



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

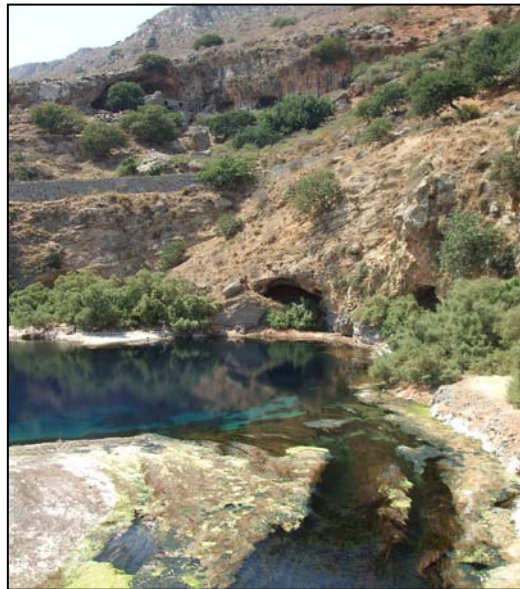
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**« ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ
ΥΦΑΛΜΥΡΗΣ ΠΗΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ»**

**«EVALUATION OF THE WATER RESOURCES OF THE
BRACKISH KARSTIC SPRING OF ALMYROS IN HERAKLION
CRETE»**

Σταθόπουλος Νικόλαος



Επιβλέπων: Καθηγητής Γ. Τσακίρης

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2010

Στους γονείς μου
Ιωάννη και Ελένη

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Η πρόταση ανάθεσης του θέματος έγινε από τον Καθηγητή Γ. Τσακίρη, τον οποίο ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθειά του, την καθοδήγησή του, τις συμβουλές, καθώς και για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εργαστώ πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ι. Ναλμπάντη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Σ. Γιακουμάκη για την κριτική ανάγνωση του κειμένου καθώς και για τις παρατηρήσεις και υποδείξεις τους.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Γεωχημικό κ. Δ. Αλεξάκη, για την πολύτιμη συμβολή του σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, παρέχοντάς μου τα απαιτούμενα στοιχεία και τις πάντα εύστοχες παρατηρήσεις του.

Τον Δρ. Σ. Παρίση για τα στοιχεία που μου παρείχε αναφορικά με τις γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης, καθώς και τον Δρ. Μ. Κριτωτάκη για τη άψογη συνεργασία του κατά την παραμονή μου στη Κρήτη.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την ηθική στήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα στην εκπόνηση της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Σχημάτων	7
Κατάλογος Πινάκων	13
Περίληψη	15
Abstract.....	17

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά Στοιχεία	19
1.2 Αντικείμενο και Δομή της Εργασίας.....	21
1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	23
1.4 Δυσκολίες κατά τις μελέτες.....	24

Κεφάλαιο 2: Γεωλογία – Υδρολογία

2.1 Περιγραφή της πηγής	27
2.1.1 Τοποθεσία της πηγής	27
2.1.2 Περιοχή Τροφοδοσίας	27
2.1.3 Καρστικοποίηση	29
2.1.3.1 Επιφανειακό και υπόγειο καρστ	31
2.2 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά	33
2.2.1 Στρωματογραφική δομή.....	33

2.2.2 Τεκτονική δομή	33
2.2.3 Μορφολογική δομή.....	34
2.3 Υδρογεωλογία.....	39
2.3.1 Είσοδοι του συστήματος.....	39
2.3.2 Κυκλοφορία και αποθήκευση του νερού στο σύστημα της πηγής του Αλμυρού	39
2.3.3 Καρστικοί Υδροφορείς.....	40
2.4 Υφαλμύρωση	42
2.4.1 Υφαλμύρωση Παράκτιων Καρστικών Υδροφορέων	42
2.4.2 Ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού στο καρστικό σύστημα του Αλμυρού.....	45

Κεφάλαιο 3: Ποσοτικά στοιχεία της πηγής Παροχή – Συγκέντρωση χλωριόντων

3.1 Γενικά.....	49
3.2 Συνολική παροχή της πηγής.....	50
3.3 Συγκέντρωση χλωριόντων	52
3.4 Διαγράμματα	53
3.5 Παρατηρήσεις	57

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Βροχομετρικών Δεδομένων

4.1 Γενικά.....	59
4.2 Βροχομετρικοί σταθμοί	59
4.3 Βροχομετρικά δεδομένα.....	60
4.4 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων	62
4.4.1 Αξιολόγηση των πρωτογενών μηνιαίων μετρήσεων και εξαγωγή ετήσιων τιμών	62
4.2.2 Έλεγχος Ομογένειας.....	64
4.4.3 Οριοθέτηση λεκάνης απορροής.....	67
4.4.4 Οριοθέτηση λεκάνη τροφοδοσίας	67
4.4.5 Υπολογισμός Βροχοβαθμίδας	70
4.4.6 Υπολογισμός Μέσου Υψομέτρου της Λεκάνης Απορροής	72
4.4.7 Δείκτες Ξηρασίας RDI.....	75
4.4.7.1 Το λογισμικό DrinC	75

Κεφάλαιο 5: Υδατικό Ισοζύγιο – Εφαρμογή Συναρτήσεων

5.1 Γενικά.....	79
5.2 Υδατικό Ισοζύγιο	80
5.2.1 Παρατηρήσεις.....	83

5.3 Μέθοδοι Πρόβλεψης των Παρατηρήσεων.....	84
5.3.1 Αναγκαιότητα των προβλέψεων των παρατηρήσεων.....	84
5.3.2 Διαδικασία των προβλέψεων των παρατηρήσεων.	84
5.3.3 Σφάλματα των προβλέψεων των παρατηρήσεων.	86
5.3.4 Τεχνικές πρόβλεψης των παρατηρήσεων.	87
5.3.4.1 Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης	89
5.3.4.1.1 Συνάρτηση linest	90
5.3.4.1.2 Συνάρτηση forecast.....	92
5.3.4.2 Ανάλυση Χρονοσειρών	95
5.3.4.2.1 Εποχιακή Μέθοδος.....	95
5.4 Παρατηρήσεις	101

Κεφάλαιο 6: Γεωτρήσεις

6.1 Γενικά.....	103
6.2 Γεωτρήσεις στο καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού.....	104
6.3 Παροχή των Γεωτρήσεων στον Ανατολικό Τομέα του Ψηλορείτη.....	108
6.4 Υφαλμύρωση των Γεωτρήσεων	112
6.5 Διερεύνηση συσχέτισης της συγκέντρωσης των χλωριόντων πηγής - γεωτρήσεων	116
6.5.1 Κατανομή t Student	117

6.5.1.1 Πρώτη Περίοδος 1976-1988	120
6.5.1.2 Δεύτερη Περίοδος 1989-2001	122
6.5.2 Έλεγχος Υποθέσεων Στατιστικής Ανάλυσης	124
6.5.2.1 Λογισμικό SPSS (PASW statistics 18)	126

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1 Γενικά.....	131
7.2 Συμπεράσματα.....	132
7.3 Προτάσεις	135

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία	138
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	140
Πηγές από Διαδύκτιο	141

Παράρτημα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	143
-----------------	-----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 2: Γεωλογία - Υδρογεωλογία

- Σχήμα 2.1 : Τοποθεσία της πηγής του Αλμυρού (Arfib et al 2001)
- Σχήμα 2.2: Διαδικασία της καρστικοποίησης σε ασβεστολιθική περιοχή (Maramathas et al 2002)
- Σχήμα 2.3 : Εξωκαρστικά και ενδοκαρστικά πετρώματα (Maramathas et al 2002)
- Σχήμα 2.4 : Γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής του Αλμυρού (Burdon και Paraki 1964)
- Σχήμα 2.5 : Γενικός γεωλογικός χάρτης της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού (Arfib et al 2007)
- Σχήμα 2.6 : Γεωλογικός χάρτης της πηγής του Αλμυρού στο Ηράκλειο Κρήτης (Γιάνναρου 2008)
- Σχήμα 2.7 : Λεπτομερές γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου (Burdon και Paraki 1964)
- Σχήμα 2.8 : Υδρολιθικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Περιφέρεια Κρήτης 2009)
- Σχήμα 2.9 : Θέση και γεωμετρία της μεταβατικής ζώνης υπάλμυρου νερού σε παράκτιες καρστικές πηγές (Maramathas et al 2002)
- Σχήμα 2.10 : Υφαλμύρωση καρστικής πηγής (Maramathas et al 2006)
- Σχήμα 2.11 : Κατακόρυφη τομή διεύθυνσης Α-Δ για την πηγή του Αλμυρού. (Burdon και Parakis 1964)
- Σχήμα 2.12 : Γεωλογικός χάρτης υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού (Περιφέρεια Κρήτης)

Κεφάλαιο 3: Ποσοτικά Στοιχεία της Πηγής: Παροχή – Συγκέντρωση Χλωριόντων

Σχήμα 3.1 : Μηνιαία παροχή για την περίοδο 1967 – 2000

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

Σχήμα 3.3 : Ετήσια παροχή για την περίοδο 1968 -2000

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

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

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Βροχομετρικών Δεδομένων

Σχήμα 4.1 : Βροχομετρικοί σταθμοί και λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού

Σχήμα 4.2 : Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Ανώγεια

Σχήμα 4.3 : Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Κρουσώνας

Σχήμα 4.4 : Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Ηράκλειο

Σχήμα 4.5 : Λεκάνη τροφοδοσίας και λεκάνες απορροής του συστήματος του Αλμυρού

Σχήμα 4.6 : Εύρεση βροχοβαθμίδας

Σχήμα 4.7 : Περιοχή επιρροής κάθε σταθμού στην λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού

Σχήμα 4.8 : Ετήσιες τιμές δείκτη RDI για τον σταθμό του Ηρακλείου από 1975 – 2001

Σχήμα 4.9 : *Ετήσιες τιμές δείκτη RDI για τον σταθμό του Κρουσώνα από 1991 – 2001*

Κεφάλαιο 5: Υδατικό Ισοζύγιο – Εφαρμογή Συναρτήσεων

Σχήμα 5.1 : *Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001.*

Σχήμα 5.2 : *Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001.*

Σχήμα 5.3 : *Σφάλμα Πρόβλεψης*

Σχήμα 5.4 : *Συστηματικό προφίλ*

Σχήμα 5.5 : *Τυχαίο Προφίλ*

Σχήμα 5.6 : *Εποχιακό Προφίλ*

Σχήμα 5.7 : *Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest*

Σχήμα 5.8 : *Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest*

Σχήμα 5.9 : *Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Forecast*

Σχήμα 5.10 : *Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Forecast*

Σχήμα 5.11 : *Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest και Forecast*

Σχήμα 5.12 : *Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest και Forecast.*

Σχήμα 5.13 : Ανάλυση Χρονοσειράς της παροχής του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001

Σχήμα 5.14 : Ανάλυση Χρονοσειράς της παροχής του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001

Κεφάλαιο 6: Γεωτρήσεις

Σχήμα 6.1 : Γεωλογικός χάρτης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη και περιοχές γεωτρήσεων (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Σχήμα 6.2 : Τοπογραφικός χάρτης ορίων λεκάνης τροφοδοσίας και περιοχής γεωτρήσεων (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Σχήμα 6.3 : Θέσεις γεωτρήσεων στο σύστημα της πηγής του Αλμυρού (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Σχήμα 6.4 : Ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων του πεδίου Κέρης- Τυλίσου- Γωνιανού φαραγγιού (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Σχήμα 6.5 : Τοπογραφικός χάρτης των θέσεων των γεωτρήσεων των πεδίων Λουτρακίου – Κρουσώνα – Αγ. Μύρωνα, Δαφνών, Αυγενικής (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Σχήμα 6.6 : Κατανομή t Student (Κολυβά - Μαχαίρα και Μπόρα – Σέντα, 1995)

Σχήμα 6.7 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Ιανουάριο (1976-1988)

Σχήμα 6.8 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο (1976-1988)

Σχήμα 6.9 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Ιανουάριο (1989-2001)

Σχήμα 6.10 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο (1989-2001)

Σχήμα 6.11 : Περιοχές αποδοχής και απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης
(Κολυβά – Μαχαίρα, 1995)

Σχήμα 6.12 : Αποτελέσματα του Mann-Whitney test για τον Ιανουάριο (SPSS-
PASW)

Σχήμα 6.13 : Αποτελέσματα του Mann-Whitney test για τον Αύγουστο (SPSS-
PASW)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κεφάλαιο 3: Ποσοτικά Στοιχεία της Πηγής: Παροχή – Συγκέντρωση Χλωριόντων

Πίνακας 3.1 : Όγκος νερού της πηγής του Αλμυρού ανά τετράμηνο σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου)

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Βροχομετρικών Δεδομένων

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

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

Πίνακας 4.3 : Ετήσια και ετήσια αθροιστικά βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της περιοχής μελέτης

Πίνακας 4.4 : Μέσο ετήσιο ύψος βροχής και υψόμετρο των σταθμών της πηγής του Αλμυρού (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου)

Πίνακας 4.5 : Ποσοστά και εμβαδά του κάθε σταθμού με τη μέθοδο Thiessen

Πίνακας 4.6 : Τιμές RDI_{st} για τον προσδιορισμό της έντασης της ξηρασίας (Tsakiris et al 2007)

Κεφάλαιο 5: Υδατικό Ισοζύγιο – Εφαρμογή Συναρτήσεων

Πίνακας 5.1 : Πίνακας προσδιορισμού των τιμών απαλλαγμένων από το εποχικό στοιχείο

Πίνακας 5.2 : Πίνακας προσδιορισμού της προέκτασης της ευθείας συσχέτισης και υπέρθεσης του εποχικού στοιχείου (παράδειγμα έτους 1968)

Κεφάλαιο 6: Γεωτρήσεις

Πίνακας 6.1 : Γεωτρήσεις ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Πίνακας 6.2 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) των γεωτρήσεων Κ του πεδίου Κέρης - Τυλίσου (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Πίνακας 6.3 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) των γεωτρήσεων Τ του πεδίου Κέρης - Τυλίσου (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Πίνακας 6.4 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.

Πίνακας 6.5 : Σχετικές συχνότητες, επί % αθροιστικές σχετικές συχνότητες για τους δύο μήνες

Πίνακας 6.6 : Πίνακας συγκέντρωσης χλωριόντων Ιανουαρίου (SPSS-PASW)

Πίνακας 6.7 : Πίνακας συγκέντρωσης χλωριόντων Αυγούστου (SPSS-PASW)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την αξιολόγηση του υδατικού δυναμικού της υφάλμυρης καρστικής πηγής του Αλμυρού ποταμού στο νομό Ηράκλειου στην Κρήτη. Πρωταρχικός σκοπός στη μελέτη της συγκεκριμένης πηγής ήταν η υδροδότηση της πόλης του Ηρακλείου που βρίσκεται δίπλα στην πηγή. Παρόλα αυτά τόσο στην αρχή όσο και στην πορεία προέκυψαν πολλά προβλήματα και δυσκολίες όσον αφορά στην καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της πηγής. Για το λόγο αυτό, ήδη από το 1967 μέχρι σήμερα, το συγκεκριμένο καρστικό σύστημα του Αλμυρού απασχολεί πολλούς επιστήμονες και μελετητές. Αρχικός στόχος των ερευνητών αποτελεί η πλήρης κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας και υφαλμύρωσης της πηγής.

Στο σύνολό του, η γενική δομή του συστήματος του Αλμυρού αντικατοπτρίζει την δομή όλων των καρστικών συστημάτων. Παρουσιάζει όμως πολλές ιδιομορφίες στις οποίες οφείλεται η ρύπανση του νερού του υδροφορέα από θαλασσινό νερό. Η παροχή και η αλατότητα του νερού της πηγής παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τους χειμερινούς μήνες, η παροχή είναι αρκετά μεγάλη ενώ η αλατότητα σχεδόν μηδενική. Τους καλοκαιρινούς μήνες η παροχή μειώνεται δραματικά και η αλατότητα φτάνει σε πολύ υψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα το θαλασσινό νερό να φτάνει σε ποσοστό 25% του συνολικού νερού της πηγής (Μπεζές 1983). Έτσι θα πρέπει να μελετηθεί η προσφορά (διαθεσιμότητα) του γλυκού νερού της πηγής, να αξιολογηθεί δηλαδή το υδατικό δυναμικό της.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζεται κατά τη μελέτη του συστήματος του Αλμυρού αποτελεί η εύρεση της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής, της οποίας τα όρια είναι ασαφή. Η πηγή αποτελεί την έξοδο ενός πολύπλοκου υδρογεωλογικού συστήματος, το οποίο δεν έχει ενιαίο και σταθερό μηχανισμό λειτουργίας. Ακόμη, επειδή δεν έχει γίνει πλήρης χαρτογράφηση της περιοχής του Αλμυρού, η ακριβής τροφοδοσία της πηγής από τους υδροφορείς, είναι άγνωστη. Οι περισσότεροι μελετητές συμφωνούν με την έκτασή της λεκάνης τροφοδοσίας στα 305 km² θεωρώντας ότι η πηγή τροφοδοτείται υπογείως από ρεύματα και άλλες πηγές κάτω από τον ορεινό

όγκο Ψηλορείτη (*Arfib et al 2007*). Παρόλα αυτά υπάρχουν και πολλοί ερευνητές που θεωρούν πως η τελική λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής φτάνει μέχρι και τα 530 km². (*Panagoroulos και Lambrakis 2006*). Στην παρούσα εργασία, για την εξαγωγή του μέσου υψομέτρου λεκάνης, της βροχοβαθμίδας και λοιπών υδρολογικών στοιχείων, θεωρήθηκε λεκάνη τροφοδοσίας 305 km².

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αξιολόγηση του υδατικού δυναμικού της πηγής και για το λόγο αυτό έγινε επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων όπως παροχή και συγκέντρωση χλωριόντων μέχρι το έτος 2000. Για την αξιολόγηση των δεδομένων αυτών έγινε έλεγχος ομογένειας. Ακόμη έγινε διαχωρισμός της συνολικής παροχής της πηγής και υπολογίστηκαν οι παροχές του γλυκού νερού, αλλά και του αλμυρού νερού που εισέρχεται στην πηγή από τη θάλασσα. Οι παροχές αυτές αξιολογήθηκαν με βάση δύο συναρτήσεις της γραμμικής παλινδρόμησης και με ανάλυση χρονοσειράς με την επίδραση εποχικού στοιχείου. Υπολογίστηκαν οι δείκτες ξηρασίας RDI της περιοχής και τέλος μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι γεωτρήσεις που γίνονται στην περιοχή της πηγής σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση χλωριόντων που παρουσιάζεται.

Πρέπει όμως να σημειωθεί πως υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη για περισσότερα δεδομένα, όπως συγκέντρωση χλωριόντων και παροχής τόσο συνολικά για την πηγή, όσο και για κάθε βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά σε ωριαία ή ημερήσια βάση για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, ώστε τα αποτελέσματα να είναι στατιστικά αποδεκτά. Μέχρι σήμερα έχουν ληφθεί ημερήσιες μετρήσεις για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (1965 – 2000). Το έτος 2000, η Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων του νομού Ηρακλείου, σταμάτησε την καταγραφή δεδομένων συνολικά για την πηγή του Αλμυρού, με αποτέλεσμα τη μη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the evaluation of the water resources of the brackish karstic spring of Almyros in Heraklion Crete. The primary purpose of this research was the water supply of the Hraklio city, which is located near the source. Nevertheless, both at the beginning and during the process, many problems and difficulties occurred when it comes to the optimal exploitation of the source. Therefore, from 1967 to today, the karstic system of Almyros has occupied many scientists and researchers. The original goal of the researchers is the complete understanding of the operating mechanism and salinization of the source.

On the whole, the overall structure of the system Almyros reflects the structure of all karstic systems. However, it appears to have many irregularities which cause water pollution from seawater. The water supply and salinity of the spring show strong fluctuations during a year. During the winter, the supply level is high enough while the salinity level is close to zero. During the summer months the supply is dramatically reduced and the salinity reaches very high levels, which results in the seawater's reaching the 25% of the total water of the spring (Beige 1983). Therefore, the provision (availability) of the fresh water of the spring has to be studied, in other words the water resources of the spring have to be evaluated.

One of the major issues that arise during the study of the system of Almyros is to find the river power source, whose boundaries are indefinite. The source is the output of a complex hydrogeological system, which does not have a single and stable operating mechanism. Furthermore, due to the fact that a complete mapping of the region Almyros has not been made, the exact source supply from the aquifers is unknown. Most researchers agree on the extent of the basin which supplies the spring at 305 km² considering that the spring is fed by underground streams and other sources below the mountain Psiloritis (Arfib 2007). However, there are many researchers who consider that the total extent of the basin reaches the 530 km² (G. Panagopoulos, N. Lambrakis 2006). In the present thesis, in order to extract the average altitude

of the basin which supplies the spring and other hydrologic data, the extent of the basin that supplies the spring was considered to be 305 km².

The subject of this diploma thesis is the evaluation of the water resources of the spring and therefore the rainfall data were processed such as supply and chlorides until the year 2000. For the evaluation of the relative data, a homogeneity check took place. Furthermore there was a separation made of the total supply of the source and the supply of fresh water and salt water entering the spring from the sea were calculated. These supplies were evaluated based on two functions, the linear regression and the analysis of time series with seasonal effects component. Moreover drought indicators RDI of the area were calculated and drillings that take place in the area were studied.

It should be noted though, that there is a particular need for more data, such as chlorine and supply not only totally for the spring but also for each rainfall station separately on an hourly or daily basis for an adequate time period so that results will be valid and reliable. Until now, daily measurements have been made over a sufficient long time period (1965 to 2000). However, after 2000, the Office of Land Reclamation of Heraklion, stopped recording data for the spring of Almyros, resulting in the unavailability of the relative data.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά Στοιχεία

Είναι γνωστό πως εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της γης, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων και της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού, η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού διαρκώς μειώνεται. Για αυτό το λόγο, το νερό είναι ζωτικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και αποτελεί αναμφισβήτητο σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη, την υγιεινή διαβίωση, την ίδια τη ζωή. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού προβλέπεται να μειωθεί κατά 30% - 40%. Το πόσιμο νερό είναι πλέον πολυτιμότερο από κάθε άλλη φορά λόγω της εντατικής χρησιμοποίησης του στη γεωργία, στη σύγχρονη βιομηχανία και στην παραγωγή ενέργειας. Έτσι χρειάζεται καλύτερη διαχείριση και λογική χρήση έτσι ώστε να αποφευχθούν δυσμενείς καταστάσεις στο μέλλον.

Η Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα μείζον οικολογικό πρόβλημα, αυτό της απειλούμενης λειψυδρίας. Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η αύξηση της τουριστικής κατανάλωσης, η έλλειψη σχεδιασμού, η

κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων, η καταστροφή των δασών, η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών, είναι οι βασικότεροι λόγοι οι οποίοι εντείνουν το πρόβλημα αυτό. Η έλλειψη ύδατος παρουσιάζεται σε ολόκληρη την Ελλάδα και ιδιαίτερα στα νησιά. Ιδιάζουσα είναι η περίπτωση της Κρήτης, όπου εμφανίζεται έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας.

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας με πληθυσμό 601.131 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Καλύπτει μια περιοχή περίπου 8.336 km² η οποία είναι εξαιρετικά ορεινή. Το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως εύκρατο αφού ανήκει στη Μεσογειακή κλιματολογική ζώνη. Η οικονομία του νησιού στηρίζεται κυρίως στη γεωργία και την κτηνοτροφία, ενώ πλέον υπάρχει μεγάλη τουριστική δραστηριότητα.

Ωστόσο τα αποθέματα πόσιμου νερού στην Κρήτη κινδυνεύουν με την κατασπατάληση που γίνεται στο μαζικό τουρισμό και τη γεωργία, ενώ σημαντικές απώλειες γίνονται εξαιτίας της κακής κατάστασης των δικτύων σε μεγάλες πόλεις της Κρήτης. Οι απώλειες αυτές από το δίκτυο φτάνουν το 50% σε περιπτώσεις όπως το Ρέθυμνο και το Ηράκλειο.

Στο νομό του Ηρακλείου, οι απαιτούμενες ποσότητες του νερού για ύδρευση, άρδευση, τουρισμό και βιομηχανία, ανέρχονται σε 10 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (10⁶ m³) ετησίως.

Η πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου θα μπορούσε να αποτελέσει τη λύση για το υδρευτικό πρόβλημα της πόλης του Ηρακλείου, καθώς ο όγκος εκφορτιζόμενου νερού από την πηγή ανέρχεται στα 250 εκατομμύρια m³ ετησίως (Μαραμαθάς 2003). Το βασικό πρόβλημα, όμως, είναι πως το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού αυτού όγκου είναι υφάλμυρο και μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί ο μηχανισμός υφαλμύρωσης.

Για να περιοριστεί η είσοδος του θαλασσινού νερού μέσα στον υδροφορέα, η Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (Υ.Ε.Β) του υπουργείου Γεωργίας, είχε κατασκευάσει το 1977 ένα φράγμα στη θέση ακριβώς της πηγής, με σκοπό να ανυψωθεί το επίπεδο της πηγής από υψόμετρο +2 μ στο +10 μ. Το τελικό αποτέλεσμα του πειράματος αυτού ήταν η μείωση της ταχύτητας εισόδου του γλυκού νερού στην πηγή. Το πείραμα όμως δεν πέτυχε απόλυτα. Οι

κατασκευές δεν κατάφεραν να ρίξουν τα ποσοστά του αλμυρού νερού σε επιθυμητά όρια.

1.2 Αντικείμενο και Δομή της Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η υφάλμυρη καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου η οποία αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα υδρολογικά φαινόμενα της Κρήτης. Λόγω έλλειψης μεγάλης ποσότητας νερού στο νησί, η αξιοποίηση της πηγής του Αλμυρού είναι ζωτικής σημασίας και για το λόγο αυτό έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για πολλούς Έλληνες και ξένους ερευνητές. Το νερό όμως της πηγής είναι υφάλμυρο και ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση. Η παροχή και η αλατότητα του νερού παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του ετήσιου υδρολογικού κύκλου.

Οι έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα μπορούν να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες:

- Τις γεωλογικές έρευνες που έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό της γεωλογικής δομής του Ψηλορείτη που αποτελεί την λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής και
- Τις υδρογεωλογικές έρευνες που έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό της υδραυλικής και υδροχημικής συμπεριφοράς του υδροφόρου ορίζοντα.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετά τόσο τα ποσοτικά όσο και τα ποιοτικά στοιχεία της πηγής. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης μεταξύ της παροχής της πηγής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων τόσο του γλυκού, όσο και του αλμυρού νερού, αλλά και της πιθανής επίδρασης των γεωτρήσεων που γίνονται στην πηγή στα δεδομένα αυτά.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας ακολουθήθηκαν τα παρακάτω στάδια:

- Περιγραφή του αντικειμένου και της δομής της εργασίας, σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναφορά στις δυσκολίες που προέκυψαν κατά τις εργασίες για την περιοχή μελέτης.

- Περιγραφή της πηγής του Αλμυρού, αναφορά στα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης.
- Επεξεργασία των ποσοτικών στοιχείων της πηγής όπως παροχή και συγκέντρωση χλωριόντων, γραφική απεικόνιση της σχέσης τους με το χρόνο και της συσχέτισης μεταξύ τους.
- Ανάλυση των βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν και επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων.
- Ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου του συστήματος του Αλμυρού και εφαρμογή συναρτήσεων για ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και ανάλυση χρονοσειρών.
- Τέλος, γίνεται αναφορά στις γεωτρήσεις που λειτουργούν στο ανατολικό μέρος του Ψηλορείτη, στην περιοχή της Τυλίσου, και στη συσχέτιση της συγκέντρωσης των χλωριόντων της πηγής και των γεωτρήσεων.

Πιο αναλυτικά, στο 2^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται εν συντομία θέματα σχετικά με τη γεωλογία και την υδρογεωλογία, την καρστικοποίηση, τους καρστικούς υδροφορείς και το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύονται η συνολική παροχή του νερού της πηγής και οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων για την πηγή. Εξετάζεται επίσης και η συσχέτιση των παραπάνω δεδομένων.

Στο 4^ο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τους βροχομετρικούς σταθμούς, επεξεργάζονται τα βροχομετρικά δεδομένα, γίνεται έλεγχος ομογένειας για τους σταθμούς και υπολογίζεται η βροχοβαθμίδα, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής και οι δείκτες ξηρασίας της περιοχής,

Στο 5^ο κεφάλαιο μελετώνται το υδατικό ισοζύγιο και τεχνικές πρόβλεψης των

παρατηρήσεων, εφαρμόζονται συναρτήσεις γραμμικής παλινδρόμησης για τις παροχές του γλυκού και του αλμυρού νερού, αλλά και η ανάλυση χρονοσειράς με την επίδραση του εποχικού στοιχείου.

Στο 6^ο κεφάλαιο εξετάζονται οι γεωτρήσεις που γίνονται στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού και τις επιπτώσεις που έχουν αυτές στην συγκέντρωση των χλωριόντων από την αρχή της λειτουργίας τους για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.

Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο βρίσκονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Είναι γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία, τόσο η ανάγκη για περισσότερες ποσότητες πόσιμου νερού στην Κρήτη στην περιοχή Ηρακλείου, όσο και η απαίτηση για ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή, είχε σαν αποτέλεσμα την πραγματοποίηση μεγάλου αριθμού μελετών.

Η πηγή παρέχει γλυκό νερό λίγες μέρες ετησίως, κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Απώτερος σκοπός των περισσότερων ερευνών ήταν ο έλεγχος της διείσδυσης θαλασσινού νερού σε αυτό της πηγής του Αλμυρού, έτσι ώστε να αυξηθούν οι μέρες κατά τις οποίες η πηγή αποδίδει γλυκό νερό και να μπορέσει να αξιοποιηθεί το νερό αυτής για υδρευτικούς σκοπούς.

Οι πρώτες επιστημονικές μελέτες για την πηγή του Αλμυρού έχουν πραγματοποιηθεί το 1964 με σκοπό την υδρολογική αναγνώριση και συγκέντρωση στοιχείων για τον μηχανισμό υφαλμύρωσής της από τους D.J.Burdon και N.I.Παπάκη. Ακολούθησαν και πολλοί άλλοι όπως ο Κ. Μπεζές το 1987, αλλά και πολλές άλλες επιστημονικές μελέτες όπως αυτές των Arfib et al (2000 – 2007), Lambrakis (2000,2006), Maramathas et al (2003), και Tsakiris et al (2006 – 2010).

1.4 Δυσκολίες κατά τις μελέτες

Οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την διαδικασία της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων των μελετών για την πηγή του Αλμυρού ήταν πολλές και ουσιαστικές.

Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι η μελέτη των καρστικών υδροφορέων είναι γενικά δύσκολη και συνήθως δεν είναι σαφείς οι περιοχές τροφοδοσίας των καρστικών πηγών. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται βασίζονται κυρίως στην στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου. Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων των καρστικών υδροφορέων, σε συνδυασμό με υφαλμύρωση λόγω της εισχώρησης του θαλασσινού νερού, είναι δυσχερής και με μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας εξαιτίας της ακαθόριστης γεωλογικής δομής τους και της ετερογένειας που παρουσιάζουν.

Σημαντικό γεγονός αποτελεί η διαφωνία πολλών ερευνητών όσον αφορά τη λεκάνη απορροής και τη λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής. Πολλοί μελετητές συμφωνούν με την άποψη που διατύπωσε το 2001 ο Β. Arfib, πως η λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής ανέρχεται σε 300 - 305 km². Πολλοί όμως, όπως ο Παναγόπουλος και Λαμπράκης, διαφωνούν με την παραπάνω άποψη και θεωρούν πως εκτείνεται από 500 μέχρι πάνω από 530 km², σύμφωνα με την επίσημη άποψη της Περιφέρειας της Κρήτης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως η πηγή του Αλμυρού αποτελεί πολύπλοκο υδρολογικό σύστημα, καθώς η τροφοδοσία και οι απώλειες του νερού της πηγής δεν έχουν προσδιοριστεί.

Το σημαντικότερο όμως πρόβλημα που προέκυψε κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η έλλειψη δεδομένων. Μετά από επίσκεψη στο νομό Ηρακλείου και στην Υ.Ε.Β., μετά το έτος 2000, η καταγραφή δεδομένων όπως συγκέντρωση χλωριόντων, παροχής, αποθηκευτικότητας και άλλων, συνολικά για την πηγή, σταμάτησε. Τα μοναδικά στοιχεία τα οποία ήταν διαθέσιμα ήταν η βροχόπτωση, για κάθε βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά μέχρι και το 2007. Τα στοιχεία όμως αυτά ήταν ελλιπή, καθώς ο βροχομετρικός σταθμός στα Ανώγεια, ο οποίος είναι

από τους πιο σημαντικούς για την πηγή, σταμάτησε την καταγραφή των δεδομένων το 2001.

Στις γεωτρήσεις που γίνονται στην περιοχή του συστήματος του Αλμυρού, επίσης τα στοιχεία ήταν ελλιπή. Τα δεδομένα για παροχή και συγκέντρωση των χλωριόντων από τις αντλήσεις ήταν διαθέσιμα μόνο για δύο έτη (1998 και 1999), με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει επαρκής στατιστική ανάλυση.

Παρόλο όμως την ενασχόληση πολλών μελετητών στο χρονικό διάστημα από το 1964 έως το 2010, η διαχείριση και η αξιοποίηση του νερού της πηγή του Αλμυρού αποτελεί δυσεπίλυτο θέμα. Μέχρι σήμερα δεν έχει δοθεί οριστική απάντηση ούτε για την διαχείριση ούτε για την αξιοποίηση της πηγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γεωλογία – Υδρογεωλογία

2.1 Περιγραφή της πηγής

2.1.1 Τοποθεσία της πηγής

Η πηγή του Αλμυρού τοποθετείται 8 km δυτικά της πόλης του Ηρακλείου, σε απόσταση 1 km από τη θάλασσα και σε υψόμετρο περίπου 3 m, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στη βάση της απόκρημνης ασβεστολιθικής πλαγιάς του ρήγματος του Αλμυρού. Είναι μια περιοδικά υφάλμυρη καρστική πηγή.

2.1.2 Περιοχή Τροφοδοσίας

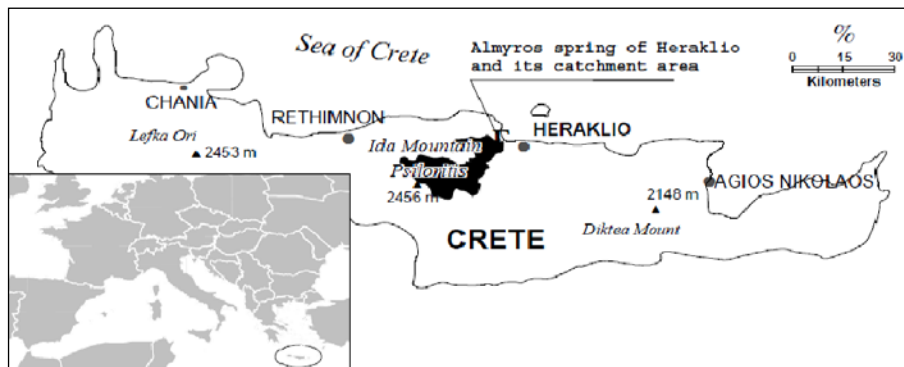
Η γεωλογία αλλά και η υδρογεωλογία της περιοχής του Αλμυρού είναι ιδιαίτερα σύνθετες και ασαφείς. Για το λόγο αυτό ο ακριβής προσδιορισμός της περιοχής τροφοδοσίας είναι μια δύσκολη πρόκληση ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας. Πολλοί ερευνητές οι οποίοι έχουν μελετήσει την περιοχή μελέτης, ήρθαν σε διαφωνία καθώς διατύπωσαν διαφορετικές απόψεις όσον αφορά τα όρια και την έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής.

Από γεωλογικές και υδρολογικές μελέτες που έγιναν στην περιοχή του Αλμυρού, έγινε σαφές πως η πηγή τροφοδοτείται, εκτός από τη βροχόπτωση που κατεισδύει στο έδαφος, και από διάφορες υπόγειες πηγές κάτω από τον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη αλλά και από τα επιφανειακά νερά της Ροδιάς. Ωστόσο η σημαντικότερη τροφοδοσία στην πηγή αποτελεί το νερό της θάλασσας που καταλήγει στην πηγή, μετατρέποντας έτσι το νερό της πηγής σε υφάλμυρο.

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διαφορετικές απόψεις για την έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής. Οι περισσότεροι μελετητές περιορίζουν το καρστικό σύστημα του Αλμυρού μεταξύ 305 km² (Arfib et al 2001) και 530 km² (Lambrakis et al 2000). Οι μελετητές που θεωρούν πως η έκταση της λεκάνης ανέρχεται στα 500 km², περιλαμβάνουν και το σύνολο των νερών που κατεισδύουν από τον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη, παρόλο που τα όρια και η έκτασή του δεν είναι καθορισμένα με ακρίβεια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνεται λεκάνης τροφοδοσίας έκτασης 305 km² σύμφωνα με Arfib et al 2001.

Η περιοχή μελέτης και η λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1 :



Σχήμα 2.1 : Τοποθεσία της πηγής του Αλμυρού. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η λεκάνη τροφοδοσίας. (Arfib et al 2001)

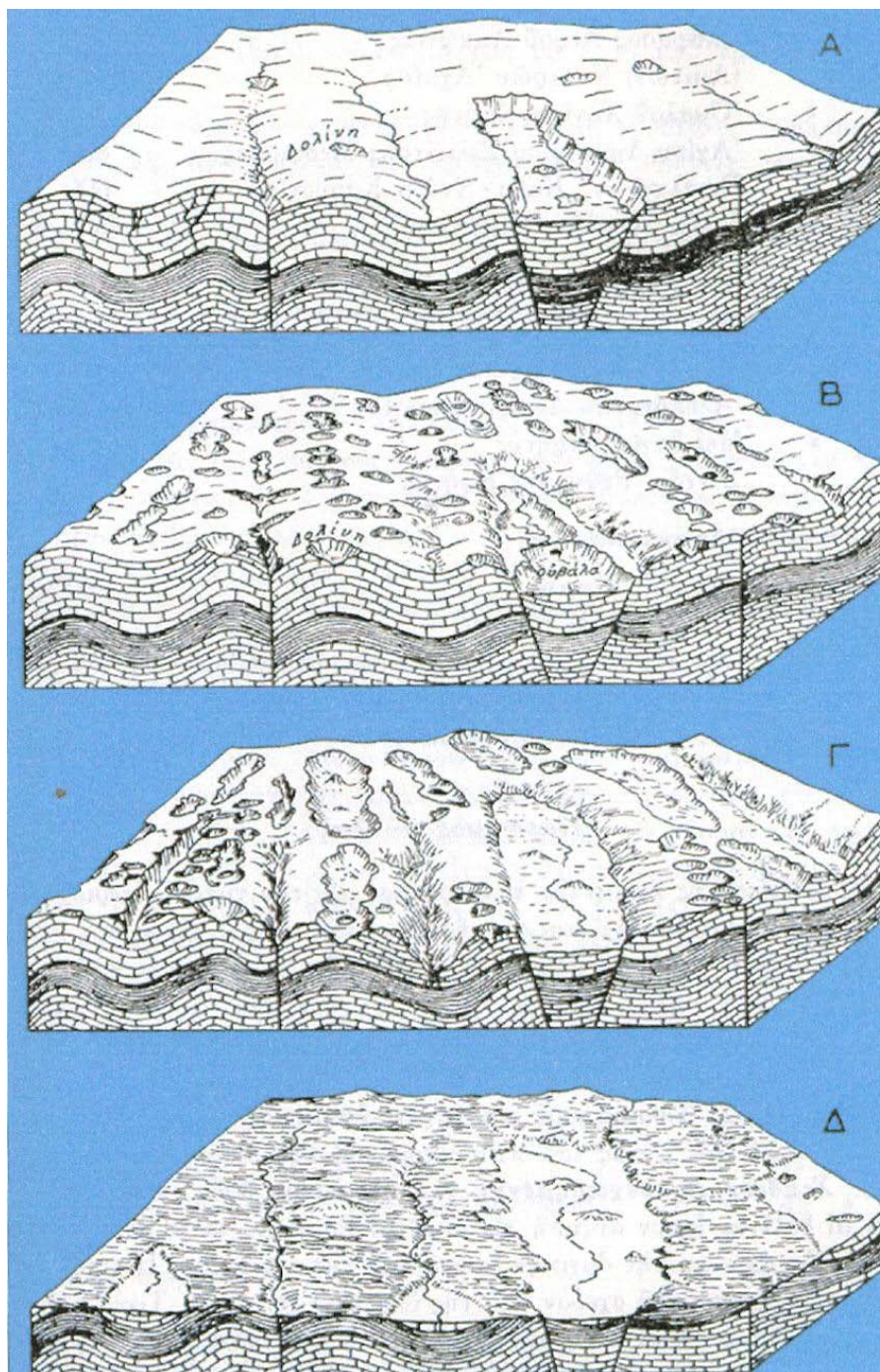
2.1.3 Καρστικοποίηση

Η πηγή του Αλμυρού αποτελεί μία από τις πολλές καρστικές πηγές της Κρήτης. Ο όρος καρστ χρησιμοποιείται διεθνώς για να περιγράψει όλες τις γεωλογικές δομές που οφείλονται στο φαινόμενο της χημικής διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) από ασθενές ανθρακικό οξύ, προερχόμενο από το νερό της βροχής και το διαλυμένο σ' αυτό διοξείδιο του άνθρακα, που προσλαμβάνει από το έδαφος και από τον αέρα. Το φαινόμενο κατά το οποίο μια γεωλογική δομή μετατρέπεται σε καρστ ονομάζεται καρστικοποίηση.

Οι γεωλογικές αυτές δομές, μπορεί να είναι είτε επιφανειακές (επιφανειακό καρστ), είτε υπόγειες (υπόγειο καρστ). Πολλές φορές υπάρχει άμεση επικοινωνία του επιφανειακού με το υπόγειο καρστ. Ακόμη, η καρστικοποίηση στην επιφάνεια των υδροφόρων οριζόντων μπορεί να είναι πολύ έντονη, ενώ από κάτω από αυτή να σταματάει εντελώς (*Μουντράκης 1985*).

Στις καρστικές πηγές, τα ανθρακικά πετρώματα, εξαιτίας της κατακερματισμένης μάζας τους, είναι από τα πλέον υδατοπερατά. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ρέει επιφανειακά σε αυτά. Ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που εισέρχεται στο έδαφος σχηματίζει υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η διαδικασία της καρστικοποίησης σε μια ασβεστολιθική περιοχή.



Σχήμα 2.2 : Διαδικασία της καρστικοποίησης σε ασβεστολιθική περιοχή
(Maramathas et al 2002)

2.1.3.1 Επιφανειακό και υπόγειο καρστ

Οι μορφές των καρστικών πετρωμάτων διακρίνονται ανάλογα με την τοποθεσία τους. Στην περίπτωση που τα πετρώματα βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους, ονομάζονται εξωκαρστικά. Εάν βρίσκονται σε βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (υπόγεια), ονομάζονται ενδοκαρστικά. (Καλλέργης 2001).

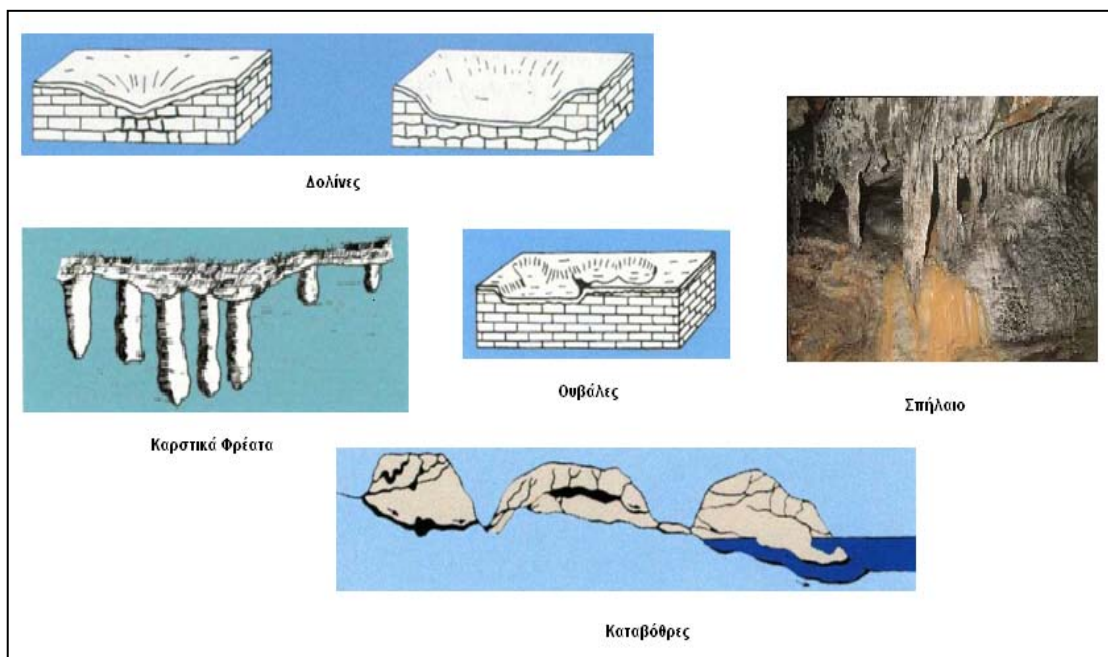
Στα εξωκαρστικά πετρώματα ανήκουν:

- Δακτυλογλυφές και αμαξοτροχιές: Βαθιές αύλακες στην επιφάνεια του ασβεστόλιθου.
- Καρστικά φρέατα: Βάραθρα τα οποία ξεκινούν συνήθως από την επιφάνεια του εδάφους και φτάνουν σε μεγάλα βάθη μέσα στη μάζα του ασβεστόλιθου συναντώντας το υπόγειο καρστ.
- Δολίνες : Κλειστές, κυκλικές ή ελλειπτικές λεκάνες μικρών διαστάσεων
- Ουβάλες : Ένωση πολλών δολινών
- Πόλγες: Μεγάλες καρστικές πεδιάδες

Στα ενδοκαρστικά πετρώματα ανήκουν:

- Καταβόθρες: Ανοίγματα σε χαμηλά σημεία των επιφανειακών λεκανών, που προχωρούν στο εσωτερικό του πετρώματος και σχηματίζουν συστήματα υπόγειων αγωγών και σπηλαίων.
- Σπήλαια: Υπόγειες κοιλότητες, οι οποίες συνήθως επικοινωνούν με την επιφάνεια μέσω μικρών ανοιγμάτων.

