

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΡΗΤΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ: ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ,
ΑΛΜΥΡΟΣ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΑΙ ΜΑΛΑΥΡΑΣ

ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Ανάδοχος:	- SEEMAN SMART ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ, με δ.τ. SEEMAN ENVIRONMENTAL - ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΑΜΒΕΡΓΗΣ ΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ - ΣΑΒΒΑΣ Ν. ΠΑΡΙΤΣΗΣ ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΕΛΕΤΩΝ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΙΚΕ, με δ.τ. ΣΑΒΒΑΣ Ν. ΠΑΡΙΤΣΗΣ
-----------	---

Ηράκλειο, Απρίλιος 2020

Αντί προλόγου

Η μελέτη «Συγκριτική τεχνικοοικονομική αξιολόγηση για την αξιοποίηση των υφάλμυρων πηγών: Αλμυρός Ηρακλείου, Αλμυρός Αγ. Νικολάου και Μαλαύρας» ανατέθηκε με την υπογραφή της σχετικής σύμβασης στις 20/11/2019. Η συνολική χρονική διάρκεια εκπόνησης της μελέτης/έργου είναι 15 μήνες από την υπογραφή της σύμβασης και το έργο χωρίζεται σε τρεις φάσεις που καλύπτουν τρεις περιόδους και καταλήγουν σε 4 παραδοτέα.

Σύμφωνα με την υπογραφείσα σύμβαση, ο ανάδοχος σε διάστημα 15 εργάσιμων ημερών από την υπογραφή της σύμβασης, υπέβαλε στην Διευθύνουσα Υπηρεσία Σύντομη Τεχνική Έκθεση στην οποία αποτυπώθηκαν η μεθοδολογική προσέγγιση, ο σχεδιασμός και ο τρόπος υλοποίησης του έργου, τα διαθέσιμα μέσα και ανθρωπικοί πόροι, και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών.

Το τεύχος αυτό είναι το πρώτο παραδοτέο του έργου «Συγκριτική τεχνικοοικονομική αξιολόγηση για την αξιοποίηση των υφάλμυρων πηγών: Αλμυρός Ηρακλείου, Αλμυρός Αγ. Νικολάου και Μαλαύρας» και αποτελεί την ενδιάμεση έκθεση της πρώτης φάσης όπως περιγράφεται στο τεύχος τεχνικών δεδομένων του έργου που ανατέθηκε από την Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης.

Η εκπόνηση της μελέτης γίνεται σύμφωνα με το Χρονοδιάγραμμα που υποβλήθηκε εμπρόθεσμα και εγκρίθηκε από την επιβλέπουσα υπηρεσία και επομένως το τεύχος αυτό υποβάλλεται 3 μήνες μετά την υπογραφή της σύμβασης.

Σημειώνεται ότι η ενδιάμεση αυτή έκθεση επικεντρώνεται στις τεχνικές περιγραφές και αναλύσεις των υφάλμυρων πηγών Αλμυρού Ηρακλείου, Αλμυρού Αγίου Νικολάου και Μαλαύρας. Το στάδιο αυτό κρίθηκε απαραίτητο λόγω του πλήθους των επιστημονικών εργασιών και μελετών (κυρίως για τον Αλμυρό Ηρακλείου) και του πλήθους των προσεγγίσεων στη μελέτη του μηχανισμού λειτουργίας των καρστικών υφάλμυρων πηγών. Είναι γεγονός ότι στην ενδιάμεση αυτή έκθεση δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάλυση των υδρογεωλογικών συνθηκών που διέπουν την υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου με την παρουσίαση πολλών πρωτογενών αναλύσεων και μοντέλων.

Στο δεύτερο στάδιο της πρώτης φάσης προβλέπεται η διατύπωση των τεχνικών προτάσεων αξιοποίησης των πηγών αυτών και η αξιολόγηση τους με βάση την πολυκριτηριακή προσέγγιση που αναπτύσσεται στο πρώτο τμήμα αυτής της έκθεσης.

Η δομή του παραδοτέου αυτού ακολουθεί τα εξής τέσσερα Τμήματα και Κεφάλαια:

ΤΜΗΜΑ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Σχεδιασμός & τρόπος υλοποίησης
2. Δυσκολίες και Εμπόδια στην εκπόνηση της μελέτης
3. Πολυκριτηριακή ανάλυση
4. Μεθοδολογία

ΤΜΗΜΑ Β: ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

1. Τεχνική Περιγραφή
2. Γεωλογία – Υδρογεωλογία
3. Ποσοτικά και ποσοτικά στοιχεία της πηγής
4. Λεκάνη τροφοδοσίας
5. Υδατικό Ισοζύγιο

ΤΜΗΜΑ Γ: ΑΛΜΥΡΟΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

1. Τεχνική Περιγραφή
2. Γεωλογία - Υδρογεωλογία
3. Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα
4. Υδατικό Ισοζύγιο – Εκμετάλλευση Υδροφορέα
5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά
6. Συμπεράσματα για τις Υδρολογικές συνθήκες

ΤΜΗΜΑ Δ: ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ

1. Θέση των πηγών
2. Γεωλογία – Υδρογεωλογία
3. Στοιχεία εκμετάλλευσης των πηγών
4. Έργα βελτίωσης της ποιότητας του νερού των πηγών

Η ομάδα που συγκροτήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης αποτελείται από τους παρακάτω επιστήμονες:

- | | |
|-----------------------|--|
| ➤ Γεώργιος Κόλλιας | Αγρ. & Τοπ. Μηχανικός ΕΜΠ, MSc Modena & Reggio Emilia |
| ➤ Βασίλης Τσακίρης | Αγρ. & Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc Imperial College London |
| ➤ Σάββας Παρίτσης | Γεωλόγος, M.Sc, PhD |
| ➤ Χρήστος Δαμβέργης | Πολιτικός Μηχανικός |
| ➤ Γεώργιος Κοψιαύτης | Γεωλόγος, Αγρ. & Τοπ. Μηχ. ΕΜΠ, MSc, Υποψ. Διδάκτωρ ΕΜΠ |
| ➤ Βασίλης Μπέλλος | Πολιτικός Μηχανικός, PhD |
| ➤ Ιωάννης Κούρτης | Αγρ. & Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc ΕΜΠ |
| ➤ Παναγιώτης Τσακίρης | Οικονομολόγος, MBA, MSc ΕΜΠ |

Την ομάδα μελέτης υποστήριξαν επιστημονικά οι:

- Γεώργιος Τσακίρης, Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ
- Χαρίλαος Βαγγέλης, PhD, ΕΕΔΙΠ ΕΜΠ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΜΗΜΑ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. Σχεδιασμός & τρόπος υλοποίησης	1
2. Δυσκολίες και Εμπόδια στην εκπόνηση της μελέτης	3
3. Πολυκριτηριακή ανάλυση	4
4. Μεθοδολογία.....	5
ΤΜΗΜΑ Β: ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	12
1. Τεχνική Περιγραφή.....	12
1.1 Θέση της πηγής	12
2. Γεωλογία – Υδρογεωλογία.....	14
2.1 Εισαγωγή.....	14
2.2 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	14
2.3 Τεκτονική	19
2.4. Υδρογεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	20
2.5 Πεδία εκμετάλλευσης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη	24
2.6 Υφαλμύριση του πεδίου Κέρης - Τυλίσου	30
2.7 Εκτίμηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού και προσομοίωση του συστήματος τροφοδοσίας της πηγής Αλμυρού	39
3. Ποσοτικά και ποσοτικά στοιχεία της πηγής	51
3.1 Γενικά.....	51
3.2 Συνολική παροχή της πηγής	51
3.3 Συγκέντρωση χλωριόντων	54
3.4 Διαγραμματική απεικόνιση	54
3.5 Παρατηρήσεις	57
4. Λεκάνη τροφοδοσίας.....	58
4.1 Γενικά - Βροχομετρικοί σταθμοί και Δεδομένα.....	58
4.2 Έλεγχος Ομογένειας	58
4.3 Οριοθέτηση Λεκάνης Τροφοδοσίας.....	60
5. Υδατικό Ισοζύγιο.....	61
5.1 Γενικά.....	61
5.2 Υδατικό Ισοζύγιο και ισοζύγιο χλωριόντων.....	62
ΤΜΗΜΑ Γ: ΑΛΜΥΡΟΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	68
1. Τεχνική Περιγραφή.....	68
2. Γεωλογία - Υδρογεωλογία	71
2.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	71
2.2 Τεκτονική	75
2.3 Υδρογεωλογική δομή περιοχής μελέτης	76
3. Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα.....	82
4. Υδατικό Ισοζύγιο – Εκμετάλλευση Υδροφορέα	86
5. Συμπεράσματα για τις Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	88
ΤΜΗΜΑ Δ: ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ.....	91
1.Θέση των πηγών	91
2.Γεωλογία – Υδρογεωλογία.....	92
3.Στοιχεία εκμετάλλευσης των πηγών.....	95
4. Έργα βελτίωσης της ποιότητας του νερού των πηγών	95
ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ - ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ.....	97

ΤΜΗΜΑ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Σχεδιασμός & τρόπος υλοποίησης

Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι η κατάρτιση ενός σχεδίου για την υλοποίηση της βέλτιστης τεχνικοοικονομικής λύσης για την αξιοποίηση των τριών υφάλμυρων πηγών: Αλμυρού Ηρακλείου, Αλμυρού Αγ. Νικολάου και Μαλαύρας, με την εκπόνηση συγκριτικής τεχνικοοικονομικής αξιολόγησης όλων των υφιστάμενων προτάσεων και μελετών που αφορούν την αξιοποίησή τους.

Για το σχεδιασμό και τον τρόπο υλοποίησης του έργου θα ακολουθηθεί η σειρά των εργασιών που αναφέρονται στο τεύχος των Τεχνικών Δεδομένων. Συνοπτικά οι εργασίες αυτές ανά φάση του έργου είναι:

Φάση 1 – Κατάρτιση Προσχεδίου

1. Συλλογή, μελέτη και αξιολόγηση των υφιστάμενων στοιχείων/δεδομένων, μετρήσεων, τεχνικών εκθέσεων και μελετών, που αναφέρονται στις μελετώμενες περιοχές.
2. Παρουσίαση των μορφολογικών, γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή και στη στενή περιοχή της κάθε πηγής με λεπτομέρεια αντίστοιχη της κλίμακας που χρησιμοποιείται. Θα γίνει αναφορά σε κλιματολογικά στοιχεία.
3. Καθορισμός της υδρογεωλογικής λεκάνης τροφοδοσίας των πηγών και μελέτη των εκροών των πηγών (στατιστική επεξεργασία, ανάλυση υδρογραφήματος, διακύμανση της αγωγιμότητας /χλωριόντων/ άλλων παραμέτρων, διαγράμματα συσχέτισης, δίαιτα της πηγής κλπ) καθώς και αναφορά στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του καρστικού συστήματος τροφοδοσίας της πηγής. Ειδική αναφορά σε μελέτες για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών και προσδιορισμό της κίνησης του υπόγειου νερού.
4. Ανάλυση της σχέσης της υπόγειας υδροφορίας (εκροές πηγών) με τυχόν επιφανειακά συστήματα (αλληλοτροφοδοσία, διηθήσεις, εκφορτίσεις) και αλληλοσύνδεση με εξαρτώμενα Επιφανειακά Υδατικά Συστήματα και οικοσυστήματα.
5. Εκτίμηση ισοζυγίου ύδατος υπόγειου υδατικού συστήματος. Εκτίμηση δυνατότητας ασφαλών απολήψεων από τα ανάντη των πηγών υπόγεια υδατικά συστήματα.
6. Ανάλυση των χαρακτηριστικών των υφιστάμενων υδατικών έργων που αφορούν το υπόγειο υδατικό σύστημα των πηγών.
7. Θα γίνει αναφορά στα τεχνικά έργα που απαιτούνται για την περαιτέρω αξιοποίηση των υδάτων και καταγραφή των διαφόρων προτάσεων, καθώς και εκτίμηση της αβεβαιότητας των προτεινόμενων έργων. Θα γίνει υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης των προτεινόμενων λύσεων και διερεύνηση

για συνδυαστικές λύσεις δύο ή περισσότερων προτεινόμενων έργων αξιοποίησης.

8. Ειδικότερα θα εξεταστούν οι μεθοδολογίες ανάλυσης κόστους – οφέλους (cost-benefit analysis) τόσο από χρηματοοικονομική όσο και από κοινωνικοοικονομική άποψη, καθώς και η μεθοδολογία Κόστους – Αποδοτικότητας (Cost Effectiveness Analysis) που χρησιμοποιείται ευρύτατα σε προβλήματα ιεράρχησης έργων στην εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60 στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σημειώνεται ότι η χρήση πολλών κριτηρίων οδηγεί στην ανάγκη πολυκριτηριακής προσέγγισης με αβεβαιότητα που προέρχεται από παράγοντες και ομάδες ενδιαφερομένων που επηρεάζουν τη συγκριτική αξιολόγηση. Ιδιαίτερη βαρύτητα θα δοθεί στον περιορισμό της αβεβαιότητας στη συγκριτική αξιολόγηση με χρήση γνωστών μεθόδων (π.χ. ανάλυση ευαισθησίας των λύσεων κ.α.).
9. Υπολογισμός του χρηματοοικονομικού κόστους καθώς και του λειτουργικού κόστους της κάθε προτεινόμενης πρότασης/τεχνικού έργου/συνδυασμού έργων αξιοποίησης των νερών των πηγών. Θα γίνει αναγωγή των προαναφερομένων σε κόστος ανά κυβικό μέτρο νερού.
10. Πραγματοποίηση ιεράρχησης των προτεινόμενων λύσεων/έργων με επεξήγηση και αναφορά στη μεθοδολογία ιεράρχησης.
11. Συγγραφή του προσχεδίου για τη διαβούλευση της 2^{ης} φάσης.

Φάση 2 - Δημόσια διαβούλευση προσχεδίου

1. Θα γίνει ανάρτηση του προσχεδίου στην ιστοσελίδα της Δ/σης Υδάτων της Α.Δ. Κρήτης για δημόσια διαβούλευση.
2. Κοινό και ενδιαφερόμενοι φορείς θα κληθούν να υποβάλουν γραπτώς εντός 4 μηνών τα σχόλια και τις παρατηρήσεις τους επί των κειμένων του προσχεδίου.

Φάση 3-Ολοκλήρωση του σχεδίου

1. Αξιολόγηση όλων των προτάσεων που θα κατατεθούν στη δημόσια διαβούλευση (Φάση 2) και συμπερίληψη των απόψεων-προτάσεων αυτών στο τελικό σχέδιο.
2. Αξιολόγηση των απόψεων-προτάσεων αυτών σε ειδικό κεφάλαιο του σχεδίου με αναφορά σε κάθε πρόταση με την ένδειξη "θετική" όταν είναι σύμφωνη με τα οριζόμενα στο προσχέδιο ή "αρνητική" όταν είναι διαφορετική.
3. Στην περίπτωση που κατατεθούν "αρνητικές" προτάσεις (αντίθετες απόψεις/προτάσεις) από αυτές που προτείνονται στο προσχέδιο η μελετητική ομάδα θα τεκμηριώσει είτε την "αρνητική" αξιολόγησή της ή την ανάλογη τροποποίηση του προσχεδίου.
4. Οριστικοποίηση του σχεδίου με ιεράρχηση έργων για κάθε πηγή και υποβολή των τεχνικών στοιχείων του φάκελου που θα χρησιμοποιηθούν μελλοντικά

και εκτός της παρούσας πράξης, για την εκπόνηση (ή την επικαιροποίηση) των απαιτούμενων μελετών ή τη σύνταξη των τευχών δημοπράτησης των προτεινόμενων έργων.

2. Δυσκολίες και Εμπόδια στην εκπόνηση της μελέτης

Πρόκειται προφανώς για ένα ιδιαίτερα δύσκολο και πολύ σημαντικό αντικείμενο που καλείται να μελετήσει ο ανάδοχος με μεγάλο αντίκτυπο στην οικονομία και στην κοινωνία της Κρήτης.

Το θέμα των υφάλμυρων πηγών στην Κρήτη είναι επίσης θέμα πρώτης προτεραιότητας λόγω της στενότητας των διαθέσιμων, κατάλληλων για χρήση, υδατικών πόρων του νησιού. Η σημαντικότητα του θέματος είναι τόσο μεγάλη λόγω της μη χρησιμοποίησης ενός εν δυνάμει μεγάλου υδατικού πόρου. Σημειώνεται ότι ο Αλμυρός Ηρακλείου και ο Αλμυρός Αγίου Νικολάου εκφορτίζουν περισσότερο από το 50% της συνολικής ζήτησης νερού στο νησί για όλες τις χρήσεις.

Ως προς τις δυσκολίες στην εκπόνηση της μελέτης πρέπει να επισημανθεί ότι τα ζητούμενα (αναλύσεις και παραδοτέα) δεν αντιστοιχούν στο ύψος της προβλεπόμενης δαπάνης του έργου και πολύ περισσότερο βέβαια στο ύψος δαπάνης που προέκυψε από τη διαγωνιστική διαδικασία, η οποία στηρίχθηκε μόνο στην έκπτωση που δόθηκε από τα μελετητικά γραφεία και όχι στην ποιοτική αξιολόγηση των προτάσεων των μελετητικών γραφείων. Το γεγονός αυτό αποτελεί εμπόδιο στην πραγματοποίηση πρωτογενών αναλύσεων (ίσως και καταγραφής στοιχείων) και στον περιορισμό της μελέτης σε δευτερογενή ανάλυση υπαρχόντων στοιχείων και μελετών.

Παρά το γεγονός αυτό οι μελετητές καταβάλλουν τη μέγιστη δυνατή προσπάθεια να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του έργου με αναλύσεις και αξιολογήσεις όλων των διαθέσιμων στοιχείων και μελετών και στην εκπόνηση μικρών συμπληρωματικών πρωτογενών μελετών και στατιστικών αναλύσεων που κρίνονται απαραίτητες για τη μελέτη του έργου.

Είναι σημαντικό ότι υπάρχουν πολλές ερευνητικές εργασίες αλλά και μελέτες κυρίως για τον Αλμυρό Ηρακλείου (και δευτερευόντως για τον Αλμυρό Αγ. Νικολάου), που δίνουν στοιχεία του μηχανισμού λειτουργίας των υφάλμυρων αυτών πηγών. Όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις αυτές οι αναλύσεις είναι ποιοτικές (και όχι ποσοτικές), με αποτέλεσμα να είναι μεν χρήσιμες για την κατανόηση του φυσικού φαινομένου αλλά όχι απόλυτα αξιοποιήσιμες στην περίπτωση του καθορισμού των μεγεθών σχεδιασμού των αντίστοιχων υδραυλικών, υδρογεωλογικών και εγγειοβελτιωτικών έργων.

Ιδιαίτερα αρνητικό στοιχείο στην αξιοποίηση υπαρχόντων προτάσεων αξιοποίησης των υφάλμυρων νερών των πηγών που μελετώνται είναι η παρουσίαση των προτάσεων ως «ιδεών» ή με γενικές περιγραφές που στερούνται της ελάχιστης

τεχνικής τεκμηρίωσης. Είναι προφανές ότι για να γίνει μια εμπεριστατωμένη τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων/προτάσεων θα πρέπει αυτές οι λύσεις να περιγράφονται λεπτομερώς με όλα τα τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά (ακόμα και κοινωνικά) στοιχεία που τις χαρακτηρίζουν. Επιπρόσθετα, το επίπεδο των πληροφοριών πρέπει να είναι ισόρροπης ακρίβειας και εμβάθυνσης ώστε η σύγκριση μεταξύ των λύσεων να είναι επιστημονικά ορθή και δίκαιη για κάθε λύση.

Άποψη των μελετητών είναι ότι οι προτάσεις/λύσεις πρέπει να περιγράφονται επακριβώς χωρίς εναλλακτικά σενάρια και παραλλαγές μεγεθών. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται σε κάθε λύση να υπάρχει μια μελέτη σε επίπεδο τουλάχιστον προμελέτης με τους όρους εκπόνησης των τεχνικών μελετών. Ενδεχομένως, αν η προμελέτη προβλέπει κατασκευή έργων να απαιτείται επίσης και μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την απόκτηση της πλήρους εικόνας.

Με βάση τα παραπάνω, οι μελετητές θα προχωρήσουν στον καλύτερο δυνατό προσδιορισμό των λύσεων/προτάσεων για κάθε υφάλμυρη πηγή και θα σημειώσουν επιπρόσθετες απαιτήσεις (όπου αυτό απαιτείται), ώστε οι λύσεις αυτές να είναι τεχνικά προσδιορισμένες και μονοσήμαντες και να μπορούν να αξιολογηθούν με άρτια επιστημονική, οικονομοτεχνική και πολυκριτηριακή προσέγγιση.

3. Πολυκριτηριακή ανάλυση

Για τη λήψη των αποφάσεων σήμερα απαιτείται η συμμετοχή πολλών παραγόντων που από διαφορετικές πλευρές εξετάζουν κάθε λύση που είναι εφικτή. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από τη διαφορετική οπτική, τα διαφορετικά ενδιαφέροντα και συμφέροντα των ομάδων που εκπροσωπούνται, τα διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα καθώς και κυρίως τα πολλά και αρκετές φορές αντίρροπα μεταξύ τους κριτήρια.

Συνεπώς, από το μοναδικό κριτή (ειδικό) και το μοναδικό κριτήριο (π.χ. κόστος) καταλήγουμε σε ένα μεγάλο αριθμό κριτών και ένα σημαντικό αριθμό κριτηρίων.

Για την ορθή εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης και την επιλογή της πιο πρόσφορης λύσης πρέπει εξ αρχής να ορισθούν τα ακόλουθα:

- i. Μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης
- ii. Τα κριτήρια αξιολόγησης
- iii. Οι κριτές

Στη σύντομη αυτή έκθεση παρουσιάζεται συνοπτικά η πρόταση της μελετητικής ομάδας για τα τρία παραπάνω θέματα. Ιδιαίτερη έμφαση σε αυτή τη φάση δίνεται στην επιλογή της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί.

Κατά το παρελθόν έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης, εκ των οποίων οι πιο γνωστές κατηγορίες είναι:

A) Μέθοδοι με βάρη (*weighting methods*)

Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος (Weighted Sum Method – WSM), καθώς και η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process – AHP).

B) Οι μέθοδοι *Outranking*

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι μέθοδοι των οικογενειών ELECTRE και PROMETHEE.

Γ) Οι μέθοδοι εναλλακτικών συγκρίσεων (*Alternative comparison methods*)

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι μέθοδοι TOPSIS και LINMAP.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι με τις διάφορες εκδοχές τους έχουν χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα αποφάσεων που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους και το περιβάλλον.

Για την περίπτωση των Υφάλμυρων νερών του Αλμυρού Ηρακλείου, Αλμυρού Αγ. Νικολάου και Μαλαύρας προτείνονται οι πολυκριτηριακές μέθοδοι με βάρη για τους ακόλουθους λόγους:

- Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε αντίστοιχα προβλήματα αξιοποίησης των υδατικών πόρων
- Είναι απλές και κατανοητές
- Λειτουργούν με πλήρη διαφάνεια
- Είναι εύκολη η συμμετοχή των κριτών που δεν διαθέτουν ειδικές γνώσεις
- Παράγουν αποτελέσματα που ελέγχονται για τη σταθερότητα τους με τη προϋπόθεση ότι συνοδεύονται από μελέτες ανάλυσης αβεβαιότητας

4. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης (Multi-criteria Analysis – MCA) που προτείνεται είναι αυτή του Σταθμισμένου Αθροίσματος (Weighted Sum Method – WSM or Simple Additive Weighting – SAW) που είναι μια γραμμική αθροιστική μέθοδος που προτάθηκε από τους Hwang & Yoon το 1981¹ και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών.

¹ CL Hwang, K. Yoon, (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin

Εναλλακτικά, προτείνεται η μεθοδολογία της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process – AHP) που προτάθηκε από τον Saaty το 1980². Η μέθοδος αυτή όπως και πολλές άλλες πολυκριτηριακές μέθοδοι παρουσιάζονται σε εξειδικευμένα εγχειρίδια³ αλλά και πολλά επιστημονικά άρθρα.

Οι μέθοδοι που προτείνονται υπερέχουν στην απλότητα εφαρμογής, στην κατανόηση της διαδικασίας υπολογισμού, στη συμμετοχή πολλών ενδιαφερόμενων και στη συμβολή της στη διαφάνεια λήψης αποφάσεων.

Ακολούθως παρουσιάζεται συνοπτικά η μέθοδος του Σταθμισμένου Αθροίσματος.

Σύμφωνα με τη μέθοδο για την ιεράρχηση των λύσεων υπολογίζεται η βαθμολογία κάθε λύσης σύμφωνα με την εξίσωση:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^M W_j \cdot g_j(A_i) \quad (1)$$

όπου $V(A_i)$ η τελική βαθμολογία της λύσης A_i με $i = 1(1)N$

N ο αριθμός των λύσεων

W_j το βάρος (βαρύτητα) του κριτηρίου j που δείχνει τη σπουδαιότητα του με $j = 1(1)M$

M ο αριθμός των κριτηρίων

$g_j(A_i)$ η βαθμολογία της λύσης A_i σε σχέση με το κριτήριο j

Σημειώνεται ότι όλα τα κριτήρια g_j πρέπει να οδηγούν στην ίδια κατεύθυνση αποδοχής των λύσεων και οι κλίμακες να είναι ανηγμένες από το 0 μέχρι το 1.

Το βάρος κάθε κριτηρίου (weight) εκτιμάται με συμμετοχή ειδικών και παίρνει ανηγμένες τιμές (normalized) ώστε το σύνολο των βαρών να αθροίζεται στη μονάδα.

Συνεπώς, το πρόβλημα μπορεί να παρασταθεί με ένα δισδιάστατο πίνακα $N \times M$ στον οποίο κάθε στοιχείο e_{ij} δείχνει τη βαθμολογία (score) της λύσης A_i σε σχέση με το κριτήριο g_j

²Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process* McGraw-Hill. New York, 324.

³ Pomerol, J. C., & Barba-Romero, S. (2012). *Multicriterion decision in management: principles and practice* (Vol. 25). Springer Science & Business Media.

Πίνακας 1 Ο πίνακας βαθμολογίας (decision matrix)

	g_1	g_2	...	g_M	Κριτήρια
	W_1	W_2	...	W_M	Βάρη
Λύσεις					
A_1	e_{11}	e_{12}	...	e_{1M}	
A_2	e_{21}	e_{22}	...	e_{2M}	
...	...	...	...	...	
A_N	e_{N1}	e_{N2}	...	e_{NM}	

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή κάποια από τα κριτήρια μπορούν να διαιρεθούν σε υποκριτήρια με εσωτερική για κάθε κριτήριο βαθμολόγηση.

Όταν το πρόβλημα είναι σε πολλές διαστάσεις (multi-dimensional) με διαφορετικές μονάδες πρέπει πάντα να γίνεται η αναγωγή στην κλίμακα 0 μέχρι 1. Η διαδικασία αναγωγής γίνεται με την υιοθέτηση κατάλληλων Συναρτήσεων Αναγωγής (normalization utility functions) που πρέπει να είναι γνωστές εξαρχής στους συμμετέχοντες στη βαθμολόγηση. Προτείνεται οι βαθμολογήσεις $e_{11}, \dots, e_{NM}$ να έχουν μόνο 2 δεκαδικά ψηφία.

Στην περίπτωση εναλλακτικών λύσεων για τις υφάλμυρες πηγές Αλμυρού Ηρακλείου, Αλμυρού Αγ. Νικολάου και Μαλαύρας, προτείνονται τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Εφικτότητα και διατηρησιμότητα της λύσης
2. Οικονομικό κριτήριο
3. Ενεργειακό κριτήριο
4. Περιβαλλοντικό κριτήριο
5. Κοινωνικό κριτήριο
6. Αναπτυξιακό κριτήριο

Στην απλούστερη περίπτωση τα κριτήρια μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα και οι συναρτήσεις αναγωγής γραμμικές από 0 μέχρι 1. Με περαιτέρω έρευνα όλα αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν για να προσαρμοσθούν καλύτερα στις πραγματικές ανάγκες του προβλήματος της βαθμολόγησης.

Ενδεικτικά, μερικά από τα κριτήρια μπορούν να διαιρεθούν σε υποκριτήρια όπως για παράδειγμα το κριτήριο εφικτότητας και διατηρησιμότητας μπορεί να διαιρεθεί σε υποκριτήριο εφικτότητας και υποκριτήριο διατηρησιμότητας. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα κριτήρια. Σε κάθε περίπτωση οι οποιεσδήποτε υποδιαιρέσεις θα

εξαρτηθούν από τη δυνατότητα ύπαρξης δεδομένων και θα γίνουν με τη σύμφωνη γνώμη της υπηρεσίας.

Εφόσον καθορισθούν τα βάρη και οι συναρτήσεις αναγωγής προκύπτει η τελική βαθμολόγηση με βάση τη βαθμολόγηση από ένα σημαντικό αριθμό ατόμων από τις κατηγορίες, ειδικών μελετητών και επιβλεπόντων του έργου, εκπροσώπων της περιφέρειας, των αγροτικών συνεταιρισμών, των ΔΕΥΑ, των επιμελητηρίων, των πανεπιστημίων, των περιβαλλοντικών οργανώσεων (ΜΚΟ) και άλλων που θα προταθούν για συμμετοχή. Οι βαθμολογητές αναμένεται να υπερβαίνουν τους 20.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει μια συστηματική προσπάθεια για την ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων για να φανεί η σχετική ευαισθησία των προτεινόμενων λύσεων (κατά πόσο δηλαδή οι προτάσεις είναι σταθερές με τις αλλαγές στα βάρη και στις άλλες επιλογές της μεθόδου).

Σημειώνεται ότι για την προετοιμασία της μεθόδου θα πρέπει στο αμέσως επόμενο στάδιο να γίνει η ανάλυση και λεπτομερειακή περιγραφή των κριτηρίων και η παρουσίαση των συναρτήσεων αναγωγής όπου αυτές απαιτούνται.

Ακολούθως ενδεικτικά παρουσιάζονται πίνακες (Πιν. 2, 3, 4) προτεινόμενων βαθμολογητών/κριτών για τις τρεις υπό μελέτη υφάλμυρες πηγές: τον Αλμυρό Ηρακλείου, τον Αλμυρό Αγίου Νικολάου και τη Μαλαύρα. Οι πίνακες αυτοί όπως και τα κριτήρια θα οριστικοποιηθούν το αμέσως επόμενο διάστημα και πριν την διατύπωση των λύσεων αξιοποίησης των πηγών.

Πίνακας 2 Προτεινόμενοι κριτές/ βαθμολογητές για τον Αλμυρό Ηρακλείου

ΠΗΓΗ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΤΕΣ	
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	1
ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ	3
ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ	4
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ (ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ)	3
ΙΓΜΕ	1
ΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΑ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΩΝ (ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ)	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΔΕΥΑ:	
ΔΕΥΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1
ΔΕΥΑ ΜΑΛΕΒΙΖΙΟΥ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΔΗΜΩΝ:	
ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1
ΔΗΜΟΣ ΜΑΛΕΒΙΖΙΟΥ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΩΝ:	
ΤΕΕ	1
ΓΕΩΤΕΕ	1
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ	1
ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΩΝ:	
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	1
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ:	
WWF	1
ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ SOS	1
ΣΥΝΟΛΟ	28

Πίνακας 3 Προτεινόμενοι κριτές/ βαθμολογητές για τον Αλμυρό Αγίου Νικολάου

ΠΗΓΗ ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΤΕΣ	
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	1
ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ	3
ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ	4
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ (ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ)	3
ΙΓΜΕ	1
ΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΑ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΩΝ (ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ)	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΔΕΥΑ:	
ΔΕΥΑ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΔΗΜΟΥ:	
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΩΝ:	
ΤΕΕ	1
ΓΕΩΤΕΕ	1
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ	1
ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΩΝ:	
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	1
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ:	
WWF	1
ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ SOS	1
ΣΥΝΟΛΟ	26

Πίνακας 4 Προτεινόμενοι κριτές/ βαθμολογητές για τις πηγές της Μαλαύρας

ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΤΕΣ	
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	1
ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ	3
ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ	4
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ (ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ)	3
ΙΓΜΕ	1
ΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΑ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΩΝ : ΤΟΕΒ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΔΕΥΑ:	
ΔΕΥΑ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΔΗΜΟΥ:	
ΔΗΜΟΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΩΝ:	
ΤΕΕ	1
ΓΕΩΤΕΕ	1
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ	1
ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ	1
ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΙ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΩΝ:	
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	1
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ	1
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ:	
ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ SOS	1
ΣΥΝΟΛΟ	25

ΤΜΗΜΑ Β: ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

1. Τεχνική Περιγραφή

1.1 Θέση της πηγής

Η καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές υφάλμυρες καρστικές πηγές της χώρας και των Βαλκανίων. Βρίσκεται σε χερσαία περιοχή του δυτικού τμήματος του μοιχού του ομώνυμου κόλπου στη βάση της απόκρημνης ασβεστολιθικής πλαγιάς του ρήγματος του Αλμυρού, 8 km δυτικά της πόλης του Ηρακλείου, σε απόσταση 1.2 km από την ακτή και σε υψόμετρο περίπου 3 m. Εκφορτίζει κατά μέσο όρο 264 εκατ. m³ ετησίως, που αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της υπόγειας υδροφορίας του Ψηλορείτη. Τα νερά της πηγής μετά από διαδρομή περίπου 1840 m μέσω του ποταμού Αλμυρού καταλήγουν στη θάλασσα ενώ το σύστημα πηγής-ποταμού έχει δημιουργήσει τον ομώνυμο υγροβιότοπο με βλάστηση αγριοκαλάμων, ψαθιών και φοινίκων καθώς και πλούσια πανίδα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο μέσο περίπου του ποταμού Αλμυρού έχει κατασκευαστεί ανοιχτός αγωγός που διοχετεύει το μισό περίπου της παροχής προς τις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ.

Στη φωτογραφία που ακολουθεί φαίνεται η θέση της υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού με τον μικρό ταμιευτήρα που σχηματίζει.



Εικόνα 1.1 Η υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου

2. Γεωλογία – Υδρογεωλογία

2.1 Εισαγωγή

Τα πεδία εκμετάλλευσης του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη περιλαμβάνουν αυτά της Κέρης, Τυλίσου, Γωνιανού Φαραγγιού, Λουτρακίου – Κρουσώνα, Αγίου Μυρωνά και Δαφνών. Αποτελούν δε τμήμα του υδροφόρου συστήματος του Ψηλορείτη που εκφορτίζει στην πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου.

Η προς ανατολικά οριοθέτηση του υδροσυστήματος αυτού στο ύψος των Δαφνών από το βύθισμα των Νεογενών και η από βορρά οριοθέτηση από τη Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά κατά μήκος περίπου της γραμμής Παντάνασσα – Μάραθος δημιουργεί ένα χωνοειδές πεδίο υπόγειας ροής που εκφορτίζει στην βορειοανατολική γωνία του συστήματος, στην περιοχή Αλμυρού – εκβολών Γαζανού ποταμού.

2.2 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η γεωλογική δομή της περιοχής μπορεί να περιγραφεί σαν μια διάταξη τεσσάρων διαδοχικά επωημένων τεκτονικών καλυμμάτων, ενώ η όλη αυτή αλληλουχία είναι επωημένη πάνω σε μία παρα-αυτόχθονη Ζώνη και έχει ακολούθως τοπικά καλυφθεί από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η παρα-αυτόχθονη Ζώνη της βάσης ονομάζεται **Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων** ενώ η τεκτονικά υπερκείμενη αυτής αλληλουχία αποτελείται από κάτω προς πάνω, από την **Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά**, την **Ζώνη της Τρίπολης**, την **Ζώνη της Πίνδου** και την **Ζώνη των Οφιολίθων - Οφιολιθικού Melange**. Κάθε μία από τις ενότητες αυτές έχει διακεκριμένη λιθολογική δομή και τεκτονική ιστορία που αντακλά το συγκεκριμένο τεκτονικό περιβάλλον γέννησης της καθώς και την μετέπειτα εξελικτική της πορεία.

Η διαδοχική εφίπνευση των τεκτονικών αυτών καλυμμάτων έγινε από το τέλος του Ηώκαινου έως την αρχή του Μειόκαινου λόγω της από Β προς Ν συμπίεσης. Η τεκτονική αυτή διεργασία προκάλεσε έντονη πτυχωσιγενή παραμόρφωση και κατακερματισμό λόγω των α-β και α-γ διακλάσεων των πτυχώσεων. Κατά το μέσον όμως του Μειόκαινου στην περιοχή εφαρμόστηκε ένα εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς με διεύθυνση Β-Ν που ισχύει μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως Β-Ν και Α-Δ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων -horsts- και βυθισμάτων -grabens- με μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις. Στα τεκτονικά βυθίσματα που δημιουργήθηκαν αποτέθηκαν ακολούθως **Νεογενή** και **Τεταρτογενή** ιζήματα όπως μάργες, άργιλλοι, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, εβαπορίτες, άμμοι και κροκαλοπαγή.

Ενα τέτοιο τεκτονικό Νεογενές βύθισμα αποτελεί το ανατολικό πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης που οριοθετείται από τους προνεογενείς σχηματισμούς του δυτικού ορεινού τμήματος από μία ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης Β-Ν. Η γεωλογική δομή της περιοχής απεικονίζεται στα Σχήματα 2.1 και 2.2.

Οι κυριότεροι **Τεταρτογενείς** σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης απαρτίζονται από χαλαρά αργιλλοαμμώδη ιζήματα με κροκαλολατύπες, Ολοκαινικής ηλικίας, πάχους έως 60-70 μ καθώς και πλευρικά κορήματα από ανθρακικούς Μεσοζωϊκούς σχηματισμούς.

