

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΧΡΗΣΤΟΣ Τ. ΜΥΡΙΟΥΝΗΣ  
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ  
ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας  
Ειδίκευση " Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία "

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ  
ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ Τ. ΜΥΡΙΟΥΝΗΣ

Γεωλόγος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

*Επιβλέπων:* Καθηγητής Γεώργιος Σούλιος

*Μέλος:* Καθηγητής Γεώργιος Δημόπουλος

*Μέλος:* Λέκτορας Κωνσταντίνος Βουδούρης

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Ευχαριστώ ειλικρινά τον Καθηγητή μου κ. Γ. Σούλιο για την πολύτιμη βοήθειά του και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γ. Δημόπουλο για την συμπαράστασή του και τις υποδείξεις του, καθώς επίσης και τον Λέκτορα κ. Κ. Βουδούρη για τις εύστοχες επισημάνσεις του τόσο στο αρχικό όσο και στο τελικό κείμενο της διατριβής. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Καθηγητή κ. Β. Χρηστάρα για τη συνεργασία και τη βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τον φίλο και συνάδελφο μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Σ. Βαλκανιώτη για την πολύτιμη βοήθειά του κατά το στάδιο υπαίθρου, καθώς επίσης και για τις συζητήσεις σε επιστημονικά θέματα για την περιοχή. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μεταπτυχιακούς φοιτητές κ. Π. Καρανασάση, κ. Δ. Βογιατζή και κ. Α. Κούσκουρα για την βοήθειά τους κατά τις εργασίες υπαίθρου, και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Καπράλο, Μεταλλειολόγο Μηχανικό της Νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Καστοριάς για την παράδοση των βροχομετρικών στοιχείων της περιοχής, καθώς επίσης και τον κ. Κ. Παπαμηχαήλ, Αντιδήμαρχο του Δήμου Ίωνος Δραγούμη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε για την περιοχή.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ηλία, τον Σπύρο, τον Στέργιο, την Μαρία, την Βούλα, την Μαρία και γενικά όλους τους φίλους μου, που μου συμπαραστάθηκαν ηθικά κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Κρατικών υποτροφιών για την οικονομική υποστήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την ανεπιόριστη ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται  
στους γονείς μου  
και στα αδέρφια μου

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>                                           | <b>7</b>  |
| <b>2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                                | <b>9</b>  |
| 2.1 ΓΕΝΙΚΑ                                                   | 9         |
| 2.2 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ                          | 10        |
| <b>3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                            | <b>11</b> |
| 3.1 ΓΕΝΙΚΑ                                                   | 11        |
| 3.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ             | 14        |
| 3.2.1 Ανθρακικός όγκος Προφήτη Ηλία                          | 15        |
| 3.2.2 Ανθρακικός όγκος πηγής Βογατσικού                      | 16        |
| <b>4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>                                           | <b>19</b> |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                                 | 19        |
| 4.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ                                           | 21        |
| 4.2.1 Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα                            | 21        |
| 4.2.2 Ανθρακικά πετρώματα                                    | 21        |
| 4.2.2 Ιζήματα του Τριτογενούς                                | 22        |
| 4.2.2 Χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις                        | 23        |
| 4.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ                                                | 23        |
| 4.4 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ                   | 25        |
| <b>5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                             | <b>27</b> |
| 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ                                                 | 27        |
| 5.2 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ                                            | 27        |
| 5.2.1 Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα                            | 27        |
| 5.2.2 Ανθρακικά πετρώματα                                    | 28        |
| 5.2.3 Κοκκώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί                       | 28        |
| 5.3 ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ – ΠΗΓΗ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ         | 29        |
| 5.3.1 Πηγή Γκαρίτσα                                          | 30        |
| 5.3.2 Πηγή Δεξαμενή                                          | 31        |
| 5.3.3 Πηγή Βογατσικού                                        | 32        |
| 5.4 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ | 37        |
| 5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ               | 39        |

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.1 Εισαγωγή                                           | 39        |
| 5.5.2 Πρότυπο Maillet                                    | 41        |
| 5.5.3 Πρότυπο Tison                                      | 43        |
| 5.5.4 Πρότυπο Mangin                                     | 44        |
| 5.5.5 Πρότυπο Schoeller                                  | 47        |
| 5.5.6 Σύγκριση των διαφόρων προτύπων                     | 48        |
| <b>6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                            | <b>50</b> |
| 6.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ                      | 50        |
| 6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ                                  | 50        |
| 6.3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ             | 51        |
| 6.4 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ                                         | 52        |
| 6.4.1 Βροχομετρικά δεδομένα                              | 52        |
| 6.4.2 Σχέση ύψους βροχόπτωσης – υψομέτρου                | 56        |
| 6.4.3 Υπολογισμός της βροχόπτωσης για τον καρστικό όγκο  | 57        |
| 6.4.4 Κατανομή των βροχοπτώσεων                          | 59        |
| 6.5 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ                                      | 62        |
| 6.5.1 Θερμοκρασία                                        | 62        |
| 6.5.2 Σχέση θερμοκρασίας – υψομέτρου                     | 64        |
| 6.5.3 Υπολογισμός της θερμοκρασίας για τον καρστικό όγκο | 65        |
| 6.5.4 Δυναμική εξατμισοδιαπνοή                           | 65        |
| 6.5.5 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή                         | 67        |
| 6.5.6 Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων                    | 72        |
| 6.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ                                  | 72        |
| 6.7 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ                                           | 73        |
| 6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ                    | 75        |
| <b>7. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                            | <b>76</b> |
| 7.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ                                    | 76        |
| 7.2 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ      | 77        |
| 7.2.1 Διακύμανση σε σχέση με τον χρόνο                   | 78        |
| 7.2.2 Διακύμανση σε σχέση με την παροχή                  | 83        |
| 7.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ - ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ       | 86        |
| 7.4 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΙΚΩΝ ΛΟΓΩΝ                        | 87        |
| 7.4.1 Διακύμανση σε σχέση με τον χρόνο                   | 88        |
| 7.4.2 Διακύμανση σε σχέση με την παροχή                  | 90        |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| 7.4.3 Σχέσεις μεταξύ των ιόντων των ιοντικών λόγων | 92         |
| 7.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (P.C.A.)             | 94         |
| 7.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ                  | 98         |
| 7.6.1 Ταξινόμηση κατά Davis - De Wiest             | 98         |
| 7.6.2 Διάγραμμα PIPER                              | 99         |
| 7.6.3 Διάγραμμα DUROV                              | 101        |
| 7.6.4 Διάγραμμα Schoeller                          | 101        |
| 7.6.5 Διάγραμμα S.A.R                              | 103        |
| 7.6.6 Διάγραμμα Wilcox                             | 104        |
| 7.6.7 Σύγκριση των διαφόρων συστημάτων ταξινόμησης | 105        |
| <b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                             | <b>107</b> |

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο ειδίκευσης «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Η ανάθεσή της έγινε από το τμήμα Γεωλογίας με πρόταση από τον Καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Γ. Σούλιο, ο οποίος και ήταν ο κύριος επιβλέπων αυτής. Τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής ήταν ο Καθηγητής κ. Γ. Δημόπουλος και ο Λέκτορας κ. Κ. Βουδούρης.

Στόχος της εργασίας αυτής, είναι η υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής πηγής και περιοχής του Βογατσικού. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε αρχικά γεωλογική, στρωματογραφική και τεκτονική διερεύνηση της περιοχής και στη συνέχεια απογραφή των κυριότερων υδροσημείων αυτής. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παροχής της πηγής του Βογατσικού και ελήφθησαν δείγματα του νερού αυτής για την εκτέλεση φυσικών - χημικών αναλύσεων, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ.

Από πλευράς οργάνωσης η διατριβή αποτελείται από οχτώ κεφάλαια. Μετά την παρούσα εισαγωγή στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής έρευνας καθώς επίσης και στη διοικητική της υπαγωγή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η γεωμορφολογική δομή της περιοχής και γίνεται η ποσοτικοποίηση του αναγλύφου της. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη γεωλογία της περιοχής και παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σ' αυτήν. Επίσης αξιολογούνται και τα τεκτονικά επεισόδια τα οποία και έδρασαν στην ευρύτερη περιοχή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αξιολογούνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Αρχικά γίνεται αναφορά στην υδρολιθολογία των σχηματισμών της περιοχής, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κυριότερα υδροσημεία αυτής. Στο ίδιο κεφάλαιο διερευνώνται οι διάφορες συνθήκες φόρτισης και εκφόρτισης των υδροφόρων στρωμάτων και τέλος γίνεται ανάλυση του υδρογράμματος και υπολογισμός των αποθεμάτων της κύριας ανάβλυσης, της πηγής του Βογατσικού.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Επίσης πραγματοποιείται προσδιορισμός των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής και υπολογίζεται ένα προσεγγιστικό ισοζύγιο

για τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται και ο υπολογισμός της ειδικής απόδοσης των υδροφόρων σχηματισμών της περιοχής.

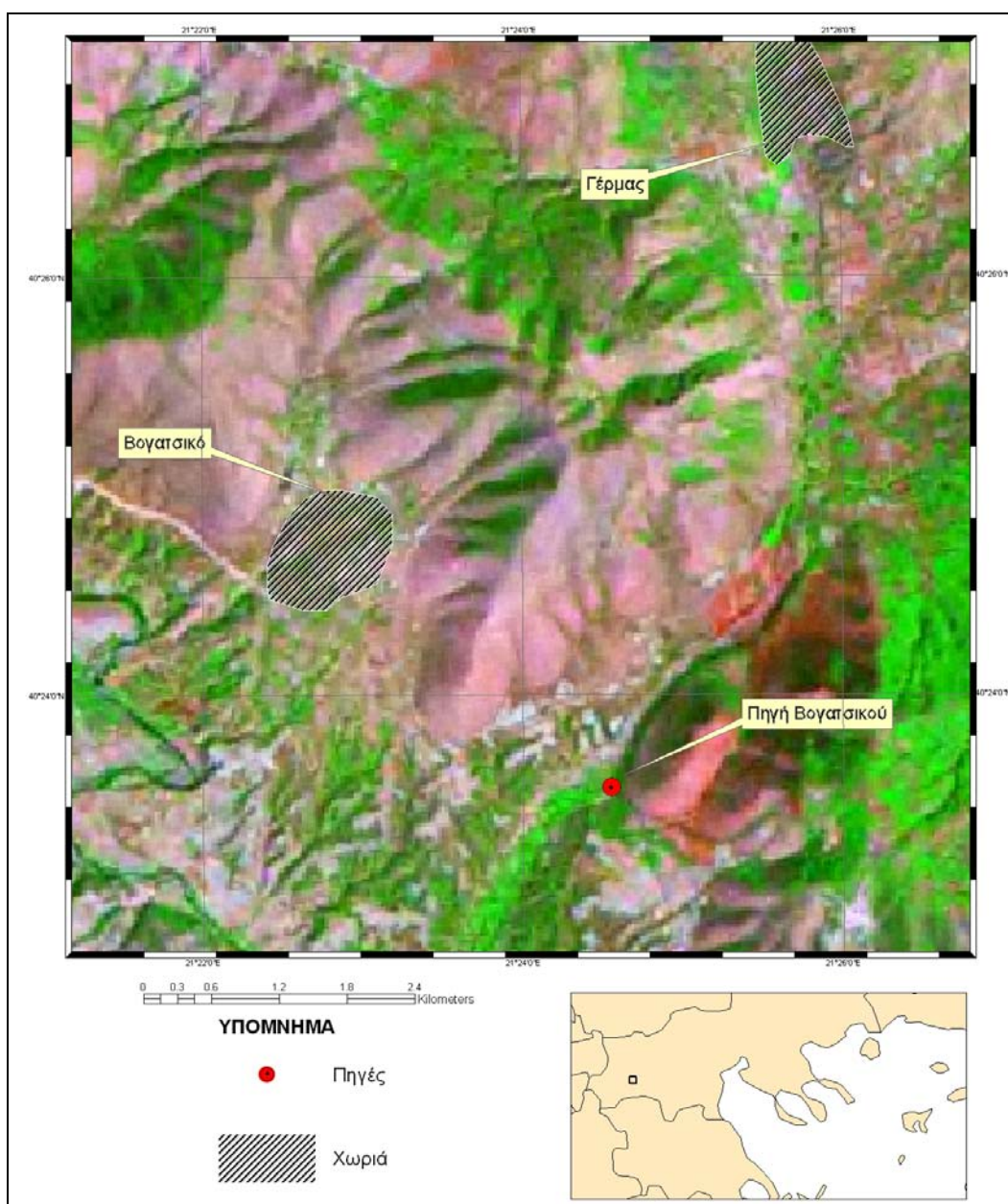
Το έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στους υδροχημικούς χαρακτήρες του νερού της πηγής του Βογατσικού. Σ' αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η σταθερότητα των διαφόρων χημικών ιόντων που υπολογίσθηκαν, ενώ εξετάζονται πιθανές συσχετίσεις των συγκεντρώσεων αυτών, τόσο με την παροχή της πηγής, όσο και μεταξύ τους. Υπολογίζονται διάφοροι ιοντικοί λόγοι και διερευνάται η χρονική τους κατανομή, ενώ τελικά πραγματοποιείται ταξινόμηση των νερών της περιοχής με βάση τις μέχρι σήμερα αποδεκτές κατατάξεις.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διατριβή αυτή.

## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εξεταζόμενη περιοχή της πηγής Βογατσικού βρίσκεται νοτιοανατολικά της πόλης της Καστοριάς και πιο συγκεκριμένα κοντά στα όρια των νομών Καστοριάς και Κοζάνης (Σχήμα 2.1). Απέχει περίπου 30 χιλιόμετρα από την Καστοριά και 70 χιλιόμετρα από την πόλη της Κοζάνης. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης διαρρέεται στο κεντρικό τμήμα της από το χείμαρρο Γέρμα ο οποίος και αποτελεί παραπόταμο του Αλιάκμονα.



**Σχήμα 2.1** Η θέση της ευρύτερης περιοχής έρευνας

## 2.2 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή διοικητικά ανήκει στο Δημοτικό Διαμέρισμα Βογατσικού του Δήμου Ίωνος Δραγούμη. Η πηγή υδρομαστεύεται μερικώς (Φωτ 2.1) και χρησιμοποιείται για την ύδρευση του χωριού Βογατσικό, το οποίο και βρίσκεται βόρεια της θέσης ανάβλυσης σε απόσταση περίπου 4 χιλιομέτρων.

Το χωριό Βογατσικό από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (2001) έχει πληθυσμό περίπου 800 κατοίκων, ο οποίος και παρουσιάζει σχετική μείωση 20% σε σχέση με την απογραφή του 1991 (Πίνακας 2.1). Αναφορικά με την οικονομία των κατοίκων της περιοχής, αυτοί ασχολούνται κυρίως με γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες καθώς επίσης και με λοιπές δραστηριότητες, με τις οποίες ασχολούνται γενικότερα οι κάτοικοι του νομού (βιοτεχνίες γούνας, εμπόριο, υπηρεσίες κτλ.).

**Πίνακας 2.1** Πληθυσμιακά στοιχεία για το χωριό Βογατσικό (πηγή Ε.Σ.Υ. 2001)

| Μόνιμος πληθυσμός              | Μόνιμος πληθυσμός |      | Πραγματικός πληθυσμός |      |
|--------------------------------|-------------------|------|-----------------------|------|
| Έτος                           | 2001              | 1991 | 2001                  | 1991 |
| Δήμος Ίωνος Δραγούμη           | 3333              | 3890 | 3457                  | 3962 |
| Δημοτικό Διαμέρισμα Βογατσικού | 708               | 1153 | 793                   | 1187 |
| Οικισμός Βογατσικό             | 708               | 927  | 793                   | 961  |
| Οικισμός Άγιος Νικόλαος        | 0                 | 226  | 0                     | 226  |



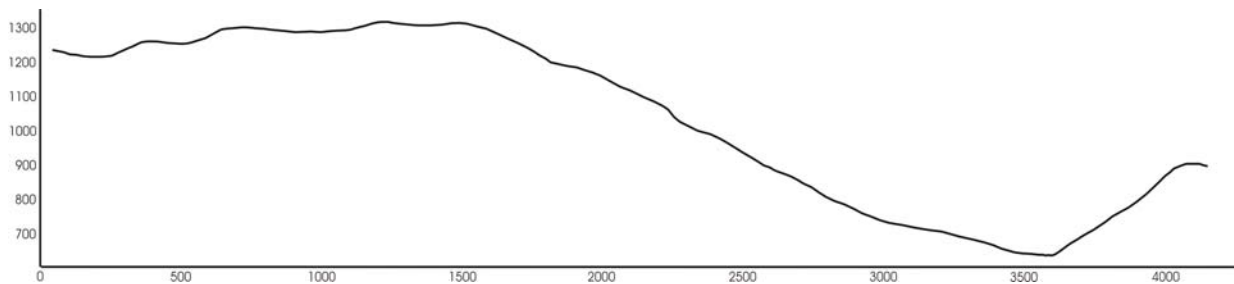
**Φωτ 2.1** Η θέση ανάβλυσης της πηγής Βογατσικού

### 3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

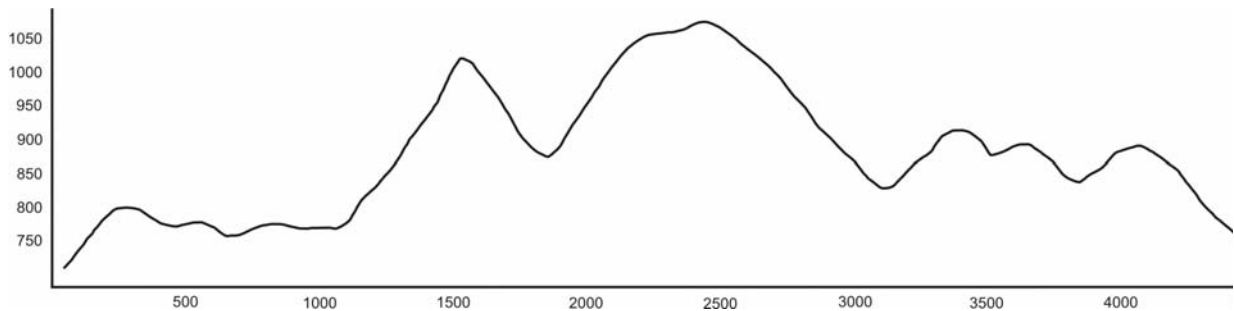
#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης βρίσκεται, όπως αναφέρθηκε, νοτιοανατολικά της πόλης της Καστοριάς. Διακρίνεται από έντονο ανάγλυφο και από μέτριες έως μεγάλες κλίσεις. Στα ανατολικά τμήματά της διακρίνεται το όρος Δεσπότη (1196 m), καθώς επίσης και τα υψώματα Καστρί (917 m), Μακροβούνι (1138 m) και Γκαρίτσα (896 m). Στα δυτικά τμήματα της ευρύτερης περιοχής διακρίνεται το όρος Προφήτης Ηλίας (1361 m), καθώς και τα υψώματα Πύργος (1176 m) και Κορυφή (1170 m). Γενικότερα το ανάγλυφο της περιοχής ομαλοποιείται από τα βόρεια προς τα νότια καταλήγοντας στον ποταμό Αλιάκμονα, ο οποίος και διατρέχει το νότιο τμήμα της περιοχής.

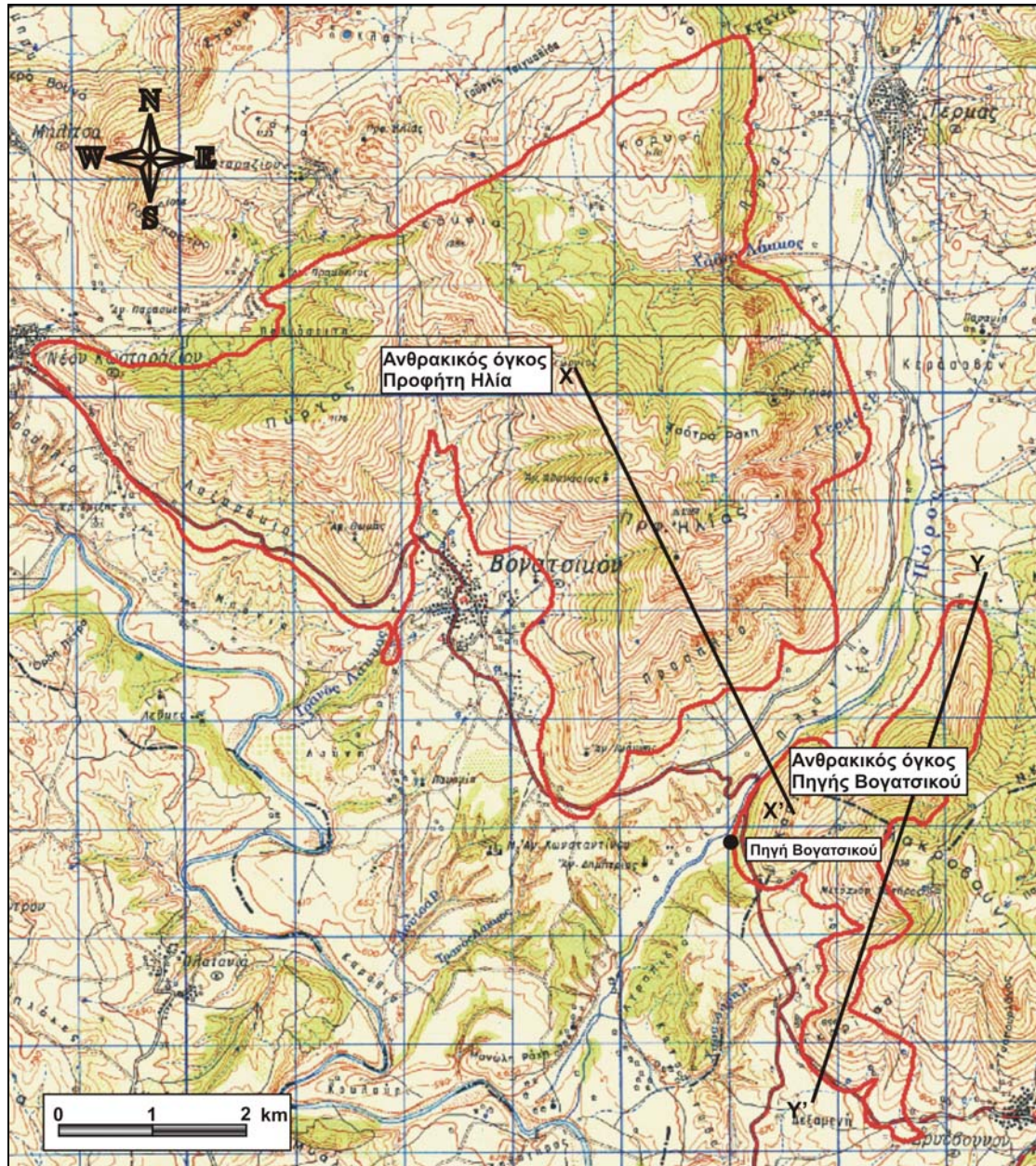
Ειδικότερα για τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής αυτά παρουσιάζονται στο ΒΔ και στο ΝΑ τμήμα της περιοχής. Διακρίνονται δύο καρστικοί όγκοι. Αυτός του Προφήτη Ηλία στα βορειοδυτικά της περιοχής και αυτός του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού στα νοτιοανατολικά της περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται γεωμορφολογικές τομές σε διευθύνσεις ΒΔ – ΝΑ και Β – Ν (Σχήμα 3.1, Σχήμα 3.2), ενώ οι θέσεις τους παρουσιάζεται στον τοπογραφικό χάρτη του Σχήματος 3.3.



**Σχήμα 3.1** Γεωμορφολογική τομή X – X' με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ



**Σχήμα 3.2** Γεωμορφολογική τομή Y – Y' με διεύθυνση Β - Ν



Σχήμα 3.3 Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Αναφορικά με το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής αυτό έχει κύριο κλάδο το χειμάρρο Γέρμα. Η κεντρική κοίτη του χειμάρρου ξεκινά από τη θέση συμβολής με την επαρχιακή οδό Βογατσικού – Δρυόβουνου, και αρχικά διασχίζει την ευρεία κοιλαδική περιοχή του χωριού Γέρμα.

Κατά τη διαδρομή της αυτή δέχεται κατά σειρά από τα δεξιά (ανατολικά) τις εκβολές των κεντρικών κοιτών των υπολεκανών Παπαδήμος (ρέμα Μπίλιας ή Ντουμπούσκα), Κεράσοβο και Μουρίκι και από τα αριστερά (δυτικά) τις εκβολές των κεντρικών κοιτών των υπολεκανών Χάβος Λάκκος και Κοκκινονέρι. Στη συνέχεια η κεντρική κοίτη του χειμάρρου Γέρμα ταυτίζεται με την κεντρική κοίτη της

υπολεκάνης Γιάζιας. Το κεντρικό ποτάμιο σύστημα έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και καταλήγει στον ποταμό Αλιάκμονα.

Σε ότι αφορά ειδικότερα τους ανθρακικούς όγκους της περιοχής του Βογατσικού, αυτοί παρουσιάζουν μικρή ανάπτυξη του υδρογραφικού τους δικτύου, γεγονός το οποίο και οφείλεται στη γεωλογική τους σύσταση και στα ιδιαίτερα έντονα καρστικά φαινόμενα που παρατηρούνται. Από επιτόπου παρατηρήσεις στην περιοχή, διαπιστώθηκε ότι ο καρστικός όγκος παρουσιάζεται καρστικοποιημένος, με πλήθος καρστικών μορφών όπως οπών, ρωγμών, κοιλωμάτων, αυλακώσεων, μικροσπηλαίων (Φωτ. 3.1, Φωτ. 3.2).

Τέλος αναφορικά με την κάλυψη των ανθρακικών όγκων από χερσαίες αποθέσεις αυτή είναι πολύ περιορισμένη, ενώ η βλάστηση συνίσταται από περιορισμένες εποχιακές πόες και από μερικούς μεμονωμένους θάμνους ή συστάδες δένδρων.



**Φωτ. 3.1** Καρστικές μορφές στους ανθρακικούς όγκους της περιοχής του Βογατσικού



**Φωτ. 3.2** Καρστικές μορφές στους ανθρακικούς όγκους της περιοχής του Βογατσικού

### 3.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ

Για την ποσοτική ανάλυση των ανθρακικών όγκων του Βογατσικού ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς των 20 m του τοπογραφικού χάρτη της ίδιας περιοχής, και στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.

Στη συνέχεια, για το κάθε καρστικό όγκο, υπολογίσθηκαν το εμβαδόν, η περίμετρός του, το μέσο υψόμετρο, καθώς επίσης και η μέση κλίση και η υψογραφική του καμπύλη. Οι δύο τελευταίοι παράμετροι εκφράζουν ποσοτικά το ανάγλυφο μιας περιοχής.

Το μέσο υψόμετρο μιας περιοχής ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των γινομένων του μέσου υψομέτρου ( $h'$ ) δύο διαδοχικών ισοϋψών επί την αντίστοιχη επιφάνειά τους ( $\varepsilon$ ), δια του συνολικού εμβαδού ( $E$ ) και δίνεται από τη σχέση:

$$H_M = \frac{\sum \varepsilon \cdot h'}{E} \quad (3.1)$$

Η μέση κλίση ( $P$ ) του εδάφους μιας περιοχής υπολογίζεται με τη μέθοδο Horton R.E., (1945). Κατά τη μέθοδο αυτή η μέση κλίση δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{d \cdot L}{E} \quad (3.2)$$

όπου:  $P$  = η ζητούμενη μέση κλίση (%)

$d$  = η ισοδιάσταση (m)

$E$  = η συνολική επιφάνεια της λεκάνης ( $m^2$ )

$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n$  το συνολικό μήκος των ισοϋψών (m)

Η υψογραφική καμπύλη είναι μια έκφραση του σταδίου απογυμνώσεως μιας περιοχής. Η υψογραφική καμπύλη δείχνει με απλό τρόπο την κατανομή της μάζας του αναγλύφου σε σχέση με το υψόμετρο. Στον άξονα των  $x$  παρουσιάζεται το σχετικό εμβαδόν (εμβαδόν περιοχής που βρίσκεται πάνω από ένα συγκεκριμένο υψόμετρο / συνολικό εμβαδόν της περιοχής) και στον άξονα των  $y$  το σχετικό υψόμετρο (υψόμετρο σε μια συγκεκριμένη θέση / μέγιστο υψόμετρο), (Κουτσογιάννης, 1997).

### 3.2.1 Ανθρακικός όγκος Προφήτη Ηλία

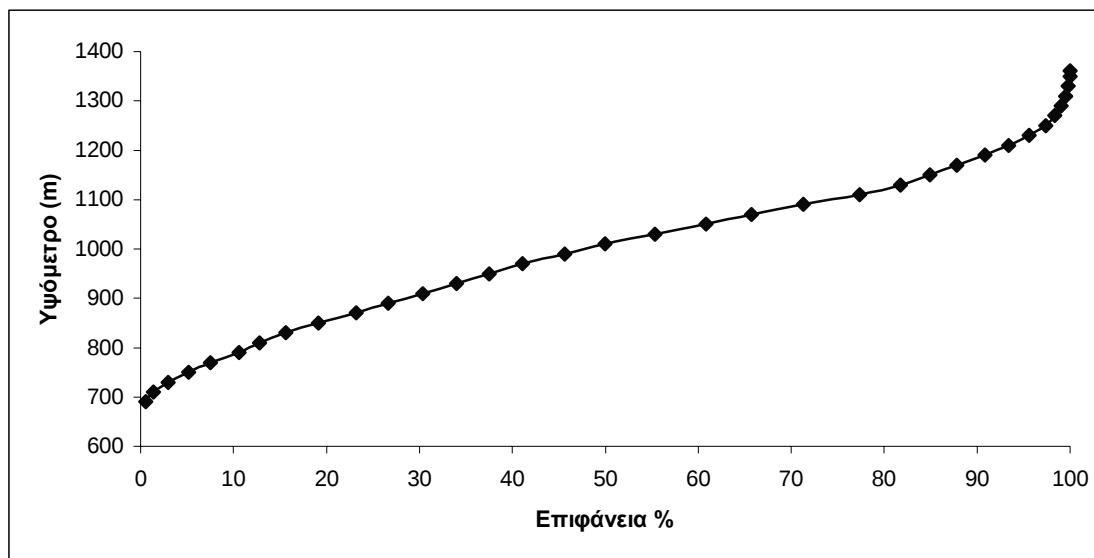
Από την ψηφιοποίηση που πραγματοποιήθηκε (Πίνακας 3.1) προκύπτει πως ο ανθρακικός όγκος του Προφήτη Ηλία καταλαμβάνει έκταση 25.342 km<sup>2</sup> με περίμετρο 30.192 km.

**Πίνακας 3.1** Ποσοτικά χαρακτηριστικά του ανθρακικού όγκου του Προφήτη Ηλία

| α/α           | Ισοϋψείς (m) | Μήκος ισοϋψών (km) | Ισοϋψείς (α) – (β) | Μέσο υψόμετρο h' (m) | Επιφάνεια ε μεταξύ (α) και (β) σε km <sup>2</sup> | E <sub>1</sub> % | E <sub>2</sub> % περικλειόμενη από την (β) |
|---------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|
| 0             |              |                    | <700               | 690                  | 0.145                                             | 0.572032         | 0.572032                                   |
| 1             | 700          | 2.6131             | 700-720            | 710                  | 0.1958                                            | 0.772441         | 1.344474                                   |
| 2             | 720          | 3.7392             | 720-740            | 730                  | 0.4135                                            | 1.631279         | 2.975753                                   |
| 3             | 740          | 7.8319             | 740-760            | 750                  | 0.5524                                            | 2.179247         | 5.155001                                   |
| 4             | 760          | 8.9104             | 760-780            | 770                  | 0.5958                                            | 2.350462         | 7.505463                                   |
| 5             | 780          | 10.3159            | 780-800            | 790                  | 0.784                                             | 3.092921         | 10.59838                                   |
| 6             | 800          | 11.551             | 800-820            | 810                  | 0.5554                                            | 2.191082         | 12.78946                                   |
| 7             | 820          | 13.1505            | 820-840            | 830                  | 0.7147                                            | 2.819529         | 15.60899                                   |
| 8             | 840          | 16.1455            | 840-860            | 850                  | 0.8866                                            | 3.497684         | 19.10668                                   |
| 9             | 860          | 17.7252            | 860-880            | 870                  | 1.0369                                            | 4.090625         | 23.1973                                    |
| 10            | 880          | 18.8435            | 880-900            | 890                  | 0.8627                                            | 3.40339          | 26.60070                                   |
| 11            | 900          | 20.384             | 900-920            | 910                  | 0.9542                                            | 3.764369         | 30.36507                                   |
| 12            | 920          | 21.2358            | 920-940            | 930                  | 0.9139                                            | 3.605384         | 33.97045                                   |
| 13            | 940          | 21.6988            | 940-960            | 950                  | 0.899                                             | 3.546602         | 37.51706                                   |
| 14            | 960          | 22.2552            | 960-980            | 970                  | 0.8987                                            | 3.545419         | 41.06248                                   |
| 15            | 980          | 22.3777            | 980-1000           | 990                  | 1.154                                             | 4.552591         | 45.61507                                   |
| 16            | 1000         | 24.1381            | 1000-1020          | 1010                 | 1.0971                                            | 4.328117         | 49.94319                                   |
| 17            | 1020         | 25.1639            | 1020-1040          | 1030                 | 1.3615                                            | 5.371190         | 55.3143                                    |
| 18            | 1040         | 25.8407            | 1040-1060          | 1050                 | 1.3932                                            | 5.496248         | 60.81062                                   |
| 19            | 1060         | 25.1534            | 1060-1080          | 1070                 | 1.2453                                            | 4.912774         | 65.72340                                   |
| 20            | 1080         | 25.9023            | 1080-1100          | 1090                 | 1.4124                                            | 5.571993         | 71.2953                                    |
| 21            | 1100         | 26.8432            | 1100-1120          | 1110                 | 1.5324                                            | 6.045399         | 77.34079                                   |
| 22            | 1120         | 3.7341             | 1120-1140          | 1130                 | 1.123                                             | 4.430294         | 81.77109                                   |
| 23            | 1140         | 18.1335            | 1140-1160          | 1150                 | 0.7971                                            | 3.144601         | 84.91569                                   |
| 24            | 1160         | 16.6022            | 1160-1180          | 1170                 | 0.7431                                            | 2.931569         | 87.84726                                   |
| 25            | 1180         | 14.5522            | 1180-1200          | 1190                 | 0.7661                                            | 3.022305         | 90.86956                                   |
| 26            | 1200         | 13.5797            | 1200-1220          | 1210                 | 0.6385                                            | 2.518916         | 93.38848                                   |
| 27            | 1220         | 32.7365            | 1220-1240          | 1230                 | 0.5649                                            | 2.228560         | 95.61704                                   |
| 28            | 1240         | 10.0585            | 1240-1260          | 1250                 | 0.4416                                            | 1.742135         | 97.35918                                   |
| 29            | 1260         | 6.8207             | 1260-1280          | 1270                 | 0.2547                                            | 1.004805         | 98.3639                                    |
| 30            | 1280         | 4.2309             | 1280-1300          | 1290                 | 0.1764                                            | 0.695907         | 99.0598                                    |
| 31            | 1300         | 3.2269             | 1300-1320          | 1310                 | 0.1194                                            | 0.471039         | 99.53093                                   |
| 32            | 1320         | 1.9096             | 1320-1340          | 1330                 | 0.0614                                            | 0.242226         | 99.77315                                   |
| 33            | 1340         | 1.3284             | 1340-1360          | 1350                 | 0.0501                                            | 0.19764          | 99.9708                                    |
| 34            | 1360         | 0.3212             | >1360              | 1361                 | 0.0074                                            | 0.029193         | 100                                        |
| <b>Σύνολο</b> |              | <b>499.0537</b>    |                    |                      | <b>25.3482</b>                                    |                  |                                            |

Από την σχέση 3.1 προκύπτει ότι το μέσο υψόμετρο του ανθρακικού όγκου ανέρχεται σε 1005.4 m. Επίσης από την σχέση 3.2 προκύπτει ότι η μέση κλίση του ανθρακικού όγκου είναι ίση με  $P = 0.39$  ή  $P = 39 \%$ , η οποία και αντιστοιχεί σε γωνία  $\varphi = 23.7^\circ$ . Με δεδομένο ότι η κλίση καθορίζει την ταχύτητα των επιφανειακών ρεόντων υδάτων και μέσου αυτής και των φαινομένων της διάβρωσης και της κατείσδυσης (Σούλιος 1975), είναι πιθανότερο να περιμένουμε, ανεξάρτητα με τη lithολογική σύσταση του όγκου, σχετικά μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή της υψογραφικής καμπύλης (Σχήμα 3.4). Από την υψογραφική καμπύλη διαπιστώνεται, πως παρουσιάζεται μια επιφάνεια επιπέδωσης στα 1000 - 1100 m περίπου, η οποία και είναι σαφής και στο ύπαιθρο. Ακόμη από την υψογραφική καμπύλη προκύπτει ότι το 50% του υψομέτρου της περιοχής, δηλ. σχεδόν τα 50% της επιφάνειας της περιοχής βρίσκονται κάτω από την ισοϋψή των 1000 m. Επίσης περίπου το 85% της επιφάνειας του καρστικού όγκου βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 1150 m.



Σχήμα 3.4 Η υψογραφική καμπύλη του ανθρακικού όγκου του Προφήτη Ηλία

### 3.2.2 Ανθρακικός όγκος πηγής Βογατσικού

Αναφορικά με τον ανθρακικό όγκο της πηγής του Βογατσικού, από την ψηφιοποίηση που πραγματοποιήθηκε (Πίνακας 3.2) προκύπτει πως ο ανθρακικός όγκος του Προφήτη Ηλία καταλαμβάνει έκταση 4.064 km<sup>2</sup> με περίμετρο 15.88 km.

Από την σχέση 3.1 προκύπτει ότι το μέσο υψόμετρο του ανθρακικού όγκου ανέρχεται σε 819.2 m. Επίσης από τη σχέση 3.2 και γνωρίζοντας από τον

ψηφιοποιημένο τοπογραφικό χάρτη ότι το εμβαδόν του καρστικού όγκου είναι  $E = 4.064 \text{ km}^2$ , προκύπτει ότι η μέση κλίση είναι ίση με  $P = 0.46$  ή  $P = 46 \%$ , η οποία και αντιστοιχεί σε γωνία  $\varphi = 27.5^\circ$ .

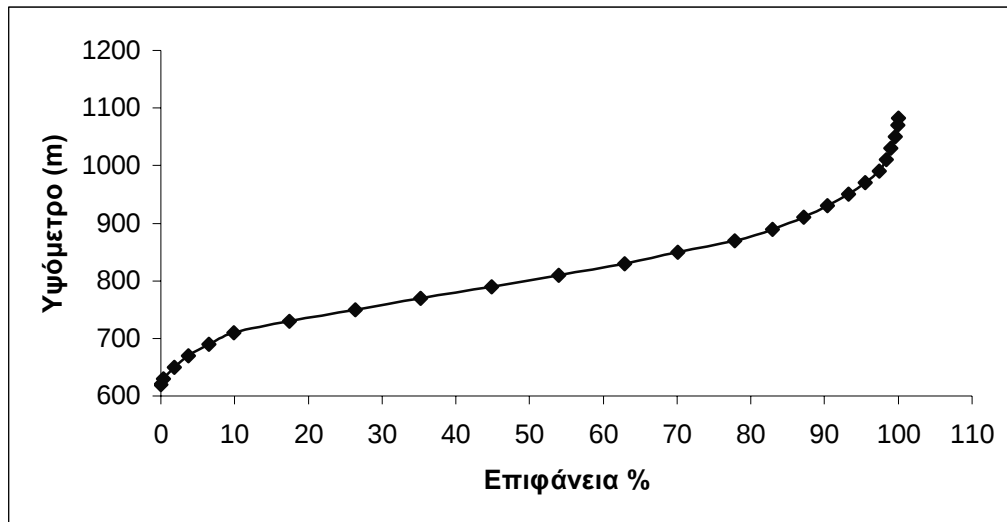
Και σε αυτή την περίπτωση από την μεγάλη τιμή της κλίσης, είναι πιθανότερο να περιμένουμε μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής. Ωστόσο λόγω της λιθολογίας των σχηματισμών (ανθρακικά πετρώματα) ο συντελεστής επιφανειακής απορροής, όπως και στους γειτονικούς ανθρακικούς όγκους του Προφήτη Ηλία, θα είναι μικρός.

**Πίνακας 3.2** Ποσοτικά χαρακτηριστικά του ανθρακικού όγκου της πηγής Βογατσικού

| a/a           | Ισοϋψείς (m) | Μήκος ισοϋψών (km) | Ισοϋψείς (α) – (β) | Μέσο υψόμετρο h' (m) | Επιφάνεια ε μεταξύ (α) και (β) σε $\text{km}^2$ | E <sub>1</sub> % | E <sub>2</sub> % περικλειόμενη από την (β) |
|---------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|
| 0             |              |                    | <620               | 620                  | 0.0002                                          | 0.0049219        | 0.004921                                   |
| 1             | 620          | 0.0674             | 620-640            | 630                  | 0.0141                                          | 0.3469915        | 0.351913                                   |
| 2             | 640          | 0.8849             | 640-660            | 650                  | 0.0599                                          | 1.4740987        | 1.826012                                   |
| 3             | 660          | 1.5023             | 660-680            | 670                  | 0.076                                           | 1.8703088        | 3.696320                                   |
| 4             | 680          | 1.6803             | 680-700            | 690                  | 0.1132                                          | 2.7857758        | 6.482096                                   |
| 5             | 700          | 2.564              | 700-720            | 710                  | 0.1396                                          | 3.435462         | 9.917558                                   |
| 6             | 720          | 3.715              | 720-740            | 730                  | 0.3049                                          | 7.5033838        | 17.42094                                   |
| 7             | 740          | 6.1794             | 740-760            | 750                  | 0.3629                                          | 8.9307247        | 26.35166                                   |
| 8             | 760          | 7.1765             | 760-780            | 770                  | 0.3587                                          | 8.8273656        | 35.17903                                   |
| 9             | 780          | 8.2617             | 780-800            | 790                  | 0.3939                                          | 9.6936139        | 44.87264                                   |
| 10            | 800          | 8.7223             | 800-820            | 810                  | 0.3699                                          | 9.10299          | 53.97563                                   |
| 11            | 820          | 8.6867             | 820-840            | 830                  | 0.3614                                          | 8.8938108        | 62.86944                                   |
| 12            | 840          | 8.2204             | 840-860            | 850                  | 0.2939                                          | 7.2326812        | 70.10212                                   |
| 13            | 860          | 7.825              | 860-880            | 870                  | 0.3146                                          | 7.7420943        | 77.84422                                   |
| 14            | 880          | 6.2858             | 880-900            | 890                  | 0.2079                                          | 5.1162791        | 82.96050                                   |
| 15            | 900          | 5.0392             | 900-920            | 910                  | 0.1724                                          | 4.242648         | 87.20314                                   |
| 16            | 920          | 4.0477             | 920-940            | 930                  | 0.1283                                          | 3.1573766        | 90.36052                                   |
| 17            | 940          | 3.4548             | 940-960            | 950                  | 0.1183                                          | 2.9112834        | 93.27181                                   |
| 18            | 960          | 3.1552             | 960-980            | 970                  | 0.0918                                          | 2.2591362        | 95.53094                                   |
| 19            | 980          | 2.795              | 980-1000           | 990                  | 0.0758                                          | 1.865387         | 97.39633                                   |
| 20            | 1000         | 1.9397             | 1000-1020          | 1010                 | 0.0395                                          | 0.9720684        | 98.36840                                   |
| 21            | 1020         | 1.0125             | 1020-1040          | 1030                 | 0.024                                           | 0.5906238        | 98.95902                                   |
| 22            | 1040         | 0.8122             | 1040-1060          | 1050                 | 0.0264                                          | 0.6496862        | 99.6087                                    |
| 23            | 1060         | 0.4711             | 1060-1080          | 1070                 | 0.0125                                          | 0.3076166        | 99.91632                                   |
| 24            | 1080         | 0.2836             | >1080              | 1082                 | 0.0034                                          | 0.0836717        | 100                                        |
| <b>Σύνολο</b> |              | <b>94.7827</b>     |                    |                      | <b>4.064</b>                                    |                  |                                            |

Στη συνέχεια από τα δεδομένα του Πίνακα 3.2 κατασκευάστηκε η υψογραφική καμπύλη του Σχήματος 3.5. Από την υψογραφική καμπύλη διαπιστώνεται, πως παρουσιάζεται μια επιφάνεια επιπέδωσης στα 700 m περίπου, η

οποία και είναι σαφής και στο ύπαιθρο. Ακόμη από την υψογραφική καμπύλη προκύπτει ότι το 50% του υψομέτρου της περιοχής, δηλ. σχεδόν τα 50% της επιφάνειας της περιοχής βρίσκονται κάτω από την ισοϋψή των 800 m. Επίσης περίπου το 85% της επιφάνειας του καρστικού όγκου βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 900 m.



**Σχήμα 3.5** Η υψογραφική καμπύλη του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού

Στον παρακάτω Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα κυριότερα γεωμορφολογικά στοιχεία των ανθρακικών όγκων της περιοχής του Βογατσικού όπως αυτά προσδιορίστηκαν ύστερα από αξιολόγηση του τοπογραφικού υποβάθρου.

**Πίνακας 3.3** Τα κυριότερα γεωμορφολογικά στοιχεία των ανθρακικών όγκων της περιοχής του Βογατσικού

| a/a | Παράμετροι        |                  | Ανθρακικός όγκος Προφήτη Ηλία | Ανθρακικός όγκος Πηγής Βογατσικού |
|-----|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1   | Εμβαδόν περιοχής  | E                | 25.342 km <sup>2</sup>        | 4.064 km <sup>2</sup>             |
| 2   | Περίμετρος        | P <sub>A</sub>   | 30.192 km                     | 15.88 km                          |
| 3   | Μέγιστο υψόμετρο  | Z <sub>max</sub> | 1361 m                        | 1083 m                            |
| 4   | Ελάχιστο υψόμετρο | Z <sub>min</sub> | 690 m                         | 620 m                             |
| 5   | Μέσο υψόμετρο     | H <sub>M</sub>   | 1005.4 m                      | 819.2 m                           |
| 6   | Μέση κλίση (P)    | P                | 39 %                          | 23.7°                             |
| 7   | Αντίστοιχη γωνία  | φ                | 46 %                          | 27.5°                             |

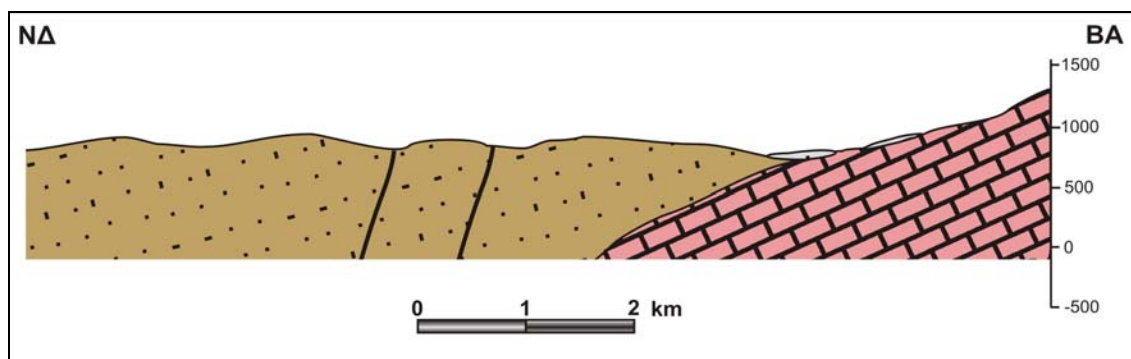
## 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

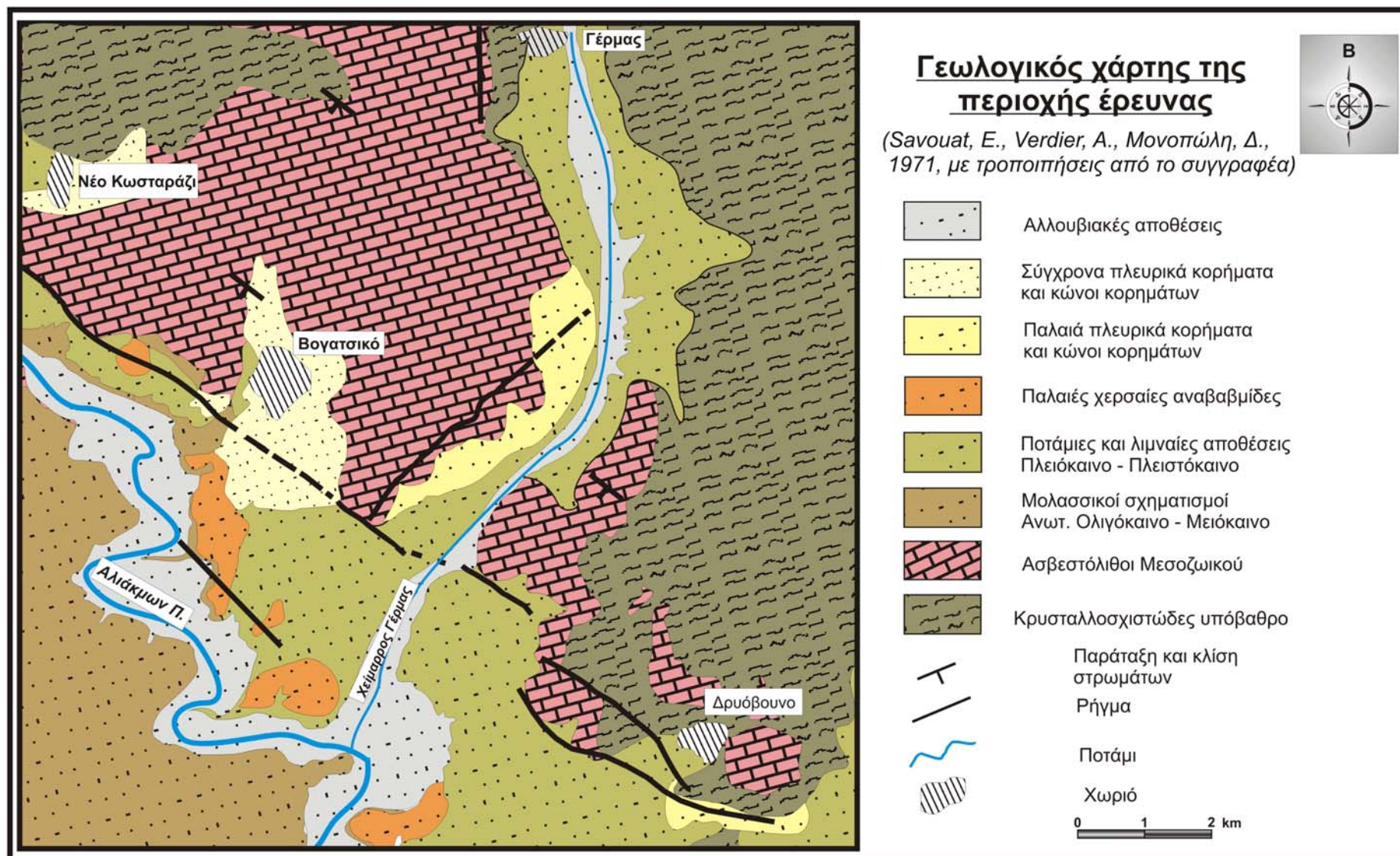
Η περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Πελαγονική ζώνη, η οποία θεωρείται ότι είναι ένα υπόλειμμα ηπειρωτικού τεμάχους της Κιμμερικής ηπείρου (Brunn, 1956 – Aubouin, 1959). Εκατέρωθεν αυτής αναπτύχθηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές, η Παλαιοθυός (ζώνη Αξιού) και η Νεοθυός (Υποπελαγονική – Πίνδος). Η ζώνη χωριζόταν σε τρία τμήματα με δύο διαύλους (Κοζάνης και Κεντρικής Εύβοιας). Στη διάρκεια του Μεσοζωικού η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ήταν ανθρακική, καθαρά νηριτική με εξαίρεση τους παραπάνω διαύλους, όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες.

