



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΟ
ΗΡΑΚΛΕΙΟ**

**HYDROGEOLOGICAL STUDY OF ALMYROS RIVER IN
HERAKLION**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟ:

ΠΑΝΤΑΖΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:

ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΣΟΥΠΙΟΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2012

Εισαγωγή

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν για να ολοκληρωθεί αυτή η πτυχιακή εργασία.

Πρώτα απ' όλα τον επόπτη μου καθηγητή δρ Παντελή Σουπιο για την καθοδήγησή, την συνεργασία και την υποστήριξη του για την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Τον γεωλόγο κ Παναγιώτη Σοφίου για το υλικό που μου παραχώρησε (χάρτες, παλαιότερες μελέτες, δεδομένα, γεωλογικά στοιχεία) χωρίς αυτό το υλικό δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη και την υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
Εισαγωγή	5
1.1 Γενικά	5
1.2 Δεδομένα – Επεξεργασία	5
1.3 Περιγραφή της περιοχής μελέτης	6
1.3.1 Γενικά	6
1.3.2 Γεωλογικά - Τεκτονικά χαρακτηριστικά	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	7
Υδρολογικές παράμετροι της πηγής αλμυρού σε συνθήκες φυσικής ροής	
2.1 Γενικά	7
2.2 Δεδομένα	8
2.3 Επεξεργασία - Ανάλυση δεδομένων	9
2.3.1 Διαγράμματα παροχής - ποιότητας - βροχοπιτοχτων σε συνάρτηση με το χρόνο	9
2.3.2 Διαγράμματα στάθμης - ποιότητας - βροχοπτώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο	10
2.3.3 Σχέσεις παροχής – ποιότητας	14
2.3.4 Καμπύλη στέρειυσης (Εξάντλησης)	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	26
Υδρολογικές παράμετροι της πηγής αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης σε συνθήκες τεχνητών παρεμβάσεων	26
3.1 Γενικά	27
3.2 Δεδομένα	28
3.3 Επεξεργασία - Ανάλυση δεδομένων	32
3.3.1 Σχέσεις παροχής - στάθμης λίμνης	32
3.3.2 Σχέσεις παροχής – ποιότητας	35
3.3.3 Σχέσεις στάθμης – ποιότητας	37

3.3.4 Παρατηρήσεις για την περίοδο του πειράματος	43
3.4 Συμπεράσματα	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
4.1 Γενικά στοιχεία	
4.1.1 Εισαγωγή	45
4.1.2 Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα	45
4.2 Επεξεργασίες βροχομετρικών δεδομένων	47
4.2.1 Έλεγχοι ομογένειας	47
4.2.2 Συμπλήρωση δειγμάτων σημειακής βροχόπτωσης	47
4.2.3 Δημιουργία αρχικών γεωγραφικών επιπέδων (υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνη απορροής, ψηφιακό μοντέλο εδάφους)	52
4.2.4 Υπολογισμός των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής	58
4.2.5 Υπολογισμός επιφανειακής βροχόπτωσης με την χρήση G.I.S.	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	74
Πηγη Αλμυρού- Ημέρες γλυκού νερού	74
5.1 Γενικά στοιχεία	
5.1.1 Περιγραφή της πηγής	74
5.1.2 Φαράγγι και υγρότοπος Αλμυρού	75
5.2 Λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού	
5.3 Ο μηχανισμός τροφοδοσίας και υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού	76
5.4 Στοιχεία ποσότητας – ποιότητας	78
5.5 «Υμέρες γλυκού νερού» - Επικαιροποίηση προγενέστερης μελέτης	81
5.5.1 Εισαγωγή	82
5.5.2 Ανάλυση-επεξεργασία δεδομένων	83
5.5.3 Συμπεράσματα	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Αξιοποίηση πηγών αλμυρού	

6.1 Εισαγωγή	96
6.2 Φωτογεολογία	96
6.3 Γεωλογική Χαρτογράφηση	98
6.4 Γεωφυσικά	98
6.5 Υπεδαφική Γεωλογία – Υδρολιθολογία	99
6.6 Δυναμική Υδρογεωλογία (Παρακολούθηση των πεδίων εκμετάλλευσης)	100
6.6.1 Συγκριτική πιεζομετρία/ποιότητα	100
6.6.2 Στάθμη Αλμυρού-ποιότητα	101
6.6.3 Παροχή Αλμυρού-Ποιότητα	102
6.6.4 Χρονική υστέρηση εμφάνισης ποιότητας Αλμυρού έναντι παροχών	102
6.6.5 Στάθμες Γεωτρήσεων και ποιότητα	102
6.6.6 Χωροχρονική μεταβολή πιεζομετρίας	105
6.6.7 Χωροχρονική μεταβολή ποιότητας	106
6.6.8 Δοκιμαστικές αντλήσεις: Υδραυλικές παράμετροι γεωτρήσεων (Τ. κ, Οε)	107
6.7 FAO: Υπεδαφική Γεωλογία – Υδρογεωλογία	109
6.8 Γεωτεχνικές Έρευνες – Υδρομαστεύτική	109
6.9. Συμπεράσματα	110
6.10 Προτάσεις	111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία περιλαμβάνει επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων ποιότητας και παροχής της υφάλμυρης πηγής Αλμυρού, των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης και των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής της υδρολογικής λεκάνης. Επίσης δίδεται μια εκτίμηση για τα μεγέθη της βροχόπτωσης και πλημμύρας σχεδιασμού υπολογίζοντας τις όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης και χρησιμοποιώντας απλά μοντέλα βροχής - απορροής.

Για τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου και κατά συνέπεια των επιφανειακών απορροών της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Ταβερώνα χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία όπως το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών της ESRI, ArcGIS 9.0 και το AutoCAD 2006 της AutoDesk.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των βροχομετρικών δεδομένων σε συνδυασμό με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έδωσαν το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης με επιφανειακή απορροή της τάξης των 6 hm³ ανά έτος.

Η ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων ποιότητας - παροχής - βροχοπτώσεων για την πηγή Αλμυρού Ηρακλείου έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος ημερών «γλυκού νερού» ($Cl \sim < 300$ ppm) σε 46.50 ημέρες ανά έτος για τα 8 υδρολογικά έτη που διαθέτουμε πλήρεις ή σχεδόν πλήρεις μετρήσεις και εκτιμήθηκε για το σύνολο των μη πλήρων ετών σε 34 ημέρες ανά έτος.
2. Ο τελικός αριθμός ημερών «γλυκού νερού» ($Cl \sim < 300$ ppm) που χρησιμοποιήθηκε στο υδατικό ισοζύγιο ορίστηκε σε 30 ημέρες ανά έτος (συντηρητική πρόβλεψη).
3. Διαπιστώθηκε ότι οι ημέρες γλυκού νερού παρουσιάζονται ταυτόχρονα με τις υψηλές παροχές της πηγής (> 12 m / s) και ως εκ τούτου υπολογίστηκε ο εκμεταλλεύσιμος όγκος γλυκού νερού από την πηγή ίσος με 31 hm³ ετησίως.

ABSTRACT

The work involves processing and analysis of data quality and supply of brackish Almyros source of rainfall data of stations located in the study area and geological setting of the catchment area. It also gives an estimate for the size of the design rainfall and flood frequency curves by calculating the area of study using simple models and rainfall - runoff. To determine the water balance and hence the surface runoff of the river basin Taverona used tools such as GIS of ESRI, ArcGIS 9.0 and AutoCAD 2006 of AutoDesk. The results of the processing of rainfall data in conjunction with the geological characteristics of the area gave the hydrological balance of the river by surface runoff of about 6 hm³ per year.

The analysis of available data - quality service - the source for rainfall Almyros Heraklion yielded the following results:

- Estimated the average days' Freshwater »($Cl \sim < 300$ ppm) to 46.50 days per year for 8 years hydrological have complete or nearly complete measurements and estimated for the total non-full years to 34 days per year.
- The final number of days "Freshwater» ($Cl \sim < 300$ ppm) used in water balance was set at 30 days per year (conservative prediction).
- Confirmed that the days that freshwater presented together with the high flow of the spring (> 12 m / s) and hence the estimated exploitable volume of freshwater from the source equal to 31 hm³ year.

1.Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Είναι γνωστό ότι ο Νομός Ηρακλείου Κρήτης έχει ιδιαίτερο πρόβλημα έλλειψης υδατικών πόρων. Προκειμένου να καλυφθούν μερικώς οι υδρευτικές ανάγκες της πόλης του Ηρακλείου, κατασκευάστηκε από την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου (Δ.Ε.Υ.Α.Η.) δίκτυο γεωτρήσεων, με σκοπό την άντληση του υδροφορέα που δίνει γένεση στην πηγή Αλμυρού Ηρακλείου. Πέραν των γεωτρήσεων αυτών για την ύδρευση της πόλης αντλούνται υπόγεια νερά και από τον καρστικό υδροφορέα των Μαλιών και από τους κοκκώδεις υδροφορείς του Θραψανού με πολυάριθμες γεωτρήσεις.

Οι αυξημένες ανάγκες γενικά τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση έχουν οδηγήσει σε πολλές περιπτώσεις στην υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων, σε διάφορες περιοχές του νομού, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και εν συνεχεία την αναπόφευκτη για τους παραλιακούς υδροφορείς υφαλμύρωση των νερών γεγονός που τα καθιστά μη εκμεταλλεύσιμα. Έτσι η συνεχής αναζήτηση για υδατικούς πόρους έχει φέρει στην επιφάνεια πολλές προτάσεις όπως την κατασκευή φραγμάτων, ταμιευτήρων, στοών υδροσυλλογής και άλλων τεχνικών έργων για την εκμετάλλευση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Η πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου θα μπορούσε να αποτελέσει την λύση για το υδρευτικό πρόβλημα της πόλης του Ηρακλείου μιας και οι όγκοι νερού που εκφορτίζονται κάθε χρόνο είναι κατά μέσο όρο 235x106 m³. Το βασικό πρόβλημα όμως είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος από τα νερά αυτά είναι υφάλμυρο και ο μηχανισμός της υφαλμύρωσης δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως μέχρι σήμερα. Παρόλα αυτά, υπάρχει δυνατότητα εκμετάλλευσης σημαντικών όγκων νερού για κάποιες μέρες το χρόνο όπου το νερό της πηγής είναι γλυκό.

1.2 Δεδομένα – Επεξεργασία

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι:

1. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακας 1:50.000 και 1:5.000,
2. Γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000,
3. Βροχομετρικά δεδομένα (μηνιαία και ημερήσια) 4 σταθμών στην περιοχή μελέτης από την αρχή λειτουργίας τους μέχρι το έτος 2004,
4. Στοιχεία πηγής Αλμυρού Ηρακλείου (χλωριόντα συναρτήσεως του χρόνου για τα έτη 1967 - 2004 και μηνιαίες παροχές της πηγής για τα έτη 1971 - 2001),
5. Επεξεργασία και επικαιροποίηση της μελέτης «Ημέρες Γλυκού Νερού» με νεότερα δεδομένα 10 επιπλέον ετών,
6. Προσδιορισμός της βροχόπτωσης και πλημμύρας σχεδιασμού για διάφορες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς,
7. Προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου και εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.).

1.3 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

1.3.1 Γενικά

Η περιοχή της μελέτης εκτείνεται μεταξύ της ορεινής μάζας του Ψηλορείτη και της πεδινής ή λοφώδους λεκάνης του Ηρακλείου. Λόγω της θέσης της αυτής, παρουσιάζει γεωλογικά χαρακτηριστικά τα οποία συνδέονται στενά, τόσο με την γεωλογική εξέλιξη του Ψηλορείτη, όσο και με την εξέλιξη της νεογενούς λεκάνης του Ηρακλείου.

1.3.2 Γεωλογικά - Τεκτονικά χαρακτηριστικά

Στα δυτικά της περιοχής Τυλίσου βρίσκεται η μάζα του Ψηλορείτη, που αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Τα βαθύτερα στρώματα περιλαμβάνουν τους πλακάδεις μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης, ενώ στα ανωτέρα στρώματα συναντούμε τους ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης της Τρίπολης. Μεταξύ των δύο ασβεστολιθικών σειρών παρεμβάλλεται η σχιστολιθική σειρά των Φυλλιτών, η οποία είναι παχύτερη στον βόρειο τομέα του Ψηλορείτη και λεπτότερη (ή λείπει, τελείως) στον νότιο τομέα.

Ανατολικά της περιοχής Τυλίσου, αναπτύσσεται η λεκάνη του Ηρακλείου, που αποτελείται από νεογενείς σχηματισμούς: γκρι μάργες και κροκαλοπαγή του Τορτονίου, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και γύψους του Μεσσηνίου και κίτρινες μάργες του Πλειόκαινου. Στην επιφάνεια της λεκάνης σπανίως εμφανίζεται το προνεογενές υπόβαθρο της. Σε ορισμένα σημεία, όπου αυτό έχει εντοπισθεί, πρόκειται συνήθως για ασβεστόλιθους ή φλύσχη της σειράς της Τρίπολης.

Από τεκτονικής πλευράς παρατηρείται, ότι η περιοχή που σήμερα αντιστοιχεί στην λεκάνη του Ηρακλείου, βυθίσθηκε μετά το Νεογενές, ενώ συγχρόνως η περιοχή του Ψηλορείτη ανυψώθηκε σημαντικά. Η σχετική κατακόρυφη μετακίνηση ξεπερνά τα 1000 m και συντελέστηκε κατά μήκος σημαντικών ρηγμάτων, που δημιουργήθηκαν κατά μήκος της νοητής γραμμής Άνω Ασιτών - Τυλίσου.

Στην περιοχή αυτή τα ρήγματα έχουν διεύθυνση Β-Ν και έχουν προκαλέσει την κλιμακωτή και προοδευτική βύθιση των ασβεστόλιθων του Ψηλορείτη προς τα ανατολικά, όπου και καλύπτονται από το Νεογενές της Λεκάνης του Ηρακλείου.

Από υδρογεωλογική σκοπιά σημειώνεται, ότι στην ασβεστολιθική μάζα του Ψηλορείτη αναπτύσσεται το υδροφόρο σύστημα του Αλμυρού Ηρακλείου. Το σύστημα αυτό πήρε την ονομασία του από την ομώνυμη πηγή, που εμφανίζεται στην βάση του υψώματος της Κέρης, σε απόσταση 1 km περίπου από την παραλία. Από

μελέτες (Κ. Μπεζές, 1992) υπολογίσθηκε ότι η επιφανειακή λεκάνη απορροής, που αναλογεί στην τροφοδοσία της πηγής του Αλμυρού, έχει έκταση 200 km².

Εκτός από το σύστημα του Αλμυρού, θα πρέπει να αναφερθεί, ότι στη νεογενή λεκάνη αναπτύσσεται καρστικός υδροφορέας μέσα σε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και γύψους του Μεσσηνίου. Όμως λόγω του μικρού σχετικά πάχους των στρωμάτων αυτών και των πολυάριθμων μικρορηγμάτων που διασχίζουν την λεκάνη του Ηρακλείου, ο υδροφορέας του Μεσσηνίου δεν είναι ενιαίος. Η τροφοδοσία του από τα νερά των βροχών φαίνεται ότι είναι περιορισμένη, διότι το Μεσσηνίο καλύπτεται συνήθως από πλειοκαινικές μάργες. Από υδροχημικής πλευράς σημειώνεται, ότι το νερό του υδροφορέα του Μεσσηνίου είναι γενικά ακατάλληλο για πόση, επειδή περιέχει μεγάλη ποσότητα αλάτων, θεικών και ασβεστίου, προερχόμενων από την διάλυση της γύψου.

Στην στενή περιοχή της Τυλίσου συναντάμε το Νεογενές να καλύπτει με ένα στρώμα πάχους 50 - 100 m τον φλύσχη και τους ασβεστοδολομίτες της ζώνης της Τρίπολης, καθώς και τους φυλλίτες και τους υποκείμενους πλακώδεις ασβεστόλιθους. Με γεωτρήσεις είναι δυνατόν να συναντηθεί τόσο ο υδροφορέας του Μεσσηνίου (στα ανώτερα στρώματα), όσο και ο βαθύτερος υδροφορέας των ασβεστόλιθων της Τρίπολης (στα κατώτερα στρώματα). Καμία γεώτρηση μέχρι σήμερα δεν συνάντησε τους φυλλίτες ή τους πλακώδεις ασβεστόλιθους.

Όπως αποδείχθηκε (Κ. Μπεζές, 1992) , ο υδροφορέας της Τρίπολης στην περιοχή της Τυλίσου αποτελεί, ένα υποσύστημα του ευρύτερου καρστικού συστήματος του Ψηλορείτη, το οποίο ονομάστηκε Λεκάνη Τυλίσου. Προς βορρά τα όρια της λεκάνης φθάνουν μέχρι το ύψωμα της Κέρης. Προς τις άλλες όμως διευθύνσεις τα όρια της λεκάνης είναι ασαφή, διότι υπάρχει επικοινωνία με τα γειτονικά υποσυστήματα του Ψηλορείτη (Αστυρακίου, Κρουσώνας, Ασιτών). Στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί φαίνεται ο χάρτης του νομού Ηρακλείου και στο πλαίσιο η ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Σχήμα 1 Χάρτης του νομού Ηρακλείου (στο πλαίσιο φαίνεται η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος)

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

2.1 Γενικά

Γεωγραφικά η πηγή του Αλμυρού Ποταμού βρίσκεται σε απόσταση 8 περίπου χιλιομέτρων δυτικά της πόλης του Ηρακλείου και σε απόσταση ενός και πλέον χιλιομέτρου από την αμμώδη ακτή του δυτικού τμήματος του μοιχού του Κόλπου Ηρακλείου. Μορφολογικά η πηγή βρίσκεται στη βάση των ανατολικών κλιτύων του υψώματος της Κέρης, το οποίο συνιστά τις βορειοανατολικές απολήξεις του ορεινού συγκροτήματος Ψηλορείτη.

Η πηγή αναβλύζει μέσω μικρής φυσικής λίμνης της οποίας η εποχική στάθμη κυμαίνονταν περί το υψόμετρο +2,0 μέχρι +3,1 μέτρα. Σήμερα η έκταση της λίμνης έχει αυξηθεί σημαντικά (πλέον των 3,5 στρεμμάτων) και η στάθμη της μπορεί να φτάσει μέχρι τα +10,0 μέτρα περίπου, λόγω κατασκευής φράγματος με ρυθμιζόμενο εκχειλιστή.

Γεωλογικά η πηγή του Αλμυρού βρίσκεται στα όρια μεταξύ δύο ευδιάκριτων γεωλογικών και γεωμορφολογικών επαρχιών.

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

Η ανατολική επαρχία, καταλαμβάνει το πεδινό καΓ λοφώδες βύθισμα Ηρακλείου - Φαιστού και περιλαμβάνει, σχεδόν αποκλειστικά, Νεογενή ιζήματα (μάργες, άργιλλοι, ψαμμίτες, γύψοι, κροκαλολατυποπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι κ.λπ.) και Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η πηγή Αλμυρού αναβλύζει από ανθρακικά ιζήματα, ανωτέρων μελών (Κρητιδικό - Ιουρασικό) της τεκτονικής υποζώνης "Τρίπολης", στα όρια των δύο 3 ανωτέρων επαρχιών, στη βάση των πρανών του υψώματος της Κέρης. Τα όρια αυτών, στην περιοχή της πηγής, διαγράφονται από μεταπτωτική ζώνη ρηγμάτων σημαντικού άλματος, η οποία εκτείνεται κατά μήκος της βάσης των ανατολικών πρανών του υψώματος της Κέρης, με διεύθυνση περίπου Β-Ν.

2.2. Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αφορούν μετρήσεις

παροχών, στάθμης λίμνης και χλωριόντων, κατά τη χρονική περίοδο 1966 -1994. Όλα τα παραπάνω στοιχεία παραχωρήθηκαν από το Υπ. Γεωργίας / Π. Δ. Ε. Β. Κρήτης και την Δ, Ε. Υ. Α. Ηρακλείου.

Τα βροχομετρικά δεδομένα λήφθηκαν από τα "Υδρολογικά στοιχεία Ν. Κρήτης", που εκδίδονται από το Υπ. Γεωργίας / Π. Δ. Ε. Β. Κρήτης. Από τα τεύχη αυτά επιλέγησαν οι βροχομετρικοί σταθμοί Ανωγείων (Νομού Ρεθύμνου) και Κρουσσώνα (Νομού Ηρακλείου), οι οποίοι θεωρήθηκαν ως οι αντιπροσωπευτικότεροι της διαίτας των βροχοπτώσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Θα πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι οι διατιθέμενες τιμές των βροχοπτώσεων για τα υδρολογικά έτη 1968-69 έως και 1972-73 είναι μηνιαίες, ενώ για τα υπόλοιπα είναι ημερήσιες.

2.3. Επεξεργασία - Ανάλυση δεδομένων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνεται η ανάλυση και επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

2.3.1. Διαγράμματα παροχής - ποιότητας - βροχοτιτοχτων σε συνάρτηση με το χρόνο

Για κάθε υδρολογικό έτος κατασκευάστηκε διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τις μεταβολές της παροχής της πηγής και τις αντίστοιχες μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων, συναρτήσει του χρόνου.

Τα παραπάνω διπλά διαγράμματα παραλληλίστηκαν χρονικά με τα αντίστοιχα ετήσια ιστογράμματα των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.1** . Το υδρολογικό έτος 1979-80 επιλέχθηκε από την ομόλογη σειρά διαγραμμάτων της 25ετίας (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - Ι) επειδή συγκεντρώνει τις αρτιωτερες μετρήσεις και ανταποκρίνεται σε ένα μέσο υδρολογικό έτος.

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι οι μεταβολές της ποιότητας ακολουθούν με μικρή χρονική καθυστέρηση τις μεταβολές της παροχής της πηγής. Η αύξηση της παροχής συνεπάγεται βελτίωση της ποιότητας του νερού (μείωση συγκέντρωσης χλωριόντων) και αντίθετα η μείωση παροχής συνδέεται με χειροτέρευση της ποιότητας (αύξηση συγκέντρωσης χλωριόντων).

Αξίζει να σημειωθεί ότι την ξηρή περίοδο (μετά το πέρας των βροχοπτώσεων) κατά την οποία η παροχή τείνει μειούμενη να σταθεροποιηθεί γύρω από ορισμένη τιμή ("παροχή βάσης"), η συγκέντρωση των χλωριόντων συνεχίζει να αυξάνεται αδιάλειπτα (φαινομενικά με σταθερή σχέση) μέχρι την έναρξη της υγρής περιόδου του επόμενου υδρολογικού έτους.

Από τη χρονική ταύτιση του διαγράμματος με τα ιστογράμματα των βροχοπτώσεων γίνεται εμφανές ότι η αύξηση της παροχής της πηγής είναι ομόρροπη συνάρτηση της έντασης των βροχοπτώσεων. Η αύξηση της παροχής εμφανίζεται με καθυστέρηση ημερών από την ημέρα αιχμής της καταιγίδας.

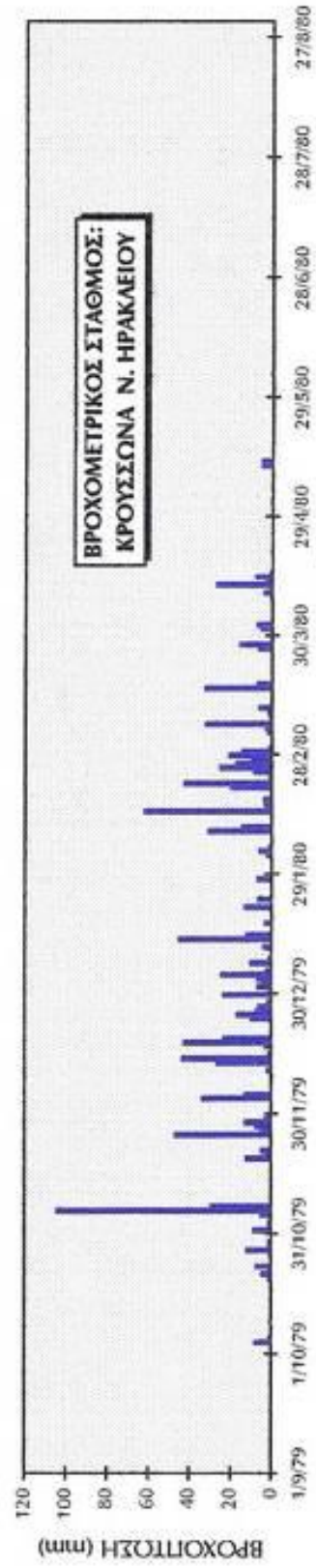
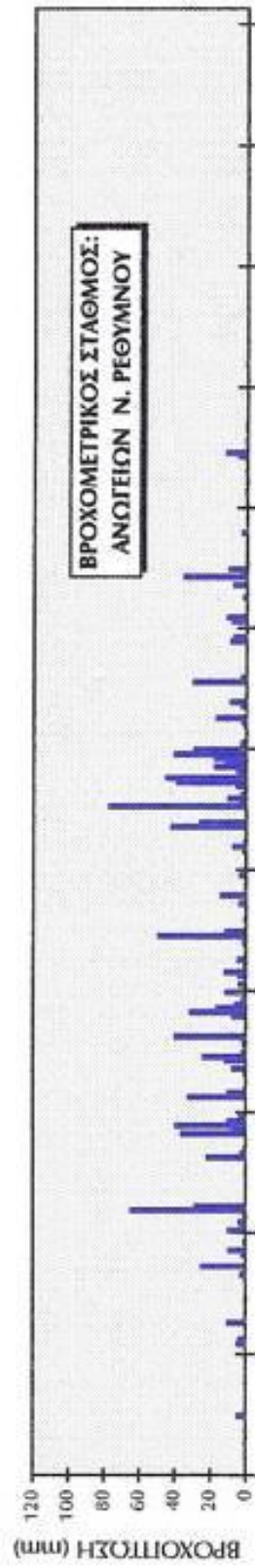
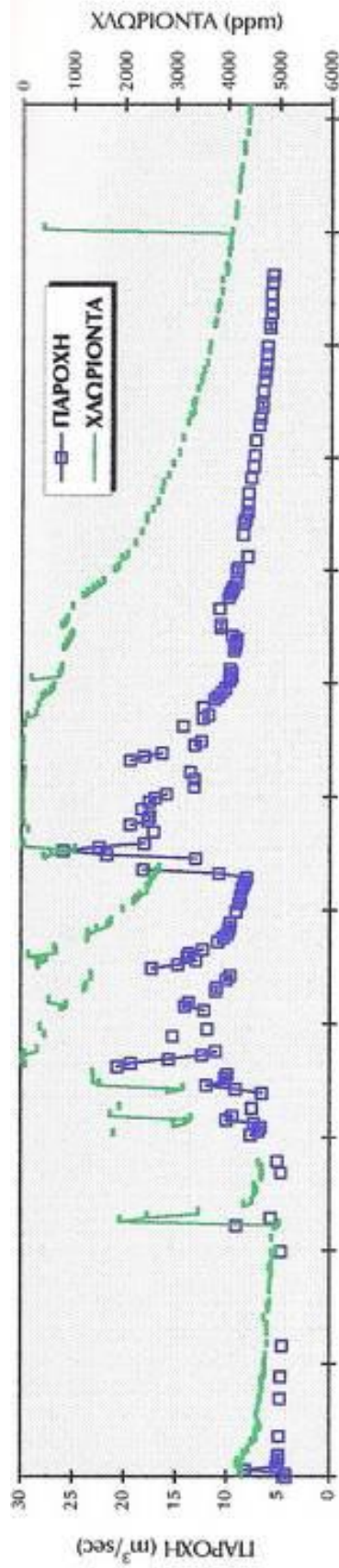
Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από το πείραμα ανύψωσης της στάθμης της λίμνης του Αλμυρού, το οποίο πραγματοποιήθηκε από το Υπ. Γεωργίας κατά την περίοδο 23/3/87 έως και 14/9/87 (**Σχήμα 2.2**).

2.3.2. Διαγράμματα στάθμης - ποιότητας - βροχοπτώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο

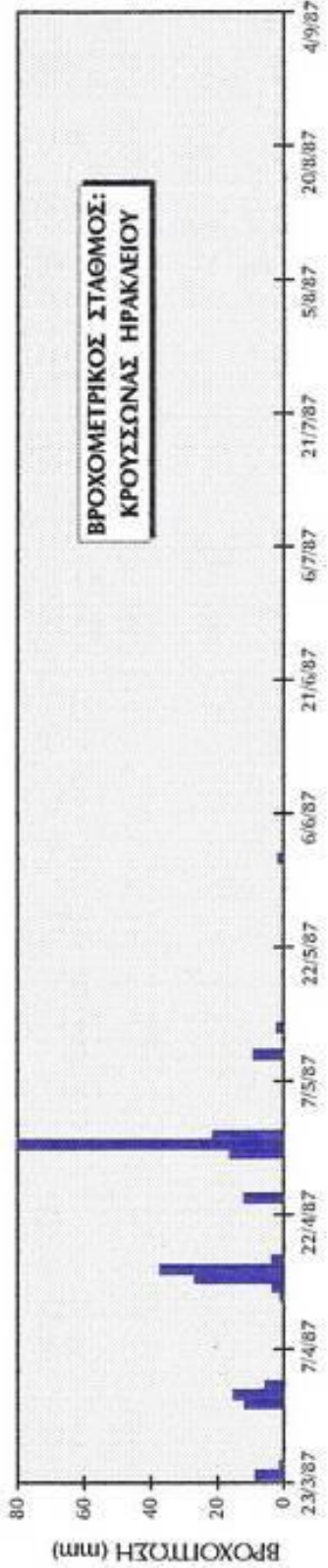
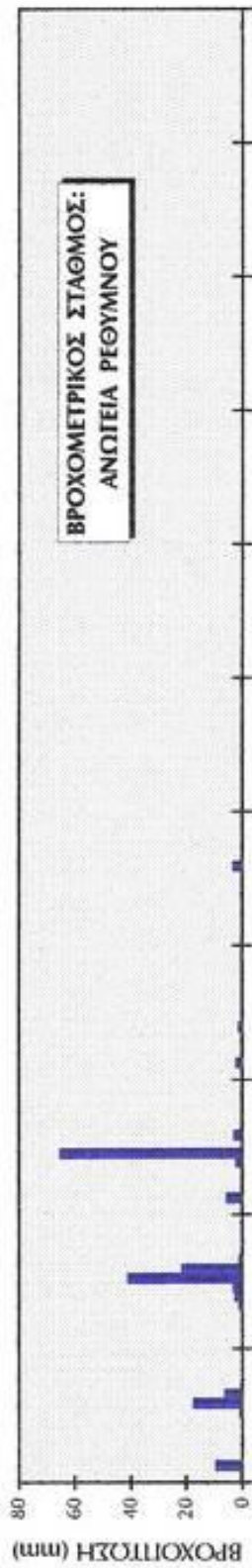
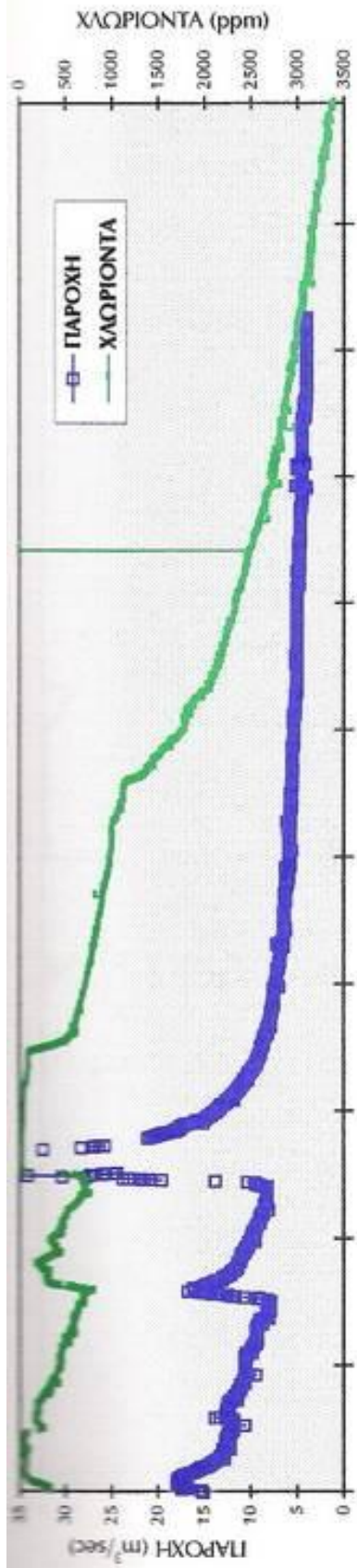
Για κάθε υδρολογικό έτος κατασκευάστηκε, κατά ανάλογο τρόπο, διάγραμμα το οποίο

απεικονίζει τις μεταβολές της στάθμης της λίμνης του Αλμυρού και τις αντίστοιχες μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων, συναρτήσει του χρόνου (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - II).

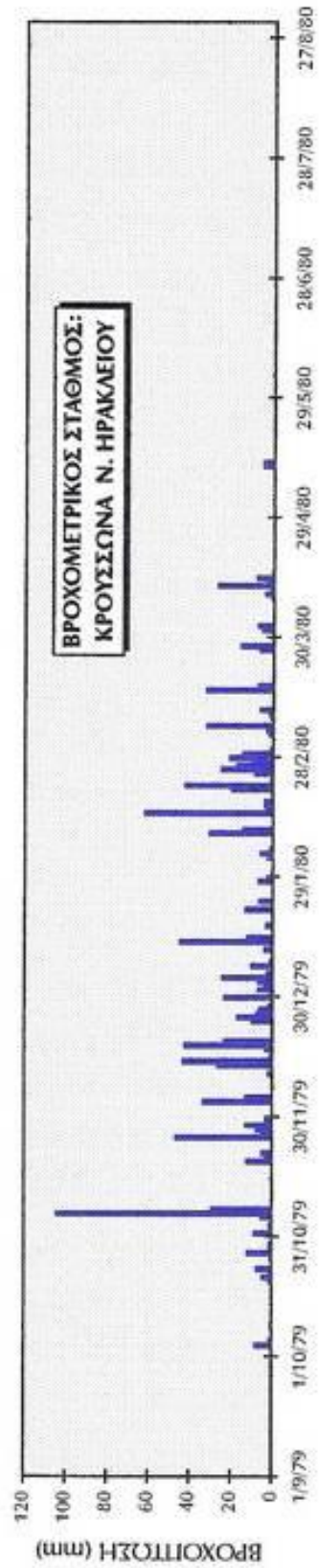
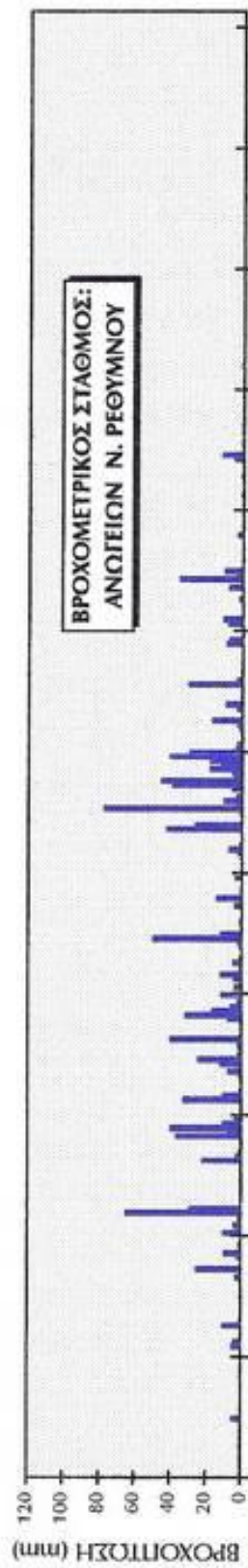
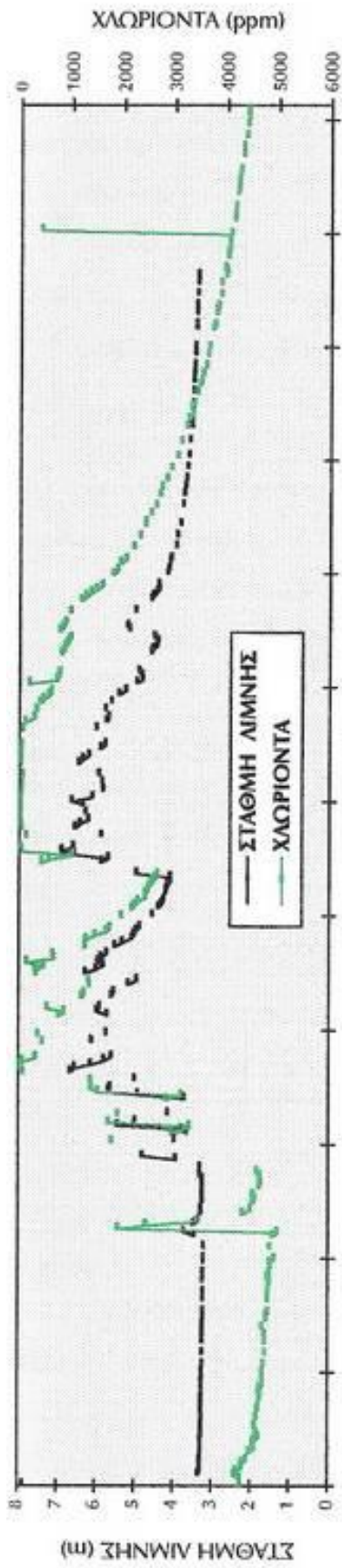
Το παραπάνω διπλό διάγραμμα παραλληλίσθηκε χρονικά και πάλι με τα ιστογράμματα βροχοπτώσεων (**Σχήμα 2.3**).



**ΣΧΗΜΑ 2.1: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας - βροχοπτώσεων
(Υδρολογικό έτος 1979-80).**



ΣΧΗΜΑ 2.2: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας - βροχοπτώσεων, στην περίοδο του πειράματος (έναρξη: 23/3/87 - λήξη: 14/9/87).



**ΣΧΗΜΑ 2.3: Διάγραμμα στάθμης - ποιότητας - βροχοπτώσεων
(Υδρολογικό έτος 1979-80).**

Από τα διαγράμματα στα σχήματα 2.3 και 2.4 προκύπτει ότι οι μεταβολές στη στάθμη της λίμνης δεν συνδέονται πάντα με τον ίδιο τρόπο με τη συγκέντρωση χλωριόντων στην πηγή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεταβολές της στάθμης της λίμνης οφείλονται τόσο σε φυσικά (βροχοπτώσεις) όσο και σε τεχνητά αίτια (θέση θυροφραγμάτων).

Η ανύψωση της στάθμης της λίμνης που οφείλεται σε φυσικά αίτια (αύξηση παροχής της πηγής λόγω βροχοπτώσεων) επιφέρει βελτίωση της ποιότητας του νερού, ενώ δεν παρατηρείται εμφανώς το ίδιο φαινόμενο στην περίπτωση που η αύξηση της στάθμης οφείλεται σε τεχνητά αίτια.

Το φαινόμενο αυτό επαναλήφθηκε και κατά την διάρκεια του πειράματος ανύψωσης της στάθμης της λίμνης της περιόδου 23/3/87 έως και 14/9/87. Στο αντίστοιχο διάγραμμα (**Σχήμα 2.4**), ενώ η στάθμη λίμνης απεικονίζεται σχεδόν σταθεροποιημένη στα + 10,0m, για διάστημα πλέον των τριών μηνών, η ποιότητα χειροτερεύει αδιάλειπτα, ενώ μειώνεται κατά τον ίδιο τρόπο και η παροχή της πηγής.

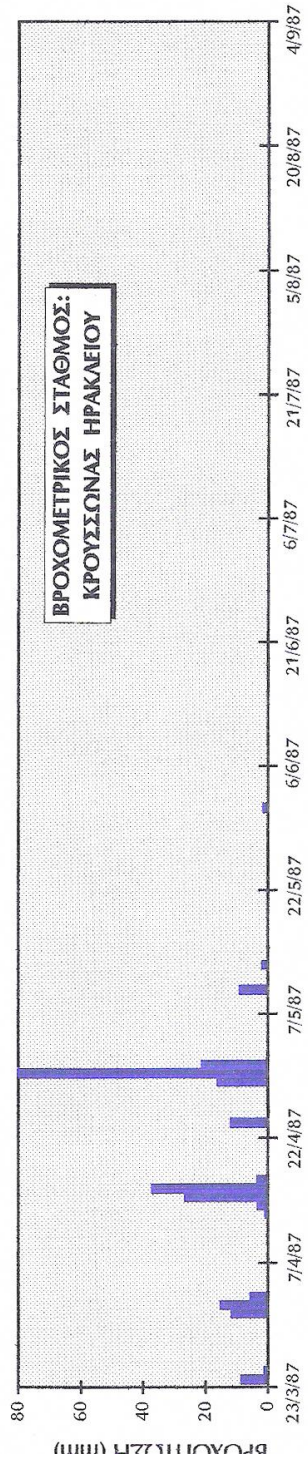
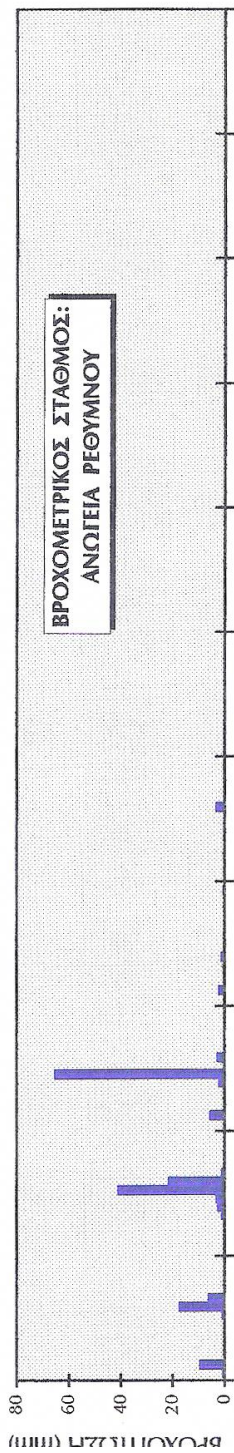
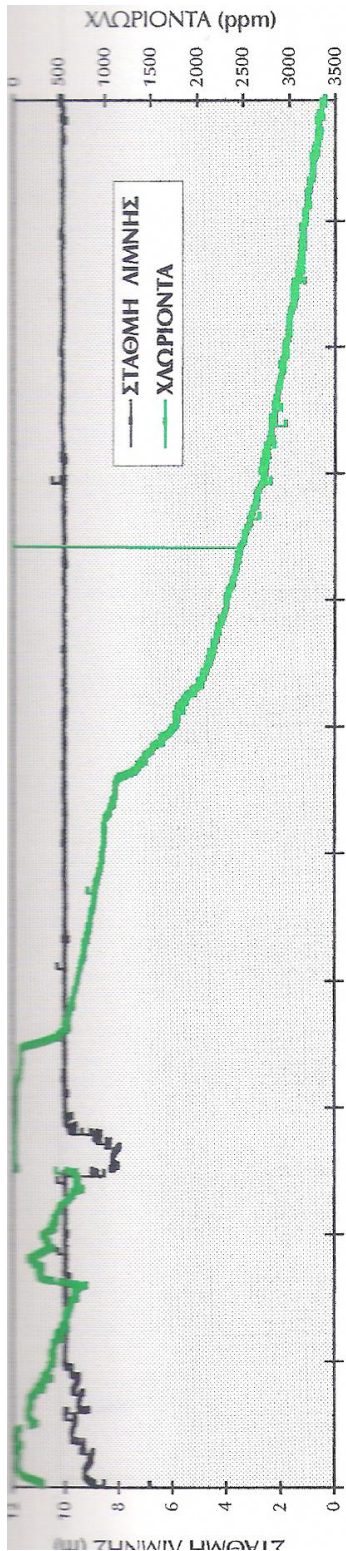
Επομένως, είναι αναγκαίο να γίνει διαχωρισμός των μεταβολών της στάθμης που οφείλονται σε φυσικά, από αυτές που οφείλονται σε τεχνητά αίτια και στη συνέχεια να υπάρξει συσχετισμός με τις αντίστοιχες μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων.

2.3.3. Σχέσεις παροχής – ποιότητας

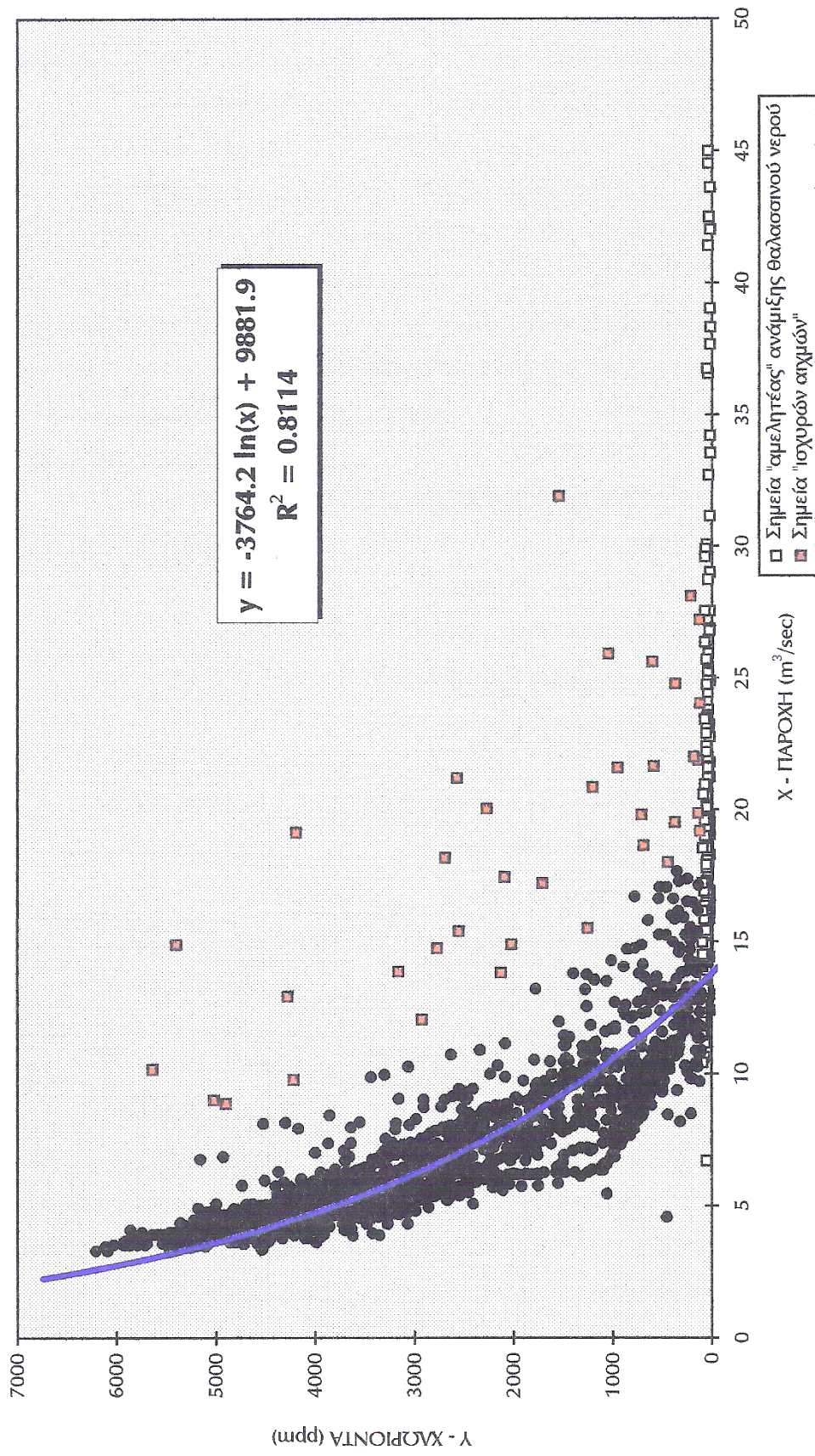
Για να διαπιστωθεί τυχόν ύπαρξη μαθηματικής σχέσης ανάμεσα στην παροχή και στην ποιότητα, κατασκευάστηκαν διαγράμματα παροχής -συγκέντρωσης χλωριόντων για κάθε υδρολογικό έτος (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - ΙΙΙ). Μετά από επεξεργασία των παραπάνω διαγραμμάτων μέσω του προγράμματος EXCEL 5 βρέθηκε η βέλτιστη αντιπροσωπευτική καμπύλη των σημείων (βλέπε **Σχήμα 2.5**, με το συνολικό διάγραμμα όλων των διατιθέμενων υδρολογικών ετών).