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζονται μερικά από τα εξωκαρστικά και ενδοκαρστικά πετρώματα:



Σχήμα 2.3 : Εξωκαρστικά και ενδοκαρστικά πετρώματα (Maramathas et al 2002)

2.2 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

2.2.1 Στρωματογραφική δομή

Η Κρήτη έχει ιδιαίτερα πολύπλοκη γεωλογική δομή. Ο Ψηλορείτης έχει σχηματιστεί από μία σειρά διαφόρων τεκτονικών ενοτήτων, οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη. Η βάση αυτή αποτελεί τον αυτόχθονο σχηματισμό όλης της Κρήτης (Μπεζές 1983).

Πάνω στην αυτόχθονη σειρά είναι τοποθετημένο το Φυλλιτικό σύστημα της Κρήτης, το οποίο αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους και χαλαζίτες με παρεμβολές από μάρμαρα και βασάλτες. Πάνω στην Φυλλιτική σειρά έχει απωθηθεί η ασβεστολιθική ζώνη της Τρίπολης, η βάση της οποίας αρχίζει με ερυθρούς σχιστόλιθους Ανωτριάδικής ηλικίας (σχηματισμός Ραβδούχων). Η ασβεστοδολομιτική σειρά αρχίζει από το Ανωτριάδικό και συνεχίζεται μέχρι τα μέσα, με συνολικό πάχος μεγαλύτερο από 500 m. Η ζώνη της Τρίπολης κλείνει με τον Φλύσχη ο οποίος είναι Πριαμπονίου ηλικίας.

Όπως σε ολόκληρη την Κρήτη, έτσι και στην περιοχή του Αλμυρού, παρατηρείται ότι η επαφή Φυλλιτών με την ζώνη της Τρίπολης είναι τεκτονική και συνοδεύεται από σημαντική αφαίρεση των κατωτέρων οριζόντων της ζώνης της Τρίπολης (Φασούλας 2000). Με τον τρόπο αυτό οποιοσδήποτε ανθρακικός ορίζοντας επικάθεται κατευθείαν επάνω στους Φυλλίτες.

2.2.2 Τεκτονική δομή

Όσον αφορά την τεκτονική δομή, στην περιοχή νοτίως των Ανωγείων, παρατηρείται μια σειρά από μερικώς μεταμορφωμένα πετρώματα, των πλακωδών ασβεστόλιθων ή Plattenkalk ελαφρά πτυχωμένη και με γενική κλίση προς Βορρά. Στα υψηλότερα σημεία του Ψηλορείτη οι Plattenkalk καλύπτονται από την ασβεστολιθική σειρά της Τρίπολης. Η διάταξη αυτή των στρωμάτων διακόπτεται από το μεγάλο ρήγμα του Ζαρού, που αρχίζει από το ΝΑ άκρο του Ψηλορείτη και συνεχίζεται προς τα δυτικά. Το άλμα του ρήγματος υπερβαίνει τα 1.000 m και φέρνει σε επαφή τους Plattenkalk με τον Φλύσχη και τους οφιόλιθους και το Νεογενές της λεκάνης του Τυμπακίου.

Επίσης, στο ανατολικό τμήμα του Ψηλορείτη ένα άλλο ρήγμα είναι υπεύθυνο για την καταβύθιση του ανατολικού τμήματος και τον σχηματισμό της Λεκάνης του Ηρακλείου. Το ρήγμα αυτό που αρχίζει επίσης από την περιοχή της Γέργερης, συνεχίζεται προς Βορρά, περνά από τον Κρουσώνα και δυτικά της Τυλίσου.

Βόρεια, οι σχηματισμοί του Ψηλορείτη (Plattenkalk και δολομίτες της Τρίπολης) διακόπτονται απότομα λόγω ρήγματος από σχηματισμούς ανωτέρων σειρών. Οι ίδιοι σχηματισμοί συνεχίζονται και μέχρι την περιοχή του Αλμυρού, όπου εξαιτίας του ρήγματος του Αλμυρού, έρχονται σε επαφή με το Νεογενές της λεκάνης του Ηρακλείου. ΒΔ από τα Ανώγεια και μεταξύ Ψηλορείτη και Ταλαίων Ορέων η περιοχή καλύπτεται από Plattenkalk, Φυλλίτες καθώς επίσης και σχηματισμούς των εσωτερικών ζωνών.

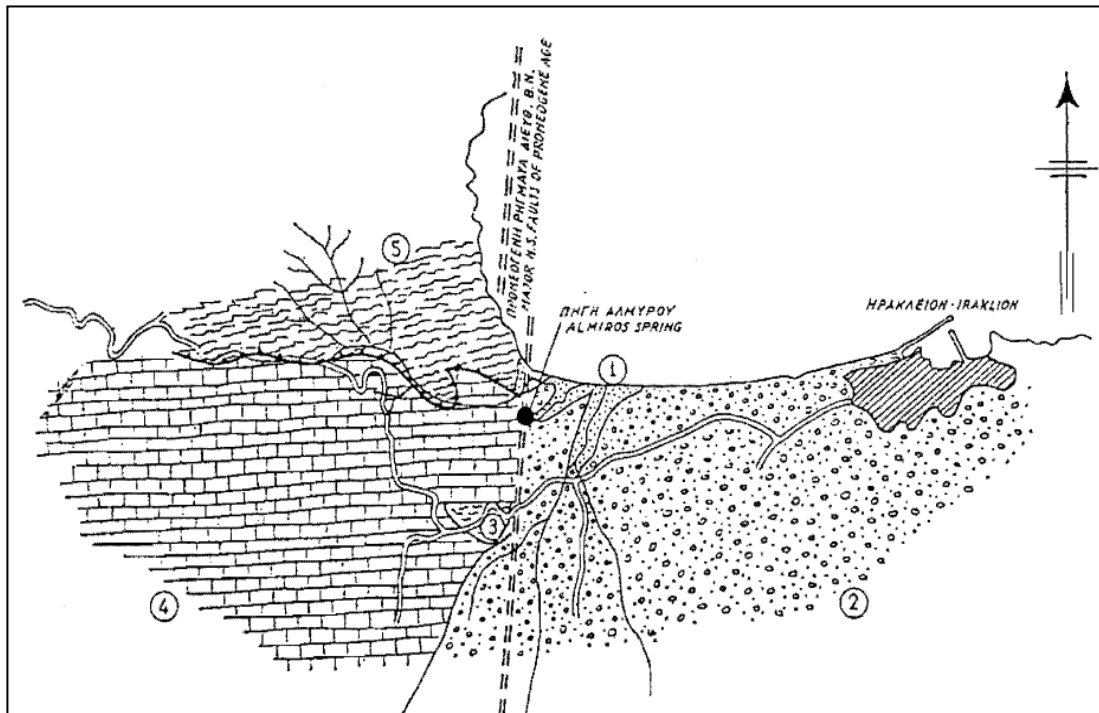
2.2.3 Μορφολογική δομή

Όσον αφορά τη μορφολογική δομή της περιοχής, στην πηγή του Αλμυρού αφθονούν τόσο οι δολίνες όσο και οι καταβόθρες. Οι καταβόθρες και οι δολίνες σχηματίζονται και στους ασβεστόλιθους της Τρίπολης και στους Plattenkalk. Η ύπαρξή τους έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχουν στην περιοχή του Αλμυρού χείμαρροι.

Αντίθετα οι μεγάλοι χείμαρροι της περιοχής συνδέονται με την απορροή λεκανών που καλύπτονται από υδατοστεγείς σχηματισμούς. Τέτοιοι χείμαρροι υπάρχουν δύο και συνδέονται άμεσα με την υδρογεωλογία της περιοχής. Ο πρώτος περνά από το Βαθύ φαράγγι της Τυλίσου και δέχεται τα νερά της λεκάνης Γωνιών-Ανωγείων. Ο δεύτερος χείμαρρος βρίσκει διέξοδο προς την θάλασσα περνώντας μέσα από το φαράγγι των Λινοπεραμάτων και η έξοδος του περνά 300 μέτρα βόρεια από την πηγή του Αλμυρού.

Τα νερά της πηγής του Αλμυρού πηγάζουν από έναν γκρεμό αποτελούμενο από ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή, τα οποία σχηματίστηκαν από την κατάρρευση του πετρώματος ενός σπηλαίου λόγω χημικής διάβρωσης (Burdon και Papakis 1964). Στο σχήμα 2.4 παρατίθεται ένας πρόχειρος ημιλιθολογικός χάρτης της πηγής του Αλμυρού σε κλίμακα 1 : 500.000, ο

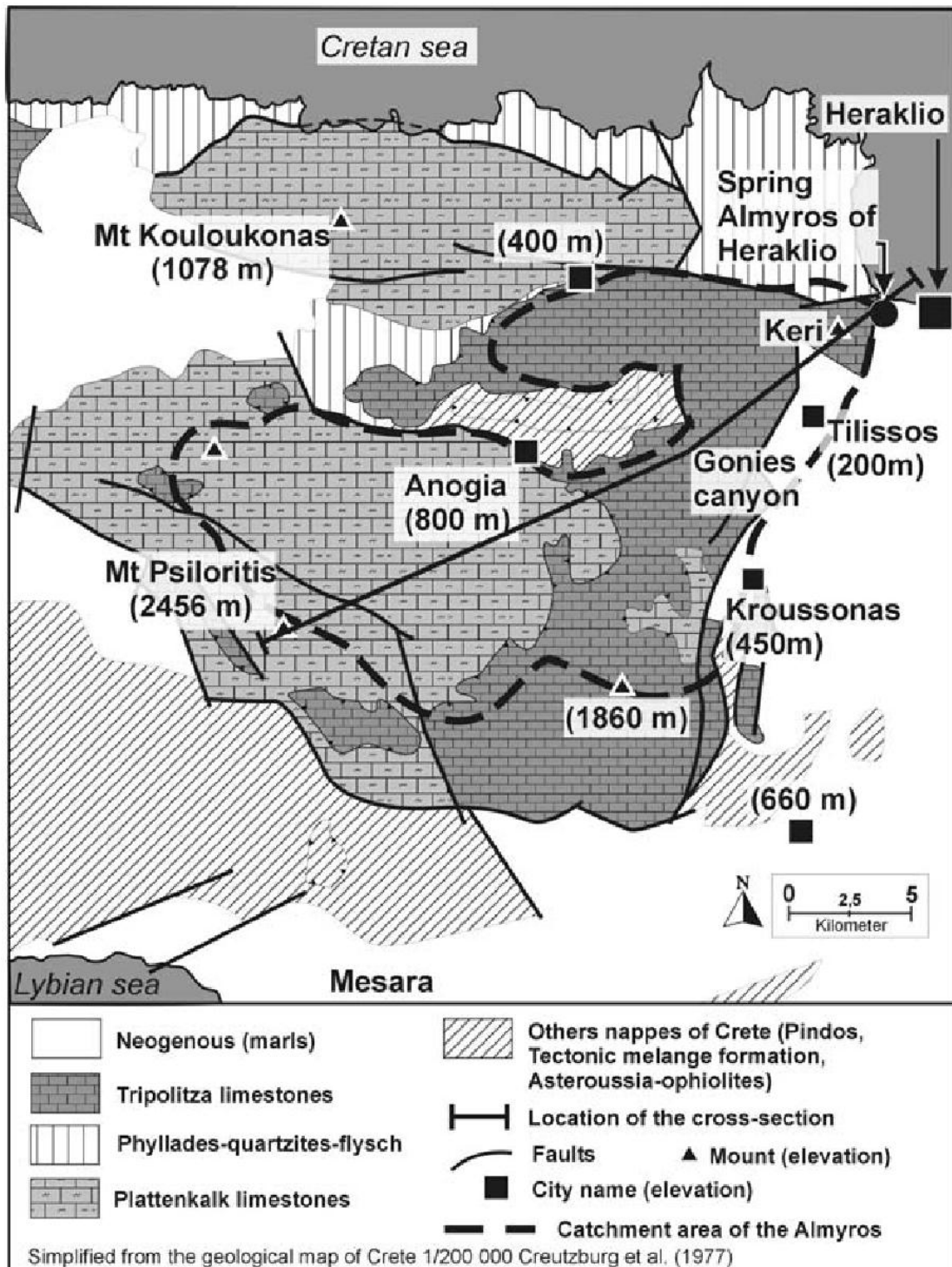
οποίος συντάχθηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι. Γ. Υ. Ε).



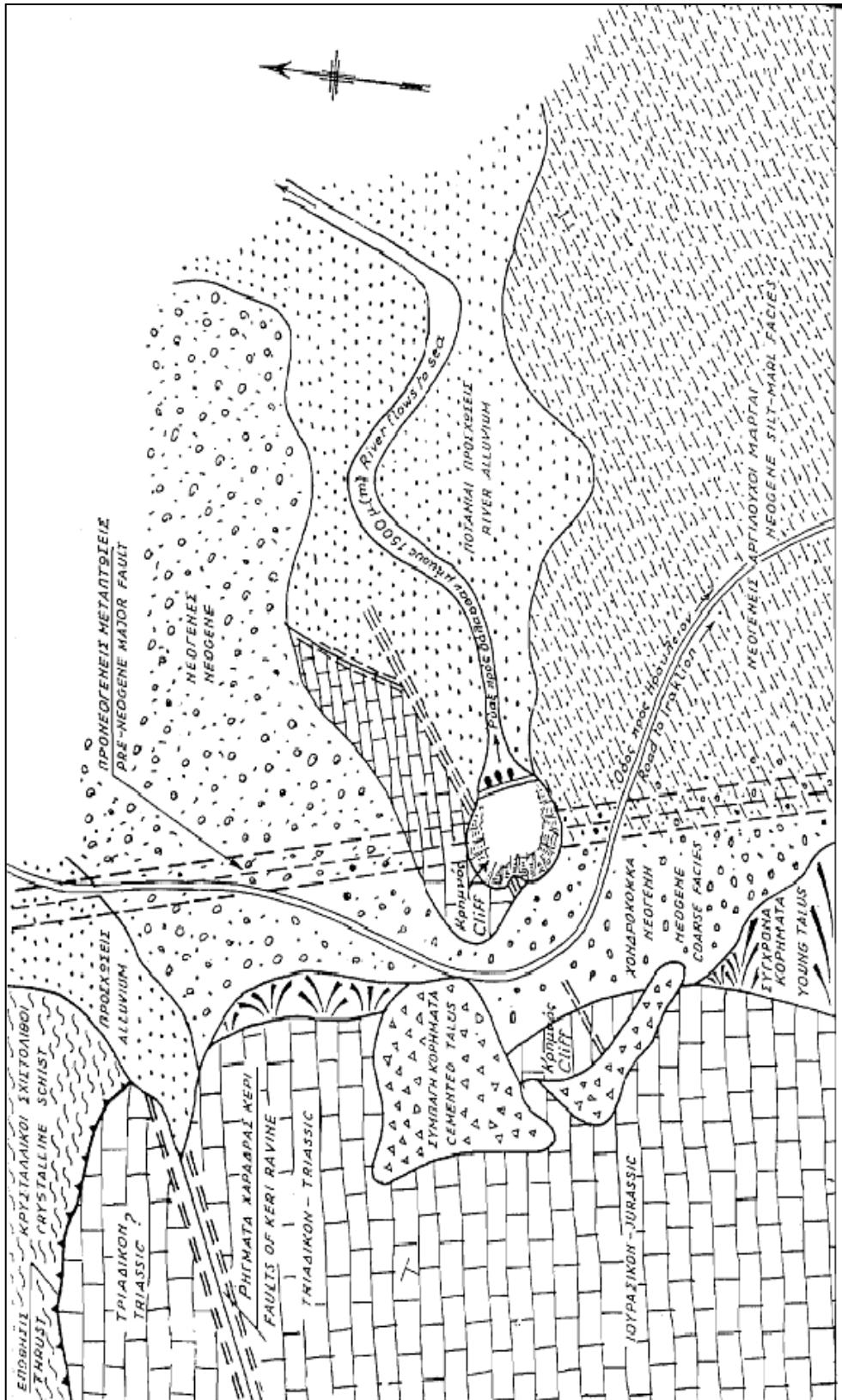
Σχήμα 2.4 : Γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής του Αλμυρού (Burdon και Paraki 1964).

Υπόμνημα: [1]:Αλούβια, [2]:Νεογενή και προσχώσεις κοιλάδος, [3]:Φλύσχης, [4]:Ασβεστόλιθοι, [5]:Σχιστόλιθοι.

Για περισσότερη όμως λεπτομέρεια και ακρίβεια, σχηματίστηκαν νέοι γεωλογικοί χάρτες για την πηγή, στους οποίους απεικονίζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής. Οι νέοι αυτοί γεωλογικοί χάρτες απεικονίζονται στα σχήματα 2.5, 2.6 και 2.7 στις επόμενες σελίδες:



Σχήμα 2.5 : Γενικός γεωλογικός χάρτης της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού (Arfib et al 2007).



Σχήμα 2.7 : Λεπτομερές γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου (Burdon και Papaki 1964).

2.3 Υδρογεωλογία

Στο υδρολογικό καρστικό σύστημα του Αλμυρού Ηρακλείου, όπως σε κάθε υδρογεωλογικό σύστημα, διακρίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών τα οποία είναι:

- Οι εισοδοί του συστήματος (κατεισδύσεις από βροχή, χιόνι, καταβόθρες),
- Οι έξοδοι : (απώλειες λόγω εξάτμισης, εκροές από πηγές),
- Η αποθήκευση του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα (μεταβολές αποθεμάτων),
- Οι μηχανισμοί λειτουργίας που συνδέουν μεταξύ τους τις εισόδους, τις εξόδους και την αποθήκευση.

Ένα ακόμη επιπλέον χαρακτηριστικό του συστήματος του Αλμυρού είναι η ύπαρξη μιας ακόμη σημαντικής εισόδου, αυτή της εισροής του θαλασσινού νερού καθώς και ο αντίστοιχος μηχανισμός εισόδου του θαλασσινού νερού προς τον υδροφορέα.

2.3.1 Είσοδοι του συστήματος

Η τροφοδοσία της πηγής γίνεται από τις βροχές και τα χιόνια που πέφτουν πάνω στην ασβεστολιθική μάζα του Ψηλορείτη. Ένα ποσοστό της βροχής εξατμίζεται αμέσως ή απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και το υπόλοιπο κατεισδύει. Το χιόνι προσωρινά συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους και από εκεί κατεισδύει με αργό ρυθμό, ενώ συγχρόνως εξατμίζεται ένα ποσοστό.

2.3.2 Κυκλοφορία και αποθήκευση του νερού στο σύστημα της πηγής του Αλμυρού

Το νερό της βροχής και του χιονιού που κατεισδύει μέσα στους ασβεστόλιθους, ακολουθεί μια κατακόρυφη σχετικά διαδρομή και μετά από ένα χρονικό διάστημα φθάνει στον υδροφορέα. Από εκεί το νερό κατευθύνεται προς την έξοδο του συστήματος, την πηγή του Αλμυρού. Κάθε προσαύξηση

του νερού στην επιφάνεια του υδροφορέα προκαλεί αύξηση της πίεσεως, η οποία διαδίδεται μέχρι την πηγή, με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση της παροχής της.

Επίσης το νερό που απορρέει από την σχιστολιθική λεκάνη της Ροδιάς φθάνει στις καταβόθρες του φαραγγιού των Λινοπεραμάτων και εισχωρεί στον υδροφορέα της πηγής του Αλμυρού.

Έτσι, η αύξηση της παροχής της πηγής οφείλεται τόσο στα επιφανειακά νερά της Ροδιάς όσο και στα καρστικά νερά του Ψηλορείτη.

Ακόμη, οι πηγές του Μπαλίου αποτελούν πιθανότατα την δεύτερη μεγάλη έξοδο του συστήματος του Ψηλορείτη.

2.3.3 Καρστικοί Υδροφορείς

Με τον όρο καρστικό υδροφορέα χαρακτηρίζεται ο όγκος διαλυτού πετρώματος στον οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης. Το μέγεθος αλλά και η κατεύθυνση των καναλιών αυτών είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι είτε γραμμική, είτε τυρβώδης ή ακόμα και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοιχτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου, με αποτέλεσμα την αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα (Καλλέργης 2001).

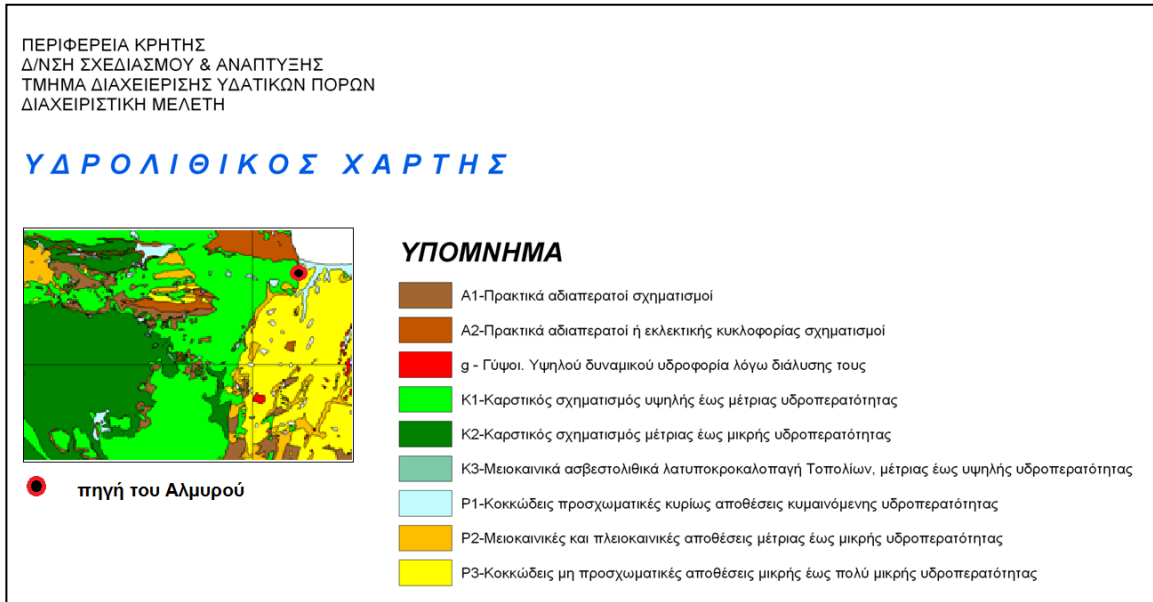
Ωστόσο, είναι γεγονός πως η δομή του καρστικού υδροφορέα και οι υδραυλικές ιδιότητές του μεταβάλλονται και χωρικά και χρονικά, συνεπώς οι υδροφορείς αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία.

Η διαδικασία της διάβρωσης των ανθρακικών πετρωμάτων είναι μια συνεχής δυναμική διαδικασία, που οφείλεται κυρίως στη διαλυτική δράση του νερού της βροχής.

Οι καρστικές λεκάνες σχηματίζονται από τη διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων εξαιτίας της καρστικής αποσάθρωσης και διάβρωσης. Η

διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αγωγών πάνω σε προϋπάρχουσες ασυνέχειες των τεκτονικών πετρωμάτων (Sanz et al 2002).

Στον υδρολιθικό χάρτη του σχήματος 2.8 παρουσιάζεται αναλυτικά η γεωλογία και υδρογεωλογία της περιοχής του συστήματος της πηγής του Αλμυρού.



Σχήμα 2.8 : Υδρολιθικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Περιφέρεια Κρήτης 2009).

2.4 Υφαλμύρωση

Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων παρατηρείται τόσο σε ελεύθερους όσο και περιορισμένους υδροφορείς. Το φαινόμενο αυτό της υφαλμύρωσης μπορεί να οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες. Συνήθως όμως παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλασσιού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, όπως και στην περίπτωση της πηγής του Αλμυρού. Η διείσδυση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε πρωτογενείς, είτε σε δευτερογενείς παράγοντες:

- Οι πρωτογενείς παράγοντες αφορούν τη μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και συνδέονται με την ελάττωση των ποσοτήτων των υδάτων που εισχωρούν στους υδροφορείς. Αναφέρονται κυρίως στους καρστικούς υδροφορείς και παρατηρείται μια σχετικά περιοδική υφαλμύρωση που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις.
- Οι δευτερογενείς παράγοντες συνδέονται αποκλειστικά με την υπερβολική άντληση. Παρατηρούνται κυρίως σε καλλιεργούμενες παράκτιες πεδινές εκτάσεις και επηρεάζουν τόσο τους ελεύθερους όσο και τους φρεάτιους (περιορισμένους) υδροφορείς.

Στην πηγή του Αλμυρού, η διείσδυση του θαλασσιού νερού οφείλεται κατά κύριο λόγο στους πρωτογενείς παράγοντες όπως κλιματική αλλαγή, ανύψωση της στάθμης της θάλασσας και τεκτονική δομή.

2.4.1 Υφαλμύρωση Παράκτιων Καρστικών Υδροφορέων

Στους παράκτιους καρστικούς υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους.

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης συναντάται σε καρστικά πετρώματα που βρίσκονται κοντά σε ακτές. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η άμεση επαφή γλυκού και αλμυρού νερού. Η διείσδυση του θαλασσιού νερού στα τεκτονικά στρώματα, προκαλεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης του υδροφορέα,

υψηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας (Καλλέργης 2001). Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης είναι δυνατόν να προκληθεί και από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας πολύ μακριά από την ακτή και σε μεγάλο βάθος (Arfib et al 2004).

Γενικότερα, λόγω διαφοράς πυκνότητας, το γλυκό νερό επιπλέει πάνω στο θαλασσινό. Κατά την ισορροπία, η θέση της διεπιφάνειας γλυκού - αλμυρού νερού, σε έναν παράκτιο υδροφορέα, καθορίζεται από το νόμο Ghyben – Herzberg, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν τη σχέση πυκνοτήτων γλυκού - θαλασσινού νερού (Καλλέργης 2001). Πιο συγκεκριμένα, η θέση της διεπιφάνειας δίνεται από τη σχέση:

$$H_s = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} H$$

Όπου,

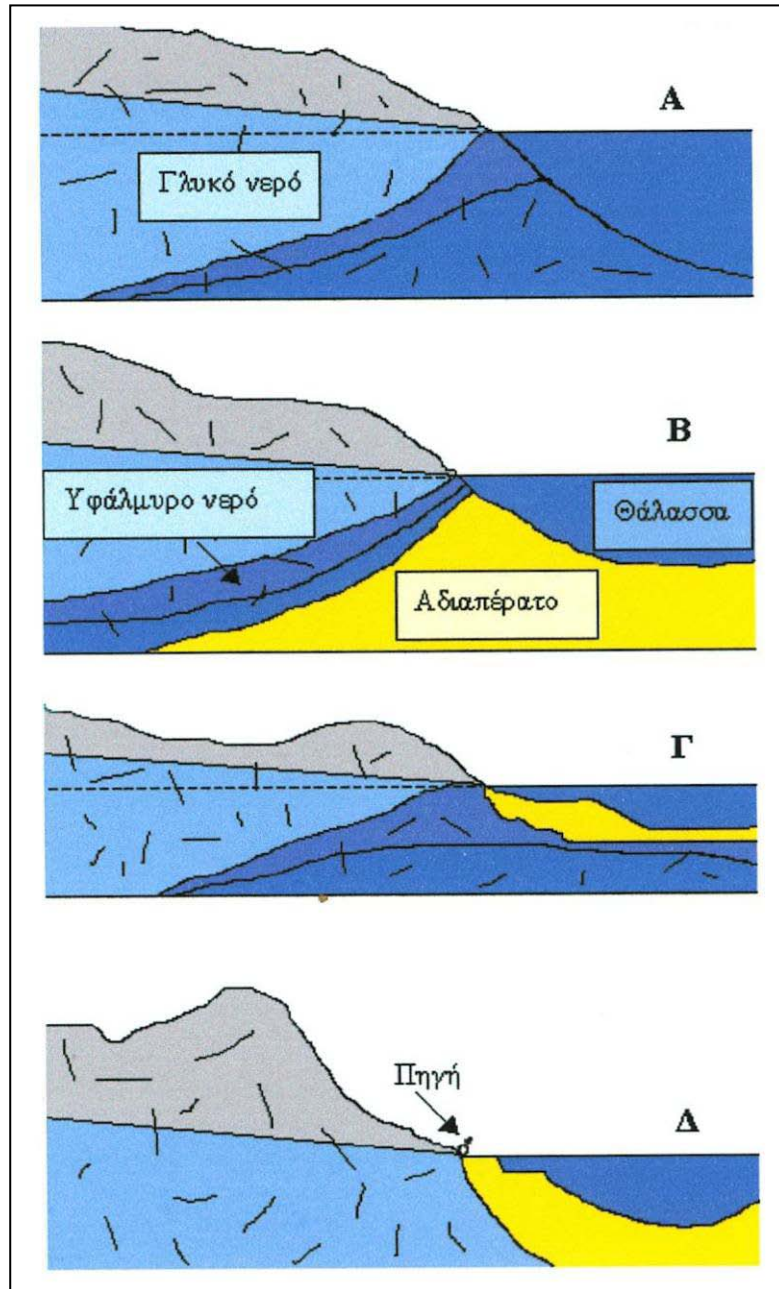
H_s : το βάθος της διεπιφάνειας κάτω από τη στάθμη της θάλασσας,

H : το ύψος της στάθμης του γλυκού νερού πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας,

γ_s : το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού και

γ : το ειδικό βάρος του γλυκού νερού

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης των καρστικών πηγών περιγράφεται από τα παρακάτω σχήματα 2.9 και 2.10.



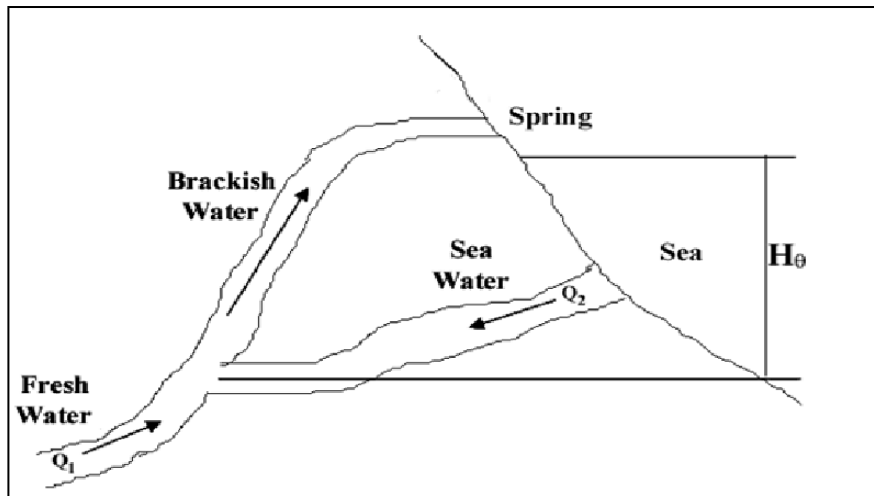
Σχήμα 2.9 : Θέση και γεωμετρία της μεταβατικής ζώνης υφάλμυρου νερού σε παράκτιες καρστικές πηγές (Maramathas et al 2002)

[A]: Υδροφορέας ελεύθερος προς τη θάλασσα

[B]: Μερικώς φραγμένος προς τη θάλασσα

[Γ]: Με επικρεμάμενο φραγμό

[Δ]: Ολικά φραγμένος



Σχήμα 2.10 : Υφαλμύρωση καρστικής πηγής (Maramathas et al 2006).

2.4.2 Ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού στο καρστικό σύστημα του Αλμυρού

Το φθινόπωρο στην πηγή του Αλμυρού κάθε βροχή προκαλεί μια προσωρινή βελτίωση της ποιότητας του νερού που οφείλεται στην άφιξη μαζών γλυκού νερού που προέρχονται από την λεκάνη της Ροδιάς. Αργότερα όμως η παροχή μειώνεται καθώς εισέρχεται το θαλασσινό νερό στον υδροφορέα. Πιθανότατα η είσοδος της θάλασσας γίνεται από τις πηγές του Μπαλιού (Μπεζές 1983).

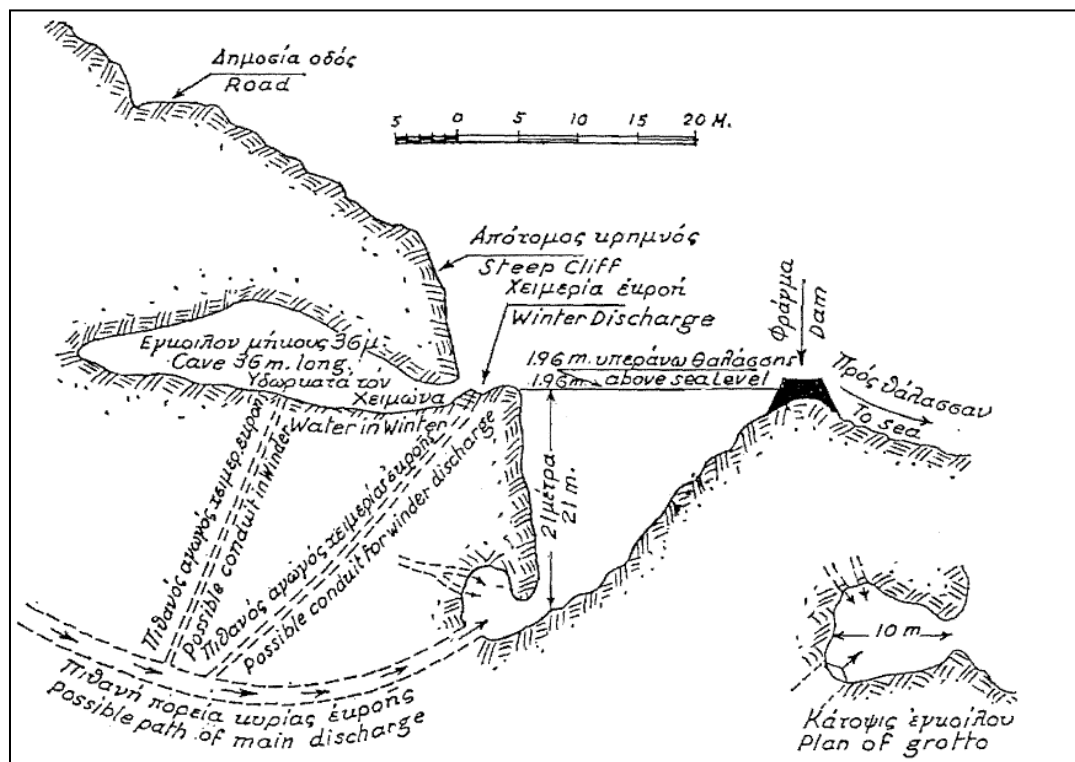
Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η είσοδος του θαλασσινού νερού μειώνεται, με συνέπεια στην πηγή του Αλμυρού να φθάνει περισσότερο γλυκό νερό. Αντίθετα, την άνοιξη αρχίζει η αύξηση της αλατότητας του νερού της πηγής. Στο τέλος της θερινής περιόδου, η είσοδος της θάλασσας σταθεροποιείται. Όμως η αλατότητα του νερού του Αλμυρού εξακολουθεί και αυξάνεται και κατά το φθινόπωρο λόγω της συνεχής μείωσης του ποσοστού του γλυκού νερού (Μπεζές 1983).

Πιο αναλυτικά, τον χειμώνα η παροχή της πηγής του Αλμυρού εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Η ελάχιστη παροχή είναι της τάξης των 7 - 8 m³/sec, ενώ η μέγιστη, σε περίοδο μεγάλων βροχοπτώσεων, φτάνει τα 40-50 m³/sec.

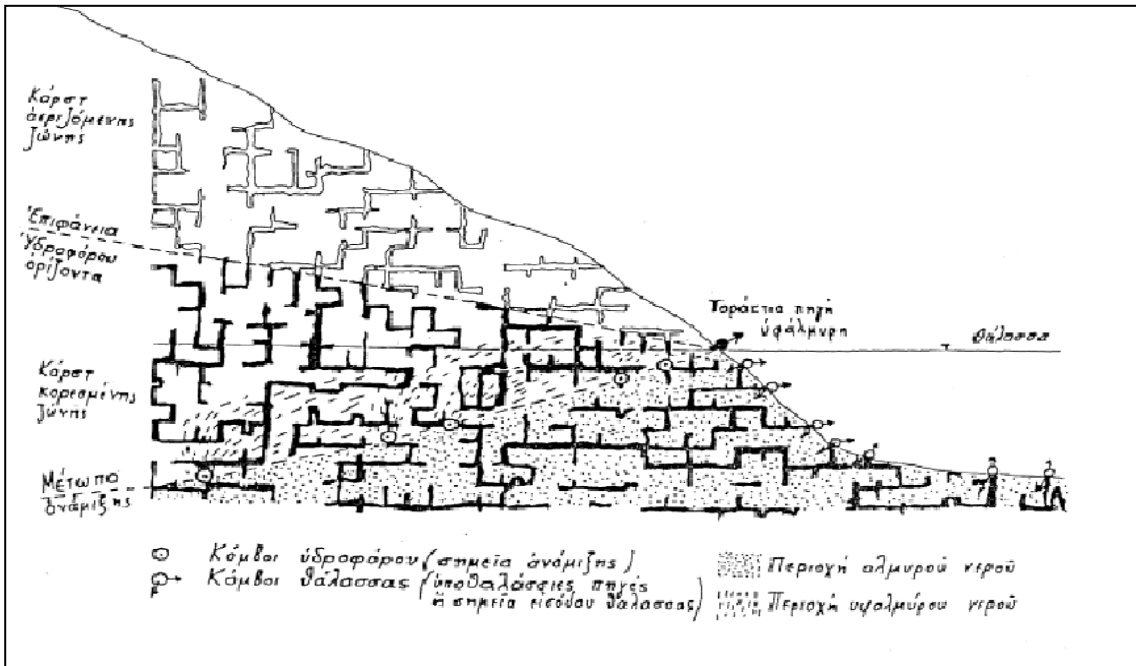
Το καλοκαίρι, οι παροχές σε αλμυρό νερό είναι της τάξης των 5 - 6 m³/sec τον Ιούνιο και 3,5 - 4 m³/sec τον Οκτώβριο. Πρέπει όμως να συνυπολογιστεί και η ύπαρξη του θαλασσινού νερού που εισέρχεται στην πηγή.

Η μέση ετήσια παροχή σε υφάλμυρο νερό είναι 4,5-5,5 m³/sec. Λαμβάνοντας υπόψη πως στον Μεσογειακό χώρο παροχή 1 m³/sec αντιστοιχεί περίπου σε μια καρστική λεκάνη τροφοδοσίας έκτασης 80 km², εξάγεται το συμπέρασμα πως η μέση ετήσια παροχή σε γλυκό νερό είναι 4 m³/sec περίπου. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται επίσης ότι η λεκάνη τροφοδοσίας του Αλμυρού έχει έκταση της τάξης των 320 km² (*Arfib et al 2001*).

Το νερό της πηγής καταλήγει σε μία λίμνη διαστάσεων 75 m επί 50 m, μέσω ενός ευθύγραμμου κατακόρυφου καρστικού αγωγού διαμέτρου 5 μέτρων και βάθους μεταξύ 35 και 110 m και αναβλύζει σε υψόμετρο 2 μέτρων πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Με την κατασκευή του φράγματος το 1977, η στάθμη του νερού ρυθμίζεται από 3 έως 10 μέτρα όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.11 :



Σχήμα 2.11 : Κατακόρυφη τομή διεύθυνσης Α-Δ για την πηγή του Αλμυρού. (Burdon και Papakis 1964)



Σχήμα 2.12 : Γεωλογικός χάρτης υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού (Περιφέρεια Κρήτης)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ποσοτικά στοιχεία της πηγής Παροχή – Συγκέντρωση Χλωριόντων

3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται ο συνολικός όγκος του νερού που απορρέει από την πηγή και η συγκέντρωση των χλωριόντων που παρουσιάζεται. Μελετάται επίσης η συσχέτιση των δεδομένων αυτών σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα δεδομένα της παροχής της πηγής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων παραχωρήθηκαν από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (Υ.Ε.Β.) του νομού Ηρακλείου σε ψηφιακή μορφή.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη των παραπάνω στόχων ήταν:

1. Ημερήσια δεδομένα της συνολικής παροχής για την πηγή από 15/04/1967 έως 17/11/1994 (αρχικά δεδομένα). Μηνιαία δεδομένα για την παροχή της πηγής από τον Σεπτέμβριο του 1975 έως τον Αύγουστο του 2001 (τελικά δεδομένα).

2. Ημερήσια και μηνιαία δεδομένα για τη συγκέντρωση των χλωριόντων για τις ίδιες χρονικές περιόδους με την παροχή της πηγής.
3. Μηνιαία δεδομένα για την βροχόπτωση για τους βροχομετρικούς σταθμούς του Ηρακλείου και του Κρουσώνα από το 1975 μέχρι το 2007 και ημερήσια για το σταθμό των Ανωγείων για τα έτη 1919 – 2001.
4. Ετήσια και εξαμηνιαία δεδομένα για τον δείκτη ξηρασίας RDI για τους βροχομετρικούς σταθμούς του Ηρακλείου και του Κρουσώνα.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στους αντίστοιχους πίνακες Π.1 έως Π.6 και Π.9 στο παράρτημα.

3.2 Συνολική παροχή της πηγής

Η παροχή της πηγής είναι συνεχής κατά τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου, παρουσιάζει όμως πολύ μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η ελάχιστη παροχή υφάλμυρου νερού που εμφανίζεται είναι της τάξης των 3 – 4 m³/sec, ενώ τους χειμερινούς μήνες η ελάχιστη παροχή φτάνει τα 8 – 10 m³/sec, ενώ η μέγιστη παροχή μπορεί να φτάνει τα 30 – 40 m³/sec (Μπεζές 1983).

Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί η μέγιστη παροχή αναφέρεται ότι ανέρχεται σε 70 με 80 m³/sec, στοιχείο που δεν παρατηρήθηκε στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Η μέση ετήσια παροχή της πηγής του Αλμυρού υπολογίζεται γύρω στα 250 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Μαραμαθάς 2003).

Στον συγκεντρωτικό πίνακα 3.1 δίνεται η μηνιαία παροχή της πηγής σε 10⁶ m³ για την περίοδο που εξετάστηκε, δηλαδή τα έτη 1975 με 2001. Μηνιαία στοιχεία της παροχής της πηγής παρατίθενται στο παράρτημα στον πίνακα Π.3.

Πίνακας 3.1 : Όγκος νερού της πηγής του Αλμυρού ανά τετράμηνο σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου)

	ΠΑΡΟΧΗ m ³ /τετράμηνο				SUM
	ΙΑΝ-ΜΑΡΤ	ΑΠΡ-ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ-ΣΕΠΤ	ΟΚΤ-ΔΕΚ	
1968-69		81,68	37,79	97,28	216,75
1969-70	127,65	92,60	38,49	46,50	305,24
1970-71	65,86	41,60	32,97	60,81	201,24
1971-72	103,97	52,41	32,50	33,05	221,93
1972-73	91,23	52,95	44,68	62,36	251,23
1973-74	111,35	65,88	50,09	28,38	255,70
1974-75	107,56	61,21	52,27	72,58	293,62
1975-76	130,62	85,00	50,35	64,31	330,28
1976-77	121,38	68,51	41,83	72,24	303,96
1977-78	100,60	57,23	32,04	63,14	253,01
1978-79	115,86	52,18	37,56	61,90	267,49
1979-80	102,43	44,32	36,39	75,74	258,88
1980-81	103,89	65,09	45,26	51,71	265,94
1981-82	107,00	49,69	38,88	42,53	238,10
1982-83	114,15	51,32	37,40	41,37	244,24
1983-84	130,81	65,40	40,36	65,94	302,50
1984-85	120,88	81,87	41,68	68,66	313,09
1985-86	93,00	55,44	61,96	68,43	278,83
1986-87	98,38	42,77	34,21	63,37	238,74
1987-88	86,39		34,60	33,98	154,98
1988-89	81,45	51,17	37,01	53,97	223,60
1989-90	86,31	44,48	33,36	37,17	201,32
1990-91	96,66	62,03			158,69
1991-92			57,29	84,63	141,92
1992-93	120,14		68,13	78,36	266,63
1993-94	97,85			64,25	162,10
1994-95	102,98	80,65			183,63
1995-96	108,69	81,25	41,89	63,24	295,07
1996-97	105,97	60,58	39,27	51,63	257,45
1997-98	86,70	59,95	37,17	61,90	245,72
1998-99	95,64	67,43	33,67	52,25	248,99
1999-2000	106,35	73,53	32,43	56,06	268,37
2000-01	95,52	50,31	40,36	73,96	260,15
MEAN	103,78	62,02	41,40	59,73	245,74
MIN	65,86	41,60	32,04	28,38	141,92
MAX	130,81	92,60	68,13	97,28	330,28

3.3 Συγκέντρωση χλωριόντων

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

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

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

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

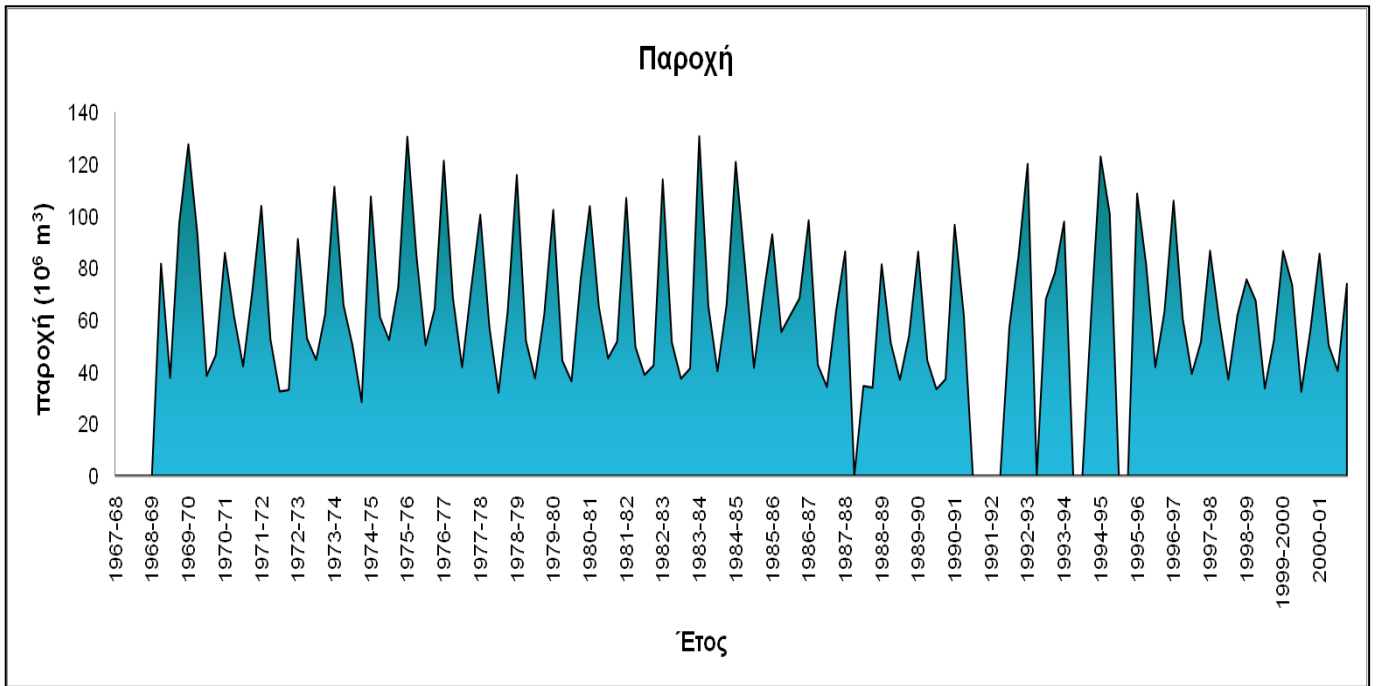
Τα δεδομένα της συγκέντρωσης των χλωριόντων της πηγής που μελετήθηκαν, αφορούν τη χρονική περίοδο από το έτος 1967 έως το 2000. Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η έλλειψη δεδομένων, όπως παροχή και συγκέντρωση χλωριόντων, για την πηγή αποτέλεσε σημαντικό εμπόδιο στην εξέταση και μελέτη των δύο αυτών χαρακτηριστικών στοιχείων της πηγής.