Η ζώνη έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και εκτείνεται από τη Γιουγκοσλαβία προς τους ορεινούς όγκους της βόρειας και κεντρικής Ελλάδος, του Βέρνου, του Βόρρα (Καϊμασκτσαλάν), των Πιερίων, του Ολύμπου μέχρι την Εύβοια και από εκεί κάμπτεται ανατολικά προς τις Σποράδες (Μουντράκης, 1985). Χαρακτηρίζεται από την παρουσία κρυσταλλικών πετρωμάτων και από μια σειρά ανθρακικών νηριτικών ιζημάτων. Συνοπτικά στα πετρώματα της περιοχής περιλαμβάνονται μεταμορφωμένα και πλουτωνικά, αλπικά ανθρακικά ιζήματα και μεταλικά μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας, Πλειστοκαινικά και τέλος χαλαροί Τεταρτογενείς σχηματισμοί.

Η λεπτομερής γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Βογατσικού παρουσιάζεται στο γεωλογικό χάρτη του Σχήματος 4.2, ενώ παρακάτω παρουσιάζεται μια γεωλογική τομή με γενική διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ, η οποία και θεωρείται αντιπροσωπευτική για την περιοχή (Σχήμα. 4.1).



**Σχήμα 4.1** Γεωλογική τομή της ευρύτερης περιοχής έρευνας (υπόμνημα όμοιο με αυτό του γεωλογικού χάρτη, Σχήμα 4.2)



Σχήμα 4.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας

## 4.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

### 4.2.1 Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα

Το μεγαλύτερο τμήμα της ορεινής περιοχής στα ανατολικά – βορειοανατολικά, καθώς επίσης και στα βορειοδυτικά, κατέχεται από το προαλπικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης. Αυτό συνίσταται από μεταμορφωμένα και ημιμεταμορφωμένα πετρώματα. Πιο συγκεκριμένα τα πετρώματα που αποτελούν το υπόβαθρο είναι: Αρκόζες, φυλλίτες, χαλαζίτες, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι και μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι (Osswald, 1938 – Savouat et al, 1971 – Mountrakis, 1979 – Βαφειάδης, 1983).

Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο αντιπροσωπεύεται από δύο συστήματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων, του κατώτερου ορίζοντα και του ανώτερου ορίζοντα από εναλλαγές γνευσίων, διμαρμαρυγικών σχιστολίθων, αμφιβολιτών και μαρμάρων Μεσοζωικής ηλικίας. Οι γνεύσιοι του κατώτερου ορίζοντα είναι ανοιχτόχρωμοι υπόλευκοι έως γκρίζοι. Παρουσιάζονται καταθέσεις σχιστοποιημένοι με πολύ καλή σχιστότητα, ενώ σε αρκετές θέσεις παρουσιάζονται εξαλλοιωμένοι.

Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται κυρίως από σχιστολίθους με ενστρώσεις χαλαζιτών και σε μικρότερη κλίμακα μαρμάρων, σιπολινών και σερπεντινών. Ο ορίζοντας αυτός υπέρκειται του κατώτερου ορίζοντα άλλοτε σε συμφωνία και άλλοτε σε ασυμφωνία μεταξύ τους. Η γενική διεύθυνση των γνευσίων και σχιστολίθων είναι ΒΔ έως ΒΑ και σχεδόν πάντα έχουν μικρές κλίσεις  $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  με διεύθυνση κλίσης άλλοτε προς τα ανατολικά και άλλοτε προς τα δυτικά λόγω της γενικής πτύχωσης που επικράτησε στην περιοχή.

Στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής το σύνολο των πιο πάνω πετρωμάτων παρουσιάζεται αδιαίρετο, με δεδομένη την παρόμοια υδρογεωλογική συμπεριφορά τους. Η ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Πελαγονικής ζώνης αναφέρεται ότι είναι Παλαιοζωϊκή (Osswald, 1938 – Brun, 1956 – Μαράτος, 1972 – Μουντράκης, 1976).

### 4.2.2 Ανθρακικά πετρώματα

Τα ανθρακικά πετρώματα, που συνίστανται από κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, ασβεστολίθους και δολομιτικούς ασβεστολίθους, καταλαμβάνουν

σχετικά μεγάλη έκταση. Η μεγαλύτερη εμφάνισή τους είναι αυτή που αναπτύσσεται νοτιοανατολικά της λίμνης Καστοριάς και βόρεια του χωριού Βογατσικό (υψώματα Κορησού, Σαρακίνας, Προφ. Ηλία). Επίσης άλλη μια σημαντική ασβεστολιθική εμφάνιση είναι αυτή που εκτείνεται ανατολικά του χειμάρρου Γέρμα (ύψωμα Καστρί).

Οι εμφανίσεις αυτές των ανθρακικών πετρωμάτων παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, γιατί συνδέονται με την εκδήλωση αξιόλογων καρστικών πηγών, ορισμένες εμφανίσεις τους ρυθμίζουν, σε σημαντικό βαθμό, τη δίατα της λίμνης Καστοριάς και τέλος άλλες τροφοδοτούν τους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες της παραλίμνιας πεδινής περιοχής (Βαφειάδης, 1983).

Γενικά τα πετρώματα αυτά έχουν χρώμα λευκό ή τεφρό, στην πλειονότητά τους είναι μέσο – παχυστρωματώδη και λιγότερο λεπτοστρωματώδη. Είναι διερρηγμένα, καρστικοποιημένα σε προχωρημένο βαθμό και μυλωνιτωμένα κατά μήκος των σημαντικότερων ρηξιγενών δομών. Αναφορικά με τις κλίσεις των στρωμάτων, αυτές είναι μικρές ( $10^{\circ} - 15^{\circ}$ ) ενώ οι διευθύνσεις κλίσεων τόσο στο δυτικό τμήμα (περιοχή ανάπτυξης του ανθρακικού όγκου του Προφήτη Ηλία) όσο και στο ανατολικό τμήμα (περιοχή ανάπτυξης του ανθρακικού όγκου της πηγής Βογατσικού) είναι προς τα ΝΔ.

Η ηλικία των ασβεστολιθικών αυτών εμφανίσεων, με βάση παλαιοντολογικά ευρήματα, που βρέθηκαν τόσο στην περιοχή έρευνας (Mountrakis, 1979) όσο και σε γειτονικές περιοχές (Brunn, 1956 – Savouat et al, 1971), είναι Τριαδική – Ιουρασική.

#### 4.2.2 Ιζήματα του Τριτογενούς

Οι Τριτογενείς σχηματισμοί αναπτύσσονται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής και συνίστανται, κατά το μεγαλύτερο μέρος τους, από μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας και σε μικρότερο ποσοστό από πλειοπλειστοκαινικές λιμνοποτάμιες αποθέσεις (Βαφειάδης, 1983).

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη, φύλλο Άργος Ορεστικό, το μέγιστο πάχος των μολασσικών ιζημάτων, τα οποία άρχισαν να αποτίθενται στη Μεσοελληνική Αύλακα από το Ανωτ. Ολιγόκαινο και συνεχίστηκαν στο Μειόκαινο, ανέρχεται σε μερικές χιλιάδες μέτρα. Λιθολογικά αποτελούνται από μαργαϊκά στρώματα με ζώνες κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και ψαμμιτικών ασβεστολίθων, ενώ ψηλότερα επικρατούν κυανές μάργες.

Τα πλειοκαινικά ιζήματα της περιοχής αποτέθηκαν μετά τη χέρσευση των μολассικών ιζημάτων και το σχηματισμό των λιμνών στο Ανώτερο Μειόκαινο – Πλειόκαινο με την τεκτονική φάση των ανυψώσεων και διαρρήξεων που ακολούθησε (Βαφειάδης, 1983).

Λιθολογικά αποτελούνται από χαλαρά κροκαλοπαγή, κυανές – υποπράσινες μάργες και χαλαρούς ψαμμίτες με κόκκους ποικίλου μεγέθους, καθώς και από κροκαλοπαγή και ερυθρές αργίλους στα υψηλότερα τμήματά τους.

Η γεωγραφική τους εξάπλωση περιορίζεται κατά μήκος των κοιτών των κυρίων υδατορευμάτων της περιοχής, και πιο συγκεκριμένα του χειμάρρου Γέρμα καθώς επίσης και στα νότια τμήματα της περιοχής μελέτης.

#### 4.2.2 Χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις

Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις περιλαμβάνονται: οι σύγχρονες χερσαίες αποθέσεις με τη μορφή χαλαρών προσχώσεων κοιλάδων, οι ποταμοχειμάρειες αποθέσεις και τα ριπίδια, τα κορήματα των κλιτύων, καθώς επίσης και τα αποσαθρώματα των διαφόρων πετρωμάτων.

Τα κορήματα κλιτύων απαντούν στις υπώρειες και ειδικότερα στη βάση απότομων κλιτύων κυρίως ασβεστολιθικών, αλλά και κρυσταλοσχιστωδών πετρωμάτων.

Τα αλλουβιακά ριπίδια, τα οποία απαντούν στις εξόδους των χειμάρρων, συνίστανται από λατύπες και κροκάλες μέτρια αποστρογγυλεμένες. Μεταξύ τους υπάρχει άμμος, αμμοϊλός ή καστανέρυθη άργιλος. Το πάχος των αποθέσεων αυτών ποικίλει. Γενικά, αυτό είναι μικρό στις πλευρές, ενώ προς το εσωτερικό των ριπιδίων και προς τα κατάντι γίνεται μεγαλύτερο.

Τέλος οι αλλουβιακές αποθέσεις της πεδινής περιοχής συνίστανται από εναλλασσόμενες στρώσεις αδρομερών και λεπτόκοκκων αποθέσεων (κροκαλών, αμμοχάλικων, αμμοϊλίων, αργίλων κλπ.). Το πάχος αυτών είναι αρκετά μεγάλο (Βαφειάδης, 1983).

### 4.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Σύμφωνα με απόψεις διαφόρων ερευνητών που αναφέρει ο Μουντράκης (1985, 1988) στην περιοχή έλαβαν χώρα τέσσερις ορογενετικές περίοδοι:

**1<sup>η</sup> Παραμορφωτική φάση (ERC) Ερκύνιας ηλικίας.** Τα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής υπέστησαν μια πρώτη παραμόρφωση πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Η φάση αυτή ήταν συμμεταμορφική με την πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους και σχημάτισε πτυχές τέλειες ισοκλινείς, αξονικής διεύθυνσης  $155^{\circ} - 160^{\circ}$ . Η παραμόρφωση αυτή σχημάτισε επίσης την κύρια φύλλωση στα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους με τη μορφή σχιστότητας  $S_1$  παράλληλη στα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών.

**2<sup>η</sup> Ορογενετική περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού.** Στην περίοδο αυτή έγινε η καταστροφή των δύο ωκεάνιων περιοχών Αξιού και Υποπελαγονικής – Πίνδου εκατέρωθεν της Πελαγονικής ηπειρωτικής μάζας. Στο Ανώτερο Ιουρασικό υπολογίζεται ότι έγινε η επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στο ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής με κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων ( $JE_1$ ). Αυτή σχημάτισε πτυχές υποίσοκλινείς έως ισοκλινείς αξονικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ ( $150^{\circ} - 170^{\circ}$ ) και συνοδεύονταν από σχιστότητα  $S_2$ , που ήταν η δεύτερη σχιστότητα για τα πετρώματα του υποβάθρου αλλά η πρώτη και κύρια σχιστότητα για τα πετρώματα του Μεσοζωικού. Στην ίδια φάση έγινε και η επώθηση του ανατολικού ανθρακικού καλύμματος πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

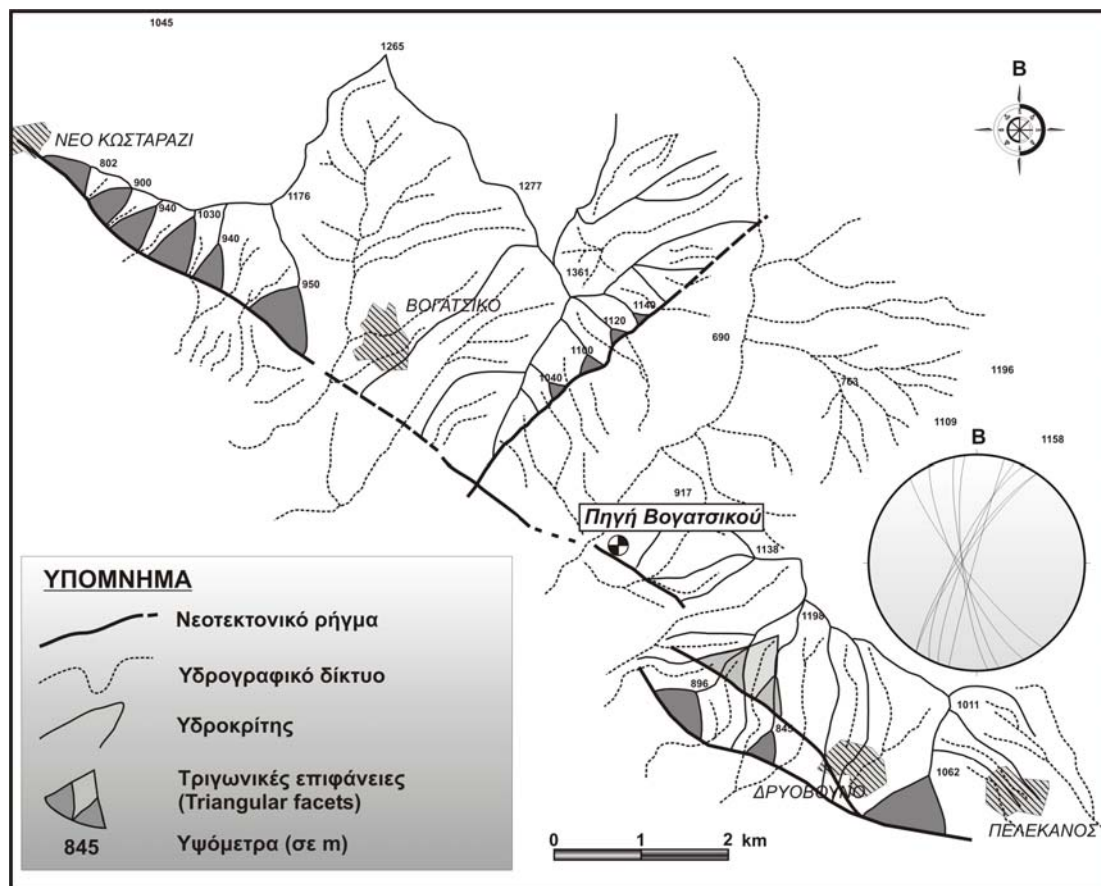
Το κλείσιμο της δυτικής ωκεάνιας λεκάνης και η επώθηση των οφειολίθων της Υποπελαγονικής από Δ προς Α πάνω στο δυτικό ανθρακικό περιθώριο της Πελαγονικής υπολογίζεται ότι έγινε στο Κάτω Κρητιδικό, και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων ( $JE_2$ ). Αυτή προκάλεσε πτυχές κλειστές – ανοιχτές, ισοπαχείς ή όμοιες, που πολλές φορές συνοδεύονται από σχιστότητα ολίσθησης και οι οποίες έχουν άξονες διεύθυνσης  $0^{\circ} - 30^{\circ}$  και απόκλιση προς τα Α ή ΝΑ. Με τις τεκτονικές αυτές φάσεις του Ιουρασικού και Κρητιδικού, λόγω της ακαμψίας της Πελαγονικής μάζας, δημιουργήθηκαν ολισθήσεις του μεσοζωικού καλύμματος πάνω στο υπόβαθρο καθώς και μια έντονη τεκτονική θραύσης (Μουντράκης, 1976).

**3<sup>η</sup> Ορογενετική περίοδος Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου.** **Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων.** Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής ζώνης έγινε μετά το τέλος Κρητιδικού και πριν το μέσο Ηώκαινο. Στο διάστημα αυτό έλαβαν χώρα δύο φάσεις πτυχώσεων: μια ( $CT_1$ ) με πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και απόκλισης προς τα ΝΔ και μια άλλη ( $CT_2$ ) με πτυχές κλειστές – ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ ( $70^{\circ} - 80^{\circ}$ ) και απόκλισης προς τα ΝΑ. Τέλος στην περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου έγινε η τελική

Παραμόρφωση (CT<sub>3</sub>) των σχηματισμών προκαλώντας πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick γενικής αξονικής διεύθυνσης B – N ή BΔ - NNA.

**4<sup>η</sup> Ορογενετική περίοδος Νεογενούς – Τεταρτογενούς.** Κατά την περίοδο του Ανωτέρου Μειοκαίνου – Κατωτέρου Πλειοκαίνου η περιοχή βρισκόταν κάτω από την επίδραση συμπιεστικών δυνάμεων. Κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου αναπτύχθηκε εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο, οι τάσεις του οποίου είχαν ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση, με αποτέλεσμα να επαναδραστηριοποιηθούν πολλά παλαιότερα ρήγματα και να δημιουργηθούν μικρά και μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα. Στο Κατώτερο Τεταρτογενές διακόπηκε ο εφελκυσμός από συμπιεστικές τάσεις. Τέλος από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα ο ευρύτερος χώρος βρίσκεται σε μια εκτεταμένη φάση με κύρια διεύθυνση εφελκυσμού B- N.

Με αυτήν την ορογενετική περίοδο είναι πιθανόν συνδεδεμένες οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν στις Τριαδικοϊουρασικές ανθρακικές μάζες της περιοχής, οι οποίες παρουσιάζονται έντονα διερρηγμένες με βασικές διευθύνσεις ρηγμάτων ΒΑ – ΝΔ, Β – Ν και ΒΔ – ΝΑ (Σχήμα 4.3).



**Σχήμα 4.3** Μορφοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ανθρακικού όγκου της πηγής Βογατσικού (Μυριούνης,Χ., Βαλκανιώτης, Σ.)

#### 4.4 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Αναφορικά με τις παλαιογεωγραφικές συνθήκες της περιοχής, κατά το Περμοτριάδικό άρχισε η προετοιμασία του ανοίγματος του ωκεανού δυτικά και ανατολικά της Πελαγονικής (Μουντράκης, 1998).

Κατά την ορογενετική περίοδο του Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού έγινε η καταστροφή των δύο ωκεάνιων περιοχών εκατέρωθεν της Πελαγονικής, με αποτέλεσμα τον ισχυρό τεκτονισμό των πετρωμάτων και την επώθηση οφειολιθικών μαζών, με τα συνοδεύοντα σε αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας, πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής.

Στο Μέσω – Άνω Κρητιδικό, και ενώ προϋπήρξε η ανάδυση γενικότερα των εσωτερικών ζωνών κατά την Ανωϊουρασική – Κατωκρητιδική ορογένεση, πραγματοποιήθηκε επίκληση της θάλασσας. Τα ιζήματα της επίκλησης τοποθετούνται με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα των Τριαδικοιουρασικών καλυμμάτων, είτε ακόμα τοποθετούνται με επικλυσιογενή ασυμφωνία πάνω στους οφειόλιθους και στα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα.

Ακόμη, και ενώ κατά το Πριαμπόνιο έχει δημιουργηθεί η Μεσοελληνική Αύλακα πραγματοποιείται κατά το Κάτω Μειόκαινο (Άνω Ακουιτάνιο – Βουρδιγάλιο) απόθεση μολασσικών ιζημάτων στην περιοχή.

Τέλος τα πλειοκαινικά ιζήματα της περιοχής αποτέθηκαν μετά τη χέρσευση των μολασσικών ιζημάτων και το σχηματισμό των λιμνών στο Ανώτερο Μειόκαινο – Πλειόκαινο με την τεκτονική φάση των ανυψώσεων και διαρρήξεων που ακολούθησε.

## **5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του ορεινού όγκου του Προφήτη Ηλία και του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού διερευνώνται με αξιολόγηση της υδρολιθολογίας των σχηματισμών που απαρτίζουν τους ορεινούς όγκους, της τεκτονικής και στρωματογραφικής τους σχέσης, τη διερεύνηση των μεταξύ τους σχέσεων και την αξιολόγηση των όποιων υδροσημείων που εντοπίζονται στην περιοχή.

### **5.2 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ**

#### **5.2.1 Κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα**

Η μάζα ενός συμπαγούς, υγιούς χωρίς διάβρωση ή αποσάθρωση μεταμορφωμένου πετρώματος έχει πορώδες μικρότερο του 3 % (Davis and Wiest, 1967) και τα διάκενά του είναι μικρά και συνήθως δεν επικοινωνούν υδραυλικά μεταξύ τους. Η τιμή αυτή ανταποκρίνεται στο πρωτογενές πορώδες των σχηματισμών αυτών. Τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά κατά συνέπεια είναι πρακτικά αμελητέα.

Ωστόσο κατά μήκος προνομακών ζωνών που μπορεί να αναπτύσσονται σε τέτοια πετρώματα και που αυτές ταυτίζονται με ζώνες διαρρήξεων, επιφάνειες ασυνεχειών, δηλαδή, στρώσεων, σχιστότητας, διακλάσεων, ρηγμάτων, ζωνών μυλωνιτίωσης και αποσάθρωσης, αναπτύσσονται υδραυλικές αγωγιμότητες και δευτερογενή ενεργά πορώδη που επιτρέπουν τη διακίνηση και αποθήκευση αξιόλογων ποσοτήτων υπόγειου νερού. Στις περιπτώσεις αυτές η υδροφορία ελέγχεται από το εύρος των δομών αυτών, το πλήθος και τη συχνότητά τους καθώς επίσης και από το υλικό πλήρωσής τους.

Από την επιτόπου διερεύνηση της περιοχής διαπιστώνεται ότι στο ανατολικό της τμήμα, στην περιοχή του όρους Μακροβούνι, παρουσιάζονται ορισμένες αναβλύσεις, οι οποίες ωστόσο δηλώνουν χαμηλή δυναμικότητα και περιορισμένη υδροχωρητικότητα του υδροφορέα. Οι αναβλύσεις αυτές παρουσιάζονται στη ζώνη αποσάθρωσης των μεταμορφωμένων πετρωμάτων και εμφανίζουν μεγάλη εποχιακή

διακύμανση των παροχών τους, ενώ το θέρους στερεύουν. Γενικά τα πετρώματα του υποβάθρου της περιοχής συμπεριφέρονται πρακτικά ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

### 5.2.2 Ανθρακικά πετρώματα

Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής είναι παχυστρωματώδεις, ελεύθεροι από ενδιάμεσες σχιστοφυλλτικές ενστρώσεις και έντονα διερρηγμένοι. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως παρουσιάζονται καρστικοποιημένοι και εμφανίζουν μεγάλη δευτερογενή περατότητα. Η κλίση τους είναι ελαφρά προς τα νοτιοδυτικά.

Κατά τον Castany (1963) η κατακόρυφη περατότητα στα ανθρακικά πετρώματα είναι συνήθως 2 – 10 φορές μεγαλύτερη της οριζόντιας. Η έλλειψη αργιλομαργαϊκών προσμίξεων στην ασβεστολιθική μάζα ευνοεί τους μηχανισμούς διάλυσης – καρστικοποίησης. Με δεδομένο το μεγάλο πλήθος των καρστικών φαινομένων (οπές, γλυφές, ρωγμές, κοιλώματα, αυλακώσεις, μικροσπήλαια, κ.λ.π.) που παρουσιάζονται στην περιοχή, αναμένονται υψηλές τιμές της διαπερατότητας καθώς επίσης και του συντελεστή κατείσδυσης. Επίσης, η σε μικρό βαθμό ανάπτυξη επιφανειακού δικτύου αποστράγγισης δηλώνει έμμεσα μεγάλη τιμή συντελεστή κατείσδυσης. Στα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής αναπτύσσονται αξιόλογες υδροφορίες, η αξιολόγηση και διερεύνηση των οποίων γίνεται παρακάτω.

### 5.2.3 Κοκκώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η υδρογεωλογική συμπεριφορά των ιζημάτων του Μειοκαίνου – Πλειο-πλειστοκαίνου καθώς και εκείνη των προσχωσιγενών αποθέσεων του Τεταρτογενούς. Τα πρώτα, που αναπτύσσονται στις νότιες παρυφές των ανθρακικών όγκων και στη μεγαλύτερη έκτασή τους καλύπτονται από παλαιές χερσαίες αποθέσεις, συνίστανται όπως έχει ήδη αναφερθεί, από μαργαϊκά στρώματα με ζώνες κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και ψαμμιτικών ασβεστολίθων, ενώ ψηλότερα επικρατούν κυανές μάργες.

Χαρακτηρίζονται από φτωχή υδροφορία κυρίως λόγω της λιθολογικής τους σύστασης, η οποία αποτελείται κυρίως από λεπτόκοκκα αργιλομαργαϊκά ιζήματα, ενώ το πάχος των αδρομερών διαπερατών στρωμάτων είναι μικρό και οι παροχές των εγκλωβισμένων υδροφόρων στρωμάτων, που αναπτύσσονται σ' αυτά, είναι περιορισμένες (Βαφειάδης, 1983).

Τα Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα της περιοχής αναπτύσσονται στις βορειοδυτικές, δυτικές και νοτιοδυτικές παρυφές του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού, κύρια κατά μήκος του χειμάρρου Γέρμα, ο οποίος και γειτνιάζει από τα δυτικά με τον ανθρακικό όγκο. Το πάχος τους ποικίλει και σε γενικές γραμμές αυξάνεται από τις παρυφές της πεδινής έκτασης προς το κέντρο της. Γενικά είναι ημιπερατός σχηματισμός.

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στα παραπάνω στρώματα, είναι χαμηλής δυναμικότητας, λόγω των ιδιαίτερων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σχηματισμού και τροφοδοτούνται σχεδόν αποκλειστικά από τους μεγάλους καρστικούς όγκους του Προφήτη Ηλία, καθώς επίσης και από τον καρστικό όγκο της πηγής του Βογατσικού. Επίσης επιφανειακή τροφοδοσία παρατηρείται και από τα επιφανειακά νερά που απάγονται από το υδρογραφικό δίκτυο του χειμάρρου Γέρμα.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις (χαλαρές προσχώσεις κοιλάδων, ποταμο-χειμάρια αποθέσεις και ριπίδια, κορήματα των κλιτύων, αποσαθρώματα των διαφόρων πετρωμάτων) παρουσιάζονται κυρίως δυτικά του ανθρακικού όγκου της πηγής Βογατσικού, στους πρόποδες του καρστικού όγκου του Προφήτη Ηλία. Επίσης παρουσιάζονται και κατά μήκος του χειμάρρου Γέρμα και έρχονται σε επαφή με τον καρστικό όγκο στους πρόποδες του όρους Καστρί. Γενικά αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς, με μικρότερη ωστόσο περατότητα από αυτήν των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής, αλλά το μικρό πάχος τους και η περιορισμένη εξάπλωσή τους στην περιοχή τα καθιστά μη αξιόλογου υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος.

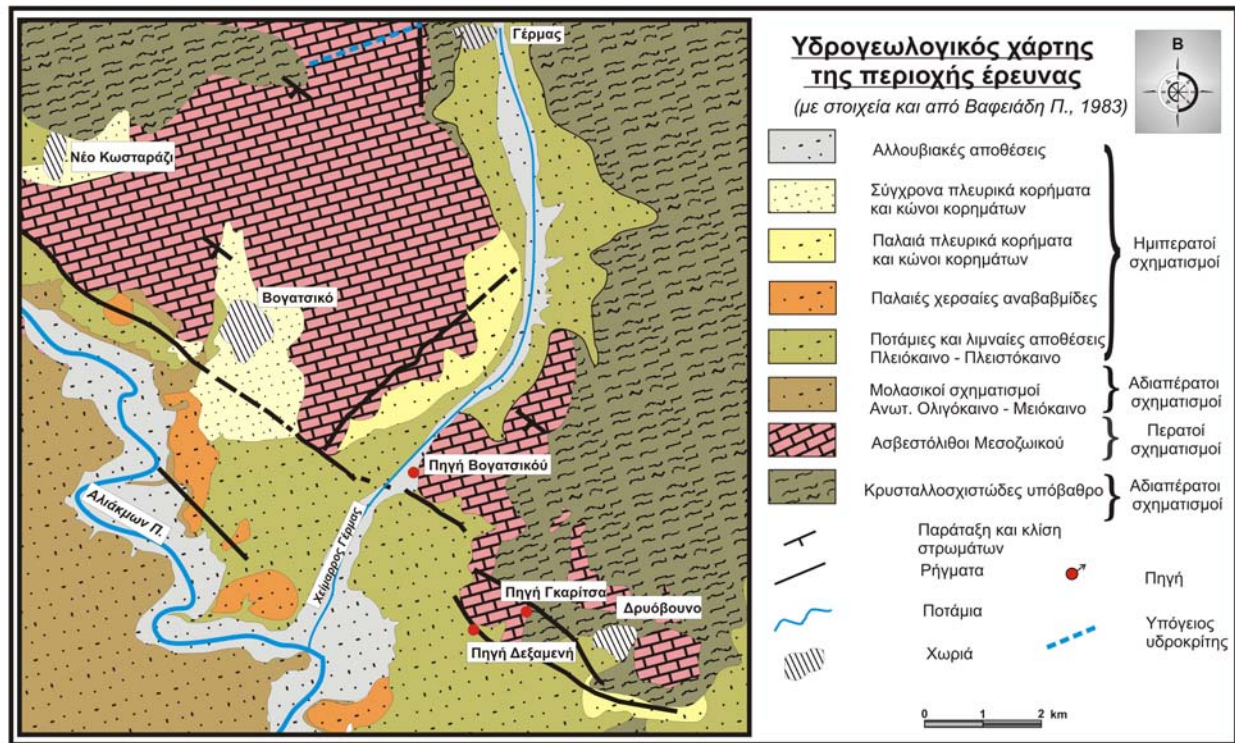
### 5.3 ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΟΓΚΩΝ – ΠΗΓΗ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ

Προκειμένου να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των υδρογεωλογικών συνθηκών των καρστικών όγκων, πραγματοποιήθηκε απογραφή των κυριότερων υδροσημείων τους. Στη περιοχή του καρστικού όγκου του Προφήτη Ηλία δεν διαπιστώθηκαν πηγές παρόλη τη γενικότερη στρωματογραφία της περιοχής.

Επίσης έπειτα από συζητήσεις με δημοτικούς υπαλλήλους του χωριού Βογατσικό διαπιστώθηκε ότι στην περιοχή του καρστικού όγκου, και πιο συγκεκριμένα στα υψηλότερα τμήματά του, υπάρχουν ορισμένες διάσπαρτες πηγές οι οποίες και παρουσιάζουν χαμηλές παροχές, ενώ κατά το θέρος στερεύουν. Αντίθετα στην περιοχή του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού απογράφησαν δύο ακόμα πηγές εκτός της κύριας πηγής (Πίνακας 5.1, Σχήμα 5.1).

**Πίνακας 5.1** Υδροσημεία των καρστικών όγκων της περιοχής του Βογατσικού

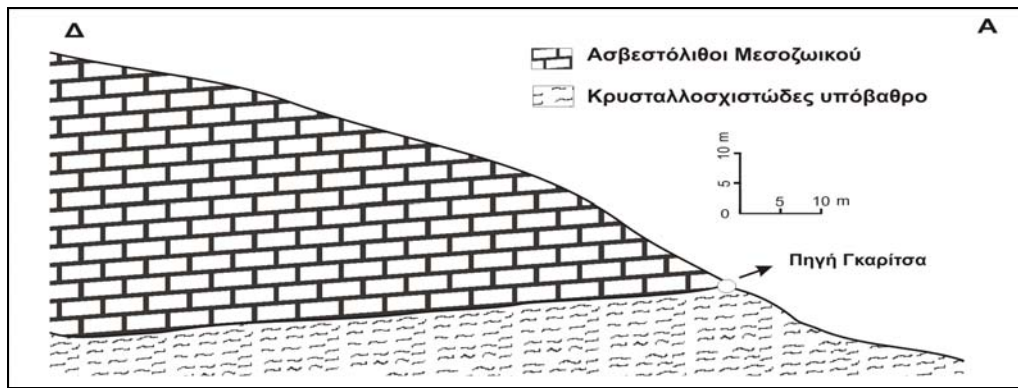
| α/α | Πηγή          | Γεωγ. μήκος | Γεωγ. πλάτος | Υψόμετρο (m) | Ανάβλυση | Ροή      |
|-----|---------------|-------------|--------------|--------------|----------|----------|
| 1   | Γέρμα (Gr)    | 21.2666     | 40.5166      | 625          | Σημειακή | Συνεχής  |
| 2   | Δεξαμενή (De) | 21.4666     | 40.5333      | 862          | Σημειακή | Εποχιακή |
| 3   | Γκαρίτσα (Gk) | 21.2666     | 40.4666      | 738          | Σημειακή | Εποχιακή |

**Σχήμα 5.1** Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής του καρστικού όγκου

### 5.3.1 Πηγή Γκαρίτσα

Η πηγή Γκαρίτσα εμφανίζεται στην επαφή ασβεστολίθων και σχιστολίθων στο βόρειο μέρος του νότιου τμήματος του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού. Η πηγή είναι επαφής καρστική υπερχειλίσσης και δημιουργήθηκε από την επαφή των περατών ασβεστολίθων με το αδιαπέρατο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής (Σχήμα 5.2).

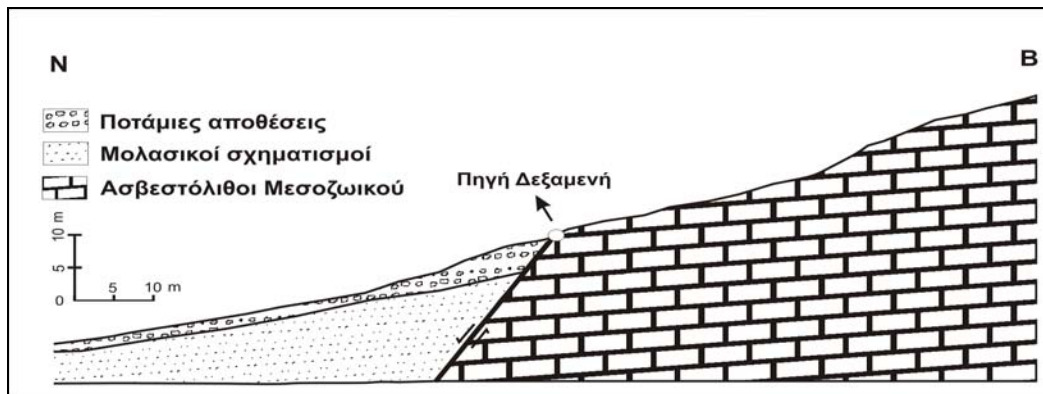
Η παροχή της πηγής παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις και επεισοδιακές κατανομές. Κατά το θέρος η παροχή της μηδενίζεται. Η πηγή αυτή φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν εποχιακή που κατά τις περιόδους πολύ υψηλών βροχοπτώσεων (Νοέμβριο – Δεκέμβριο) δρα ως πηγή υπερχειλίσσης. Κατά την περίοδο των μετρήσεων της παροχής των πηγών η παροχή της πηγής ήταν μηδενική.



Σχήμα 5.2 Γεωλογική τομή της πηγής Γκαρίτσα (Δ – Α)

### 5.3.2 Πηγή Δεξαμενή

Η πηγή Δεξαμενή εμφανίζεται στην επαφή ασβεστολίθων και Πλειστοκαινικών ιζημάτων στο νότιο τμήμα του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού. Η πηγή είναι καρστική υπερχειρίσης και δημιουργήθηκε μετά τη πτώση του κανονικού ρήγματος (διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και κλίσης προς τα νοτιοδυτικά) προς το εσωτερικό της πεδιάδας (Σχήμα 5.1), και την επαφή του ασβεστόλιθου με τα μεταγενέστερα αδιαπέρατα μολασσικά ιζήματα. Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται μια αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή της πηγής.



Σχήμα 5.3 Γεωλογική τομή της πηγής Δεξαμενή (Ν – Β)

Η παροχή της πηγής Δεξαμενή παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις, ενώ κατά το θέρους συνήθως μηδενίζεται. Και αυτή η πηγή φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν εποχιακή που κατά τις περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων δρα ως πηγή υπερχειρίσης. Κατά την περίοδο των μετρήσεων της παροχής των πηγών της περιοχής η εν λόγω πηγή παρουσίασε ετερογένεια με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εξαγωγή αξιόπιστων δεδομένων για την ανάλυσή της.

### 5.3.3 Πηγή Βογατσικού

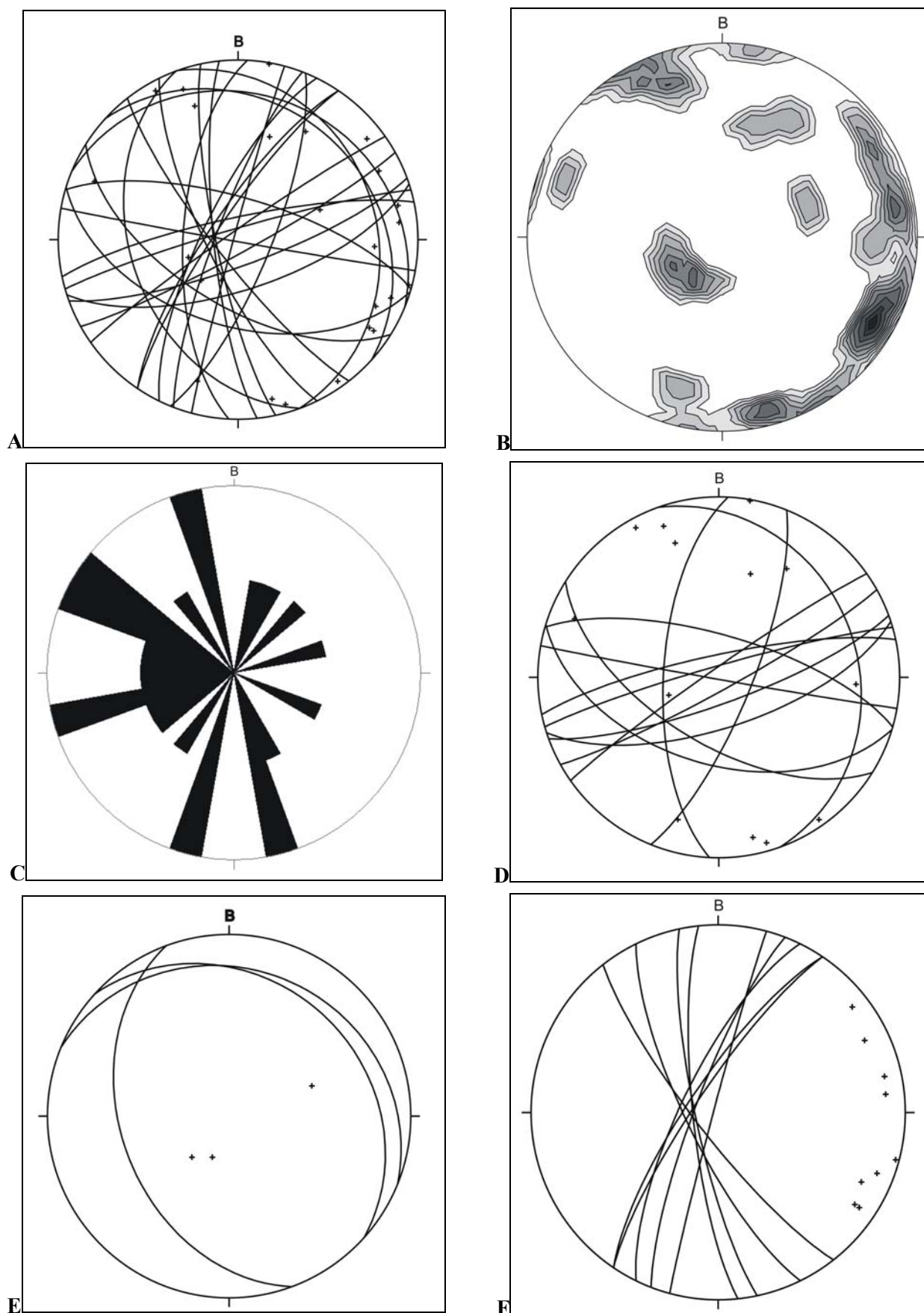
Η πηγή Βογατσικού αποτελεί την κύρια εκφόρτιση του ομώνυμου καρστικού όγκου της περιοχής. Το υψόμετρο ανάβλυσής της, έπειτα από μετρήσεις με GPS, βρίσκεται στα 625 m. Η πηγή, από την παρακάτω διερεύνηση, χαρακτηρίζεται ως καρστική υπερχείλισης που δημιουργήθηκε από τη δράση ρηγμάτων που έφεραν σε επαφή το διαπερατό καρστικό ασβεστόλιθο με τα νεότερα χαλαρά ημιπερατά ιζήματα. Για τον προσδιορισμό του μηχανισμού λειτουργίας και τον χαρακτηρισμό της πηγής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των τεκτονικών δομών στον εγγύτερο χώρο όπου παρουσιάζεται η ανάβλυση της πηγής (Πίνακας 5.2).

**Πίνακας 5.2** Μετρήσεις τεκτονικών - στρωματογραφικών στοιχείων στην πηγή Βογατσικού

| α/α | Μετρήσεις |    | Είδος μέτρησης | α/α | Μετρήσεις |    | Είδος μέτρησης |
|-----|-----------|----|----------------|-----|-----------|----|----------------|
|     | ΔΚ        | ΓΚ |                |     | ΔΚ        | ΓΚ |                |
| 1   | 162       | 67 | KI             | 14  | 250       | 40 | SS             |
| 2   | 190       | 89 | KI             | 15  | 22        | 20 | SS             |
| 3   | 160       | 78 | KI             | 16  | 42        | 25 | SS             |
| 4   | 112       | 75 | KI             | 17  | 232       | 80 | ST             |
| 5   | 348       | 80 | KI             | 18  | 244       | 76 | ST             |
| 6   | 273       | 65 | KI             | 19  | 304       | 80 | ST             |
| 7   | 325       | 86 | KI             | 20  | 296       | 74 | ST             |
| 8   | 212       | 60 | KI             | 21  | 258       | 80 | ST             |
| 9   | 16        | 71 | KI             | 22  | 264       | 79 | ST             |
| 10  | 197       | 50 | KI             | 23  | 285       | 88 | ST             |
| 11  | 151       | 84 | KI             | 24  | 291       | 80 | ST             |
| 12  | 344       | 85 | KI             | 25  | 304       | 77 | ST             |
| 13  | 70        | 24 | KI             |     |           |    |                |

Από μακροσκοπική ανάλυση διαπιστώνεται, ότι οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζονται καρστικοποιημένοι και διαβρωμένοι. Το εύρος των ασυνεχειών ποικίλει και κυμαίνεται ανάμεσα στα 4 mm και 15 cm, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει και τα 30 cm. Συνήθως δεν παρουσιάζουν υλικά πλήρωσης, ενώ στις περιπτώσεις που έχουν, αυτό προέρχεται από την διάλυση των ασβεστολίθων.

Στο παρακάτω Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται η στερεογραφική προβολή και το ροδοδιάγραμμα των διευθύνσεων κλίσεων για το σύνολο των τεκτονικών μετρήσεων της περιοχής της πηγής του Βογατσικού, καθώς επίσης και για κάθε είδους τεκτονική και στρωματογραφική δομή ξεχωριστά (στρώσεις, ρήγματα, ασυνέχειες).



**Σχήμα 5.4** Τεκτονικά στοιχεία της περιοχής της πηγής Βογατσικού (A, B, C σύνολο μετρήσεων, D ασυνέχειες, E στρώσεις, F ρήματα)

Από τη μελέτη και τη στερεογραφική προβολή του συνόλου των τεκτονικών και στρωματογραφικών δομών της περιοχής διαπιστώνεται ο έντονος κατακερματισμός του ανθρακικού όγκου.

Από τη στερεογραφική απεικόνιση των ασυνεχειών της περιοχής (Σχήμα 5.4D) διαπιστώνεται πως στην περιοχή επικρατούν τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  (Φωτ. 5.1). Το πρώτο σύστημα  $K_1$  έχει παράταξη περίπου  $100^\circ$  και κλίνει προς τα ΝΔ με γωνίες κλίσεις αρκετά μεγάλες περίπου  $50^\circ$ . Το δεύτερο σύστημα  $K_2$  παρουσιάζει διεύθυνση περίπου  $80^\circ$  και κλίση προς τα ΒΔ με γωνίες κλίσης πολύ μεγάλες,  $80^\circ$  περίπου. Τέλος το τρίτο σύστημα  $K_3$  παρουσιάζει και αυτό διεύθυνση περίπου  $80^\circ$  και κλίση προς τα ΝΔ, ενώ και αυτό κλίνει με γωνίες πολύ μεγάλες,  $75 - 80^\circ$  περίπου.

Αποτέλεσμα των παραπάνω τεκτονικών δράσεων είναι η έντονη διάρρηξη των ασβεστολίθων της περιοχής που ευνοούν τα φαινόμενα της καρστικοποίησης βαθιά στο εσωτερικό του ανθρακικού όγκου.



**Φωτ. 5.1** Μετρήσεις διακλάσεων στη θέση ανάβλυσης της πηγής Βογατσικού

Η στρώση των ανθρακικών πετρωμάτων στην ευρύτερη περιοχή έρευνας είναι γενικά προς τα ΝΔ. Ωστόσο στη θέση ανάβλυσης της πηγής Βογατσικού, από την επιτόπου διερεύνηση της περιοχής (Σχήμα 5.4D) διαπιστώθηκε, ότι αυτά κλίνουν με πολύ μικρές κλίσεις, σχεδόν οριζόντια, προς τα ΒΑ (Φωτ. 5.2).



**Φωτ. 5.2** Η στρώση των ανθρακικών πετρωμάτων στη θέση της πηγής Βογατσικού

Από την καταγραφή τέλος των ρηξιγενών δομών στην περιοχή διαπιστώνονται δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων (Σχήμα 5.4F). Το πρώτο ρήγμα έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ( $160^{\circ}$  περίπου) και κλίση προς ΝΔ (Φωτ. 5.5). Το ρήγμα αυτό από την ηλικία των στρωμάτων που διαρρηγνύει προκύπτει, ότι έχει ηλικία Μειοκαινική - Πλειστοκαινική και συνδέεται με την 4<sup>η</sup> ορογενετική περίοδο του Νεογενούς - Τεταρτογενούς.

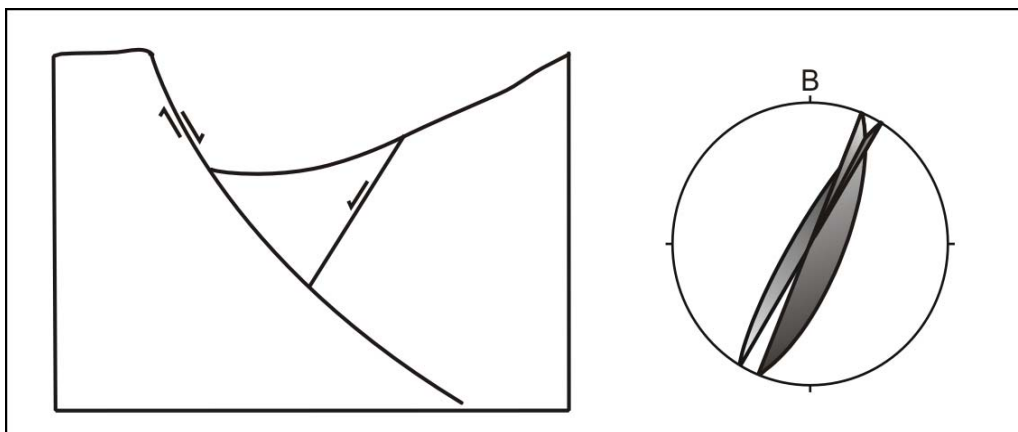


**Φωτ. 5.3** Μετρήσεις των καθρεπτών του ρήγματος διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ

Το δεύτερο ρήγμα που εντοπίστηκε παρουσιάζει διεύθυνση BBA – NNA ( $20^\circ$  περίπου) κλίνοντας προς τα ΒΔ. Το ρήγμα αυτό, που διαπιστώθηκε στη θέση ανάβλυσης της πηγής (Φωτ. 5.4), σχετίζεται με το ρήγμα που εντοπίστηκε στις παρυφές του καρστικού όγκου του Προφήτη Ηλία (Σχήμα 5.1), το οποίο και έχει περίπου την ίδια παράταξη και κλίνει αντίθετα, προς τα ΝΑ. Από τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά εκτιμάται πως το ρήγμα του Προφήτη Ηλία είναι το κύριο ρήγμα που κατά την σεισμοτεκτονική του δράση έδωσε και ένα δεύτερο, συζυγές, στις παρυφές του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού (Σχήμα 5.5). Τα ρήγματα αυτά εκτιμάται πως είναι νεώτερα αυτών με διευθύνσεις ΒΔ – ΝΑ, ενδεχομένως ηλικίας Ανωτέρου Πλειστοκαίνου - σήμερα.



