δ. Παπαμαστοράκης και Θ. Μαραθάς αναφέρουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

- 1) Οι γεωτρήσεις δεν συνάντησαν τον κύριο αγωγό της τροφοδοσίας ή διάτρησαν επικρεμάμενους ορίζοντες διότι οι στάθμες τους δεν συμπίπτουν με τις διακυμάνσεις της παροχής της πηγής.
- 2) Λόγω του χρόνου εκροής του υφάλμυρου νερού που βρίσκεται μεταξύ των ζωνών ανάμιξης και κατάντη αυτών, η μείωση των χλωριόντων καθυστερεί και δεν γίνεται

συγχρόνως με την αύξηση της παροχής, Η μεταβολή της παροχής και των χλωρίων οφείλεται και στην τήξη του χιονιού.

3) Τέλος, παρατηρείται μία βελτίωση της ποιότητας του νερού, η οποία υπολογίστηκε στο 50 % , σε σχέση με προηγούμενες μετρήσεις. Η ποιότητα όμως υποβαθμίζεται όσο πλησιάζει το θέρος.

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης, προτείνεται από τους μελετητές στο Υπ. Γεωργίας να προχωρήσει στην περαιτέρω ανύψωση του φράγματος στο μέγιστο ύψος.

4.10. Υδρογεωλογική μελέτη των Μονόπωλη Δ., Σοφίου Π., Στειακάκη Εμμ., Κλειδοπούλου Μ., Βαβαδάκη Διον. - 1987

Οι μελετητές πραγματοποίησαν μελέτη των υδρογεωλογικών παραμέτρων της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου σε συνθήκες τεχνητών επεμβάσεων. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι τα παρακάτω.

1) Τα φυσικά μεγέθη παροχή – στάθμη – ποιότητα αποτελούν συμμεταβλητές αλληλένδετα εξαρτημένες. Οι μεταβλητές αυτές πρέπει να είναι άμεσα εξαρτημένες από ομάδα παραγόντων ή παράγοντα (τέταρτη μεταβλητή) με την οποία συνδέονται με ανάλογες γραμμικές σχέσεις. Επειδή τα φυσικά μεγέθη παροχή και στάθμη, σ' όλες τις περιπτώσεις δίνουν τις πλέον αξιόπιστες σχέσεις, οι μελετητές υποστηρίζουν ότι η αναζητούμενη τέταρτη εξαρτημένη μεταβλητή είναι ένα φυσικό μέγεθος ανάλογο με το « δυναμικό του υδροφορέα» (όγκος αποταμιευμένου νερού x υψόμετρο του κέντρου βάρους του υδροφορέα) .

2) Ακόμη υποστηρίζουν ότι οι τεχνητές αυξομειώσεις της στάθμης της λίμνης συνεπάγονται στατιστικά αντίρροπη μεταβολή στην παροχή και τη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου. Το φαινόμενο πιθανά προδικάζει ότι, κατά την ξηρή περίοδο, η επιθυμητή ποιότητα δεν θα μπορεί να εξασφαλισθεί με ταυτόχρονη ικανοποιητική παροχή στην πηγή.

4.11. Υδρογεωλογική έκθεση περιοχής Τυλίσσου Ηρακλείου Κρήτης (Κ. Μπεζές) - 1990

Πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Τυλίσσου μια σειρά από ερευνητικές γεωτρήσεις, οι οποίες είχαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

1) Υποστηρίζεται η ύπαρξη δύο υδροφόρων οριζόντων. Ο ένας είναι ο υδροφόρος ορίζοντας της Τυλίσσου με θερμό και γλυκό νερό και ο άλλος είναι ο ορίζοντας της Ίδης με ψυχρό και υφάλμυρο νερό. Γίνεται αναφορά για εκμετάλλευση του υδροφόρου της Τυλίσσου, ο οποίος περιέχει νερό καλής ποιότητας για ύδρευση.

2) Ακόμη γίνεται επισήμανση ότι δεν μπορεί να γίνει άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από τις γεωτρήσεις στο φαράγγι της Κέρης. Αυτή η κίνηση θα είχε ως αποτέλεσμα την περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας του υφάλμυρου νερού από τη σημαντική πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που θα προκληθεί με τις αντλήσεις.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα ο Κ. Μπεζές επανεξετάζει την πρόταση των Δ. Μονόπωλη και Κ. Μάστορη, που είχαν προτείνει το 1969, για την κατασκευή στοάς υδροσυλλογής στην πηγή του Αλμυρού.

4.12. Έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση της πηγής του Αλμυρού από την ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ - 1991

Πραγματοποιήθηκε μελέτη της λεκάνης τροφοδότησης του Αλμυρού η οποία οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα.

1) Η απουσία στεγανού υπόβαθρου, ο νησιωτικός χαρακτήρας της λεκάνης τροφοδότησης και η γεωλογική και κλιματολογική ιστορία της Μεσογείου, οδηγούν στο να θεωρηθεί ότι ο ασβεστολιθικός ιστός είναι καρστικοποιημένος σε βάθος κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, αλλά και ότι οι ενεργοί καρστικοί σχηματισμοί δεν κατεβαίνουν κάτω από το υψόμετρο 100 ως 150 m.

2) Χαρακτηρίζεται από πολύ σημαντική πλήρωση (συγκρίματα και ερυθρογή) των κοιλοτήτων, πιθανώς ηλικίας προπλειοκαινικής.

3) Στα χαμηλά μέρη η πλήρωση με συγκρίματα φαίνεται πιο εκτεταμένη απ' ότι στις υψηλές ζώνες αφού οι χαμηλές θερμοκρασίες ελαττώνουν την ταχύτητα σχηματισμού των συγκριμάτων.

4) Ο εσωτερικός κατακερματισμός, η περίπλοκη τεκτονική των ασβεστολιθικών ζωνών και η πλήρωση των κοιλοτήτων, καθιστούν δύσκολη την προχώρηση της σπηλαιολογικής εξερεύνησης προς τους μεγάλους αγωγούς που φαίνεται να βρίσκονται πάνω σε μεγάλες τεκτονικές διαταράξεις (ρήγμα ή επαφή).

5) Οι μελετητές καταλήγουν στο ότι η πιο ενδιαφέρουσα ζώνη λόγω της θέσης της μέσα στη λεκάνη τροφοδότησης της πηγής και λόγω των τεκτονικών χαρακτηριστικών της είναι αναμφισβήτητο το κατάντη άκρο (έξοδος) της φάραγγας Γωνιών.

6) Τέλος αναφέρεται στη μελέτη ότι η υπερχειλίση του Φόδελε θα πρέπει να παράσχει προσπέλαση σε εκμεταλλεύσιμο υδροφορέα με ενδιαφέροντα υδραυλικά χαρακτηριστικά, ο οποίος όμως είναι ίσως ανεξάρτητος του υδροφορέα της πηγής του Αλμυρού.

Απολογισμός της έρευνας και μελέτης : Δύο φρέατα βάθους 90 m το πρώτο και περισσότερο από 100 m το δεύτερο, υπάρχουν στο υψόμετρο + 460, σε απόσταση 5 km δυτικά του Αλμυρού. Από άποψη δομής, αυτοί οι κατακόρυφοι αγωγοί φαίνεται να κατεβαίνουν ως την επαφή ασβεστολίθων-φυλλιτών.

Ειδικότερα, μια θεαματική καταβόθρα βρίσκεται σε απόσταση 2,5 km ανατολικά της καταβόθρας Χώνου σε υψόμετρο + 300, που έχει ονομαστεί « καταβόθρα της οδού Δαμάστας».

Όλες αυτές οι ενδείξεις επιβεβαίωσαν στους μελετητές τη σημασία της καρστικοποίησης αυτής της βόρειας ζώνης και ενισχύουν την υπόθεση ενός σημαντικού βαθέος αγωγού με διεύθυνση Δ-Α στο βόρειο όριο της λεκάνης τροφοδότησης, πιθανώς στην επαφή ασβεστολίθων-φυλλιτών. Για λόγους δομής και παλαιογεωγραφίας εκφράζεται ότι σ' αυτήν τη ζώνη ο βυθισμένος υδροφορέας Αλμυρού είναι περισσότερο ανεπτυγμένος και πιο ενδιαφέρον για αναζήτηση ύδατος.

4.13. Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Τυλίσου του Κ. Μπεζέ - 1992

Η υδρογεωλογική έρευνα που ανατέθηκε στον κ. Μπεζέ από την ΔΕΥΑΗ, πραγματοποιήθηκε από τον Ιανουάριο του 1989 μέχρι τον Ιανουάριο του 1993 και η έκθεση περιλαμβάνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

Στη μελέτη, υποστηρίζεται η ανάμιξη του νερού του ψυχρού υδροφόρου ορίζοντα του Ψηλορείτη (Ιδης), με θερμοκρασία 14 °C , με το νερό των υδροφόρων οριζόντων Τυλίσου-Κέρης , με θερμοκρασία 20 °C , ώστε από την ανάμιξή τους να προκύπτει το νερό της πηγής του Αλμυρού. Το καρστικό υποσύστημα της Ίδης λόγω της μεγαλύτερης λεκάνης τροφοδοσίας που διαθέτει, εμφανίζει και μεγαλύτερη θερμοκρασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζει διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του, κατά την εποχή τήξης των χιονιών , που είναι έκδηλες στην πηγή του Αλμυρού.

Συνεχίζοντας, το νερό του υδροφόρου ορίζοντα της Ίδης εισβάλλει στον υδροφόρο ορίζοντα της Τυλίσου, προερχόμενο από μεγάλο βάθος. Μετά την ανάμιξη του νερού της Ίδης με το θερμό νερό της Τυλίσου, το μίγμα ακολουθεί πορεία βορειανατολική και μετά από διαδρομή 2,5 km φτάνει στην πηγή του Αλμυρού, μέσα από ένα περιορισμένο αριθμό αγωγών μεγάλης διατομής.

Από την παρατήρηση των μέγιστων τιμών αλατότητας ο μελετητής καταλήγει στα ακόλουθα συμπεράσματα :

- 1) Η είσοδος του θαλασσινού νερού επηρεάζεται από τα φορτία του υδροφόρου ορίζοντα.
- 2) Το σημείο εισόδου του θαλασσινού νερού βρίσκεται μέσα στη ζώνη του υδροφόρου ορίζοντα.
- 3) Οι μεταβολές των φορτίων έλαβαν χώρα μέσα στον ορίζοντα της Τυλίσου, αλλά είναι δυνατόν να μεταδόθηκαν και σε άλλους υδροφόρους ορίζοντες που τροφοδοτούν την πηγή του Αλμυρού.

4.14. Υδρογεωλογική μελέτη των Μονόπωλη Δ., Σοφίου Π., Παπαμαστοράκη Δημ., Στειακάκη Εμμ., Κλειδοπούλου Μ. και Βαβαδάκη Δ. - 1994

Πραγματοποιήθηκε μελέτη των υδρογεωλογικών παραμέτρων της πηγής του Αλμυρού σε συνθήκες φυσικής ροής και ανακοινώθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

1) Η αύξηση των παροχών της πηγής εμφανίζεται με καθυστέρηση ημερών από την ημέρα αιχμής ή εμφάνιση της καταιγίδας, η οποία είναι συνάρτηση της γεωγραφικής και χρονικής κατανομής αλλά και έντασης της καταιγίδας.

2) Η συγκέντρωση χλωριόντων είναι αντίρροπη σε σχέση με τις μεταβολές της παροχής της πηγής, με καθυστέρηση ωρών μέχρι και μερικών ημερών.

3) Η ανύψωση της στάθμης της λίμνης που οφείλεται σε φυσικά αίτια (π.χ. βροχοπτώσεις) επιφέρει βελτίωση της ποιότητας του νερού, δηλαδή μείωση των χλωριόντων και αντίστροφα. Το ίδιο φαινόμενο δεν παρατηρείται όμως στην περίπτωση που οι αυξομειώσεις της στάθμης οφείλονται σε τεχνητά αίτια (θυροφράγματα).

4) Οι μελετητές τονίζουν ότι είναι αναγκαίο να γίνει διαχωρισμός των μεταβολών της στάθμης που οφείλονται σε φυσικά, από αυτές που οφείλονται σε τεχνητά αίτια και στη συνέχεια να υπάρξει συσχετισμός με τις αντίστοιχες μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων.

5) Προτείνεται η μαθηματική σχέση παροχής και ποιότητας του νερού της πηγής με την λογαριθμική καμπύλη του τύπου $y = a * \ln(x) + b$.

4.15 Freshwater-saltwater motion in a coastal aquifer-The case of Almyros of Heraklio,Crete,Greece (Arfib, Marsily, Γκανούλης) - 2001

Η μελέτη έχει θέμα « Η κίνηση γλυκού-αλμυρού νερού στην καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης».

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του συσχετισμού γλυκού-αλμυρού νερού βασίστηκαν στην καταγραφή της παροχής, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας του νερού από την πηγή του Αλμυρού.

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται παρακάτω :

1) Κάθε επεισόδιο βροχής στην υπό εξέταση περιοχή, προκαλεί μία αύξηση της παροχής του νερού στην πηγή συνοδευμένη από μία μείωση της περιεκτικότητάς του σε χλώρια. Το σύστημα αντιδρά γρήγορα στην βροχόπτωση, παρόλο το μέγεθος της λεκάνης, αλλά υπάρχει ένα μεγάλο χρονικό κενό ανάμεσα στην αρχή της αύξησης της παροχής και της πτώσης της περιεκτικότητας του νερού σε χλώρια. Αυτό το φαινόμενο είναι συνεχόμενο για όλες τις πλημμύρες και υποδηλώνει την απόσταση μεταξύ της πηγής και του σημείου εισόδου του θαλασσινού νερού μέσα στους αγωγούς.

2) Η μείωση της περιεκτικότητας σε χλώρια του νερού της πηγής κατά την άνοιξη οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, οφείλεται στις μεγάλες βροχοπτώσεις της εποχής και δεύτερον στην αυξημένη πίεση που δημιουργείται μέσα στους καρστικούς αγωγούς εξαιτίας αυτών των μεγάλων βροχοπτώσεων.

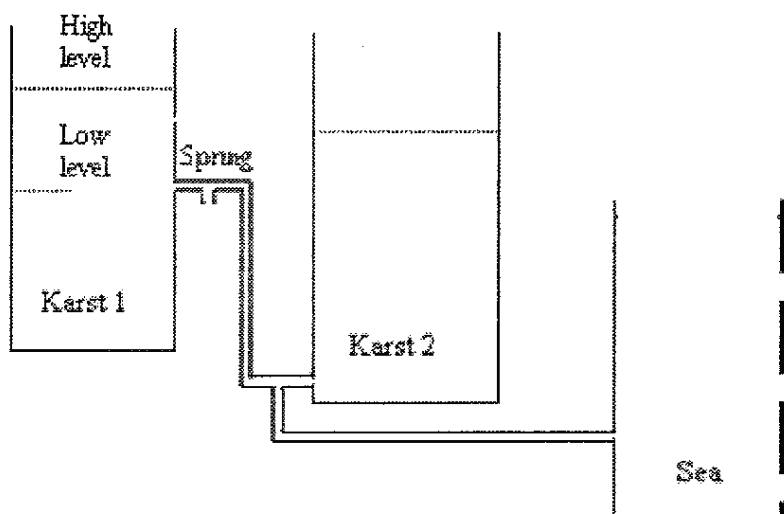
Οι μελετητές αναφέρουν την παραδοχή ότι οι καρστικές πηγές χαρακτηρίζονται από ανομοιογενή ροή η οποία επηρεάζει την παροχή αλλά και την περιεκτικότητα σε χλώρια του νερού. Συγκεκριμένα, υποστηρίζουν για το σύστημα του Αλμυρού ότι αποτελείται από μία κύρια αποθήκη νερού με γλυκό νερό, η οποία κατά την άνοιξη μολύνεται με θαλασσινό νερό. Το προκύπτουν υφάλμυρο νερό μετατίθεται πολύ μακριά από το σημείο εισόδου του θαλασσινού νερού.

4.16. Simulation of brackish karst springs operation with the modkarst deterministic model (Α. Μαράμαθας, Ι. Γιαλαμάς και Α. Μπουντουβής)-2003-2004

Παρουσιάστηκε στο 9^ο Διεθνές Συνέδριο για την Περιβαλλοντική επιστήμη και Τεχνολογία στη Ρόδο. Η μελέτη αποσκοπεί στην παρουσίαση της προσομοίωσης του μηχανισμού των υφάλμυρων καρστικών πηγών με το μαθηματικό μοντέλο MODKARST. Με αυτήν τη προσομοίωση καθορίζονται και αναλύονται πολύ σημαντικά θέματα που αφορούν τους μηχανισμούς λειτουργίας και τη βιώσιμη ανάπτυξη των πηγών και συγκεκριμένα της πηγής του Αλμυρού του Ηρακλείου.