Οι **Νεογενείς** αποθέσεις της λεκάνης φασικά και στρωματογραφικά διακρίνονται στους παρακάτω σχηματισμούς :

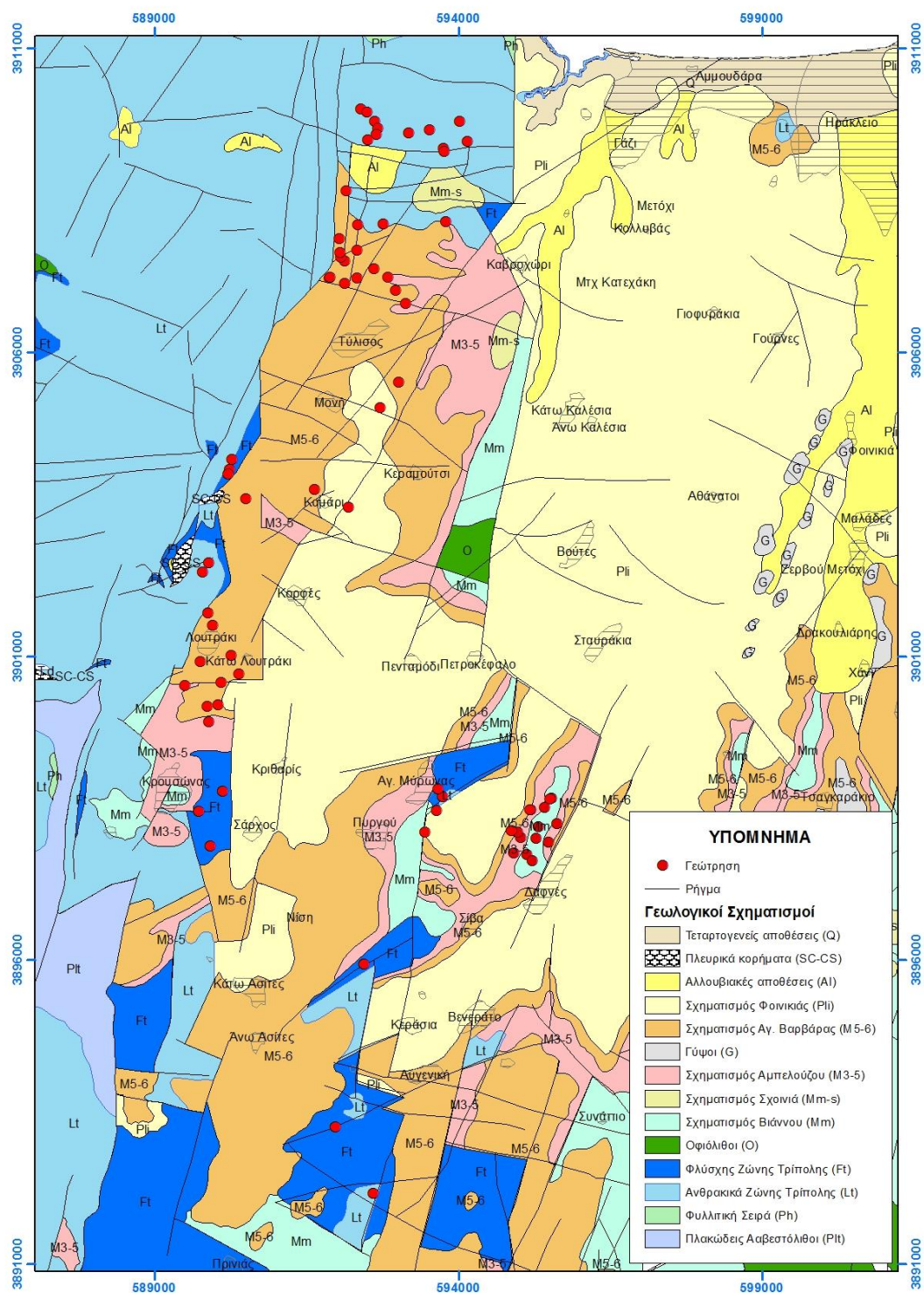
- Κατωτερο-Πλειοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από μάργες. (Σχηματισμός Φοινικιάς).
- Ανωτερο-Μειοκαινικοί, Ανωτερο-Τορτόνιοι, Μεσσήνιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους, με παρεμβολές γύψων (Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας).
- Τορτόνιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από εναλλαγές ψαμμιτών, ιλυολίθων, μαργών, αργίλλων και λιγνιτών (Σχηματισμός Αμπελούζου).
- Ανώτερο-Σερραβάλιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από ενδιαστρώσεις αργίλλων και ψαμμιτών (Σχηματισμός Σχοινιά).
- Μεσο-Μειοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από αργίλλους με ενδιαστρώσεις ασβεστολίθων και ψαμμιτών (Σχηματισμός Βιάννου).

Οπως συνάγεται από τομές γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή το συνολικό πάχος των σχηματισμών αυτών δύναται τοπικά να υπερβαίνει τα 300 m.

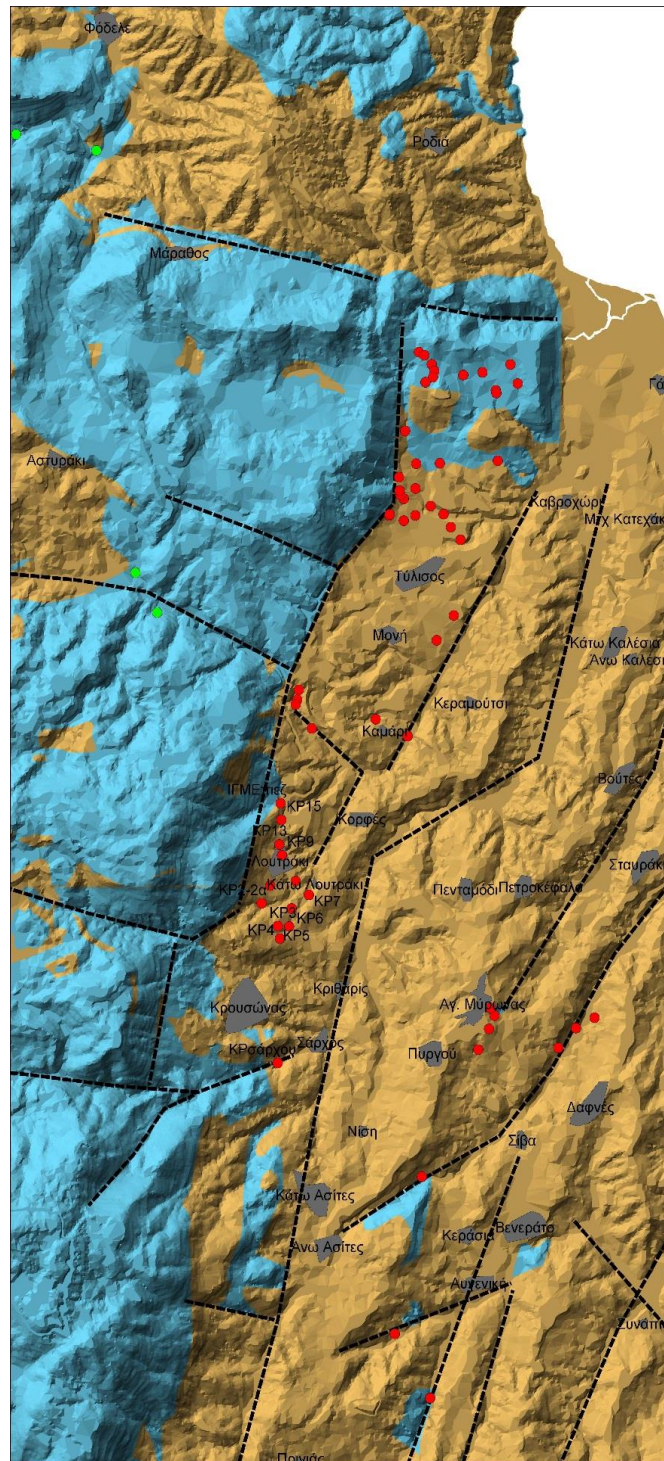
Η λιθολογική δομή των **προνεογενών τεκτονικών καλυμμάτων** του δυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης καθώς και της παρα-αυτόχθονης σειράς της βάσης περιγράφονται παρακάτω κατά αύξουσα ψευδοστρωματογραφική σειρά.

Η **Ενότητα Οφιολίθων-Οφιολιθικού Melange** εμφανίζεται στην περιοχή Γωνιών Αστυρακίου και είναι ένα πολυγενετικό σύμπλεγμα που αποτελείται απο περιδοτίτες-σερπεντινίτες συνδεδεμένους με διαβάσεις, βασάλτες και γρανιτοειδή Ανω-Ιουραϊκής ηλικίας και που υπέρκειται ενός melange από ηφαιστίτες, γρανιτοειδή, μάρμαρα, ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, γνεύσιους, αμφιβολίτες και ψαμμίτες Ανω-Ιουραϊκής έως Κρητιδικής ηλικίας. Η ενότητα έχει υποστεί μία φάση παραμόρφωσης με άξονες πτυχώσεων Α-Δ και τουλάχιστον μία προηγούμενη φάση με άξονες Β-Ν.

Η **Ενότητα της Πίνδου** απαντάται σε μια περιορισμένη εμφάνιση παρά τον οικισμό Γωνιές και αποτελείται απο Ανω-Τριαδικά κλαστικά ιζήματα, Ανω-Τριαδικούς πελαγικούς ασβεστόλιθους ενδιαστρωμένους με ιλυολίθους και ραδιολαρίτες που εξελίσσονται σε μία διαδοχή Ιουραϊκών έως Κατωτερο-Κρητιδικών στρωματωδών ασβεστολίθων, πυριτολίθων και ραδιολαριτών με ορίζοντες ωολιθικών ασβεστολίθων και ασβεστολιθικών μικροκροκαλοπαγών. Τη σειρά αυτή διαδέχεται ο "πρώτος φλύσχος της Πίνδου" Ανω Κρητιδικής ηλικίας, που απαρτίζεται από ψαμμίτες, ασβεστο-αρενίτες και ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Έχει ομοίως υποστεί τις δύο κύριες δύο φάσεις παραμόρφωσης.



ΣΧΗΜΑ 2.1 Γεωλογικός χάρτης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη.



ΣΧΗΜΑ 2.2 Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη βασισμένος σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους από ισοϋψείς ισοδιάστασης 20m. Με μπλέ χρώμα συμβολίζονται τα ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης και των Πλακωδών Ασβεστολιθών και με καφέ οι ανυδροφόροι σχηματισμοί των Νεογενών αποθέσεων και της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς, ενώ είναι εμφανής και η ρηξιγενής τεκτονική της περιοχής. Με κόκκινους κύκλους συμβολίζονται οι γεωτρήσεις.

Η **Ζώνη της Τρίπολης** κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης και εμφανίζεται στο κεντρικό, νότιο και ανατολικό τμήμα του Δήμου και αντιπροσωπεύεται από όλα σχεδόν τα μέλη της στρωματογραφικής ακολουθίας δηλαδή από άστρωτους έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και στρωματολιθικούς δολομίτες Μέσο-Ανω-Τριαδικής έως Μέσο-Ηωκαινικής ηλικίας. Οι λιθότυποι του σχηματισμού κυμαίνονται από καθαρούς ασβεστόλιθους έως καθαρούς δολομίτες και χωρίζονται μέσω μιάς διαβρωσιγενούς ασυνέχειας από φλύσχη Ανω-Ηωκαινικής έως Κατωτερο-Ολιγοκαινικής ηλικίας που απαρτίζεται από μάργες, ιλυολίθους, ψαμμίτες και ανθρακικά κροκαλοπαγή - λατυποπαγή. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται από μια κλαστική σειρά Τριαδικής ηλικίας από σχιστόλιθους, μεταπηλίτες και μεταψαμμίτες. Η Ζώνη έχει υποστεί δύο φάσεις παραμόρφωσης, η πρώτη με άξονες πτυχώσεων Β-Ν και η δεύτερη με άξονες Α-Δ. Προς βορρά ο σχηματισμός οριθεύεται ρηξιγενώς από τους στρωματολιθικούς δολομίτες της Ενότητας των Πλακωδών Ασβεστολίθων καθώς και τους στρωματογραφικά υπερκείμενους σχηματισμούς της Φυλλιτικής -Χαλαζιτικής Σειράς. Τα ανθρακικά μέλη ζώνης αυτής είναι κατακερματισμένα με τοπικά έντονη καρστικοποίηση όπου το καρστ είναι πληρωμένο με ερυθρή άργιλλο, γεγονός που επιδρά στην περατότητα τους.

Η **Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά** που καταλαμβάνει το βόρειο ανατολικό όριο της περιοχής μελέτης, είναι ένα πολυγενετικό melange που αποτελείται από ένα συνοθύλευμα διαφορετικών λιθοτύπων Περμο-Τριαδικής ηλικίας με διαφορετικές μεταμορφικές-παραμορφωτικές ιστορίες. Κυρίως, απαρτίζεται από φυλλίτες, και χαλαζίτες αλλά περιλαμβάνει φακοειδή διαφόρων μεγεθών από ασβεστόλιθους, μάρμαρα, χαλαζίτες η αμφιβολίτες-μεταβασάλτες.. Η Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά έχει απαντηθεί να υπόκειται της Ζώνης της Τρίπολης μόνον στις στις γεωτρήσεις της περιοχής του Γωνιανού Φαραγγιού όπου το πάχος κυμαίνεται από 3 έως 45 μέτρα, ενώ η επαφή της με την υποκείμενη Ζώνη των Πλακωδών Ασβεστολίθων στην έξοδο του Γωνιανού Φαραγγιού βρίσκεται στο +40 περίπου απόλυτο υψόμετρο (γεωτρήσεις T19, T22) αλλά ανυψούται κλιμακωτά προς τα δυτικά και στην θέση της γεώτρησης ΓΦ5 βρίσκεται στο +90 ενώ στη μέση περίπου του φαραγγιού βρίσκεται στο +140 (γεώτρηση AL-D3).

Η **Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων** εμφανίζεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης αλλά αποτελεί και το υπόβαθρο των προ-Νεογενών σχηματισμών. Αποτελείται από Ηωκαινικούς και Κρητιδικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους με κονδύλους η ενδιαστρώσεις που μεταπίπτουν προς τα πάνω σε διαβαθμισμένους ασβεστο-φυλλίτες. Απαρτίζουν δε το βόρειο σκέλος αντικλίνου με γενικές κλίσεις στρωμάτων 20°-35° προς βορρά. Μέλη της Ζώνης εντός των ορίων του Ανατολικού τομέα Ψηλορείτη απαντώνται επίσης στις γεωτρήσεις της περιοχής του Γωνιανού Φαραγγιού να υπόκεινται εμφανίσεων της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς μικρού πάχους. Οι ασβεστόλιθοι στις γεωτρήσεις αυτές παρουσιάζουν έντονη καρστικοποίηση και πλήρωση του καρστ με ερυθρή άργιλλο, γεγονός που επιδρά στην περατότητα τους.

2.3 Τεκτονική

Αναφορικά με την προνεογενή τεκτονική των σχηματισμών όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων έχει υποστεί μία φάση μεσοσκοπικής κυρίως τεκτονικής παραμόρφωσης, με άξονες πτυχώσεων Α-Δ. Η Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά και η Ζώνη της Τρίπολης έχουν υποστεί μεσοσκοπική έως μεγασκοπική παραμόρφωση με άξονες πτυχώσεων Α-Δ και τουλάχιστον μία προηγούμενη μεσοσκοπική φάση με άξονες Β-Ν. Η τελευταία φάση παραμόρφωσης είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής εφίπνευσης των τεκτονικών αυτών καλυμμάτων που έγινε από το τέλος του Ηώκαινου έως την αρχή του Μειόκαινου λόγω της από Β προς Ν συμπίεσης. Κατά το μέσον όμως του Μειόκαινου στην περιοχή εφαρμόστηκε ένα εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς με διεύθυνση Β-Ν που ισχύει μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία της μεγάλης ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων -horsts- και βυθισμάτων -grabens- με σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις. Ενα ένα τέτοιο σύμπλοκο τεκτονικό Νεογενές βύθισμα είναι το ανατολικό πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης (Σχήμα 2.2) που οριοθετείται από τους προνεογενείς σχηματισμούς από την μεγάλη ρηξιγενή ζώνη Β-Ν Αλμυρού – Ασιτών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ρηξιγενής αυτή ζώνη είναι μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) με βύθιση που προοδευτικά αυξάνει προς τα ανατολικά. Χαρακτηριστική είναι η επίδραση της τεκτονικής αυτής στην περιοχή του Γωνιανού Φαραγγιού όπου βόρεια του ομώνυμου ρήγματος οι σχηματισμοί της Ζώνης της Τρίπολης έχουν βυθιστεί σε σχέση με το νότια του ρήγματος ρηξιτέμαχος με αποτέλεσμα την παρουσία στο ρηξιτέμαχος αυτό της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς και της Ζώνης των Πλακωδών Ασβεστολίθων σε μικρά σχετικά βάθη ενώ η επαφή των Ζωνών αυτών βυθίζεται κλιμακωτά προς ανατολικά (από το +140 απόλυτο υψόμετρο στη μέση περίπου του φαλαγγιού, ως το +40 περίπου στην έξοδο του).

Καρστικοποίηση των ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης Η τεκτονική αυτή διεργασία προκάλεσε στους ασβεστόλιθους της Ζώνης της Τρίπολης αλλά και των Πλακωδών Ασβεστολίθων έντονη πτυχωσιγενή παραμόρφωση και κατακερματισμό λόγω των α-β και α-γ διακλάσεων των πτυχώσεων που εντάθηκε με τη ρηξιγενή τεκτονική του Νεογενούς. Οι θραυσιγενείς επιφάνειες που κυρίως είναι μεγάλης κλίσης ή κατακόρυφες, ελέγχουν την καρστικοποίηση των σχηματισμών. Η ταπείνωση της στάθμης της θάλασσας κατά 400 m περίπου από το Ανώτερο Μειόκαινο σε συνδυασμό με την ανάδυση (uplift) του συμπλέγματος ήδη είχαν σαν αποτέλεσμα την καρστικοποίηση των σχηματισμών σε μεγάλο βάθος. Η πυκνότητα των καρστικών φαινομένων είναι μεγάλη με κατακόρυφη κυρίως ανάπτυξη ενώ οι οριζόντιοι αγωγοί είναι σπάνιοι και συνδέονται με την εκάστοτε παλαιοστάθμη της θάλασσας. Συνήθως σε βάθη μεγαλύτερα των 100m από την επιφάνεια, το κάρστ είναι πληρωμένο με ερυθρή άργιλλο γεγονός που δυσχεραίνει την κυκλοφορία του νερού. Τοπικά η καρστικοποίηση είναι πολύ μεγάλης κλίμακας με αποτέλεσμα την δημιουργία σπηλαίων όπως αυτά των Γωνιών και του Αστυρακίου και τις καταβόθρες της Δαμάστας και Μαράθου, που χαρακτηρίζονται από μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη.

2.4. Υδρογεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η κύρια υδροφορία της περιοχής αναπτύσσεται στα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης και των υποκείμενων Πλακωδών ασβεστολίθων (Plattenkalk) που αποτελεί τμήμα του υδροφόρου συστήματος του Ψηλορείτη που εκφορτίζει στην πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου.

Στις ανατολικές υπώρειες του Ψηλορείτη η Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά απουσιάζει ή έχει περιορισμένη έκταση και πάχος με αποτέλεσμα την υδραυλική επικοινωνία των ανθρακικών πετρωμάτων της ζώνης Τρίπολης με τα υποκείμενα ανθρακικά της Ζώνης των Πλακωδών ασβεστολίθων. Η δομή των Πλακωδών ασβεστολίθων (Plattenkalk), οι οποίοι εμφανίζονται νότια και δυτικά του Λουτρακίου και βυθίζονται κλιμακωτά προς τα βόρεια, λόγω της ύπαρξης των μεγάλων ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ., συμβάλλει στην κίνηση των υπόγειων καρστικών νερών σε μεγάλα βάθη προς τα βόρειο – ανατολικά. Γεωφυσικά (σεισμικά) δεδομένα από την περιοχή Προφήτη Ηλία και γεωτρητικά δεδομένα από την περιοχή Δαφνών (γεωτρήσεις Αγίου Αντωνίου και Δ2, Δ3, Δ4) συνιστούν ότι το ανατολικό ρηξιγενές όριο της υδρογεωλογικής λεκάνης του Ψηλορείτη βρίσκεται στο ύψος των Δαφνών λόγω βύθισης του ρηξιτεμάχους ανατολικά των Δαφνών σε πολύ μεγάλα βάθη. Η μεγάλη λοιπόν ρηξιγενής ζώνη των Δαφνών διεύθυνσης Β-Ν οριοθετεί το πεδίο ροής από ανατολικά και κατευθύνει τα υπόγεια νερά του Ψηλορείτη προς την πηγή του Αλμυρού.

Σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογική δομή της περιοχής αναμένεται να διαδραματίζουν τα μετα-Μειοκαινικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ και Β-Ν που οριοθετούν τα blockfaults, καθώς ανάλογα με την γεωμετρία και την κινητική τους ιστορία δύνανται διευκολύνουν την κίνηση του υπόγειου νερού προς το σημείο εκφόρτισης του αλλά και τοπικά να τη δυσχεραίνουν όπως π.χ. στην περίπτωση του ρήγματος του Γωνιανού Φαραγγιού. Πρέπει να σημειωθεί ότι η σημασία των ρηγμάτων στον έλεγχο των υδροφοριών⁴⁵⁶ είναι καταλυτική σε περιοχές με πολύπλοκη και πολυφασική τεκτονική εξέλιξη όπως η Κρήτη αλλά δυστυχώς ο ρόλος τους αυτός δεν έχει λάβει τη δέουσα προσοχή. Τα ρήγματα δυνατόν να ενεργούν σαν «αγωγοί» ροής υψηλής περατότητας ή σαν χαμηλής περατότητας «φραγμοί» της υπόγειας ροής επιδρώντας σημαντικά στην κατανομή των υδραυλικών φορτίων σε ένα ρηξιγενή υδροφορέα. Οι παράγοντες που καθορίζουν την επίδραση των ρηγμάτων στην υπόγεια ροή περιλαμβάνουν: α) κατάκλαση του υλικού εντός του ρήγματος, β) προσανατολισμό των επιμήκων κλασμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα

⁴ Haneberg, W.C., 1995, Steady-state groundwater flow across idealized faults: *Water Resources Research*, v. 31, p. 1815-1820.

⁵ Caine, J.S., J.P. Evans, and C.B. Forster, 1996, Fault zone architecture and permeability structure: *Geology*, v. 24, p. 1025-1028.

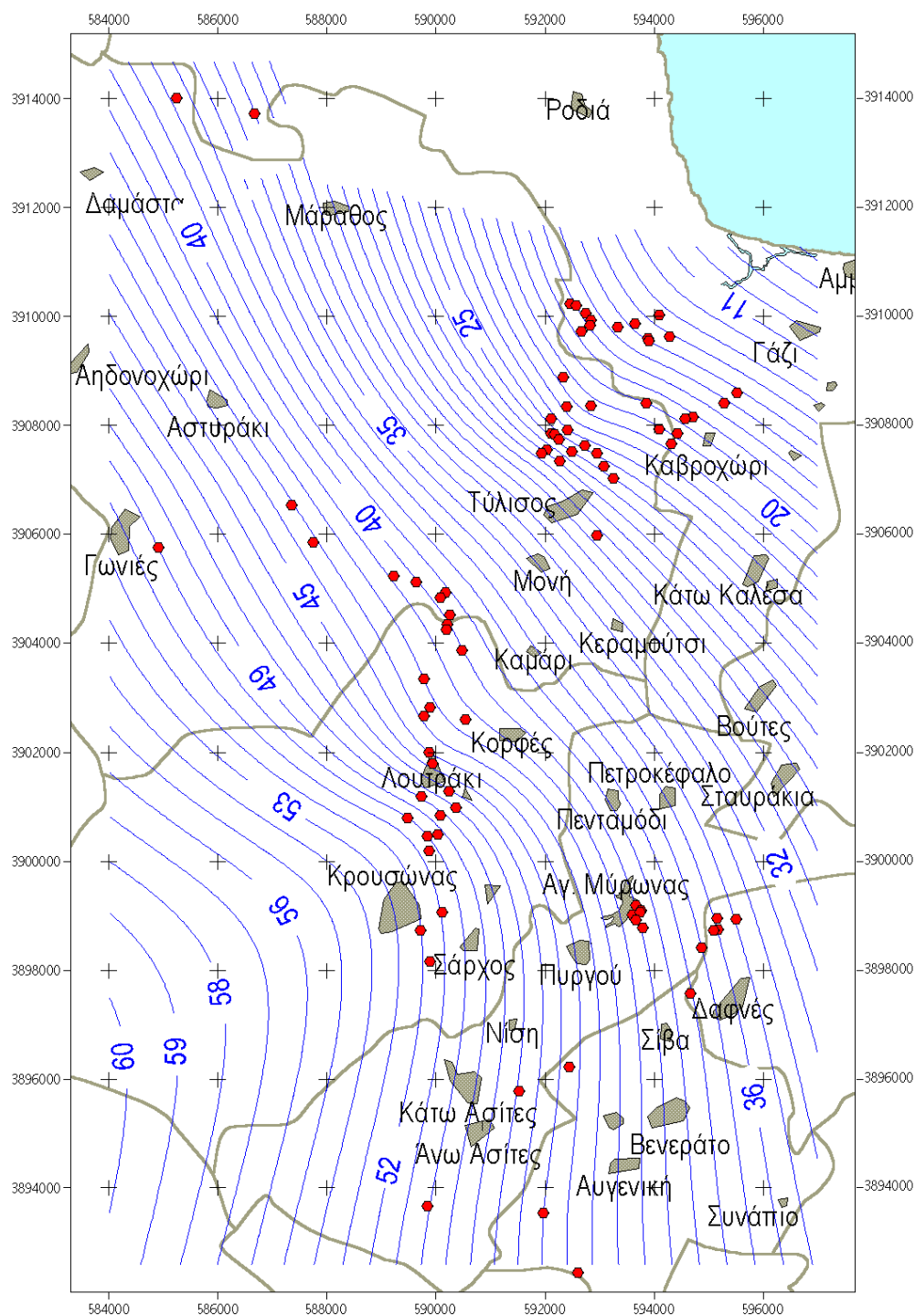
⁶ Sigda, J.M., 1995, Examining the impacts of faults on aquifer flow systems: Implications for regional groundwater flow modeling, in *The Water Future of Albuquerque and the Middle Rio Grande Basin*, Proc. 39th Annual New Mexico Water Conference, November 3-4, 1994, Albuquerque, NM: Las Cruces, New Mexico Water Resources Research Institute Report No. 290, p. 237-244.

τη μείωση της περατότητας κάθετα προς το ρήγμα και αύξηση παράλληλα προς αυτό, γ) αντιπαράθεση υδροφόρων σχηματισμών με διαφορετικές περατότητες και δ) συγκόλληση του κατακλαστικού υλικού του ρήγματος ή απόθεση δευτερογενών ορυκτών (όπως πχ αργιλλικά κλπ). Η δομή των ρηγμάτων είναι καθοριστική για την επιρροή τους στην υπόγεια ροή² και όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν μπορεί να προξενήσουν πτώση (άλμα) υδραυλικού φορτίου μεγαλύτερου των 100 m¹.

Η γενικευμένη δομή του πεδίου ροής του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη αναπαρίσταται στο Σχήμα 2.3 που συντάχθηκε από στατιστική παρεμβολή των υδραυλικών φορτίων των παρακάτω γεωτρήσεων από τα πεδία Κέρης, Τυλίσσου, Γωνιανού Φαραγγιού, Λουτρακίου, Κρουσώνα, Αγίου Μύρωνα, Δαφνών, Αυγενικής, Δαμάστας και Μαράθου για ένα υγρό έτος και σε συνθήκες προ εκμετάλλευσης των αντίστοιχων πεδίων. Η ΝΔ – ΒΑ διεύθυνση υπόγειας ροής με κατάληξη την περιοχή του Αλμυρού είναι προφανής. Στο νότιο τμήμα της περιοχής η διεύθυνση ροής είναι Δ-Α.

Η προς ανατολικά οριοθέτηση του υδροσυστήματος αυτού στο ύψος των Δαφνών από το βύθισμα των Νεογενών και η από βορρά οριοθέτηση από τη Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά κατά μήκος περίπου της γραμμής Παντάνασσα – Μάραθος δημιουργεί ένα χωνοειδές πεδίο υπόγειας ροής που εκφορτίζει στην βορειοανατολική γωνία του συστήματος, στην περιοχή Αλμυρού – εκβολών Γαζανού ποταμού.

α/α	ΚΩΔ	X	Y	ΥΔΡ. ΦΟΡΤΙΟ (m)
1	ΣΥΝΔ	592150	3908658	21
2	K1	592621	3909794	17
3	T13	592126	3907125	27
4	Δ4	594867	3898130	37
5	ΑΥΓ2	591968	3893250	45
6	ΔΕ4	593667	3898813	40
7	KP15	589728	3898443	52
8	KP2	589485	3900513	50
9	KP7	590375	3900684	47
10	KP13	589880	3901700	44
11	T19	590239	3904071	40
12	K6	593755	3909348	15
13	T16	592421	3907625	23
14	T23	593862	3908113	19
15	MAP1	586676	3913440	34



ΣΧΗΜΑ 2.3 Γενικευμένη δομή του πεδίου ροής του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη. Οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες προέκυψαν από στατιστική παρεμβολή των υδραυλικών φορτίων γεωτρήσεων στα ανθρακικά των Ζωνών Τρίπολης και Πλακωδών Ασβεστολίθων από τα πεδία Κέρης, Τυλίσσου, Γωνιανού, Φαραγγιού, Λουτρακίου, Κρουσώνας, Αγίου Μύρωνας, Δαφνών, Αυγενικής, Δαμάστας και Μαραθού για ένα υγρό έτος και σε συνθήκες προ εκμετάλλευσης των αντίστοιχων πεδίων. Με γκρί γραμμή συμβολίζονται τα όρια των Δήμων της περιοχής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 Υδραυλικά χαρακτηριστικά ανθρακικών υδροφορέων του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη (Μονόπωλης κα. 1996)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	T		K	
	s'	s-s'	s'	s-s'
<i>ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ</i>				
<i>ΚΕΡΗ</i>				
K7	0.032	0.032	0.00077	0.00077
K8	0.00017	0.00017	0.0000025	0.0000025
	0.0015	0.0014	0.000022	0.000021
K9	0.0022	0.0022	0.000023	0.000023
	0.024	0.019	0.00024	0.00019
ΤΥΛΙΣΣΟΣ				
KT4	0.00005	0.00005	0.00000076	0.00000075
	0.00018	0.00013	0.0000028	0.000002
<i>ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ</i>				
KP1	0.000017	0.000017	0.000000097	0.000000098
	0.0001	0.00011	0.0000061	0.0000063
KP2	0.0012	0.0012	0.00001	0.00001
	0.011	0.0096	0.000088	0.000088
KP2A	0.00026	0.00026	0.0000021	0.0000021
	0.042	0.024	0.00034	0.00019
KP3A	0.0031	0.0031	0.000028	0.000027
	0.023	0.022	0.0002	0.00019
KP3B	0.0043	0.0042	0.000039	0.000038
	0.017	0.016	0.00015	0.00014
KP6	0.00029	0.00028	0.000002	0.0000019
	0.0014	0.0014	0.0000097	0.0000096
KP7	0.000088	0.000087	0.00000044	0.00000044
	0.0026	0.003	0.000013	0.000015
KP8	0.003	0.003	0.000056	0.000056
	0.039	0.042	0.00072	0.00078
KP9	0.0073	0.0077	0.000057	0.000061
	0.76	0.25	0.006	0.002
KP12	0.00014	0.00014	0.00000097	0.00000099
	0.00073	0.00085	0.0000056	0.0000066
KP13	0.0029	0.003	0.000022	0.000022
	0.036	0.035	0.00027	0.00026
KP4	0.00044	0.00061	0.0000063	0.0000088
	0.00023	0.00023	0.0000033	0.0000034
KP5	0.00019	0.00019	0.0000019	0.0000019
	0.0006	0.00074	0.0000058	0.0000072

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες του Σχήματος 2.3 αποτελούν μια γενικευμένη αντιπροσώπευση του πεδίου υπόγειας ροής και δεν περιλαμβάνει τοπικές «ανωμαλίες» οφειλόμενες στην ρηξιγενή τεκτονική της περιοχής. Ως τέτοιες θα αναφερθούν οι υδροστατικές στάθμες των γεωτρήσεων Αγίου Αντωνίου Κάτω Ασιτών και Φανερωμένης Δήμου Τετραχωρίου που βρίσκονται στην ρηξιγενή ζώνη του φαραγγιού του Αγίου Αντωνίου και παρουσιάζουν στάθμες μερικά μέτρα χαμηλότερες από τις αναμενομένες. Αντίστροφο φαινόμενο παρουσιάζεται σε γεωτρήσεις του Γωνιανού Φαραγγιού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες υδραυλικές αγωγιμότητες του υλικού των ρηξιγενών ζωνών λόγω καταπόνησης που προκαλούν άλματα υδραυλικού φορτίου της τάξης μερικών μέτρων. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι οι γεωτρήσεις αυτές έχουν ανορυχθεί σε διαφορετικά υδρολογικά έτη και οι μετρήσεις αρχικής υδροστατικής στάθμης αφορούν διαφορετικές περιόδους του έτους ενώ για τις περισσότερες δεν γίνεται συστηματική μέτρηση στάθμης. Η κατάσταση περαιτέρω περιπλέκεται από το γεγονός ότι η ανόρυξη των γεωτρήσεων της περιοχής έγινε σε διάφορα στάδια εκμετάλλευσης των πεδίων στα οποία ανήκουν. Δεδομένων των παραπάνω η επιλογή γεωτρήσεων και τιμών υδραυλικών φορτίων έγινε για περιόδους μέσης έως υψηλής στάθμης και συνθήκες προ-εκμετάλλευσης.

Ένα συμπέρασμα που αφορά στο βάθος του συστήματος αυτού μπορεί να εξαχθεί από τη δομή του πεδίου ροής του Σχήματος 2.3 και από το γεγονός ότι γεωτρήσεις του πεδίου των Δαφνών έχουν διατρήσει μέχρι και απόλυτο βάθος -280 (π.χ. γεώτρηση Αγίου Αντωνίου), διέτρησαν το φλύσχη αλλά ελάχιστα εισχώρησαν στον υδροφορέα διατρώντας μόνο επιφανειακά μεταβατικό στρώμα ανθρακικών κροκαλοπαγών μεταξύ ανθρακικών και φλύσχη. Σημειωτέον οι παροχές των γεωτρήσεων αυτών κυμαίνονται από 60 έως $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Επίσης διαφαίνεται από γεωφυσικές τομές και έχει αποδειχθεί από γεωτρήσεις στις Νεογενείς αποθέσεις της ευρύτερης περιοχής, τα Νεογενή ρηξιτεμάχη βυθίζονται συχνά σε μεγάλα βάθη. Εάν λοιπόν το υδροφόρο αυτό σύστημα ήταν σχετικά αβαθές θα έπρεπε οι ισοδυναμικές καμπύλες του Σχήματος 2.3 να παρουσιάζουν κάποια εκτροπή από τις εμφανίσεις των Νεογενών αποθέσεων της περιοχής. Μία τέτοια συσχέτιση όμως δεν παρατηρείται.

Οι μεταβιβατικότητες (T) και υδραυλικές αγωγιμότητες (K) που μετρήθηκαν από τους Μονόπωλη κ.α. (1996), στους ανθρακικούς υδροφορείς της περιοχής (Πίνακας 2.1) ποικίλλουν από πολύ μεγάλες της τάξης του $6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ έως πολύ μικρές της τάξης του $9,9 \times 10^{-7} \text{ m/s}$.

2.5 Πεδία εκμετάλλευσης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη

Το υδροφόρο σύστημα του Ψηλορείτη στην περιοχή υφίσταται εκμετάλλευση από τις γεωτρήσεις:

1. των πεδίων Κέρης – Τυλίσου και Γωνιανού φαραγγιού που έχουν ανορυχθεί εντός ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης και της υποκείμενης Ζώνης των Πλακωδών

Ασβεστολίθων (γεωτρήσεις Γωνιανού Φαραγγιού). Τα πεδία υφίστανται εκμετάλλευση από έξι γεωτρήσεις στην Κέρη, έντεκα στην Τύλισο και δύο στο Γωνιανό Φαράγγι με εκτιμώμενες ετήσιες αντλήσεις από το πεδίο της Κέρης της τάξης των 2.800.000 m³ και από τα πεδία Τυλίσου και Γωνιανού Φαραγγιού της τάξης των 3.000.000 m³.