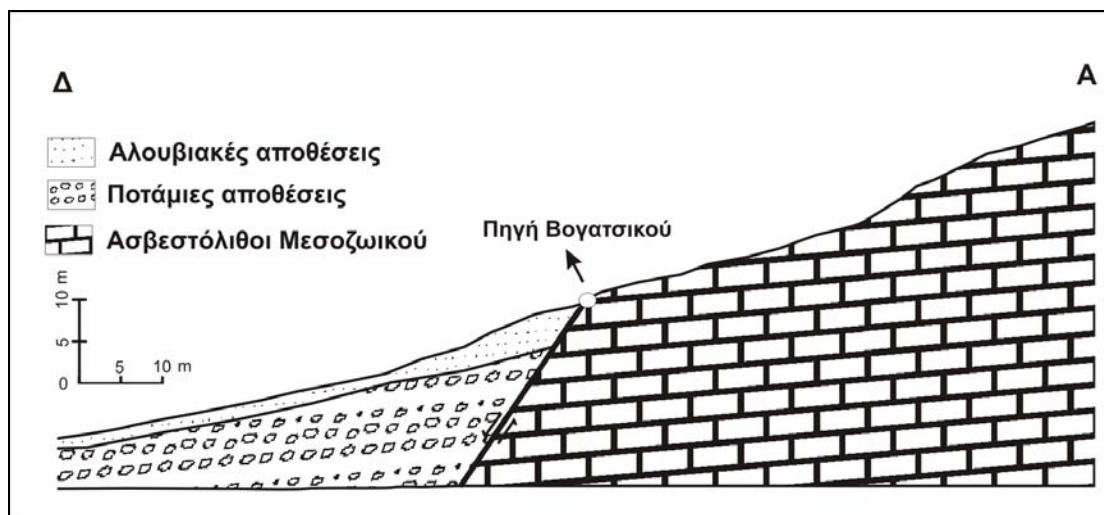
**Φωτ. 5.4** Ζώνη διάρρηξης στην περιοχή ανάβλυσης της πηγής Βογατσικού, διεύθυνσης BBA - NNA



**Σχήμα 5.5** Η σχέση των ρηγμάτων διεύθυνσης BBA – NNA που εντοπίστηκαν στην περιοχή

Έτσι λοιπόν στην περιοχή ανάβλυσης της πηγής διαπιστώνεται η παρουσία δύο ρηγμάτων, τα οποία και επηρεάζουν το μηχανισμό ανάβλυσης της πηγής. Κι αυτό γιατί η δράση των παραπάνω ρηγμάτων έχει ως αποτέλεσμα την επαφή των περατών ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής με τους αλλουβιακούς και ποταμοχειμάρειους σχηματισμούς, και την εκδήλωση του καρστικού υδροφορέα στην πηγή Βογατσικού.

Συνήθως οι ρηξιγενείς πηγές, που εκδηλώνονται κατά μήκος του μετώπου ενός ρήγματος παρουσιάζουν γραμμική διάταξη και εμφανίζονται με τη μορφή μετώπου πηγών (στις περιπτώσεις που η στάθμη του υδροφορέα είναι υψηλότερα από το ανάγλυφο κατά μήκος του ρήγματος), ωστόσο το γεγονός ότι η πηγή Βογατσικού παρουσιάζει σημειακή ανάβλυση πιθανόν να οφείλεται στο ότι η ανάβλυσή της βρίσκεται στη θέση συμβολής των δύο ρηγμάτων. Δηλαδή στη θέση αυτή όπου αναμένεται αυξημένη περατότητα του καρστικού όγκου. Στο παρακάτω Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται μια γεωλογική τομή της πηγής του Βογατσικού στη θέση ανάβλυσής της.



Σχήμα 5.6 Γεωλογική τομή της πηγής Βογατσικού (Δ – Α)

#### 5.4 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ

Ο καθορισμός της περιοχής τροφοδοσίας μιας πηγής αποτελεί ένα δύσκολο έργο, ειδικά στις περιπτώσεις όπου δεν είναι σαφή τα αρνητικά υδρογεωλογικά όρια. Η παροχή μιας πηγής εκφράζει, στις περιπτώσεις καλά οριοθετημένων συστημάτων (και χωρίς απολήψεις νερών), την κατείσδυση και φανερώνει την έκταση της περιοχής τροφοδοσίας με τη συνεκτίμηση των λοιπών παραμέτρων του υδρολογικού

ισοζυγίου. Η στρωματογραφία αποτελεί βασικό παράγοντα καθορισμού της υδρογεωλογικής λεκάνης μιας πηγής.

Ο καρστικός όγκος της πηγής Βογατσικού οριοθετείται στα ανατολικά από το αδιαπέρατο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο το οποίο και αποτελεί ένα σαφές αρνητικό υδρογεωλογικό όριο. Επίσης στα νότια τμήματά του ο ορεινός όγκος έρχεται σε επαφή με τα αδιαπέρατα μολασσικά ιζήματα, τα οποία και είναι καλυμμένα με χαλαρά Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, τα οποία σαφώς και δεν μπορούν να θεωρηθούν αδιαπέρατα. Επομένως δεν είναι, τουλάχιστον από τα νότια, τεκμηριωμένη η υδραυλική απομόνωση του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού. Σ' αυτό συνηγορεί και η γενικότερη κλίση των στρωμάτων (ΝΔ) η οποία ενδεχομένως να ευνοεί τις όποιες διαφυγές προς τα ΝΔ.

Στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα της ανθρακικής μάζας διακρίνεται ο χείμαρρος Γέρμας, ο οποίος και κινείται ανάμεσα από τους κυρίαρχους καρστικούς όγκους του Προφήτη Ηλία και της πηγής του Βογατσικού. Ο χείμαρρος αυτός στην περιοχή ανάβλυσης της πηγής βρίσκεται χαμηλότερα από την ανάβλυση αυτής, περίπου στα 623 m. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της παροχής της πηγής η απορροή του χειμάρρου, ιδιαίτερα στην περιοχή ανάβλυσης της πηγής, παρουσίασε έντονες διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα στα μέσα Ιουλίου ο χείμαρρος από το βόρειο όριο της περιοχής του καρστικού όγκου (Σχήμα 5.1) και κάτω να στερεύσει.

Το γεγονός ότι ο χείμαρρος βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο από την πηγή, καθώς επίσης και το ότι η παροχή του μηδενίσθηκε κατά το θέρος μέχρι του βορείου ορίου του καρστικού όγκου, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι όποιες τροφοδοσίες του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού από τα γειτονικά ανθρακικά πετρώματα του Προφήτη Ηλία, θα πραγματοποιούνται κύρια από το βόρειο τμήμα του ορεινού όγκου της πηγής.

Αυτό το γεγονός ενισχύεται και από τη στρωματογραφία της περιοχής καθώς από το παραπάνω τμήμα και νοτιότερα παρουσιάζεται η επαφή των χαλαρών αποθέσεων με τα κατακερματισμένα και αυξημένης περατότητας ανθρακικά πετρώματα της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υπόγειο νερό βρίσκοντας υπόγειους διαδρόμους μεγαλύτερης περατότητας (καρστικοί αγωγοί), από αυτούς των χαλαρών αποθέσεων, να κινείται μέσα στο καρστ και να μην κινείται κατά μήκος του χειμάρρου.

Ακόμη στο δυτικό τμήμα του ορεινού όγκου της πηγής, μέσα στους αλλουβιακούς σχηματισμούς της περιοχής, διαπιστώνεται η παρουσία ενός φρεάτιου

υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος και παρουσιάζει περιορισμένη δυναμικότητα.. Η υδραυλική επικοινωνία του με τους μεγάλους ανθρακικούς όγκους του Προφήτη Ηλία στο δυτικό τμήμα, φαίνεται πως δεν υφίσταται, κυρίως λόγω του κανονικού ρήγματος διεύθυνσης BBA – NNΔ που διαπιστώθηκε στην περιοχή (Σχήμα 5.1), το οποίο και απέκοψε τους δύο καρστικούς όγκους. Σ’ αυτό συνηγορεί και το γεγονός ότι η περιοχή εμφάνισης του ρήγματος ταυτίζεται με την περιοχή στην οποία, κατά το θέρους, ο χείμαρρος Γέρμας είχε στερεύσει. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή υδραυλικής επικοινωνίας, θα έπρεπε στο τμήμα αυτό να ρέει νερό όπως συμβαίνει στο βόρειο τμήμα του ορεινού όγκου της πηγής.

Αναφορικά με τις υδραυλικές συνθήκες του ανθρακικού όγκου του Προφήτη Ηλία διαπιστώνεται πως από τα βόρεια, βορειοδυτικά και βορειοανατολικά παρουσιάζεται υδραυλικά απομονωμένος λόγω της εμφάνισης του υποβάθρου, και του υπόγειου υδροκρίτη, η θέση του οποίου, έχει προσδιορισθεί από προηγούμενες έρευνες από τον Βαφειάδη (1983). Επίσης στα νότια τμήματά του ο ορεινός όγκος έρχεται σε επαφή με τα αδιαπέρατα μολασσικά ιζήματα, τα οποία είναι καλυμμένα από τα ημιπερατά χαλαρά Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Επομένως είναι δυνατόν να παρατηρηθούν διαφυγές προς τα νοτιοδυτικά, διαφυγές που ευνοούνται και από τη γενικότερη κλίση των ανθρακικών πετρωμάτων του όγκου.

Γενικότερα λοιπόν προκύπτει πως τόσο στο βορειοδυτικό όσο και στο νότιο τμήμα του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού παρουσιάζονται φαινόμενα ασαφούς υδραυλικής απομόνωσης και ενδεχομένως να προκύπτουν φαινόμενα τροφοδοσίας από τους γειτονικούς ανθρακικούς όγκους του Προφήτη Ηλία ή διαρροών προς τα χαλαρά ιζήματα του πεδινού τμήματος. Το γεγονός αυτό είναι δυνατόν να μελετηθεί από τη σύγκριση του ισοζυγίου της πηγής και της μέσης παροχής, ή έστω των εκκενώσιμων αποθεμάτων αυτής.

## 5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΒΟΓΑΤΣΙΚΟΥ

### 5.5.1 Εισαγωγή

Η μελέτη του υδρογράμματος μιας πηγής είναι κεφαλαιώδους σημασίας, αφού μας επιτρέπει να διερευνήσουμε το μηχανισμό λειτουργίας του εκφορτιζόμενου καρστικού όγκου, όπως πληροφορίες που αφορούν στην ομοιογένειά του, στην ετερογένεια και ανάπτυξη των καρστικών του δομών, την περατότητά του καθώς και

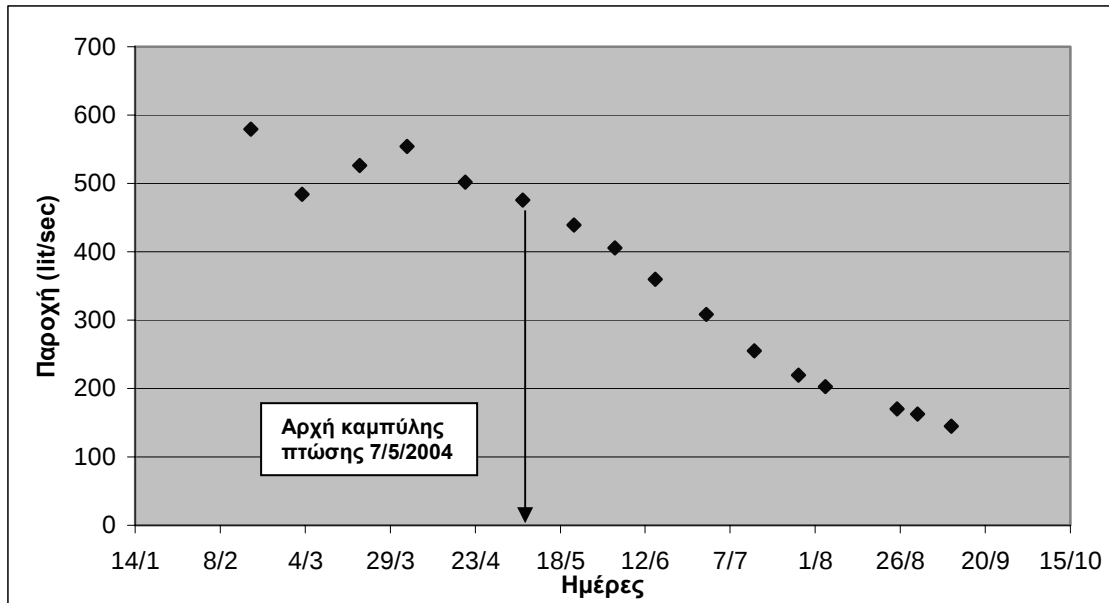
τον τρόπο λειτουργίας και εκφόρτισης της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης του κ.α. (Μανάκος, 1999). Στο υδρογράμματα μιας καρστικής πηγής το πιο ενδιαφέρον τμήμα αποτελεί η καμπύλη παροχών ξηράς περιόδου (καμπύλη πτώσης και στείρευσης).

Η καμπύλη πτώσης ανταποκρίνεται στο διάστημα εκείνο, κατά το οποίο η παροχή μειώνεται με ταχύ ρυθμό και προσδιορίζει τη μείωση της επιφανειακής απορροής. Το τμήμα της καμπύλης που αρχίζει από το τέλος της καμπύλης πτώσης και τελειώνει στην αρχή της επόμενης καμπύλης συγκέντρωσης του υδρογράμματος αντιστοιχεί στην καμπύλη στείρευσης. Στο διάστημα αυτό η παροχή της πηγής μειώνεται με συνεχώς επιβραδυνόμενο ρυθμό, εξαιτίας της μη ύπαρξης τροφοδοσίας του καρστικού όγκου. Η ανάλυση του τμήματος αυτού προσδιορίζει το ρυθμό εκφόρτισης των υπογείων αποθεμάτων του καρστικού υδροφορέα.

Για την εξαγωγή των παραπάνω στοιχείων που αφορούν τον καρστικό όγκο της πηγής Βογατσικού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παροχής της ομώνυμης πηγής. Οι μετρήσεις της παροχής έγιναν με μυλίσκο της εταιρίας ΑΟΤΤ και χρησιμοποιήθηκε η προπέλα ΑΟΤΤ C210.150 αρ. 133326 διαμέτρου 9 mm. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν ανά 10 - 15 περίπου ημέρες από τις 17 Φεβρουαρίου μέχρι τις 10 Σεπτεμβρίου.

Για την εξαγωγή αξιόπιστων στοιχείων προστέθηκε και το ποσό της παροχής, που διατίθεται και χρησιμοποιείται στο χωριό Βογατσικό για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Από προσωπική επαφή που είχαμε με δημοτικούς παράγοντες του χωριού, διαπιστώθηκε ότι η τιμή αυτή ανέρχεται σε  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  ή  $22.2 \text{ lt/sec}$ . Αυτό το ποσό του νερού της πηγής, με φυσική ροή, μεταφέρεται διαμέσου ενός αγωγού 600 m σε αντλιοστάσιο, χωρητικότητας περίπου  $60 \text{ m}^3$ . Στη συνέχεια, διαμέσου ενός αγωγού μήκους 4 km, μεταφέρονται και χρησιμοποιούνται από το χωριό, κατά μέσο όρο το έτος, περίπου  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Η μέση τιμή της παροχής για την περίοδο μετρήσεων είναι  $359.8 \text{ lt/sec}$  και το εύρος των τιμών κυμαίνεται από  $166.61 \text{ lt/sec}$  ως  $576.75 \text{ lt/sec}$ . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.3. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του υδρογράμματος της πηγής σύμφωνα με τα πρότυπα των Maillet (1905), Tison (1960), Scholler (1948, 1962, 1967), Mangin (1974, 1975). Επίσης ως χρονικό σημείο έναρξης της καμπύλης πτώσης με βάση το διάγραμμα διασποράς των τιμών της παροχής με τον χρόνο (Σχήμα 5.7) ορίστηκε η 7/5/2004.



Σχήμα 5.7 Υδρογράμμα ξηράς περιόδου για την πηγή του Βογατσικού

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις της παροχής της πηγής Βογατσικού

| Ημερομηνία | Παροχή (lt/sec) | Παροχή (m <sup>3</sup> /sec) | Ημερομηνία | Παροχή (lt/sec) | Παροχή (m <sup>3</sup> /sec) |
|------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------|------------------------------|
| 17/2/2004  | 602.10          | 0.60                         | 15/6/2004  | 360.12          | 0.38                         |
| 3/3/2004   | 506.73          | 0.51                         | 30/6/2004  | 308.87          | 0.33                         |
| 20/3/2004  | 548.48          | 0.55                         | 14/7/2004  | 255.40          | 0.28                         |
| 3/4/2004   | 576.75          | 0.58                         | 27/7/2004  | 219.36          | 0.24                         |
| 20/4/2004  | 523.82          | 0.52                         | 4/8/2004   | 202.3           | 0.22                         |
| 7/5/2004   | 497.99          | 0.50                         | 25/8/2004  | 170.43          | 0.19                         |
| 22/5/2004  | 461.02          | 0.46                         | 31/8/2004  | 162.68          | 0.18                         |
| 3/6/2004   | 427.76          | 0.43                         | 10/9/2004  | 144.41          | 0.17                         |

### 5.5.2 Πρότυπο Maillet

Το πρότυπο του Maillet χρησιμοποιείται για τη μελέτη της καμπύλης στείρευσης του υδρογράμματος της πηγής. Κατά τον Maillet (1905) η παροχή ( $q$ ) μιας πηγής που δεν επηρεάζεται από την εξωτερική τροφοδοσία, δηλ. κατά τη διάρκεια της «ξηράς περιόδου» του έτους, είναι μια εκθετική συνάρτηση του χρόνου εκφόρτισης ( $t$ ) και δίνεται από τη σχέση:

$$q_t = q_0 e^{-at} \quad (5.1)$$

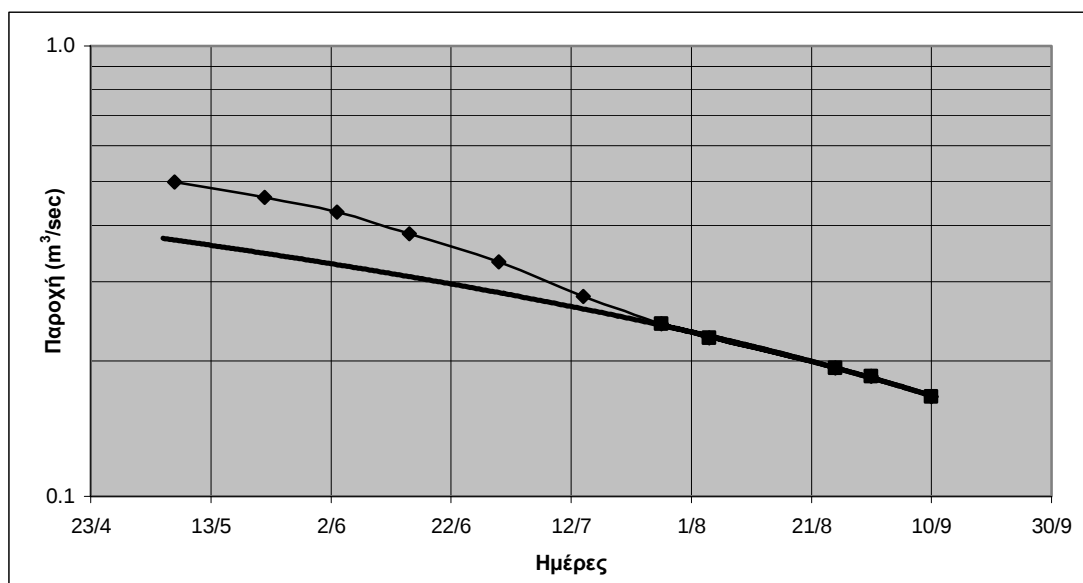
όπου:  $q_0$ : η παροχή στην αρχή της στείρευσης (χρόνος  $t = t_0 = 0$ ) ή σε οποιαδήποτε μεταγενέστερη στιγμή αυθαίρετα θεωρούμενη σαν  $t_0$

$t$ : ο χρόνος (συνήθως σε ημέρες) από τη χρονική στιγμή  $t_0$  κατά την οποία έχουμε  $q_0$

$\alpha = 1/t'$ : ο συντελεστής στείρευσης ή εξάντλησης με διαστάσεις ( $T^{-1}$ ), με  $t' = t - t_0$  η αναγκαία διάρκεια χρόνου σε ημέρες ώστε η αρχική παροχή να μειωθεί στο  $1/e$ .

Ο τύπος αυτός στηρίζεται στο θεωρητικό πρότυπο μιας δεξαμενής, το πορώδες μέσο της οποίας εκκενώνεται από σημείο στη βάση της, με σύγχρονη πτώση της στάθμης του νερού (υδραυλικού φορτίου). Ο συντελεστής στείρευσης  $\alpha$  φανερώνει την ικανότητα του καρστικού όγκου να ελευθερώνει νερό δηλ. αντιπροσωπεύει τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του καρστικού μέσου (υδαταγωγιμότητα  $T$ , συντελεστή εναποθήκευσης  $S$ , σχήμα και εμβαδόν κορεσμένης ζώνης).

Στο παρακάτω Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται το υδρόγραμμα της πηγής Βογατσικού για την ξηρή περίοδο. Από την εφαρμογή του τύπου του Maillet υπολογίζεται ότι ο συντελεστής στείρευσης είναι ίσος με  $\alpha = 3.7 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1}$  και ότι η παροχή στην αρχή της στείρευσης είναι ίση με  $q_0 = 0.242 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Η παραπάνω τιμή του συντελεστή στείρευσης δείχνει ότι ο καρστικός υδροφορέας παρουσιάζει καλή λειτουργία με το νερό να ρέει δια μέσου των διακλάσεων – ασυνεχειών και ενδιαστρωσιγενών κενών (Σούλιος, 1985).



**Σχήμα 5.8** Ανάλυση υδρογράμματος ξηρής περιόδου της πηγής Βογατσικού κατά Maillet

Αναφορικά με τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής με βάση το πρότυπο του Maillet αυτά δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_o = \frac{q_o}{a} \cdot 86400 \quad (5.2)$$

όπου:  $q_o$  η παροχή σε  $m^3/sec$  που αντιστοιχεί στην αρχή της καμπύλης στείρευσης

Από την σχέση 5.2 προκύπτει ότι τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής Βογατσικού στην αρχή της ξηράς περιόδου του υδρολογικού έτους 2003 – 2004, με βάση το πρότυπο του Maillet, είναι ίσα με  $5.65 \cdot 10^6 m^3$ .

### 5.5.2 Πρότυπο Tison

Ο Tison (1960) για να περιγράψει τη μείωση της παροχής μιας πηγής με τον χρόνο, σε συνθήκες μη επηρεασμού προτείνει τον υπερβολικό τύπο που μαθηματικά εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_t = q_o (1 + at)^2 \quad (5.3)$$

Τα σύμβολα είναι όμοια με αυτά της σχέσης 5.1, με τη μόνη διαφορά, ότι το  $a$  δεν ταυτίζεται, αριθμητικά και φυσικά, με το συντελεστή στείρευσης.

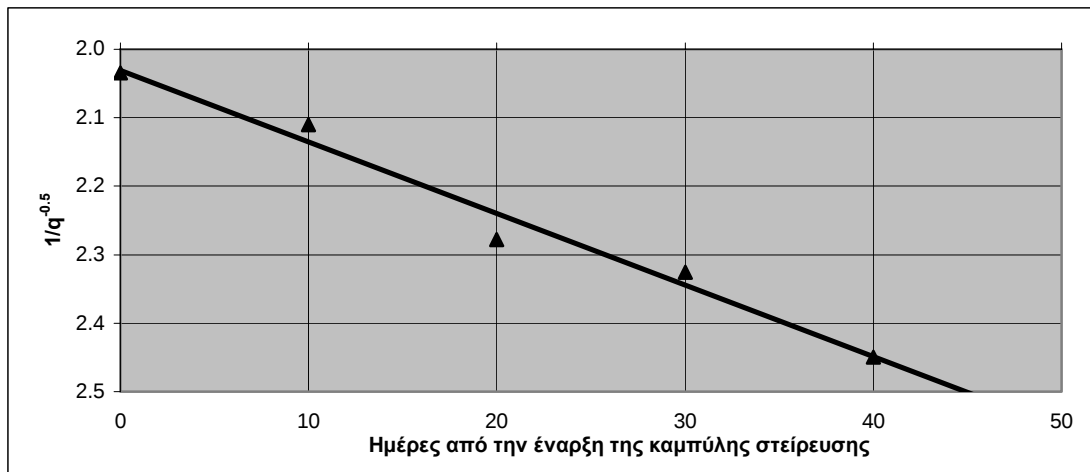
Το νοητικό πρότυπο πάνω στο οποίο στηρίζεται ο τύπος του Tison αντιστοιχεί στην εκφόρτιση μιας δεξαμενής με θεωρητικά άπειρο μήκος, απ' όλο το μήκος της μιας πλευράς της, σε αντίθεση με τη σημειακή εκφόρτιση που προβλέπει το πρότυπο του Maillet. Η εφαρμογή του τύπου του Tison περιορίζεται, όπως και στην περίπτωση του Maillet στο τελευταίο τμήμα της καμπύλης πτώσης, δηλ. στην καμπύλη στείρευσης.

Η εφαρμογή της ανάλυσης στο υδρόγραμμα της πηγής Βογατσικού έγινε για να διαπιστωθεί αν μία ή περισσότερες εκφορτίσεις του συστήματος διαφεύγουν της παρατήρησής μας. Η γραφική παράσταση της ανάλυσης Tison δίνεται στο Σχήμα 5.9.

Από την εφαρμογή του τύπου του Tison διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής  $a$  είναι ίσος με  $a = 6 \cdot 10^{-3} d^{-1}$  και ότι η παροχή στην αρχή της στείρευσης είναι ίση με  $q_o = 0.242 m^3/sec$ . Διαπιστώνει δηλαδή κανείς πως οι τιμές είναι μικρότερες αυτών που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου του Maillet.

Στο Σχήμα 5.9 επίσης παρατηρεί κανείς μικρή διασπορά των σημείων προβολής ως προς την ευθεία παλινδρόμησης, το οποίο είναι χαρακτηριστικό της

καλής προσαρμογής του τύπου προς την πραγματικότητα, κάτι που αντικατοπτρίζει την συμφωνία του προτύπου Tison με το φυσικό σύστημα. Πράγματι από τις υπαίθριες παρατηρήσεις στην περιοχή του καρστικού όγκου εντοπίστηκαν και άλλα σημεία ανάβλυσης.



**Σχήμα 5.9** Ανάλυση υδρογράμματος ξηρής περιόδου της πηγής Βογατσικού κατά Tison

Αναφορικά με τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής με βάση το πρότυπο του Tison αυτά δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_o = \frac{q_o \cdot 86400}{a \cdot (1 + at)} \quad (5.4)$$

όπου:  $q_o$  η παροχή σε  $m^3/sec$  που αντιστοιχεί στην αρχή της καμπύλης στείρευσης

Από τη σχέση 5.4 προκύπτει ότι τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής Βογατσικού στην αρχή της ξηράς περιόδου του υδρολογικού έτους 2003 – 2004, με βάση το πρότυπο του Tison, είναι ίσα με  $3.48 \cdot 10^6 m^3$ . Η διαφοροποίηση που διαπιστώνεται σε σχέση με τα αποθέματα που υπολογίσθηκαν με το πρότυπο του Mallet οφείλεται στο γεγονός ότι με τη μέθοδο Tison δεν είναι δυνατή η ακριβής διάκριση του σημείου που τελειώνει η καμπύλη πτώσης και αρχίζει η καμπύλη στείρευσης (Σούλιος, 1985).

### 5.5.3 Πρότυπο Mangin

Ο Mangin (1974, 1975) μελετώντας την υδροδυναμική του καρστ παρατήρησε, ότι κατά την εκφόρτιση ενός καρστικού όγκου ισχύουν πάντα δύο

συνθήκες: μία που μειώνεται κατά την αρχή της εκφόρτισης, κατά την οποία η παροχή προέρχεται από την ακόρεστη και την κορεσμένη ζώνη και μια που σημειώνεται στη συνέχεια, κατά την οποία το νερό προέρχεται μόνο από την κορεσμένη ζώνη.

Η συμμετοχή της ποσότητας του νερού που προέρχεται από την ακόρεστη ζώνη ή ζώνη αερισμού και εκφράζεται με τμήμα της καμπύλης πτώσης του υδρογράμματος, μειώνεται με το χρόνο και μηδενίζεται στην αρχή της καμπύλης στείρευσης, όπου πλέον το σύνολο της παροχής προέρχεται αποκλειστικά από την κορεσμένη, όπως προβλέπει άλλωστε και το μοντέλο Maillet.

Ο Mangin μελετώντας την παροχή της ζώνης αερισμού προτείνει τον παρακάτω ομογραφικό τύπο:

$$q^* = q_o^* \frac{1-n \cdot t}{1+\varepsilon \cdot t} \quad (5.5)$$

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για την καμπύλη πτώσης στάθμης σε συνδυασμό με τη σχέση 5.1 δηλ. από  $t = t_o$  έως  $t = t_i = 1/n$ .

όπου: **n**: με διαστάσεις ( $T^{-1}$ ) μετρούμενο ανά ημέρες στη διάρκεια της καμπύλης πτώσης, δηλ. στη διάρκεια που η πηγή έχει τροφοδοσία από την διήθηση.

**ε**: συντελεστής που χαρακτηρίζει την κυρτότητα της καμπύλης και ονομάζεται «συντελεστής ετερογένειας». Συνδέεται με την ετερογένεια και τις υδραυλικές παραμέτρους της μη κορεσμένης ζώνης του καρστ και επομένως μας δίνει πληροφορίες γι' αυτήν και γενικά για τη λειτουργία του καρστ. Μεγάλες τιμές του συντελεστή ετερογένειας σημαίνουν απότομη μείωση της παροχής  $q^*$  (ετερογενές δίκτυο αγωγών και συλλεκτών) και μικρές τιμές του  $\varepsilon$  σημαίνουν ακριβώς το αντίθετο.

Επομένως, κατά τη φάση της καμπύλης πτώσης του υδρογράμματος η συνολική παροχή θα δίνεται από τον τύπο:

$$q_t = q_o e^{-at} + q_o^* \frac{1-n \cdot t}{1+\varepsilon \cdot t} \quad (5.6)$$

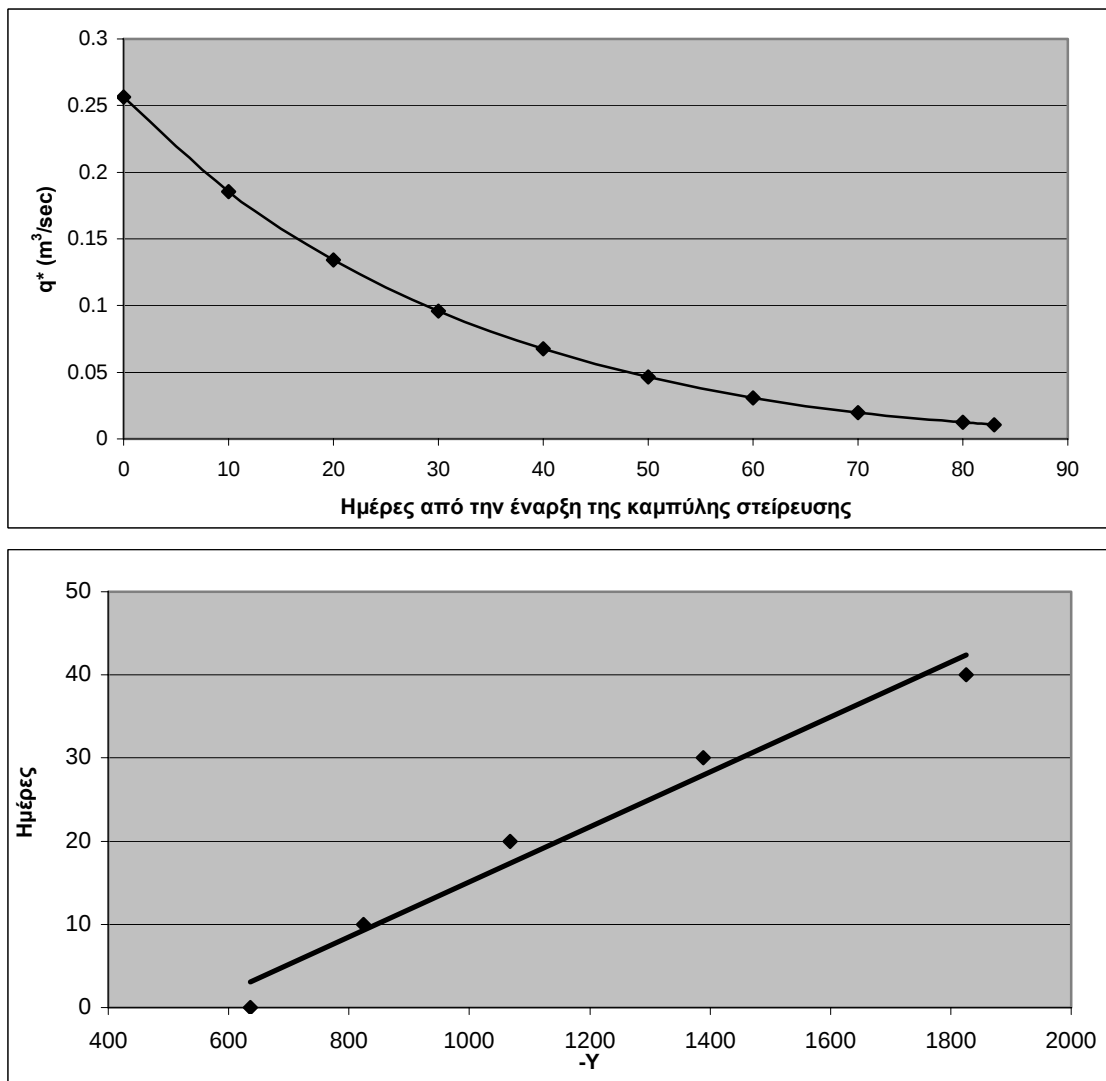
Η εφαρμογή του προτύπου του Mangin πραγματοποιείται ως εξής: Αρχικά μεταφέρεται η καμπύλη ( $q_t - t$ ) από ημιλογαριθμική κλίμακα, σε δεκαδική κλίμακα. Έπειτα ορίζεται σαν  $t_i$  ο χρόνος που σταματά η καμπύλη πτώσης και σαν  $n = 1/t_i$ . Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$Y = \frac{t_i - t}{q^*} \quad (5.7)$$

επιλέγεται μια τιμή του  $t$  και την αντίστοιχη τιμή του  $q^*$  που ανταποκρίνεται σε περιοχή καλής γραμμικότητας. Τέλος με βάση τον παρακάτω τύπο υπολογίζεται η τιμή του συντελεστή ετερογένειας:

$$\varepsilon = \frac{q_o^* - q^*}{q^* \cdot t} - \frac{n - q_o^*}{q^*} \quad (5.8)$$

Η γραφική παράσταση της ανάλυσης του Mangin δίνεται στο Σχήμα 5.10. Από την εφαρμογή του προτύπου προκύπτει πως το  $t_i$  είναι ίσο με 83 που δηλώνει ότι γι' αυτό το χρονικό διάστημα η μη κορεσμένη ζώνη τροφοδοτεί την κορεσμένη. Επίσης ο συντελεστής ετερογένειας είναι ίσος με  $\varepsilon = 0.023$ . Η τιμή αυτή δηλώνει μια μέση κατάσταση ετερογένειας των αγωγών και συλλεκτών της ζώνης αερισμού.



Σχήμα 5.10 Ανάλυση υδρογράμματος ξηρής περιόδου της πηγής Βογατσικού κατά Mangin

Αναφορικά με τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής με βάση το πρότυπο του Mangin, αυτά δίνονται από τον παρακάτω τύπο:

$$W = W_o + W_o^* = \frac{q_o}{a} \cdot 86400 + 86400 \cdot q_o^* [2.3 \cdot (1 + \varepsilon/n) \cdot \log(1 + \varepsilon/n) - \varepsilon] \quad (5.9)$$

Τα αποθέματα  $W_o$  αναφέρονται στην κορεσμένη ζώνη του καρστικού όγκου, ενώ τα αποθέματα  $W_o^*$  αναφέρονται στα αποθέματα της ζώνης αερισμού (μη κορεσμένη ζώνη). Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι τα πρώτα είναι ίσα με  $W_o = 5.65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , ενώ τα δεύτερα είναι ίσα με  $W_o^* = 6.7 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ . Τέλος τα συνολικά εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής Βογατσικού είναι ίσα με  $W = 5.72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

#### 5.5.4 Πρότυπο Schoeller

Ο Schoeller (1948, 1962, 1967) στην προσπάθειά του να ερμηνεύσει ολόκληρο το υδρόγραμμα υποχώρησης και όχι μόνο το τμήμα που αντιστοιχεί στην καμπύλη στείρευσης του θεώρησε, ότι επειδή η εκφόρτιση ενός καρστικού όγκου από τις πηγές του γίνεται υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες ταχύτητας ροής, λόγω κυρίως της ετερογένειας που παρουσιάζει το καρστ, η καμπύλη πτώσης του υδρογράμματος μπορεί να αποδοθεί με περισσότερους από ένα όρους.

Κάθε ένας από αυτούς θα περιγράφει την εκφόρτιση ενός διαφορετικού τμήματος του καρστικού όγκου, ενώ το άθροισμά όλων των παραπάνω εκφορτίσεων θα ισούται με τη συνολική απορροή που θα έχει ο καρστικός όγκος την συγκεκριμένη στιγμή.

Έτσι με βάση το παραπάνω νοητικό πρότυπο προκύπτει πως η καμπύλη υποχώρησης του υδρογράμματος μπορεί να αποδοθεί από τον τριπαραμετρικό τύπο που προτείνει ο Schoeller (με  $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$  και συνήθως  $q_{o1} > q_{o2} > q_{o3}$ ):

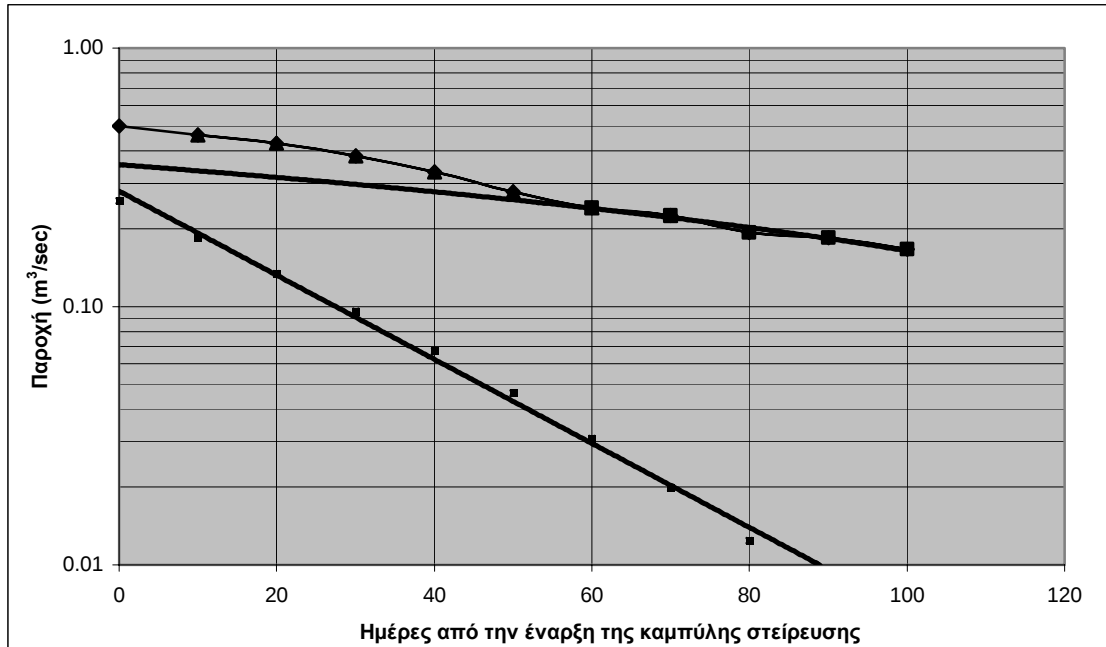
$$q_t = q_{o1} e^{-\alpha_1 t} + q_{o2} e^{-\alpha_2 t} + q_{o3} e^{-\alpha_3 t} \quad (5.10)$$

Από τους τρεις όρους του δεύτερου μέλους της σχέσης 5.10 μόνο ο πρώτος ( $q_{o1} e^{-\alpha_1 t}$ ) έχει φυσική υπόσταση, ανταποκρίνεται δηλαδή στο πρότυπο Maillet, ενώ οι άλλοι δύο όροι αποτελούν μια εμπειρική προσέγγιση του φαινομένου της εκφόρτισης.

Το σύνθετο υδρόγραμμα της πηγής φαίνεται ότι μπορεί να αναλυθεί σε δύο ευθύγραμμα τμήματα, ανταποκρινόμενο, έτσι, στη μαθηματική προσομοίωση (εκθετική συνάρτηση) του Schoeller. Η απουσία του συντελεστή  $\alpha_3$  δηλώνει την

απουσία μεγάλων καρστικών αγωγών. Έτσι λοιπόν η εξίσωση στείρευσης της πηγής του Βογατσικού είναι (Σχήμα 5.11):

$$q_t = 0.364e^{-0.0037t} + 0.287e^{-0.0081t} \quad (5.11)$$



Σχήμα 5.11 Ανάλυση υδρογράμματος ξηρής περιόδου της πηγής Βογατσικού κατά Schoeller

### 5.5.6 Σύγκριση των διαφόρων προτύπων

Από τη σύγκριση των διαφόρων προτύπων προκύπτει, πως οι διάφορες μέθοδοι εφαρμόζονται με αρκετή ακρίβεια στην ανάλυση του υδρογράμματος της πηγής. Αναφορικά με το χαρακτηρισμό του καρστ, από τις τιμές του συντελεστή στείρευσης  $\alpha$  καθώς επίσης και του συντελεστή ετερογένειας  $\varepsilon$  προκύπτει ότι οι καρστικοί σχηματισμοί δεν παρουσιάζουν εκτεταμένους και μεγάλους καρστικούς αγωγούς, ενώ χαρακτηρίζονται από μικρή ετερογένεια και από καλή λειτουργία, με το υπόγειο νερό να ρέει δια μέσου ασυνεχειών και διακλάσεων.

Από το πρότυπο του Tison συμπεραίνεται ότι στην περιοχή παρουσιάζονται και άλλες αναβλύσεις (το οποίο και έχει πιστοποιηθεί και από επιτόπου διερεύνηση της περιοχής), εκτός της κύριας ανάβλυσης της πηγής Βογατσικού.

Τα αποθέματα της κορεσμένης ζώνης της πηγής υπολογίσθηκαν ίσα με  $5.65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για το πρότυπο του Maillet, και με  $3.48 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για το πρότυπο του Tison. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται τόσο με τη διαφορά στο νοητικό πρότυπο των

διαφόρων μεθόδων όσο και με τη διαφορά στην τιμή του συντελεστή στείρευσης  $a$  και την τιμή της παροχής  $q_0$  (παροχή στη αρχή του ξηρού έτους) που χρησιμοποιείται για το κάθε πρότυπο.

Από τις τιμές των αποθεμάτων της κορεσμένης ζώνης διαπιστώνεται ότι αυτές είναι παρά πολύ υψηλές για ένα καρστικό όγκο έκτασης  $4.064 \text{ km}^2$ . Επομένως προκύπτει πως η επικοινωνία μεταξύ των ανθρακικών όγκων του Προφήτη Ηλία και του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού που αρχικά υποτέθηκε, ουσιαστικά επιβεβαιώνεται. Ωστόσο, στη διατριβή αυτή, ο ακριβής όγκος του υπογείου νερού με το οποίο τροφοδοτείται ο ανθρακικός όγκος της πηγής Βογατσικού από τους γειτονικούς ανθρακικούς όγκους του Προφήτη Ηλία δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί καθώς απαιτείται η μέτρηση της παροχής της πηγής για ένα υδρολογικό έτος και ο προσδιορισμός της μέσης ετήσιας τιμής αυτής.

## 6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 6.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Λιβαδάς, 1976 – Μπαλαφούτης, 1977) το κλίμα της δυτικής Μακεδονίας, όπου και βρίσκεται η περιοχή μελέτης, είναι ενδιάμεσο ή μεταβατικό μεταξύ μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος.

Σύμφωνα με την κλιματική υποδιαίρεση του Korpen (1936) το κλίμα της περιοχής έρευνας ανήκει στον τύπο Csa, που δηλώνει εύκρατο με ξηρό θέρος και μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 22° C. Τα χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος είναι το ξηρό και θερμό θέρος και οι ήπιοι και βροχεροί χειμώνες.

Επίσης αναφορικά με τη χρονική διάρκεια των εποχών, το Φθινόπωρο έχει συνήθως μικρή χρονική διάρκεια με απότομη μετάβαση προς το Χειμώνα, ενώ η Άνοιξη είναι ασταθής και αποτελεί στην ουσία μια μεταβατική περίοδο, όπου εμφανίζεται σειρά ημερών με χειμερινά χαρακτηριστικά για να ακολουθήσουν ημέρες με θερινά χαρακτηριστικά. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου κλίματος είναι και ο παγετός (Μπαλαφούτης, 2000).

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Thornthwaite (1951), (από Φλόκα, 1990) ο κλιματικός τύπος της εγγύτερης περιοχής έρευνας, από τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού της Καστοριάς, είναι: C<sub>1</sub>w<sub>2</sub>B<sub>2</sub>'b<sub>3</sub>'

όπου: C<sub>1</sub>: δηλώνει ημίυγρο προς υγρό κλίμα

w<sub>2</sub>: μεγάλο πλεόνασμα νερού κατά το θέρος

B<sub>2</sub>': μεσόθερμο τύπο

b<sub>3</sub>': μικρό ποσοστό θερμικής δραστηριότητας κατά το θέρος

### 6.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής συμβάλλει στο να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή. Η υδρολογία των υπογείων νερών δεν είναι ανεξάρτητη εκείνης των επιφανειακών. Έτσι λοιπόν για την εύρεση του υπόγειου δυναμικού μιας περιοχής, είναι απαραίτητη η εύρεση

του ισοζυγίου των επιφανειακών νερών. Είναι γνωστό ότι το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = R + E + I + dw + dq \quad (6.1)$$

όπου: P: τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R: η επιφανειακή απορροή

I: η κατείσδυση

dw: η μεταβολή υπόγειων αποθεμάτων

dq: το αποτέλεσμα επέμβασης του ανθρώπου

Θεωρώντας ότι η ανθρακική μάζα της πηγής του Βογατσικού επικοινωνεί με αυτή του Προφήτη Ηλία και αποτελεί αυτοτελές και αυτόνομο σύστημα επιφανειακά, είναι δυνατόν να καταρτιστεί το επιφανειακό υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής, το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$P = R + E + I \quad (6.2)$$

Για τον υπολογισμό ενός αξιόπιστου επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής είναι απαραίτητη η γνώση του ύψους της ετήσιας βροχόπτωσης, και της πραγματικής εξατμησοδιαπνοής, με δεδομένο ότι η επιφανειακή απορροή στα ανθρακικά πετρώματα είναι αμελητέα. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί πως η σχέση 6.2 αναφέρεται στο ισοζύγιο του επιφανειακού νερού της περιοχής και όχι στο συνολικό ισοζύγιο του νερού της περιοχής, καθώς για τον προσδιορισμό του συνολικού ισοζυγίου νερού απαιτείται ο προσδιορισμός της μεταβολής των υπόγειων αποθεμάτων της περιοχής (dw), καθώς και το μέγεθος των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην ίδια περιοχή (dq).

### 6.3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Η περιοχή των καρστικών όγκων έχει αρκετά καλή κάλυψη από βροχομετρικούς σταθμούς. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, από τους Παυλίδη (2002) και Χατζηστεφάνου (2002), των βροχομετρικών σταθμών Κλεισούρας, Καστοριάς, Άργος Ορεστικού και Νεστορίου. Στο παράρτημα αναφέρονται αναλυτικά τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή αυτών σε σχέση με την περιοχή μελέτης, ενώ στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.