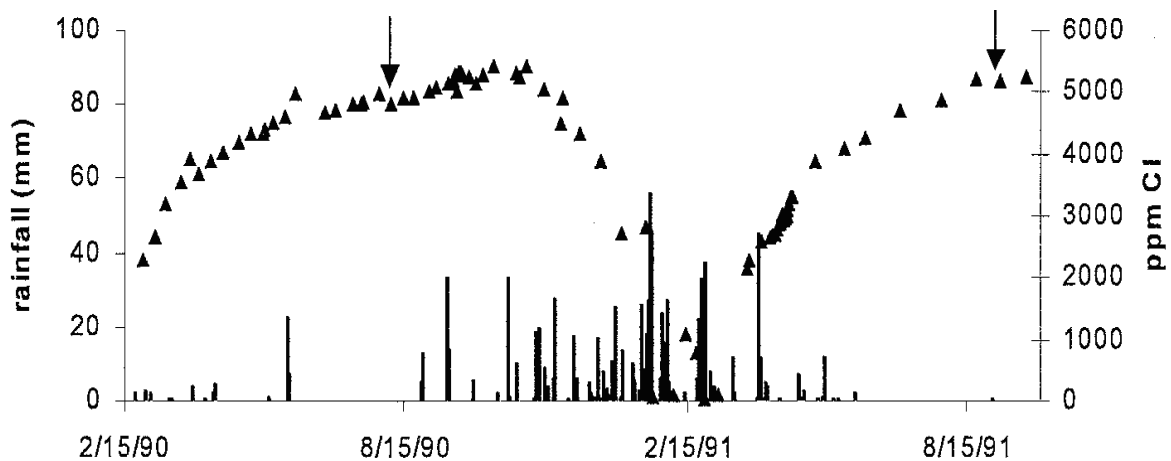
Το μοντέλο MODKARST προσομοιάζει τη λειτουργία των υφάλμυρων καρστικών πηγών και η λειτουργία του βασίζεται στην είσοδο τιμών βροχοπτώσεων και την αντίστοιχη εμφάνιση της υδρολογίας αλλά και της περιεκτικότητας σε χλώρια με την πάροδο του χρόνου, του νερού της πηγής. Το μοντέλο βασίζεται σε μία υδροδυναμική αναλογία η οποία εμφανίζεται στο Σχήμα 1.

Εφαρμόζοντας το μοντέλο MODKARST οι μελετητές αναγνώρισαν μία αναπάντεχη συμπεριφορά της πηγής όταν οι τιμές των βροχοπτώσεων στην Κρήτη είναι πολύ μικρές. Η κλίση της πραγματικής καμπύλης συγκέντρωσης των χλωρίων του νερού της πηγής μειώνεται, δηλαδή το ποσοστό αύξησης της συγκέντρωσης των χλωρίων του νερού της πηγής, μειώνεται κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας (Σχήμα 4.2).



(Πηγή: Μελέτη Α. Μαράμαθα, Ι. Γιαλαμά, Α. Μπουντουβή)

Σχήμα 4.1. Υδροδυναμικό μοντέλο καρστικών πηγών



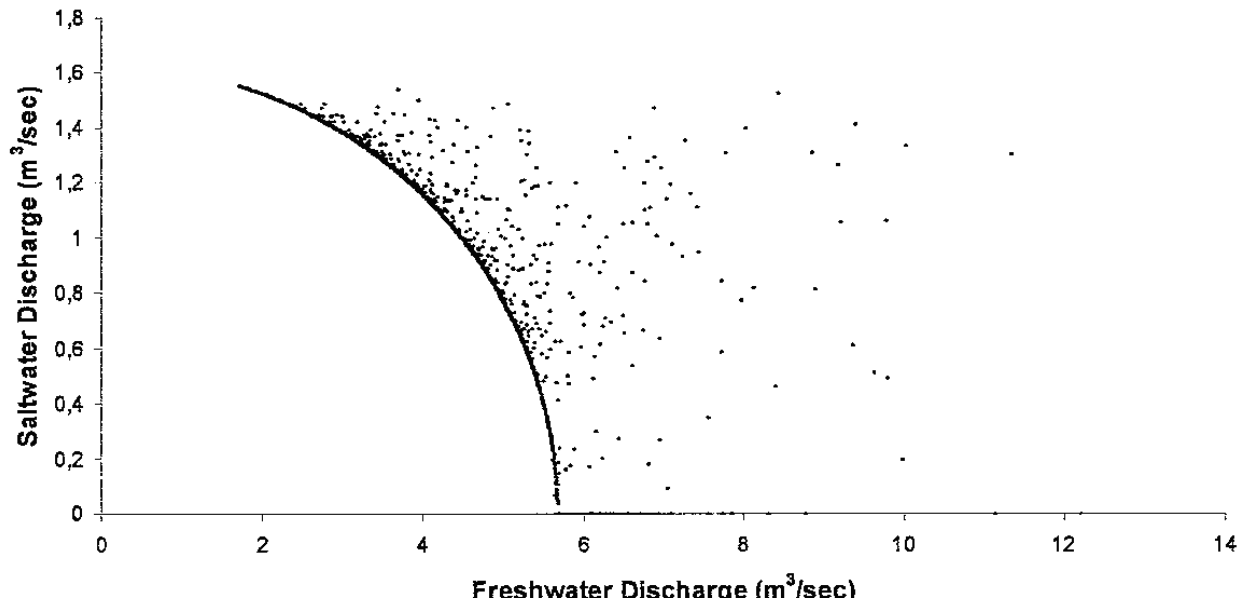
(Πηγή: Μελέτη Α. Μαράμαθα, Ι. Γιαλαμά, Α. Μπουντουβή)

Σχήμα 4.2. Διάγραμμα μεταβολής περιεκτικότητας σε χλώρια και βροχόπτωσης.

Αιτία αυτής της συμπεριφοράς της πηγής είναι η είσοδος του θαλασσινού νερού στο καρστικό σύστημα. Για να γίνει η είσοδος του θαλασσινού νερού, θα πρέπει η πίεση στους αγωγούς του γλυκού νερού να είναι χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί μέσα στους αγωγούς που επικοινωνούν με τη θάλασσα. Σε αυτήν την περίπτωση των περιόδων ξηρασίας όπου η στάθμη του νερού μέσα στο καρστικό σύστημα ελαττώνεται, λόγω έλλειψης βροχοπτώσεων, η ροή του νερού σταματά σε πολλούς από τους αγωγούς του γλυκού νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σταματά και η ροή του αλμυρού νερού που εισέρχεται από τη θάλασσα συναντώντας τους αγωγούς του γλυκού νερού. Συνεπώς το ποσοστό της αύξησης της παροχής του αλμυρού νερού στο σύστημα μειώνεται και αντίστοιχα μειώνεται και το ποσοστό συγκέντρωσης των χλωρίων του νερού της πηγής.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.3) φαίνεται η σχέση μεταξύ της παροχής γλυκού - αλμυρού νερού. Όπως παρατηρείται, η παροχή αλμυρού νερού μειώνεται όταν αυξάνεται η παροχή του γλυκού νερού, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι ο κυρίαρχος μηχανισμός εισόδου

θαλασσινού νερού για την πηγή του Αλμυρού, βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της πυκνότητας αλμυρού και γλυκού νερού.



(Πηγή: Μελέτη Α. Μαράμαθα, Ι. Γιαλαμά, Α. Μπουντουβή)

Σχήμα 4.3. Παροχή αλμυρού νερού σε σχέση με την παροχή γλυκού νερού.

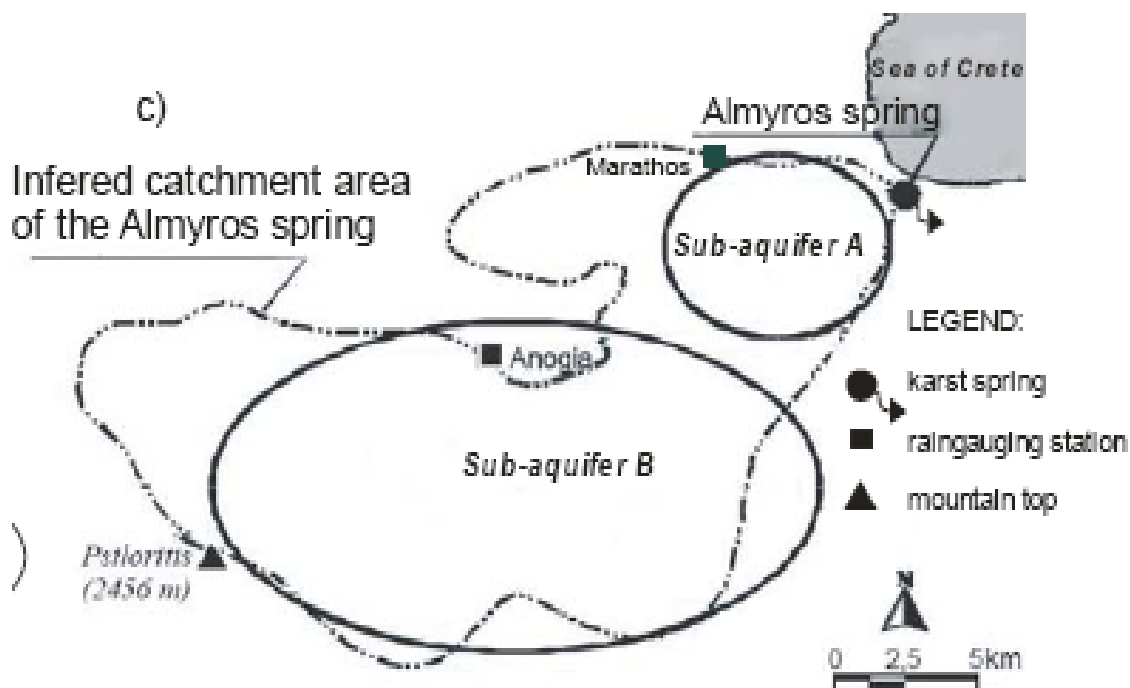
Από την παραπάνω μελέτη που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου MODKARST οι μελετητές κατέληξαν στο παρακάτω συμπέρασμα για την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης της πηγής. Η είσοδος του θαλασσινού νερού θα μπορούσε να αποφευχθεί πραγματοποιώντας άνοδο της στάθμης του νερού της πηγής, με την κατασκευή ενός μικρού φράγματος. Η καλύτερη επιλογή για το ύψος του φράγματος, υπολογίζεται στα 22 m.

4.17. Contribution to hydrological analysis of the coastal karst spring Almyros (Ognjen Bonacci and Ivana Fistanic, Faculty of Civil Engineering & Architecture) - 2005

Η παρουσίαση της μελέτης έχει θέμα «Συμβολή στην υδρογεωλογική ανάλυση της παράκτιας καρστικής πηγής Αλμυρού, Ηρακλείου Κρήτης». Αναδιατυπώνεται η θεωρία του Arfib για την ύπαρξη δύο υποσυστημάτων στην περιοχή του Αλμυρού, τα οποία τροφοδοτούν την

πηγή. Το μικρό υποσύστημα A, βρίσκεται σε απόσταση 5 km από την πηγή και διατηρεί θερμοκρασία (20 °C) του υπόγειου νερού μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού της πηγής (16°C). Σε αυτό το υποσύστημα δεν παρουσιάζονται εποχικές εναλλαγές της περιεκτικότητας των χλωρίων σε αντίθεση με το νερό που αναβλύζει από την πηγή. Σύμφωνα με τους μελετητές, τα διαφορετικά αυτά χαρακτηριστικά υποδηλώνουν ότι το υποσύστημα A δεν επικοινωνεί άμεσα με μεγάλους καρστικούς αγωγούς με την πηγή. Το δεύτερο υποσύστημα διατηρεί χαμηλή θερμοκρασία (16°C), η οποία οφείλεται στο λιώσιμο του χιονιού και τις βροχοπτώσεις στα υψηλότερα σημεία, το ύψος των οποίων φτάνει τα 2.456 m. Η χαμηλή και συνεχής θερμοκρασία των 16°C η οποία μετρήθηκε στην πηγή του Αλμυρού κατά την ξηρή περίοδο, όπου η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κυμαίνεται στους 30°C υποδηλώνει ότι η πηγή τροφοδοτείται κυρίως από το υποσύστημα B που θεωρείται και το κύριο σύστημα τροφοδότησης. Από αυτό το υποσύστημα το νερό ρέει κυρίως μέσω ενός ή περισσότερων βαθιών καρστικών αγωγών με τυρβώδη ροή.

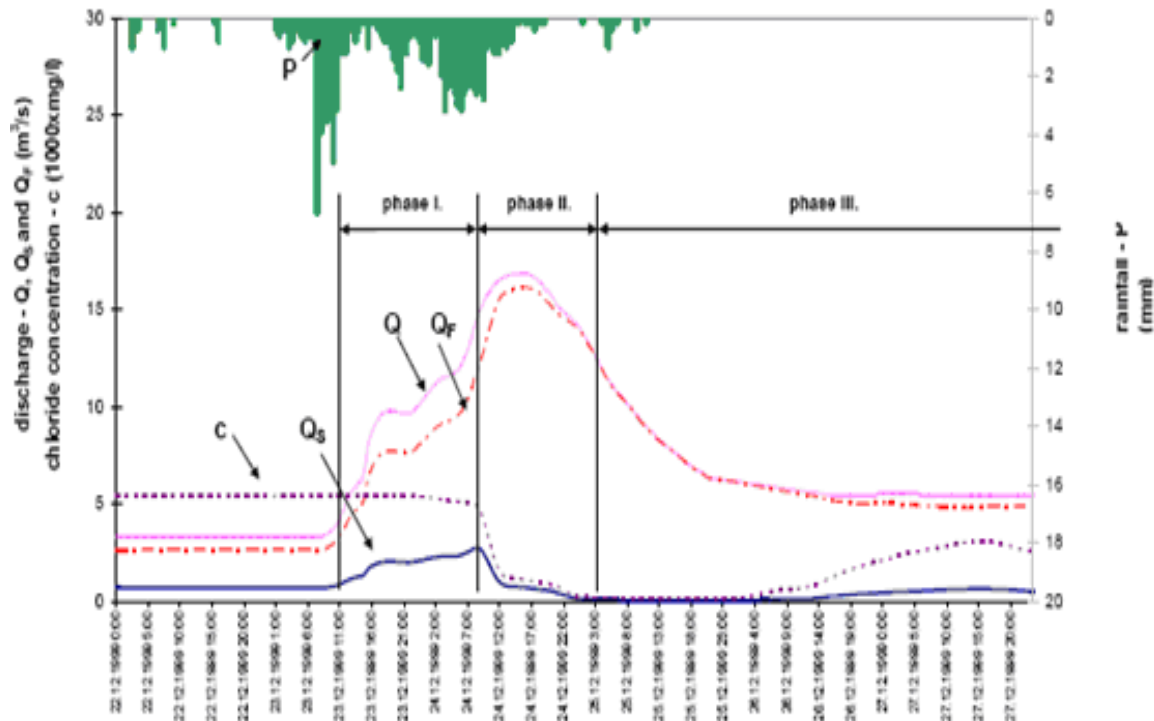
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.4) φαίνονται τα δύο υποσυστήματα στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού.



Σχήμα 4.4. Υποσυστήματα περιοχής Αλμυρού

Η μέση ετήσια βροχόπτωση που υπολογίστηκε κυμαίνεται στα 1.370 mm , ενώ σε υψόμετρο 100 m αυξάνεται κατά 73 mm. Αντίστοιχα η μέση ετήσια θερμοκρασία υπολογίστηκε στους 13,7 °C και σε υψόμετρο 100 m αυξάνεται κατά 0,51 °C. Η κατείσδυση του νερού κυμαίνεται από 3,5 m³/s ως 80 m³/s. Αναγνωρίζεται από τους μελετητές ότι η πηγή του Αλμυρού ανήκει στις πηγές με περιορισμένη ικανότητα εκροής.

Τέλος, στη μελέτη γίνεται επεξήγηση της συμπεριφοράς των χλωρίων μέσω του διαχωρισμού της σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση ξεκινά λίγο μετά την αρχή της βροχόπτωσης όπου η κατείσδυση γλυκού και αλμυρού νερού αυξάνεται αλλά η αναλογία τους παραμένει σταθερή και συνεπώς και η περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια. Η δεύτερη φάση χαρακτηρίζεται από μείωση της περιεκτικότητας του νερού σε χλώρια ως αποτέλεσμα της μειωμένης εισόδου του θαλασσινού νερού. Η τρίτη φάση ξεκινά με σταθερή περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια και συνεχίζει με αυξημένη περιεκτικότητα σε χλώρια ως αποτέλεσμα της εισόδου θαλασσινού νερού. Ακόμη αυτή η φάση είναι και η μεγαλύτερη σε διάρκεια. Η λειτουργική σχέση μεταξύ κατείσδυσης – βροχοπτώσεων είναι εμφανής και είναι κυρίως γραμμική για κάθε φάση.