3.4 Διαγράμματα

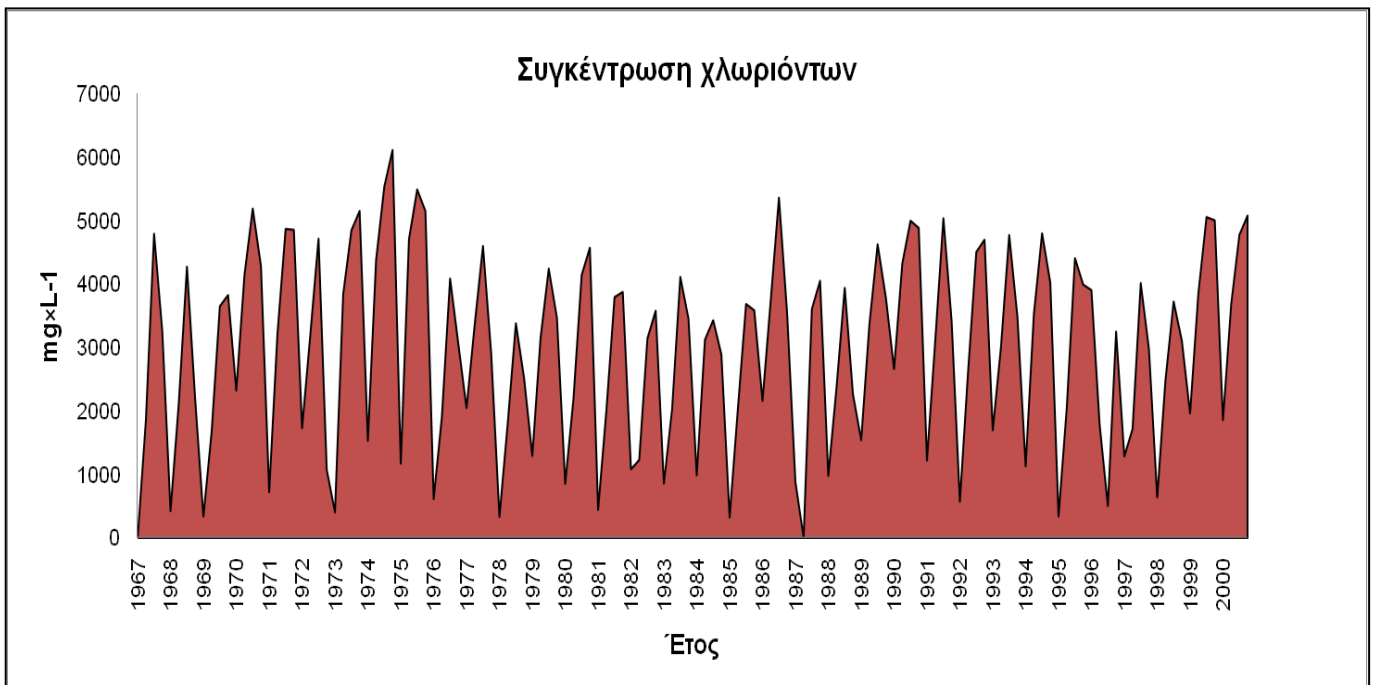
Σε επόμενες σελίδες παρουσιάζονται τα διαγράμματα της συνολικής μηνιαίας παροχής της πηγής (σχήμα 3.1), της συγκέντρωσης των χλωριόντων συναρτήσει του χρόνου (σχήμα 3.2), της συγκέντρωσης των χλωριόντων συναρτήσει της παροχής της πηγής (σχήμα 3.4), καθώς και της ετήσιας παροχής της πηγής (σχήμα 3.3).

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα δύο μεγέθη αυξομειώνονται αντίθετα. Τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται αύξηση της παροχής και μείωση της συγκέντρωσης των χλωριόντων, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρατηρείται μείωση της παροχής και αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (σχήμα 3.4).

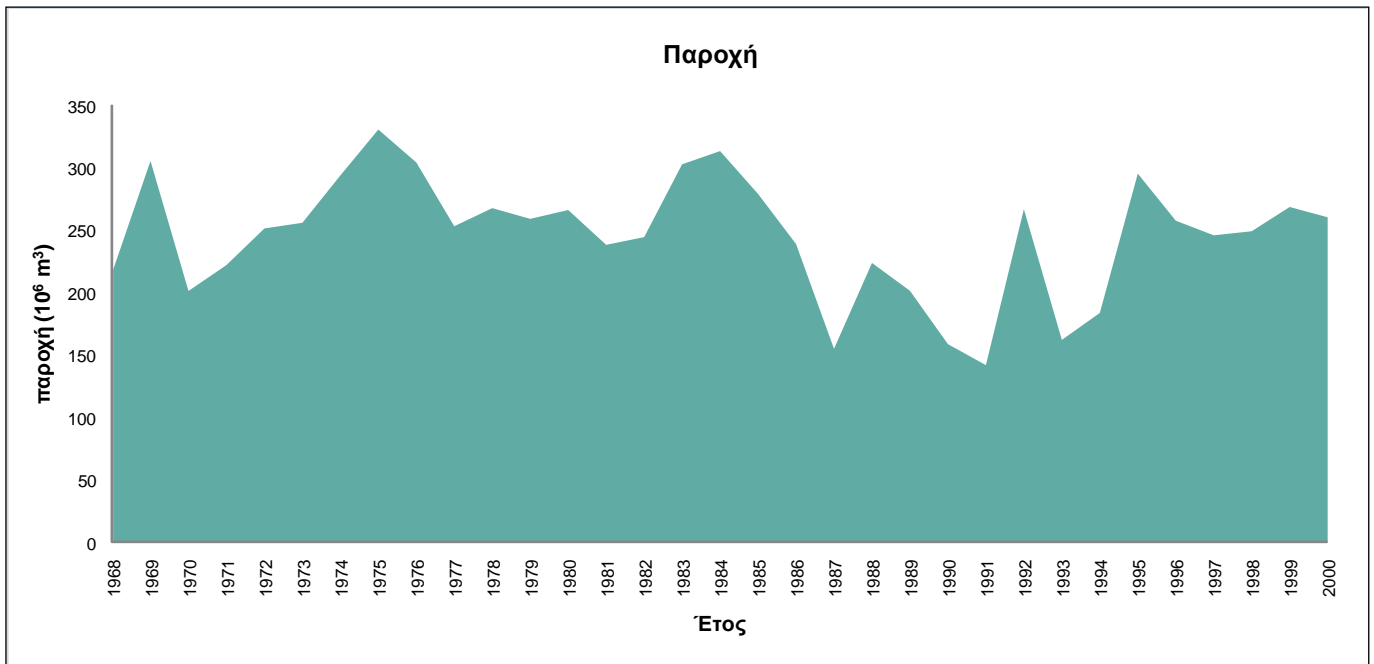
Τέλος, παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχέτισης της παροχής της πηγής με την συγκέντρωση των χλωριόντων (σχήμα 3.5). Η μερική συσχέτιση των δύο δεδομένων φαίνεται από τον συντελεστή συσχέτισης $R^2=0,57$.



Σχήμα 3.1 : Μηνιαία παροχή για την περίοδο 1967 – 2000



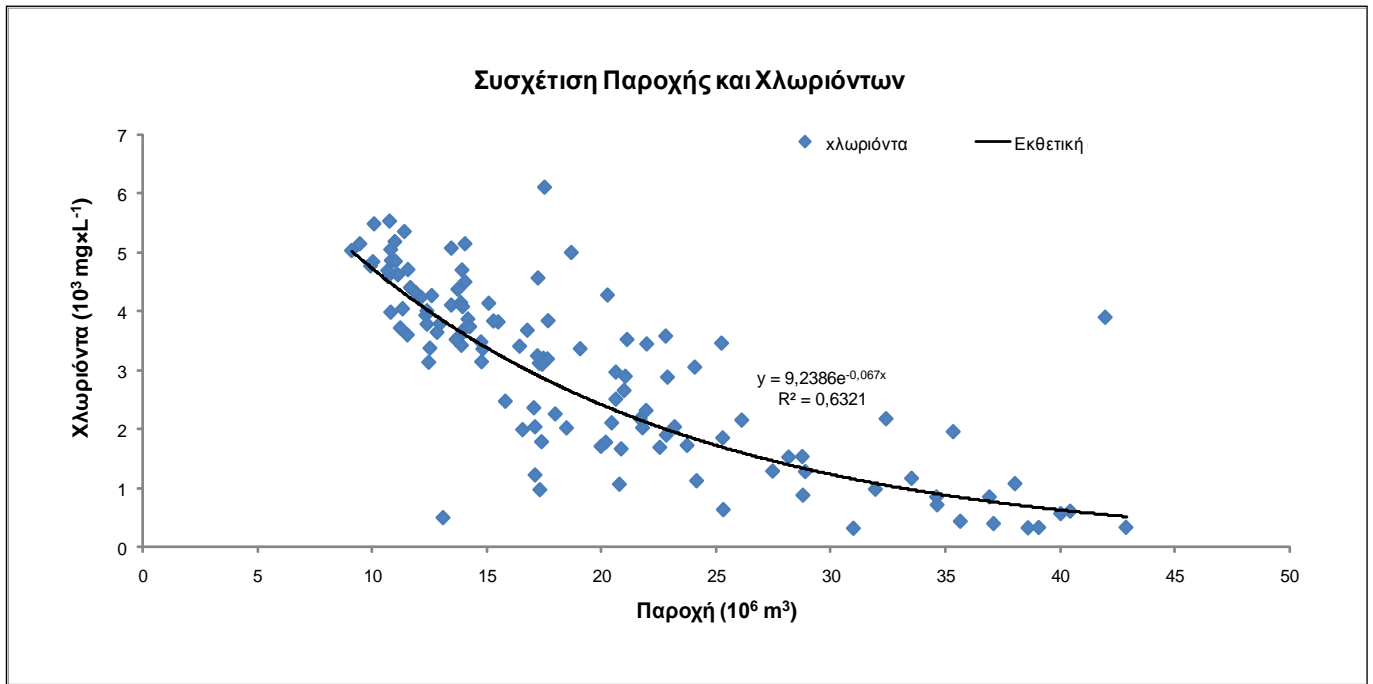
Σχήμα 3.2 : Μηνιαία συγκέντρωση χλωριόντων για την περίοδο 1967 -2000



Σχήμα 3.3 : Ετήσια παροχή για την περίοδο 1968 -2000



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



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

3.5 Παρατηρήσεις

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

- Σύμφωνα με το σχήμα 3.1, παρατηρείται πως η συνολική μηνιαία παροχή της πηγής του Αλμυρού, παρουσιάζει μια πτωτική τάση. Η τάση αυτή όμως είναι στατιστικά μη αποδεκτή εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή συσχέτισης ($R^2 = 0,0007$).
- Σύμφωνα με το σχήμα 3.2, η συγκέντρωση των χλωριόντων ακολουθεί μια αυξητική τάση με το πέρασμα του χρόνου. Ομοίως το αποτέλεσμα είναι στατιστικά μη σημαντικό ($R^2 = 0,0021$).
- Με βάση το σχήμα 3.3, παρατηρείται πως η συνολική ετήσια παροχή της πηγής ακολουθεί μια στατιστικά μη αποδεκτή πτωτική τάση με $R^2 = 0,0543$.
- Από το σχήμα 3.4 εξάγεται το συμπέρασμα πως η παροχή και τα χλωριόντα είναι χαρακτηριστικά στοιχεία της πηγής που αυξομειώνονται αντίθετα. Τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων και μειώνεται η παροχή, ενώ τους χειμερινούς μήνες αυξάνεται η παροχή και μειώνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων.
- Τέλος, από το διάγραμμα για τα μεγέθη της συγκέντρωσης των χλωριόντων και της παροχής της πηγής (σχήμα 3.5), προέκυψε η εκθετική συνάρτηση σύμφωνα με την οποία ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2 = 0,63$. Όπου y είναι η συγκέντρωση χλωριόντων μετρημένη σε $\text{mg}\times\text{L}^{-1}$ και x είναι η παροχή της πηγής εκφρασμένη σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (10^6 m^3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Επεξεργασία Βροχομετρικών Δεδομένων

4.1 Γενικά

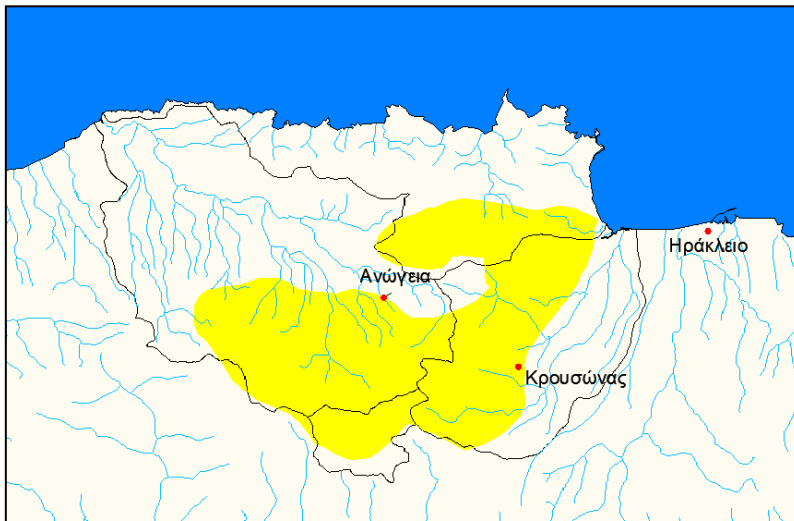
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται οι τρεις σταθμοί που μελετήθηκαν καθώς και η επεξεργασία των βροχομετρικών τους δεδομένων. Μελετούνται ακόμα και οι δείκτες ξηρασίας RDI που υπολογίστηκαν για τους παραπάνω σταθμούς.

4.2 Βροχομετρικοί σταθμοί

Στην ευρύτερη περιοχή τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού βρίσκονται σε λειτουργία αρκετοί βροχομετρικοί σταθμοί της Υ.Ε.Β και της Ε.Μ.Υ. Στο πλαίσιο όμως της συγκεκριμένης εργασίας πραγματοποιήθηκε ανάλυση και επεξεργασία μόνο σε τρεις από τους σταθμούς αυτούς. Οι σταθμοί αυτοί είναι άμεσα συνδεδεμένοι με το σύστημα του Αλμυρού καθώς κατέχουν σημαντική γεωγραφική θέση και κρίθηκαν καταλληλότεροι για επεξεργασία. Οι σταθμοί στους οποίους πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων, είναι οι

βροχομετρικοί σταθμοί του Ηρακλείου (Υ.Ε.Β), των Ανωγείων και του Κρουσώνα.

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και η γεωγραφική θέση των τριών βροχομετρικών σταθμών που επιλέχθηκαν. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται η λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής (Arfib et al 2001) και με κόκκινες τελείες οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.1 : Βροχομετρικοί σταθμοί και λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού.

4.3 Βροχομετρικά δεδομένα

Τα βροχομετρικά δεδομένα που επεξεργάστηκαν αφορούσαν τόσο το σύστημα του Αλμυρού στο σύνολό του, όσο και για κάθε βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά.

- **Συνολικά για την πηγή:** Δόθηκε από την Υ.Ε.Β αρχείο σε ηλεκτρονική μορφή με ημερήσια και μηνιαία δεδομένα για την παροχή της πηγής, για τη συγκέντρωση των χλωριόντων και για τη βροχόπτωση. Τα δεδομένα αφορούσαν το χρονικό διάστημα από τον Απρίλη του 1967 μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2001. Πρέπει να τονιστεί όμως ιδιαίτερα η έλλειψη μετρήσεων για τα δύο αυτά δεδομένα για ορισμένες χρονιές, όπως το 1986 και 1987.

- **Βροχομετρικοί σταθμοί:** Για κάθε έναν βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά όμως παραχωρήθηκε από την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου το συγκεντρωτικό βιβλίο για την βροχόπτωση για τους τρεις σταθμούς, σύμφωνα με τον πίνακα 4.1:

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

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

Σύμφωνα με την Υ.Ε.Β. Ηρακλείου, τα βασικά χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

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

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

Πρέπει να τονιστεί όμως, πως μόνο οι μετρήσεις της βροχόπτωσης δεν επαρκούν ώστε να γίνει ανάλυση και επεξεργασία, καθώς υπάρχει έλλειψη απαραίτητων μετρήσεων τόσο για την παροχή όσο και για τη συγκέντρωση των χλωριόντων στην περιοχή που καλύπτει ο κάθε βροχομετρικός σταθμός. Για το λόγο αυτό, η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων θα γίνει μέχρι το έτος 2000 που είναι γνωστά τα παραπάνω στοιχεία.

Οι αναλυτικοί πίνακες των μηνιαίων τιμών των παραπάνω δεδομένων συνολικά για την πηγή περιέχονται στο παράρτημα στον πίνακα Π.3, ενώ για κάθε έναν από τους τρεις βροχομετρικούς σταθμούς, περιέχονται στους πίνακες Π.10, Π.11 και Π.12 του Παραρτήματος.

4.4 Επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζεται η επεξεργασία των μετρήσεων των βροχομετρικών δεδομένων από τους τρεις σταθμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν περιλαμβάνουν:

1. Αξιολόγηση των πρωτογενών μηνιαίων μετρήσεων και εξαγωγή των ετήσιων τιμών.
2. Έλεγχο ομογένειας (ποιότητας) των ετήσιων τιμών
3. Οριοθέτηση λεκάνης απορροής
4. Οριοθέτηση λεκάνης τροφοδοσίας
5. Υπολογισμός βροχοβαθμίδας
6. Υπολογισμός μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής
 - Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen
7. Δείκτες ξηρασίας RDI

4.4.1 Αξιολόγηση των πρωτογενών μηνιαίων μετρήσεων και εξαγωγή των ετήσιων τιμών.

Για να ελεγχθεί η ορθότητα των μετρήσεων, μετατρέπονται τα μηνιαία δεδομένα σε ετήσια. Έτσι υπολογίζονται τα αθροιστικά δεδομένα για τη βροχόπτωση σε κάθε βροχομετρικό σταθμό ξεχωριστά.

Πίνακας 4.3 : Ετήσια και ετήσια αθροιστικά βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της περιοχής μελέτης.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	Ανώγεια	Αθροιστικά	Ηράκλειο	Αθροιστικά	Κρουσώνας	Αθροιστικά
				0		0
2006-07			307,6	307,6	365,7	365,7
2005-06			2,2	309,8	24	389,7
2004-05			518,2	828	659,5	1049,2
2003-04			529,1	1357,1	741	1790,2
2001-02		0	794,5	2151,6	1447,5	3237,7
2000-01	1179,5	1179,5	494,2	2645,8	858,9	4096,6
1999-00	1236,6	2416,1	447,2	3093	655,7	4752,3
1998-99	1095,7	3511,8	479,1	3572,1	835,7	5588
1997-98	1256	4767,8	362	3934,1	952,6	6540,6

1996-97	1011,2	5779	599,3	4533,4	920,7	7461,3
1995-96	870,8	6649,8	525,5	5058,9	1008,9	8470,2
1994-95	975,7	7625,5	598,2	5657,1	1018	9488,2
1993-94	928,4	8553,9	304,4	5961,5	770,1	10258,3
1992-93	589,1	9143	303,9	6265,4	666,5	10924,8
1991-92	1096	10239	513,4	6778,8	1115,5	12040,3
1990-91	849	11088	407,1	7185,9	860,1	12900,4
1989-90	629	11717	316,4	7502,3	688,3	13588,7
1988-89	806,3	12523,3	463	7965,3	782	14370,7
1987-88	819,6	13342,9	392,1	8357,4	1049,8	15420,5
1986-87	1368,3	14711,2	620,6	8978	1345	16765,5
1985-86	888,1	15599,3	387,3	9365,3	784,6	17550,1
1984-85	1098,6	16697,9	500,4	9865,7	990,5	18540,6
1983-84	970,9	17668,8	559,5	10425,2	1022,2	19562,8
1982-83	936,1	18604,9	377,2	10802,4	1146,8	20709,6
1981-82	1209,2	19814,1	586,7	11389,1	1261,6	21971,2
1980-81	1034,3	20848,4	540,4	11929,5	1147,1	23118,3
1979-80	1168,9	22017,3	545,7	12475,2	964,5	24082,8
1978-79	1219,9	23237,2	464,3	12939,5	1667,9	25750,7
1977-78	1527	24764,2	587,1	13526,6	1294,2	27044,9
1976-77	1001	25765,2	465,7	13992,3	1019,1	28064
1975-76	1489,7	27254,9	724,1	14716,4	1375,4	29439,4

Οι μετρήσεις της βροχόπτωσης για το έτος 2005 – 2006 (χρωματισμένες με κόκκινο) δεν γίνονται δεκτές διότι ήταν μετρήσεις οι οποίες έγιναν μόνο μία ημέρα σε όλο το έτος. Για το λόγο αυτό θεωρείται πως δεν είναι αντιπροσωπευτικές και δεν λαμβάνονται υπόψη.

4.4.2 Έλεγχος Ομογένειας

Πριν από την ανάλυση των δεδομένων των βροχομετρικών σταθμών, πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η ποιότητα και η πληρότητα των δεδομένων. Με τον έλεγχο ομογένειας ελέγχεται κατά πόσο το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως.

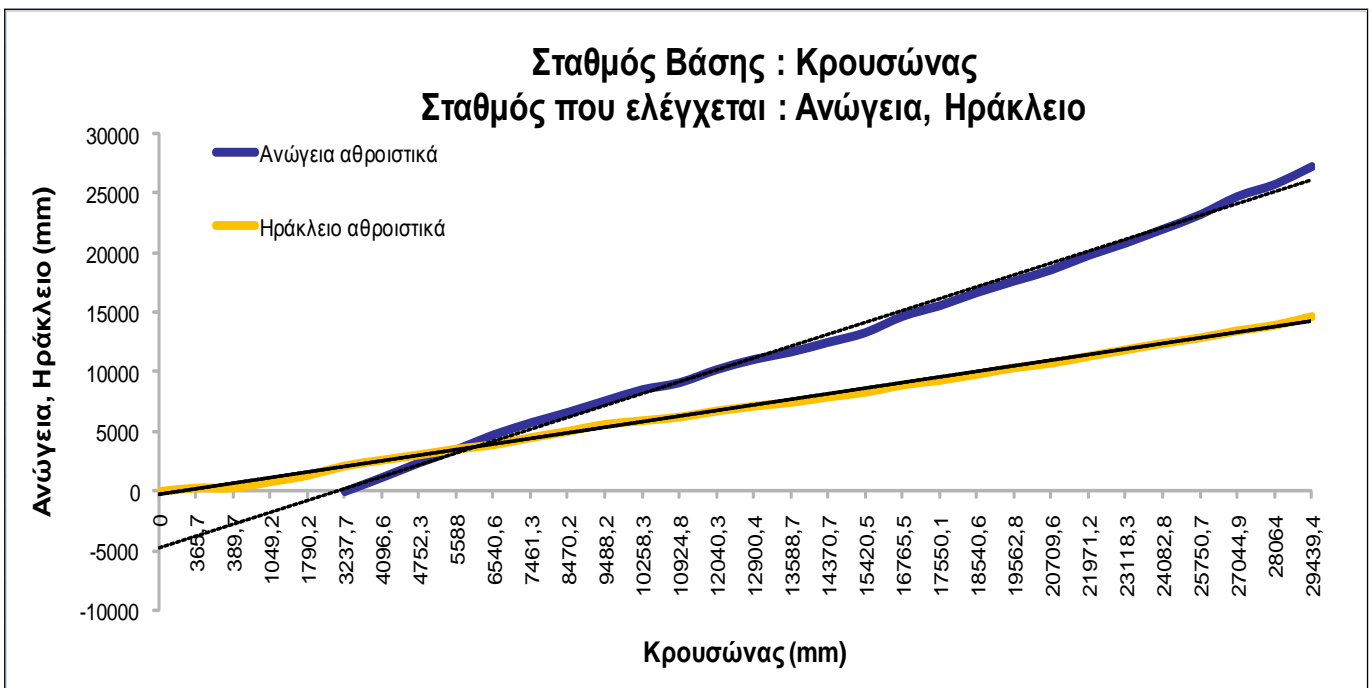
Με τον έλεγχο της ομογένειας των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών στην πραγματικότητα γίνεται σύγκριση ενός σταθμού με τους γειτονικούς σταθμούς. Οι γειτονικοί αυτοί σταθμοί αποτελούν τους σταθμούς βάσης και έχει ήδη ελεγχθεί η ομογένειά τους. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι γνωστή ως μέθοδος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

Στο διάγραμμα τοποθετούνται στον άξονα x τα αθροιστικά ύψη βροχής του σταθμού βάσης που ξεκινούν από το πιο πρόσφατο έτος (2006 - 2007) προς το πρώτο (1975 -1976). Αυτό συμβαίνει επειδή για τη διόρθωσή των δεδομένων θεωρούνται πιο αξιόπιστες οι πιο πρόσφατες μετρήσεις και η διόρθωση γίνεται στο παλαιότερο υποσύνολο. Ο άξονας y απεικονίζει τα αθροιστικά ύψη βροχής του σταθμού που ελέγχεται.

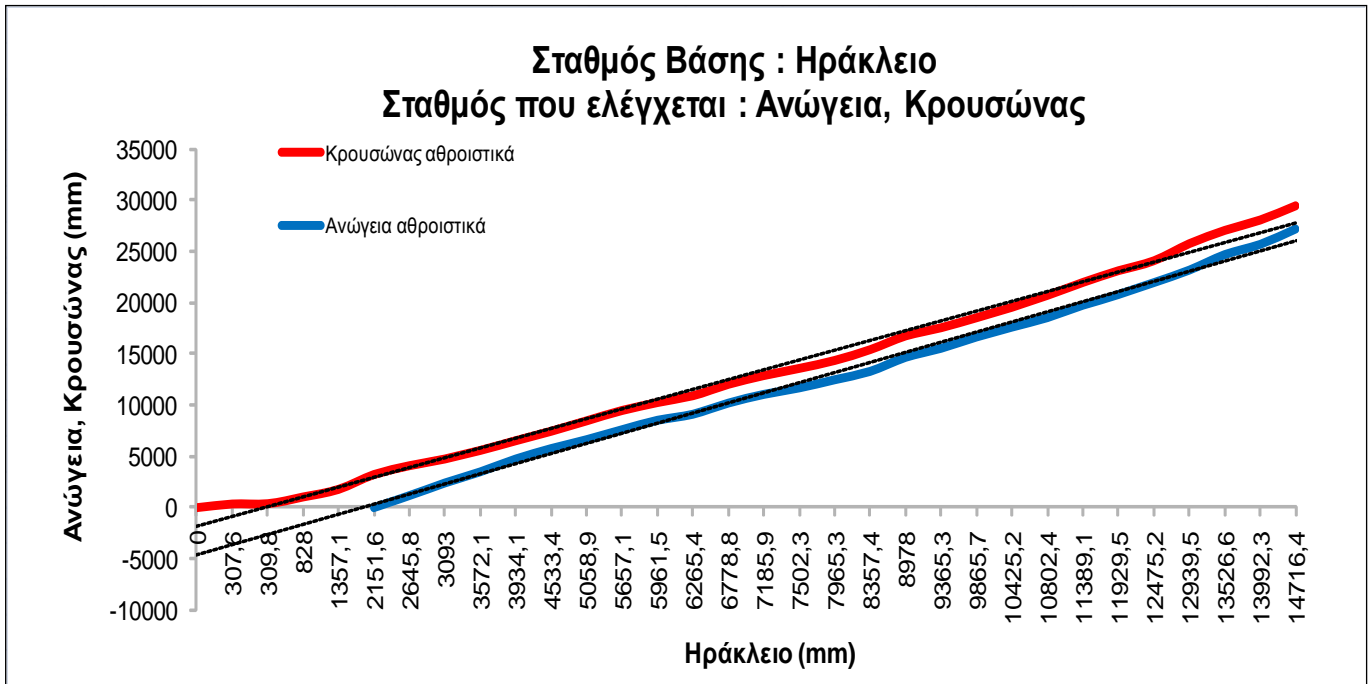
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα (σχήμα 4.2, 4.3, 4.4) που έγιναν με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης για τα ετήσια δεδομένα των βροχοπτώσεων για κάθε έναν σταθμό.



Σχήμα 4.2 : Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Ανώγεια



Σχήμα 4.3 : Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Κρουσώνας



Σχήμα 4.4: Έλεγχος Ομογένειας Σταθμός βάσης: Ηράκλειο

4.4.3 Οριοθέτηση Λεκάνης Απορροής

Η λεκάνη απορροής είναι μία περιοχή της επιφάνειας της γης στην οποία συγκεντρώνονται τα ατμοσφαιρικά αποκρημνίσματα και στη συνέχεια καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το κεντρικό αυτό σύστημα είναι ο ποταμός του Αλμυρού.

Αρχικό στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί η εύρεση της επιφανειακής λεκάνης απορροής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, οι λεκάνες απορροής είναι περισσότερες από μία. Για τον προσδιορισμό της συνολικής λεκάνης απορροής και τον υπολογισμό της έκτασής της, είναι απαραίτητος ο καθορισμός του υδροκρίτη της λεκάνης. Ως υδροκρίτης ορίζεται η νοητή εκείνη γραμμή που τέμνει κάθετα τις ισοϋψείς και διαχωρίζει δύο ή περισσότερες υδρολογικές λεκάνες (Τσακίρης, *Υδατικοί Πόροι*, 1995).

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζονται με μαύρο περίγραμμα οι τέσσερις λεκάνες απορροής του συστήματος του Αλμυρού.

4.4.4 Οριοθέτηση Λεκάνης Τροφοδοσίας

Ο προσδιορισμός όμως της λεκάνης απορροής δεν είναι αρκετός για την πλήρη αξιοποίηση της πηγής του Αλμυρού και της κατανόησης του μηχανισμού λειτουργίας του. Είναι επομένως αναγκαία η εύρεση της υδρογεωλογικής λεκάνης της πηγής δηλαδή της λεκάνης τροφοδοσίας.

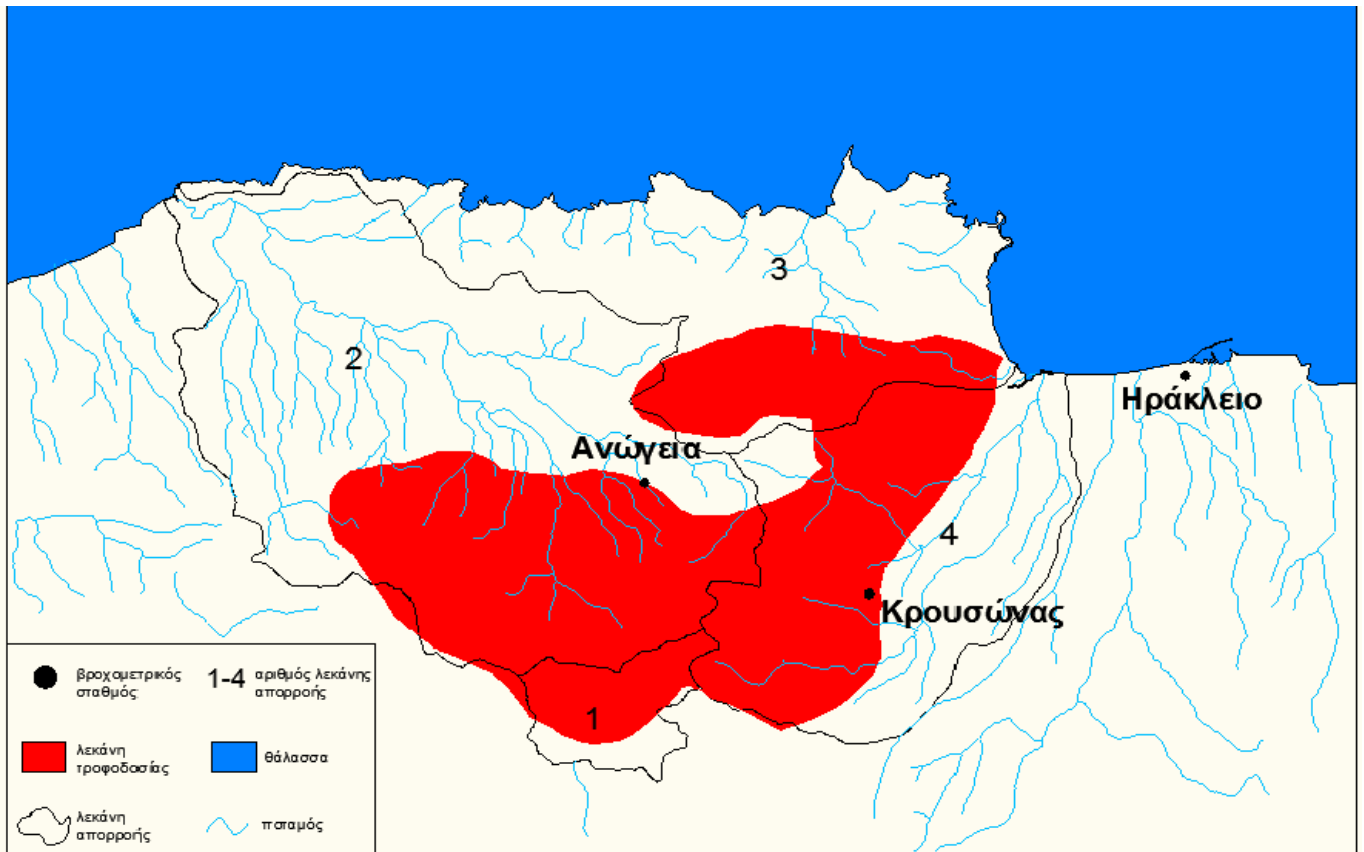
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πολλοί μελετητές που έχουν ασχοληθεί με την πηγή του Αλμυρού, ήρθαν σε διαφωνία όσον αφορά την έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη δυσκολία του απόλυτου προσδιορισμού της, καθώς ο Αλμυρός αποτελεί ένα από τα πιο δυσχερή καρστικά συστήματα στην Ελλάδα. Έτσι, πολλοί μελετητές προσδιορίζουν την έκτασή της σε 305 km², αλλά και άλλοι που θεωρούν πως προσεγγίζει τα 530 km².

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνεται συνολική έκταση τροφοδοσίας 305 km^2 , σύμφωνα με Arfib et al. (2001), όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

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

Ωστόσο, στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας θεωρείται πως η λεκάνη λειτουργεί ως ενιαίος υδροφορέας, ο οποίος επηρεάζεται και από τους τρεις περιβάλλοντες σταθμούς. Το εμβαδόν της ενιαίας λεκάνης είναι ίσο με 307 km^2 ή $306.823.475,6 \text{ m}^2$.

Στο σχήμα 4.5 απεικονίζονται οι τρεις βροχομετρικοί σταθμοί, η λεκάνη τροφοδοσίας και οι τέσσερις λεκάνες απορροής που επηρεάζονται από τη λεκάνη τροφοδοσίας του Αλμυρού.



Σχήμα 4.5 : Λεκάνη τροφοδοσίας και λεκάνες απορροής του συστήματος του Αλμυρού.

4.4.5 Υπολογισμός Βροχοβαθμίδας

Σημαντικό στοιχείο για την συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών, αποτελεί η σχέση που συνδέει το σημειακό ύψος βροχής και το υψόμετρο του κάθε σταθμού. Έχει παρατηρηθεί πως το σημειακό ύψος βροχής αυξάνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Για την σωστή συμπλήρωση των παρατηρήσεων, τα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι μεγάλης διάρκειας. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ετήσιες μετρήσεις για τα μέσα ύψη βροχής.

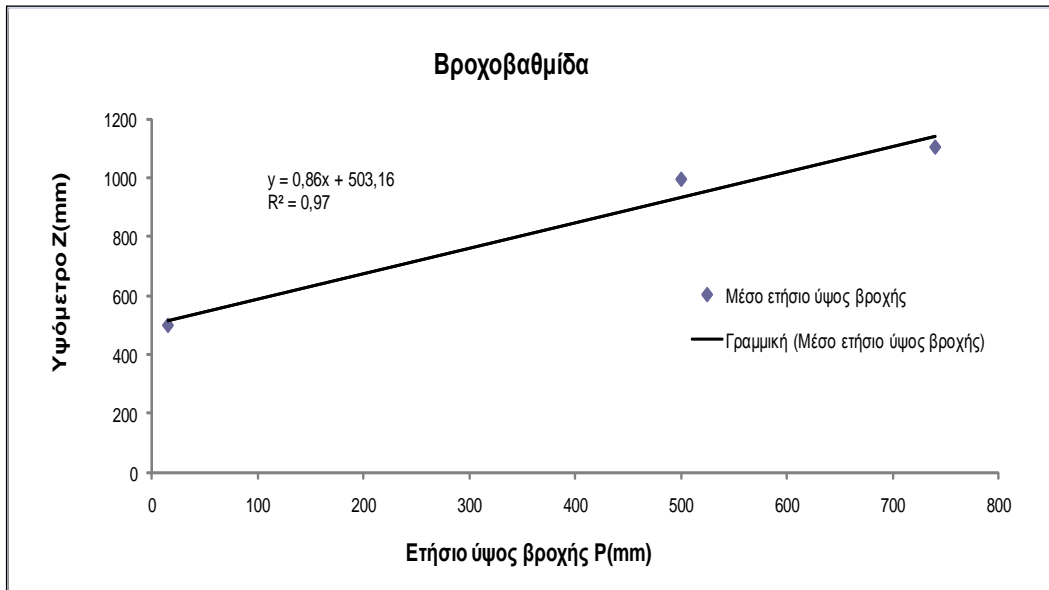
Με τον όρο βροχοβαθμίδα, περιγράφεται η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους, που αναμένεται για κάθε 100 m αύξησης του υψομέτρου (Τσακίρης, Υδατικοί Πόροι, 1995).

Η βροχοβαθμίδα συνήθως προκύπτει για κάθε περιοχή από τη γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων βροχομετρικών υψών των βροχομετρικών σταθμών, σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκαν τα μέσα ετήσια ύψη βροχής για το σύνολο των ετών. Τα μέσα υπερετήσια ύψη βροχής και το υψόμετρο των σταθμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4 : Μέσο ετήσιο ύψος βροχής και υψόμετρο των σταθμών της πηγής του Αλμυρού (Υ.Ε.Β. Ηρακλείου).

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

Από τον πίνακα 4.4 και με γραμμική συσχέτιση των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων σε κάθε βροχομετρικό σταθμό και των υψομέτρων των αντίστοιχων σταθμών μέτρησης, προέκυψε η μέση αύξηση της βροχόπτωσης η οποία παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.6.



Σχήμα 4.6 : Εύρεση βροχοβαθμίδας.

Από το σχήμα 4.6 παρατηρείται πως η μέση αύξηση της βροχόπτωσης είναι ίση με 0,86 mm/m, ενώ ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης που παρουσιάζουν τα δεδομένα είναι ιδιαίτερα μεγάλος ($R^2 = 0,97$).

4.4.6 Υπολογισμός Μέσου Υψομέτρου της Λεκάνης Απορροής

Μετά τον έλεγχο ομογένειας και τη συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών της λεκάνης απορροής, μπορεί να υπολογιστεί το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης με τους παρακάτω δύο τρόπους:

- **Αριθμητικός μέσος όρος.** Η μέθοδος του αριθμητικού μέσου όρου είναι η απλούστερη μέθοδος, σύμφωνα με την οποία τα βάρη όλων των σταθμών λαμβάνονται ως ίσα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή είναι χονδρικές εκτιμήσεις και όχι τα οριστικά αποτελέσματα. Για να είναι επιθυμητά τα αποτελέσματα θα πρέπει η περιοχή να είναι σχετικά επίπεδη, οι σταθμοί κατανομημένοι ομοιόμορφα και τα ύψη της βροχής να κυμαίνονται σε ίδια επίπεδα. Η επιφανειακή βροχόπτωση δίνεται από τον τύπο:

$$P_0 = \sum_{i=1}^k w_i P_i$$

Όπου P_0 : το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης

P_i : οι επιμέρους παρατηρήσεις των σταθμών

w_i : τα βάρη των σταθμών

k : ο αριθμός των σταθμών

Επομένως με την παραπάνω μέθοδο και με βάση τον πίνακα 4.4, το μέσο επιφανειακό ύψος βροχής θα είναι ίσο με :

$$P_0 = \frac{496,7 + 993,4 + 1102,7}{3} \Rightarrow$$

$$P_0 = 864,27 \text{ mm}$$

- **Πολύγωνα Thiessen.** Η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen, αποτελεί μια κλασική μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί τον παράγοντα του βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των περιοχών επηρεασμού κάθε σταθμού. Τα εμβαδά αυτά προκύπτουν με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Η συνολική επιφάνεια A χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής A_i για κάθε σταθμό έτσι

ώστε:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A$$

και ο συντελεστής βάρους θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή :

$$w_i = \frac{A_i}{A}$$

Επομένως το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης μπορεί να γραφτεί με τη μορφή :

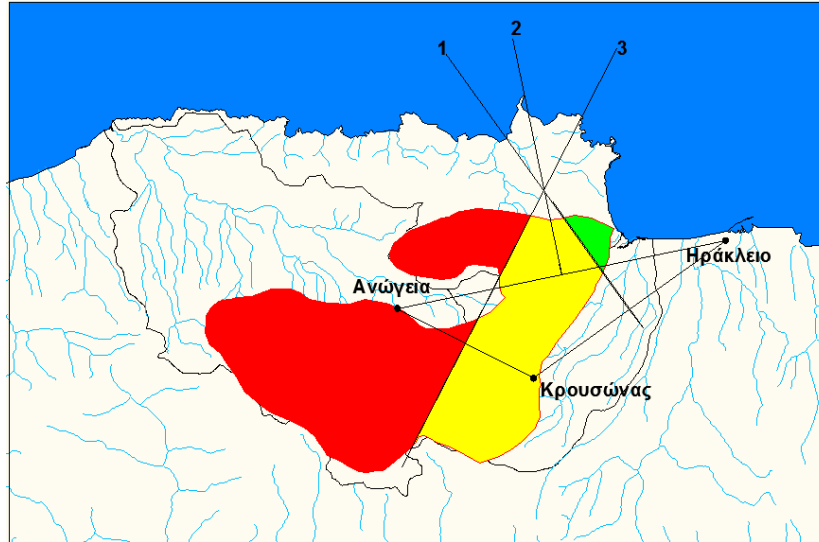
$$P_0 = \frac{\sum A_i P_i}{A} = \sum \left(\frac{A_i}{A} \times P_i \right)$$

Στον πίνακα 4.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εκτάσεις επηρεασμού κάθε βροχομετρικού σταθμού σε ποσοστό της συνολικής έκτασης, καθώς οι εκτάσεις που καλύπτει κάθε βροχομετρικός σταθμός.

Πίνακας 4.5: Ποσοστά και εμβαδά του κάθε σταθμού με τη μέθοδο Thiessen.

ΒΡΟΧ.ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ A (m ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ P % (1)	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΣ (2)
Ηράκλειο	6.797.151,53	0,02	496,7
Κρουσώνας	109.097.754,3	0,36	993,4
Ανώγεια	190.928.569,8	0,62	1102,7
ΣΥΝΟΛΟ	306.823.475,6	1,00	

Σύμφωνα με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, οι εκτάσεις επηρεασμού των βροχομετρικών σταθμών σχηματίζονται ως εξής:



Σχήμα 4.7 : Περιοχή επιρροής κάθε σταθμού στην λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής του Αλμυρού.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και εξισώσεις το μέσο βροχομετρικό υψόμετρο θα είναι:

$$P_0 = \frac{496,7 \times 0,02 + 993,4 \times 0,36 + 1102,7 \times 0,62}{1} = 11,03 + 353,22 + 686,18 \Rightarrow$$

$$P_0 = 1050,43mm$$

4.4.7 Δείκτες Ξηρασίας RDI

Όπως είναι γνωστό η ξηρασία αποτελεί ένα από τα πιο δυσνόητα υδρολογικά φαινόμενα κατά το οποίο μια περιοχή δεν έχει αρκετή βροχή για κάποιο χρονικό διάστημα. Στην συγκεκριμένη όμως περίπτωση της πηγής του Αλμυρού πρόκειται για υδρολογική ξηρασία, σύμφωνα με την οποία οι τιμές των παροχών του νερού στην περιοχή παίρνουν ακραίες χαμηλές τιμές.

Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν με πολλούς τρόπους να χαρακτηρίσουν την ξηρασία. Για το λόγο αυτό χρησιμοποίησαν διάφορους δείκτες με πιο γνωστούς τον δείκτη Palmer, τον δείκτη SPI και τον δείκτη RDI. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DrinC, το οποίο υπολογίζει με μεγάλη ευκολία ορισμένους δείκτες ξηρασίας.

4.4.7.1 Το Λογισμικό DrinC

Το πρόγραμμα DrinC (Drought Indices Calculator) δημιουργήθηκε για τη διευκόλυνση του υπολογισμού των δεικτών ξηρασίας. Γενικότερα ο υπολογισμός ενός δείκτη, μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκος, ιδιαίτερα στην περίπτωση της εκτίμησης της χωρικής κατανομής των δεικτών (*Tsakiris et al 2008*).

Το πρόγραμμα υπολογίζει τρεις δείκτες ξηρασίας:

1. Deciles
2. SPI (Standardized Precipitation Index)
3. RDI (Reconnaissance Drought Index)

Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ο δείκτης RDI και μόνο για τους βροχομετρικούς σταθμούς του Ηρακλείου και του Κρουσώνα, καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα θερμοκρασίας ή δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τον σταθμό των Ανωγείων, τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του RDI. Πιο συγκεκριμένα βρέθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας για το σταθμούς

του Ηρακλείου για 26 χρόνια (1975 - 2001) και του Κρουσώνα για 10 χρόνια (από το 1991 έως το 2001).