**Σχήμα 6.1** Μετεωρολογικοί και βροχομετρικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής (κλίμακα 1:100000)

**Πίνακας 6.1** Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

| α/α | Βροχομετρικοί σταθμοί | Γεωγραφικό μήκος | Γεωγραφικό πλάτος | Υψόμετρο (m) | Περίοδος λειτουργίας | Φορέας |
|-----|-----------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------|--------|
| 1   | Καστοριά              | 21.2666          | 40.5166           | 690          | 1969 -               | ΔΕΗ    |
| 2   | Κλεισούρα             | 21.4666          | 40.5333           | 1250         | 1969 -               | ΔΕΗ    |
| 3   | Άργος Ορεστικό        | 21.2666          | 40.4666           | 650          | 1969 -               | ΔΕΗ    |
| 4   | Νεστόριο              | 21.0024          | 40.3544           | 950          | 1969 -               | ΔΕΗ    |

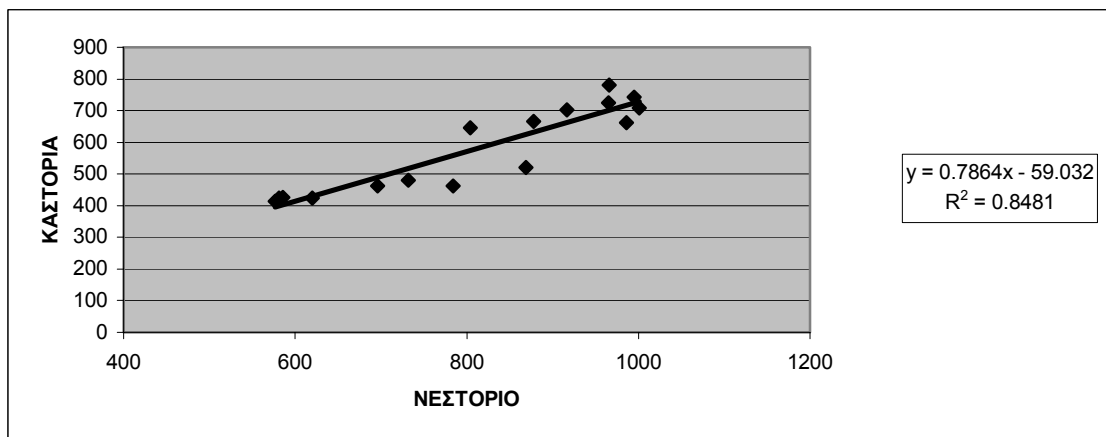
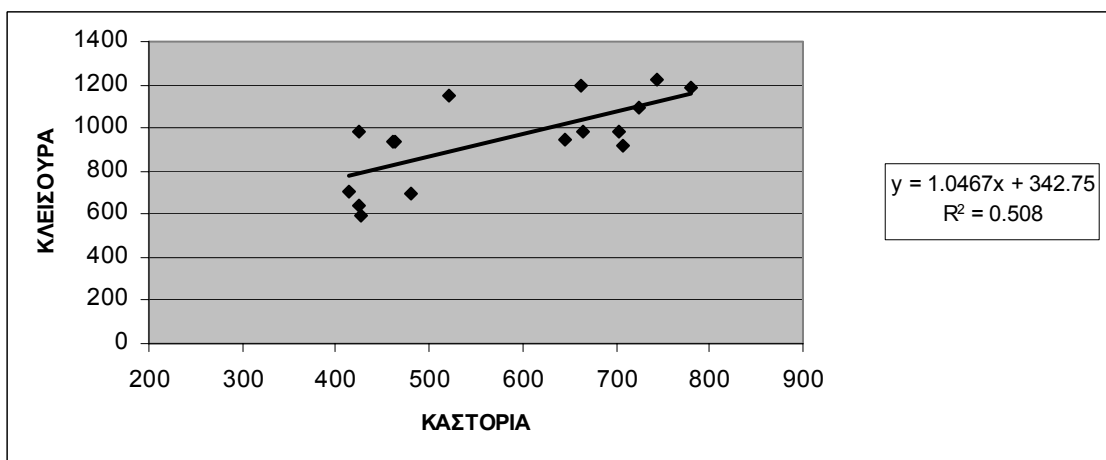
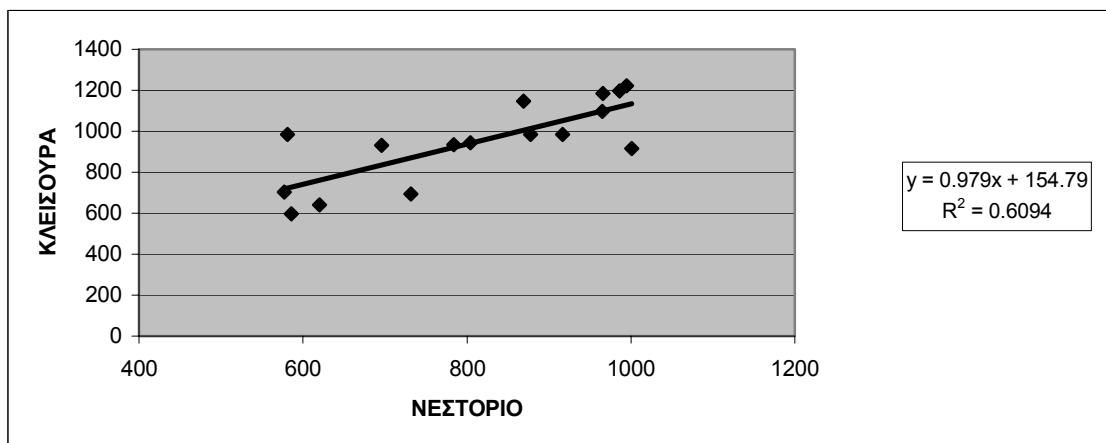
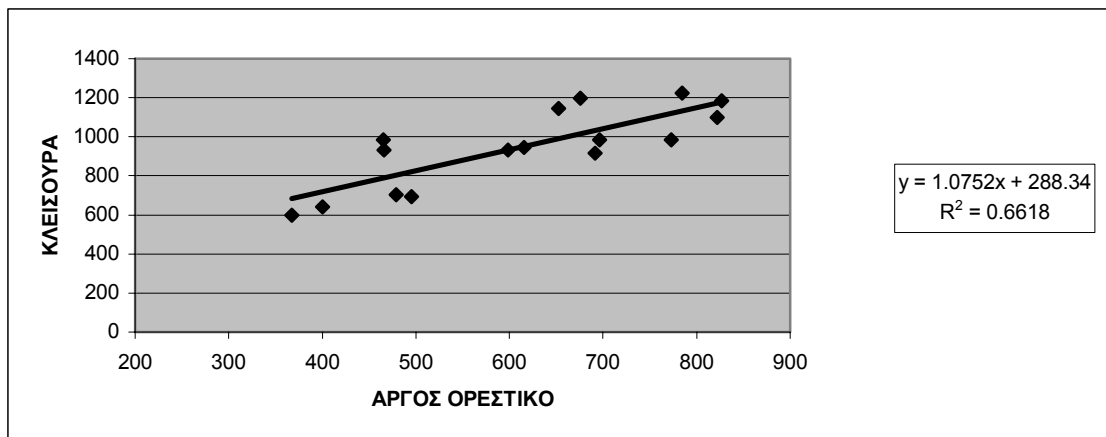
## 6.4 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

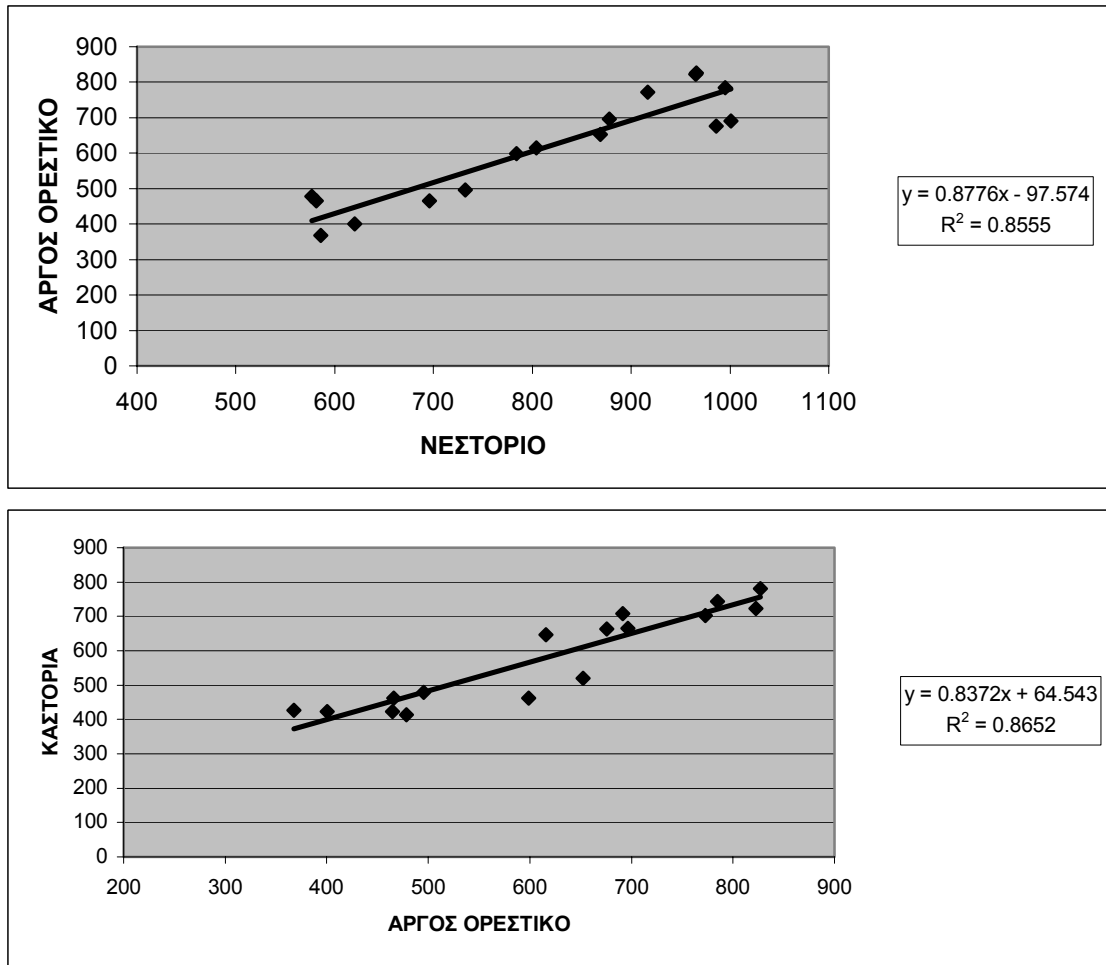
### 6.4.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων των βροχομετρικών σταθμών για χρονικό διάστημα 16 υδρολογικών ετών (1978 -1994). Η περίοδος αυτή θεωρείται ικανοποιητική και κατά τη διάρκειά της λειτούργησαν όλοι οι σταθμοί. Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των σταθμών, με βάση τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης (Σχήμα 6.2).

**Πίνακας 6.2** Συντελεστές συσχέτισης των βροχομετρικών σταθμών

|              | ΚΑΣΤΟΡΙΑ | ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ | ΑΡ. ΟΡΕΣΤΙΚΟ | ΝΕΣΤΟΡΙΟ |
|--------------|----------|-----------|--------------|----------|
| ΚΑΣΤΟΡΙΑ     | 1        |           |              |          |
| ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ    | 0.51     | 1         |              |          |
| ΑΡ. ΟΡΕΣΤΙΚΟ | 0.87     | 0.66      | 1            |          |
| ΝΕΣΤΟΡΙΟ     | 0.85     | 0.61      | 0.86         | 1        |

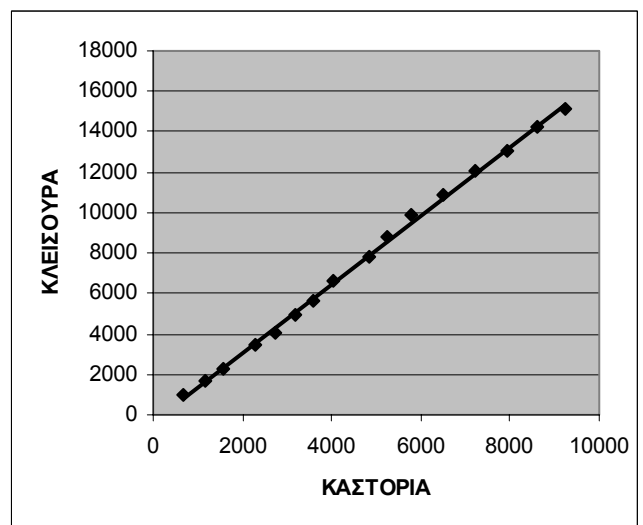
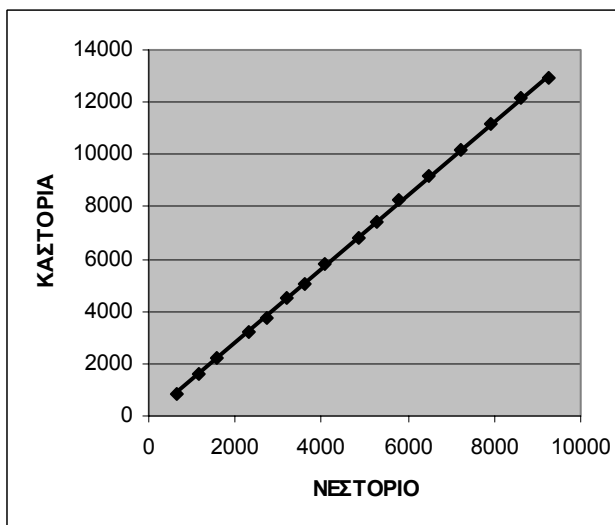
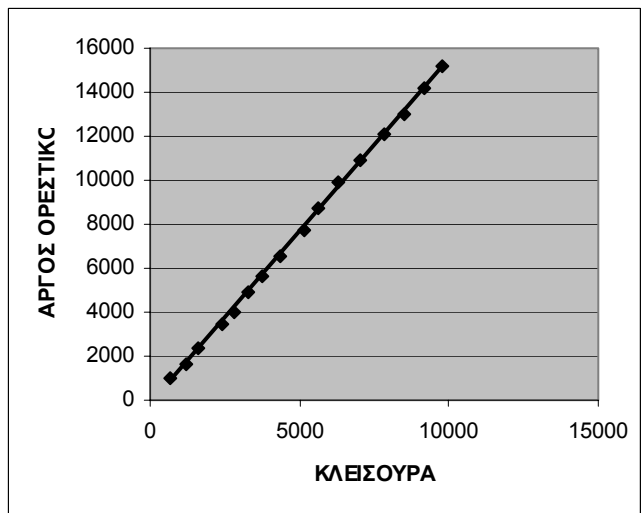
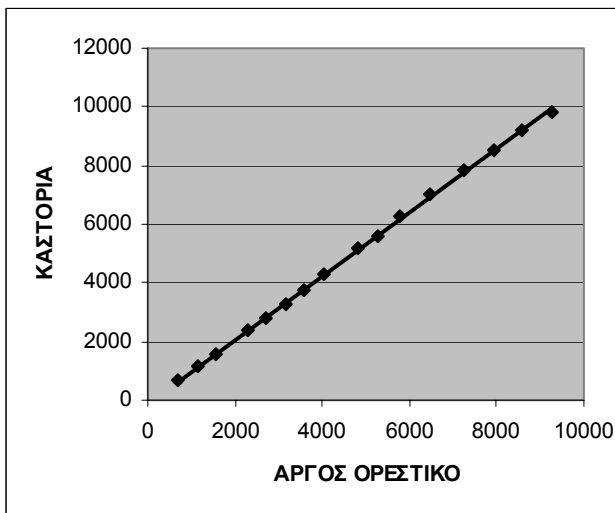
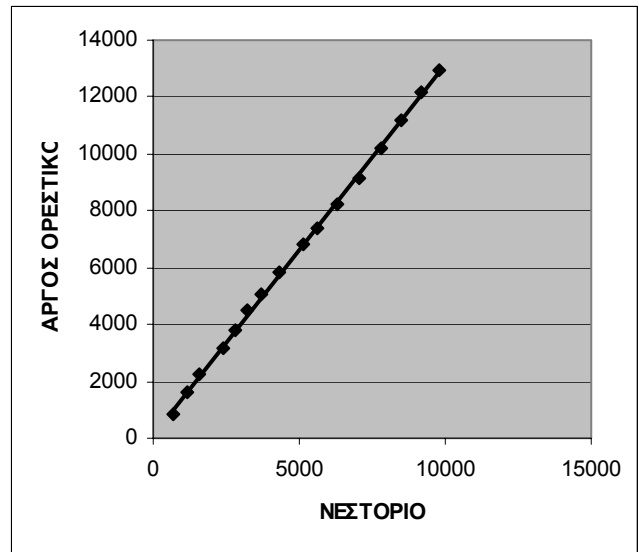
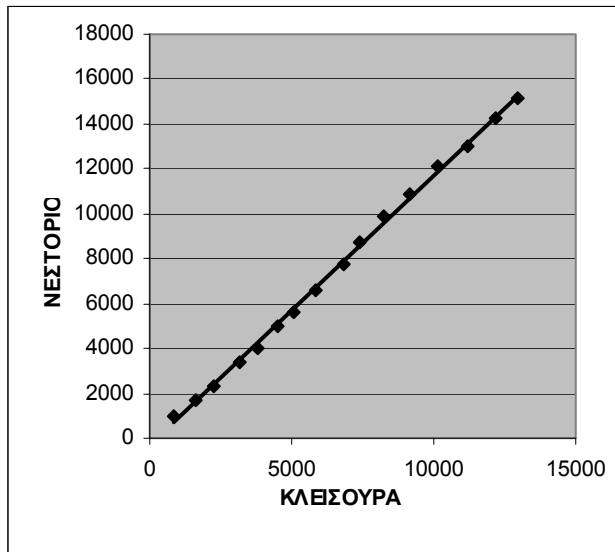




**Σχήμα 6.2** Συσχετίσεις των ετήσιων τιμών των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής

Για τον έλεγχο της ομοιογένειας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καμπύλης διπλής μάζας. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη σύγκριση των αθροιστικών ετήσιων τιμών βροχόπτωσης ενός σταθμού με τη σύγχρονη μέση αθροιστική βροχόπτωση μιας ομάδας γειτονικών σταθμών (Ξανθόπουλος, 1972 – Τσακίρης, 1995 – Μιμίκου, 1994 – Βουδούρης, 1995). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο όταν ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των σταθμών είναι μεγαλύτερος από 0.7. Συνήθως επιλέγονται σταθμοί που ανήκουν στην ίδια βροχομετρική ζώνη και εμφανίζουν μεγάλη συσχέτιση. Αλλαγή οφειλόμενη σε μετεωρολογικά αίτια επιδρά ομοιότροπα σε όλους τους σταθμούς και το διάγραμμα είναι ευθεία γραμμή.

Οι σταθμοί που εμφανίζουν ανομοιογένεια χρειάζονται διόρθωση, ώστε οι παρατηρήσεις τους να καταστούν ομοιογενείς. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλαπλασιασμό των ανομοιογενών παρατηρήσεων με τον λόγο  $K_1/K_2$  των κλίσεων των δύο ευθυγράμμων τμημάτων της καμπύλης διπλής μάζας. Με βάση την καμπύλη διπλής μάζας, (Σχήμα 6.3) όλοι οι σταθμοί είναι ομοιογενείς.



Σχήμα 6.3 Καμπύλες διπλής μάζας για τον έλεγχο της ομοιογένειας των σταθμών της περιοχής έρευνας (περίοδος 1978 – 1994)

#### 6.4.2 Σχέση ύψους βροχόπτωσης - υψομέτρου

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών για την περίοδο 1978 – 1994 μετά την ομοιογενοποίηση των δεδομένων τους.

**Πίνακας 6.3** Ετήσια ύψη βροχόπτωσης για την περίοδο 1978 - 1994

| α/α         | Υδρολογικό έτος | ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (mm) |               |                |               |
|-------------|-----------------|----------------------------|---------------|----------------|---------------|
|             |                 | ΚΑΣΤΟΡΙΑ                   | ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ     | ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ | ΝΕΣΤΟΡΙΟ      |
|             |                 | 690 m                      | 1250 m        | 650 m          | 950 m         |
| 1           | 1978-79         | 944.5                      | 646.1         | 615.7          | 804           |
| 2           | 1979-80         | 1196.1                     | 662.5         | 676            | 986           |
| 3           | 1980-81         | 916.6                      | 707.5         | 691.2          | 1001          |
| 4           | 1981-82         | 1221.9                     | 743.6         | 784.6          | 995           |
| 5           | 1982-83         | 983                        | 703           | 772.8          | 917           |
| 6           | 1983-84         | 1145.8                     | 520.4         | 652.6          | 869           |
| 7           | 1984-85         | 983.9                      | 423.9         | 464.9          | 581           |
| 8           | 1985-86         | 1184.4                     | 780.6         | 826.8          | 966           |
| 9           | 1986-87         | 933.4                      | 463           | 598.7          | 784           |
| 10          | 1987-88         | 702.8                      | 414.3         | 478.6          | 577           |
| 11          | 1988-89         | 932.1                      | 461.2         | 465.8          | 696           |
| 12          | 1989-90         | 597.6                      | 426           | 367.4          | 586           |
| 13          | 1990-91         | 1098.1                     | 723.9         | 822.2          | 965           |
| 14          | 1991-92         | 640.1                      | 423.8         | 400.5          | 620           |
| 15          | 1992-93         | 694.7                      | 479.8         | 495.5          | 732           |
| 16          | 1993-94         | 985.9                      | 665.5         | 696.6          | 878           |
| <b>M.O.</b> |                 | <b>947.56</b>              | <b>577.82</b> | <b>613.12</b>  | <b>809.12</b> |

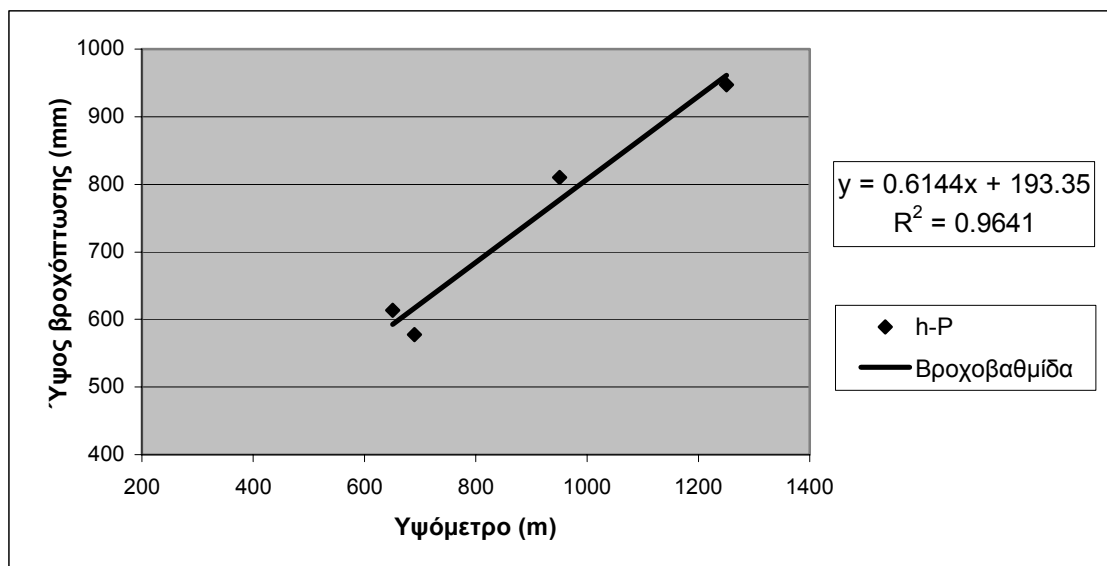
Η ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων (P) επηρεάζεται αποφασιστικά από το υψόμετρο (H) της περιοχής. Για τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας της περιοχής στα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής εφαρμόστηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η γραμμική μαθηματική έκφραση:

$$y = a \cdot x + \beta \quad (6.3)$$

με ανεξάρτητη μεταβλητή το υψόμετρο των σταθμών (H) και εξαρτημένη το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (P). Από τα δεδομένα του Πίνακα 6.3 προκύπτει η σχέση

$P = 0.6144 \cdot H + 193.35$  ( $R = 0.96$ ). Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (standard error of the estimate) είναι μικρό και αυτό υποδηλώνει ότι η προσαρμογή των δεδομένων στην ευθεία (Σχήμα 6.4) είναι καλή και για το δοσμένο υψόμετρο μπορούμε να προβλέψουμε το ύψος βροχόπτωσης, χωρίς μεγάλο σφάλμα.

Η κλίση της ευθείας αυτής (βροχοβαθμίδα) είναι σχετικά μεγάλη (υπάρχει μια αύξηση της τάξης των 61 χιλιοστών ανά 100 μέτρα) και μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι πέραν του υψομέτρου επεμβαίνει και ο παράγοντας ηπειρωτικότητα, ο οποίος επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη βροχοβαθμίδα (Καλλέργης κ.α., 2002).



**Σχήμα 6.4** Γραφική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχής – υψομέτρου στην περιοχή έρευνας

#### 6.4.3 Υπολογισμός της βροχόπτωσης για τον καρστικό όγκο

Για τον υπολογισμό του όγκου του νερού που δέχεται ο συνολικός ανθρακικός όγκος της περιοχής είναι απαραίτητη η εύρεση του μέσου υψομέτρου αυτού. Στον Πίνακα 6.4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή της επιφάνειας του συνόλου των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής σε σχέση με το υψόμετρο.

Με βάση τη σχέση 3.1, καθώς και την κατανομή της επιφάνειας στα διάφορα υψόμετρα του ορεινού όγκου (Πίνακας 6.4) προκύπτει ότι το μέσο υψόμετρο του συνόλου των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής είναι ίσο με  $H_M = 979.7$  m.

Έτσι από τη σχέση 6.3 προκύπτει ότι το συνολικό ύψος βροχόπτωσης που δέχεται το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής για την περίοδο 1978 - 1994 είναι ίσο 795.27 mm.

**Πίνακας 6.4** Υπολογισμός του μέσου υψόμετρου των ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής του Βογατσικού

| α/α           | Ισοϋψείς (α) – (β) | Μέσο υψόμετρο h' (m) | Επιφάνεια ε μεταξύ των (α) και (β) σε km <sup>2</sup> | E <sub>1</sub> % | Επιφάνεια E <sub>2</sub> % περικλειόμενη από την (β) |
|---------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------|
| 1             | <620               | 620                  | 0.0002                                                | 0.00068          | 0.00068                                              |
| 2             | 620-640            | 630                  | 0.0141                                                | 0.04794          | 0.0486201                                            |
| 3             | 640-660            | 650                  | 0.0599                                                | 0.20366          | 0.2522806                                            |
| 4             | 660-680            | 670                  | 0.076                                                 | 0.258401         | 0.5106811                                            |
| 5             | 680-700            | 690                  | 0.2582                                                | 0.877882         | 1.3885631                                            |
| 6             | 700-720            | 710                  | 0.3354                                                | 1.140363         | 2.5289256                                            |
| 7             | 720-740            | 730                  | 0.7184                                                | 2.442565         | 4.9714909                                            |
| 8             | 740-760            | 750                  | 0.9153                                                | 3.112027         | 8.0835178                                            |
| 9             | 760-780            | 770                  | 0.9545                                                | 3.245307         | 11.328825                                            |
| 10            | 780-800            | 790                  | 1.1779                                                | 4.004869         | 15.333694                                            |
| 11            | 800-820            | 810                  | 0.9253                                                | 3.146027         | 18.479721                                            |
| 12            | 820-840            | 830                  | 1.0761                                                | 3.658748         | 22.138469                                            |
| 13            | 840-860            | 850                  | 1.1805                                                | 4.013709         | 26.152178                                            |
| 14            | 860-880            | 870                  | 1.3515                                                | 4.59511          | 30.747288                                            |
| 15            | 880-900            | 890                  | 1.0706                                                | 3.640048         | 34.387336                                            |
| 16            | 900-920            | 910                  | 1.1266                                                | 3.830448         | 38.217784                                            |
| 17            | 920-940            | 930                  | 1.0422                                                | 3.543488         | 41.761272                                            |
| 18            | 940-960            | 950                  | 1.0173                                                | 3.458828         | 45.220099                                            |
| 19            | 960-980            | 970                  | 0.9905                                                | 3.367707         | 48.587807                                            |
| 20            | 980-1000           | 990                  | 1.2298                                                | 4.181329         | 52.769136                                            |
| 21            | 1000-1020          | 1010                 | 1.1366                                                | 3.864449         | 56.633585                                            |
| 22            | 1020-1040          | 1030                 | 1.3855                                                | 4.71071          | 61.344295                                            |
| 23            | 1040-1060          | 1050                 | 1.4196                                                | 4.826651         | 66.170946                                            |
| 24            | 1060-1080          | 1070                 | 1.2578                                                | 4.276529         | 70.447475                                            |
| 25            | 1080-1100          | 1090                 | 1.4158                                                | 4.813731         | 75.261206                                            |
| 26            | 1100-1120          | 1110                 | 1.5324                                                | 5.210171         | 80.471377                                            |
| 27            | 1120-1140          | 1130                 | 1.123                                                 | 3.818208         | 84.289585                                            |
| 28            | 1140-1160          | 1150                 | 0.7971                                                | 2.710146         | 86.999731                                            |
| 29            | 1160-1180          | 1170                 | 0.7431                                                | 2.526546         | 89.526277                                            |
| 30            | 1180-1200          | 1190                 | 0.7661                                                | 2.604746         | 92.131023                                            |
| 31            | 1200-1220          | 1210                 | 0.6385                                                | 2.170905         | 94.301927                                            |
| 32            | 1220-1240          | 1230                 | 0.5649                                                | 1.920664         | 96.222592                                            |
| 33            | 1240-1260          | 1250                 | 0.4416                                                | 1.501443         | 97.724035                                            |
| 34            | 1260-1280          | 1270                 | 0.2547                                                | 0.865982         | 98.590017                                            |
| 35            | 1280-1300          | 1290                 | 0.1764                                                | 0.599761         | 99.189778                                            |
| 36            | 1300-1320          | 1310                 | 0.1194                                                | 0.405961         | 99.595739                                            |
| 37            | 1320-1340          | 1330                 | 0.0614                                                | 0.20876          | 99.8045                                              |
| 38            | 1340-1360          | 1350                 | 0.0501                                                | 0.17034          | 99.97484                                             |
| 39            | >1360              | 1361                 | 0.0074                                                | 0.02516          | 100                                                  |
| <b>Σύνολο</b> |                    |                      | <b>29.4117</b>                                        |                  |                                                      |

Επίσης αναφορικά με τις μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης που δέχεται ο ανθρακικός όγκος αυτές προσδιορίζονται με βάση τον μέσο όρο των μηνιαίων τιμών των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής. Σε περίπτωση που το μέσο υψόμετρο του ανθρακικού όγκου παρουσιάζει απόκλιση σε σχέση με αυτό του μέσου όρου των βροχομετρικών σταθμών θα πρέπει να γίνει διόρθωση των μηνιαίων τιμών με βάση την βροχοβαθμίδα που υπολογίστηκε (σχέση 6.3).

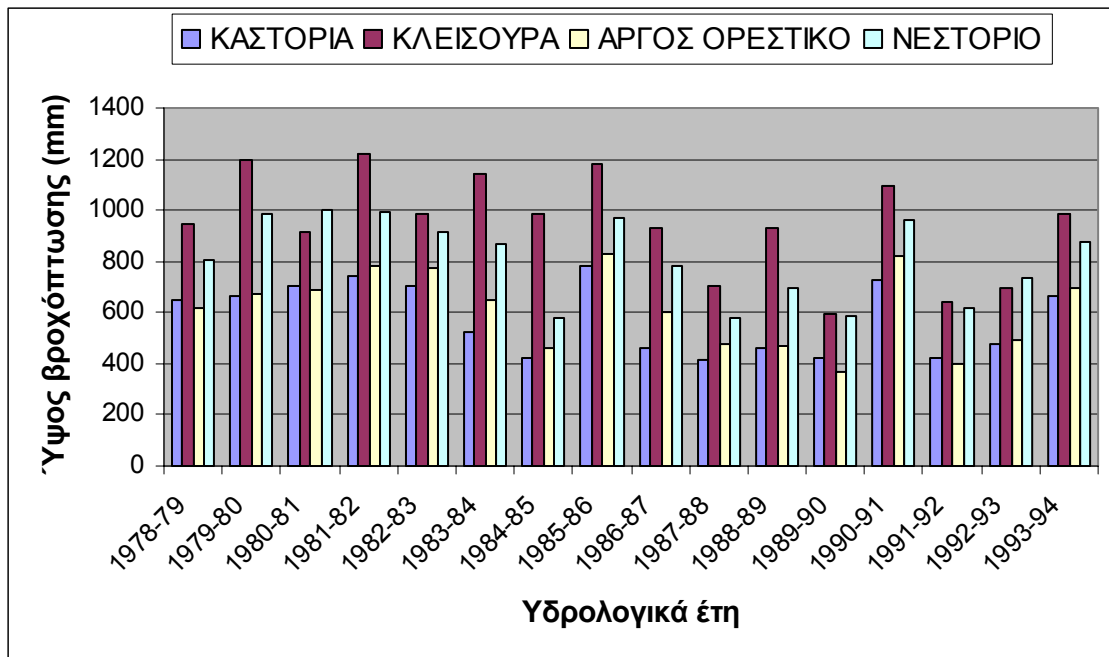
Έτσι στον παρακάτω Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μηνιαίων τιμών των τεσσάρων βροχομετρικών σταθμών. Ο μέσος όρος του υψομέτρου των βροχομετρικών σταθμών είναι ίσος με 885 m, ενώ το μέσο υψόμετρο του ανθρακικού όγκου είναι ίσο με 979.7 m. Έτσι και με βάση το γεγονός ότι υπάρχει αύξηση 61 mm ύψους βροχόπτωσης ανά 100 m προέκυψαν οι διορθωμένες τιμές των μηνιαίων βροχοπτώσεων που δέχεται το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής.

**Πίνακας 6.5** Μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων στους βροχομετρικούς σταθμούς και στην περιοχή του ανθρακικού όγκου του Βογατσικού για την περίοδο 1978 - 1994

|               | ΚΑΣΤΟΡΙΑ | ΚΛΕΙΣΟΥΡΑ | ΑΡΓΟΣ<br>ΟΡΕΣΤΙΚΟ | ΝΕΣΤΟΡΙΟ | Μ.Ο    | Διορθωμένη<br>τιμή |
|---------------|----------|-----------|-------------------|----------|--------|--------------------|
| <b>Ο</b>      | 66.09    | 90.08     | 68.55             | 80.94    | 76.42  | <b>81.57</b>       |
| <b>Ν</b>      | 88.44    | 128.31    | 90.97             | 123.63   | 107.84 | <b>112.68</b>      |
| <b>Δ</b>      | 65.41    | 121.55    | 72.55             | 107.63   | 91.78  | <b>96.65</b>       |
| <b>Ι</b>      | 49.50    | 89.89     | 54.08             | 74.63    | 67.03  | <b>71.84</b>       |
| <b>Φ</b>      | 49.65    | 91.79     | 56.78             | 77.44    | 68.92  | <b>73.74</b>       |
| <b>Μ</b>      | 44.38    | 114.74    | 50.06             | 59.63    | 67.20  | <b>72.01</b>       |
| <b>Α</b>      | 49.06    | 70.50     | 55.09             | 78.69    | 63.34  | <b>68.15</b>       |
| <b>Μ</b>      | 60.61    | 89.63     | 60.90             | 73.63    | 71.19  | <b>76.00</b>       |
| <b>Ι</b>      | 34.98    | 48.87     | 32.82             | 33.75    | 37.60  | <b>42.42</b>       |
| <b>Ι</b>      | 25.27    | 31.14     | 19.03             | 32.44    | 26.97  | <b>31.78</b>       |
| <b>Α</b>      | 25.56    | 38.45     | 28.41             | 36.81    | 32.31  | <b>37.12</b>       |
| <b>Σ</b>      | 18.88    | 32.60     | 23.88             | 30.63    | 26.49  | <b>31.31</b>       |
| <b>ΕΤΗΣΙΟ</b> | 577.82   | 947.56    | 613.12            | 809.81   | 737.08 | <b>795.27</b>      |

#### 6.4.4 Κατανομή των βροχοπτώσεων

Τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3 και στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η γραφική τους παράσταση.



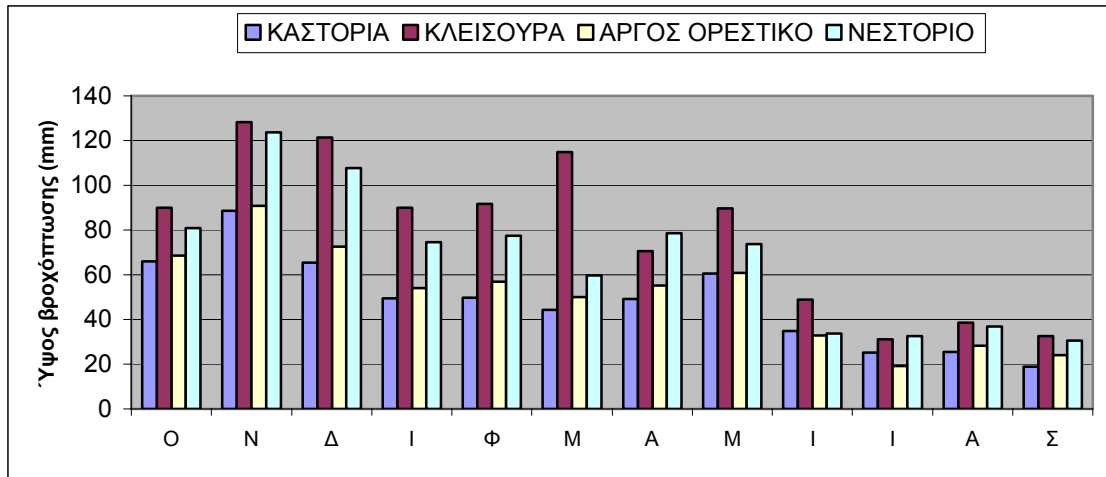
**Σχήμα 6.6** Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στους σταθμούς της περιοχής για την περίοδο 1978 – 1994

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ευρεία διακύμανση των ετήσιων τιμών της βροχόπτωσης. Υψηλότερες βροχοπτώσεις εμφανίζει ο σταθμός της Κλεισούρας και χαμηλότερες ο σταθμός της Καστοριάς. Τα έτη με τις μεγαλύτερες βροχοπτώσεις είναι το 1981 - 1982 και ακολουθεί το έτος 1979 – 1980. Επίσης οι χαμηλότερες βροχοπτώσεις αντιστοιχούν στα υδρολογικά έτη 1987 – 1988 και 1991-1992.

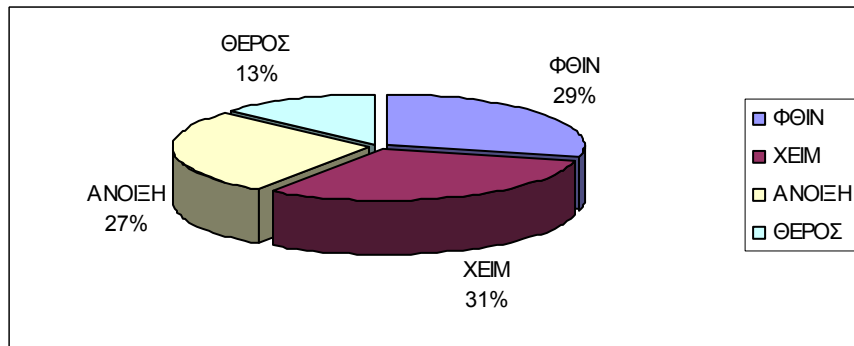
Από τον παραπάνω Πίνακα 6.5 προκύπτουν τα Σχήματα 6.7 και 6.8 όπου παρουσιάζονται το ιστόγραμμα της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης των σταθμών και η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων αντίστοιχα. Επίσης στον Πίνακα 6.6 δίνεται η μέση μηνιαία και εποχιακή κατανομή των κατακρημνισμάτων εκφρασμένη επί τοις εκατό (%).

Από τα παραπάνω διαγράμματα και πίνακες προκύπτει ότι το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό παρουσιάζεται κατά το μήνα Νοέμβριο (14.6 %), ενώ εξίσου σημαντικά ποσοστά εμφανίζονται και κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο. Οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Σεπτέμβριος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Τέλος παρατηρείται μια ομοιομορφία αναφορικά με την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, με αυτές να κατανέμονται σχεδόν ισόποσα κατά τη διάρκεια του Χειμώνα (31 %), του Φθινοπώρου (29 %) και της Άνοιξης (27 %), ενώ αρκετά σημαντικό είναι και το ποσοστό των βροχοπτώσεων κατά το Θέρος (13 %).



Σχήμα 6.7 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής των σταθμών της περιοχής έρευνας (χρονική περίοδος 1978 – 1994)



Σχήμα 6.8 Μέση ποσοστιαία (%) εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων (χρονική περίοδος 1978 – 1994)

Πίνακας 6.6 Μηνιαία και εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων (χρονική περίοδος 1978 – 1994)

| Μηνιαία κατανομή  |                  |             |     |
|-------------------|------------------|-------------|-----|
| Μήνας             | (%)              | Μήνας       | (%) |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ         | 10.4             | ΑΠΡΙΛΙΟΣ    | 8.6 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ         | 14.6             | ΜΑΙΟΣ       | 9.7 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ        | 12.5             | ΙΟΥΝΙΟΣ     | 5.1 |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ        | 9.1              | ΙΟΥΛΙΟΣ     | 3.7 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ       | 9.3              | ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ   | 4.4 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ           | 9.1              | ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 3.6 |
| Εποχιακή κατανομή |                  |             |     |
| Εποχή             | Μέσο ποσοστό (%) |             |     |
| ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ         | 28.6             |             |     |
| ΧΕΙΜΩΝΑΣ          | 30.9             |             |     |
| ΑΝΟΙΞΗ            | 27.4             |             |     |
| ΘΕΡΟΣ             | 13.1             |             |     |

## 6.5 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

### 6.5.1 Θερμοκρασία

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αέρα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των σταθμών Καστοριάς και Νεστορίου για το κοινό χρονικό διάστημα 1978 – 1994. Στους παρακάτω Πίνακες 6.7 και 6.8 παρουσιάζονται οι μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας για τη χρονική περίοδο 1978 – 1994. Από τα στοιχεία των παραπάνω σταθμών παρατηρούνται τα εξής (Σχήμα 6.9 και 6.10):

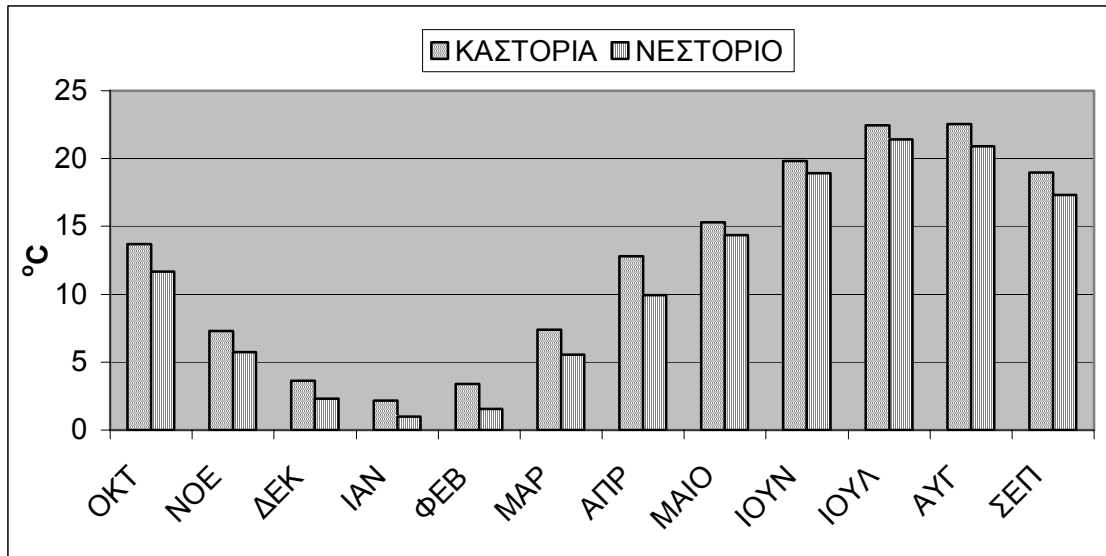
**Πίνακας 6.7** Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες σε °C των σταθμών Καστοριάς και Νεστορίου για τον χρονικό διάστημα 1978 – 1994

| Σταθμός         | ΟΚΤ  | ΝΟΕ | ΔΕΚ | ΙΑΝ | ΦΕΒ | ΜΑΡ | ΑΠΡ  | ΜΑΙ  | ΙΟΥΝ | ΙΟΥΛ | ΑΥΓ  | ΣΕΠ  | Μ.Ο.        |
|-----------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|
| <b>ΚΑΣΤΟΡΙΑ</b> | 13.7 | 7.3 | 3.6 | 2.2 | 3.4 | 7.4 | 12.8 | 15.3 | 19.8 | 22.4 | 22.5 | 19.0 | <b>12.5</b> |
| <b>ΝΕΣΤΟΡΙΟ</b> | 11.7 | 5.8 | 2.3 | 1.0 | 1.6 | 5.6 | 9.9  | 14.4 | 18.9 | 21.4 | 20.9 | 17.3 | <b>10.9</b> |

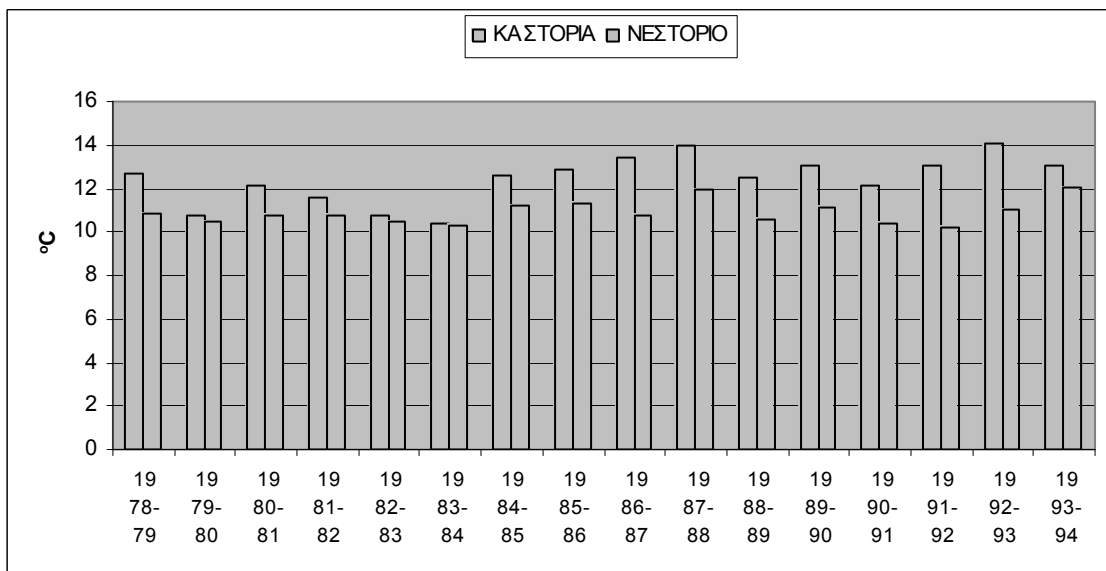
**Πίνακας 6.8** Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για την περίοδο 1978 - 1994

| Έτος           | ΚΑΣΤΟΡΙΑ | ΝΕΣΤΟΡΙΟ | Έτος           | ΚΑΣΤΟΡΙΑ    | ΝΕΣΤΟΡΙΟ    |
|----------------|----------|----------|----------------|-------------|-------------|
| <b>1978-79</b> | 12.7     | 10.9     | <b>1986-87</b> | 13.4        | 10.8        |
| <b>1979-80</b> | 10.7     | 10.5     | <b>1987-88</b> | 14.0        | 11.9        |
| <b>1980-81</b> | 12.2     | 10.8     | <b>1988-89</b> | 12.5        | 10.5        |
| <b>1981-82</b> | 11.6     | 10.7     | <b>1989-90</b> | 13.1        | 11.1        |
| <b>1982-83</b> | 10.8     | 10.5     | <b>1990-91</b> | 12.2        | 10.4        |
| <b>1983-84</b> | 10.4     | 10.3     | <b>1991-92</b> | 13.1        | 10.2        |
| <b>1984-85</b> | 12.6     | 11.3     | <b>1992-93</b> | 14.1        | 11.0        |
| <b>1985-86</b> | 12.9     | 11.4     | <b>1993-94</b> | 13.1        | 12.1        |
| <b>Μ.Ο</b>     |          |          |                | <b>12.5</b> | <b>10.9</b> |

Αναφορικά με τη μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας (Σχήμα 6.9) κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους στην περιοχή μελέτης, (για την περίοδο 1978 – 1994) αυτή κυμαίνεται από 2.2 °C (Ιανουάριος) έως 22.5 – 22.4 °C (Ιούλιος – Αύγουστος) για το σταθμό της Καστοριάς και από 1.0 °C (Ιανουάριος) έως 21.4 °C (Ιούλιος) για το σταθμό του Νεστορίου.



**Σχήμα 6.9** Ιστόγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς Καστοριά και Νεστόριο για την περίοδο 1978 – 1994



**Σχήμα 6.10** Διακύμανση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στους σταθμούς της περιοχής

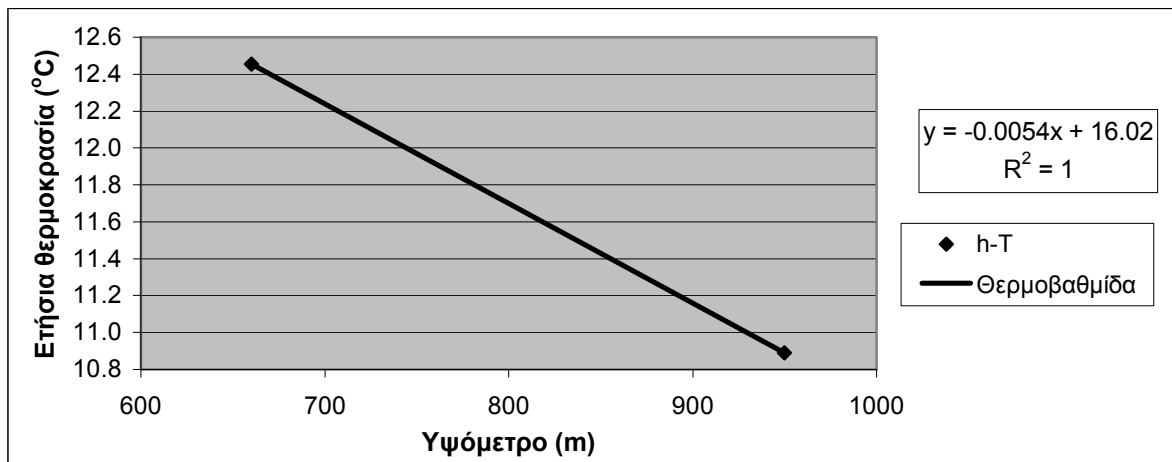
Από το Σχήμα 6.10 προκύπτει ότι κατά τη χρονική περίοδο 1978 – 1994 η διακύμανση της θερμοκρασίας στο σταθμό Καστοριά κυμαίνεται από 10.4 °C (υδρολογικό έτος 1983 -1984) έως 14.1 °C (υδρολογικό έτος 1992 -1993) ενώ στο σταθμό του Νεστορίου παρουσιάζεται μικρότερη διακύμανση από 10.2 °C (υδρολογικό έτος 1991 -1992) έως 12.1 °C (υδρολογικό έτος 1993 -1994).