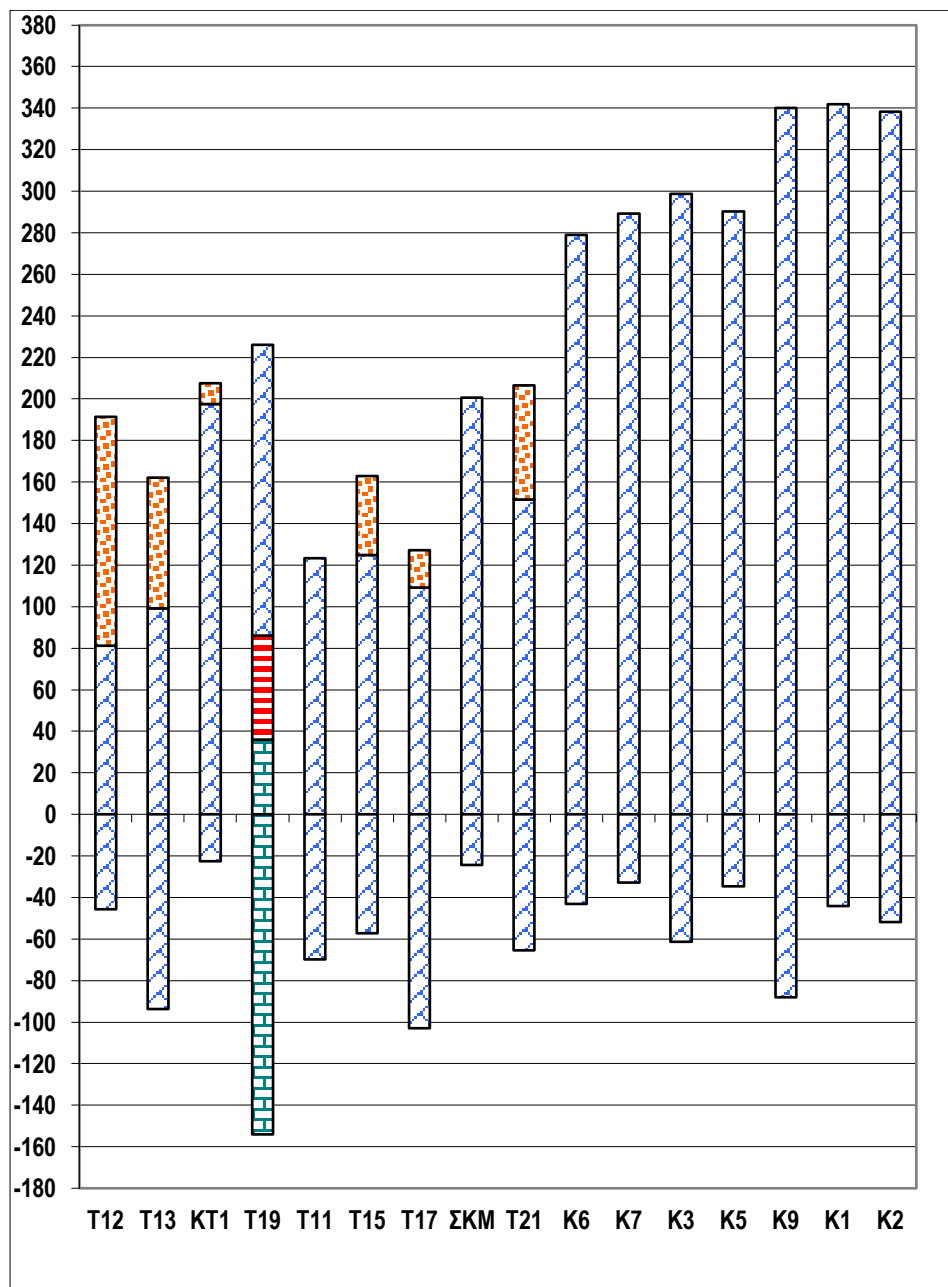
2. του πεδίου Λουτρακίου - Κρουσώνα που έχουν ανορυχθεί εντός εντός ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης, και υφίσταται εκμετάλλευση από έξι γεωτρήσεις
3. του πεδίου Δαφνών που έχει ανορυχθεί εντός ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης, και υφίσταται εκμετάλλευση από δεκατρείς γεωτρήσεις
4. του πεδίου Αγίου Μύρωνα που έχει ανορυχθεί εντός ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης, και υφίσταται εκμετάλλευση από έξι γεωτρήσεις
5. των πεδίων Ασιτών – Τετραχωρίου και Αυγενικής που έχουν ανορυχθεί επίσης εντός ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης, και υφίστανται εκμετάλλευση από τρεις γεωτρήσεις

Οι θέσεις των γεωτρήσεων απεικονίζονται στα Σχήματα 2.1 & 2.2 ενώ ενδεικτικές τομές τους στα Σχήματα 2.4 & 2.5.

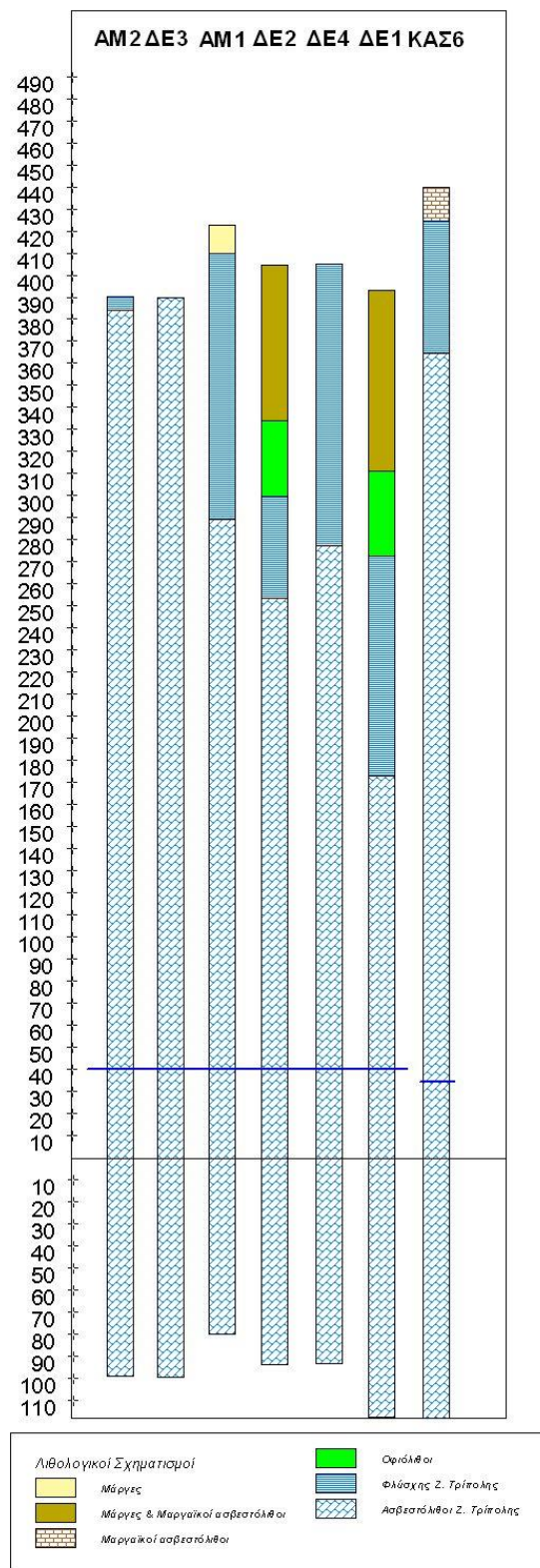
Η υδρογεωλογική αυτή λεκάνη του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη που περιλαμβάνει τα παραπάνω πεδία εκμετάλλευσης έχει μελετηθεί αρκετά, κύρια σε συνάρτηση με την παρακείμενη πηγή του Αλμυρού (Arfib et al 2001, Γκανούλης κ.α. 2000, Κνιθάκης & Καλούμενος 1988, Μαραμαθάς κα 2001, Μονόπωλης κα 1996α, Μονόπωλης κα 1996β, Μονόπωλης κα 1999, Μπεζές 1992, ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ 1992, UNDP – FAO 1972) αλλά σημαντικές πτυχές της υδρογεωλογικής δομής της όπως π.χ. οι μηχανισμοί υφαλμύρινσης των πεδίων Κέρης – Τυλίσου καθώς και η υδραυλική σχέση της με την πηγή δεν έχουν κατανοηθεί.

Από θεώρηση των υφιστάμενων δεδομένων για την περιοχή που οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην γεωτρητική έρευνα της ΔΕΥΑΗ καθώς και την μετέπειτα ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση του πεδίου συνάγονται τα εξής:

1. Η γενικευμένη δομή του πεδίου ροής της περιοχής που συντάχθηκε από στατιστική παρεμβολή των υδραυλικών φορτίων γεωτρήσεων από τα πεδία εκμετάλλευσης για ένα υγρό έτος και σε συνθήκες προ εκμετάλλευσης αναπαρίσταται στο Σχήμα 2.3. Η υδρογεωλογική αυτή λεκάνη αποτελεί μέρος του γενικευμένου πεδίου ροής του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη που εκφορτίζει στην πηγή του Αλμυρού. Η λογική συνεπαγωγή της διαπίστωσης αυτής είναι ότι η τροφοδοσία της λεκάνης αυτής πρέπει να είναι μεγάλη και μόλις κατάτι μικρότερη των αντίστοιχων εκφορίσεων της πηγής. Σημειωτέον ότι η καρστική αυτή πηγή που έχει μέγιστο παροχής με δίμηνη τουλάχιστον υστέρηση από το μέγιστο των βροχοπτώσεων της περιοχής (Σχήμα 2.6), εκφορτίζει ετησίως από 190-275 εκατ. m³ (Σχήμα 2.7), που αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέρος της υπόγειας υδροφορίας του ανατολικού Ψηλορείτη.

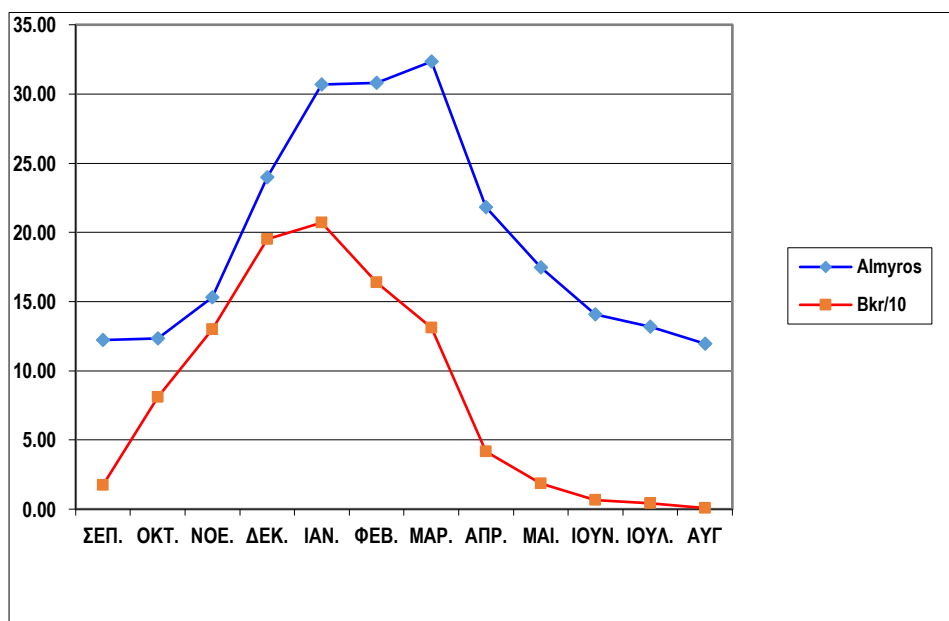


ΣΧΗΜΑ 2.4 Τομές γεωτρήσεων πεδίων Κέρης – Τυλίσου και Γωνιανού Φαραγγιού σε απόλυτα υψόμετρα (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι – σικτό πορτοκαλλί, Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά - κόκκινη διαγράμμιση, Ζ. Πλακωδών Ασβεστολίθων – πράσινο και ασβεστόλιθοι Ζώνης Τρίπολης – μπλέ χρώμα).

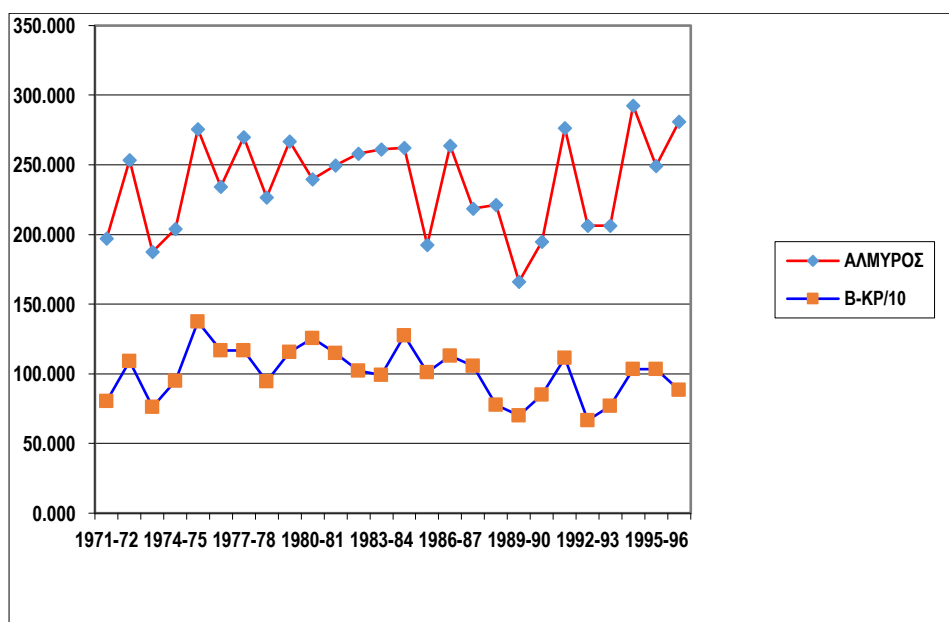


ΣΧΗΜΑ 2.5 Τομές γεωτρήσεων πεδίων Αγ. Μύρωνα και Ασιτών.

2. Όπως είναι προφανές και από το Σχήμα 2.8 υπό τις παρούσες συνθήκες εκμετάλλευσης η αναπλήρωση του δυναμικού της λεκάνης είναι ταχεία και πλήρης.
3. Όπως είναι επίσης προφανές και από το Σχήμα 2.8 υπάρχει μια συνεχής και προοδευτική αύξηση της περιεκτικότητας σε Cl ορισμένων εκ των γεωτρήσεων των πεδίων Κέρης και Τυλίσου ανεξάρτητα της πιεζομετρίας που άρχισε να γίνεται αισθητή από τα τέλη του έτους 1989, δύο χρόνια από την έναρξη εκμετάλλευσης του πεδίου της Τυλίσου.
4. Η υφιστάμενη εκμετάλλευση των παραπάνω πεδίων δεν έχει αξιοπρόσεκτες ποσοτικές και ποιοτικές επιπτώσεις στις εκφορτίσεις της πηγής. Δεδομένου όμως ότι οι αντλούμενες ποσότητες δεν υπερβαίνουν το 6% των μέσων εκφορτίσεων είναι αμφίβολο το αν δύνανται να ανιχνευθούν.
5. Σημαντικό πρόβλημα στην εκμετάλλευση των συγκεκριμένων πεδίων αποτελεί η τοπικά εκτεταμένη πλήρωση του καρστ με άργιλλο με δυσμενείς επιπτώσεις στην περατότητα των υδροφόρων σχηματισμών. Σχετικά αναφέρεται ότι οι μεταβιβασιμότητες (T) που παρατηρούνται στα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής ποικίλουν από πολύ μεγάλες της τάξης του $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ έως πολύ μικρές της τάξης του $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, με συνηθέστερες τιμές της τάξης του $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ και $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Οι μεγαλύτερες τιμές απαντώνται στα υδροφόρα πεδία Κέρης - Τυλίσου, ενώ οι μικρότερες εμφανίζονται στα πεδία Γωνιανού Φαραγγιού - Τυλίσου (Μονόπωλης και Σοφίου, 1994). Από τις ανορυχθείσες γεωτρήσεις στην περιοχή Κέρης – Τυλίσου – Γωνιανού Φαραγγιού, το 75% περίπου είχαν περατότητες που να τις καθιστά παραγωγικές.
6. Ειδικά στην περίπτωση του Γωνιανού Φαραγγιού, οι μόνες παραγωγικές γεωτρήσεις ήταν αυτές που ανορύχθηκαν στην έξοδο του (T19 και T22). Όλες οι λοιπές γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν κατά μήκος του ρήγματος έως περίπου τον οικισμό των Γωνιών είχαν πολύ μικρές περατότητες και χαρακτηρίζονταν από υψηλότερες σχετικές υδροστατικές στάθμες (άλμα υδραυλικού φορτίου).
7. Κατά αναλογία με την περίπτωση του Γωνιανού Φαραγγιού είναι πιθανόν το παλαιοκάρστ καθώς και η πλήρωση του με άργιλλο να είναι περισσότερο ανεπτυγμένα σε ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής διεύθυνσης Α-Δ, ώστε οι ζώνες αυτές να μην προσφέρονται για εκμετάλλευση.



ΣΧΗΜΑ 2.6 Διακύμανση μέσων μηνιαίων παροχών πηγής Αλμυρού (σε εκ. m³) και αντίστοιχων βροχοπτώσεων σταθμού Κρουσώνα (σε mm/10).



ΣΧΗΜΑ 2.7 Διακύμανση μέσων ετήσιων παροχών πηγής Αλμυρού (σε εκ. m³) και αντίστοιχων βροχοπτώσεων σταθμού Κρουσώνα (σε mm/10).

2.6 Υφαλμύριση του πεδίου Κέρης - Τυλίσου

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο στην περιοχή Κέρης - Τυλίσου υπάρχει μια συνεχής και προοδευτική αύξηση της περικτικότητας σε Cl σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις ανεξάρτητα της πιεζομετρίας που άρχισε να γίνεται αισθητή από τα τέλη του έτους 1989, δύο χρόνια από την έναρξη εκμετάλλευσης του πεδίου της Τυλίσου (Πίνακας 2.2, Σχήμα 2.8). Παρά δε τη σχετικά μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα στην περιοχή οι μηχανισμοί υφαλμύρισης της λεκάνης αυτής καθώς και η υδραυλική της σχέση με την πηγή δεν έχουν κατανοηθεί.

Η υφαλμύριση των γεωτρήσεων αυτών δύναται να οφείλεται είτε σε αλληλεπίδραση της λεκάνης Κέρης - Τυλίσου με τη θάλασσα είτε σε αλληλεπίδραση με το σύστημα εκφόρτισης της πηγής είτε σε συνδυασμό και των δύο.

Κατ' αρχήν θα πρέπει να διερευνηθεί ενδεχόμενη υδραυλική επικοινωνία της λεκάνης με τη θάλασσα. Σύμφωνα με τους Μονοπώλη και Σοφίου (1994), δεν υπάρχει άμεση υδραυλική επικοινωνία του καρστ της πηγής με τη θάλασσα, στην περιοχή Λινοπεραμάτων - Αλμυρού, επειδή παρεμβάλλονται στεγανοί λιθολογικοί σχηματισμοί μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων της Κέρης και της θάλασσας. Ωστόσο, υπάρχει πιθανή υπόγεια υδραυλική επικοινωνία του καρστ με την θάλασσα στην περιοχή του Καβροχωρίου και σε βάθη των 300m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Αυτή η ζώνη επικοινωνίας φαίνεται να αναπτύσσεται ανατολικά της Τυλίσου μέχρι την ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Ξηροποτάμου και του Γιόφυρου.

Από εξέταση όμως των τομών που προέκυψαν από την ερευνητική δραστηριότητα του FAO στην περιοχή του Αλμυρού (UNDP – FAO, 1972) και παρατίθενται στα Σχήματα 2.9 και 2.10 υπάρχει μια λωρίδα υδραυλικής επικοινωνίας της λεκάνης Τυλίσου – Κέρης με τη θάλασσα αποτελούμενη από ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης που βρίσκεται αμέσως ανατολικά της λεκάνης αυτής και βυθίζεται κλιμακωτά προς τα νότια με αποτέλεσμα στην περιοχή βόρεια του Καβροχωρίου να απαντάται σε απόλυτο βάθος -200 μέτρων. Εάν η διείδυση της θάλασσας ήταν υπεύθυνη για την υφαλμύριση της λεκάνης Κέρης - Τυλίσου θα έπρεπε να αναμένεται σύμφωνα με την πιεζομετρία της περιοχής, η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού να είναι στο μέτωπο υφαλμύρισης της Κέρης σε μέσο απόλυτο βάθος -500 μέτρων περίπου και στο μέτωπο της Τυλίσου σε μέσο απόλυτο βάθος -700 μέτρων που σημαίνει ανώτερα όρια της μεταβατικής ζώνης περίπου στο -50 και -70 μέτρα, αντίστοιχα. Ακόμα και εάν η περιοχή της πηγής με μέγιστες περιεκτικότητες σε Cl που κυμαίνονται εποχικά από μερικά έως 5000 ppm, εισήγαγε στην ζώνη γλυκού νερού υφάλμυρο νερό με τις παραπάνω περιεκτικότητες η τελική διαμόρφωση της μεταβατικής ζώνης καθώς και της διεπιφάνειας αλμυρού – γλυκού νερού κατά μήκος του μετώπου υφαλμύρισης δεν θα έπρεπε να διαφοροποιείται σημαντικά. Οι συνθήκες αυτές προϋποθέτουν ένα αγωγό της πηγής σχετικά υδραυλικά απομονωμένο από την λεκάνη Τυλίσου – Κέρης που εκφορτίζει με μεγάλη ταχύτητα και από μεγάλο βάθος όπως ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν.

Εάν η υφαλμύριση των γεωτρήσεων Κέρης – Τυλίσου οφείλεται στις παραπάνω αιτίες θα έπρεπε να παρατηρούνται τα εξής:

1. Η υφαλμύριση στο πιθανολογούμενο μέτωπο να μειώνεται προς νότια και νοτιοδυτικά δηλαδή να είναι μεγαλύτερη στο πεδίο της Κέρης σε σχέση με το πεδίο της Τυλίσου.
2. Να υπάρχει εποχική διακύμανση της υφαλμύρισης σε συνάρτηση με την πιεζομετρία της περιοχής.

Στα πεδία όμως αυτά κανένα από τα παραπάνω δεν παρατηρείται. Αντίθετα μάλιστα η υφαλμύριση του πεδίου της Τυλίσου είναι μεγαλύτερη απ' αυτή στο πεδίο της Κέρης. Από θεώρηση της περιεκτικότητας σε Cl των γεωτρήσεων Κέρης και Τυλίσου σε συνάρτηση με τα αντίστοιχα βάθη ανάπτυξης και την απόσταση των γεωτρήσεων από το πιθανολογούμενο μέτωπο υφαλμύρισης (Σχήματα 2.9, 2.10 & 2.11) συνάγεται ότι μια σχετικά απλή διαδικασία υφαλμύρισης των πεδίων Κέρης και Τυλίσου από ανατολικά δεν μπορεί να υποστηριχθεί από τα Σχήματα αυτά.

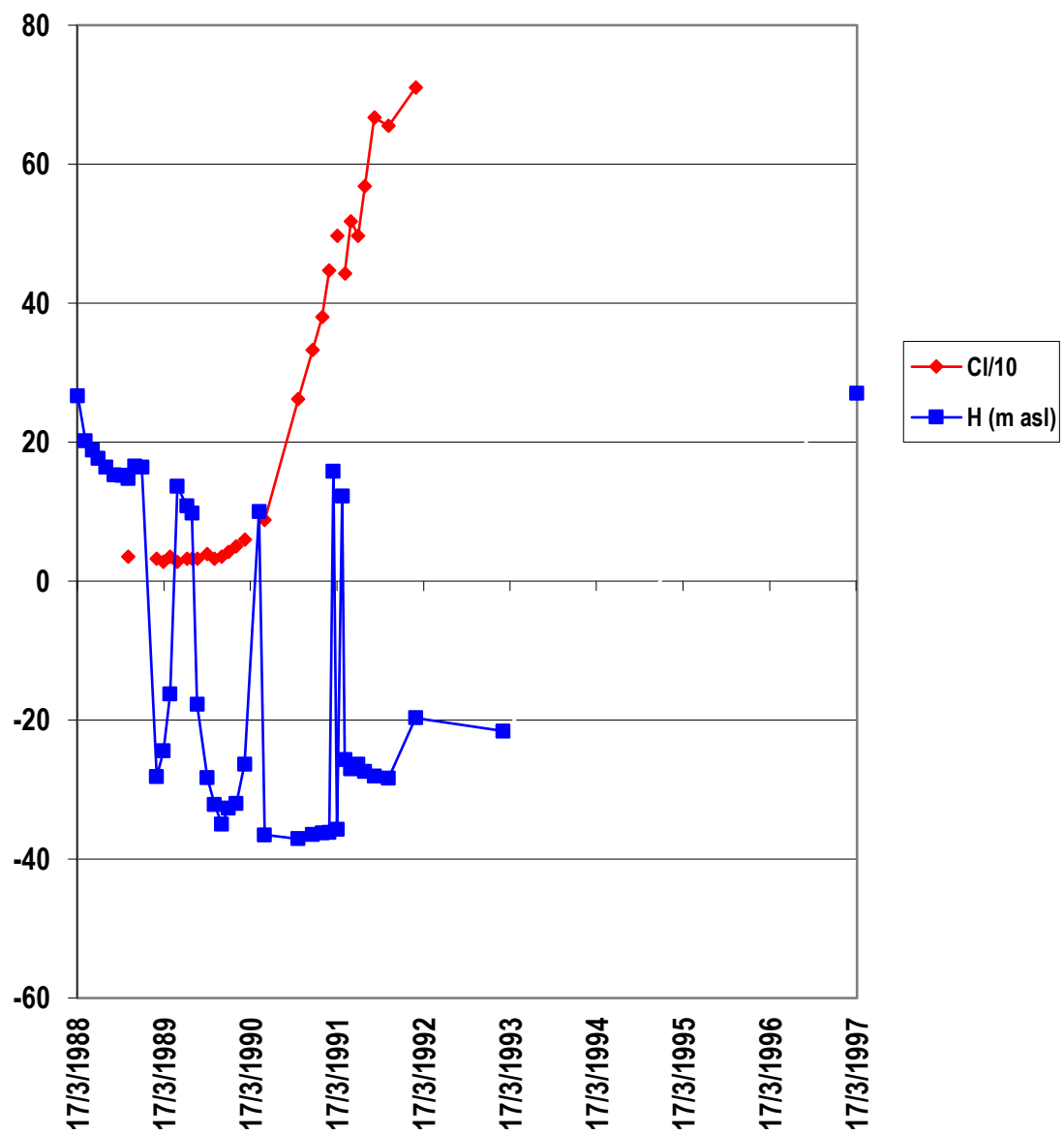
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η αύξηση της περικτικότητας σε Cl στις γεωτρήσεις που έχουν υφαλμυρίσει είναι συνεχής και προοδευτική, ανεξάρτητη της πιεζομετρίας (Σχήμα 2.8, 2.12, 2.13). Όπως είναι προφανές από τα Σχήματα 2.11 & 2.12, υπάρχει μια τάση ετήσιου μέγιστου περιεκτικότητας σε Cl σε γεωτρήσεις των πεδίων αυτών κατά την αρχή της χειμερινής περιόδου που είναι συμβατή με την συμπεριφορά της πηγής του Αλμυρού. Από τις παραπάνω διαπιστώσεις συνάγεται ότι οι διεργασίες υφαλμύρισης των πεδίων Κέρης και Τυλίσου σχετίζονται με αναδυόμενο δίκτυο αγωγών εκφόρτισης της πηγής (και όχι με αγωγό υδραυλικά απομονωμένο) που τέμνει σε διάφορα σημεία τη μεταβατική ζώνη ώστε να αποκτά σε υψηλότερα βρισκόμενους αγωγούς μια εποχικά κυμαινόμενη υφαλμύριση ενώ σε βαθύτερους, μια μόνιμη υφαλμύριση. Το δίκτυο αυτό διαρέει σε διάφορα σημεία κατά μήκος της πορείας ανόδου του, υφάλμυρο νερό ανατολικά και πλησίον των πεδίων Κέρης και Τυλίσου που λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του από το υπερκείμενο γλυκό νερό της λεκάνης διαστρωματώνεται και κατευθύνεται προς την περιοχή εκφόρτισης.

Οι αντλήσεις στα πεδία Κέρης και Τυλίσου εισήγαγε νέους πόλους δυναμικού που «απέφραξαν» ή/και αλλοίωσαν το προ της εκμετάλλευσης υδροδυναμικό σύστημα στην περιοχή και ενδεχομένως ανάγκασαν ορισμένες από τις διόδους «διαροής» να εκτραπούν προς τους πόλους αυτούς. Το σενάριο αυτό εξηγεί την συμπεριφορά υφαλμύρισης των πεδίων αυτών εκμετάλλευσης και είναι συμβατό με τις παρατηρήσεις στην πηγή του Αλμυρού αλλά και τη λεκάνη Κέρης – Τυλίσου συμπεριλαμβανομένης και της υστέρησης στην ποιοτική υποβάθμιση του πεδίου της Τυλίσου σε σχέση με την έναρξη εκμετάλλευσης του. Η προοδευτική αύξηση της υποβάθμισης των πεδίων δύναται να εξηγηθεί με προέλευση των διαρροών από καρστικούς αγωγούς που βρίσκονται κοντά στην διεπιφάνεια, ενώ οι διόδοι θα πρέπει να είναι γενετικά συνδεδεμένοι με το ρηξιγενές μέτωπο υφαλμύρισης. Είναι φανερό ότι οι παρατηρήσεις στα πεδία Κέρης – Τυλίσου υποδηλώνουν μια πολύπλοκη και πολυφασική διαδικασία υφαλμύρισης της πηγής του Αλμυρού που προσομοιάζει περισσότερο στο αρχικό «μοντέλο» Μονόπωλη και Μάστορη (1969).

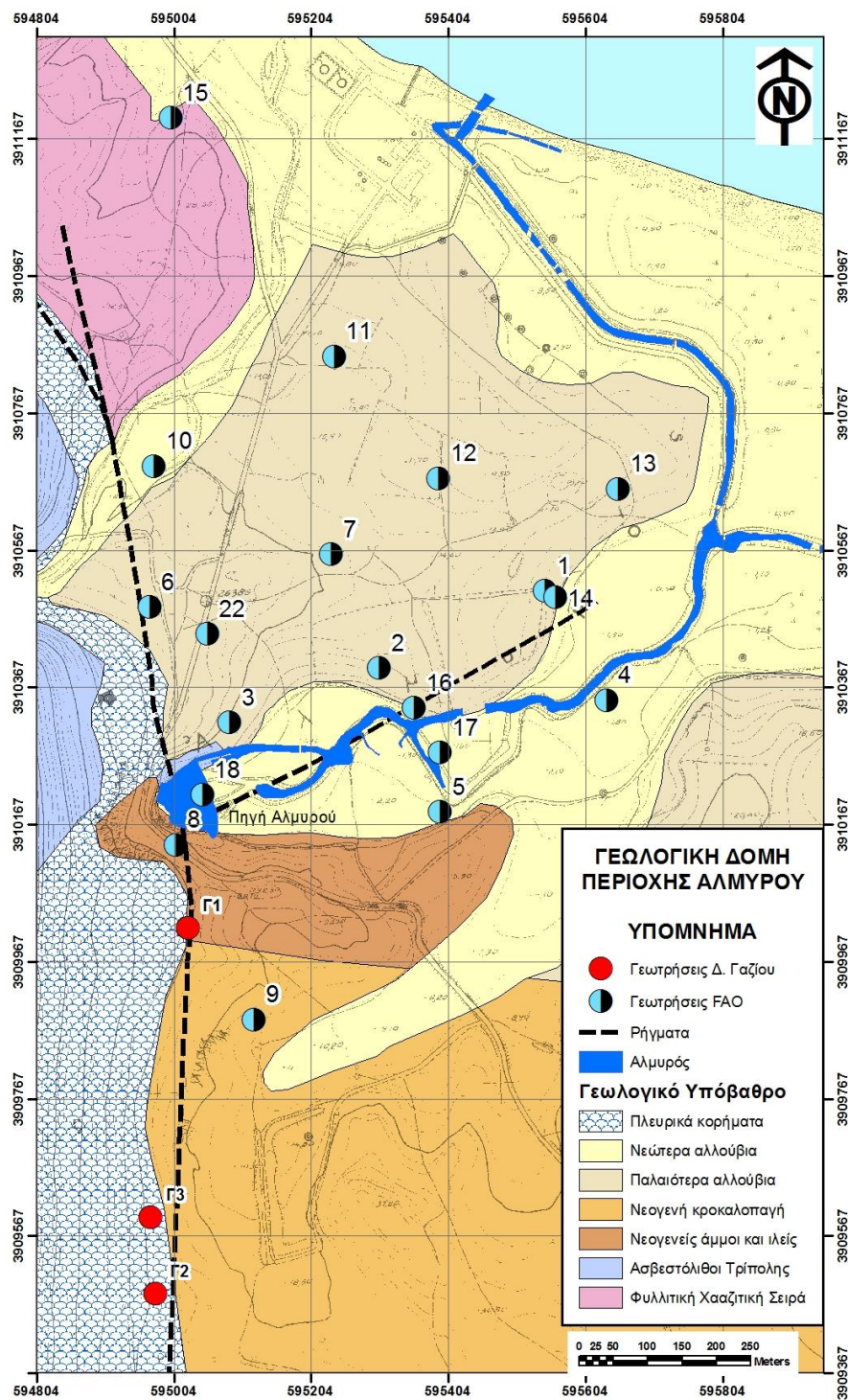
Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η ποιοτική υποβάθμιση των πεδίων Κέρης και Τυλίσου δεν οφείλεται σε υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων της λεκάνης που όπως τονίστηκε παραπάνω υφίσταται επαρκή τροφοδοσία που υπερκαλύπτει τα υφιστάμενα επίπεδα εκμετάλλευσης. Η υποβάθμιση πιθανότατα οφείλεται σε διατάραξη της δομής του υδροδυναμικού συστήματος εκφόρτισης της πηγής του Αλμυρού λόγω των αντλήσεων στα πεδία Κέρης και Τυλίσου. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι μικρότεροι ρυθμοί αντλήσεων, μικρότερος αριθμός γεωτρήσεων ή και μεγαλύτερη διασπορά των γεωτρήσεων θα μπορούσαν να διασφαλίσουν την αποφυγή της ποιοτικής υποβάθμισης τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 Περιεκτικότητες σε Cl (σε ppm) γεωτρήσεων Κέρης – Τυλίσου κατά τα έτη 1998 και 1999.