(Πηγή: Μελέτη των Ognjen Bonacci, Ivana Fistanic)

Σχήμα 4.5 Φάσεις συμπεριφοράς των χλωρίων σε σχέση με την βροχόπτωση και την παροχή αλμυρού – γλυκού νερού

4.18. Coastal karst springs in the Mediterranean basin: Study of the mechanisms of saline pollution at the Almyros spring, Crete (Bruno Arfib, Ghislain de Marsily και Γκανούλη) - 2006

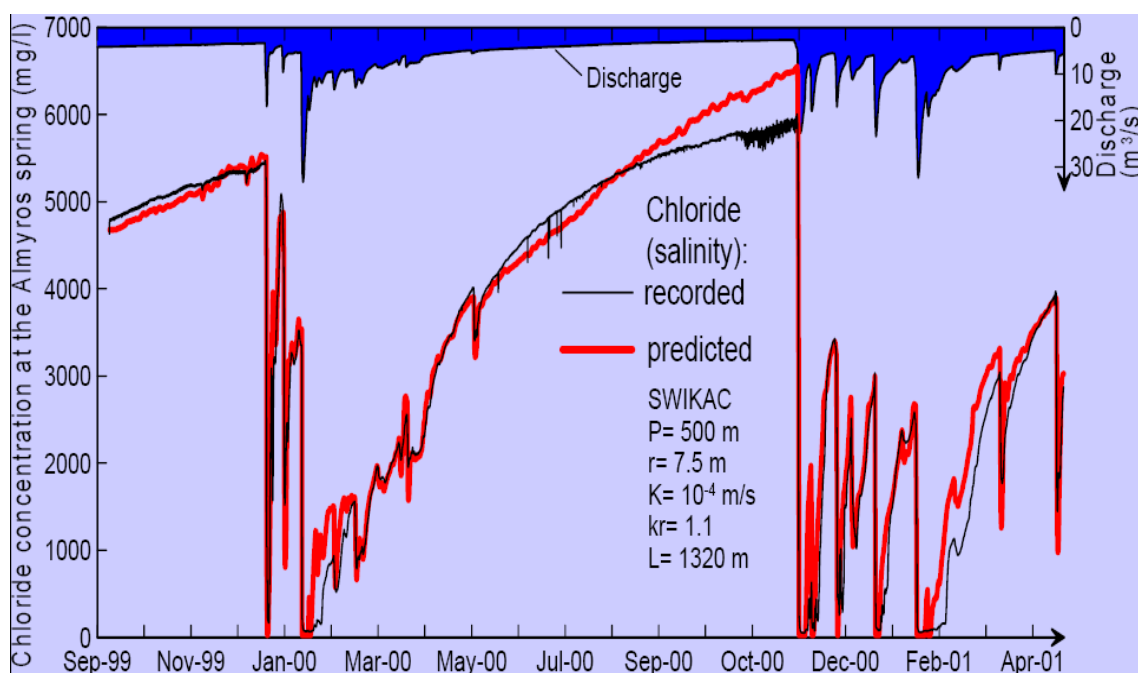
Καταγράφηκαν από τους μελετητές οι μεταβολές στις τιμές της περιεκτικότητας σε χλώρια και του ποσοστού ροής στην υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου (Σχήμα 4.6).

Από τις μετρήσεις επισημαίνεται η μικρή καθυστέρηση που υπάρχει μεταξύ της αύξησης της παροχής νερού μετά από ένα επεισόδιο βροχής και της μείωσης της περιεκτικότητας του νερού σε χλώρια. Αυτό το γεγονός, σε συμφωνία με τον όγκο της παροχής νερού, υποδεικνύει στους μελετητές ότι η είσοδος του θαλασσινού νερού εμφανίζεται σε ένα κομμάτι του αγωγού που τοποθετείται κάποια χιλιόμετρα μακριά από την πηγή, πιθανώς εσωτερικό, χωρίς να υπάρχει άμεση επαφή με τη στοά που οδηγεί στην πηγή. Απ' την άλλη, το γλυκό νερό που τροφοδοτεί την πηγή του Αλμυρού προέρχεται από τον Ψηλορείτη μέσω ενός κύριου καρστικού αγωγού που κατεβαίνει βαθιά στο υδροφόρο στρώμα. Εν συνεχεία το γλυκό νερό διασχίζει μια ζώνη, στην οποία εισβάλλει φυσικά το θαλασσινό νερό μερικά χιλιόμετρα από το σημείο της πηγής. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στον αγωγό, με αποτέλεσμα το νερό να γίνει υφάλμυρο και ρέει από την πηγή χωρίς καμία περαιτέρω αλλαγή στην περιεκτικότητά του σε χλώρια.

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την υφαλμύριση του καρστικού αγωγού του Αλμυρού ονομάζεται SWIKAC, γραμμένο στην Matlab, από τα αρχικά των λέξεων Salt Water Intrusion in Karst Conduits το οποίο σημαίνει Είσοδος Αλμυρού Νερού σε Καρστικούς Αγωγούς. Η χρήση του μοντέλου προορίζεται για να προσομοιώσει τη συγκέντρωση χλωρίων στην πηγή για δοσμένη υδραυλική διαπερατότητα (K), βάθος (P) και διάμετρο αγωγού (D) ενώ μεταβάλλεται η τιμή του μήκους του (L) και η τιμή της σχετικής του τραχύτητας (kr). Στο μοντέλο δεν υπολογίζεται η παροχή του νερού της πηγής αλλά μόνο οι μεταβολές της περιεκτικότητάς του σε χλώρια.

Οι μετρήσεις που μελετήθηκαν αφορούν την περίοδο από το Σεπτέμβριο του 1999 ως το Μάιο του 2001. Το βάθος των οριζόντιων αγωγών που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη φτάνει τα 800 m και οι διάμετροί τους κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 m. Για βάθος 500 m και διάμετρο αγωγών 15 m υπολογίστηκε η υδραυλική αγωγιμότητα στα 10^{-4} m/s . Ακόμη το μήκος της εισόδου του θαλασσινού νερού υπολογίστηκε στα 1.320 m, σε απόσταση 4.350 m από την πηγή με μία τιμή σχετικής τραχύτητας στο 1,1.

Τέλος οι μελετητές προτείνουν, για να διαχειριστεί σωστά το νερό της περιοχής θα πρέπει να γίνει αλλαγή στην παρούσα λειτουργία των φρεάτων έτσι ώστε να περιοριστεί η υπαλμύριση στα ανώτερα υδροφόρα στρώματα. Πιστεύουν ότι είναι πιθανό να μπορέσει να πραγματοποιηθεί εκμετάλλευση του νερού της πηγής του Αλμυρού εάν ανυψωθεί το επίπεδο της στάθμης του. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να μειωθεί η περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια σχεδόν τελείως κατά τη διάρκεια όλων των εποχών.



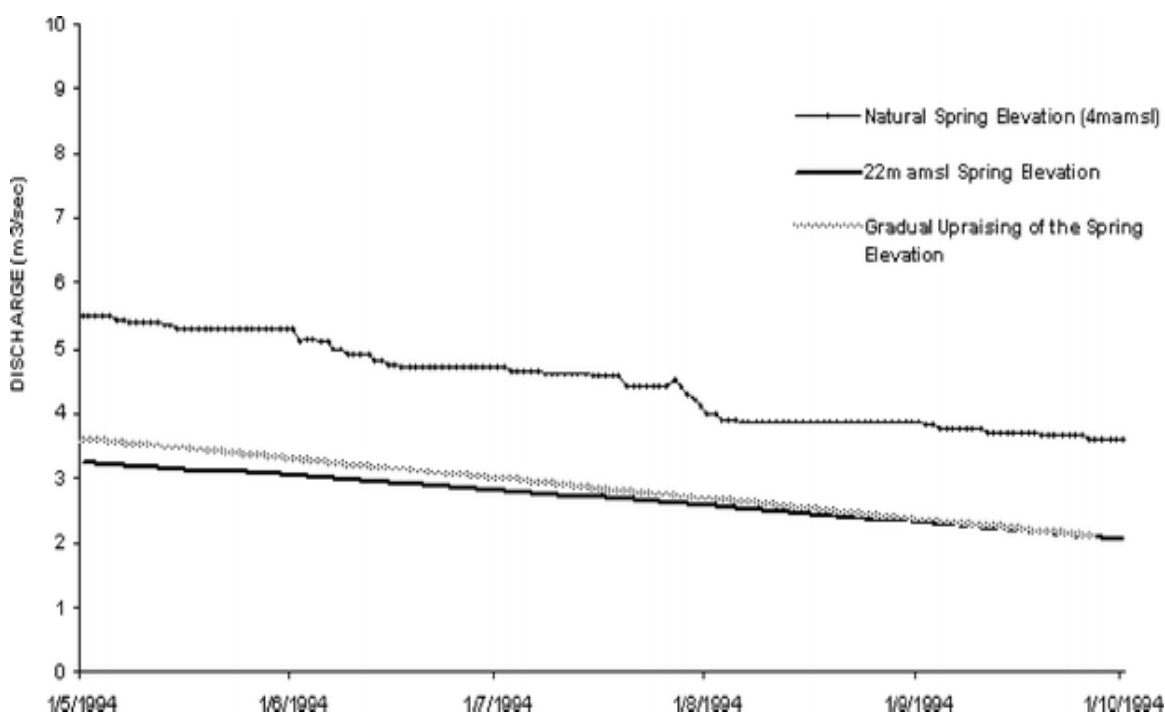
(Πηγή: Μελέτη των Bruno Arfib, Ghislain de Marsily και Γκανούλη)

Σχήμα 4.6. Διάγραμμα μεταβολής της περιεκτικότητας σε χλώρια με την παροχή του νερού για την πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου με χρήση του μαθηματικού μοντέλου SWIKAC.

4.19. A new approach for the development and management of brackish karst springs (Μαράμαθας) - 2004

Οι μελετητές έχοντας εφαρμόσει το μαθηματικό μοντέλο MODKARST για την πηγή του Αλμυρού με μετρήσεις που είχαν καταγραφεί το 2004 εφαρμόζουν μία νέα προσέγγιση για την ανάπτυξη και διαχείριση της υφάλμυρης πηγής.

Καταρχάς υποστηρίζει ότι με την ανύψωση φράγματος στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού θα μπορέσει να αντιμετωπισθεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης. Συγκεκριμένα όμως πιστεύει ότι υπάρχουν δύο σενάρια με τα οποία θα μπορούσε να επιτευχθεί αυτό. Το πρώτο σενάριο αφορά την τεχνητή ανύψωση της στάθμης του νερού σε υψόμετρο 22 m έτσι ώστε να αποτραπεί τελείως η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Το δεύτερο σενάριο αφορά τη σταδιακή τεχνητή ανύψωση της στάθμης του νερού για να αποφευχθεί η διείσδυση του θαλασσινού νερού αλλά και να μειωθούν οι απώλειες του γλυκού νερού που προκύπτουν. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.7.) παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές της παροχής νερού ως αποτέλεσμα α) της φυσικής ανύψωσης της στάθμης του νερού της πηγής (4m), β) της τεχνητής ανύψωσης με φράγμα στα 22 m και γ) της τεχνητής σταδιακής ανύψωσης της στάθμης.



Πηγή: Μελέτη του Α. Μαράμαθα

Σχήμα 4.7. Διάγραμμα τιμών παροχής νερού.

Από το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι οι απώλειες του γλυκού νερού που οφείλονται στην ανύψωση της στάθμης του νερού είναι σημαντικά λιγότερες με την εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου, δηλαδή της τεχνητά σταδιακής ανύψωσης του φράγματος. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται οι απώλειες του γλυκού νερού και για τα δύο σενάρια αλλά και η διαφορά τους.

Πίνακας 4.8 Απώλειες του γλυκού νερού κατά το έτος 1994 (Μαράμαθας)

Απώλειες γλυκού νερού κατά την τεχνητή ανύψωση του φράγματος στα 22 m.	Απώλειες γλυκού νερού κατά την τεχνητή σταδιακή ανύψωση του φράγματος	Διαφορά των απωλειών γλυκού νερού των 2 περιπτώσεων,
20,204,734 m ³	17,235,438 m ³	2,969,295 m ³

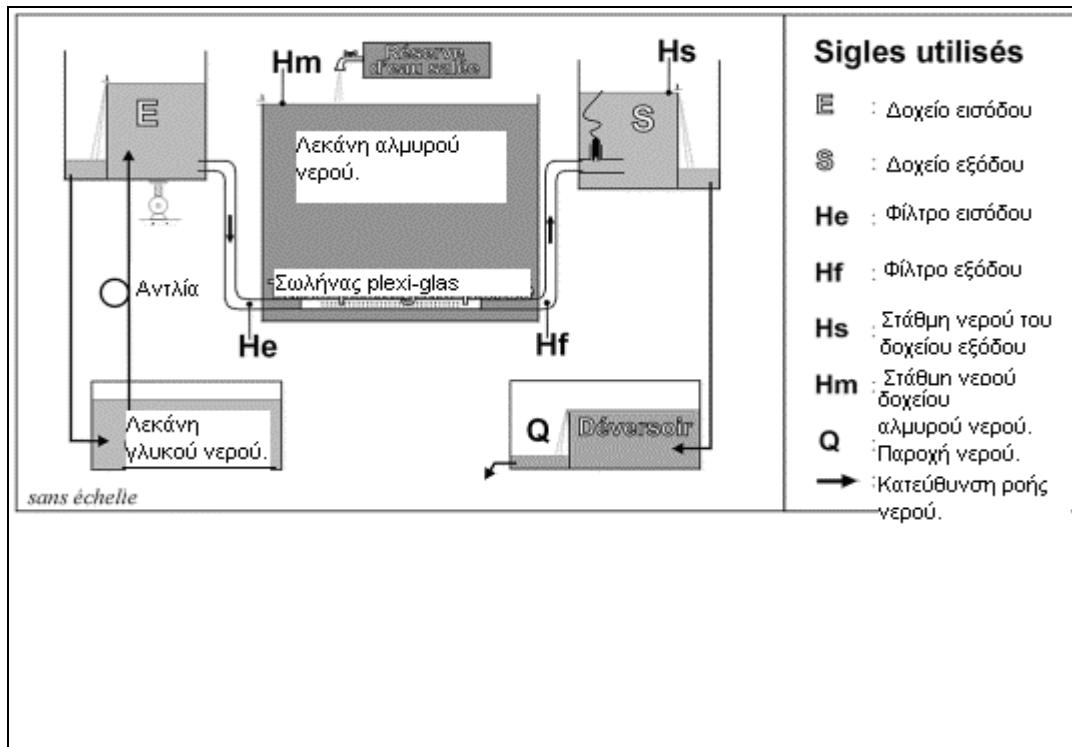
Ο μελετητής προτείνει την κατασκευή μικρού φράγματος στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού για την ανύψωση της στάθμης του νερού σε υψόμετρο τουλάχιστον 22 m. Ένα δίκτυο βροχομετρικών σταθμών πρέπει να εγκατασταθεί στα πιο αντιπροσωπευτικά σημεία στην περιοχή επαναφορτίσεων. Τα στοιχεία των βροχοπτώσεων μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν ως εισαγωγή στο μοντέλο προσομοίωσης της πηγής, βασισμένο στο πρότυπο MODKARST. Το μοντέλο θα υπολογίζει τη στάθμη ύδατος πίσω από το φράγμα, λειτουργία απαραίτητα για να εξασφαλιστεί ότι η ποιότητα του νερού της πηγής θα έχει την επιθυμητή ποιότητα. Ακόμη προτείνεται η τοποθέτηση ηλεκτρονικού καταγραφέα στο χαμηλότερο σημείο του φράγματος έτσι ώστε να παραμείνει το νερό πίσω από το φράγμα σε επιθυμητό επίπεδο στάθμης.

4.20. Έρευνα των Bruno Arfib και I. Γκανούλη - 2004

Η έρευνα βασίζεται σε μια σειρά από πειράματα (Σχήμα 4.9). Κάθε πείραμα συνίσταται στην παραγωγή ροής γλυκού νερού μέσω ενός αγωγού από plexiglas με τρύπες, με συνδεδεμένους σωλήνες στα δύο άκρα του αγωγού (είσοδος - έξοδος). Ακόμη στο πάνω μέρος του σωλήνα υπάρχει συνδεδεμένος σταθερά ένας σωλήνας από τον οποίο παρέχεται θαλασσινό νερό, ίδιας πυκνότητας με αυτό της θάλασσας του κόλπου του Ηρακλείου.