Γενικότερα οι τιμές της θερμοκρασίας του σταθμού της Καστοριάς παρουσιάζονται μεγαλύτερες από αυτές του σταθμού του Νεστορίου γεγονός, το οποίο οφείλεται, κύρια στη διαφορά υψομέτρου που υπάρχει στους δύο σταθμούς.

### 6.5.2 Σχέση θερμοκρασίας - υψόμετρου

Παρά το γεγονός ότι τόσο ο αριθμός όσο και η κατανομή των σταθμών της περιοχής δεν είναι ομοιόμορφη επιχειρήθηκε η προσαρμογή μιας ευθείας παλινδρόμησης στα δεδομένα της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα και του υψόμετρου της περιοχής. Έτσι λοιπόν στα δεδομένα των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των σταθμών (Πίνακας 6.7) προσαρμόστηκε μια ευθεία παλινδρόμησης που συσχετίζει τη μέση ετήσια θερμοκρασία ( $\Theta$ ) με το υψόμετρο ( $h$ ) των σταθμών. Η εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης που προσαρμόζεται στα δεδομένα αυτά εκφράζεται μαθηματικά με την παρακάτω σχέση (Σχήμα 6.11):

$$\Theta(^{\circ}\text{C}) = -0.0054 \cdot h(\text{m}) + 16.02 \quad (6.4)$$



Σχήμα 6.11 Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας με το υψόμετρο

Η μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα γενικά ελαττώνεται μετά του ύψους. Ο ρυθμός αυτός μεταβολής στην περιοχή έρευνας όπως προκύπτει από την εξίσωση της ευθείας έχει μια μέση τιμή  $0.54^{\circ}\text{C}$  ανά  $100\text{ m}$  και αποτελεί τη θερμοβαθμίδα της περιοχής.

Εδώ θα πρέπει να τονισθεί πως η παραπάνω εξίσωση της κατανομής της θερμοκρασίας στα διάφορα υψόμετρα ισχύει μόνο μέχρι του υψόμετρου των  $950\text{ m}$  (υψόμετρο του σταθμού Νεστόριο). Ωστόσο λόγω αδυναμίας εύρεσης αξιόπιστων θερμοκρασιακών δεδομένων για τους άλλους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής θεωρήθηκε ότι ισχύει και για υψόμετρα μεγαλύτερα των  $950\text{ m}$ . Έτσι προκύπτει μέση ετήσια θερμοκρασία  $16.02^{\circ}\text{C}$  στην επιφάνεια της θάλασσας και ελάττωση αυτής κατά  $0.54^{\circ}\text{C}$  ανά  $100\text{ m}$ .

### 6.5.3 Υπολογισμός της θερμοκρασίας για τον καρστικό όγκο

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του καρστικού όγκου χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην περίπτωση των βροχοπτώσεων. Έτσι, με βάση το μέσο υψόμετρο και τη θερμοβαθμίδα, η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας είναι ίση με 11.6 °C.

Επίσης για τον υπολογισμό των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας εξετάστηκαν οι αντίστοιχοι μέσοι όροι. Έτσι ο μέσος όρος του υψομέτρου των βροχομετρικών σταθμών για τα οποία και υπάρχουν δεδομένα θερμοκρασίας είναι ίσος με 880 m, ενώ το μέσο υψόμετρο του ανθρακικού όγκου είναι ίσο με 979.7 m. Έτσι και με βάση το γεγονός ότι υπάρχει μείωση 0.54 °C θερμοκρασίας ανά 100 m προέκυψαν οι διορθωμένες τιμές των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας για το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής.

Στον παρακάτω Πίνακα 6.8 παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές καθώς επίσης και η μέση ετήσια για τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής για τη χρονική περίοδο 1978 – 1994.

**Πίνακας 6.8** Μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία για τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής του Βογατσικού

|                     | ΟΚΤ         | ΝΟΕ        | ΔΕΚ        | ΙΑΝ        | ΦΕΒ        | ΜΑΡ        | ΑΠΡ         | ΜΑΙ         | ΙΟΥΝ        | ΙΟΥΛ        | ΑΥΓ         | ΣΕΠ         | Μ.Ο.        |
|---------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>ΚΑΣΤΟΡΙΑ</b>     | 13.7        | 7.3        | 3.6        | 2.2        | 3.4        | 7.4        | 12.8        | 15.3        | 19.8        | 22.4        | 22.5        | 19.0        | 12.5        |
| <b>ΝΕΣΤΟΡΙΟ</b>     | 11.7        | 5.8        | 2.3        | 1.0        | 1.6        | 5.6        | 9.9         | 14.4        | 18.9        | 21.4        | 20.9        | 17.3        | 10.9        |
| <b>Μ.Ο</b>          | 12.7        | 6.5        | 3.0        | 1.6        | 2.5        | 6.5        | 11.4        | 14.8        | 19.4        | 21.9        | 21.7        | 18.2        | 11.7        |
| <b>Διορθ. τιμές</b> | <b>12.6</b> | <b>6.4</b> | <b>2.9</b> | <b>1.5</b> | <b>2.4</b> | <b>6.4</b> | <b>11.3</b> | <b>14.8</b> | <b>19.3</b> | <b>21.8</b> | <b>21.7</b> | <b>18.1</b> | <b>11.6</b> |

### 6.5.4 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι η οριακή εκείνη τιμή που μπορούν να λάβουν οι συνδυασμένες απώλειες από εξάτμιση και διαπνοή, αν τα αποθέματα σε νερό είναι αρκετά για να αντισταθμίσουν τις μέγιστες απώλειες. Ουσιαστικά δηλαδή είναι ένας κλιματικός δείκτης και δείχνει το όριο το οποίο θα μπορούσε να φτάσει η πραγματοποιούμενη διαπνοή, κάτω από τις κλιματικές της συνθήκες, αν υπήρχε συνεχής προσφορά νερού (Σούλιος, 1986).

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Thornthwaite (1944). Ο Thornthwaite προτείνει μια εμπειρική σχέση μεταξύ της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα. Η σχέση αυτή έχει παρακάτω μορφή:

$$E_p = 0.6 \left( \frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (6.5)$$

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239 \quad (6.6)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (6.7)$$

όπου:  $E_p$ : η μέση μηνιαία τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής σε mm

$T$ : η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{C}$

$I$ : ο ετήσιος θερμικός δείκτης

Για τον υπολογισμό της  $E_p$  εισάγεται και ένας διορθωτικός παράγοντας ( $n$ ), στον οποίο υπεισέρχονται τόσο ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα όσο και των πραγματικών ωρών μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου, ο οποίος και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού.

Στον Πίνακα 6.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου στον καρστικό όγκο της περιοχής του Βογατσικού.

**Πίνακας 6.9** Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για τον ανθρακικό όγκο της περιοχής του Βογατσικού (χρονική περίοδος 1978 – 1994)

|                                        | I     | Φ     | M     | A     | M     | I     | I     | A     | Σ     | Ο     | N      | Δ     | Σ/Μ.Ο.        |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------------|
| <b>P (mm)</b>                          | 71.84 | 73.73 | 72.01 | 68.15 | 76.00 | 42.42 | 31.78 | 37.12 | 31.31 | 81.57 | 112.68 | 96.65 | 795.27        |
| <b>T <math>^{\circ}\text{C}</math></b> | 1.50  | 2.39  | 6.40  | 11.29 | 14.75 | 19.28 | 21.84 | 21.65 | 18.07 | 12.60 | 6.44   | 2.88  | 11.59         |
| <b>i</b>                               | 0.16  | 0.33  | 1.45  | 3.43  | 5.14  | 7.72  | 9.32  | 9.20  | 6.99  | 4.05  | 1.47   | 0.43  | 49.70         |
| <b><math>E_p'</math></b>               | 3.5   | 6.3   | 22.1  | 45.6  | 64.1  | 90.2  | 105.7 | 104.5 | 83.0  | 52.4  | 22.3   | 8.0   |               |
| <b>n</b>                               | 0.83  | 0.83  | 1.03  | 1.11  | 1.25  | 1.26  | 1.27  | 1.19  | 1.04  | 0.96  | 0.82   | 0.8   |               |
| <b><math>E_p</math></b>                | 2.9   | 5.2   | 22.8  | 50.6  | 80.1  | 113.6 | 134.2 | 124.4 | 86.3  | 50.3  | 18.3   | 6.4   | <b>692.83</b> |

### 6.5.5 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Σε αντίθεση με την δυναμική εξατμισοδιαπνοή της οποίας η σημασία είναι κυρίως θεωρητική και βοηθητική η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί βασική υδρολογική παράμετρο για τον καθορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου. Για τον υπολογισμό της ακολουθήθηκαν οι κάτωθι τρόποι:

#### A. Τύπος Turc

Ο Turc (1954), εργάστηκε σε περίπου 250 λεκάνες στη Μεσόγειο, και προσδιόρισε μια σχέση μεταξύ της πραγματικής ετήσιας εξατμισοδιαπνοής ( $E$ ) σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ( $P$ ) και τη μέση ετήσια θερμοκρασία ( $T$ ) που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (6.8)$$

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05T^3 \quad (6.9)$$

Ο τύπος του Turc δεν λαμβάνει υπόψη τη βλάστηση, που αποτελεί σημαντικό παράγοντα και συνήθως δίνει αυξημένες τιμές εξατμισοδιαπνοής. Κατά κανόνα δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για τις καρστικές περιοχές του ελληνικού χώρου.

Εξαιρέσεις αποτελούν περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις και με χαμηλή μέση ετήσια θερμοκρασία (Σούλιος, 1985). Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί αντί της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας η διορθωμένη θερμοκρασία ( $T_{\Delta}$ ) δηλ.

$$T_{\Delta} = \frac{P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + \dots + P_{12} \cdot T_{12}}{P_{O\lambda}} \quad (5.10)$$

όπου:  $P_1, P_2, \dots, P_{12}$  τα μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων και  $T_1, T_2, \dots, T_{12}$  οι αντίστοιχες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Ο Σούλιος (1985) αναφέρει, ότι σε περίπτωση που εφαρμοσθεί σε καρστικές περιοχές, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο με τη διορθωμένη θερμοκρασία και μόνο σε περιπτώσεις με υψηλή σχετικά βροχόπτωση ( $> 800 \text{ mm}$ ) και σχετικά χαμηλή θερμοκρασία ( $< 15^\circ \text{C}$ ).

Στον Πίνακα 6.10, που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του τύπου του Turc τόσο με την μέση ετήσια ( $T$ ) όσο και με τη διορθωμένη θερμοκρασία ( $T_{\Delta}$ ).

**Πίνακας 6.10** Μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Turc (1978 – 1994)

| Ανθρακικός όγκος | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) | T    | Er     | Ποσοστό | T <sub>Δ</sub> | Er <sub>(TΔ)</sub> | Ποσοστό <sub>(TΔ)</sub> |
|------------------|------------------------------|------|--------|---------|----------------|--------------------|-------------------------|
|                  | 794.8                        | 11.6 | 522.15 | 65.7 %  | 9.49           | 476.92             | 60.0 %                  |

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Turc στον ορεινό όγκο της περιοχής προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται, χρησιμοποιώντας τη πραγματική θερμοκρασία, ετησίως αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 65.7 % ενώ χρησιμοποιώντας την διορθωμένη αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 60.0 %.

### B. Τύπος Coutagne

Ο Coutagne (1954) διατύπωσε την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$E_r = P - \lambda \cdot P^2 \quad (6.11)$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 \cdot T} \quad (6.12)$$

όπου Er και P είναι εκφρασμένα σε m.

Η σχέση του Coutagne ισχύει για ύψος βροχόπτωσης P που ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη:

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \quad (6.13)$$

Εάν τα κατακρημνίσματα είναι μικρότερα από  $1/8\lambda$  η εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με τα κατακρημνίσματα και δεν υπάρχει απορροή. Όταν είναι μεγαλύτερα από  $1/2\lambda$  η εξατμισοδιαπνοή είναι πλέον ανεξάρτητη από αυτά και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = 0.2 + 0.035 \cdot T \quad (6.14)$$

Η μέθοδος του Coutagne εφαρμόστηκε στους σταθμούς της περιοχής έρευνας. Οι τιμές που προκύπτουν δίνονται στον Πίνακα 6.11. Σύμφωνα με το Σούλιο (1985) ο τύπος του Coutagne εφαρμοζόμενος σε καρστικούς όγκος εισάγει σχετικά μικρότερα σφάλματα όταν παρουσιάζονται υψηλά κατακρημνίσματα, αλλά μεγαλύτερα στα χαμηλά κατακρημνίσματα. Ωστόσο εφαρμοζόμενος με τη διορθωμένη θερμοκρασία δίνει μικρότερα σφάλματα. Γενικότερα ο τύπος του

Coutagne δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές με χαμηλά υψόμετρα και σχετικά μέτριες θερμοκρασίες.

**Πίνακας 6.11** Μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Coutagne (1978 – 1994)

| Ανθρακικός όγκος | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) | T    | Er    | Ποσοστό | T <sub>Δ</sub> | Er <sub>(TΔ)</sub> | Ποσοστό <sub>(TΔ)</sub> |
|------------------|------------------------------|------|-------|---------|----------------|--------------------|-------------------------|
|                  | 794.8                        | 11.6 | 534.1 | 67.2 %  | 9.49           | 498.08             | 62.7 %                  |

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Coutagne στον ορεινό όγκο της περιοχής προκύπτει, ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται, χρησιμοποιώντας την πραγματική θερμοκρασία αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 67.2 % ενώ χρησιμοποιώντας την διορθωμένη αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 62.7 %.

### Γ. Μέθοδος Thornthwaite – Mather

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Er) από την δυναμική (Ep) συντάχθηκε το ισοζύγιο κατά τη μέθοδο Thornthwaite - Mather. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό τόσο της μηνιαίας, όσο και της ετήσιας δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι ο καθορισμός της μέγιστης αποθηκευτικής ικανότητας  $S_{to}$ , η οποία εξαρτάται κυρίως από την κοκκομετρική – λιθολογική σύσταση των υδροφόρων, την πυκνότητα και το είδος της βλάστησης, το βάθος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από την επιφάνεια του εδάφους και την εδαφική κλίση (Βαφειάδης, 1983 - Ράπτη, 1995).

Σύμφωνα με το Σούλιο (1985) στην περίπτωση της εφαρμογής της μεθόδου σε καρστικά συστήματα του ελληνικού χώρου, οι τιμές της μέγιστης αποθηκευτικής ικανότητας  $S_{to}$  κυμαίνονται από 0 – 10 mm, για εντελώς γυμνό καρστ, έως 50 – 60 mm για καρστ με μέτρια προς υψηλή κάλυψη. Στην περίπτωση μας για τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του καρστικού όγκου της περιοχής χρησιμοποιήθηκε η τιμή 35 mm. Η τιμή αυτή έχει ελεγχθεί από το Σούλιο (1985) στο γειτονικό καρστικό σύστημα των πηγών Κορησού και Μηλίτσας και έχει δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Er) από τη δυναμική (Ep) ακολουθούνται τα εξής (Thornthwaite, 1955 – Βαφειάδης, 1983 - Βουδούρης, 1995):

Αν η βροχόπτωση (P) υπερβαίνει την  $E_p$  τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με την δυναμική. Η διαφορά ( $P - E_p$ ) αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρις ότου κορεσθεί από υγρασία. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα σύμφωνα με τη σχέση 6.15.

$$St = S_{io} \cdot e^{-\frac{APWL}{S_{io}}} \quad (6.15)$$

όπου: St: είναι η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα

APWL: ποσότητα που εκφράζει την απώλεια νερού που υφίσταται το έδαφος από την ελάττωση της υγρασίας του

Η APWL είναι μηδέν, όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή. Στην αντίθετη περίπτωση για τον υπολογισμό της APWL προστίθεται στην αρνητική τιμή ( $P - E_p$ ) του μήνα η τιμή του APWL του προηγούμενου μήνα.

Αν οι μηνιαίες βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από την  $E_p$  τότε η  $E_t$  είναι ίση με το άθροισμα των βροχοπτώσεων και της  $|\Delta St|$ . Το  $\Delta St$  εκφράζει τη μεταβολή του νερού που υπάρχει στο έδαφος από μήνα σε μήνα. Οι παραπάνω υπολογισμοί αρχίζουν από το μήνα Ιανουάριο, κατά τον οποίο το έδαφος έχει ικανοποιήσει τις ανάγκες σε νερό.

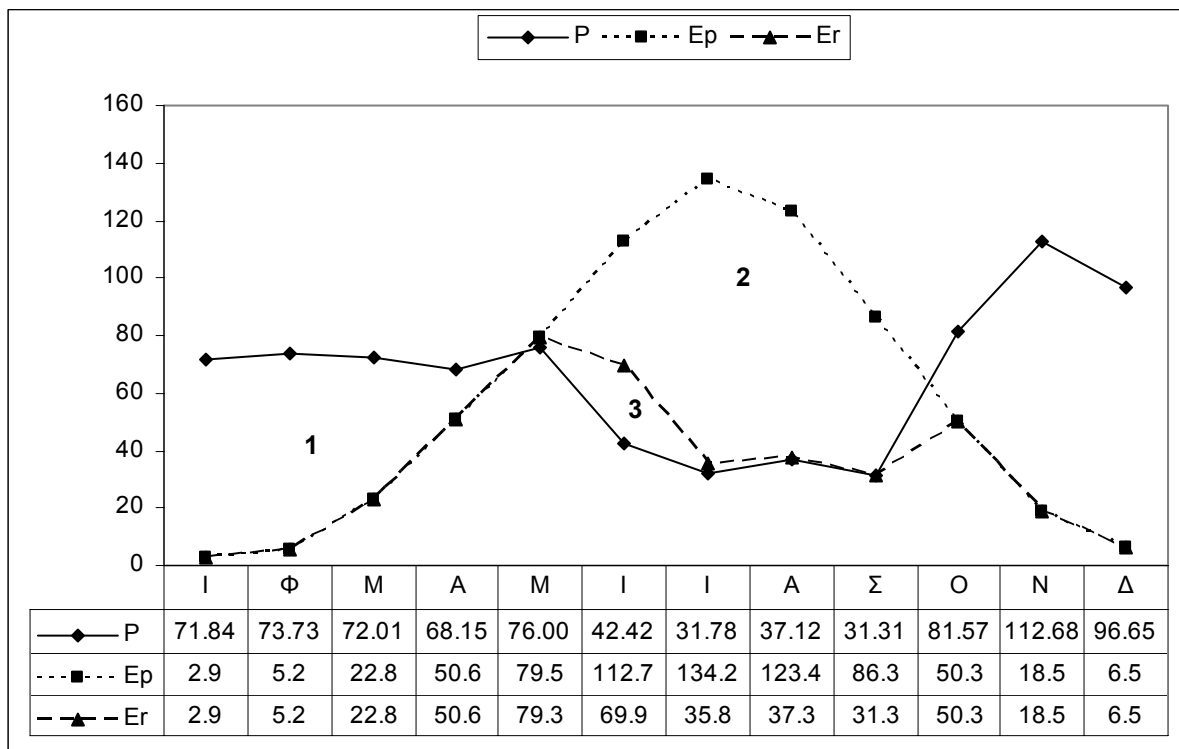
Για την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite - Mather στον ορεινό καρστικό όγκο της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας από τους Πίνακες 6.5 και 6.8 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.12 που ακολουθεί.

Εφαρμόζοντας λοιπόν τη μέθοδο του Thornthwaite - Mather στον ορεινό όγκο της περιοχής προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται ετησίως αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 51.6%.

Επίσης από τα διαγράμματα του ισοζυγίου του νερού (Σχήμα 6.12) διαπιστώνεται ότι η κύρια τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων του καρστικού όγκου γίνεται γενικά από τις αρχές Σεπτεμβρίου ως τις αρχές Μαρτίου ενώ, κατά τους υπόλοιπους μήνες παρατηρείται έλλειμμα νερού και γίνεται χρήση της υγρασίας του εδάφους.

**Πίνακας 6.12** Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για τον καρστικό όγκο της περιοχής του Βογατσικού (χρονική περίοδος 1978 - 1994)

| Ανθρακικός Όγκος |       |       |       |       | $S_{10} =$ | 35    | $\alpha =$ | 1.275  | Συντ. Πρ. εξατμης. |       |        |       | 51.6%  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|--------|--------------------|-------|--------|-------|--------|
|                  | I     | Φ     | M     | A     | M          | I     | I          | A      | Σ                  | O     | N      | Δ     | Σ/Μ.Ο. |
| $T^{\circ}C$     | 1.5   | 2.4   | 6.4   | 11.3  | 14.8       | 19.3  | 21.8       | 21.7   | 18.1               | 12.6  | 6.4    | 2.9   | 11.6   |
| i                | 0.16  | 0.33  | 1.45  | 3.43  | 5.14       | 7.72  | 9.32       | 9.20   | 6.99               | 4.05  | 1.47   | 0.43  | 49.70  |
| $E_p'$           | 3.5   | 6.3   | 22.1  | 45.6  | 64.1       | 90.2  | 105.7      | 104.5  | 83.0               | 52.4  | 22.3   | 8.0   |        |
| n                | 0.84  | 0.83  | 1.03  | 1.11  | 1.24       | 1.25  | 1.27       | 1.18   | 1.04               | 0.96  | 0.83   | 0.81  |        |
| $E_p$            | 2.9   | 5.2   | 22.8  | 50.6  | 79.5       | 112.7 | 134.2      | 123.4  | 86.3               | 50.3  | 18.5   | 6.5   | 692.83 |
| P (mm)           | 71.84 | 73.73 | 72.01 | 68.15 | 76.00      | 42.42 | 31.78      | 37.12  | 31.31              | 81.57 | 112.68 | 96.65 | 795.27 |
| APWL             | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | -3.4       | -73.7 | -176.2     | -262.4 | -317.4             | 0.0   | 0.0    | 0.0   |        |
| St               | 35.0  | 35.0  | 35.0  | 35.0  | 31.7       | 4.3   | 0.2        | 0.0    | 0.0                | 31.2  | 35.0   | 35.0  |        |
| $\Delta St$      | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | -3.3       | -27.5 | -4.0       | -0.2   | 0.0                | 31.2  | 3.8    | 0.0   |        |
| Er               | 2.9   | 5.2   | 22.8  | 50.6  | 79.3       | 69.9  | 35.8       | 37.3   | 31.3               | 50.3  | 18.5   | 6.5   | 410.4  |
| Έλλ. νερού       | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.2        | 42.8  | 98.4       | 86.0   | 55.0               | 0.0   | 0.0    | 0.0   |        |
| Ολ. Απορροή      | 68.9  | 68.5  | 49.2  | 17.6  | 0.0        | 0.0   | 0.0        | 0.0    | 0.0                | 0.0   | 90.4   | 90.2  | 384.9  |



**Σχήμα 6.14** Υδρολογικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite -Mather για το καρστικό όγκο της περιοχής (1978 – 1994). (1) αναπλήρωση του νερού του εδάφους + κατείδυση + απορροή, (2) πραγματική έλλειψη νερού, (3) χρησιμοποίηση της υγρασίας του εδάφους για εξατμηση

### 6.5.6 Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων

Σχετικά με τη χρησιμοποίηση των εμπειρικών τύπων των Turc και Coutagne, ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής δε μπορεί παρά να είναι προσεγγιστικός. Κι' αυτό γιατί στον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Er) παρεμβαίνουν η μέση ετήσια θερμοκρασία και τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα, με συνέπεια το αποτέλεσμα να εμπεριέχει σφάλματα, τα οποία προέρχονται από μια σειρά άλλες παραμέτρους που δε λαμβάνονται υπόψη.

Ειδικότερα στην περίπτωση εφαρμογής τους σε καρστικά συστήματα θα πρέπει να υπάρχουν ιδιαίτερες κλιματολογικές – μετεωρολογικές συνθήκες για να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματά τους (Σούλιος, 1985). Η εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων με τη χρήση της διορθωμένης θερμοκρασίας δίνει μικρότερα σφάλματα, τα οποία ωστόσο, για την περιοχή έρευνας παρουσιάζονται αρκετά μεγάλα.

Οι τιμές του συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που προέκυψαν με εφαρμογή των τύπων του Turc και του Coutagne παρουσιάζονται αρκετά πιο υψηλές σε σχέση με αυτές που προκύπτουν με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Η μέθοδος των Thornthwaite – Mather λαμβάνει υπόψη της, τόσο το ολικό ύψος των κατακρημνισμάτων και την ετήσια διακύμανσή τους κατά τους 12 μήνες, όσο και την φύση του πετρώματος και την κάλυψή του. Υπό αυτές τις συνθήκες θεωρούνται σαν πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου αυτής στην περιοχή.

## 6.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Με τον όρο επιφανειακή απορροή ορίζεται το τμήμα εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις πέσει στην επιφάνεια του εδάφους ρέει επιφανειακά και εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα της περιοχής από το οποίο απάγεται οδηγούμενο τελικά στη θάλασσα (ή σε λίμνη) όπου εκχύνεται (Σούλιος, 1986).

Στην περίπτωση των καρστικών συστημάτων η επιφανειακή απορροή είναι σχεδόν αμελητέα και τα κατακρημνίσματα διαμοιράζονται μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής και της κατείσδυσης. Στην περίπτωσή μας η επιφανειακή απορροή εκτιμήθηκε ίση με το 2 % του ολικού ύψους των κατακρημνισμάτων που δέχεται ο καρστικός όγκος λόγω του ιδιαίτερα έντονου αναγλύφου που παρουσιάζει η ευρύτερη περιοχή.

## 6.7 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

Η διαφορά της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελεί το πλεόνασμα νερού και αντιπροσωπεύει εκείνες τις ποσότητες του νερού που αντιστοιχούν στις διαδικασίες της απορροής και της κατείσδυσης. Η κατείσδυση αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και φθάνοντας στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στα αποθέματα των υπογείων νερών, μετέχει στις κινήσεις των τελευταίων (Σούλιος, 1986).

Μέτρο της κατείσδυσης είναι ο συντελεστής κατείσδυσης (I), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση. Ο Μαρίνος (1975) θεωρεί ότι για τις τυπικές καρστικές συνθήκες της Ελλάδας, οι τιμές του συντελεστή κατείσδυσης πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 40 % και 55 %.

Όπως προέκυψε από το ισοζύγιο Thornthwaite – Mather ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, για το σύνολο των ανθρακικών όγκων της περιοχής του Βογατσικού, είναι της τάξης του 51.6 % του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Το υπόλοιπο αντιστοιχεί στις διαδικασίες της κατείσδυσης και της επιφανειακής απορροής. Με δεδομένο ότι η επιφανειακή απορροή αντιστοιχεί σε 2 % του ύψους της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι ο συντελεστής κατείσδυσης του καρστικού όγκου της περιοχής είναι της τάξεως του 46.4 % του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συντελεστή κατείσδυσης σε καρστικές περιοχές είναι αυτή των συντελεστών του Kessler. Ο ερευνητής αυτός με βάση μακροχρόνιες μετρήσεις και παρατηρήσεις σε μια καρστική περιοχή της Ουγγαρίας κατέληξε να προτείνει κάποιους συντελεστές, διαφορετικούς για κάθε μήνα του έτους για τον προσδιορισμό της κατείσδυσης. Οι συντελεστές αυτοί παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1957 (Kessler, 1957) και αργότερα τροποποιήθηκαν ελαφρά από τον ίδιο (Kessler, 1965).

Ο Μαρίνος (1975) αναφέρει ότι η εφαρμογή των συντελεστών Kessler για τον υπολογισμό της κατείσδυσης δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο Σούλιος (1985) αναφέρει πως γενικά η εφαρμογή τους δίνει συντελεστή κατείσδυσης της τάξης του 44 – 50 %. Επίσης με δεδομένο ότι οι συντελεστές της μεθόδου αυτής προσδιορίστηκαν με βάση δεδομένα από την κεντρική Ουγγαρία, είναι προτιμότερο να αποφεύγεται η εφαρμογή της μεθόδου σε ελληνικά καρστικά συστήματα με σχετικά υψηλή μέση θερμοκρασία αέρα (της τάξης των 16° ή 17° C).

Στον Πίνακα 6.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις του ορεινού καρστικού όγκου της περιοχής του Βογατσικού που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.

Από την εφαρμογή της μεθόδου διαπιστώνεται, ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στις μηνιαίες τιμές της κατείδδυσης που υπολογίσθηκαν σε σχέση με την κατείδδυση που υπολογίσθηκε, λαμβάνοντας υπόψη και την επιφανειακή απορροή, με την μέθοδο Thornthwaite – Mather. Ωστόσο ο μέσος ετήσιος συντελεστής κατείδδυσης ανέρχεται σε 45.3 % (Kessler, 1957) και 47.4 % (Kessler, 1965) του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, ο οποίος και βρίσκεται στα αποδεκτά όρια για αμιγείς καρστικές περιοχές του ελληνικού χώρου και προσεγγίζει, με αρκετή ακρίβεια, το συντελεστή που υπολογίσθηκε από τη μέθοδο Thornthwaite – Mather.

**Πίνακας 6.13** Υπολογισμός του συντελεστή κατείδδυσης με τη μέθοδο Kessler (1957) και (1965) για τη χρονική περίοδο 1978 – 1994

| Μήνες                   | P (mm) | Συντελ..(1957) | Συντελ..(1965) | Κατεισ.(1957) | Κατεισ.(1965) |
|-------------------------|--------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| I                       | 71.8   | 0.434          | 0.502          | 31.178        | 36.063        |
| Φ                       | 73.7   | 0.775          | 0.733          | 57.140        | 54.044        |
| M                       | 72.0   | 1.13           | 1.236          | 81.376        | 89.009        |
| A                       | 68.1   | 0.6            | 0.654          | 40.890        | 44.570        |
| M                       | 76.0   | 0.446          | 0.472          | 33.898        | 35.874        |
| I                       | 42.4   | 0.339          | 0.287          | 14.379        | 12.174        |
| I                       | 31.8   | 0.207          | 0.206          | 6.579         | 6.547         |
| A                       | 37.1   | 0.176          | 0.181          | 6.534         | 6.719         |
| Σ                       | 31.3   | 0.146          | 0.156          | 4.571         | 4.884         |
| O                       | 81.2   | 0.128          | 0.123          | 10.397        | 9.991         |
| N                       | 112.6  | 0.225          | 0.243          | 25.346        | 27.374        |
| Δ                       | 96.6   | 0.497          | 0.513          | 48.009        | 49.554        |
| Σ/Μ.Ο.                  | 794.8  |                |                | 360.3         | 376.8         |
| Συντελεστής κατείδδυσης |        |                |                | 45.3 %        | 47.4 %        |

Τέλος αναφορικά με την ειδική απόδοση του καρστ, που ως γνωστό εξαρτάται από το συντελεστή κατείδδυσης και το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, για τον καρστικό όγκο της ευρύτερης περιοχής του Βογατσικού, με μέσο ύψος βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα 1978 – 1994 ίσο με 795.27 mm, ανέρχεται σε 11.7 lit/sec.km<sup>2</sup>, τιμή η οποία θεωρείται μέση και ενδεικτική για τον ελληνικό χώρο (Σούλιος, 1985).

Με βάση την τιμή της ειδικής απόδοσης του καρστ και τα εκκενώσιμα αποθέματα που υπολογίσθηκαν με το πρότυπο του Maillet προκύπτει ότι η επιφάνεια που αντιστοιχεί στα αποθέματα αυτά είναι ίση  $15.31 \text{ km}^2$ . Επιβεβαιώνεται λοιπόν και αριθμητικά ότι υπάρχει τροφοδοσία του ανθρακικού όγκου της πηγής του Βογατσικού από τα γειτονικά ανθρακικά πετρώματα του Προφήτη Ηλία. Επίσης με δεδομένο ότι τα ολικά ετήσια αποθέματα της πηγής είναι περισσότερα αναμένεται να είναι μεγαλύτερη η έκταση της υπόγειας λεκάνης που τροφοδοτεί την πηγή του Βογατσικού.

## 6.8 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Με βάση την παραπάνω ανάλυση προκύπτει το παρακάτω προσεγγιστικό ισοζύγιο νερού για την περιοχή μελέτης. Εδώ πρέπει να τονισθεί, πως το ισοζύγιο αυτό αναφέρεται στα επιφανειακά νερά της περιοχής (Πίνακας 6.14).

Για τον υπολογισμό του συνολικού ισοζυγίου του ύδατος της περιοχής είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της μεταβολής των υπόγειων αποθεμάτων της ( $dw$ ), καθώς και το μέγεθος των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην περιοχή ( $dq$ ).

**Πίνακας 6.14** Προσεγγιστικό ισοζύγιο ύδατος για την καρστική περιοχή του Βογατσικού (χρονική περίοδος 1978 – 1994)

|                        | P                 | E                 | I                 | R                |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Υψος νερού (mm)        | 794.8             | 410.1             | 368.8             | 15.9             |
| Όγκος ( $\text{m}^3$ ) | $23.4 \cdot 10^6$ | $12.1 \cdot 10^6$ | $10.8 \cdot 10^6$ | $0.5 \cdot 10^6$ |
| Ποσοστό %              | 100               | 51.6              | 46.4              | 2.0              |

## 7. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 7.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στα πλαίσια της διερεύνησης των υδρογεωλογικών και υδροχημικών συνθηκών της περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις. Στην παρούσα εργασία πάρθηκαν, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν συνολικά 16 δείγματα νερού ( $G_1 - G_{16}$ ) από την πηγή Βογατσικού.

Η δειγματοληψία καθώς και οι χημικές αναλύσεις έγιναν κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουάριου - Σεπτεμβρίου του 2004 στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Για τον πλήρη καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, απαιτείται μια σειρά από αναλύσεις. Αυτές μπορεί να είναι αναλύσεις για τον προσδιορισμό κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του νερού, μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις. Στις χημικές αναλύσεις περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, όπως οργανικές ενώσεις, διαλυμένα άλατα, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα. Στην παρούσα διατριβή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού εξασφαλίζονται με προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κύριων ανιόντων και κατιόντων του.

Τα δείγματα που πάρθηκαν υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις των κύριων συστατικών τους καθώς και των νιτρικών ιόντων, που ανήκουν στα δευτερεύοντα συστατικά. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εκφρασμένα σε mg/lt φαίνονται στον Πίνακα 7.1. Στον Πίνακα 7.1 εκτός από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων (mg/l), δίνονται το pH, η αγωγιμότητα C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), καθώς επίσης και τα διαλυμένα στερεά συστατικά (T.D.S.).

Οι χημικές αναλύσεις έγιναν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας και κρίνονται ιδιαίτερα αξιόπιστες, αφού τα σφάλματα που υπολογίστηκαν κυμαίνονται από 0 έως 4 %, με εξαίρεση ελάχιστα δείγματα τα οποία είχαν σφάλμα έως 5 %.

Για τη διενέργεια αυτών των χημικών αναλύσεων εφαρμόστηκε η μέθοδος HACH με τη χρήση της συσκευής φασμαφωτομετρίας, HACH DR 2000. Το pH προσδιορίστηκε με τη συσκευή HANNA Instruments HI 9024, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα C, προσδιορίστηκε με τη συσκευή JENWAY 4071.

Πίνακας 7.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών της περιοχής

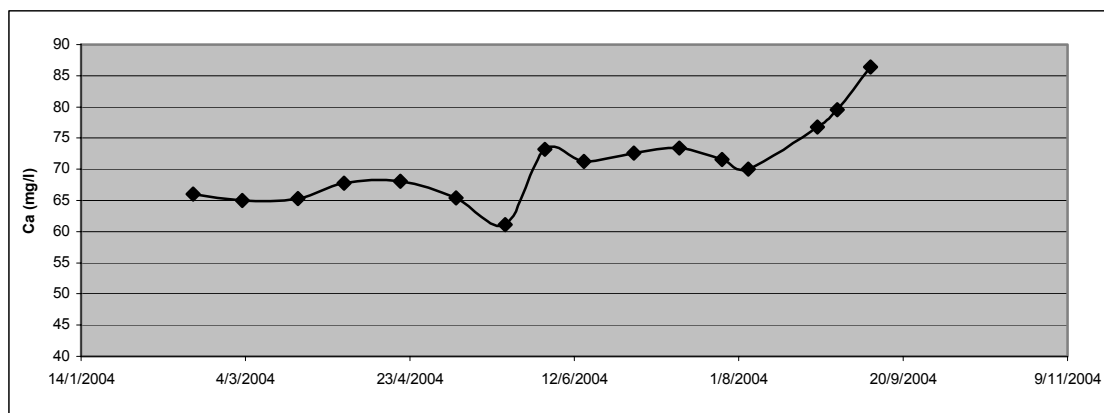
| Ημερομηνία | Κωδ.            | Συγκεντρώσεις ιόντων εκφρασμένες σε (mg/l) |      |      |       |                  |                 |     |                 | C<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | TDS   | pH   |
|------------|-----------------|--------------------------------------------|------|------|-------|------------------|-----------------|-----|-----------------|----------------------------------|-------|------|
|            |                 | Na                                         | K    | Ca   | Mg    | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl  | NO <sub>3</sub> |                                  |       |      |
| 17/2/2004  | G <sub>1</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 66   | 10    | 213.2            | 6               | 4   | 11.9            | 450                              | 225   | 7.60 |
| 3/3/2004   | G <sub>2</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 65   | 12.4  | 220.4            | 7               | 3.1 | 12              | 480                              | 240   | 7.58 |
| 20/3/2004  | G <sub>3</sub>  | 3.6                                        | 0.40 | 65.3 | 12    | 221.3            | 5.8             | 2.6 | 12              | 450                              | 225   | 7.52 |
| 3/4/2004   | G <sub>4</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 67.8 | 9     | 213.7            | 6.4             | 3.9 | 11              | 470                              | 235   | 7.47 |
| 20/4/2004  | G <sub>5</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 68.1 | 11    | 221.4            | 5.9             | 3.6 | 13.1            | 475                              | 237.5 | 7.46 |
| 7/5/2004   | G <sub>6</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 65.4 | 12.4  | 219.5            | 7               | 3.8 | 12.3            | 430                              | 215   | 7.52 |
| 22/5/2004  | G <sub>7</sub>  | 3.6                                        | 0.30 | 61.1 | 14.3  | 222.8            | 6.8             | 3.7 | 12.3            | 430                              | 215   | 7.54 |
| 3/6/2004   | G <sub>8</sub>  | 2.3                                        | 0.30 | 73.2 | 12.5  | 232.7            | 8               | 4.1 | 12.3            | 380                              | 190   | 7.57 |
| 15/6/2004  | G <sub>9</sub>  | 2.4                                        | 0.30 | 71.3 | 11.6  | 226.4            | 7.3             | 3.8 | 12.3            | 400                              | 200   | 7.57 |
| 30/6/2004  | G <sub>10</sub> | 2.7                                        | 0.40 | 72.6 | 11.6  | 231.7            | 8.7             | 3.6 | 12.3            | 400                              | 200   | 7.57 |
| 14/7/2004  | G <sub>11</sub> | 2.3                                        | 0.30 | 73.4 | 11.2  | 231.2            | 8               | 3.5 | 12.3            | 390                              | 195   | 7.40 |
| 27/7/2004  | G <sub>12</sub> | 2.1                                        | 0.30 | 71.6 | 15.1  | 238              | 9               | 4   | 12.3            | 386                              | 193   | 7.40 |
| 4/8/2004   | G <sub>13</sub> | 2.2                                        | 0.30 | 70   | 14.3  | 235.1            | 8.4             | 3.2 | 11.9            | 395                              | 197.5 | 7.40 |
| 25/8/2004  | G <sub>14</sub> | 2.2                                        | 0.30 | 76.8 | 20.26 | 217              | 13              | 3.8 | 12.3            | 378                              | 189   | 7.45 |
| 31/8/2004  | G <sub>15</sub> | 2.3                                        | 0.30 | 79.5 | 5.2   | 220              | 13              | 3.9 | 12.1            | 378                              | 189   | 7.45 |
| 10/9/2004  | G <sub>16</sub> | 2.2                                        | 0.30 | 86.4 | 3.2   | 216              | 13              | 3.8 | 13.6            | 378                              | 189   | 7.43 |
| Μ.Ο.       |                 | 2.8                                        | 0.3  | 71.6 | 10.7  | 224.8            | 8.6             | 3.7 | 12.3            | 409.2                            | 204.6 | 7.5  |

## 7.2 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Στη συνέχεια εξετάζεται η χρονική συμπεριφορά των ιόντων και των φυσικών ιδιοτήτων του νερού της πηγής του Βογατσικού και διερευνάται η τυχόν σχέση που έχουν οι συγκεντρώσεις αυτών με την παροχή της πηγής.

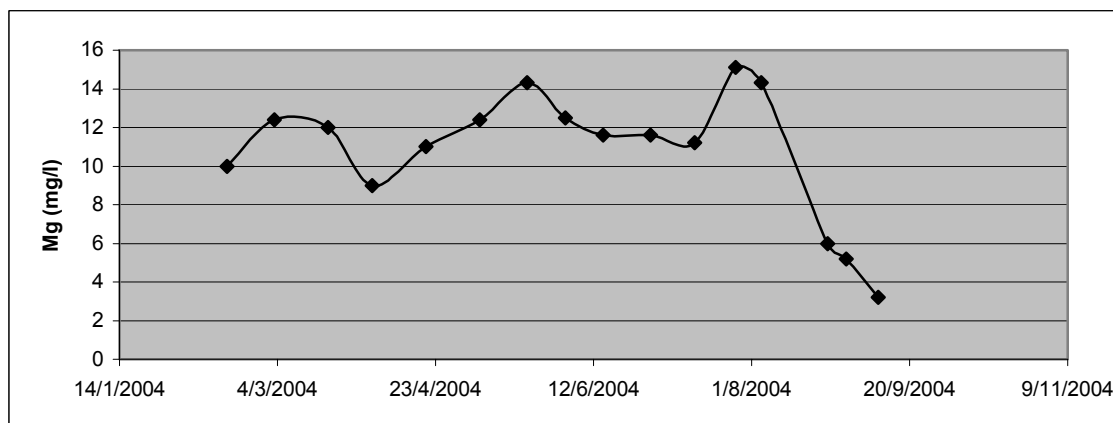
### 7.2.1 Διακύμανση σε σχέση με τον χρόνο

- Διάγραμμα μεταβολής Ca με το χρόνο (Σχήμα 7.1)



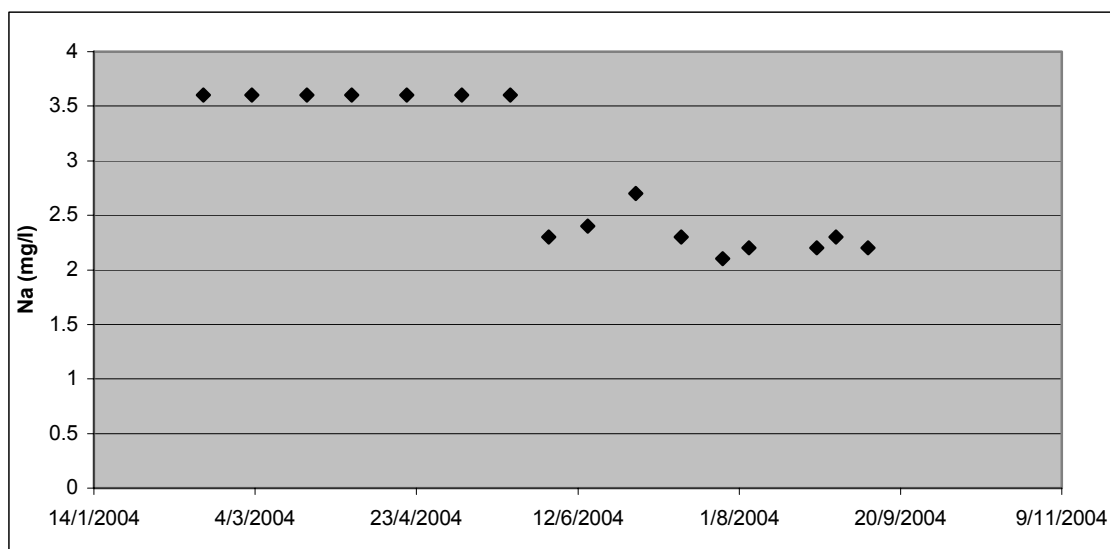
Το Ca κυμαίνεται από 86.4 ως 61.1 mg/l και έχει μέσο όρο την τιμή 71.6 mg/l. Η τυπική απόκλιση είναι 6.4 και ο συντελεστής μεταβλητότητας 11.18 %. Δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των τιμών του, ενώ παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεών του κατά το θέρος.

- Διάγραμμα μεταβολής Mg με το χρόνο (Σχήμα 7.2)



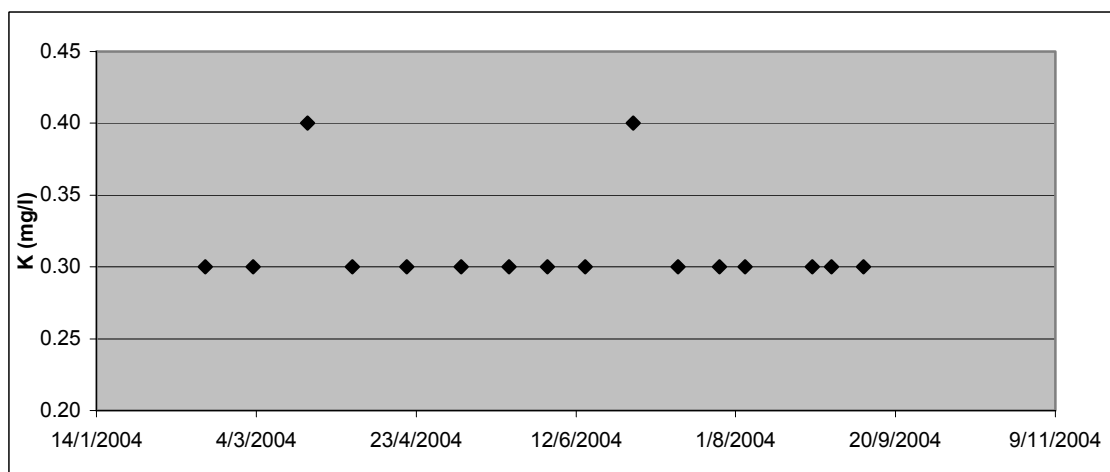
Το Mg κυμαίνεται από 3.2 ως 15.1 mg/l. Η μέση τιμή του Mg στο νερό είναι 10.7 mg/l, και η τυπική απόκλιση είναι 3.6 ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι 2.98 %. Σε αντιδιαστολή με το Ca προκύπτει μείωση των συγκεντρώσεών του κατά το θέρος με ταυτόχρονη αύξηση των συγκεντρώσεων του Ca. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι κατά το θέρος η πηγή τροφοδοτείται από τα βαθύτερα ανθρακικά στρώματα του καρστικού όγκου, με αποτέλεσμα το νερό να εμπλουτίζεται σε ασβέστιο. Στην αντίθετη περίπτωση η πηγή τροφοδοτείται και από τα δολομιτικά στρώματα του καρστικού όγκου (πλούσια σε Mg), τα οποία και είναι υπερκείμενα των ανθρακικών.

- Διάγραμμα μεταβολής Na με το χρόνο (Σχήμα 7.3)



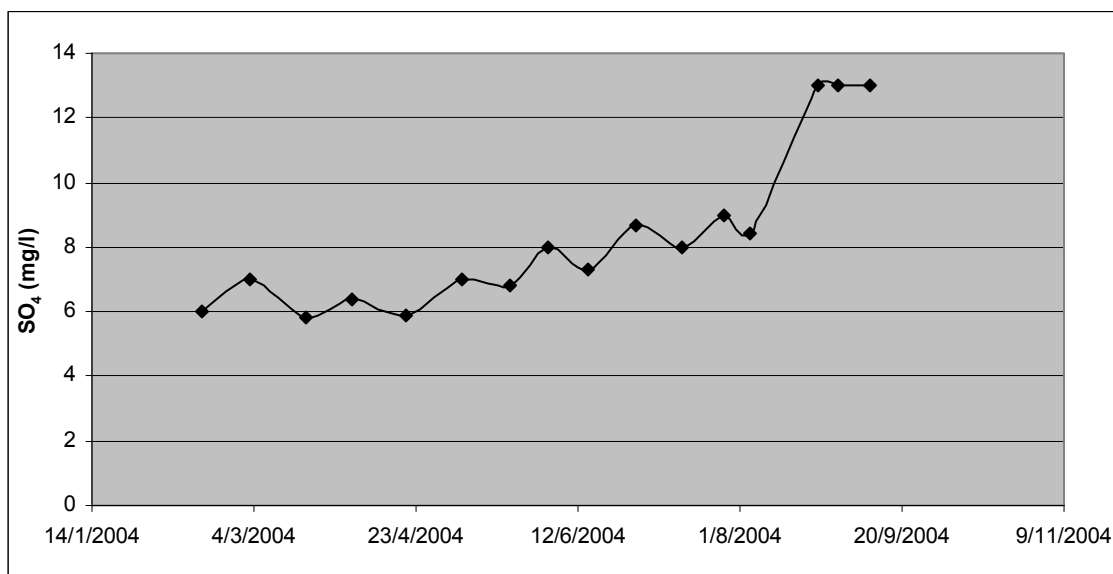
Το Na παρουσιάζει τιμές μεταξύ 2.1 και 3.6 mg/l. Έχει μέσο όρο την τιμή 2.8 mg/l και τυπική απόκλιση 0.7. Ο συντελεστής μεταβλητότητας ισούται με 4.18%. Γενικά παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές, οι οποίες βρίσκονται στα όρια του στατιστικού σφάλματος, γεγονός που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον προσδιορισμό του υδροχημικού χαρακτήρα του νερού.