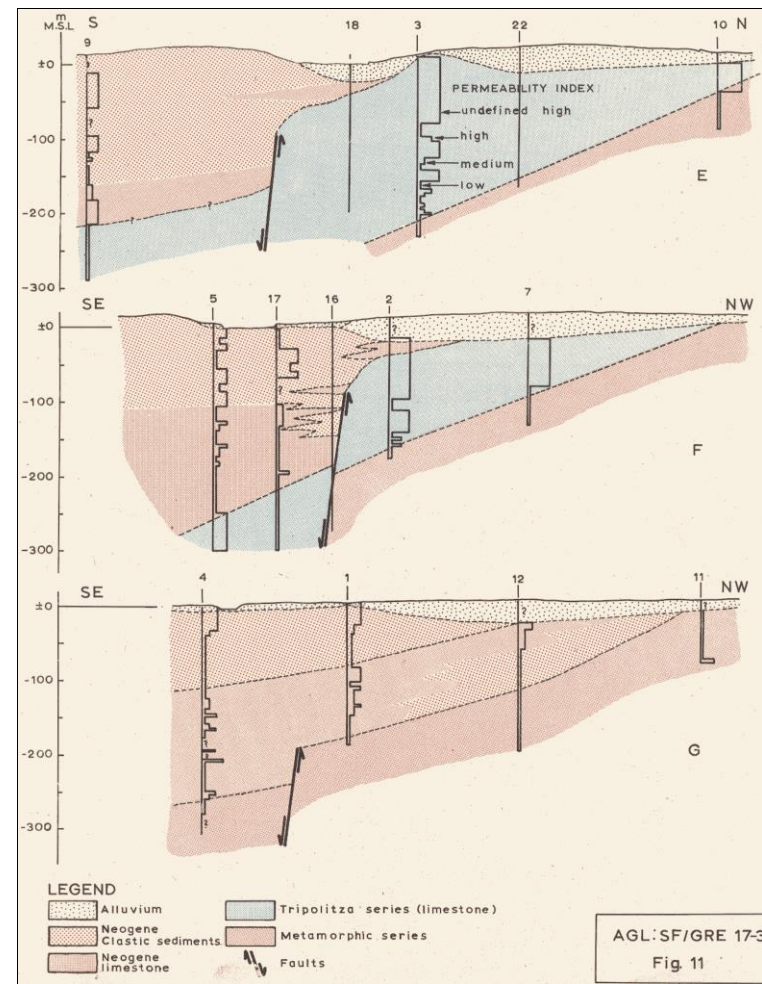
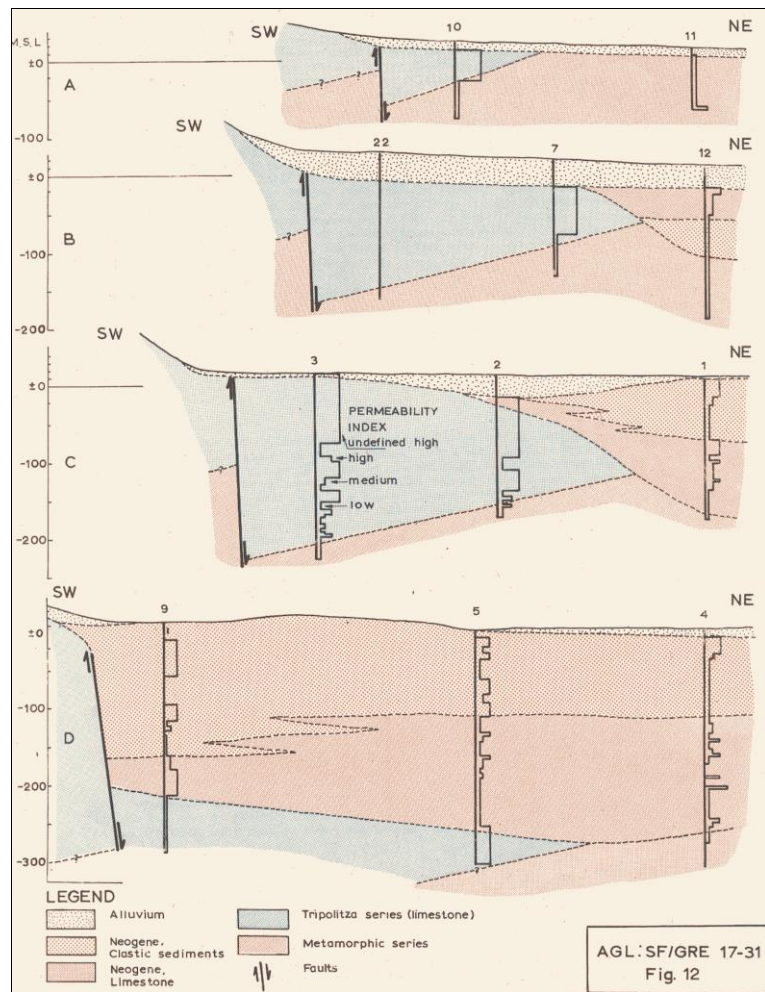
		K1	K2	K3	K5	K7	K9	K10
1998	ΙΑΝ	450	85	370	580	510	42	250
	ΦΕΒ	510	85	390	570	510	42	260
	ΜΑΡ	550	100	420	590	510	42	250
	ΑΠΡ	580	140	460	750	525	57	213
	ΜΑΪ	470	110	412	620	550	46	270
	ΙΟΥΝ	454	99	412	596	540	46	256
	ΙΟΥΛ	483	110	440	639	568	46	284
	ΑΥΓ	483	110	426	639	550	46	337
	ΣΕΠ	485	110	425	639	555	46	339
	ΟΚΤ	500	131	582	667	539	46	397
	ΝΟΕ	490	130	563	640	540	46	397
	ΔΕΚ		230	510	640	565	53	326
1999	ΙΑΝ		241	514	639	586	57	326
	ΦΕΒ		227	497	728	604	56.8	326
	ΜΑΡ		199	511	710	604	58.4	326
	ΑΠΡ		228	525	710	605	60.3	326
	ΜΑΪ	483	195	540	682	611	63.9	326
	ΙΟΥΝ	497	199	533	728	604	60.4	369
	ΙΟΥΛ	515	192	533	746	604	63.9	383
	ΑΥΓ	568	174	550	710	604	63.9	440
	ΣΕΠ	568	170	568	710	604	63.9	454
	ΟΚΤ	570	170	586	710	618	64	490
	ΝΟΕ	568	170	586	680	618	64	540
	ΔΕΚ	621	170	568	728	621	67.4	533
		T11	T12	T15	T19	T21	T22	ΣΥΝΔ
1998	ΙΑΝ	1630	370	1500	21	250	21	50
	ΦΕΒ	1650	380	1500	21	250	21	56
	ΜΑΡ							60
	ΑΠΡ	1800	410	1600	21	250	21	60
	ΜΑΪ	1630	369	1455	21	270	21	60
	ΙΟΥΝ	1615	383	1384	21	248	21	56.8
	ΙΟΥΛ	1597	369	1420	21	270	21	60
	ΑΥΓ	1562	369	1420	21	270	21	60
	ΣΕΠ	1658	370	1430	21	270	21	58.5
	ΟΚΤ		383	1562	21.3	280	21	63
	ΝΟΕ		384	1570	21.3	280	21	63
	ΔΕΚ		388		21	284	21	63
1999	ΙΑΝ		411.8		24.8	269.8	21.3	63.9
	ΦΕΒ		410		21.3	284	21.3	60.4
	ΜΑΡ		397.6		21.3	269.8	21.3	60.3
	ΑΠΡ		383		24.8	269.8	21.3	63.9
	ΜΑΪ	1491	398		24.8	284	21.3	63.9
	ΙΟΥΝ		408	1456	24.8	298.2	21.3	63.9
	ΙΟΥΛ	1660	426	1590	24.8	305.3	21.3	63.9
	ΑΥΓ	1739	412		24.8	312.4	21	63.9
	ΣΕΠ	1775	444		24.8	298.2	17.7	63.9
	ΟΚΤ	1775	443	1952	21.3	333.7	17.7	63.9
	ΝΟΕ	1764	443	1960	17.7	340	21.3	63.9
	ΔΕΚ	1810	444	2023	24.3	340.8	21.3	67.4



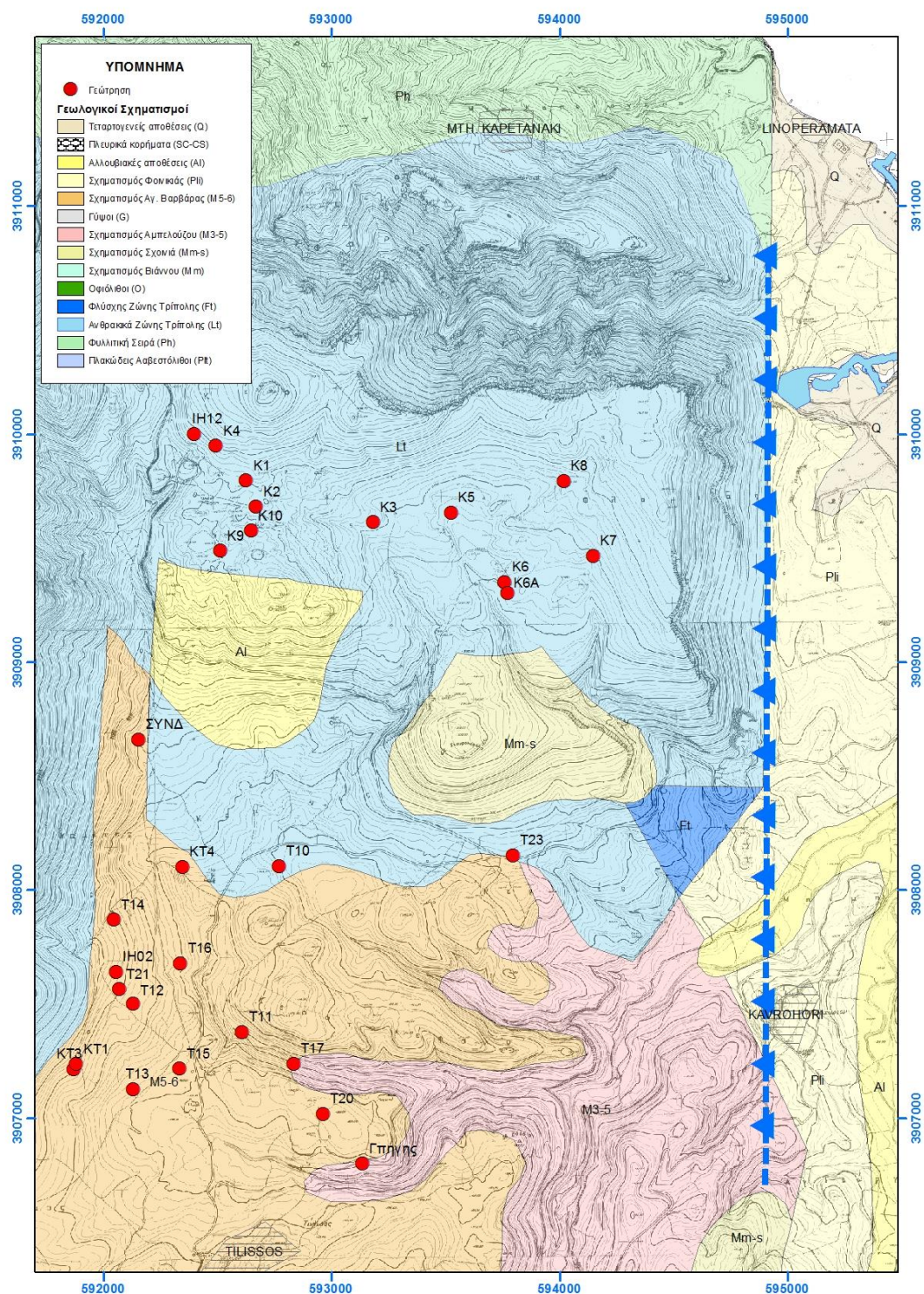
ΣΧΗΜΑ 2.8 Χρονική μεταβολή περιεκτικότητας CI και πιεζομετρίας στη γεώτρηση T15 του πεδίου Τυλίσου.

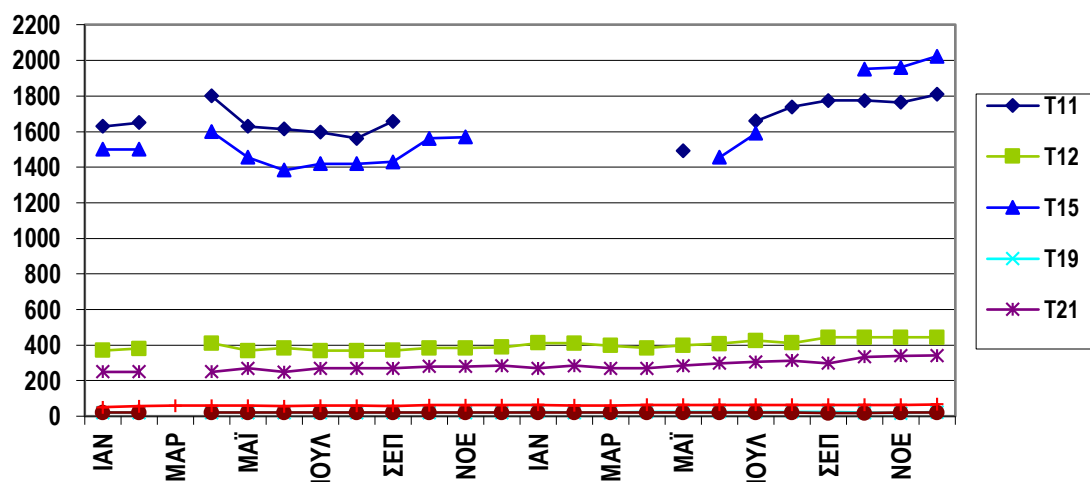


ΣΧΗΜΑ 2.9 Γεωλογικός χάρτης περιοχής Αλμυρού και θέσεις γεωτρήσεων FAO (από UNDP – FAO, 1972)

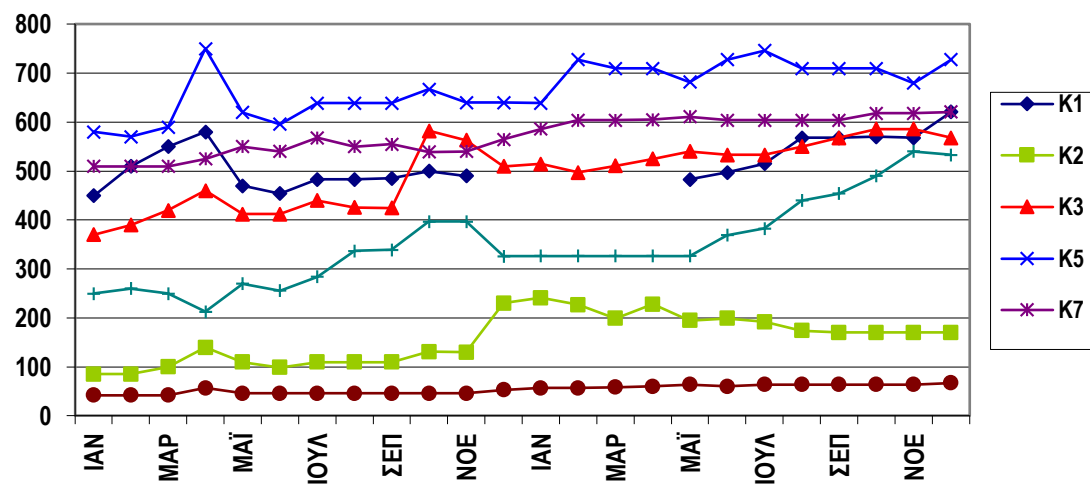


ΣΧΗΜΑ 2.10 Γεωλογικές τομές από γεωτρήσεις FAO στην περιοχή του Αλμυρού (από UNDP – FAO, 1972). Οι θέσεις των γεωτρήσεων περιλαμβάνονται στο Σχήμα 2.9.





ΣΧΗΜΑ 2.12 Διακύμανση περιεκτικότητας σε CI γεωτρήσεων Τυλίσου από Ιαν 98 έως Δεκ 99.



ΣΧΗΜΑ 2.13 Διακύμανση περιεκτικότητας σε CI γεωτρήσεων Κέρης από Ιαν 98 έως Δεκ 99.

2.7 Εκτίμηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού και προσομοίωση του συστήματος τροφοδοσίας της πηγής Αλμυρού

2.7.1 Περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης της υπόγειας ροής MODFLOW

Η πλέον ενδεδειγμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του υπόγειου υδατικού ισοζυγίου ενός υδροφόρου συστήματος αλλά και στην αντιμετώπιση διαχειριστικών προβλημάτων υπόγειων υδατικών πόρων, είναι η εφαρμογή του πλέον έγκυρου μοντέλου προσομοίωσης τρισδιάστατης ροής σε ανομοιογενείς ανισότροπους υδροφόρους, MODFLOW της Αμερικανικής Υπηρεσίας Γεωλογικών Ερευνών (U.S.G.S). Το μαθηματικό μοντέλο συνίσταται σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων και η προσομοίωση της ροής επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη επίλυση τους με μία μέθοδο πεπερασμένων διαφορών. Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού συμβάλει σημαντικά τόσο στην κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος, όσο και στην πρόβλεψη της απόκρισης του σε διάφορες εξωτερικές επιδράσεις όπως τροφοδοσία, αντλήσεις, εμπλουτισμός από ποταμούς κλπ.

Για την δημιουργία του μοντέλου πεπερασμένων διαφορών γίνεται διακριτοποίηση των υδροφορέων σε ένα σύστημα στρωμάτων πεπερασμένων διαφορών (κυψελίδων), όπου το κάθε στρώμα υποδιαιρείται σε κυψελίδες πάνω στις οποίες εφαρμόζονται οι βασικοί νόμοι που διέπουν την κίνηση του υπόγειου νερού. Το θεωρητικό υπόβαθρο, οι αριθμητικές τεχνικές επίλυσης, οι κώδικες του αντίστοιχου προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή καθώς και οι απαιτήσεις σε δεδομένα του μοντέλου, περιγράφονται από τους MacDonald and Harbaugh (1988).

Οι τεχνικές επίλυσης των εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιούνται, είναι μεταξύ άλλων η “Strongly Implicit” μέθοδος (SIP), η “Slice-Successive Overrelaxation” μέθοδος (SSOR), ή η “Preconditioned Conjugate-Gradient 2” μέθοδος (PCG2).

Το πρόγραμμα υποδιαιρείται στο κυρίως μέρος και σε μια σειρά από ανεξάρτητα υποπρογράμματα “packages”. Αυτά συνίστανται από ομάδες υπο-ρουτινών “modules” που επιλαμβάνονται των διάφορετικών συνιστωσών της προσομοίωσης αντίστοιχα και είναι τα εξής: Basic package, BCF2 (block centered flow) package, River package, Recharge package, Well package, Drain package, Evapotranspiration package, General-head package, SIP solution package, SSOR solution package, PCG2 package, Output control package κλπ.

Ετσι ροή συνδεδεμένη με εξωτερικές επιδράσεις όπως εξατμισοδιαπνοή, φυσικός εμπλουτισμός, στραγγιστικές τάφροι, γεωτρήσεις, ποταμοί και ρήγματα, μπορεί επίσης να προσομοιωθεί. Βελτιώσεις και προσθήκες στους κώδικες του προγράμματος, στη δομή του καθώς και στις τεχνικές επίλυσης έχουν γίνει από τους McDonald et al (1988), Hill (1988) και Prudic (1989) και Harbaugh and McDonald (1996).

Τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου είναι

1. στοιχεία βαθιάς διήθησης που προκύπτουν από τα στοιχεία βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής και ιδιοτήτων του εδάφους.

2. βάθη και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων,
3. υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων όπως υδραυλική αγωγιμότητα, συντελεστής αποθηκευτικότητας,
4. συνθήκες πιεζομετρικού βάθους σε όλους τους κόμβους στην αρχή των υπολογισμών και για το χρόνο βαθμονόμησης
5. οριακές συνθήκες είτε με τη μορφή πιεζομετρικού βάθους είτε με τη μορφή ροής στα όρια της λεκάνης,
6. στοιχεία αντλήσεων για όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης,

2.7.2 Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης της υπόγειας ροής στο υδροφόρο σύστημα του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη

2.7.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υδροφορέα

Η εφαρμογή αυτή αφορά το υδροσύστημα ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη που αποτελεί τμήμα του πεδίου τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου. Η περιοχή προσομοίωσης καταλαμβάνει έκταση 309 km² και οριοθετείται από νότο από μία νοητή γραμμή Α-Δ στο ύψος του Πρινιά, από βορρά από μία νοητή γραμμή Α-Δ στο ύψος της Φόδελε, από δυτικά από μία νοητή γραμμή Β-Ν στο ύψος των Γωνιών και από ανατολικά από μία νοητή γραμμή Β-Ν στο ύψος των έκβολών του Γαζανού ποταμού. Εκτείνεται μέχρι το απόλυτο βάθος των -1000m. Το εννοιολογικό (conceptual) μοντέλο της περιοχής για ένα υγρό έτος, στο οποίο βασίζεται η παρούσα προσομοίωση είναι αυτό του Σχήματος 2.3 που αναλύεται στο Κεφάλαιο 2.4.

2.7.2.2 Δεδομένα υδρολογικού ισοζυγίου.

Ως εισοδοί του υδατικού ισοζυγίου για το υδροφόρο σύστημα του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη θεωρούνται η βαθιά διήθηση και η πλευρική τροφοδοσία από τον κυρίως όγκο του Ψηλορείτη και ως έξοδοι οι αντλήσεις καθώς και οι εκφορτίσεις στην πηγή του Αλμυρού. Στην παρούσα προσομοίωση θα περιληφθούν μόνο οι αντλήσεις γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης δηλαδή τα πεδία Κέρης – Τυλίσου και Γωνιανού Φαραγγιού δεδομένου ότι ενδιαφέρουν οι υδρογεωλογικές επιπτώσεις της εκμετάλλευσης των πεδίων αυτών.

Για την προσομοίωση της ροής των υπόγειων νερών είναι απαραίτητο να υπάρχουν στοιχεία των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υδροφορέα όπως η μεταβιβαστικότητα, ο συντελεστής αποθήκευτικότητας, το πάχος του υδροφόρου στρώματος κλπ. Επίσης είναι αναγκαίο να υπάρχουν δεδομένα υδραυλικών φορτίων στα όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης έτσι ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν οι πλευρικές εισοδοί και έξοδοι υπόγειων νερών. Υπό τις συνθήκες αυτές η χρησιμοποίηση ενός φυσικού διακριτού μοντέλου προσομοίωσης της υπόγειας ροής όπως το MODFLOW δίνει τη δυνατότητα αναπαράστασης και ποσοτικοποίησης του υδροφόρου συστήματος για διάφορα σενάρια τροφοδοσίας που είναι καταλυτικής σημασίας για τη διατύπωση μέτρων διαχείρισης των υπόγειων υδατικών πόρων.

Βαθεία διήθηση και τροφοδοσία από ποταμούς. Δεδομένης της μεγάλης επιφανειακής εξάπλωσης στρωμάτων μαργών μεγάλου πάχους στη περιοχή μελέτης,

βαθεία διήθηση απο βροχοπτώσεις δέχονται μόνο οι ανθρακικοί σχηματισμοί του δυτικού τμήματος της περιοχής καθώς και οι Νεογενείς μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι στο νότιο και κεντρικό τμήμα της περιοχής.

Για την εκτίμηση των τιμών βαθείας διήθησης στους ανθρακικούς σχηματισμούς εφαρμόστηκε το γραμμικό παραμετρικό μοντέλο κορεσμένης ζώνης W.M.L.R (ΟΑΝΑΚ –ΕΜΠ, 1994). Το W.M.L.R είναι βασισμένο στο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου μηνιαίων τιμών μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή (SWBM) και έτσι χρησιμοποιεί όλα τα αρχεία δεδομένων εισόδου που χρησιμοποιεί και το S.W.B.M., δηλαδή μηνιαία ύψη βροχής και δυναμικής εξατμισοδιαπνοής, ενώ παράγει μηνιαία ύψη απορροής, κατείσδυσης και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Οι μέσες τιμές βαθείας διήθησης (σε mm) στους Μεσοζωικούς ανθρακικούς σχηματισμούς του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη για υψόμετρο 650 m που θεωρείται το μέσο υψόμετρο των σχηματισμών αυτών στην περιοχή προσομοίωσης και για μια χρονοσειρά 30 ετών που υπολογίστηκαν με την εφαρμογή του μοντέλου αυτού, παρατίθενται στον Πίνακα 2.3. Δεδομένου ότι οι κύριοι κλάδοι των ρεμάτων της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε Νεογενείς σχηματισμούς, η τροφοδοσία από ποταμούς θεωρείται αμελητέα για την κλίμακα της περιοχής μελέτης και τη φύση του υπό προσομοίωση υδροσυστήματος.

Πλευρικές εισοδοι και έξοδοι Σύμφωνα με την ανάλυση του Κεφαλαίου 2.4 η περιοχή μελέτης τροφοδοτείται πλευρικά κατά μήκος του δυτικού της περιθωρίου και αποστραγγίζεται στο βορειοανατολικό άκρο της από την πηγή του Αλμυρου. Η πλευρική τροφοδοσία από δυτικά για ένα υγρό έτος προσδιορίζεται από τα υδραυλικά φορτία του δυτικού περιθωρίου του Σχήματος 2.3.

Στοιχεία γεωτρήσεων - Αντλήσεις Για την περιοχή μελέτης, οι θέσεις οι υδροστατικές στάθμες και τα υψομετρικά στοιχεία των γεωτρήσεων στα πεδία Κέρης, Τυλίσσου, Γωνιανού Φαραγγιού, Λουτρακίου, Κρουσώνα και Αγίου Μύρωνα έχουν απογραφεί με σχετική ακρίβεια από την ΔΕΥΑΗ ενώ στα πεδία Φανερωμένης (Τετραχωρίου), Δαφνών, Αυγενικής, Δαμάστας και Μαράθου από τον ΟΑΝΑΚ και συνεπώς μπορούν να συνεισφέρουν τόσο στη βαθμονόμηση του μοντέλου όσο και στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων του. Όσον αφορά στις γεωτρήσεις της ΔΕΥΑΗ στα πεδία Κέρης Τυλίσσου και Γωνιανού Φαραγγιού, υπάρχουν χρονοσειρές διακύμανσης απόλυτης στάθμης, στοιχεία αντλήσεων ενώ οι θέσεις και τα υψομετρικά στοιχεία τους έχουν απογραφεί με σχετική ακρίβεια με τη χρήση GPS. Ακριβή στοιχεία αντλήσεων για τις γεωτρήσεις στην περιοχή είναι διαθέσιμα από την ΔΕΥΑΗ.

2.7.2.3 Υδραυλικές παράμετροι υδροφορέα

Στοιχεία για την υδραυλική αγωγιμότητα των καρστικοποιημένων Μεσοζωικών ανθρακικών από την περιοχή μελέτης δίδονται από τους Μονόπωλη κα (1996) και παρατίθενται στον Πίνακα 2.1.

2.7.2.4 Βαθμονόμηση μοντέλου – προσομοίωση σε συνθήκες ισορροπίας.

Η βαθμονόμηση του μοντέλου για το υδροφόρο σύστημα του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη έγινε για συνθήκες ισορροπίας (steady state), όπου οι εισροές είναι ίσες με τις εκροές και ο αποθηκευμένος όγκος νερού στην λεκάνη δεν μεταβάλλεται. Δεδομένου δε ότι το εννοιολογικό μοντέλο θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ένα υγρό έτος η βαθμονόμηση έγινε για τις συνθήκες αυτές. Για τη διαδικασία αυτή απαιτούνται συνδυασμοί δοκιμών για την διαμόρφωση των κατάλληλων τιμών υδραυλικών παραμέτρων και εξωτερικών επιδράσεων, μέσα στα αποδεκτά πλαίσια ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή προσέγγιση μεταξύ προσομοιωμένων και μετρημένων υδραυλικών φορτίων.

Το μοντέλο θεωρήθηκε βαθμονομημένο όταν τα μεγέθη των προσομοιωμένων φορτίων διαμορφώθηκαν σε επίπεδα που ήταν εντός των μετρημένων τιμών διακύμανσης της υδροστατικής στάθμης και οι προσομοιωμένες εξωτερικές επιδράσεις συνέκλιναν με ανεξάρτητες εκτιμήσεις.

Παραδοχές: Για την βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης έγινε μία σειρά παραδοχών που απλοποιούν μεν σημαντικά την δημιουργία του προσομοιωμένου μοντέλου αλλά όπως συνάγεται από συγκριτικές δοκιμές θεωρείται ότι στην κλίμακα του μοντέλου δεν αλλοιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Οι παραδοχές αυτές που αναλύονται στο Κεφάλαιο 2.4.1, επιπροσθέτως περιλαμβάνουν και τις εξής:

Α. Η υδρογεωλογική λεκάνη αποτελείται από ένα ομοιογενή και ισότροπο ελεύθερους υδροφορέα που αποτελείται από ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης και των Πλακωδών ασβεστολίθων μέχρι απόλυτου βάθους –1000m που αποτελεί και το υπόβαθρο όλης της περιοχής προσομοίωσης.

Β. Οι τοπικές ανομοιογένειες και ανισοτροπίες εξομαλύνονται στην κλίμακα της περιοχής προσομοίωσης και τη μονάδα διακριτοποίησης του.

Γ. Βαθειά διήθηση από βροχοπτώσεις συμβαίνει μόνο στις επιφανειακές εμφανίσεις των ανθρακικών σχηματισμών.

Δ. Η υπόγεια ροή στο υδροφόρο αυτό σύστημα ακολουθεί το νόμο του Darcy.

Πλέγμα πεπερασμένων διαφορών - όρια ομοιώματος: Με βάση τις παραδοχές αυτές, η διαμόρφωση του πλέγματος πεπερασμένων διαφορών που προέκυψε από την διαδικασία δοκιμών, αποτελείται από ένα στρώμα (Layer) κυψελίδων διαστάσεων 25 (σειρές) x13 (στήλες). Όπως προαναφέρθηκε, οι υδροφορείς είναι ελεύθεροι και καταλαμβάνουν όλη την έκταση της περιοχής μελέτης μέχρι απόλυτου βάθους – 1000m.

Το βάθος αυτό προέκυψε από τη διαδικασία της βαθμονόμησης γιατί ικανοποιούσε το μέγεθος των εκφορτίσεων από την πηγή του Αλμυρού, τις υδραυλικές αγωγιμότητες του υδροφορέα που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 2.4 καθώς και τα υδραυλικά φορτία των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 Μέσες τιμές βαθιάς διήθησης (σε mm) στους Μεσοζωικούς ανθρακικούς σχηματισμούς του βορειοανατολικού τομέα του Ψηλορείτη. {Το υψόμετρο 650 m θεωρείται το μέσο υψόμετρο των σχηματισμών αυτών στην περιοχή προσομοίωσης}.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-1963	0.0	0.0	24.8	53.8	90.1	83.6	61.2	30.6	15.3	7.7	3.8	1.9	372.8
1963-1964	1.3	0.5	0.2	22.9	68.5	67.1	34.3	17.1	8.6	4.3	2.1	1.1	228.0
1964-1965	0.7	0.3	0.1	19.5	65.2	58.7	43.0	21.5	10.7	5.4	2.7	1.3	229.1
1965-1966	0.9	0.3	0.2	16.9	11.4	44.8	22.4	11.2	5.6	2.8	1.4	0.7	118.6
1966-1967	0.5	0.2	10.4	21.5	45.5	63.9	33.9	17.0	8.5	4.2	2.1	1.1	208.6
1967-1968	0.7	0.3	12.2	89.8	61.8	65.7	38.8	19.9	9.9	5.0	2.5	1.2	307.7
1968-1969	0.8	41.3	49.5	107.8	53.9	34.6	25.4	12.7	6.4	3.2	1.6	0.8	338.0
1969-1970	0.5	0.2	0.1	5.9	9.8	22.2	11.1	5.6	2.8	1.4	0.7	0.3	60.7
1970-1971	0.2	0.5	12.6	53.4	72.4	49.7	26.7	13.4	6.7	3.3	1.7	0.8	241.5
1971-1972	0.6	0.2	0.1	0.1	11.9	33.9	18.3	15.0	7.5	3.7	1.9	0.9	94.0
1972-1973	0.6	0.2	24.1	59.0	66.8	40.9	22.1	11.1	5.5	2.8	1.4	0.7	235.2
1973-1974	0.5	0.2	0.1	16.9	34.9	33.0	16.5	8.3	4.1	2.1	1.0	0.5	118.1
1974-1975	0.3	0.1	0.1	41.1	68.9	34.4	17.2	8.6	4.3	2.2	1.1	0.5	178.8
1975-1976	0.4	0.1	25.2	68.5	81.7	86.0	43.8	21.9	11.0	5.5	2.7	1.4	348.2
1976-1977	0.9	13.3	33.6	28.7	29.8	42.5	27.9	13.9	7.0	3.5	1.7	0.9	203.7
1977-1978	0.6	0.2	18.9	89.7	60.4	63.7	31.8	15.9	8.0	4.0	2.0	1.0	296.2
1978-1979	0.7	0.2	9.0	32.4	33.9	31.5	20.5	10.2	5.1	2.6	1.3	0.6	147.9
1979-1980	0.4	0.2	34.4	42.4	71.4	54.0	30.4	15.2	7.6	3.8	1.9	0.9	262.5
1980-1981	0.6	0.2	3.2	107.6	96.2	48.1	24.0	12.0	6.0	3.0	1.5	0.8	303.3
1981-1982	0.5	0.2	6.4	18.9	69.5	74.0	39.8	19.9	10.0	5.0	2.5	1.2	247.9
1982-1983	0.8	0.3	0.2	28.1	58.2	62.4	31.2	15.6	7.8	3.9	2.0	1.0	211.4
1983-1984	0.7	0.2	17.1	37.5	44.7	36.4	26.6	13.3	6.6	3.3	1.7	0.8	188.8
1984-1985	0.6	16.4	44.9	83.6	69.3	49.2	26.4	13.2	6.6	3.3	1.6	0.8	316.0
1985-1986	0.5	0.2	16.9	19.8	36.3	21.1	10.5	5.3	2.6	1.3	0.7	0.3	115.6
1986-1987	0.2	0.1	23.8	30.8	41.9	65.6	66.2	33.1	16.5	8.3	4.1	2.1	292.7
1987-1988	1.4	0.5	14.1	30.2	70.4	63.5	31.8	15.9	7.9	4.0	2.0	1.0	242.5
1988-1989	0.7	1.0	32.1	31.5	15.7	21.5	10.8	5.4	2.7	1.3	0.7	0.3	123.6
1989-1990	0.2	2.6	1.3	12.5	36.6	18.3	9.1	4.6	2.3	1.1	0.6	0.3	89.5
1990-1991	0.2	0.1	0.0	40.7	50.0	25.9	13.9	7.0	3.5	1.7	0.9	0.4	144.3
1991-1992	0.3	0.1	35.9	29.5	54.1	43.5	22.4	11.2	5.6	2.8	1.4	0.7	207.3
M.O.	0.6	2.7	15.0	41.4	52.7	48.0	27.9	14.2	7.1	3.5	1.8	0.9	215.8

Οι κυψελίδες έχουν διαστάσεις 1000x1000m και οι συντεταγμένες της βορειοδυτικής ακμής της κυψελίδας 1,1 (Σχήμα 2.14) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, (ΕΓΣΑ '87) είναι ως εξής: Τετμημένη $X_{i,(m)}=584000$, Τεταγμένη $Y_{i,(m)}=3916000$. Η υδρογεωλογική λεκάνη αναπαρίσταται με ενεργές και ανενεργές κυψελίδες. Οι ανενεργές κυψελίδες αντιπροσωπεύουν τους ανυδροφόρους σχηματισμούς που περιβάλλουν τους υδροφόρους (μάργες, φυλλίτες) και οι ενεργές κυψελίδες τους υδροφόρους. Οι κυψελίδες του πλέγματος απεικονίζονται στο Σχήμα 2.14. Ανενεργές κυψελίδες θεωρήθηκαν αυτές της νοτιότερης σειράς γιατί στην περιοχή αυτή από τις ισοδυναμικές καμπύλες του Σχήματος 2.3 διαφάνηκε ότι η υπόγεια ροή είναι διεύθυνσης Δ-Α και ενδεχομένως νοτιότερα να είναι ΝΑ διεύθυνσης. Επίσης ανενεργές είναι οι κυψελίδες της βορειότερης σειράς που αντιπροσωπεύουν την προς βορρά εκτεινόμενη Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά και οι κυψελίδες της ανατολικής στήλης που αντιπροσωπεύουν το δυτικό περιθώριο του μεγάλου Νεογενούς βυθίσματος της περιοχής. Εξαίρεση αποτελούν οι τρεις ανατολικότερες κυψελίδες της βόρειας σειράς και η ανατολικότερη κυψελίδα της αμέσως προηγούμενης σειράς που αντιπροσωπεύουν την περιοχή Αλμυρού – εκβολών Γαζανού, ήτοι την επικοινωνία του υδροφόρου αυτού συστήματος με τη θάλασσα.

Τροφοδοσία και εκφορτίσεις υδροφορέα: Όπως αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 2.4 το εννοιολογικό μονέλο για αντικειμενικούς λόγους αναπτύχθηκε για ένα υγρό έτος. Για το λόγο αυτό αρχικά η βαθμονόμηση του μοντέλου έγινε για ένα υδρολογικά υγρό έτος, με μέσες τιμές βαθειάς διήθησης στους ανθρακικούς σχηματισμούς 300 mm (Πίνακας 2.3).

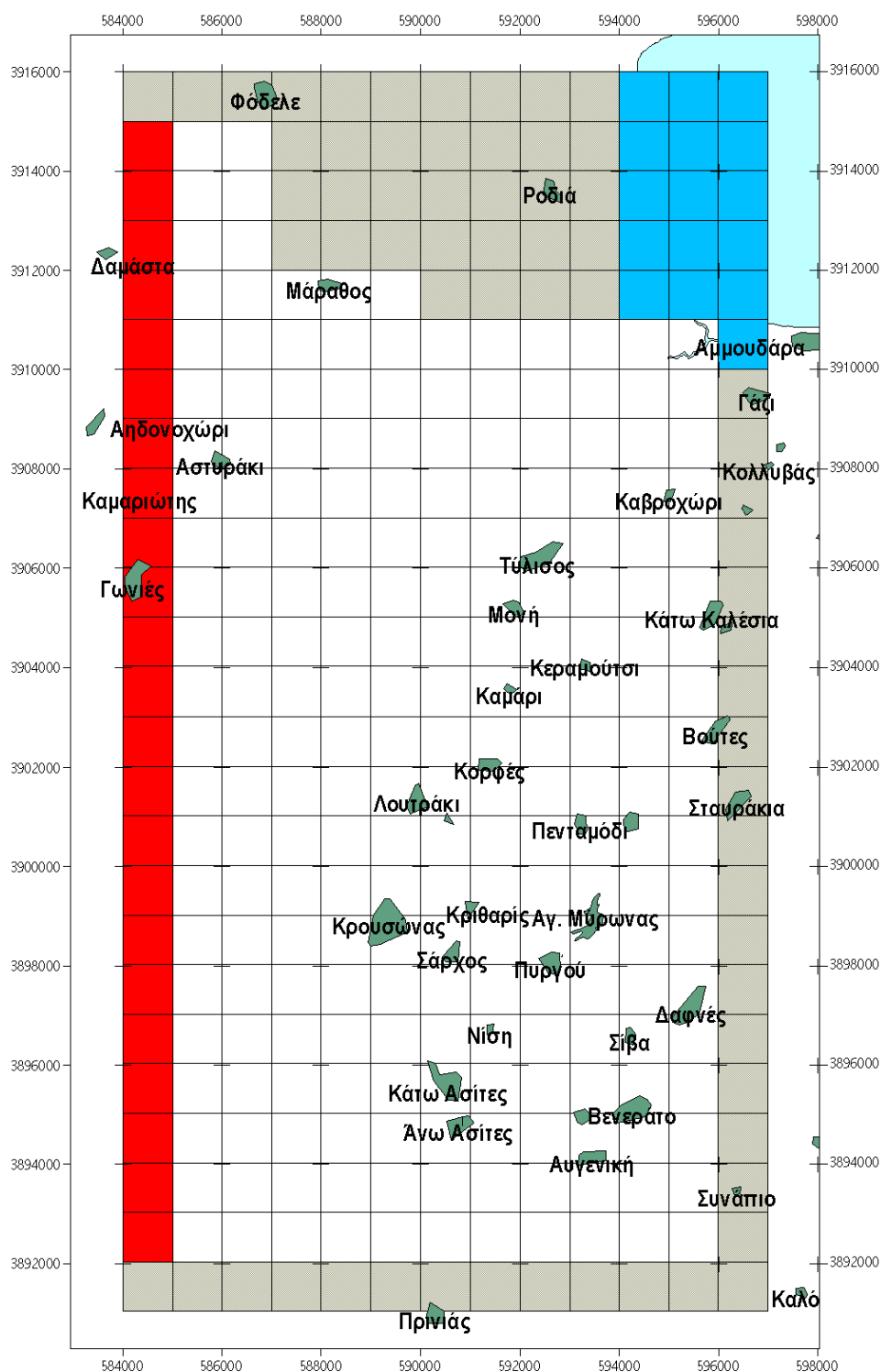
Ακολούθως προσδιορίστηκαν οι οριακές συνθήκες για ένα μέσο έτος με εφαρμογή τιμών βαθειάς διήθησης 215 mm και έγινε προσομοίωση του υδροφόρου αυτού συστήματος. Τα υδραυλικά φορτία που προσδιορίστηκαν αποτέλεσαν και τις αρχικές τιμές φορτίων για την προσομοίωση σε συνθήκες εκμετάλλευσης που ακολουθεί. Η εκφόρτιση βόρειο-ανατολικά στην πηγή του Αλμυρού παριστάται με την θεώρηση των τεσσάρων βορειοανατολικών κυψελίδων ως κυψελίδων σταθερού φορτίου (0).