Το «φυσικό» μοντέλο αποτελείται από δύο δεξαμενές με έναν κυκλικό πλαστικό αγωγό μήκους 395 cm που διασχίζει μια δεξαμενή γεμάτη με θαλασσινό νερό (250 l). Ο αγωγός διαθέτει ένα διαφανές σωλήνα από Plexiglas 1 m με τρύπες διαμέτρου 3 mm μέσω των οποίων γίνονται ανταλλαγές μεταξύ του γλυκού νερού του αγωγού και του θαλασσινού της δεξαμενής. Σε κάποιες περιπτώσεις αγωγός περιβάλλεται από άμμο.

Οι μετρούμενες παράμετροι είναι : α)η περιεκτικότητα σε χλώρια του νερού κατά την έξοδο του από το μοντέλο, β)το τελικό ποσοστό παροχής νερού κατά την έξοδό του από το μοντέλο, γ)η ισοδύναμη στήλη νερού του γλυκού νερού κατά την είσοδο και την έξοδο από το σωλήνα από Plexiglas και δ)η ισοδύναμη στήλη γλυκού νερού και αλμυρού της δεξαμενής πάνω από το σωλήνα.



Σχήμα 4.9. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε κατά τα πειράματα των Arfib και Γκανούλη (2004).

Οι ανταλλαγές γλυκού-θαλασσινού νερού πραγματοποιούνται μέσω των τρυπών του σωλήνα από Plexiglas. Μελετώνται δύο περιπτώσεις: α) ο σωλήνας από Plexiglas είναι τοποθετημένος μέσα στη δεξαμενή του θαλασσινού νερού. Σε αυτή την περίπτωση η κατεύθυνση ροής είναι ορατή καθώς και οι διαδικασίες μίξης, β) ο σωλήνας από Plexiglas περιβάλλεται από ένα ετερογενές στρώμα άμμου μέσα στη δεξαμενή θαλασσινού νερού για να γίνει προσομοίωση με έναν καρστικό αγωγό που διασχίζει ένα ισοδύναμο πορώδες μέσο.

Η υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού έχει την ιδιαιτερότητα ότι βρίσκεται σε υψόμετρο 3 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Το «φυσικό» μοντέλο προσομοιάζει αυτή την ιδιαίτερη περίπτωση, με μια στάθμη νερού κατά την έξοδο του από τον πορώδη αγωγό, που μετريέται από το Hf στο τέλος του σωλήνα από Plexiglas και πάνω από το επίπεδο της δεξαμενής θαλασσινού νερού, που μετρίεται από το Hm. Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων γίνεται αύξηση της παροχής νερού από την είσοδο του αγωγού, προσομοιάζοντας ένα επεισόδιο βροχής και μια πλημμύρα στο καρστικό σύστημα. Με αυτή τη μέθοδο πέτυχαν οι μελετητές να δείξουν ότι η είσοδος θαλασσινού νερού στον αγωγό μειώνεται με το χρόνο.

Με τα πειράματα έγινε η παρουσίαση της εισόδου θαλασσινού νερού σε έναν καρστικό αγωγό που διασχίζει ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα. Οι μελετητές επιβεβαίωσαν για την πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου ότι με την αύξηση της παροχής νερού επιτυγχάνεται μείωση της υφαλμύρισης του καρστικού αγωγού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΗΓΗΣ

Η πηγή είναι η έξοδος ενός μέρους των υδάτων που διηθούνται μέσα στους μεγάλους ασβεστολιθικούς όγκους που βρίσκονται μεταξύ της λεκάνης του Ηρακλείου στα ανατολικά, της πεδιάδας της Μεσσαράς στα νότια και της πεδιάδας του Ρεθύμνου στα δυτικά.

5.1 Τα όρια της λεκάνης τροφοδότησης:

Στα ανατολικά:

Ως όριο της λεκάνης τροφοδότησης, εμφανίζεται το ρήγμα που χωρίζει τη νεογενή λεκάνη του Ηρακλείου από τους ασβεστολιθικούς όγκους που βρίσκονται στα δυτικά. Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση B – N, συχνά παριστάνεται ως κανονικό ρήγμα του νεογενούς με ύψος άλματος μεταπτώσεως πολλών εκατοντάδων μέτρων. Μια πιο πολύ λεπτομερής ανάλυση όμως δείχνει ότι πρόκειται για περίπλοκο φαινόμενο με ρήγματα εναλλασσόμενα που κατανέμονται σε μια τεκτονική λωρίδα με πλάτος μεγαλύτερο του χιλιομέτρου.

Οι παραμορφώσεις των πληρώσεων της λεκάνης του Ηρακλείου (ειδικότερα στην επαφή με τους ασβεστόλιθους) αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα με την ιζηματογένεση. Οι γεωλογικές διαταράξεις με διεύθυνση B – N στο εσωτερικό της λεκάνης δείχνουν ότι το ασβεστολιθικό υπόβαθρο κάτω από το έδαφος είναι και αυτό ρηγματωμένο από διατάραξη συγκρίσιμη με εκείνο της ανατολικής παρυφής της.

Στα νότια:

Ως όριο της λεκάνης απορροής μπορεί να θεωρηθεί ο υδροκρίτης μεταξύ νότιας και βόρειας κλιτύς του όρους Ίδη.

Λόγω της βύθισης των σειρών των πετρωμάτων προς νότο, ένα μέρος των υδάτων πρέπει να τροφοδοτεί τις πηγές του νότου. Η θέση του νοτίου ορίου παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω του μεγέθους των βροχοπτώσεων που πέφτουν σε αυτές τις ζώνες μεγάλου υψομέτρου. Επίσης, η χιονοκάλυψη του χειμώνα και της άνοιξης, οι πληρωμένες με χιόνι κοιλάτητες και οι παγετώνες, εξασφαλίζουν σύμφωνα με τις ενδείξεις μια ρύθμιση της τροφοδότησης του υδροφορέα, καθώς και μια ενίσχυση του στις περιόδους χαμηλών υδάτων. Για υδρολογικούς λόγους, είναι βέβαιο ότι ένα σημαντικό μέρος των υψηλών ζωνών τροφοδοτεί τον Αλμυρό. Αντίθετα, στις ζώνες που

βρίσκονται στα όρια της λεκάνης απορροής, πρακτικώς δεν υπάρχει πραγματικός συνεχής υδροφορέας.

Στα δυτικά:

Το όριο της λεκάνης τροφοδότησης δεν είναι καθορισμένο. Οι ασβεστολιθικοί όγκοι βυθίζονται ομαλά προς την πεδιάδα του Ρεθύμνου και ένα μέρος των υδάτων διηθείται και διοχετεύεται προς τα δυτικά και ίσως προς τα βόρεια.

Βάσει των γεωλογικών και μορφολογικών ενδείξεων, είναι πάντως δυνατό να χαραχθεί μια γραμμή B – N, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο όριο της λεκάνης τροφοδότησης προς τα δυτικά. Αυτή η γραμμή οδεύει από το χωριό Δαμάστα ως την πόλη Νίδας περνώντας από τα Ανώγεια.

Στα βόρεια:

Οι ασβεστολιθικοί όγκοι σταματούν πάνω στους φυλλίτες με τεκτονική επαφή που μπορεί θεωρητικώς να ληφθεί ως το βόρειο όριο της λεκάνης τροφοδότησης.

Στην πράξη, το μόνο δυνατό είναι να ορίσουμε και να εντοπίσουμε με βεβαιότητα μια ζώνη τροφοδότησης των 250 km². Αυτή είναι πιθανώς ανεπαρκής. Υπάρχουν λοιπόν επιφάνειες που δεν μπορούν παρά να βρίσκονται στα δυτικά ή στα βόρεια της ελάχιστης ζώνης (250 km²) και οι οποίες τροφοδοτούν επίσης τον υδροφορέα Αλμυρού.

5.2. Στοιχεία υδρογεωλογίας

Ένας γεωλογικός σχηματισμός που παρουσιάζει μέτρια έως υψηλή περατότητα και συγχρόνως περιέχει νερό που κυκλοφορεί ελεύθερα ή αποθηκεύεται μέσα στους σχηματισμούς αυτούς, χαρακτηρίζεται ως υδροφόρος. Το κορεσμένο σε νερό τμήμα του πετρώματος ονομάζεται υδροφόρο στρώμα, ενώ η επιφάνεια της κορεσμένης ζώνης ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας. Η περιοχή του Αλμυρού αποτελείται από ένα υδρογεωλογικό σύστημα, δηλαδή μια κλειστή υπόγεια υδρολογική λεκάνη, η οποία αποτελείται από μία ζώνη τροφοδοσίας, μία ζώνη κυκλοφορίας και αποθήκευσης και μία ζώνη εξόδου.

5.3. Τροφοδοσία της πηγής Αλμυρού

Η πηγή του Αλμυρού τροφοδοτείται με υπόγειο νερό που προέρχεται:

A) Από την εκφόρτιση ενός τεράστιου συστήματος κορεσμένων καρστικών υδροφόρων συστημάτων με σημαντικά «δυναμικά» και «μόνιμα» αποθέματα στην κορεσμένη ζώνη. Η μεταβολή της παροχής του συστήματος προς την πηγή κατά την ξηρή περίοδο είναι μικρή, 5,8 έως 3,2 m³/s. Το υπόγειο νερό πριν την έξοδό του από την πηγή αναμιγνύεται με θαλάσσιο νερό και εξέρχεται υφάλμυρο. Το θαλάσσιο νερό ενδεχόμενα να εισέρχεται από διόδους που εντοπίστηκαν στον Κόλπο του Μπαλίου και λειτουργούν αμφίδρομα.

B) Από ομάδα «επικαρστικών συστημάτων». Αυτά μπορεί να είναι συστήματα καρστικών αγωγών στη μη κορεσμένη ζώνη ή συστήματα επικαρστικών υδροφόρων στρωμάτων, μεμονωμένων εποχιακών που αποστραγγίζουν και αποχετεύουν το νερό τους κατ' ευθείαν στην πλησίον και ανάντη της πηγής υδροφόρο ζώνη. Ενδεχόμενα σε μερικά τέτοια υδροφόρα στρώματα, κατά την ξηρή κυρίως περίοδο, να διακόπτεται η αποστράγγιση νερών των προς την πηγή, αλλά όμως να παραμένουν εγκλωβισμένες ποσότητες νερού μέσα σε στεγανές υδρογεωλογικές δομές. Τα επικαρστικά αυτά συστήματα τροφοδοτούν την πηγή μόνο με γλυκό νερό.

5.4. Παροχές της πηγής Αλμυρού

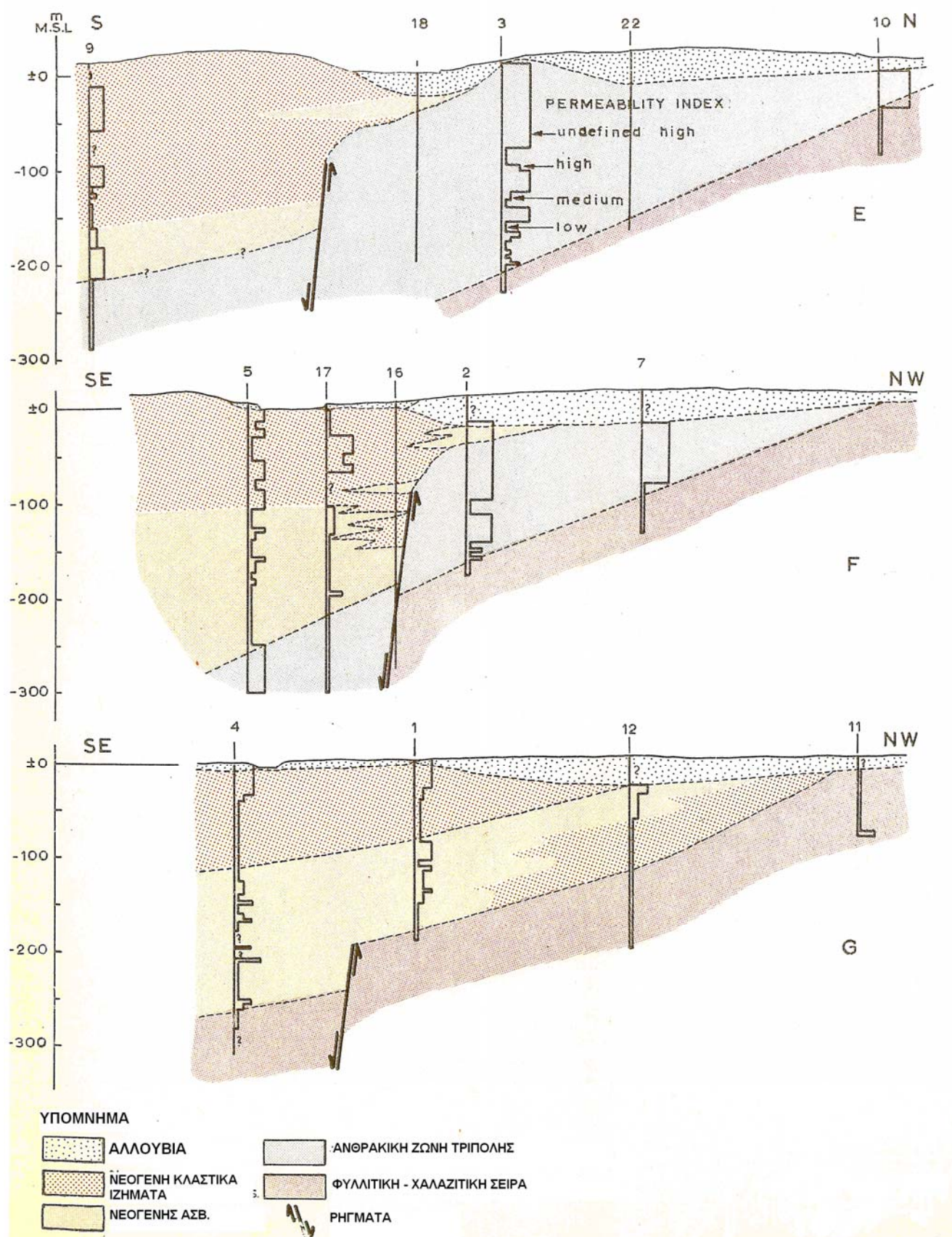
Κατά τους χειμερινούς μήνες, η παροχή της πηγής του Αλμυρού παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Η ελάχιστη παροχή είναι της τάξης των 7-8 m³/s ενώ η μέγιστη, σε περίοδο μεγάλων βροχοπτώσεων, φτάνει τα 40-50 m³/s. Ένα φαινόμενο που παρατηρείται στην πηγή κατά την περίοδο των υψηλών παροχών, είναι οι μεγάλες ποσότητες αργιλικού υλικού που βγαίνουν μαζί με το νερό. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει σημαντική διάρκεια και ένταση και οφείλεται σε καταβόθρες οι οποίες απορροφούν το χειμώνα επιφανειακά υλικά πλούσια σε φερτά υλικά. Περιοχές με πιθανές καταβόθρες ανάντι της πηγής του Αλμυρού ήταν η πόλγη του Χώνου, το φαράγγι Γωνιών –Τυλίσσου και το φαράγγι των Λινοπεραμάτων βόρεια από τον Αλμυρό.

Οι θερινές παροχές σε υφάλμυρο νερό είναι της τάξης των 5-6 m³/s τον Ιούνιο και 3,5-4 m³/s τον Οκτώβριο. Η συμμετοχή της θάλασσας στην παροχή, την ίδια εποχή, είναι αντίστοιχα 0,6 και 0,8 m³/s. Συνεπώς η παροχή σε γλυκό νερό είναι 4,4-5,4 m³/s τον Ιούνιο και 2,7-3,2 m³/s τον Οκτώβριο.