Η επιλογή του τύπου της καμπύλης έγινε με κριτήριο τον συντελεστή συσχετισμού (R). Βέλτιστος συντελεστής συσχετισμού προέκυψε για τη λογαριθμική εξίσωση:

$y = \alpha * \ln(x) + \beta$, όπου x η συγκέντρωση χλωριόντων, y η παροχή και α , β αριθμητικές παράμετροι διαφορετικές ανά υδρολογικό έτος. Ικανοποιητικός συντελεστής προέκυψε και για την εκθετική εξίσωση: $y = \alpha * \beta \chi(\chi/\beta)$, αν και συστηματικά μικρότερος της προηγούμενης.



ΣΧΗΜΑ 2.4: Διάγραμμα στάθμης - ποιότητας - βροχοπτώσεων, στην περίοδο του πειράματος (έναρξη: 23/3/87 - λήξη: 14/9/87).



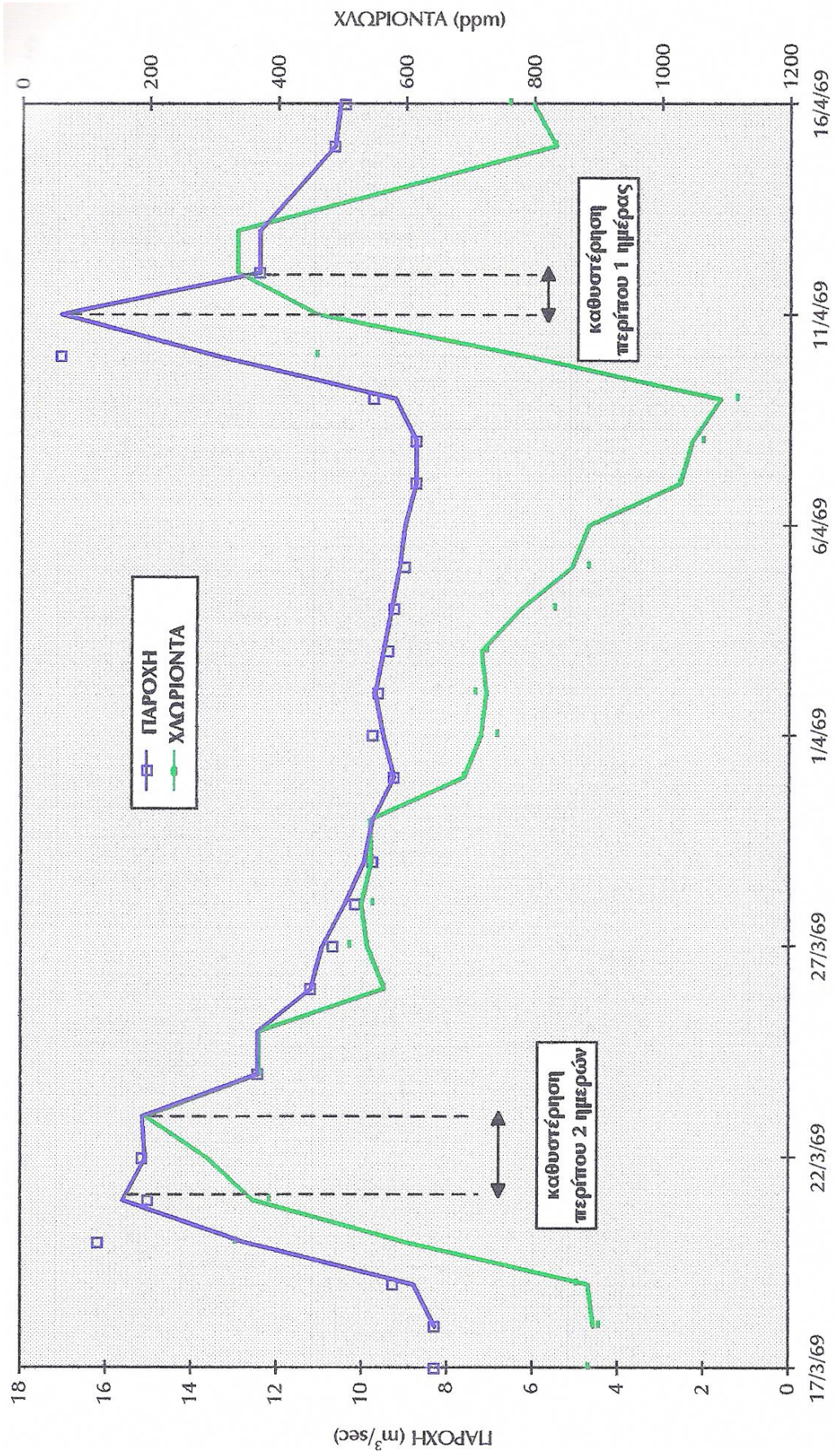
ΣΧΗΜΑ 2.5: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας
(Υδρολογικά έτη 1967-68 έως και 1993-94).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα σημεία που αντιπροσωπεύουν μετρήσεις συγκέντρωσης χλωριόντων κάτω των 100 ppm θεωρήθηκε ότι δεν ακολουθούν την λογαριθμική εξίσωση. Η παραπάνω παραδοχή έγινε εξαιτίας της διαπίστωσης ότι η διάταξη των σημείων στο διάγραμμα δείχνει σταθεροποίηση της ποιότητας σε σχέση με την παροχή κάτω από κάποια τιμή συγκέντρωσης χλωριόντων. Η τιμή των 100ppm επιλέχθηκε αφενός γιατί βελτιστοποιεί το συντελεστή συσχετισμού για τα σημεία πάνω απ' αυτή (τουλάχιστον για τα περισσότερα υδρολογικά έτη) και αφετέρου επειδή η τιμή αυτή θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε πρακτικά μηδενική ή αμελητέα ανάμιξη θαλασσινού νερού.

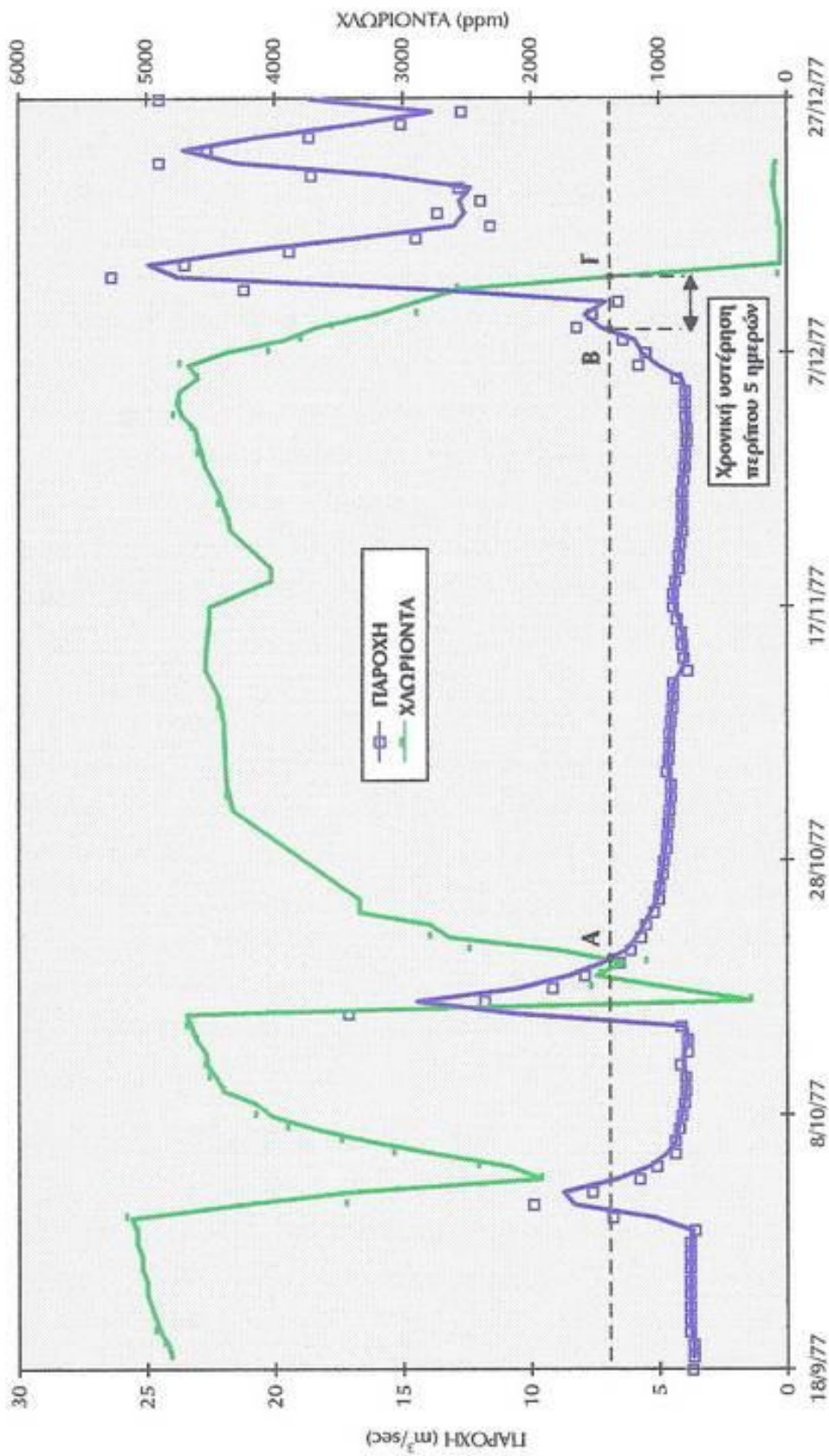
Επίσης, για μικρές χρονικές περιόδους έντονων μεταβολών της παροχής (αιχμές = peaks) τα ζεύγη τιμών "παροχή-ποιότητα" δεν συγχρονίζονται λόγω του προαναφερθέντος φαινομένου της καθυστέρησης (βλέπε παράγραφο 2.1 και **Σχήμα 2.6**), με αποτέλεσμα να αποκλίνουν σημαντικά από την μέση καμπύλη συσχετισμού των δύο τιμών. Για τον λόγο αυτό, κατά την χάραξη της καμπύλης κρίθηκε σκόπιμο να εξαιρεθούν τα ζεύγη τιμών που εμπίπτουν στις βραχυχρόνιες αυτές έντονες ανωμαλίες (σημεία "ισχυρών αιχμών").

Με τη χρήση των δύο παραπάνω παραδοχών αφενός ο συντελεστής συσχετισμού βελτιώνεται σημαντικά (>0.8) αφετέρου η συστηματική "υπεροχή" της λογαριθμικής έναντι της εκθετικής σχέσης γίνεται εμφανέστερη.

Παρατήρηση: Έχει παρατηρηθεί και από προγενέστερες έρευνες, ότι δεδομένη ποιότητα νερού της πηγής συνδυάζεται χρονικά με διαφορετικές τιμές παροχών κατά τις περιόδους αύξησης (φόρτιση) και τις περιόδους μείωσης (εκφόρτιση) των εκροών της πηγής. Το φαινόμενο θα ήταν δυνατόν να αποδοθεί και σαν χρονική υστέρηση επανεμφάνισης της ίδιας ποιότητας νερού, για δεδομένη παροχή, μεταξύ της περιόδου "εκφόρτισης" και "φόρτισης" του υδροφορέα. Για τον λόγο αυτό, το γεγονός ερμηνεύεται σαν διαφορά χρόνου εξέλιξης του φαινομένου της επανεγκατάστασης της αλμυρότητας στους καρστικούς αγωγούς, οι οποίοι τροφοδοτούν την πηγή κατά την περίοδο της εκφόρτισης και του χρόνου εξέλιξης του αντίστροφου φαινομένου της "έκπλυσης" των αγωγών κατά την περίοδο της φόρτισης. Τα παραπάνω φαίνονται στην πράξη στο **Σχήμα 2.7**.



ΣΧΗΜΑ 2.6: Καθυστέρηση εμφάνισης αιχμών (peaks) ποιότητας σε σχέση με αιχμές παροχής.



ΣΧΗΜΑ 2.7: Χρονική υστέρηση επανεμφάνισης της ίδιας ποιότητας νερού. Η ποιότητα στο Α επανεμφανίζεται στο Γ με χρονική υστέρηση 5 ημερών από το Β - σημείο επανεμφάνισης της παροχής του Α.

Με αφορμή την παρατήρηση της χρονικής υστέρησης κρίθηκε σκόπιμο να ερευνηθεί το ενδεχόμενο της ύπαρξης άλλης καμπύλης συσχετισμού "παροχή -ποιότητα" για τις περιόδους αύξησης και άλλης αντίστοιχης καμπύλης για τις περιόδους μείωσης των παροχών της πηγής.

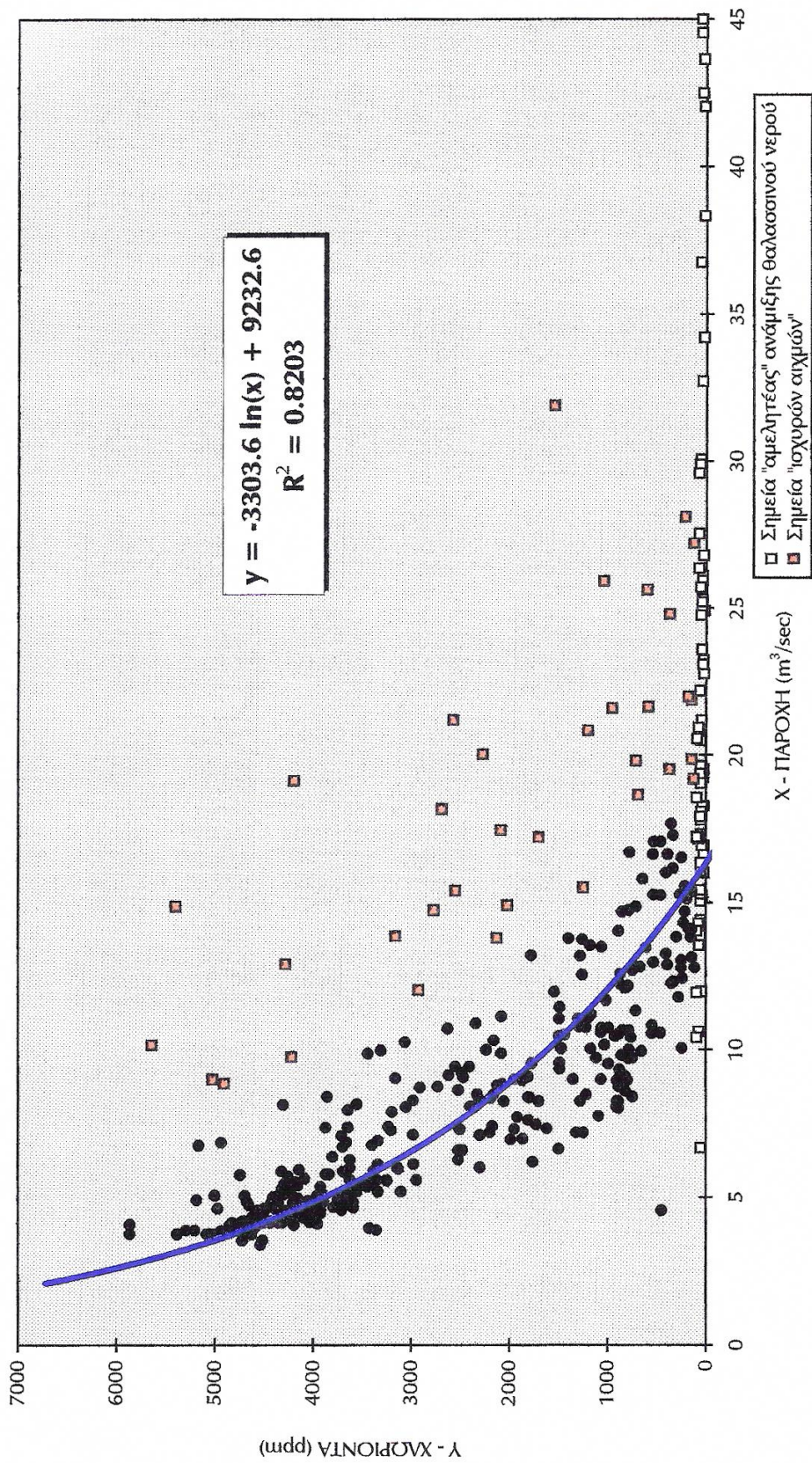
Χρησιμοποιώντας και πάλι ως κριτήριο το συντελεστή συσχετισμού, θέτοντας τον περιορισμό των 100rpm (σημεία "αμελητέας" ανάμιξης θαλασσινού νερού) και εξαιρώντας τα σημεία "ισχυρών αιχμών" βρέθηκαν οι βέλτιστες καμπύλες για κάθε υδρολογικό έτος (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - IV), οι οποίες είναι και για τις δύο περιπτώσεις της μορφής: $y = \alpha * \ln(x) + \beta$, με διαφορετικές όμως αριθμητικές παραμέτρους (βλέπε **Σχήματα 2.8 - 2.9**).

Το ότι ο συντελεστής συσχετισμού της ενιαίας καμπύλης (σχήμα 2.5) είναι σχετικά μικρότερος των αντίστοιχων συντελεστών των μεμονομένων καμπυλών (σχήματα 2.8 και 2.9) είναι γεγονός αναμενόμενο και επιβεβαιώνει έμμεσα ότι οι μηχανισμοί ή τουλάχιστο οι χρόνοι εξέλιξης του φαινομένου της "έκπλυσης" και της "επανεγκατάστασης" της αλμυρότητας στους καρστικούς αγωγούς είναι διαφορετικοί.

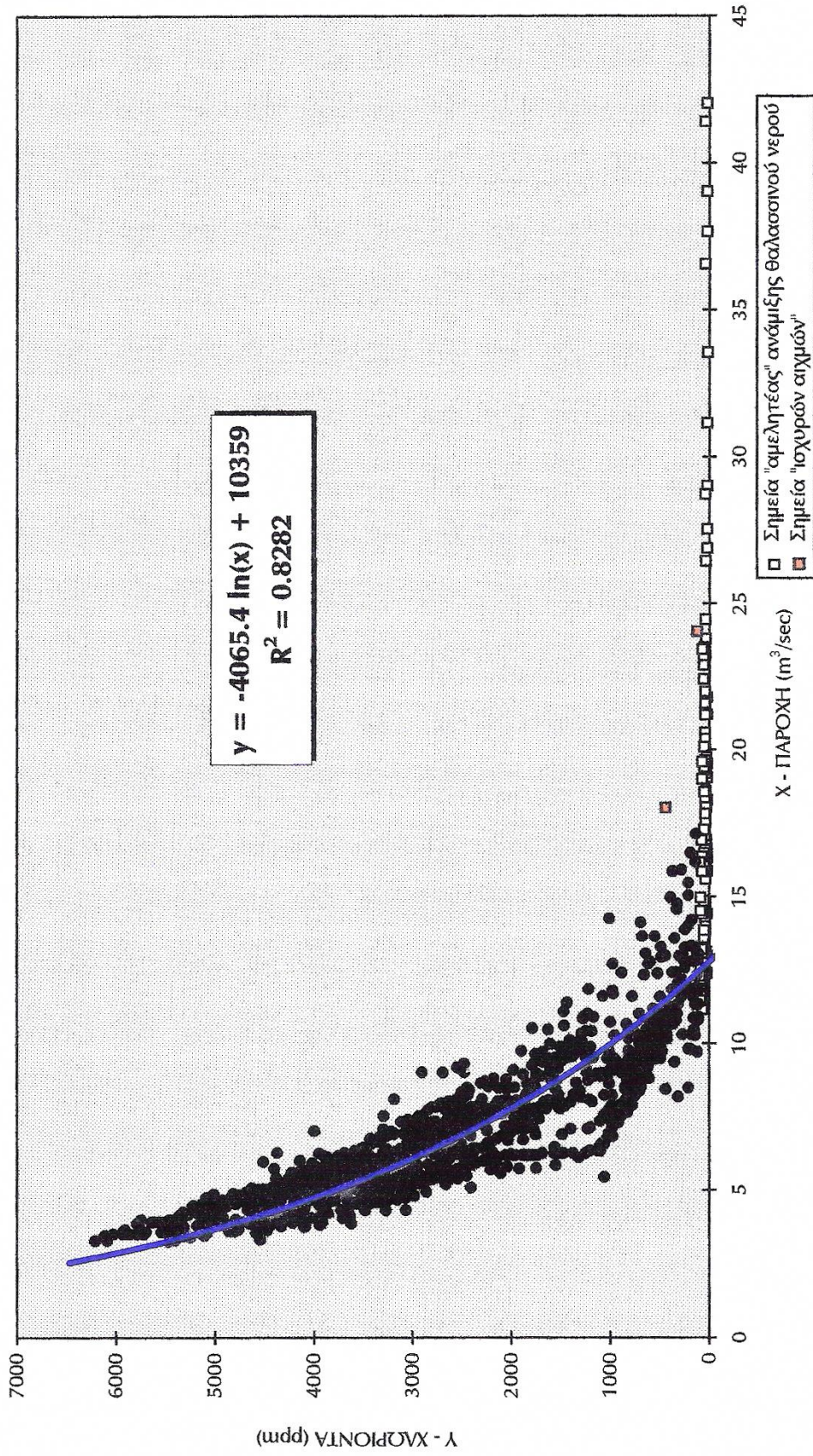
Στις περισσότερες περιπτώσεις οι καμπύλες των διαγραμμάτων της περιόδου μείωσης παρουσιάζουν μεγαλύτερο (ικανοποιητικότερο) συντελεστή συσχετισμού από αυτές των διαγραμμάτων της περιόδου αύξησης της παροχής. Το γεγονός αποδίδεται στο λόγο ότι η εκφόρτιση του υδροφορέα γίνεται συγκριτικά "αβίαστα", ενώ η τροφοδοσία του (φόρτιση) επηρεάζεται σημαντικά από την ποικίλλουσα γεωγραφική και χρονική κατανομή και την ένταση των εκάστοτε βροχοπτώσεων. Σαν πρόσθετος λόγος θα ήταν δυνατόν να αναφερθεί το γεγονός της διάθεσης μικρότερου αριθμού μετρήσεων στις περιόδους αύξησης της παροχής σε σχέση με τις περιόδους μείωσης της.

2.3.4 Καμπύλη στείρευσης (Εξάντλησης)

Για την εύρεση της καμπύλης στείρευσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Maillet, σύμφωνα με την οποία σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου - παροχής (η παροχή στην λογαριθμική κλίμακα) ο συντελεστής στείρευσης αντιπροσωπεύει την "κλίση" της ευθείας που προκύπτει.



ΣΧΗΜΑ 2.8: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας / περίοδος αύξησης παροχών (Υδρολογικά έτη 1967-68 έως και 1993-94).



ΣΧΗΜΑ 2.9: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας / περίοδος μείωσης παροχών (Υδρολογικά έτη 1967-68 έως και 1993-94).

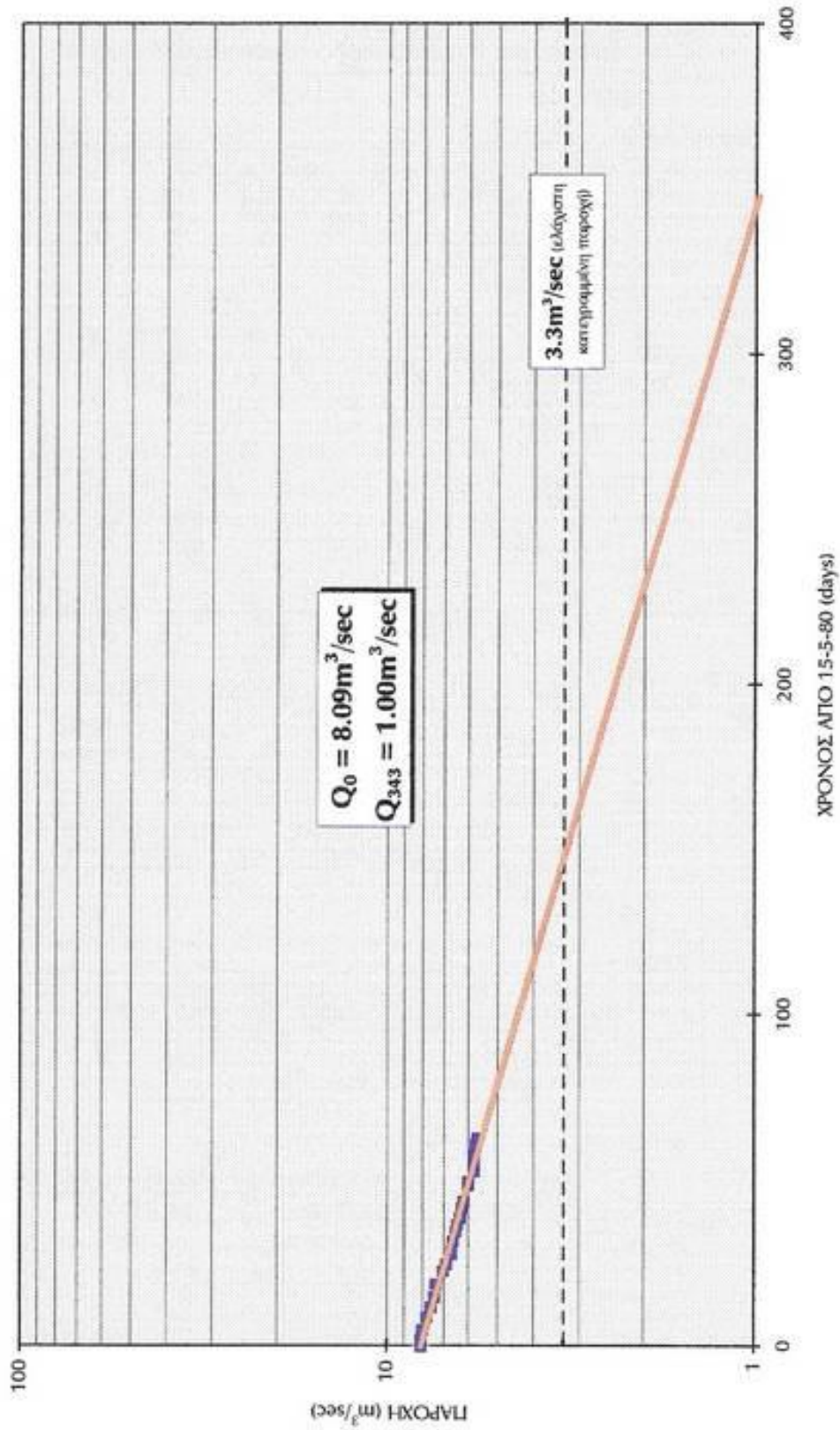
Στην παρούσα εργασία έχουν κατασκευαστεί διαγράμματα για τα υδρολογικά έτη 1968-69 έως και 1991-92, εκτός από τα υδρολογικά έτη 1985-86, 1986-87, 1989-90 και 1990-91 λόγω έλλειψης στοιχείων (βλέπε **Σχήμα 2.10** και ΜΕΡΟΣ Β' - V).

Στα παραπάνω διαγράμματα χρησιμοποιήθηκαν οι παροχές ανά υδρολογικό έτος, οι οποίες εμφανίζονται κατά την έναρξη της ξηρής περιόδου (τέλος βροχοπτώσεων). Θεωρήθηκε αυθαίρετα "παροχή βάσης" η τιμή του $1 \text{ m}^3/\text{sec}$, ενώ η ελάχιστη κατεγραμμένη παροχή για όλα τα χρησιμοποιηθέντα υδρολογικά έτη είναι $3.3 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Από τα διαγράμματα προσδιορίστηκε ο χρόνος (σε ημέρες) που χρειάζεται για να συναντήσει η καμπύλη στείρευσης την "παροχή βάσης". Στη συνέχεια από τη σχέση Maillet ($Q_t = Q_0 * e^{-at}$) υπολογίστηκε ο συντελεστής στείρευσης (a), ο οποίος σαν μέσος όρος εκτιμάται στην τάξη του $3.8 * 10^{-3} \text{ ημέρες}^{-1}$.

Με την εύρεση του συντελεστή στείρευσης είναι δυνατόν να προσδιορισθούν τα δυναμικά αποθέματα ανά έτος ($W = Q_0 / a$) μέχρι, θεωρητικά, η παροχή της πηγής να φτάσει την "παροχή βάσης". Στον **Πίνακα 2.1** δίνονται οι τιμές όλων των παραπάνω μεγεθών, καθώς και των δυναμικών αποθεμάτων που εκτιμήθηκαν για τα αντίστοιχα υδρολογικά έτη.

Από την παρατήρηση του πίνακα 2.1 συνάγεται ότι τα δυναμικά αποθέματα κυμαίνονται ευρύτατα (από 47 μέχρι 462 εκατ. $\text{m}^3/\text{έτος}$) χωρίς να είναι ευχερής ο σχολιασμός αυτών των διακυμάνσεων με βάση αντικειμενικά κριτήρια (π.χ. βροχερά ή ξηρά υδρολογικά έτη, περίοδοι εντατικής ή μη εντατικής εκμετάλλευσης κ.λπ.). Πιστεύουμε ότι η εξίσωση Maillet (όπως και η παρεμφερής εξίσωση Tison) δεν είναι οι καταλληλότερες για να αποδόσουν αξιόπιστη, μονοσήμαντη και εύκολα ερμηνεύσιμη υδρολογική παράμετρο (ποιοτική ή ποσοτική) της δίκαιας μιας πηγής. Για το λόγο αυτό προτείνεται όπως ο συντελεστής στείρευσης (a) και τα δυναμικά αποθέματα (W) χρησιμοποιούνται σαν μέσοι όροι μακροτέρων χρονικών περιόδων (όχι μεμονωμένα υδρολογικά έτη) και μόνο σαν ενδεικτικές παράμετροι.



ΣΧΗΜΑ 2.10: Καμπύλη στερέωσης υδρολογικού έτους 1979-80.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Δυναμικά αποθέματα πηγής Αλμυρού Ηρακλείου.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΕΤΗ	Q_0 (m ³ /sec)	T_{base} (days)	a (1/days)	W(m ³)
1968-69	6.05	542	0.0033	157,391,705
1969-70	4.86	791	0.0020	210,079,689
1970-71	6.57	438	0.0043	132,073,305
1971-72	5.77	474	0.0037	134,824,007
1972-73	6.30	376	0.0049	111,197,392
1973-74	5.54	714	0.0024	199,627,034
1974-75	5.16	513	0.0032	139,376,326
1975-76	8.98	478	0.0046	168,959,834
1976-77	6.50	268	0.0070	80,408,497
1977-78	6.30	737	0.0025	217,958,719
1978-79	5.23	637	0.0026	173,984,829
1979-80	8.09	343	0.0061	114,677,831
1980-81	5.65	1640	0.0011	(max) 462,321,968
1981-82	5.76	565	0.0031	160,588,350
1982-83	5.81	751	0.0023	214,249,913
1983-84	6.75	690	0.0028	210,735,293
1984-85	6.25	897	0.0020	264,315,671
1985-86	-	-	-	-
1986-87	-	-	-	-
1987-88	5.95	510	0.0035	147,012,499
1988-89	5.68	808	0.0021	228,289,435
1989-90	-	-	-	-
1990-91	-	-	-	-
1991-92	7.27	148	0.0134	(min) 46,862,079
1992-93	-	-	-	-
1993-94	-	-	-	-
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:	6.22	616	0.0038	170,319,463

Όπου	<p>Q₀: η παροχή κατά την έναρξη της στέρειυσης (για I₀=0)</p> <p>T_{base}: ο απαιτούμενος χρόνος για να γίνει η παροχή ίση με την παροχή βάσης (Q_{baSe}=I m³/sec)</p> <p>a: ο συντελεστής στέρειυσης (a=lnQ₀/tbase)</p> <p>W: τα δυναμικά αποθέματα (W=Q₀/a)</p>
------	--

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ

3.1 Γενικά

Η υφάλμυρη καρστική ττηγή Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης βρίσκεται στις ΒΑ/κές απολήξεις του ορεινού συγκροτήματος Ψηλορείτη, περί τα 8km Δυτικά της πόλης Ηρακλείου. Αρχικά η πηγή ανέβλυζε μέσω χοανοειδούς μικρής λίμνης στην κατάντη πλευρά της οποίας υπήρχε μικρός υδατοφράκτης με σταθερό υπερχειλιστή. Η στάθμη της λίμνης (σε σχέση με την θάλασσα) κυμαινόταν από +2 μέχρι +3m και πλέον, ανάλογα με τις παροχές της πηγής.

Το υδρολογικό έτος 1976-77 κατασκευάστηκε τσιμέντινο φράγμα, ακριβώς κατάντη του παλιού υδατοφράκτη, το οποίο διεύρυνε την επιφάνεια της αρχικής λίμνης (>3,5 στρέμματα). Ο ρυθμιζόμενος υπερχειλιστής του φράγματος έχει κατώτατη στάθμη λειτουργίας στα +6m (στέψη φράγματος στα +12m περίπου). Με χειρισμούς στους εκκενωτές βάσης και με επεμβάσεις στον υπερχειλιστή η ανωτάτη στάθμη της λίμνης μπορεί να υπερβεί τα +10m.

Το ρυθμιστικό αυτό φράγμα κατασκευάστηκε μετά από εισήγηση της ερευνητικής ομάδας Υπ.Γεωργίας - FAO για να υπάρξει η δυνατότητα τεχνητής ανύψωσης της στάθμης της λίμνης, στον πυθμένα της οποίας αναβλύζει η πηγή. Η ανύψωση της στάθμης αναμενόταν να αυξήσει την πίεση στους καρστικούς αγωγούς που δίνουν γένεση στην πηγή και κατ' επέκταση στο τοπικό σύστημα αγωγών, παρεμποδίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο τη διείσδυση του θαλάσσιου νερού και επιτυγχάνοντας μείωση της αλμυρότητας των νερών που αναβλύζουν από την πηγή.

Το καλοκαίρι (περίοδος υψηλής αλμυρότητας - χαμηλών παροχών) του έτους 1987 επιχειρήθηκε να κρατηθεί η στάθμη της λίμνης σταθερή περί τα +10,0m. Τα αποτελέσματα αυτού του εγχειρήματος (γνωστό σαν "πείραμα") θεωρήθηκαν από την ερευνητική ομάδα Υπ.Γεωργίας - FAO ενθαρρυντικά για να υποστηρίξουν την εκ νέου κατασκευή ενός ακόμη μεγαλύτερου, μόνιμου αυτή τη φορά, ρυθμιστικού φράγματος, το οποίο πιθανώς να επεκταθεί και με υπόγεια στεγανή οθόνη. Το φράγμα αυτό εάν τελεσφορίσει, συμφωνά με τις προβλέψεις των εισηγητών, θα αποδώσει στη θέση της πηγής ικανοποιητικής ποιότητας (χαμηλής αλμυρότητας) νερό.

Στο κεφάλαιο αυτό συνεκτιμούνται μερικώς τα αποτελέσματα του "πειράματος" του έτους 1987, όμως εξετάζονται ειδικότερα οι υδρολογικές παράμετροι της πηγής μετά την κατασκευή του ρυθμιστικού φράγματος (περίοδος παρεμβάσεων) και συγκρίνονται με αντίστοιχες παραμέτρους πριν την κατασκευή του (περίοδος φυσικής ροής).

Αφορμή για τη συγκριτική αυτή αξιολόγηση αποτέλεσε η παρατήρηση της ερευνητικής ομάδας, στην παράγραφο 2.3.2., ότι οι τεχνητές παρεμβάσεις στην πηγή (π.χ. αυξομειώσεις της στάθμης) επηρεάζουν διαφορετικά τις λοιπές παραμέτρους απ' ότι αν οι ίδιες αυξομειώσεις οφείλονταν σε φυσικά αίτια (π.χ. βροχοπτώσεις).

Μεταξύ των πρόδηλα ορατών παραδειγμάτων αναφέρεται η τεχνητή στάθμη του "καλοκαιριού" του έτους 1989 (στάθμη +3ιτι, σχήμα 3.3), όπου η συγκέντρωση χλωριόντων στο νερό της πηγής είναι μικρότερη από τη συγκέντρωση χλωριόντων του "καλοκαιριού" του επόμενου έτους (1990) παρότι η τεχνητή στάθμη βρίσκεται υψηλότερα (+6m). Σε φυσικές συνθήκες η σχέση είναι αντίρροπη.

3.2 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή αφορούν μετρήσεις παροχών της πηγής, στάθμης λίμνης και συγκέντρωσης χλωριόντων, κατά τη χρονική περίοδο 1966 - 1994. Πληροφοριακά χρησιμοποιήθηκε επίσης το "ημερολόγιο" παρεμβάσεων στους εκκενωτές βάσης (θυροφράγματα) και στον υπερχειλιστή. Όλα τα παραπάνω στοιχεία παραχωρήθηκαν από το Υπ. Γεωργίας / Π.Δ.Ε.Β. Κρήτης και την Δ.Ε.Υ.Α. Ηρακλείου.

Το πλήθος των μετρήσεων - παρατηρήσεων υπερβαίνει τις 19500 και η στατιστική τους αξία και αξιοπιστία κρίνεται δεδομένη. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για 19553 μετρήσεις από τις οποίες οι 9784 αφορούν μετρήσεις σε περιόδους εκτός πειράματος και οι 9769 στο πείραμα. Οι πρώτες αναλύονται σε 4060 μετρήσεις παροχής, 3300 στάθμης λίμνης και 2424 συγκέντρωσης χλωριόντων, ενώ για το πείραμα οι αντίστοιχες μετρήσεις είναι: 2790, 3997 και 2982. Αντίθετα, για τις παρεμβάσεις στο φράγμα, οι οποίες έχουν γίνει κατά καιρούς από διάφορες Υπηρεσίες, δεν υπάρχει πλήρες "ημερολόγιο" χειρισμών.

Στα **Σχήματα 3.1 - 3.2 - 3.3** παρουσιάζονται όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις παροχής, στάθμης λίμνης και συγκέντρωσης χλωριόντων, εκτός πειράματος, που αφορούν τα υδρολογικά έτη 1969-70 έως και 1992-93. Τα υδρολογικά έτη 1966 μέχρι 1969 και 1993-94 περιλαμβάνουν ελάχιστες μετρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν επιλεκτικά στην παρούσα εργασία.

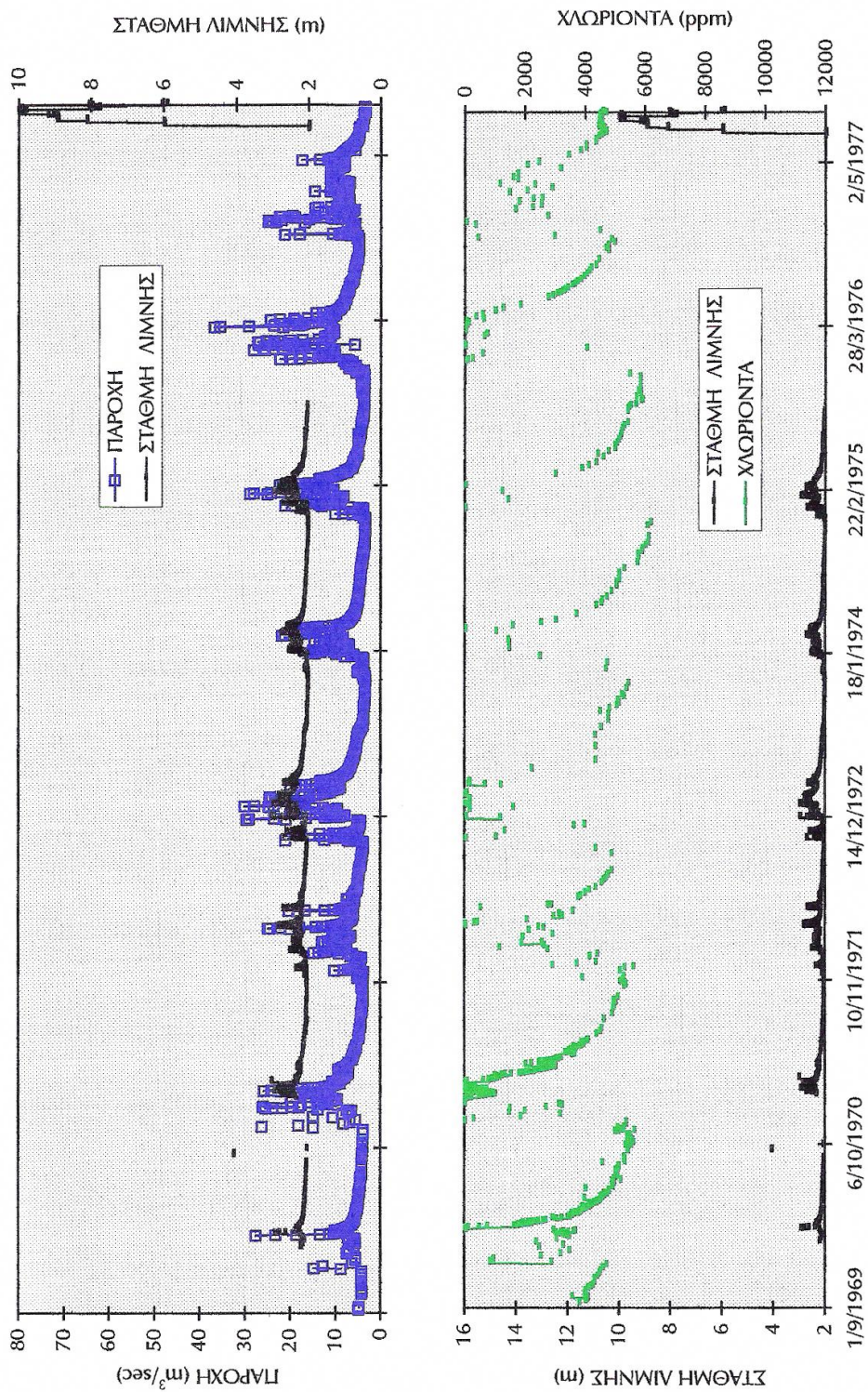
Για να ελεγχθεί, σε πρώτη θεώρηση, η αξιοπιστία των δεδομένων κατασκευάστηκαν διαγράμματα παροχής και στάθμης σε συνάρτηση με το χρόνο, ανά υδρολογικό έτος (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - VI). Στο **Σχήμα 3.4** παρίσταται επιλεκτικά το υδρολογικό έτος 1978-79, το οποίο είναι μεταξύ αυτών που διαθέτουν ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων και πληροφοριών.

Οι μεταβολές της στάθμης συνηθέστατα ακολουθούνται από ταυτόχρονες μεταβολές της παροχής, κάτι που παρατηρείται σαφώς στα υδρολογικά έτη πριν την κατασκευή του φράγματος.