- Διάγραμμα μεταβολής K με το χρόνο (Σχήμα 7.4)



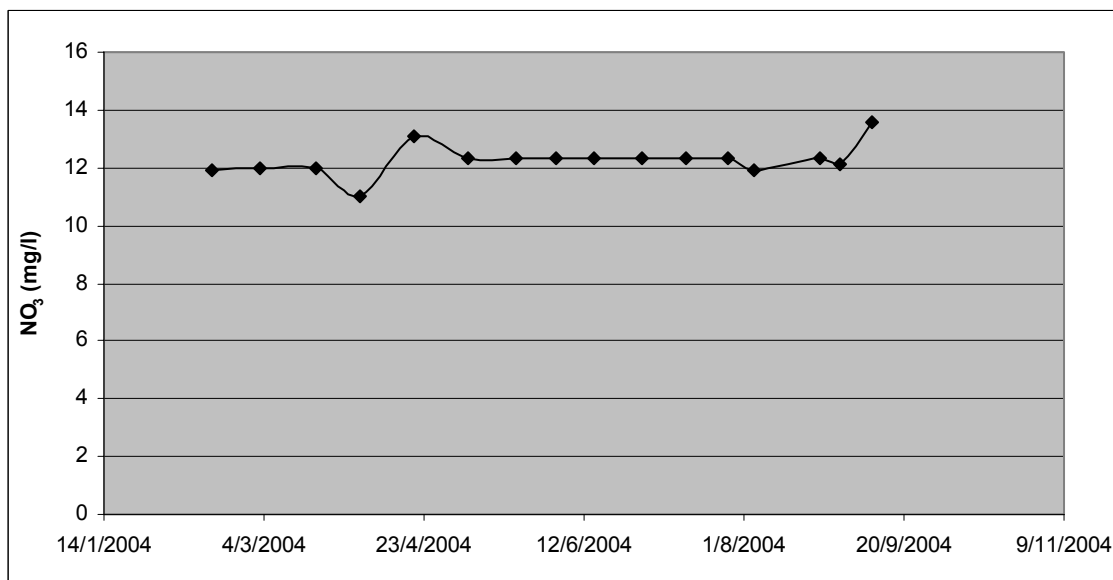
Το K κυμαίνεται από 0.3 ως 0.4 mg/l. Παρουσιάζει τυπική απόκλιση 0.0 και συντελεστή μεταβλητότητας ίσο με 8.65 %. Με δεδομένες τις μικρές τιμές που παρουσιάζει, οι οποίες κατά τον υπολογισμό τους αγγίζουν τα όρια του στατιστικού λάθους, προκύπτει μια αξιοσημείωτη σταθερότητα των τιμών του K.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{SO}_4$  με το χρόνο (Σχήμα 7.5)



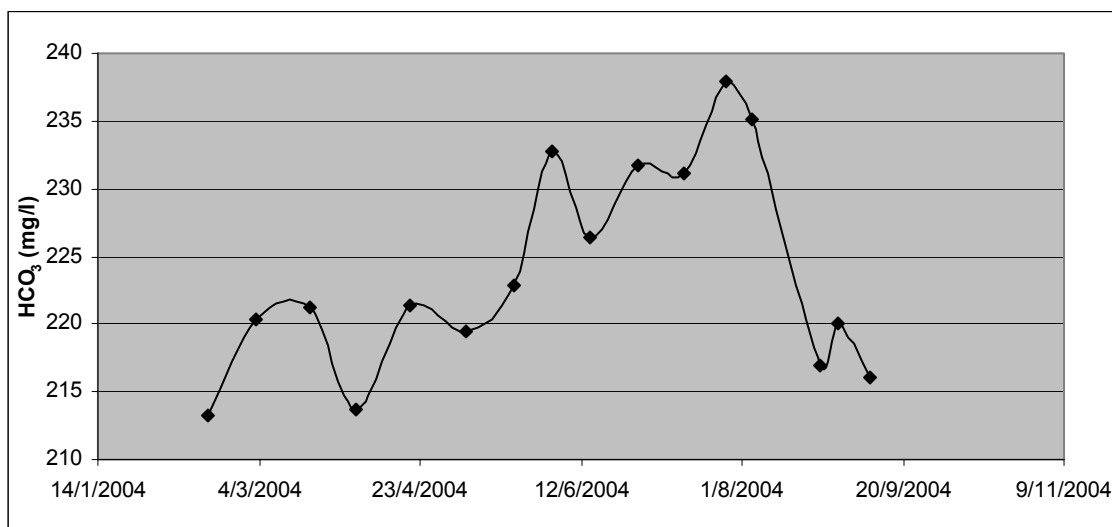
Το  $\text{SO}_4$  ιόντα κυμαίνονται από 5.8 έως 13 mg/l και έχουν μέσο όρο την τιμή 8.6 mg/l. Η τυπική απόκλιση είναι 2.6 και ο συντελεστής μεταβλητότητας 3.33 %. Παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα με ελαφρώς αυξητικές τάσεις κατά την διάρκεια του θέρους.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{NO}_3$  με το χρόνο (Σχήμα 7.6)



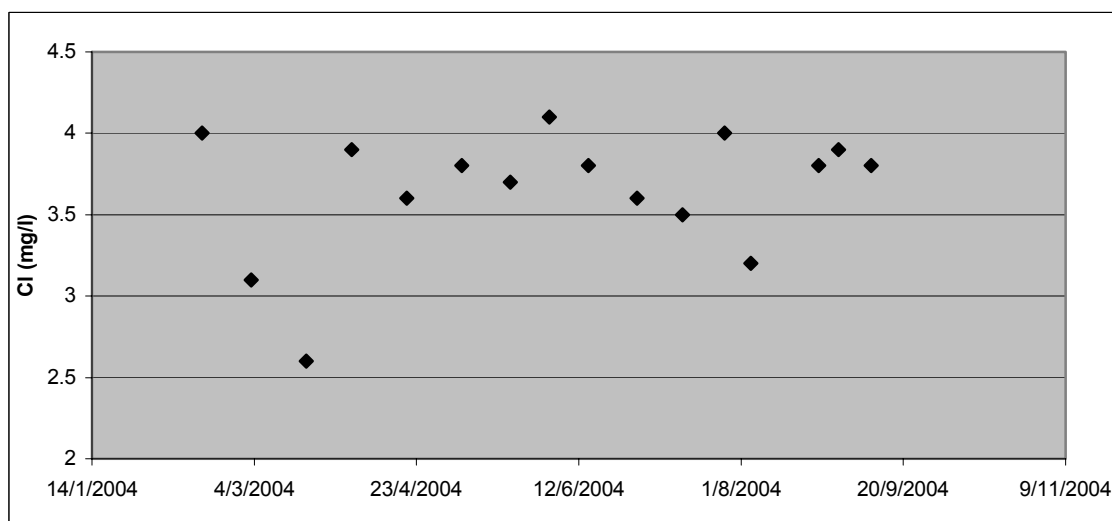
Τα  $\text{NO}_3$  ιόντα κυμαίνονται 11.0 έως 13.6 mg/l. Η τυπική απόκλιση είναι 0.6 ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ίσος με 21.35 %. Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι γενικότερα παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη σταθερότητα.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{HCO}_3$  με το χρόνο (Σχήμα 7.7)



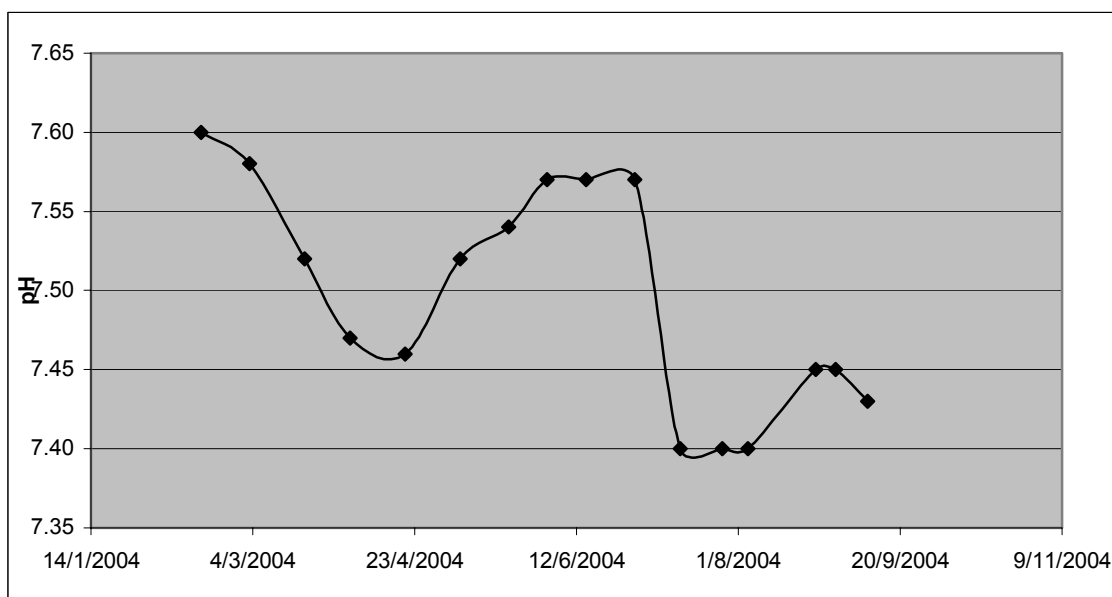
Τα  $\text{HCO}_3$  ιόντα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μεταξύ 213.7 και 238 mg/l και μέσο όρο την τιμή 224.8 mg/l. Η τυπική απόκλιση είναι 7.7 και ο συντελεστής μεταβλητότητας 29.12 %. Γενικά παρουσιάζουν ανομοιόμορφη χρονική κατανομή καθώς παρουσιάζουν τάσεις μείωσης από τον μήνα Αύγουστο και έπειτα.

- Διάγραμμα μεταβολής Cl με το χρόνο (Σχήμα 7.8)



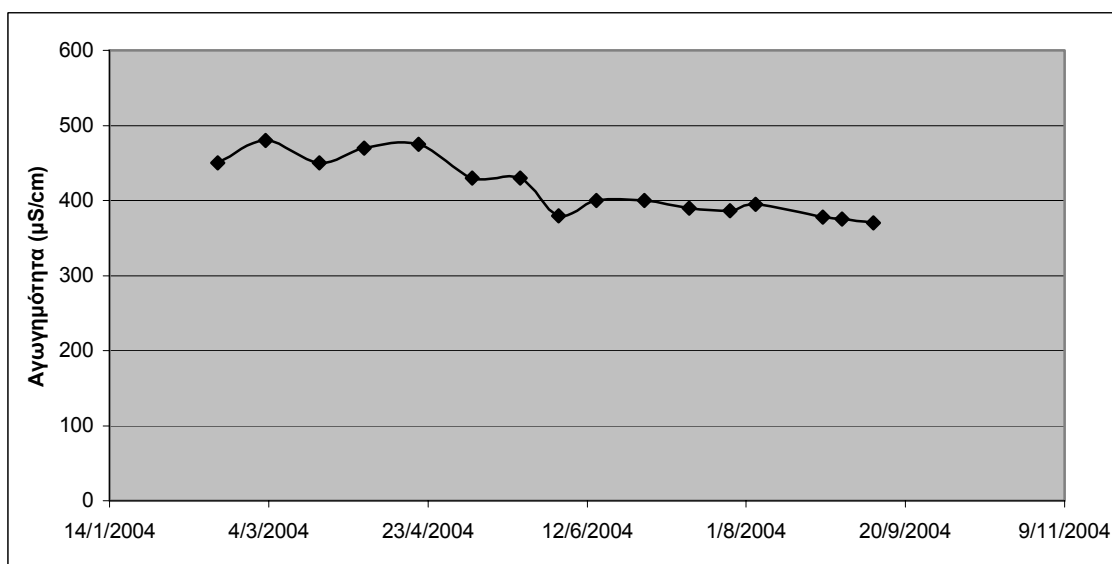
Το Cl παρουσιάζει συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 2.6 και 4.1 mg/l, με μέση τιμή ίση με 3.7 mg/l. Η τυπική απόκλιση είναι 0.4, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι 9.66 %. Το Cl γενικά βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στο νερό της πηγής και οι τιμές που προσδιορίζονται βρίσκονται στα όρια του στατιστικού λάθους.

- Διάγραμμα μεταβολής pH με το χρόνο (Σχήμα 7.9)



Το pH κυμαίνεται από 7.4 έως 7.57 και έχει μέσο όρο την τιμή 7.5. Η τυπική απόκλιση είναι 0.1. Γενικά παρουσιάζει αξιοσημείωτες διακυμάνσεις σε σχέση με το χρόνο.

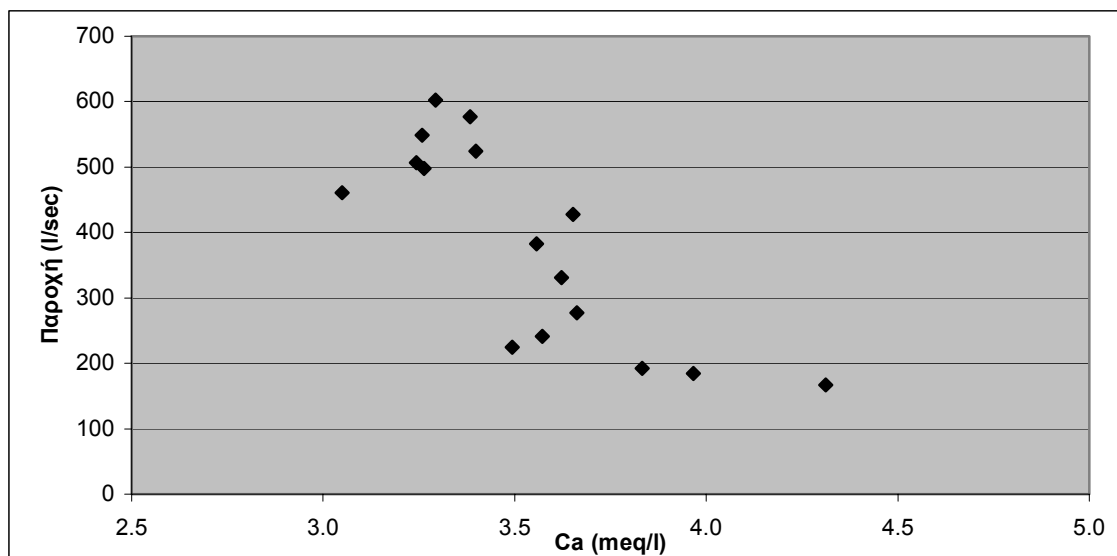
- Διάγραμμα μεταβολής της Αγωγιμότητας (C) με το χρόνο (Σχήμα 7.10)



Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νερό της πηγής κυμαίνεται από 370 έως 475  $\mu\text{S/cm}$ , με μέσο όρο στα 409.2  $\mu\text{S/cm}$ . Η τυπική απόκλιση είναι 35.5 και ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι 11.53 %. Γενικά παρουσιάζει μια σχετική σταθερότητα.

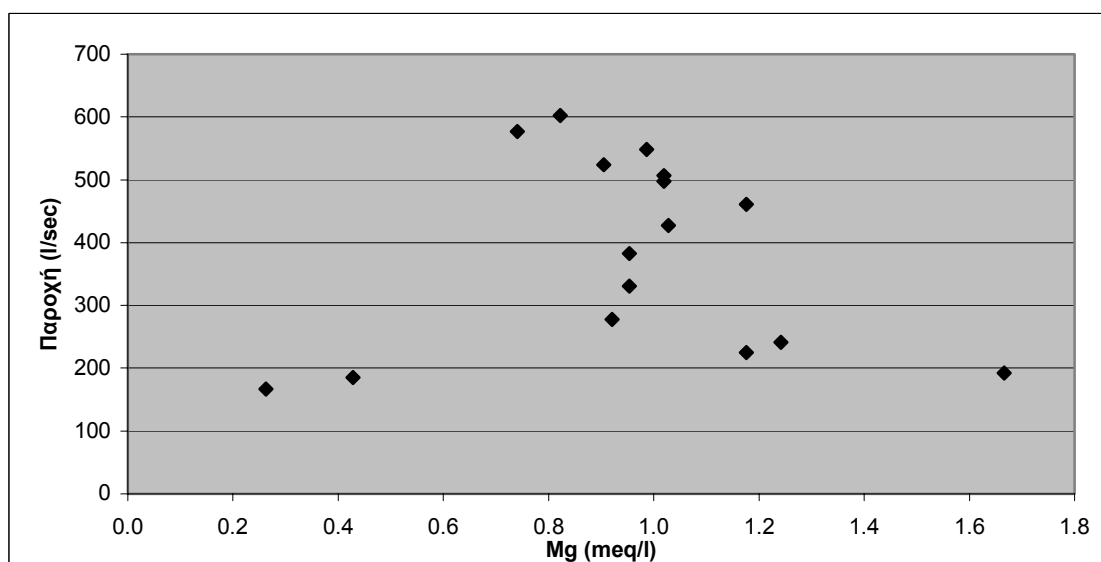
### 7.2.1 Διακύμανση σε σχέση με την παροχή της πηγής Βογατσικού

- Διάγραμμα μεταβολής Ca με την παροχή (Σχήμα 7.11)



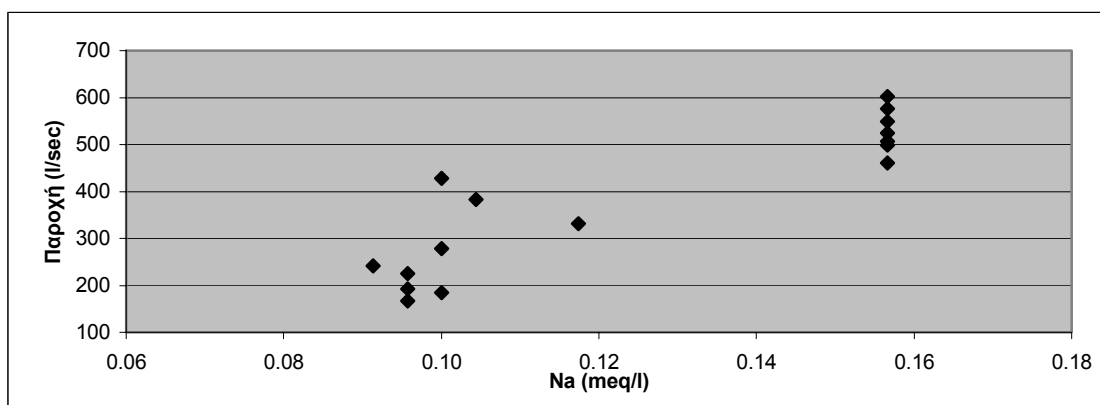
Από το διάγραμμα διασποράς των τιμών της συγκέντρωσης των ιόντων Ca με την παροχή της πηγής διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

- Διάγραμμα μεταβολής Mg με την παροχή (Σχήμα 7.12)



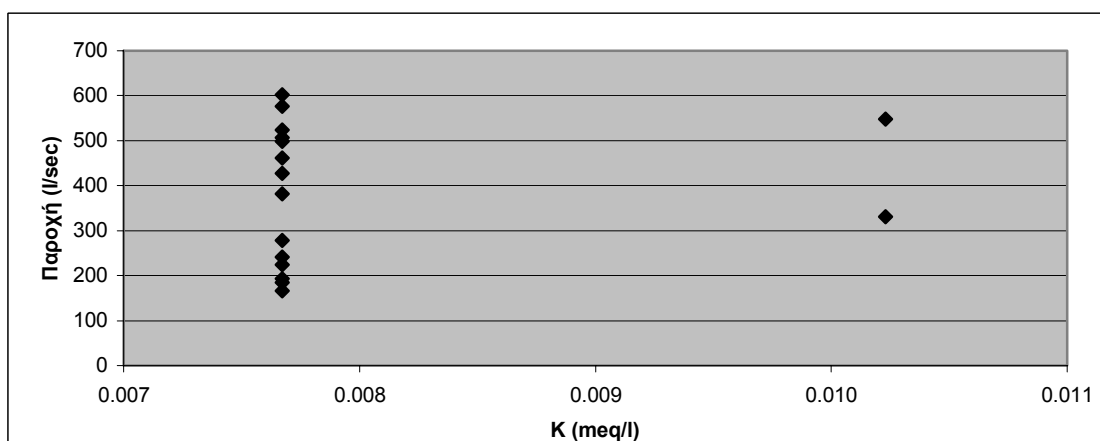
Από το διάγραμμα διασποράς των τιμών της συγκέντρωσης των ιόντων Mg με την παροχή της πηγής διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

- Διάγραμμα μεταβολής Na με την παροχή (Σχήμα 7.13)



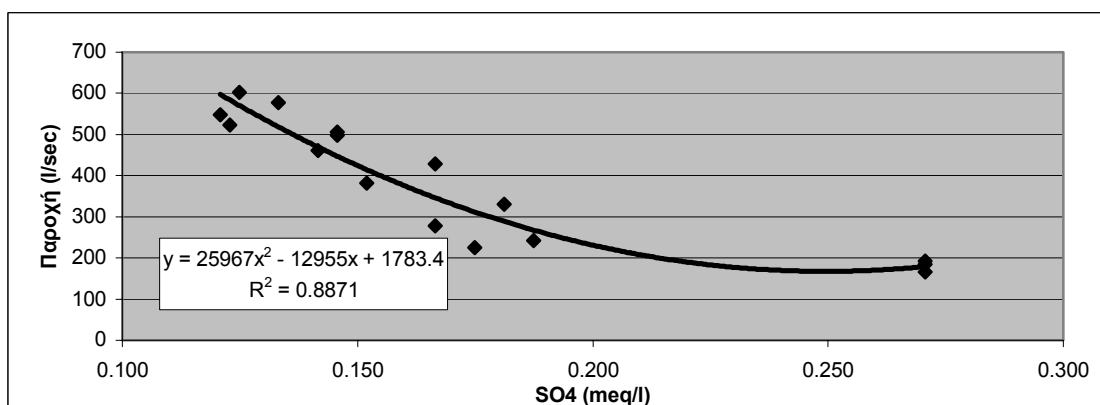
Από το διάγραμμα διασποράς των τιμών της συγκέντρωσης των ιόντων Na με την παροχή της πηγής διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση.

- Διάγραμμα μεταβολής K με την παροχή (Σχήμα 7.14)



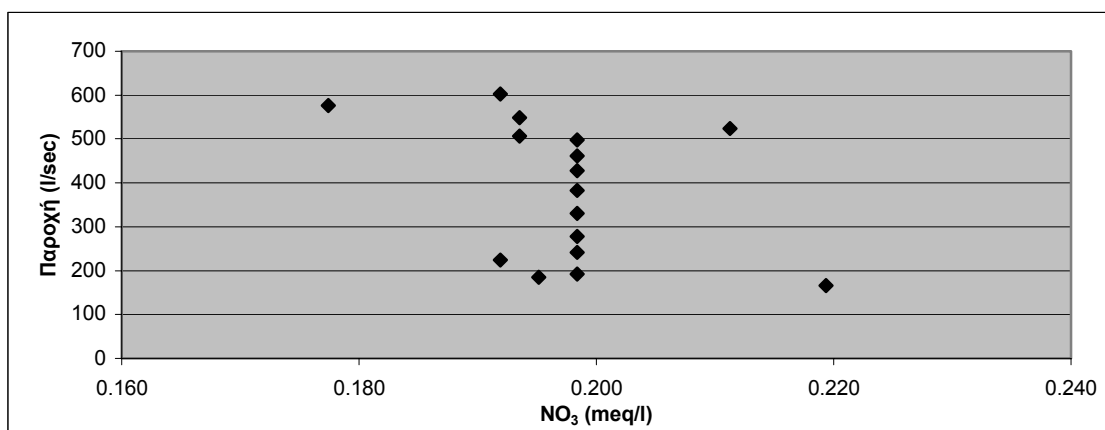
Η συσχέτιση των ιόντων του K με την παροχή της πηγής δεν υφίσταται με δεδομένο τον πολύ μικρό συντελεστή συσχέτισης που διαπιστώνεται από το διάγραμμα διασποράς των τιμών.

- Διάγραμμα μεταβολής SO<sub>4</sub> με την παροχή (Σχήμα 7.15)



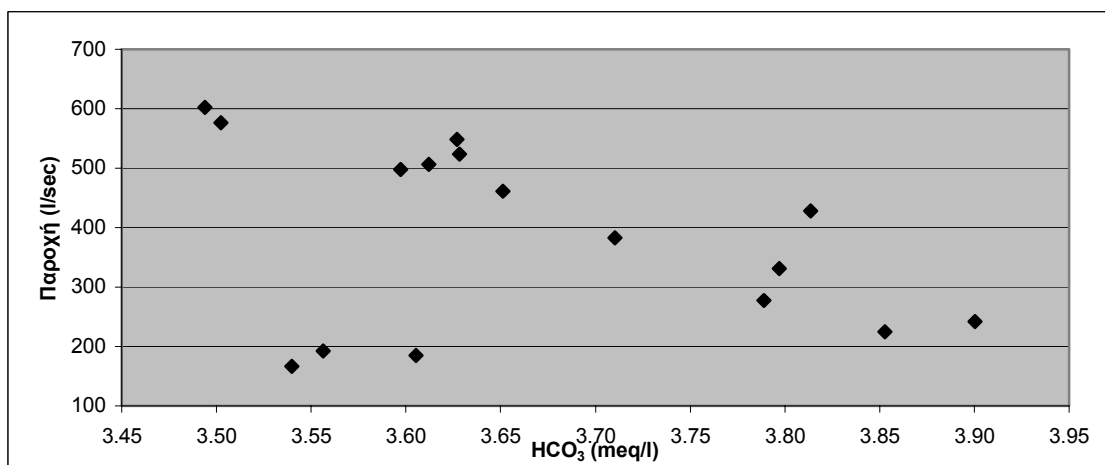
Ο βαθμός συσχέτισης για τα SO<sub>4</sub> ιόντα σε σχέση με την παροχή είναι ίσος με 0.89 για πολυωνυμική εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{NO}_3$  με την παροχή (Σχήμα 7.16)



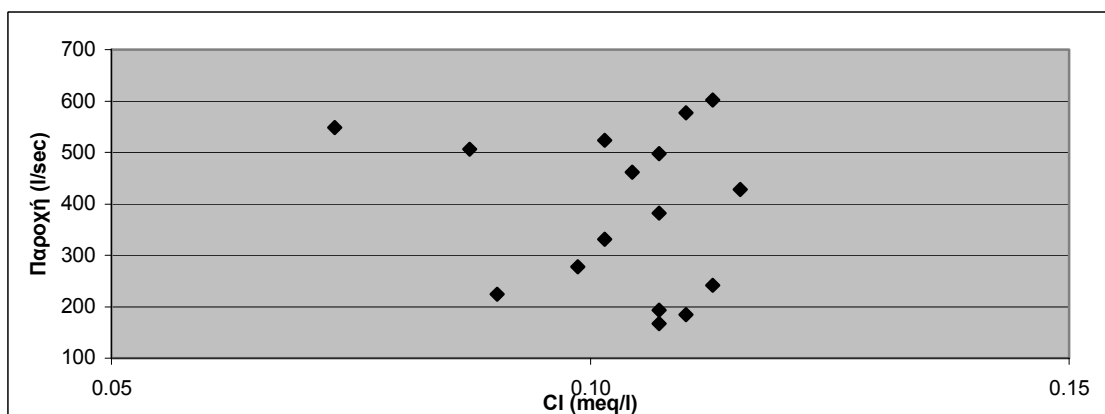
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των  $\text{NO}_3$  ιόντων και της παροχής της πηγής.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{HCO}_3$  με την παροχή (Σχήμα 7.17)



Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των  $\text{HCO}_3$  ιόντων και της παροχής της πηγής.

- Διάγραμμα μεταβολής  $\text{Cl}$  με την παροχή (Σχήμα 7.18)



Από το διάγραμμα διασποράς διαπιστώνεται ότι μεταξύ των  $\text{HCO}_3$  ιόντων και της παροχής της πηγής δεν υπάρχει συσχέτιση.

### 7.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ - ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

Οι λόγοι των συγκεντρώσεων (εκφρασμένων σε meq/l) διαφόρων ιόντων μέσα στο νερό είναι ένα πολύ χρήσιμο στοιχείο για τον καθορισμό της προέλευσης του νερού (Λαμπράκης, 1991). Η διερεύνηση αυτή έγινε με βάση τους ιοντικούς λόγους  $Na^+ / K^+$ ,  $Mg^{+2} / Ca^{+2}$ ,  $Cl^- / SO_4^{-2}$ ,  $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / (K^+ + Na)$ , οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.

**Πίνακας 7.2** Τιμές των ιοντικών λόγων για το νερό της πηγής Βογατσικού

| Ημερομηνία  | Κωδ.            | Ιοντικοί δείκτες (meq/l) |             |                |            |
|-------------|-----------------|--------------------------|-------------|----------------|------------|
|             |                 | Mg/Ca                    | Na/K        | (Ca+Mg)/(K+Na) | Cl/SO4     |
| 17/2/2004   | G <sub>1</sub>  | 0.2497                   | 20.408      | 25.057         | 0.9031     |
| 3/3/2004    | G <sub>2</sub>  | 0.31439                  | 20.408      | 25.955         | 0.5999     |
| 20/3/2004   | G <sub>3</sub>  | 0.30285                  | 15.306      | 25.445         | 0.6073     |
| 3/4/2004    | G <sub>4</sub>  | 0.21876                  | 20.408      | 25.103         | 0.8255     |
| 20/4/2004   | G <sub>5</sub>  | 0.2662                   | 20.408      | 26.196         | 0.8266     |
| 7/5/2004    | G <sub>6</sub>  | 0.31247                  | 20.408      | 26.076         | 0.7354     |
| 22/5/2004   | G <sub>7</sub>  | 0.38571                  | 20.408      | 25.721         | 0.7371     |
| 3/6/2004    | G <sub>8</sub>  | 0.28143                  | 13.0384     | 43.455         | 0.6943     |
| 15/6/2004   | G <sub>9</sub>  | 0.26812                  | 13.6053     | 40.262         | 0.7052     |
| 30/6/2004   | G <sub>10</sub> | 0.26332                  | 11.4795     | 35.849         | 0.5606     |
| 14/7/2004   | G <sub>11</sub> | 0.25147                  | 13.0384     | 42.555         | 0.5927     |
| 27/7/2004   | G <sub>12</sub> | 0.34756                  | 11.9047     | 48.626         | 0.6021     |
| 4/8/2004    | G <sub>13</sub> | 0.33667                  | 12.4715     | 45.171         | 0.5161     |
| 25/8/2004   | G <sub>14</sub> | 0.43475                  | 12.4715     | 53.196         | 0.396      |
| 31/8/2004   | G <sub>15</sub> | 0.1078                   | 13.0384     | 40.801         | 0.4064     |
| 10/9/2004   | G <sub>16</sub> | 0.06104                  | 12.4715     | 44.2571        | 0.396      |
| <b>M.O.</b> |                 | <b>0.3</b>               | <b>15.0</b> | <b>36.5</b>    | <b>0.6</b> |

- Λόγος  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / r(K^{+} + Na)$

Είναι γνωστό ότι ο λόγος  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / r(K^{+} + Na)$  παρουσιάζει τιμές υψηλότερες της μονάδας στις περιοχές εμπλουτισμού των υδροφόρων, ενώ στις περιοχές χαμηλού εμπλουτισμού η σχέση αυτή λαμβάνει τιμή μικρότερη της μονάδας.

- Λόγος  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$

Ο λόγος  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$  δίνει πληροφορίες για την προέλευση του νερού (0.5 - 0.7 ασβεστολιθικοί υδροφόροι, 0.7 - 0.9 δολομιτικοί υδροφόροι, > 0.9 υδροφόροι πυριτικών πετρωμάτων, > 1 υδροφόροι σε μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα).

- Λόγος  $rNa^{+} / rK^{+}$

Ο λόγος  $rNa^{+} / rK^{+}$  παρέχει κάποιες ενδείξεις κατά πόσο ένα υδροφόρο στρώμα έχει συνεχή τροφοδοσία (τιμή του λόγου 15-25), ή αποτελείται από παλαιό νερό (τιμή του λόγου 50 - 70). Όταν ο λόγος παίρνει τιμές μικρότερες του 10 τότε πρόκειται για νερό βρόχινης προέλευσης, ενώ όταν παίρνει τιμές περίπου ίσες με 47 υποδηλώνει πως το νερό είναι θαλάσσιας προέλευσης (Λαμπράκης 1991, Καλλέργης 1986).

- Λόγος  $rCl^{-} / rSO_4^{-2}$

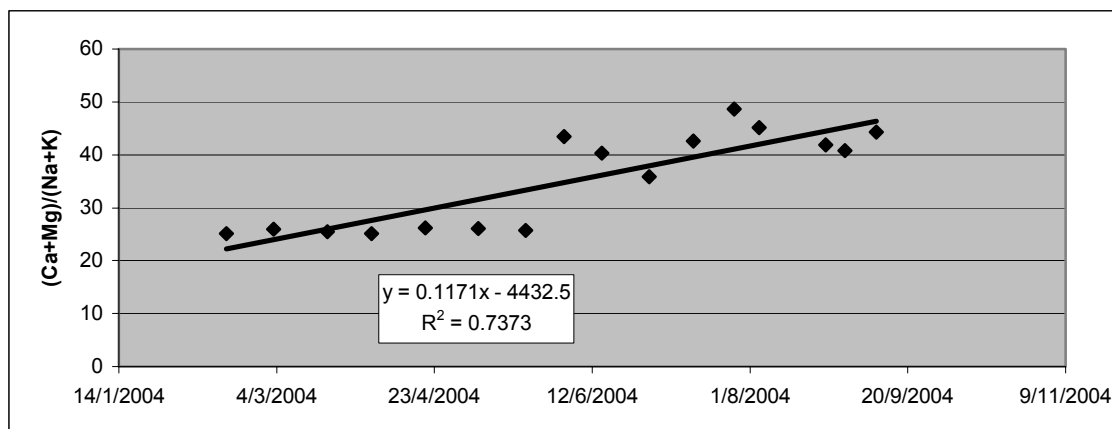
Όταν ο λόγος  $rCl^{-} / rSO_4^{-2}$  είναι μεγαλύτερος του 10 το νερό πιθανόν να είναι θαλάσσιας προέλευσης, όταν παίρνει τιμές μεταξύ 5 και 10 το νερό χαρακτηρίζεται χλωριούχο, ενώ τιμές του λόγου που κυμαίνονται από 5 μέχρι και μικρότερες από 0.2 δείχνουν ότι το νερό βαθμιαία μεταπίπτει από χλωριούχο σε θειικό (Λαμπράκης 1994, Καλλέργης 1986).

## 7.4 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΙΚΩΝ ΛΟΓΩΝ

Στη συνέχεια εξετάζεται η χρονική συμπεριφορά των ιοντικών λόγων του νερού της πηγής Βογατσικού και διερευνάται η τυχόν σχέση που έχουν οι συγκεντρώσεις αυτών με την παροχή της πηγής. Επίσης διερευνάται και η τυχόν συσχέτιση μεταξύ των ιόντων των ιοντικών λόγων.

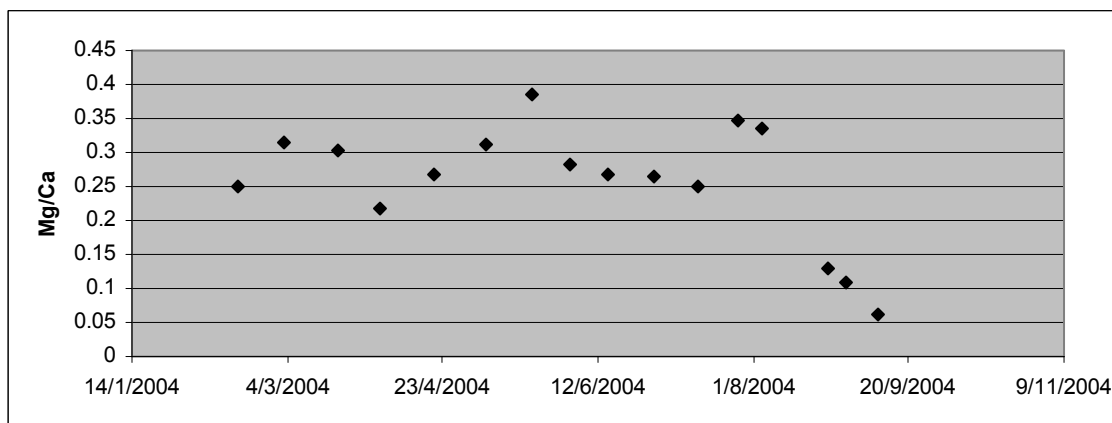
### 7.4.1 Διακύμανση σε σχέση με τον χρόνο

- Διάγραμμα μεταβολής  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2})/r(K^{+} + Na)$  με το χρόνο (Σχήμα 7.19)



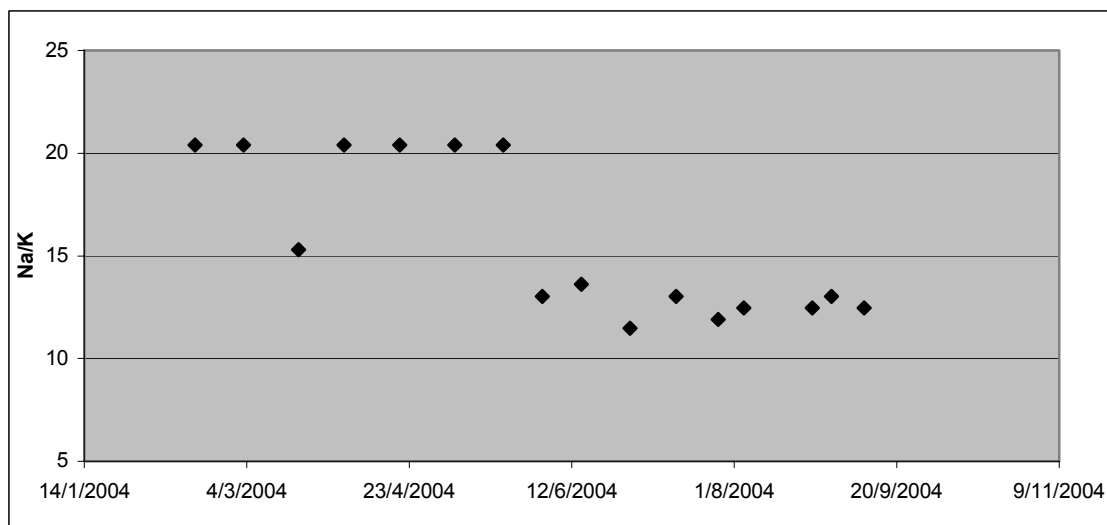
Ο λόγος  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2})/r(K^{+} + Na)$  κυμαίνεται από 25.1 έως 48.6 και έχει μέσο όρο την τιμή 36.5. Η τυπική απόκλιση είναι 8.8 και ο συντελεστής μεταβλητότητας 4.14. Ο μέσος όρος είναι μεγαλύτερος της μονάδας επομένως ο υδροφόρος είναι συνεχούς τροφοδοσίας. Ο λόγος παρουσιάζει αυξητικές τάσεις με τον χρόνο καθώς με την πάροδο του χρόνου γίνεται εκμετάλλευση των υπογείων αποθεμάτων, ενώ αρχικά γίνεται εκμετάλλευση και νερού βρόχινης προέλευσης.

- Διάγραμμα μεταβολής  $rMg^{+2}/rCa^{+2}$  με το χρόνο (Σχήμα 7.20)



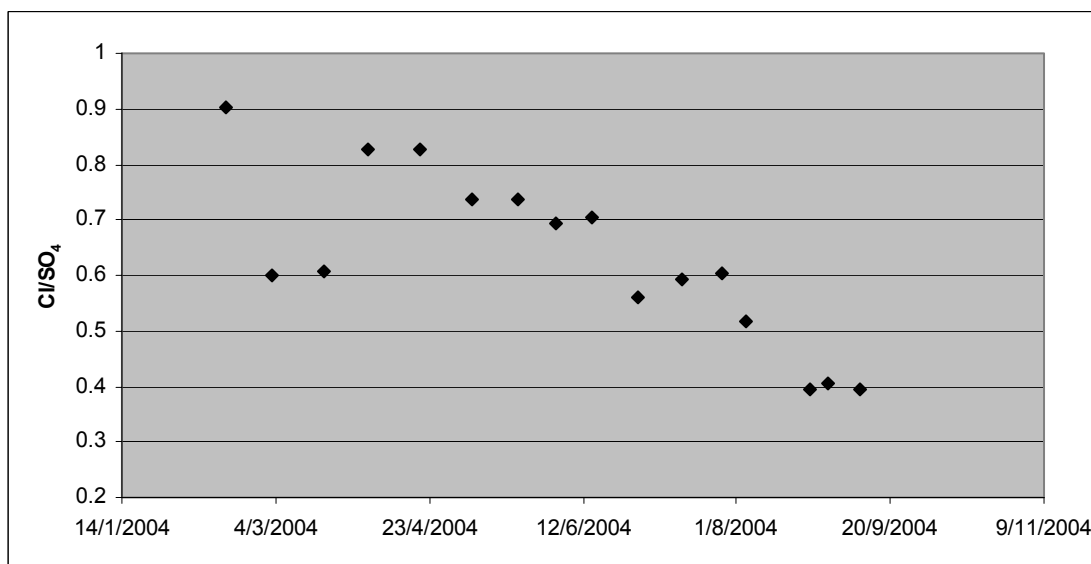
Ο λόγος  $rMg^{+2}/rCa^{+2}$  κυμαίνεται από 0.06 έως 0.39 και έχει μέσο όρο την τιμή 0.3. Η τυπική απόκλιση είναι 0.1 και ο συντελεστής μεταβλητότητας 2.68. Έτσι λοιπόν προκύπτει και από την υδροχημεία, πως ο υδροφόρος είναι ασβεστολιθικής σύστασης.

- Διάγραμμα μεταβολής  $rNa^+ / rK^+$  με το χρόνο (Σχήμα 7.21)



Ο λόγος  $rNa^+ / rK^+$  κυμαίνεται από 11.5 έως 20.4 και έχει μέσο όρο την τιμή 15. Η τυπική του απόκλιση είναι 3.6 και ο συντελεστής του μεταβλητότητας 4.14. Από την μέση τιμή του λόγου προκύπτει πως ο υδροφορέας παρουσιάζει συνεχή τροφοδοσία.

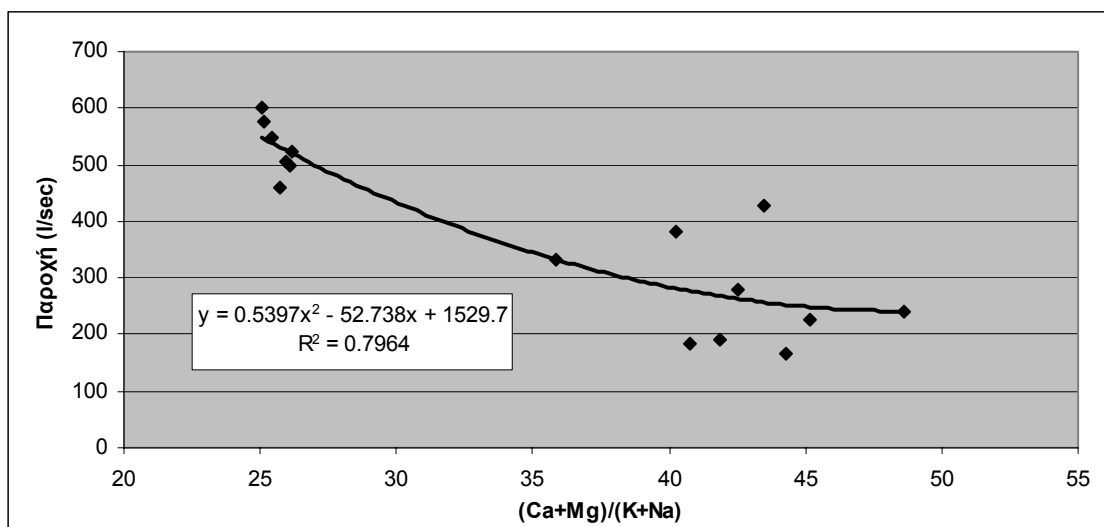
- Διάγραμμα μεταβολής  $rCl^- / rSO_4^{-2}$  με το χρόνο (Σχήμα 7.22)



Ο λόγος  $rCl^- / rSO_4^{-2}$  κυμαίνεται από 0.4 έως 0.83 και έχει μέσο όρο την τιμή 0.6. Η τυπική του απόκλιση είναι 0.1 και ο συντελεστής του μεταβλητότητας 4.14. Με βάση την μέση τιμή του λόγου το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως θεϊκοχλωριούχο.

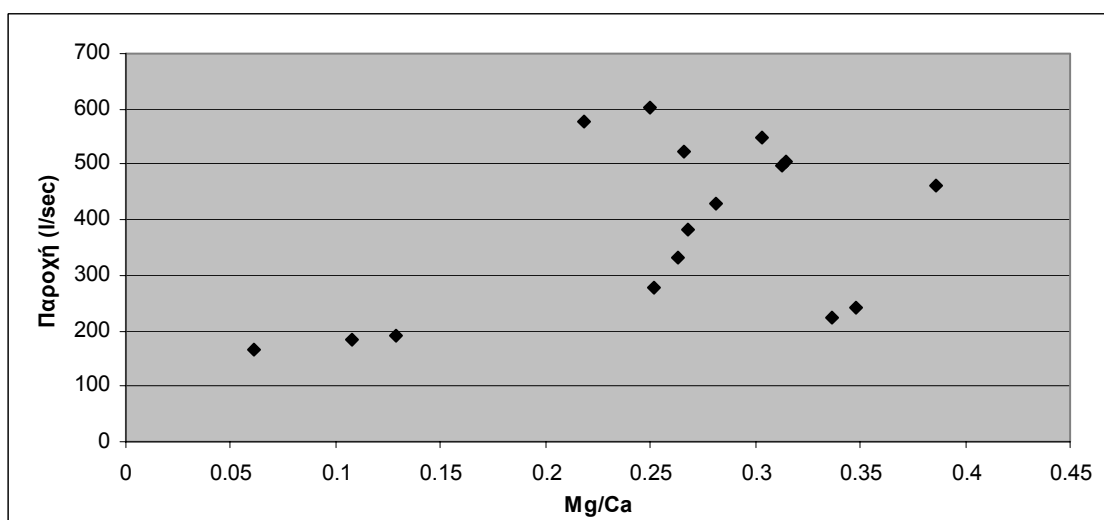
### 7.4.2 Διακύμανση σε σχέση με την παροχή

- Διάγραμμα μεταβολής  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / r(K^{+} + Na)$  με την παροχή (Σχήμα 7.23)



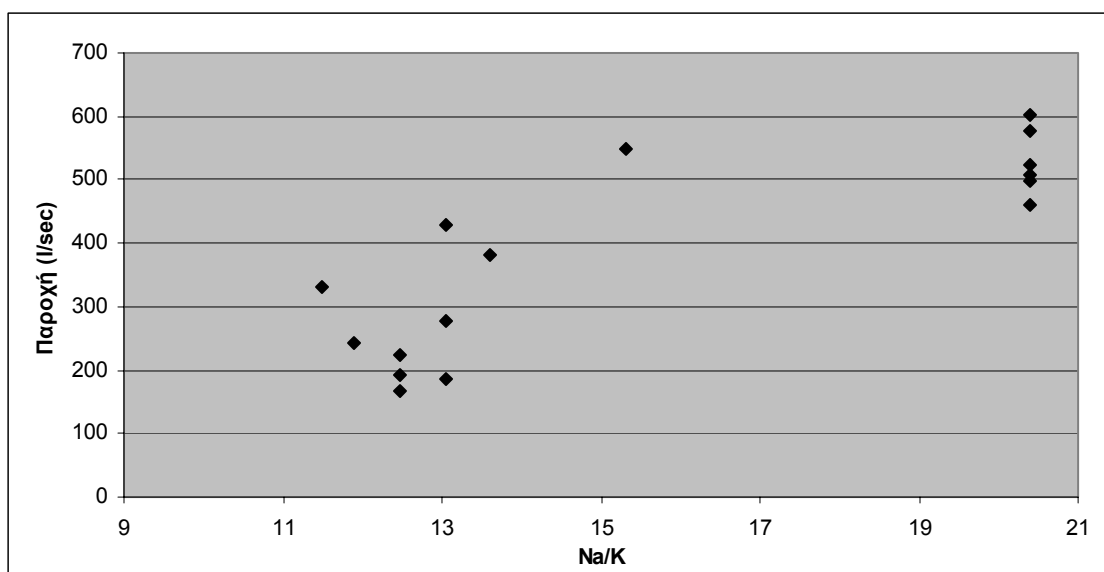
Ο λόγος  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / r(K^{+} + Na)$  παρουσιάζει συντελεστή συσχέτισης σε σχέση με την παροχή της πηγής, ίσο με 0.8, για πολυωνυμική εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού. Η τιμή αυτή στατιστικά είναι σημαντική.

- Διάγραμμα μεταβολής  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$  με την παροχή (Σχήμα 7.24)



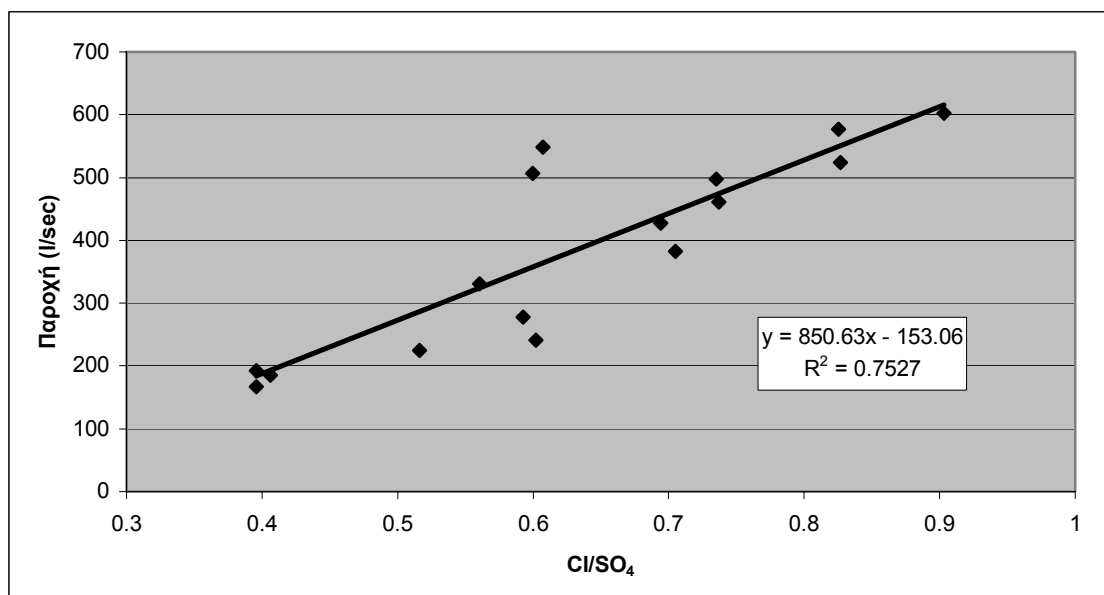
Ο λόγος  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$  παρουσιάζει χαμηλού βαθμού συσχέτιση, σε σχέση με την παροχή της πηγής, όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα διασποράς των τιμών των δύο μεγεθών.