Ο δείκτης RDI παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους δείκτες. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι :

1. Υπολογίζει το συνολικό έλλειμμα από τις απαιτήσεις εξατμίσσης της ατμόσφαιρας.
2. Μπορεί να υπολογιστεί για κάθε χρονική περίοδο (π.χ. για ένα μήνα, δύο μήνες κλπ).
3. Συνδέεται άμεσα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.
4. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό συνθήκες κλιματικής αστάθειας για τον προσδιορισμό της επίδρασης διαφόρων μεταβολών των κλιματικών παραμέτρων στην ξηρασία και την ερημοποίηση.

Η βασική του μορφή (RDI_t) υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$a_k^{(1)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, \text{ για } i=1 \text{ έως } N$$

Όπου P_j βροχόπτωση το μήνα j ανά έτος

και PET_j η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ανά έτος

Ο δείκτης RDI χρησιμοποιείται σε δύο μορφές. Οι δύο μορφές που χρησιμοποιούνται είναι η κανονικοποιημένη μορφή RDI_n (normalized) και η τυποποιημένη RDI_{st} (standardized). Οι παραπάνω υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (Tsakiris et al. 2010):

$$RDI_n = \frac{a_k}{\bar{a}_k} - 1$$

$$RDI_{st} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y}$$

Όπου $y = \ln(a_k^{(i)})$

y : ο αριθμητικός μέσος και

$\hat{\sigma}_y$: η τυπική του απόκλιση.

Ο μέσος όρος του RDI (a_k) αντιπροσωπεύει τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και είναι ισοδύναμος με το Δείκτη Ξηρασίας (Aridity Index) που έχει προταθεί από τον FAO για τον προσδιορισμό της ξηρασίας μιας περιοχής.

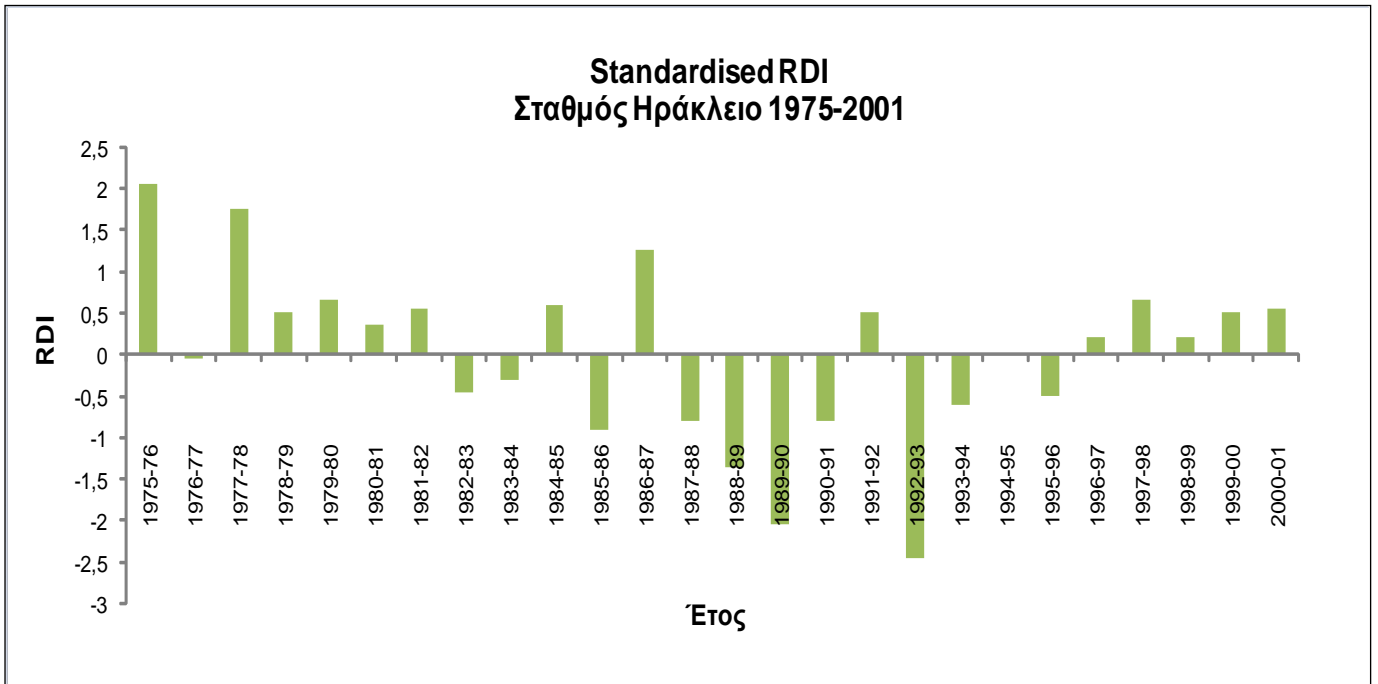
Για τον προσδιορισμό του επιπέδου της έντασης της ξηρασίας βάσει του RDI_{st} μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6 : Τιμές RDI_{st} για τον προσδιορισμό της έντασης της ξηρασίας (Tsakiris et al 2007).

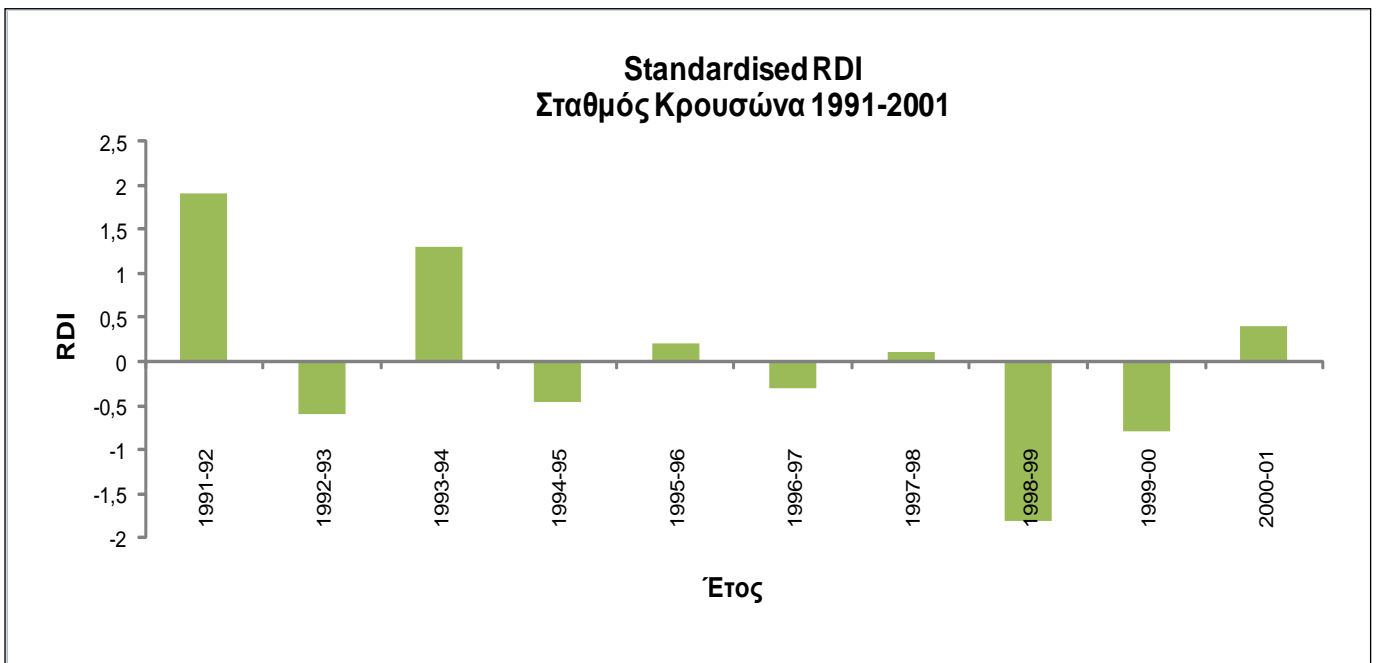
Τιμή RDI	Κατηγορία έντασης ξηρασίας
> 2.00	Εξαιρετικά υγρό
1.50 έως 1.99	Έντονα υγρό
1.00 έως 1.49	Μέτρια υγρό
0 έως 0.99	Κανονικές συνθήκες - Υγρό
0 έως -0.99	Κανονικές συνθήκες - Ξηρό
-1.00 έως -1.49	Μέτρια ξηρό
-1.50 έως -1.99	Έντονα ξηρό
< -2.00	Εξαιρετικά ξηρό

Τα δεδομένα εισαγωγής και για τους δύο δείκτες είναι τα μηνιαία ή τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης για την ενιαία λεκάνη για το συνολικό διάστημα των 26 χρόνων.

Ο δείκτης RDI που έχει υπολογιστεί για τους σταθμούς Ηράκλειο και Κρουσώνα φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα (σχήμα 4.8 και 4.9):



Σχήμα 4.8 : Ετήσιες τιμές δείκτη RDI για τον σταθμό του Ηρακλείου από 1975 – 2001.



Σχήμα 4.9 : Ετήσιες τιμές δείκτη RDI για τον σταθμό του Κρουσώνα από 1991 – 2001.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υδατικό Ισοζύγιο – Εφαρμογή Συναρτήσεων

5.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της υδρολογίας της πηγής του Αλμυρού, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων της παροχής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων (CL^{-1}) του νερού της πηγής. Πιο αναλυτικά, στο καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού, πραγματοποιείται ανάμιξη μετεωρικού νερού, το οποίο κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς του Ψηλορείτη, και θαλασσινού νερού το οποίο διεισδύει μέσω καρστικής διόδου από τη θάλασσα.

Εξαιτίας αυτής της έλλειψης ανεξαρτησίας των παρατηρήσεων, θα πρέπει να εφαρμοστούν πολύπλοκα στατιστικά μοντέλα. Ένας από τους κυριότερους σκοπούς της εφαρμογής των μοντέλων και των συναρτήσεων αυτών είναι η αναγκαιότητα για πρόβλεψη των παρατηρήσεων των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό θα είναι εφικτή η έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων και δυσκολιών που μπορεί να προκύψουν στο μέλλον.

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί το υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή θα εξεταστεί η ποσότητα του γλυκού και του αλμυρού νερού με βάση τη συγκέντρωση των χλωριόντων σε ετήσια βάση. Οι συναρτήσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν για την κατανόηση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων υδρολογικών μεταβλητών (παροχή, συγκέντρωση χλωριόντων) είναι δύο συναρτήσεις για ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και μία συνάρτηση για ανάλυση χρονοσειράς.

- Συνάρτηση *linest*
- Συνάρτηση *forecast*
- Ανάλυση χρονοσειράς με επίδραση εποχικού στοιχείου.

5.2 Υδατικό Ισοζύγιο

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εξέταση του υδατικού ισοζυγίου στην περιοχή της θεωρούμενης λεκάνης τροφοδοσίας. Σύμφωνα με την εργασία των Maramathas et al (2003), θεωρείται ότι στον καρστικό υδροφόρο κατεισδύει περίπου το 50 % της συνολικής βροχόπτωσης. Ακόμη, επειδή ότι ο συντελεστής κατεισδύσης είναι 0,60 για τους ασβεστολίθους τόσο της ορεινής περιοχής, όσο και της πεδινής, μπορούν να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η ετήσια ποσότητα των βροχοπτώσεων η οποία κατεισδύει στο έδαφος και τροφοδοτεί την πηγή.

Στον συνολικά μετρημένο όγκο νερού της πηγής V_{spring} , περιλαμβάνεται η συμμετοχή τόσο του γλυκού νερού V_{fresh} , όσο και του αλμυρού νερού V_{sea} . Ουσιαστικά από την αρχή διατήρησης μάζας του αλατιού (χλωριούχου νατρίου), έχουμε ότι:

$$C_{Cl_{spring}} \times V_{spring} = C_{Cl_{sea}} \times V_{sea} + C_{Cl_{fresh}} \times V_{fresh}$$

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

Για να μπορούν όμως να επεξεργαστούν τα δεδομένα πρακτικά, η συγκέντρωση $C_{CL_{sea}}$ της θάλασσας σε αλάτι θεωρήθηκε ίση με $19.000 \text{ mg} \times L^{-1}$ και η συγκέντρωση $C_{CL_{fresh}}$ ίση με $10 \text{ mg} \times L^{-1}$ (Tsakiris et al 2010).

Ο παραπάνω όμως τύπος, χρησιμοποιώντας τις παροχές αντί για τους όγκους, μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$C_{Cl\text{spring}} \times Q_{\text{spring}} = C_{Cl\text{sea}} \times Q_{\text{sea}} + C_{Cl\text{fresh}} \times Q_{\text{fresh}}$$

Επειδή ισχύει:

$$Q_{\text{spring}} = Q_{\text{sea}} + Q_{\text{fresh}}$$

Από τους παραπάνω τύπους μπορούν να υπολογιστούν οι ποσότητες του γλυκού και του αλμυρού νερού Q_{fresh} , και Q_{sea} αντίστοιχα:

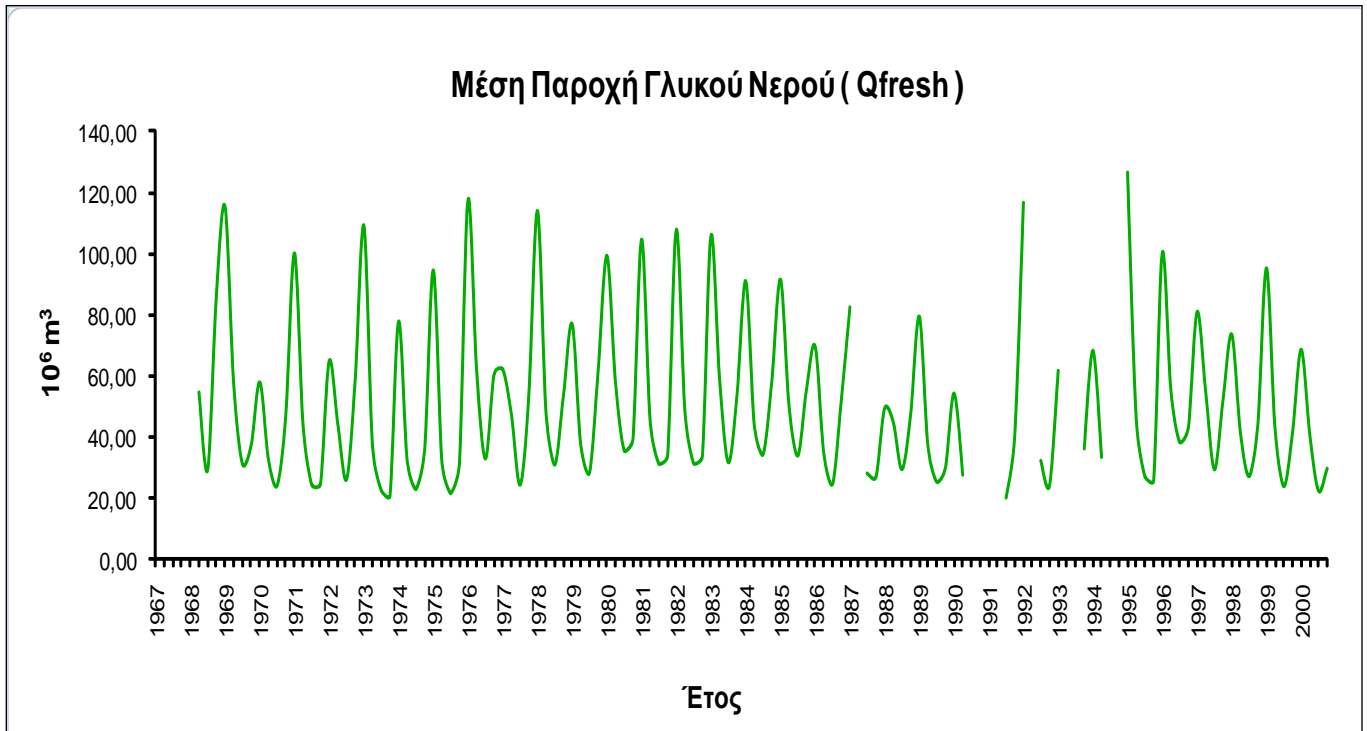
$$Q_{\text{fresh}} = Q_{\text{spring}} \times \frac{C_{Cl\text{sea}} - C_{Cl\text{spring}}}{C_{Cl\text{sea}} - C_{Cl\text{fresh}}}$$

$$Q_{\text{sea}} = Q_{\text{spring}} - Q_{\text{fresh}} = Q_{\text{spring}} \times \frac{C_{Cl\text{spring}} - C_{Cl\text{fresh}}}{C_{Cl\text{sea}} - C_{Cl\text{fresh}}}$$

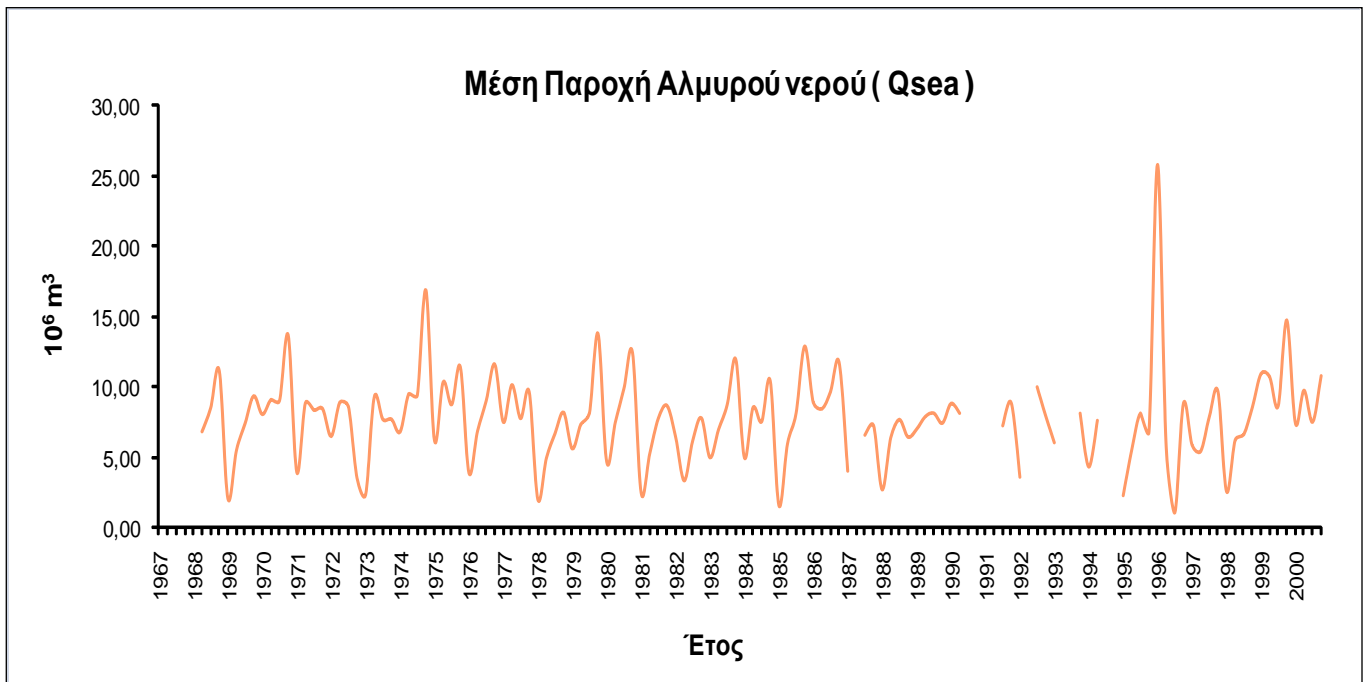
Έχοντας υπολογίσει πλέον τις ποσότητες του γλυκού και του θαλασσινού νερού, υπολογίζονται με ευκολία και οι λόγοι:

$$\frac{Q_{\text{spring}}}{Q_{\text{fresh}}} \quad \frac{Q_{\text{spring}}}{Q_{\text{sea}}} \quad \frac{V_{\text{spring}}}{V_{\text{fresh}}} \quad \frac{V_{\text{spring}}}{V_{\text{sea}}}$$

Στα σχήματα 5.1 και 5.2 απεικονίζονται οι ετήσιες ποσότητες γλυκού και θαλασσινού νερού που παροχετεύει η πηγή σε κυβικά μέτρα, η αντίστοιχη συνολική ποσότητα και η ποσότητα των βροχοπτώσεων που κατεισδύει στον υπόγειο υδροφόρα.



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



Σχήμα 5.2 : Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001.

5.2.1 Παρατηρήσεις

1. Σύμφωνα με το σχήμα 5.1 οι ποσότητες του γλυκού νερού ελαττώνονται σταθερά σε σχέση με το χρόνο.
2. Αντίθετα στο σχήμα 5.2, παρατηρείται σχετική αύξηση της εισροής του θαλασσινού νερού στην πηγή του Αλμυρού σε σχέση με το χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, εξαιτίας της μείωσης της διείσδυσης του γλυκού νερού και της τεκτονικής δομής, το σύστημα του Αλμυρού μπορεί και αποθηκεύει πλέον μεγαλύτερες ποσότητες από θαλασσινό νερό.
3. Τα κενά τα οποία παρουσιάζονται και στα δύο διαγράμματα, οφείλονται σε ελλιπή στοιχεία και μετρήσεις για τα δεδομένα.

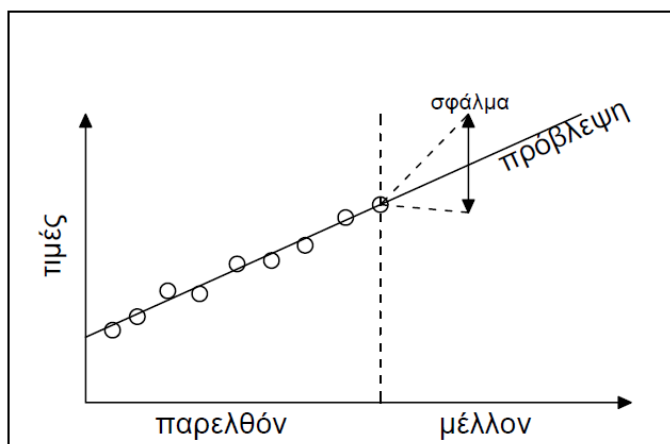
5.3 Μέθοδοι Πρόβλεψης των Παρατηρήσεων

5.3.1 Αναγκαιότητα των προβλέψεων των παρατηρήσεων.

Η πλήρης αξιοποίηση και εκμετάλλευση των ποσοτήτων του νερού που απορρέει από την πηγή του Αλμυρού, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του νερού της πηγής.

Η συσχέτιση της παροχής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων επηρεάζουν σημαντικά τις ποσότητες του γλυκού και θαλασσινού νερού της πηγής. Θα πρέπει λοιπόν να εξεταστούν τα δεδομένα αυτά με όσο το δυνατόν ακριβέστερο μοντέλο.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η πρόβλεψη των παρατηρήσεων αποτελεί την εκτίμηση της διακύμανσης των παρατηρήσεων για το μέλλον. Ακόμη, η αξιοπιστία της πρόβλεψης εξαρτάται από το χρονικό διάστημα της προβολής στο μέλλον. Όσο μεγαλώνει το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης, τόσο αυξάνεται και το σφάλμα της, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.1:



Σχήμα 5.3 : Σφάλμα Πρόβλεψης

5.3.2 Διαδικασία των προβλέψεων των παρατηρήσεων.

Οι περισσότερες μέθοδοι πρόβλεψης βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιώντας ιστορικά στοιχεία και δεδομένα από προηγούμενα έτη. Στην περίπτωση της πηγής του Αλμυρού, τα ιστορικά στοιχεία και δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ανανεώνονταν συνεχώς. Με αυτόν τον τρόπο

εξασφαλίζεται η ορθότητα των προβλέψεων των νέων παρατηρήσεων και ταυτόχρονα μειώνονται τα σφάλματα και αυξάνεται η ακρίβειά τους.

Η διαδικασία των προβλέψεων περιλαμβάνει συνήθως τρία κύρια βήματα:

1. Συλλογή και ανάλυση των ιστορικών στοιχείων και δεδομένων
2. Αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις παρατηρήσεις
3. Παρακολούθηση των προβλέψεων

ΒΗΜΑ 1: Συλλογή και ανάλυση των ιστορικών στοιχείων και δεδομένων

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας της πρόβλεψης αποτελεί την συλλογή των ιστορικών δεδομένων και πληροφοριών από διάφορες πηγές για τις υδρολογικές μεταβλητές (παροχή, συγκέντρωση χλωριόντων). Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά επεξεργάζονται και αναλύονται με στόχο την κατανόηση και συσχέτιση των μεταβλητών αυτών στο πέρασμα των χρόνων.

Η συλλογή και η επιλογή των κατάλληλων στοιχείων είναι το σημαντικότερο βήμα για την πρόβλεψη. Γενικότερα όσο αυξάνει ο όγκος των παρατηρήσεων μιας μεταβλητής, αυξάνεται και η ακρίβεια της πρόβλεψης εφόσον οι μετρήσεις είναι απαλλαγμένες από τυχαία ή συστηματικά σφάλματα.

Στην παρούσα διπλωματική τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν ημερήσιες και μηνιαίες μετρήσεις από το έτος 1975 μέχρι το έτος 2001. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται ακριβή για αυτό το χρονικό διάστημα. Η έλλειψη όμως στοιχείων για την πηγή μετά το έτος 2000 αποτέλεσε σημαντική δυσκολία για την ανάλυση των παραπάνω στοιχείων.

ΒΗΜΑ 2: Αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις παρατηρήσεις

Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τη μελέτη και αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις παρατηρήσεις. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι είτε εξωτερικοί είτε εσωτερικοί.

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζει την πηγή του Αλμυρού είναι η είσοδος του θαλασσινού νερού στο καρστικό σύστημα της πηγής. Στο κεφάλαιο αυτό θα υπολογιστεί η παροχή του γλυκού και του

θαλασσινού νερού της πηγής με βάση την συγκέντρωση των χλωριόντων που έχει μετρηθεί στην συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Η συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωση των χλωριόντων στην πηγή αποτελεί ένα πρόβλημα που οφείλεται κυρίως στην παρουσία του θαλασσινού νερού στο σύστημα.

Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το καρστικό σύστημα της πηγής και θα εξεταστεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο είναι οι γεωτρήσεις οι οποίες γίνονται στην περιοχή. Θα μελετηθεί εάν οι ποσότητες του νερού που αντλείται από τις γεωτρήσεις τις Τυλίσου είναι αρκετά μεγάλες, σε βαθμό που να επηρεάζουν το σύστημα της πηγής του Αλμυρού.

ΒΗΜΑ 3: Παρακολούθηση των προβλέψεων

Η συνεχής αξιολόγηση και παρακολούθηση των προβλέψεων σε σύγκριση με την πραγματική διακύμανση των τιμών των παραμέτρων αποτελεί το τελευταίο αλλά σημαντικό βήμα στην σωστή πρόβλεψη των τιμών. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εύκολα αντιληπτή η ύπαρξη σφάλματος. Επίσης δίνεται η δυνατότητα για έγκαιρες διορθωτικές κινήσεις και σωστή αντιμετώπιση πιθανού σφάλματος.

5.3.3 Σφάλματα των προβλέψεων των παρατηρήσεων.

Όλες οι προβλέψεις δεν μπορούν να είναι απόλυτα ακριβείς και περιέχουν σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να είναι είτε τυχαία, είτε συστηματικά σφάλματα.

- *Τυχαία σφάλματα:* είναι τα σφάλματα που οφείλονται σε παράγοντες που δεν είναι εύκολο να προβλεφτούν και επηρεάζουν τα αποτελέσματα.
- *Συστηματικά σφάλματα:* είναι τα σφάλματα που οφείλονται σε κακή εκτίμηση ή παράλειψη παραγόντων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό συστηματικό σφάλμα που θα αναλυθεί στο κεφάλαιο αυτό, είναι το σφάλμα της εποχικότητας.

Τα σφάλματα των προβλέψεων μπορούν να υπολογιστούν με την σύγκριση των προβλέψεων με τις πραγματικές τιμές των παρατηρήσεων. Εάν F_t είναι η πρόβλεψη μιας τιμής για χρονική περίοδο t , και D_t η πραγματική τιμή της παρατήρησης για την ίδια χρονική περίοδο, τότε το σφάλμα ε_t της πρόβλεψης δίνεται από τον τύπο:

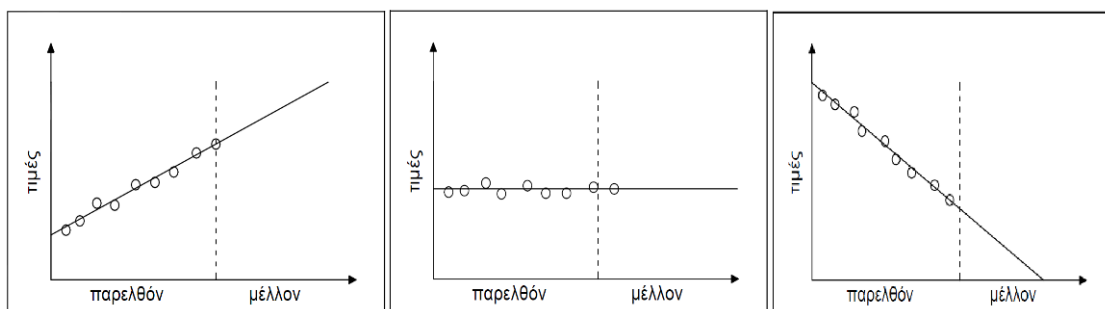
$$\varepsilon_t = D_t - F_t$$

Για το συνολικό σφάλμα του μοντέλου της πρόβλεψης για μεγάλο χρονικό διάστημα T πολλαπλών περιόδων, υπολογίζεται το άθροισμα των σφαλμάτων της πρόβλεψης για κάθε περίοδο. Επίσης χρησιμοποιείται κυρίως οι μέσες τιμές των μετρήσεων με απόλυτες τιμές του σφάλματος.

5.3.4 Τεχνικές πρόβλεψης των παρατηρήσεων.

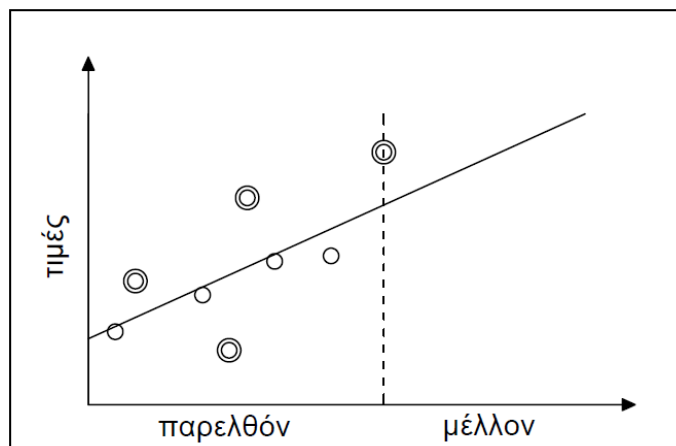
Για την επιλογή της τεχνικής πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει αρχικά να εξεταστεί το προφίλ που παρουσιάζουν οι παρατηρήσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται τα τρία συνηθέστερα προφίλ που συναντώνται.

- *Συστηματικό προφίλ* : το προφίλ που παρουσιάζουν οι τιμές όταν η διακύμανση των παρατηρήσεων εμφανίζουν μια συγκεκριμένη τάση, είτε σταθερή, είτε αυξητική, είτε φθίνουσα, όπως στα παρακάτω διαγράμματα του σχήματος 5.2 :



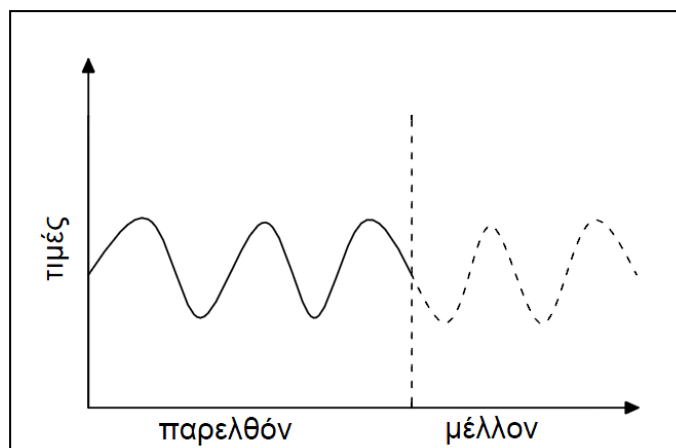
Σχήμα 5.4 : Συστηματικό προφίλ

- *Τυχαίο προφίλ* : το προφίλ που παρουσιάζουν οι τιμές όταν η διακύμανση των παρατηρήσεων δεν εμφανίζουν κάποια συγκεκριμένη τάση, αλλά είναι τυχαία. Στο συγκεκριμένο προφίλ, οι τυχαίες διακυμάνσεις οφείλονται σε μη προβλέψιμα και μη επαναλαμβανόμενα γεγονότα (σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.5 : Τυχαίο Προφίλ

- *Εποχιακό προφίλ* : το προφίλ που παρουσιάζουν οι τιμές όταν η διακύμανση των παρατηρήσεων εμφανίζουν επαναλαμβανόμενες αυξομειώσεις σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ή εποχές (σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.6: Εποχιακό Προφίλ

Οι τεχνικές πρόβλεψης διακρίνονται συνήθως σε δύο κατηγορίες, στην ανάλυση παλινδρόμησης και στις χρονοσειρές:

5.3.4.1 Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης

Με τη μέθοδο της ανάλυσης παλινδρόμησης, εξετάζεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ δύο ή περισσοτέρων μεταβλητών. Από τις μεταβλητές αυτές, επιλέγεται μια μεταβλητή ως εξαρτημένη και εκφράζεται ως γραμμικός συνδυασμός των υπολοίπων μεταβλητών. Βασικός σκοπός της ανάλυσης παλινδρόμησης είναι η εξαγωγή της γραμμής τάσης που ακολουθούν οι μεταβλητές αυτές. Η γραμμή τάσης θα προσεγγίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ιστορικά στοιχεία και τις πληροφορίες και θα μπορεί να προβάλλεται στο μέλλον.

Σημαντικό στοιχείο στην ανάλυση παλινδρόμησης αποτελεί η εύρεση του συντελεστή συσχέτισης r μεταξύ των δύο μεταβλητών. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής συσχέτισης r είναι από -1 έως 1 . Εάν $r=1$, οι αλλαγές στις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής X συνεπάγονται αλλαγές προς την ίδια κατεύθυνση (αύξηση ή μείωση) και για τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y . Εάν $r=-1$, τότε οι αλλαγές αυτές γίνονται προς την αντίθετη κατεύθυνση (μείωση ή αύξηση αντίστοιχα). Εάν $r=0$, δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Τελικά, όσο πιο κοντά βρίσκεται ο συντελεστής συσχέτισης στο ± 1 , τόσο η ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα.

Επίσης σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση της παλινδρόμησης αποτελεί το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης r^2 , που προσεγγίζει το μέγεθος της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής X γύρω από τη μέση τιμή της. Όσο πιο κοντά το r^2 στη μονάδα, η διασπορά των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και οι τελικές προβλέψεις που θα προκύψουν από την ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης έχουν μεγαλύτερη σχέση.

Για την εύρεση όμως της καλύτερης εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης απαιτείται η εφαρμογή πολλών εναλλακτικών γραμμών τάσεων εκτός της ευθείας. Η μορφή των γραμμών τάσεων μπορεί να είναι από τις ακόλουθες:

- Γραμμική ($y = ax + b$)
- Πολυωνυμική ($y = b + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n$)
- Λογαριθμική ($y = c \ln x + b$)
- Εκθετική ($y = ce^{bx}$)
- Δυναμική ($y = cx^b$)

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εφαρμόστηκαν δύο γραμμικές συναρτήσεις για την εύρεση της γραμμικής παλινδρόμησης. Οι συναρτήσεις αυτές είναι η συνάρτηση *linest* και η συνάρτηση *forecast*:

5.3.4.1.1 Συνάρτηση *linest*

Η συνάρτηση *linest* αποδίδει στατιστικά στοιχεία που περιγράφει μια γραμμική τάση η οποία διέρχεται από σημεία γνωστών δεδομένων, προσαρμόζοντας μια ευθεία γραμμή που έχει υπολογιστεί με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων.

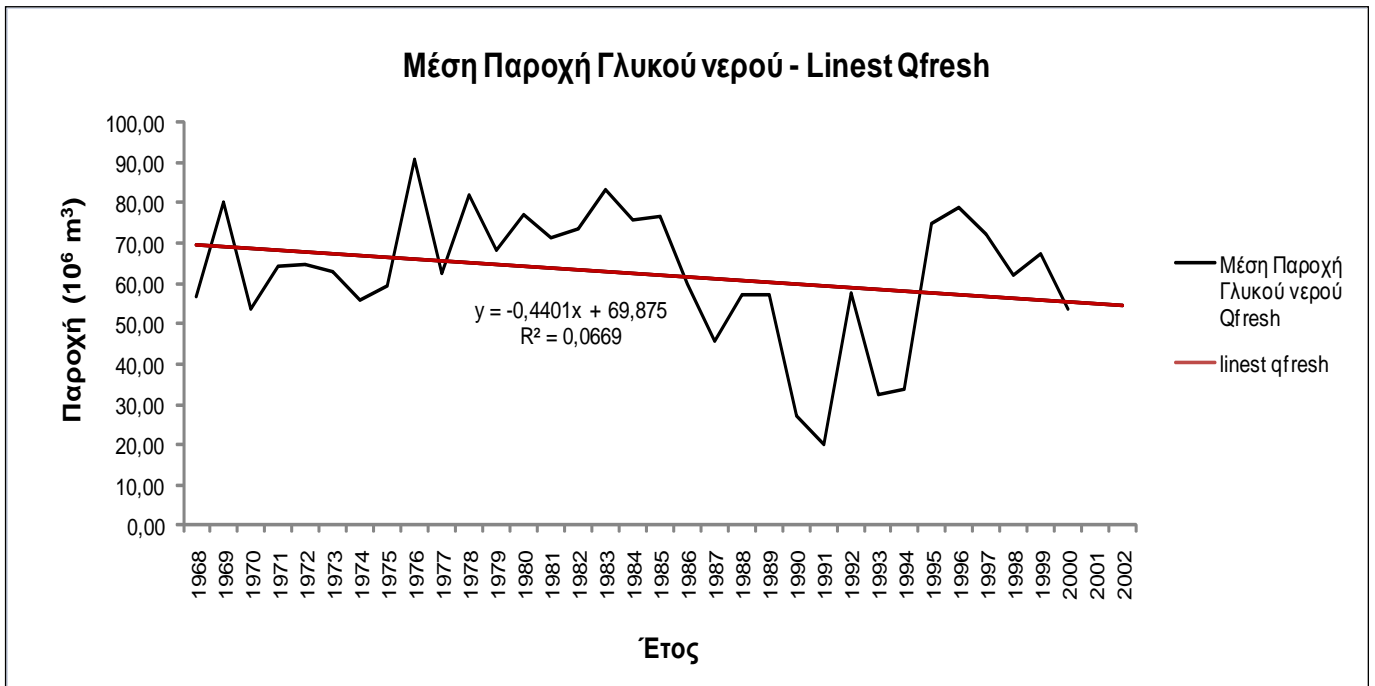
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η καλύτερη τιμή ενός μεγέθους που έχει μετρηθεί πολλές φορές έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα τετράγωνα των υπολοίπων των μετρημένων μεγεθών. Δηλαδή να ισχύει:

$$\sum_{i=1}^n u_i^2 = [uu] = \min$$

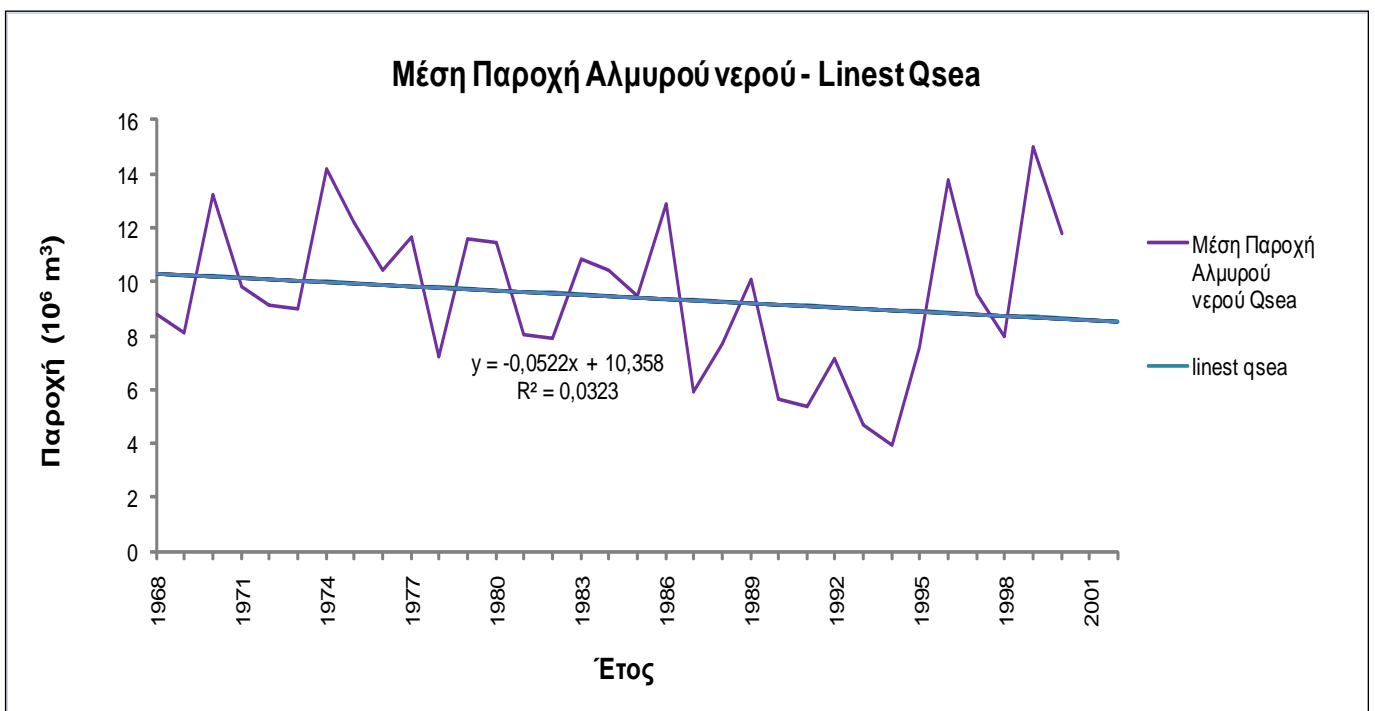
Και αν οι μετρήσεις δεν έχουν γίνει με το ίδιο σύστημα, τότε στις μετρήσεις μπαίνουν βάρη:

$$\sum_{i=1}^n P_i u_i^2 = [Puu] = u^T Pu = \min$$

Η συνάρτηση *linest* εφαρμόστηκε για τις ποσότητες του θαλασσινού και του γλυκού νερού και παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα (σχήματα 5.7, και 5.8):



Σχήμα 5.7 : Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest.

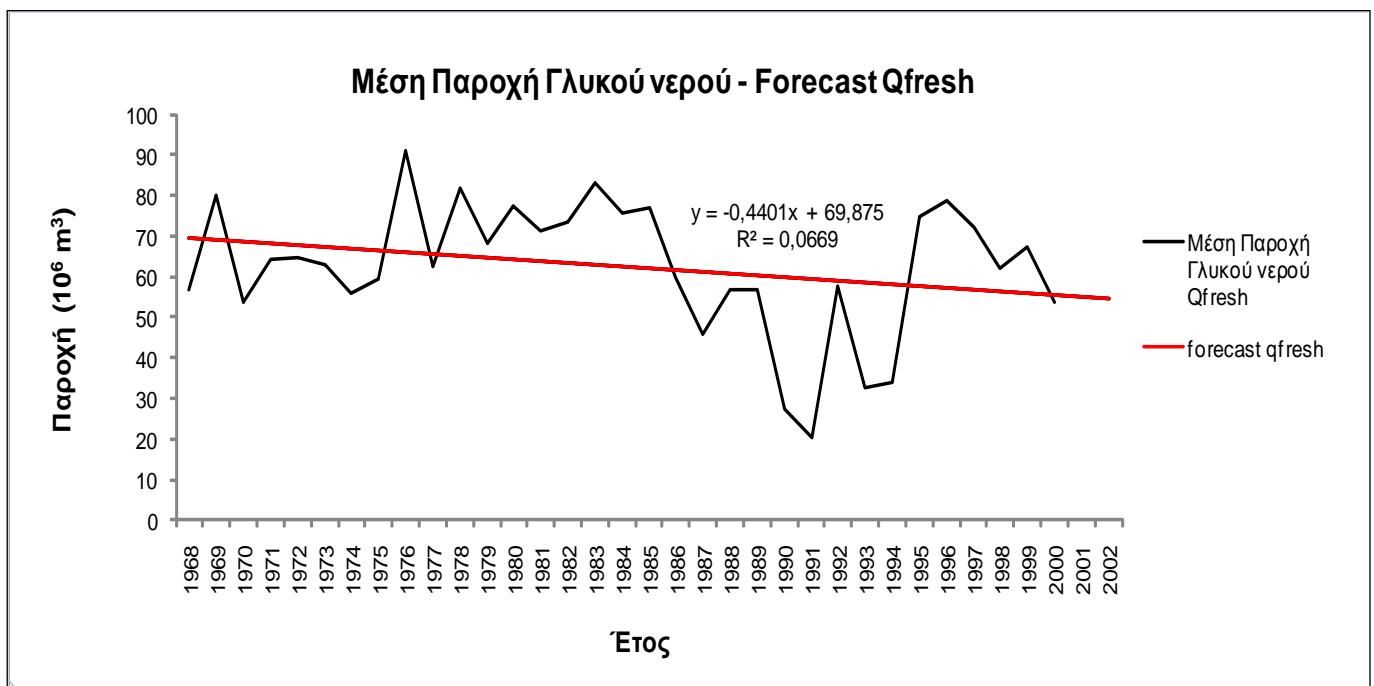


Σχήμα 5.8 : Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest.