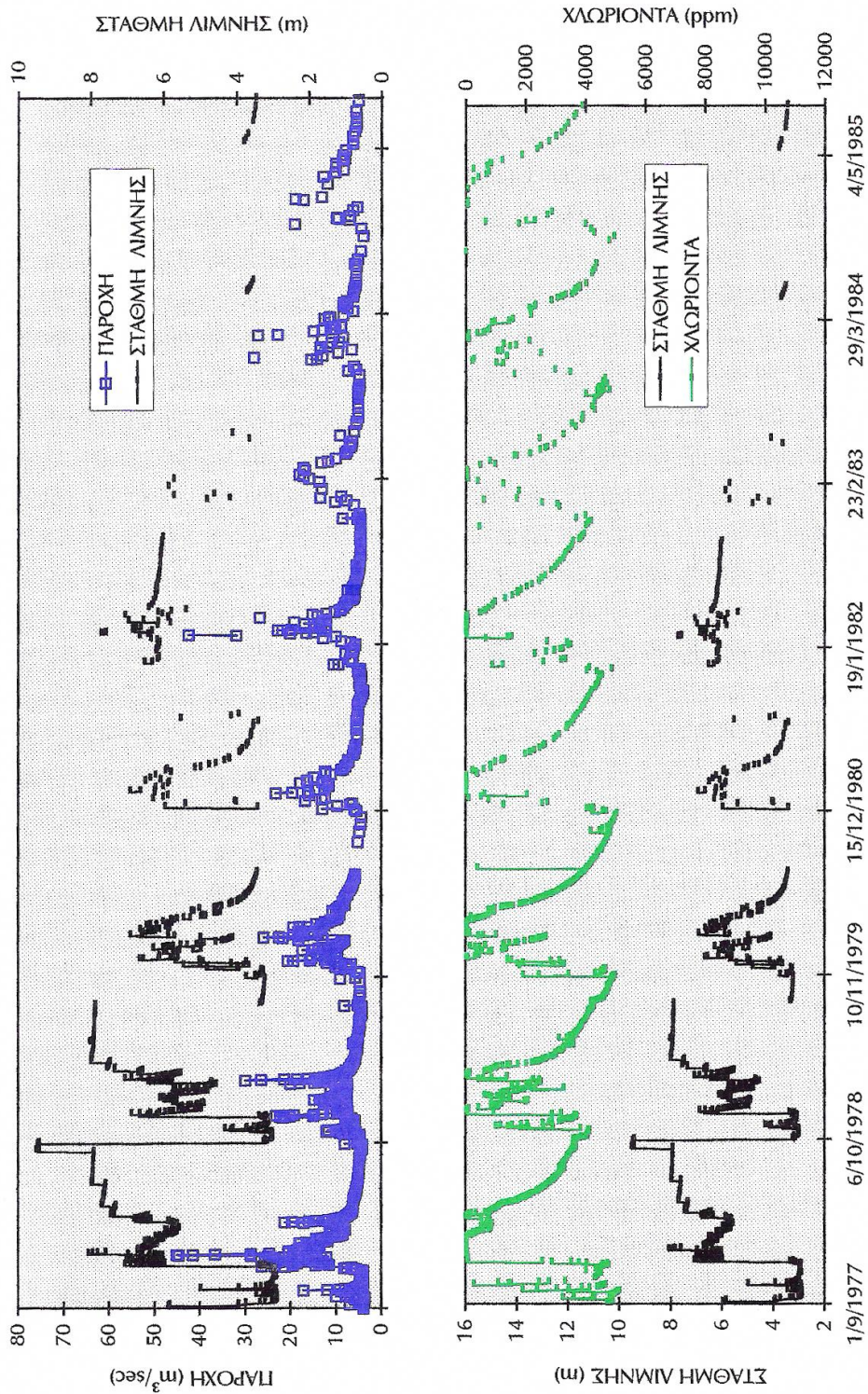
Στις περιπτώσεις εκείνες που το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται (υδρολογικά έτη μετά την κατασκευή του φράγματος) αποδίδεται στο γεγονός ότι η στάθμη της λίμνης έχει επηρεαστεί από σχεδόν ταυτόχρονους χειρισμούς (τεχνητές παρεμβάσεις) στο φράγμα. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου δύσκολα διακρίνουμε τα αποτελέσματα των τεχνητών παρεμβάσεων γιατί συγχέονται ή επικαλύπτονται από τις αντίστοιχες ανωμαλίες που προκαλούν οι βροχοπτώσεις.

Αντίθετα σε περιόδους ξηρασίας (Μάιος - Οκτώβριος) οι σποραδικές βροχοπτώσεις και η μικρή τους αποτελεσματικότητα επιτρέπουν, μέσω κυρίως της στάθμης της λίμνης, πολύ εύκολη διάγνωση τυχόν τεχνητών παρεμβάσεων (βλέπε και σχήμα 3.4).

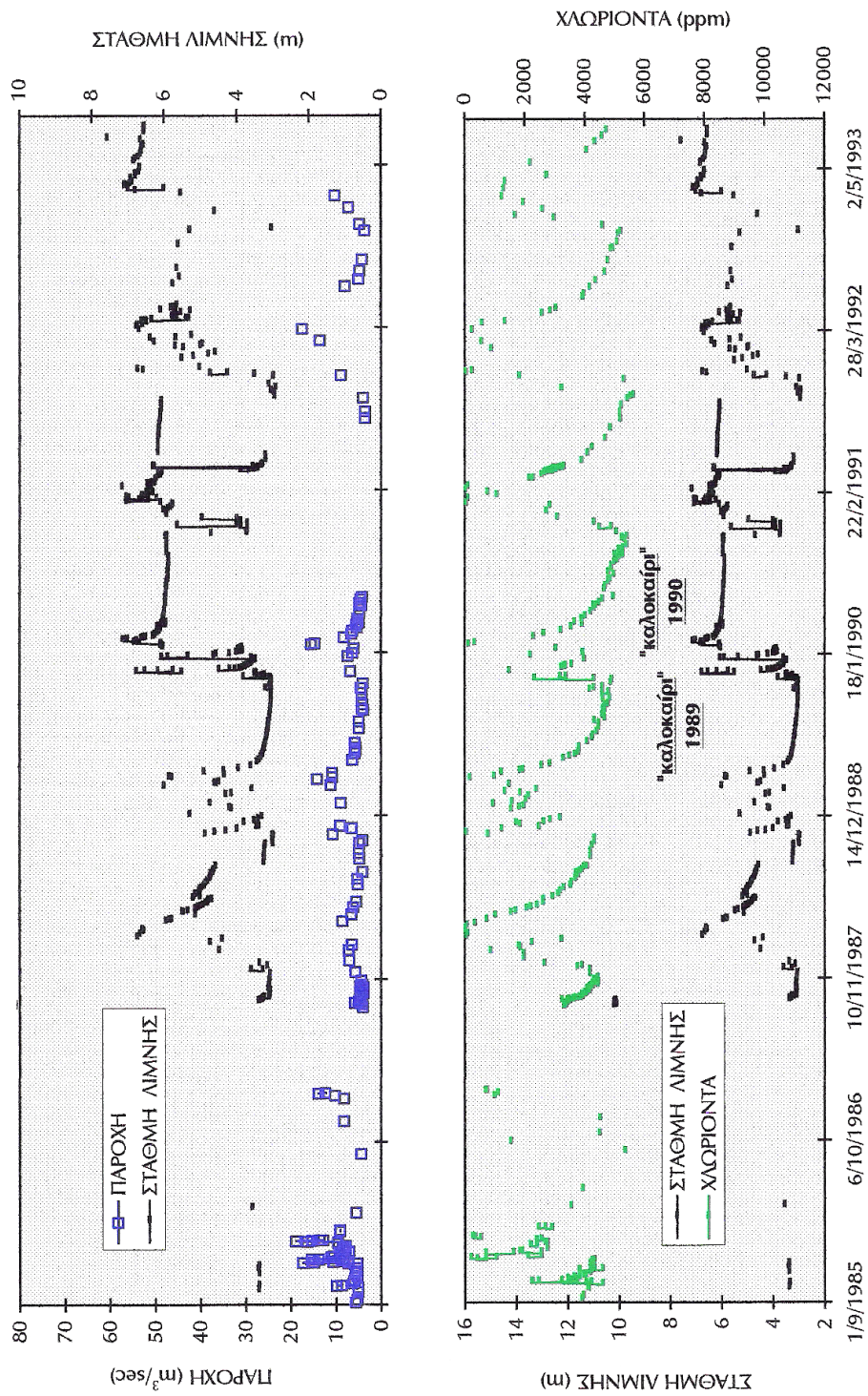
Μειονέκτημα αποτελεί και το γεγονός ότι οι μετρήσεις δεν έχουν γίνει σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως επίσης, ότι υπάρχουν έτη με άφθονες και έτη με σποραδικές μετρήσεις. Δυσχέρειες εξάλλου ανακύπτουν επειδή μεγάλος αριθμός μετρήσεων των διαφόρων παραμέτρων δεν έγιναν ταυτόχρονα. Αυτές οι δύο ελλείψεις δεν επιτρέπουν πάντοτε λεπτομερή μαθηματική ανάλυση των υδρογραμμάτων της πηγής και κύρια τον ακριβή υπολογισμό των παραμέτρων που μεταβάλλονται με ταχείς ρυθμούς.



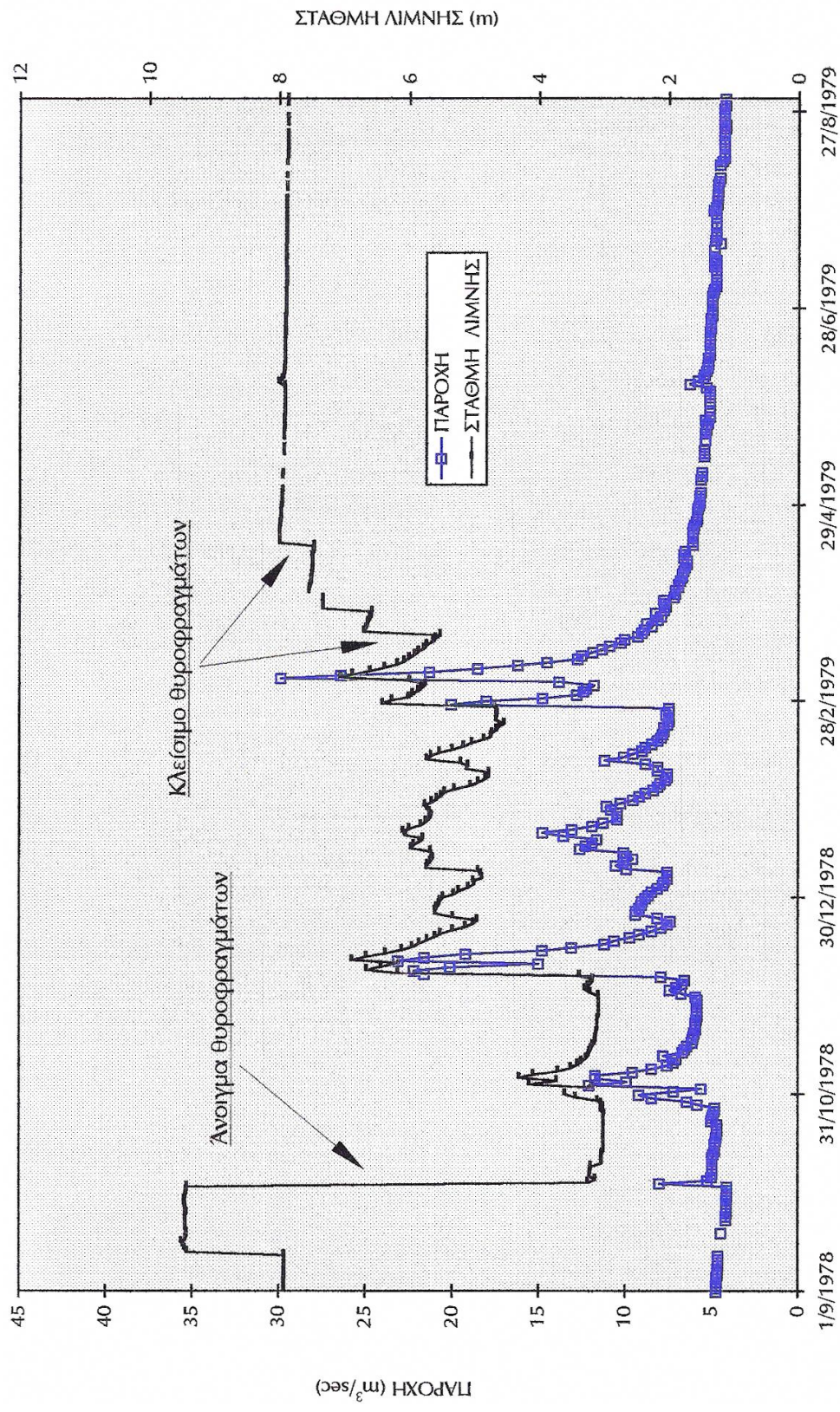
ΣΧΗΜΑ 3.1: Διαγράμματα παροχής - στάθμης και στάθμης - ποιότητας για την περίοδο 1969 - 1977.



ΣΧΗΜΑ 3.2: Διαγράμματα παροχής - στάθμης και στάθμης - ποιότητας για την περίοδο 1977 - 1985.



ΣΧΗΜΑ 3.3: Διαγράμματα παροχής - στάθμης και στάθμης - ποιότητας για την περίοδο 1985 - 1993.



ΣΧΗΜΑ 3.4: Διάγραμμα παροχής - στάθμης υδρολογικού έτους 1978-79.

3.3 Επεξεργασία - Ανάλυση δεδομένων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνεται η ανάλυση και επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων (πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος), καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

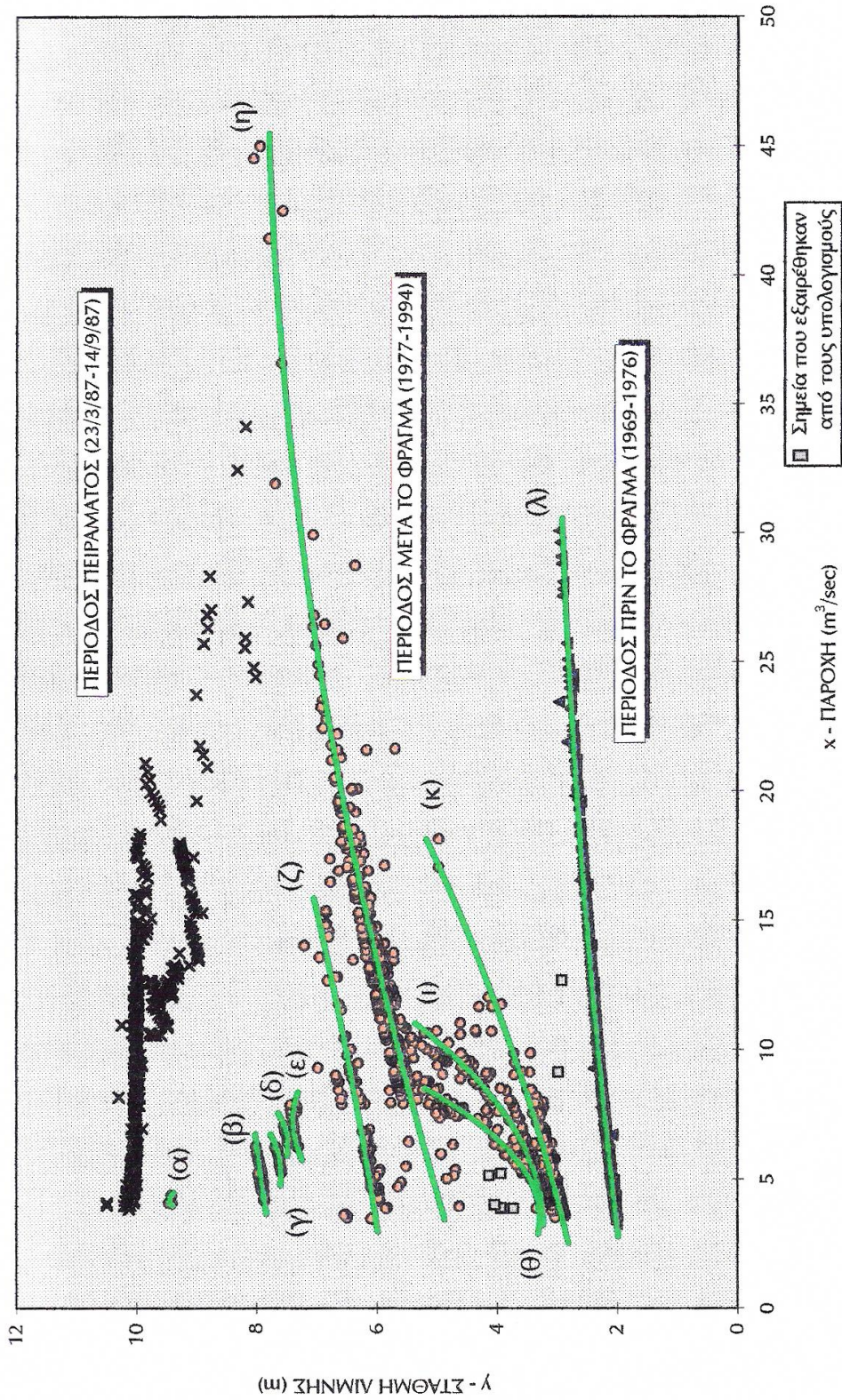
3.3.1 Σχέσεις παροχής - στάθμης λίμνης

Τα ζεύγη τιμών ταυτόχρονων μετρήσεων της παροχής της πηγής και της στάθμης της λίμνης δεν παρατάσσονται σε ενιαία καμπύλη αλλά διασπείρονται ευρύτατα, ενώ παράλληλα ομαδοποιούνται σε "σημνοσειρές" (βλέπε **Σχήμα 3.5** και ΜΕΡΟΣ Β' - VII, VIII, IX, X και XI). Από ανάλυση αυτών των σειρών διαπιστώνουμε ότι πρόκειται για περιόδους μεταξύ αξιόλογων διαδοχικών επεμβάσεων, δηλαδή περιόδους "ηρεμίας" (= αποκατάσταση προσωρινής ισορροπίας). Οι ευκρινέστερες από αυτές τις σειρές υπακούουν σε πολυωνμικές καμπύλες διαφόρων αριθμητικών παραμέτρων, με συχνά, υψηλούς συντελεστές συσχετισμού.

Στον **Πίνακα 3.1** καταχωρούνται οι μαθηματικές σχέσεις και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχετισμού των καμπυλών που αντιστοιχούν οι σημνοσειρές του σχήματος 3.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: Μαθηματικές σχέσεις και συντελεστές συσχετισμού (αναφέρονται στο σχήμα 3.5).

ΣΕΙΡΕΣ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ (R ²)
(α)	$y = -0.845x^2 + 7.1706x - 5.7678$	0.1969
(β)	$y = -0.0029x^2 + 0.0903x + 7.5428$	0.6937
(γ)	$y = 0.0717x^2 - 0.7476x + 9.5411$	0.9464
(δ)	$y = 0.0978x^2 - 1.2302x + 11.344$	0.8965
(ε)	$y = -0.0653x^2 + 0.9534x + 3.9101$	0.4333
(ζ)	$y = 0.0013x^2 + 0.0581x + 5.7981$	0.6900
(η): υπερχειλιστή	$y = -0.0013x^2 + 0.1353x + 4.4164$	0.8790
(θ)	$y = 0.0768x^2 - 0.5412x + 4.2408$	0.9067
(ι)	$y = 0.0347x^2 - 0.2244x + 3.5914$	0.9022
(κ)	$y = 0.0032x^2 + 0.0842x + 2.5782$	0.8579
(λ): αρχική	$y = -0.0006x^2 + 0.0537x + 1.8378$	0.9961



ΣΧΗΜΑ 3.5: Διάγραμμα παροχής - στάθμης (Υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι και 1993-94). Η καμπύλη "η" συνδέεται με λειτουργία του σταθερού υπερχείλιστη.

Οι πολυπληθέστερες και ευκρινέστερες ομαδοποιήσεις σημείων συμπίπτουν με τη στάθμη +2 μέχρι +3m περίπου (καμπύλη λ, λειτουργία αρχικής εκροής, πριν την κατασκευή του ρυθμιστικού φράγματος) και τη στάθμη +5 μέχρι + 7m περίπου (καμπύλη η, λειτουργία σταθερού υπερχειλιστή φράγματος). Η τρίτη αξιολογη συγκέντρωση σημείων αντιστοιχεί στο "πείραμα" του 1987 (σημεία χ). Στην περίπτωση αυτή η στάθμη της λίμνης διατηρήθηκε περίπου σταθερή (+10m) με τη βοήθεια συνεχών παρεμβάσεων.

Οι καμπύλες α μέχρι και ζ αποδίδονται σε ομαδοποιήσεις σημείων που συνδέονται με λειτουργία του ρυθμιζόμενου υπερχειλιστή σε διάφορα υψόμετρα. Η καμπυλότητα των γραμμών αυτών ποικίλλει και η πιθανότερη αιτιολογία φαίνεται να είναι ότι δεν ταυτίζονται με περιόδους πραγματικής "ηρεμίας" είτε διότι ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών παρεμβάσεων ήταν ανεπαρκής για να αποκατασταθεί ισορροπία, είτε διότι επηρεάζονται από μικρότερης κλίμακας παρεμβάσεις.

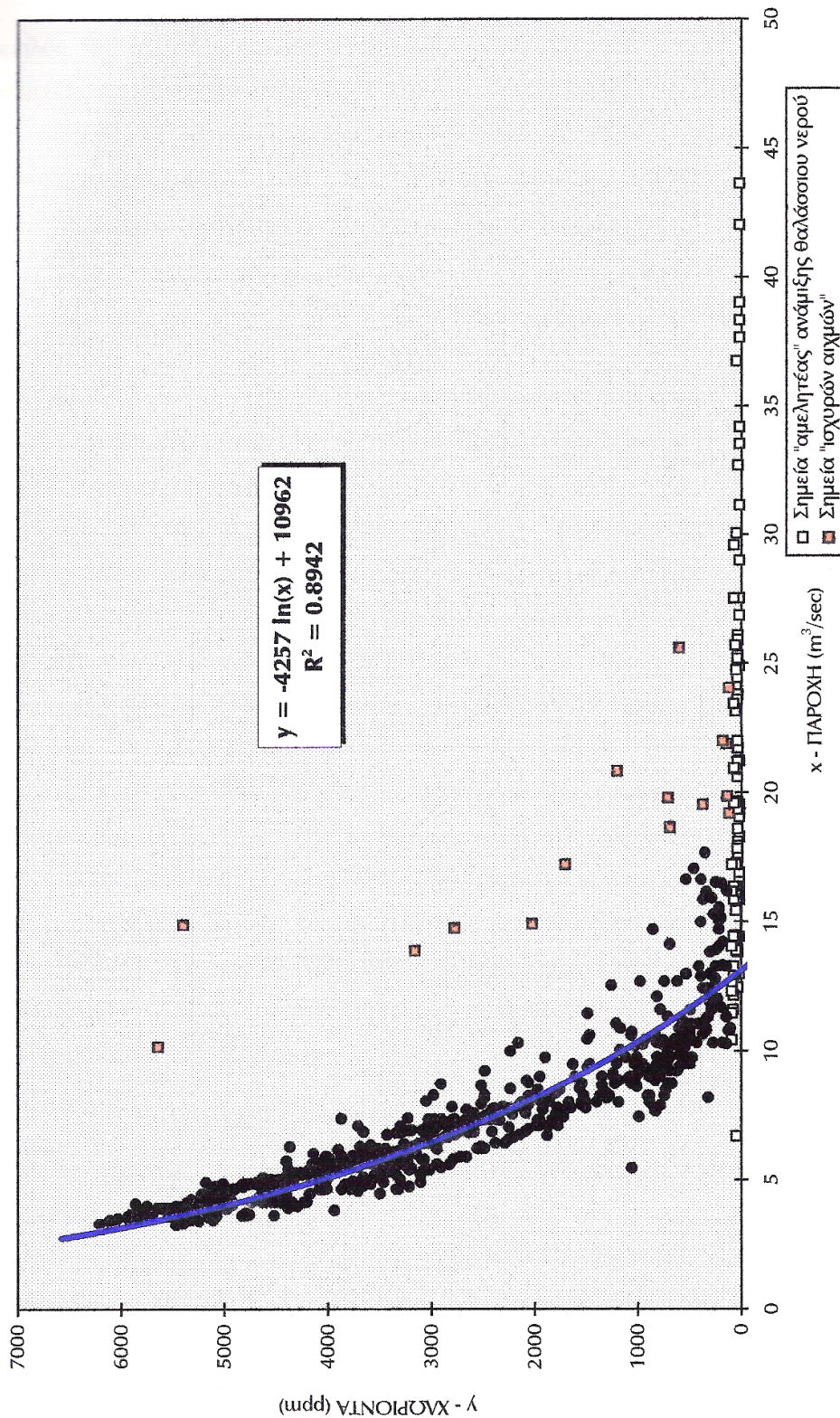
Οι ομαδοποιήσεις γύρω από τις καμπύλες θ, ι και κ αποδίδονται σε ζεύγη τιμών της περιόδου που δεν λειτουργεί ο σταθερός υπερχειλιστής γιατί η πηγή απορρέει μέσω των εκκενωτών του φράγματος. Οι καμπύλες αυτές έχουν οχετικά υψηλούς συντελεστές συσχέτισης και αναζητήθηκε η αιτιολογία ύπαρξής τους, πλην όμως ανεπιτυχώς. Μεταξύ των λογικοφανών περιπτώσεων που εξετάστηκαν ήταν το ενδεχόμενο να συμπίπτουν με ανύψωση ή ταπείνωση της στάθμης από φυσικά ή τεχνητά αίτια.

3.3.2 Σχέσεις παροχής – ποιότητας

Όπως αναφέρθηκε στο διάγραμμα του σχήματος 3.5 (παροχή - στάθμη) παρατηρήθηκαν δύο κύριες ομαδοποιήσεις που αφορούν τις περιόδους πριν και μετά την κατασκευή του ρυθμιστικού φράγματος (καμπύλη λ και η, αντίστοιχα).

Για κάθε μία από τις παραπάνω ομάδες κατασκευάστηκαν διαγράμματα που αφορούν τα ζεύγη τιμών ταυτόχρονων μετρήσεων ποιότητας - παροχής.

Στο **Σχήμα 3.6** παραστάθηκαν οι μετρήσεις της περιόδου πριν την κατασκευή του φράγματος.



ΣΧΗΜΑ 3.6: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας πριν την κατασκευή του φράγματος (Υδρολογικά έτη 1967-68 μέχρι και 1975-76).

Για τη χάραξη της καμπύλης στο σχήμα 3.6, εξαιρέθηκαν τα σημεία χαμηλής περιεκτικότητας σε ιόντα χλωρίου (< 100ppm, επειδή θεωρούνται αμελητέας ή μηδαμινής ανάμιξης θαλάσσιου νερού), καθώς και ελάχιστα σημεία που αποδίδονται σε ασύγχρονες αιχμές, λόγω χρονικής υστέρησης, μεταξύ παροχής και ποιότητας.

Η λογαριθμική σχέση που προκύπτει έχει τις εξής παραμέτρους:

$$y=-4257\ln(x)+10962 \quad (3.1)$$

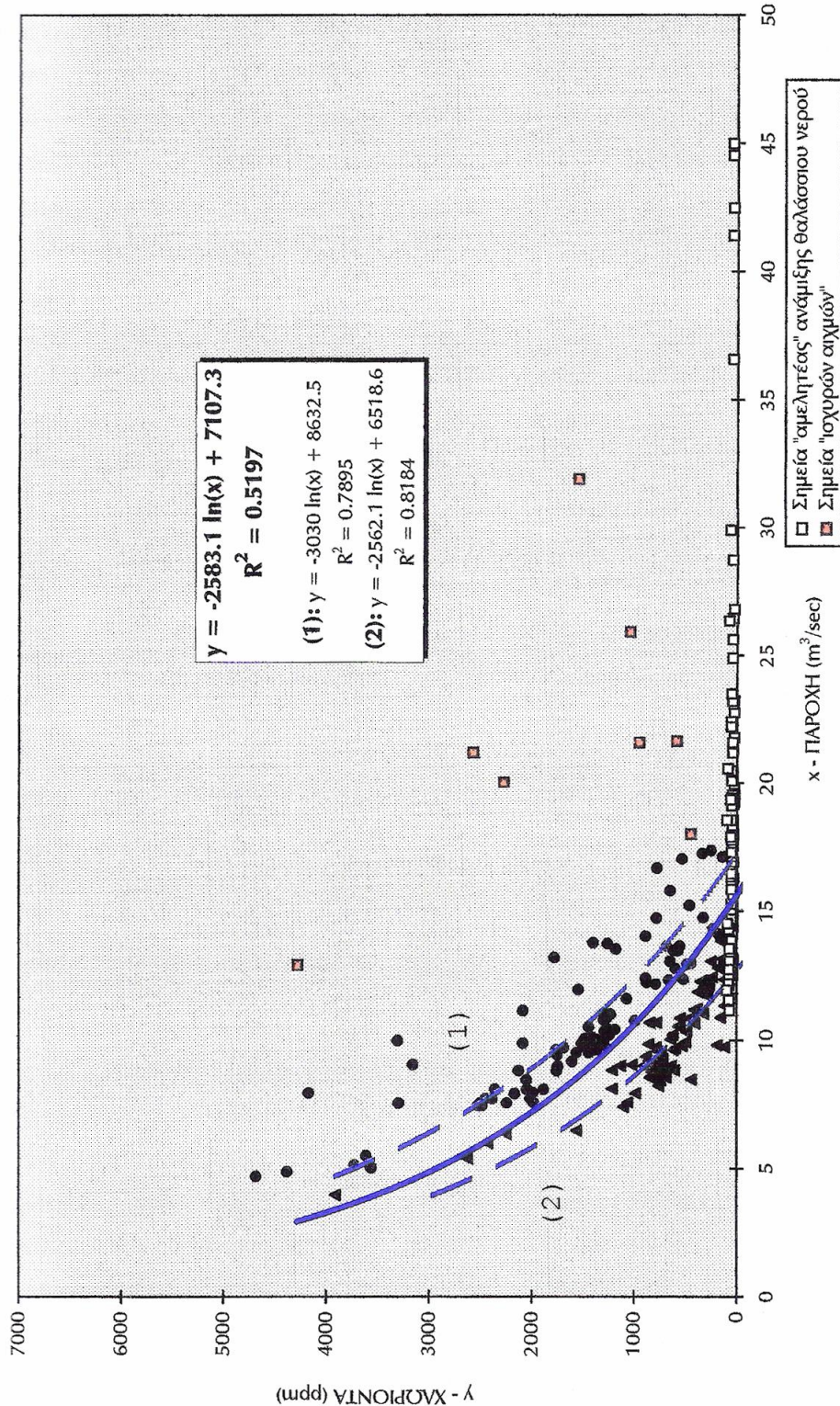
Ανάλογη σχέση αναζητήθηκε για τις μετρήσεις της περιόδου μετά την κατασκευή του φράγματος. Απ' αυτές επιλέγησαν εκείνες που αντιστοιχούν σε στάθμες λειτουργίας του σταθερού υπερχειλιστή του φράγματος (+5 μέχρι +7m) προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν ανωμαλίες από ισχυρές και απότομες Βεχνητές διακυμάνσεις της στάθμης. Η διασπορά των σημείων είναι μεγάλη και η προκύπτουσα σχέση (Σχήμα 3.7) έχει πολύ χαμηλό συντελεστή συσχετισμού •βλέπε και ΜΕΡΟΣ Β' - XII).

Αναζητήθηκε καλύτερη μαθηματική σχέση χωρίζοντας τα σημεία σε υποομάδες, οι οποίες μας δίνουν τις καμπύλες (1) και (2) του σχήματος 3.7 με σημαντικά βελτιωμένους συντελεστές συσχετισμού. Διερευνήθηκε ο λόγος της ομαδοποίησης αλλά δεν επισημάνθηκε λογικοφανής ερμηνεία (π.χ. περίοδοι ανόδου - καθόδου στάθμης ή παροχής κ.λπ.).

Το συμπέρασμα που θα μπορούσε να συναχθεί απ' αυτή τη συγκριτική πραυση - παρατήρηση είναι ότι οι τεχνητές αυξομειώσεις της στάθμης της λίμνης δεν επηρεάζουν την ποιότητα και τις παροχές του νερού της πηγής κατ' ανάλογο ομοιόμορφα) και σταθερό τρόπο.

3.3.3 Σχέσεις στάθμης – ποιότητας

Για την διερεύνηση τυχόν μαθηματικής σχέσης μεταξύ στάθμης λίμνης και — εριεκτικότητας ιόντων χλωρίου (ποιότητα) στο νερό της πηγής, < ανασκευάστηκαν για κάθε υδρολογικό έτος τα αντίστοιχα διαγράμματα (βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - XIII, XIV, XV και XVI). Οι καμπύλες που προέκυψαν είναι πολυωνυμικού τύπου.



ΣΧΗΜΑ 3.7: Διάγραμμα παροχής - ποιότητας μετά την κατασκευή του φράγματος (Υδρολογικά έτη 1977-78 μέχρι και 1993-94 - περίοδοι λειτουργίας του σταθερού υπερχειλιστή).

Για τα υδρολογικά έτη πριν την κατασκευή του φράγματος οι εξισώσεις είναι σχεδόν ταυτόσημες και δίνουν ενιαία καμπύλη (καμπύλη λ, Σχήμα 3.8). Η καμπύλη αυτή έχει πολύ μεγάλη κλίση (σχεδόν κάθετη στον άξονα των χ) γεγονός που υποδηλώνει ισχυρές μεταβολές στην ποιότητα (100 - 6500ppm CI) για σχετικά μικρές μεταβολές της στάθμης της λίμνης (< 0.6m). Προσεκτικότερη παρατήρηση - ανάλυση μας πείθει ότι, παρότι η μαθηματική σχέση δίνει υψηλό συντελεστή συσχετισμού ($1^{\wedge}=0.92$), οι μεταβλητές (ποιότητα - στάθμη) δεν είναι αμοιβαία και αποκλειστικά

αλληλένδετες (εξαρτημένες), επειδή για τις ίδιες τιμές στάθμης έχουμε, κατά καιρούς, πολύ διαφορετικές τιμές στην ποιότητα.

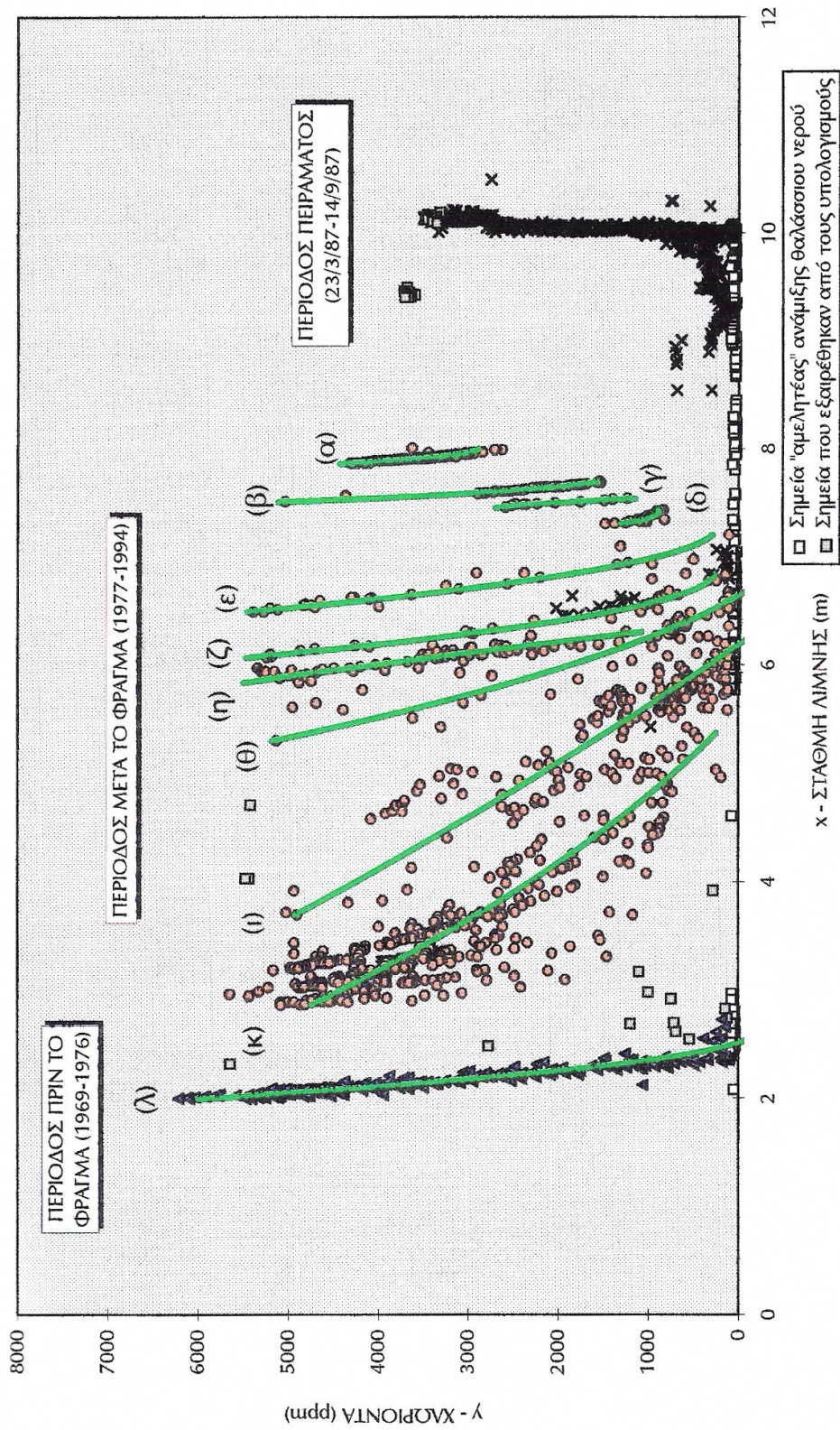
Στον Πίνακα 3.2 καταχωρούνται οι μαθηματικές σχέσεις και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχετισμού των σηματοσειρών του σχήματος 3.8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: Μαθηματικές σχέσεις και συντελεστές συσχετισμού (αναφέρονται στο σχήμα 3.8).

ΣΕΙΡΕΣ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ (R ²)
(α)	$Y = 79074\chi^2 - 106\chi + 5000000$	0.9344
(β)	$y = 67266x^2 - 106\chi + 4000000$	0.9411
(γ)	$Y = -69684X^2 + 106\chi - 4000000$	0.9532
(δ)	$v = 35140\chi^2 - 521518\chi + 20000000$	0.6631
(ε)	$y = 8056.1x^2 - 117535x + 428931$	0.9109
(ζ)	$\gamma = 7976.4\chi^2 - 109735\chi + 377671$	0.9877
(η): υπερχειλιστή	$y^{\wedge} - 1114.8x^2 + 4144,3x + 19312$	0.8524
(θ)	$Y = 1330x^2 - 19737x + 72429$	0.8682
(ι)	$y^{\wedge} 104.79x^2 - 3011.2\chi + 14631$	0.8411
(κ)	$y^{\wedge} 249.62x^2 - 3843.2x + 13701$	0.7509
(λ): αρχική	$y = 15301 \chi^2 - 80730\chi + 106.26$	0.9182

Στο ίδιο σχήμα έχουν επίσης καταχωρηθεί τα ζεύγη στάθμης - χλωριόντων και για τα έτη μετά την κατασκευή του φράγματος (καμπύλες α μέχρι και κ), περιλαμβανομένου και του "πειράματος" (σημεία χ).

Παρατηρώντας το σχήμα 3.8 διακρίνουμε ότι τα ζεύγη τιμών στάθμης - ποιότητας διασπείρονται ευρύτατα. Ορισμένες ομαδοποιήσεις σημείων συνδέονται με περιόδους "ηρεμίας". Οι σηματοσειρές που προκύπτουν υπακούουν σε πολυωνυμικές σχέσεις ανάλογες με εκείνη της καμπύλης λ.



ΣΧΗΜΑ 3.8: Διάγραμμα στάθμης - ποιότητας (Υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι και 1993-94).

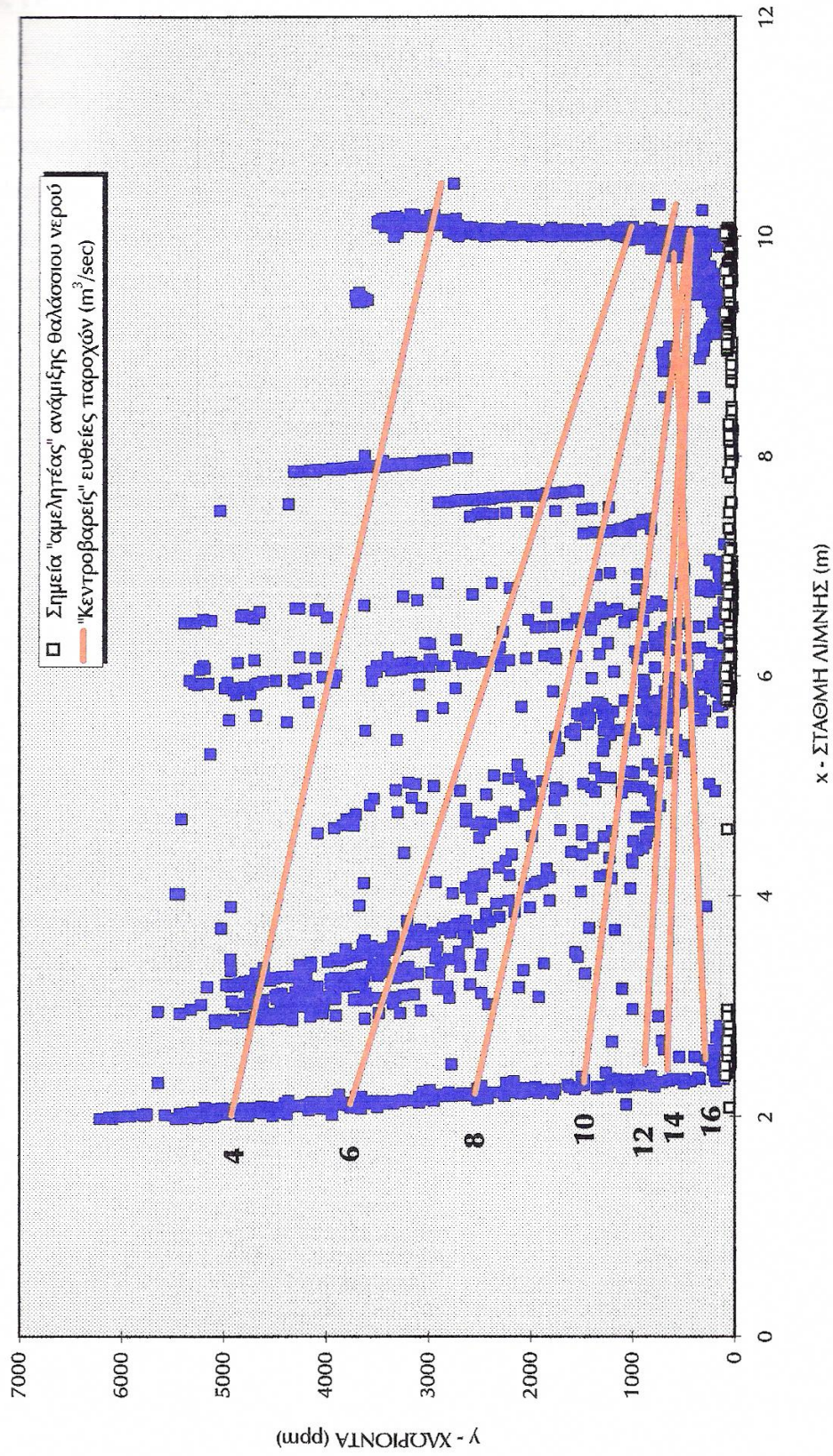
Αξιίζει επίσης να επισημανθεί το γεγονός ότι κατά την διάρκεια του κυρίου "πειράματος", ενώ η στάθμη της λίμνης διατηρείται σταθερή περί τα +1 Om, με τη βοήθεια συνεχών μικρορυθμίσεων, η ποιότητα μεταβάλλεται ευρύτατα.

Η συνολική αυτή εικόνα μας έδωσε την ιδέα, όπως πιστεύουμε και σε προηγούμενους ερευνητές (Υπ.Γεωργίας - FAO), να αναζητηθεί και τρίτη συμμεταβλητή (π.χ. παροχή) με τη βοήθεια της οποίας τα "νέφη" σημείων θα έπρεπε να ταξινομηθούν, ενδεχόμενα, σε κατηγορίες.

Στο **Σχήμα 3.9** έχουν χαραχθεί ευθείες γραμμές, οι οποίες αντιστοιχούν στις "κεντροβαρείς" των σημείων με τις αυτές παροχές. Η χάραξη τους έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και οι καλύτεροι και ικανοποιητικότεροι συντελεστές επιτεύχθηκαν για ευθείες γραμμές.

Η συνολική εικόνα μπορεί να αποδοθεί με "σκιώδες νομόγραμμα" από το οποίο αναγνωρίζονται τάσεις και όχι απόλυτα αριθμητικές σχέσεις μεταξύ των τριών συμμεταβλητών, οι οποίες περιγραφικά θα ήταν δυνατόν να αποδοθούν ως εξής:

- Για τις μεγάλες παροχές, η ποιότητα είναι καλή, ανεξάρτητα στάθμης λίμνης (ευθείες παροχών παράλληλες στον άξονα του χ).
- Η αλμυρότητα ευνοείται καταφανώς και προοδευτικά από τις χαμηλές παροχές.
- Οι παροχές της πηγής μειώνονται με την αύξηση της στάθμης της λίμνης (αρνητικές κλίσεις των γραμμών των παροχών) που ενδεχόμενα το φαινόμενο αυτό προοιωνίζεται τον πρακτικό μηδενισμό των παροχών που θα εξέρρεαν από την πηγή πέραν μιας υψηλής τεχνητής στάθμης της λίμνης (π.χ. > 25-30m).
- Με δεδομένη παροχή η ποιότητα του νερού της πηγής τείνει να βελτιωθεί με την αύξηση της στάθμης της λίμνης.



ΣΧΗΜΑ 3.9: Διάγραμμα στάθμης - ποιότητας με τις "κεντροβαρείς" ευθείες παροχών (Υδρολογικά έτη 1969-70 μέχρι και 1993-94).

3.3.4 Παρατηρήσεις για την περίοδο του πειράματος

Στην εργασία αυτή οι μετρήσεις της περιόδου του "πειράματος" συνεξετάσθηκαν στατιστικά με το σύνολο των διαθέσιμων στοιχείων. Υπάρχουν όμως σαφείς ενδείξεις ότι λεπτομερέστερη ανάλυση των δεδομένων αυτής της περιόδου (συμπληρωματικά βλέπε ΜΕΡΟΣ Β' - XVII και XVIII) είναι δυνατό να οδηγήσει σε πρόσθετες πληροφορίες όσον αφορά:

- το μηχανισμό της θαλάσσιας ρύπανσης,
- τις παραμέτρους του στοχαστικού προτύπου, και
- τον υπολογισμό επιπλέον υδραυλικών παραμέτρων (συντελεστής αποταμίευσης, ενεργό πορώδες) του καρστικού υδροφορέα που δίνει γένεση στην πηγή.