Η τροφοδοσία από δυτικά υπολογίστηκε από το πρόγραμμα με την χρησιμοποίηση του General Head Boundary Package (πακέτο ορίων εξάρτησης φορτίου) για όλες τις ενεργές κυψελίδες της δυτικής στήλης, με υδραυλικά φορτία που ελήφθησαν από το Σχήμα 2.3. Τα υδραυλικά φορτία που υιοθετήθηκαν για τις κυψελίδες αυτές (από βορρά προς νότο) και για όλες τις συνθήκες της προσομοίωσης (ισορροπίας –υγρό έτος, ισορροπίας – μέσο έτος και εκμετάλλευσης – μέσο έτος) παρατίθενται στον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί. Η τιμή του συντελεστή πλευρικής διήθησης (conductance) διαμορφώθηκε από τη διαδικασία της βαθμονόμησης σε 0,127 m²/s.

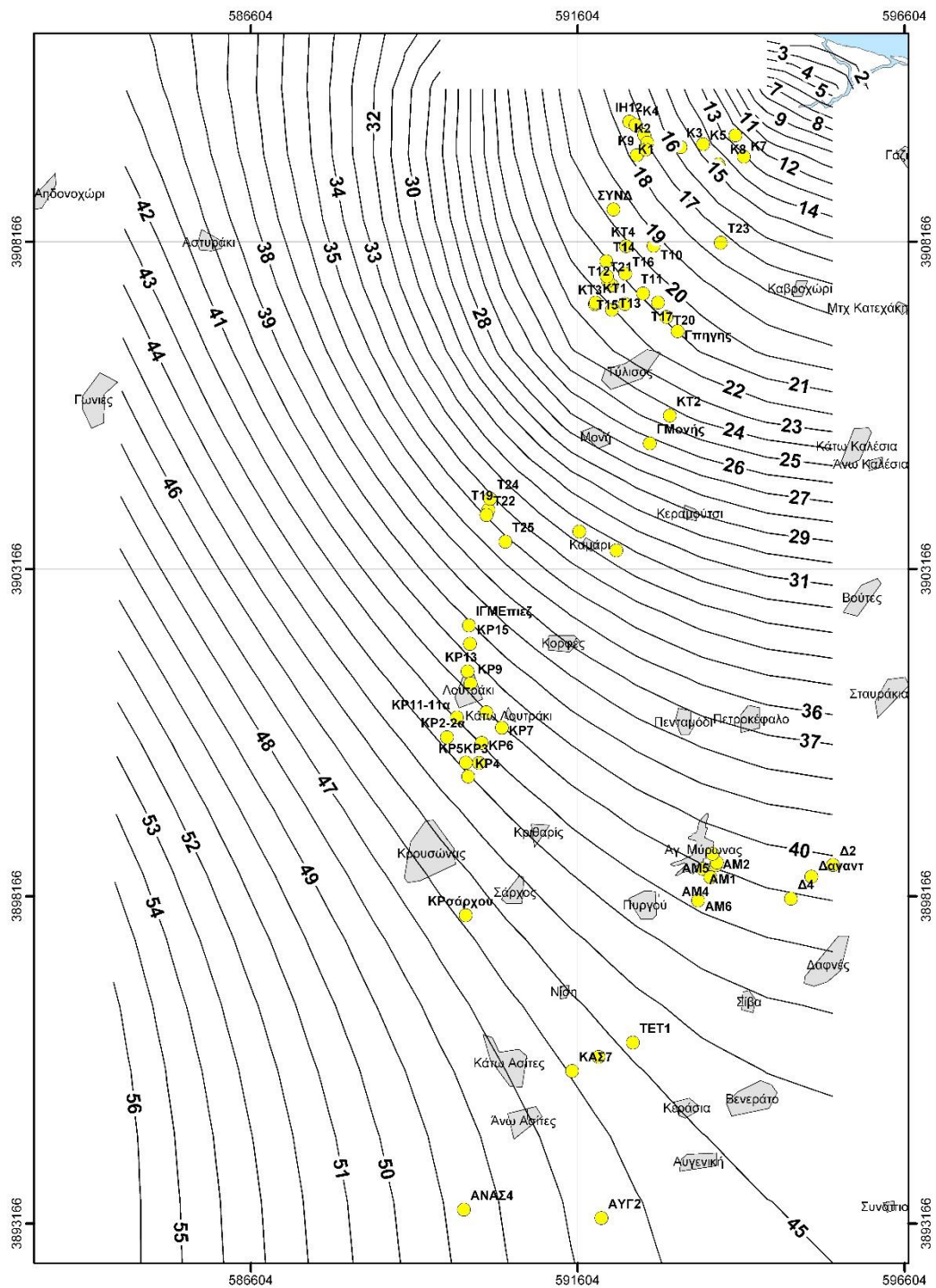
Ιδιότητες υδροφορέα: Η κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα που προέκυψε από την διαδικασία της βαθμονόμησης για το μεν βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (ευρύτερη περιοχή Αλμυρού) 0,0006 m/s, ενώ για την λοιπή περιοχή 0,0002 m/s. Η αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου συστήματος στην περιοχή του Αλμυρού είναι αναμενόμενη από το μέγεθος των εκφορτίσεων της πηγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Υδραυλικά φορτία που υιοθετήθηκαν για τις κυψελίδες εξηρημένου φορτίου (από βορρά προς νότο) και για όλες τις συνθήκες της προσομοίωσης (ισορροπίας –υγρό έτος, ισορροπίας – μέσο έτος και εκμετάλλευσης – μέσο έτος).

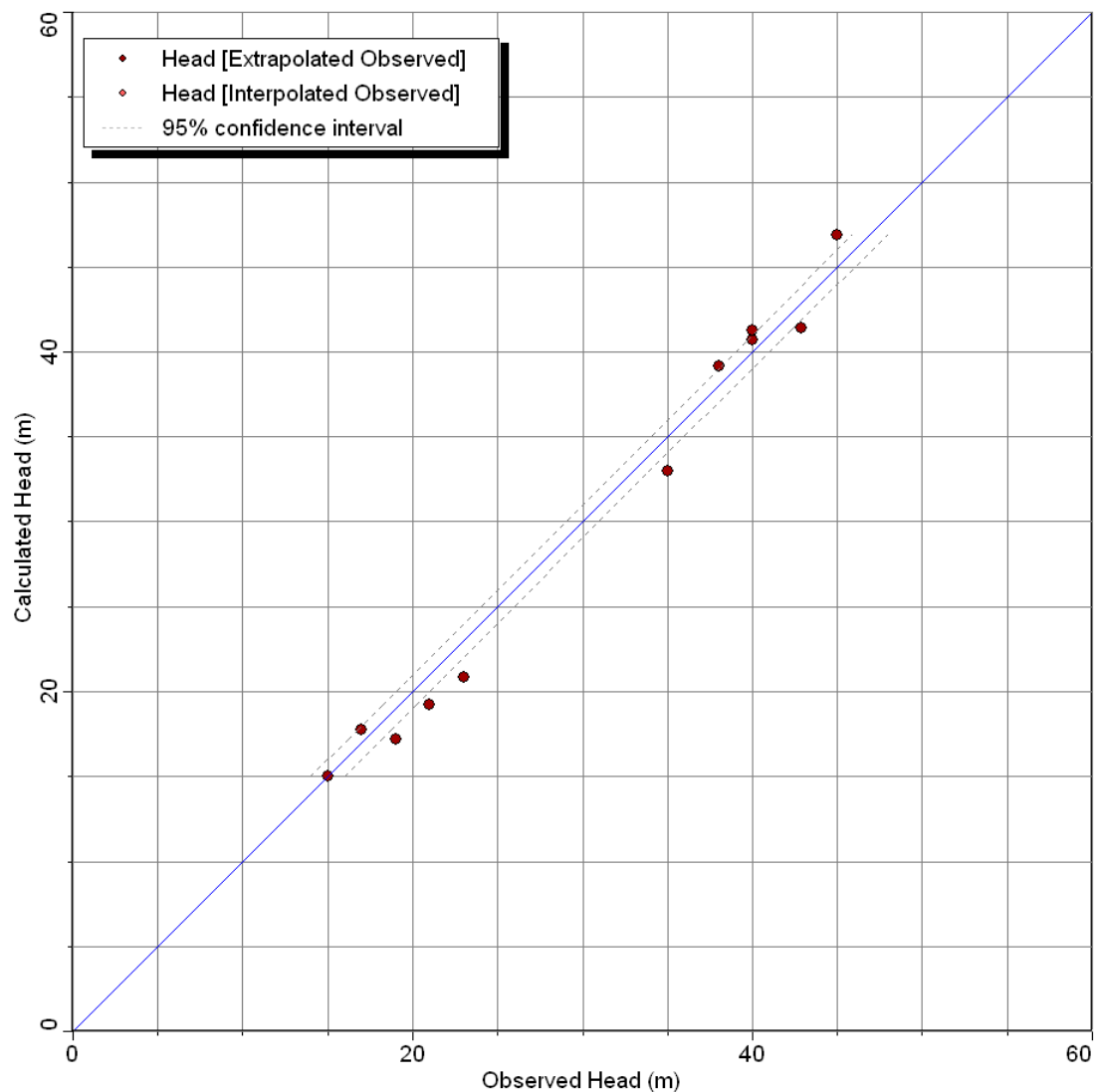
ΥΓΡΟ ΕΤΟΣ	ΜΕΣΟ ΕΤΟΣ
38.5	30.8
39.8	31.8
41.1	32.9
42.4	33.9
43.8	35.0
45.2	36.1
46.7	37.3
48.2	38.6
49.7	39.7
50.8	40.6
51.7	41.4
52.8	42.2
53.9	43.1
55.2	44.2
56.5	45.2
57.8	46.2
58.8	47.0
59.4	47.5
59.7	47.8
59.8	47.8
59.7	47.7
59.5	47.6
59.2	47.3



ΣΧΗΜΑ 2.14 Διακριτοποίηση Modflow - πλέγμα πεπερασμένων διαφορών. Οι ενεργές κυψελίδες συμβολίζονται με άσπρο χρώμα, οι ανενεργές με γκρί, οι κυψελίδες εξηρημένου φορτίου με κόκκινο και οι κυψελίδες σταθερού φορτίου με μπλέ.



ΣΧΗΜΑ 2.15 Αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ισοδυναμικές καμπύλες υδραυλικού φορτίου και διευθύνσεις υπόγειας ροής υπό συνθήκες ισορροπίας στο υδροσύστημα του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη για ένα υγρό υδρολογικά έτος (συνθήκες προ – εκμετάλλευσης).



ΣΧΗΜΑ 2.16. Σύγκριση των αρχικών τιμών υδραυλικών φορτίων (observedheads) δώδεκα γεωτρήσεων από τα πεδία Κέρης, Τυλίσσου, Γωνιανού Φαραγγιού, Λουτρακίου, Κρουσώνα, Αγίου Μύρωνα, Δαφνών, Αυγενικής και Δαμάστας – Μαράθου (ΣΥΝΔ, Κ1, Δ4, ΑΥΓ2, ΔΕ4, ΚΡ3, 3, Κ6, Τ16, Τ23, Τ19, ΜΑΡ1), με τις τιμές που υπολογίστηκαν για τις ίδιες θέσεις κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης (calculatedheads). Οι άξονες χ και ψ αντιστοιχούν σε τιμές υδραυλικών φορτίων από 0 έως +60.

Τεχνική επίλυσης: Η τεχνική επίλυσης των εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιήθηκε, είναι η μέθοδος “Preconditioned Conjugate-Gradient 2” (PCG2)”.

Αποτελέσματα της προσομοίωσης ισορροπίας - Το βαθμονομημένο μοντέλο:Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του υδροφόρου συστήματος για ένα υγρό υδρολογικά έτος και υπό συνθήκες ισορροπίας (steady state), όπου οι εισροές είναι ίσες με τις εκροές και ο αποθηκευμένος όγκος νερού στην λεκάνη δεν μεταβάλλεται, απεικονίζονται στο Σχήμα 2.15 που παρουσιάζει τις ισοδυναμικές καμπύλες των υδραυλικών φορτίων και τις διευθύνσεις υπόγειας ροής αντίστοιχα στην περιοχή μελέτης.

Έλεγχος της πιστότητας των αποτελεσμάτων και της επιτυχίας της βαθμονόμησης έγινε με τη σύγκριση των αρχικών τιμών υδραυλικών φορτίων (observed heads) δώδεκα γεωτρήσεων από τα πεδία Κέρης, Τυλίσσου, Γωνιανού Φαραγγιού, Λουτρακίου, Κρουσώνα, Αγίου Μύρωνα, Δαφνών, Αυγενικής και Δαμάστας – Μαράθου (ΣΥΝΔ, Κ1, Δ4, ΑΥΓ2, ΔΕ4, ΚΡ3, Κ6, Τ16, Τ23, Τ19, ΜΑΡ1), με τις τιμές που υπολογίστηκαν για τις ίδιες θέσεις κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης (calculated heads) (Σχήμα 2.16). Οι αποκλίσεις είναι μικρότερες από την ετήσια διακύμανση της υδροστατικής στάθμης και συνεπώς η βαθμονόμηση θεωρείται πολύ ικανοποιητική.

Ισοζύγιο υγρού έτους: Το συνολικό ετήσιο ισοζύγιο για ένα υγρό έτος διαμορφώνεται ως εξής:

ΕΙΣΟΔΟΙ	
Βαθιά διήθηση	37.500.000 m ³ /y
Πλευρική τροφοδοσία	272.400.000 m ³ /y
ΕΞΟΔΟΙ	
Εκφορτίσεις Αλμυρού	309.900.000 m ³ /y

Ισοζύγιο μέσου έτους: Τα αποτελέσματα του μοντέλου για ένα υδρολογικά μέσο έτος απεικονίζονται στο Σχήμα 2.17 που παρουσιάζει τις ισοδυναμικές καμπύλες των υδραυλικών φορτίων και τις διευθύνσεις υπόγειας ροής στο υδροφόρο αυτό σύστημα. Το συνολικό ετήσιο ισοζύγιο για ένα μέσο έτος διαμορφώνεται ως εξής:

ΕΙΣΟΔΟΙ	
Βαθιά διήθηση	26.900.000 m ³ /y
Πλευρική τροφοδοσία	219.200.00 m ³ /y
ΕΞΟΔΟΙ	
Εκφορτίσεις Αλμυρού	246.100.000 m ³ /y

3. Ποσοτικά και ποσοτικά στοιχεία της πηγής

3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται ο συνολικός όγκος εκφόρτισης της πηγής και η συγκέντρωση των χλωριόντων που παρουσιάζεται. Μελετάται επίσης η συσχέτιση των δεδομένων αυτών σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα δεδομένα της παροχής της πηγής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων είναι αυτά της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων (Υ.Ε.Β.) του νομού Ηρακλείου.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

1. Ημερήσια δεδομένα της συνολικής παροχής για την πηγή από 15/04/1967 μέχρι 17/11/1994 (αρχικά δεδομένα). Μηνιαία δεδομένα για την παροχή της πηγής από τον Σεπτέμβριο του 1975 έως τον Αύγουστο του 2001 (τελικά δεδομένα).
2. Ημερήσια και μηνιαία δεδομένα για τη συγκέντρωση των χλωριόντων για τις ίδιες χρονικές περιόδους με την παροχή της πηγής.
3. Μηνιαία δεδομένα για την βροχόπτωση για τους βροχομετρικούς σταθμούς του Ηρακλείου και του Κρουσώνα από το 1975 μέχρι το 2007 και ημερήσια για το σταθμό των Ανωγείων για τα έτη 1919 – 2001.

3.2 Συνολική παροχή της πηγής

Η παροχή της πηγής είναι συνεχής κατά τη διάρκεια του ετήσιου υδρολογικού κύκλου, παρουσιάζει όμως πολύ μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η ελάχιστη παροχή υφάλμυρου νερού που εμφανίζεται είναι της τάξης των $3 - 4 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ τους χειμερινούς μήνες η ελάχιστη παροχή φτάνει τα $8 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ η μέγιστη παροχή μπορεί να φτάνει τα $30 - 40 \text{ m}^3/\text{s}$ (Μπεζές 1983).

Εκτίμηση για τον μέσο ετήσιο όγκο εκφόρτισης της πηγής δίνεται με βάση την περίοδο 1968-1990 από την ΔΕΥΑΗ ως 232 εκατ. m^3 και διακύμανση μεταξύ 165 και 275 εκατ. m^3 .

Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί η μέγιστη παροχή της πηγής αναφέρεται ότι ανέρχεται σε 70 με $80 \text{ m}^3/\text{s}$, στοιχείο που δεν παρατηρήθηκε στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Η μέση ετήσια παροχή της πηγής του Αλμυρού υπολογίζεται γύρω στα 250 εκατ. m^3 (Μαραμαθάς 2003).

Από τα πρωτογενή στοιχεία μετρήσεων της Υ.Ε.Β. Ηρακλείου που αφορούν την παροχή της πηγής και την συγκέντρωση χλωριόντων Αλμυρού Ηρακλείου, προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας που αναφέρεται στον όγκο της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου ανά

τετράμηνο κάθε έτους. Επειδή στα στοιχεία υπήρχαν έτη χωρίς δεδομένα τα έτη αυτά εξαιρέθηκαν από την στατιστική επεξεργασία του δείγματος. (πίνακας 3.1). Στον πίνακα τα έτη που εξαιρέθηκαν έχουν χρωματισθεί.

Τα τετράμηνα έχουν επιλεγεί με αφετηρία τον Ιανουάριο κάθε χρόνου με στόχο το πρώτο τετράμηνο να αντιστοιχεί στην περίοδο του έτους με την μικρότερη συγκέντρωση χλωριόντων.

Ο πίνακας 3.1 παρουσιάζει τα στοιχεία αυτά καθώς και τα συνολικά ετήσια μεγέθη του όγκου του νερού της πηγής. Όπως προκύπτει από την ανάλυση ο μέσος όρος του όγκου απορροής της πηγής είναι $Q_m = 264,509$ εκατ. m^3 ενώ η τυπική απόκλιση προέκυψε ίση με $s = 30,566$ εκατ. m^3 .

Ο συντελεστής διακύμανσης [$c_v = s / Q_m$] υπολογίσθηκε ίσος με 11,56 %.

Επειδή πρόκειται για ετήσια μεγέθη με μικρή σχετικά τυπική απόκλιση, η θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων που ταιριάζει σε ένα τέτοιο δείγμα είναι η κανονική κατανομή. Με βάση τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση βρέθηκε η ανηγμένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής για δύο επίπεδα αστοχίας 10 % και 5 %, αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίσθηκαν τα μεγέθη ετήσιου όγκου εκφόρτισης της πηγής για αυτά τα επίπεδα αστοχίας. Τα μεγέθη που προέκυψαν είναι 222,267 εκατ. m^3 για 10% αστοχία και 214,229 εκατ. m^3 για 5% αστοχία. Δηλαδή ο εγγυημένος ετήσιος όγκος νερού της πηγής για 10 και 5 % πιθανότητα αστοχίας είναι 222 και 214 εκατ. m^3 , αντίστοιχα.

Πιν. 3.1: Όγκος νερού του Αλμυρού Ηρακλείου σε εκατ. m³ ανά τετράμηνο

ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΝΑ ΤΕΤΡΑΜΗΝΟ (ΕΚΑΤ. m ³)					
ΕΤΟΣ	ΙΑΝ-ΜΑΡΤ	ΑΠΡ-ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ-ΣΕΠΤ	ΟΚΤ-ΔΕΚ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ
1968		81.68	37.79	97.28	
1969	127.65	92.60	38.49	46.50	305.24
1970	65.86	41.60	32.97	60.81	201.24
1971	103.97	52.41	32.50	33.05	221.93
1972	91.23	52.95	44.68	62.36	251.22
1973	111.35	65.88	50.09	28.38	255.70
1974	107.56	61.21	52.27	72.58	293.62
1975	130.62	85.00	50.35	64.31	330.28
1976	121.38	68.51	41.83	72.24	303.96
1977	100.60	57.23	32.04	63.14	253.01
1978	115.86	52.18	37.56	61.90	267.50
1979	102.43	44.32	36.39	75.74	258.88
1980	103.89	65.09	45.26	51.71	265.95
1981	107.00	49.69	38.88	42.53	238.10
1982	114.15	51.32	37.40	41.37	244.24
1983	130.81	65.40	40.36	65.94	302.51
1984	120.88	81.87	41.68	68.66	313.09
1985	93.00	55.44	61.96	68.43	278.83
1986	98.38	42.77	34.21	63.37	238.73
1987	86.39		34.6	33.98	
1988	81.45	51.17	37.01	53.97	223.6
1989	86.31	44.48	33.36	37.17	201.32
1990	96.66	62.03			
1991			57.29	84.63	
1992	120.14		68.13	78.36	
1993	97.85			64.25	
1994	102.98	80.65			
1995	108.69	81.25	41.89	63.24	295.07
1996	105.97	60.58	39.27	51.63	257.45
1997	86.70	59.95	37.17	61.9	245.72
1998	95.64	67.43	33.67	52.25	248.99
1999	106.35	73.53	32.43	56.06	268.37
2000	95.52	50.31	40.36	73.96	260.15
Μέσος όρος	104.36	60.55	40.16	57.43	264.51
Τυπική απόκλιση					30.57

Συντελεστής Διακύμανσης: 11.56 %

3.3 Συγκέντρωση χλωριόντων

Τα χλωριόντα είναι άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου και είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση. Προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των βράχων, και επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα διεισδύουν στο έδαφος και στις παράκτιες περιοχές. Για το λόγο αυτό εντοπίζονται και στην πηγή του Αλμυρού, καθώς υπάρχει εισροή θαλασσινού νερού σε αυτή.

Στο σύνολό τους τα χλωριόντα δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Επειδή δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριόντων στον άνθρωπο δεν έχει καθορισθεί ανώτατο επίπεδο στο πόσιμο νερό.

Στην πηγή του Αλμυρού, η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων στο νερό οφείλεται κυρίως στην είσοδο θαλασσινού νερού λόγω υφαλμύρωσης της πηγής.

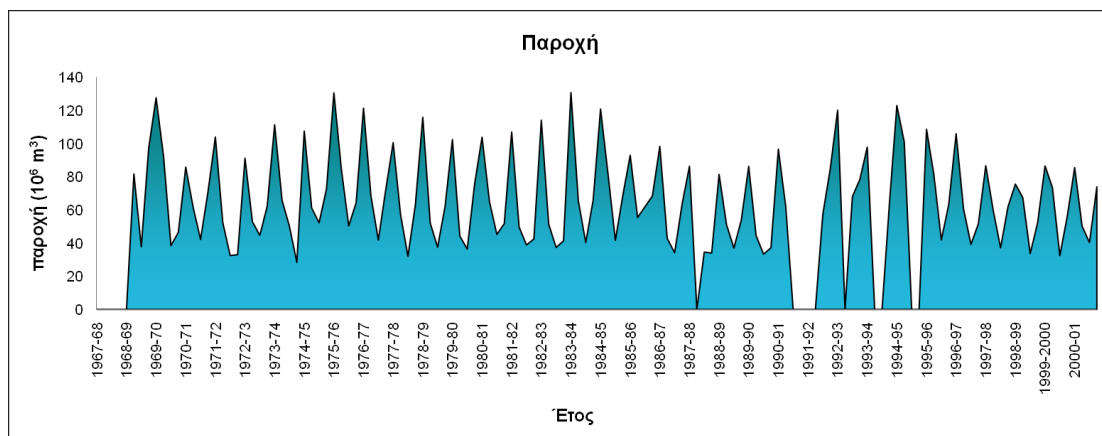
Ωστόσο, η ποιότητα του νερού της πηγής δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται στο χρόνο. Συγκεκριμένα, αύξηση της βροχόπτωσης, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, συνεπάγεται μείωση των χλωριόντων, δηλαδή καλύτερη ποιότητα. Αντίθετα, κατά το καλοκαίρι το φαινόμενο της υφαλμύρωσης είναι πιο έντονο, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των χλωριόντων να αυξάνεται και το νερό να είναι υφάλμυρο. Με βάση το διαθέσιμο δείγμα με δεδομένα από το 1968 έως το 2001, η συγκέντρωση της πηγής σε χλωριόντα μεταβάλλεται από $27 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ που είναι η ελάχιστη τιμή, έως $5851 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ που είναι η μέγιστη.

3.4 Διαγραμματική απεικόνιση

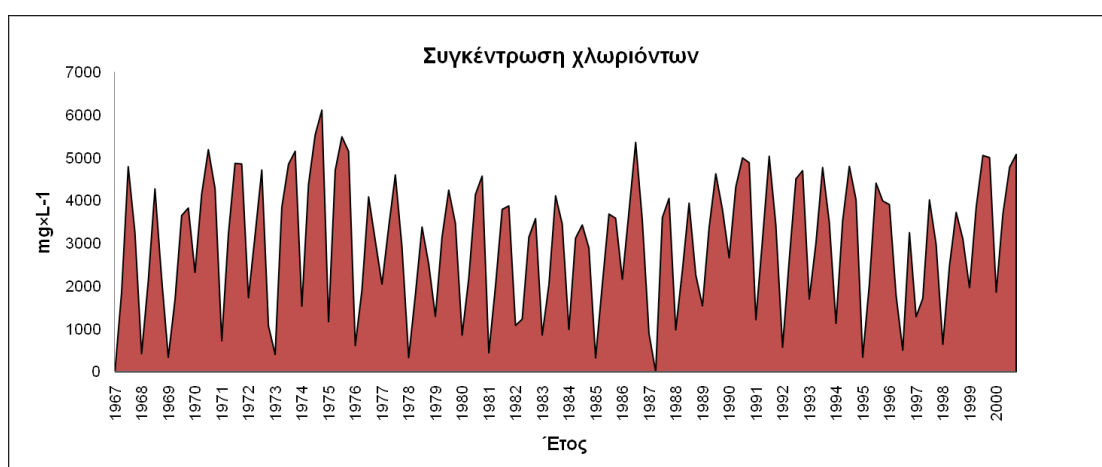
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συνολικής μηνιαίας παροχής της πηγής (Σχήμα 3.1), της συγκέντρωσης των χλωριόντων συναρτήσει του χρόνου (Σχήμα 3.2), της ετήσιας παροχής της πηγής (Σχήμα 3.3), και συγκέντρωσης των χλωριόντων συναρτήσει της παροχής της πηγής (Σχήμα 3.4).

Όπως είναι αναμενόμενο, τα δύο μεγέθη βρίσκονται σε αντίθετη κατεύθυνση. Τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται αύξηση της παροχής και μείωση της συγκέντρωσης των χλωριόντων, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρατηρείται μείωση της παροχής και αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (Σχήμα 3.4).

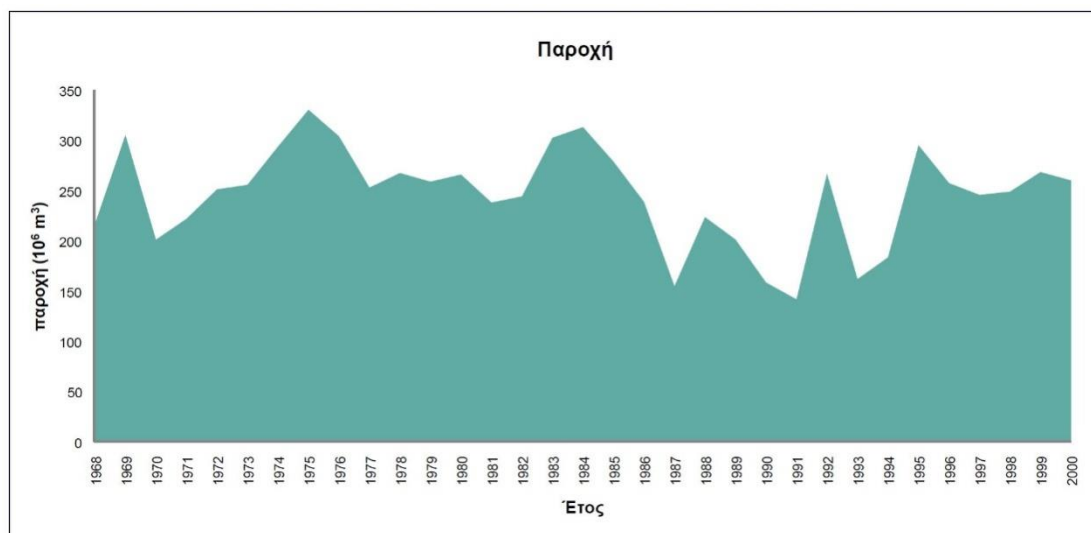
Τέλος, στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχέτισης της παροχής της πηγής με την συγκέντρωση των χλωριόντων. Η ικανοποιητική συσχέτιση των δύο μεγεθών φαίνεται από την ικανοποιητική προσαρμογή της εκθετικής καμπύλης και τον συντελεστή $R^2=0,63$.



Σχήμα 3.1 : Μηνιαία παροχή για την περίοδο 1967 – 2000



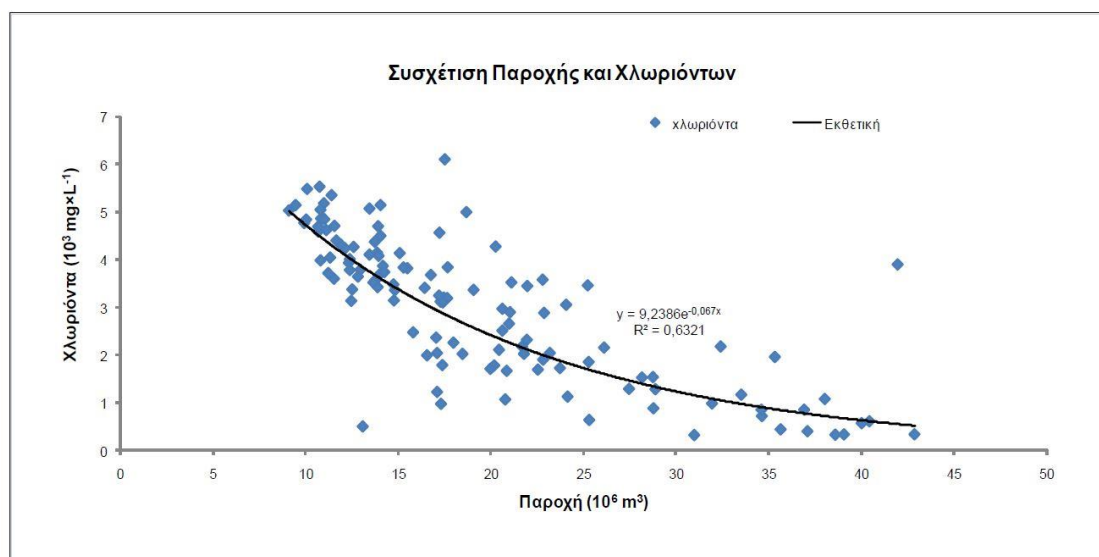
Σχήμα 3.2 : Μηνιαία συγκέντρωση χλωριόντων για την περίοδο 1967 -2000



Σχήμα 3.3 : Ετήσια παροχή για την περίοδο 1968 -2000



Σχήμα 3.4 : Μηνιαία συγκέντρωση χλωριόντων και παροχής για την περίοδο 1967 - 2000



Σχήμα 3.5 : Συσχέτιση συγκέντρωσης χλωριόντων και παροχής για την περίοδο 1967 – 2000

3.5 Παρατηρήσεις

Από τα παραπάνω διαγράμματα εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά ισχύουν τα παρακάτω:

- Σύμφωνα με το Σχήμα 3.1, παρατηρείται πως η συνολική μηνιαία παροχή της πηγής του Αλμυρού, παρουσιάζει μια πτωτική τάση. Η τάση αυτή όμως είναι στατιστικά μη ανιχνεύσιμη εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή συσχέτισης ($R = 0,0007$).
- Σύμφωνα με το Σχήμα 3.2, η συγκέντρωση των χλωριόντων ακολουθεί μια αυξητική τάση με την πάροδο του χρόνου. Ομοίως το αποτέλεσμα είναι στατιστικά μη σημαντικό ($R = 0,0021$).
- Με βάση το Σχήμα 3.3, παρατηρείται πως η συνολική ετήσια παροχή της πηγής ακολουθεί μια στατιστικά μη αποδεκτή πτωτική τάση, η οποία όμως είναι στατιστικά μη σημαντική ($R = 0,0543$).
- Από το Σχήμα 3.4 προκύπτει το συμπέρασμα πως η παροχή και τα χλωριόντα είναι χαρακτηριστικά στοιχεία της πηγής που συσχετίζονται με μια εκθετικού τύπου σχέση. Όπως αναφέρθηκε τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων και μειώνεται η παροχή, ενώ τους χειμερινούς μήνες αυξάνεται η παροχή και μειώνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων. Τέλος, από το διάγραμμα για τα μεγέθη της συγκέντρωσης των χλωριόντων και της παροχής της πηγής (Σχήμα 3.5), προέκυψε η εκθετική συνάρτηση σύμφωνα με την οποία ο συντελεστής $R^2 = 0,63$. Όπου y είναι η συγκέντρωση χλωριόντων μετρούμενη σε $\text{mg} \times \text{L}^{-1}$ και x είναι η μηνιαία παροχή της πηγής εκφρασμένη σε εκατ. m^3 .
- Από το σχήμα 3.5 προκύπτει ότι με μηνιαίες παροχές της πηγής μεγαλύτερες των 25 εκατ. m^3 , τα επίπεδα συγκέντρωσης χλωριόντων είναι ικανοποιητικά για χρήση του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

4. Λεκάνη τροφοδοσίας

4.1 Γενικά - Βροχομετρικοί σταθμοί και Δεδομένα

Στην ευρύτερη περιοχή τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού βρίσκονται σε λειτουργία αρκετοί βροχομετρικοί σταθμοί της Υ.Ε.Β και της Ε.Μ.Υ. Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν είναι άμεσα συνδεδεμένοι με το σύστημα του Αλμυρού καθώς κατέχουν σημαντική γεωγραφική θέση και κρίθηκαν καταλληλότεροι για επεξεργασία. Οι σταθμοί αυτοί είναι οι βροχομετρικοί σταθμοί του Ηρακλείου (Υ.Ε.Β), των Ανωγείων και του Κρουσώνα. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η διάρκεια των διαθέσιμων δεδομένων των σταθμών και στον πίνακα 4.2 τα χαρακτηριστικά τους.

Με εργασίες του ΕΜΠ έγινε η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων που αφορούσαν τόσο το σύστημα του Αλμυρού στο σύνολό του, όσο και για κάθε βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά.

Πίνακας 4.1 : Περίοδος μηνιαίων δεδομένων Βροχόπτωσης (Υ.Ε.Β)

Βροχομετρικός Σταθμός	Δεδομένα Βροχόπτωσης	
	Από	Μέχρι
Ανώγεια	Ιανουάριο 1918	Αύγουστο 2001
Ηράκλειο	Οκτώβριο 1975	Δεκέμβριο 2007
Κρουσώνας	Δεκέμβριο 1964	Δεκέμβριο 2007

Πίνακας 4.2 : Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου)

Σταθμός	Νομός	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	ΕΓΣΑ87-Χ	ΕΓΣΑ87-Υ	Υψόμετρο (m)	Φορέας
Ηράκλειο	Ηρακλείου	025:07:00E	35:20:00N	601336,35	3910292,74	15	Υ.Ε.Β
Ανώγεια	Ρεθύμνης	024:53:00E	35:17:00N	580327,86	3904822,08	740	Υ.Ε.Β
Κρουσώνας	Ηρακλείου	024:59:00E	35:14:00N	589476,81	3899362,33	500	Υ.Ε.Β

4.2 Έλεγχος Ομογένειας

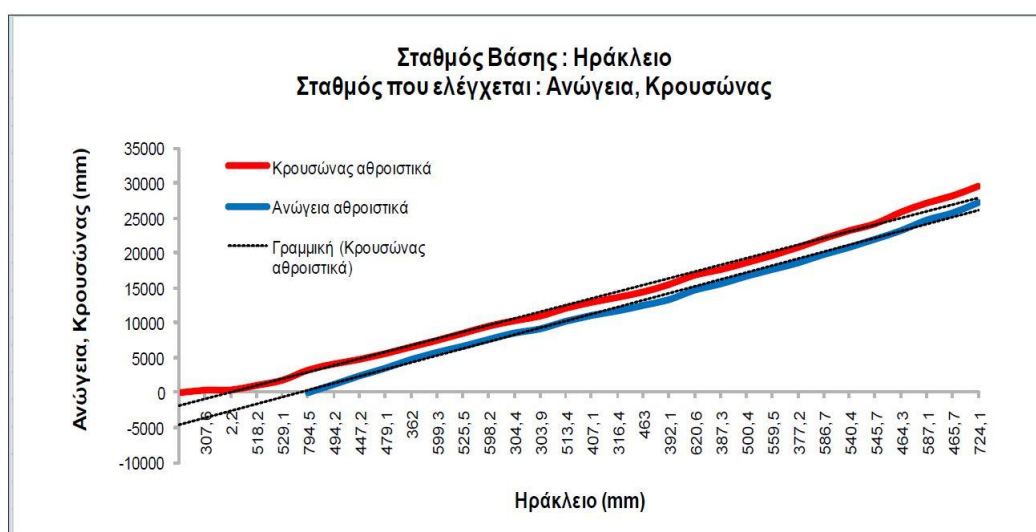
Με τον έλεγχο της ομογένειας των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών γίνεται ο έλεγχος ενός σταθμού σε σύγκριση τους γειτονικούς σταθμούς. Οι γειτονικοί αυτοί σταθμοί αποτελούν τους σταθμούς βάσης που έχει ήδη ελεγχθεί η ομογένειά τους. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι γνωστή ως μέθοδος της διπλής αθροιστικής καμπύλης. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ελέγχονται τόσο τα ετήσια ύψη βροχής των σταθμών λαμβανομένων ανά δύο, όσο και τα μηνιαία ύψη.