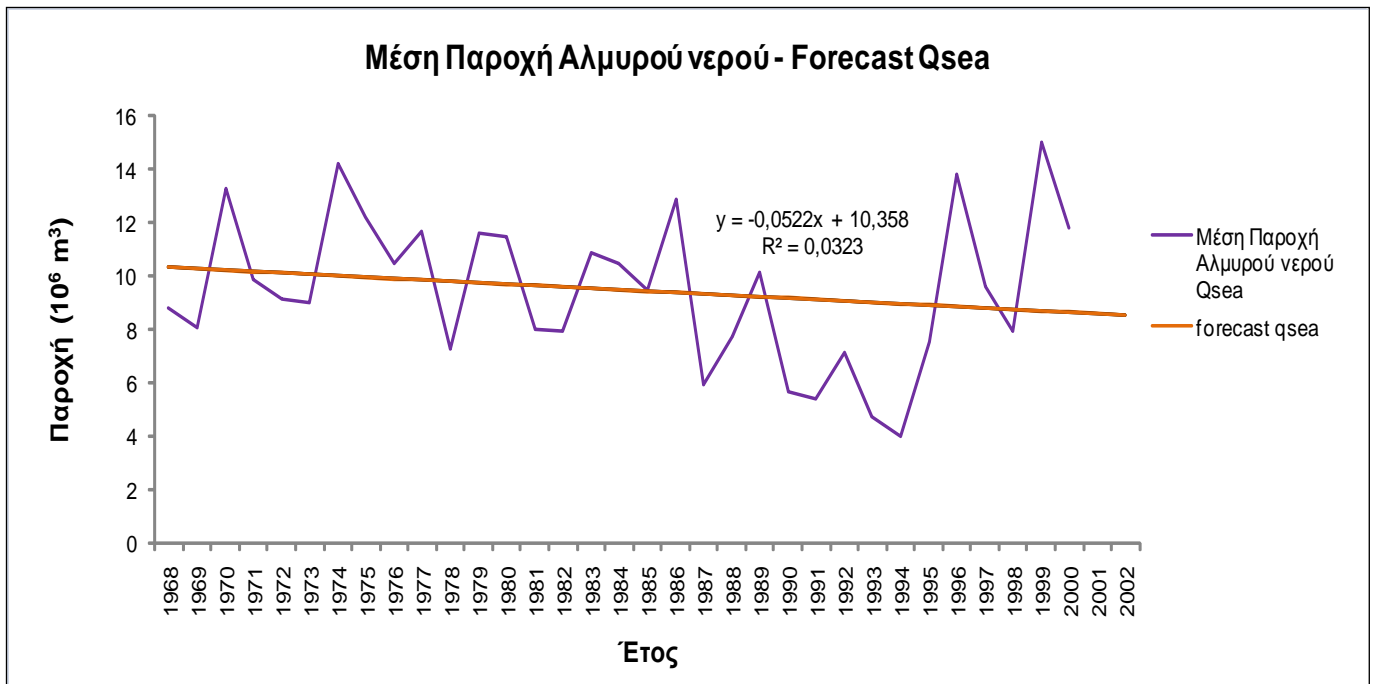
5.3.4.1.2 Συνάρτηση forecast

Συνάρτηση forecast υπολογίζει και προβλέπει μια μελλοντική τιμή σε μια γραμμική τάση χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχουσες τιμές για τα δεδομένα. Η νέα τιμή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση.

Όπως και η συνάρτηση linest, έτσι και η forecast εφαρμόστηκε για τις ποσότητες του θαλασσινού και του γλυκού νερού και παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα (σχήματα 5.9, και 5.10):



Σχήμα 5.9: Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Forecast.

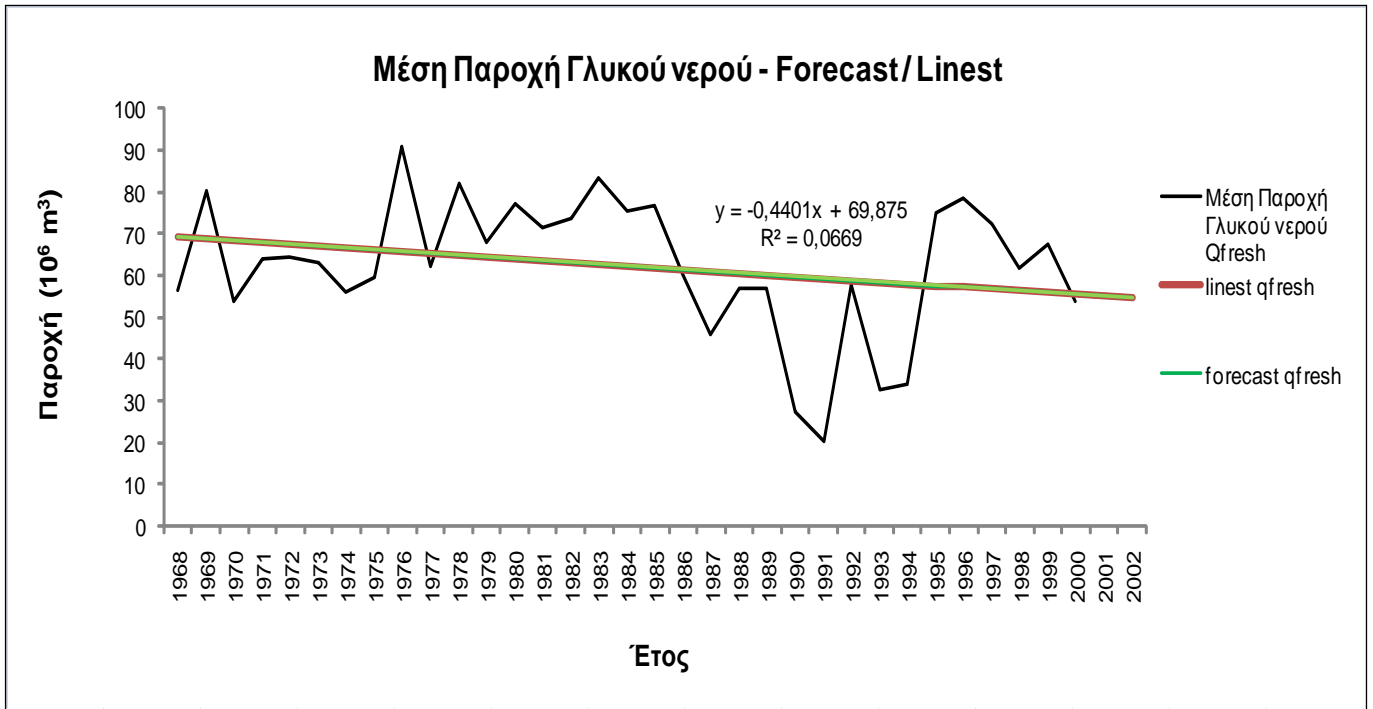


Σχήμα 5.10 : Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Forecast.

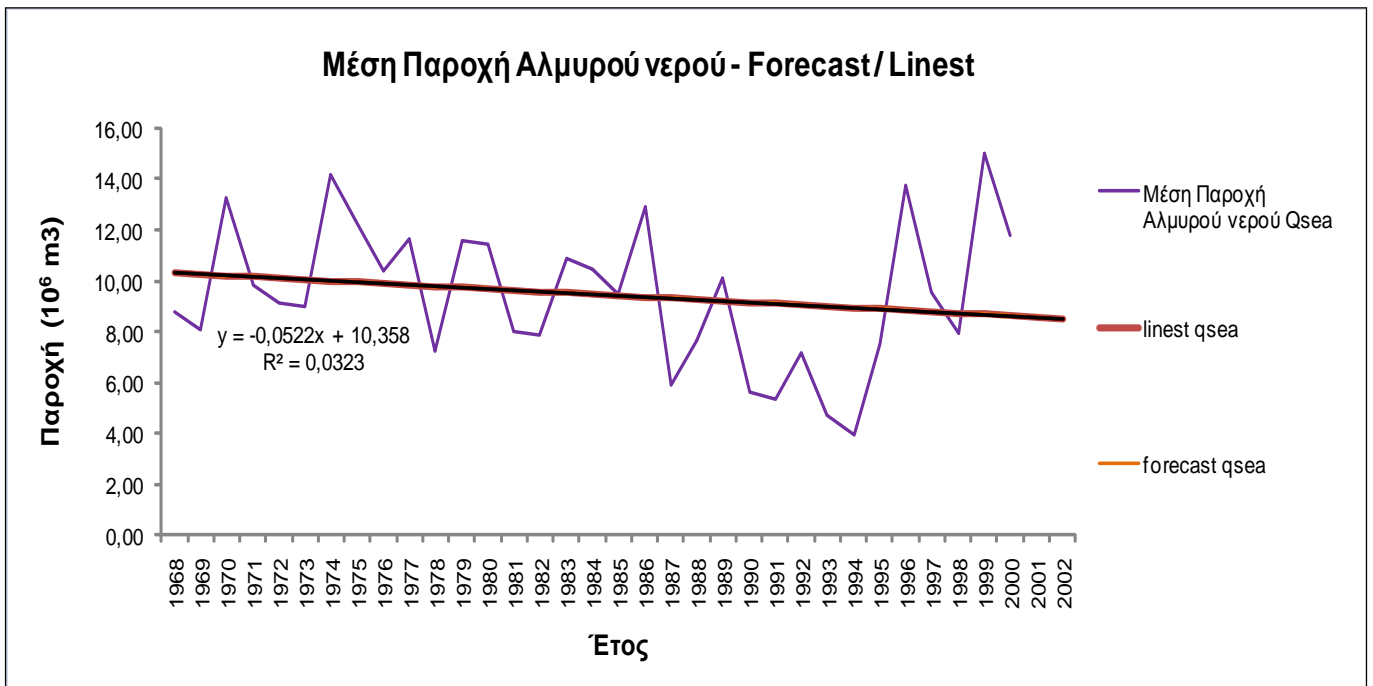
Σύμφωνα με την εφαρμογή των δύο αυτών συναρτήσεων της γραμμικής παλινδρόμησης καθώς, εξάγεται το συμπέρασμα πως οποιαδήποτε συνάρτηση της γραμμικής παλινδρόμησης και να χρησιμοποιηθεί, εξαιτίας της γραμμικότητας των συναρτήσεων, τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν θα είναι παραπλήσια με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων.

Τα ακριβή αποτελέσματα της εφαρμογής των συναρτήσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα στον πίνακα Π.6.

Στα παρακάτω διαγράμματα (σχήματα 5.11 και 5.12), παρουσιάζεται η σύγκριση των γραφημάτων των δύο συναρτήσεων τις ποσότητες του θαλασσινού και του γλυκού νερού. Προκύπτει πως η ευθεία της συνάρτησης linest και η ευθεία της συνάρτησης forecast συμπίπτουν και στις δύο περιπτώσεις:



Σχήμα 5.11 : Μέση Παροχή του γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest και Forecast.



Σχήμα 5.12: Μέση Παροχή του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001 και εφαρμογή της συνάρτησης Linest και Forecast.

5.3.4.2 Ανάλυση Χρονοσειρών

Η μέθοδος των χρονοσειρών δεν χρησιμοποιεί τη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών με τις εξαρτημένες, αλλά βασίζεται στην παραδοχή πως τα δεδομένα ακολουθούν την ίδια σχετικά πορεία στο παρελθόν και στο μέλλον.

Βασικός στόχος της μεθόδου αυτής αποτελεί η πρόβλεψη του μέσου όρου των χαρακτηριστικών που μελετάται σε κάποια μελλοντική στιγμή ή περίοδο. Για την επίτευξη του στόχου αυτού οι βασικές τεχνικές – μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Απλός μέσος όρος
2. Κινητός μέσος όρος
3. Σταθμικός μέσος όρος
4. Εκθετική μέθοδος
5. Προσαρμοσμένη εκθετική μέθοδος
6. Εποχιακή μέθοδος

Επειδή στην παρούσα διπλωματική τα δεδομένα που αναλύονται (παροχή – χλωριόντα) εξαρτώνται αποκλειστικά από την εποχή και την χρονική περίοδο, είναι φανερή η επίδραση του εποχικού στοιχείου. Συνεπώς η καταλληλότερη μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εποχιακή μέθοδος.

5.3.4.2.1 Εποχιακή μέθοδος

Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως και στην περίπτωση του Αλμυρού, τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν συγκεκριμένες διακυμάνσεις και μεταβολές, οι οποίες δεν είναι τυχαίες, αλλά εξαρτώνται έντονα από την εποχή. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μοντέλο πρόβλεψης και η συνάρτηση που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ενσωματώνει μηχανισμούς για την προσαρμογή της εποχικότητας.

Η εποχιακή μέθοδος αναλύεται σε τέσσερα σημαντικά βήματα:

1. Προσδιορισμός των τιμών απαλλαγμένων από το εποχικό στοιχείο.

2. Εύρεση της ευθείας συσχέτισης των τιμών και του χρόνου.
3. Προέκταση της ευθείας συσχέτισης
4. Υπέρθυση του εποχικού στοιχείου.

Αναλυτικότερα τα παραπάνω βήματα έχουν ως εξής:

ΒΗΜΑ 1: Προσδιορισμός των τιμών απαλλαγμένων από το εποχικό στοιχείο.

Αρχικά για να υπολογιστεί η ευθεία συσχέτισης, σχηματίζεται ο πίνακας 5.1 με βάση τον εποχικό παράγοντα. Ο πίνακας 5.1 σχηματίζεται για την παροχή του γλυκού (Q_{fresh}) αλλά και του αλμυρού νερού (Q_{sea}). Δίνεται αντίστοιχο παράδειγμα με την παροχή γλυκού νερού για το έτος 1968.

Πίνακας 5.1 : Πίνακας προσδιορισμού των τιμών απαλλαγμένων από το εποχικό στοιχείο.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
ΕΤΟΣ	Περίοδος (X)	Τρίμηνο	Παροχή πραγματική Q	Μέση τριμηνιαία παροχή \bar{Q}	Εποχικός παράγοντας ε_{π}	Δεδομένα χωρίς εποχικό στοιχείο Y_d	$X^2 = [1]^2$	$X*(Y_d)=[1]*[6]$
1968	1	1ο		87,58	1,72		1	
	2	2ο	54,56	44,22	0,87	62,98	4	125,96
	3	3ο	29,31	28,08	0,55	53,29	9	159,86
	4	4ο	86,15	43,14	0,84	101,95	16	407,81
ΕΤΟΣ	.	.	.	.	.	.	.	.

	v	.	.	.	.	.	.	.
Σύνολο	Σ		Σ1			Σ2	Σ3	Σ4
M.O.	M		M1					

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1, υπολογίζεται αρχικά τη μέση τριμηνιαία παροχή με βάση τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για κάθε μήνα του έτους (στήλη 4 πίνακας 5.1).

Υπολογίζεται στη συνέχεια ο εποχικός παράγοντας σύμφωνα με τον τύπο:

$$\varepsilon_{\pi} = \frac{\bar{Q}}{M1}$$

Έτσι ο προσδιορισμός των τιμών απαλλαγμένες από το εποχικό στοιχείο δίνονται τελικά από τον τύπο:

$$Y_d = \frac{Q}{\varepsilon_{\pi}}$$

ΒΗΜΑ 2: Εύρεση της ευθείας συσχέτισης των τιμών και του χρόνου.

Ο τύπος της ευθείας είναι: $Y = a + bx$, και η μέση τιμή των περιόδων και των τιμών χωρίς την επίδραση του εποχικού στοιχείου θα είναι:

$$\bar{y}_d = \frac{\sum 1}{\nu}, \quad M = \frac{\sum}{\nu}$$

Τότε οι συντελεστές a και b θα είναι:

$$b = \frac{\sum xy - \nu(\bar{y}_d)(M)}{\sum x^2 - \nu(M)^2} = - \text{ και } a = \bar{y}_d - b \times M$$

Έτσι, μετά τους κατάλληλους υπολογισμούς υπολογίζεται η εξίσωση της ευθείας συσχέτισης.

ΒΗΜΑ 3 και 4: Προέκταση της ευθείας συσχέτισης και υπέρθεση εποχικού στοιχείου.

Δεδομένου πλέον πως οι εξισώσεις των ευθειών συσχέτισης είναι γνωστές, υπολογίζεται σε τελικό στάδιο οι προβλέψεις των τιμών με βάση τον πίνακα 5.2 και σύμφωνα με τον τύπο της πρόβλεψης:

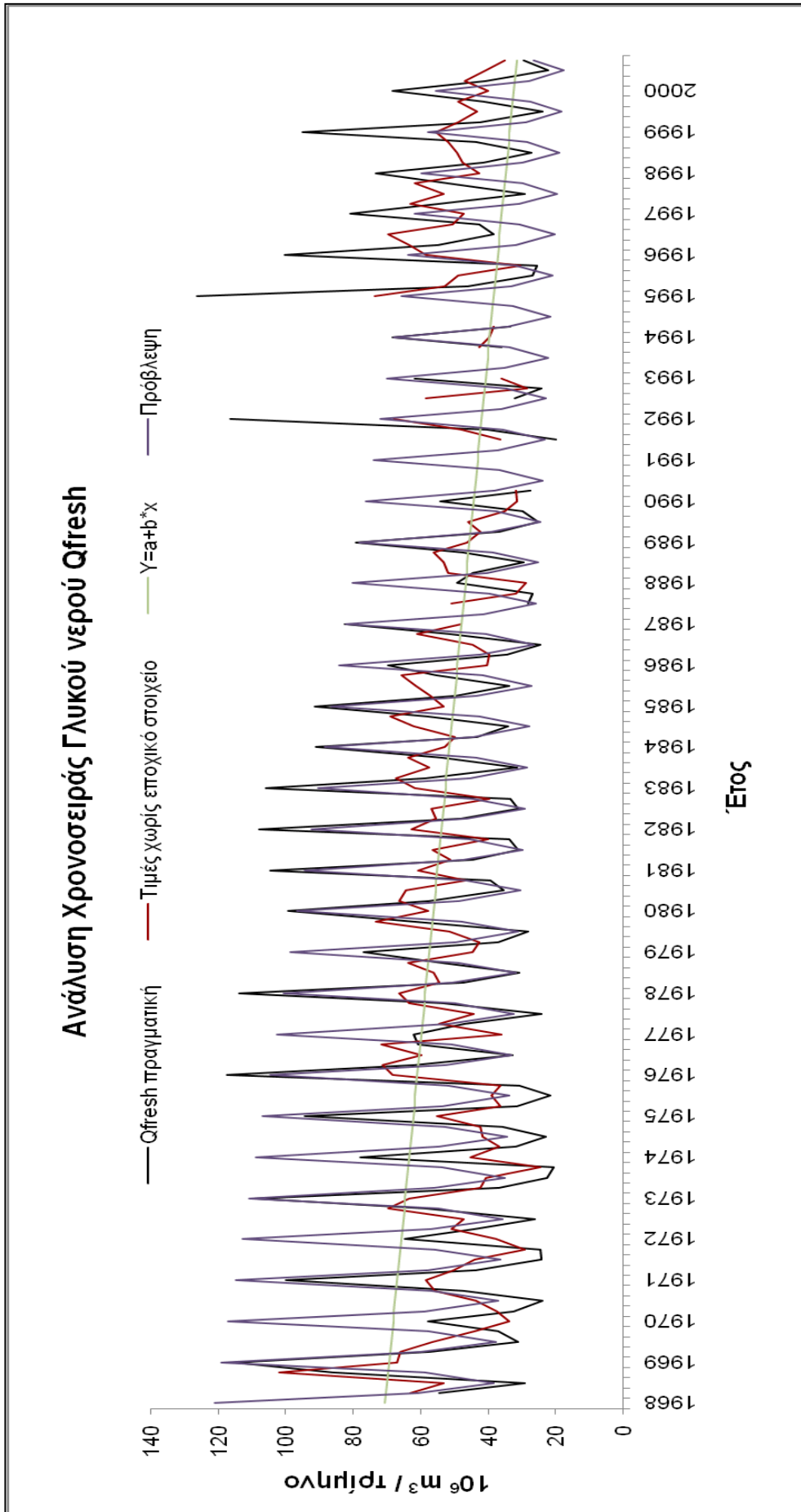
$$P = Y \times \varepsilon_{\pi}$$

Όπου $Y = a + bx$ και ε_{π} : ο εποχικός παράγοντας

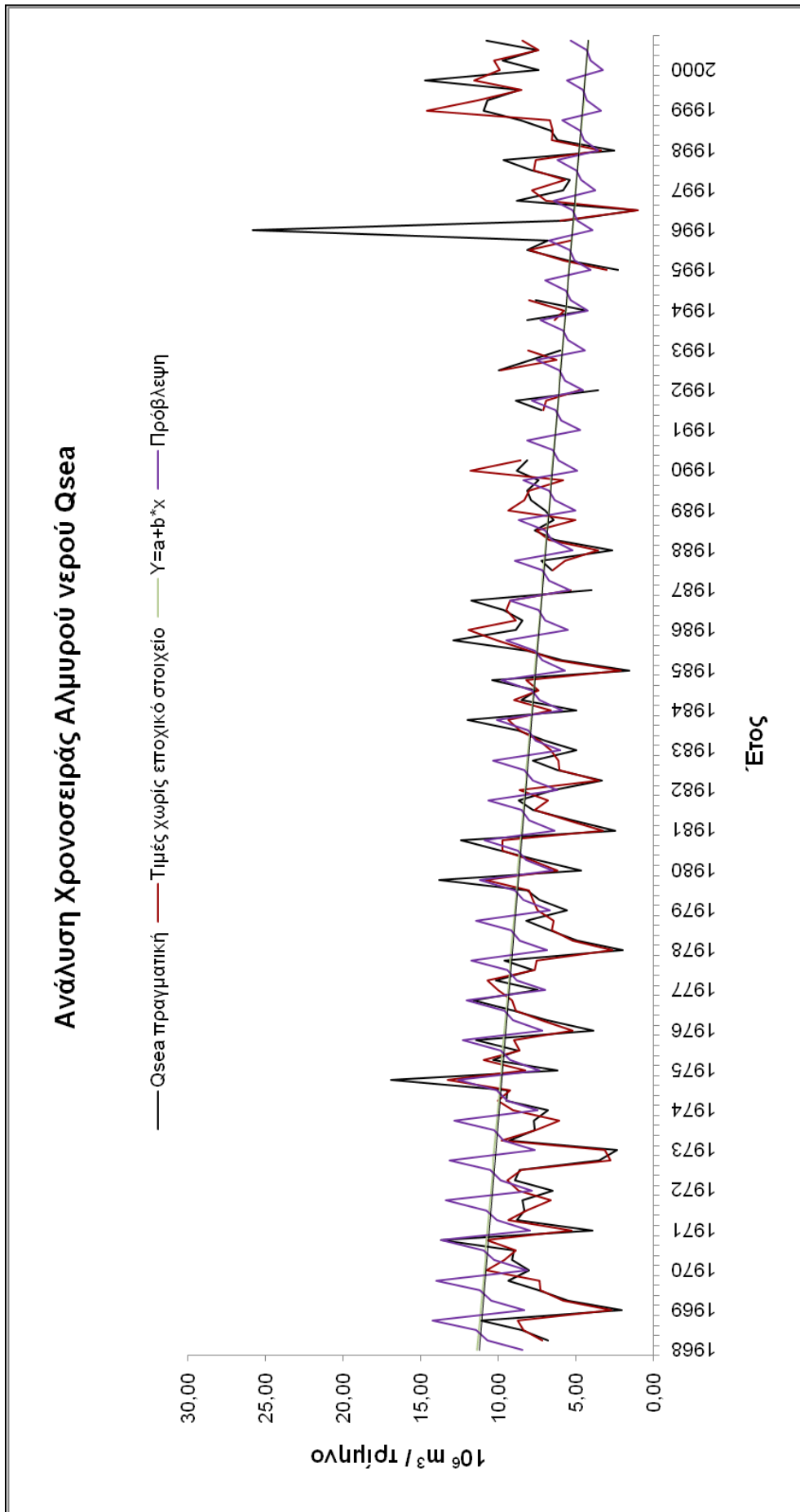
Πίνακας 5.2: Πίνακας προσδιορισμού της προέκτασης της ευθείας συσχέτισης και υπέρθεσης του εποχικού στοιχείου (παράδειγμα έτους 1968).

Περίοδος (X)	Τρίμηνο	$Y = a x + b$ ($Y = 70,85x - 0,298$)	Εποχικός παράγοντας ε_{π}	Πρόβλεψη (P)
1	1ο	70,55	1,72	121,04
2	2ο	70,25	0,87	60,85
3	3ο	69,95	0,55	38,47
4	4ο	69,65	0,84	58,86

Η παραπάνω μέθοδος της ανάλυσης των χρονοσειρών με την επίδραση του εποχικού στοιχείου, εφαρμόστηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική για την παροχή του γλυκού και του αλμυρού νερού. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα (σχήματα 5.13 και 5.14) που προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου:



Σχήμα 5.13 : Ανάλυση Χρονοσειράς της παροχής της γλυκού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001



Σχήμα 5.14 : Ανάλυση Χρονοσειράς της παροχής του αλμυρού νερού της πηγής για τα έτη 1967 – 2001

5.4 Παρατηρήσεις

Από τη μελέτη της ανάλυσης της γραμμικής παλινδρόμησης και της ανάλυσης των χρονοσειρών, και με βάση τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα, προκύπτουν τα ακόλουθα σημαντικά συμπεράσματα:

1. Από την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης και την εφαρμογή των δύο συγκεκριμένων συναρτήσεων *linest* και *forecast*, παρατηρείται πως τα αποτελέσματα των συναρτήσεων δεν είναι μεγάλης ακρίβειας ($R^2 = 0,0323$) καθώς η πρόβλεψη της συνάρτησης για ένα περασμένο έτος, με την πραγματική τιμή του έτους διαφέρουν σημαντικά. Έτσι, παρόλο που οι συναρτήσεις διαφέρουν στο ελάχιστο, όπως φαίνεται και από τους αντίστοιχους πίνακες στο παράρτημα, δεν μπορεί να εξεταστεί ακριβώς ποια από αυτές είναι η πιο ακριβής και κατάλληλη για την περιγραφή της συμπεριφοράς της πηγής του Αλμυρού. Επομένως εξάγεται το συμπέρασμα πως η ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης δεν είναι αρκετά αποτελεσματική για την μελέτη των δεδομένων της πηγής του Αλμυρού.
2. Η εφαρμογή της ανάλυσης της χρονοσειράς έδωσε πιο ακριβή αποτελέσματα στις προβλέψεις. Επειδή τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, παροχή – χλωριόντα, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή και το κλίμα, ήταν αναμενόμενο πως μια συνάρτηση από την ανάλυση των χρονοσειρών θα έδινε μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα.
3. Γενικότερα, όσον αφορά τις παροχές του γλυκού και του αλμυρού νερού στην πηγή, παρατηρείται πως τόσο η παροχή του γλυκού νερού, όσο και η παροχή του αλμυρού νερού, ακολουθούν μια φθίνουσα πορεία ($y=-0,4401x+69,875$ και $y=-0,0522x+10,358$ αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός μείωσης του γλυκού νερού ($dR= -44,01\%$), είναι αρκετά μεγαλύτερος από το ρυθμό μείωσης του αλμυρού νερού στην πηγή ($dR= -5,2\%$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Γεωτρήσεις

6.1 Γενικά

Είναι γεγονός πως τα τελευταία χρόνια για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του νησιού, έχουν εκπονηθεί πολλές μελέτες και έχουν πραγματοποιηθεί δεκάδες γεωτρήσεις στην περιοχή. Σκοπός εκμετάλλευσης των γεωτρήσεων αυτών είναι η άντληση σημαντικών ποσοτήτων γλυκού νερού από τους υδροφορείς κυρίως για τη χρησιμοποίησή του στην άρδευση, στην ύδρευση, στον τουρισμό και στη βιομηχανία.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθούν ο βαθμός επηρεασμού και οι πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις που θα προκαλέσουν οι γεωτρήσεις αυτές στις συνολικές εκφορτίσεις της πηγής του Αλμυρού. Θα εξεταστεί ακόμα το γεγονός της ποιοτικής υποβάθμισης της λεκάνης απορροής της πηγής από τις αντλήσεις των γεωτρήσεων, όπως επίσης η λειτουργία και ο ρόλος των πολλών γεωτρήσεων που γίνονται στην περιοχή μελέτης, και η αναγκαιότητά τους.

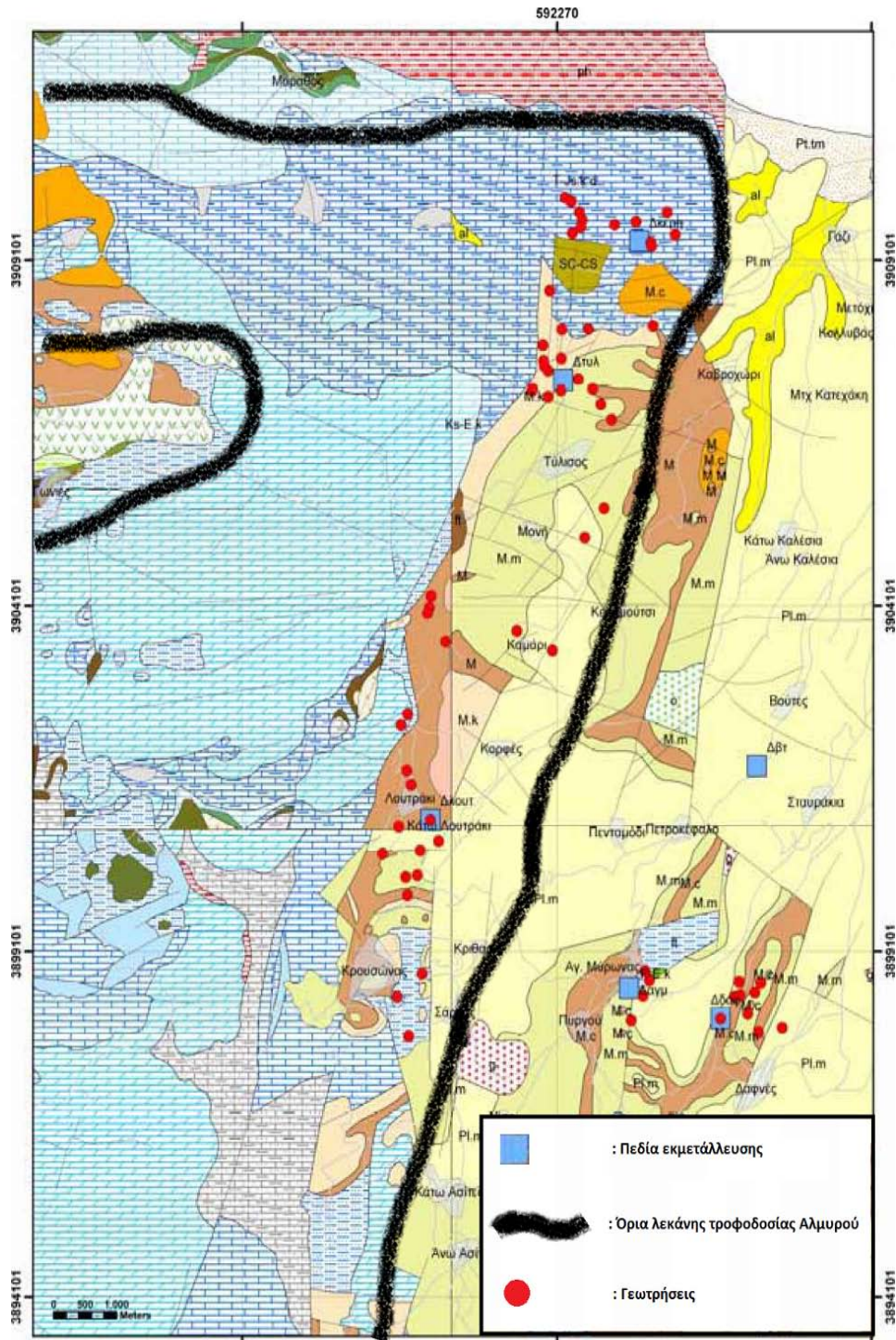
Σημαντικό στοιχείο στη μελέτη που πρέπει να εξεταστεί, αποτελεί η πιθανότητα ύπαρξης του φαινομένου της υπεράντλησης του νερού από τους υδροφορείς. Όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο αυτό, οι συνέπειες του φαινομένου αυτού μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερη εισροή θαλασσινού νερού στο καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού, με αποτέλεσμα την σταδιακή ποιοτική υποβάθμιση του νερού της πηγής.

6.2 Γεωτρήσεις στο καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η πηγή του Αλμυρού δεν έχει εκμεταλλευθεί πλήρως, με αποτέλεσμα να γίνονται πολλές μελέτες και έργα προς αυτή την κατεύθυνση. Σύμφωνα με τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου (Δ.Ε.Υ.Α.Η), το υδροφόρο σύστημα του ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη υφίσταται εκμετάλλευση από τις παρακάτω γεωτρήσεις (σχήμα 6.1):

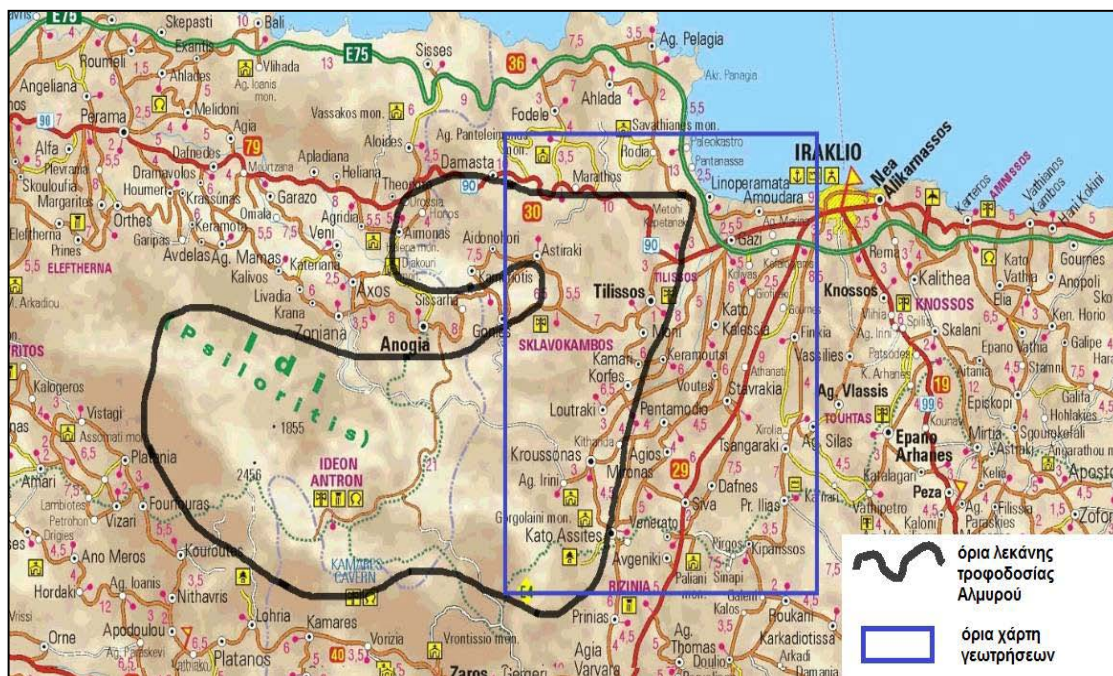
1. Πεδία Κέρης – Τυλίσου και Γωνιανού φαραγγιού. Τα πεδία αυτά υφίστανται εκμετάλλευση από έξι γεωτρήσεις στην Κέρη, έντεκα στην Τύλισο και δύο στο Γωνιανό Φαράγγι. Οι εκτιμώμενες ετήσιες αντλήσεις από το πεδίο της Κέρης της τάξης των 2.800.000 m³ και από τα πεδία Τυλίσου και Γωνιανού Φαραγγιού της τάξης των 3.000.000 m³.
2. Πεδία Λουτρακίου - Κρουσώνα και υφίσταται εκμετάλλευση από έξι γεωτρήσεις.
3. Πεδίο Αγίου Μύρωνα και υφίσταται εκμετάλλευση από συνολικά εννέα γεωτρήσεις.
4. Πεδία Ασιτών – Τετραχωρίου και Αυγενικής και υφίστανται εκμετάλλευση από τρεις γεωτρήσεις.

Οι θέσεις των γεωτρήσεων και των πεδίων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.1:



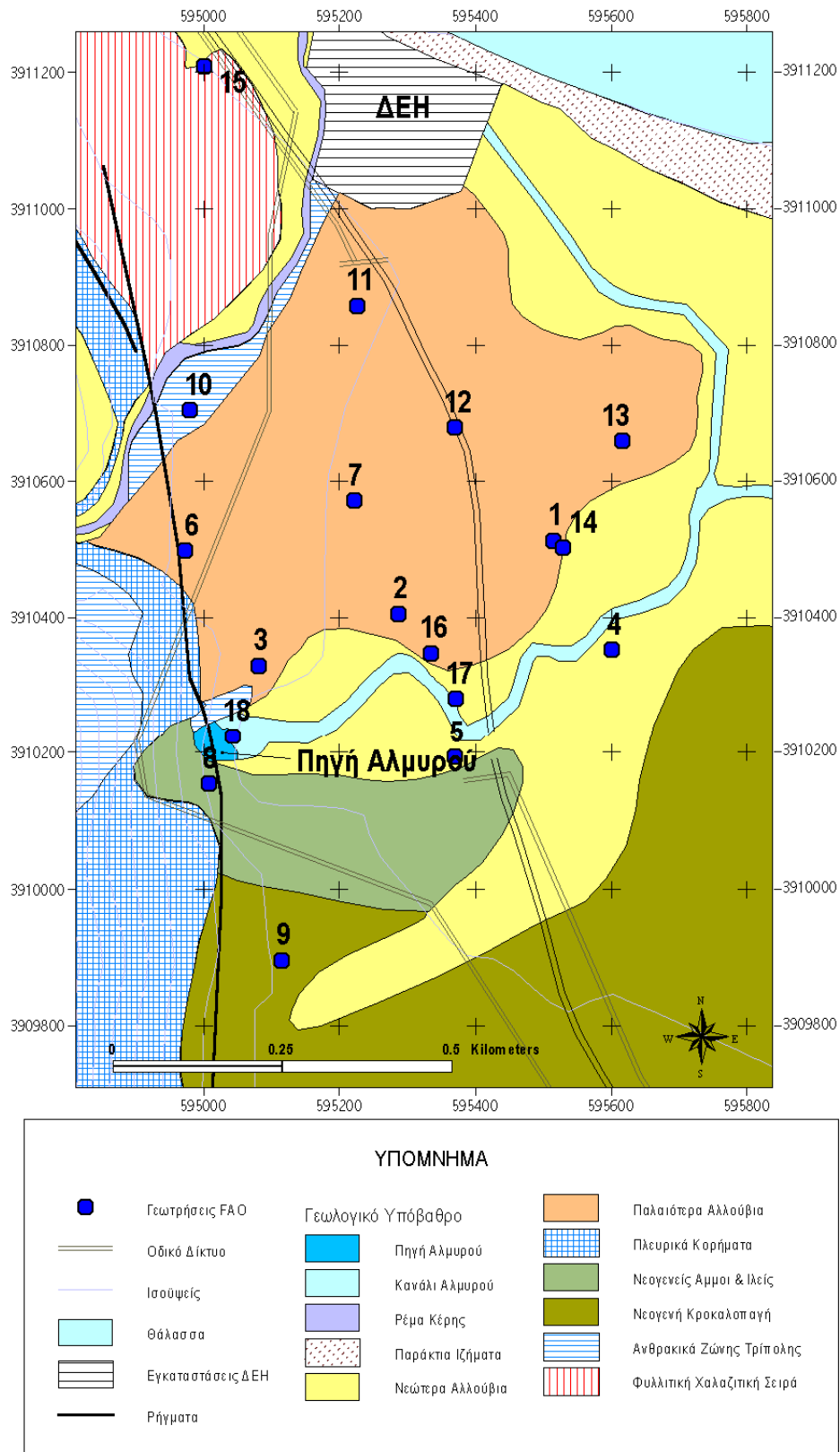
Σχήμα 6.1 : Γεωλογικός χάρτης ανατολικού τομέα Ψηλορείτη και περιοχές γεωτρήσεων (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

Στο σχήμα 6.2 απεικονίζονται τα όρια της λεκάνης τροφοδοσίας (Arfib et al 2000), και τα όρια του γεωλογικού χάρτη με τις γεωτρήσεις στο ανατολικό τμήμα του Ψηλορείτη:



Σχήμα 6.2 : Τοπογραφικός χάρτης ορίων λεκάνης τροφοδοσίας και περιοχής γεωτρήσεων (Δ.Ε.Υ.Α.Η.)

Αναλυτικότερα οι κυριότερες γεωτρήσεις οι οποίες γίνονται κοντά στην πηγή του Αλμυρού σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό F.A.O. (Food and Agriculture Organization), διαφαίνονται στον γεωλογικό χάρτη του σχήματος 6.3.



Σχήμα 6.3 : θέσεις γεωτρήσεων στο σύστημα της πηγής του Αλμυρού (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

6.3 Παροχή των Γεωτρήσεων στον Ανατολικό Τομέα του Ψηλορείτη

Οι γεωτρήσεις στον ανατολικό τομέα του Ψηλορείτη, έχουν ανορυχθεί και λειτουργήσει σταδιακά σε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, από το 1987 μέχρι και σήμερα.

Σημαντικό είναι το γεγονός πως πολλές γεωτρήσεις στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Αλμυρού έχουν διατρήσει μέχρι και βάθος 300 μέτρων, διαπερνώντας το φλύσχη, εισχωρώντας όμως ελάχιστα στον υδροφορέα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση των γεωτρήσεων του πεδίου των Δαφνών που η παροχή τους κυμαίνεται από 60 έως 150 m³/h δηλαδή από 0,5 έως 1 10⁶ m³ ετησίως (Δ.Ε.Υ.Α.Η 2003).

Το καρστικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού εκμεταλλεύεται από σύστημα γεωτρήσεων στις περιοχές Κέρη, Τυλίσσος, Κρουσώνας, Αγ. Μύρωνας και Δαφνές. Το νερό που αντλείται από τα πεδία των γεωτρήσεων Κρουσώνα, Αγ. Μύρωνα και Δαφνών είναι πολύ καλής ποιότητας, ενώ στα πεδία Τυλίσσου και Κέρης, λόγω υπεράντλησης και τοπικών γεωλογικών συνθηκών, έχει υποστεί υφαλμύρωση (Δ.Ε.Υ.Α.Η 2003).

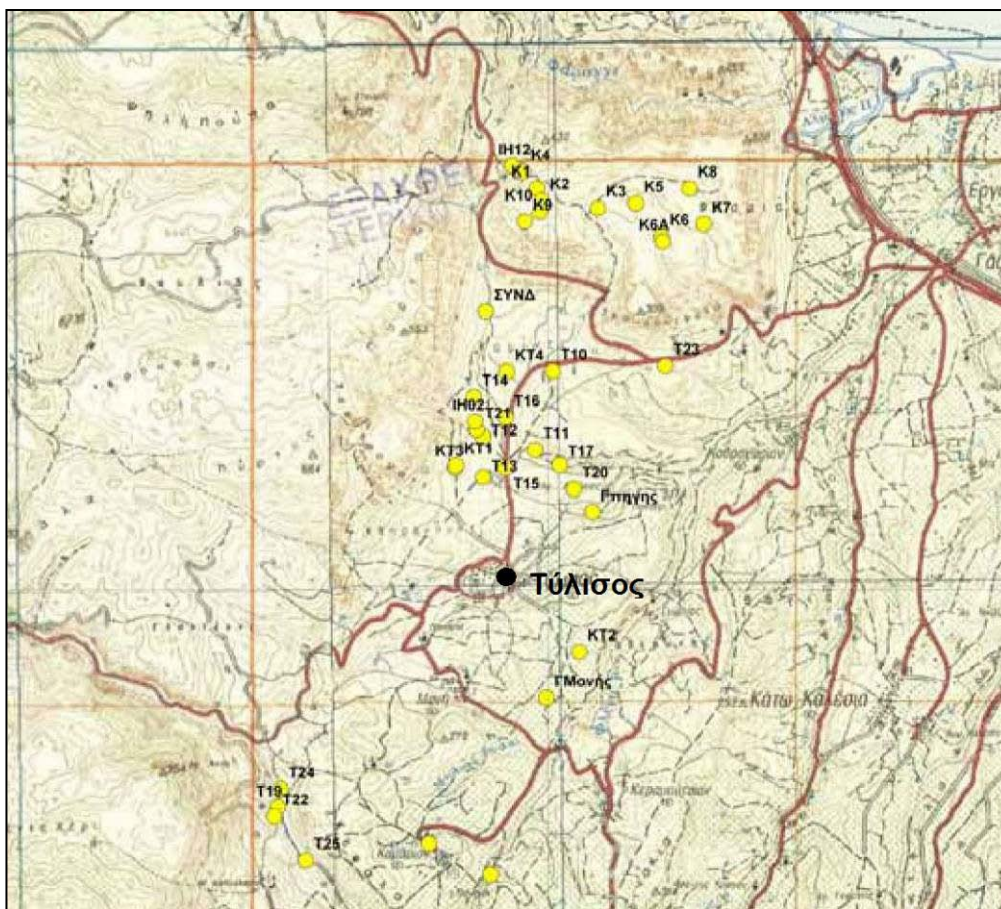
Από το σύνολο όμως των γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή του συστήματος του Αλμυρού, δεν ήταν όλες παραγωγικές. Ειδικότερα, από τις γεωτρήσεις του πεδίου Κέρης – Τυλίσσου – Γωνιανού Φαραγγιού περίπου το 75% υπήρξαν χρήσιμες και παραγωγικές. Στην περίπτωση του Γωνιανού Φαραγγιού οι μόνες παραγωγικές γεωτρήσεις που υπήρξαν ήταν αυτές που ανορύχθηκαν στην έξοδο του Φαραγγιού (T19 και T22).

Από τον πίνακα 6.1 εξάγεται το συμπέρασμα πως η συνολική άντληση από το υδατικό σύστημα των γεωτρήσεων, ανέρχεται σε 10 έως 15 10⁶ m³. Επειδή το σύστημα του Αλμυρού τροφοδοτεί περίπου 250 10⁶ m³ ετησίως, υπάρχει ταχεία και πλήρης αναπλήρωση του συστήματος, με αμελητέες επιπτώσεις.