3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση που προηγήθηκε συνάγονται τα εξής κύρια συμπεράσματα αναφορικά με τις υδρολογικές παραμέτρους διαίτας της πηγής Αλμυρού σε συνθήκες φυσικής ροής:

1. Η αύξηση των παροχών της πηγής εμφανίζεται με καθυστέρηση ημερών από την ημέρα αιχμής ή εμφάνισης της καταιγίδας. Η αύξηση των παροχών και η χρονική καθυστέρηση εμφάνισης τους είναι συνάρτηση της γεωγραφικής και χρονικής κατανομής, όπως επίσης και της έντασης της καταιγίδας.
2. Η συγκέντρωση χλωριόντων (ποιότητα) ακολουθεί με σχέση αντίρροπη και καθυστέρηση ωρών μέχρι μερικών ημερών, τις μεταβολές της παροχής της πηγής.
3. Η ανύψωση της στάθμης της λίμνης που οφείλεται σε φυσικά αίτια (π.χ. λόγω βροχοπτώσεων) επιφέρει βελτίωση της ποιότητας (μείωση χλωριόντων) και αντίστροφα. Δεν παρατηρείται εμφανώς το ίδιο φαινόμενο στην περίπτωση που οι αυξομειώσεις της στάθμης οφείλονται σε τεχνητά αίτια (θυροφράγματα).
4. Είναι αναγκαίο να γίνει διαχωρισμός των μεταβολών της στάθμης που οφείλονται σε φυσικά, από αυτές που οφείλονται σε τεχνητά αίτια και στη συνέχεια να υπάρξει συσχετισμός με τις αντίστοιχες μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων. Η ερευνητική ομάδα έχει ήδη επιχειρήσει τον διαχωρισμό και την επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων χωριστά. Τα συμπεράσματα της πολύπλοκης αυτής έρευνας αποτελούν αντικείμενο μεταγενέστερης εργασίας.
5. Η μαθηματική σχέση παροχής και ποιότητας του νερού της πηγής αποδίδεται πιστώτερα από την λογαριθμική καμπύλη του τύπου: $y - a * \ln(x) + \beta$. Η σχέση παραμένει η ίδια για τις περιόδους αύξησης και μείωσης των παροχών, ενώ αλλάζουν μόνο οι αριθμητικές παράμετροι.
6. Η μελέτη του μηχανισμού στέρειυσης της πηγής με την βοήθεια της εξίσωσης Maillet δίνει συντελεστή στέρειυσης $a = 0.0038$ ημέρες⁻¹ και δυναμικά αποθέματα (W) της τάξης των 179 εκατ. m³ / έτος (μέσοι όροι 25ετίας), κυμαινόμενα από 47 έως 462 εκατ. m³ / έτος, περίπου. Η έντονη διακύμανση αυτών των παραμέτρων ανά υδρολογικό έτος θέτει ερώτημα αξιοπιστίας και χρησιμότητας τους σαν χαρακτηριστικών μεγεθών της διαίτας δεδομένης

πηγής, ιδιαίτερα εάν δεν βασίζονται σε παρατηρήσεις περισσότερων ετών.

Από την ανάλυση που έγινε σε συνθήκες τεχνητών παρεμβάσεων συνάγονται τα εξής κυρία συμπεράσματα:

1. Οι φυσικές παράμετροι ποιότητα, στάθμη και παροχή της πηγής Αλμυρού αποτελούν συμμεταβλητά φυσικά μεγέθη.
2. Οι παραπάνω παράμετροι εξεταζόμενες κατά ζεύγη δίνουν μαθηματικές σχέσεις ποικίλου χαρακτήρα και βαθμού αξιοπιστίας.
3. Η καλύτερη μαθηματική σχέση προκύπτει για το ζεύγος τιμών παροχή - στάθμη (πολυωνυμική, $R^2 > 0.99$, σχήμα 5, καμπύλη λ).
4. Οι σχέσεις ποιότητα - παροχή (λογαριθμική, $I \neq 0.90$) και ποιότητα - στάθμη (πολυωνυμική, $R \neq 0.95$) παρά τους επίσης σχετικά υψηλούς συντελεστές συσχετισμού φαίνεται να έχουν μικρότερη αξιοπιστία.
5. Ο συσχετισμός όλων των μεταβλητών είναι περισσότερο ικανοποιητικός για την περίοδο πριν παρά για την περίοδο μετά την κατασκευή του φράγματος.
6. Η συνεξέταση και των τριών μεταβλητών δεν δίνει μαθηματική σχέση αλλά "νομόγραμμα" με στατιστικές τάσεις (ανάλυση κατηγοριών).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις, σε συνδυασμό, συνάδουν στα εξής κεφαλαιώδη συμπεράσματα:

- Τα φυσικά μεγέθη παροχή - στάθμη - ποιότητα αποτελούν συμμεταβλητές μη αλληλένδετα εξαρτημένες. Οι μεταβλητές αυτές πρέπει να είναι άμεσα εξαρτημένες από ομάδα παραγόντων ή παράγοντα (τέταρτη μεταβλητή) με την οποία συνδέονται με ανάλογες γραμμικές σχέσεις. Επειδή τα φυσικά μεγέθη παροχή και στάθμη, σ' όλες τις περιπτώσεις, δίνουν τις πλέον αξιόπιστες σχέσεις, πιστεύουμε ότι η αναζητούμενη τέταρτη εξαρτημένη μεταβλητή είναι ένα φυσικό μέγεθος ανάλογο με το "δυναμικό του υδροφορέα" (όγκος αποταμιευμένου νερού χ υψόμετρο του κέντρου βάρους του υδροφορέα).
- Οι τεχνητές αυξομειώσεις της στάθμης της λίμνης συνεπάγονται στατιστικά αντίρροπη μεταβολή στην παροχή και την συγκέντρωση ιόντων χλωρίου. Το φαινόμενο πιθανά προδικάζει ότι, κατά την ξηρή περίοδο, η επιθυμητή ποιότητα δεν θα μπορεί να εξασφαλισθεί με ταυτόχρονη ικανοποιητική παροχή στην πηγή.

4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

4.1 Γενικά στοιχεία

4.1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η επεξεργασία των μετρήσεων των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης και η εκτίμηση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής. Όλοι οι σταθμοί της περιοχής βρίσκονται περιμετρικά της λεκάνης απορροής και όχι μέσα σ' αυτήν, όπως θα ήταν το βέλτιστο. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν περιέλαβαν:

- αξιολόγηση των πρωτογενών ημερήσιων μετρήσεων και εξαγωγή των μηνιαίων - ετήσιων τιμών,
- έλεγχο ομογένειας των ετήσιων τιμών,
- δημιουργία αρχικών γεωγραφικών επιπέδων (υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνες απορροής, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, βροχομετρικοί σταθμοί),
- υπολογισμό των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής (έκταση, μέσο υψόμετρο, πολύγωνα Thiessen),
- υπολογισμό των επιφανειακών ετήσιων βροχοπτώσεων με βάση τα σημειακά δείγματα.

Στη συνέχεια δίνονται τα χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών (ενότητα 4.1.2) και οι διάφορες επεξεργασίες (ενότητα 4.2) ενώ στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 παρουσιάζονται τα μηνιαία δείγματα σημειακής βροχόπτωσης, όπως αυτά προέκυψαν από τις επεξεργασίες.

4.1.2 Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα

Στην περιοχή λειτουργούν βροχομετρικοί σταθμοί της Υ.Ε.Β. και της Ε.Μ.Υ. Η συλλογή, αξιολόγηση και αρχειοθέτηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή έγινε για τα ημερήσια δεδομένα 4 βροχομετρικών σταθμών, για το σύνολο των υδρολογικών ετών που υπήρχαν μετρήσεις. Τα χαρακτηριστικά των σταθμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1, ενώ η γεωγραφική τους θέση στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Θέση των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης

Όνομασία	Νομός	Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	ΕΓΣΑ87 - X	ΕΓΣΑ 87-Υ	Υψόμετρο(πι)	Φορέας
Φοινικιά	Ηρακλείου	025:06:00E	35:17:00N	600526.3	3904810	40	Υ.Ε.Β.
Ηράκλειο	Ηρακλείου	025:07:00E	35:20:00N	607349.8	3910240	15	Υ.Ε.Β.
Κρουσώνας	Ηρακλείου	024:59:00E	35:14:00N	589276.3	3898390	500	Υ.Ε.Β.
Ανώγεια	Ρεθύμνης	024:53:00E	35:17:00N	579796.3	3904930	740	Υ.Ε.Β.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών

Παρατηρήσεις για τους βροχομετρικούς σταθμούς

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

(α) Ημερήσια δεδομένα. Δεν αρχειοθετήθηκαν ημερήσια δεδομένα για τον σταθμό του Ηρακλείου διότι δεν κρίθηκαν αναγκαία για την εργασία.

(β) Μηνιαία δεδομένα. Τα μηνιαία δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου σε έντυπη μορφή και καλύπτουν μια περίοδο 26 χρόνων από 1/9/1975 - 31/8/2001.

ΦΟΙΝΙΚΙΑ

(α) Ημερήσια δεδομένα. Αρχειοθετήθηκαν σε ηλεκτρονική μορφή ημερήσια δεδομένα για τον σταθμό Φοινικιά από έντυπα της Υ.Ε.Β. Ηρακλείου τα οποία καλύπτουν τα έτη 1/9/1970 - 31/8/2003.

(β) Μηνιαία δεδομένα. Τα μηνιαία δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου σε έντυπη μορφή και καλύπτουν μια περίοδο 39 χρόνων από 1/9/1966 - 31/8/2005.

ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ

(α) Ημερήσια δεδομένα. Αρχειοθετήθηκαν σε ηλεκτρονική μορφή ημερήσια δεδομένα για τον σταθμό Κρουσώνα από έντυπα της Υ.Ε.Β. Ηρακλείου τα οποία καλύπτουν τα έτη 1/9/1970 - 31/8/2003.

(β) Μηνιαία δεδομένα. Τα μηνιαία δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου σε έντυπη μορφή και καλύπτουν μια περίοδο 41 χρόνων από 1/9/1964 - 31/8/2005.

ΑΝΩΓΕΙΑ

(α) Ημερήσια δεδομένα. Αρχειοθετήθηκαν σε ηλεκτρονική μορφή ημερήσια δεδομένα για τον σταθμό Ανωγείων από έντυπα της Υ.Ε.Β. Ηρακλείου τα οποία καλύπτουν τα έτη 1/9/1973 - 31/8/2001.

(β) Μηνιαία δεδομένα. Τα μηνιαία δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου σε έντυπη μορφή και καλύπτουν μια περίοδο 78 χρόνων από 1/1/1919 - 31/8/2001.

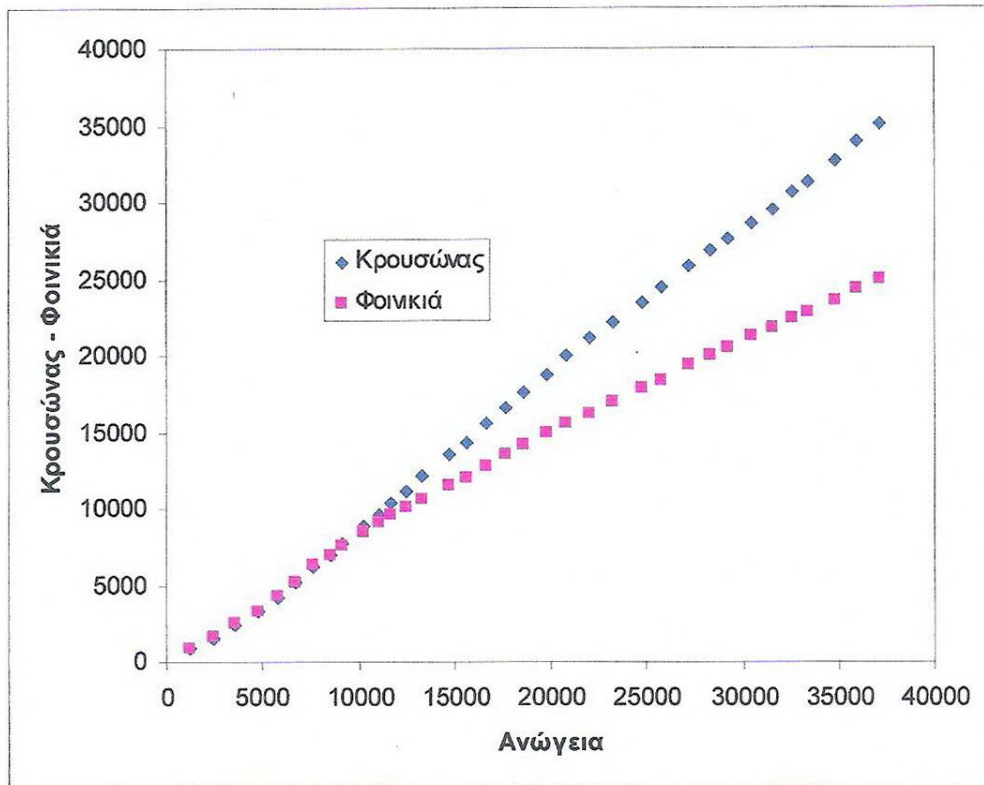
4.2 Επεξεργασίες βροχομετρικών δεδομένων

4.2.1 Έλεγχοι ομογένειας

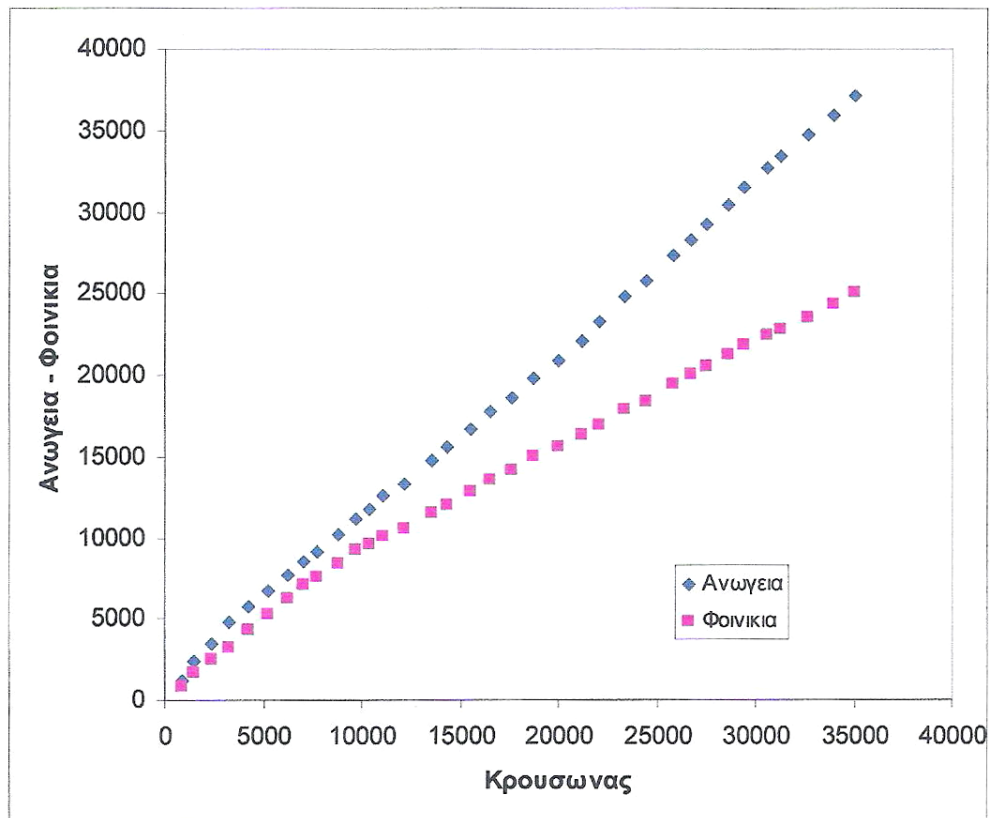
Οι έλεγχοι ομογένειας έγιναν με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης, βάσει της οποίας εξετάζεται η συνέπεια των δεδομένων ενός σταθμού σε σχέση με τα δεδομένα ενός γειτονικού τα οποία θεωρούνται αξιόπιστα. Για όλα τα δυνατά ζεύγη βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης σχεδιάστηκαν οι διπλές αθροιστικές καμπύλες των ετήσιων βροχοπτώσεων (Σχήματα 4.2, 4.3, 4.4) και η ανάλυση έδειξε ότι τα δείγματα είναι σχετικά ομογενή (όλα τα σημεία διατάσσονται πάνω στην ίδια ευθεία). Ο Πίνακας 4.2 με τα ετήσια βροχομετρικά δεδομένα και τις αντίστοιχες αθροιστικές τιμές τους δίνεται για τους σταθμούς Ανωγείων, Κρουσώνα, Φοινικιάς:

Σταθμός	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΚΡΟΥΣΩΝΑ	ΦΟΙΝΙΚΙΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ		
	740	500	40	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΚΡΟΥΣΩΝΑ	ΦΟΙΝΙΚΙΑ
Υψόμετρο(τη)		Σ			Σ	
2000-01	1179.5	858.9	872.7	1179.5	858.9	872.7
1999-00	1236.6	655.7	753.8	2416.1	1514.6	1626.5
1998-99	1095.7	835.7	846	3511.8	2350.3	2472.5
1997-98	1256	952.6	785	4767.8	3302.9	3257.5
1996-97	1011.2	920.7	1042.1	5779	4223.6	4299.6
1995-96	870.8	1008.9	953.2	6649.8	5232.5	5252.8
1994-95	975.7	1018	1014.7	7625.5	6250.5	6267.5
1993-94	928.4	770.1	750.1	8553.9	7020.6	7017.6
1992-93	589.1	666.5	523	9143	7687.1	7540.6
1991-92	1096	1115.5	898.5	10239	8802.6	8439.1
1990-91	849	860.1	724	11088	9662.7	9163.1
1989-90	629	688.3	474.5	11717	10351	9637.6
1988-89	806.3	782	475.5	12523.3	11133	10113.1
1987-88	819.6	1049.8	462	13342.9	12182.8	10575.1
1986-87	1368.3	1345	947	14711.2	13527.8	11522.1
1985-86	888.1	784.6	490	15599.3	14312.4	12012.1
1984-85	1098.6	1274.8	816.5	16697.9	15587.2	12828.6
1983-84	970.9	990.5	680.5	17668.8	16577.7	13509.1
1982-83	936.1	1022.2	679.5	18604.9	17599.9	14188.6
1981-82	1209.2	1146.8	782.5	19814.1	18746.7	14971.1
1980-81	1034.3	1261.6	649	20848.4	20008.3	15620.1
1979-80	1168.9	1147.1	630	22017.3	21155.4	16250.1
1978-79	1219.9	964.5	654.6	23237.2	22119.9	16904.7
1977-78	1527	1294.2	891	24764.2	23414.1	17795.7
1976-77	1001	1019.1	570	25765.2	24433.2	18365.7
1975-76	1489.7	1375.4	983	27254.9	25808.6	19348.7
1974-75	1066	970.9	658	28320.9	26779.5	20006.7
1973-74	918.3	762.2	484	29239.2	27541.7	20490.7
1972-73	1222.2	1098.8	762	30461.4	28640.5	21252.7
1971-72	1089.8	805.4	518.5	31551.2	29445.9	21771.2
1970-71	1087.2	1137.4	667.5	32638.4	30583.3	22438.7
1969-70	748.2	690	341.5	33386.6	31273.3	22780.2
1968-69	1403.8	1423.7	722.3	34790.4	32697	23502.5
1967-68	1114.4	1287.8	819.5	35904.8	33984.8	24322
1966-67	1207.4	1089.7	672	37112.2	35074.5	24994

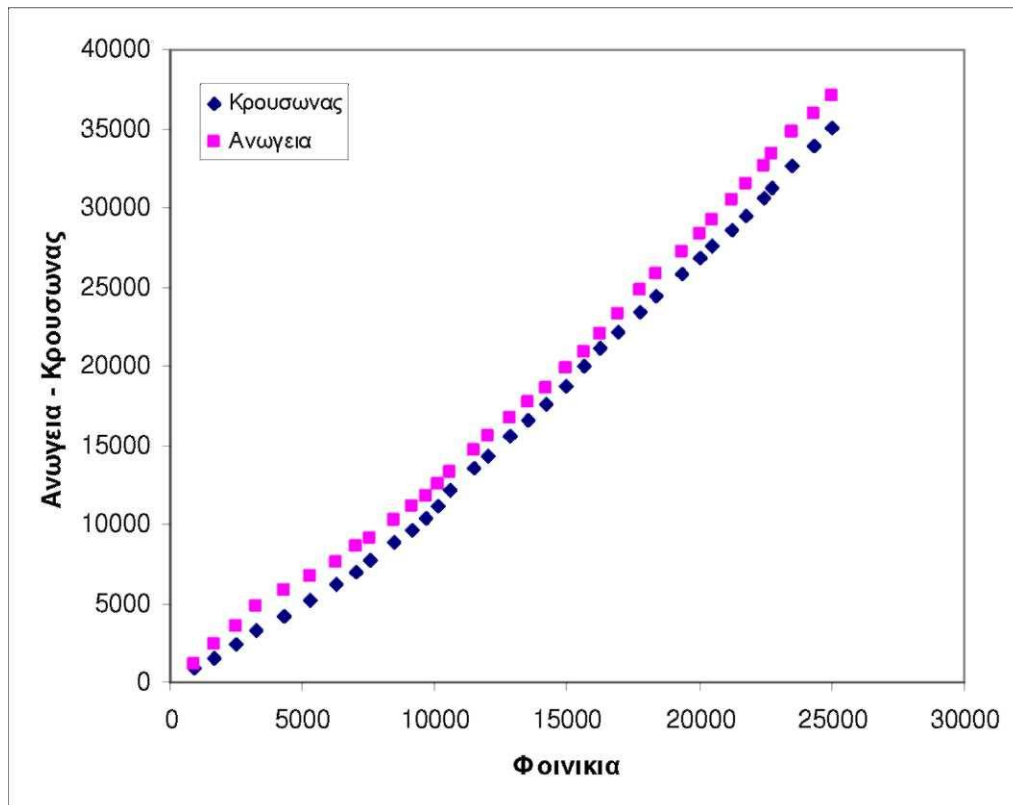
Πίνακας 4.2 Ετήσια βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της περιοχής μελέτης



Σχήμα 4.2 Έλεγχος ομογένειας – Σταθμός βάσης Ανώγεια Ρεθύμνης



Σχήμα 4.3 Έλεγχος ομογένειας – Σταθμός βάσης Κρουσώνας



*Σχήμα 4.4 Έλεγχος ομογένειας - Σταθμός βάσης Φοινικιά**

***Παρατηρείται μια σχετική ανομοιογένεια του σταθμού Φοινικιά σε σχέση με τους δύο άλλους σταθμούς (Ανώγεια και Κρουσώνας). Παρόλα αυτά δεν κρίθηκε σκόπιμο να γίνει κάποια διόρθωση αφού και στην Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (Μ.Δ.Υ.Π.Κ.) δεν προκύπτει κάποιο πρόβλημα με τα δεδομένα του συγκεκριμένου σταθμού.**

4.2.2 Συμπλήρωση δειγμάτων σημειακής βροχόπτωσης

Στην παρούσα εργασία δεν χρειάστηκε να γίνει συμπλήρωση δειγμάτων σημειακής βροχόπτωσης αφού όλα δεδομένα ήταν πλήρη.

4.2.3 Δημιουργία αρχικών γεωγραφικών επιπέδων (υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνη απορροής, ψηφιακό μοντέλο εδάφους)

Για την δημιουργία των γεωγραφικών επιπέδων του υδρογραφικού δικτύου, της λεκάνης απορροής, του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους - Ψ.Μ.Ε. (DEM - Digital Elevation Model) και των βροχομετρικών σταθμών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός εφαρμογών CAD και GIS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι εφαρμογές AutoCAD 2006 και ARCGIS 9.0 λόγω του ότι υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας των δύο εφαρμογών.

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των γεωγραφικών επιπέδων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ήταν τα φύλλα χάρτη (Φ.Χ.) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) για την περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:50.000. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα χάρτη ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ, ΑΝΩΓΕΙΑ, ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΝ και ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΑΙ. Οι συντεταγμένες και η διάταξη των ακραίων σημείων για τα Φ.Χ. δίνονται παρακάτω στον Πίνακα 4.3:

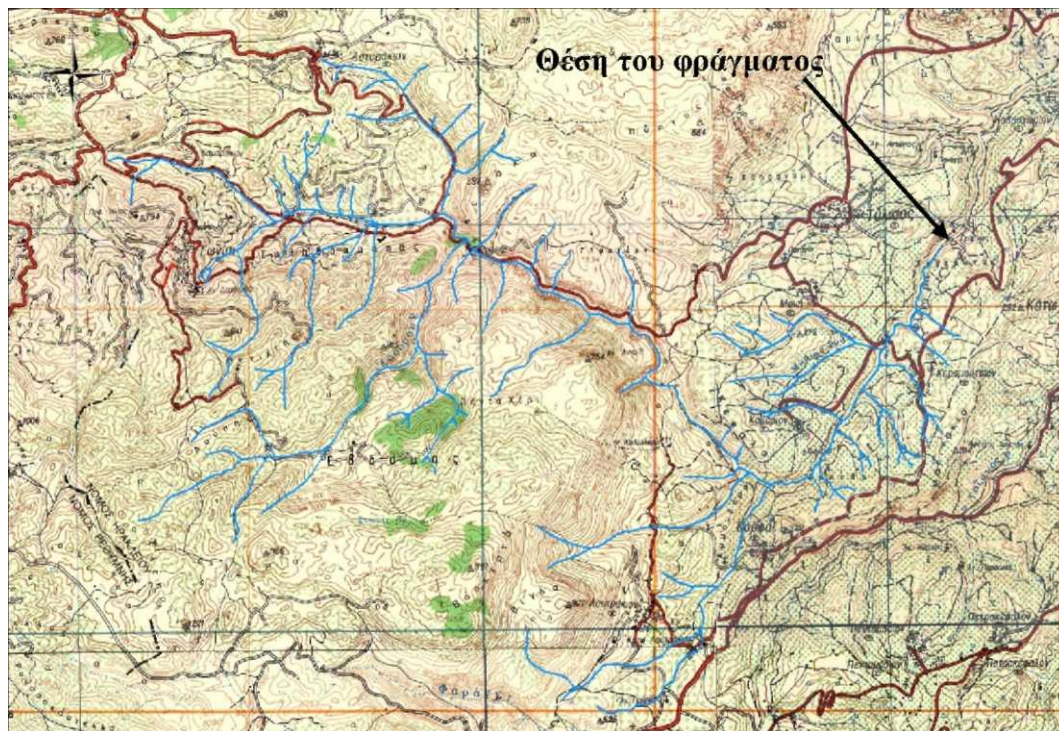
ΟΝΟΜΑ Φ.Χ.	Α/Α ΑΚΡΑΙΟΥ	ΕΓΣΑ - Χ	ΕΓΣΑ - Υ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ
ΑΝΩΓΕΙΑ	1	567823.480	3928338.544	
ΑΝΩΓΕΙΑ	2	590498.648	3928539.627	
ΑΝΩΓΕΙΑ	3	590778.814	3900811.739	
ΑΝΩΓΕΙΑ	4	568033.586	3900611.274	
ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΑΙ	1	590778.814	3900811.739	
ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΑΙ	2	613524.627	3901069.505	
ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΑΙ	3	613872.703	3873341.926	
ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΑΙ	4	591057.246	3873084.967	
ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	1	590498.648	3928539.627	
ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	2	613174.381	3928798.189	
ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	3	613524.627	3901069.505	
ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ	4	590778.814	3900811.739	
ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΝ	1	568033.586	3900611.274	
ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΝ	2	590778.814	3900811.739	
ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΝ	3	591057.246	3873084.967	
ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΝ	4	568242.388	3872885.129	

Πίνακας 4.3 Συντεταγμένες και διάταξη των ακραίων σημείων για τα Φ.Χ.

Οι χάρτες έχουν σαρωθεί για να είναι δυνατή η επεξεργασία τους σε υπολογιστή. Αποτέλεσμα όμως της σάρωσης είναι ότι χάνεται η όποια πληροφορία θέσης στο χώρο. Οι χάρτες έχουν ως σύστημα αναφοράς το τοπικό σύστημα αναφοράς του ψηφιοποιητή - σαρωτή (scanner στην προκειμένη περίπτωση) και γι' αυτό θα πρέπει να γίνει η γεωαναφορά τους ώστε να αναφέρονται στο ισχύον σύστημα αναφοράς της χώρας (στην προκειμένη περίπτωση το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του '87 - ΕΓΣΑ87). Η γεωαναφορά γίνεται με κάποιον μετασχηματισμό ομοιότητας κατά προτίμηση τον αφινικό μετασχηματισμό (βλ. Τσούλος, 1999). Στο AutoCAD δεν υπάρχει δυνατότητα να γίνει αυτόματα ο αφινικός μετασχηματισμός ενώ το ARCGIS αυτοματοποιεί την διαδικασία αυτή μέσω του εργαλείου Georeferencing. Ενεργοποιώντας το εργαλείο αυτό στην ουσία εισάγουμε τις γνωστές συντεταγμένες ενός αριθμού σημείων πάνω στον χάρτη και γίνεται αυτόματα ο αφινικός μετασχηματισμός για όλα τα σημεία του χάρτη δίνοντας όλα τα σφάλματα για τον έλεγχο του μετασχηματισμού. Για την περίπτωση του AutoCAD εφαρμόζουμε χειροκίνητα τις παραμέτρους μετάθεσης, κλίμακας και στροφής ελέγχοντας πάντα τη συμφωνία μεταξύ των γειτονικών Φ.Χ.*. Έτσι έχουμε έναν σωστά τοποθετημένο στο χώρο χάρτη ο οποίος μας δίνει την δυνατότητα να εξάγουμε γραμμικά και επιφανειακά μεγέθη.

Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο για την συγκεκριμένη θέση προέκυψε με την χρήση του AutoCAD από τους χάρτες 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. και φαίνεται στο Σχήμα 4.5:

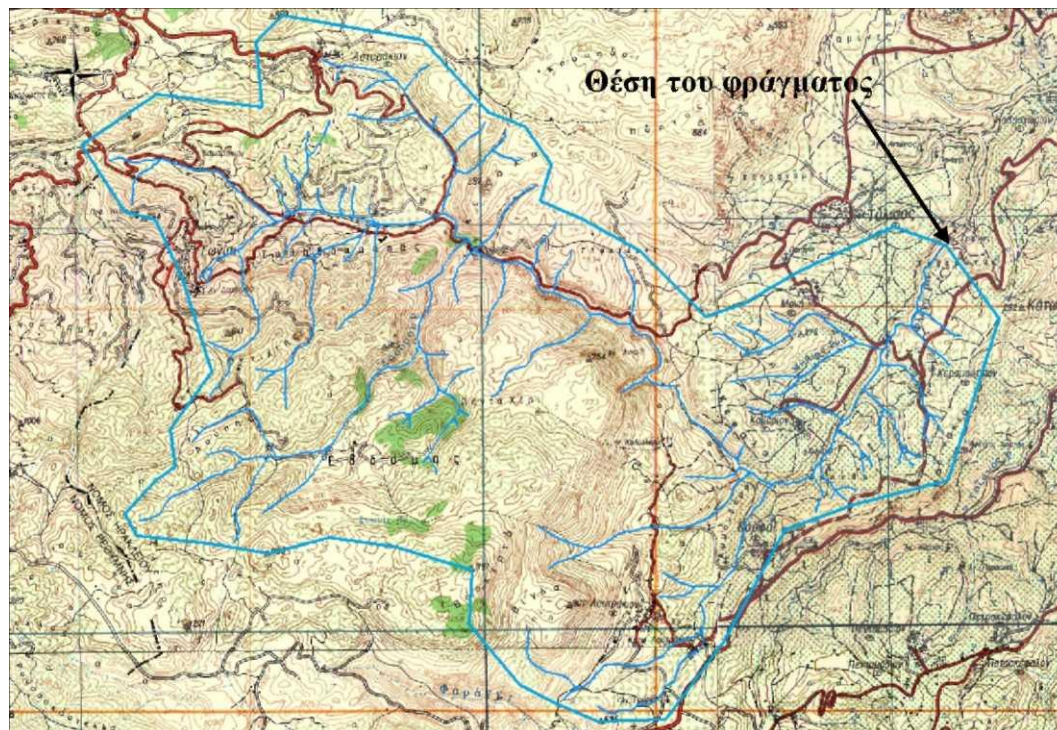


Σχήμα 4.5 Το υδρογραφικό δίκτυο όπως προέκυψε από τα Φ.Χ. 1:50.000 της Γ.Υ.Σ.

*Ένα πρόβλημα που προκύπτει εν γένει είναι μια σχετική δυσκολία στη σύνδεση μεταξύ γειτονικών Φ.Χ. και αυτό οφείλεται σε προβλήματα στρέβλωσης της κλίμακας λόγω σάρωσης, φωτοτύπησης ή ακόμα και δίπλωσης του χάρτη. Παρόλα αυτά η ακρίβεια που απαιτείται από τις συγκεκριμένες υδρολογικές μελέτες μας επιτρέπει να παραβλέψουμε τέτοια προβλήματα.

Λεκάνη απορροής

Ομοίως η λεκάνη απορροής προέκυψε με την χρήση του AutoCAD από τους χάρτες 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. και φαίνεται στο Σχήμα 4.6:



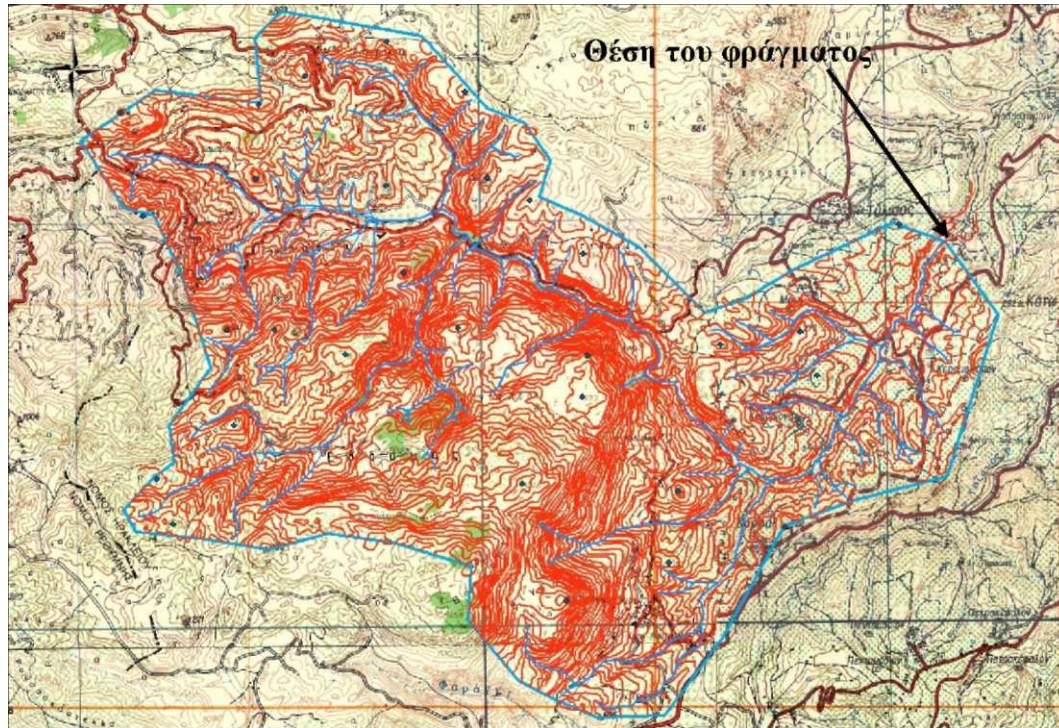
Σχήμα 4.6 Η λεκάνη απορροής όπως προέκυψε από τα Φ.Χ. 1:50.000 της Γ.Υ.Σ.

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.) - Digital Elevation Model (DEM)

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους προέκυψε με τη χρήση του ARCGIS 9.0 αφού προηγήθηκε η ψηφιοποίηση όλων των ισοϋψών και των σημείων ελέγχου που υπήρχαν στους χάρτες. Για ένα βέλτιστο αποτέλεσμα υπολογισμού του Ψ.Μ.Ε. το λογισμικό απαιτεί να υπάρχουν τα παρακάτω επίπεδα (layers):

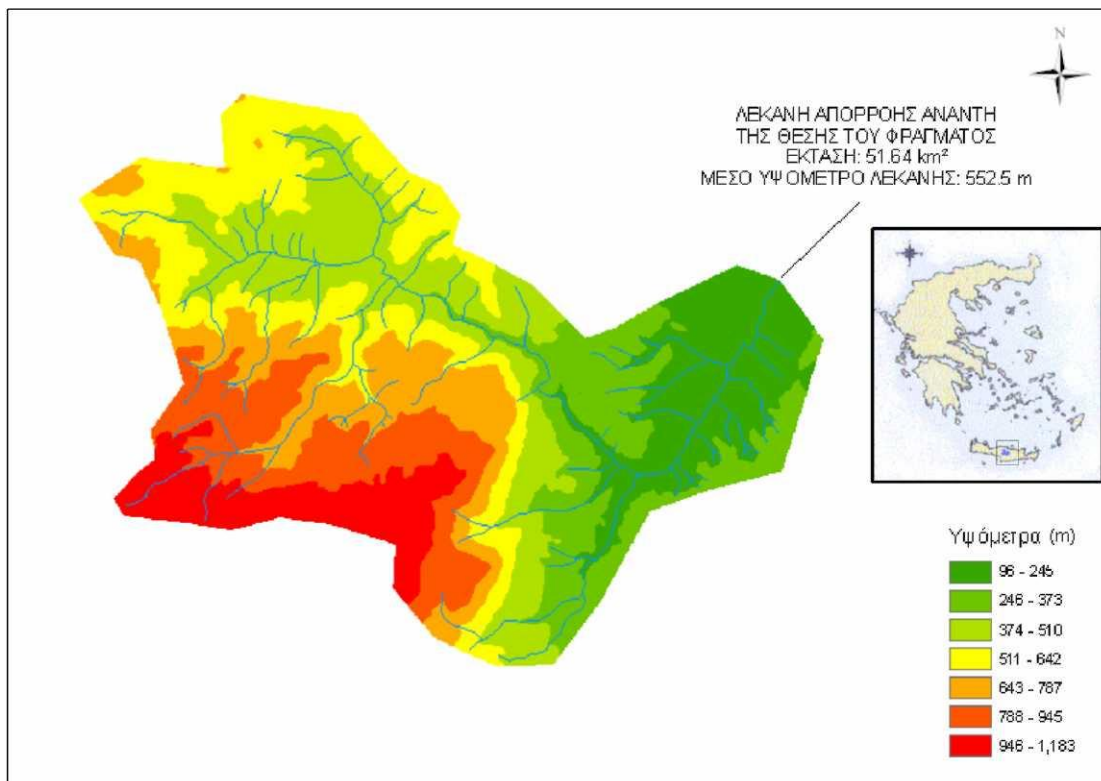
- Ισοϋψείς με στοιχεία υψομέτρου,
- Σημεία ελέγχου με στοιχεία υψομέτρου,
- Γραμμές αλλαγής κλίσης (στην συγκεκριμένη περίπτωση το υδρογραφικό δίκτυο),
- Όρια της υδρολογικής λεκάνης

Τα παραπάνω επίπεδα δημιουργήθηκαν είτε άμεσα με την χρήση του ARCGIS είτε εισήχθησαν από το AutoCAD και φαίνονται στο Σχήμα 4.7:



Σχήμα 4.7 Τα απαιτούμενα επίπεδα για την δημιουργία του Ψ.Μ.Ε. (DEM)

Η τελική μορφή του Ψ.Μ.Ε. υπολογίστηκε με βάση τα παραπάνω δεδομένα και φαίνεται στο Σχήμα 4.8:



Σχήμα 4.8 Το Ψ.Μ.Ε. (DEM) όπως προέκυψε από το λογισμικό ARCGIS 9.0

Το λογισμικό ARCGIS 9.0 δίνει την δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας για μια περιοχή αφού δημιουργηθεί το Ψ.Μ.Ε. Μερικές χρήσιμες και διαδεδομένες συναρτήσεις που παρέχει το λογισμικό είναι:

Όψη (aspect)

Προσδιορίζει την διεύθυνση της μεγαλύτερης κλίσης κάθε κυττάρου σε σχέση με τα οκτώ γειτονικά του. Οι τιμές στον υπολογισμένο κάρναβο συνήθως κυμαίνονται από 0 - 360 (διεύθυνση σε μοίρες).

Κλίση (slope)

Προσδιορίζει την μεγαλύτερη κλίση κάθε κυττάρου σε σχέση με τα οκτώ γειτονικά του. Οι τιμές στον υπολογισμένο κάρναβο κυμαίνονται από 1 - 100 (κλίση %).

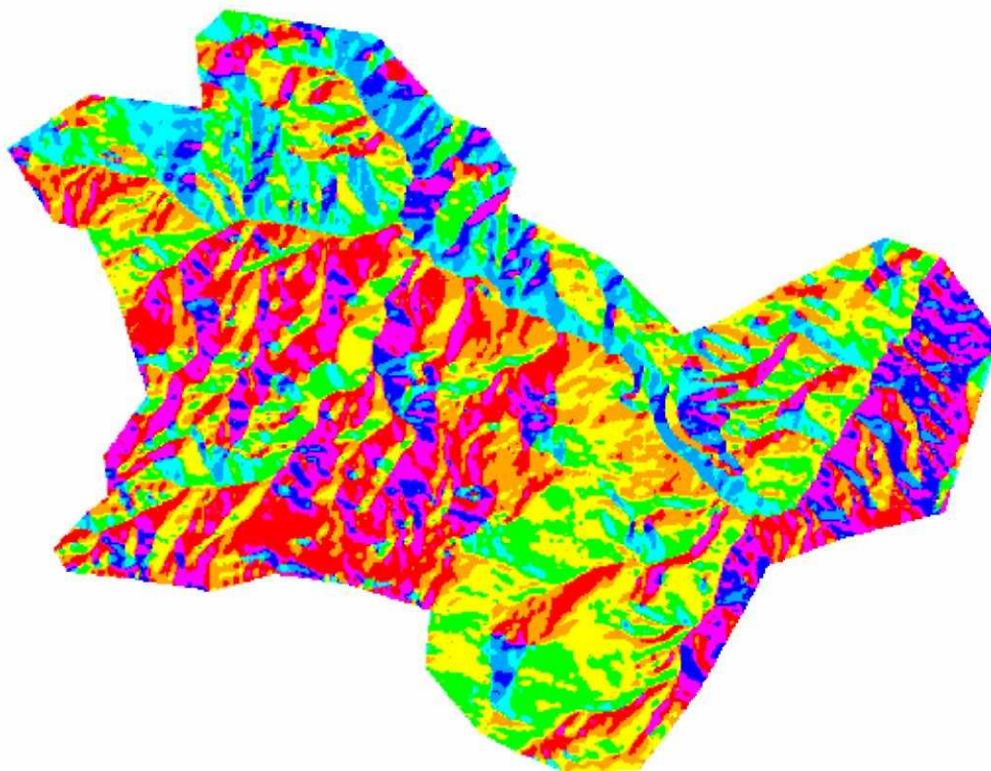
Σκίαση ανάγλυφου (hillshade)

Προσδιορίζει τον φωτισμό της επιφάνειας. Με την συνάρτηση αυτή μπορεί να υπολογιστεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε θέση. Οι τιμές στον υπολογισμένο κάρναβο κυμαίνονται από 1 - 256 (αυθαίρετη κλίμακα, όπου το 1 αντιστοιχεί σε πλήρη σκίαση).

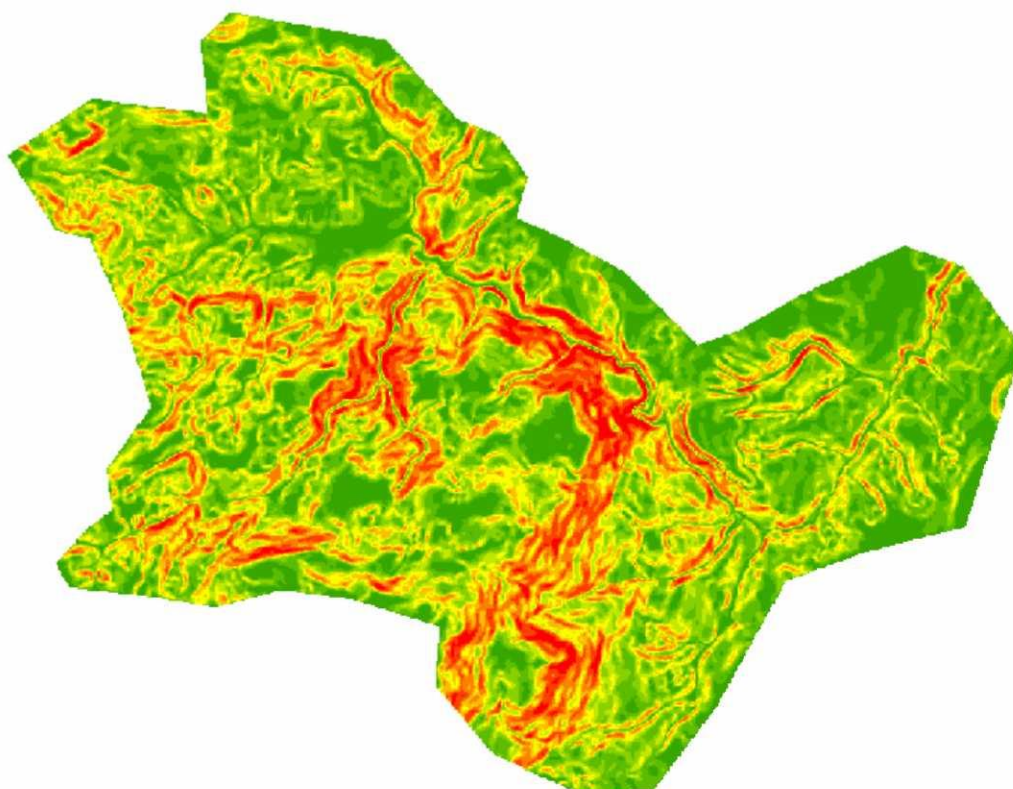
Ισοΰψεις (contours)

Προσδιορίζει τις ισοΰψεις καμπύλες για επιλεγμένη ισοδιάσταση. Δεν δημιουργεί κάρναβο αλλά γραμμικό επίπεδο πληροφορίας.