Στο διάγραμμα τοποθετούνται στον άξονα x τα αθροιστικά ύψη βροχής του σταθμού βάσης που ξεκινούν από το πιο πρόσφατο έτος (2006 - 2007) προς το πρώτο (1975 -

1976). Αυτό συμβαίνει επειδή για τη διόρθωσή των δεδομένων θεωρούνται πιο αξιόπιστες οι πιο πρόσφατες μετρήσεις και η διόρθωση γίνεται στο παλαιότερο υποσύνολο. Ο άξονας γ απεικονίζει τα αθροιστικά ύψη βροχής του σταθμού που ελέγχεται.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα (Σχήμα 4.1) η μέθοδος της διπλής αθροιστικής καμπύλης για τα ετήσια δεδομένα των βροχοπτώσεων για τους σταθμούς Κρουσώνα και Ανώγειων σε σχέση με τον σταθμό του Ηρακλείου.

Όπως διαπιστώνεται οι σταθμοί Κρουσώνα και Ανώγειων είναι ομογενείς ως προς τον σταθμό του Ηρακλείου που αποτελεί τον σταθμό βάσης.



Σχήμα 4.1: Έλεγχος Ομογένειας με ταθμό βάσης τον σταθμό του Ηρακλείου

Όσον αφορά στη σχέση των σταθμών με το υψόμετρο και την αναγωγή των δεδομένων στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης ή εκτασης αναφοράς, υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής.

Η βροχοβαθμίδα, δηλ. η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους, που αναμένεται για κάθε 100 m αύξησης του υψομέτρου, υπολογίστηκε από τις εργασίες του ΕΜΠ σε 86 mm ανά 100 m υψομετρικής διαφοράς.

Τα μέσα ετήσια ύψη βροχής και το υψόμετρο των σταθμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3 : Μέσο ετήσιο ύψος βροχής και υψόμετρο των σταθμών της πηγής του Αλμυρού (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου)

ΒΡΟΧ. ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
Ηράκλειο	15	496,7
Κρουσώνας	500	993,4
Ανώγεια	740	1102,7

4.3 Οριοθέτηση Λεκάνης Τροφοδοσίας

Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί η εύρεση της επιφανειακής λεκάνης απορροής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, οι λεκάνες απορροής που επηρεάζουν την τροφοδοσία της πηγής είναι περισσότερες από μία.

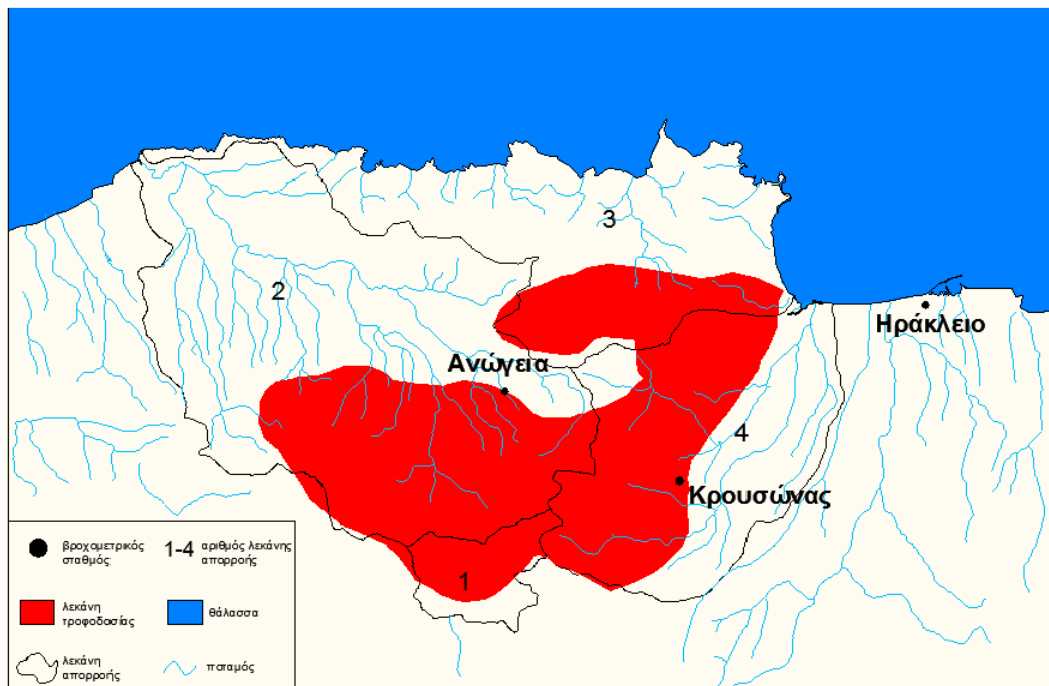
Ο προσδιορισμός όμως της λεκάνης απορροής δεν είναι αρκετός για την πλήρη ανάλυση και κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας της πηγής του Αλμυρού. Είναι επομένως αναγκαία η εύρεση της υδρογεωλογικής λεκάνης της πηγής που είναι ευρύτερη, δηλαδή της λεκάνης τροφοδοσίας.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πολλοί μελετητές που έχουν ασχοληθεί με την πηγή του Αλμυρού, προσδιόρισαν την έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας με σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη δυσκολία του απόλυτου προσδιορισμού της, καθώς ο Αλμυρός αποτελεί ένα από τα πιο περίπλοκα καρστικά συστήματα στη χώρα. Έτσι, πολλοί μελετητές προσδιορίζουν την έκτασή της σε 305 km² (Arfib et al. (2001), αλλά και άλλοι που θεωρούν πως προσεγγίζει τα 530 km².

Σύμφωνα με τον Bonacci (2006) και τους Arfib et al. (2001), η περιοχή τροφοδοσίας χωρίζεται επιπρόσθετα σε δύο βασικούς υδροφορείς. Στο βόρειο υδροφορέα, που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερα υψόμετρα και σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες και στο νότιο υδροφορέα, που είναι ορεινότερος και περιλαμβάνει και τον υδροφορέα της ίδης.

Με βάση τις μελέτες που έγιναν στο ΕΜΠ, η μελετιτική ομάδα κλίνει στην κατεύθυνση των Arfib et al. (2001) και θεωρείται πως η λεκάνη λειτουργεί ως ενιαίος υδροφορέας, ο οποίος επηρεάζεται και από τους τρεις επιλεγέντες βροχομετρικούς σταθμούς. Το εμβαδόν της ενιαίας λεκάνης σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΕΜΠ με βάση κατάλληλο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ίσο με 307 km². Το μέγεθος αυτό έχει υιοθετηθεί και με τις εργασίες τις ΔΕΥΑΗ που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 αυτού του τμήματος του τεύχους.

Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται οι τρεις βροχομετρικοί σταθμοί, η λεκάνη τροφοδοσίας (κόκκινη) και οι τέσσερις λεκάνες απορροής που σχετίζονται με τη λεκάνη τροφοδοσίας του Αλμυρού.



Σχήμα 4.2 : Λεκάνη τροφοδοσίας και λεκάνες απορροής του συστήματος του Αλμυρού, και οι βροχομετρικοί σταθμοί

5. Υδατικό Ισοζύγιο

5.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της διερεύνησης του υδατικού ισοζυγίου της πηγής του Αλμυρού, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων της παροχής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων (CL⁻) του νερού της πηγής. Πιο αναλυτικά, στο καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού, πραγματοποιείται ανάμιξη μετεωρικού νερού, το οποίο κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς του Ψηλορείτη, και θαλασσινού νερού το οποίο διεισδύει μέσω καρστικής διόδου από τη θάλασσα.

Εξαιτίας της έλλειψης ανεξαρτησίας των παρατηρήσεων, για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολύπλοκα στατιστικά μοντέλα. Ένας από τους κυριότερους σκοπούς της εφαρμογής των μοντέλων και των συναρτήσεων αυτών είναι η αναγκαιότητα για την απόκτηση δυνατότητας πρόβλεψης των μεγεθών του ισοζυγίου σε μελλοντικές συνθήκες. Με τον τρόπο αυτό

θα είναι εφικτή και η έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων και δυσκολιών που μπορεί να προκύψουν στο μέλλον.

Πιο συγκεκριμένα, στο τμήμα αυτό της μελέτης εξετάζεται το υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή η ποσότητα του γλυκού και του αλμυρού νερού με βάση τη συγκέντρωση των χλωριόντων σε ετήσια βάση. Οι συναρτήσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν για την κατανόηση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων υδρολογικών μεταβλητών (παροχή, συγκέντρωση χλωριόντων) είναι δύο συναρτήσεις γραμμικής παλινδρόμησης και ανάλυσης χρονοσειράς (Alexakis et al. 2010).

5.2 Υδατικό Ισοζύγιο και ισοζύγιο χλωριόντων

Ιδιαίτερα σημαντικό για την εξέταση του υδατικού ισοζυγίου στην περιοχή της θεωρούμενης λεκάνης τροφοδοσίας θεωρείται το ποσοστό της βροχής που κατεισδύει στον καρστικό υδροφόρο. Σύμφωνα με τις μελέτες του ΕΜΠ (Alexakis et al. 2010) ο μέσος συντελεστής κατεισδυσης είναι 0,60 για τους ασβεστολίθους τόσο της ορεινής περιοχής, όσο και της πεδινής. Η απλοποιημένη αυτή προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ετήσια ποσότητας νερού των βροχοπτώσεων η οποία κατεισδύει στο έδαφος και τροφοδοτεί την πηγή.

Στον συνολικά μετρημένο όγκο νερού της πηγής **Vspring**, περιλαμβάνεται η συμμετοχή τόσο του γλυκού νερού **Vfresh**, όσο και του αλμυρού νερού **Vsea**. Ουσιαστικά από την αρχή διατήρησης μάζας έχουμε ότι:

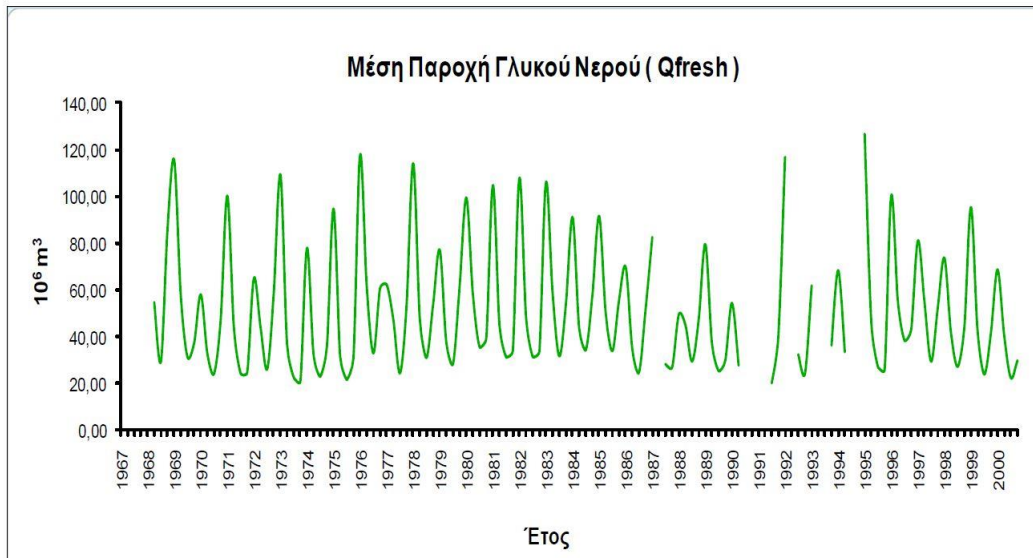
$$C_{Clsping} \times V_{spring} = C_{Clsea} \times V_{sea} + C_{Clfresh} \times V_{fresh}$$

Όπου C_{Cl} είναι η συγκέντρωση χλωριόντων σε $\text{mg} \times \text{L}^{-1}$.

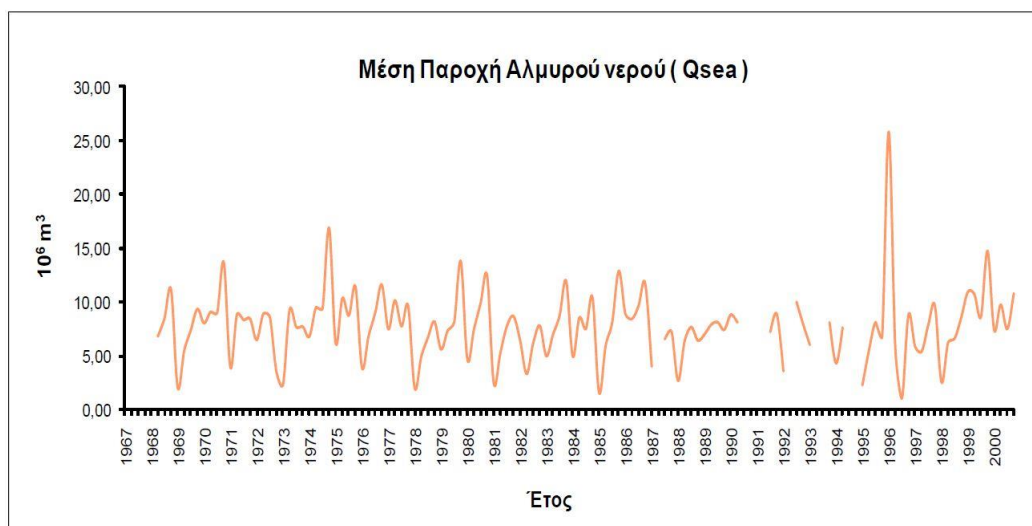
Για λόγους απλοποίησης πρακτικά, η συγκέντρωση C_{Clsea} του θαλασσινού νερού σε αλάτι θεωρήθηκε ίση με $19000 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ και η συγκέντρωση $C_{Clfresh}$ ίση με $10 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ (Alexakis et al. 2010).

Με βάση τις εργασίες του ΕΜΠ και αξιοποιώντας εξισώσεις όπως η παραπάνω, έγινε η εκτίμηση των ποσοτήτων γλυκού και θαλασσινού νερού που συμμετέχουν στη σύνθεση του υφάλμυρου νερού της πηγής ξεκινώντας από τα μεγέθη των βροχοπτώσεων, των κατεισδύσεων και της ανάμειξης με θαλασσινό νερό.

Ο διαχωρισμός σε γλυκό και θαλασσινό νερό σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες παρουσιάζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Στα διαγράμματα παρουσιάζονται τα μεγέθη σε όγκο νερού σε ετήσια βάση (μέση ετήσια παροχή).



Σχήμα 5.1 : Μέση Ετήσια Παροχή του γλυκού νερού της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου για τα έτη 1967 – 2001



Σχήμα 5.2 : Μέση Ετήσια Παροχή του θαλασσινού (αλμυρού) νερού της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου για τα έτη 1967 – 2001.

Παρατηρήσεις

1. Σύμφωνα με τα Σχήμα 5.1 διακρίνεται μια μικρή αρνητική κλίση στις ποσότητες του γλυκού νερού που φαίνεται να ελαττώνονται σε σχέση με το χρόνο. Αντίθετα στο Σχήμα 5.2, παρατηρείται μια μικρή σχετική αύξηση της εισροής του θαλασσινού νερού στην πηγή του Αλμυρού σε σχέση με το χρόνο.
2. Τα κενά τα οποία παρουσιάζονται και στα δύο διαγράμματα, οφείλονται σε ελλειπή στοιχεία και μετρήσεις.

Βιβλιογραφία

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexakis D., Tsakiris G., (2010): Drought impacts on karstic spring annual potential. Application on Almyros (H. Crete) brackish spring. Desalination and Water Treatment 16(1-3):229-237.

Arfib B., Cavallera T., Gilli E. (2006): Influence de l'hydrodynamique sur l'intrusion saline en aquifère karstique côtier. C.R. Geoscience 338: 757-767.

Arfib B., Ganoulis J. (2004): Modélisation physique de l'intrusion d'eau de mer dans un aquifère karstique: cas de l'Almyros d'Héraklion (Crète). C.R. Geoscience 336: 999-1006.

Arfib B., Marsily G., Ganoulis J. (2001): Freshwater-saltwater motion in a coastal karstic aquifer - The case of the Almyros of Heraklio, Crete, Greece. First international conference on saltwater intrusion and coastal aquifers monitoring, modeling and management.

Arfib B., Marsily G., Ganoulis J. (2002): Coastal karst springs in the mediterranean basin: Study of the mechanisms of saline pollution at the Almyros spring (Crete), Observations and Modeling. GeoScience World, 245-253.

Arfib B., Marsily G., Ganoulis J. (2007): Locating the Zone of Saline Intrusion in a Coastal Karst Aquifer Using Springflow Data. Groundwater Journal, 28-35.

Bakalowicz M. (2003): Coastal karst aquifers in mediterranean regions. a valuable ground water resource in complex aquifers. TECNOLOGÍA DE LA INTRUSIÓN DE AGUA DE MAR EN ACUÍFEROS COSTEROS: PAÍSES MEDITERRÁNEOS, 125-128.

Bonacci O, Fistanic I. (2006): Contribution to hydrological analysis of the coastal karst spring Almyros (Crete, Greece). Conference on water observation and information system for decision support.

Burdon D.J., Papakis N.J. (1964): Preliminary note on the hydrogeology of the Almyros spring Iraklion – Crete. Geological and Geophysical research, 9 (3).

Harbaugh, A., W and McDonald, M., G., 1996 User's Documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Open-File Report 96-485

Hill, M., 1988. Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2), a computer program for solving ground-water flow equations. USGS Water-Resources Investigations Report 90-4048.

McDonald, M., G. and HARBAUGH, A., W., 1988. A modular three dimensional finite difference ground-water flow model. Techniques in Water Resources Investigations of the USGS, Book 6.

Meulenkamp, J. E., Jonkers, A., Spaal, P., 1977. Late Miocene to Early Pliocene development of Crete. In Kallergis, G. (Ed.) 6th Coll. Geol. Aegean Region, 1:137-149. I.G.M.E., Athens.

Lambrakis N., Andreou A., Polydoropoulos P., Georgopoulos E., Bountis T. (2000): Nonlinear analysis and forecasting of a brackish karstic spring. *Water Resources Research*, 36(4): 875-884.

Maramathas A. (2006): A new approach for the development and management of Brackish Karstic Springs. *Journal of Hydrology* (14): 1360-1366.

Maramathas A., Maroulis Z., D. Marinos-Kouris D. (2003): Blocking Sea Intrusion in Brackish Karstic Springs *The Case of Almiros Spring at Heraklion Crete, Greece.* *European Water* (1/2): 17-23.

Maramathas A., Pergialiotis P., D. Gialamas I. (2006): contribution to the Identification of the Sea Intrusion Mechanism of Brackish Karstic Springs. *Journal of Hydrology* , 657 – 662.

Panagopoulos G., Lambrakis N. (2006): The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *Journal of Hydrology*, 368-376.

Prudic, D.,1989. Documentation of a computer program to simulate stream-aquifer relations using a modular, finite difference ground-water flow model. USGS Open - File Report 88-729.

Reilly E. T. 200. System and Boundary Conceptualization in Ground-Water Flow Simulation. *Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey*, Chapter B8, Book 3, Applications of Hydraulics. U.S. Geological Survey

Sanz E., Custodio E., Carrera J, Ayora C, Barón A., González C. (2002): modelling coastal salty springs: first approach in carbonate media (s'Almadrava, Mayorca, Spain). 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands.

Tsakiris G., Nalbantis I., Pangalou D., Tigkas D., Vangelis H., (2008): Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Options Mediterranneennes*, 57-62.

Tsakiris G., Spiliotis M., Paritsis S., Alexakis D., (2009): Accessing the water potential of karstic saline springs by applying a fuzzy approach: the case of Almyros (Heraklion, Crete). *Desalination*, 54-64.

UNDP – FAO, 1972. Study of the Almyros spring of Iraklion. AGL:SF/GRE 31. Technical Report

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξόπουλος, Α. 1996. Εκθεση επί της γεωλογικής χαρτογράφησης του ανατολικού περιθωρίου του Ψηλορείτη. Δ.Ε.Υ.Α.Η.

Βαφειάδης, Α., Αμολοχίτης, Γ. 1993. Αξιοποίηση πηγών Αλμυρού ποταμού. Εκθεση γεωφυσικής έρευνας. Δ.Ε.Υ.Α.Η. - Πολυτεχνείο Κρήτης.

Γιάνναρου Χ. (2008): Υδρολογική διερεύνηση της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

Γκανούλης, Ι., Afrib, Β., Βαφειάδης, Μ. και Κόταρης, Γ. 2000. Έρευνα ολοκληρωμένης διαχείρισης και προστασίας του υπόγειου υδροφορέα Αλμυρού, Ηρακλείου. **Ο.ΑΝ.Α.Κ.**

Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Ηρακλείου (Δ.Ε.Υ.Α.Η.) (2003): Μελέτη Διαχείρισης Πεδίων Εκμετάλλευσης ΔΕΥΑΗ. Μέρος 2ο: Προσομοίωση Υπόγειων Υδροφορέων (ΟΑΝΑΚ).

Κνιθάκης, Μ., Καλούμενος, Κ., 1988. Περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών στην κοντινή και ευρύτερη περιοχή της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου. Ι.Γ.Μ.Ε., Παραρτημα Κρήτης.

Κνιθάκης, Μ., Καλούμενος, Κ., 1992. Αποτελέσματα ιχνηθετήσεων σε καρστικά συστήματα της Κρήτης. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Υδρογεωλογίας. Λευκωσία, Κύπρος.

Κνιθάκης, Μ., Καλούμενος, Κ., Τσόμπος, Π., 1990. Ερμηνεία θερμογραφημάτων Κρήτης. Τμήμα βορείων παραλίων Ρεθύμνου-Ηρακλείου. Συμβολή της υπέρυθρης αεροφωτογράφισης στην υδρογεωλογική έρευνα. Ι.Γ.Μ.Ε., Παραρτημα Κρήτης.

Κνιθάκης, Μ., Πολυχρονάκη, Α., Καλούμενος, Κ., 1993. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στο Ν. Ηρακλείου. Ι.Γ.Μ.Ε., Παραρτημα Κρήτης.

Λαμπροπούλου Α. 1994. Σεισμική – γεωηλεκτρική έρευνα κοινότητας Προφήτη Ηλία. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μαραμαθάς Α. (2002): Προσομοίωση υφάλμυρων καρστικών πηγών. Διδακτορική διατριβή.

Μαραμαθάς, Α., Μαρούλης, Ζ., Μαρίνος – Κουρής, Δ., 1991. Προσομοίωση παράκτιων καρστικών πηγών.

Μονόπωλης, Δ. και Μάστορης Κ., 1969. Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφάλμυρου πηγής Αλμυρού. ΙΓΕΥ

Μονόπωλης, Δ., Σοφίου, Π., Στειακάκης, Ε., Καδιανάκης, Μ., Κλειδοπούλου, Μ., Βαβαδάκης Δ. 1996. Αξιοποίηση πηγών Αλμυρού ποταμού. Εκθεση γεωτρητικής έρευνας. Δ.Ε.Υ.Α.Η. - Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μονόπωλης, Δ., Σοφίου, Π., Στειακάκης, Ε., Καδιανάκης, Μ., Κλειδοπούλου, Μ., Βαβαδάκης Δ. 1996. Δοκιμαστικές αντλήσεις Κέρης – Τυλίσσου - Κρουσώνα. Δ.Ε.Υ.Α.Η. - Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μονόπωλης, Δ., Σοφίου, Π., Στειακάκης, Ε., Καδιανάκης, Μ., Βαβαδάκης Δ., Κλειδοπούλου, Μ. 1999. Εκμετάλλευση παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων μέσω δικτύων γεωτρήσεων (παραδείγματα από Κρήτη).

Μπεζές Κ. (1983): Η καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου. Έρευνα του μηχανισμού ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού.

Μπεζές, Κ., 1992. Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Τυλίσσου Ν. Ηρακλείου. ΔΕΥΑΗ, Ηράκλειο.

Ο.ΑΝ.Α.Κ - Εργαστήριο Αγροτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π., 1994. Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων Αν. Κρήτης.

Περιφέρεια Κρήτης Γενική δ/νση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων (2009): Κατάσταση Υπόγειων Υδροφορέων Κρήτης.

Πολυχρονάκη, Α., 1988. Πρόδρομος έκθεση του έργου Υ/Γ έρευνα Αν. Κρήτης. Τμήμα βορείου Ν. Ηρακλείου. Ι.Γ.Μ.Ε., Παραρτημα Κρήτης.

Σοφός, Φ., 1994. Γεωηλεκτρική έρευνα σε περιοχές του Νομού Ηρακλείου. Ι.Γ.Μ.Ε.

Σταθόπουλος Ν. (2010) Αξιολόγηση Υδατικού Δυναμικού της Καρστικής Πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

Τσακίρης Γ. (1995): Υδατικοί Πόροι: 1. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία.

Φασουλάς Χ. (2000): Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης. Εκδόσεις Μουσείου Φυσικής Ιστορίας.

ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ, 1992. Έρευνα και μελέτη έργων θέσεως υπό πίεση, της πηγής του Αλμυρού. Υπουργείο Γεωργίας, Αθήνα.

Υπουργείο Γεωργίας, VII Περ. Δ/νση Εγγείων Βελτιώσεων. Συμπεριφορά υπόγειων υδροφορέων Ν. Ηρακλείου. 4695/3-12-1992.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Wikipedia, www.el.wikipedia.org

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, www.gys.gr

Κέντρο Νεάπολης Λασιθίου Κρήτης, www.kpeneapolis.gr

Λογισμικό Στατιστικών Αναλύσεων SPSS, www.spss.com/software/statistics/ος

ΤΜΗΜΑ Γ: ΑΛΜΥΡΟΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

1. Τεχνική Περιγραφή

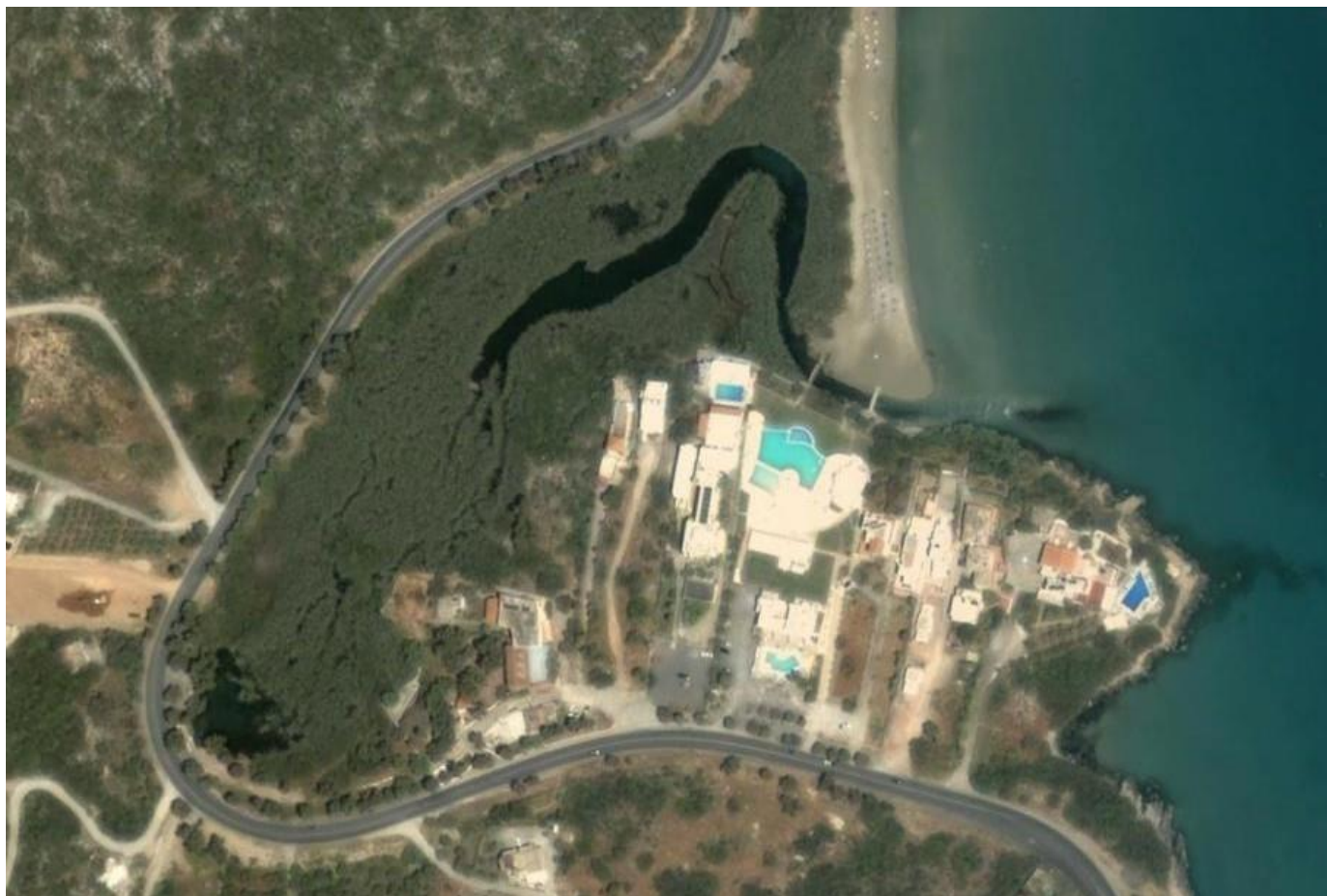
Ο Αλμυρός Αγίου Νικολάου αποτελεί μια εν δυνάμει σημαντική πηγή υφάλμυρου νερού που αξιοποιείται σε πολύ μικρό βαθμό σε μια περιοχή με ιδιαίτερη στενότητα στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Όπως θα παρουσιασθεί διεξοδικά στις επόμενες παραγράφους η πηγή Αλμυρού αποτελεί την παράκτια απόληξη της κεντρικής ρηξιγενούς ζώνης της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Βρίσκεται, 3 km νότια της πόλης στο δρόμο προς τη Σητεία και συνίσταται από ένα μέτωπο εμφανίσεων που αναπτύσσεται σε μήκος 200 m παράλληλα προς την ακτή, 50 m από την θάλασσα και σε υψόμετρο από 0,5 μέχρι 1,0 m (Σχήμα 1.1).

Το έλος του Αλμυρού αποτελείται από ένα μικρό καλαμιώνα, την υφάλμυρη πηγή που τον τροφοδοτεί καθώς και μια επιμήκη λίμνη που εκφορτίζει στον κόλπο νότια της αμμουδερής παραλίας. Ιδιαίτερη είναι η παρουσία ειδών τυπικής μεσογειακής βλάστησης ανάμεσα και δίπλα στις καλαμιές, αυξάνοντας την ποικιλότητα των ενδιαιτημάτων.

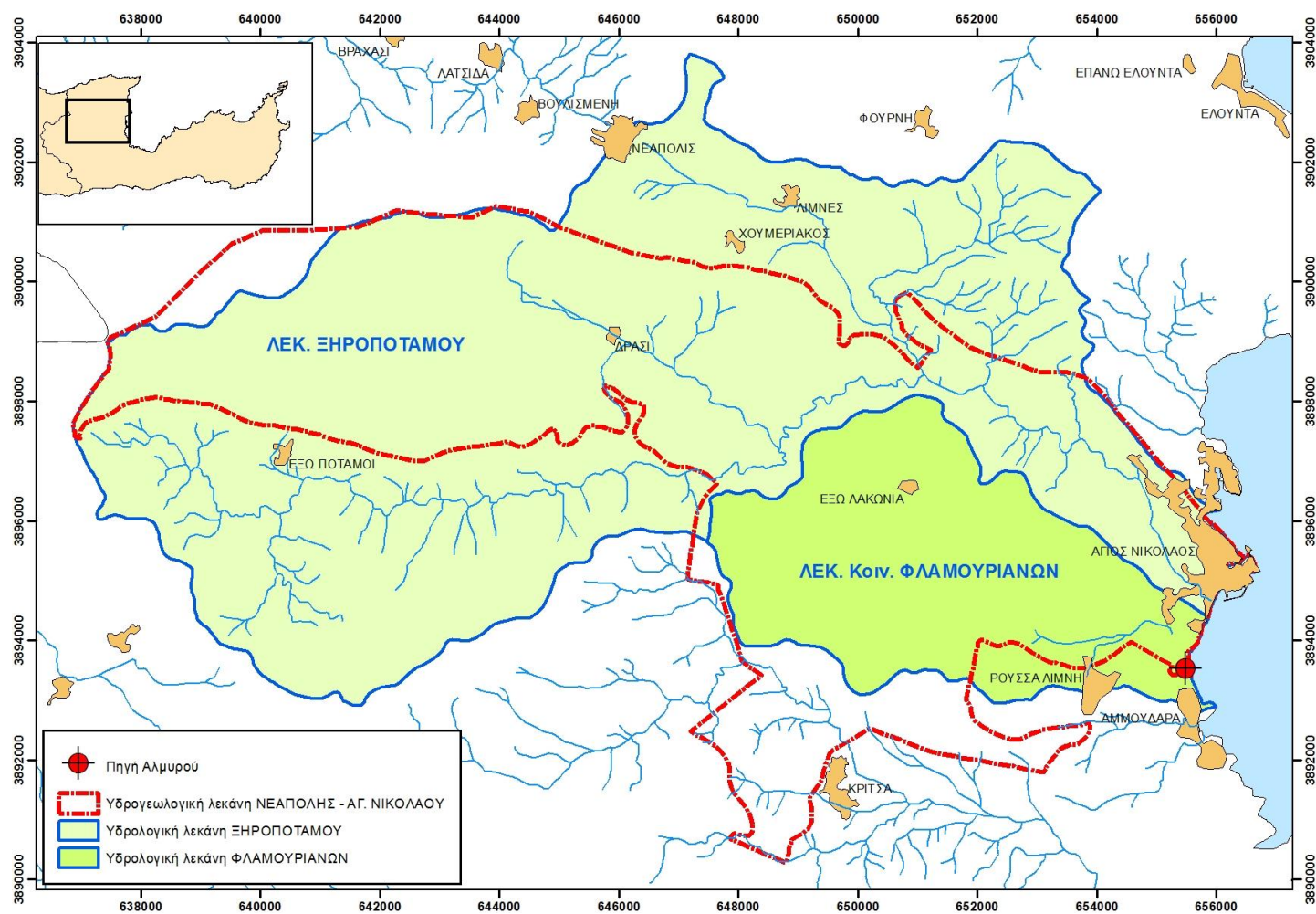
Με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις παροχής της πηγής προκύπτει η μέση ετήσια παροχή της πηγής που είναι στα 82 εκατ. m³ με συγκεντρώσεις χλωρίου από 2600 μέχρι 3300 mg/L.

Είναι προφανές ότι το παρόν τμήμα της μελέτης αναφέρεται στην υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης – Αγ. Νικολάου και τις υδρολογικές λεκάνες Ξηροποτάμου και Φλαμουριανών που περιέχουν το σύστημα της καρστικής πηγής του Αλμυρού Αγίου Νικολάου.

Στον Σχήμα 1.2 φαίνεται η Υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης – Αγ. Νικολάου και υδρολογικές λεκάνες Ξηροποτάμου και Φλαμουριανών, καθώς και η θέση της υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού Αγίου Νικολάου.



Σχήμα 1.1 Η πηγή του Αλμυρού Αγίου Νικολάου. Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στον υγροβιότοπο είναι προφανείς.



Σχήμα 1.2: Υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης–Αγ. Νικολάου, υδρολογικές λεκάνες Ξηροποτάμου και Φλαμουριανών και η θέση της υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού Αγίου Νικολάου

2. Γεωλογία - Υδρογεωλογία

2.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης (υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης – Αγ. Νικολάου) μπορεί να περιγραφεί σαν μια διάταξη τεσσάρων διαδοχικά επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων, ενώ η όλη αυτή αλληλουχία είναι επωθημένη πάνω σε μία παρα-αυτόχθονη Ζώνη και έχει ακολούθως τοπικά καλυφθεί από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η παρα-αυτόχθονη Ζώνη της βάσης ονομάζεται **Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων** ενώ η τεκτονικά υπερκείμενη αυτής αλληλουχία αποτελείται από κάτω προς πάνω, από την **Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά**, την **Ζώνη της Τρίπολης**, την **Ζώνη της Πίνδου** και την **Ζώνη των Οφιολίθων - Οφιολιθικού Melange**. Κάθε μία από τις ενότητες αυτές έχει διακεκριμένη λιθολογική δομή και τεκτονική ιστορία που αντακλά το συγκεκριμένο τεκτονικό περιβάλλον γέννησης της καθώς και την μετέπειτα εξελικτική της πορεία.

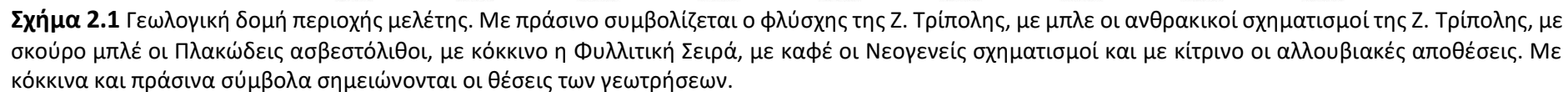
Η διαδοχική εφίπνευση των τεκτονικών αυτών καλυμμάτων έγινε από το τέλος του Ηώκαινου έως την αρχή του Μειόκαινου λόγω της από Β προς Ν συμπίεσης. Η τεκτονική αυτή διεργασία προκάλεσε έντονη πτυχωσιγενή παραμόρφωση και κατακερματισμό λόγω των α-β και α-γ διακλάσεων των πτυχώσεων. Κατά το μέσον όμως του Μειόκαινου στην περιοχή εφαρμόστηκε ένα εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς με διεύθυνση Β-Ν που ισχύει μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως Β-Ν και Α-Δ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων -horsts- και βυθισμάτων -grabens- με μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις. Στα τεκτονικά βυθίσματα που δημιουργήθηκαν αποτέθηκαν ακολούθως **Νεογενή** και **Τεταρτογενή** ιζήματα όπως μάργες, άργιλλοι, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, εβαπορίτες, άμμοι και κροκαλοπαγή.