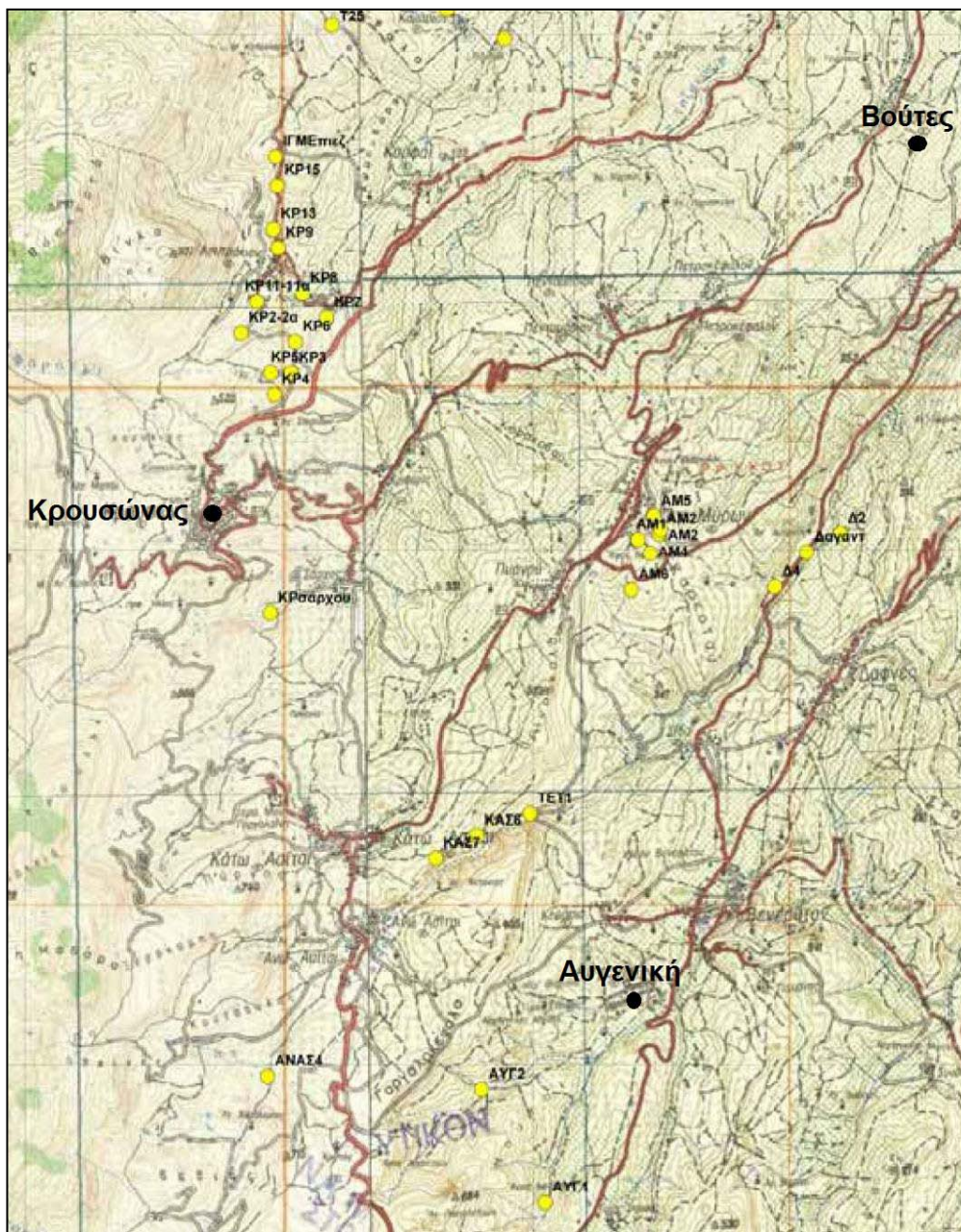
Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι γεωτρήσεις που έγιναν στον ανατολικό τομέα του Ψηλορείτη, ενώ στα σχήματα 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων των πεδίων.

Πίνακας 6.1 : Γεωτρήσεις ανατολικού τομέα του Ψηλορείτη (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΧΕΙΜΕΡΙΝΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ (m ³)	ΘΕΡΙΝΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ (m ³)
ΑΜ1	Αγ. Μύρων	0	1200
ΑΜ2	Αγ. Μύρων	1680	1680
ΑΜ3	Αγ. Μύρων	0	1560
ΑΜ4	Αγ. Μύρων	1680	1680
ΑΜ5	Αγ. Μύρων	1680	1680
ΑΜ6	Αγ. Μύρων	1680	1680
ΑΝΑΣ4	Ανω Ασίτες	0	1200
ΑΥΓ1	Αυγενική	0	1200
ΑΥΓ2	Αυγενική	0	840
Δ12	Δαφνές	1200	1200
Δ2	Δαφνές	1200	1200
Δαγαντ	Δαφνές	1200	1200
Δ4	Δαφνές	1200	1200
Δνταμαρι	Δαφνές	1200	1200
Γπγ	Τύλισος	0	1200
Κ1	Κέρη	1200	1200
Κ10	Κέρη	1440	1440
Κ2	Κέρη	1200	1200
Κ3	Κέρη	1440	1440
Κ5	Κέρη	1440	1440
Κ7	Κέρη	1440	1440
Κ9	Κέρη	960	960
ΚΑΖ6	Κάτω Ασίτες	0	1200
ΚΑΖ7	Κάτω Ασίτες	0	1200
ΚΡ13	Λουτράκι	1440	1440
ΚΡ3	Λουτράκι	1920	1920
ΚΡ7	Λουτράκι	960	960
ΚΡ8	Λουτράκι	2400	2400
ΚΡ9	Λουτράκι	1200	1200
ΚΤ1	Τύλισος	0	1200
ΚΤ2	Τύλισος	0	1200
ΚΤ3	Τύλισος	0	1200
ΚΤ4	Τύλισος	0	1200
ΝΕΑΓ	Τύλισος	0	1200
ΣΥΝΔ	Τύλισος	0	960
Τ11	Τύλισος	1440	1440
Τ12	Τύλισος	960	960
Τ13	Τύλισος	0	1920
Τ15	Τύλισος	1440	1440



Σχήμα 6.4 : Ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων του πεδίου Κέρης- Τυλίσου- Γωνιανού φαραγγιού (Δ.Ε.Υ.Α.Η)



Σχήμα 6.5 : Τοπογραφικός χάρτης των θέσεων των γεωτρήσεων των πεδίων Λουτρακίου – Κρουσώνα – Αγ. Μύρωνα, Δαφνίων, Αυγενικής (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

6.4 Υφαλμύρωση των Γεωτρήσεων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, στους παράκτιους υδροφορείς σε συνθήκες ισορροπίας υπάρχει μια πολύπλοκη υδραυλική σχέση μεταξύ του γλυκού νερού και του θαλασσινού νερού. Η σχέση αυτή οφείλεται κυρίως στη διαφορά των πυκνοτήτων τους. Μείωση της υδραυλικής βαθμίδας, προκαλεί αύξηση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού ενώ αύξησή της προκαλεί ώθηση του θαλασσινού νερού που διεισδύει.

Για τη διαχείριση παράκτιων υδροφορέων είναι αναγκαία η κατανόηση της δυναμικής του φαινομένου της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων και συναρτήσεων, όπως τα μοντέλα SUTRA και SHARP της U.S.G.S. (Δ.Ε.Υ.Α.Η 2003).

Στην περιοχή του πεδίου Κέρης - Τυλίσου υπάρχει μια συνεχής και προοδευτική αύξηση της περιεκτικότητας σε συγκέντρωση χλωριόντων (Cl^{-1}) σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις. Η αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων άρχισε να γίνεται αισθητή από τα τέλη του έτους 1989 (πίνακες 6.2 και 6.3). Παρόλο όμως τις πολλές μελέτες και έρευνες που έγιναν πάνω στο σύστημα του Αλμυρού, δεν έχει κατανοηθεί πλήρως η διαδικασία της υφαλμύρωσης της λεκάνης.

Η υφαλμύρωση των γεωτρήσεων είναι δυνατόν να οφείλεται είτε σε αλληλεπίδραση της λεκάνης Κέρης - Τυλίσου με τη θάλασσα, είτε σε αλληλεπίδραση με το σύστημα εκφόρτισης της πηγής είτε σε συνδυασμό και των δύο (Δ.Ε.Υ.Α.Η 2003).

Όμως δεν υπάρχει άμεση υδραυλική επικοινωνία του καρστ της πηγής με την θάλασσα, επειδή παρεμβάλλονται στεγανοί γεωλογικοί σχηματισμοί μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων της Κέρης και της θάλασσας (Μονοπώλης και Σοφίου 1994). Ωστόσο, υπάρχει πιθανή υπόγεια υδραυλική επικοινωνία του καρστ με την θάλασσα σε βάθος 300 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας.

Σύμφωνα με μελέτες, η υφαλμύρωση του πεδίου της Τυλίσου είναι μεγαλύτερη από αυτή στο πεδίο της Κέρης. Ακόμα, η αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων στις γεωτρήσεις, είναι συνεχής και προοδευτική.

Οι διεργασίες όμως της υφαλμύρωσης των πεδίων Κέρης και Τυλίσου σχετίζονται με αναδυόμενο δίκτυο αγωγών εκφόρτισης της πηγής με αποτέλεσμα να αλλοιώνουν το υδροδυναμικό σύστημα της περιοχής και να οδηγούν σταδιακά σε υποβάθμιση των υδατικών πόρων του συστήματος.

Σύμφωνα με τη Δ.Ε.Υ.Α.Η. η ποιοτική υποβάθμιση των πεδίων Κέρης και Τυλίσου δεν οφείλεται σε υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων της λεκάνης καθώς η τροφοδοσία της πηγής του Αλμυρού υπερκαλύπτει τα υφιστάμενα επίπεδα εκμετάλλευσης. Η υποβάθμιση πιθανότατα οφείλεται σε διατάραξη της δομής του υδροδυναμικού συστήματος εκφόρτισης της πηγής του Αλμυρού λόγω των αντλήσεων στα πεδία Κέρης και Τυλίσου.

Γίνεται κατανοητό πως διαδικασία υφαλμύρωσης της πηγής του Αλμυρού αποτελεί μια πολύπλοκη και πολυφασική διαδικασία που πρέπει να αναλυθεί εκτενέστερα.

Πίνακας 6.2 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) των γεωτρήσεων Κ του πεδίου Κέρης - Τυλίσου (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

		Κ1	Κ2	Κ3	Κ5	Κ7	Κ9	Κ10
1998	ΙΑΝ	450	85	370	580	510	42	250
	ΦΕΒ	510	85	390	570	510	42	260
	ΜΑΡ	550	100	420	590	510	42	250
	ΑΠΡ	580	140	460	750	525	57	213
	ΜΑΙ	470	110	412	620	550	46	270
	ΙΟΥΝ	454	99	412	596	540	46	256
	ΙΟΥΛ	483	110	440	639	568	46	284
	ΑΥΓ	483	110	426	639	550	46	337
	ΣΕΠ	485	110	425	639	555	46	339
	ΟΚΤ	500	131	582	667	539	46	397
	ΝΟΕ	490	130	563	640	540	46	397
	ΔΕΚ		230	510	640	565	53	326
1999	ΙΑΝ		241	514	639	586	57	326
	ΦΕΒ		227	497	728	604	56.8	326
	ΜΑΡ		199	511	710	604	58.4	326
	ΑΠΡ		228	525	710	605	60.3	326
	ΜΑΪ	483	195	540	682	611	63.9	326
	ΙΟΥΝ	497	199	533	728	604	60.4	369
	ΙΟΥΛ	515	192	533	746	604	63.9	383
	ΑΥΓ	568	174	550	710	604	63.9	440
	ΣΕΠ	568	170	568	710	604	63.9	454
	ΟΚΤ	570	170	586	710	618	64	490
	ΝΟΕ	568	170	586	680	618	64	540
	ΔΕΚ	621	170	568	728	621	67.4	533

Πίνακας 6.3 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) των γεωτρήσεων T του πεδίου Κέρης - Τυλίσου (Δ.Ε.Υ.Α.Η)

		T11	T12	T15	T19	T21	T22	ΣΥΝΔ
1998	ΙΑΝ	1630	370	1500	21	250	21	50
	ΦΕΒ	1650	380	1500	21	250	21	56
	ΜΑΡ							60
	ΑΠΡ	1800	410	1600	21	250	21	60
	ΜΑΪ	1630	369	1455	21	270	21	60
	ΙΟΥΝ	1615	383	1384	21	248	21	56.8
	ΙΟΥΛ	1597	369	1420	21	270	21	60
	ΑΥΓ	1562	369	1420	21	270	21	60
	ΣΕΠ	1658	370	1430	21	270	21	58.5
	ΟΚΤ		383	1562	21.3	280	21	63
	ΝΟΕ		384	1570	21.3	280	21	63
	ΔΕΚ		388		21	284	21	63
1999	ΙΑΝ		411.8		24.8	269.8	21.3	63.9
	ΦΕΒ		410		21.3	284	21.3	60.4
	ΜΑΡ		397.6		21.3	269.8	21.3	60.3
	ΑΠΡ		383		24.8	269.8	21.3	63.9
	ΜΑΪ	1491	398		24.8	284	21.3	63.9
	ΙΟΥΝ		408	1456	24.8	298.2	21.3	63.9
	ΙΟΥΛ	1660	426	1590	24.8	305.3	21.3	63.9
	ΑΥΓ	1739	412		24.8	312.4	21	63.9
	ΣΕΠ	1775	444		24.8	298.2	17.7	63.9
	ΟΚΤ	1775	443	1952	21.3	333.7	17.7	63.9
	ΝΟΕ	1764	443	1960	17.7	340	21.3	63.9
	ΔΕΚ	1810	444	2023	24.3	340.8	21.3	67.4

6.5 Διερεύνηση συσχέτισης της συγκέντρωσης των χλωριόντων πηγής - γεωτρήσεων

Σκοπός της ενότητας αυτής αποτελεί η εύρεση του πιθανού τρόπου μεταβολής της συγκέντρωσης των χλωριόντων της πηγής εξαιτίας των γεωτρήσεων, μετά από χρονικό διάστημα 26 ετών.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός θα πρέπει να χωριστεί το συνολικό χρονικό διάστημα σε δύο περιόδους των δεκατριών ετών:

- Η πρώτη περίοδος μελετά την μεταβολή της συγκέντρωσης των χλωριόντων κατά το διάστημα 1976 – 1988. Στο διάστημα αυτό θεωρείται πως κανένας εξωγενής παράγοντας δεν επηρέασε τη μεταβολή της συγκέντρωσης των χλωριόντων.
- Η δεύτερη περίοδος μελετά τη συμπεριφορά της συγκέντρωσης των χλωριόντων κατά το διάστημα 1989 – 2001. Στο διάστημα αυτό ξεκινούν σταδιακά να λειτουργούν οι γεωτρήσεις στην περιοχή.

Όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η συγκέντρωση των χλωριόντων επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την εποχικότητα. Παρουσιάζει δηλαδή αυξομείωση σε χειμερινές και σε καλοκαιρινές περιόδους. Για το λόγο αυτό, μελετήθηκαν οι μήνες του Ιανουαρίου και Αυγούστου για τις παραπάνω χρονικές περιόδους, καθώς την περίοδο του Ιανουαρίου η συγκέντρωση των χλωριόντων προσεγγίζει την ελάχιστη τιμή, ενώ την περίοδο του Αυγούστου τη μέγιστη.

Η συγκέντρωση των χλωριόντων, είναι μέγεθος το οποίο χαρακτηρίζεται από την εποχικότητα. Για το λόγο αυτό, οι τιμές της, θα είναι συγκεντρωμένες γύρω από μια επικρατούσα τιμή για την κάθε εποχή, τη μέση τιμή. Για την στατιστική ανάλυση των τιμών της συγκέντρωσης των χλωριόντων η καταλληλότερη συνάρτηση κατανομής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είναι η κανονική κατανομή. Σύμφωνα με την κανονική κατανομή, το άθροισμα μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών είναι κανονικά κατανεμημένο.

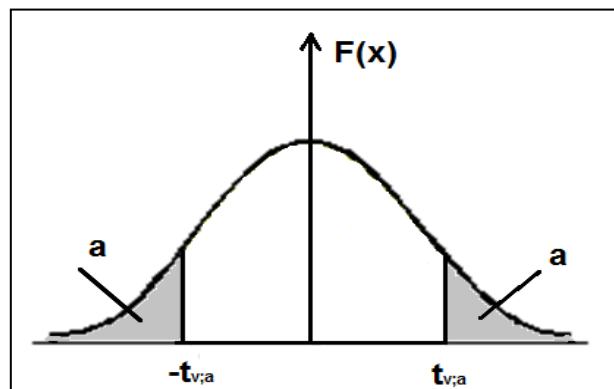
Η χρονική περίοδος που εξετάζεται για τη συγκέντρωση των χλωριόντων είναι 26 έτη. Οι παρατηρήσεις οι οποίες θα εξεταστούν στατιστικά, αφορούν μόνο έναν μήνα του έτους (Ιανουάριο, Αύγουστο). Οι συνολικές παρατηρήσεις δηλαδή που θα εξεταστούν θα είναι $n = 26 < 30$ για τον κάθε μήνα. Για το λόγο αυτό οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωριόντων δεν θα παρουσιάσουν συμμετρία σύμφωνα με την κανονική κατανομή, αλλά σύμφωνα με την κατανομή t Student.

6.5.1 Κατανομή t Student

Η κατανομή t Student εκφράζεται από τον τύπο:

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}}, -\infty < x < +\infty$$

Επίσης είναι συμμετρική ως προς άξονα y:



Σχήμα 6.6 : Κατανομή t Student (Κολυβά - Μαχαίρα και Μπόρα – Σέντα, 1995)

Για να μελετηθεί όμως η συμπεριφορά της συγκέντρωσης των χλωριόντων με όσο το δυνατόν ακριβή τρόπο, θα πρέπει να υπολογιστούν και να αναλυθούν οι διάμεσοι των παρατηρήσεων. Δεν θα υπολογιστούν οι μέσες τιμές των παρατηρήσεων καθώς οι διάμεσοι από ένα δείγμα παρατηρήσεων δεν επηρεάζονται από τις ακριανές τιμές του δείγματος.

Για να υπολογιστούν οι διάμεσοι της συγκέντρωσης των χλωριόντων για τους δύο μήνες, σχηματίζεται ο πίνακας 6.5 με τις σχετικές συχνότητες, αθροιστικές σχετικές συχνότητες τιμές και επί % αθροιστικές σχετικές συχνότητες.

Ο πίνακας 6.5 δημιουργήθηκε με βάση τις μηνιαίες τιμές για την συγκέντρωση των χλωριόντων του πίνακα 6.4:

Πίνακας 6.4 : Συγκέντρωση χλωριόντων ($mg \times L^{-1}$) για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ ($mg \times L^{-1}$)		
ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
	Μηνιαίες τιμές	Μηνιαίες τιμές
1976	1336,79	4297,38
1977	2085,27	4503,93
1978	50,91	3397,21
1979	1459,20	4254,22
1980	1218,81	4302,83
1981	577,89	3850,41
1982	3148,03	3268,26
1983	1422,44	4244,43
1984	1597,76	4490,50
1985	649,04	3855,08
1986	2464,34	5359,52
1987	1067,36	3187,63
1988	1631,13	4066,89
1989	1661,04	4621,32
1990	3186,96	4812,88
1991	1889,66	5196,00
1992	701,37	4453,12
1993	2149,74	4866,61
1994	1276,05	4826,90
1995	341,62	4462,47
1996	533,17	4868,95
1997	808,83	3775,66
1998	2275,89	4291,15
1999	397,68	3341,15
2000	2000,24	5079,19
2001	2500,16	4752,14

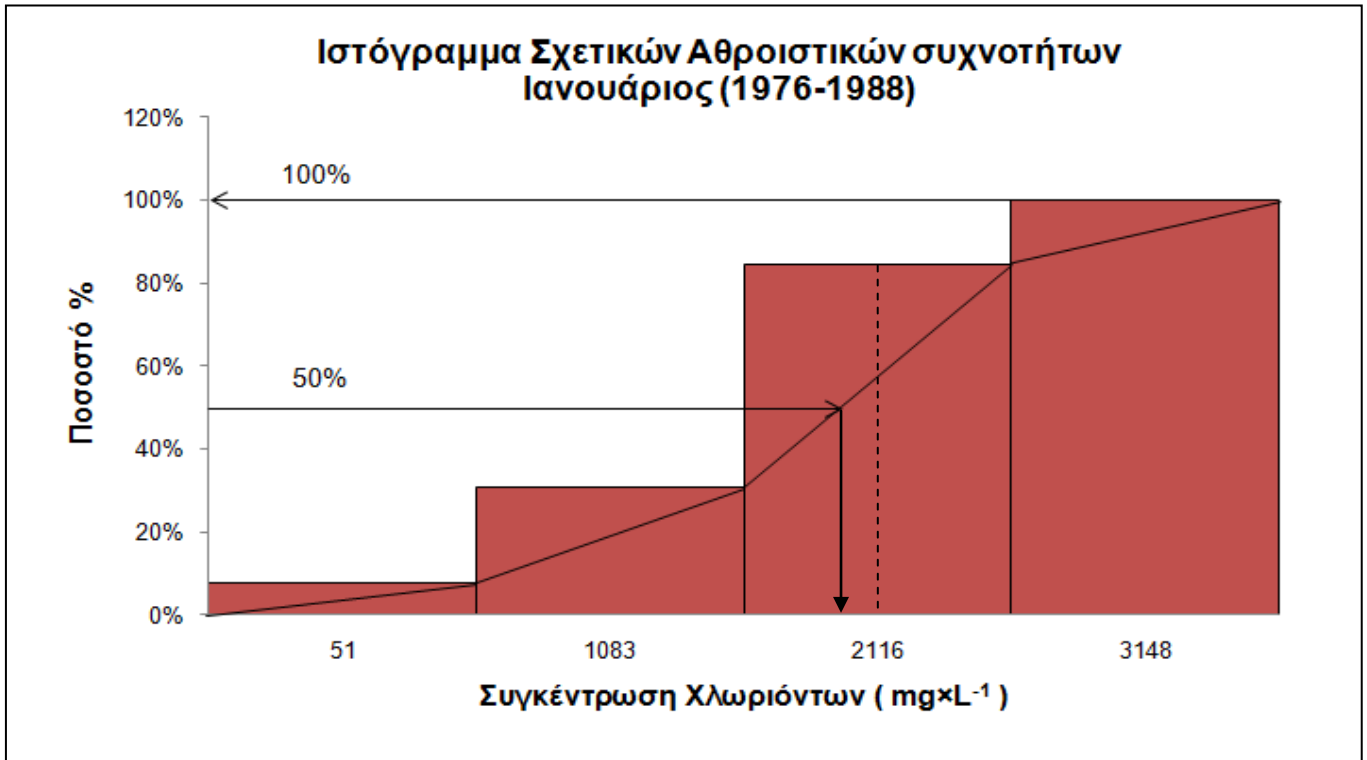
Με βάση το λογισμικό SPSS οι παρατηρήσεις διαχωρίστηκαν σε τέσσερις κλάσεις για τη δημιουργία του ιστογράμματος.

Πίνακας 6.5 : Σχετικές συχνότητες, επί % αθροιστικές σχετικές συχνότητες για τους δύο μήνες

Ιανουάριος 1976-1988			Αύγουστος 1976-1988		
κλάσεις	fi	Fi%	κλάσεις	fi	Fi%
51	1	8%	3188	1	8%
1083	3	31%	3912	4	38%
2116	7	85%	4636	7	92%
3148	2	100%	5360	1	100%
Ιανουάριος 1989-2001			Αύγουστος 1989-2001		
κλάσεις	fi	Fi%	κλάσεις	fi	Fi%
342	1	8%	3341	1	8%
1290	5	46%	3959	1	15%
2239	4	77%	4578	3	38%
3187	3	100%	5196	8	100%

Με βάση τον πίνακα 6.5 σχηματίζονται τα ιστογράμματα των αθροιστικών σχετικών συχνοτήτων (σχήματα 6.7 και 6.8) για την συγκέντρωση των χλωριόντων για τον Ιανουάριο και για τον Αύγουστο για την πρώτη περίοδο (1976-1988):

6.5.1.1 Πρώτη περίοδος: 1976-1988

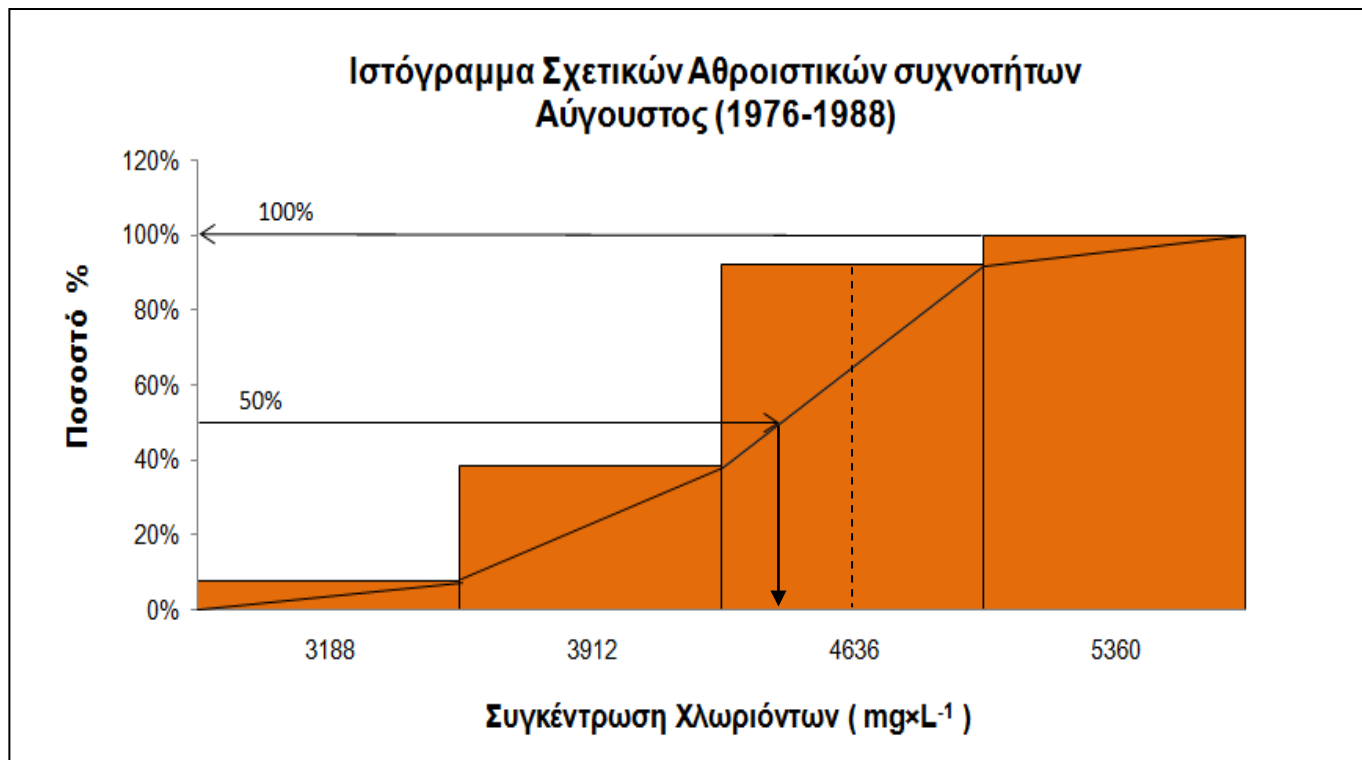


Σχήμα 6.7 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων των τιμών της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Ιανουάριο (1976-1988)

Από το σχήμα 6.7 παρατηρείται πως το 100% των τιμών αντιστοιχεί στην τέταρτη κλάση. Η διάμεσος, δηλαδή η τιμή που αντιστοιχεί στο 50% των τιμών θα ανήκει στην Τρίτη κλάση.

Είναι δηλαδή: $\delta_1(Iαν) = 1969$

Με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε η διάμεσος δ_1 για το μήνα Ιανουάριο, θα υπολογιστεί και για το μήνα Αύγουστο για την πρώτη περίοδο. Το ιστόγραμμα των αθροιστικών σχετικών συχνοτήτων για το μήνα Αύγουστο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.8.



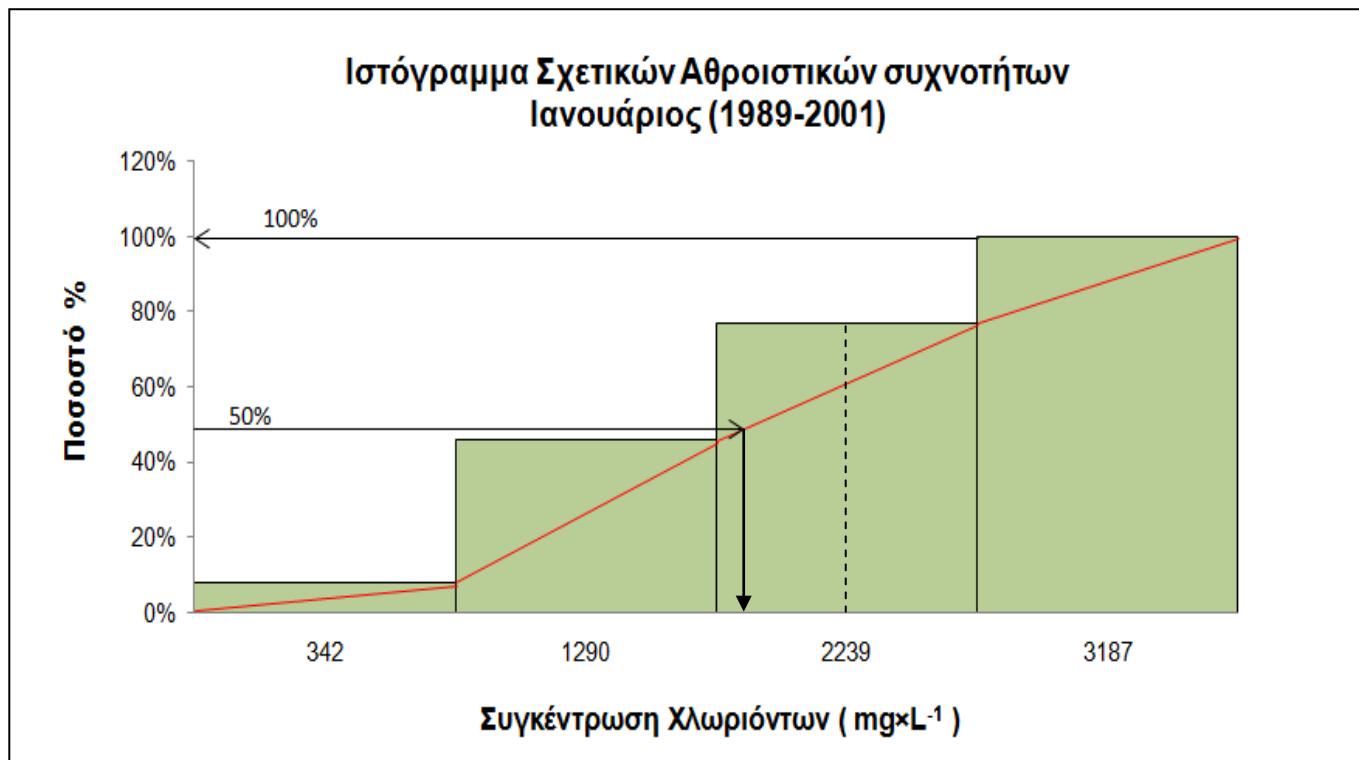
Σχήμα 6.8 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων των τιμών της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο (1976-1988)

Από το σχήμα 6.8 παρατηρείται πως το 100% των τιμών αντιστοιχεί στην τέταρτη κλάση. Η διάμεσος, δηλαδή η τιμή που αντιστοιχεί στο 50% των τιμών θα ανήκει στην Τρίτη κλάση.

Είναι δηλαδή: $\delta_1(A\upsilon\gamma) = 4352$

Οι τιμές αυτές των διαμέσων δ_1 που υπολογίστηκαν, αφορούν την πρώτη περίοδο (1976-1988) μετρήσεων της συγκέντρωσης των χλωριόντων, και θα συγκριθούν με τις διαμέσους της δεύτερης περιόδου (1989-2001).

6.5.1.2 Δεύτερη περίοδος: 1989-2001

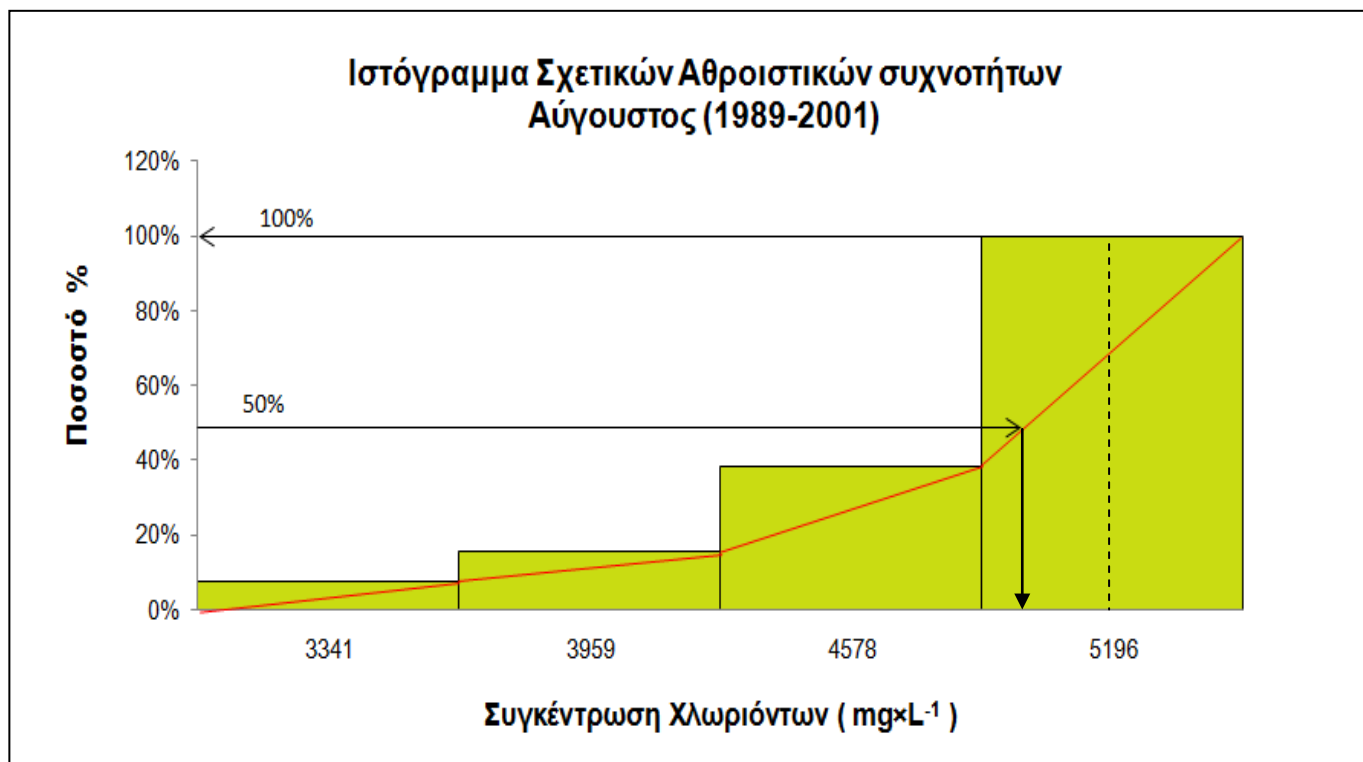


Σχήμα 6.9 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων των τιμών της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Ιανουάριο (1989-2001)

Από το σχήμα 6.9 παρατηρείται πως το 100% των τιμών αντιστοιχεί στην τέταρτη κλάση. Η διάμεσος, δηλαδή η τιμή που αντιστοιχεί στο 50% των τιμών θα ανήκει στην Τρίτη κλάση.

Είναι δηλαδή: $\delta_2(\text{Ιαν}) = 1876$

Με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε η διάμεσος δ_2 για το μήνα Ιανουάριο, θα υπολογιστεί και για το μήνα Αύγουστο για την δεύτερη περίοδο. Το διάγραμμα των αθροιστικών τιμών για το μήνα Αύγουστο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.10.



Σχήμα 6.10 : Ιστόγραμμα Αθροιστικών συχνοτήτων των τιμών της συγκέντρωσης χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο (1989-2001)

Από το σχήμα 6.10 παρατηρείται πως το 100% των τιμών αντιστοιχεί στην τέταρτη κλάση. Η διάμεσος, δηλαδή η τιμή που αντιστοιχεί στο 50% των τιμών θα ανήκει στην Τρίτη κλάση.

Είναι δηλαδή: $\delta_2(\text{Αυγ}) = 5093$

Αφού υπολογίστηκαν οι διάμεσες τιμές της συγκέντρωσης των χλωριόντων για τις δύο περιόδους και τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο, θα εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι τιμές για τον μήνα Ιανουάριο στις δύο χρονικές περιόδους, και αντίστοιχα για το μήνα Αύγουστο. Η σύγκριση αυτή των τιμών θα επιτευχθεί πραγματοποιώντας έλεγχο υποθέσεων στατιστικής ανάλυσης για τα δεδομένα.

6.5.2 Έλεγχος Υποθέσεων Στατιστικής Ανάλυσης

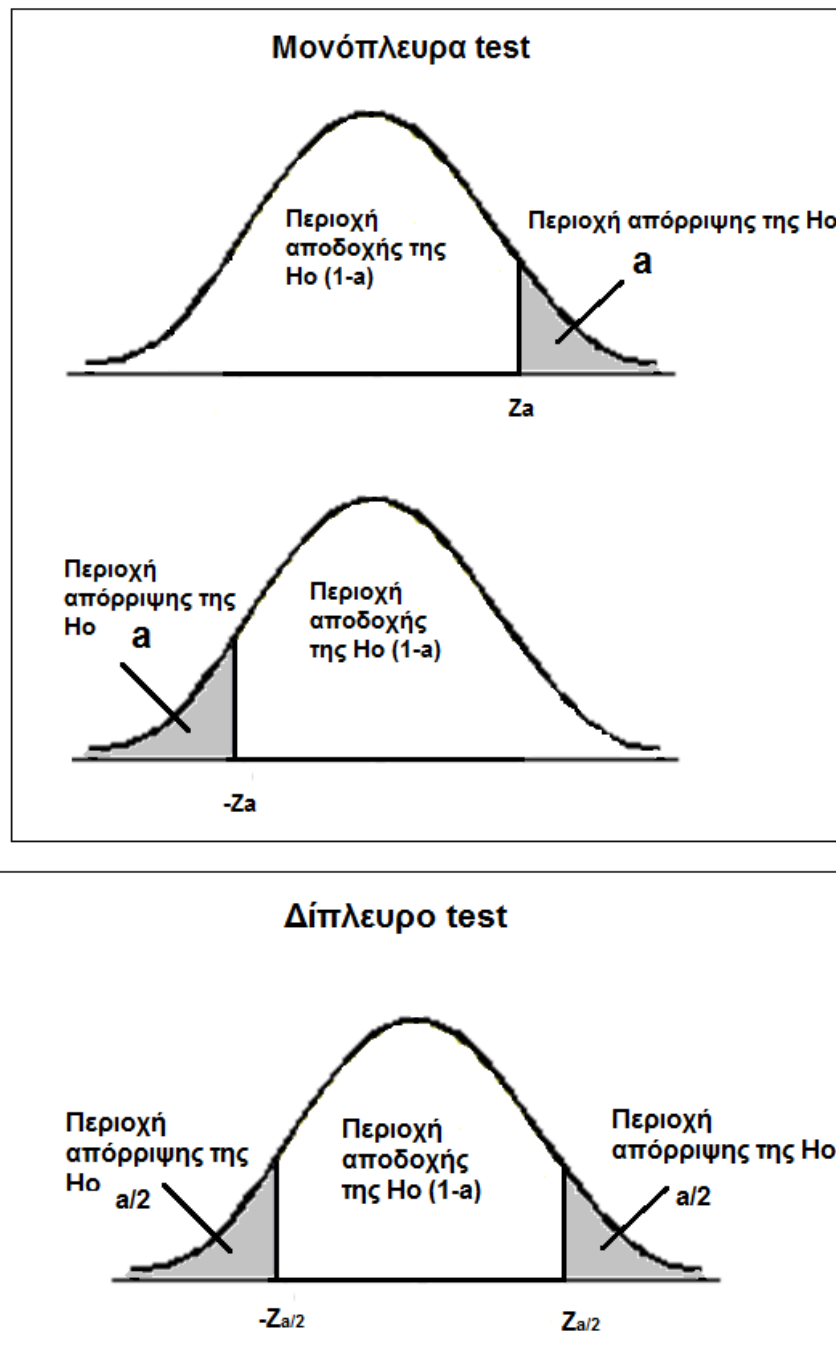
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο έλεγχος υπόθεσης που πραγματοποιήθηκε αφορούσε την συγκέντρωση των χλωριόντων σε σχέση με την ύπαρξη και λειτουργία των γεωτρήσεων που γίνονται στην περιοχή του συστήματος του Αλμυρού. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στηρίχθηκε σε στατιστικούς ελέγχους (tests) που πραγματοποιήθηκαν.

Τα στοιχεία ενός στατιστικού test είναι τα εξής (*Κολυβά-Μαχαίρα 1995*):

- Αρχικά ορίζεται η μηδενική υπόθεση, H_0 . Η μηδενική υπόθεση στηρίζεται στην υπόθεση πως δεν πραγματοποιείται καμία ενέργεια στο δείγμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μηδενική υπόθεση αφορά το γεγονός πως οι γεωτρήσεις που ξεκίνησαν τη λειτουργία τους στην δεύτερη περίοδο, δεν επηρέασαν την συγκέντρωση των χλωριόντων κατά την περίοδο των δύο μηνών που εξετάζονται. Ισχύει δηλαδή $\delta_1 = \delta_2$.
- Ορίζεται η εναλλακτική υπόθεση, H_1 . Η υπόθεση αυτή στηρίζεται στο γεγονός πως η κατασκευή και λειτουργία των γεωτρήσεων στην περιοχή, επηρεάζουν την συγκέντρωση των χλωριόντων στο σύστημα του Αλμυρού. Ισχύει δηλαδή $\delta_1 \neq \delta_2$.
- Ορίζεται το στατιστικό test από το δείγμα. Το test που θα χρησιμοποιηθεί αφορά τις διάμεσες τιμές δύο ανεξάρτητων μεταξύ τους δειγμάτων. Ο έλεγχος αυτός βασίζεται στην βαθμολόγηση των δύο δειγμάτων. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί το Mann – Whitney test ή U test.
- Ορίζεται η απορριπτική περιοχή R, της μηδενικής υπόθεσης H_0 . Επειδή και τα δύο δείγματα ακολουθούν την κατανομή t student, οι περιοχές απόρριψης για μονόπλευρο και δίπλευρο test φαίνονται στο σχήμα (σχήμα 6.11)

- Τέλος, εξάγονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των tests.

Σε ένα test δεν μπορούν να τεθούν υπό τον έλεγχο του test όλες οι πιθανότητες των δειγμάτων. Για το λόγο αυτό συνήθως επιλέγεται ένα διάστημα α που ονομάζεται στάθμη σημαντικότητας και βάση του διαστήματος αυτού ορίζεται η απορριπτική περιοχή της μηδενικής υπόθεσης. Για μονόπλευρα ή δίπλευρα tests, η απορριπτική περιοχή είναι η εξής:



Σχήμα 6.11 : Περιοχές αποδοχής και απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης (Κολυβά – Μαχαίρα, 1995)

6.5.2.1 Λογισμικό SPSS (PASW statistics 18)

Υπάρχουν πολλά λογισμικά προγράμματα τα οποία εκτελούν έλεγχο υποθέσεων στατιστικής ανάλυσης (Μπούτσικας 2004). Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS (PASW statistics 18).

Με βάση το SPSS, δημιουργήθηκε πίνακας με δύο στήλες. Στην πρώτη στήλη καταγράφονται οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωριόντων, ενώ η δεύτερη στήλη είναι βοηθητική και υποδεικνύει σε ποια κατηγορία ανήκουν οι τιμές της πρώτης στήλης. Οι κατηγορίες της δεύτερης στήλης είναι η 1^η χρονική περίοδος και η 2^η περίοδος. Ο πίνακας που δημιουργήθηκε για τους δύο μήνες φαίνεται στο σχήμα 6.12 και 6.13:

Πίνακας 6.6 : Πίνακας συγκέντρωσης χλωριόντων Ιανουαρίου (SPSS-PASW)

Έτος	Συγκ. Χλωριόντων (mg×L ⁻¹)	χρονική περίοδος
1976	1336,79	1
1977	2085,27	1
1978	50,91	1
1979	1459,2	1
1980	1218,81	1
1981	577,89	1
1982	3148,03	1
1983	1422,44	1
1984	1597,76	1
1985	649,04	1
1986	2464,34	1
1987	1067,36	1
1988	1631,13	1
1989	1661,04	2
1990	3186,96	2
1991	1889,66	2
1992	701,37	2
1993	2149,74	2
1994	1276,05	2
1995	341,62	2
1996	533,17	2
1997	808,83	2
1998	2275,89	2
1999	397,68	2
2000	2000,24	2
2001	2500,16	2

Πίνακας 6.7 : Πίνακας συγκέντρωσης χλωριόντων Αυγούστου (SPSS-PASW)

Έτος	Συγκ. Χλωριόντων (mg×L ⁻¹)	χρονική περίοδος
1976	4297,38	1
1977	4503,93	1
1978	3397,21	1
1979	4254,22	1
1980	4302,83	1
1981	3850,41	1
1982	3268,26	1
1983	4244,43	1
1984	4490,50	1
1985	3855,08	1
1986	5359,52	1
1987	3187,63	1
1988	4066,89	1
1989	4621,32	2
1990	4812,88	2
1991	5196,00	2
1992	4453,12	2
1993	4866,61	2
1994	4826,90	2
1995	4462,47	2
1996	4868,95	2
1997	3775,66	2
1998	4291,15	2
1999	3341,15	2
2000	5079,19	2
2001	4752,14	2

Από τους πίνακες 6.5, 6.6 και το λογισμικό SPSS, θα υπολογιστεί εάν ισχύει η μηδενική υπόθεση H_0 ή η εναλλακτική υπόθεση H_1 .

Αρχικά εκτελείται στο λογισμικό SPSS η εντολή: Analyze/ Non parametric tests/ Legacy dialogs/ 2 Independent Samples. Επιλέγεται η συγκέντρωση των χλωριόντων σαν test variable list και η χρονική περίοδος σαν grouping variable list.

Τα αποτελέσματα του test για τη συγκέντρωση των χλωριόντων του μήνα Ιανουαρίου, παρουσιάζονται στους πίνακες του σχήματος 6.12:

Mann-Whitney Test				
Ranks				
	xronikh_periodos	N	Mean Rank	Sum of Ranks
sug_xlwriontwn_lanouariou	1,00	13	13,00	169,00
	2,00	13	14,00	182,00
	Total	26		

Test Statistics^b	
	sug_xlwriontwn_lanouariou
Mann-Whitney U	78,000
Wilcoxon W	169,000
Z	-,333
Asymp. Sig. (2-tailed)	,739
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,762^a

a. Not corrected for ties.
b. Grouping Variable: xronikh_periodos

Σχήμα 6.12 : Αποτελέσματα του Mann-Whitney test για τον Ιανουάριο (SPSS-PASW)

Από το επίπεδο εμπιστοσύνης, η στάθμη σημαντικότητας α που χρησιμοποιεί το λογισμικό SPSS, μπορεί να πάρει τιμές όπως 0,10, 0,05, 0,01 ή μικρότερη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,05, με βάση την οποία θα ελεγχθεί η αποδοχή ή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης.