- Διάγραμμα μεταβολής  $rNa^+ / rK^+$  με την παροχή (Σχήμα 7.25)



Ο λόγος  $rNa^+ / rK^+$  δεν συσχετίζεται με την παροχή, όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα διασποράς των τιμών του με την παροχή.

- Διάγραμμα μεταβολής  $rCl^- / rSO_4^{-2}$  με την παροχή (Σχήμα 7.26)

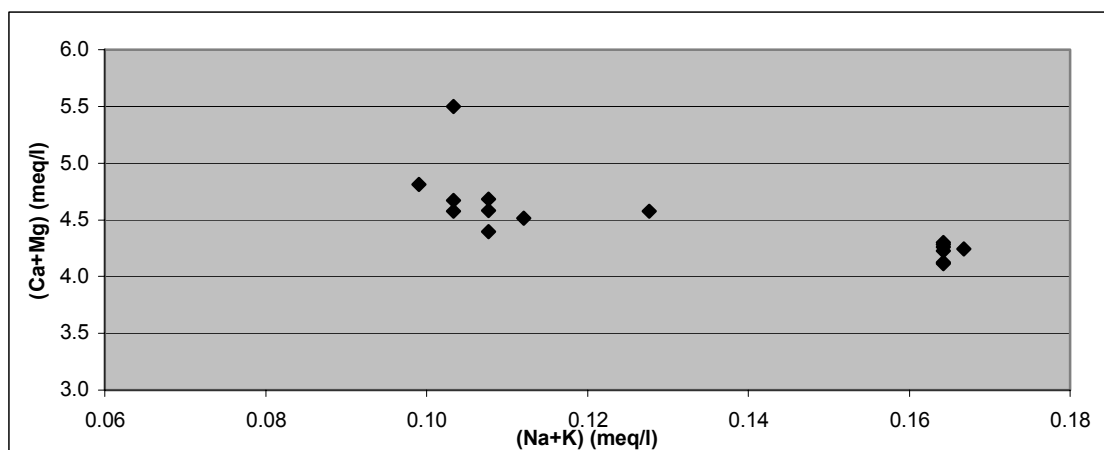


Ο λόγος  $rCl^- / rSO_4^{-2}$  παρουσιάζει συντελεστή συσχέτισης, σε σχέση με την παροχή της πηγής, ίσο με 0.76 για γραμμική εξίσωση. Η τιμή αυτή του συντελεστή συσχέτισης υποδηλώνει σημαντικού βαθμού συσχέτιση μεταξύ του λόγου και της παροχής της πηγής.

### 7.4.3 Σχέσεις μεταξύ των ιόντων των ιοντικών λόγων

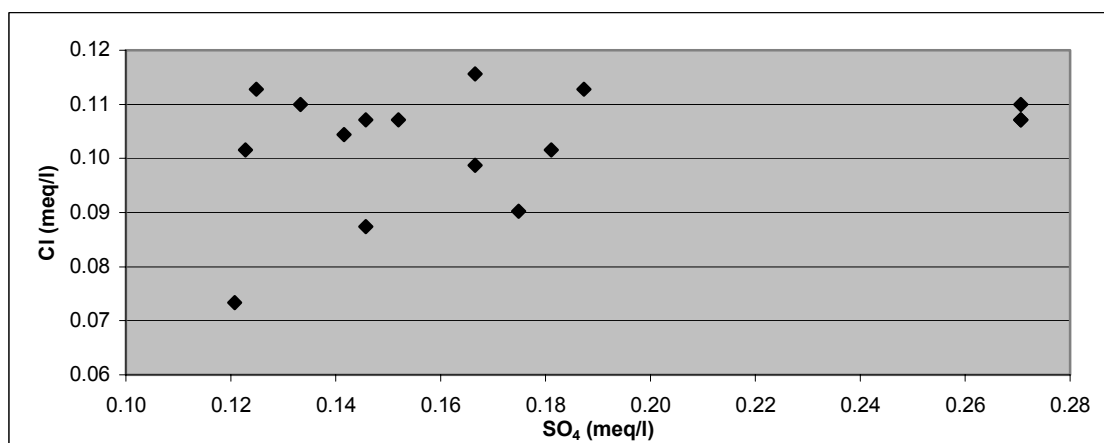
Στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των όποιων σχέσεων μεταξύ των ιόντων των ιοντικών λόγων κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα συσχέτισης αυτών.

- Διάγραμμα συσχέτισης  $(Ca + Mg) - (Na + K)$  (Σχήμα 7.27)



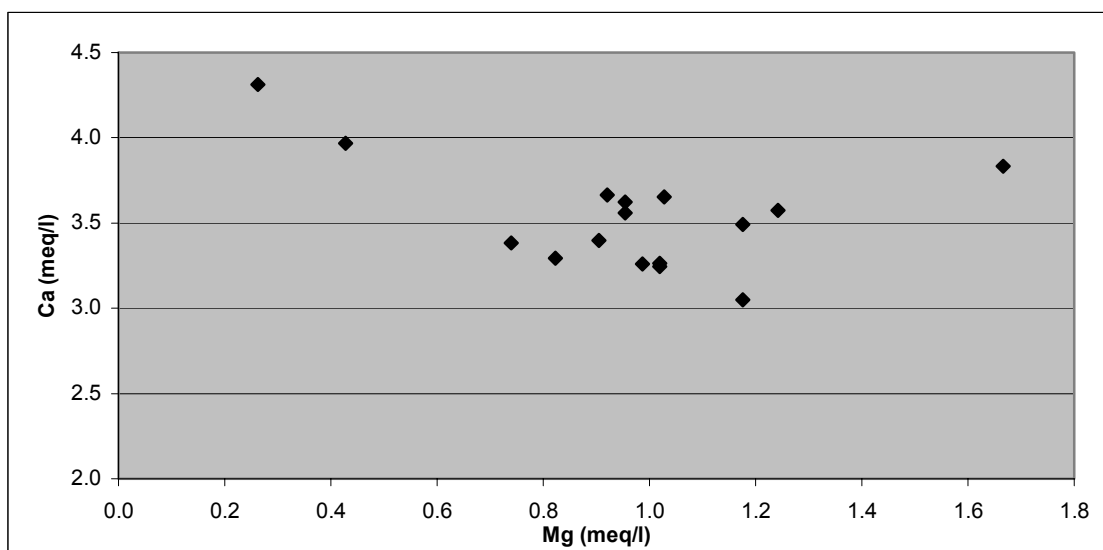
Η συσχέτιση μεταξύ του αθροίσματος των ιόντων του Ca και του Mg σε σχέση με το άθροισμα των ιόντων Na και K είναι χαμηλού βαθμού με αποτέλεσμα τα μεγέθη να μη σχετίζονται μεταξύ τους.

- Διάγραμμα συσχέτισης  $Cl - SO_4$  (Σχήμα 7.28)



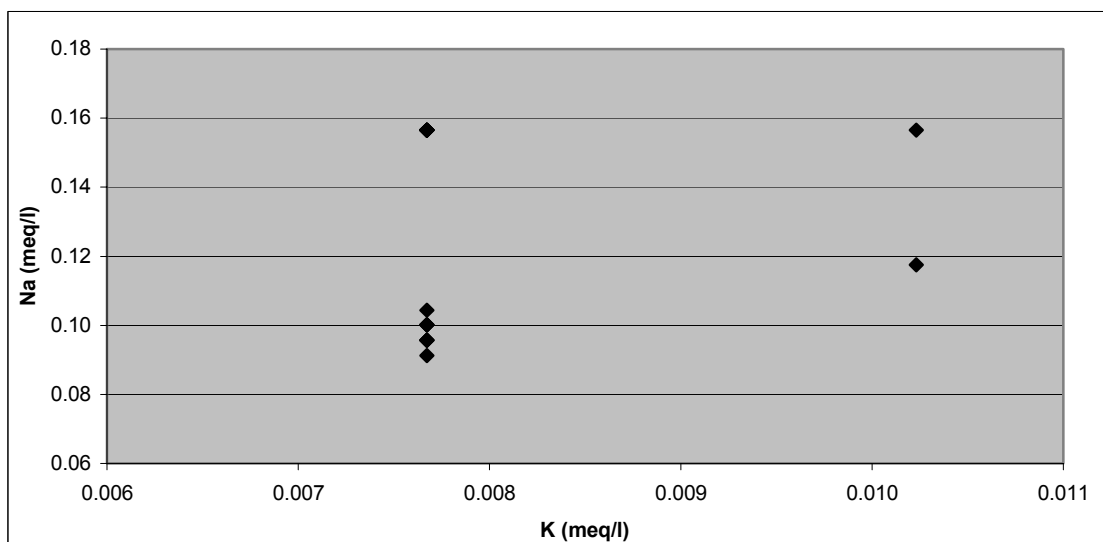
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται πως δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των Cl ιόντων και των  $SO_4$  ιόντων. Προκύπτει δηλαδή ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο παραπάνω ιόντων του ιοντικού λόγου  $rCl^- / rSO_4^{-2}$ .

- Διάγραμμα μεταβολής Ca – Mg (Σχήμα 7.29)



Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των ιόντων των Ca και των ιόντων Mg είναι πολύ μικρός με βάση το διάγραμμα διασποράς. Γενικά λοιπόν διαπιστώνεται πως δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο παραπάνω ιόντων του ιοντικού λόγου  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$ .

- Διάγραμμα μεταβολής Na – K (Σχήμα 7.30)



Αναφορικά με τον βαθμό συσχετισμού μεταξύ των ιόντων του ιοντικού λόγου  $rNa^{+} / rK^{+}$  διαπιστώνεται πως για την βέλτιστη εξίσωση (γραμμική εξίσωση) αυτός είναι πρακτικά αμελητέος (0.03). Αυτό δηλώνει ότι τα δύο μεγέθη να είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους.

## 7.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (P.C.A.)

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών χρησιμοποιήθηκε για να συνοψίσει τα υδροχημικά δεδομένα, που προήλθαν από την ανάλυση 16 δειγμάτων από το νερό της πηγής του Βογατσικού. Πρόκειται για μια τεχνική που μειώνει τις διαστάσεις, δηλ. τον αριθμό των μεταβλητών, σε μικρότερο αριθμό κυρίων συνιστωσών. Έτσι μέσω των κύριων συνιστωσών κάθε μία από τις  $n$  αρχικές μεταβλητές ( $Z$ ) εκφράζεται γραμμικά με  $K$  ( $K = j, j < n$ ) ασυσχέτιστες κύριες συνιστώσες, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Z_i = a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + \dots + a_{in}K_j, (i = 1, 2, 3 \dots j) \quad (7.1)$$

όπου  $a_{ij}$  είναι η τιμή του φορτίου της μεταβλητής  $i$  στην συνιστώσα  $j$ .

Η θέση κάθε δείγματος στον χώρο των κύριων συνιστωσών μπορεί να καθορισθεί χρησιμοποιώντας την κάτωθι εξίσωση:

$$\text{Score}_i = \beta_1 \text{Ca} + \beta_2 \text{Mg} + \beta_3 \text{Na} + \beta_4 \text{K} + \beta_5 \text{HCO}_3 + \beta_6 \text{Cl} + \beta_7 \text{SO}_4 + \beta_8 \text{NO}_3 \quad (7.2)$$

όπου  $\beta_1, \dots, \beta_{12}$  είναι τα φορτία κάθε μεταβλητής στην  $i$ -οστή συνιστώσα.

Προϋπόθεση εφαρμογής της μεθόδου είναι (Βουδούρης, 1995):

1. Οι αρχικές μεταβλητές να έχουν μεγάλο συντελεστή συσχέτισης, γι' αυτό πριν την εφαρμογή της μεθόδου ελέγχεται ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης.
2. Ο αριθμός των μεταβλητών να είναι σχετικά μεγάλος. Αν ο αριθμός είναι μικρός ( $< 4$ ) δεν ενδείκνυται η εφαρμογή της μεθόδου.

Η μέθοδος σε υδροχημικά δεδομένα εφαρμόζεται ακολουθώντας τα κάτωθι βήματα (Davis, 1986 - Βουδούρης, 1995):

- α) Διευθέτηση των αρχικών μεταβλητών - υδροχημικών παραμέτρων υπό μορφή πίνακα.
- β) Υπολογισμός του πίνακα διακυμάνσεων - συνδιακυμάνσεων (variance - covariance matrix) των δεδομένων ή του πίνακα των συντελεστών συσχέτισης (correlation coefficient matrix) των αρχικών μεταβλητών.

Ο συντελεστής συσχέτισης δύο μεταβλητών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\left\{ \left[ \sum_i (x_i - x_m)^2 \right] \left[ \sum_i (y_i - y_m)^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (7.3)$$

όπου:  $x$  και  $y$  είναι η  $i$ -οστή τιμή των μεταβλητών  $x$  και  $y$

$x_m, y_m$  είναι οι μέσες τιμές τους

Οι συντελεστές συσχέτισης ( $r$ ) διευθετούνται υπό μορφή πίνακα. Ο πίνακας συσχέτισης δίνει την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών (Πίνακας 7.3).

**Πίνακας 7.3** Πίνακας συντελεστών συσχέτισης για τα δείγματα της πηγής του Βογατσικού

|                  | Na     | K      | Ca     | Mg     | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl     | NO <sub>3</sub> |
|------------------|--------|--------|--------|--------|------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Na               | 1.000  | 0.162  | -0.776 | 0.238  | -0.548           | -0.723          | -0.293 | -0.284          |
| K                | 0.162  | 1.000  | -0.117 | 0.123  | 0.136            | -0.168          | -0.548 | -0.071          |
| Ca               | -0.776 | -0.117 | 1.000  | -0.747 | 0.023            | 0.872           | 0.326  | 0.499           |
| Mg               | 0.238  | 0.123  | -0.747 | 1.000  | 0.629            | -0.709          | -0.253 | -0.297          |
| HCO <sub>3</sub> | -0.548 | 0.136  | 0.023  | 0.629  | 1.000            | -0.043          | -0.059 | 0.051           |
| SO <sub>4</sub>  | -0.723 | -0.168 | 0.872  | -0.709 | -0.043           | 1.000           | 0.301  | 0.375           |
| Cl               | -0.293 | -0.548 | 0.326  | -0.253 | -0.059           | 0.301           | 1.000  | 0.093           |
| NO <sub>3</sub>  | -0.284 | -0.071 | 0.499  | -0.297 | 0.051            | 0.375           | 0.093  | 1.000           |

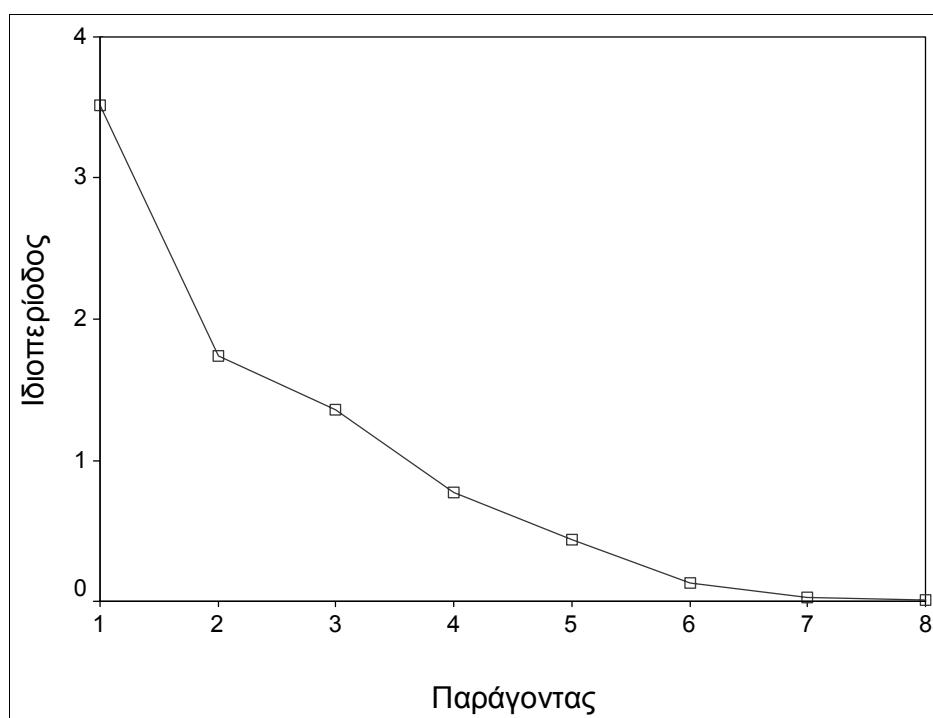
γ) Επίλυση του πίνακα συσχέτισης και υπολογισμός των ιδιοτιμών (eigenvalues), των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors), των κυρίων συνιστωσών (principal components) και των αντίστοιχων φορτίων (Πίνακας 7.4).

**Πίνακας 7.4** Ιδιοτιμές και ολικές διακυμάνσεις

| Παράγοντες | Αρχικές ιδιοτιμές |              |              | Τετραγωνικά φορτία |              |              |
|------------|-------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|
|            | Ιδιοτιμές         | Διακύμανση % | Αθροιστική % | Ιδιοτιμές          | Διακύμανση % | Αθροιστική % |
| 1          | 3.517             | 43.965       | 43.965       | 3.517              | 43.965       | 43.965       |
| 2          | 1.743             | 21.782       | 65.747       | 1.743              | 21.782       | 65.747       |
| 3          | 1.358             | 16.979       | 82.726       | 1.358              | 16.979       | 82.726       |
| 4          | 0.775             | 9.684        | 92.410       |                    |              |              |
| 5          | 0.434             | 5.426        | 97.835       |                    |              |              |
| 6          | 0.134             | 1.671        | 99.506       |                    |              |              |
| 7          | 3.140E-02         | 0.393        | 99.898       |                    |              |              |
| 8          | 8.126E-03         | 0.102        | 100.000      |                    |              |              |

Οι τιμές των ιδιοτιμών εμφανίζονται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους, βοηθώντας την επιλογή των κύριων συνιστωσών. Τα κριτήρια για την επιλογή των κύριων συνιστωσών είναι (Βουδούρης, 2004):

- 1) Το ποσοστό της ολικής διακύμανσης. Αν κάποιες κύριες συνιστώσες εξηγούν υψηλό ποσοστό της ολικής διακύμανσης επιλέγονται οι συνιστώσες αυτές.
- 2) Η επιλογή των κυρίων συνιστωσών που σχετίζονται με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Αν μια κύρια συνιστώσα αντιστοιχεί σε μικρή τιμή ιδιοτιμής τότε μπορεί να παραληφθεί.
- 3) Το κριτήριο "Cattell's Scree - test". Αν παραστήσουμε τον αριθμό των κύριων συνιστωσών στον άξονα X και των αντίστοιχων ιδιοτιμών στον άξονα Y, εμφανίζεται ένα «σπάσιμο» της ευθείας. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό επιλέγονται οι συνιστώσες που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες ιδιοτιμές και βρίσκονται πριν το σπάσιμο (Σχήμα 7.31).



**Σχήμα 7.31** Εφαρμογή του κριτηρίου "Cattell's Scree - test" για τα δείγματα της πηγής του Βογατσικού

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης (Πίνακας 7.3). Από τον Πίνακα 7.4 φαίνονται αρχικά οι ισάριθμες με τις μεταβλητές κύριες συνιστώσες (8). Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα Scree - plot μόνο τρεις (3) κύριες συνιστώσες έχουν ιδιοτιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα και

αντιπροσωπεύουν συνολικά το 82.7 % της ολικής διακύμανσης. Η πρώτη συνιστώσα εκφράζει το 43.9 %, η δεύτερη το 21.8 %, και η τρίτη το 17.0 %. Έτσι επιλέγονται οι τρεις αυτές κύριες συνιστώσες ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ).

Στον Πίνακα 7.5 με τη διατήρηση των 3 κυρίων συνιστωσών φαίνονται τα φορτία ( $> 0.65$ ), που προκύπτουν για καθεμιά μεταβλητή. Το άθροισμα των ιδιοτιμών ισούται με τον αριθμό των μεταβλητών (8).

**Πίνακας 7.5** Φορτία ( $> 0.65$ ) των 4 κυρίων συνιστωσών

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ         | ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ |       |        |
|------------------|------------|-------|--------|
|                  | $K_1$      | $K_2$ | $K_3$  |
| Na               | -0.756     |       |        |
| K                |            |       | 0.804  |
| Ca               | 0.957      |       |        |
| Mg               | -0.753     |       |        |
| HCO <sub>3</sub> |            | 0.986 |        |
| SO <sub>4</sub>  | 0.920      |       |        |
| Cl               |            |       | -0.714 |
| NO <sub>3</sub>  |            |       |        |

Αυτό που διαπιστώνεται από τον πρώτο παράγοντα ο οποίος και εκφράζει το 43.9 % της ολικής διακύμανσης των ιόντων είναι ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Na, Mg, Ca και SO<sub>4</sub>. Μάλιστα όταν οι τιμές των Ca, SO<sub>4</sub> παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις οι αντίστοιχες των Na και Mg, παρουσιάζουν μειούμενες τάσεις.

Επίσης από τον δεύτερο παράγοντα, ο οποίος και εκφράζει το 21.8 % της ολικής διακύμανσης των ιόντων διαπιστώνεται πως τα HCO<sub>3</sub> ιόντα δεν συσχετίζονται και δεν επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό με κανένα από τα υπόλοιπα ιόντα.

Τέλος από τον τρίτο παράγοντα που εκφράζει το 17 % της διακύμανσης των ιόντων προκύπτει ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του K και του Cl και μάλιστα αντίστροφη, δηλαδή όσο αυξάνεται το ένα τόσο ελαττώνεται το άλλο. Ωστόσο εδώ θα πρέπει να αναφερθεί πως οι τιμές των παραπάνω ιόντων είναι πολύ μικρές, στα όρια του στατιστικού λάθους, επομένως η συσχέτιση αυτή μπορεί να είναι πλασματική.

## 7.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Για τη συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από χημικές αναλύσεις και για να είναι πιο εύκολη η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων συνήθως χρησιμοποιείται κάποιο από τα υδροχημικά διαγράμματα που έχουν επικρατήσει.

Αυτά προσφέρουν μια εποπτική εικόνα της θέσης και του είδους του νερού καθώς και συγκρίσεις και συσχετισμούς που επιδέχονται ερμηνεία. Υπάρχουν πολλών ειδών διαγράμματα που χρησιμοποιούνται και διαφόρων ειδών ταξινομήσεις του νερού που χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια η κάθε μία.

Έτσι υπάρχουν διαγράμματα ανυσματικά, ραβδοδιαγράμματα, κυκλικά και ακτινωτά, πολυγωνικά, ημιλογαριθμικά και τριγωνικά κ.τ.λ. και πάνω σ' αυτά τα διαγράμματα έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές κατατάξεις της ποιότητας του νερού (π.χ. Piper, Piper-De Wiest, Durov, Schoeller).

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η ταξινόμηση κατά Davis – De Wiest, τα τριγωνικά διαγράμματα και η ταξινόμηση κατά Piper - De Wiest, το διάγραμμα S.A.R, το διάγραμμα Durov, η ταξινόμηση κατά Schoeller και η ταξινόμηση κατά Wilcox.

### 7.6.1 Ταξινόμηση κατά Davis - De Wiest

Η ταξινόμηση των νερών σύμφωνα με τους Davis-De Wiest (1966) γίνεται ανάλογα με την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων. Οι Davis-De Wiest (1966) διακρίνουν τα νερά σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία (κύρια συστατικά) ανήκουν εκείνα τα ιόντα που απαντώνται στα φυσικά νερά σε μεγάλες συγκεντρώσεις (από 1 έως 1000 mg/l). Σύμφωνα πάντα με τους Davis-De Wiest υπάρχουν τα δευτερεύοντα συστατικά (με συγκεντρώσεις από 0.01 έως 10 mg/l), τα ολιγοσυστατικά (από 0.0001 έως 0.1 mg/l) και τα ιχνοσυστατικά (< 0.001mg/l).

Στα κύρια συστατικά ανήκουν τα ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, τα χλωριούχα ιόντα, τα θειικά, τα όξινα ανθρακικά και τα ανθρακικά ιόντα. Όλα τα άλλα στοιχεία κατανέμονται στις υπόλοιπες κατηγορίες. Με δεδομένες τις χαμηλές τιμές που παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις των ιόντων των νερών της πηγής Βογατσικού διαπιστώνεται, ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι ολιγοσυστατικά.

### 7.6.2 Διάγραμμα Piper – De Wiest

Το τριγραμμικό διάγραμμα Piper (1944) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο και ίσως το πιο εύχρηστο, διότι η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού καθώς και της ανάμειξης δύο διαφορετικών νερών, είναι άμεση (Δημόπουλος, 1983 – Καλλέργης, 1986).

Στα τριγραμμικά διαγράμματα, τα κατιόντα, εκφρασμένα επί τοις εκατό του συνόλου των κατιόντων σε meq/lit, προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο και αντίστοιχα τα ανιόντα προβάλλονται στο δεξιό τρίγωνο κατά τον ίδιο τρόπο. Τα δύο αυτά σημεία προβάλλονται στον κεντρικό ρόμβο. Το σημείο που προκύπτει αντιστοιχεί σε έναν τύπο νερού (Πατρικάκη, 2002).

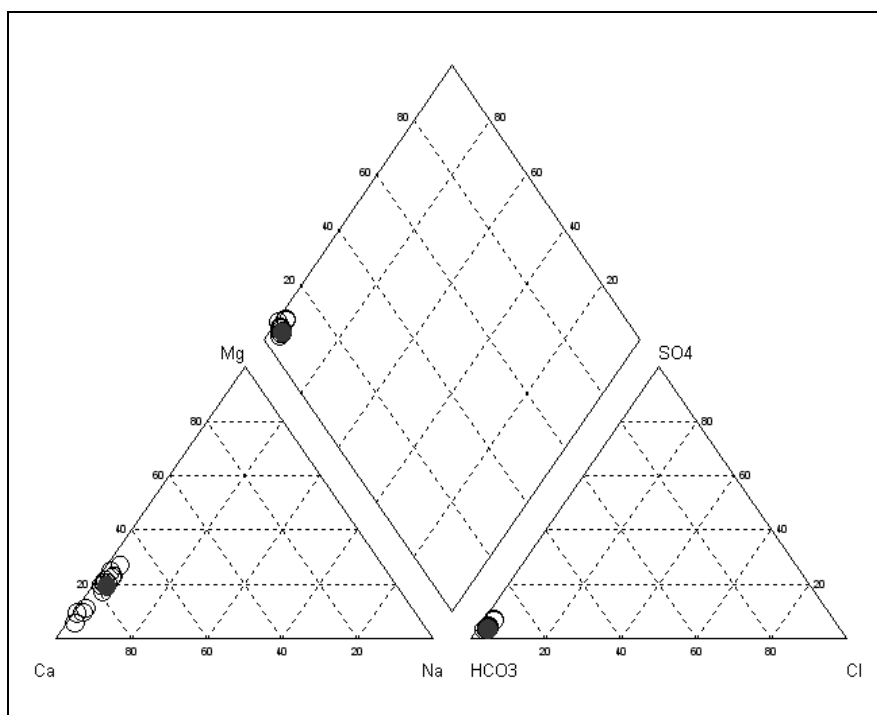
Οι χημικές αναλύσεις των στοιχείων, εκφρασμένες σε meq/lit, φαίνονται στον Πίνακα 7.6. Με βάση αυτές τις τιμές, υπολογίστηκε το επί τοις εκατό ποσοστό του κάθε κατιόντος στο σύνολο των κατιόντων και το επί τοις εκατό ποσοστό του κάθε ανιόντος στο σύνολο των ανιόντων αντίστοιχα. Οι τιμές των επί τοις εκατό ποσοστών για ανιόντα και κατιόντα παρατίθενται στον Πίνακα 7.7. Με βάση αυτές τις τιμές, κατασκευάστηκε το διάγραμμα PIPER του Σχήματος 7.32.

**Πίνακας 7.6** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων εκφρασμένα σε meq/lit.

| Ημερομηνία | Κωδ.            | Na    | K     | Ca    | Mg    | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl    | NO <sub>3</sub> |
|------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-----------------|-------|-----------------|
| 17/2/2004  | G <sub>1</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.293 | 0.822 | 3.494            | 0.125           | 0.113 | 0.192           |
| 3/3/2004   | G <sub>2</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.244 | 1.020 | 3.612            | 0.146           | 0.087 | 0.194           |
| 20/3/2004  | G <sub>3</sub>  | 0.157 | 0.010 | 3.258 | 0.987 | 3.627            | 0.121           | 0.073 | 0.194           |
| 3/4/2004   | G <sub>4</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.383 | 0.740 | 3.502            | 0.133           | 0.110 | 0.177           |
| 20/4/2004  | G <sub>5</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.398 | 0.905 | 3.628            | 0.123           | 0.102 | 0.211           |
| 7/5/2004   | G <sub>6</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.263 | 1.020 | 3.597            | 0.146           | 0.107 | 0.198           |
| 22/5/2004  | G <sub>7</sub>  | 0.157 | 0.008 | 3.049 | 1.176 | 3.651            | 0.142           | 0.104 | 0.198           |
| 3/6/2004   | G <sub>8</sub>  | 0.100 | 0.008 | 3.653 | 1.028 | 3.814            | 0.167           | 0.116 | 0.198           |
| 15/6/2004  | G <sub>9</sub>  | 0.104 | 0.008 | 3.558 | 0.954 | 3.710            | 0.152           | 0.107 | 0.198           |
| 30/6/2004  | G <sub>10</sub> | 0.117 | 0.010 | 3.623 | 0.954 | 3.797            | 0.181           | 0.102 | 0.198           |
| 14/7/2004  | G <sub>11</sub> | 0.100 | 0.008 | 3.663 | 0.921 | 3.789            | 0.167           | 0.099 | 0.198           |
| 27/7/2004  | G <sub>12</sub> | 0.091 | 0.008 | 3.573 | 1.242 | 3.900            | 0.187           | 0.113 | 0.198           |
| 4/8/2004   | G <sub>13</sub> | 0.096 | 0.008 | 3.493 | 1.176 | 3.853            | 0.175           | 0.090 | 0.192           |
| 25/8/2004  | G <sub>14</sub> | 0.096 | 0.008 | 3.832 | 1.666 | 3.556            | 0.271           | 0.107 | 0.198           |
| 10/9/2004  | G <sub>15</sub> | 0.100 | 0.008 | 3.967 | 0.428 | 3.605            | 0.271           | 0.110 | 0.195           |
| 10/9/2004  | G <sub>16</sub> | 0.096 | 0.008 | 4.311 | 0.263 | 3.540            | 0.271           | 0.107 | 0.219           |

Πίνακας 7.7 Εκατοστιαία ποσοστά για κατιόντα και ανιόντα σε χιλιοστοϊσοδύναμα

| Ημερομηνία | Κωδ.            | Na + K % | Ca % | Mg % | HCO <sub>3</sub> % | SO <sub>4</sub> % | Cl % |
|------------|-----------------|----------|------|------|--------------------|-------------------|------|
| 17/2/2004  | G <sub>1</sub>  | 3.8      | 76.9 | 19.2 | 93.6               | 3.3               | 3.0  |
| 3/3/2004   | G <sub>2</sub>  | 3.7      | 73.3 | 23.0 | 93.9               | 3.8               | 2.3  |
| 20/3/2004  | G <sub>3</sub>  | 3.8      | 73.9 | 22.4 | 94.9               | 3.2               | 1.9  |
| 3/4/2004   | G <sub>4</sub>  | 3.8      | 78.9 | 17.3 | 93.5               | 3.6               | 2.9  |
| 20/4/2004  | G <sub>5</sub>  | 3.7      | 76.1 | 20.3 | 94.2               | 3.2               | 2.6  |
| 7/5/2004   | G <sub>6</sub>  | 3.7      | 73.4 | 22.9 | 93.4               | 3.8               | 2.8  |
| 22/5/2004  | G <sub>7</sub>  | 3.7      | 69.5 | 26.8 | 93.7               | 3.6               | 2.7  |
| 3/6/2004   | G <sub>8</sub>  | 2.2      | 76.3 | 21.5 | 93.1               | 4.1               | 2.8  |
| 15/6/2004  | G <sub>9</sub>  | 2.4      | 76.9 | 20.6 | 93.5               | 3.8               | 2.7  |
| 30/6/2004  | G <sub>10</sub> | 2.7      | 77.0 | 20.3 | 93.1               | 4.4               | 2.5  |
| 14/7/2004  | G <sub>11</sub> | 2.3      | 78.1 | 19.6 | 93.5               | 4.1               | 2.4  |
| 27/7/2004  | G <sub>12</sub> | 2.0      | 72.7 | 25.3 | 92.9               | 4.5               | 2.7  |
| 4/8/2004   | G <sub>13</sub> | 2.2      | 73.2 | 24.6 | 93.6               | 4.2               | 2.2  |
| 25/8/2004  | G <sub>14</sub> | 1.8      | 68.4 | 29.7 | 90.4               | 6.9               | 2.7  |
| 31/8/2004  | G <sub>15</sub> | 2.4      | 88.1 | 9.5  | 90.5               | 6.8               | 2.8  |
| 10/9/2004  | G <sub>16</sub> | 2.2      | 92.2 | 5.6  | 90.4               | 6.9               | 2.7  |



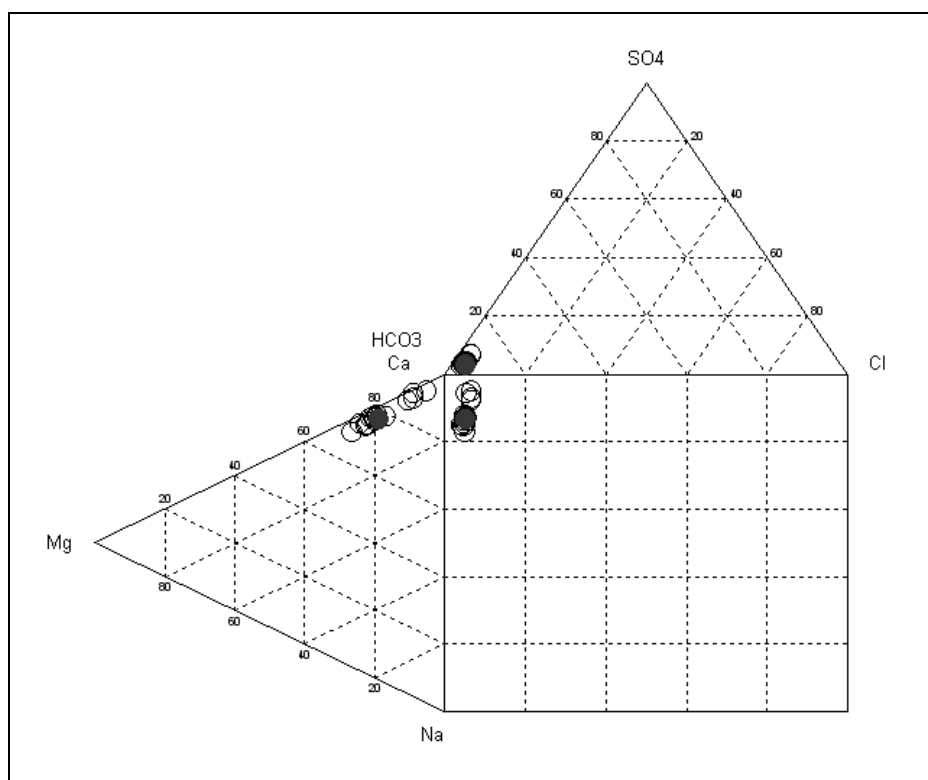
Σχήμα 7.32 Τριγραμμικό διάγραμμα των κυριότερων ιόντων κατά (A. Piper, 1944)

Από την ταξινόμηση κατά Piper – De Wiest προκύπτει ότι το νερά της καρστικής πηγής Βογατσικού είναι τύπου Ca – Mg – HCO<sub>3</sub>, οξυανθρακικό ασβεστούχο.

### 7.6.3 Διάγραμμα Durov

Το διάγραμμα Durov, αποτελεί τροποποίηση των τριγωνικών διαγραμμάτων του Durov το 1950. Στα διαγράμματα αυτά γίνονται προβολές του 50 % της ολικής συγκέντρωσης των κατιόντων και αντίστοιχα των ανιόντων.

Σ' αυτά τα διαγράμματα τα ιόντα τοποθετούνται σε ρόμβους και σε τρίγωνα και στη συνέχεια γίνεται η προβολή των ιόντων αυτών μέσα σε τετράγωνα δίνοντας έτσι τον τύπο του νερού ανάλογα με το τετράγωνο που προβάλλονται. Στο Σχήμα 7.33 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα Durov για τα υπόγεια νερά της πηγής Βογατσικού. Από το σχήμα 7.33 προκύπτει πως τα νερά της πηγής τροφοδοτούνται από ασβεστόλιθους, και ανήκουν στο  $\text{Ca} - \text{HCO}_3$  τύπο νερού (ασβεστόχα - οξυανθρακικά).



Σχήμα 7. 33 Διάγραμμα Durov (Lloyd, J. W., Heathcote, J.A., 1985)

### 7.6.4 Διάγραμμα Schoeller

Το διάγραμμα αυτό προτάθηκε από τον H. Schoeller (1948, 19062, 1967) και έχει ευρεία χρήση γιατί επιτυγχάνει να απεικονίσει με σαφή τρόπο τους διάφορους τύπους του υπόγειου νερού. Επίσης με αυτό το διάγραμμα είναι εύκολη η σύγκριση

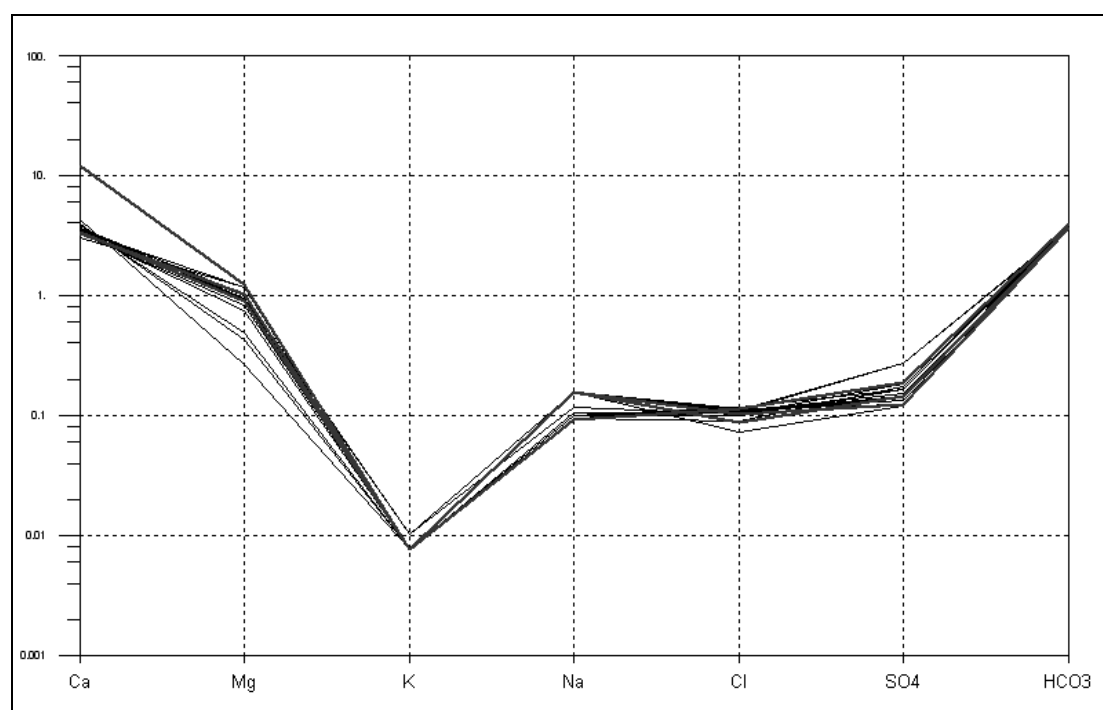
των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Τα ημιλογαριθμικά διαγράμματα Scholler χρησιμοποιούνται και για τον προσδιορισμό της ποσιμότητας του νερού.

Στον άξονα των τετμημένων τοποθετούνται σε κανονικά διαστήματα από τα αριστερά προς τα δεξιά το δέκατο της συγκέντρωσης των ιόντων εκφρασμένες σε meq/lit και επί των αξόνων των τεταγμένων, που είναι βαθμολογημένες σε μια λογαριθμική κλίμακα, τοποθετούνται ο αριθμός των meq/lit των παραπάνω ιόντων (Λαμπράκης, 1991).

Τα σημεία τομής που προκύπτουν ενώνονται μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα. Το πλεονέκτημα σ' αυτό τον τρόπο απεικόνισης, είναι ότι εκτός της άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων είναι δυνατή η σύγκριση και των κυριότερων ιοντικών λόγων, οι οποίοι και ορίζονται από τις κλίσεις των ευθυγράμμων τμημάτων.

Με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 7.3 κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Schoeller για τα υπόγεια νερά της περιοχής (Σχήμα 7.34). Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι τα περισσότερα τμήματα είναι σχετικά παράλληλα μεταξύ τους, επομένως οι ιοντικοί λόγοι παραμένουν σχετικά σταθεροί.

Από πλευράς ποσιμότητας το νερό της πηγής του Βογατσικού, βάση του ημιλογαριθμικού διαγράμματος του Σχήματος 7.34, διαπιστώνεται ότι είναι καλής ποιότητας.



**Σχήμα 7.34** Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller

### 7.6.5 Διάγραμμα S.A.R

Το διάγραμμα S.A.R. χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες.

α) Τον κίνδυνο αλκαλίωσης

Η αύξηση της σχετικής περιεκτικότητας σε  $\text{Na}^+$  του εδάφους έχει ως συνέπεια τη μείωση της περατότητας και την αύξηση της σκληρότητάς του, γιατί συμπιέζεται πιο εύκολα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αντικατάστασης των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  από  $\text{Na}^+$  στο πλέγμα των αργίλων. Η έκταση της αντικατάστασης αυτής μπορεί να προσδιοριστεί από το δείκτη προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.).

$$S.A.R. = rNa / \sqrt{\frac{r(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})}{2}} \quad (7.1)$$

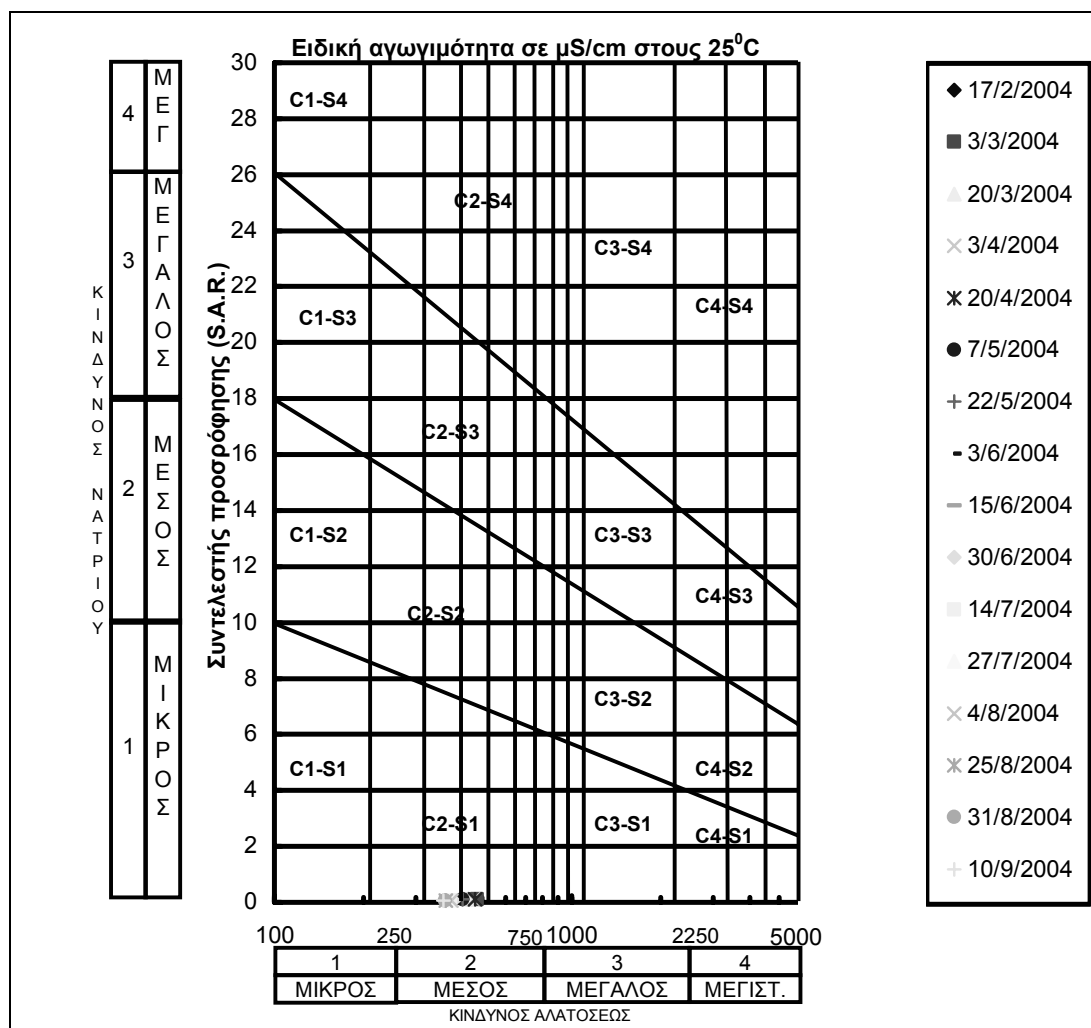
β) Τον κίνδυνο αλατότητας

Σε εδάφη που κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά η δυνατότητα απόπλυσης των αλάτων που υπάρχουν σε περίσσεια είναι μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης. Ο κίνδυνος αλατότητας μπορεί να εκτιμηθεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε ο δείκτης S.A.R. για όλα τα δείγματα (Πίνακας 7.8) και οι τιμές αυτές τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά USDA (Richards, 1954 – Wilcox, 1955), όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.35.

**Πίνακας 7.8** Τιμές δείκτη SAR και αγωγιμότητας

| Ημερομηνία | Κωδ.           | Αγωγιμότητα | S.A.R    | Ημερομηνία | Κωδ.            | Αγωγιμότητα | S.A.R    |
|------------|----------------|-------------|----------|------------|-----------------|-------------|----------|
| 17/2/2004  | G <sub>1</sub> | 450         | 0.109152 | 15/6/2004  | G <sub>9</sub>  | 400         | 0.069501 |
| 3/3/2004   | G <sub>2</sub> | 480         | 0.107248 | 30/6/2004  | G <sub>10</sub> | 400         | 0.077633 |
| 20/3/2004  | G <sub>3</sub> | 450         | 0.107474 | 14/7/2004  | G <sub>11</sub> | 390         | 0.066081 |
| 3/4/2004   | G <sub>4</sub> | 470         | 0.109052 | 27/7/2004  | G <sub>12</sub> | 386         | 0.058870 |
| 20/4/2004  | G <sub>5</sub> | 475         | 0.106754 | 4/8/2004   | G <sub>13</sub> | 395         | 0.062628 |
| 7/5/2004   | G <sub>6</sub> | 430         | 0.106998 | 25/8/2004  | G <sub>14</sub> | 378         | 0.057711 |
| 22/5/2004  | G <sub>7</sub> | 430         | 0.107734 | 31/8/2004  | G <sub>15</sub> | 375         | 0.067487 |
| 3/6/2004   | G <sub>8</sub> | 380         | 0.065393 | 10/9/2004  | G <sub>16</sub> | 370         | 0.063271 |



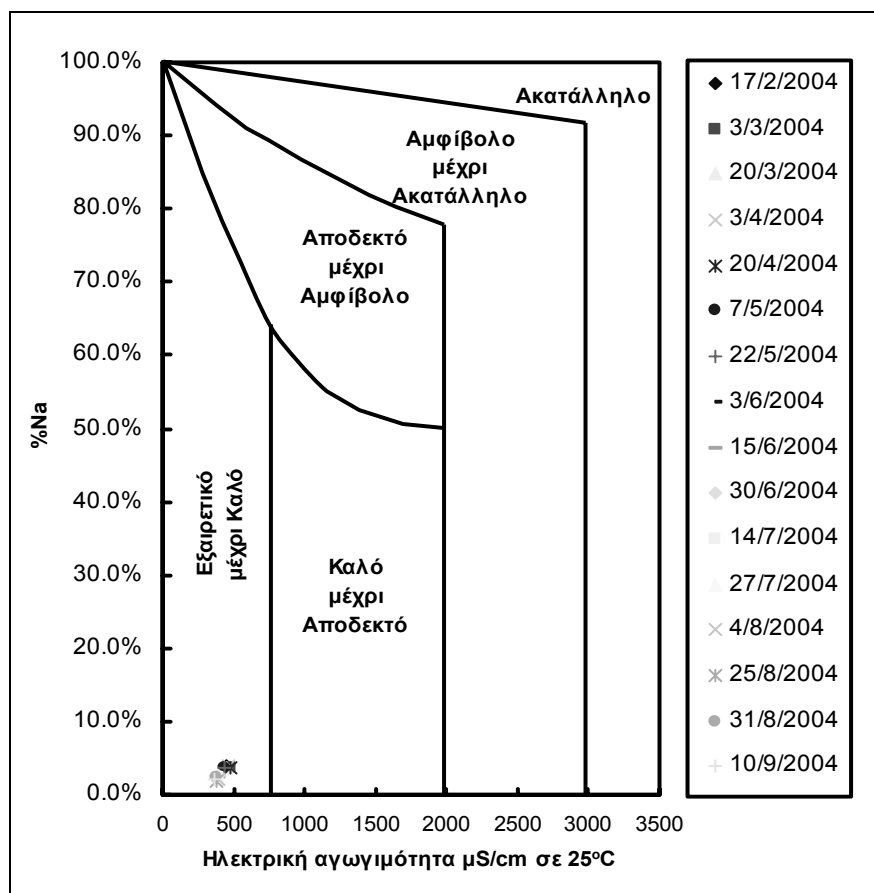
**Σχήμα 7. 35** Κατάταξη των νερών άρδευσης συναρτήσει της ειδικής αγωγιμότητας και της σχέσης S.A.R.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, το νερό της πηγής Βογατσικού ανήκει στην κατηγορία C2-S1, δηλαδή η ποιότητα του νερού θεωρείται μέτρια, όπου το νερό θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και για ευαίσθητα φυτά.