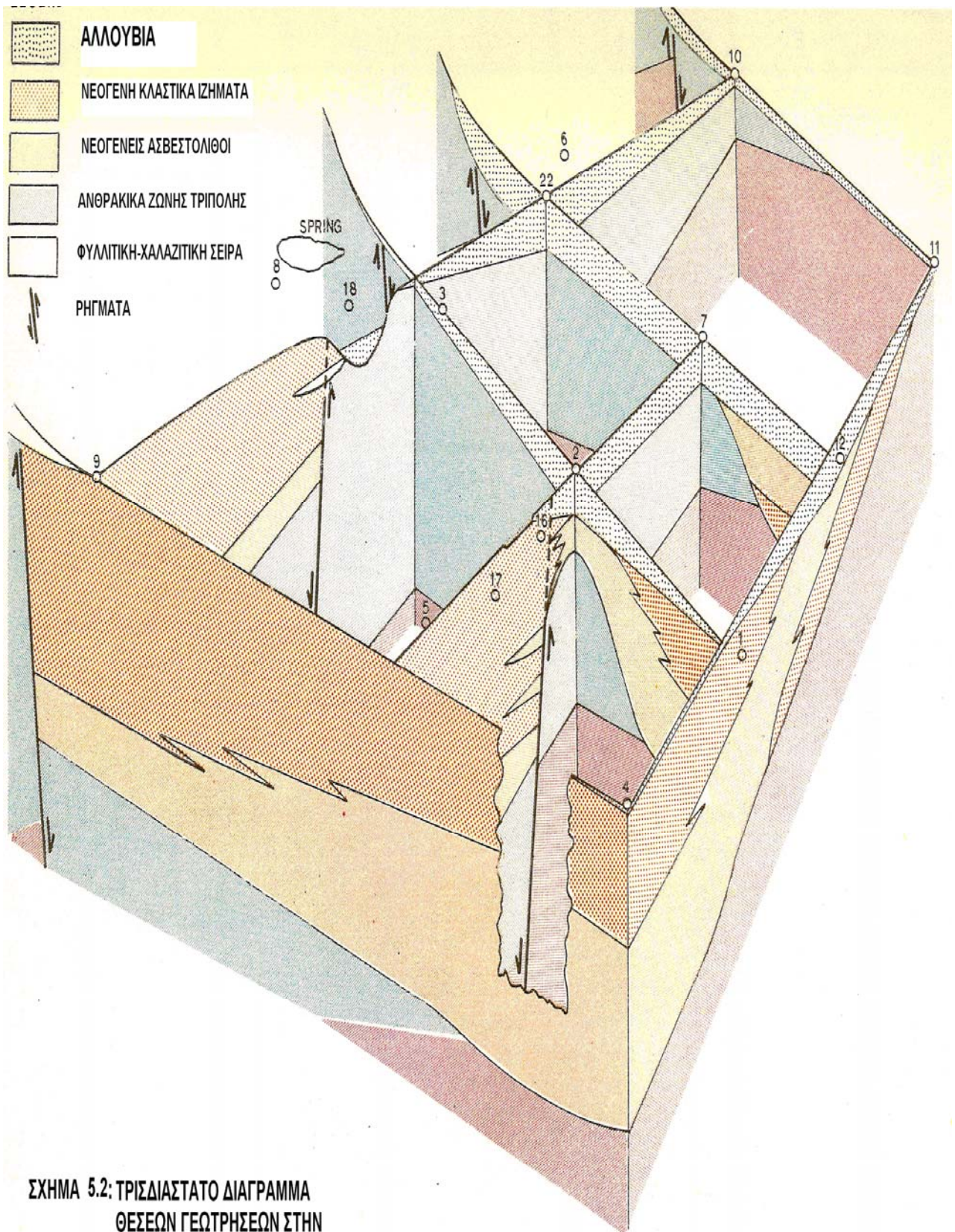
Συνολικά, η μέση ετήσια παροχή σε υφάλμυρο νερό είναι 4,5-5,5 m³/s οπότε η μέση ετήσια παροχή σε γλυκό νερό είναι 4 m³/s περίπου.

Στην ευρύτερη περιοχή της πηγής έχουν ανορυχθεί γεωτρήσεις (περιοχή Τυλίσσου και Κέρης). Οι γεωλογικές τομές των γεωτρήσεων δείχνονται στα Σχήματα 5.1 και 5.2.

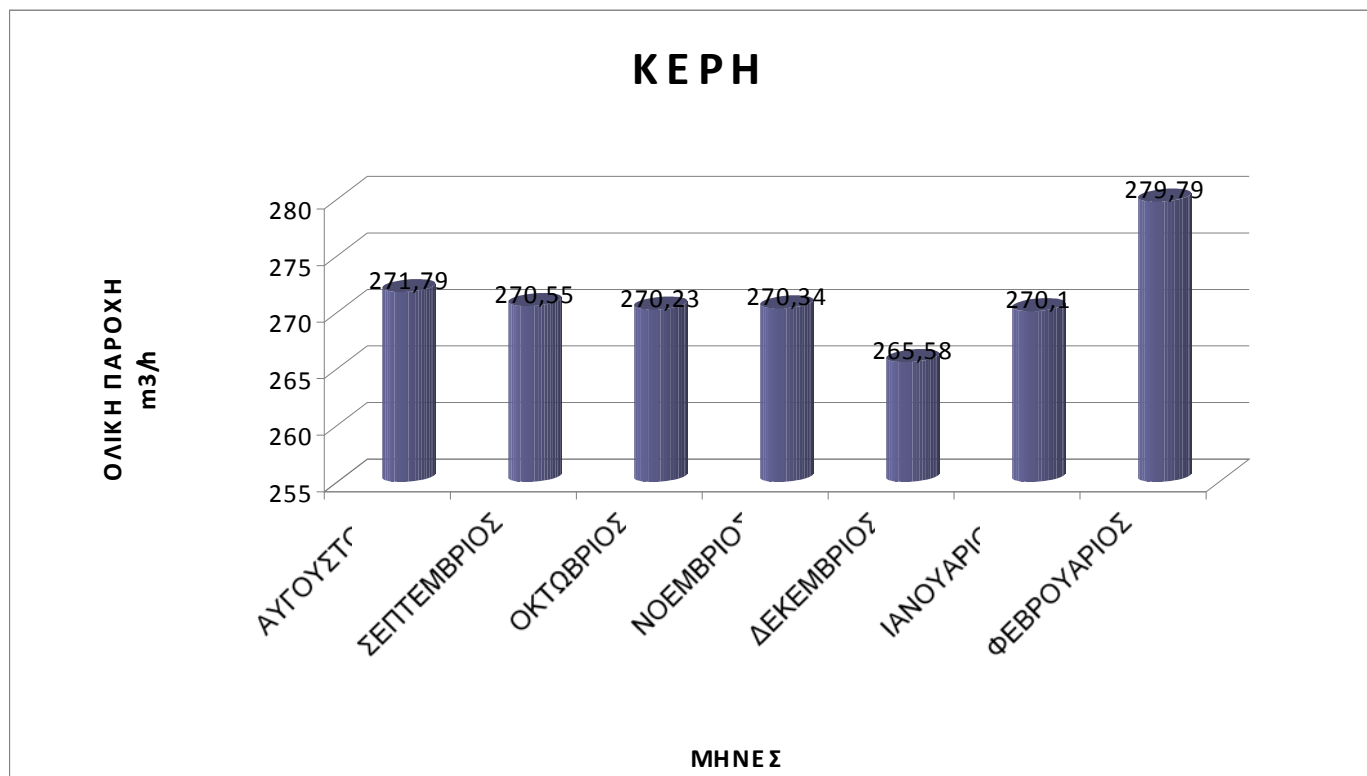
Η ολική ετήσια παροχή των γεωτρήσεων της Κέρης κατά το έτος 2005 ανέρχεται σε 1,37 x 10⁶ m³, ενώ της Τυλίσσου σε 1,83 x 10⁶. Αντίστοιχα, κατά το έτος 2006 η ολική ετήσια παροχή των γεωτρήσεων της Κέρης ανέρχεται σε 1,51 x 10⁶ m³, ενώ της Τυλίσσου σε 2,07 x 10⁶. (Σχήματα 5.3, 5.4, 5.5 και 5.6)



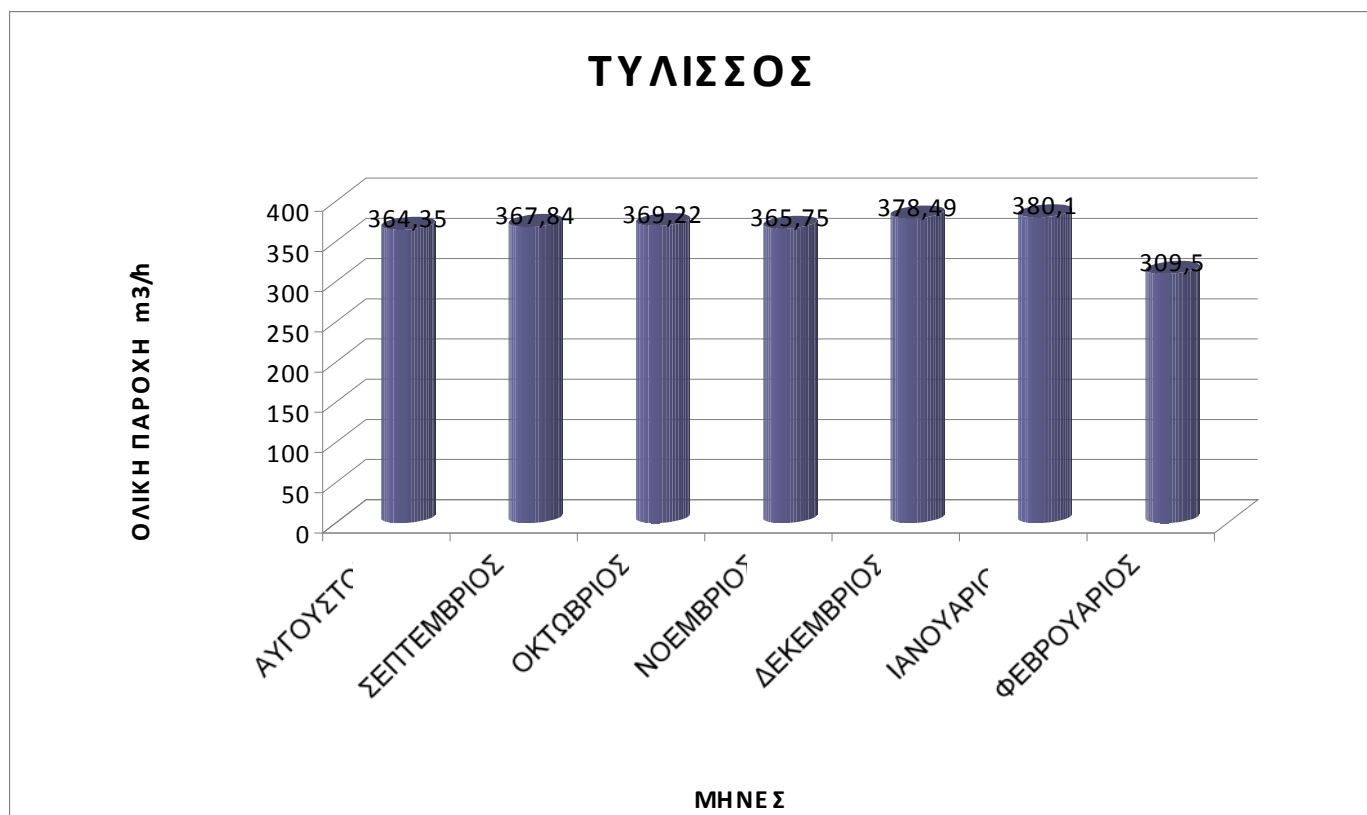
Σχήμα 5.1: Λιθολογικές τομές της ευρύτερης περιοχής της πηγής Αλμυρού.



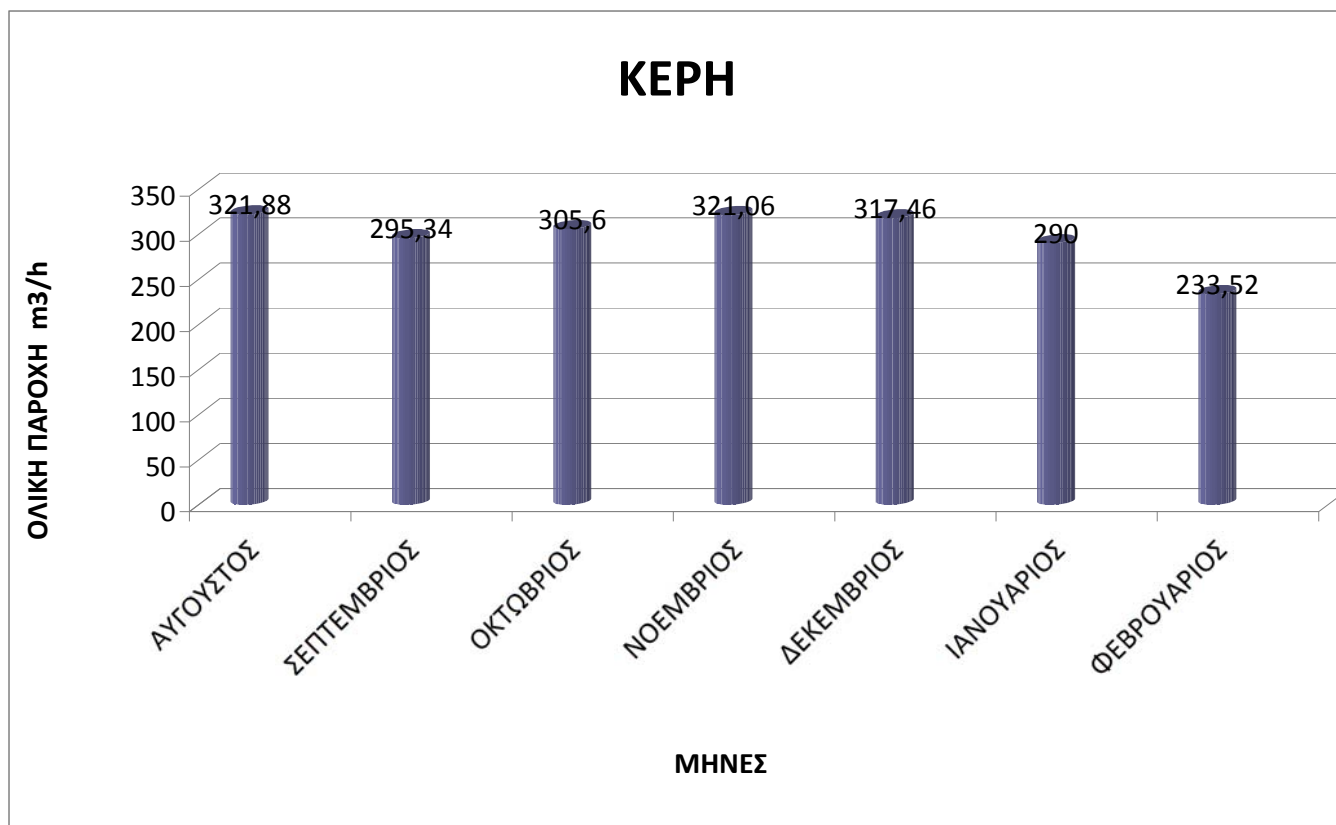
**ΣΧΗΜΑ 5.2: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ
ΘΕΣΕΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ**



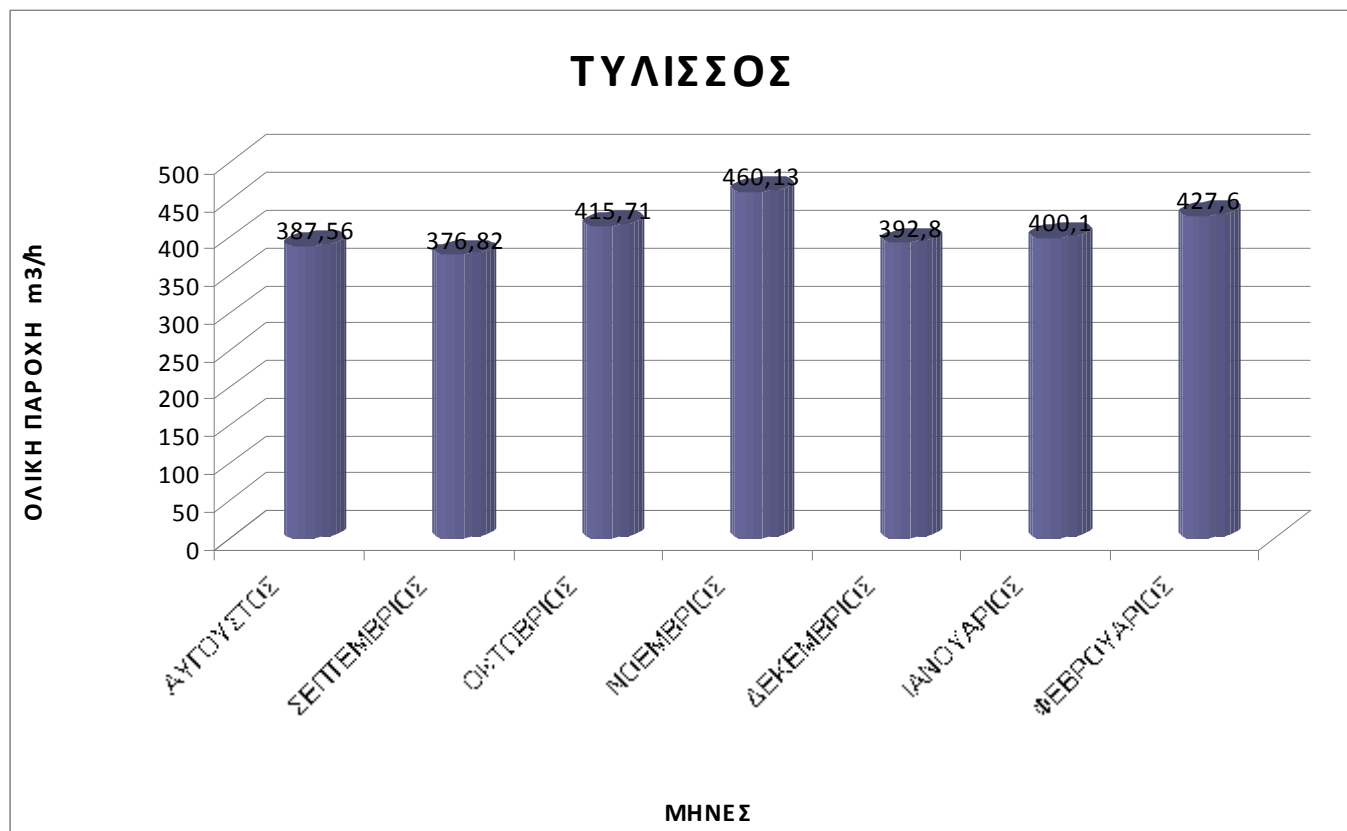
Σχήμα 5.3: Ολική παροχή γεωτρήσεων Κέρης για το έτος 2005.