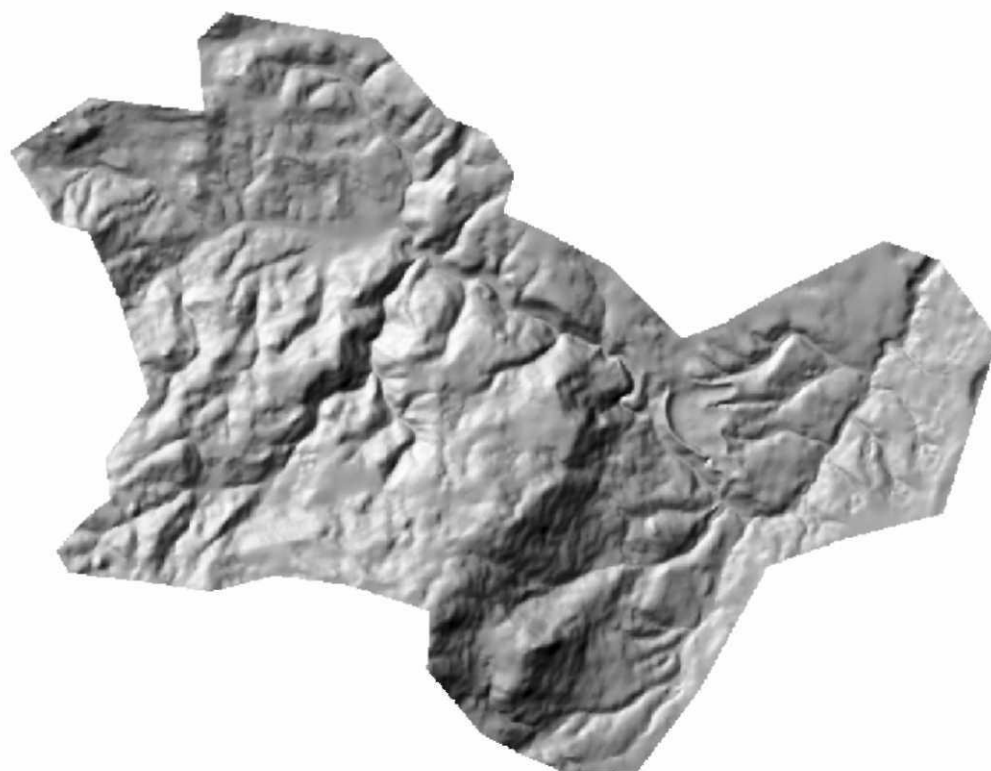
Οι παραπάνω συναρτήσεις εφαρμόστηκαν στο Ψ.Μ.Ε. και φαίνονται στα σχήματα 4.9 , 4.10 , 4.11 :



Σχήμα 4.9 Όψη (aspect) της περιοχής μελέτης



Σχήμα 4.10 Κλίσεις (slope) της περιοχής μελέτης



Σχήμα 4.11 Σκίαση αναγλύφου (hillshade) της περιοχής μελέτης

4.2.4 Υπολογισμός των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής

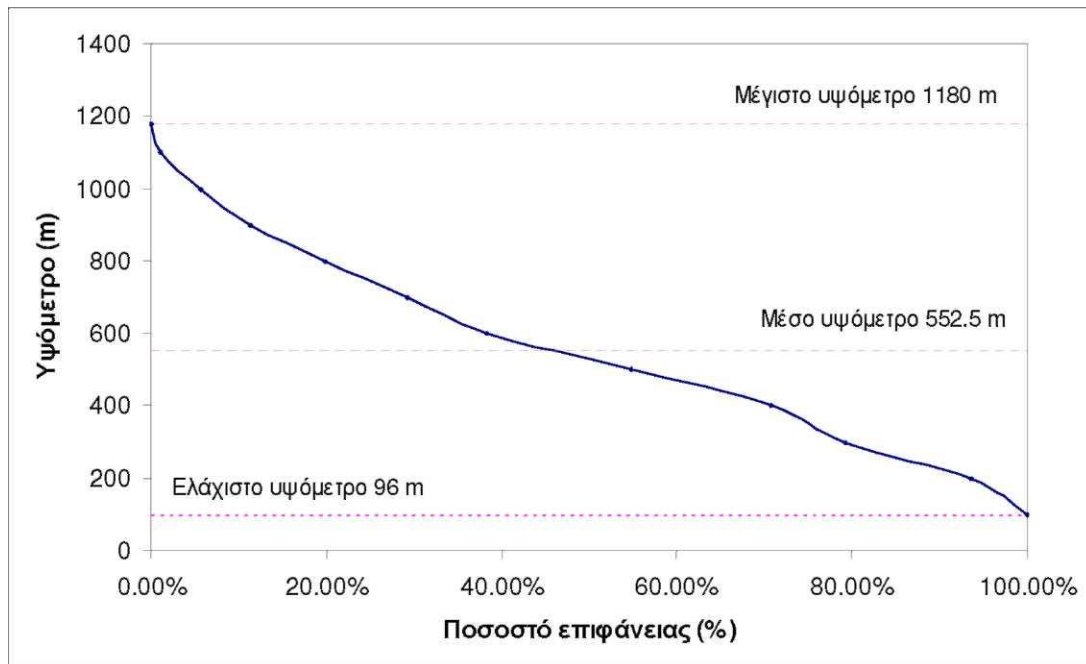
Με βάση τις παραπάνω επεξεργασίες μπορούμε να υπολογίσουμε και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Η έκταση της λεκάνης υπολογίστηκε ίση με 51.64 km². Το μέγιστο, ελάχιστο και μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1180 m, 96 m και 552.5 m αντίστοιχα. Η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης δίνεται στο Σχήμα 4.12. Το μήκος του κύριου κλάδου του χειμάρρου Ταβερώνα μέχρι τη θέση του φράγματος είναι 15.62 km και η μηκοτομή του δίνεται στο Σχήμα 4.13. Η κλίση του κύριου κλάδου του χειμάρρου είναι σχετικά ήπια για το μεγαλύτερο μήκος του ενώ στα τελευταία 5 km προς τα ανάντη η κλίση μεγαλώνει σημαντικά.

Οι κλίσεις του εδάφους είναι σημαντικές σε ορισμένα σημεία και κυμαίνονται μεταξύ 0 - 60% με μέση κλίση 17%. Η γεωλογία της περιοχής περιλαμβάνει σχηματισμούς Υψηλής, Μέτριας και Χαμηλής υδροπερατότητας σε ποσοστά 52.1%, 13% και 34.9% αντίστοιχα. Τα πετρώματα υψηλής υδροπερατότητας που καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό είναι Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες. Τα πετρώματα μέτριας υδροπερατότητας αποτελούνται από κροκαλολατυποπαγείς σχηματισμούς και τέλος τα χαμηλής υδροπερατότητας πετρώματα αποτελούνται κυρίως από Μαργαϊκούς σχηματισμούς. Περαιτέρω ανάλυση γίνεται στο κεφάλαιο 5 που αφορά την γεωλογία της περιοχής μελέτης.

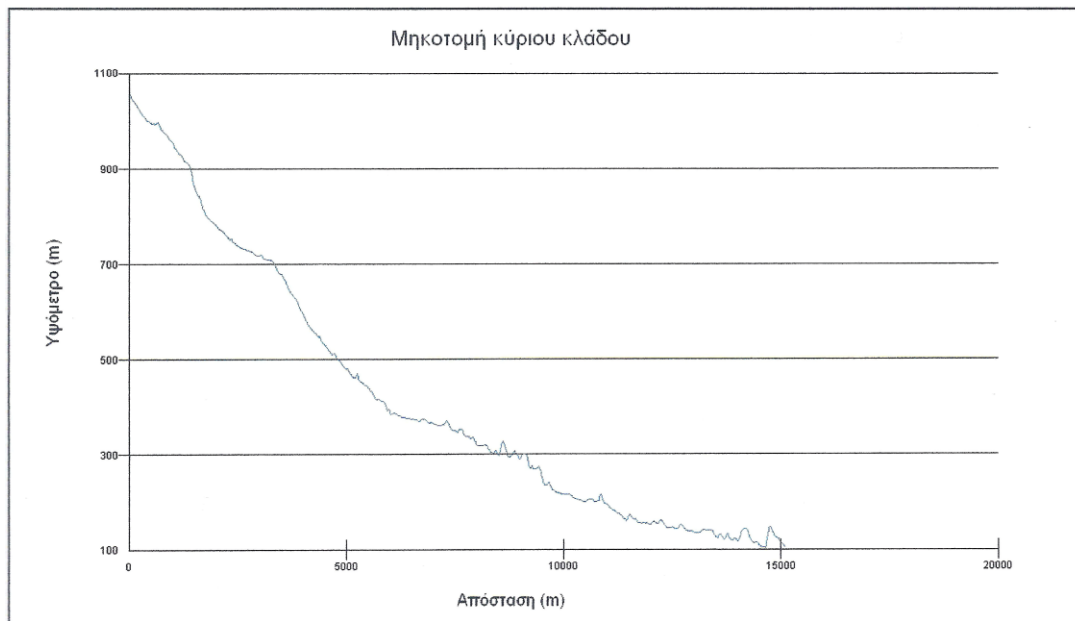
Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής φαίνονται συνοπτικά παρακάτω, στον Πίνακα 4.4:

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ		
Εμβαδόν Sa	51.64	km ²
Περίμετρος Pa	35.67	km
Δείκτης κυκλικότητας Ec	0.51	
Δείκτης συμπαγούς Ec'	1.40	
Μέσο Υψόμετρο λεκάνης	552.50	m
Ελάχιστο Υψόμετρο λεκάνης	96.00	m
Μέγιστο Υψόμετρο λεκάνης	1180.00	m
Μέση κλίση λεκάνης	17.00	%
Συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου ΣLa	89.15	km
Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	1.73	

Πίνακας 4.4 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής



Σχήμα 4.12 Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής



Σχήμα 4.13 Μηκοτομή του κύριου κλάδου του Ταβερώνα ανάντη της προτεινόμενης θέσης του φράγματος

Σχήμα 4.13 Μηκοτομή του κύριου κλάδου του

4.2.5 Υπολογισμός επιφανειακής βροχόπτωσης με την χρήση G.I.S.

Το λογισμικό ARCGIS 9.0 δίνει την δυνατότητα υπολογισμού επιφανειακών μεγεθών από σημειακά χρησιμοποιώντας διάφορες συναρτήσεις παρεμβολής (interpolation).

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι IDW, Spline, Kriging, Μέθοδος Ισοϋέτιων καμπυλών και η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen. Τα γεωγραφικά επίπεδα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης είναι:

- Το επίπεδο των βροχομετρικών σταθμών με την υψομετρική πληροφορία (μέσες υπερετήσιες βροχοπτώσεις)
- Τα όρια της λεκάνης απορροής (χρησιμοποιούνται απλά για λόγους βέλτιστης οπτικοποίησης του αποτελέσματος)

Η κατανομή των βροχομετρικών σταθμών στο χώρο δίνεται στο Σχήμα 4.14:



Σχήμα 4.14 Θέση των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης

Ο υπολογισμός έγινε για τις μέσες υπερετήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών που βρίσκονται γύρω από τη λεκάνη απορροής και η ανάλυση της κάθε μεθόδου δίνεται παρακάτω.

IDW (Inverse Distance Weighted)

Η συνάρτηση υπολογίζει την επιφανειακή βροχόπτωση σε κάθε κελί του κανάβου ορίζοντας ως βάρος για κάθε σταθμό το αντίστροφο της απόστασης του σταθμού από το κελί. Η παρεμβολή γίνεται με βάση τη σχέση:

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_2 + \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_N$$

όπου:

h η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη

N ο αριθμός των σημείων που συμμετέχουν

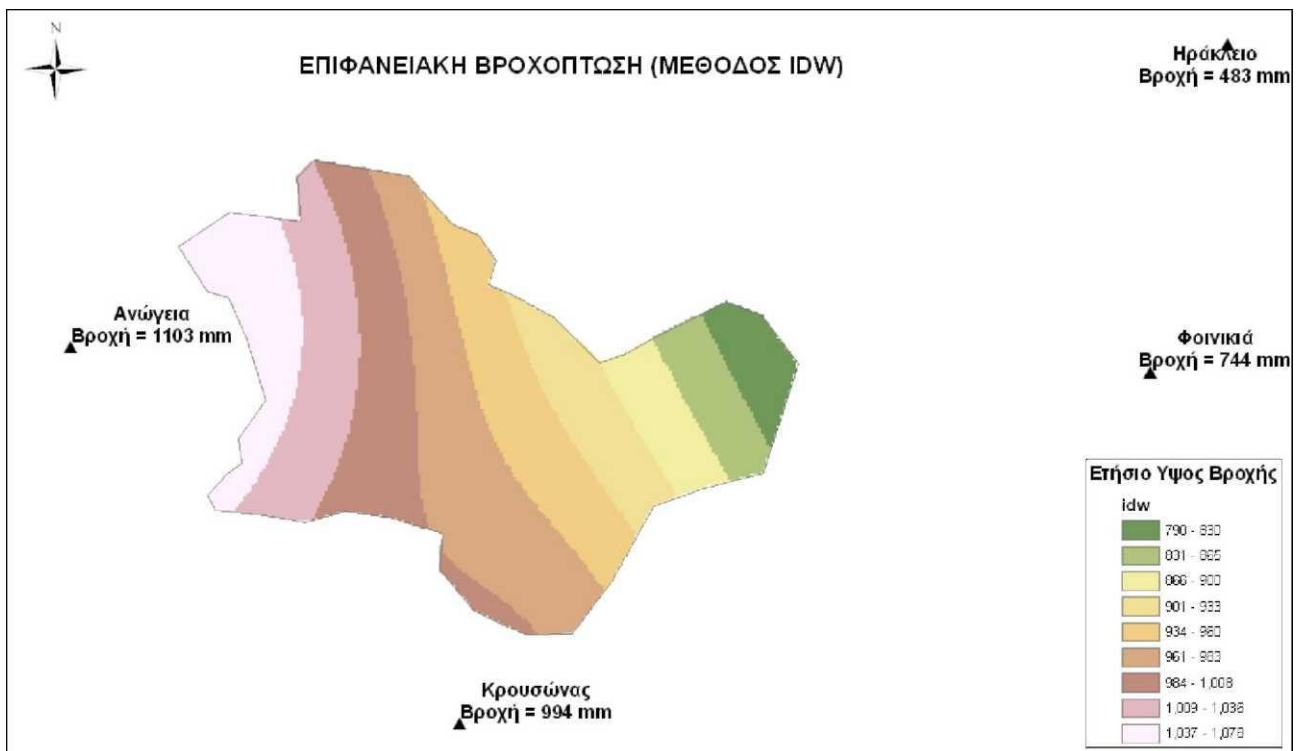
h1, h2, h3, ..., hN οι σημειακές μετρήσεις στα σημεία 1, 2, 3

d1, d2, d3, ..., dN οι αποστάσεις του κυττάρου από τα σημεία 1, 2, 3

k ο συντελεστής επιρροής της απόστασης

Η τιμή του εκθέτη k συνήθως λαμβάνεται 1 ή 2 [Dingman, 1994].

Στο Σχήμα 4.15 φαίνεται η εκτίμηση της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο **IDW**:



Σχήμα 4.15 Εκτίμηση της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο

Spline (Πολυωνυμικές εκφράσεις)

Η βασική μορφή της πολυωνυμικής παρεμβολής θεωρεί ότι ισχύουν οι εξής συνθήκες:

- Η επιφάνεια περνάει από τα σημεία δεδομένων (ακριβής παρεμβολή).
- Η επιφάνεια πρέπει να έχει την ελάχιστη καμπυλότητα. Το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων των δευτέρου βαθμού όρων της επιφάνειας, που περνάει από τα γνωστά σημεία, πρέπει να είναι ελάχιστο.

Η μέθοδος διασφαλίζει μια ομαλή επιφάνεια, ταυτόχρονα με συνεχείς πρώτου βαθμού επιφάνειες. Η μέθοδος εφαρμόστηκε με την επιλογή TENSION η οποία διαφοροποιεί το κριτήριο ελαχιστοποίησης έτσι ώστε οι όροι πρώτου βαθμού να ενσωματωθούν. Η συνάρτηση Spline δίδεται από την παρακάτω έκφραση για την παρεμβολή:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j)$$

όπου

$$j = 1, 2, \dots, N$$

N ο αριθμός των σημείων,

λ , συντελεστές που προκύπτουν από την επίλυση ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων

r_j η απόσταση από το σημείο (x,y) στο j σημείο,

οι συναρτήσεις T(x,y) και R^{\circledast} δίδονται ανάλογα με την επιλογή Regularized ή Tension.

Για την επιλογή REGULARIZED :

$$T(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y$$

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\phi^2} \left[\ln\left(\frac{r\phi}{2}\right) + c + K_0(r\phi) \right]$$

Για την επιλογή TENSION :

$$T(x, y) = a_1$$

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \right\}$$

όπου

τ^2 και ϕ^2 οι παράμετροι που δίδονται στη γραμμή εντολών

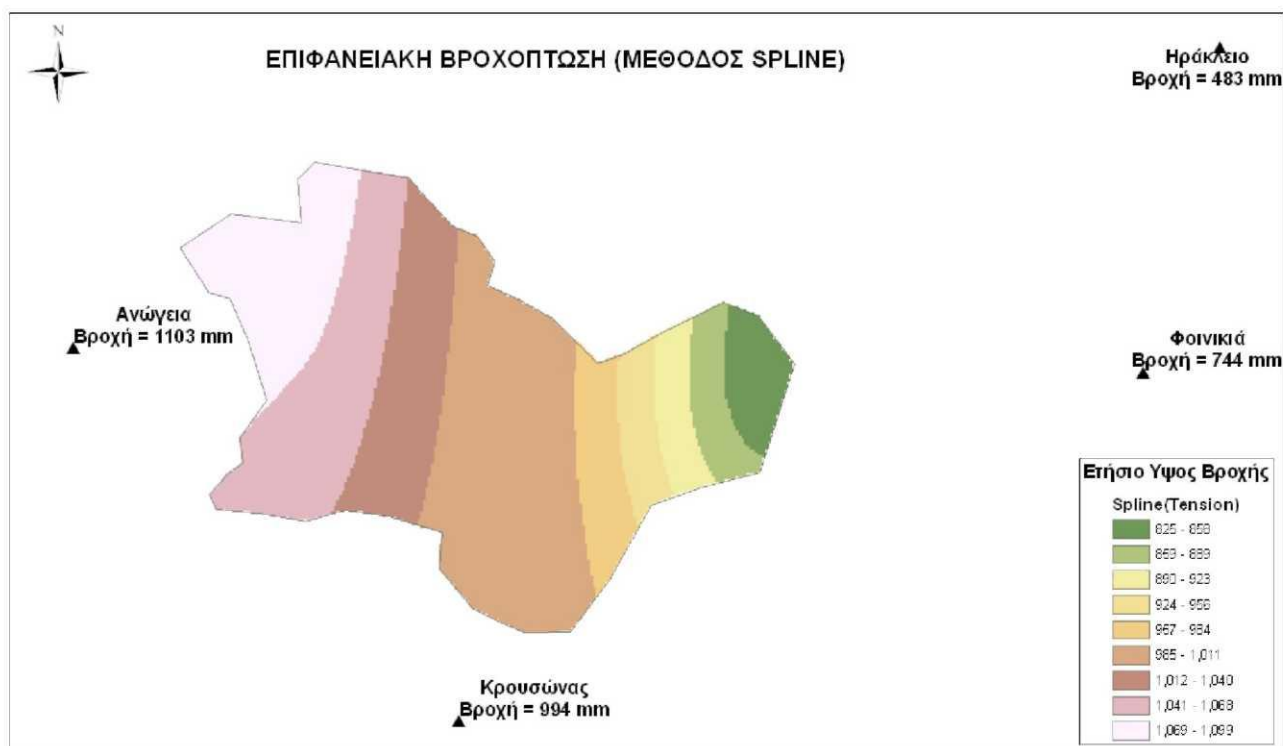
r η απόσταση μεταξύ ενός σημείου και του δείγματος

K_0 η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel

c σταθερά ίση με 0.577215.

a_i συντελεστές που προκύπτουν από την επίλυση ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων.

Στο Σχήμα 4.16 φαίνεται η εκτίμηση της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο Spline



Σχήμα 4.16 Εκτίμηση της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο Spline

Kriging (Μέθοδος Βέλτιστης Παρεμβολής)

Η μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής θεωρεί τη μεταβολή της μεταβλητής ως τυχαία, εκφράζει την άγνωστη τιμή στο τυχόν σημείο ως γραμμική έκφραση των γνωστών τιμών στις θέσεις των σταθμών και χρησιμοποιεί τη στατιστική μεθοδολογία προκειμένου να εκτιμήσει τους συντελεστές της γραμμικής έκφρασης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφορες παραλλαγές της μεθόδου: Ordinary-simple kriging: Η πλέον διαδεδομένη μορφή, έχει τις παρακάτω παραδοχές: (α) η μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή, (β) η εκτίμηση είναι αμερόληπτη, (γ) μονιμότητα δευτέρου βαθμού. (δ1) ο τοπικός μέσος είναι γνωστός (simple), ή (δ2) ο τοπικός μέσος είναι άγνωστος (ordinary).

Neighbourhood kriging: Αν και η τοπική μέση τιμή και διασπορά είναι σταθερές σε όλη την περιοχή (υποθέσεις μονιμότητας και ισότροπου πεδίου), στις περισσότερες εφαρμογές τα δεδομένα περιέχουν τοπικές διακυμάνσεις. Για το λόγο αυτό στην εκτίμηση της άγνωστης τιμής συμμετέχουν τα κοντινότερα σημεία ή αυτά που περιλαμβάνονται στη γύρω περιοχή.

Block kriging: Αντιμετωπίζει την ολοκλήρωση των εκτιμημένων τιμών σε μεγαλύτερες περιοχές.

Universal kriging: Εφαρμόζεται στην περίπτωση που τα δεδομένα περιέχουν τάση (trend).

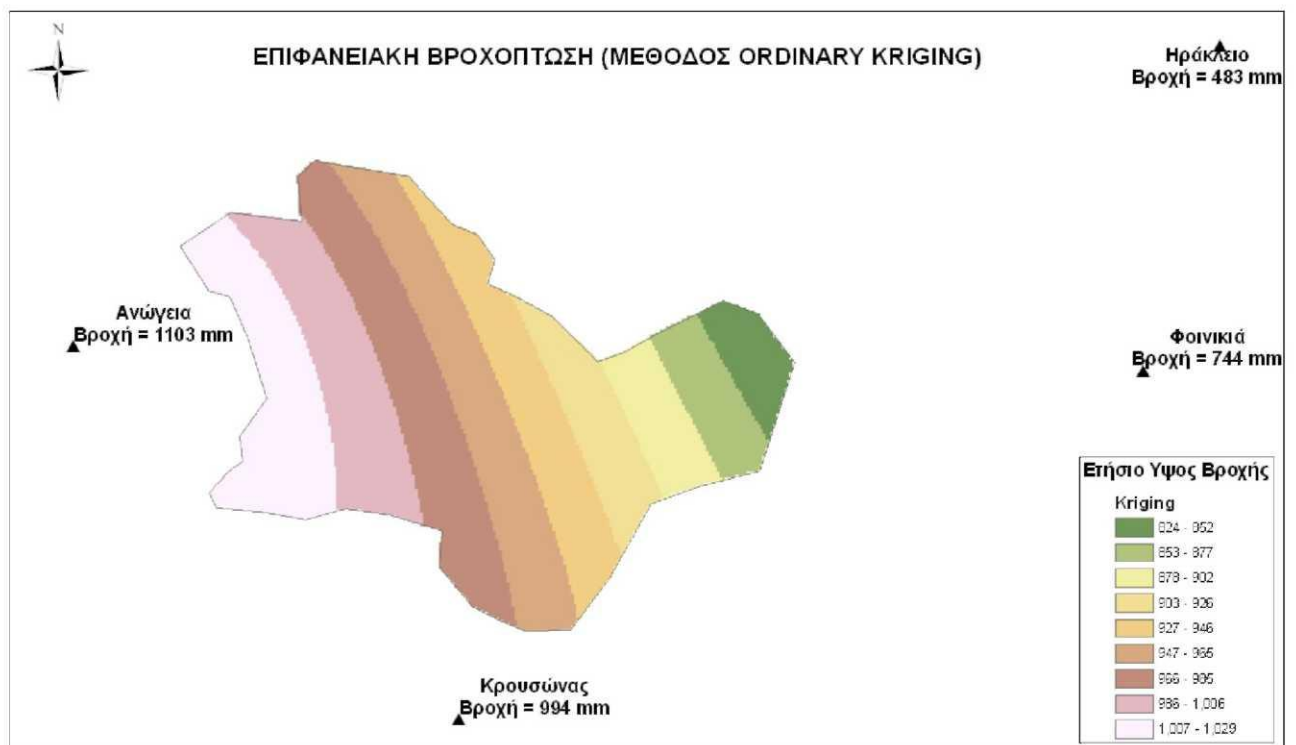
Disjunctive kriging: Υπολογίζει για κάθε εκτίμηση και την πιθανότητα η αληθινή

τιμή να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

Cokriging: Η εκτίμηση με το κανονικό kriging βελτιώνεται σημαντικά όταν η μεταβλητή που εξετάζεται συνδέεται με κάποια άλλη μεταβλητή για την οποία υπάρχουν μετρήσεις.

Space time kriging: Σχετίζεται με την εισαγωγή της χρονικής διάστασης των δεδομένων.

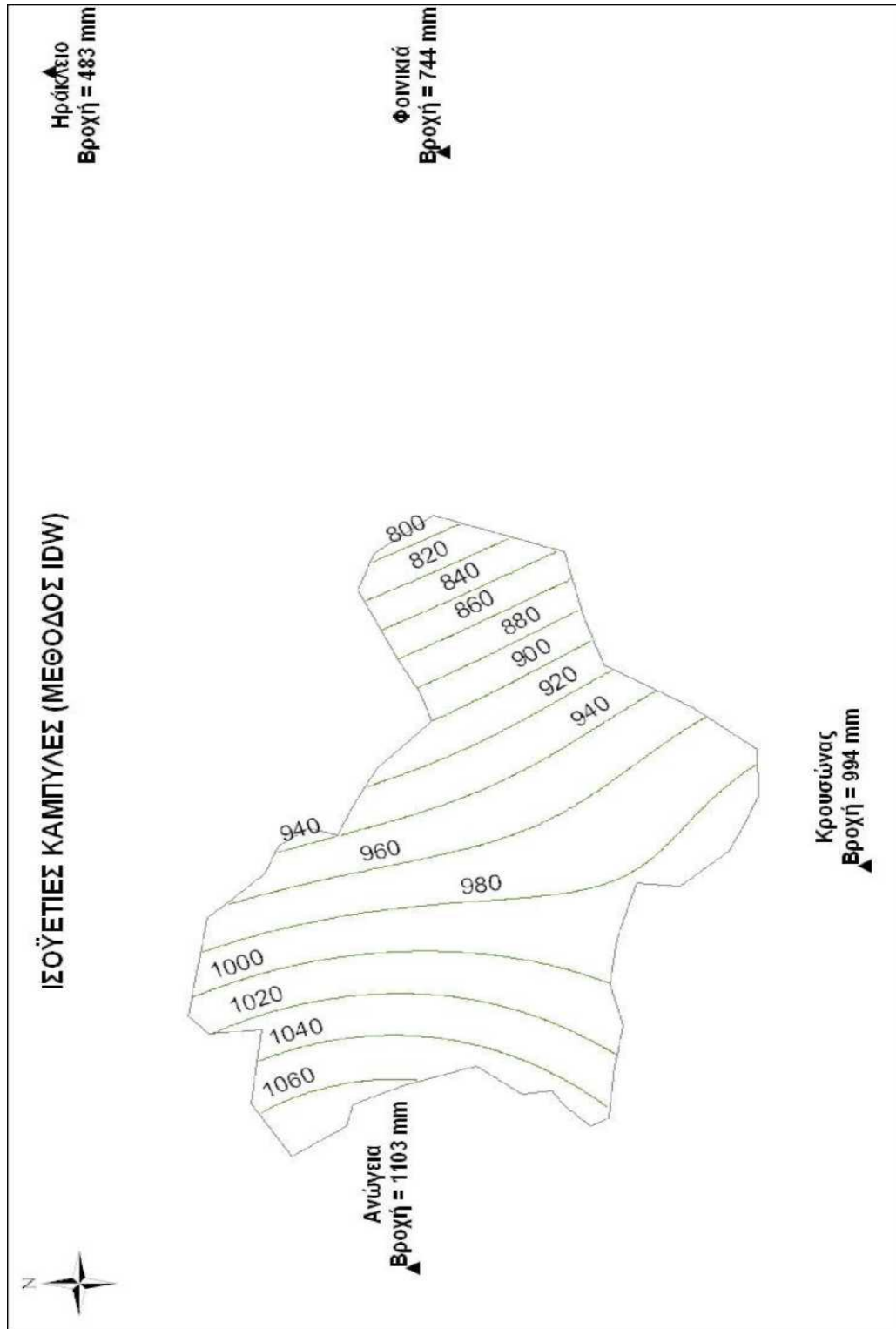
Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η Ordinary kriging και το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 4.17:



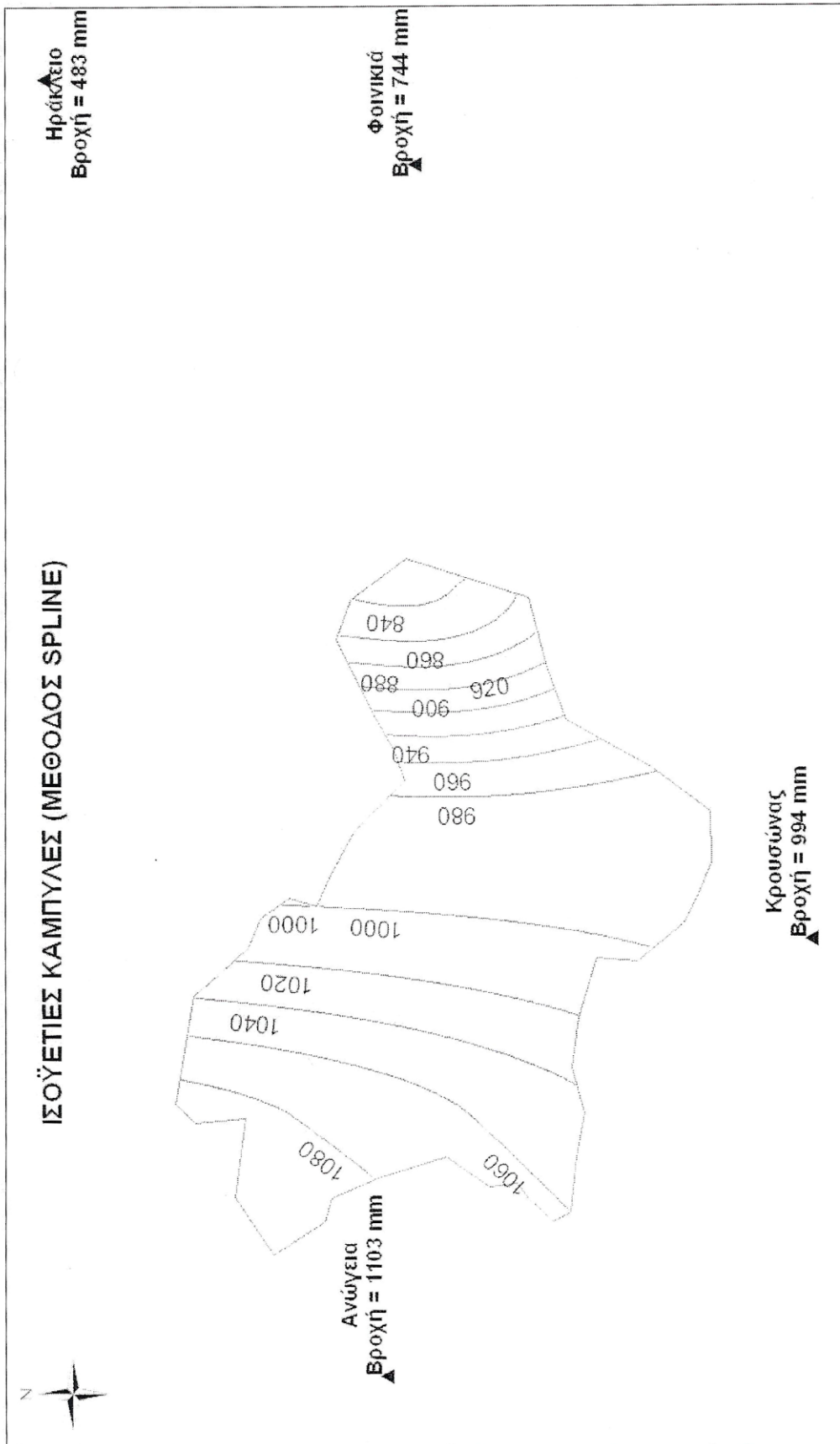
Σχήμα 4.17 Εκτίμηση της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο Ordinary Kriging.

Μέθοδος Ισοϋέτιων Καμπυλών

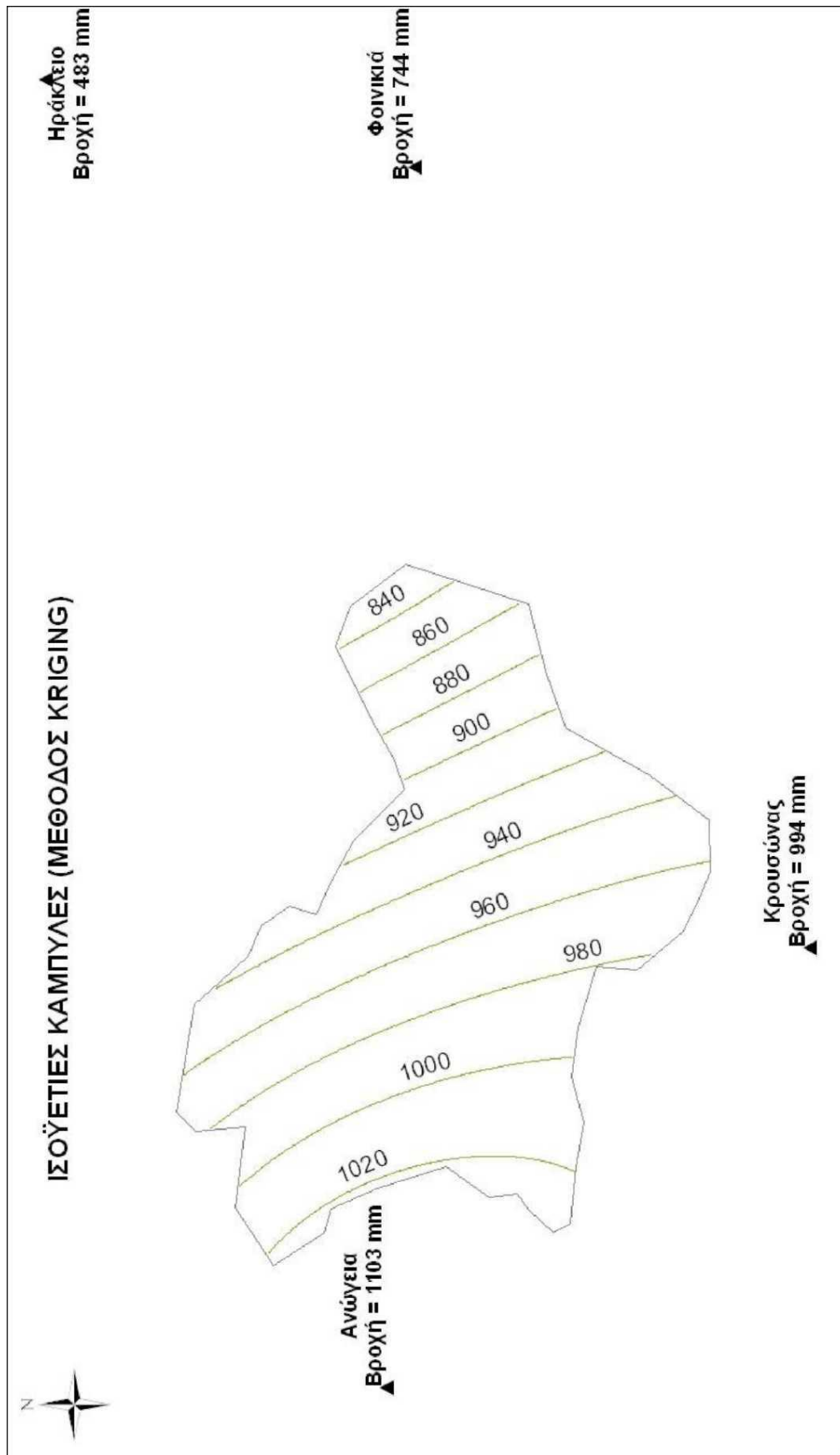
Η μέθοδος των ισοϋέτιων καμπυλών βασίζεται σε μια από τις τρεις παραπάνω μεθόδους παρεμβολής (IDW, Spline, Kriging) και αποδίδει την επιφανειακή βροχόπτωση με καμπύλες ίσου ύψους βροχής. Ακολουθούν τα Σχήματα 4.18, 4.19, 4.20 όπου φαίνονται οι ισοϋέτιες καμπύλες για κάθε μέθοδο.



Σχήμα 4.18 Ισοϋέτιες καμπύλες (Μέθοδος IDW)



Σχήμα 4.19 Ισοϋέτιες καμπύλες (Μέθοδος *Spline*)



Σχήμα 4.20 Ισοϋέτιες καμπύλες (Μέθοδος **Kriging**)

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

Η μέθοδος πολυγώνων Thiessen επιτρέπει τον υπολογισμό της μέσης επιφανειακής βροχής για ανομοιόμορφη κατανομή σταθμών και μη επίπεδες επιφάνειες. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, οι σταθμοί εντός και εκτός της λεκάνης συνδέονται με ευθείες γραμμές. Στη συνέχεια σύρονται οι μεσοκάθετοι σε αυτές τις συνδετικές γραμμές οι οποίες σχηματίζουν πολύγωνα γύρω από κάθε σταθμό. Η επιφάνεια επιρροής του κάθε σταθμού είναι η επιφάνεια του αντίστοιχου πολυγώνου και ορίζεται σαν ποσοστό a_j της συνολικής έκτασης της λεκάνης. Η ζυγισμένη μέση τιμή (στο χρόνο t)

βροχής P_t των σταθμών $j=1, \dots, n$ υπολογίζεται στην συνέχεια ως:

$$\tilde{p}_t = \sum_{j=1}^n a_j * p_{t,j}$$

όπου P_j η σημειακή βροχή στον σταθμό j .

Στη συνέχεια η τιμή P_t διορθώνεται για τη μεταβολή της βροχής με το υψόμετρο.

Η τιμή \tilde{p}_t αναφέρεται στο μέσο υψόμετρο των σταθμών (ζυγισμένος μέσος των υψομέτρων των σταθμών με βάρος το a_j) και πρέπει να μεταφερθεί στο υψομετρικό κέντρο βάρους της λεκάνης. Πολλαπλασιάζεται με τον παρακάτω συντελεστή:

$$\lambda = \frac{\tilde{p}_t + \mu \Delta h}{\tilde{p}_t}$$

όπου μ η βροχομετρική βαθμίδα και Δh η διαφορά μεταξύ του ζυγισμένου μέσου υψομέτρου των σταθμών (μέσο υψόμετρο καταγραφής) και του πραγματικού μέσου υψομέτρου της λεκάνης. Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της βροχομετρικής βαθμίδας.

Βροχομετρική βαθμίδα

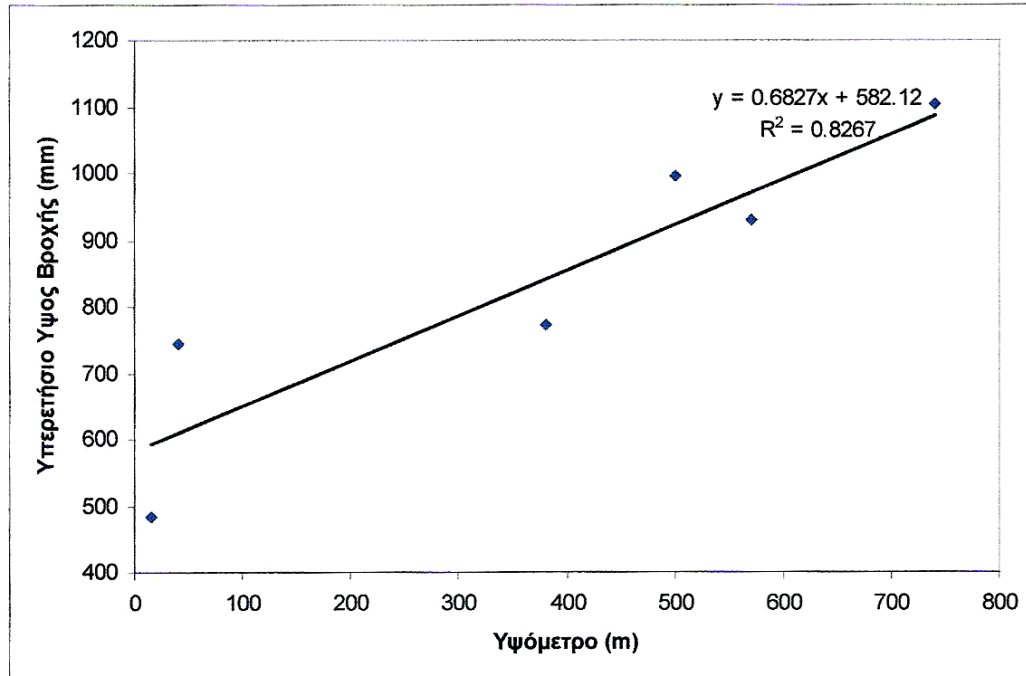
Για το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής υπολογίστηκαν οι υπερετήσιες τιμές βροχόπτωσης. Επίσης για λόγους πληρότητας συμπεριλήφθηκαν και οι σταθμοί Αγ.Βαρβάρα και Πρ.Ηλίας.

Για την διαμόρφωση της σχέσης βροχής - υψόμετρου χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο ύπαρξης τουλάχιστον 10 ετήσιων τιμών στο αρχείο ιστορικών βροχοπτώσεων κάθε σταθμού. Τα μέσα υπερετήσια ύψη βροχής και το υψόμετρο των σταθμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5:

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Ύψος Βροχής (mm)
ΑΝΩΓΕΙΑ	740	1102.7
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	500	994.3
ΦΟΙΝΙΚΙΑ	40	744.1
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	15	483.3
ΑΓ.ΒΑΡΒΑΡΑ	570	928.9
ΠΡ.ΗΛΙΑΣ	380	772.1

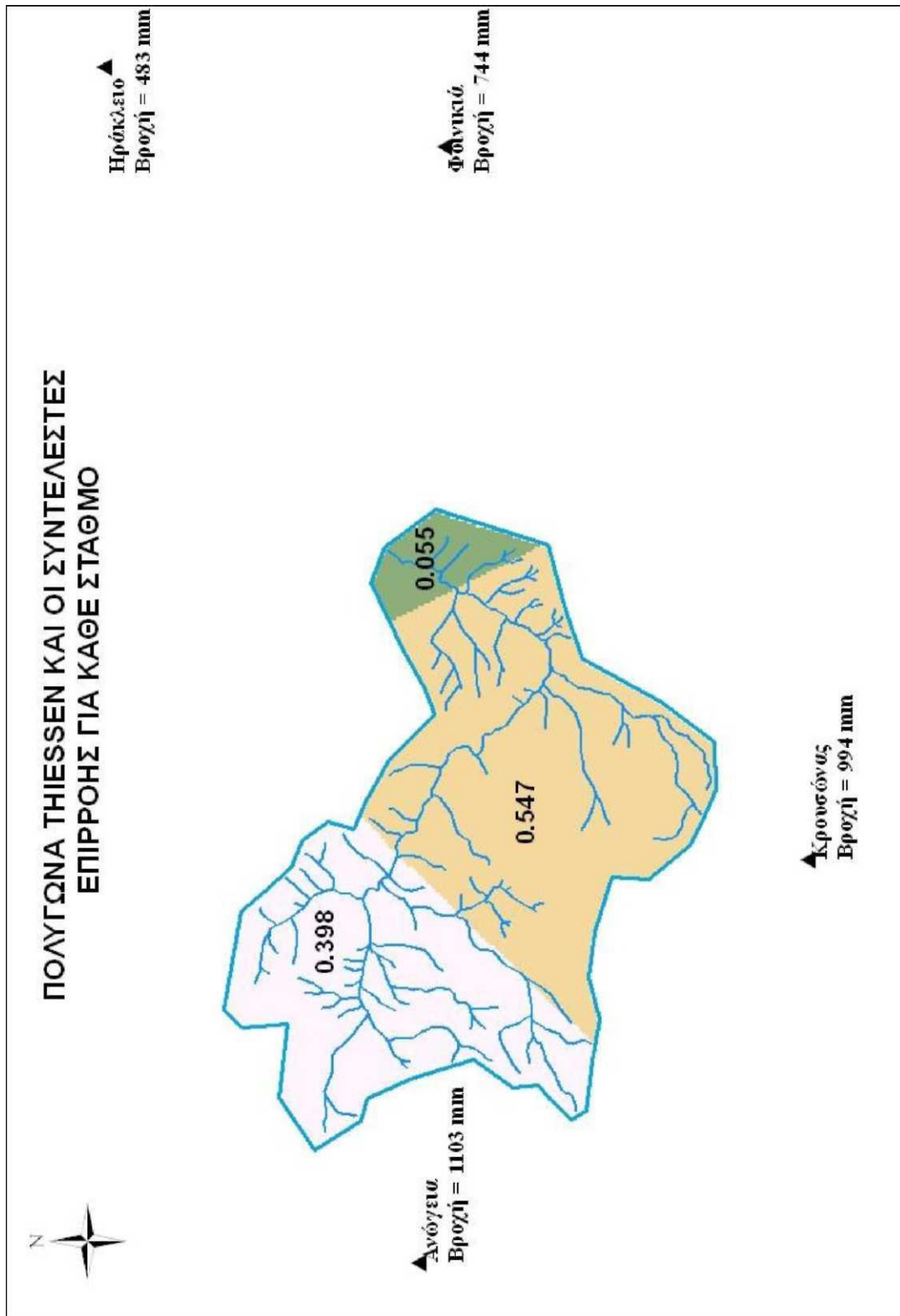
Πίνακας 4.5 Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής και υψόμετρο των σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Με γραμμική συσχέτιση των υπερετήσιων βροχοπτώσεων και των υψομέτρων των αντίστοιχων σταθμών μέτρησης προέκυψε η μέση αύξηση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο: 0.68 (mm/m), η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.21:



Σχήμα 4.21 Συσχέτιση βροχοπτώσεων με το υψόμετρο

Τα πολύγωνα Thiessen και οι συντελεστές επιρροής κάθε σταθμού φαίνονται στο Σχήμα 4.22:



Σχήμα 4.22 Πολύγωνα Thiessen και οι συντελεστές επιρροής κάθε σταθμού

Στον Πίνακα 4.6 φαίνεται η διαδικασία υπολογισμού της επιφανειακής βροχόπτωσης και η διόρθωση λόγω υψομέτρου:

1.Υπολογισμός αρχικής επιφανειακής βροχόπτωσης			
Σταθμός	Συντελεστές Thiessen	Βροχόπτωση (mm)	Επιφανειακή Βροχόπτωση (mm)
ΦΟΙΝΙΚΙΑ	0.055	744.1	41.06
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	0.547	994.3	544.13
ΑΝΩΓΕΙΑ	0.398	1102.7	438.40
		Άθροισμα	1023.59
2.Υπολογισμός μέσου σταθμισμένου υψομέτρου			
Σταθμός	Συντελεστές Thiessen	Υψόμετρο (m)	Μέσο σταθμισμένο υψόμετρο (m)
ΦΟΙΝΙΚΙΑ	0.055	40	2.21
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	0.547	500	273.62
ΑΝΩΓΕΙΑ	0.398	740	294.20
		Άθροισμα	570.03
3. Υπολογισμός τελικής επιφανειακής βροχόπτωσης			
Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	Μέσο σταθμισμένο υψόμετρο (m)	Βροχοβαθμίδα (mm/m)	Ανηγμένη επιφανειακή βροχόπτωση (mm)
552.5	570.03	0.6827	1011.62

Πίνακας 4.6 Υπολογισμός επιφανειακής βροχόπτωσης με την μέθοδο Thiessen

Στον Πίνακα 4.7 φαίνεται η υπολογισμένη μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση με τις διάφορες μεθόδους:

Υπολογισμός της μέσης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με τις διάφορες μεθόδους παρεμβολής		
Μέθοδος Υπολογισμού	Επιφανειακή Βροχόπτωση (mm)	Ανηγμένη επιφανειακή βροχόπτωση (mm)
IDW	1078.00	1078.00
SPLINE	1098.00	1098.00
KRIGING	1029.00	1029.00
THIESSEN	1024.00	1011.62

Πίνακας 4.7 Σύγκριση μεθόδων υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω Πίνακα 4.7 οι μέθοδοι παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκαν δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν τελικά για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου ήταν αυτά της μεθόδου πολυγώνων Thiessen μιας και είναι η πλέον διαδεδομένη και αποδεκτή μέθοδος για υδρολογικές εφαρμογές.