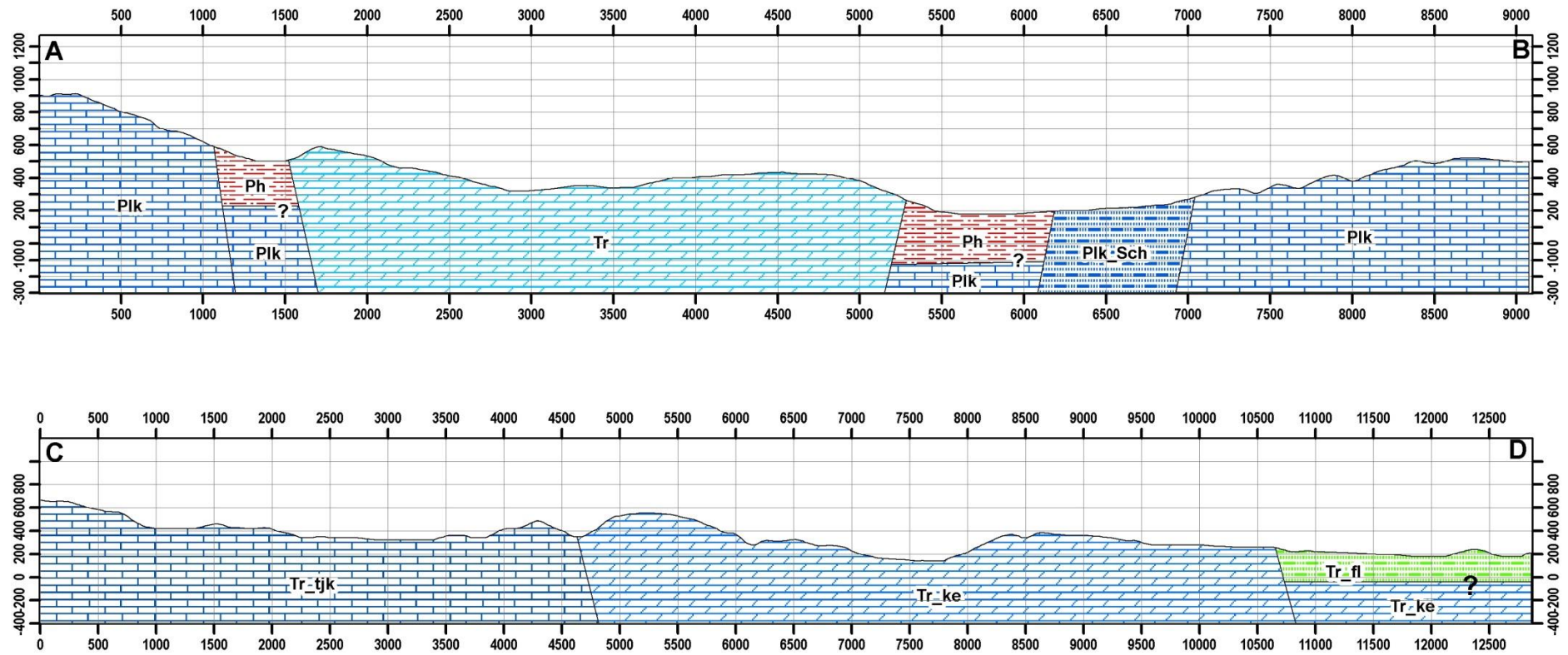
Ενα τέτοιο τεκτονικό Νεογενές βύθισμα αποτελεί η περιοχή μελέτης, μεταξύ του ορεινού όγκου Δίκτη και του συμπλέγματος της παρα-αυτόχθονης Ζώνης Φουρνής - Ελούντας που οριοθετείται από ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Η γεωλογική δομή της περιοχής απεικονίζεται στα Σχήματα 2.1 και 2.2.

Οι κυριώτεροι **Τεταρτογενείς** σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης απαρτίζονται από χαλαρά αργιλλοαμμώδη ιζήματα με κροκαλολατύπες, Ολοκαινικής ηλικίας, καθώς και πλευρικά κορήματα από ανθρακικούς Μεσοζωϊκούς σχηματισμούς.

Οι **Νεογενείς** αποθέσεις αποτελούνται από ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγή και κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν περιορισμένη έκταση κυρίως στο ΝΑ άκρο της μελετηθείσας περιοχής.

Η λιθολογική δομή των **προνεογενών τεκτονικών καλυμμάτων** της περιοχής μελέτης καθώς και της παρα-αυτόχθονης σειράς της βάσης περιγράφονται παρακάτω κατά αύξουσα ψευδοστρωματογραφική σειρά.





Σχήμα 2.2 Υποθετικές τομές διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ (ΑΒ) και ΒΔ-ΝΑ (CD) της περιοχής μελέτης με ίχνη τις κόκκινες γραμμές του Σχήματος 2.1. Με tr_fl συμβολίζεται ο φλύσχος της Ζ. Τρίπολης, με Tr_ οι ανθρακικοί σχηματισμοί της Ζ. Τρίπολης, με Plk οι Πλακώδεις ασβεστόλιθοι και με Ph η Φυλλιτική Σειρά.

Η **Ενότητα Οφιολίθων-Οφιολιθικού Melange** έχει περιορισμένες εμφανίσεις στο ΝΑ άκρο της περιοχής και είναι ένα πολυγενετικό σύμπλεγμα που αποτελείται από περιδοτίτες-σερπεντινίτες συνδεδεμένους με διαβάσεις, βασάλτες και γρανитоειδή Ανω-Ιουρασικής ηλικίας και που υπέρκειται ενός melange από ηφαιστίτες, γρανитоειδή, μάρμαρα, ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, γνεύσιους, αμφιβολίτες και ψαμμίτες Ανω-Ιουρασικής έως Κρητιδικής ηλικίας. Η ενότητα έχει υποστεί μία φάση παραμόρφωσης με άξονες πτυχώσεων Α-Δ και τουλάχιστον μία προηγούμενη φάση με άξονες Β-Ν.

Η **Ζώνη της Πίνδου** δεν απαντάται στην περιοχή μελέτης.

Η **Ζώνη της Τρίπολης** κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης και αντιπροσωπεύεται από όλα σχεδόν τα μέλη της στρωματογραφικής ακολουθίας δηλαδή από άστρωτους έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και στρωματολιθικούς δολομίτες Μέσο-Ανω-Τριαδικής έως Μέσο-Ηωκαινικής ηλικίας. Οι λιθότυποι του σχηματισμού κυμαίνονται από καθαρούς ασβεστόλιθους έως καθαρούς δολομίτες και χωρίζονται μέσω μιάς διαβρωσιγενούς ασυνέχειας από φλύσχη Ανω-Ηωκαινικής έως Κατωτερο-Ολιγοκαινικής ηλικίας που απαρτίζεται από μάρμες, ιλυολίθους, ψαμμίτες και ανθρακικά κροκαλοπαγή - λατυποπαγή. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται από μια κλαστική σειρά Τριαδικής ηλικίας από σχιστόλιθους, μεταπηλίτες και μεταψαμμίτες. Ενώ στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης κυριαρχούν οι στρωματογραφικά κατώτεροι σχηματισμοί (Τριαδικοί – Ιουρασικοί), στο ΝΔ τομέα εμφανίζονται τα ανώτερα Κρητιδικά – Ηωκαινικά μέλη της ακολουθίας καθώς και ο Ανω-Ηωκαινικός έως Κατωτερο-Ολιγοκαινικός φλύσχη. Η Ζώνη έχει υποστεί δύο φάσεις παραμόρφωσης, η πρώτη με άξονες πτυχώσεων Β-Ν και η δεύτερη με άξονες Α-Δ. Αναφορικά με την καρστικοποίηση των σχηματισμών ενώ στην περιοχή των Λακωνίων οι γεωτρήσεις αποκαλύπτουν καρστικοποίηση σε βάθος, στην περιοχή Δρασίου από τις γεωτρήσεις διατρήθηκαν μόνο επιφανειακές καρστικές μορφές. Σε μεγαλύτερα βάθη, μέσα στους κατακερματισμένους δολομίτες παρατηρήθηκαν προ της σωλήνωσης, πολυάριθμες κατακρημνίσεις τοιχωμάτων.

Σημειώνεται ότι γεωτρήσεις του πεδίου Δρασίου (F23, DF43) έδωσαν μεταβιβαστικότητα της τάξης του $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Η **Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά** στα περιθώρια της λεκάνης, είναι ένα πολυγενετικό melange που αποτελείται από ένα συνοθύλευμα διαφορετικών λιθοτύπων Περμο-Τριαδικής ηλικίας με διαφορετικές μεταμορφικές-παραμορφωτικές ιστορίες. Κυρίως, απαρτίζεται από φυλλίτες, και χαλαζίτες αλλά περιλαμβάνει φακοειδή διαφόρων μεγεθών από ασβεστόλιθους, μάρμαρα, χαλαζίτες η αμφιβολίτες-μεταβασάλτες.

Η **Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων** εμφανίζεται στα ΝΔ και ΒΑ περιθώρια της περιοχής μελέτης και είναι το ψευδοστρωματογραφικό υπόβαθρο των προ - Νεογενών σχηματισμών. Αποτελεί από Ανω-Τριαδικούς στρωματολιθικούς δολομίτες με υπερκείμενα λατυποπαγή από ασβεστόλιθους δολομίτες και μάρμαρα που μεταπίπτουν προς τα πάνω σε διαβαθμισμένους ασβεστο-αρενίτες και στη συνέχεια σε στρωματώδεις ασβεστολίθους με κονδύλους η ενδιαστρώσεις πυριτολίθων, Ιουρασικής έως Ηωκαινικής ηλικίας.

Σε ολόκληρη την ενότητα των Φουρνής-Ελούντας, απαντήθηκαν έγκοιλα διαστάσεων ορισμένων μέτρων σε όλα τα βάθη που δυσχεραίνουν την ανόρυξη γεωτρήσεων.

Γεωτρήσεις που αναρύχθηκαν στους πλακώδεις ασβεστολίθους (F28, F52 και F25) έδωσαν μεταβιβαστικότητα της τάξης του $1,4 \cdot 10^{-4}$ m²/s, $1,7 \cdot 10^{-3}$ m²/s και $2,4 \cdot 10^{-3}$ m²/s αντίστοιχα.

2.2 Τεκτονική

Αναφορικά με την προνεογενή τεκτονική των σχηματισμών όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Ζώνη Πλακωδών Ασβεστολίθων έχει υποστεί μία φάση μεσοσκοπικής κυρίως τεκτονικής παραμόρφωσης, με άξονες πτυχώσεων Α-Δ. Η Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά και η Ζώνη της Τρίπολης έχουν υποστεί μεσοσκοπική έως μεγασκοπική παραμόρφωση με άξονες πτυχώσεων Α-Δ και τουλάχιστον μία προηγούμενη μεσοσκοπική φάση με άξονες Β-Ν. Η τελευταία φάση παραμόρφωσης είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής εφύπνωσης των τεκτονικών αυτών καλυμμάτων που έγινε από το τέλος του Ηώκαινου έως την αρχή του Μειόκαινου λόγω της από Β προς Ν συμπίεσης. Κατά το μέσον όμως του Μειόκαινου στην περιοχή εφαρμόστηκε ένα εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς με διεύθυνση Β-Ν που ισχύει μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία της μεγάλης ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων -horsts- και βυθισμάτων -grabens- με σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις.

Ένα τέτοιο σύμπλοκο τεκτονικό Νεογενές βύθισμα είναι η λεκάνη Νεαπόλης – Αγ. Νικολάου (Σχήμα 2.2). Πρέπει να σημειωθεί ότι το ρηξιγενές αυτό σύστημα είναι μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) με βύθιση που προοδευτικά αυξάνει προς το κέντρο της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου καθώς και από ΒΑ προς ΝΔ.

Η μεγαλοδομές που οριοθετούν τα ρηξιτεμάχη αυτά (ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ) έχουν καταλυτική παρουσία στον έλεγχο των υδροφοριών της περιοχής προκαλώντας όπως καταδεικνύεται στο επόμενο κεφάλαιο διαδοχικά άλματα (πτώσεις) στάθμης από αλλά, και τη δημιουργία μιας καρστικής υφάλμυρης πηγής στην παράκτια ζώνη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η πηγή Αλμυρού Αγ.Νικολάου βρίσκεται στην παράκτια απόληξη της κεντρικής ρηξιγενούς ζώνης της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η σημασία των ρηγμάτων στον έλεγχο των υδροφοριών^{7 8 9} είναι καταλυτική σε περιοχές με πολύπλοκη και πολυφασική τεκτονική εξέλιξη όπως

⁷ Haneberg, W.C., 1995, Steady-state groundwater flow across idealized faults: *Water Resources Research*, v. 31, p. 1815-1820.

⁸ Caine, J.S., J.P. Evans, and C.B. Forster, 1996, Fault zone architecture and permeability structure: *Geology*, v. 24, p. 1025-1028.

⁹ Sigda, J.M., 1995, Examining the impacts of faults on aquifer flow systems: Implications for regional groundwater flow modeling, *in* The Water Future of Albuquerque and the Middle Rio Grande Basin, Proc. 39th Annual New Mexico

η Κρήτη, αλλά δυστυχώς ο ρόλος τους αυτός δεν έχει λάβει τη δέουσα προσοχή. Τα ρήγματα δυνατόν να ενεργούν σαν «αγωγοί» ροής υψηλής περατότητας ή σαν χαμηλής περατότητας «φραγμοί» της υπόγειας ροής επιδρώντας σημαντικά στην κατανομή των υδραυλικών φορτίων σε ένα ρηξιγενή υδροφορέα. Οι παράγοντες που καθορίζουν την επίδραση των ρηγμάτων στην υπόγεια ροή περιλαμβάνουν: α) κατάκλαση του υλικού εντός του ρήγματος, β) προσανατολισμό των επιμήκων κλασμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της περατότητας κάθετα προς το ρήγμα και αύξηση παράλληλα προς αυτό, γ) αντιπαράθεση υδροφόρων σχηματισμών με διαφορετικές περατότητες και δ) συγκόλληση του κατακλαστικού υλικού του ρήγματος η απόθεση δευτερογενών ορυκτών (όπως πχ αργιλλικά κλπ). Η δομή των ρηγμάτων είναι καθοριστική για την επιρροή τους στην υπόγεια ροή² και έχει διαπιστωθεί ότι όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν μπορεί να προξενήσουν πτώση (άλμα) υδραυλικού φορτίου μεγαλύτερου των 100 m¹.

2.3 Υδρογεωλογική δομή περιοχής μελέτης

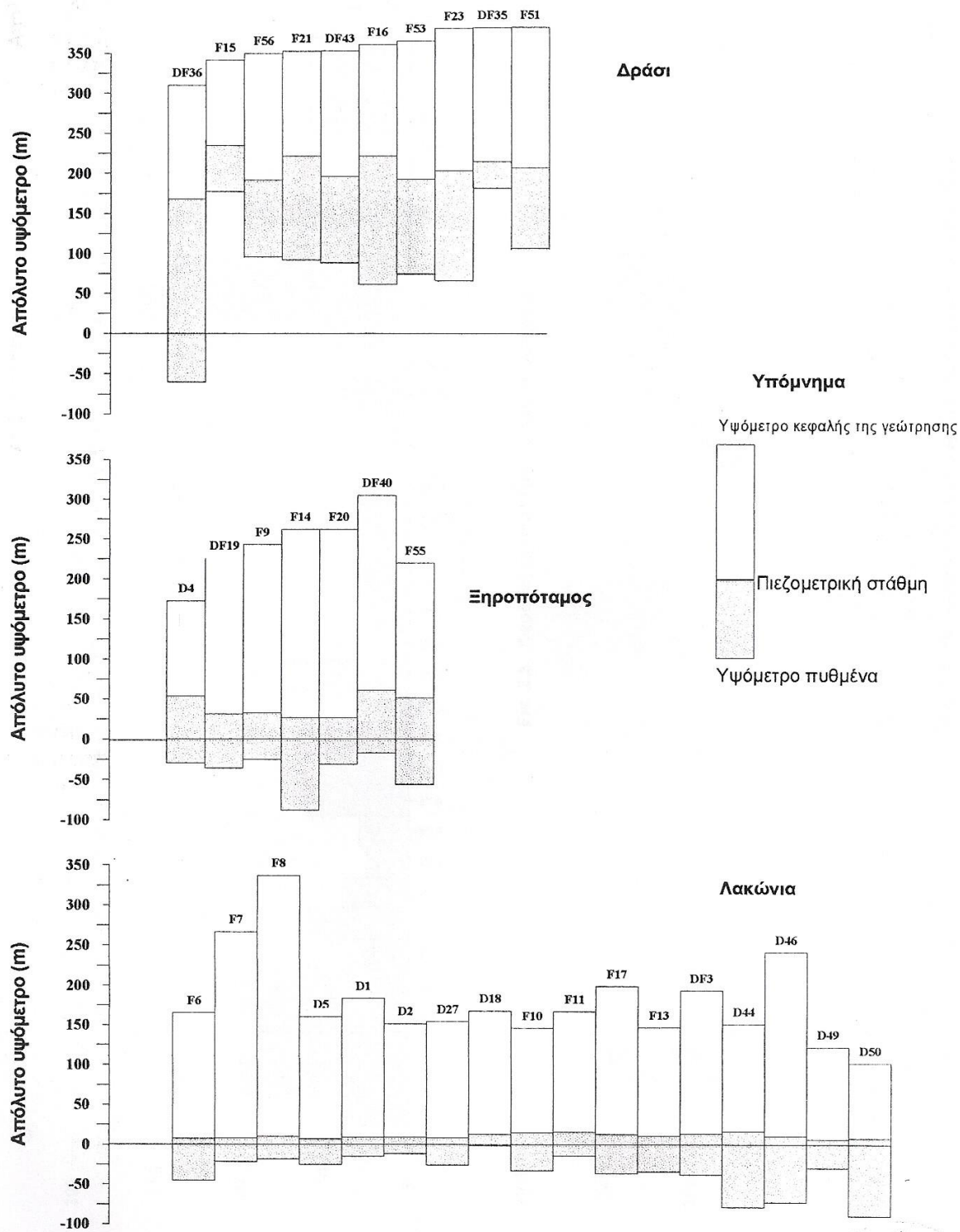
Μια προκαταρκτική εικόνα της υδρογεωλογικής δομής της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου σχηματίζεται από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων στα διακεκριμένα πεδία Δρασίου, Ξηροποτάμου, Λακωνίων και Χαμηλού (Σχήματα 2.3, 2.4) με σημαντικές διαφορές στάθμης που συνοψίζονται στο Σχήμα 2.5. Είναι προφανές ότι πρόκειται περί ενός διαμερισματοποιημένου υδροφορέα εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής που αναφέρθηκε στο προηγούμενα κεφάλαιο.

Ο διαμερισματοποιημένος αυτός υδροφορέας απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 2.4. Τροφοδοτείται από βροχοπτώσεις και πλευρικά από το σύμπλεγμα Δίκτη (ΒΔ) και εκφορτίζει στην πηγή του Αλμυρού. Η σειρά των Πλακωδών ασβεστολίθων ΒΑ θεωρείται ότι είναι ρηξιγενώς απομονωμένη και δεν συμμετέχει στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης.

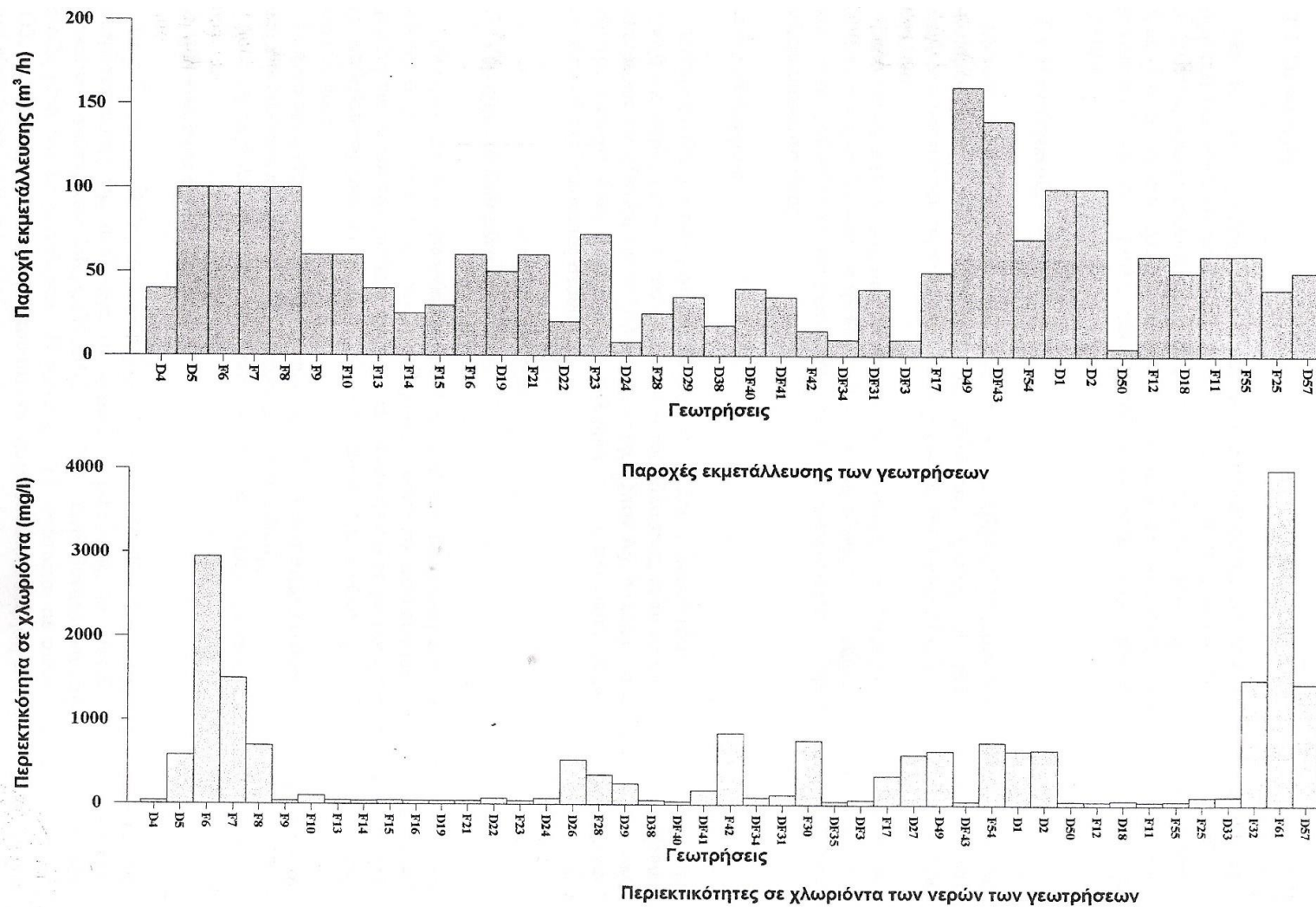
Ο υδροφορέας αυτός τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις και από τον ορεινό όγκο Δίκτη, από τον οποίο οριοθετείται από ένα ρήγμα διεύθυνσης περίπου Β-Ν (ρήγμα Κριτσάς – Σχήματα 2.4, 2.5) και διασχίζεται από το ρήγμα Νεάπολης - Αγίου Νικολάου που ελέγχει και τροφοδοτεί την πηγή του Αλμυρού Αγίου Νικολάου.

Θεωρείται ότι τα ρήγματα αυτά είναι καταλυτικής σημασίας για την υδρογεωλογική δομή της περιοχής. Με πρόχειρο υπολογισμό με τον νόμο του Darcy προέκυψε ότι με υδραυλική αγωγιμότητα $K = 2 \times 10^{-6}$, σε ένα μέτωπο 5 km το ρήγμα της Νεάπολης Αγίου Νικολάου μπορεί να τροφοδοτείται με 75 εκ. m³ ετησίως από το Δίκτη. Ομοίως το πεδίο Χαμηλού Λακωνίων μπορεί να τροφοδοτείται με 7 εκ. m³ ετησίως μέσω του ρήγματος της Κριτσάς με υδραυλική αγωγιμότητα του υλικού του ρήγματος $K = 2 \times 10^{-7}$, από ένα μέτωπο 5 km.

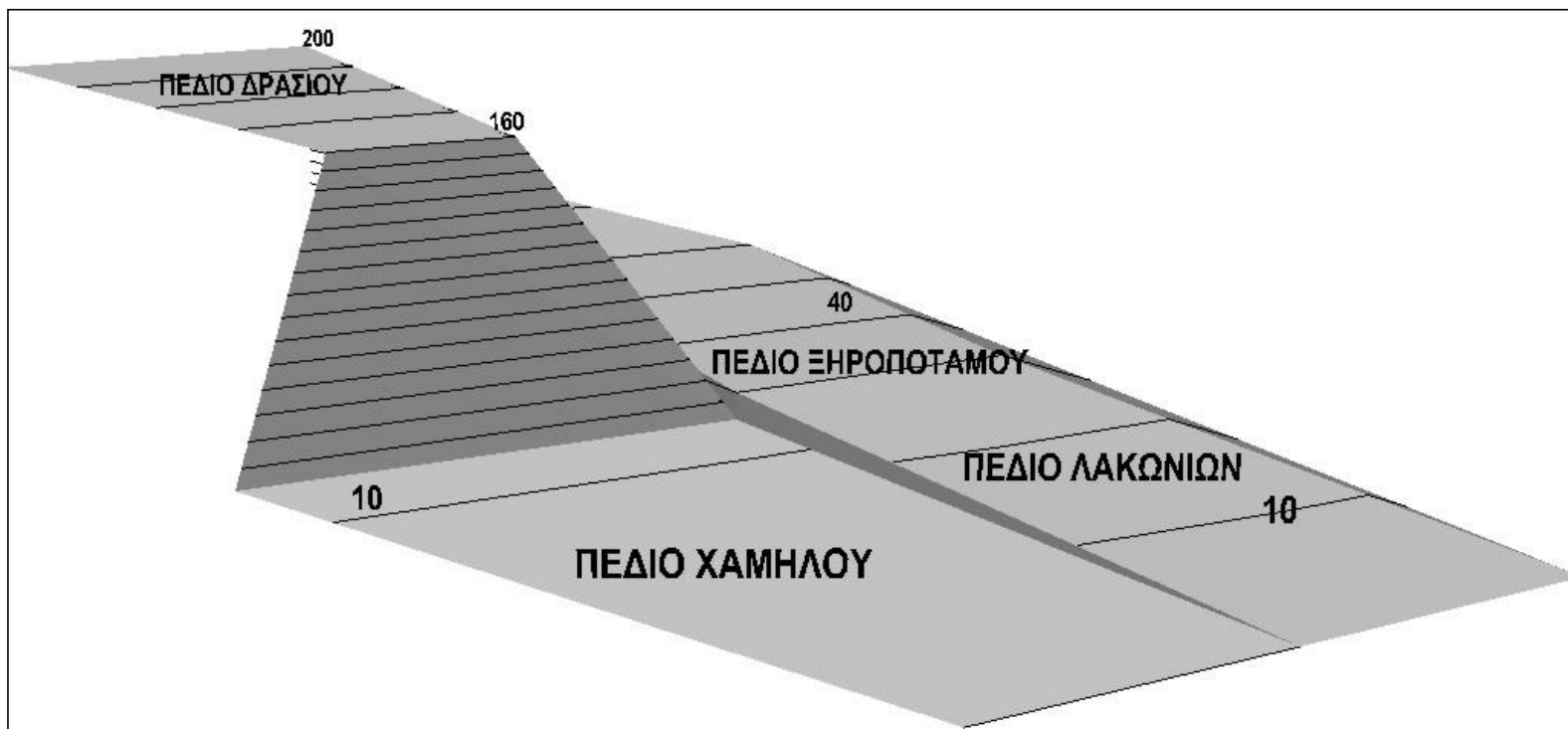
Water Conference, November 3-4, 1994, Albuquerque, NM: Las Cruces, New Mexico Water Resources Research Institute Report No. 290, p. 237-244.



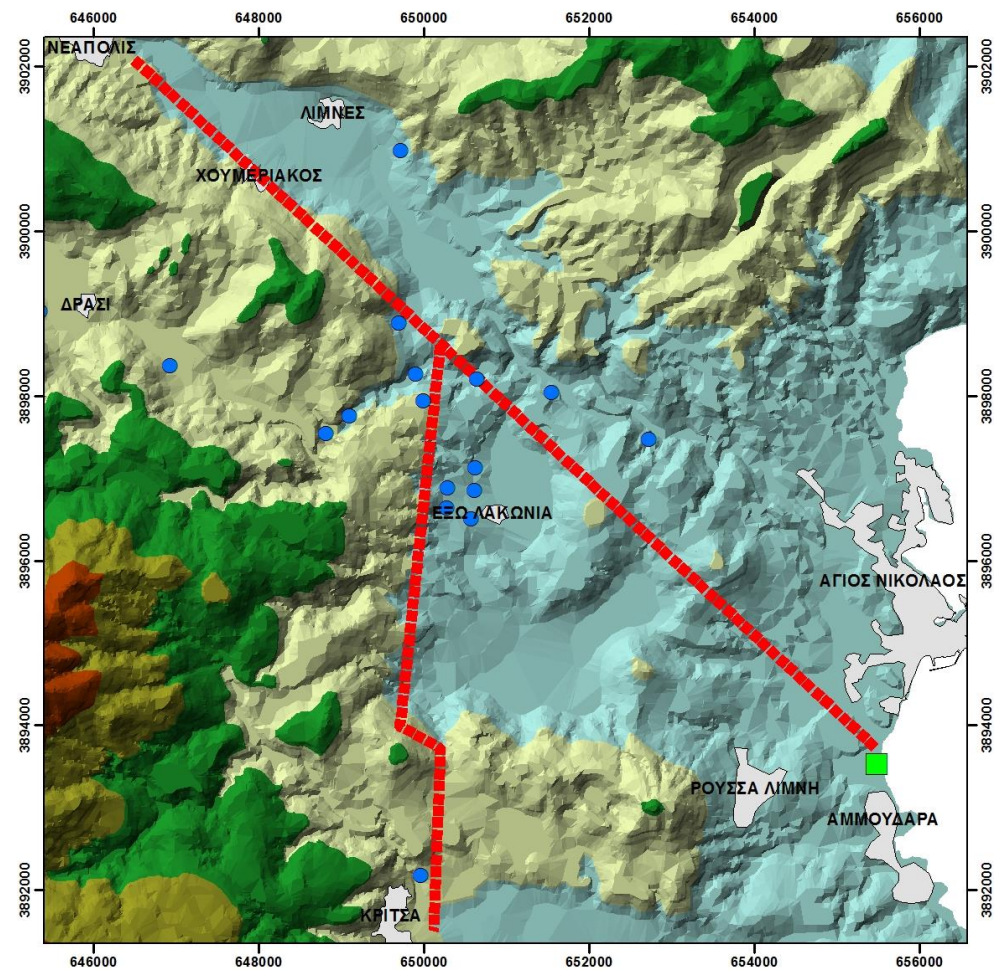
Σχήμα 2.3 Τομές γεωτρήσεων πεδίων Δρασί, Ξηροποτάμου και Λακωνίων (από ΙΓΜΕ 1996)



Σχήμα 2.4 Παροχές εκμετάλλευσης και περιεκτικότητες σε Cl γεωτρήσεων πεδίων Δρασίου, Ξηροποτάμου και Λακωνίων (από ΙΓΜΕ 1996)



Σχήμα 2.5 Τρισδιάσταση σχηματική αναπαράσταση πιεζομετρικής επιφάνειας πεδίων Χαμηλού, Δρασίου, Ξηροποτάμου και Λακωνίων



Σχήμα 2.6 Ρήγματα Νεάπολης – Αγίου Νικολάου και Κριτσάς σε υπόβαθρο τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους. Με πράσινο σύμβολο η πηγή του Αλμυρού.

Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζονται περιεκτικότητες σε Cl των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης. Είναι προφανές ότι το πεδίο Χαμηλού και σε μικρότερο βαθμό το πεδίο Λακωνίων παρουσιάζουν υφαλμύριση του υδροφορέα σε βάθη εκμετάλλευσης, γεγονός που θα πρέπει να αποδοθεί στην υψηλή καρστικοποίηση των ανθρακικών σχηματισμών των πεδίων αυτών που προφανώς διευκολύνει τη διείσδυση της θάλασσας (Σχήμα 2.7).

3. Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα

Όπως αναφέρθηκε η πηγή Αλμυρού Αγ.Νικολάου αποτελεί την παράκτια απόληξη της κεντρικής ρηξιγενούς ζώνης της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Βρίσκεται, 3 km νότια της πόλης στο δρόμο προς τη Σητεία και συνίσταται από ένα μέτωπο εμφανίσεων που αναπτύσσεται σε μήκος 200 m παράλληλα προς την ακτή, 50 m από την θάλασσα και σε υψόμετρο από 0.5 μέχρι 1.0 m.

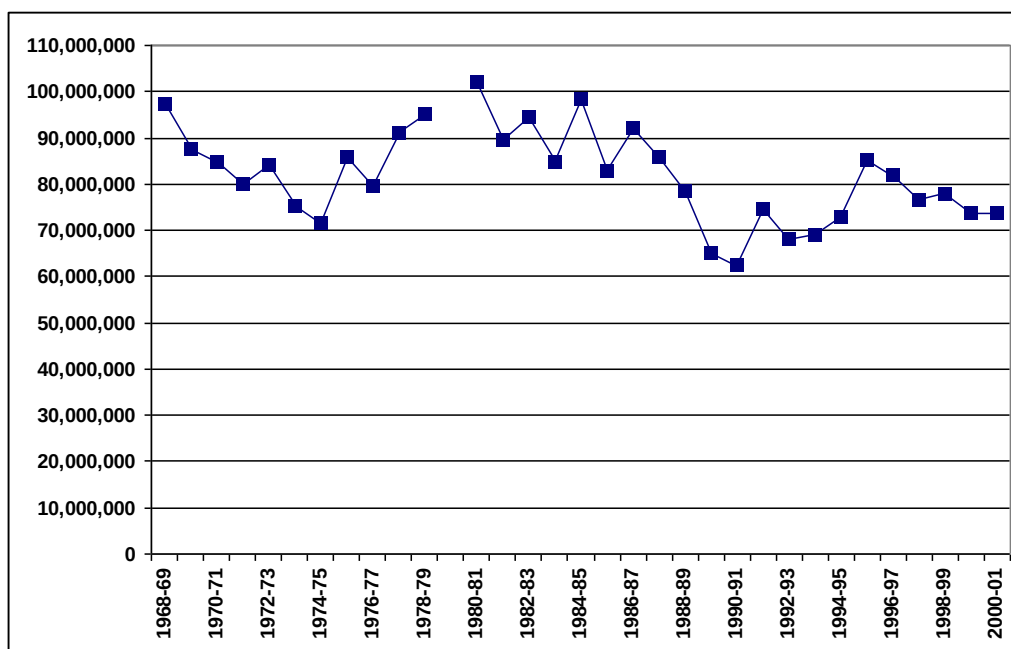
Οι υπάρχουσες μετρήσεις παροχής της πηγής και τα αντίστοιχα υδρογραφήματα απεικονίζονται στα Σχήματα 3.1 έως 3.5. Απο την εξέταση των στοιχείων αυτών εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Η μέση ετήσια παροχή της πηγής είναι 82.000.000 m³ δηλαδή 2,6 m³/s και κυμαίνεται από 2 μέχρι 3,2 m³/s. Η περιεκτικότητα σε χλώριο της πηγής αντιστοιχεί σε συμμετοχή περίπου 12% θαλασσινού νερού.
- Παρατηρείται κατά μέσο όρο μια τουλάχιστον τρίμηνη υστέρηση μεταξύ της υγρής περιόδου του υδρολογικού έτους και της έξαρσης της παροχής της πηγής.
- Η πηγή χαρακτηρίζεται από περιορισμένη διακύμανση παροχής κατά τη διάρκεια του έτους.
- Η περιεκτικότητα σε χλώρια κυμαίνεται από 2600 μέχρι 3300 mg/L κατ' αναλογία με την μικρή διακύμανση της παροχής της πηγής.