Από την τιμή της παρατηρούμενης σημαντικότητας (p -value) του σχήματος 6.12 (με κόκκινο χρώμα), εξάγεται το συμπέρασμα:

$$p - value = 0,762 > 0.05 = \alpha$$

Η τιμή της p -value γίνεται δεκτή, καθώς ανήκει στην αποδεκτή περιοχή της μηδενικής υπόθεσης. Για το λόγο αυτό γίνεται δεκτή η αρχική υπόθεση H_0 . Ισχύει δηλαδή πως οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωριόντων για τον μήνα Ιανουάριο δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την λειτουργία των γεωτρήσεων για την περίοδο 1989 έως 2001.

Στους πίνακες του σχήματος 6.13 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Mann – Whitney test για την συγκέντρωση των χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο.

Mann-Whitney Test				
Ranks				
	xronikh_periodos	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	sug_xlwriontwn_Augoustou	1,00	13	10,08
		2,00	13	16,92
	Total		26	

Test Statistics^b	
	sug_xlwriontwn_Augoustou
Mann-Whitney U	40,000
Wilcoxon W	131,000
Z	-2,282
Asymp. Sig. (2-tailed)	,022
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,022^a

a. Not corrected for ties.
 b. Grouping Variable: xronikh_periodos

Σχήμα 6.13 : Αποτελέσματα του Mann-Whitney test για τον Αύγουστο (SPSS-PASW)

Από την τιμή της παρατηρούμενης σημαντικότητας (*p-value*) του σχήματος 6.13 (με κόκκινο χρώμα), εξάγεται το συμπέρασμα:

$$p - value = 0,022 < 0.05 = \alpha$$

Η τιμή της *p-value* δεν γίνεται δεκτή, καθώς ανήκει στην περιοχή απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης. Για το λόγο αυτό δεν γίνεται δεκτή η αρχική υπόθεση H_0 . Ισχύει δηλαδή πως οι τιμές της συγκέντρωσης των χλωριόντων για τον μήνα Αύγουστο επηρεάστηκαν σημαντικά από την λειτουργία των γεωτρήσεων για την περίοδο 1989 έως 2001.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1 Γενικά

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει σαν θέμα την αξιολόγηση της καρστικής υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού στο Ηράκλειο Κρήτης. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η μελέτη και η παρατήρηση της συμπεριφοράς της παροχής, και της συγκέντρωσης των χλωριόντων της πηγής. Σημαντικό επίσης στόχο στην εργασία αυτή, αποτελεί η εφαρμογή συναρτήσεων γραμμικής παλινδρόμησης και ανάλυση χρονοσειρών στα δεδομένα αυτά, όπως και η μελέτη των γεωτρήσεων που γίνονται στην περιοχή της πηγής του Αλμυρού.

Στη συνέχεια αναφέρονται συγκεντρωμένα τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διερεύνηση και επεξεργασία του υδατικού δυναμικού του συστήματος του Αλμυρού και της ανάλυσης των γεωτρήσεων στην περιοχή.

7.2 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη των ποσοτικών στοιχείων του συστήματος της πηγής του Αλμυρού προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Μετά από επεξεργασία της ετήσιας παροχής της πηγής και τη χάραξη του διαγράμματος των μέσων ετήσιων τιμών της συναρτήσεως του χρόνου για την περίοδο 1967 - 2001 (σχήμα 3.3), παρατηρήθηκε μια πτωτική τάση της παροχής του συστήματος σε χρονικό ορίζοντα 30 ετών, η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική καθώς παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή συσχέτισης ($R^2 = 0,0543$).
2. Από την επεξεργασία της μηνιαίας παροχής της πηγής προέκυψε μια πτωτική τάση σε σχέση με το χρόνο, η οποία είναι στατιστικά μη σημαντική, καθώς $R^2 = 0,0007$.
3. Μετά από επεξεργασία της συγκέντρωσης των χλωριόντων και τη χάραξη του διαγράμματος της συναρτήσεως του χρόνου, για την περίοδο 1967 - 2001 (σχήμα 3.2), παρατηρήθηκε μια στατιστικά μη σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων ($R^2 = 0,0021$).
4. Η παροχή και η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι στοιχεία της πηγής που αυξομειώνονται αντίθετα (διάγραμμα 3.4). Το καλοκαίρι αυξάνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων και μειώνεται η παροχή, ενώ τον χειμώνα αυξάνεται η παροχή και μειώνεται η συγκέντρωση των χλωριόντων.

Από την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Με την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων και τον έλεγχο της ομογένειας για τους τρεις βροχομετρικούς σταθμούς, προκύπτει πως τα δεδομένα είναι ομογενή, διότι και στα τρία διαγράμματα (σχήμα 4.2, 4.3 και 4.4) η διάταξή τους σχηματίζει περίπου ευθεία γραμμή.

2. Από τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας και του διαγράμματός της (σχήμα 4.6), εξάγεται το συμπέρασμα πως για κάθε 100 m αύξησης του υψομέτρου, αναμένεται 86 mm αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους.
3. Με τη σύγκριση των δύο μεθόδων υπολογισμού του μέσου βροχομετρικού υψομέτρου της λεκάνης απορροής, παρατηρείται πως η διαφορά τους είναι σημαντική (186 mm). Πιο ακριβής θεωρείται η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen.
5. Οι τιμές του δείκτη ξηρασίας RDI_{st} για το σταθμό του Ηρακλείου (σχήμα 4.8), μπορούν να χαρακτηρίσουν το κλίμα υγρό (κανονικές συνθήκες) καθώς κυμαίνονται από 0 έως 1, ιδιαίτερα από το 1992 και μετά. Για το σταθμό του Κρουσώνα, οι συνθήκες που επικρατούν είναι κανονικές, διότι οι τιμές του δείκτη συνολικά κυμαίνονται από - 1 έως 1 (σχήμα 4.9).

Με την επεξεργασία και ανάλυση του υδατικού δυναμικού και την εφαρμογή των συναρτήσεων προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Η ποσότητα του γλυκού νερού ελαττώνεται σταθερά σε σχέση με το χρόνο σύμφωνα με το σχήμα 5.1. Η τάση όμως αυτή δεν είναι αποδεκτή στατιστικά, καθώς $R^2 = 0,0025$.
2. Αντίθετα, η ποσότητα του αλμυρού νερού που εισέρχεται στο σύστημα της πηγής του Αλμυρού, παρουσιάζει μια μη στατιστικά αποδεκτή αυξητική τάση σε σχέση με το χρόνο (σχήμα 5.2).

Από την εφαρμογή των συναρτήσεων για το αλμυρό και το γλυκό νερό εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Η ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης και για τις δύο συναρτήσεις δεν είναι αρκετά αποτελεσματική για την μελέτη των δεδομένων της πηγής του Αλμυρού καθώς δεν παρέχει ακριβή αποτελέσματα (σχήμα 5.11, 5.12). Οι συντελεστές συσχέτισης είναι $R^2 = 0,067$ και $R^2 = 0,032$

για μέση παροχή γλυκού νερού και μέση παροχή αλμυρού νερού αντίστοιχα.

2. Η εφαρμογή της ανάλυσης της χρονοσειράς έδωσε πιο ακριβή αποτελέσματα στις προβλέψεις καθώς το εποχικό στοιχείο που εφαρμόζεται είναι χαρακτηριστικό στοιχείο της παροχής και της συγκέντρωσης των χλωριόντων (σχήμα 5.13, 5.14). Οι συντελεστές συσχέτισης είναι $R^2 = 0,41$ και $R^2 = 0,42$ για μέση παροχή γλυκού νερού και μέση παροχή αλμυρού νερού αντίστοιχα.

Από τη μελέτη της παροχής των γεωτρήσεων στο σύστημα του Αλμυρού εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Από τις συνθήκες εκμετάλλευσης των γεωτρήσεων στο υδρολογικό σύστημα της πηγής του Αλμυρού, είναι προφανές πως η αναπλήρωση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης τροφοδοσίας είναι ταχεία και πλήρης.
2. Παρατηρείται επίσης μια συνεχής προοδευτική αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις που γίνονται στην Τύλισο (Δ.Ε.Υ.Α.Η.).
3. Η ποιοτική υποβάθμιση του πεδίου Κέρης – Τυλίσου οφείλεται στην διατάραξη του υδατικού δυναμικού του συστήματος εκφόρτισης της πηγής λόγω των αντλήσεων (Δ.Ε.Υ.Α.Η.).

Από τη διερεύνηση της συσχέτισης της συγκέντρωσης των χλωριόντων της πηγής και των γεωτρήσεων για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Από την εφαρμογή του Mann – Whitney test, προκύπτει πως στην δεύτερη περίοδο των δεκατριών ετών, η συγκέντρωση των χλωριόντων στο σύστημα του Αλμυρού, δεν επηρεάζεται σημαντικά τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο) από τις αντλήσεις των γεωτρήσεων.

2. Αντίθετα, τους καλοκαιρινούς μήνες (Αύγουστο), φαίνεται πως επηρεάζεται, καθώς υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων στο σύστημα.

7.3 Προτάσεις

Στην ενότητα αυτή αναπτύσσονται προτάσεις για συνέχιση της έρευνας του καρστικού συστήματος του Αλμυρού. Το θέμα της υδραυλικής και υδρολογικής διερεύνησης της πηγής του Αλμυρού είναι ιδιαίτερα σύνθετο και πολύπλοκο, επομένως θα πρέπει να ερευνηθεί σε βάθος και να αναπτυχθούν γενικές προτάσεις.

- Περαιτέρω ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων για ακριβέστερη ανάλυση των καρστικών υδροφορέων σε συνδυασμό με το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.
- Πρέπει να σημειωθεί ότι απαιτούνται περισσότερα στοιχεία για στατιστική ανάλυση: μετρήσεις ημερήσιες ή και ωριαίες της παροχής της πηγής, της συγκέντρωσης των χλωριόντων, της αγωγιμότητας, της θερμοκρασίας και άλλων παραμέτρων. Σημαντικό εμπόδιο αποτελεί η διακοπή συλλογής στοιχείων και μετρήσεων από το έτος 2000 και μετά.
- Για την καλύτερη αξιολόγηση και εκμετάλλευση της πηγής, προτείνεται η εγκατάσταση αυτόματου καταγραφικού σταθμού στην περιοχή της πηγής. Ο σταθμός αυτός θα καταγράφει είτε ημερήσια, είτε ωριαία, είτε ανά λεπτό δεδομένα, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη με σκοπό την καλύτερη καταγραφή και κατανόηση των υδρολογικών φαινομένων.
- Η εφαρμογή περισσότερων συναρτήσεων και ανάλυση χρονοσειρών με σκοπό την εφαρμογή του καταλληλότερου μοντέλου που θα περιγράφει τη συμπεριφορά των χαρακτηριστικών όπως παροχή και συγκέντρωση χλωριόντων.

- Ακόμα, η συμπλήρωση του δικτύου παρακολούθησης τόσο των υπόγειων όσο και επιφανειακών υδάτων του συστήματος.
- Συνεχής παρακολούθηση και έλεγχος της λειτουργίας των γεωτρήσεων.
- Καταγραφή ημερήσιων και μηνιαίων τιμών των στοιχείων και δεδομένων των αντλήσεων από τις γεωτρήσεις, καθώς υπάρχει μεγάλη ανεπάρκεια δεδομένων προς επεξεργασία και στατιστική ανάλυση.

Βιβλιογραφία

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

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

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

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

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

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

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

Burdon D.J., Papakis N.J. (1964): Preliminary note on the hydrogeology of the Almyros spring Iraklion – Crete. Geological and Geophysical research. Vol 9 no 3.

Lambrakis N., Andreou A., Polydoropoulos P., Georgopoulos E., Bountis T. (2000): Nonlinear analysis and forecasting of a brackish karstic spring. Water Resources Research, vol. 36, no 4, p. 875-884.

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

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

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

Panagopoulos G., Lambrakis N. (2006): The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). Journal of Hydrology p. 329, 368-376.

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

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

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

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

Καλλέργης Γ.Α. (2001): Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ', Δεύτερη Έκδοση. Κεφάλαιο 11. Σελ. 53-138.

Κολυβά – Μαχαίρα Φ., Μπόρα – Σέντα Ε. (1995): Στατιστική Θεωρία – Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

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

Μουντράκης Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Εκδόσεις University Studio Press.

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

Μπούτσικας Μ. (2004): Σημειώσεις μαθήματος «Στατιστικά Προγράμματα». Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Ενότητα 3. Σελ 25-39.

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

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

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

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Wikipedia, the free encyclopedia, www.el.wikipedia.org

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, www.gys.gr

Κέντρο Νεάπολης Λασιθίου Κρήτης, www.kreneapolis.gr

Μηχανή Αναζήτησης Google, www.google.gr

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

Παράρτημα

Πίνακας Π.1 : Δεδομένα ανά τρίμηνο για τη συγκέντρωση των χλωριόντων (1967 – 2000).

ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (ppm)					
	ΙΑΝ-ΜΑΡΤ	ΑΠΡ-ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ-ΣΕΠΤ	ΟΚΤ-ΔΕΚ	SUM
1967		1856	4792	3256	9904
1968	423	2114	4273	2183	8993
1969	338	1672	3650	3826	9486
1970	2323	4152	5189	4282	15946
1971	723	3208	4869	4854	13654
1972	1731	3198	4714	1072	10715
1973	404	3842	4847	5152	14245
1974	1531	4380	5537	6112	17560
1975	1172	4707	5490	5152	16521
1976	614	1906	4086	3059	9665
1977	2047	3372	4599	2903	12921
1978	332	1793	3381	2516	8022
1979	1294	3150	4244	3466	12154
1980	856	2184	4143	4572	11755
1981	443	1998	3794	3875	10110
1982	1082	1229	3142	3578	9031
1983	857	2030	4112	3452	10451
1984	987	3126	3429	2889	10431
1985	324	2028	3685	3586	9623
1986	2160	3745	5360	3528	14793
1987	886		3606	4050	8542
1988	979	2369	3939	2264	9551
1989	1541	3367	4626	3788	13322
1990	2663	4324	4997	4885	16869
1991	1219	3098	5037	3414	12768
1992	573	2620	4506	4699	12398
1993	1698	3009	4772	3486	12965
1994	1131	3527	4799	4021	13478
1995	340	2046	4408	3991	10785
1996	3905	1784	505	3251	9445
1997	1287	1715	4016	2974	9992
1998	641	2480	3724	3109	9954
1999	1964	3847	5054	5004	15869
2000	1858	3684	4776	5078	15396
MEAN	1222,00	2835,15	4297,09	3744,91	11979,82
MIN	324	1229	505	1072	8022
MAX	3905	4707	5537	6112	17560

Πίνακας Π.2 : Δεδομένα ανά τρίμηνο για την παροχή (1968 – 2000).

ΠΑΡΟΧΗ m³/μήνα					
	ΙΑΝ-ΜΑΡΤ	ΑΠΡ-ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ-ΣΕΠΤ	ΟΚΤ-ΔΕΚ	SUM
1968		20,45	12,60	32,43	65,47
1969	39,09	20,87	12,83	15,50	88,28
1970	21,95	13,87	10,99	20,27	67,08
1971	34,66	17,47	10,83	11,02	73,98
1972	23,74	17,65	11,56	20,79	73,74
1973	37,12	15,29	10,03	9,46	71,90
1974	28,18	13,74	10,76	17,52	70,19
1975	33,54	13,92	10,08	14,05	71,59
1976	40,46	22,84	13,94	24,08	101,32
1977	23,20	19,08	10,68	21,05	74,00
1978	38,62	17,39	12,52	20,63	89,16
1979	27,48	14,77	12,13	25,25	79,63
1980	34,63	21,70	15,09	17,24	88,65
1981	35,67	16,56	12,96	14,18	79,37
1982	38,05	17,11	12,47	13,79	81,41
1983	36,94	21,80	13,45	21,98	94,17
1984	31,96	17,29	13,89	22,89	86,03
1985	31,00	18,48	13,97	22,81	86,26
1986	26,13	14,26	11,40	21,12	72,91
1987	28,80		11,53	11,33	51,66
1988	17,31	17,06	12,34	17,99	64,70
1989	28,77	14,83	11,12	12,39	67,11
1990	21,00	11,90			32,89
1991			9,10	16,43	25,53
1992	40,05		14,05	10,68	64,77
1993	22,55			14,75	37,30
1994	24,16	13,66			37,82
1995	42,90	17,11	11,66	10,81	82,48
1996	41,99	20,19	13,09	17,21	92,48
1997	28,90	19,98	12,39	20,63	81,91
1998	25,32	15,81	11,22	17,42	69,78
1999	35,35	17,68	10,81	18,69	82,53
2000	25,30	16,77	9,93	13,45	65,45
MEAN	31,12	17,22	11,98	17,67	71,87
MIN	17,31	11,90	9,10	9,46	25,53
MAX	42,90	22,84	15,09	32,43	101,32

Πίνακας Π.3 : Μηνιαία δεδομένα για την παροχή και την συγκέντρωση χλωριόντων (1975 – 2000).

ΕΤΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (ppm)	ΕΤΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (ppm)
	(m ³ /sec)	(m ³ /μήνα)			(m ³ /sec)	(m ³ /μήνα)	
75-ΣΕΠ	3,61	9,36E+06	5681,90	ΦΕΒ	15,96	4,14E+07	918,24
ΟΚΤ	3,74	9,70E+06	5851,03	ΜΑΡ	13,48	3,49E+07	271,76
ΝΟΕ	3,84	9,95E+06	5773,79	ΑΠΡ	9,84	2,55E+07	1215,31
ΔΕΚ	8,65	2,24E+07	136,04	ΜΑΙ	7,15	1,85E+07	2643,44
ΙΑΝ	15,57	4,04E+07	1336,79	ΙΟΥΝ	6,10	1,58E+07	3451,12
ΦΕΒ	15,89	4,12E+07	322,93	ΙΟΥΛ	5,63	1,46E+07	3726,13
ΜΑΡ	16,26	4,21E+07	318,25	ΑΥΓ	5,16	1,34E+07	4302,83
ΑΠΡ	11,49	2,98E+07	547,19	80-ΣΕΠ	4,94	1,28E+07	4553,91
ΜΑΙ	7,98	2,07E+07	1640,48	ΟΚΤ	4,97	1,29E+07	4642,16
ΙΟΥΝ	6,98	1,81E+07	3176,06	ΝΟΕ	4,55	1,18E+07	4904,32
ΙΟΥΛ	5,96	1,54E+07	3872,22	ΔΕΚ	7,41	1,92E+07	3784,58
ΑΥΓ	5,32	1,38E+07	4297,38	ΙΑΝ	14,44	3,74E+07	577,89
76-ΣΕΠ	4,85	1,26E+07	4045,09	ΦΕΒ	15,14	3,93E+07	32,21
ΟΚΤ	6,68	1,73E+07	3792,79	ΜΑΡ	11,24	2,91E+07	452,41
ΝΟΕ	10,56	2,74E+07	2411,39	ΑΠΡ	7,25	1,88E+07	1248,02
ΔΕΚ	10,66	2,76E+07	1374,16	ΜΑΙ	5,83	1,51E+07	2380,24
ΙΑΝ	7,80	2,02E+07	2085,27	ΙΟΥΝ	5,40	1,40E+07	3102,87
ΦΕΒ	8,73	2,26E+07	2233,84	ΙΟΥΛ	5,33	1,38E+07	3543,61
ΜΑΡ	10,22	2,65E+07	1682,53	ΑΥΓ	5,10	1,32E+07	3850,41
ΑΠΡ	9,47	2,46E+07	2319,50	81-ΣΕΠ	4,64	1,20E+07	4115,39
ΜΑΙ	7,56	1,96E+07	2934,67	ΟΚΤ	4,50	1,17E+07	4393,94
ΙΟΥΝ	5,11	1,32E+07	4129,81	ΝΟΕ	5,02	1,30E+07	4441,44
ΙΟΥΛ	4,14	1,07E+07	4590,62	ΔΕΚ	8,30	2,15E+07	2236,96
ΑΥΓ	3,56	9,23E+06	4503,93	ΙΑΝ	6,70	1,74E+07	3148,03
77-ΣΕΠ	4,08	1,06E+07	4463,57	ΦΕΒ	19,29	5,00E+07	267,48
ΟΚΤ	5,87	1,52E+07	3274,26	ΜΑΡ	15,95	4,14E+07	26,40
ΝΟΕ	4,28	1,11E+07	4517,20	ΑΠΡ	9,78	2,53E+07	558,61
ΔΕΚ	14,08	3,65E+07	1438,63	ΜΑΙ	6,40	1,66E+07	1603,10
ΙΑΝ	21,25	5,51E+07	50,91	ΙΟΥΝ	5,58	1,45E+07	2294,58
ΦΕΒ	12,99	3,37E+07	432,03	ΙΟΥΛ	4,95	1,28E+07	2895,73
ΜΑΡ	10,17	2,64E+07	627,85	ΑΥΓ	4,79	1,24E+07	3268,26
ΑΠΡ	8,46	2,19E+07	975,25	82-ΣΕΠ	5,27	1,37E+07	3516,35
ΜΑΙ	6,16	1,60E+07	2073,43	ΟΚΤ	5,05	1,31E+07	3300,65
ΙΟΥΝ	5,52	1,43E+07	2812,26	ΝΟΕ	5,35	1,39E+07	4013,94
ΙΟΥΛ	5,08	1,32E+07	3204,92	ΔΕΚ	5,75	1,49E+07	3135,57
ΑΥΓ	4,87	1,26E+07	3397,21	ΙΑΝ	11,08	2,87E+07	1422,44
78-ΣΕΠ	4,43	1,15E+07	3670,62	ΦΕΒ	14,65	3,80E+07	637,52
ΟΚΤ	5,22	1,35E+07	3691,56	ΜΑΡ	17,35	4,50E+07	133,70
ΝΟΕ	7,13	1,85E+07	2900,34	ΑΠΡ	10,58	2,74E+07	1489,10
ΔΕΚ	11,50	2,98E+07	708,28	ΜΑΙ	7,00	1,81E+07	2731,43

ΙΑΝ	10,28	2,66E+07	1459,20	ΙΟΥΝ	6,05	1,57E+07	2892,62
ΦΕΒ	8,99	2,33E+07	2059,50	ΙΟΥΛ	5,39	1,40E+07	3768,65
ΜΑΡ	12,39	3,21E+07	574,40	ΑΥΓ	5,12	1,33E+07	4244,43
ΑΠΡ	6,37	1,65E+07	2690,31	83-ΣΕΠ	5,14	1,33E+07	4384,60
ΜΑΙ	5,43	1,41E+07	3447,05	ΟΚΤ	4,87	1,26E+07	4551,66
ΙΟΥΝ	5,22	1,35E+07	3695,82	ΝΟΕ	7,24	1,88E+07	3191,64
ΙΟΥΛ	4,81	1,25E+07	4012,60	ΔΕΚ	13,12	3,40E+07	790,14
ΑΥΓ	4,40	1,14E+07	4254,22	ΙΑΝ	11,75	3,05E+07	1597,76
79-ΣΕΠ	5,14	1,33E+07	4545,85	ΦΕΒ	15,33	3,97E+07	322,42
ΟΚΤ	4,58	1,19E+07	4851,81	ΜΑΡ	11,41	2,96E+07	1305,64
ΝΟΕ	6,57	1,70E+07	4151,90	ΑΠΡ	7,67	1,99E+07	2204,88
ΔΕΚ	10,93	2,83E+07	1626,15	ΜΑΙ	6,77	1,75E+07	3360,87
ΙΑΝ	11,52	2,99E+07	1218,81	ΙΟΥΝ	5,79	1,50E+07	3819,58
	ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ		ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ
ΕΤΟΣ	<i>(m³/sec)</i>	<i>(m³/μήνα)</i>	<i>(ppm)</i>	ΕΤΟΣ	<i>(m³/sec)</i>	<i>(m³/μήνα)</i>	<i>(ppm)</i>
ΙΟΥΛ	5,60	1,45E+07	4269,35	ΔΕΚ	9,05	2,35E+07	2098,35
ΑΥΓ	5,08	1,32E+07	4490,50	ΙΑΝ	8,40	2,18E+07	1661,04
84-ΣΕΠ	4,43	1,15E+07	4766,16	ΦΕΒ	8,51	2,20E+07	1709,00
ΟΚΤ	4,24	1,10E+07	4635,34	ΜΑΡ	10,68	2,77E+07	1203,16
ΝΟΕ	9,76	2,53E+07	2186,19	ΑΠΡ	7,33	1,90E+07	2870,82
ΔΕΚ	10,63	2,75E+07	1143,36	ΜΑΙ	5,82	1,51E+07	3692,49
ΙΑΝ	15,98	4,14E+07	649,04	ΙΟΥΝ	5,02	1,30E+07	4254,56
ΦΕΒ	13,25	3,44E+07	154,73	ΙΟΥΛ	4,79	1,24E+07	4415,75
ΜΑΡ	10,29	2,67E+07	631,29	ΑΥΓ	4,38	1,14E+07	4621,32
ΑΠΡ	8,55	2,22E+07	1252,69	89-ΣΕΠ	4,11	1,07E+07	4636,00
ΜΑΙ	6,59	1,71E+07	2634,09	ΟΚΤ	4,47	1,16E+07	4434,43
ΙΟΥΝ	5,98	1,55E+07	3207,99	ΝΟΕ	6,01	1,56E+07	3621,48
ΙΟΥΛ	5,34	1,38E+07	3588,77	ΔΕΚ	5,72	1,48E+07	2896,36
ΑΥΓ	5,05	1,31E+07	3855,08	ΙΑΝ	6,00	1,56E+07	3186,96
85-ΣΕΠ	4,92	1,27E+07	3942,30	ΦΕΒ	10,05	2,60E+07	93,99
ΟΚΤ	4,91	1,27E+07	3711,80	ΜΑΡ	6,15	1,59E+07	3004,75
ΝΟΕ	5,55	1,44E+07	4229,33	ΑΠΡ	4,94	1,28E+07	3761,64
ΔΕΚ	8,20	2,12E+07	3104,99	ΜΑΙ	4,49	1,16E+07	4297,38
ΙΑΝ	6,76	1,75E+07	2464,34	ΙΟΥΝ	4,07	1,05E+07	4699,19
ΦΕΒ	10,73	2,78E+07	1016,74	ΙΟΥΛ	3,83	9,93E+06	4679,72
ΜΑΡ	6,96	1,80E+07	2640,32	ΑΥΓ	3,71	9,62E+06	4812,88
ΑΠΡ	5,68	1,47E+07	3602,79	90-ΣΕΠ	3,48	9,02E+06	5194,83
ΜΑΙ	5,30	1,37E+07	3813,04	ΟΚΤ	3,54	9,18E+06	5345,51
ΙΟΥΝ	5,10	1,32E+07	4023,28	ΝΟΕ	3,80	9,85E+06	5011,45
ΙΟΥΛ	4,90	1,27E+07	4691,40	ΔΕΚ	4,76	1,23E+07	3785,00
ΑΥΓ	4,67	1,21E+07	5359,52	ΙΑΝ	9,95	2,58E+07	1889,66

86-ΣΕΠ	4,39	1,14E+07	4070,00	ΦΕΒ	15,65	4,06E+07	439,73
ΟΚΤ	4,28	1,11E+07	4518,53	ΜΑΡ	9,46	2,45E+07	1515,89
ΝΟΕ	5,41	1,40E+07	4546,56	ΑΠΡ	6,72	1,74E+07	2968,09
ΔΕΚ	9,94	2,58E+07	2806,96	ΜΑΙ	5,50	1,43E+07	4055,99
ΙΑΝ	12,33	3,20E+07	1067,36	ΙΟΥΝ	4,31	1,12E+07	4527,88
ΦΕΒ	10,12	2,62E+07	1351,58	ΙΟΥΛ	4,04	1,05E+07	4929,68
ΜΑΡ	14,46	3,75E+07	186,50	ΑΥΓ	3,67	9,51E+06	5196,00
ΑΠΡ	11,58	3,00E+07	447,32	91-ΣΕΠ	3,52	9,11E+06	5191,32
ΜΑΙ	12,87	3,33E+07	547,19	ΟΚΤ	3,52	9,11E+06	5521,49
ΙΟΥΝ	5,90	1,53E+07	1710,25	ΝΟΕ	4,07	1,06E+07	4210,17
ΙΟΥΛ	4,80	1,24E+07	2728,70	ΔΕΚ	16,08	4,17E+07	864,90
ΑΥΓ	4,23	1,10E+07	3187,63	ΙΑΝ	10,75	2,79E+07	701,37
87-ΣΕΠ	4,49	1,16E+07	3594,44	ΦΕΒ	12,54	3,25E+07	537,85
ΟΚΤ	4,55	1,18E+07	4188,14	ΜΑΡ	15,33	3,97E+07	51,94
ΝΟΕ	4,45	1,15E+07	4289,24	ΑΠΡ	14,70	3,81E+07	780,80
ΔΕΚ	7,26	1,88E+07	3086,51	ΜΑΙ	8,74	2,27E+07	2690,16
ΙΑΝ	9,27	2,40E+07	1631,13	ΙΟΥΝ	6,61	1,71E+07	3901,81
ΦΕΒ	12,46	3,23E+07	1141,49	ΙΟΥΛ	5,00	1,30E+07	4079,35
ΜΑΡ	12,49	3,24E+07	264,99	ΑΥΓ	4,55	1,18E+07	4453,12
ΑΠΡ	7,54	1,95E+07	1732,05	92-ΣΕΠ	3,71	9,61E+06	4724,11
ΜΑΙ	5,69	1,47E+07	2754,32	ΟΚΤ	3,54	9,18E+06	4923,45
ΙΟΥΝ	5,30	1,37E+07	3399,55	ΝΟΕ	3,54	9,18E+06	5121,24
ΙΟΥΛ	5,14	1,33E+07	3777,21	ΔΕΚ	5,85	1,52E+07	3780,33
ΑΥΓ	4,85	1,26E+07	4066,89	ΙΑΝ	8,86	2,30E+07	2149,74
88-ΣΕΠ	4,89	1,27E+07	4154,10	ΦΕΒ	12,49	3,24E+07	1593,76
ΟΚΤ	6,94	1,80E+07	2364,66	ΜΑΡ	11,54	2,99E+07	1332,11
ΝΟΕ	8,39	2,17E+07	2098,35	ΑΠΡ	8,61	2,23E+07	2743,11
	ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ		ΠΑΡΟΧΗ		ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ
ΕΤΟΣ	<i>(m³/ sec)</i>	<i>(m³/ μήνα)</i>	<i>(ppm)</i>	ΕΤΟΣ	<i>(m³/ sec)</i>	<i>(m³/ μήνα)</i>	<i>(ppm)</i>
ΜΑΙ	7,64	1,98E+07	2191,79	ΟΚΤ	6,28	1,63E+07	3691,56
ΙΟΥΝ	5,24	1,36E+07	4182,14	ΝΟΕ	6,93	1,80E+07	2729,09
ΙΟΥΛ	4,37	1,13E+07	4635,34	ΔΕΚ	10,67	2,77E+07	2502,49
ΑΥΓ	3,60	9,33E+06	4866,61	ΙΑΝ	7,97	2,07E+07	2275,89
93-ΣΕΠ	3,60	9,33E+06	5097,88	ΦΕΒ	10,69	2,77E+07	1243,34
ΟΚΤ	3,60	9,33E+06	5252,06	ΜΑΡ	14,80	3,84E+07	341,62
ΝΟΕ	6,36	1,65E+07	3176,06	ΑΠΡ	11,68	3,03E+07	280,88
ΔΕΚ	6,14	1,59E+07	2841,22	ΜΑΙ	5,94	1,54E+07	1789,99
ΙΑΝ	11,03	2,86E+07	1276,05	ΙΟΥΝ	5,50	1,43E+07	3074,83
ΦΕΒ	14,45	3,74E+07	366,53	ΙΟΥΛ	5,00	1,30E+07	3705,58
ΜΑΡ	8,08	2,09E+07	2065,64	ΑΥΓ	4,50	1,17E+07	4291,15

ΑΠΡ	7,36	1,91E+07	2447,21	98-ΣΕΠ	4,50	1,17E+07	4490,50
ΜΑΙ	5,35	1,39E+07	3732,05	ΟΚΤ	4,00	1,04E+07	4850,26
ΙΟΥΝ	4,85	1,26E+07	4216,40	ΝΟΕ	4,00	1,04E+07	4415,75
ΙΟΥΛ	4,51	1,17E+07	4658,70	ΔΕΚ	12,15	3,15E+07	61,28
ΑΥΓ	3,87	1,00E+07	4826,90	ΙΑΝ	15,29	3,96E+07	397,68
94-ΣΕΠ	15,91	4,12E+07	5065,18	ΦΕΒ	8,21	2,13E+07	1425,56
ΟΚΤ	5,06	1,31E+07	4326,97	ΜΑΡ	5,82	1,51E+07	98,66
ΝΟΕ	17,43	4,52E+07	2247,86	ΑΠΡ	8,31	2,15E+07	1126,54
ΔΕΚ	12,30	3,19E+07	441,29	ΜΑΙ	5,00	1,30E+07	2883,28
ΙΑΝ	12,91	3,35E+07	341,62	ΙΟΥΝ	5,00	1,30E+07	3341,15
ΦΕΒ	9,61	2,49E+07	497,35	ΙΟΥΛ	4,50	1,17E+07	3341,15
ΜΑΡ	9,02	2,34E+07	1168,59	ΑΥΓ	4,00	1,04E+07	3341,15
ΑΠΡ	7,87	2,04E+07	1621,79	99-ΣΕΠ	3,50	9,07E+06	5004,44
ΜΑΙ	6,21	1,61E+07	2322,61	ΟΚΤ	3,50	9,07E+06	5004,44
ΙΟΥΝ	5,54	1,44E+07	3163,60	ΝΟΕ	5,07	1,32E+07	5004,44
ΙΟΥΛ	5,13	1,33E+07	3934,51	ΔΕΚ	13,07	3,39E+07	5004,44
ΑΥΓ	4,66	1,21E+07	4462,47	ΙΑΝ	13,19	3,42E+07	2000,24
95-ΣΕΠ	4,00	1,04E+07	4649,35	ΦΕΒ	17,46	4,53E+07	2000,24
ΟΚΤ	3,70	9,59E+06	4878,29	ΜΑΡ	10,26	2,66E+07	1892,77
ΝΟΕ	3,50	9,07E+06	5041,82	ΑΠΡ	7,96	2,06E+07	3065,49
ΔΕΚ	5,30	1,37E+07	2051,63	ΜΑΙ	6,50	1,68E+07	4238,20
ΙΑΝ	16,42	4,26E+07	533,17	ΙΟΥΝ	6,00	1,56E+07	4238,20
ΦΕΒ	17,66	4,58E+07	374,32	ΙΟΥΛ	5,00	1,30E+07	5079,19
ΜΑΡ	15,57	4,04E+07	112,68	ΑΥΓ	4,00	1,04E+07	5079,19
ΑΠΡ	7,65	1,98E+07	597,03	00-ΣΕΠ	4,00	1,04E+07	5079,19
ΜΑΙ	6,58	1,70E+07	2374,01	ΟΚΤ	4,50	1,17E+07	5593,13
ΙΟΥΝ	5,56	1,44E+07	3168,28	ΝΟΕ	5,00	1,30E+07	5593,13
ΙΟΥΛ	5,00	1,30E+07	3705,57	ΔΕΚ	6,06	1,57E+07	4046,64
ΑΥΓ	4,50	1,17E+07	4868,95	ΙΑΝ	10,64	2,76E+07	2500,16
96-ΣΕΠ	4,00	1,04E+07	4350,33	ΦΕΒ	9,96	2,58E+07	1857,73
ΟΚΤ	4,27	1,11E+07	4518,53	ΜΑΡ	8,69	2,25E+07	1215,31
ΝΟΕ	4,10	1,06E+07	3859,76	ΑΠΡ	7,40	1,92E+07	3322,46
ΔΕΚ	11,54	2,99E+07	1374,16	ΜΑΙ	6,50	1,68E+07	3322,46
ΙΑΝ	12,20	3,16E+07	808,83	ΙΟΥΝ	5,50	1,43E+07	4406,40
ΦΕΒ	13,09	3,39E+07	598,58	ΙΟΥΛ	4,00	1,04E+07	4406,40
ΜΑΡ	23,29	6,04E+07	108,01	ΑΥΓ	3,50	9,07E+06	4752,14
ΑΠΡ	10,73	2,78E+07	892,93				
ΜΑΙ	6,54	1,69E+07	1743,26				
ΙΟΥΝ	6,10	1,58E+07	2715,08				
ΙΟΥΛ	5,85	1,52E+07	3590,33				
ΑΥΓ	5,30	1,37E+07	3775,66				
97-ΣΕΠ	4,83	1,25E+07	4051,32				

Πίνακας Π.4 : Υδατικό ισοζύγιο για τα έτη 1967 – 2000 (Ιανουάριος – Ιούνιος).

	ΠΑΡΟΧΗ (Qspring) m ³ /sec	ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (CCLspring) (ppm)	Qsea	Qfresh	ΠΑΡΟΧΗ (Qspring) m ³ /sec	ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (CCLspring) (ppm)	Qsea	Qfresh
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ-ΜΑΡΤΙΟΣ				ΑΠΡΙΛΙΟΣ-ΙΟΥΝΙΟΣ			
1967						1856		
1968		423			7,89	2114	0,87	7,02
1969	15,08	338	0,26	14,82	8,05	1672	0,70	7,35
1970	8,47	2323	1,03	7,44	5,35	4152	1,17	4,18
1971	13,37	723	0,50	12,87	6,74	3208	1,14	5,60
1972	9,16	1731	0,83	8,33	6,81	3198	1,14	5,67
1973	14,32	404	0,30	14,02	5,9	3842	1,19	4,71
1974	10,87	1531	0,87	10,00	5,3	4380	1,22	4,08
1975	12,94	1172	0,79	12,15	5,37	4707	1,33	4,04
1976	15,61	614	0,50	15,11	8,81	1906	0,88	7,93
1977	8,95	2047	0,96	7,99	7,36	3372	1,30	6,06
1978	14,9	332	0,25	14,65	6,71	1793	0,63	6,08
1979	10,6	1294	0,72	9,88	5,7	3150	0,94	4,76
1980	13,36	856	0,60	12,76	8,37	2184	0,96	7,41
1981	13,76	443	0,31	13,45	6,39	1998	0,67	5,72
1982	14,68	1082	0,83	13,85	6,6	1229	0,42	6,18
1983	14,25	857	0,64	13,61	8,41	2030	0,89	7,52
1984	12,33	987	0,63	11,70	6,67	3126	1,09	5,58
1985	11,96	324	0,20	11,76	7,13	2028	0,76	6,37
1986	10,08	2160	1,14	8,94	5,5	3745	1,08	4,42
1987	11,11	886	0,51	10,60				
1988	6,68	979	0,34	6,34	6,58	2369	0,82	5,76
1989	11,1	1541	0,89	10,21	5,72	3367	1,01	4,71
1990	8,1	2663	1,13	6,97	4,59	4324	1,04	3,55
1991		1219				3098		
1992	15,45	573	0,46	14,99		2620		
1993	8,7	1698	0,77	7,93		3009		
1994	9,32	1131	0,55	8,77	5,27	3527	0,98	4,29
1995	16,55	340	0,29	16,26	6,6	2046	0,71	5,89
1996	16,2	3905	3,32	12,88	7,79	1784	0,73	7,06
1997	11,15	1287	0,75	10,40	7,71	1715	0,69	7,02
1998	9,77	641	0,32	9,45	6,1	2480	0,79	5,31
1999	13,64	1964	1,40	12,24	6,82	3847	1,38	5,44
2000	9,76	1858	0,95	8,81	6,47	3684	1,25	5,22

Πίνακας Π.5 : Υδατικό ισοζύγιο για τα έτη 1967 – 2000 (Ιούλιος – Δεκέμβριος).

	ΠΑΡΟΧΗ (Qspring) m3/sec	ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (CCLspring) (ppm)	Qsea	Qfresh	ΠΑΡΟΧΗ (Qspring) m3/sec	ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ (CCLspring) (ppm)	Qsea	Qfresh
	ΙΟΥΛΙΟΣ-ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ				ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ-ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ			
1967		4792				3256		
1968	4,86	4273	1,09	3,77	12,51	2183	1,43	11,08
1969	4,95	3650	0,95	4,00	5,98	3826	1,20	4,78
1970	4,24	5189	1,16	3,08	7,82	4282	1,76	6,06
1971	4,18	4869	1,07	3,11	4,25	4854	1,08	3,17
1972	4,46	4714	1,10	3,36	8,02	1072	0,45	7,57
1973	3,87	4847	0,99	2,88	3,65	5152	0,99	2,66
1974	4,15	5537	1,21	2,94	6,76	6112	2,17	4,59
1975	3,89	5490	1,12	2,77	5,42	5152	1,47	3,95
1976	5,38	4086	1,15	4,23	9,29	3059	1,49	7,80
1977	4,12	4599	1,00	3,12	8,12	2903	1,24	6,88
1978	4,83	3381	0,86	3,97	7,96	2516	1,05	6,91
1979	4,68	4244	1,04	3,64	9,74	3466	1,77	7,97
1980	5,82	4143	1,27	4,55	6,65	4572	1,60	5,05
1981	5	3794	1,00	4,00	5,47	3875	1,11	4,36
1982	4,81	3142	0,79	4,02	5,32	3578	1,00	4,32
1983	5,19	4112	1,12	4,07	8,48	3452	1,54	6,94
1984	5,36	3429	0,97	4,39	8,83	2889	1,34	7,49
1985	5,39	3685	1,04	4,35	8,8	3586	1,66	7,14
1986	4,4	5360	1,24	3,16	8,15	3528	1,51	6,64
1987	4,45	3606	0,84	3,61	4,37	4050	0,93	3,44
1988	4,76	3939	0,98	3,78	6,94	2264	0,82	6,12
1989	4,29	4626	1,04	3,25	4,78	3788	0,95	3,83
1990		4997				4885		
1991	3,51	5037	0,93	2,58	6,34	3414	1,14	5,20
1992	5,42	4506	1,28	4,14	4,12	4699	1,02	3,10
1993		4772			5,69	3486	1,04	4,65
1994		4799				4021		
1995	4,5	4408	1,04	3,46	4,17	3991	0,87	3,30
1996	5,05	505	0,13	4,92	6,64	3251	1,13	5,51
1997	4,78	4016	1,01	3,77	7,96	2974	1,24	6,72
1998	4,33	3724	0,85	3,48	6,72	3109	1,10	5,62
1999	4,17	5054	1,11	3,06	7,21	5004	1,90	5,31
2000	3,83	4776	0,96	2,87	5,19	5078	1,39	3,80

Πίνακας Π.6 : Εφαρμογή συναρτήσεων *linest* και *forecast* για γλυκό και αλμυρό νερό.