Σχήμα 5.4: Ολική παροχή γεωτρήσεων Τυλίσσου για το έτος 2005.



Σχήμα 5.5: Ολική παροχή γεωτρήσεων Κέρης για το έτος 2006



Σχήμα 5.6: Ολική παροχή γεωτρήσεων Τυλίσσου για το έτος 2006.

5.5. Λεκάνη τροφοδοσίας – Υδρογεωλογικό σύστημα του Αλμυρού Ηρακλείου

Περιλαμβάνει δύο συστήματα, τον Ψηλορείτη και τη λεκάνη των Ανωγείων. Α) Η υψηλή ζώνη του Ψηλορείτη χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη ανάπτυξη των Plattenkalk και την υψηλή καρστικοποίησή τους. Τα καρστικά αυτά φαινόμενα όπως είναι οι δολίνες, οι πόλγες, οι καταβόθρες κ.α. είναι πολλά με σημαντικότερο την πόλγη της Νίδας. Το νερό της βροχής που πέφτει στην περιοχή αυτή, διηθείται με μεγάλη ταχύτητα μέσω των καταβοθρών μέσα στα μάρμαρα και τροφοδοτεί κυρίως την πηγή του Αλμυρού και σε μικρότερο ποσοστό τις πηγές Γέργερης-Ζαρού. Το καρστικό σύστημα φράζεται νότια και ανατολικά από αδιαπέρατα πετρώματα, κυρίως φλύσχη και μαργαϊκούς σχηματισμούς του Νεογενούς. Έτσι το υπόγειο νερό κυκλοφορεί προς βορρά, προς τη λεκάνη των Ανωγείων. Στα υψηλότερα σημεία του Ψηλορείτη, στην επαφή της επωθήσεως της ζώνης Τριπόλεως πάνω στα μάρμαρα, συναντούνται μυλωνιτιωμένα πετρώματα ή και σχιστόλιθοι οι οποίοι σχηματίζουν τοπικά ένα αδιαπέρατο στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα νερά της βροχής που διηθούνται μέσα στους ασβεστόλιθους της Τριπόλεως να μη μπορούν να εισχωρήσουν βαθύτερα και να σχηματίζουν τοπικούς υδροφόρους ορίζοντες που εκφορτίζονται από μικρές πηγές.

Β) Το ανατολικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης των Ανωγείων καλύπτεται από ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως σχηματίζοντας ένα εκτεταμένο καρστικό σύστημα. Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Ανωγείων καλύπτεται από αδιαπέρατα πετρώματα, κυρίως φλύσχη και υπερβασικά. Είναι πιθανόν κάτω από τα αδιαπέρατα πετρώματα και σε μικρό βάθος να βρίσκονται οι ασβεστόλιθοι της Τριπόλεως, δηλαδή να συνεχίζεται το καρστικό σύστημα υπογείως και σε δυτικότερες περιοχές της λεκάνης των Ανωγείων. Επίσης είναι δυνατόν το καρστικό σύστημα να μη σχηματίζεται μόνο από τη σειρά Τριπόλεως αλλά να συμμετέχουν σε αυτό και οι υποκείμενοι σχηματισμοί της μεταμορφωμένης σειράς Plattenkalk. Από την ανατολική πλευρά (Τύλισσος), το σύστημα φράζεται από το φλύσχη και τις μαργαϊκές αποθέσεις του Νεογενούς. Έτσι η μοναδική έξοδος του συστήματος, οι πηγές του Αλμυρού, βρίσκονται στον ΒΑ τομέα όπου τα υψόμετρα είναι χαμηλά και πλησιάζουν την επιφάνεια της θάλασσας. Η τροφοδοσία του καρστικού συστήματος της λεκάνης των Ανωγείων γίνεται υπογείως και πλευρικά από το γειτονικό υποσύστημα της υψηλής ζώνης του Ψηλορείτη μέσω των ασβεστολίθων της Τριπόλεως που αναπτύσσονται στο ανατολικό μέρος της λεκάνης. Είναι όμως πολύ πιθανόν να υπάρχει υπόγεια επικοινωνία των δύο υποσυστημάτων και δυτικότερα μέσω των ασβεστολίθων που ενδεχομένως υπάρχουν κάτω από το φλύσχη. Χαρακτηριστικό του συστήματος του Αλμυρού είναι το γεγονός ότι ολόκληρη η ποσότητα του νερού που πέφτει στη λεκάνη τροφοδοσίας συγκλίνει και περνά

τελικά από έναν πολύ στενό διάδρομο ασβεστολίθων που βρίσκεται ανάντι των πηγών του Αλμυρού, μεταξύ Μαράθου και Τυλίσσου. Έτσι παρατηρούνται μεγάλες σχετικά κλίσεις της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα. Από γεώτρηση της ΥΕΒ στην είσοδο του φαραγγιού στην Τύλισσο τον Σεπτέμβριο του 1981, η στάθμη του νερού ήταν σε βάθος 280 m περίπου, δηλαδή 70 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ η απόσταση από τον Αλμυρό μόνο 7 km.

5.6 Ποιότητα του νερού

Η ποιότητα του νερού της πηγής του Αλμυρού κρίνεται από την περιεκτικότητα του σε Cl^- , ή αλλιώς από την αλατότητά του. Κύριο χαρακτηριστικό της πηγής είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις που παρουσιάζει η αλατότητα του νερού της πηγής, τόσο στη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, όσο και μεταξύ διαφόρων υδρολογικών ετών.

5.6.1. Περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η αλατότητα του νερού παρουσιάζει συνεχή αύξηση και φτάνει τα 4.000-5.000 ppm κατά τον Οκτώβριο ή Νοέμβριο. Ο βαθμός της μόλυνσης του γλυκού νερού έχει σχέση τόσο με την παροχή στείρευσης της πηγής, όσο και με το ιστορικό της μόλυνσης, δηλαδή από την παροχή και την αλατότητα που επικράτησε γενικά κατά τους προηγούμενους χειμερινούς μήνες μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα. Από συσχετίσεις παροχών και αλατότητας προηγούμενων ετών διεξάγεται το συμπέρασμα ότι για τις περιόδους μη επηρεασμού του συστήματος από τις βροχές, η αλατότητα μηδενίζεται σχεδόν για παροχές ανώτερες από $10 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ ανέρχεται σε 6.000 ppm για παροχή $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Η συσχέτιση μεταξύ παροχής και αλατότητας είναι περίπου γραμμική και προσεγγιστικά ισχύει η σχέση :

$$\text{CL}^- = 8.500 - (850 \cdot Q) \quad \text{όπου } Q \text{ σε } \text{m}^3/\text{s} \text{ και } Q < 10 \text{ (Από μετρήσεις της ΥΕΒ Ηρακλείου, Μπεζές)}$$

Επειδή η στάθμη του νερού της θάλασσας είναι σχεδόν σταθερή σ' όλη τη διάρκεια του έτους, η κατεύθυνση της ροής του νερού μέσα στους καρστικούς αγωγούς εξαρτάται αποκλειστικά από τη στάθμη του νερού μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα. Εάν συμβαίνει είσοδος της θάλασσας μέσα στον υδροφόρο τότε η παροχή εισόδου του θαλασσινού νερού υπολογίζεται από παρατηρήσεις στην έξοδο του συστήματος με τον τύπο: $Q\theta = [(C\pi - C\gamma) / C\theta] \cdot Q\pi$

όπου $Q\theta$ είναι η παροχή εισόδου της θάλασσας στη χρονική στιγμή T ,

$Q\pi$ είναι η παροχή της πηγής στην ίδια στιγμή T ,

$C\theta$ είναι η συγκέντρωση κάποιου ιόντος στο νερό της θάλασσας

$C\gamma$ είναι η συγκέντρωση του ίδιου ιόντος στο γλυκό νερό του υδροφόρου

$C\pi$ είναι η συγκέντρωση του ιόντος στο νερό της πηγής την στιγμή $T+P$, όπου P είναι ο χρόνος διαδρομής του νερού μεταξύ κόμβων ανάμιξης και πηγής, ο οποίος χρόνος διαδρομής είναι μεγαλύτερος το καλοκαίρι από το χειμώνα.

Είναι αποδεκτό ότι η παροχή εισόδου της θάλασσας είναι μηδενική την Άνοιξη όταν η παροχή υπερβαίνει τα $10 \text{ m}^3/\text{s}$ και αυξάνει προοδευτικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η αύξηση γίνεται γρήγορα στην αρχή και αργότερα με βραδύτερο ρυθμό μέχρι να σταθεροποιηθεί η παροχή εισόδου στα

0,85-0,90 m³/s τον Οκτώβριο και Νοέμβριο. Συνεπώς η παροχή εισόδου της θάλασσας εξαρτάται από τα φορτία που επικρατούν μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα του Αλμυρού, δεδομένου ότι τα φορτία αυτά μειώνονται γρήγορα την Άνοιξη και με βραδύ ρυθμό το Φθινόπωρο.

5.6.2. Περιεκτικότητα του νερού σε χλώρια κατά τους χειμερινούς μήνες

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η πηγή του Αλμυρού δέχεται δύο τύπους νερού. Το νερό του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα του Ψηλορείτη και το νερό της επιφανειακής λεκάνης της Ροδιάς, το οποίο διεισδύει μέσα στο καρστ μέσω των καταβοθρών του φαραγγιού των Λινοπεραμάτων, λίγες εκατοντάδες μέτρα ανάντι της πηγής.

Διακρίνονται 3 χειμερινές περίοδοι ανάλογα με την απόκριση του συστήματος στις βροχοπτώσεις:

1)Η πρώτη περίοδος χαρακτηρίζεται από τις πρώτες χειμερινές βροχές_οι οποίες εξατμίζονται ή απορροφώνται από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, χωρίς να προκαλούν ουσιώδεις μεταβολές στην παροχή και την αλατότητα.

2)Η δεύτερη περίοδος χαρακτηρίζεται από βροχές που προκαλούν πρόσκαιρη αύξηση της παροχής και σχετική πτώση της αλατότητας αλλά με επαναφορά του συστήματος στην αρχική του κατάσταση μετά από λίγες μέρες.

3)Η τρίτη περίοδος χαρακτηρίζεται από βροχές που προκαλούν απότομη και παρατεταμένη αύξηση της παροχής αλλά και ταυτόχρονα μηδενισμό της αλατότητας για χρονικό διάστημα που φτάνει τους 2 μήνες. Κατά την περίοδο αυτή το νερό του υδροφόρου ορίζοντα έχει γίνει γλυκό.

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, συγκεκριμένα από τον Νοέμβριο μέχρι τον Φεβρουάριο, η περιεκτικότητα σε χλωριόντα ελαχιστοποιείται έως στα 3 mg/l παρέχοντας πολύ καλής ποιότητας γλυκό νερό, το οποίο με κατάλληλη επεξεργασία και φίλτρηση καθίσταται πόσιμο.

5.6.3. Επίδραση στην ποιότητα του νερού μετά την ανύψωση του φράγματος

Το 1977 κατασκευάστηκε νέο φράγμα στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού το οποίο προκάλεσε ανύψωση της στάθμης στο υψόμετρο των 10 m. Αφού όμως ο υπερχειλιστής έχει πλάτος μόνο 5 m προκλήθηκαν μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης κατά το χειμώνα και αδυναμία σταθεροποίησής της.

Η ανύψωση της στάθμης της λίμνης ισοδυναμεί με ανύψωση του επιπέδου βάσης του καρστικού συστήματος του Αλμυρού με ανάλογη πρόκληση αύξησης των φορτίων μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα. Δυστυχώς όμως η αύξηση των φορτίων δεν προκάλεσε τον επιθυμητό μηδενισμό της παροχής εισόδου της θάλασσας προς τον υδροφόρο ορίζοντα αλλά απλώς μια σχετική βελτίωση της ποιότητας του νερού.

5.6.4. Χρονική υστέρηση της εμφάνισης της περιεκτικότητας σε χλώρια έναντι των παροχών

Κατά την αύξηση της παροχής της πηγής του Αλμυρού παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας των νερών που εκρέουν με αποτέλεσμα το νερό που πηγάζει να χαρακτηρίζεται γλυκό. Συγκεκριμένα έχει καταγραφεί ποιότητα νερού με $Cl < 140 \text{mg/l}$ κατά μέσο όρο 30 ημέρες ανά υδρολογικό έτος, ενώ ποιότητα νερού με $Cl < 300 \text{mg/l}$ κατά μέσο όρο 90 ημέρες ανά υδρολογικό έτος.

Ακόμη οι αιχμές παροχών (μέγιστα και ελάχιστα) συνδέονται με αντίστοιχες αιχμές στην ποιότητα, οι οποίες όμως εμφανίζονται με καθυστέρηση 1-7 ημερών. Η ιδιότητα αυτή είναι ένα συνεχές και επαναλαμβανόμενο φαινόμενο το οποίο επιτρέπει την έγκαιρη προειδοποίηση για την κινητοποίηση προσωπικού και μέσων για την έναρξη ή παύση της χρήσης του νερού εφ' όσον προσεγγίζει την αντίστοιχη ποιότητα. Η ίδια ποιότητα νερού εμφανίζεται σε λίγο μεγαλύτερες παροχές κατά την περίοδο της φόρτισης από εκείνης της εκφόρτισης. Το φαινόμενο ερμηνεύεται ως χρονική υστέρηση, η οποία απαιτείται κατά την περίοδο της φόρτισης για την επανεγκατάσταση της αλμύρινσης στους καρστικούς αγωγούς οι οποίοι τροφοδοτούν την πηγή.

5.6.5 Στάθμες των γεωτρήσεων και ποιότητα του νερού

Όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις από την εποχή της ένταξής τους στην παραγωγή εμφανίζουν έντονα πτωτική στάθμη την οποία ακολουθεί ανάλογη επιδείνωση της ποιότητας του νερού των αντλούμενων γεωτρήσεων. Αντίθετα παρατηρείται ότι ορισμένες γεωτρήσεις παρά την αισθητή άνοδο της στάθμης τους δεν βελτιώνεται η ποιότητά τους.

Από αποτελέσματα μελετών προκύπτει σχέση από την οποία συνάγεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός άντλησης των γεωτρήσεων τόσο ο ρυθμός αλμύρινσης είναι ταχύτερος.

Οι κύριες περιοχές θαλάσσιας ρύπανσης εντοπίζονται περί την πηγή Αλμυρού και στο νοτιοανατολικό ήμισυ του πεδίου Τυλίσσου.