5. ΠΗΓΗ ΑΛΜΥΡΟΥ - ΗΜΕΡΕΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

5.1 Γενικά στοιχεία

5.1.1 Περιγραφή της πηγής

Η πηγή του Αλμυρού εμφανίζεται στην βάση της απόκρημνης ασβεστολιθικής πλαγιάς του ρήγματος του Αλμυρού, το οποίο διαχωρίζει το ύψωμα της Κέρης από την νεογενή λεκάνη του Ηρακλείου. Η πηγή βρίσκεται 8 km ανατολικά του Ηρακλείου και 1 km περίπου από την παραλία.

Το νερό αναβλύζει μέσα από ένα κατακόρυφο χοανοειδές άνοιγμα, διαμέτρου 50 m περίπου. Σε περιόδους υψηλών παροχών εμφανίζεται μία δευτερεύουσα έξοδος νερού, στην πλευρά των βράχων, που ονομάζεται «βενετικό σπήλαιο ή παράθυρο». Το επίπεδο του νερού βρισκόταν μέχρι το 1977 σε υψόμετρο 2 - 3 m και ρυθμιζόταν από ένα μικρό φράγμα. Μετά το 1977, και την δημιουργία μεγαλύτερου φράγματος, η ρύθμιση της στάθμης του νερού γίνεται σε υψόμετρο μεταξύ 3 και 10 m περίπου. Η παροχή της πηγής σε υφάλμυρο νερό κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 50 m³/sec με μέση ημερήσια παροχή 7 - 8 m³/sec. Το νερό είναι υφάλμυρο κατά την μεγαλύτερη περίοδο του έτους, λόγω ανάμιξης του νερού του υδροφορέα με νερό της θάλασσας. Η περιεκτικότητα του νερού σε χλωριόντα μεταβάλλεται ετησίως από 6000 έως 20 ppm και είναι αντιστρόφως ανάλογη της παροχής της πηγής, όταν η τελευταία είναι μικρότερη από 12 m³/sec.

5.1.2 Φαράγγι και υγρότοπος Αλμυρού

Το υγροτοπικό σύστημα του Αλμυρού αποτελείται από μια πηγή με σημαντική παροχή υφάλμυρου νερού, από ένα φράγμα που συλλέγει το υφάλμυρο νερό της πηγής και από ένα ποταμό μόνιμης ροής ο οποίος μεταφέρει το νερό σε μια απόσταση 1100 - 1200 m μέχρι τη θάλασσα. Στις εκβολές του ποταμού σχηματίζεται δέλτα. Η ακτή στα πλάγια της εκβολής είναι αμμώδης με λίγους αμμόλοφους. Στο παρελθόν, ανάμεσα στους δύο βραχίονες του δέλτα υπήρχε ένα έλος σε αρκετά καλή κατάσταση, το οποίο όμως σήμερα έχει αισθητά περιοριστεί και υποβαθμιστεί λόγω της τουριστικής δραστηριότητας στην περιοχή. Στην παραλία του Αλμυρού λειτουργεί ο υποσταθμός της ΔΕΗ Ηρακλείου ο οποίος χρησιμοποιεί το νερό του ενός κλάδου του δέλτα του ποταμού (βλ. Φωτ. 3.1) . Επάνω από τον υγρότοπο του Αλμυρού στην είσοδο του φαραγγιού υπάρχει μια συστάδα φοινίκων.

Το υδρολογικό σύστημα του Αλμυρού (πηγή, έλος, ποτάμι και δέλτα) μαζί με το φαράγγι του Αλμυρού αποτελούν μια τοποθεσία πολύ σημαντική για την Κρήτη για τους παρακάτω λόγους:

1. εξαιτίας του περιορισμένου γενικά αριθμού σωμάτων επιφανειακών νερών στην Κρήτη,
2. εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας βιοτόπων σε μια μικρή σχετικά έκταση,
3. εξαιτίας της παρουσίας πολλών ενδημικών και σπάνιων ειδών της χλωρίδας, καθώς και της παρουσίας του φοίνικα. Επίσης η πανίδα των ερπετών και των αμφιβίων είναι πλούσια,
4. εξαιτίας της σπουδαιότητας της περιοχής για τα μεταναστευτικά πουλιά και την αναπαραγωγή των παρυδάτιων πουλιών.
5. Ένα είδος θηλαστικού και τα σημαντικά αμφίβια και ερπετά της περιοχής καθώς και ένα είδος χλωρίδας προστατεύονται από την ελληνική Νομοθεσία

(Π.Δ. 67/81). Οι βιότοποι στο Δέλτα του Αλμυρού ποταμού και οι αμμόλοφοι στην παραλία έχουν υποβαθμιστεί πολύ εξαιτίας του υποσταθμού της ΔΕΗ και της τουριστικής δραστηριότητας στην περιοχή. Αυτοί οι δύο παράγοντες πρέπει να τεθούν υπό έλεγχο. Το κυνήγι, η βόσκηση και η οικοδομική δραστηριότητα πρέπει επίσης να τεθούν υπό έλεγχο καθώς προκαλούν πιέσεις στα οικοσυστήματα του Αλμυρού.

5.2 Λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού



Φωτ. 3.1 Ο υδροβιότοπος του Αλμυρού ποταμού και ο σταθμός της ΔΕΗ

Η έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου ανέρχεται σε 200 km². Μέσα στην έκταση αυτή περιλαμβάνεται φυσικά και το υποσύστημα της Τυλίσου και της Κέρης.

Η θερμοκρασία του νερού των υδροφορέων Τυλίσου και Κέρης είναι σταθερή 19 - 20 °C, ενώ του Αλμυρού είναι μεταβαλλόμενη μεταξύ 14 - 16 °C. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το νερό των υδροφορέων Τυλίσου - Κέρης, πριν φθάσει στην πηγή του Αλμυρού, αναμιγνύεται με μεγάλες ποσότητες ψυχρότερου νερού, με αποτέλεσμα το μίγμα να έχει την παρατηρούμενη στην πηγή θερμοκρασία. Το ψυχρότερο νερό πρέπει να ανήκει σε ένα υδροφορέα του Ψηλορείτη, που έχει θερμοκρασία 13.5 έως 14.0 °C και παροχή περίπου 2.5 έως 4.5 φορές μεγαλύτερη από την παροχή του υδροφορέα της Τυλίσου - Κέρης, ώστε από την ανάμιξη να προκύπτει το νερό της πηγής του Αλμυρού. Ο ευρύτερος αυτός υδροφορέας, ονομάζεται (βλ. Κ. Μπεζές, 1992) υδροφορέας της Ίδης και περιλαμβάνεται στο καρστικό υποσύστημα της Ίδης.

Το καρστικό υποσύστημα της Ίδης, εκτός του ότι έχει μεγαλύτερη λεκάνη

τροφοδοσίας από το σύστημα της Τυλίσου (περίπου 160 km² έναντι 40 km² της Τυλίσου, όπως προκύπτει από τις παραπάνω αναλογίες), εμφανίζει και ταχύτερη κυκλοφορία. Έτσι, στην διάρκεια του έτους το νερό της Ίδης παρουσιάζει διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του, που εκδηλώνονται στην πηγή του Αλμυρού, κατά την εποχή τήξης των χιονιών του Ψηλορείτη.

Ο υδροφορέας της Ίδης, με την χαμηλή θερμοκρασία νερού, δεν έχει εντοπισθεί μέχρι σήμερα από τις γεωτρήσεις, που έχουν κατασκευασθεί στην περιοχή Τυλίσου - Κέρης. Είναι πολύ πιθανό να βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και να περιέχεται μέσα στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης, που υπόκεινται των ασβεστολίθων της ζώνης της Τρίπολης και των φυλλιτών.

Σύμφωνα με παλιότερη μελέτη (βλ. Κ. Μπεζές, 1992), επιβεβαιώνεται εμμέσως η ύπαρξη του υδροφορέα της Ίδης από την ανωμαλία (υπερύψωση στο διπλάσιο απόλυτο υψόμετρο) της πιεζομετρίας στην περιοχή γεωτρήσεων της περιοχής. Κατά την γνώμη του μελετητή Κ. Μπεζέ, στην περιοχή συγκεκριμένης γεώτρησης (βλ. Κ. Μπεζές, 1992), το νερό του υδροφορέα της Ίδης εισβάλλει στον υδροφορέα της Τυλίσου, προερχόμενο από μεγάλο βάθος, που δεν έχει ακόμη ερευνηθεί από τις γεωτρήσεις.

Εάν υποθεθεί ότι ο υδροφορέας της Ίδης αναπτύσσεται μέσα στα μάρμαρα της Ιονίου ζώνης, τότε αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή αυτή, το νερό του υδροφορέα της Ίδης, έχοντας μεγάλη πίεση, κατορθώνει να περάσει μέσα από το φυλλιτικό στρώμα, που αποτελεί το υπόβαθρο των ασβεστόλιθων της ζώνης της Τρίπολης, και να εισχωρήσει στον υδροφορέα της Τυλίσου. Η δίοδος μέσα από το φυλλιτικό στρώμα είναι πιθανόν να έχει διευκολυνθεί, είτε από το γεγονός ότι οι φυλλίτες έχουν πολύ μικρό πάχος στην περιοχή, είτε από την παρουσία κάποιου ρήγματος (π.χ. ρήγμα Τυλίσου ή ρήγμα Κουμπέδων).

Μετά την ανάμιξη του ψυχρού νερού της Ίδης με το θερμό νερό της Τυλίσου, το μίγμα ακολουθεί πορεία βορειοανατολική και μετά από διαδρομή 2.5 km φθάνει στην πηγή του Αλμυρού. Η διαδρομή αυτή πρέπει να γίνεται σε μεγάλο βάθος, πιθανώς από ένα περιορισμένο αριθμό αγωγών μεγάλης διατομής.

Η περιγραφή των παραπάνω φαινομένων αποκτά ιδιαίτερη σπουδαιότητα εάν συσχετισθεί με τον μηχανισμό υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού, διότι εάν αποδειχθεί ότι το ψυχρό νερό της Ίδης είναι συγχρόνως και το υφάλμυρο, που τροφοδοτεί την πηγή του Αλμυρού, τότε εξηγείται πλήρως η συμπεριφορά του Αλμυρού.

5.3 Ο μηχανισμός τροφοδοσίας και υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού

Όπως αναφέρθηκε στην παρ. 3.2, το νερό της πηγής του Αλμυρού έχει θερμοκρασία 14 - 16 °C, ενώ στον υδροφορέα της Τυλίσου, που αναπτύσσεται μέσα σε ασβεστόλιθους της ζώνης της Τρίπολης, παρατηρήθηκε σταθερή θερμοκρασία νερού 19 - 20 °C.

Η θερμοκρασία των 14 - 16 °C της πηγής του Αλμυρού είναι ελαφρά υψηλότερη από την συνηθισμένη θερμοκρασία των πηγών της Κρήτης που τροφοδοτούνται από υψηλά όρη με χιονοπτώσεις κατά τον χειμώνα. Ενδεικτικά, στον παρακάτω Πίνακα I αναφέρονται μερικές από τις θερμοκρασίες των πηγών (Ν.Ε. Κουρμούλης - Απογραφή των Καρστικών Πηγών της Ελλάδος - Κρήτη, ΙΓΜΕ, 1979).

Πίνακας Ι Απογραφή καρστικών πηγών και ενδεικτικές θερμοκρασίες των νερών

Πηγή	Θερμοκρασία (°C)
Μαλαύρα Λασιθίου	16.5
Ψυχρό Λασιθίου	14.1
Κεφαλόβρυσο Καλαμαύκας	14.2
Αλμυρός Αγ. Νικολάου	14.8
Λουτράκι Βιάννου	13.6
Αλμυρός Ηρακλείου	15.9
Φοντάνα Γέργερης	14.0
Μάτι Ζαρού	13.6
Αλμυρή Πανόρμου	14.2
Κουρταλιώτη	14.0
Αλμυρός Γεωργιούπολης	14.8
Αρμένων	11.8
Στύλου	11.7
Αγιάς Χανίων	13.4

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι εκτός του υδροφορέα Τυλίσου - Κέρης, υπάρχει και ο βαθύς και ψυχρός υδροφορέας της Ίδης, που τροφοδοτεί την πηγή του Αλμυρού.

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην παρ. 3.2 το σημείο ανάμιξης των νερών των υδροφορέων Τυλίσου και Ίδης είναι πολύ πιθανό να βρίσκεται στην περιοχή που απέχει 2.5 km νοτιοδυτικά του Αλμυρού, διότι στην ζώνη αυτή παρατηρείται σημαντική τοπική αύξηση των φορτίων, που δηλώνει είσοδο μεγάλων ποσοτήτων νερού προς τον υδροφορέα της Τυλίσου. Η εισβολή του νερού γίνεται εκ των κάτω και με μεγάλη πίεση.

Η μεγάλη πίεση που επικρατεί στον υδροφορέα της Ίδης και το μεγάλο βάθος στο οποίο βρίσκεται αυτός (αφού δεν έχει εντοπισθεί από γεωτρήσεις βάθους μεγαλύτερου των 350 m), δείχνουν ότι ο υδροφορέας αυτός αναπτύσσεται μέσα στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης. Το φυλλιτικό στρώμα που υπέρκειται των πλακωδών ασβεστόλιθων, απομονώνει μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό τους υδροφορείς Ίδης και Τυλίσου και εγκλωβίζει τον υδροφορέα της Ίδης. Το νερό του τελευταίου υδροφορέα δεν μπορεί να διαφύγει προς την θάλασσα (βορείως του Αλμυρού) με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται στο εσωτερικό του ισχυρά σχετικώς φορτία.

Η μόνη διέξοδος που υπάρχει φαίνεται ότι βρίσκεται στην προαναφερθείσα ζώνη, όπου το νερό του υδροφορέα της Ίδης τροφοδοτεί εκ των κάτω τον υδροφορέα της Τυλίσου και κατ' επέκταση την πηγή του Αλμυρού. Η χαμηλή θερμοκρασία του νερού του υδροφορέα της Ίδης οφείλεται στο μεγάλο υψόμετρο της λεκάνης

τροφοδοσίας. Υπενθυμίζεται ότι οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εκτείνονται μέχρι τις κορυφές του Ψηλορείτη (2000 - 2456 m).

Επειδή όμως η πηγή του Αλμυρού είναι, υφάλμυρη, ενώ ο υδροφορέας της Τυλίσου έχει γλυκό νερό, είναι λογικό να υποτεθεί ότι το νερό του υδροφορέα της Ίδης, εκτός από ψυχρό, είναι και υφάλμυρο, με αποτέλεσμα να προκαλεί την υφαλμύρωση, τόσο του υδροφορέα της Τυλίσου όσο και της πηγής του Αλμυρού. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από την μελέτη της εξέλιξης της υφαλμύρωσης στις γεωτρήσεις της Τυλίσου. Η υφαλμύρωση υπήρξε ένα καθολικό φαινόμενο, που εξελίχθηκε πολύ γρήγορα, ακόμη και στις γεωτρήσεις που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την πηγή του Αλμυρού. Η εξέλιξη αυτή δείχνει ότι η πηγή του υφάλμυρου νερού βρισκόταν πολύ κοντά στις γεωτρήσεις, πιθανότατα κάτω από αυτές, πριν ακόμη αρχίσουν οι αντλήσεις. Με την έναρξη των αντλήσεων το υφάλμυρο νερό μετακινήθηκε προς τα επάνω, επηρεάζοντας όλες τις γεωτρήσεις. Στην πηγή του Αλμυρού οι μεταβολές της αλατότητας και της θερμοκρασίας γίνονται με μεγάλη ταχύτητα, της τάξης μερικών ωρών. Μετά την διατύπωση των παραπάνω υποθέσεων, σχετικά με την ανάμιξη των νερών των υδροφόρων οριζόντων Τυλίσου και Ίδης, πρέπει να διερευνηθεί εάν αυτές επιβεβαιώνονται από τα παρατηρούμενα στην πηγή φαινόμενα.

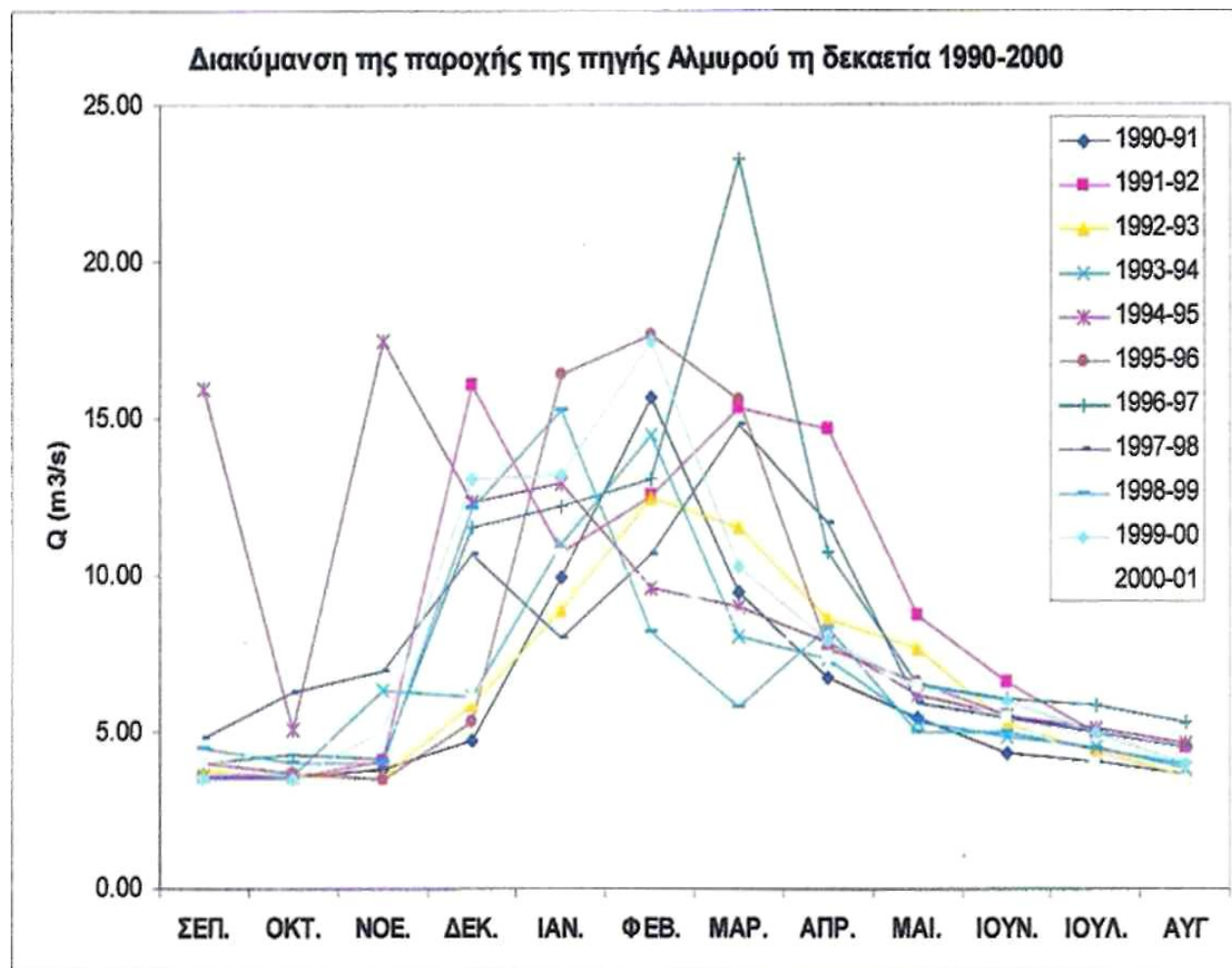
5.4 Στοιχεία ποσότητας – ποιότητας

Ο όγκος εκφορτιζόμενου νερού στην πηγή Αλμυρού κυμαίνεται μεταξύ 165 και 292.5 hm³ ανά έτος με μέση υπερετήσια εκφόρτιση 235.5 hm³, σύμφωνα με μετρήσεις της Υ.Ε.Β. τα τελευταία 30 χρόνια. Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, η παροχή της πηγής σε υφάλμυρο νερό κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 50 m³/sec με μέση ημερήσια παροχή 7 - 8 m³/sec. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι όταν η παροχή ξεπερνάει τα 12 m³/sec τότε το νερό είναι σχεδόν γλυκό. Στον συγκεντρωτικό Πίνακα 3.1 δίνεται ο μηνιαίος όγκος νερού σε hm³ που πηγάζει από τον Αλμυρό για τα έτη 1971-2001.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΕΤΗΣΙΟΣ
1971-72	10.28	10.26	10.39	13.13	19.43	22.45	30.21	17.14	21.76	14.60	15.68	11.93	197.26
1972-73	10.50	15.44	17.38	30.96	51.00	30.61	29.76	17.45	15.36	13.52	11.55	9.91	253.44
1973-74	9.26	9.09	9.12	10.84	23.72	27.41	33.39	15.82	13.59	12.18	11.93	11.25	187.60
1974-75	9.81	9.38	8.76	11.75	30.57	40.87	29.17	16.29	13.59	12.33	11.39	10.20	204.11
1975-76	9.36	10.02	9.95	23.17	41.70	38.44	43.55	29.78	21.37	18.09	15.95	14.25	275.63
1976-77	12.57	17.89	27.37	28.55	20.89	21.13	27.37	24.55	20.25	13.24	11.09	9.54	234.44
1977-78	10.57	15.71	11.10	37.70	56.93	31.42	27.23	21.92	16.50	14.31	13.60	13.05	270.03
1978-79	11.50	13.99	18.48	30.80	27.53	21.75	33.19	16.50	14.55	13.53	12.89	11.79	226.50
1979-80	13.32	12.27	17.04	29.28	30.85	38.62	36.10	25.52	19.15	15.82	15.08	13.83	266.87
1980-81	12.80	13.31	11.79	19.85	38.68	36.64	30.11	18.80	15.63	14.00	14.28	13.65	239.55
1981-82	12.03	12.05	13.01	22.24	17.94	46.67	42.73	25.34	17.14	14.46	13.26	12.83	249.72
1982-83	13.67	13.53	13.87	15.39	29.67	35.45	46.47	27.42	18.74	15.68	14.45	13.72	258.05
1983-84	13.32	13.06	18.77	35.15	31.47	37.08	30.57	19.89	18.13	15.00	15.01	13.60	261.04
1984-85	11.50	11.35	25.31	28.46	42.80	32.06	27.57	22.16	17.64	15.49	14.31	13.53	262.16
1985-86	12.74	13.15	14.39	21.95	18.12	25.96	18.65	14.73	14.20	13.22	13.12	12.51	192.73
1986-87	11.38	11.46	14.02	26.62	33.03	24.48	38.72	30.02	34.46	15.29	12.86	11.33	263.68
1987-88	11.63	12.18	11.53	19.45	24.83	30.15	33.46	19.54	15.24	13.74	13.77	12.99	218.50
1988-89	12.67	18.59	21.74	24.23	22.51	20.58	28.60	19.00	15.58	13.02	12.84	11.74	221.10
1989-90	10.65	11.97	15.58	15.33	16.08	24.31	16.46	12.80	12.03	10.55	10.26	9.94	165.96
1990-91	9.02	9.48	9.85	12.76	26.65	37.86	25.34	17.41	14.73	11.16	10.83	9.83	194.92
1991-92	9.11	9.42	10.56	43.07	28.78	30.34	41.05	38.09	23.41	17.13	13.40	12.20	276.56
1992-93	9.61	9.48	9.18	15.67	23.73	30.22	30.90	22.31	20.46	13.59	11.70	9.64	206.50
1993-94	9.33	9.64	16.48	16.43	29.54	34.95	21.64	19.07	14.33	12.56	12.09	10.36	206.42
1994-95	41.23	13.55	45.19	32.96	34.59	23.26	24.15	20.41	16.64	14.35	13.74	12.48	292.54
1995-96	10.37	9.91	9.07	14.21	43.98	42.71	41.70	19.83	17.61	14.41	13.39	12.05	249.25
1996-97	10.37	11.43	10.63	30.90	32.69	31.67	62.38	27.80	17.51	15.81	15.67	14.20	281.06
1997-98	12.53	16.82	17.96	28.59	21.34	25.86	39.63	30.28	15.92	14.26	13.39	12.05	248.63
1998-99	11.66	10.71	10.37	32.53	40.96	19.86	15.59	21.53	13.39	12.96	12.05	10.71	212.33
1999-00	9.07	9.37	13.15	35.00	35.33	42.24	27.49	20.64	17.41	15.55	13.39	10.71	249.36
2000-01	10.37	12.05	12.96	16.24	28.51	24.09	23.27	19.17	17.41	14.26	10.71	9.37	198.42
Μέση τιμή	12.07	12.22	15.17	24.11	30.79	30.97	31.88	21.71	17.46	14.14	13.12	11.84	235.48
Ελάχιστη	9.02	9.09	8.76	10.84	16.08	19.86	15.59	12.80	12.03	10.55	10.26	9.37	165.96
Μέγιστη	41.23	18.59	45.19	43.07	56.93	46.67	62.38	38.09	34.46	18.09	15.95	14.25	292.54

Πίνακας 3.1 Μηνιαίος όγκος νερού της πηγής Αλμυρού σε Ηη3(πηγή: Υ.Ε.Β.)

Παρακάτω στο Σχήμα 3.1 δίνεται το διάγραμμα διακύμανσης της μέσης παροχής της πηγής Αλμυρού συναρτήσει του χρόνου για τη δεκαετία 1990 - 2000.



Σχήμα 3.1 Μέση παροχή της πηγής Αλμυρού για τα έτη 1990 έως 2000

Τα στοιχεία ποιότητας συναρτήσει του χρόνου δίνονται σε μορφή διαγραμμάτων στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 και προέρχονται από σχεδόν* εβδομαδιαίες μετρήσεις χλωριόντων (ppm Cl⁻) για κάθε έτος από το 1967 - 68 μέχρι και το 2003 -04. Στην επόμενη παράγραφο ακολουθεί μια ανάλυση των στοιχείων ποιότητας συναρτήσει του χρόνου και των βροχοπτώσεων. Συγκεκριμένα πρόκειται για την επικαιροποίηση της μελέτης «ΗΜΕΡΕΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ» (Μονόπωλης, κ.α., 1996β) που έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΗΓΩΝ ΑΛΜΥΡΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ».

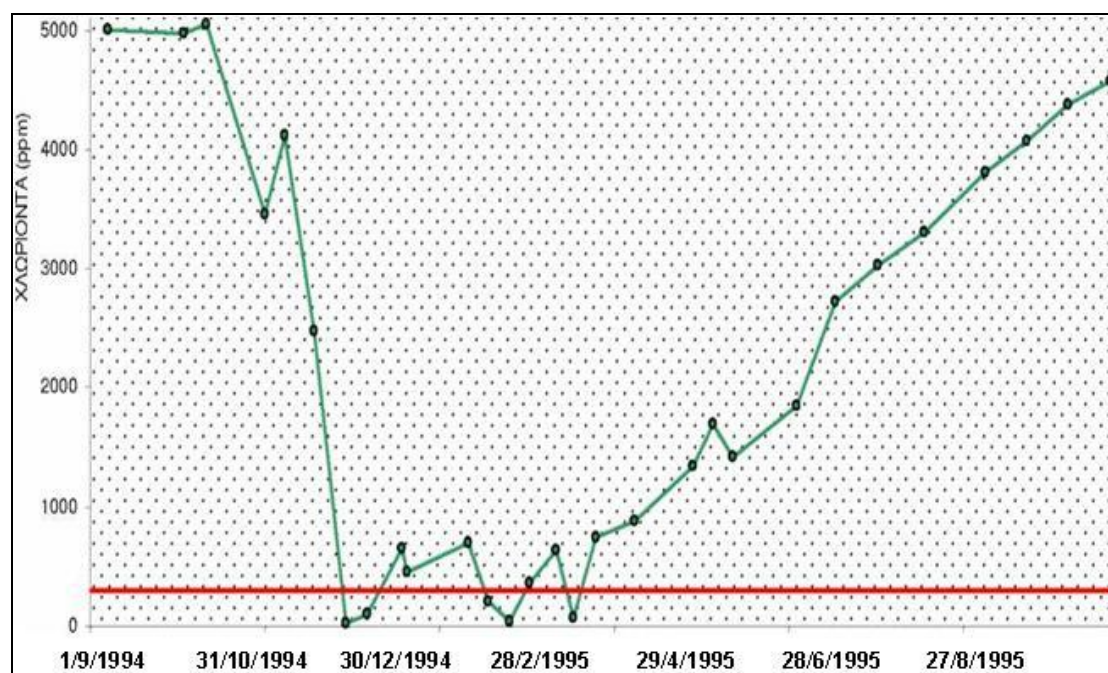
*Αναλυτικότερα στοιχεία για την συχνότητα των μετρήσεων ανα έτος υπάρχουν στην παρ. 3.5 «Ημέρες Γλυκού Νερού - επικαιροποίηση της μελέτης»

5.5 "ΗΜΕΡΕΣ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ" - Επικαιροποίηση προγενέστερης μελέτης

Στην παρούσα εργασία έγινε επικαιροποίηση της προγενέστερης μελέτης (Μονόπωλης κ.ά., 1996β) προσθέτοντας δεδομένα επιπλέον 10 ετών. Για τα τελευταία 10 έτη (1994 έως 2004) ψηφιοποιήθηκαν τα δεδομένα ποιότητας (ppm Cl) συναρτήσεως του χρόνου (πηγή: Υ.Ε.Β. Ηρακλείου) και εξήχθησαν τα διαγράμματα που δίνονται στο ΠΑΡΑΤΗΜΑ 3. Παρακάτω στο Σχήμα 3.2 δίνεται ενδεικτικά η διακύμανση των χλωριόντων κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους 1994 - 95 (με κόκκινη γραμμή φαίνεται το όριο των 300 ppm Cl).

Να τονιστεί στο σημείο αυτό πως εμφανίζεται έντονα το πρόβλημα των ελλειπών και μη συστηματικών μετρήσεων ποιότητας των νερών της πηγής. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρεται και παρακάτω, από τα 37 έτη που υπάρχουν δεδομένα βροχοπτώσεων και ποιότητας, μόνο τα 8 έτη καλύπτονται από συστηματικές* μετρήσεις ποιότητας, γεγονός που δυσχεραίνει την εξαγωγή «ασφαλών» συμπερασμάτων. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη ανάλυση δίνει κατά ένα βαθμό μια γενική εικόνα για τον αναμενόμενο αριθμό των ημερών «γλυκού» νερού ανά έτος.

1994-95



Σχήμα 3.2 Χλωριόντα της πηγής συναρτήσεως του χρόνου για το έτος 1994 – 95

*Στη συγκεκριμένη μελέτη, «συστηματικές» θεωρούνται οι μετρήσεις που καλύπτονται από εβδομαδιαία συχνότητα για την περίπτωση της ποιότητας χωρίς αυτό να σημαίνει πως μικρότερης συχνότητας (π.χ. ημερήσιες, 12ωρες ή και συνεχούς καταγραφής) μετρήσεις θα ήταν περιττές.

5.5.1 Εισαγωγή

Έχει παρατηρηθεί ότι η υφάλμυρη καρστική πηγή Αλμυρού Ηρακλείου λειτουργεί περιοδικά και για μικρά χρονικά διαστήματα ως πηγή «γλυκού νερού». Το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διάρκεια βροχερών περιόδων και εξαρτάται από τη δίαιτα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τις παροχές της πηγής.

Επειδή οι ημέρες «γλυκού νερού» συνδέονται με την περίοδο εμφάνισης των υψηλότερων παροχών της πηγής ($> 12 \text{ m}^3/\text{sec}$), το ενδεχόμενο της εκμετάλλευσης του φαινομένου παρέχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης σημαντικών όγκων νερού καλής ποιότητας. Για το λόγο αυτό επιχειρήθηκε η μελέτη του φαινομένου (Μονόπωλης κ.ά., 1996β), προκειμένου να αποσαφηνιστούν η συχνότητα, η διάρκεια και το ενδεχόμενο πρόβλεψης του.

Ειδικότερα, υπολογίσθηκε η διάρκεια του φαινομένου για το μέσο υδρολογικό έτος της περιόδου 1967 - 2004 και προσδιορίσθηκε η μαθηματική σχέση που συνδέει τον αριθμό ημερών «γλυκού νερού» με το ύψος των βροχοπτώσεων. Έτσι συσχετίζονται οι ημέρες «γλυκού νερού» με το ύψος των βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με διάφορα επίπεδα (βαθμίδες) συγκέντρωσης χλωριόντων στο νερό της πηγής. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν καθιστούν την εκροή «γλυκού νερού» προβλέψιμη στις περισσότερες διαστάσεις της (χρονική στιγμή εμφάνισης, παροχή, ποιότητα, συχνότητα, διάρκεια) και ως εκ τούτου ορθολογικά εκμεταλλεύσιμη.

5.5.2 Ανάλυση επεξεργασία δεδομένων

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνεται η ανάλυση και επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Η επεξεργασία των στοιχείων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραδοχές:

1. «Γλυκό νερό» θεωρήθηκε αρχικά το νερό της πηγής του οποίου η συγκέντρωση χλωριόντων είναι μικρότερη από 300ppm.
2. «Περίοδος βροχών» ορίστηκε το χρονικό διάστημα Νοεμβρίου -Απριλίου, στο οποίο, όπως παρατηρείται από τις διαθέσιμες μετρήσεις, περιλαμβάνεται το σύνολο των ημερών «γλυκού νερού» του εκάστοτε υδρολογικού έτους. Εξαιρέση αποτελεί το υδρολογικό έτος 1986-87 (1 από τα 27 έτη παρατήρησης), στο οποίο εμφανίζεται «γλυκό νερό» και κατά τον Μάιο, που όμως συνδέεται με το «πείραμα» ανύψωσης της στάθμης της λίμνης (τεχνητές συνθήκες ροής - βλέπε Μονόπωλης κ.ά., 1995β).

Στον Πίνακα I παρουσιάζονται τα διαθέσιμα ύψη βροχοπτώσεων των βροχομετρικών σταθμών Ανωγείων και Κρουσώνα και ο αριθμός μετρημένων ημερών «γλυκού νερού» στην πηγή, δηλαδή ο αριθμός μετρήσεων που συνέπεσαν με ημέρες «γλυκού νερού».

Επειδή η πληρότητα των μετρήσεων ποιότητας ανά υδρολογικό έτος διαφέρει, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει κατ' αρχή ταξινόμηση των υδρολογικών ετών ανάλογα με την πληρότητα τους. Έτσι, στον Πίνακα II ταξινομούνται τα υδρολογικά έτη με βάση τα ποσοστά «ελλείψεων» των κατά την «περίοδο βροχών».

Σύμφωνα με τον Πίνακα II, τα υδρολογικά έτη χαρακτηρίζονται:

- «Πλήρη»: υδρολογικά έτη των οποίων οι ελλείψεις είναι < 5%.
- «Ελλειπή»: υδρολογικά έτη των οποίων οι ελλείψεις είναι από 5% έως 30%.
- «Λίαν ελλειπή»: υδρολογικά έτη των οποίων οι ελλείψεις είναι > 30%.

Τα ποσοστά «ελλείψεων» υπολογίστηκαν ως εξής:

Οι διαθέσιμες μετρήσεις ποιότητας (συγκέντρωση χλωριόντων) του νερού της πηγής είναι περίπου εβδομαδιαίες. Πυκνότερες μετρήσεις αφορούν μόνον εξαιρετικές περιπτώσεις («πείραμα», ειδικές παρατηρήσεις κ.λπ.). Η πυκνότητα αυτή έχει θεωρηθεί στην πράξη ικανοποιητική από τους ενδιαφερόμενους φορείς, δοθέντος ότι το φαινόμενο αποδίδεται στο χρονοδιάγραμμα ποιότητας της πηγής σαν «αιχμή» (peak) διάρκειας ορισμένων ημερών.

Εξάλλου και στατιστικά κρίνεται ότι είναι αντιπροσωπευτικό το δείγμα των 26 ισοκατανεμημένων (εβδομαδιαίων) παρατηρήσεων (ελλείψεις = 0), σε σύνολο 180 ημερών, για την μελέτη φυσικού περιοδικού φαινομένου. Για το λόγο αυτό θεωρούμε ότι κάθε μεμονωμένη μέτρηση καλύπτει στατιστικά χρονικό διάστημα μίας εβδομάδας, δηλαδή 3 ημέρες πριν και 3 μετά την μέτρηση. Ημέρες της «περιόδου βροχών» που δεν καλύπτονται από την παραπάνω πυκνότητα χαρακτηρίζονται ως «ελλείψεις».

Από τον Πίνακα II, παρατηρούμε ότι 8 υδρολογικά έτη είναι «πλήρη», 6 «ελλειπή» και 13 «λίαν ελλειπή». Με βάση τα 8 «πλήρη» υδρολογικά έτη κατασκευάστηκε ο Πίνακας.ϋϊ, ο οποίος περιλαμβάνει στη στήλη 2 τον μέσο όρο ύψους βροχοπτώσεων των σταθμών Ανωγείων και Κρουσώνα για την «περίοδο βροχών» και στη στήλη 3 τις μετρημένες ημέρες «γλυκού νερού», όπως αυτές περιελήφθηκαν στον Πίνακα I.

Οι μεμονωμένες αυτές παρατηρήσεις ελέγχθηκαν, όσον αφορά την πυκνότητα τους koi «διορθώθηκαν» κατά τον πιθανό αριθμό ημερών που διαρκεί το φαινόμενο, ηρLV και μετά την ημέρα που συνέπεσε η μέτρηση. Η διόρθωση έγινε με τις εξής εναλλακτικές μεθόδους - υποθέσεις:

1) Εάν το διάγραμμα «ποιότητα - χρόνος» αποδίδεται πιστότερα με ιστόγραμμα, τότε το μέσο κάθε ιστού συμπίπτει με ημέρα μέτρησης «γλυκού νερού» και έχει μέγιστη διάρκεια επτά ημερών (3 ημέρες πριν και 3 ημέρες μετά την ημέρα μέτρησης).

2) Εάν το διάγραμμα «ποιότητα - χρόνος» αποδίδεται πιστότερα με γραμμικό διάγραμμα, τότε οι κορυφές του αντιστοιχούν στις μεμονωμένες μετρήσεις ποιότητας. Με δεδομένο αυτό το διάγραμμα υπολογίστηκε το μήκος (σε ημέρες) της βάσης των αιχμών που τέμνονται από το ορLO των 300rpm CI» (cut-off < 300rpm Ci~).

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε γιατί οι μετρήσεις δεν είναι χρονικά απόλυτα ισοκατανεμημένες (εκτός ενός έτους είναι πυκνότερες στην περίοδο των ημερών «γλυκού νερού») koi επομένως οι διορθώσεις δεν είναι δυνατόν να γίνουν με απλό αναλογικό τρόπο.

Στις στήλες 4 και 5 του Πίνακα III δίνονται οι διορθώσεις που έγιναν στις μεμονωμένες ημέρες «γλυκού νερού» σύμφωνα με την 1^η και τη 2^η υπόθεση, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι, η μέση απόκλιση των δύο μεθόδων διόρθωσης είναι πολύ μικρή (< 3%), ενώ η μέγιστη διαφορά τους (σε ημέρες) μόλις φτάνει την μία ημέρα, με πάντα πιο αισιόδοξη τη δεύτερη μέθοδο (στήλη 5).

Λόγω της τελευταίας παρατήρησης προτιμήθηκε «επί τω ασφαλέστερα» η πρώτη μέθοδος διόρθωσης (στήλη 4). Στη στήλη 6 δίνονται οι διορθωμένες ημέρες «γλυκού νερού», όπως αυτές προέκυψαν από το άθροισμα των μετρημένων ημερών «γλυκού νερού» της στήλης 3 και των διορθώσεων της στήλης 4. Οι διορθωμένες αυτές ημέρες αποτελούν τις «βέβαιες» ημέρες «γλυκού νερού».

Στην συνέχεια αναζητήθηκε μαθηματική σχέση ανάμεσα στις βροχοπτώσεις και στις ημέρες «γλυκού νερού» (βλέπε Σχήμα 1). Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, βρέθηκε ότι ο βέλτιστος συσχετισμός, για τα 8 «πλήρη» υδρολογικά έτη, επιτυγχάνεται με την πολυωνυμική σχέση:

$$y = 0.00007 \chi^2 + 0.2244 \chi - 105.51 \quad (3.1)$$

Ο συντελεστής συσχετισμού υπολογίστηκε σε $R^2 = 0.8572$, ενώ το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης (standard error of the estimate) σε $s = 9.4733$.

Στα Σχήματα 2 και 3 δίνονται αντίστοιχα «ζώνες εμπιστοσύνης» και «ζώνες πρόβλεψης» (Κούνιας κ.ά., 1985, Μπόρα-Σέντα κ.ά., 1990) της διακύμανσης των ημερών «γλυκού νερού» σε σχέση με το ύψος των βροχοπτώσεων. Από τα σχήματα αυτά είναι δυνατόν να προβλέψουμε, για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης (95, 90 και 80%), το εύρος μέσα στο οποίο θα κυμαίνονται οι εκτιμούμενες (Σχήμα 2) και οι πραγματικές (Σχήμα 3) ημέρες «γλυκού νερού» ενός συγκεκριμένου υδρολογικού έτους. Επίπεδο εμπιστοσύνης 80% θεωρείται ότι είναι πολύ ικανοποιητικό για υδρογεωλογικά προβλήματα όπως το εξεταζόμενο (Gheorghe, 1978).

Για τη δυνατότητα ένταξης στο λογισμό και των «μη πλήρων» υδρολογικών ετών της 27ετίας για την οποία διαθέτουμε παρατηρήσεις, προβήκαμε σε διόρθωση και συμπλήρωση των «ελλιπών» και «λίαν ελλιπών» υδρολογικών ετών.

Η συμπλήρωση πραγματοποιήθηκε με βάση την σχέση 3.1. Έτσι, από το Σχήμα 1 και για το ύψος βροχοπτώσεων της «περιόδου βροχών» του εκάστοτε υδρολογικού έτους,

βρέθηκε ο αντίστοιχος αριθμός ημερών «γλυκού νερού» (συνολικός). Η διαφορά των «βέβαιων» από τις συνολικές ημέρες «γλυκού νερού» αποτελεί τις συμπληρώσεις. Οι συμπληρώσεις που αφορούν «ελλιπή» υδρολογικά έτη χαρακτηρίζονται «πιξαν_ες», ενώ αυτές που αφορούν «λίαν ελλιπή» υδρολογικά έτη χαρακτηρίζονται «δίβιατες».

Με τους χαρακτηρισμούς «πιθανές» και «δυνατές» αποδίδεται συγκριτικά η αξιοπιστία των συμπληρώσεων. Εύλογο είναι ότι η επέκταση των προβλέψεων, πέραν της δετίας των «πλήρων» υδρολογικών ετών, συνεπάγεται την αύξηση του ενδεχόμενου σφάλματος σε ημέρες «γλυκού νερού».

Στον Πίνακα IV δίνεται ο μέσος αριθμός (μέσος όρος) διορθωμένων και συμπληρωμένων ημερών «γλυκού νερού» ανά υδρολογικό έτος, για κάθε ομάδα υδρολογικών ετών («πλήρη», «ελλιπή» και «λίαν ελλιπή»). Σημειώνεται ότι, τελικά χρησιμοποιήθηκαν 25 υδρολογικά έτη, αφού για τα υδρολογικά έτη 1967-68 και 1993-94 δεν διατίθενται βροχομετρικά στοιχεία.

Σύμφωνα με τον Πίνακα IV, ο μέσος συνολικός αριθμός ημερών «γλυκού νερού» ανά υδρολογικό έτος είναι 46.50 ημέρες για τα 8 «πλήρη» υδρολογικά έτη, 24.67 ημέρες για τα 6 «ελλιπή» υδρολογικά έτη και 31.55 ημέρες για τα 11 «λίαν ελλιπή» υδρολογικά έτη. Παρατηρούμε ότι, καθώς μειώνεται η πληρότητα των υδρολογικών ετών μειώνεται και το ποσοστό διόρθωσης, ενώ αυξάνει το ποσοστό συμπλήρωσης (μεγαλύτερη πιθανότητα σφάλματος). Δηλαδή, η ακρίβεια πρόβλεψης του αριθμού ημερών «γλυκού νερού» γίνεται μέγιστη για τα 8 «πλήρη» υδρολογικά έτη, μειώνεται με την ένταξη των «ελλιπών» υδρολογικών ετών και γίνεται ελάχιστη όταν αναφερόμαστε σε επίπεδο 25ετίας (ένταξη και των «λίαν ελλιπών» υδρολογικών ετών).