	Μέση Παροχή Γλυκού νερού Qfresh	linest qfresh	forecast qfresh		Μέση Παροχή Αλμυρού νερού Qsea	linest qsea	forecast qsea
1968	56,67	69,44	69,44	1968	8,80	10,31	10,31
1969	80,21	69,00	69,00	1969	8,08	10,25	10,25
1970	53,83	68,56	68,56	1970	13,26	10,20	10,20
1971	64,15	68,12	68,12	1971	9,83	10,15	10,15
1972	64,60	67,67	67,67	1972	9,14	10,10	10,10
1973	62,93	67,23	67,23	1973	8,97	10,04	10,04
1974	56,01	66,79	66,79	1974	14,18	9,99	9,99
1975	59,38	66,35	66,35	1975	12,21	9,94	9,94
1976	90,90	65,91	65,91	1976	10,43	9,89	9,89
1977	62,35	65,47	65,47	1977	11,65	9,84	9,84
1978	81,93	65,03	65,03	1978	7,23	9,78	9,78
1979	68,03	64,59	64,59	1979	11,60	9,73	9,73
1980	77,20	64,15	64,15	1980	11,45	9,68	9,68
1981	71,35	63,71	63,71	1981	8,02	9,63	9,63
1982	73,52	63,27	63,27	1982	7,89	9,58	9,58
1983	83,31	62,83	62,83	1983	10,86	9,52	9,52
1984	75,58	62,39	62,39	1984	10,45	9,47	9,47
1985	76,79	61,95	61,95	1985	9,48	9,42	9,42
1986	60,02	61,51	61,51	1986	12,89	9,37	9,37
1987	45,74	61,07	61,07	1987	5,92	9,31	9,31
1988	57,01	60,63	60,63	1988	7,69	9,26	9,26
1989	57,00	60,19	60,19	1989	10,11	9,21	9,21
1990	27,26	59,75	59,75	1990	5,64	9,16	9,16
1991	20,18	59,31	59,31	1991	5,35	9,11	9,11
1992	57,62	58,87	58,87	1992	7,15	9,05	9,05
1993	32,59	58,43	58,43	1993	4,70	9,00	9,00
1994	33,86	57,99	57,99	1994	3,96	8,95	8,95
1995	74,93	57,55	57,55	1995	7,55	8,90	8,90
1996	78,71	57,11	57,11	1996	13,78	8,84	8,84
1997	72,34	56,67	56,67	1997	9,57	8,79	8,79
1998	61,84	56,23	56,23	1998	7,94	8,74	8,74
1999	67,53	55,79	55,79	1999	15,00	8,69	8,69
2000	53,66	55,35	55,35	2000	11,79	8,64	8,64
2001		54,91	54,91	2001		8,58	8,58
2002		54,47	54,47	2002		8,53	8,53

Πίνακας Π.7 : Ανάλυση χρονοσειράς με επίδραση εποχικού στοιχείου για το γλυκό νερό

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΟΧΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ Qfresh											
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]		
		Περίοδος (X)	Τρίμηνο	Qfresh πραγματική	Μέση τριμηναία παροχή	Εποχικός παράγοντας [4]/51,05	Τιμές χωρίς εποχικό στοιχείο	X^2 =[1]^2	$X*(Yd)=[$ 1]*[6]	$Y=a+b*x$	Πρόβλεψη
	1968	1	1		93,49	1,72		1		70,55	121,04
		2	2	54,56	45,68	0,87	62,98	4	125,96	70,25	60,85
		3	3	29,31	28,32	0,55	53,29	9	159,86	69,95	38,47
		4	4	86,15	46,46	0,84	101,95	16	407,81	69,65	58,86
	1969	5	1	115,24		1,72	67,17	25	335,84	69,36	118,99
		6	2	57,12		0,87	65,94	36	395,64	69,06	59,82
		7	3	31,11		0,55	56,57	49	395,97	68,76	37,82
		8	4	37,16		0,84	43,97	64	351,79	68,46	57,85
	1970	9	1	57,84		1,72	33,71	81	303,42	68,17	116,95
		10	2	32,53		0,87	37,55	100	375,52	67,87	58,79
		11	3	23,98		0,55	43,60	121	479,56	67,57	37,17
		12	4	47,13		0,84	55,78	144	669,31	67,27	56,84
	1971	13	1	100,06		1,72	58,32	169	758,19	66,98	114,91
		14	2	43,58		0,87	50,32	196	704,42	66,68	57,76
		15	3	24,19		0,55	43,97	225	659,62	66,38	36,51
		16	4	24,62		0,84	29,13	256	466,16	66,08	55,84

	1972	17	1	64,77		1,72	37,75	289	641,82	65,78	112,86
		18	2	44,06		0,87	50,87	324	915,67	65,49	56,73
		19	3	26,09		0,55	47,44	361	901,27	65,19	35,86
		20	4	58,88		0,84	69,68	400	1393,57	64,89	54,83
	1973	21	1	109,04		1,72	63,56	441	1334,70	64,59	110,82
		22	2	36,62		0,87	42,28	484	930,09	64,30	55,69
		23	3	22,43		0,55	40,78	529	937,87	64,00	35,20
		24	4	20,70		0,84	24,49	576	587,87	63,70	53,83
	1974	25	1	77,76		1,72	45,32	625	1133,02	63,40	108,78
		26	2	31,73		0,87	36,63	676	952,36	63,11	54,66
		27	3	22,88		0,55	41,60	729	1123,08	62,81	34,55
		28	4	35,67		0,84	42,22	784	1182,17	62,51	52,82
	1975	29	1	94,46		1,72	55,06	841	1596,75	62,21	106,74
		30	2	31,43		0,87	36,28	900	1088,49	61,92	53,63
		31	3	21,52		0,55	39,13	961	1212,89	61,62	33,89
		32	4	30,73		0,84	36,37	1024	1163,93	61,32	51,81
	1976	33	1	117,52		1,72	68,50	1089	2260,50	61,02	104,69
		34	2	61,67		0,87	71,19	1156	2420,50	60,72	52,60
		35	3	32,86		0,55	59,74	1225	2090,74	60,43	33,24
		36	4	60,64		0,84	71,77	1296	2583,60	60,13	50,81
	1977	37	1	62,13		1,72	36,21	1369	1339,90	59,83	102,65
		38	2	47,10		0,87	54,37	1444	2066,20	59,53	51,57
		39	3	24,30		0,55	44,17	1521	1722,70	59,24	32,58
		40	4	53,52		0,84	63,34	1600	2533,68	58,94	49,80

	1978	41	1	113,90		1,72	66,39	1681	2721,88	58,64	100,61
		42	2	47,28		0,87	54,58	1764	2292,36	58,34	50,54
		43	3	30,89		0,55	56,16	1849	2415,04	58,05	31,93
		44	4	53,73		0,84	63,59	1936	2797,82	57,75	48,79
	1979	45	1	76,85		1,72	44,79	2025	2015,77	57,45	98,56
		46	2	36,99		0,87	42,71	2116	1964,57	57,15	49,51
		47	3	28,28		0,55	51,41	2209	2416,40	56,85	31,27
		48	4	61,95		0,84	73,32	2304	3519,45	56,56	47,79
	1980	49	1	99,26		1,72	57,85	2401	2834,89	56,26	96,52
		50	2	57,63		0,87	66,54	2500	3326,79	55,96	48,47
		51	3	35,41		0,55	64,37	2601	3283,07	55,66	30,62
		52	4	39,29		0,84	46,50	2704	2417,81	55,37	46,78
	1981	53	1	104,56		1,72	60,94	2809	3230,01	55,07	94,48
		54	2	44,49		0,87	51,36	2916	2773,33	54,77	47,44
		55	3	31,13		0,55	56,60	3025	3113,17	54,47	29,96
		56	4	33,88		0,84	40,09	3136	2245,24	54,18	45,78
	1982	57	1	107,71		1,72	62,78	3249	3578,42	53,88	92,44
		58	2	48,03		0,87	55,44	3364	3215,81	53,58	46,41
		59	3	31,23		0,55	56,79	3481	3350,43	53,28	29,31
		60	4	33,60		0,84	39,76	3600	2385,58	52,98	44,77
	1983	61	1	105,87		1,72	61,71	3721	3764,05	52,69	90,39
		62	2	58,44		0,87	67,47	3844	4182,89	52,39	45,38
		63	3	31,64		0,55	57,53	3969	3624,10	52,09	28,65
		64	4	53,99		0,84	63,89	4096	4089,23	51,79	43,76

1984	65	1	90,95	1,72	53,01	4225	3445,59	51,50	88,35
	66	2	43,36	0,87	50,05	4356	3303,41	51,20	44,35
	67	3	34,18	0,55	62,14	4489	4163,05	50,90	28,00
	68	4	58,25	0,84	68,94	4624	4687,95	50,60	42,76
1985	69	1	91,46	1,72	53,31	4761	3678,45	50,31	86,31
	70	2	49,55	0,87	57,20	4900	4004,31	50,01	43,32
	71	3	33,80	0,55	61,46	5041	4363,35	49,71	27,34
	72	4	55,54	0,84	65,73	5184	4732,84	49,41	41,75
1986	73	1	69,51	1,72	40,51	5329	2957,51	49,11	84,26
	74	2	34,36	0,87	39,66	5476	2935,03	48,82	42,29
	75	3	24,58	0,55	44,68	5625	3351,07	48,52	26,69
	76	4	51,63	0,84	61,11	5776	4644,18	48,22	40,75
1987	77	1	82,41	1,72	48,03	5929	3698,45	47,92	82,22
	78	2		0,87		6084		47,63	41,25
	79	3	28,05	0,55	51,00	6241	4028,97	47,33	26,03
	80	4	26,75	0,84	31,66	6400	2532,82	47,03	39,74
1988	81	1	49,29	1,72	28,73	6561	2327,24	46,73	80,18
	82	2	44,81	0,87	51,73	6724	4241,94	46,44	40,22
	83	3	29,36	0,55	53,37	6889	4429,91	46,14	25,38
	84	4	47,56	0,84	56,29	7056	4728,04	45,84	38,73
1989	85	1	79,35	1,72	46,25	7225	3931,54	45,54	78,14
	86	2	36,62	0,87	42,27	7396	3635,33	45,25	39,19
	87	3	25,25	0,55	45,91	7569	3994,02	44,95	24,72
	88	4	29,77	0,84	35,24	7744	3100,90	44,65	37,73

	1990	89	1	54,19		1,72	31,58	7921	2810,92	44,35	76,09
		90	2	27,58		0,87	31,84	8100	2865,96	44,05	38,16
		91	3			0,55		8281		43,76	24,07
		92	4			0,84		8464		43,46	36,72
	1991	93	1			1,72		8649		43,16	74,05
		94	2			0,87		8836		42,86	37,13
		95	3	20,07		0,55	36,49	9025	3466,29	42,57	23,41
		96	4	40,46		0,84	47,89	9216	4597,12	42,27	35,72
	1992	97	1	116,58		1,72	67,95	9409	6591,07	41,97	72,01
		98	2			0,87		9604		41,67	36,10
		99	3	32,17		0,55	58,48	9801	5790,00	41,38	22,76
		100	4	24,13		0,84	28,55	10000	2855,32	41,08	34,71
	1993	101	1	61,64		1,72	35,93	10201	3628,59	40,78	69,96
		102	2			0,87		10404		40,48	35,07
		103	3			0,55		10609		40,18	22,10
		104	4	36,15		0,84	42,78	10816	4448,98	39,89	33,70
	1994	105	1	68,19		1,72	39,75	11025	4173,56	39,59	67,92
		106	2	33,39		0,87	38,55	11236	4085,99	39,29	34,03
		107	3			0,55		11449		38,99	21,45
		108	4			0,84		11664		38,70	32,70
	1995	109	1	126,46		1,72	73,71	11881,00	8034,10	38,40	65,88
		110	2	45,82		0,87	52,90	12100,00	5818,56	38,10	33,00
		111	3	26,89		0,55	48,89	12321,00	5426,33	37,80	20,79
		112	4	25,63		0,84	30,33	12544,00	3397,01	37,51	31,69

	1996	113	1	100,13		1,72	58,36	12769,00	6595,20	37,21	63,84
		114	2	54,92		0,87	63,40	12996,00	7227,38	36,91	31,97
		115	3	38,25		0,55	69,53	13225,00	7996,49	36,61	20,14
		116	4	42,82		0,84	50,68	13456,00	5878,55	36,31	30,68
	1997	117	1	80,87		1,72	47,14	13689,00	5515,11	36,02	61,79
		118	2	54,57		0,87	63,00	13924,00	7433,83	35,72	30,94
		119	3	29,33		0,55	53,32	14161,00	6345,39	35,42	19,48
		120	4	52,24		0,84	61,82	14400,00	7418,41	35,12	29,68
	1998	121	1	73,45		1,72	42,81	14641,00	5180,00	34,83	59,75
		122	2	41,26		0,87	47,64	14884,00	5811,74	34,53	29,91
		123	3	27,08		0,55	49,24	15129,00	6057,01	34,23	18,83
		124	4	43,73		0,84	51,75	15376,00	6417,02	33,93	28,67
	1999	125	1	95,15		1,72	55,46	15625,00	6932,55	33,64	57,71
		126	2	42,32		0,87	48,85	15876,00	6155,45	33,34	28,88
		127	3	23,81		0,55	43,30	16129,00	5498,51	33,04	18,17
		128	4	41,32		0,84	48,90	16384,00	6259,51	32,74	27,67
	2000	129	1	68,51		1,72	39,93	16641,00	5151,13	32,44	55,66
		130	2	40,58		0,87	46,84	16900,00	6089,75	32,15	27,85
		131	3	22,31		0,55	40,56	17161,00	5313,09	31,85	17,52
		132	4	29,59		0,84	35,02	17424,00	4622,04	31,55	26,66
Συνολο		8778		6177,03			4953,65	775390,00	391064,41		
Μ.Ο.		66,5		51,05							

Πίνακας Π.8 : Ανάλυση χρονοσειράς με επίδραση εποχικού στοιχείου για το αλμυρό νερό

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΟΧΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ Qsea											
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]		
		Περίοδος (X)	Τρίμηνο	Qsea πραγματική	Μέση τριμηνιαία παροχή	Εποχικός παράγοντας [4]/7,75	Τιμές χωρίς εποχικό στοιχείο	$X^2 = [1]^2$	$X*(Yd)=[1]*[6]$	$Y=a+b*x$	Πρόβλεψη
	1968	1	1		78,25	0,75		1,00		11,33	8,46
		2	2	6,80	36,41	0,95	7,18	4,00	14,36	11,28	10,68
		3	3	8,48	23,88	1,01	8,36	9,00	25,08	11,23	11,39
		4	4	11,13	37,50	1,27	8,73	16,00	34,92	11,17	14,24
	1969	5	1	2,03		0,75	2,71	25,00	13,57	11,12	8,30
		6	2	5,48		0,95	5,79	36,00	34,72	11,06	10,47
		7	3	7,38		1,01	7,27	49,00	50,88	11,01	11,17
		8	4	9,34		1,27	7,33	64,00	58,63	10,95	13,96
	1970	9	1	8,02		0,75	10,75	81,00	96,74	10,90	8,13
		10	2	9,07		0,95	9,58	100,00	95,83	10,84	10,27
		11	3	8,99		1,01	8,86	121,00	97,45	10,79	10,95
		12	4	13,68		1,27	10,73	144,00	128,76	10,73	13,68
	1971	13	1	3,90		0,75	5,23	169,00	67,99	10,68	7,97
		14	2	8,83		0,95	9,32	196,00	130,50	10,62	10,06
		15	3	8,32		1,01	8,19	225,00	122,91	10,57	10,73
		16	4	8,43		1,27	6,61	256,00	105,79	10,51	13,40

	1972	17	1	6,46		0,75	8,65	289,00	147,04	10,46	7,81
		18	2	8,89		0,95	9,39	324,00	169,00	10,40	9,85
		19	3	8,59		1,01	8,46	361,00	160,82	10,35	10,50
		20	4	3,49		1,27	2,74	400,00	54,71	10,29	13,12
	1973	21	1	2,31		0,75	3,10	441,00	65,01	10,24	7,64
		22	2	9,26		0,95	9,78	484,00	215,10	10,19	9,64
		23	3	7,67		1,01	7,55	529,00	173,70	10,13	10,28
		24	4	7,69		1,27	6,03	576,00	144,67	10,08	12,85
	1974	25	1	6,77		0,75	9,07	625,00	226,78	10,02	7,48
		26	2	9,48		0,95	10,02	676,00	260,42	9,97	9,44
		27	3	9,39		1,01	9,25	729,00	249,85	9,91	10,06
		28	4	16,89		1,27	13,25	784,00	370,96	9,86	12,57
	1975	29	1	6,16		0,75	8,25	841,00	239,24	9,80	7,32
		30	2	10,33		0,95	10,91	900,00	327,23	9,75	9,23
		31	3	8,73		1,01	8,60	961,00	266,60	9,69	9,84
		32	4	11,41		1,27	8,95	1024,00	286,44	9,64	12,29
	1976	33	1	3,86		0,75	5,17	1089,00	170,71	9,58	7,15
		34	2	6,84		0,95	7,22	1156,00	245,60	9,53	9,02
		35	3	8,98		1,01	8,85	1225,00	309,64	9,47	9,62
		36	4	11,60		1,27	9,10	1296,00	327,51	9,42	12,01
	1977	37	1	7,47		0,75	10,00	1369,00	370,10	9,36	6,99
		38	2	10,13		0,95	10,70	1444,00	406,63	9,31	8,81
		39	3	7,74		1,01	7,63	1521,00	297,48	9,25	9,39
		40	4	9,62		1,27	7,54	1600,00	301,80	9,20	11,73

1978	41	1	1,96	0,75	2,63	1681,00	107,93	9,14	6,83
	42	2	4,90	0,95	5,17	1764,00	217,30	9,09	8,61
	43	3	6,67	1,01	6,57	1849,00	282,45	9,04	9,17
	44	4	8,17	1,27	6,41	1936,00	281,90	8,98	11,45
1979	45	1	5,57	0,75	7,47	2025,00	336,03	8,93	6,66
	46	2	7,33	0,95	7,74	2116,00	356,04	8,87	8,40
	47	3	8,11	1,01	7,99	2209,00	375,72	8,82	8,95
	48	4	13,78	1,27	10,81	2304,00	518,95	8,76	11,17
1980	49	1	4,63	0,75	6,20	2401,00	303,86	8,71	6,50
	50	2	7,45	0,95	7,87	2500,00	393,46	8,65	8,19
	51	3	9,85	1,01	9,70	2601,00	494,92	8,60	8,73
	52	4	12,42	1,27	9,74	2704,00	506,67	8,54	10,89
1981	53	1	2,44	0,75	3,27	2809,00	173,25	8,49	6,33
	54	2	5,20	0,95	5,49	2916,00	296,65	8,43	7,99
	55	3	7,75	1,01	7,63	3025,00	419,82	8,38	8,50
	56	4	8,66	1,27	6,79	3136,00	380,25	8,32	10,61
1982	57	1	6,44	0,75	8,63	3249,00	492,15	8,27	6,17
	58	2	3,29	0,95	3,48	3364,00	201,80	8,21	7,78
	59	3	6,17	1,01	6,08	3481,00	358,59	8,16	8,28
	60	4	7,77	1,27	6,10	3600,00	365,79	8,10	10,33
1983	61	1	4,94	0,75	6,62	3721,00	403,95	8,05	6,01
	62	2	6,96	0,95	7,35	3844,00	455,49	8,00	7,57
	63	3	8,72	1,01	8,59	3969,00	541,10	7,94	8,06
	64	4	11,95	1,27	9,37	4096,00	599,98	7,89	10,05

1984	65	1	4,93	0,75	6,61	4225,00	429,61	7,83	5,84
	66	2	8,51	0,95	8,99	4356,00	593,21	7,78	7,36
	67	3	7,50	1,01	7,39	4489,00	495,35	7,72	7,84
	68	4	10,41	1,27	8,16	4624,00	555,21	7,67	9,77
1985	69	1	1,54	0,75	2,06	4761,00	142,17	7,61	5,68
	70	2	5,89	0,95	6,22	4900,00	435,56	7,56	7,16
	71	3	8,11	1,01	7,99	5041,00	567,39	7,50	7,61
	72	4	12,89	1,27	10,11	5184,00	727,71	7,45	9,50
1986	73	1	8,87	0,75	11,89	5329,00	868,01	7,39	5,52
	74	2	8,41	0,95	8,88	5476,00	657,39	7,34	6,95
	75	3	9,64	1,01	9,50	5625,00	712,27	7,28	7,39
	76	4	11,74	1,27	9,21	5776,00	699,87	7,23	9,22
1987	77	1	3,99	0,75	5,34	5929,00	411,16	7,17	5,35
	78	2		0,95		6084,00		7,12	6,74
	79	3	6,55	1,01	6,46	6241,00	510,01	7,06	7,17
	80	4	7,23	1,27	5,67	6400,00	453,63	7,01	8,94
1988	81	1	2,65	0,75	3,55	6561,00	287,66	6,96	5,19
	82	2	6,36	0,95	6,71	6724,00	550,44	6,90	6,53
	83	3	7,66	1,01	7,55	6889,00	626,24	6,85	6,95
	84	4	6,41	1,27	5,02	7056,00	422,03	6,79	8,66
1989	85	1	6,96	0,75	9,32	7225,00	792,53	6,74	5,03
	86	2	7,86	0,95	8,30	7396,00	714,15	6,68	6,33
	87	3	8,11	1,01	7,99	7569,00	695,05	6,63	6,73
	88	4	7,39	1,27	5,80	7744,00	510,41	6,57	8,38

	1990	89	1	8,80		0,75	11,79	7921,00	1049,33	6,52	4,86
		90	2	8,11		0,95	8,56	8100,00	770,68	6,46	6,12
		91	3			1,01		8281,00		6,41	6,50
		92	4			1,27		8464,00		6,35	8,10
	1991	93	1			0,75		8649,00		6,30	4,70
		94	2			0,95		8836,00		6,24	5,91
		95	3	7,23		1,01	7,12	9025,00	676,26	6,19	6,28
		96	4	8,84		1,27	6,93	9216,00	665,42	6,13	7,82
	1992	97	1	3,56		0,75	4,77	9409,00	462,92	6,08	4,54
		98	2			0,95		9604,00		6,02	5,70
		99	3	9,98		1,01	9,83	9801,00	973,27	5,97	6,06
		100	4	7,91		1,27	6,20	10000,00	620,48	5,92	7,54
	1993	101	1	6,01		0,75	8,06	10201,00	813,79	5,86	4,37
		102	2			0,95		10404,00		5,81	5,50
		103	3			1,01		10609,00		5,75	5,84
		104	4	8,10		1,27	6,35	10816,00	660,65	5,70	7,26
	1994	105	1	4,28		0,75	5,73	11025,00	601,88	5,64	4,21
		106	2	7,59		0,95	8,02	11236,00	849,63	5,59	5,29
		107	3			1,01		11449,00		5,53	5,61
		108	4			1,27		11664,00		5,48	6,98
	1995	109	1	2,24		0,75	3,00	11881,00	326,62	5,42	4,05
		110	2	5,50		0,95	5,81	12100,00	639,23	5,37	5,08
		111	3	8,10		1,01	7,98	12321,00	886,27	5,31	5,39
		112	4	6,80		1,27	5,33	12544,00	597,16	5,26	6,70

	1996	113	1	25,84		0,75		12769,00	0,00	5,20	3,88
		114	2	5,66		0,95	5,98	12996,00	681,30	5,15	4,88
		115	3	1,02		1,01	1,01	13225,00	115,98	5,09	5,17
		116	4	8,81		1,27	6,91	13456,00	801,78	5,04	6,42
	1997	117	1	5,83		0,75	7,81	13689,00	914,01	4,98	3,72
		118	2	5,38		0,95	5,68	13924,00	670,81	4,93	4,67
		119	3	7,84		1,01	7,73	14161,00	919,31	4,87	4,95
		120	4	9,66		1,27	7,58	14400,00	909,33	4,82	6,15
	1998	121	1	2,52		0,75	3,38	14641,00	409,27	4,77	3,56
		122	2	6,17		0,95	6,52	14884,00	794,93	4,71	4,46
		123	3	6,59		1,01	6,49	15129,00	798,01	4,66	4,73
		124	4	8,53		1,27	6,69	15376,00	829,39	4,60	5,87
	1999	125	1	10,91		0,75	14,62	15625,00	1827,89	4,55	3,39
		126	2	10,72		0,95	11,32	15876,00	1425,89	4,49	4,25
		127	3	8,61		1,01	8,49	16129,00	1077,68	4,44	4,50
		128	4	14,74		1,27	11,56	16384,00	1480,27	4,38	5,59
	2000	129	1	7,39		0,75	9,90	16641,00	1276,56	4,33	3,23
		130	2	9,73		0,95	10,28	16900,00	1336,37	4,27	4,05
		131	3	7,47		1,01	7,36	17161,00	964,71	4,22	4,28
		132	4	10,77		1,27	8,45	17424,00	1115,13	4,16	5,31
Συνολο		8778		937,62			736,67	775390,00	57528,48		
Μ.Ο.		66,5		7,75							

Πίνακας Π.9 : Ετήσιες και εξαμηνιαίες τιμές RDI για το σταθμό του Ηρακλείου.

Ετήσιες τιμές δείκτη RDI για το σταθμό του Ηρακλείου			Εξαμηνιαίες τιμές δείκτη RDI για το σταθμό του Ηρακλείου			
Υδρ. Έτος	Thornth.	Hargreav.	Year	α6	Normalised	Standardised
1955 - 1956	0,63	0,58	1955 - 1956	1,63	0,22	0,92
1956 - 1957	0,41	0,38	1956 - 1957	1,29	-0,03	-0,01
1957 - 1958	-0,36	-0,39	1957 - 1958	1,06	-0,20	-0,82
1958 - 1959	-1,80	-1,88	1958 - 1959	0,87	-0,35	-1,65
1959 - 1960	0,67	0,57	1959 - 1960	1,36	0,02	0,20
1960 - 1961	-0,35	-0,54	1960 - 1961	1,22	-0,09	-0,25
1961 - 1962	1,32	1,09	1961 - 1962	1,72	0,29	1,16
1962 - 1963	2,42	2,41	1962 - 1963	2,21	0,65	2,18
1963 - 1964	1,05	0,81	1963 - 1964	1,61	0,20	0,87
1964 - 1965	1,04	0,71	1964 - 1965	1,60	0,20	0,87
1965 - 1966	0,54	0,21	1965 - 1966	1,06	-0,21	-0,83
1966 - 1967	-0,68	-0,97	1966 - 1967	1,01	-0,25	-1,04
1967 - 1968	0,63	0,35	1967 - 1968	1,57	0,18	0,79
1968 - 1969	1,14	1,19	1968 - 1969	1,82	0,36	1,38
1969 - 1970	-1,79	-1,76	1969 - 1970	0,77	-0,42	-2,14
1970 - 1971	-0,78	-0,71	1970 - 1971	1,01	-0,24	-1,03
1971 - 1972	-0,72	-0,60	1971 - 1972	1,09	-0,19	-0,74
1972 - 1973	-0,07	0,20	1972 - 1973	1,46	0,09	0,47
1973 - 1974	-1,47	-1,37	1973 - 1974	1,03	-0,23	-0,94
1974 - 1975	-0,68	-0,41	1974 - 1975	1,11	-0,17	-0,66
1975 - 1976	1,47	1,70	1975 - 1976	2,02	0,51	1,81
1976 - 1977	1,03	1,16	1976 - 1977	1,29	-0,04	-0,04
1977 - 1978	0,00	-0,01	1977 - 1978	1,44	0,08	0,43
1978 - 1979	-0,04	0,14	1978 - 1979	1,23	-0,08	-0,21
1979 - 1980	0,59	0,65	1979 - 1980	1,56	0,17	0,75
1980 - 1981	0,82	0,87	1980 - 1981	1,64	0,23	0,96
1981 - 1982	1,32	1,47	1981 - 1982	1,62	0,21	0,91
1982 - 1983	-0,90	-0,94	1982 - 1983	1,02	-0,24	-0,99
1983 - 1984	0,82	0,79	1983 - 1984	1,59	0,19	0,84
1984 - 1985	0,45	0,54	1984 - 1985	1,56	0,17	0,76
1985 - 1986	-0,79	-0,74	1985 - 1986	1,01	-0,25	-1,04
1986 - 1987	0,86	0,86	1986 - 1987	1,59	0,19	0,82
1987 - 1988	-0,83	-0,75	1987 - 1988	1,13	-0,15	-0,56
1988 - 1989	-0,76	-0,82	1988 - 1989	1,22	-0,08	-0,24
1989 - 1990	-1,44	-1,49	1989 - 1990	0,94	-0,29	-1,31
1990 - 1991	-0,89	-0,88	1990 - 1991	1,09	-0,19	-0,74
1991 - 1992	0,26	0,24	1991 - 1992	1,46	0,09	0,48
1992 - 1993	-1,83	-1,98	1992 - 1993	0,75	-0,44	-2,25
1993 - 1994	-1,34	-1,35	1993 - 1994	1,03	-0,23	-0,96
1994 - 1995	0,60	0,63	1994 - 1995	1,63	0,22	0,94
1995 - 1996	0,56	0,65	1995 - 1996	1,61	0,20	0,87
1996 - 1997	0,75	0,71	1996 - 1997	1,63	0,22	0,94
1997 - 1998	-1,36	-1,30	1997 - 1998	1,04	-0,22	-0,91
1998 - 1999	0,07	0,21	1998 - 1999	1,46	0,09	0,48
1999 - 2000	-1,17	-1,06	1999 - 2000	1,10	-0,18	-0,68

Πίνακας Π.10 : Μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm για τον σταθμό του Κρουσιώνα (Υ.Ε.Β.)

ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1964-65				83,3	211,2	302,5	162,3	113,0	49,0	17,0	0,0	0,0	
1965-66	0,0	35,0	11,0	168,5	221,0	39,0	231,0	14,5	22,0	9,5	0,0	0,0	751,5
1966-67	70,0	42,0	84,0	296,5	100,5	193,0	237,2	53,0	6,0	7,5	0,0	0,0	1089,7
1967-68	0,0	168,9	80,2	188,8	446,1	107,5	203,9	79,0	5,3	4,5	0,0	3,6	1287,8
1968-69	36,6	188,0	369,2	173,6	445,6	7,9	85,9	79,6	37,3	0,0	0,0	0,0	1423,7
1969-70	29,5	69,7	31,0	239,3	87,0	59,2	123,2	44,5	6,6	0,0	0,0	0,0	690,0
1970-71	14,3	161,1	188,4	88,9	268,5	254,0	102,1	52,8	1,7	4,6	1,0	0,0	1137,4
1971-72	10,3	30,7	74,1	117,8	112,1	109,9	171,9	60,3	102,0	0,0	16,3	0,0	805,4
1972-73	9,7	234,2	57,2	201,6	260,7	213,5	64,7	51,2	6,0	0,0	0,0	0,0	1098,8
1973-74	2,6	61,9	99,3	15,7	304,1	157,3	110,1	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	762,2
1974-75	3,1	18,3	60,7	126,7	357,9	265,7	26,2	45,5	66,8	0,0	0,0	0,0	970,9
1975-76	0,0	37,9	86,1	362,2	308,0	261,6	260,8	49,8	7,0	2,0	0,0	0,0	1375,4
1976-77	0,0	178,6	239,2	162,9	80,9	106,1	170,7	77,0	1,9	0,8	1,0	0,0	1019,1
1977-78	147,7	46,4	45,0	305,0	433,2	104,1	201,8	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1294,2
1978-79	20,0	163,4	54,3	196,6	163,2	114,0	110,0	68,3	13,6	50,5	8,5	2,1	964,5
1979-80	0,0	38,6	243,9	252,2	146,9	274,2	122,7	57,4	10,5	0,7	0,0	0,0	1147,1
1980-81	6,8	75,1	22,5	297,7	560,6	236,0	27,8	29,3	5,8	0,0	0,0	0,0	1261,6
1981-82	0,0	0,0	152,0	199,2	103,3	323,8	226,4	60,1	65,0	5,0	0,0	12,0	1146,8
1982-83	0,0	5,0	143,0	136,0	198,4	241,4	198,2	9,2	2,0	62,0	23,7	3,3	1022,2
1983-84	0,0	9,9	188,0	217,7	170,0	154,5	101,7	83,7	1,5	0,0	63,5	0,0	990,5
1984-85	0,0	26,0	375,4	211,5	337,6	156,6	102,6	60,5	4,6	0,0	0,0	0,0	1274,8
1985-86	0,0	143,8	58,0	244,1	80,0	158,1	43,7	1,5	55,4	0,0	0,0	0,0	784,6
1986-87	217,2	85,7	81,8	188,6	122,2	158,6	247,4	210,6	31,5	1,4	0,0	0,0	1345,0
1987-88	0,0	7,0	199,0	187,8	140,2	301,9	172,6	18,8	22,5	0,0	0,0	0,0	1049,8
1988-89	4,7	253,8	90,8	184,9	94,6	12,6	108,1	0,0	21,2	11,3	0,0	0,0	782,0
1989-90	0,0	144,0	214,0	11,8	88,7	176,5	8,8	19,1	0,7	18,6	0,0	6,1	688,3
1990-91	10,8	24,2	111,1	122,8	320,7	169,8	35,1	49,6	15,5	0,5	0,0	0,0	860,1
1991-92	0,0	124,6	85,0	517,6	68,7	168,8	96,0	35,7	9,9	9,2	0,0	0,0	1115,5
1992-93	0,0	0,0	44,6	194,6	133,6	168,8	58,7	10,5	52,2	3,5	0,0	0,0	666,5
1993-94	0,0	20,1	253,8	33,1	253,1	111,3	70,6	23,5	4,6	0,0	0,0	0,0	770,1
1994-95	0,0	183,8	300,1	210,0	139,2	76,8	95,6	9,5	0,0	0,0	3,0	0,0	1018,0
1995-96	13,6	30,3	106,8	75,0	405,2	156,3	176,7	38,5	6,5	0,0	0,0	0,0	1008,9
1996-97	37,9	83,0	36,1	220,7	112,2	114,7	264,4	31,3	6,9	13,5	0,0	0,0	920,7
1997-98	3,7	202,0	74,7	180,0	116,1	59,0	292,3	19,9	3,4	1,5	0,0	0,0	952,6
1998-99	0,0	40,0	144,2	294,6	189,6	37,2	103,2	25,3	1,6	0,0	0,0	0,0	835,7
1999-00	45,7	2,0	25,1	138,9	243,2	93,5	67,0	20,0	20,3	0,0	0,0	0,0	655,7
2000-01	0,0	24,1	212,5	161,2	113,0	213,6	11,0	85,5	38,0	0,0	0,0	0,0	858,9
2001-02	0,0	0,0	147,5	482,5	230,5	68,5	49,0	23,0	6,0	0,0	10,0	44,5	1061,5
2002-03	87,5	88,0	175,0	331,0	138,0	325,5	231,0	69,5	2,0	0,0	0,0	0,0	1447,5
2003-04	0,0	0,0	131,0	238,0	241,5	108,0	10,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	741,0
2004-05	0,0	0,0	135,0	109,0	170,0	120,5	10,0	23,5	91,5	0,0	0,0	0,0	659,5
Μεγ. Ύψος	217,2	253,8	375,4	517,6	560,6	325,5	292,3	210,6	102,0	62,0	63,5	44,5	1447,5
Ελ. Ύψος	0,0	0,0	11,0	11,8	68,7	7,9	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	655,7
Μ.Ο	19,3	76,2	130,8	199,2	212,6	158,1	126,6	44,8	19,6	5,5	3,1	1,7	993,4

Πίνακας Π.11 : Μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm για τον σταθμό του Ηρακλείου (Υ.Ε.Β.)

ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1975-76	0,0	61,0	55,2	138,2	176,2	60,4	177,3	54,3	1,5	0,0	0,0	0,0	724,1
1976-77	0,0	120,1	115,2	44,6	24,2	36,5	90,3	34,3	0,5	0,0	0,0	0,0	465,7
1977-78	149,0	79,6	17,0	128,3	125,6	29,5	53,5	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	587,1
1978-79	27,1	94,9	14,0	76,2	58,9	60,0	62,2	19,5	25,9	19,2	0,0	6,4	464,3
1979-80	21,8	47,3	122,8	63,7	62,0	137,9	38,8	49,0	2,4	0,0	0,0	0,0	545,7
1980-81	3,5	91,8	8,7	104,3	187,7	96,7	20,0	26,0	1,7	0,0	0,0	0,0	540,4
1981-82	0,0	0,0	137,3	39,2	27,6	192,8	118,7	38,9	32,2	0,0	0,0	0,0	586,7
1982-83	0,0	0,0	29,1	83,3	81,8	78,2	52,5	0,0	0,0	43,0	9,3	0,0	377,2
1983-84	0,0	74,4	120,0	130,2	25,2	71,7	77,2	53,1	0,0	0,0	0,0	7,7	559,5
1984-85	0,0	7,5	134,6	125,9	113,4	58,4	30,7	27,4	2,5	0,0	0,0	0,0	500,4
1985-86	0,0	69,4	14,4	67,0	58,0	58,4	55,1	0,0	65,0	0,0	0,0	0,0	387,3
1986-87	63,7	31,7	49,4	145,5	65,3	34,0	120,0	104,0	7,0	0,0	0,0	0,0	620,6
1987-88	0,0	0,0	83,3	103,6	30,7	75,6	38,9	18,0	42,0	0,0	0,0	0,0	392,1
1988-89	1,5	129,4	46,2	69,0	31,6	5,1	169,6	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0	463,0
1989-90	0,0	44,7	147,4	11,9	38,0	63,7	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	316,4
1990-91	28,0	34,1	82,3	45,4	124,3	62,8	12,4	14,8	3,0	0,0	0,0	0,0	407,1
1991-92	0,0	88,9	26,6	198,2	25,3	85,4	59,0	21,8	6,2	2,0	0,0	0,0	513,4
1992-93	0,0	0,0	20,2	80,4	51,5	53,5	35,6	11,2	42,3	9,2	0,0	0,0	303,9
1993-94	0,0	0,0	68,6	15,2	129,9	53,4	24,6	6,5	6,2	0,0	0,0	0,0	304,4
1994-95	0,0	190,3	173,0	88,4	46,6	13,8	58,9	24,0	3,2	0,0	0,0	0,0	598,2
1995-96	1,9	29,5	74,0	20,4	97,0	78,5	185,6	31,8	6,8	0,0	0,0	0,0	525,5
1996-97	34,7	63,8	17,7	86,1	44,9	108,3	212,7	22,5	0,0	8,6	0,0	0,0	599,3
1997-98	0,0	76,9	60,4	55,3	60,1	5,5	91,8	11,0	1,0	0,0	0,0	0,0	362,0
1998-99	0,2	11,5	63,3	222,4	68,3	33,7	52,8	25,4	1,5	0,0	0,0	0,0	479,1
1999-00	16,2	5,8	9,7	173,3	165,0	46,2	17,4	5,2	8,4	0,0	0,0	0,0	447,2
2000-01	6,5	1,2	51,7	110,3	149,8	107,8	0,0	56,9	10,0	0,0	0,0	0,0	494,2
2001-02	0,0	1,8	55,8	271,8	95,3	3,7	14,5	19,4	0,4	0,0	6,9	24,0	493,6
2002-03	66,9	64,2	97,4	109,0	66,6	197,8	113,9	71,3	7,4	0,0	0,0	0,0	794,5
2003-04	0,0	0,0	55,6	159,5	178,6	81,5	14,5	29,7	9,7	0,0	0,0	0,0	529,1
2004-05	0,0	2,3	183,2	71,5	121,2	60,9	13,1	40,5	25,5	0,0	0,0	0,0	518,2
Μεγ.ύψος	149,0	190,3	183,2	271,8	187,7	197,8	212,7	104,0	65,0	43,0	9,3	24,0	794,5
Ελ.Ύψος	0,0	0,0	8,7	11,9	24,2	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	303,9
Μ.Ο	14,0	47,4	71,1	101,3	84,4	68,4	67,1	27,7	10,8	2,7	0,5	1,3	496,7

Πίνακας Π.12 : Μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm για τον σταθμό των Ανωγείων (Υ.Ε.Β.)

ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1918-19					179,0	86,0	70,0	74,0	65,0	1,0	0,0	3,0	
1919-20	9,0	93,0	158,0	335,0	279,0	231,0	267,0	15,0	258,0	0,0	2,0	0,0	1647,0
1920-21	2,0	155,0	139,0	207,0	110,0	228,0	257,0	114,0	16,0	24,0	0,0	0,0	1252,0
1921-22	7,0	42,0	352,0	194,0	198,0	105,0	32,0	9,0	59,0	0,0	0,0	0,0	998,0
1922-23	4,0	9,0	171,0	202,0	161,0	154,0	117,0	69,0	33,0	36,0	1,0	0,0	957,0
1923-24	0,0	42,0	38,0	138,0	530,0	80,0	82,0	2,0	1,0	7,0	0,0	19,0	939,0
1924-25	21,0	147,0	310,0	686,0	328,0	66,0	55,0	97,0	42,0	21,0	0,0	0,0	1773,0
1925-26	3,0	97,0	69,0	131,0	269,0	125,0	337,0	37,0	12,0	0,0	0,0	20,0	1100,0
1926-27	0,0	4,0	23,0	273,0	110,0	268,0	69,0	87,0	2,0	0,0	0,0	1,0	837,0
1927-28	12,0	109,0	154,0	160,0	246,0	156,0	208,0	8,0	12,0	1,0	0,0	0,0	1066,0
1928-29	0,0	32,0	279,0	352,0	332,0	207,0	179,0	75,0	4,0	1,0	0,0	2,0	1463,0
1929-30	180,0	376,0	114,0	296,0	376,0	264,0	98,0	82,0	8,0	11,0	0,0	0,0	1805,0
1930-31	12,0	110,0	74,0	164,0	178,0	226,0	68,0	72,0	72,0	0,0	0,0	0,0	976,0
1931-32	27,0	66,0	30,0	162,0	344,0	146,0	80,0	11,0	39,0	0,0	0,0	0,0	905,0
1932-33	6,0	58,0	522,0	198,0	121,0	92,0	54,0	16,0	5,0	9,0	0,0	13,0	1094,0
1933-34	20,0	0,0	31,0	253,0	214,0	163,0	19,0	78,0	26,0	1,0	1,0	0,0	806,0
1934-35	0,0	181,0	37,0	185,0	291,0	145,0	173,0	3,0	3,0	2,0	0,0	0,0	1020,0
1935-36	27,0	61,0	181,0	64,0	71,0	143,0	72,0	39,0	32,0	43,0	32,0	3,0	768,0
1936-37	2,0	86,0	162,0	283,0	248,0	136,0	10,0	33,0	19,0	0,0	0,0	0,0	979,0
1397-38	16,0	270,0	231,0	113,0	245,0	398,0	139,0	183,0	3,0	0,0	0,0	0,0	1598,0
1938-39	67,0	33,0	41,0	176,0	81,0	159,0	186,0	2,0	37,0	100,0	1,0	3,0	886,0
1939-40	15,0	10,0	197,0	89,0	377,0	251,0	98,0	80,0	78,0	24,0	4,0	10,0	1233,0
1940-41	2,0	85,0	123,0		130,0	160,0		8,0	1,0	0,0	0,0	0,0	
1941-42	126,0	102,0	121,0	165,0	189,0	214,0	104,0	36,0	5,0	26,0	52,0	12,0	1152,0
1942-43	1,0	148,0	136,0	186,0	196,0	106,0	241,0	121,0	95,0	2,0	0,0	0,0	1232,0
1943-44	26,0	219,0	131,0	80,0									
1949-50					218,0	23,0	217,0	68,0	164,0	1,0	0,0	0,0	
1950-51	32,8	43,3	184,5	64,7	157,4	74,1	36,4	0,0	17,0	0,0	7,0	0,0	617,2
1951-52	95,4	279,9	249,4	266,9	101,4	112,9	100,2	18,7	54,7	4,2	2,9	0,0	1286,6
1952-53	25,6	36,6	123,4	309,6	259,3	54,1	172,9	8,5	54,2	6,0	0,0	1,0	1051,2
1953-54	1,6	53,4	238,3	215,0	155,7	116,0	158,4	96,2	1,2	0,0	0,0	1,0	1036,8
1954-55	25,3	321,5	125,6	214,4	88,8	17,0	67,4	79,2	0,5	0,0	0,0	16,2	955,9
1955-56	28,2	22,8	181,5	320,7	172,2	228,1	199,2	6,0	65,0	0,0	0,0	0,0	1223,7
1956-57	2,1	50,9	32,9	148,6	512,9	30,1	282,8	46,9	26,1	14,9	2,0	0,0	1150,2
1957-58	46,5	175,7	129,8	93,9	192,5	4,5	59,1	25,1	22,1	92,7	6,7	0,0	848,6
1958-59	101,7	18,2	101,9	190,7	263,2	137,9	39,1	60,2	7,3	9,6	2,7	0,0	932,5
1959-60	12,5	321,5	59,9	200,9	245,9	80,7	244,5	175,7	29,6	4,2	0,0	4,0	1379,4
1960-61	64,3	0,3	98,8	206,8	206,7	510,1	157,1	26,2	6,1	10,8	0,0	0,0	1287,2
1961-62	0,4	467,9	32,8	238,1	288,9	226,2	15,6	14,5	101,1	0,0	0,0	0,0	1385,5
1962-63	70,9	498,4	25,4	308,6	164,1	174,6	148,7	89,4	65,8	1,2	0,0	0,0	1547,1
1993-94	0,1	171,6	71,1	65,4	265,2	167,7	191,5	70,5	20,3	25,8	0,0	0,0	1049,2
1964-65	4,4	116,3	115,7	369,2	290,9	242,6	223,3	94,0	24,3	32,3	0,0	1,9	1514,9
1965-66	0,0	93,1	15,0	128,0	224,0	37,6	173,7	19,2	31,7	7,1	0,0	8,9	738,3
1966-67	163,5	19,8	135,0	262,0	171,7	154,3	245,9	35,7	7,1	12,4	0,0	0,0	1207,4
1967-68	3,6	203,8	101,9	179,1	256,4	141,5	117,9	76,7	3,0	25,0	0,0	5,5	1114,4
1968-69	21,8	317,4	46,7	223,1	448,5	35,2	141,6	99,2	65,4	0,1	4,8	0,0	1403,8
1969-70	0,2	105,2	61,3	174,2	112,9	49,8	173,4	47,1	17,5	6,6	0,0	0,0	748,2
1970-71	30,8	123,5	176,5	95,6	281,5	235,7	63,5	74,7	1,1	3,2	1,1	0,0	1087,2
1971-72	75,2	76,9	112,5	123,2	138,7	107,7	178,8	85,3	158,3	2,0	25,4	5,8	1089,8

1972-73	3,8	285,7	66,3	245,6	384,5	121,0	46,1	50,2	6,4	0,0	10,2	2,4	1222,2
1973-74	2,5	195,2	154,2	21,1	241,8	166,3	122,1	12,7	0,0	0,4	0,0	2,0	918,3
1974-75	33,6	14,5	92,7	147,8	337,8	340,7	15,2	51,6	31,6	0,3	0,0	0,2	1066,0
1975-76	15,6	70,5	107,2	273,7	299,6	284,0	335,9	83,0	10,4	8,4	0,0	1,4	1489,7
1976-77	0,0	252,4	183,0	130,2	69,6	98,2	164,3	103,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1001,0
1977-78	215,0	97,3	35,4	395,1	469,7	89,8	196,7	26,8	0,4	0,0	0,8	0,0	1527,0
1978-79	28,0	180,5	189,9	230,9	107,5	173,1	81,7	64,3	19,8	128,4	12,8	3,0	1219,9
1979-80	5,1	58,7	219,6	204,6	112,3	385,5	85,3	78,5	18,7	0,6	0,0	0,0	1168,9
1980-81	25,0	149,9	16,6	157,8	434,7	188,2	15,3	36,2	10,6	0,0	0,0	0,0	1034,3
1981-82	0,0	0,2	187,7	116,3	108,2	380,3	243,6	56,0	99,9	13,0	0,0	4,0	1209,2
1982-83	0,0	3,0	177,5	98,3	146,9	181,3	188,3	15,8	0,2	90,0	29,4	5,4	936,1
1983-84	2,4	34,2	206,4	164,1	109,5	173,8	106,7	80,4	0,8	0,2	91,4	1,0	970,9
1984-85	0,0	33,2	315,4	236,5	310,8	95,4	87,8	13,4	6,1	0,0	0,0	0,0	1098,6
1985-86	0,8	159,0	38,1	245,1	63,7	129,4	79,4	5,0	166,9	0,7	0,0	0,0	888,1
1986-87	403,0	49,6	95,4	213,4	130,1	131,3	171,9	164,8	8,8	0,0	0,0	0,0	1368,3
1987-88	0,0	9,7	147,6	152,3	99,1	283,7	84,2	21,9	21,1	0,0	0,0	0,0	819,6
1988-89	24,4	216,5	100,9	143,9	121,6	26,7	151,9	0,0	20,4	0,0	0,0	0,0	806,3
1989-90	0,0	141,5	173,3	23,8	90,5	136,2	6,5	7,4	1,4	30,2	0,0	18,2	629,0
1990-91	53,5	46,7	98,8	102,8	271,2	144,3	35,2	77,0	17,0	2,0	0,0	0,5	849,0
1991-92	0,0	139,3	118,0	450,7	97,9	139,2	89,1	30,4	28,4	3,0	0,0	0,0	1096,0
1992-93	0,0	0,0	70,0	155,7	100,9	128,8	49,8	10,6	55,3	18,0	0,0	0,0	589,1
1993-94	0,0	91,0	286,6	56,8	254,0	111,2	91,8	28,0	5,0	4,0	0,0	0,0	928,4
1994-95	0,0	241,8	242,0	191,4	130,3	34,5	104,9	24,0	2,0	1,6	3,2	0,0	975,7
1995-96	13,4	34,9	100,3	74,3	263,9	170,0	151,9	49,1	13,0	0,0	0,0	0,0	870,8
1996-97	73,8	118,2	51,8	136,2	137,1	159,4	314,7	16,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1011,2
1997-98	2,0	245,4	136,5	168,8	143,4	101,8	323,1	55,8	78,2	1,0	0,0	0,0	1256,0
1998-99	0,0	20,7	169,2	405,6	265,6	58,0	129,0	47,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1095,7
1999-00	17,0	55,0	27,3	154,3	444,5	181,7	223,0	19,8	114,0	0,0	0,0	0,0	1236,6
2000-01	13,4	54,0	121,0	164,7	299,8	309,6	30,0	67,0	118,0	0,0	0,0	2,0	1179,5
Μεγ.ύψος	403,0	498,4	522,0	686,0	530,0	510,1	337,0	183,0	258,0	128,4	91,4	20,0	1805,0
Ελ. Ύψος	0,0	0,0	15,0	21,1	63,7	4,5	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	589,1
M.O	30,6	119,1	133,9	196,7	221,6	158,4	133,5	51,5	35,4	11,3	3,8	2,2	1102,7