Τέλος, στη συνέχεια παραθέτεται πίνακας με στοιχεία για την μεταβολή της στάθμης και της περιεκτικότητας σε χλώρια της πηγής του Αλμυρού (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1 Μεταβολή της στάθμης και της περιεκτικότητας σε χλωριόντα της πηγής του Αλμυρού (στοιχεία ΔΕΥΑΗ)

Ημερομηνία	Στάθμη(m)	Χλωριόντα (mg/l)	Ημερομηνία	Στάθμη(m)	Χλωριόντα (mg/l)
7/10/1987	3,07	4.118	2/11/1990	4,71	5.414
4/11/1987	3,08	4.331	4/12/1990	3,9	4.331
9/12/1987	3,14	3.919	3/1/1991	5,9	2.733
15/1/1988	4,49	869	5/2/1991	6,54	106
4/2/1988	4,73	2.254	7/3/1991	6,33	106
4/3/1988	6,575	35	4/4/1991	6,17	2.581
1/4/1988	5,79	745	6/5/1991	3,19	3.900
6/5/1988	4,92	2.431	10/6/1991	6,17	4.260
3/6/1988	5,03	3.124	3/7/1991	6,15	4.700
1/7/1988	4,84	3.567	7/8/1991	6,12	4.863
1/8/1988	4,63	3.914	6/9/1991	6,09	5.186
2/9/1988	3,24	4.200	9/10/1991	2,95	5.430
10/10/1988	2,98	4.350	5/11/1991	3,1	3.230
1/11/1988	4,5	71	4/12/1991	4,26	1.840
2/12/1988	3,4	2.857	13/12/1991	6,75	53
10/1/1989	4,73	958	17/12/1991	5,03	248
3/2/1989	4,15	1.863	10/2/1992	5	900
3/3/1989	4,5	1.491	27/2/1992	6,36	570
4/4/1989	3,95	1.846	27/3/1992	6,79	248
2/5/1989	3,32	3.301	13/4/1992	6,36	585
12/6/1989	3,19	4	7/5/1992	6,11	2.591
7/7/1989	3,13	4.430	10/7/1992	5,77	4.171
4/8/1989	3,08	4.348	17/8/1992	5,65	4.685
1/9/1989	3,06	4.621	16/10/1992	5,61	4.950
12/10/1989	3,03	4.615	19/11/1992	5,3	5.129
6/11/1989	3,03	4.881	4/1/1993	4,61	1.704
14/12/1989	3,73	3.230	19/2/1993	5,54	1.242
2/1/1990	3,59	3.994	11/3/1993	7,1	1.313
12/2/1990	6,8	330	14/5/1993	6,81	2.201
7/3/1990	6,18	2.644	14/6/1993	6,615	4.075
4/4/1990	6,03	3.674	5/7/1993	7,57	4.366
15/5/1990	5,97	4.313	3/8/1993	6,55	4.739
6/6/1990	5,95	4.961	20/9/1993	7,51	5.035
13/7/1990	5,91	4.792			
6/8/1990	5,89	4.792			
5/9/1990	5,88	5.094			
1/10/1990	5,94	5.150			

Παρατηρήσεις

Ο παραπάνω πίνακας (πίνακας 5.1) παρουσιάζει τη στάθμη και την περιεκτικότητα σε χλωρίοντα του νερού της πηγής Αλμυρού. Οι μετρήσεις στηρίζονται σε αναλύσεις που έγιναν κατά το πρώτο 10-ήμερο του κάθε μήνα για τα υδρολογικά έτη 1987 έως και 1993.

Ερμηνεύοντας τις μετρήσεις παρατηρείται η χαρακτηριστική για την πηγή του Αλμυρού τάση να περιέχει μεγάλη ποσότητα χλωριόντων ($> 1000 \text{ mg/L}$) στο νερό κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, η οποία συμπίπτει με χαμηλή στάθμη του νερού της πηγής ($< 6 \text{ m}$). Συγκρίνοντας με τους προηγούμενους πίνακες που αφορούσαν την ετήσια και μηνιαία βροχόπτωση από μετρήσεις που πάρθηκαν γύρω από την περιοχή της πηγής, φαίνεται ότι η χαμηλή στάθμη της πηγής αντιστοιχεί σε περιόδους ξηρασίας με μικρό ποσοστό βροχοπτώσεων.

Όμως, από τις μετρήσεις μεταβολής στάθμης και περιεκτικότητας σε χλώρια παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας σε χλωριόντων ($< 100 \text{ mg/L}$) και αντίστοιχη αύξηση της στάθμης του νερού ($> 6 \text{ m}$). Το νερό τείνει να γίνει «γλυκό» και αυτή η τάση παρατηρείται συνήθως, σύμφωνα με τον πίνακα 3.7, κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Συγκρίνοντας με τους πίνακες που αφορούν την ετήσια και μηνιαία βροχόπτωση προκύπτει ότι η περίοδος «γλυκού» νερού της πηγής του Αλμυρού εξαρτάται από την ένταση των βροχοπτώσεων κατά τους μήνες αυτούς. Συγκεκριμένα, τους μήνες υψηλής βροχόπτωσης παρατηρείται και η αύξηση της στάθμης του νερού της πηγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ

Ο νομός Ηρακλείου είναι ένας από τους πιο ευνοημένους από τη φύση νομούς της Ελλάδας όσον αφορά τα υδατικά αποθέματα. Τα υδατικά του αποθέματα επαρκούν για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών του αναγκών και ενδεχομένως μπορούν να καλύψουν εν μέρει και τις ανάγκες γειτονικών νομών. Δυστυχώς όμως, η βασική πηγή ύδατος, η πηγή του Αλμυρού, που συγκεντρώνει τις τεράστιες ποσότητες νερού που πέφτουν κάθε χρόνο υπό μορφή βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων στον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη, είχε μέχρι πρόσφατα αφεθεί αναξιοποίητη.

Η λύση που προτάθηκε για να δώσει λύση στο πρόβλημα ύδρευσης του νομού Ηρακλείου είναι η αφαλάτωση, με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης των υφάλμυρων γεωτρήσεων της περιοχής του Αλμυρού. Η ιδέα αυτή προτάθηκε πριν από 9 χρόνια σε μία ημερίδα όπου κλήθηκαν ειδικοί ανά τον κόσμο και συζητήθηκαν οι προοπτικές αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού αλλά και του περιβάλλοντα χώρου. Από την ημερίδα σταθμό του 2000 μέχρι σήμερα μεσολάβησαν επισκέψεις στην Κύπρο, τη Χίο και την Κωνσταντινούπολη όπου λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης. Το 2004 ο δήμος Γαζίου αγόρασε το ακίνητο έκτασης 6 περίπου στρεμμάτων στην πολεοδομική ενότητα 23, στις παρυφές του Αλμυρού. Έπειτα από τον διαγωνισμό που πραγματοποιήθηκε στις 3/7/2008 η ανάδοχος εταιρεία (για την παροχή 1.000 m³/ημέρα στο δήμο Γαζίου) είναι η ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ Α.Ε., η οποία και ανέλαβε την κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης.

Η διεργασία που πραγματοποιείται για την αφαλάτωση με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, είναι η ακόλουθη. Το ακατέργαστο νερό από τις γεωτρήσεις του Δήμου, οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση περίπου 500 m από τη θέση της μονάδας, οδηγείται βαρυτικά σε 4 πλαστικές δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης χωρητικότητας 10 m³, η κάθε μία. Στη συνέχεια η αντλία φόρτισης, παροχής 60 m³/hr, αναρροφά από τις δεξαμενές και οδηγεί το νερό στο σύστημα προ-επεξεργασίας, διαδικασία απαραίτητη για την προστασία των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Το σύστημα προ-επεξεργασίας αποτελείται από 3 στάδια. Αρχικά γίνεται φίλτρανση του νερού κατά βάθος μέσω φίλτρου άμμου. Έπειτα προσθήκη αντικαθαλωτικού προσθέτου, το οποίο αποτρέπει τις επικαθήσεις αλάτων και αιωρούμενων

σωματιδίων πάνω στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Τέλος γίνεται φίλτρανση κατά βάθος μέσω φίλτρου φυσιγγίων και αποτελεί την τελευταία δικλείδα ασφαλείας για την προστασία των μεμβρανών από αιωρούμενα σωματίδια.

Στη συνέχεια το προεπεξεργασμένο νερό οδηγείται με υψηλή πίεση στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε 7 συνολικά δοχεία πίεσης και διαχωρίζουν τα ανόργανα διαλυτά συστατικά του νερού τροφοδοσίας. Η διαδικασία διαχωρισμού είναι συνεχής και το νερό χωρίζεται σε δύο ρεύματα.: το ρεύμα του προϊόντος (χαμηλής αλατότητας, 75% περίπου της παροχής εισόδου) και το ρεύμα του συμπυκνώματος (υψηλής αλατότητας, 25% περίπου της παροχής εισόδου) που απορρίπτεται. Το παραγόμενο προϊόν από όλα τα δοχεία πίεσης, συγκεντρώνεται σε ενιαίο αγωγό και αφού μετρηθεί ποιοτικά (με αγωγιμόμετρο) και ποσοτικά (με ροόμετρο) οδηγείται υπό πίεση στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Η άλμη παραλαμβάνεται από την έξοδο των δοχείων πίεσης και αφού μετρηθεί ποσοτικά οδηγείται στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.

Κατά τη διάρκεια του χρόνου που μονάδα μένει σταματημένη για τον οποιαδήποτε λόγο και με στόχο την προστασία των μεμβρανών και του εξοπλισμού από φθορές-διαβρώσεις, διενεργείται διαδικασία έκπλυσης των μεμβρανών. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου είναι αναπόφευκτη η δημιουργία κάποιων επικαθήσεων ανόργανης ή οργανικής μορφής πάνω στις μεμβράνες. Για το λόγο αυτό προβλέπεται η διενέργεια τακτικών – προληπτικών χημικών καθαρισμών ή και έκτακτων. Το παραγόμενο από την αντίστροφη όσμωση αφαλατωμένο προϊόν πρέπει να μετεπεξεργαστεί, ώστε να ρυθμιστούν η σκληρότητα, η αλκαλικότητα και pH του. Η μετεπεξεργασία είναι επίσης απαραίτητη ώστε το τελικά παραγόμενο νερό να μην είναι διαβρωτικό για το σύστημα διανομής. Για τη ρύθμιση των παραπάνω παραμέτρων το αφαλατωμένο νερό αναμιγνύεται σε μικρό ποσοστό με φιλτραρισμένο νερό, από την έξοδο του φίλτρου φυσιγγίων. Για την απολύμανση του τελικά παραγόμενου νερού προστίθεται επίσης χλώριο, με τη μορφή διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου.

Το τελικά παραγόμενο νερό οδηγείται στην πλαστική δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης χωρητικότητας 10 m³ και από εκεί με αντλιοστάσιο στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου. Η άλμη οδηγείται επίσης στην πλαστική δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης και από εκεί μέσω αντλιοστασίου στο αδειοδοτημένο κανάλι διάθεσης αποβλήτων της Δ.Ε.Η. και καταλήγει στη θάλασσα. Η άλμη έχει αγωγιμότητα σημαντικά μικρότερη από αυτή της θάλασσας και δεν περιέχει χημικά που θα μπορούσαν να προκαλέσουν πρόβλημα στον αποδέκτη.

Η μονάδα λειτουργεί πλήρως αυτοματοποιημένα και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, όπως μετρητές-μεταδότες πίεσης, μετρητές-μεταδότες ροής, αγωγιμόμετρα κ.ά.

Η μονάδα καταλαμβάνει έκταση περίπου 300 m³. Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης, η μονάδα έκπλυσης - χημικών καθαρισμών, το φίλτρο φυσιγγίων και τα συστήματα δοσιμέτρησης αντικαθαλωτικού προσθέτου και υποχλωριώδους νατρίου, είναι τοποθετημένα εντός ειδικά διαμορφωμένου οικίσκου. Εξωτερικά βρίσκονται όλες οι δεξαμενές, το φίλτρο άμμου και οι αντλίες φόρτισης φίλτρου και απομάκρυνσης πόσιμου νερού και άλμης.

Η λειτουργία και συντήρηση της μονάδας γίνεται από την εταιρεία Μεσόγειος Enviromental Services (MES), η οποία ανήκει στον όμιλο εταιρειών προστασίας περιβάλλοντος Μεσόγειος. Οι παράμετροι, οι οποίες υπόκεινται σε δοκιμαστική παρακολούθηση, σύμφωνα με την νομοθεσία συν κάποιες που κρίνονται αναγκαίες για την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, είναι οι παρακάτω:

Οργανοληπτικές: Θολερότητα, Χρώμα, Οσμή, Γεύση.

Φυσικοχημικές: pH, Αγωγιμότητα, Ολική Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Χλωριούχα, Νιτρικά, Νιτρώδη, Αμμώνιο, Υπολειμματικό χλώριο.

Μικροβιολογικές: Αριθμός αποικιών 37°C, αριθμός αποικιών 22°C, Ολικά Κολοβακτηριοειδή, E.coli, Εντερόκοκκοι.

Σκοπός της ελεγκτικής παρακολούθησης είναι να παρέχονται τα στοιχεία που απαιτούνται για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται όλες οι παραμετρικές τιμές της νομοθεσίας. Όλες οι παράμετροι που αναφέρονται στην νομοθεσία υπόκεινται σε ελεγκτική παρακολούθηση.

Στον Πίνακα 6.1 φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της δοκιμαστικής παρακολούθησης, όπου πιστοποιήθηκε ότι το νερό είναι απολύτως πόσιμο και ξεκίνησε η κανονική λειτουργία της μονάδας.

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί παράγοντας 1.000m³ ημερησίως σταθερά καλής ποιότητας πόσιμο νερό καλύπτοντας τις ανάγκες του Δήμου Γαζίου, ενώ είναι εύκολα επεκτάσιμη σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν.

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα των αναλύσεων κατά τη δοκιμαστική παρακολούθηση (Εταιρεία Μεσόγειος Environmental Services).

Παράμετρος	Μονάδες	Παραγόμενο νερό	Όριο καταλληλότητας για πόσιμο νερό
Φυσικοχημικές παράμετροι			
Θολότητα	NTU	<1	<1
Χρώμα	mg/l		
Κλίμακα Pt	Αποδεκτή	Αποδεκτή	
Οσμή	TON	Αποδεκτή	Αποδεκτή
Γεύση	FTN	Αποδεκτή	Αποδεκτή
pH		7,43	6,5-9,5
Ολική Σκληρότητα	°F	6,41	
Παροδική Σκληρότητα	°F	1,5	
Αγωγιμότητα (20°C)	μS/cm	456	2.500
Χλωριούχα (Cl)	mg/l	133,29	250
Διττανθρακικά (HCO ₃)	mg/l	18,31	
Θειικά (SO ₄)	mg/l	17,36	250
Νιτρικά (NO ₃)	mg/l	1,84	50
Νιτρώδη (NO ₂)	mg/l	<0,01	0,5
Αμμώνιο (NH ₄)	mg/l	<0,07	0,5
Ασβέστιο (Ca)	mg/l	10,42	
Μαγνήσιο (Mg)	mg/l	9,29	
Σίδηρος (Fe)	mg/l	0,07	0,2
Κάλιο (K)	mg/l	2,61	12
Νάτριο (Na)	mg/l	74,2	200
Μικροβιολογικές παράμετροι			
Ολικά κολοβακτηριοειδή	cfu/100ml	<1	0
Escherichia coli	cfu/100ml	<1	0
Αριθμός αποικιών 37°C	cfu/ml	3	Άνευ μεταβολής
Αριθμός αποικιών 22°C	cfu/ml	5	Άνευ μεταβολής

ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗΣ ΣΤΟΑΣ

Ο τέως καθηγητής εφαρμοσμένης Γεωλογίας Διονύσιος Μονόπωλης, σε συνεργασία με τον καθηγητή Μ. Κλειδόπουλο, πρότειναν έπειτα από μελέτη, τη δημιουργία υδρομαστευτικής στοάς στην περιοχή του Αλμυρού (Σχήμα 1). Προβλέπεται πως μετά την ολοκλήρωση της στοάς θα εξασφαλίζονται $250.000.000 \text{ m}^3$ γλυκού νερού που θα μπορούσε να δώσει οριστική λύση στο πρόβλημα λειψυδρίας του νομού Ηρακλείου (Σχήμα 2).

Οι βασικές δομές που απαιτούνται για τη δημιουργία ης υδρομαστευτικής στοάς είναι τρεις (Σχήμα 3):

1) Κεκλιμένη στοά προσπέλασης, η οποία προβλέπεται να έχει διάμετρο 6 m και κλίση μικρότερη του 12%. Η συγκεκριμένη στοά θα είναι προσπελάσιμη τόσο από το προσωπικό, όσο και από βαρέα οχήματα όπως γεωτρήπανα, εκσκαφείς και γερανοφόρα οχήματα.