Στα προηγούμενα θεωρήθηκε «γλυκό νερό» το νερό της πηγής του οποίου η συγκέντρωση χλωριόντων είναι μικρότερη από 300ppm. Εάν δεν εξειδικεύσουμε τη χρήση του πηγαίου νερού, θα ήταν δυνατόν να θεωρηθούν ημέρες «γλυκού νερού» και χρονικές περιόδους όπου η συγκέντρωση χλωριόντων βρίσκεται σε υψηλότερα ή χαμηλότερα επίπεδα, ανάλογα με την επιδιωκόμενη χρήση. Αυτονόητο είναι ότι, για το αυτό υδρολογικό έτος, όσο το επίπεδο συγκέντρωσης χλωριόντων είναι υψηλότερο (> 300ppm), τόσο οι ημέρες «γλυκού νερού» είναι περισσότερες και αντίστροφα.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η πρόβλεψη ημερών «γλυκού νερού» σε συνδυασμό με τα εκάστοτε επιθυμητά επίπεδα συγκέντρωσης χλωριόντων, κατασκευάστηκε το νομόγραμμα του Σχήματος 4. Το νομόγραμμα περιέλαβε τα επίπεδα συγκέντρωσης χλωριόντων των 150, 300, 450 και 600ppm και η σύνταξη του έγινε όπως και για την περίπτωση του επιπέδου των 300ppm (Σχήμα 1).

Στο Σχήμα 4 (ένθετος πίνακας) παρατηρείται μείωση του συντελεστή συσχετισμού, όπως οδεύουμε προς χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης χλωριόντων, οπότε περιορίζεται και ο αριθμός ημερών «γλυκού νερού».

Το νομόγραμμα εξ' αντικειμένου είναι ελεγμένης αξιοπιστίας για ύψη βροχοπτώσεων της «περιόδου βροχών» των σταθμών Ανωγείων και Κρουσώνα (αριθμητικός μέσος), που κυμαίνονται μεταξύ των 600 και 1300mm / έτος.

5.5.3 Συμπεράσματα

Από τη μαθηματική ανάλυση του φαινομένου των ημερών «γλυκού νερού» στην πηγή Αλμυρού προκύπτουν τα εξής βασικά συμπεράσματα -διαπιστώσεις:

Από τα διαθέσιμα στοιχεία της περιόδου 1967 - 1994 είναι χρησιμοποιήσιμα 25 υδρολογικά έτη, από τα οποία 8 κρίνονται «πλήρη» (ελλείψεις < 5%), 6 «ελλιπή» (ελλείψεις 5 - 30%) και 11 «λίαν ελλιπή» (ελλείψεις > 30%).

Υπολογίσθηκε ο μέσος όρος ημερών «γλυκού νερού» ([CI] < 300ppm) σε 46.50 ημέρες / έτος για τα 8 υδρολογικά έτη που διαθέτουμε πλήρεις ή σχεδόν πλήρεις μετρήσεις.

Οι βροχοπτώσεις στη λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής επηρεάζουν ανάλογα τον αριθμό ημερών «γλυκού νερού». Ο βέλτιστος συντελεστής συσχετισμού επιτυγχάνεται με πολυωνυμική σχέση του τύπου $y = a\chi^2 + b\chi + \gamma$. Για συγκέντρωση ιόντων CI < 300ppm, η σχέση γίνεται: $y = 0.00007\chi^2 + 0.2244\chi - 105.51$, με συντελεστή συσχετισμού $R^2 = 0.8572$ και τυπικό σφάλμα εκτίμησης $s = 9.4733$.

Εκτιμήθηκε ο αριθμός ημερών «γλυκού νερού» ([CI] < 300ppm) για τα υδρολογικά έτη που διαθέτουν ελλιπείς και λίαν ελλιπείς παρατηρήσεις σε 24.67 ημέρες / έτος και 35.55 ημέρες / έτος αντίστοιχα.

Από το νομόγραμμα του Σχήματος 4: α) συνάγεται ότι, για το ίδιο ύψος βροχόπτωσης, ο αριθμός ημερών «γλυκού νερού» μειώνεται εφόσον η επιθυμητή ποιότητα νερού μετατοπίζεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις χλωριόντων και αντίστροφα, και β) καθίσταται προβλέψιμος ο αριθμός ημερών «γλυκού νερού» για διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης χλωριόντων.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις δίνουν την δυνατότητα πρόβλεψης της χρονικής διάρκειας του φαινομένου (ημέρες «γλυκού νερού») σε συνάρτηση με την επιθυμητή ποιότητα και το αναμενόμενο ύψος βροχής του αντίστοιχου υδρολογικού έτους. Με δεδομένη την περιοδικότητα των βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα προσδιορισμού του χρόνου εμφάνισης του «γλυκού νερού» στην πηγή (προγενέστερες εργασίες), καθιστούν το όλο φαινόμενο έγκαιρα

»προγνώσιμο» και ως εκ τούτου τις εκροές «γλυκού νερού» εκμεταλλεύσιμες κατά τον ορθολογικότερο τρόπο.

Πίνακας Ι: Διατιθέμενες μετρήσεις βροχοπτώσεων και ημερών «γλυκού νερού» ([CI] < 300ppm).

Υδρολογικά ετη	Ύψη βροχοπτώσεων (mm)				Ημέρες «γλυκού νερού» (μετρημένες)
	Κρουσώνας		Ανώγεια		
	Ετήσιο	Νοέμ.-Απρ.	Ετήσιο	Νοέμ.-Απρ.	
1967-68	-	-	-	-	8
1968-69	1423.7	1161.8	1818.8	1409.3	49
1969-70	690.0	584.2	748.2	618.7	6
1970-71	1137.0	954.3	1087.2	927.5	38
1971-72	805.4	646.2	1089.8	746.2	5
1972-73	1098.8	848.9	1222.2	913.7	12
1973-74	762.2	697.7	918.4	718.3	1
1974-75	950.3	862.1	1069.0	988.8	2
1975-76	1375.4	1328.5	1482.7	1376.4	11
1976-77	1019.1	836.8	1002.2	748.8	1
1977-78	1294.2	1100.1	1527.0	1213.5	58
1978-79	1030.2	706.4	1226.1	853.6	19
1979-80	1145.5	1095.7	1179.7	1096.6	27
1980-81	1192.3	1104.6	1034.3	848.8	13
1981-82	1146.8	1064.8	1209.2	1092.1	20
1982-83	1023.7	926.7	934.0	806.0	4
1983-84	990.4	915.5	970.4	840.4	6
1984-85	1274.8	1244.2	1098.6	1059.3	6
1985-86	794.0	595.4	888.3	560.9	2
1986-87	1345.0	1009.2	1332.9	906.9	31
1987-88	1049.8	1020.3	820.2	789.4	6
1988-89	782.0	491.0	806.3	545.0	2
1989-90	688.3	518.9	629.0	437.7	1
1990-91	860.1	809.1	849.0	729.3	4
1991-92	1115.5	971.8	1095.0	924.3	3
1992-93	666.5	610.8	589.1	515.8	0
1993-94	-	-	-	-	3

Σημ.: Οι ημέρες «γλυκού νερού» αφορούν μόνο την «περίοδο βροχών» (Νοέμβριος - Απρίλιος) κάθε υδρολογικού έτους.

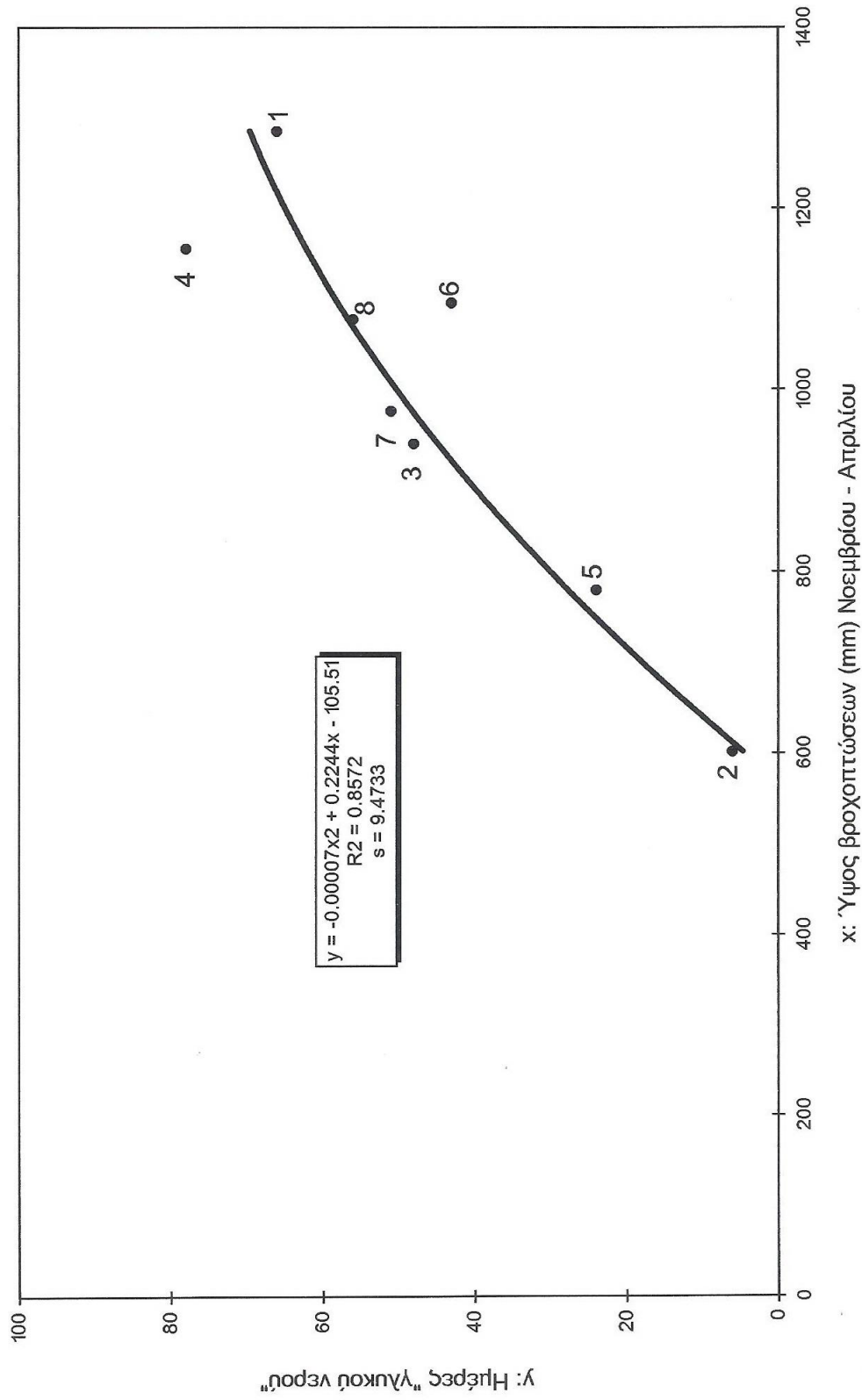
Πίνακας ΙΙ: Ταξινόμηση υδρολογικών ετών με βάση το ποσοστό ελλείψεων κατά την «περίοδο βροχών».

Υδρολογικά έτη	Ποσοστά ελλείψεων (%)	«Πλήρη» (ελλείψεις <5%)	«Ελλιπή» (ελλείψεις 5-30%)	«Λίαν ελλιπή» (ελλείψεις >30%)	Παρατηρήσεις
1967-68	34			*	Χωρίς βροχομετρικά δεδομένα
1968-69	0	*			
1969-70	2	*			
1970-71	0	*			
1971-72	16		*		
1972-73	46			*	
1973-74	50			*	
1974-75	61			*	
1975-76	32			*	
1976-77	31			*	
1977-78	0	*			
1978-79	0	*			
1979-80	1	*			
1980-81	3	*			
1981-82	3	*			
1982-83	28		*		
1983-84	16		*		
1984-85	38			*	
1985-86	34			*	
1986-87	40			*	
1987-88	11		*		
1988-89	27		*		
1989-90	23		*		
1990-91	33			*	
1991-92	65			*	
1992-93	59			*	
1993-94	37			*	Χωρίς βροχομετρικά δεδομένα

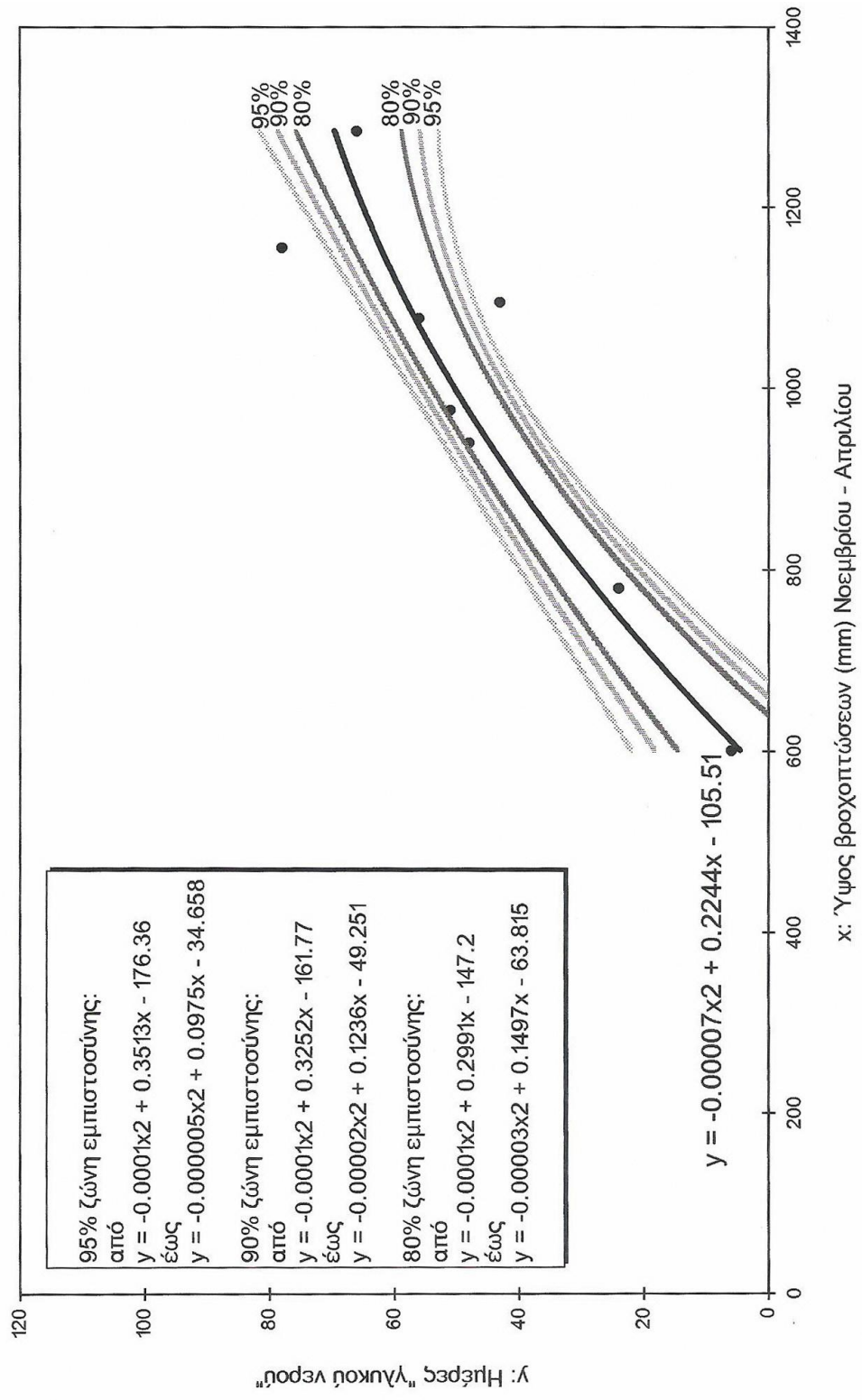
Πίνακας III: "Πλήρη" υδρολογικά έτη. Ημέρες "γλυκού νερού" (ICJ < 300ppm).

A/A	"Πλήρη" υδρολογικά έτη	Μέσο ύψος βροχοπτώσεων (mm) "περιόδου βροχών"	Ημέρες "γλυκού νερού"			Διορθωμένες ("Βέβαιες")
			Μετρημένες	Διορθώσεις	(5)	
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	1968-69	1285.55	49	17	18	66
2	1969-70	601.45	6	0	0	6
3	1970-71	940.90	38	10	11	48
4	1977-78	1156.80	58	20	21	78
5	1978-79	780.00	19	5	5	24
6	1979-80	1096.15	27	16	17	43
7	1980-81	976.70	13	38	38	51
8	1981-82	1078.45	20	36	36	56
Μέσος όρος:			28.75	17.75	18.25	46.50

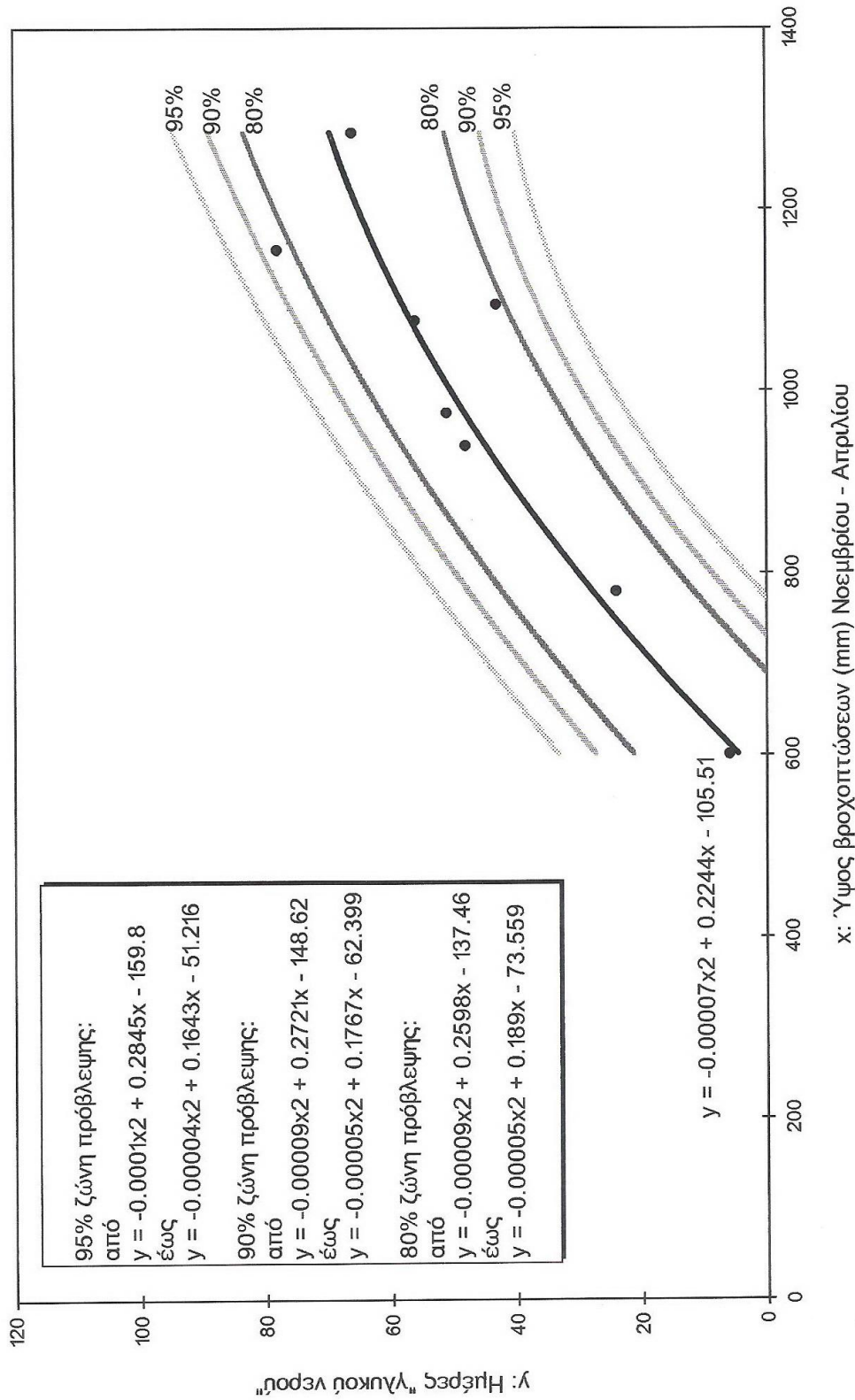
Σημ.: Οι διορθωμένες ("βέβαιες") ημέρες της στήλης 6 βρέθηκαν με βάση τις διορθώσεις της στήλης 4.



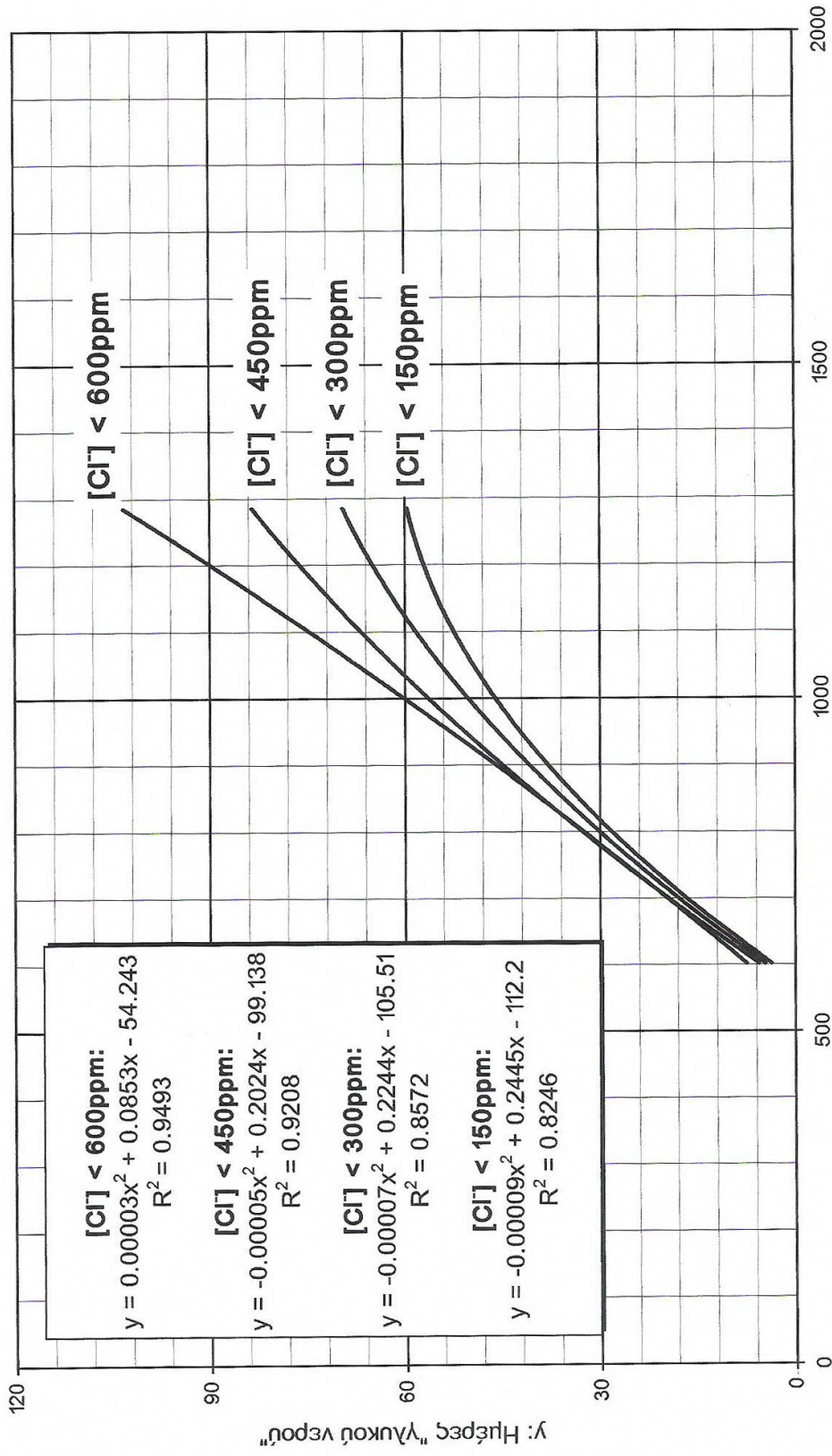
Σχήμα 1: "Πλήρη" υδρολογικά έτη. Σχέση βροχόπτωσης και ημερών "γλυκού νερού" ($[Cl] < 300ppm$).



Σχήμα 2: "Πλήρη" υδρολογικά έτη. Ζώνες εμπιστοσύνης ημερών "γλυκού νερού" ([CI] < 300ppm) σε σχέση με τις βροχοπτώσεις.



Σχήμα 3: "Πλήρη" υδρολογικά έτη. Ζώνες πρόβλεψης ημερών "γλυκού νερού" (IC1 < 300ppm) σε σχέση με τις βροχοπτώσεις.



Σχήμα 4: "Πλήρη" υδρολογικά έτη. Σχέση βροχόπτωσης και ημερών "γλυκού νερού" (διάφορες ποιότητες).

Πίνακας IV: Μέσος όρος ημερών "γλυκού νερού" (IC1] < 300ppm) περιόδου 1968 - 1993.

Πληρότητα	Μέσος όρος ημερών "γλυκού νερού" ανά υδρολογικό έτος					
	Μετρημένες	Διορθώσεις	Διορθωμένες ("Βέβαιες")	Συμπληρώσεις		Σύνολο
				"Πιθανές"	"Δυνατές"	
"Πλήρη" υδρολογικά έτη (8)	28.75	17.75	46.50	-	-	46.50
"Ελλιπή" υδρολογικά έτη (6)	4.00	13.50	17.50	7.17	-	24.67
"Λίαν ελλιπή" υδρολογικά έτη (11)	6.64	15.73	22.36	-	13.18	35.55

6. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΓΩΝ ΑΛΜΥΡΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Με ημερομηνία 23/3/93 υπεγράφη σύμβαση ερευνητικού έργου συνεργασίας μεταξύ ΔΕΥΑΗ και Πολυτεχνείου Κρήτης (ΕΛΚΕ, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας). Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της σύμβασης έχουν ήδη πραγματοποιηθεί διάφορα είδη ερευνητικών εργασιών, τα συμπεράσματα των οποίων έχουν σταδιακά υποβληθεί στα αρμόδια όργανα των δύο συνεργαζομένων φορέων.

Παράλληλα, λίγο μετά την έναρξη του έργου (Μάιος 1993) είχε υποβληθεί Εκθεση Προόδου στην οποία περιλαμβάνετο ο γενικός σχεδιασμός της έρευνας του Α! σταδίου εφαρμογής της.

Τα είδη ερευνητικών εργασιών που έχουν ήδη ολοκληρωθεί ή ευρίσκονται σε εξέλιξη, και των οποίων τα μέχρι σήμερα συμπεράσματα παρατίθενται στην ανά χειράς έκθεση, είναι:

1. Προκαταρκτικά - Συγκέντρωση δεδομένων
2. Φωτογεωλογία
3. Γεωλογία
4. Γεωφυσικά
5. Υπεδαφική Γεωλογία - Υδρολιθολογία
6. Δυναμική Υδρογεωλογία
7. Υδροτεχνικά
8. Συμπεράσματα
9. Προτάσεις

6.2 Φωτογεωλογία

Η φωτογεωλογική χαρτογράφηση κρίθηκε αναγκαία προκειμένου να έχουμε συνολική γεωλογική παρουσίαση της περιοχής ενδιαφέροντος ελλείψει ενιαίου γεωλογικού υποβάθρου σε κατάλληλη κλίμακα. Η περιοχή της μελέτης καλύπτεται από τμήματα τεσσάρων γεωλογικών χαρτών κλίμακος 1:50.000, εκδόσεως ΠΓΜΕ, τα οποία δεν έχουν όλα κυκλοφορήσει και δεν αποτελούν ενιαίο χαρτογραφικό έργο.

Η αποτύπωση έγινε με την βοήθεια συμβατικών αεροφωτογραφιών της Γ.Υ.Σ., κλίμακος 1:33.000 και κάλυψε έκταση συνολικής επιφάνειας 400 τετρ. χλμ. περίπου, σε τοπογραφικό υπόβαθρο 1:50.000 (Βόρειο όριο: ΜΑΡΑΘΟΣ-ΡΟΔΙΑ-ΚΕΡΗ-ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ-ΗΡΑΚΛΕΙΟ, Νότιο όριο: ΑΣΙΤΕΣ-ΑΥΓΕΝΙΚΗ-ΠΡ.ΗΛΙΑΣ).

Πέρα από την επιδιωχθείσα ενιαία συρραφή του γεωλογικού υποβάθρου, η φωτογεωλογική αποτύπωση κρίθηκε αναγκαία προκειμένου να βοηθήσει στην ανίχνευση των βασικών τεκτονικών αξόνων της περιοχής που καλύπτεται κύρια από Νεογενή και να επιτρέψει την τυχόν διάκριση παλαιογεωγραφικών τομέων που συνδέονται με την προϊστορία του τοπικού κάρστ.

Τα κύρια συμπεράσματα είναι ότι η περιοχή ενδιαφέροντος διακρίνεται μακροτεκτονικά και παλαιογεωγραφικά σε τρεις τομείς (βλέπε φωτογεωλογικό χάρτη, οικείο τεύχος).

(Α) ΔΥΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ: Γεωγραφικά περιλαμβάνει τις ανατολικές υπόγειες του Ψηλορείτη.

Γεωλογικά συνίσταται από μέλη της γεωτεκτονικής ζώνης των «Πλακωδών ασβεστόλιθων», της ζώνης της «Τρίπολης» και δευτερευόντως από μέλη πιο εσωτερικών ζωνών και κατά τόπους από επικλυσιογενή υπολειμματικά καλύμματα του Νεογενούς. Λιθολογικά επικρατούν ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) και τοπικά φυλλίτες-χαλαζίτες, φλύσχης, φλυσχοειδή κ.ά.. Χαρακτηρίζεται από καρστ που αναπτύσσεται σήμερα σε διάφορες επιπεδώσεις, πολλές από τις οποίες έχουν πρωτογενή χαρακτήρα άλλες δε φαίνεται να έχουν προέλθει δευτερογενώς (τεκτονικός κατακερματισμός).

(Β) ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ: Γεωγραφικά περιλαμβάνει την λοφώδη περιοχή από ΓΑΖΗ μέχρι ΑΓ. ΘΩΜΑ (Β-Ν) και από ΚΡΟΥΣΩΝΑ μέχρι ΠΡ. ΗΛΙΑ (Δ-Α). Γεωλογικά αποτελεί τεκτονικό βύθισμα (τάφρο), διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ, με προοδευτική βύθιση προς τα βόρεια και που λιθολογικά επικρατούν εμφανίσεις (κλαστικά ιζήματα) του Νεογενούς.

Στις νότιες παρυφές της τεκτονικής τάφρου αναδύονται τοπικά σχηματισμοί του αλπικού υποβάθρου (ασβεστόλιθοι και φλύσχης της «Τρίπολης» κ.ά) οι οποίοι όπως θα δούμε στο οικείο κεφάλαιο, έχουν ερευνητικό ενδιαφέρον.

(Γ) ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ: Γεωγραφικά περιλαμβάνει την ημιορεινή περιοχή ΑΓ. ΒΛΑΣΣΗ, ΑΓ.ΣΥΛΛΑ, ΠΡ.ΗΛΙΑ και ΓΙΟΥΧΤΑ. Γεωλογικά συνίσταται από Νεογενή και τοπικά εμφανίζονται σχηματισμοί του αλπικού υποβάθρου, άλλοτε υπό την μορφή εκτεταμένων διαβρωσιογενών αποκαλύψεων και άλλοτε υπό την μορφή τεκτονικών κεράτων (Γιούχτας). Λιθολογικά τα Νεογενή αποτελούνται συνήθως από αργιλομιγή μέλη της βάσεως της ομώνυμης σειράς, ενώ το αλπικό υπόβαθρο συνίσταται κύρια από φλυσχοειδή (εσωτερ. γεωτεκτονικές ζώνες) και ασβεστόλιθους της «Τρίπολης». Το παλαιογεωγραφικό και υδρογεωλογικό ενδιαφέρον του τομέα είναι υπό διερεύνηση- (Λεπτομέρειες βλέπε: Τεχνική Έκθεση Φωτογεωλογικής Χαρτογράφησης, Χανιά, Μάρτιος 1994).

6.3 Γεωλογική Χαρτογράφηση

Η γεωλογική χαρτογράφηση είχε σαν σκοπό:

- α) να αποτυπώσει σε κατάλληλη κλίμακα τους γεωλογικούς σχηματισμούς των περιοχών ενδιαφέροντος,
- β) να διευκρινίσει τις γεωλογικές σχέσεις των υδρολιθολογικών ενότητων που εντοπίζονται στην περιοχή και οι οποίες παρουσιάζουν πρόδηλο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον,
- γ) να αναγνωρισθούν επιτοπίως θέσεις υδρογεωλογικά κατάλληλες και τεχνικά προσπελάσιμες με σκοπό την παραπέρα γεωτρητική έρευνα, δ) να αποτυπώσει λεπτομερώς τεκτονικά και λιθολογικά στοιχεία στην περιοχή εξόρυξης της υδρομαστευτικής στοάς.

Τα αποτελέσματα της γεωλογικής αποτύπωσης περιλαμβάνονται σε ειδικό τεύχος και συνοπτικά επισημαίνουμε ότι:

- α) χαρτογραφήθηκαν μεγάλα τμήματα των ανατολικών υπορειών του Ψηλορείτη,
- β) χαρτογραφήθηκαν τοπικές εμφανίσεις του αλπικού υποβάθρου στην λοφώδη περιοχή ΚΡΟΥΣΩΝΑ, ΣΑΡΧΟΥ, ΑΥΓΕΝΙΚΗΣ, ΒΕΝΕΡΑΤΟΥ, ΠΡ.ΗΛΙΑ κ.ά. γ) επεσημάνθηκαν λιθολογικές ενότητες των Νεογενών, που πιθανώς να έχουν τοπικό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον (Λεπτομέρειες βλέπε: Τεχνική Έκθεση Γεωλογικής Χαρτογράφησης του Ανατολικού περιθωρίου του Ψηλορείτη, Χανιά, Ιούλιος 1994).

6.4 Γεωφυσικά

Η πραγματοποίηση των Γεωφυσικών διασκοπήσεων έγινε σε δύο φάσεις.

Η πρώτη φάση, η οποία πραγματοποιήθηκε το προηγούμενο καλοκαίρι (1993), περιέλαβε γεωηλεκτρικές μετρήσεις και είχε κύριο σκοπό την αναζήτηση αναθολώσεων του αλπικού ανθρακικού υποβάθρου σε προσιτό βάθος κάτω από τις άφθονες Νεογενείς αποθέσεις του κεντρικού τομέα έρευνας.

Το όλο εγχείρημα καθοδηγήθηκε από τα μέχρι τότε συμπεράσματα των προγενέστερων ερευνών, των γεωτρήσεων, της φωτογεωλογίας και της γεωλογικής χαρτογράφησης.

Η δεύτερη φάση περιέλαβε συνδυασμένες γεωηλεκτρικές και σεισμικές μετρήσεις ανάκλασης στην περιοχή του υψιπέδου (πόλγη) του Τίμιου Σταυρού (Δυτικά της Κέρης) με σκοπό την αναζήτηση του στεγανού υποβάθρου των καρστικών σχηματισμών της περιοχής.

Από την γεωφυσική έρευνα της πρώτης φάσης επεσημάνθηκαν τρεις (3) πιθανές αναθολώσεις του υποβάθρου των Νεογενών.

Η πρώτη θέση εντοπίζεται μεταξύ των οικισμών Πυργού και Κάτω Ασίτες, η δεύτερη θέση κοντά στον οικισμό Πετροκέφαλο και η τρίτη θέση μεταξύ των οικισμών Βούτες και Πετροκέφαλο. Εξετάζοντας τα διαθέσιμα γεωλογικά δεδομένα σε συνδυασμό με τα γεωφυσικά συμπεράσματα πιστεύουμε ότι εκτός από την πρώτη θέση οι δύο άλλες περιπτώσεις αποδίδονται ή επηρεάζονται από αξιόλογες συγκεντρώσεις γύψου του Ανωτ. Μειόκαινου.

Κατ'αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα των γεωηλεκτρικών μετρήσεων δεν είναι δυνατό να ερμηνευθούν μονοσήμαντα σαν αναθολώσεις σε προσιτό βάθος του αλπικού υποβάθρου. ΓΓαυτό το λόγο και οι τρεις θέσεις χρήζουν μελλοντικά επιβεβαίωσης.

Η δεύτερη Φάση γεωφυσικών ερευνών, η οποία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του υψιπέδου του Τίμιου Σταυρού τον Μάρτιο του 1994, δεν απεσήμανε, όσο αφορά την γεωηλεκτρική μέθοδο, την ύπαρξη στεγανού υποβάθρου σε θετικά υψόμετρα και συνεπώς δεν απέκλεισε το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον της ευρύτερης περιοχής δυτικά της Κέρης. Στην ίδια περιοχή με τον αυτό αντικειμενικό στόχο πραγματοποιήθηκαν και σεισμικές μετρήσεις ανάκλασης, οι οποίες όμως ευρίσκονται ακόμη στη φάση της επεξεργασίας. Η ποιότητα των δεδομένων δεν ευνοεί την συναγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων, τουλάχιστο για τα προσιτά βάθη. Οι σχετικά οργανωμένες ανακλάσεις που αναγνωρίζονται σε μεγαλύτερα βάθη (500-600μ.) δεν αποκλείεται να επιβεβαιώνουν έμμεσα τα δεδομένα των γεωηλεκτρικών διασκοπίσεων (τη μή ύπαρξη υποβάθρου σε θετικά υψόμετρα). (Λεπτομέρειες βλέπε: Εκθεση Γεωφυσικής έρευνας, 1 η ομάδα γεωηλεκτρικών διασκοπίσεων, Χανιά, Σεπτ. 1993)

6.5 Υπεδαφική Γεωλογία – Υδρολιθολογία

Με βάση τα δεδομένα των μέχρι σήμερα γεωτρητικών ερευνών, της φωτογεωλογίας, της γεωλογικής χαρτογράφησης και των γεωφυσικών διασκοπήσεων επισημάνθηκαν διάφορες περιοχές υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος και στους τρεις βασικούς γεωλογικούς τομείς της περιοχής που ερευνάται.

Πέραν από τα τρία πεδία εκμετάλλευσης, τα οποία ήδη έχουν ενταχθεί στην παραγωγή (πεδία: ΚΕΡΗΣ, ΤΥΛΙΣΣΟΥ, ΓΩΝ. ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ) αναλόγου ενδιαφέροντος είναι και το πεδίο ΚΡΟΥΣΣΩΝΑ-ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ, στο οποίο έχουν πραγματοποιηθεί από ΔΕΥΑΗ 14 ερευνητικές υδρογεωτρήσεις, από τις οποίες μερικές με αξιόλογες αποδόσεις.

Επιπλέον η υδρογεωλογική αναζήτηση έχει επισημάνει και άλλες υδατοπιθανές περιοχές τόσο στην βόρεια και την νότια προέκταση των ανατολικών υπωρειών του Ψηλορείτη, όσο και στην λοφώδη περιοχή μεταξύ ΚΡΟΥΣΣΩΝΑ και ΕΠΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ. Οι περιοχές-θέσεις υποδεικνύονται στον επισυναπτόμενο χάρτη, σχήμα 1, και αφορούν διάφορες αναδύσεις (διαβρωσιγενείς αποκαλύψεις) και τεκτονικές εξάρσεις του αλπικού υποβάθρου, στις οποίες κυριαρχούν ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης.

Οι θέσεις αυτές είναι απαραίτητο να διερευνηθούν περαιτέρω με γεωτρήσεις προκειμένου να επιβεβαιωθούν γεωλογικές υποθέσεις για την ύπαρξη σε προσιτό βάθος πιθανών αξιόλογων υδροφόρων οριζόντων, των οποίων το δυναμικό να επιτρέπει την συνδυασμένη εκμετάλλευση τους για συλλογική χρήση.

Είναι επίσης δυνατό ορισμένες απ'αυτές τις δομές (υδρολιθολογικές ενότητες) να αποδειχθούν στείρες (π.χ. λόγω υπερυψωμένου στεγανού υποβάθρου). Η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μικρό μόνο τμήμα των δομών αυτών

προσφέρεται στην επιφανειακή γεωλογική παρατήρηση και είναι άδηλες οι διαστάσεις τους και η γεωλογική τους σύσταση στο βάθος. Κατ'αυτόν τον τρόπο τυχόν άγονες μεμονωμένες γεωτρήσεις δεν θα πρέπει να απογοητεύσουν και να ανακόψουν την συστηματική γεωτρητική έρευνα πριν διερευνηθούν, τουλάχιστον δειγματοληπτικά, όλες οι παραπάνω δομές. Μεταξύ των αξιολογοτέρων υδρολιθολογικών ενοτήτων αναφέρονται οι θέσεις: Τίμιος Σταυρός, Καμινιές Τυλίσσου, Κρουσσώνας, Σάρχος, Αγ. Μύρωνας, Κεράσια, Βλαχιάνα, Αγ. Παντελεήμονας (Αυγενική), Αγ. Φωτεινή-Κορμός (Πρ.Ηλίας).

Εχουν επισημανθεί επίσης δύο επιπλέον θέσεις στην βόρεια και νότια, απόληξη του υψώματος ΓΙΟΥΧΤΑ παρά τον Αγ. Βλάση και Βαθύπετρο, αντίστοιχα. Οι θέσεις αυτές χρήζουν περαιτέρω γεωλογικής διερεύνησης πριν ενταχθούν στις υδατοπιθανές περιοχές. Τέλος θα πρέπει επίσης να συνεχισθεί η συστηματική γεωτρητική έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων σε προνομιακούς ορίζοντες των νεογενών, όπως π.χ. είναι οι αδρομερείς σχηματισμοί της βάσης, στην περιοχή ΠΥΡΓΟΥ, ΚΥΠΑΡΙΣΣΟΥ-ΠΥΡΓΟΥ και αλλού.

6.6 Δυναμική Υδρογεωλογία (Παρακολούθηση των πεδίων εκμετάλλευσης)

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της δυναμικής Υδρογεωλογίας και της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των υδροφόρων οριζόντων σε συνθήκες δοκιμαστικής άντλησης ή/και συστηματικής παραγωγής.

6.6.1 Συγκριτική πιεζομετρία/ποιότητα

Η εργασία αυτή περιέλαβε την παρακολούθηση της στάθμης των υπόγειων νερών μέσα σε γεωτρήσεις παραγωγής και πιεζόμετρα στα τρία κύρια πεδία εκμετάλλευσης (ΔΕΥΑΗ, Κοινότητες Τυλίσσου και Γαζίου, ιδιώτες και Σύνδεσμος Μαλεβιζίου), τα οποία ονομάζουμε συνοπτικά πεδία ΚΕΡΗΣ, ΤΥΛΙΣΣΟΥ και ΓΩΝΙΑΝΟΥ ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ.

Η παρακολούθηση της στάθμης των γεωτρήσεων έγινε με παράλληλη παρακολούθηση της ποιότητας του αντλούμενου νερού, της στάθμης και της ποιότητας του νερού της λίμνης Αλμυρού, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη καταχώρηση παρατηρήσεων, δραστηριοτήτων και επεμβάσεων (συμβάντα) που συνέβησαν στα σημεία υδροληψίας και στην πηγή και που ενδεχόμενα να επηρεάζουν ποικιλοτρόπως την στάθμη και την ποιότητα των υπόγειων νερών στα σημεία παρατήρησης (βλέπε τριπλά διαγράμματα εκτός κειμένου). Από την συγκριτική παρατήρηση του διαγράμματος συμβάντων, της ποιοτικής και σταθμικής παρακολούθησης του Αλμυρού και των γεωτρήσεων συνάγονται κατ'αρχήν δύο πρόδηλα βασικά συμπεράσματα:

- α)** Από την έναρξη των αντλήσεων παραγωγής (1987) υπάρχει εμφανής πτωτική τάση τόσο στην ποιότητα όσο και στην στάθμη του συνόλου των γεωτρήσεων των πεδίων ΚΕΡΗΣ και ΤΥΛΙΣΣΟΥ. Αυτό σημαίνει ότι τα πεδία ευρίσκονται όπως και οι γεωτρήσεις σε προοδευτική κάμψη τόσο ποιοτικά όσο και από πλευράς στάθμης (υπερεκμετάλλευση).
- β)** Αντίθετα, στο διάστημα παρατήρησης η πηγή Αλμυρού διατηρεί σταθερή συμπεριφορά όπως και τα προηγούμενα χρόνια και με εξαίρεση τις εποχικές διακυμάνσεις και τις τεχνητές παρεμβάσεις στα θυροφράγματα, τόσο η ποιότητα όσο και η στάθμη της λίμνης δεν παρουσιάζουν καμμία εμφανή

κάμψη ή αλλοίωση. Δηλαδή ο Αλμυρός δεν επηρεάστηκε εμφανώς μέχρι σήμερα από τις ανάντι αντλήσεις.

6.6.2 Στάθμη Αλμυρού-ποιότητα

Εντοπίζοντας την θεώρηση μας στην συγκριτική παρατήρηση του νερού της λίμνης Αλμυρού παρατηρούμε τα εξής βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία πρέπει να επηρεάσουν την συλλογιστική μας αναφορικά με την μεθοδολογία που επί του παρόντος κρίνεται προσφορότερη για την αξιοποίηση των νερών του Αλμυρού ποταμού.

- α) Η ποιότητα (περιεκτικότητα σε χλώρια) του Αλμυρού παρουσιάζει έντονες εποχικές διακυμάνσεις οι οποίες προφανώς συνδέονται με τις περιόδους φυσικής φόρτισης-εκφόρτισης του ανάντι υδροφόρου ορίζοντα.
- β) Ανάλογες διακυμάνσεις (με σταθερή την θέση των θυροφραγμάτων) παρατηρούνται στη στάθμη της λίμνης (υψηλή: την χειμερινή - εαρινή περίοδο, - χαμηλή: τη θερινή - φθινοπωρινή περίοδο).

Παρεμβάσεις στα θυροφράγματα επιφέρουν τεχνητές μεταβολές της στάθμης του νερού της λίμνης, οι οποίες είναι, σε απόλυτη τιμή, σημαντικά μεγαλύτερες από τις εποχικές διακυμάνσεις με σταθερή την θέση των θυροφραγμάτων.