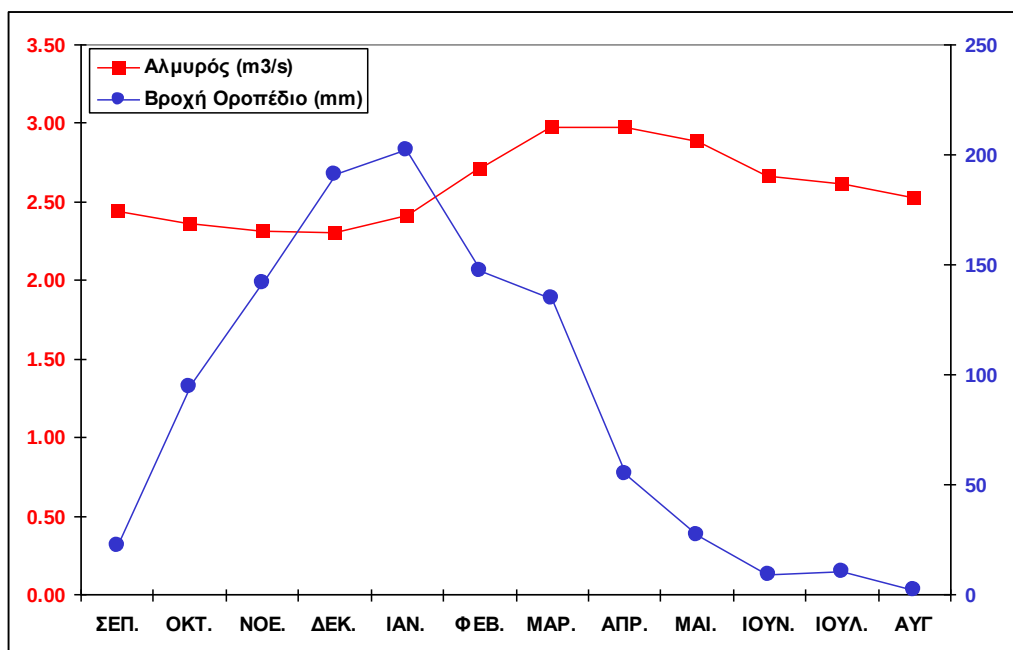
Στο Σχήμα 3.4 συγκρίνεται η διακύμανση των μέσων μηνιαίων παροχών Αλμυρού Ηρακλείου και Αλμυρού Αγίου Νικολάου σε εκ. m³ (ΥΕΒ). Είναι προφανές ότι η πηγή Αλμυρού Αγίου Νικολάου χαρακτηρίζεται από σχεδόν σταθερή παροχή κατά τις ξηρές περιόδους και περιορισμένη διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ η πηγή Αλμυρού Ηρακλείου από μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους.

Από σχετικά πρόσφατες μελέτες καρστικών συστημάτων προκύπτει ότι η σχετικά μεγάλη υστέρηση βροχόπτωσης – παροχής πηγής που παρατηρείται στην πηγή Αλμυρού Αγίου Νικολάου δύναται να οφείλεται σε απουσία καρστικών αγωγών και καρστικής συμπεριφοράς στη λεκάνη τροφοδοσίας ή/και τροφοδοσία της λεκάνης από διάσπαρτη κατείσδυση και όχι από καταβόθρες ή ανάλογους σχηματισμούς (White, 1993, 1999). Προκύπτει λοιπόν ότι το υδρογράφημα της πηγής Αλμυρού Αγίου Νικολάου υποδεικνύει μία λεκάνη τροφοδοσίας με περιορισμένη καρστική συμπεριφορά δηλαδή κερματισμένη αλλά όχι ιδιαίτερα καρστικοποιημένη. Η παρατήρηση αυτή είναι συμβατή και με την σταθερή ροή που παρατηρείται κατά τις ξηρές περιόδους που υποδηλώνει ένα υδροφορέα που διατηρεί σημαντικό όγκο αποθηκευμένου νερού για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα συμπεράσματα

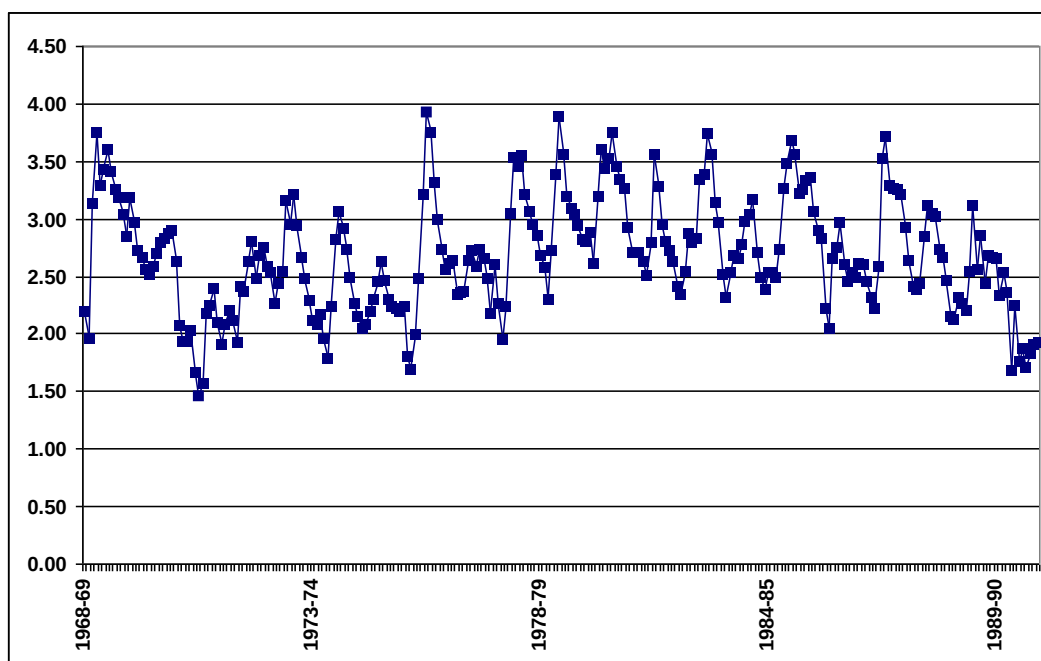
αυτά είναι συμβατά με τροφοδοσία της πηγής Αλμυρού Αγίου Νικολάου από την υδρογεωλογική λεκάνη του Ανατολικού Δίκτη με μειωμένη καρστική συμπεριφορά μέσω του ρήγματος που οριοθετεί προς ΒΑ τον ορεινό όγκο Δίκτη, είναι αγωγός χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας και αποτελεί τον αγωγό τροφοδοσίας της πηγής. Αντίθετα η πηγή Αλμυρού Ηρακλείου τροφοδοτείται από μια διαφορετική έντονα καρστικοποιημένη λεκάνη μικρής σχετικά αποθηκευτικότητας που είναι η υδρογεωλογική λεκάνη του ανατολικού τομέα του ορεινού όγκου Ίδη.



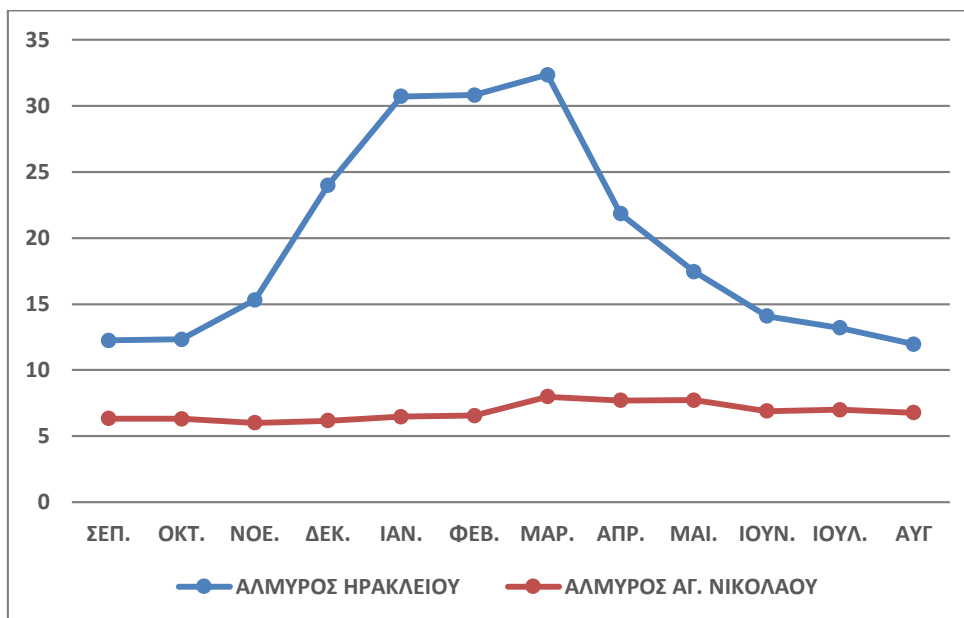
Σχήμα 3.1 Διακύμανση των ετήσιων παροχών της πηγής Αλμυρού Αγίου Νικολάου σε m³ (στοιχεία ΥΕΒ).



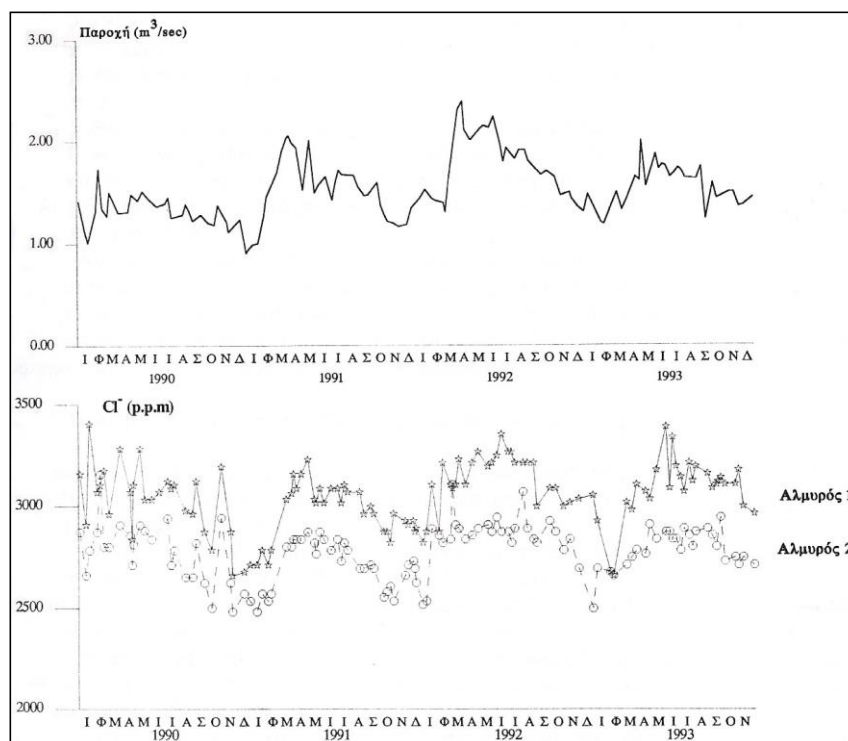
Σχήμα 3.2 Σχέση μέσης μηνιαίας παροχής Αλμυρού με μέσο μηνιαίο ύψος βροχής Οροπεδίου Λασιθίου (στοιχεία ΥΕΒ).



Σχήμα 3.3 Διακύμανση μέσων μηνιαίων παροχών Αλμυρού σε m³/s (ΥΕΒ).



Σχήμα 3.4 Διακύμανση μέσων μηνιαίων παροχών Αλμυρού Ηρακλείου και Αλμυρού Αγίου Νικολάου σε εκ. m³ (ΥΕΒ).



Σχήμα 3.5 Διακύμανση μέσων μηνιαίων παροχών πηγής Αλμυρού σε m³/s και περιεκτικότητας σε Cl (από ΙΓΜΕ 1996).

4. Υδατικό Ισοζύγιο – Εκμετάλλευση Υδροφορέα

Στη παρούσα μελέτη θεωρείται ότι τα πεδία Λακωνίων, Ξηροποτάμου και Δρασίου ανήκουν σε μία διαμερισματοποιημένη, υδρογεωλογική λεκάνη (Νεάπολης – Αγ. Νικολάου). Σύμφωνα με τα παραπάνω η πηγή του Αλμυρού Αγίου Νικολάου είναι μια διακεκριμένη υδρογεωλογική οντότητα που εκφορτίζει μέρος της υδροφορίας του Ανατολικού Δίκτη μέσω του ρήγματος Νεάπολης Αγίου Νικολάου που αποτελεί και τον αγωγό τροφοδοσίας της πηγής.

Η μέση εκμετάλλευση της λεκάνης είναι της τάξης των 5 εκ. m³ ανά έτος (και όχι 11 εκ. m³ ανά έτος που συχνά αναφέρεται στη βιβλιογραφία) εκ των οποίων τα 3.9 εκ. m³ διατίθενται για την ύδρευση Αγ. Νικολάου και Ελούντας και τα υπολοιπούμενα για την άρδευση των καλλιεργιών και την ύδρευση των λοιπών οικισμών της λεκάνης.

Όπως συνάγεται από το Σχήμα 4.1 η παραπάνω εκμετάλλευση είναι μικρότερη από την απόδοση του υδροφορέα με την διακύμανση της στάθμης των γεωτρήσεων να αντανakλά μόνο τις εποχικές διακυμάνσεις που δεν υπερβαίνουν συνολικά τα 5 m. Όμως στις γεωτρήσεις του Δρασίου παρατηρείται εποχική διακύμανση μεγαλύτερη των 15 m που υποδηλώνει λιγότερο καρστικοποιημένο / κερματισμένο υδροφορέα. Τα συμπεράσματα αυτά είναι συμβατά με τη φύση του υδροφορέα του ορεινού όγκου του Ανατολικού Δίκτη καθώς και τις υφιστάμενες λιθολογικές περιγραφές των γεωτρήσεων.

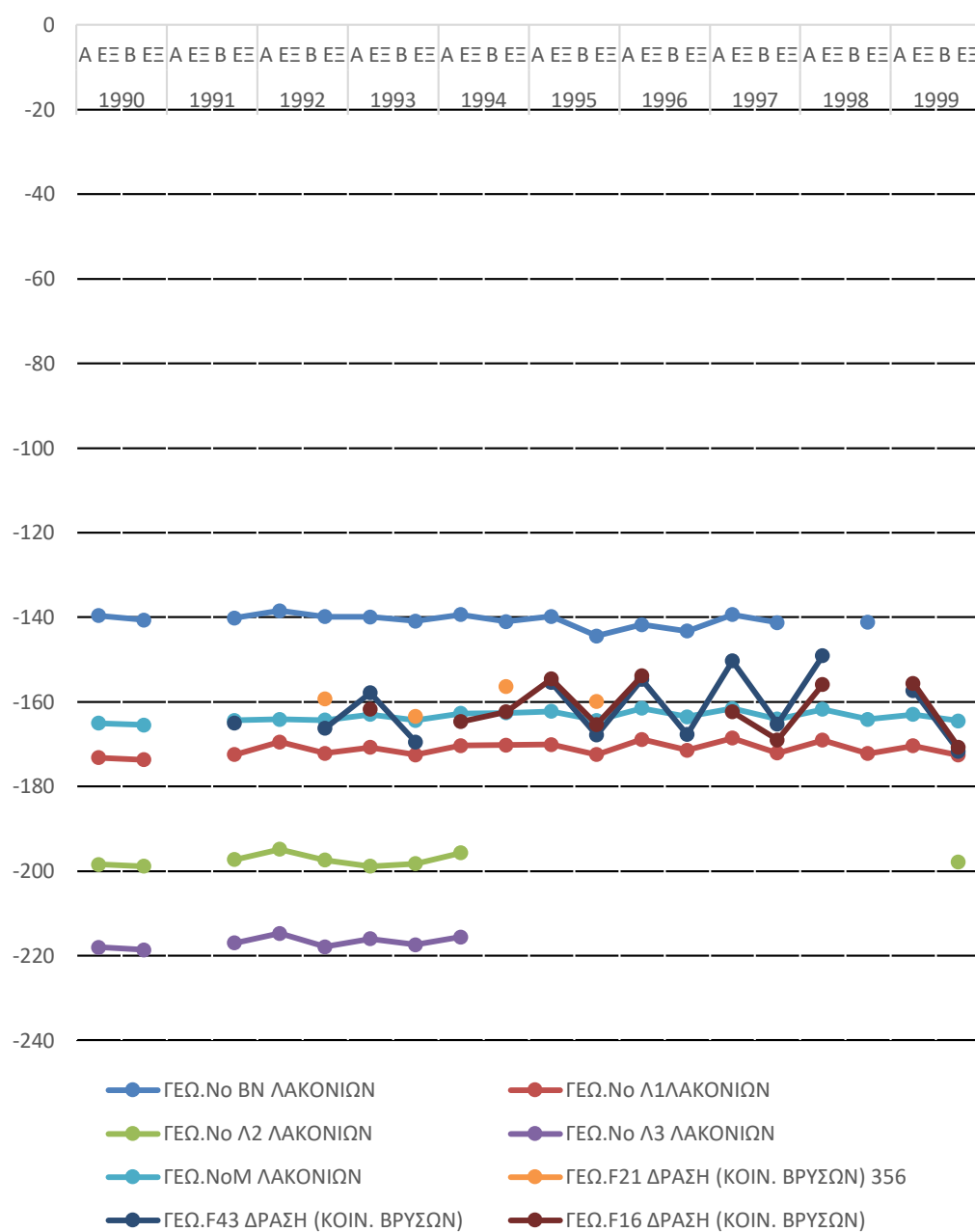
Η τιμή βαθιιάς διήθησης από τις βροχοπτώσεις στην υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης – Αγ. Νικολάου είναι της τάξης των 4.5 εκ. m³ ανά έτος (Παρίτσης 2009).

Η διαμερισματοποιημένη, υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης – Αγ. Νικολάου τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις, ενώ η υπολεκάνη Χαμηλού – Λακωνίων θεωρείται ότι διαθέτει και πλευρική τροφοδοσία από τον ορεινό όγκο Δίκτη.

Το προκαταρτικό υδατικό ισοζύγιο υδρογεωλογικής λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου, όπως προέκυψε από την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων απεικονίζεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Προκαταρτικό υδατικό ισοζύγιο υδρογεωλογικής λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου.

ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΝΕΑΠΟΛΗΣ – ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ	
ΕΙΣΡΟΕΣ	
Πλευρική τροφοδοσία από Δίκτη	7 εκ. m ³
Βαθειά διήθηση	4,5 εκ. m ³
Τροφοδοσία Αμυρού από Δίκτη	76,5 εκ. m ³
ΕΚΡΟΕΣ	
Αντλήσεις	5 εκ. m ³
Εκφορτίσεις υδροφορέα στη θάλασσα	6,5 εκ. m ³
Εκφορτίσεις πηγής Αλμυρού	76,5 εκ. m ³



Σχήμα 4.1 Διακύμανση υδροστατικής στάθμης γεωτρήσεων από τα πεδία Δρασίου και Λακωνίων (στοιχεία ΥΕΒ).

5. Συμπεράσματα για τις Υδρογεωλογικές συνθήκες

Η υδρογεωλογική λεκάνη Νεάπολης - Αγ. Νικολάου (που αντιστοιχεί στις υδρολογικές λεκάνες Ξηροποτάμου και Φλαμουριανών) με έκταση 84,2 km², είναι ένα σύμπλοκο τεκτονικό Νεογενές βύθισμα που αποτελείται από μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) με βύθιση που προοδευτικά αυξάνει προς το κέντρο της λεκάνης Νεάπολης – Αγ. Νικολάου, καθώς και από ΒΑ προς ΝΔ. Από την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων συνάγονται τα εξής:

1. Από τη τεκτονική δομή της περιοχής προκύπτει ένας διαμερισματοποιημένος υδροφορέας που τροφοδοτείται από βροχοπτώσεις και πλευρικά από το σύμπλεγμα Δίκτη (ΒΔ) και εκφορτίζει στο θαλάσσιο μέτωπο του Αγίου Νικολάου. Η πηγή του Αλμυρού Αγίου Νικολάου είναι μια διακεκριμένη υδρογεωλογική οντότητα που εκφορτίζει μέρος της υδροφορίας του Ανατολικού Δίκτη μέσω του ρήγματος Νεάπολης Αγίου Νικολάου που αποτελεί και τον αγωγό τροφοδοσίας της πηγής.
2. Η μέση ετήσια παροχή της πηγής του Αλμυρού είναι 82.000.000 m³ δηλαδή 2,6 m³/s έως 3,2 m³/s με συμμετοχή περίπου 12% θαλασσινού νερού και 75,9 m³/έτος γλυκού νερού. Η πηγή χαρακτηρίζεται από περιορισμένη διακύμανση παροχής κατά τη διάρκεια του έτους.
3. Η περιεκτικότητα της πηγής σε Cl κυμαίνεται από 2600 μέχρι 3300 mg/L κατ' αναλογία με την μικρή διακύμανση της παροχής της πηγής.
4. Τα υδρογραφήματα της πηγής υποδεικνύουν μία λεκάνη τροφοδοσίας με περιορισμένη καρστική συμπεριφορά, δηλαδή κερματισμένη αλλά όχι ιδιαίτερα καρστικοποιημένη.
5. Εκμετάλλευση του υδροφορέα γίνεται στα πεδία Δρασίου, Ξηροποτάμου, Λακωνίων και Χαμηλού με σημαντικές διαφορές στάθμης. Η μέση εκμετάλλευση της λεκάνης είναι της τάξης των 5 εκ. m³ ανά έτος και είναι μικρότερη από την απόδοση του υδροφορέα με την διακύμανση της στάθμης των γεωτρήσεων να ακολουθεί μόνο τις εποχικές διακυμάνσεις.
6. Η μέση ετήσια τιμή βαθιάς διήθησης από τις βροχοπτώσεις είναι της τάξης των 4,5 εκ. m³ ανά έτος και η πλευρική τροφοδοσία από το σύμπλεγμα Δίκτη προκαταρκτικά θεωρείται ότι ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 7 εκ. m³.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα υποδηλούμενα από τα Σχήματα 2.5 και 3.4 αποτελούν τη βάση συγκρότησης του εννοιολογικού μοντέλου των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.

Βιβλιογραφία

- Caine, J.S., J.P Evans, and C.B. Forster, 1996.** Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24: 1025-1028.
- Fleury. P, Bakalowicz M, De Marsily G., 2007.** Submarine springs and coastal karst aquifers: A review. *Journal of Hydrology*, 339: 79– 92.
- Giakoumakis, S., Tsakiris, G. and Efremides, D., 1991.** On the rainfall – runoff modelling in a Mediterranean island environment. *Advances in Water Resources Technology*. G Tsakiris (Editor). Published for ECOWARM by A.A. Balkema.
- Haneberg, W.C., 1995.** Steady-state groundwater flow across idealized faults. *Water Resources Research*, 31: 1815-1820.
- ΙΓΜΕ, 1996.** Υδρογεωλογία των ανθρακικών υδροφοριών της περιοχής Αγίου Νικολάου.
- ΙΓΜΕ, 2005.** Υδρογεωλογική μελέτη Ν. Λασιθίου.
- Meulenkamp, J. E., Jonkers, A., Spaal, P.,1977.** Late Miocene to Early Pliocene development of Crete. In Kallergis, G. (Ed.) 6th Coll. Geol. Aegean Region, 1:137-149. I.G.M.E., Athens.
- Μπεζές Κ., 2010** Σύνταξη Φακέλου Επέκτασης Αρδευτικού από Γεωτρήσεις Λακωνίων Υδρογεωλογική Μελέτη
- Ο.ΑΝ.Α.Κ - Ε.Μ.Π, 1997.** Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων Αν. Κρήτης.
- Παρίσης Σ. Ν., 2009** Μελέτη διαχείρισης συστήματος υδροδότησης Δήμου Αγίου Νικολάου. ΟΑΝΑΚ - ΔΕΥΑΝ.
- Rozos E. and Koutsoyiannis D., 2006.** A multicell karstic aquifer model with alternative flow equations. *Journal of Hydrology* 325: 340–355
- Sigda, J.M., 1995.** Examining the impacts of faults on aquifer flow systems: Implications for regional groundwater flow modeling, *in* The Water Future of Albuquerque and the Middle Rio Grande Basin, Proc. 39th Annual New Mexico Water Conference, November 3-4, 1994, Albuquerque, NM: Las Cruces, New Mexico Water Resources Research Institute, Report No. 290, 237-244.
- Ten Veen, J.H. and Meijer, P Th., 1998.** Late Miocene to Recent tectonic evolution of Crete (Greece): Geological observations and model analysis. *Tectonophysics* 298: 191–208.
- Τσακίρης, Γ., 1995.** Υδατικοί πόροι – 1. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα.
- Van Hinsbergen, D.J.J. and Meulenkamp, J.E, 2004.** Sedimentation on Crete (Greece) during Neogene late-orogenic extension and exhumation. In HINSBERGEN, D.J.J. VAN

The evolving anatomy of a collapsing orogen Geol. Ultraiectina, Utrecht, Netherlands, 280 p.

White, W. B., 1993. Analysis of Karst aquifers. In "Regional Groundwater Quality". Alley W. M. (ed). Van Nostrand Reinhold, New York, 471-489.

White, W. B., 1999. Karst hydrology: Recent developments and open questions. In "Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst". Beck, Pettit & Herring (eds). Balkema, 3-21.

WHO, 2008. Guidelines for drinking-water quality incorporating 1st and 2nd addenda, Vol.1, Recommendations. – 3rd ed. Geneva ISBN 978 92 4 154761 1.

ΤΜΗΜΑ Δ: ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ

1.Θέση των πηγών

Οι πηγές της Μαλαύρας (Φωτογραφίες 1 & 2) βρίσκονται στην περιοχή «Θόλος» στη βόρεια ακτή της Ανατολικής Κρήτης, 4 περίπου km βόρεια της κοινότητας Καβουσίου. Η εκφόρτιση των πηγών γίνεται μέσω μετώπου και όχι μέσω διακριτών πηγών.



Φωτογραφία 1: Θέση των πηγών Μαλαύρας

2.Γεωλογία – Υδρογεωλογία

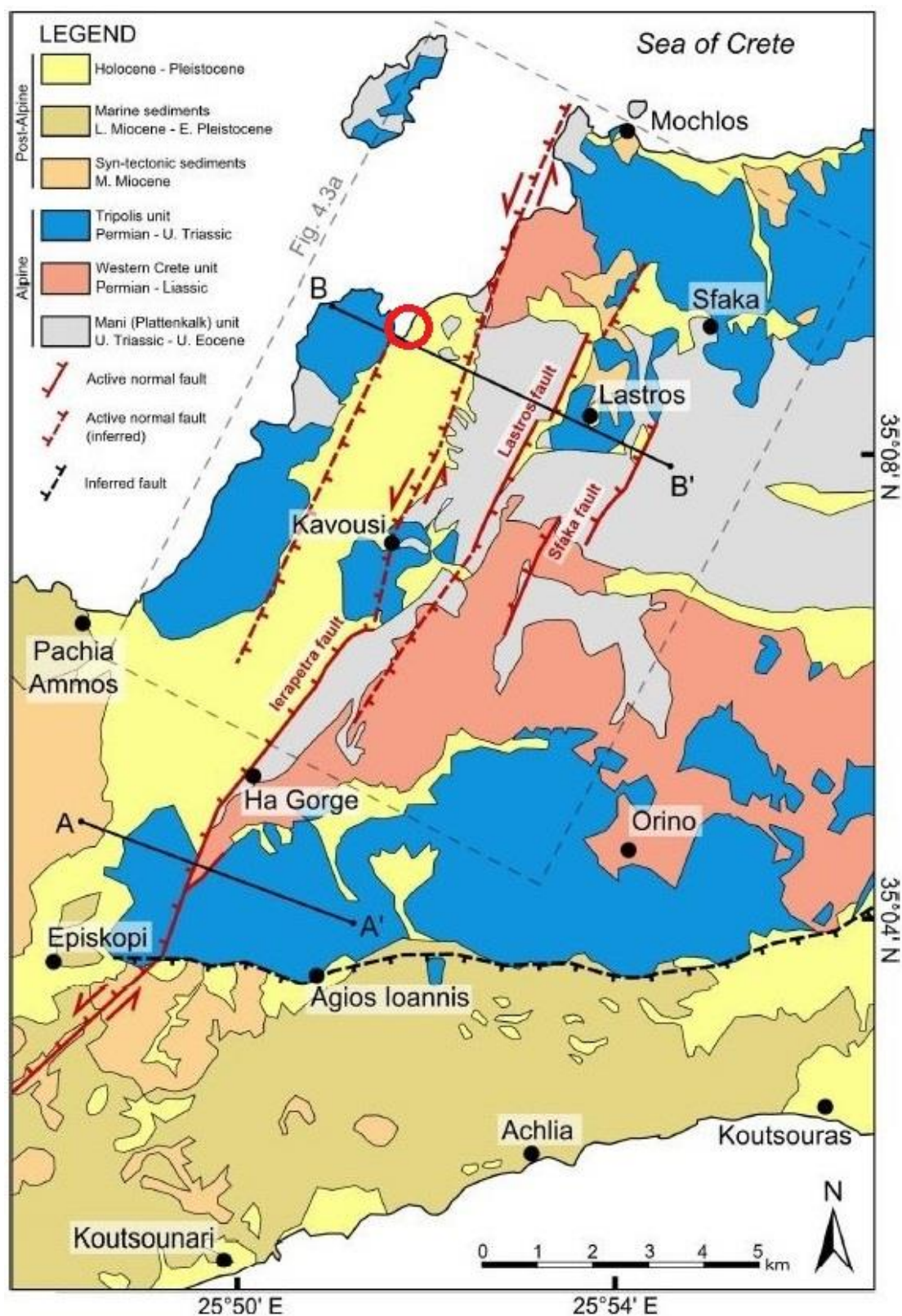
Ο υδροφόρος ορίζοντας του όρους Όρνου αναπτύσσεται στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης, βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα και έχει έκταση περίπου $51,87 \text{ km}^2$. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 1100 mm στη λεκάνη, ενώ ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που δέχεται ο υδροφορέας από τις βροχοπτώσεις είναι της τάξης των 57 εκατ. m^3 . Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που κατεισδύει από τις βροχοπτώσεις στον υδροφόρο ορίζοντα εκτιμάται σε 27 εκατ. m^3 . Η κύρια εκφόρτισή του γίνεται μέσω των πηγών της Μαλαύρας.



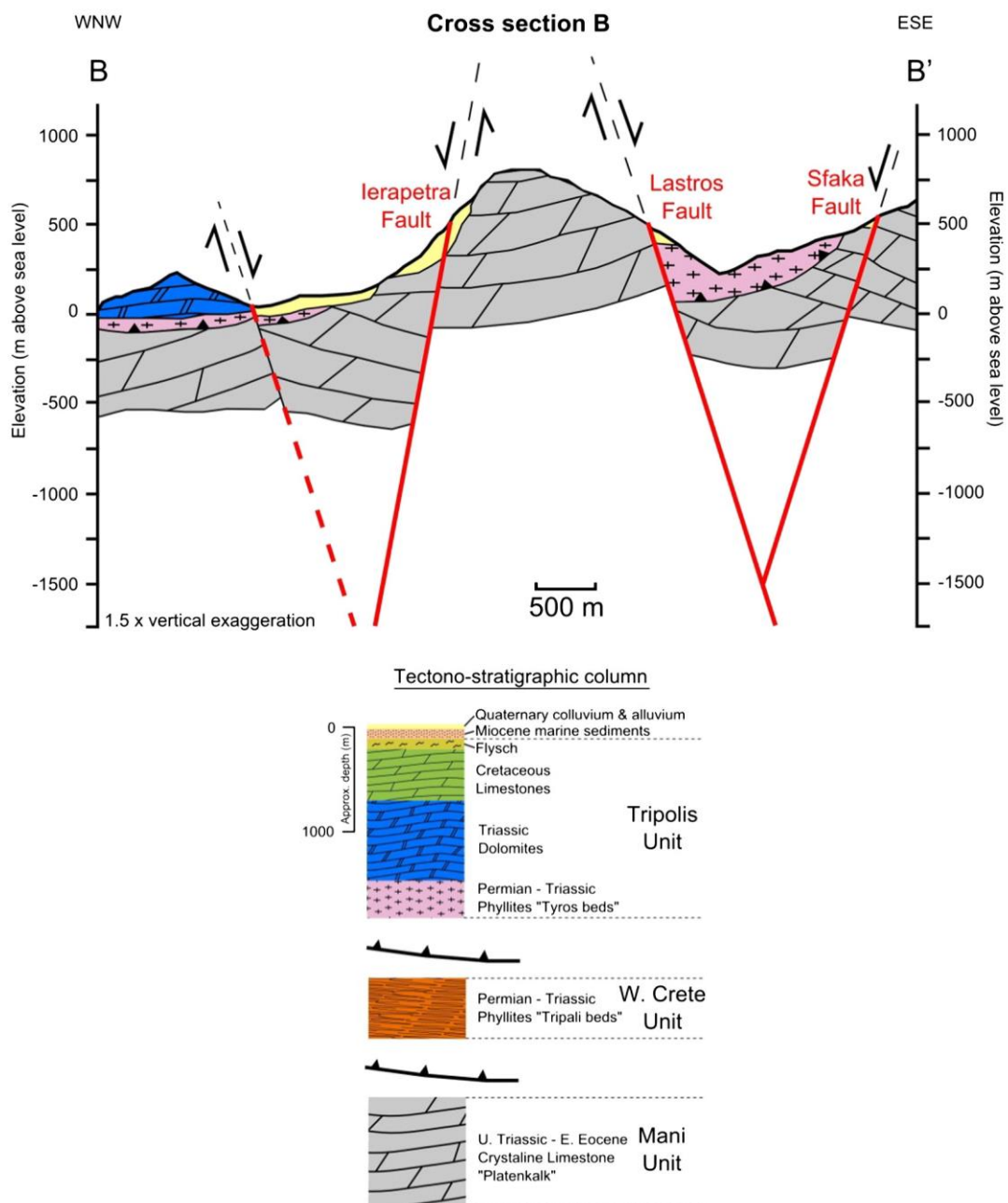
Φωτογραφία 2: Παράλιο μέτωπο των πηγών Μαλαύρας

Είναι υδρογεωλογικά αξιοσημείωτο και με σημασία για την προέλευση των πηγών, ότι όπως σημειώνεται στα Σχήματα 1 και 2, το μέτωπο εκφόρτισης βρίσκεται στην χερσαία απόληξη του συστήματος ρηγμάτων της Ιεράπετρας που οριοθετούν από δυτικά την υδροφορία του Όρνου όρους.

Οι ετήσιες εκφορτίσεις των πηγών της Μαλαύρας, που ίσως είναι υπερεκτιμημένες, είναι της τάξης των 40-50 εκατ. m^3 , που αντιστοιχούν σε παροχές 4.500-5.500 m^3/h περίπου με περιεκτικότητα σε Cl^- περί τα 450-500 mg/L και αγωγιμότητα περίπου 2500 $\mu\text{S/cm}$.



Σχήμα 1 Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της πηγής η θέση της οποίας σημειώνεται με κόκκινο κύκλο.



Σχήμα 2 Τομή Β- Β' του Σχήματος 1 που τέμνει τη θέση των πηγών Μαλαύρας.

3.Στοιχεία εκμετάλλευσης των πηγών

Ο υδροφόρος ορίζοντας, πέραν των παράκτιων και υποθαλάσσιων εκφορτίσεών του, τυγχάνει και εκμετάλλευσης με αριθμό γεωτρήσεων. Μια ομάδα από τις γεωτρήσεις αυτές έχουν ανορυχθεί στο βόρειο κεντρικό τμήμα του υδροφόρου, εκατέρωθεν της εθνικής οδού και καλύπτουν υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες των οικισμών Λάστρου, Σφάκας, Τουρλωτής, Μυρσίνης, Μέσα Μουλιανών και Έξω Μουλιανών.

Σήμερα, από τις πηγές αυτές, περίπου 5,5 εκ. m³/έτος νερού αντλούνται και εμπλουτίζουν το φράγμα Μπραμιανών, το οποίο καλύπτει τις αρδευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής της Ιεράπετρας. Επίσης, με γεωτρήσεις, αντλούνται από 2 έως 3 εκατ m³ νερού/ έτος για τοπικές ανάγκες.

Ο υδροφόρος, στην περιοχή αυτή, έχει υδροστατική στάθμη περίπου στα +9m και αγωγιμότητα 400 – 1000 μS/cm. Ακόμα, άλλες γεωτρήσεις, έχουν ανορυχθεί στο ανατολικό άκρο του υδροφόρου στη θέση Πινί, οι οποίες καλύπτουν κυρίως υδρευτικές ανάγκες της Σητείας και των άλλων κοντινών οικισμών. Όπως προκύπτει από στοιχεία ΙΓΜΕ, ο υδροφόρος ορίζοντας διατηρεί στάθμη λίγα μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και η ποιότητα του νερού διατηρείται πολύ καλή, με αγωγιμότητα περί τα 500 – 550 μS/cm και περιεκτικότητα Cl⁻ περί τα 50 ppm.

Σημειώνεται ότι ο ταμιευτήρας του φράγματος του Μπραμιανών χωρητικότητας 15 εκ. m³ βρίσκεται 4.5 km ΒΔ της Ιεράπετρας. Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου οι αναμενόμενες ετήσιες εισροές έπρεπε να είναι της τάξης των 12 εκ. m³ με πηγές τροφοδοσίας τις απορροές των χειμάρρων Μπραμιανού, Καλαμαυκιανού, Μύρτου καθώς και τις πηγές της Μαλαύρας.

Η εκμετάλλευση της πηγής πραγματοποιείται μέσω μιας υδρομαστευτικής τάφρου και μιας υδρομαστευτικής στοάς που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό (Φωτογραφία 3).

4. Έργα βελτίωσης της ποιότητας του νερού των πηγών

Για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού της πηγής κατασκευάστηκε διάφραγμα στεγανοποιήσεως, συνολικού μήκους 420m., δημιουργούμενο από φρεατοπασσάλους, βάθους 8m έως 11m, μπροστά από το μέτωπο εμφάνισης της πηγής για την απομόνωση της από τη θάλασσα.

Επίσης έχει κατασκευασθεί κουρτίνα τιμμεντενέσεων από τις αιχμές των πασσάλων έως τη στάθμη -30m. Τέλος έχει κατασκευασθεί και έργο προστασίας της ακτής από κυματισμούς με λιθορριπή μήκους 450m, εμπρός από το διάφραγμα, που θωρακίστηκε στη συνέχεια με τεχνητούς ογκόλιθους. Στη φωτογραφία 4 διακρίνονται τα προστατευτικά έργα κατά την κατασκευή τους.

Σημειώνεται ότι η ποιότητα νερού βελτιώθηκε σε πολύ μικρό βαθμό με τη συγκέντρωση χλωριόντων να μειώνεται με αυτά τα έργα προστασίας, αλλά όχι σημαντικά.



Φωτογραφία 3 : Υδρομαστευτική τάφρος των πηγών



Φωτογραφία 4: Κατασκευές προστατευτικών έργων