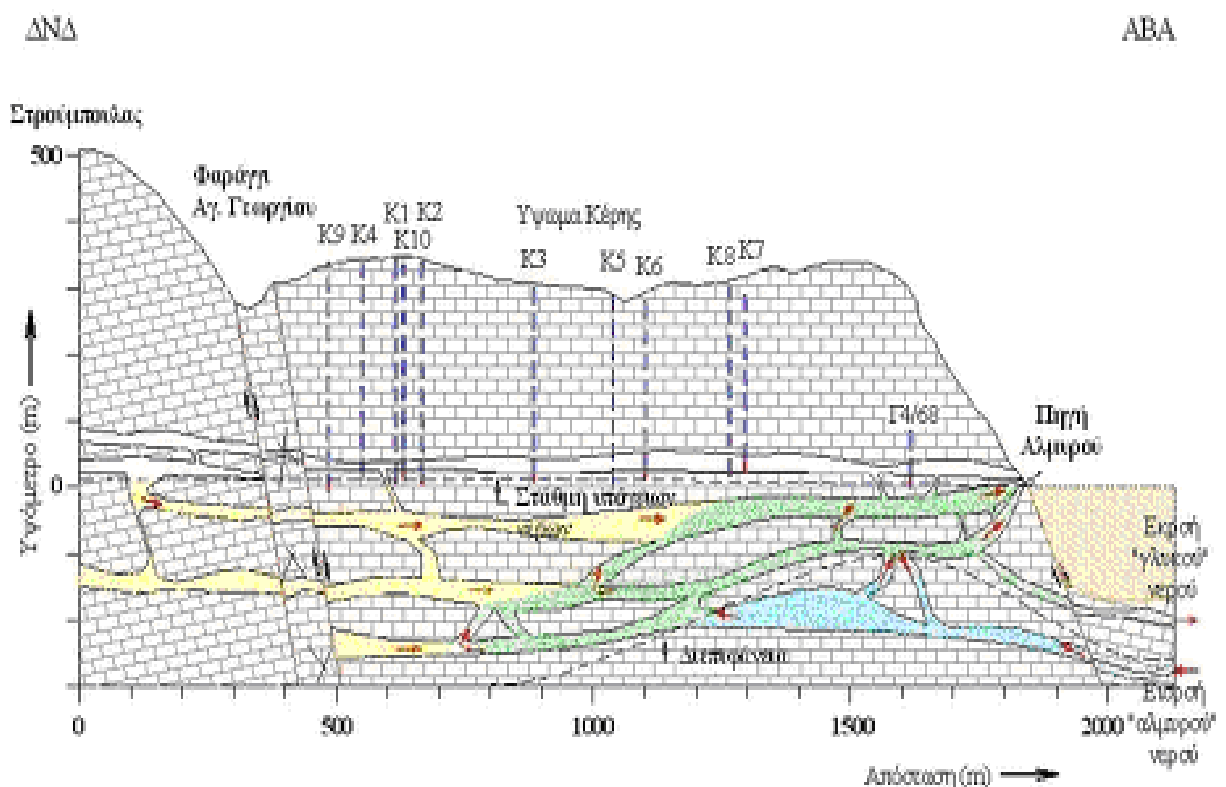
2) Συλλεκτήριο πηγάδι και θάλαμο αντλιοστασίου. Το βάθος του πηγαδιού υπολογίζεται στα 25 με 30 m, ενώ η διάμετρός του πρόκειται να φτάνει τα 4 m. Η διάμετρος του θαλάμου αντλιοστασίου υπολογίζεται στα 6 m.

3) Υποοριζόντια υδρομαστευτική στοά διαμέτρου 3 έως 4 m ελεύθερης ροής.

Για την δημιουργία της υδρομαστευτικής στοάς προτείνονται από τους καθηγητές δύο εναλλακτικές θέσεις. Προτείνεται είτε η περιοχή δυτικά από το 'Βουλισμένο Αλώνι' με είσοδο από το φαράγγι Κεράς, είτε η περιοχή 'Καμινιές' με προσπέλαση από υδατόρευμα μεταξύ Τυλίσσου και Καβοχωρίου.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αναφορικά με τη δημιουργία της υδρομαστευτικής στοάς στην περιοχή Αλμυρού είναι η πολλαπλάσια απόδοση της στοάς σε σχέση με τις γεωτρήσεις και ο μειωμένος κίνδυνος υφαλμύρωσης των υδάτων. Επίσης στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται ο αποτελεσματικός έλεγχος λειτουργίας της μονάδας αλλά και το χαμηλότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης της μονάδας σε σχέση με άλλες προτάσεις αξιοποίησης της πηγής. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της υδρομαστευτικής στοάς είναι ότι υπάρχει σε αυτή δυνατότητα ελέγχου ενδεχόμενης ρύπανσης της από ανθρώπους, ενώ αρκετά σημαντικό είναι το γεγονός πως στην περίπτωση που υπάρξει απόκλιση απόδοσης του έργου

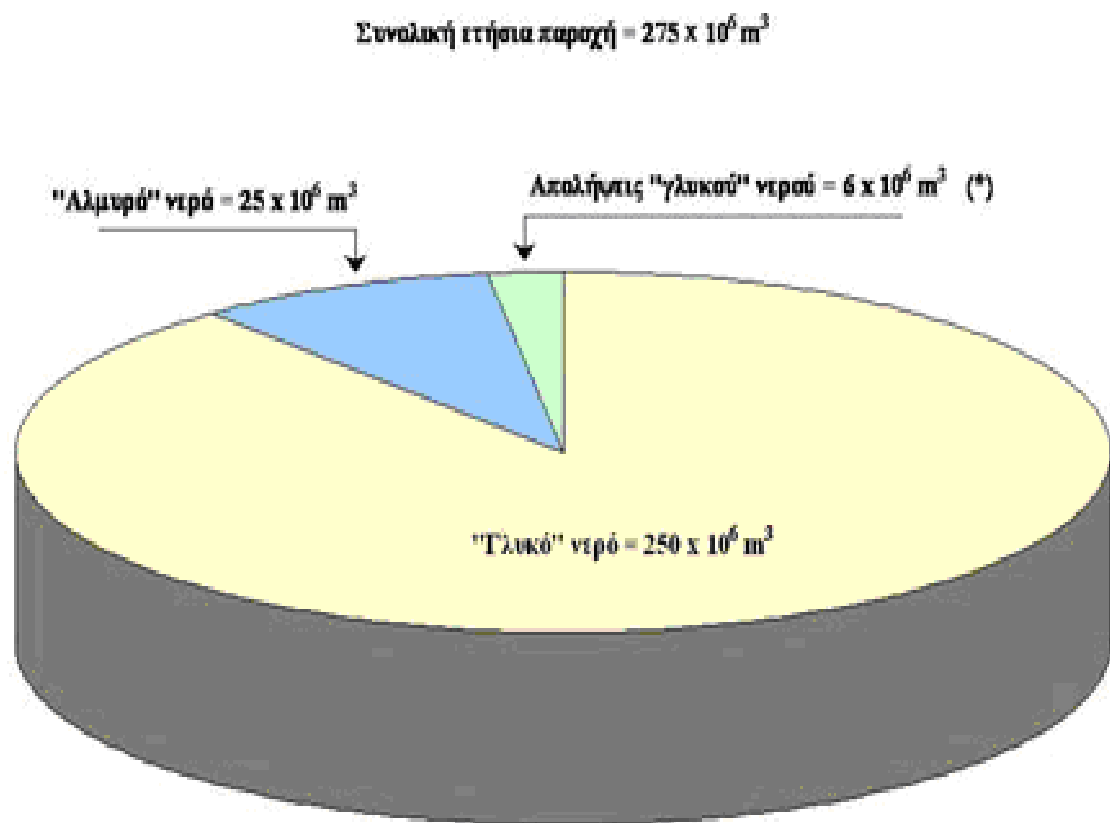
σε σχέση με τις θεωρητικές προβλέψεις, αυτή μπορεί να ανατραπεί με διορθωτικές ενέργειες. Ακόμη, τόσο το αντλητικό συγκρότημα και ο μηχανολογικός εξοπλισμός, όσο και τα λοιπά έργα υποδομής, βρίσκονται συγκεντρωμένα στην ίδια περιοχή. Ένα ακόμη θετικό στοιχείο για την κατασκευή του έργου, είναι ότι η υδρομαστευτική στοά μπορεί να επεκτείνεται σταδιακά ανάλογα με τις ανάγκες.



Σχήμα 1 : Σχηματική υδρογεωλογική τομή "Αλμυρού".

(Μονόπωλης κ.ά)

Πηγή: Εφημερίδα ΠΑΤΡΙΣ Ηρακλείου.



(*) Πηγή: ΔΕΥΑΗ (1999)

Σχήμα 2: Μέση ετήσια κατανομή και απολήψεις (1998-99) νερών "Αλμυρού".

Πηγή: Εφημερίδα ΠΑΤΡΙΣ Ηρακλείου.



Πηγή: Εφημερίδα ΠΑΤΡΙΣ Ηρακλείου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

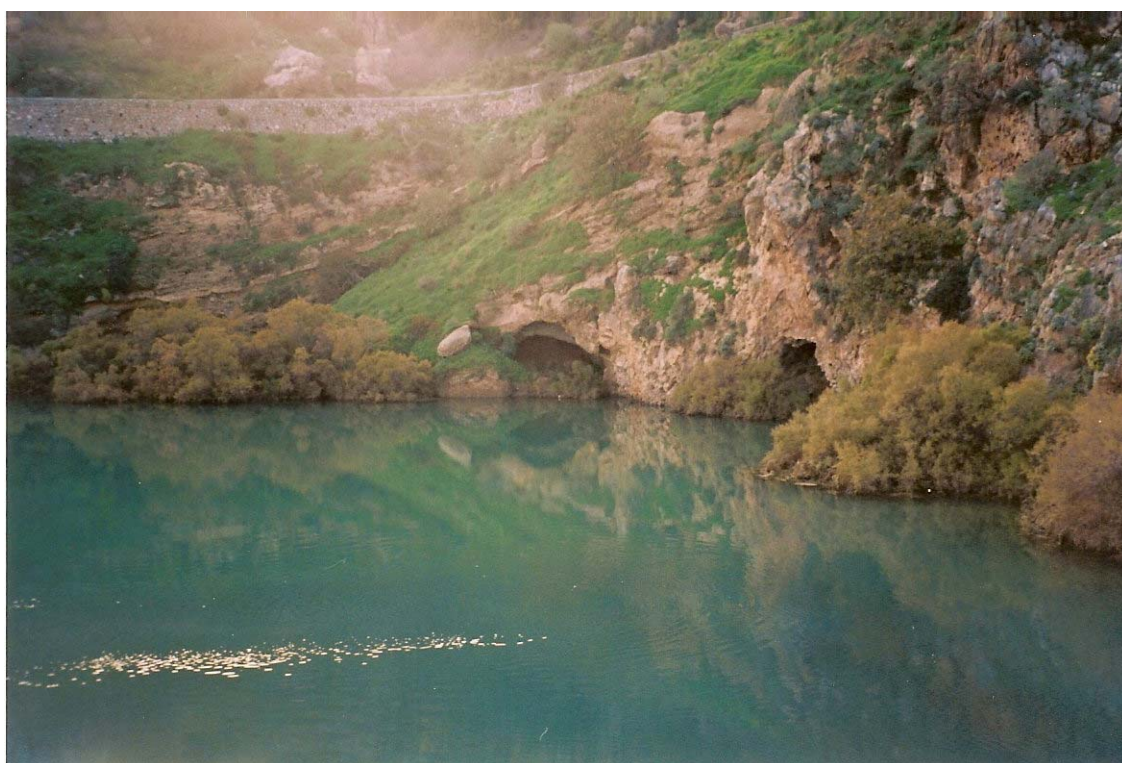
Με βάση την υδρογεωλογική έρευνα της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η πηγή του Αλμυρού είναι μια καρστική πηγή που αναβλύζει σε απόσταση 8 km από την πόλη του Ηρακλείου και 1 km από την παραλία του κόλπου του Ηρακλείου.
- Η παροχή της πηγής κυμαίνεται κατά τους χειμερινούς μήνες από 7-8 m³/s και σε περιόδους μεγάλων βροχοπτώσεων έως 40-50 m³/s. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η παροχή του νερού είναι της τάξης των 5-6 m³/s.
- Ο ετήσιος όγκος νερού είναι 250 x 10⁶ m³.
- Η πηγή τροφοδοτείται από το καρστικό σύστημα του Ψηλορείτη.
- Η ποιότητα του νερού της πηγής έχει χαρακτηριστικά υφάλμυρου νερού το καλοκαίρι και γλυκού νερού το χειμώνα. Συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε Cl⁻ το χειμώνα είναι <100 mg/l και το καλοκαίρι φτάνει τα 6.000 mg/l.
- Η πλέον οικονομική λύση για την αξιοποίηση της πηγής είναι το χειμώνα να αξιοποιείται το νερό ως έχει, ενώ το καλοκαίρι να γίνεται αφαλάτωση του νερού με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Εικόνα 1: Άποψη του φράγματος της πηγής Αλμυρού.



Εικόνα 2: Άποψη της πηγής του Αλμυρού.



Εικόνα 3: Άποψη των θυροφραγμάτων της πηγής Αλμυρού.



Εικόνα 4: Άποψη του ποταμού του Αλμυρού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- D.J. Burdon, N.I. Παπάκης (ΙΓΕΥ) – 1964: Υδρογεωλογική αναγνώριση πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης
- Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) – 1969: Προκαταρκτική υδρογεωλογική μελέτη
- Δ.Γ. Μονόπωλης και Κ.Ι. Μάστορης – 1969: Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφάλμυρου πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης
- FAO– 1971: Αποτελέσματα ερευνητικών γεωτρήσεων (Υπ. Γεωργίας)
- FAO (G. Dietrich και R.E. RE) - 1972: Υδρογεωλογική μελέτη
- Breznik– 1978: Μελέτη περί του μηχανισμού υφαλμύρινσης της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου
- Π. Οικονομόπουλος – 1982: Υδρογεωλογική μελέτη
- Κ. Μπεζές – 1985: Μελέτη για τον Αλμυρό Ηρακλείου και τις πηγές του Μπαλίου
- Υπ. Γεωργίας – 1987: Πείραμα ανύψωσης της στάθμης της πηγής του Αλμυρού
- Μονόπωλης Δ., Σοφίου Π., Στειακάκης Εμμ., Κλειδοπούλος Μ., Βαβαδάκης Διον., - 1987: Υδρογεωλογική μελέτη
- Κ. Μπεζές-1990: Υδρογεωλογική έκθεση περιοχής Τυλίσσου Ηρακλείου Κρήτης
- ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕ – 1991: Έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση της πηγής του Αλμυρού
- Κ.Μπεζές – 1992: Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Τυλίσσου νομού Ηρακλείου Κρήτης
- Μονόπωλης Δ., Σοφίου Π., Παπαμαστοράκης Δημ., Στειακάκης Εμμ., Κλειδοπούλου Μ. και Βαβαδάκης Δ. – 1994: Υδρογεωλογική μελέτη
- Bruno Arfib, Ghislain de Marsily, Jacques Ganoulis – 2001: Freshwater-saltwater motion in a coastal karstic aquifer-The case of Almyros of Heraklio,Crete,Greece
- Α. Μαράμαθας, Ι. Γιαλαμάς και Α. Μπουντουβής – 2003-2004: Simulation of brackish karst springs operation with the modkarst deterministic model
- Ognjen Bonacci and Ivana Fistanic, Faculty of Civil Engineering & Architecture – 2005: Contribution to hydrological analysis of the coastal karst spring Almyros
- Arfib, Marsily, Γκανούλης – 2006:Coastal karst springs in the Mediterannean basin: Study of the mechanisms of saline pollution at the Almyros spring(Crete)
- Α. Μαράμαθας – 2004:A new approach for the development and management of brackish karst springs

- Bruno Arfib, I. Γκανούλης – 2004: Υδρογεωλογική έρευνα
- Μελετητής Υδρο-σύστημα ΕΠΕ-ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ 1991: Έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης.
- Χρυσή Ν. Αθανασοπούλου: Διπλωματική εργασία «Εκμετάλλευση παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων (παράδειγμα: Αλμυρός Ηρακλείου Κρήτης)
- Σύμβουλος Μελετητής Σ.Ν. Παρίτσης
- ΔΕΥΑΗ Μελέτη διαχείρισης πεδίων εκμετάλλευσης: Προσομοίωση υπόγειων υδροφορέων,
- Bruno Arfib: Reach the hydraulic functioning of a coastal karstic aquifer with a conduit-matrix model.
- Esteban Sanz Escude 2007: Brackish springs in coastal aquifers and the role of calcite dissolution by mixing waters.