Παρατηρώντας τις τεχνητές στάθμες της λίμνης σε σχέση με την ποιότητα του νερού δεν επισημαίνουμε εμφανή συσχετισμό. Αντίθετα βλέπουμε ότι η ποιότητα του νερού παρακολουθεί πιστά τις εποχικές διακυμάνσεις (φυσική φόρτιση-εκφόρτιση των υδροφορέων) και καθόλου (ή τουλάχιστο μη εμφανώς) τις κατά πολύ σημαντικότερες τεχνητές επεμβάσεις στη στάθμη (βλέπε στάθμη - ποιότητα μεταξύ των ετών 1989 και 1991-1992 κ.λ.π.). Συνεπώς μπορούμε να συνάγουμε ότι:

- γ) οι διακυμάνσεις στην ποιότητα του νερού του Αλμυρού δεν παρακολουθούν εμφανώς τις τεχνητές διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης.

Προγενέστερες εργασίες (FAO - Υπουργείο Γεωργίας, Δ. Μονόπωλης-Κ. Μάστορης 1969) επιβεβαιώνουν ό,τι εποχικές διακυμάνσεις της στάθμης των νερών της λίμνης Αλμυρού και των ανάντι υδροφόρων οριζόντων που έχουν σχέση και με τις περιόδους φυσικής φόρτισης και εκφόρτισης, συνδέονται με ανάλογες μεταβολές στην ποιότητα των υπόγειων νερών και των πηγών του Αλμυρού.

Αντίθετα από τις ίδιες ή ανάλογες εργασίες εκείνης της εποχής επιβεβαιώνεται, άλλοτε έμμεσα και άλλοτε άμεσα, ότι τεχνητές επεμβάσεις στη στάθμη της λίμνης του Αλμυρού (πείραμα Litton-Benelux, φράγμα FAO-Υπουργείο Γεωργίας) απέδωσαν πολύ λίγο ή καθόλου στη βελτίωση της ποιότητας των νερών που εκρέουν από τον Αλμυρό.

6.6.3 Παροχή Αλμυρού-Ποιότητα

Παράλληλα και σε σχέση με τα παραπάνω θα πρέπει να σημειωθεί ότι συγκριτικές παρατηρήσεις μεταξύ παροχών και ποιότητας Αλμυρού επιβεβαιώνουν άμεσα και ταχύτατο συσχετισμό (αντίδραση αυτοματισμού). Οι μεταβολές των παροχών του Αλμυρού συνδέονται άμεσα με τις περιόδους φυσικής φόρτισης-εκφόρτισης των υδροφόρων και όχι με τεχνητές επεμβάσεις.

Από παραστάσεις που δανεισθήκαμε από πρόσφατη εργασία του Κ. Χατζάκη (1993) βλέπουμε ότι υπάρχει μεταξύ παροχών-ποιότητας άμεσος «υπερβολικός» συσχετισμός. Κατ'αυτό τον τρόπο ανακεφαλαιωτικά μπορούμε να πούμε ότι οι εποχικές περίοδοι φυσικής φόρτισης-εκφόρτισης των υπόγειων νερών συνεπάγονται ταυτόσημες μεταβολές στην στάθμη των υδροφόρων οριζόντων και των παροχών του Αλμυρού, οι οποίες συνδέονται με αντιστρόφως ανάλογες μεταβολές στην ποιότητα του νερού (περιεκτικότητα σε ιόντα Cl). Αντίθετα, τεχνητές επεμβάσεις δεν επιβεβαιώνουν αντίστοιχες, ή τουλάχιστον εμφανείς επιδράσεις.

6.6.4 Χρονική υστέρηση εμφάνισης ποιότητας Αλμυρού έναντι παροχών

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση της παροχής του Αλμυρού συνεπάγεται αντίστοιχα βελτίωση της ποιότητας των νερών που εκρέουν από την πηγή με αποτέλεσμα ορισμένα χρονικά διαστήματα το νερό να πηγάζει πρακτικά γλυκό. Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα πιστοποιούμε στατιστικά ότι για ποιότητα νερού $Cl < 140\text{mg/l}$ έχουμε συνολική διάρκεια κατά μέσο όρο 30,25 ημέρες ενώ για ποιότητα $Cl < 300\text{mg/l}$ ίσως πλέον των 90 ημερών (τρεις περίπου μήνες) ανά υδρολογικό έτος.

Δοθέντος δε ότι οι περίοδοι ταυτίζονται με την εποχή υψηλών παροχών του Αλμυρού ($Q > 15\text{m}^3/\text{δλ.}$, περίπου) θα είναι πολύ αποδοτικό και παραγωγικό να προβλεφθεί ανάλογη χρησιμοποίησή τους.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι οι αιχμές παροχών (μέγιστα και ελάχιστα) συνδέονται με αντίστοιχες αιχμές στην ποιότητα, οι οποίες εμφανίζονται με καθυστέρηση 1-7 ημερών (MO 1.85 ημέρες). Η ιδιότητα αυτή είναι ένα συνεχές και επαναλαμβανόμενο φαινόμενο το οποίο επιτρέπει την έγκαιρη προειδοποίηση για την κινητοποίηση προσωπικού και μέσων για την έναρξη ή παύση της χρήσης του νερού εφ'όσον προσεγγίζει την αντίστοιχη ποιότητα. Επί πλέον θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια ποιότητα νερού του Αλμυρού εμφανίζεται σε λίγο μεγαλύτερες παροχές κατά την περίοδο της «φόρτισης» από εκείνες της περιόδου «εκφόρτισης». Το φαινόμενο ερμηνεύεται ως χρονική υστέρηση, η οποία απαιτείται κατά την περίοδο της φόρτισης για την έκπλυση και κατά την περίοδο της εκφόρτισης για την επανεγκατάσταση της αλμύρινης στους καρστικούς αγωγούς οι οποίοι τροφοδοτούν την πηγή.

6.6.5 Στάθμες Γεωτρήσεων και ποιότητα

Είναι πραγματικότητα ότι όλες σχεδόν οι γεωτρήσεις εμφανίζουν από την εποχή της ένταξης τους στην παραγωγή έντονα πτωτική στάθμη την οποία παρακολουθεί ανάλογη επιδείνωση της ποιότητας του νερού των αντλούμενων γεωτρήσεων. Εξαιρέση αποτελούν μεμονωμένες γεωτρήσεις, κυρίως από το πεδίο της ΚΕΡΗΣ (Κ^Α, Κ3, Κg) και η γεώτρηση Συνδέσμου Μαλεβιζίου, οι οποίες αντλούμενες ή μη δεν εμφανίζουν αισθητή επιδείνωση της ποιότητας. Αντίθετα επισημαίνουμε ότι

ορισμένες γεωτρήσεις παρά την αισθητή άνοδο της στάθμης τους δεν βελτιώνεται η ποιότητα τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σ'ορισμένες γεωτρήσεις του πεδίου ΤΥΛΙΣΣΟΥ, οι οποίες από την έναρξη της εκμετάλλευσης του πεδίου της ΚΕΡΗΣ ανάκτησαν μερικά στάθμη αλλά δεν ανάκτησαν ποιότητα η οποία, αντίθετα, συνέχισε αδιάκοπα να επιδεινώνεται (π.χ. γεωτρήσεις T17, T21).

Ολες αυτές οι αποκλίσεις, όχι βέβαια ασυνήθεις σε καρστικούς υδροφορείς, μας έδωσαν αφορμή να εξετάσουμε το όλο φαινόμενο λεπτομερέστερα.

- α)** Ερευνήσαμε το ενδεχόμενο μήπως ο συνολικά αντληθείς όγκος νερού από κάθε γεώτρηση (αθροιστικά από έναρξη λειτουργίας της) συνδέεται με την ποιότητα. Δεν διαπιστώθηκε αξιόπιστος συσχετισμός μεταξύ των παραπάνω μεταβλητών (βλέπε Πίνακα 1).
- β)** Αναζητήθηκε ανάλογη σχέση μεταξύ ειδικής παροχής κάθε γεώτρησης (Οε, όπως υπολογίστηκε από την δοκιμαστική άντληση) και της ποιότητας που παρατηρήθηκε πρόσφατα. Και εδώ ο συσχετισμός ήταν πρακτικά ανύπαρκτος.
- γ)** Τέλος, αναζητήθηκε σχέση μεταξύ ρυθμού άντλησης (m³/h) και ποιότητας αντλούμενου νερού.

Από την σύγκριση των παραπάνω μεταβλητών προκύπτει σχέση από την οποία συνάγεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός άντλησης της συγκεκριμένης γεώτρησης τόσο ο ρυθμός αλμύρισης είναι ταχύτερος.

Από προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει στην ηπειρωτική Ελλάδα (Αμφισσα-Ιτέα) έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει ανάλογη σχέση η οποία όμως είναι ασυνεχής (κλιμακωτή). Η διαφορά στην περίπτωση της μεμονωμένης γεώτρησης της ηπειρωτικής Ελλάδος σε σχέση με τις γεωτρήσεις των πεδίων ΚΕΡΗΣ και ΤΥΛΙΣΣΟΥ είναι ότι στην δεύτερη περίπτωση η επιδείνωση είναι συνεχώς αύξουσα όχι τόσο γιατί αντλείται η συγκεκριμένη γεώτρηση αλλά κύρια γιατί ολόκληρο το πεδίο ευρίσκεται σε υπεράντληση.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Qe (m ³ /h/m) (δοκιμαστικής)	Cl (mg/l) 25/1/1994	Cl (mg/l) τελευταία αναφορά	Q (m ³ /h) μέσος όρος	Χρόνος άντλησης μέσος όρος (h/24h)	Συνολικός όγκος άντλησης (m ³)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
K1	50,000	184,00		60	10h/24h	192000	Λειτουργία 8/6/93 έως 25/1/94
K2	16,240	39,00		50	24h/24h	827000	Έναρξη 6/8/92, έως τώρα
K3	6,450	67,00		60	24h/24h	848700	Έναρξη 17/7/92, έως τώρα
K4	1,746						Δεν μετρήθηκαν Cl, πιεζόμετρο
K5		195,00		60	24h/24h	862500	Έναρξη 17/7/92, έως τώρα
K6	3,647		210,22	60	24h/24h	27300	Λειτουργία 16/11/92 έως 17/3/93
K7		202,00		60	24h/24h	862500	Έναρξη 17/7/92, έως τώρα
K9		35,50		40	24h/24h	494000	Έναρξη 9/10/92, έως τώρα
						413500	Συνολικός όγκος νερού από κέρη
ΣΥΝΔ.		35,50		35	24h/24h	1200000	Έναρξη 14/8/91, έως τώρα
T11	13,510		834,00	120-60	περικοπές	2570000	Έναρξη 10/10/88, λήξη 13/5/93
T12	29,410	418,00		38	24h/24h	3616500	Έναρξη 26/5/89, έως τώρα
T13	2,730		384,00	60	5h/24h	2000000	(περίπου) λειτουργεί μόνο καλοκαίρι
T14				30			Δε μετρήθηκαν Cl, δε λειτουργήσε ακόμη
T15	1,899	940,00		60	περικοπές	1951000	Έναρξη 25/9/88, έως τώρα
T16	0,170						Αχρηστευμένη
T17	5,519	724,00		90-60	περικοπές	2630000	Έναρξη 10/4/89, έως τώρα
T21	22,425	149,00		100	24h/24h	3541200	Έναρξη 5/7/90, έως τώρα
T23	0,572		39,000				Πιεζόμετρο εξ αρχής
KT1			142,00			1100000	(περίπου)
KT3							
						17105700	Συνολικός όγκος νερού από Τύλιση
T19	4,790	21,00		80	24h/24h	320000	Έναρξη 7/1993
T22	1,170	24,00		60	24h/24h	316000	
ΓΦ4	0,165					636000	Δε μετρήθηκαν Cl, πιεζόμετρο εξ αρχής
							Συνολ. όγκος νερού Γωνιανού Φαραγγιού
ΓΑΖ/Α		248,00		70	10h/24h	331000	Λειτουργεί κυρίως καλοκαίρι
ΓΑΖ/Β		195,00		40	5h/24h	118000	Λειτουργεί κυρίως καλοκαίρι
ΓΑΖ/Γ		337,00		40	5h/24h	113000	Λειτουργεί κυρίως καλοκαίρι
ΚΑΡΑΜΠ.		298,00		60	5h/μήνα	195000	Λειτουργεί κυρίως καλοκαίρι
						757000	Συνολικός όγκος νερού από Γάζ
						22612200	Συνολικός όγκος νερού

Ο πίνακας είναι ενημερωμένος με στοιχεία που ελήφθησαν από ΔΕΥΑΗ έως την 8/3/1994

Το πρακτικό συμπέρασμα που συνάγεται από την παραπάνω παρατήρηση είναι ότι εάν

επιθυμούμε εξυγίανση ενός 3^ο Ζαρυμένου πεδίου κύριο μέλημα είναι:

- α) να μειώσουμε τον ρυθμό άντλησης κάθε προσβεβλημένης γεώτρησης (διαφορετικός ρυθμός για κάθε γεώτρηση/προσδιορισμός εμπειρικός)
- β) να παρατείνουμε τους χρόνους άντλησης στην συγκεκριμένη γεώτρηση (εάν και εφόσον επιβάλλεται να αντλούμε ημερήσια την ίδια ποσότητα νερού) και
- γ) να μειώσουμε τον ολικό όγκο απόληψης από το πεδίο.

6.6.6 Χωροχρονική μεταβολή πιεζομετρίας

Στο κεφάλαιο αυτό εκτίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης της στάθμης των υπόγειων νερών στα τρία πεδία εκμετάλλευσης: ΚΕΡΗ, ΤΥΛΙΣΣΟΣ και ΓΩΝΙΑΝΟ ΦΑΡΑΓΓΙ. Η μελέτη περιέλαβε την σύνταξη χαρτών (κατόψεων) ισοπιεζομετρικών καμπυλών στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι μετρήσεις αφορούν στάθμες γεωτρήσεων της ΔΕΥΑΗ, Κοινοτήτων, του Συνδέσμου Μαλεβιζίου και ιδιωτών που ευρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα κύρια συμπεράσματα είναι τα εξής:

- α) Πριν την έναρξη των αντλήσεων από ΔΕΥΑΗ στην περιοχή ΤΥΛΙΣΣΟΥ (1987) το όλο πιεζομετρικό πεδίο ήταν περίπου «κυλινδρικό» και αποστράγγιζε βορειοανατολικά, με υψηλότερες τιμές από πλευράς πιεζομετρίας στην περιοχή του Γωνιανού Φαραγγιού (ελαφρά «ακτινωτό») και χαμηλότερες στην πηγή του Αλμυρού (ελαφρά «συγκλίνον»).

Με την εγκατάσταση εντατικών αντλήσεων στο πεδίο ΤΥΛΙΣΣΟΥ (Μάρτιος-Απρίλιος 1989) παρουσιάζεται έντονη διαφοροποίηση του πεδίου. Γύρω από τις αντλούμενες γεωτρήσεις διαμορφώνεται ένας βαθύς κώνος πτώσης στάθμης, ο οποίος από τα +20 ή και +30 μ. πέφτει κιόλας σε αρνητικά υψόμετρα. Στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά το όλο πεδίο παραμένει αναλλοίωτο (ακτινωτό περί το Γωνιανό Φαράγγι-Μνημείο, συγκλίνον στη πηγή Αλμυρού). Με την παράταση και την εντατικοποίηση των αντλήσεων (καλοκαίρι 1989) το πεδίο αλλάζει γενικά μορφή ροής, τροφοδοτείται κύρια από Δυτικά και Βορειοδυτικά, ενώ στο ανατολικό ήμισυ του πεδίου ΤΥΛΙΣΣΟΥ αναπτύσσεται ένας ευρύς κώνος πτώσης, ο οποίος διαμορφώνεται σε περιοχή αποστράγγισης. Την ίδια περίοδο η περιοχή Αλμυρού εμφανίζεται σαν μια δευτερεύουσα περιοχή στράγγισης.

Η εικόνα αυτή διατηρείται, με μικροδιακυμάνσεις μεταξύ περιόδων φόρτισης και εκφόρτισης, μέχρι το καλοκαίρι του 1992 όπου στο σχέδιο εκμετάλλευσης εντάσσονται προοδευτικά και οι γεωτρήσεις ΚΕΡΗΣ. Η πιεζομετρία αλλοιώνεται προοδευτικά, το πεδίο ΤΥΛΙΣΣΟΥ ανακτά μερικά τις στάθμες του. Η ανακούφιση της περιοχής (πεδίου) ΤΥΛΙΣΣΟΥ αποδίδεται στον επιμερισμό των αντλήσεων σε επιπλέον γεωτρήσεις με γεωγραφική επέκταση προς την κατεύθυνση της ΚΕΡΗΣ. Έτσι από την πιεζομετρία της περιοχής συνάγεται ότι η κύρια αποστράγγιση γίνεται και πάλι προς την κατεύθυνση των πηγών Αλμυρού και δευτερευόντως προς την περιοχή Ανατολικά Τυλίσσου, ενώ η τροφοδοσία της περιοχής ενδιαφέροντος γίνεται κύρια από ΝΔ (Γωνιανό Φαράγγι) και δευτερευόντως από δυτικά (Ανοιξη 1993 και 1994). Από την μελέτη των πιεζομετρικών χαρτών και την διαχρονική μεταβολή τους συνάγονται τα εξής σημαντικά πρακτικά συμπεράσματα:

- α) Κύριες περιοχές τροφοδοσίας εντοπίζονται δυτικά και νοτιοδυτικά της περιοχής ενδιαφέροντος.
- β) Κύριες δυνατότητες αποστράγγισης επισημαίνονται επιφανειακά μέσω της πηγής Αλμυρού και υπόγεια μέσω της νοτιοανατολικής περιοχής του πεδίου Τυλίσσου.
- γ) Η ένταξη στην εκμετάλλευση του πεδίου Κέρης και πρόσφατα του Γωνιανιού Φαραγγιού (1994) ανακούφισε λόγω επιμερισμού και γεωγραφικής επέκτασης των αντλήσεων το πεδίο ΤΥΛΙΣΣΟΥ με αποτέλεσμα να ανακτήσει μερικά στάθμες.

6.6.7 Χωροχρονική μεταβολή ποιότητας

Μεταχειριζόμενοι τον ίδιο γεωγραφικό κώνναβο των πιεζομετρικών καμπυλών καταχωρήσαμε ανάλογα την συγκέντρωση ιόντων χλωρίου στα αντίστοιχα σημεία δειγματοληψίας και συντάχθηκαν οι ισοχλώριες καμπύλες.

Το καλοκαίρι του 1990, με εγκατεστημένο ήδη ένα μέρος των αντλήσεων στην περιοχή Τυλίσσου από το τέλος του καλοκαιριού του 1987 (T₁₁, T₁₂, T₁₃), υπάρχει ακόμη ικανοποιητική ποιότητα στο πεδίο Τυλίσσου. Από την άνοιξη του «91 όταν πλέον όλες οι γεωτρήσεις και επί μακρόν έχουν ενεργοποιηθεί, εμφανίζεται σημαντική ποιοτική κάμψη στο ανατολικό τμήμα του πεδίου Τυλίσσου, ενώ η ποιότητα του νερού παραμένει ικανοποιητική στον άξονα των γεωτρήσεων ΓΑΖΙΟΥ-ΚΑΒΡΟΧΩΡΙΟΥ και ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ, μεταξύ ΤΥΛΙΣΣΟΥ και ΚΕΡΗΣ.

Η εικόνα αυτή παραμένει μέχρι και σήμερα, παρά την εν τω μεταξύ ένταξη στην παραγωγή του πεδίου ΚΕΡΗΣ και την μερική βελτίωση των ποιοτικών συνθηκών στο πεδίο ΤΥΛΙΣΣΟΥ. Η βελτίωση της ποιότητας η οποία είναι ανάλογη με εκείνη της ανάκτησης της στάθμης που παρατηρείται στην ίδια περιοχή αποδίδεται στον επιμερισμό των αντλήσεων σε επιπλέον γεωτρήσεις οι οποίες αναπτύσσονται και σε μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση. Τα σημαντικότερα πρακτικά συμπεράσματα από την εξέταση των χαρτών με τις ισοχλώριες καμπύλες είναι:

- α) ότι κύριες περιοχές θαλάσσιας ρύπανσης εντοπίζονται περί την πηγή Αλμυρού και στο νοτιοανατολικό ήμισυ του πεδίου ΤΥΛΙΣΣΟΥ.
- β) ότι οι μηχανισμοί αλμύρισης είναι διάφοροι, στην πρώτη περίπτωση οφείλεται (η αλμύριση) σε ανάδυση λόγω εκροής μέσω της πηγής υφάλμυρων ήδη καρστικών νερών βάθους και στην δεύτερη περίπτωση αποδίδεται σε προσέγγιση (ολίσθηση) του μετώπου (ζώνης) διείσδυσης του θαλασσινού νερού στην ζώνη άντλησης.

Η παραπάνω ερμηνεία ενισχύεται και από τα ταυτόσημα συμπεράσματα στα οποία έχει καταλήξει και η μελέτη της πιεζομετρίας.

6.6.8 Δοκιμαστικές αντλήσεις: Υδραυλικές παράμετροι γεωτρήσεων (T, κ, Οε)

Στο κεφάλαιο αυτό καταχωρούνται τα συμπεράσματα της επεξεργασίας κατά ομογενή και ενιαίο τρόπο των δοκιμαστικών αντλήσεων των υδρογεωτρήσεων που εξετέλεσε στην περιοχή ενδιαφέροντος η ΔΕΥΑΗ.

Τα απαραίτητα στοιχεία λήφθηκαν από τα Τεχνικά Τεύχη που έχουν υποβάλλει κατά καιρούς οι Ανάδοχοι εκτέλεσης των σχετικών εργασιών.

Ειδικότερα τα στοιχεία αυτά αναφέρονται στις γεωτρήσεις που εντάσσονται στα πεδία ΚΕΡΗΣ, ΤΥΛΙΣΣΟΥ και ΓΩΝΙΑΝΟΥ ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ και χρονικά καλύπτουν περίοδο από το 1987 μέχρι το 1991 και τα στάδια εργασιών Δ μέχρι και Ι-Κ.

Πρόκειται συνολικά για 6, 11 και 5 γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα παραπάνω αντίστοιχα πεδία. Από τις γεωτρήσεις αυτές (γενικό σύνολο 22) 6, 8 και 3 (17) αντίστοιχα αναπτύχθηκαν σε υδρογεωτρήσεις και αντλήθηκαν δοκιμαστικά, 4 εγκαταλήφθηκαν σαν άγονες ή μετατράπηκαν σε πιεζόμετρα (2 στο πεδίο Τυλίσσου και 2 στο Γωνιανό Φαράγγι) χωρίς να αναπτυχθούν, ενώ τελικά για άλλη μία γεώτρηση (T₁₄ του πεδίου Τυλίσσου), παρ' ότι αναπτύχθηκε σε υδρογεώτρηση και έγινε δοκιμαστική άντληση, δεν διαθέτουμε τα αντίστοιχα δεδομένα.

Όλες οι γεωτρήσεις έχουν διατρήσει ανθρακικά πετρώματα της ζώνης της «Τρίπολης» και σ' ορισμένες περιπτώσεις έχουν φθάσει και στους τεκτονικά υποκείμενους «πλακώδεις ασβεστόλιθους». Σημαντικός αριθμός γεωτρήσεων (κύρια της περιοχής Τυλίσσου) έχει διατρήσει αρχικά κλαστικά νεογενή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους πριν φθάσει στους υποκείμενους ανθρακικούς αλπικούς σχηματισμούς. Σ' όλες τις περιπτώσεις η κύρια υδροφορία είναι εγκατεστημένη μέσα στους ασβεστολιθούς-δολομίτες της «Τρίπολης» ή/και στους «πλακώδεις ασβεστόλιθους», θα πρέπει επίσης να τονισθεί ότι το ποσοστό «αποτυχημένων» γεωτρήσεων (5-6 στις 22, #25%) είναι αρκετά μικρό σε σχέση με την φύση των γεωλογικών σχηματισμών και τον τύπον της αναζητούμενης υδροφορίας.

(α) Προσδιορισμός του T (μεταβιβαστικότητα)

Επειδή η πλειονότητα των γεωτρήσεων δεν διαθέτει γεωτρήσεις παρατήρησης ο προσδιορισμός του T έγινε με την μέθοδο της «επαναφοράς» (recovery method) και κατά την εναλλακτική λύση της «υπολειπόμενης πτώσης στάθμης» συναρτήσεως του λόγου χρόνων t/t' . Πα την επιβεβαίωση των σχετικών αποτελεσμάτων, επιλεκτικά (γεωτρήσεις K₂, K₃ και K₆ επαναλήφθηκε ο υπολογισμός του T με την λύση της «υπολογισμένης επαναφοράς» συναρτήσεως του χρόνου από την παύση της άντλησης.

Στις γεωτρήσεις K₃ K₅ T₁₅ και T₂₂ για τις οποίες διαθέταμε μετρήσεις από παρακείμενες γεωτρήσεις παρατήρησης, ο προσδιορισμός του T επαληθεύθηκε με την μέθοδο Cooper-Jacob (είτε με την λύση χρόνος-πτώση στάθμης είτε με την λύση απόσταση-πτώση στάθμης).

Τα κύρια πρακτικά συμπεράσματα που συνάγονται από την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων είναι τα εξής:

- (1) Όλες οι μέθοδοι έδωσαν παρεμφερείς ή συγκρίσιμες τιμές, ενώ για τις εναλλακτικές λύσεις των ιδίων μεθόδων οι τιμές T ευρέθηκαν σχεδόν ταυτόσημες.
- (2) Οι τιμές T που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο Cooper-Jacob βρέθηκαν συστηματικά κατάτι έως μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερες από τις τιμές που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο της επαναφοράς. Επειδή ορισμένες προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου Cooper-Jacob δεν συνέτρεχαν στις

- περιπτώσεις μας νομίζουμε ότι οι τιμές T που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο επαναφοράς είναι πλέον αντικειμενικές.
- (3) Στην πλειονότητα των γεωτρήσεων οι καμπύλες υπολογισμού του T με την μέθοδο της επαναφοράς αποτελούντο από δύο ευθύγραμμους τομείς, από τους οποίους προκύπτουν αντίστοιχα διαφορετικές τιμές T . Ο τομέας που αντιστοιχεί στους πρώτους χρόνους από παύσεως άντλησης νομίζουμε ότι αντιπροσωπεύει τις τιμές T του «εγγύς» τις γεωτρήσεις πετρώματος (επιδερμικό φαινόμενο), ενώ ο τομέας που εμφανίζεται μετά παρέλευση αρκετού χρόνου από παύσης άντλησης θα πρέπει να αντιπροσωπεύει τις τιμές T του «πέρα» της γεώτρησης πετρώματος.
 - (4) Οι τιμές T , στις περιπτώσεις που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο Cooper-Jacob, προσεγγίζουν καλύτερα τις τιμές T που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο επαναφοράς και αφορούν το «πέρα» της γεώτρησης πέτρωμα.
 - (5) Οι τιμές T (αδιακρίτως μεθόδου) κυμάνθηκαν από πολύ μεγάλες (τάξη μεγέθους $\chi 10^{-1}$) μέχρι μέτριες ή και μικρές (τάξη μεγέθους $\chi 10^{-6}$) με συνηθέστερες τιμές από $\chi 10^{-2}$ μέχρι $\chi 10^{-4}$ (m^2/sec). Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στα πεδία ΚΕΡΗΣ-ΤΥΛΙΣΣΟΥ και οι μικρότερες στα πεδία ΓΩΝΙΑΝΟΥ ΦΑΡ.-ΤΥΛΙΣΣΟΥ. Σημειώνεται ότι οι γεωτρήσεις που κρίθηκαν πρακτικά άγονες (τιμές T πολύ μικρές) δεν αναπτύχθηκαν και δεν αντλήθηκαν δοκιμαστικά, (νί)
 - (6) Παρ' ότι δεν μπορούμε ακόμη να το ισχυρισθούμε κατηγορηματικά πιστεύουμε ότι στατιστικά οι μεγαλύτερες τιμές T εντοπίζονται συχνότερα στους σχηματισμούς «Τρίπολης» και σπανιότερα στους «Πλακώδεις ασβεστόλιθους».

(β) Προσδιορισμός της Q_e (ειδική παροχή)

Η ειδική παροχή (Q_e , $m^3/h/m$) αποτελεί ενδεικτικά συνολική παράμετρο, η οποία εξορισμού εκφράζει την παροχή μιας γεώτρησης ανά μέτρο πτώσης στάθμης.

Η τιμή της Q_e αντιπροσωπεύει για τον μηχανικό παραγωγής συγκριτικό δείκτη της εκμεταλλευσιμότητας μιας γεώτρησης. Είναι ορθότερο γι' αυτές τις περιπτώσεις να διαθέτουμε την «κρίσιμη παροχή», η οποία καθορίζεται από ειδικές μετρήσεις κατά την διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων.

Λόγω, έλλειψης τέτοιων δεδομένων υπολογίσαμε την ειδική παροχή, η οποία για την περίπτωση μας κρίνεται «πολύ καλή» για τιμές $Q_e > 20 m^3/h/m$, «καλή» για τιμές μέχρι $10 m^3/h/m$, «μέτρια» για τιμές μέχρι $3 m^3/h/m$ και «κακή» για τιμές $Q_e < 3 m^3/h/m$.

(γ) Προσδιορισμός k (περατότητα)

Με βάση τα δεδομένα των δοκιμαστικών αντλήσεων, υπολογίσθηκε ανά γεώτρηση Π τιμή περατότητας (k , m/sec). Η τιμή αυτή εκφράζει στην πράξη την ευχέρεια κίνησης του νερού μέσα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε ετερογενή πετρώματα, όπως αυτά της περιοχής ενδιαφέροντος (καρστικά), η παράμετρος είναι ενδεικτική και ολίγο αξιόπιστη για «σημειακά» έργα (γεωτρήσεις, πηγάδια) αλλά αρκετά αντιπροσωπευτική για εκτεταμένες υδρομαστεύσεις (στοές, ορύγματα κλπ).

6.7 ΓΑΟ: Υπεδαφική Γεωλογία - Υδρογεωλογία

Από τις γεωτρητικές και γεωφυσικές έρευνες που είχε πραγματοποιήσει στο παρελθόν ο ΓΑΟ/Υπ. Γεωργίας (δεκαετία 1970) διαπιστούται ότι, μεταξύ των ανθρακικών μαζών ΚΕΡΗΣ (που φιλοξενούν την πηγή Αλμυρού) και της θάλασσας, παρεμβάλλονται στεγανοί γεωλογικοί σχηματισμοί. Το γεγονός αυτό αποκλείει άμεση υδραυλική επικοινωνία (εισροές-εκροές) του κάρστ της Κέρης με την θάλασσα στο μέτωπο Λινοπεραμάτων-εκβολών Αλμυρού ποταμού.

Η διαπίστωση αυτή είναι πιθανώς η αφορμή που μερικοί μεταγενέστεροι ερευνητές, προκειμένου να δικαιολογήσουν την αλμύριση του κάρστ, διαβλέπουν υδραυλική επικοινωνία της Κέρης με τις δυτικότερες παράκτιες απολήξεις των Ταλέων ορέων(εσταβέλλες Μπαλί).

Επίσης νομίζουμε ότι δεν θα πρέπει, για τον ίδιο λόγο, να ελέγχεται σαν ακριβής η πληροφορία, την οποία δίνουν οι Burdon - Παπάκης (1964), ότι στον κόλπο των Λινοπεραμάτων, παρά τις εκβολές του Αλμυρού ποταμού, παρατηρούνται περιοδικά «στρόβιλοι» (θαλάσσιες καταβόθρες).

Αντίθετα με τις παραπάνω υποθέσεις διαφαίνεται ότι είναι πολύ πιθανή υπόγεια υδραυλική επικοινωνία του κάρστ με την θάλασσα από θέσεις νοτιότερα της περιοχής Καβροχωρίου και από βάθους ίσως μεγαλύτερου των -300 μ. (υ.θ). Η ζώνη επικοινωνίας φαίνεται να αναπτύσσεται γεωγραφικά ανατολικά Τυλίσσου και να εξικνείται μέχρι την ευρύτερη θαλάσσια περιοχή των εκβολών Ξηροποτάμου-Πόφυρου.

Η υπόθεση αυτή ενισχύεται επίσης από τα συμπεράσματα που παρατίθενται στα κεφάλαια 6.6 και 6.7 της παρούσας έκθεσης (χωροχρονική μεταβολή πιεζομετρίας και ποιότητας υπόγειου νερού).

6.8. Γεωτεχνικές Έρευνες – Υδρομαστευτική Στόα

Οι ρυθμοί έρευνας για την μελέτη - σχεδιασμό και εξόρυξη υποδειγματικής (πilotικής) υδρομαστευτικής στοάς στην περιοχή ΒΟΥΛΙΣΜΕΝΟ ΑΛΩΝΙ - ΛΑΓΓΑΔΑ ΑΓ.ΓΕΩΡΓΙΟΥ ανεκόπηκαν προσωρινά για δύο, κύρια, λόγους:

- (α) η σχετικά πρόσφατη ένταξη στην εκμετάλλευση του πεδίου ΚΕΡΗΣ έδωσε αρνητικές ισχυρές κάμψεις στην πιεζομετρία και ποιότητα των αντλούμενων νερών. Ανάλογες δυσμενείς επιπτώσεις δεν έχουν ευτυχώς γίνει εμφανείς στην πηγή Αλμυρού. Επειδή η εξόρυξη της στοάς για τεχνικούς και λόγους ασφάλειας σχεδιάζεται να εκτελεσθεί «εν ξηρώ» το σύμπτωμα της ισχυρής «τροποποίησης» των χαρακτηριστικών του πεδίου ΚΕΡΗΣ θέτει θεωρητικά ερωτήματα, των οποίων η απάντηση χρειάζεται παράταση του χρόνου παρατήρησης και εκτέλεση συμπληρωματικών ερευνητικών εργασιών (γεωτρήσεις στην περιοχή Βουλισμένο Αλώνι και Τίμιου Σταυρού) πριν ληφθούν οριστικές αποφάσεις για τον τύπο της στοάς.
- (β) Η γεωλογική χαρτογράφηση Κλίμακος 1:5000 που προβλέπεται για την ευρύτερη περιοχή (Βουλισμένο Αλώνι-Λαγγάδα Αγ. Γεωργίου) ελλείπει χρόνου δεν πραγματοποιήθηκε το παρελθόν καλοκαίρι και θα πραγματοποιηθεί προσεχώς.

6.9. Συμπεράσματα

Με βάση τα προηγηθέντα συνάγονται τα εξής κύρια συμπεράσματα:

1. Υπό συνθήκες φυσικής ροής η εκφόρτιση του υδροφόρου γίνεται επιφανειακά, κύρια μέσω της πηγής Αλμυρού και δευτερευόντως υπόγεια από την περιοχή ανατολικά ΚΑΒΡΟΧΩΡΙΟΥ-ΤΥΛΙΣΣΟΥ.
2. Η ενεργοποίηση των πεδίων ΚΕΡΗΣ και ΤΥΛΙΣΣΟΥ δημιουργεί ισχυρές τοπικές πτώσεις στάθμης και ανάλογη τροποποίηση της ποιότητας του υδροφορέα (αύξηση ιόντων χλωρίου).
3. Μετά την εγκατάσταση των αντλήσεων (ΔΕΥΑΗ κ.ά.) διακρίνονται τέσσερες (4) περιοχές εκφόρτισης:
 - Πηγή Αλμυρού (επιφανειακή εκφόρτιση)
 - Πεδίο Κέρης (αντλήσεις)
 - Πεδίο Τυλίσσου (αντλήσεις)
 - Ανατολικά Τυλίσσου (υπόγεια εκφόρτιση)
4. Παράλληλα οι ζώνες υψηλής σχετικά αλμυρότητας εντοπίζονται περιοδικά στην περιοχή της πηγής Αλμυρού, ανατολικά Τυλίσσου, και «μονιμότερα» στα δύο πεδία άντλησης.
5. Με την ένταξη του πεδίου ΚΕΡΗΣ στην παραγωγή ανάκτησε σημαντικά το πεδίο ΤΥΛΙΣΣΟΥ επειδή επιμερίστηκαν οι αντλούμενες παροχές σε δύο πεδία, σε μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση και περισσότερες υδρογεωλογικές ενότητες.
6. Οι έντονες και απότομες μεταβολές της στάθμης και της ποιότητας των γεωτρήσεων και των τοπικών υδροφόρων που συνεχίζουν να παρατηρούνται, υποδηλώνουν ότι το δυναμικό καθεστώς άντλησης δεν έχει σταθεροποιηθεί (μεταβατική περίοδος) και τουλάχιστο μερικά υπεραντλούμε.
7. Η ένταξη στην παραγωγή και του πεδίου του Γωνιανού Φαραγγιού αναμένεται να βελτιώσει τις συνθήκες υδρομάστευσης, υπό την προϋπόθεση ότι θα μειωθούν ανάλογα οι αντλήσεις από τα άλλα πεδία.
8. Οι επεμβάσεις μεμονωμένα σε κάθε γεώτρηση και κατ'επέκταση στην πηγή Αλμυρού δεν αποδίδουν. Οι επεμβάσεις πρέπει να γίνονται για το σύνολο των υδρομαστεύσεων κάθε πεδίου και με βάση τις ειδικές παροχές (Q_e) κάθε γεώτρησης (δεν υπάρχουν μετρήσεις για τον απ'ευθείας προσδιορισμό του «κρίσιμου σημείου»).
9. Η τροφοδοσία των πεδίων εκμετάλλευσης φαίνεται να γίνεται κύρια από δυτικά (υπό συνθήκες άντλησης) και από τα νοτιο-δυτικά σε συνθήκες ηρεμίας.

6.10 Προτάσεις

Προκειμένου να συνεχισθεί αδιάλειπτα η λειτουργία των εγκατεστημένων γεωτρήσεων θα πρέπει:

1. **Να επεκταθεί γεωγραφικά το δίκτυο υδροληψιών με σκοπό:**
 - α) να επιμερισθούν οι αντλήσεις σε δίκτυα και συστοιχίες γεωτρήσεων, με κύρια ανάπτυξη Β-Ν,
 - β) να ανακτήσουν (στάθμη και ποιότητα) οι ήδη υπεραντλούμενες γεωτρήσεις (εξυγίανση),
 - γ) να απομακρυνθούμε από τις προνομιακές ζώνες διείσδυσης του θαλασσινού νερού.

Εφαρμογές: Για την υλοποίηση της παραπάνω πρότασης θα ήταν δυνατό:

- 1) Να ενταχθεί το πεδίο ΚΡΟΥΣΩΝΑ-ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ στην παραγωγή (γεωτρήσεις της σειράς ΚΡ).
- 2) Να επεκταθούν οι γεωτρήσεις νοτιότερα σε θέσεις ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ και ΣΑΡΧΟΣ (βλέπε χάρτη σχ.1)

Γενική παρατήρηση: Η μετατόπιση σε θέσεις νοτιότερα και δυτικότερα των σημερινών πεδίων μειώνει (στατιστικά) την απόδοση των γεωτρήσεων (Παλαιοκάρστ-συνθήκες ορεινού κάρστ) αλλά πλεονεκτεί στην αποφυγή θαλάσσιας ρύπανσης.

- 2) Να επεκταθεί η έρευνα και σε άλλες περιοχές, οι οποίες είναι ελλιπώς ή καθόλου ερευνημένες (Μετατόπιση στον κεντρικό και ανατολικό τομέα της περιοχής ενδιαφέροντος):

Η υλοποίηση της πρότασης αναμένεται να δώσει απάντηση στην μακροχρόνια κάλυψη των υδρευτικών αναγκών Ηρακλείου και να διευκρινίσει έγκαιρα σχέσεις με τοπικούς φορείς (Κοινότητες - ΤΟΕΒ κλπ).

Οι παραπάνω προτάσεις αποτελούν συνέχιση και επέκταση της πρακτικής και μεθοδολογίας που ακολουθείται μέχρι σήμερα και η οποία έχει αποδειχθεί πρόσφορη και αποτελεσματική.

Οι προτάσεις που ακολουθούν κρίνονται επίσης εφαρμόσιμες και θα πρέπει να μελετηθούν λεπτομερώς για την οικονομοτεχνικά προσφορότερη εφαρμογή τους:

- 3) Δυνατότητα εκμετάλλευσης της πηγής Αλμυρού σε συνθήκες φυσικής ροής: Στατιστικά περισσότερες από τριάντα (30) ημέρες (κατανεμημένες σε 1-3 επαναλήψεις) το χρόνο το νερό της πηγής είναι πολύ καλής ποιότητας ($CI \ll 140ppm$). Το άθροισμα των ημερών γίνεται σημαντικότερο εάν περιλάβουμε και τις περιόδους με μέτρια ποιότητα ($140 < CI < 250$), ενώ η δυνατότητα χρήσης γίνεται χρονικά πιο ελαστική εφ' όσον δεχθούμε ανάμιξη με νερό καλύτερης ποιότητας. Επί πλέον φαίνεται εφικτή η πρόγνωση των χρονικών περιόδων που εκρέει από την πηγή καλής ή ικανοποιητικής ποιότητας νερό, προκειμένου να υπάρχει λειτουργική ετοιμότητα για τους απαραίτητους χειρισμούς στο δίκτυο μεταφοράς.

Το νερό της πηγής θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για απ' ευθείας ύδρευση ή για ανακύκλωση-εμπλουτισμό του χαμηλού καρστικού υδροφορέα της πηγής και των πεδίων εκμετάλλευσης (υστέρηση απορροής-τοπική εξυγίανση).

- 4) Κατασκευή Υδρομαστευτικής στοάς

Μικρά θεωρητικά, τεχνικά και υδρογεωλογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η προτεινόμενη στοά χρειάζονται συμπληρωματικές επιβεβαιώσεις προκειμένου να ολοκληρωθεί ο κατάλογος αντικειμενικών κριτηρίων, στα οποία θα βασισθεί η οικονομοτεχνική μελέτη που θα ανάδειξη το προσφορότερο πρότυπο.

5) Πρόταση «ΣΟΦΙΟΥ»

Κατασκευή αναβαθμών στους μέσους και κάτω ρούς των αξιολογότερων υδατορρευμάτων που αναπτύσσονται μέσα στο κάρστ και ανάντη των πεδίων εκμετάλλευσης. Η πρόταση αποβλέπει στην επιβράδυνση της επιφανειακής απορροής και την αύξηση της κατείσδυσης (τεχνητός εμπλουτισμός του υπό εκμετάλλευση κάρστ).

Η ιδέα είναι πραγματοποιήσιμη και το προσδοκώμενο αποτέλεσμα πολύπλευρα θετικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BREZNIK, M, (1971), "Geology and Hydrogeology of the Almyros spring area", Technical Note No 103, UNDP - FAO.
- BURDON, D.J. - ΠΑΠΑΚΗΣ, Ν.Ι., (1964), 'Υδρογεωλογική αναγνώριση της Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης', Γεωλογικοί και Γεωφυσικοί μελέται, Τόμος ΙΧ, Νο 3, Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήναι.
- CAST ANY, G., (1962), "Methodes d' etudes et de recherches des nappes aquiferes", Bureau de Recherches Geologiques et Minières, p.49-51, Paris.
- DIETRICH, G. - RE, R., (1972), "Study of the Almyros spring of Iraklion", Technical Report No 3, UNDP - FAO.
- GUPTA, R.S., (1989), "Hydrology and hydraulic systems", A division of Simon and Schuster Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1986), "Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τόμος Α', σελ. 2-11 έως 2-16, Αθήνα.
- MICROSOFT CORPORATION, (1994), "Microsoft EXCEL 5 for Windows", Microsoft Press.
- ΜΟΝΟΠΟΛΗΣ, Δ. - ΜΑΣΤΟΡΗΣ, Κ. (1969), 'Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφάλμυρου πηγής Αλμυρού (Ηράκλειο Κρήτης)', Υδρολογικοί και Υδρογεωλογικοί Έρευναι, Νο 1, Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήναι.
- ΜΟΝΟΠΟΛΗΣ, Δ. - ΣΟΦΙΟΥ, Π. - ΠΑΠΑΜΑΣΤΟΡΑΚΗΣ, Δ. - ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ, ΕΜ. - ΚΛΕΙΔΟΠΟΥΛΟΥ, Μ. - ΒΑΒΑΔΑΚΗΣ, Δ., (1995), "Μελέτη των υδρολογικών παραμέτρων της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου (Κρήτη) σε συνθήκες φυσικής ροής", 3^ο Υδρογεωλογικό συνέδριο, Ηράκλειο, (Ανακοίνωση).
- ΜΟΝΟΠΟΛΗΣ, Δ. - ΣΟΦΙΟΥ, Π. - ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ, ΕΜ. - ΚΛΕΙΔΟΠΟΥΛΟΥ, Μ. - ΒΑΒΑΔΑΚΗΣ, Δ., (1995), "Μελέτη των υδρολογικών παραμέτρων της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου (Κρήτη) σε συνθήκες τεχνητών παρεμβάσεων", 3^ο Υδρογεωλογικό συνέδριο, Ηράκλειο, (Ανακοίνωση).
- ΜΠΕΖΕΣ, Κ., (1987), "Η καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης - Έρευνα του μηχανισμού ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού", Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη.
- ΜΠΕΖΕΣ, Κ., (1992), 'Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Τυλίσσου - Νομού Ηρακλείου Κρήτης', Δήμος Ηρακλείου - Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου, Ηράκλειο, (Μελέτη δημοσίευτη).

- RE, R. - BREZNIK, M., (1968), "Les problems des sources d' Almyros", Technical Note No 1, UNDP - EAO Project No 166, Iraklion.
- RE, R. - THOMAS, R., (1977), "Captage des eaux douces de la sources Alrnyros d* Iraklion Grece", Conclusions et recommandations du project, UNDP - FAO.
- SOULfOS, G., (1986), "Systeme karstique aquifere d' Almyros - Iraklio, Crete (Grece): Un cas interessant de fonctionnement de systeme littoral", Bulletin Du Centre D' Hydrogeologie, No 7, Universite De Neuchatel.
- VIESSMAN, W.JR. - LEWIS, G.L. - KNAPP, J.W., (1989), "Introduction to Hydrology", 3rd Edition, Harper Collins Publishers, New York.
- ΧΑΤΖΑΚΗΣ, Κ., (1993), "Πηγή Αλμυρού: Ποσοτικά - Ποιοτικά - Βροχομετρικά χαρακτηριστικά", Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου, Ηράκλειο, (Μελέτη αδημοσίευτη).