#### 7.6.6 Διάγραμμα Wilcox

Το διάγραμμα Wilcox (1955) χρησιμοποιείται και αυτό για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού. Αυτό λαμβάνει υπόψη την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και την επί % περιεκτικότητά του σε Na σε σχέση με το σύνολο των αλκαλίων. Στο Σχήμα 7.36 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εφαρμογή του διαγράμματος Wilcox για τα υπόγεια νερά της πηγής του Βογατσικού.

Από το διάγραμμα διαπιστώνεται, ότι τα νερά της καρστικής πηγής Βογατσικού χαρακτηρίζονται ως νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα. Πρόκειται δηλαδή για νερό άριστης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση όλων των εδαφών ακόμη και για πολύ ευπαθείς καλλιέργειες.



Σχήμα 7. 36 Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών κατά Wilcox

#### 7.6.7 Σύγκριση των διαφόρων συστημάτων ταξινόμησης

Από τα αποτελέσματα των διαφόρων συστημάτων ταξινόμησης διαπιστώνεται συμπερασματικά ότι, αρχικά με βάση την ταξινόμηση κατά Davis – De Wiest, τα νερά της πηγής χαρακτηρίζονται ως ολιγοσυστατικά. Επίσης με βάση την ταξινόμηση και το διάγραμμα Piper – De Wiest τα νερά της πηγής Βογατσικού χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικού ασβεστούχου τύπου.

Η ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα Duron χαρακτηρίζει τα νερά της πηγής ως νερά που βρίσκονται και τροφοδοτούνται από ασβεστολίθους. Επίσης με βάση το διάγραμμα Schoeller η ποσιμότητα του νερού της πηγής χαρακτηρίζεται ως καλή.

Τέλος αναφορικά με την αρδευτική χρήση των υπογείων νερών της πηγής, με

βάση τα διαγράμματα S.AR. και Wilcox, διαπιστώνεται πως πρόκειται για νερό άριστης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση όλων των εδαφών. Ωστόσο θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη σε βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και σε ευαίσθητα φυτά.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διατριβή αυτή μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες της καρστικής πηγής και της καρστικής περιοχής του Βογατσικού της Καστοριάς. Παρακάτω δίνονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διατριβή αυτή.

Η περιοχή διοικητικά ανήκει στο Δημοτικό Διαμέρισμα Βογατσικού του Δήμου Ίωνος Δραγούμη. Διακρίνονται δύο καρστικοί όγκοι βορειοδυτικά (καρστικός όγκος Προφήτη Ηλία) και νοτιοανατολικά (καρστικός όγκος πηγής Βογατσικού) του χωριού Βογατσικό.

Ο πρώτος καρστικός όγκος, έχει έκταση 25.342 km<sup>2</sup>, περίμετρο 30.192 km και μέσο υψόμετρο 1005.4 m. Το ελάχιστο υψόμετρό του προσδιορίστηκε στα 690 m ενώ το μέγιστο στα 1361 m. Επίσης η μέση κλίση του όγκου βρέθηκε ίση με 39 % που αντιστοιχεί σε γωνία 23.7°.

Ο δεύτερος καρστικός όγκος έχει έκταση 4.064 km<sup>2</sup>, περίμετρο 15.88 km και μέσο υψόμετρο 819.2 m. Το ελάχιστο υψόμετρο προσδιορίστηκε στα 617 m ενώ το μέγιστο στα 1129 m. Επίσης η μέση κλίση του όγκου βρέθηκε ίση με 46 % που αντιστοιχεί σε γωνία 27.5°.

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Πελαγονική ζώνη, η οποία και θεωρείται ότι είναι ένα υπόλειμμα ηπειρωτικού τεμάχους της Κιμμερικής ηπείρου. Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας τα στρώματα που παρουσιάζονται είναι οι κρυσταλλοσχιστώδεις Παλαιοζωικοί σχηματισμοί, τα ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού, τα ιζήματα του Τριτογενούς και οι χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Στην περιοχή έλαβαν χώρα τέσσερις ορογενετικές περίοδοι: 1<sup>η</sup> Ερκύνιας ηλικίας, 2<sup>η</sup> ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, 3<sup>η</sup> ηλικίας Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου και 4<sup>η</sup> ηλικίας Νεογενούς - Τεταρτογενούς. Με την τελευταία ορογενετική περίοδο είναι πιθανόν συνδεδεμένες οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν στις Τριαδικοϊουρασικές ανθρακικές μάζες της περιοχής, οι οποίες παρουσιάζονται έντονα διερρηγμένες με βασικές διευθύνσεις ρηγμάτων BA – ΝΔ, B – Ν και ΒΔ – ΝΑ.

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του ορεινού όγκου του Βογατσικού το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο καθώς επίσης και τα μολασσικά ιζήματα χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί, ενώ οι υπόλοιποι χαλαροί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως ημιπερατοί. Η κύρια υδροφορία στην περιοχή βρίσκεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς.

Στην περιοχή του καρστικού όγκου της περιοχής διαπιστώνονται τρεις θέσεις αναβλύσεων με κύρια αυτήν της πηγής του Βογατσικού. Οι υπόλοιπες αναβλύσεις παρουσιάζουν εποχιακή ροή. Αναφορικά με τις συνθήκες οριοθέτησης και τροφοδοσίας του καρστικού όγκου της πηγής του Βογατσικού διαπιστώθηκε ότι υπάρχει υδραυλική επικοινωνία με τους γειτονικούς ανθρακικούς όγκους του Προφήτη Ηλία στο βόρειο τμήμα του καρστικού όγκου, η οποία και διαμορφώνεται τόσο από τις στρωματογραφικές όσο και από τις τεκτονικές συνθήκες της περιοχής.

Για την ανάλυση του υδρογράμματος της πηγής του Βογατσικού χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα των Maillet, Tison, Scholler, και Mangin. Από την ανάλυση του υδρογράμματος διαπιστώνεται αναφορικά με τον χαρακτηρισμό του καρστ (από τις τιμές του συντελεστή στείρευσης  $a$  καθώς επίσης και του συντελεστή ετερογένειας  $\epsilon$ ), ότι ο καρστικός όγκος δεν παρουσιάζει εκτεταμένους και μεγάλους καρστικούς αγωγούς, ενώ χαρακτηρίζεται από μικρή ετερογένεια και από καλή λειτουργία, με το υπόγειο νερό να ρέει δια μέσου ασυνεχειών και διακλάσεων.

Τα εκκενώσιμα αποθέματα της κορεσμένης ζώνης της πηγής υπολογίσθηκαν ίσα με  $5.65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για το πρότυπο του Maillet, και με  $3.48 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για το πρότυπο του Tison. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται, τόσο με τη διαφορά στο νοητικό πρότυπο των διαφόρων μεθόδων, όσο και με τη διαφορά στην τιμή του συντελεστή στείρευσης  $a$  και στην τιμή της παροχής  $q_0$  (παροχή στη αρχή του ξηρού έτους) που χρησιμοποιείται για το κάθε πρότυπο.

Αναφορικά με τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής, με βάση τα βροχομετρικά και μετεωρολογικά στοιχεία τεσσάρων και δύο σταθμών αντίστοιχα υπολογίστηκε ότι, η μέση βροχόπτωση και η μέση θερμοκρασία στην περιοχή του καρστικού όγκου για την περίοδο 1978 - 1994 είναι 795.27 mm και 11.6 °C αντίστοιχα. Η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε ίση με 61 mm ύψους βροχής ανά 100 m, ενώ η θερμοβαθμίδα ίση με 0.54 °C ανά 100 m.

Το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό βροχόπτωσης παρουσιάζεται κατά το μήνα Νοέμβριο, ενώ εξίσου σημαντικά ποσοστά εμφανίζονται και κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο. Οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Σεπτέμβριος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Επίσης διαπιστώνεται ομοιόμορφη εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων στις τρεις εποχές (Χειμώνας, Άνοιξη, Φθινόπωρο).

Υπολογίστηκε η τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite, ενώ για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι των Turc, Coutagne και Thornthwaite - Mather. Πιο αξιόπιστα υπήρξαν τα αποτελέσματα της τελευταίας μεθόδου με το συντελεστή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής να είναι ίσος με 51.6 %.

Η επιφανειακή απορροή εκτιμήθηκε ίση με το 2 % των βροχοπτώσεων, ενώ για τον υπολογισμό της κατείδυσης χρησιμοποιήθηκε, τόσο το επιφανειακό υδατικό ισοζύγιο, όσο και η μέθοδος των συντελεστών του Kessler. Ο συντελεστής κατείδυσης προσδιορίστηκε ίσος με 46.4 % (επιφανειακό ισοζύγιο) και 45.3 %, 47.4% (συντελεστές Kessler). Η ειδική απόδοση του καρστ προσδιορίστηκε ίση με 11.7 lit/sec·km<sup>2</sup>.

Από τις χημικές αναλύσεις του νερού της πηγής προκύπτει πως οι συγκεντρώσεις των Na, K, NO<sub>3</sub>, και Cl ιόντων και η αγωγιμότητα παρουσιάζονται σχετικά σταθερές σε σχέση με το χρόνο. Τα ιόντα Ca και SO<sub>4</sub> παρουσιάζουν μια σχετική αύξηση κατά τη διάρκεια του θέρους σε αντίθεση με τα ιόντα Mg που παρουσιάζουν τάση μείωσης. Επίσης ανομοιόμορφη κατανομή παρουσιάζουν οι τιμές του pH και των HCO<sub>3</sub> ιόντων.

Οι τιμές των SO<sub>4</sub> ιόντων παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση σε σχέση με τη παροχή της πηγής, ενώ οι συγκεντρώσεις των, Na, Ca, Mg, K, Cl, NO<sub>3</sub> και HCO<sub>3</sub> ιόντων δεν παρουσιάζουν αξιόλογου βαθμού συσχέτιση.

Με τη βοήθεια των διαφόρων ιοντικών λόγων διαπιστώνεται ότι ο υδροφόρος είναι συνεχούς τροφοδοσίας και ασβεστολιθικής σύστασης, ενώ με βάση τον λόγο  $rCl^- / rSO_4^{2-}$  το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως θεικοχλωριούχο. Ακόμη διαπιστώνεται σημαντικού βαθμού συσχέτιση των λόγων,  $r(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / r(K^+ + Na)$ ,  $rCl^- / rSO_4^{2-}$  και χαμηλού βαθμού συσχέτιση των λόγων  $rNa^+ / rK^+$ , και  $rMg^{+2} / rCa^{+2}$  σε σχέση με την παροχή της πηγής. Επίσης δεν διαπιστώνεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων ιόντων των ιοντικών λόγων.

Από την εφαρμογή της μεθόδου κυρίων συνιστωσών (P.C.A.) προκύπτει ότι μόνο τρεις παράγοντες είναι δυνατόν να περιγράψουν το 82.7 % της ολικής διακύμανσης των ιόντων. Ο πρώτος εκφράζει το 43.9 %, ο δεύτερος το 21.8 %, και ο τρίτος το 17.0 % της ολικής διακύμανσης. Επίσης υπάρχει συσχέτιση μεταξύ Na – Mg – Ca - SO<sub>4</sub> και K – Cl.

Με βάση την ταξινόμηση κατά Davis – De Wiest, τα νερά της πηγής χαρακτηρίζονται ως ολιγοσυστατικά, ενώ με βάση την ταξινόμηση κατά Piper – De Wiest τα νερά της πηγής χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικού ασβεστούχου τύπου. Η

ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα Duroν χαρακτηρίζει τα νερά της πηγής ως νερά που βρίσκονται και τροφοδοτούνται από ασβεστολίθους.

Επίσης με βάση το διάγραμμα Schoeller η ποσιμότητα του νερού της πηγής χαρακτηρίζεται ως καλή. Τέλος αναφορικά με την αρδευτική χρήση των υπογείων υδάτων της πηγής, με βάση τα διαγράμματα S.A.R. και Wilcox, διαπιστώνεται πως πρόκειται για νερό άριστης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση όλων των εδαφών. Ωστόσο θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη σε βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και σε ευαίσθητα φυτά.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Aubouin, J., (1957):** «Contribution a l'étude géologique de la Grèce septentrionale: Les confins de l' Epire et de la Thessalie», Ann. Geol. Des Pays Hell. Vol. X., Athènes, pp. 1– 484.
- Βαφειάδης, Π., (1983):** «Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς», Διδ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 130.
- Βουδούρης, Κ., (2004):** «Στατιστική ανάλυση υδρογεωλογικών δεδομένων», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 102.
- Βουδούρης, Κ., (1995):** «Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ/κού τμήματος του Ν. Αχαΐας», Διδ. διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Brunn, J., (1956):** «Contribution a l' etude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale». Ann. Geol. des Pays Hell. 7.
- Castany, G., (1963):** «Traite pratique des eaux souterrains», Dunod, Paris, pp. 657.
- Coutagne, A., (1954):** «Etude de quelques corrélations hydrométéorologiques régionales et leur interprétation algébrique», La Houille blanche, 3 journées de 1 hydraulique de la Soc. Hydrot. De France, Paris, pp. 220 – 226.
- Davis, J.C., (1987):** «Statistics and data analysis in geology», 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley and Sons, N.Y., pp. 656.
- Davis, S., De Wiest, R., (1967):** «Hydrogeology», J. Wiley and Sons, New York, pp. 463.
- Δημόπουλος, Γ., (1983):** «Εφαρμοσμένη Γεωλογία», Τόμος 1<sup>ος</sup>, Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη, σελ 428.
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (2001):** «Στοιχεία απογραφής πληθυσμού 1999», Αθήνα.
- Horton, R.E., (1945):** «Erosional development of streams and their drainage basins; hydro-physic approach to quantitative morphology», Bull. Geol. Soc. Am., 56, pp. 275-370.
- Καλλέργης, Γ., Λαμπράκης, Ν., Βουδούρης, Κ., Διαμαντοπούλου Π., (2002):** «Υδρολογικό ισοζύγιο και διαχείριση του καρστικού συστήματος Γιούχτα», Ερευνητικό πρόγραμμα Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Καλλέργης, Γ., (2001):** «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», 2<sup>nd</sup> edition, Α, Β, Γ τόμοι, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Αθήνα.

- Καλλέργης, Γ., (1986):** «Εφαρμοσμένη υδρογεωλογία», Τόμος Α, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., (1999):** «Τεχνική Υδρολογία», Έκδοση 3<sup>η</sup>, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Kessler, H., (1956):** «Water balance investigations in the karstic region of Hungary», Proceeding of the Dubrovnik symposium, A.I.H.S. Hydrology of fractured rocks, t. I, Dubrovnik, pp. 91 – 105.
- Kessler, H., (1957):** «Estimation of subsurface water resources in karstic regions (the rate of percolation in the karstland)», A.I.H.S. General Assembly of Toronto, no 44, Toronto, pp. 199 – 206.
- Koppen, W., Geiger, R., (1936):** «Handbuch der Klimatologie», Berlin.
- Λαμπράκης, Ν., (1994):** «Εισαγωγή στην υδροχημεία», Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 158.
- Λιβαδάς, Γ., (1976):** «Το κλίμα της Ελλάδας», Βιβλίο 5, Θεσσαλονίκη.
- Lloyd, J.W., Heathcote, J.A., (1985):** «Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction», Oxford.
- Maillet, E., (1905):** «Essais d' hydraulique sonteraine et fluviale», Herman, Paris, pp. 218.
- Μανάκος, Α., (1999):** «Υδρογεωλογική συμπεριφορά και στοχαστική προσομοίωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος Κρανιάς Ελασσόνας», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Mangin, A., (1974):** «Contribution a l étude hydrodynamique des aquifères karstiques (dixieme partie)», Ann. Speleol., t. 29, fasc. 4, Moulis, (Ariege), France, pp. 495 – 601.
- Mangin, A., (1975):** «Contribution a l étude hydrodynamique des aquifères karstiques (dixieme partie)», Ann. Speleol., t. 30, fasc. 1, Moulis, (Ariege), France, pp. 21 – 124.
- Μαράτος, Γ., (1972):** «Γεωλογία της Ελλάδος», Τόμος Α, Αθήνα, σελ. 189.
- Μαρίνος, Π., (1975):** «Ενεργός κατείδυσις εντός ασβεστολίθων. Σφάλματα κατά τον υπολογισμό, εκ διαφοράς μέσω του υδρολογικού ισοζυγίου. Ισχύς των συνθηκών εξισώσεων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εις την Ελλάδα», Ann. Geol. des Pays Hell., T. 27, Αθήνα, σελ. 159 – 179.
- Μιμίκου, Μ., (1994):** «Τεχνολογία υδατικών πόρων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2<sup>nd</sup> edition, Αθήνα.

- Μουντράκης, Δ., (1976):** «Συμβολή εις την γνώση της γεωλογίας του Βορείου ορίου των ζωνών Αξιού και Πελαγονικής εις την περιοχήν Κ. Λουτρακίου – Όρμας (Αλμωπίας)», Διατριβή επί διδασκαλία, Θεσσαλονίκη, σελ. 164.
- Mountrakis, D., (1979):** «Résultats preliminaires de l Etude stratigraphique de la région de Kastoria (NW Macédoine, Grèce)», Sci. Annals. Fac. Phys. And Mathem., Univ. Thessaloniki, 19, σελ. 163.
- Μουντράκης, Δ., (1985):** «Γεωλογία Ελλάδος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 207.
- Μουντράκης, Δ., (1988):** «Συνοπτική Γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου», Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 116.
- Μπαλαφούτης, Χ., (1977):** «Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτ. Θράκης», Διατριβή επί διδασκαλία, Θεσσαλονίκη, σελ. 121.
- Μπαλαφούτης, Χ., (2000):** «Γενική Κλιματολογία», Εκδόσεις Α.Π.Θ., Θεσ/νικη, σελ.190.
- Ξανθόπουλος, Θ., (1972):** «Μαθήματα Στατιστικής Υδρολογίας», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Osswald, K., (1938):** «Geologische Ubersichskarte von Griech – Makedonien 1:300.000», Griech Geol. Landesamt, Athen.
- Πατρικάκη, Ο., (2002):** «Μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του νότιου πεδίου Πτολεμαΐδας», Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ., (2002):** «Έρευνα του χειμαρρικού δυναμικού και ανάπτυξη σχεδίου υδρονομικής διευθέτησης του χειμάρρου Γέρμας, με εφαρμογή ενός πιλοτικού αντιπλημμυρικού φράγματος πολλαπλών σκοπών», Ερευνητικό πρόγραμμα, Α.Π.Θ.
- Piper, A., (1944):** «A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis», Transam, Geophysical Union, 25/914-928, New York.
- Ράπτη, Δ., (1995):** «Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Σκύδρας – Επισκοπής (Μακεδονία). Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης των υδροφόρων στρωμάτων», Διδ. Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Richards, I.A., (1954):** «Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils», U.S. Depart. Agric., Washington, pp. 160.
- Savouat, E., Verdier, A., Μονοπόλη, Δ., (1971):** «Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Άργος Ορεστικό», κλίμακα 1:50.000.

- Scholler, H., (1948):** «Le régime hydrologique des calcaires éocènes du synclinal du Dyr El Kef (Tunisie)», Bull. Sco. Geol. Gr., ser. 5, Vol. 28, Paris, pp. 167 – 180.
- Scholler, H., (1962):** «Les eaux souterraines», Ed. Masson, Paris, pp. 642.
- Scholler, H., (1967):** «Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement)», Cornique d' Hydrogéologie, no 10, éditions B.R.G.B. Orléans (France), pp. 7 – 21.
- Σούλιος, Γ., (1975).** Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Ξυνιάδος (Φθιώτιδα), Διατριβή, Θεσ/νικη, σελ. 99.
- Σούλιος, Γ., (1985):** «Συμβολή στη μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του ελληνικού χώρου», παρ. αρ. του 23<sup>ου</sup> τόμου της επετ. Της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., Θεσ/νικη, σελ. 292.
- Σούλιος, Γ., (1986):** «Γενική Υδρογεωλογία», Πρώτος Τόμος, University Studio Press.
- Thornthwaite, C., (1944):** «Report of the committee on transpiration and evaporation», Am. Geoph. Union, vol. 25.
- Thornthwaite, C., (1951):** «An approach toward a rational classification of climate», Geogr. Rev., Vol. 38, pp. 55 – 94.
- Thornthwaite, C. Mather, J., (1955):** «The water Balance», Climatology, vol. VIII, No 1, New Jersey, pp. 1 -37.
- Tison, G., (1960):** «Courbe de tarissement, coefficient d'écoulement et perméabilité du bassin», Memoir. A.I.H.S., Helsinki, pp. 229 – 243.
- Τσακίρης, Γ., (1995):** «Υδατικοί πόροι: Τεχνική Υδρολογία», Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 675.
- Turc, L., (1954):** «Le bilan d eau de sols; Relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement», Ibid., pp. 36 – 44.
- Φλόκας, Α., (1990):** «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», Εκδόσεις Ζήτη, Α.Π.Θ., σελ.465.
- Χατζηστεφάνου, Η., (2002):** «Κατασκευή φράγματος Βασιλειάδας – Μελλισσότοπου – Υδρολογική μελέτη», Καστοριά.
- Wilcox, L.V., (1955):** «Classification and use of irrigation waters», U. S. Depart. Agric. Circ. 969, Washington, pp. 19.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**ΠΙΝΑΚΕΣ 1 – 4:** Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης στους σταθμούς Καστοριά, Κλεισούρα, Άργος Ορεστικό, Νεστόριο (χρονική περίοδος 1961 – 1994).

**ΠΙΝΑΚΕΣ 5 – 6:** Μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας στους σταθμούς Καστοριά και Νεστόριο (χρονική περίοδος 1978 – 1995).

**Πίνακας 1.** Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης στο σταθμό Καστοριά (πηγή Χατζηστεφάνου, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ    | ΝΟΕ    | ΔΕΚ    | ΙΑΝ    | ΦΕΒ    | ΜΑΡ   | ΑΠΡ    | ΜΑΙΟ  | ΙΟΥΝ  | ΙΟΥΛ  | ΑΥΓ   | ΣΕΠ   | ΕΤΗΣΙΟ  | MIN  | M.O     | MAX    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------|---------|--------|
| 1961-62 | 27.9   | 111.8  | 55.4   | 33.5   | 73.2   | 90.1  | 26.1   | 17.7  | 52.1  | 13.5  | 23.6  | 41    | 565.9   | 13.5 | 47.2    | 111.8  |
| 1962-63 | 120    | 151.2  | 79     | 116.7  | 157    | 49.9  | 48.4   | 90.2  | 24.5  | 12.4  | 24.9  | 21.1  | 895.3   | 12.4 | 74.6    | 157    |
| 1963-64 | 72.5   | 16.9   | 89     | 19.3   | 29.3   | 53.5  | 12.5   | 56.1  | 66    | 37.1  | 4.9   | 22    | 479.1   | 4.9  | 39.9    | 89     |
| 1964-65 | 42.5   | 147.6  | 105    | 45.5   | 45.9   | 34.65 | 84.6   | 23.9  | 36.8  | 3     | 7.5   | 12.4  | 589.35  | 3    | 49.1    | 147.6  |
| 1965-66 | 1.2    | 62.8   | 56.4   | 129.6  | 19.3   | 79.5  | 23.8   | 18.4  | 47    | 0     | 3.2   | 38.4  | 479.6   | 0    | 40.0    | 129.6  |
| 1966-67 | 40.1   | 165.8  | 89.9   | 45     | 6.7    | 12.6  | 41.5   | 117   | 46    | 95.1  | 9.5   | 61.4  | 730.6   | 6.7  | 60.9    | 165.8  |
| 1967-68 | 19.4   | 18.9   | 100.6  | 64.1   | 60.7   | 41.6  | 53.8   | 108.8 | 57.9  | 3.5   | 27.5  | 39.1  | 595.9   | 3.5  | 49.7    | 108.8  |
| 1968-69 | 26.5   | 63.6   | 139    | 87.4   | 76.5   | 163.8 | 26.2   | 1.6   | 10.7  | 8.6   | 38.5  | 34.4  | 676.8   | 1.6  | 56.4    | 163.8  |
| 1969-70 | 0.8    | 22.3   | 194.6  | 59.9   | 59.5   | 57    | 37.9   | 37.2  | 6.8   | 74.1  | 1.6   | 14.4  | 566.1   | 0.8  | 47.2    | 194.6  |
| 1970-71 | 62     | 10.7   | 52.9   | 82     | 42.3   | 101.3 | 20.6   | 31.5  | 18.2  | 48.7  | 11.9  | 90.1  | 572.2   | 10.7 | 47.7    | 101.3  |
| 1971-72 | 24.4   | 41.5   | 47.9   | 86.3   | 74     | 65.3  | 97     | 52.1  | 16.1  | 36.1  | 62.2  | 43.6  | 646.5   | 16.1 | 53.9    | 97     |
| 1972-73 | 175.7  | 10.9   | 17     | 45.8   | 91.6   | 90.6  | 12.1   | 18.2  | 8.7   | 41.1  | 19.2  | 82.4  | 613.3   | 8.7  | 51.1    | 175.7  |
| 1973-74 | 69.7   | 46.4   | 125.5  | 67.3   | 127.5  | 57.3  | 98.7   | 51.5  | 27.7  | 1.4   | 15.5  | 37.6  | 726.1   | 1.4  | 60.5    | 127.5  |
| 1974-75 | 77.7   | 104.1  | 5.3    | 12.3   | 35.2   | 61.6  | 39.2   | 47.2  | 44.5  | 46.6  | 20.9  | 22.9  | 517.5   | 5.3  | 43.1    | 104.1  |
| 1975-76 | 74.4   | 62.1   | 45.3   | 20.8   | 36.7   | 32.9  | 65.4   | 50.2  | 28.4  | 14.4  | 48.5  | 15.2  | 494.3   | 14.4 | 41.2    | 74.4   |
| 1976-77 | 63.4   | 89     | 47.6   | 56.6   | 44.4   | 23.8  | 26.1   | 46.8  | 16.6  | 3.4   | 46.8  | 70.8  | 535.3   | 3.4  | 44.6    | 89     |
| 1977-78 | 34.3   | 98.7   | 30.8   | 87.3   | 35.5   | 55.8  | 110.5  | 33.7  | 15.4  | 16    | 6.4   | 78.1  | 602.5   | 6.4  | 50.2    | 110.5  |
| 1978-79 | 72.5   | 25.5   | 71.7   | 127.2  | 63.1   | 21.3  | 84.6   | 72.7  | 13.3  | 27.2  | 39    | 28    | 646.1   | 13.3 | 53.8    | 127.2  |
| 1979-80 | 79.5   | 163.1  | 54.7   | 86.2   | 0.5    | 50.3  | 21     | 128   | 42.1  | 6.6   | 16.9  | 13.6  | 662.5   | 0.5  | 55.2    | 163.1  |
| 1980-81 | 152.2  | 75     | 120.7  | 51.8   | 45.5   | 61.9  | 52.9   | 44.6  | 19.8  | 20.8  | 45.6  | 16.7  | 707.5   | 16.7 | 59.0    | 152.2  |
| 1981-82 | 126.1  | 47     | 134.2  | 18.8   | 41.8   | 45.9  | 52.8   | 38.9  | 67.9  | 30.9  | 97.6  | 41.7  | 743.6   | 18.8 | 62.0    | 134.2  |
| 1982-83 | 126.4  | 119.8  | 59     | 7.2    | 34.3   | 21.7  | 18.8   | 67.3  | 91.2  | 54.2  | 52.4  | 50.7  | 703     | 7.2  | 58.6    | 126.4  |
| 1983-84 | 27.1   | 83.1   | 62.7   | 58.8   | 101.2  | 58.6  | 54.2   | 10    | 18.9  | 1.6   | 25.5  | 18.7  | 520.4   | 1.6  | 43.4    | 101.2  |
| 1984-85 | 22.7   | 70.1   | 34     | 72.2   | 19.5   | 66.8  | 56.9   | 63.1  | 5.1   | 7.4   | 0.5   | 5.6   | 423.9   | 0.5  | 35.3    | 72.2   |
| 1985-86 | 21.6   | 209.2  | 24.6   | 68.4   | 143.4  | 64.7  | 15.3   | 94.2  | 87.8  | 41.9  | 0.8   | 8.7   | 780.6   | 0.8  | 65.1    | 209.2  |
| 1986-87 | 29.6   | 46     | 14.9   | 77.7   | 45.8   | 90.3  | 39.5   | 73.9  | 17.9  | 5.6   | 20.2  | 1.6   | 463     | 1.6  | 38.6    | 90.3   |
| 1987-88 | 112.6  | 71.2   | 36     | 32.9   | 26.2   | 26.5  | 38.5   | 32.9  | 18.8  | 0     | 6     | 12.7  | 414.3   | 0    | 34.5    | 112.6  |
| 1988-89 | 17     | 124.9  | 67.3   | 0      | 35.2   | 41.7  | 10.4   | 60    | 21.5  | 63.9  | 6.9   | 12.4  | 461.2   | 0    | 38.4    | 124.9  |
| 1989-90 | 64.2   | 68.3   | 78.4   | 0      | 17.4   | 9.8   | 42.7   | 69.7  | 5     | 27    | 31    | 12.5  | 426     | 0    | 35.5    | 78.4   |
| 1990-91 | 23.3   | 67.2   | 152.9  | 8.5    | 114.6  | 38.2  | 150.3  | 68.6  | 8.4   | 29.3  | 33.9  | 28.7  | 723.9   | 8.4  | 60.3    | 152.9  |
| 1991-92 | 30.4   | 82     | 12.7   | 18.3   | 6.5    | 11    | 79.2   | 42.8  | 81.9  | 56.9  | 0.1   | 2     | 423.8   | 0.1  | 35.3    | 82     |
| 1992-93 | 89.8   | 51.4   | 72.7   | 49.6   | 44.8   | 48.3  | 17.4   | 49.3  | 27    | 4.3   | 8.4   | 16.8  | 479.8   | 4.3  | 40.0    | 89.8   |
| 1993-94 | 62.5   | 111.2  | 50     | 114.4  | 54.6   | 53    | 50.5   | 53.8  | 33    | 26.7  | 24.2  | 31.6  | 665.5   | 24.2 | 55.5    | 114.4  |
| Aver.   | 60.3   | 80.0   | 70.5   | 56.1   | 54.8   | 54.0  | 48.8   | 53.7  | 32.8  | 26.0  | 23.7  | 31.1  | 591.9   | 6.4  | 49.3    | 123.6  |
| Max     | 175.7  | 209.2  | 194.6  | 129.6  | 157    | 163.8 | 150.3  | 128   | 91.2  | 95.1  | 97.6  | 90.1  | 895.3   | 24.2 | 74.6083 | 209.2  |
| Min     | 0.8    | 10.7   | 5.3    | 0      | 0.5    | 9.8   | 10.4   | 1.6   | 5     | 0     | 0.1   | 1.6   | 414.3   | 0    | 34.525  | 72.2   |
| S.d     | 43.9   | 49.3   | 44.2   | 36.6   | 38.6   | 30.8  | 32.7   | 29.9  | 24.5  | 24.1  | 21.5  | 23.5  | 120.9   | 6.5  | 10.1    | 35.3   |
| Var     | 1925.1 | 2433.2 | 1952.3 | 1337.5 | 1487.6 | 946.1 | 1069.3 | 892.6 | 599.1 | 580.4 | 462.3 | 551.9 | 14607.0 | 42.6 | 101.4   | 1246.8 |
| Kurt    | 0.3    | 0.1    | 0.6    | -0.6   | 0.9    | 3.9   | 1.6    | 0.4   | 0.2   | 0.7   | 3.0   | 0.5   | -0.4    | 0.2  | -0.4    | -0.3   |
| Skew    | 0.9    | 0.7    | 0.9    | 0.3    | 1.1    | 1.4   | 1.2    | 0.7   | 1.0   | 1.0   | 1.5   | 1.1   | 0.4     | 1.0  | 0.4     | 0.6    |

**Πίνακας 2.** Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης στο σταθμό Κλεισούρα (πηγή Χατζηστεφάνου, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ    | ΝΟΕ    | ΔΕΚ    | ΙΑΝ    | ΦΕΒ    | ΜΑΡ    | ΑΠΡ    | ΜΑΙΟ   | ΙΟΥΝ   | ΙΟΥΛ   | ΑΥΓ    | ΣΕΠ   | ΕΤΗΣΙΟ  | MIN  | M.O     | MAX    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|------|---------|--------|
| 1961-62 | 40.5   | 161.9  | 80.2   | 48.5   | 106    | 130.5  | 37.8   | 25.3   | 72.7   | 20.1   | 34.5   | 50.5  | 808.5   | 20.1 | 67.4    | 161.9  |
| 1962-63 | 133.7  | 257.3  | 136.6  | 126.3  | 166.9  | 91     | 61.9   | 125.4  | 37.8   | 25.9   | 37.2   | 30.2  | 1230.2  | 25.9 | 102.5   | 257.3  |
| 1963-64 | 130.3  | 27.8   | 110.7  | 31     | 55.3   | 91.1   | 16.4   | 98.4   | 81.7   | 41     | 7.2    | 39.6  | 730.5   | 7.2  | 60.9    | 130.3  |
| 1964-65 | 69     | 176.9  | 115.6  | 70.1   | 86.9   | 48.6   | 140.8  | 52.8   | 60.8   | 10.9   | 9.8    | 11.4  | 853.6   | 9.8  | 71.1    | 176.9  |
| 1965-66 | 2.6    | 92.3   | 109.7  | 179.1  | 41.2   | 107.4  | 43.6   | 44.7   | 75.9   | 4.1    | 4.1    | 45.7  | 750.4   | 2.6  | 62.5    | 179.1  |
| 1966-67 | 68.6   | 231.2  | 148.4  | 83.4   | 18.8   | 22.3   | 65.5   | 179.5  | 54.1   | 135.2  | 15.8   | 78.9  | 1101.7  | 15.8 | 91.8    | 231.2  |
| 1967-68 | 36.4   | 36.7   | 131.5  | 96.3   | 91.6   | 74.1   | 66.8   | 145.9  | 97.2   | 1.4    | 43.8   | 56.6  | 878.3   | 1.4  | 73.2    | 145.9  |
| 1968-69 | 39.1   | 67.7   | 198.7  | 137.3  | 119.4  | 200.8  | 48.6   | 10.2   | 13.5   | 21.6   | 38.3   | 47.9  | 943.1   | 10.2 | 78.6    | 200.8  |
| 1969-70 | 2.1    | 42.8   | 268.8  | 81.1   | 84     | 128.3  | 60.6   | 72.3   | 28.5   | 93.1   | 10.2   | 19.1  | 890.9   | 2.1  | 74.2    | 268.8  |
| 1970-71 | 106.8  | 5      | 67.5   | 88.1   | 66.1   | 111.7  | 21.5   | 33.5   | 26.9   | 46     | 5.2    | 102.4 | 680.7   | 5    | 56.7    | 111.7  |
| 1971-72 | 12.7   | 16.2   | 91     | 144.3  | 36.8   | 32.4   | 141.8  | 61.3   | 12.2   | 67.2   | 37.9   | 89    | 742.8   | 12.2 | 61.9    | 144.3  |
| 1972-73 | 215.1  | 19.1   | 14.8   | 36.7   | 119.8  | 30.8   | 0      | 21.9   | 14.4   | 38.1   | 53.9   | 109.6 | 674.2   | 0    | 56.2    | 215.1  |
| 1973-74 | 58.8   | 53.8   | 92.4   | 56.6   | 104.5  | 58.8   | 117.6  | 73.5   | 49.6   | 0      | 38.8   | 47.9  | 752.3   | 0    | 62.7    | 117.6  |
| 1974-75 | 67.8   | 120.7  | 20.3   | 0      | 26.4   | 83.1   | 36     | 93.1   | 29.4   | 70.3   | 18.1   | 27.2  | 592.4   | 0    | 49.4    | 120.7  |
| 1975-76 | 87.7   | 45.7   | 30     | 12.2   | 70.7   | 66.5   | 64.2   | 124.7  | 81.6   | 21.7   | 38.3   | 23.5  | 666.8   | 12.2 | 55.6    | 124.7  |
| 1976-77 | 104.3  | 146.3  | 61     | 52.8   | 40     | 24.1   | 28     | 88.1   | 46.8   | 0      | 55.5   | 91.1  | 738     | 0    | 61.5    | 146.3  |
| 1977-78 | 25.3   | 107.8  | 44.5   | 102.3  | 47.7   | 75.2   | 132    | 47     | 5.9    | 12.6   | 0      | 110   | 710.3   | 0    | 59.2    | 132    |
| 1978-79 | 79.9   | 56.3   | 118.7  | 166.6  | 82.3   | 32.5   | 101.5  | 135.4  | 16.5   | 30.5   | 48.7   | 75.6  | 944.5   | 16.5 | 78.7    | 166.6  |
| 1979-80 | 121.7  | 246.3  | 159.7  | 160.3  | 28.7   | 179.7  | 27     | 116.9  | 97.9   | 7.5    | 30.3   | 20.1  | 1196.1  | 7.5  | 99.7    | 246.3  |
| 1980-81 | 234.7  | 54     | 155    | 92.5   | 101.6  | 21.9   | 39.6   | 45.2   | 52.8   | 32.6   | 41.4   | 45.3  | 916.6   | 21.9 | 76.4    | 234.7  |
| 1981-82 | 133.5  | 117.4  | 123.8  | 28.4   | 171.4  | 106.4  | 95.1   | 96.1   | 17.4   | 40.5   | 219.3  | 72.6  | 1221.9  | 17.4 | 101.8   | 219.3  |
| 1982-83 | 135.3  | 135.5  | 120.2  | 13.2   | 78.9   | 106.9  | 30.6   | 53     | 145.4  | 93     | 3.1    | 67.9  | 983     | 3.1  | 81.9    | 145.4  |
| 1983-84 | 71.9   | 111    | 210.3  | 104.5  | 150.3  | 204.7  | 132.9  | 23.7   | 32.2   | 3.4    | 75.2   | 25.7  | 1145.8  | 3.4  | 95.5    | 210.3  |
| 1984-85 | 30.2   | 95.9   | 31.8   | 334    | 35.7   | 245.9  | 72.6   | 115    | 8.9    | 4.6    | 0      | 9.3   | 983.9   | 0    | 82.0    | 334    |
| 1985-86 | 42.5   | 242.2  | 27.4   | 118.9  | 248.9  | 203.9  | 3.4    | 162.6  | 72.7   | 46.6   | 3.4    | 11.9  | 1184.4  | 3.4  | 98.7    | 248.9  |
| 1986-87 | 62.2   | 84.4   | 142.9  | 38.9   | 110.2  | 285.4  | 50.4   | 113.4  | 14.5   | 0      | 9.2    | 21.9  | 933.4   | 0    | 77.8    | 285.4  |
| 1987-88 | 115.8  | 100    | 47     | 36.5   | 106.6  | 151.8  | 52     | 33     | 34.9   | 0      | 10.3   | 14.9  | 702.8   | 0    | 58.6    | 151.8  |
| 1988-89 | 55.4   | 228.9  | 143    | 1.5    | 78.1   | 40.8   | 44.4   | 122.7  | 67.5   | 129.3  | 0      | 20.5  | 932.1   | 0    | 77.7    | 228.9  |
| 1989-90 | 74     | 103.3  | 145.8  | 0      | 10.6   | 17.3   | 61.3   | 84.4   | 10.3   | 8.2    | 66.2   | 16.2  | 597.6   | 0    | 49.8    | 145.8  |
| 1990-91 | 30.7   | 118.2  | 324.4  | 52.2   | 101.3  | 65.3   | 181    | 96.8   | 7.3    | 21.9   | 60.1   | 38.9  | 1098.1  | 7.3  | 91.5    | 324.4  |
| 1991-92 | 33.1   | 124.2  | 17.1   | 53.2   | 15.9   | 4.6    | 139.5  | 81.5   | 120.7  | 42     | 0      | 8.3   | 640.1   | 0    | 53.3    | 139.5  |
| 1992-93 | 130    | 74.4   | 105.3  | 71.9   | 64.9   | 69.9   | 25.2   | 71.4   | 39     | 6.3    | 12.1   | 24.3  | 694.7   | 6.3  | 57.9    | 130    |
| 1993-94 | 90.4   | 161    | 72.4   | 165.7  | 83.3   | 98.8   | 71.5   | 82.9   | 43.9   | 31.9   | 35.9   | 48.2  | 985.9   | 31.9 | 82.2    | 165.7  |
| Aver.   | 80.1   | 111.0  | 111.1  | 84.4   | 83.4   | 97.3   | 67.0   | 82.8   | 47.6   | 33.6   | 32.2   | 45.5  | 875.9   | 7.4  | 73.0    | 189.1  |
| Max     | 234.7  | 257.3  | 324.4  | 334    | 248.9  | 285.4  | 181    | 179.5  | 145.4  | 135.2  | 219.3  | 110   | 1230.2  | 31.9 | 102.5   | 334    |
| Min     | 2.1    | 5      | 14.8   | 0      | 10.6   | 4.6    | 0      | 10.2   | 5.9    | 0      | 0      | 8.3   | 592.4   | 0    | 49.3667 | 111.7  |
| S.d     | 54.7   | 71.0   | 70.8   | 68.5   | 51.1   | 70.5   | 45.5   | 42.9   | 35.1   | 36.0   | 40.0   | 30.7  | 192.8   | 8.6  | 16.1    | 61.1   |
| Var     | 2988.1 | 5035.7 | 5018.9 | 4692.0 | 2607.7 | 4967.3 | 2074.5 | 1841.7 | 1230.4 | 1294.5 | 1604.0 | 943.2 | 37157.9 | 74.2 | 258.0   | 3736.3 |
| Kurt    | 1.3    | -0.4   | 1.6    | 4.1    | 2.2    | 0.4    | -0.1   | -0.5   | 0.5    | 1.9    | 14.9   | -0.5  | -1.0    | 0.9  | -1.0    | -0.3   |
| Skew    | 1.0    | 0.6    | 1.0    | 1.6    | 1.1    | 1.0    | 0.8    | 0.3    | 0.9    | 1.5    | 3.3    | 0.8   | 0.4     | 1.2  | 0.4     | 0.8    |

**Πίνακας 3.** Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης στο σταθμό Άργος Ορεστικό (πηγή Χατζηστεφάνου, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ    | ΝΟΕ    | ΔΕΚ    | ΙΑΝ    | ΦΕΒ    | ΜΑΡ    | ΑΠΡ    | ΜΑΙΟ  | ΙΟΥΝ  | ΙΟΥΛ  | ΑΥΓ   | ΣΕΠ   | ΕΤΗΣΙΟ  | MIN  | M.O    | MAX    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------|--------|--------|
| 1961-62 | 28.9   | 115.5  | 57.2   | 34.6   | 75.6   | 93.1   | 26.9   | 18    | 51.9  | 14.4  | 24.6  | 36    | 576.7   | 14.4 | 48.1   | 115.5  |
| 1962-63 | 56.2   | 201.3  | 110.3  | 55.8   | 130.5  | 99.6   | 45.7   | 87.3  | 39.7  | 23.5  | 23.1  | 26.9  | 899.9   | 23.1 | 75.0   | 201.3  |
| 1963-64 | 90.8   | 24.9   | 75.9   | 22.8   | 44.7   | 56.7   | 9.5    | 59.2  | 68.9  | 50.9  | 8.5   | 26.7  | 539.5   | 8.5  | 45.0   | 90.8   |
| 1964-65 | 49.2   | 107.1  | 110    | 51.8   | 76.4   | 35.7   | 113.7  | 47.3  | 31.1  | 17    | 8.8   | 2.2   | 650.3   | 2.2  | 54.2   | 113.7  |
| 1965-66 | 1.9    | 69.2   | 78.2   | 127.8  | 28.2   | 77.6   | 25.7   | 15.1  | 46.3  | 2.1   | 1.9   | 40    | 514     | 1.9  | 42.8   | 127.8  |
| 1966-67 | 35.3   | 171    | 108    | 80.7   | 26.3   | 16.8   | 58.7   | 103   | 37.7  | 95.1  | 6.3   | 47.1  | 786     | 6.3  | 65.5   | 171    |
| 1967-68 | 30.3   | 21.1   | 104.7  | 59.8   | 83.3   | 56.3   | 60.8   | 98.4  | 63.9  | 0.3   | 29.5  | 55.7  | 664.1   | 0.3  | 55.3   | 104.7  |
| 1968-69 | 28.1   | 43.4   | 142.5  | 118.1  | 81.3   | 165.6  | 21.7   | 10.4  | 12.3  | 21.5  | 18.4  | 41.3  | 704.6   | 10.4 | 58.7   | 165.6  |
| 1969-70 | 0      | 27.5   | 233.5  | 66.7   | 84.2   | 77.2   | 37.4   | 55.6  | 17    | 46.9  | 4.9   | 12.9  | 663.8   | 0    | 55.3   | 233.5  |
| 1970-71 | 77.8   | 10.7   | 60     | 94.4   | 48.4   | 108.9  | 30.6   | 33.4  | 31.2  | 48    | 13.6  | 135.5 | 692.5   | 10.7 | 57.7   | 135.5  |
| 1971-72 | 24.9   | 40.7   | 62     | 114.3  | 80.3   | 76.4   | 111.7  | 33.7  | 2     | 74.6  | 27.9  | 50.4  | 698.9   | 2    | 58.2   | 114.3  |
| 1972-73 | 195.3  | 9      | 3.7    | 62.5   | 106.1  | 123.1  | 7.5    | 26.4  | 43.2  | 29.3  | 27.5  | 75.9  | 709.5   | 3.7  | 59.1   | 195.3  |
| 1973-74 | 81.8   | 53.9   | 135.2  | 76.4   | 134.7  | 66.7   | 102.8  | 36.8  | 17.2  | 9.9   | 14    | 55.8  | 785.2   | 9.9  | 65.4   | 135.2  |
| 1974-75 | 57.3   | 105.1  | 9.8    | 0      | 40.5   | 65.3   | 34.2   | 50.7  | 61.7  | 39.3  | 4.6   | 20.1  | 488.6   | 0    | 40.7   | 105.1  |
| 1975-76 | 71.5   | 46.7   | 43.8   | 18.6   | 39.6   | 34.9   | 49.2   | 79.7  | 47.6  | 12    | 46.6  | 16    | 506.2   | 12   | 42.2   | 79.7   |
| 1976-77 | 64     | 79     | 51.2   | 56.4   | 33.3   | 17     | 35.1   | 26.3  | 24.3  | 0.2   | 48.9  | 76.4  | 512.1   | 0.2  | 42.7   | 79     |
| 1977-78 | 28.8   | 109.4  | 51.1   | 107.9  | 43.4   | 40.7   | 99.4   | 24    | 5.8   | 1.8   | 0     | 61.3  | 573.6   | 0    | 47.8   | 109.4  |
| 1978-79 | 82.3   | 29.7   | 76.2   | 115.5  | 56.7   | 30.5   | 88.8   | 68.3  | 11.4  | 2.9   | 27.1  | 26.3  | 615.7   | 2.9  | 51.3   | 115.5  |
| 1979-80 | 85.1   | 167.7  | 55.5   | 100.1  | 8.4    | 57.7   | 22     | 110.4 | 29.9  | 2.7   | 9     | 27.5  | 676     | 2.7  | 56.3   | 167.7  |
| 1980-81 | 140.2  | 66.8   | 119.1  | 63.1   | 61.7   | 39     | 54.3   | 55.5  | 22.7  | 7.3   | 45    | 16.5  | 691.2   | 7.3  | 57.6   | 140.2  |
| 1981-82 | 120.3  | 67     | 107    | 15.2   | 52.1   | 48.2   | 120.6  | 45.2  | 5.2   | 12.7  | 116.6 | 74.5  | 784.6   | 5.2  | 65.4   | 120.6  |
| 1982-83 | 125    | 116    | 86.6   | 7      | 29.3   | 49.4   | 15.7   | 67.4  | 98.1  | 75.6  | 42.5  | 60.2  | 772.8   | 7    | 64.4   | 125    |
| 1983-84 | 33.4   | 89.6   | 110.8  | 66.1   | 127.9  | 89     | 65.2   | 15.1  | 11.9  | 1.1   | 23.6  | 18.9  | 652.6   | 1.1  | 54.4   | 127.9  |
| 1984-85 | 28.5   | 59.7   | 36.6   | 84.7   | 19.4   | 64.4   | 66.4   | 87.4  | 2.3   | 7.3   | 0     | 8.2   | 464.9   | 0    | 38.7   | 87.4   |
| 1985-86 | 24.4   | 184.2  | 24     | 60.5   | 157.9  | 58.2   | 12.5   | 93.3  | 131.9 | 33.6  | 37.7  | 8.6   | 826.8   | 8.6  | 68.9   | 184.2  |
| 1986-87 | 38.6   | 61.5   | 46.3   | 93.6   | 62.1   | 127.4  | 64.2   | 61    | 17.3  | 13.5  | 13    | 0.2   | 598.7   | 0.2  | 49.9   | 127.4  |
| 1987-88 | 124.6  | 92.3   | 38.9   | 28.3   | 28.2   | 35.3   | 42.6   | 28.3  | 29    | 1.3   | 5.1   | 24.7  | 478.6   | 1.3  | 39.9   | 124.6  |
| 1988-89 | 28.5   | 149.2  | 78.7   | 0      | 34.8   | 27.3   | 11.8   | 51.7  | 19    | 52.6  | 2     | 10.2  | 465.8   | 0    | 38.8   | 149.2  |
| 1989-90 | 62.4   | 63.7   | 49.6   | 0      | 12.6   | 8.3    | 38.4   | 62    | 5     | 5.1   | 46.9  | 13.4  | 367.4   | 0    | 30.6   | 63.7   |
| 1990-91 | 21.1   | 76.4   | 199.7  | 25.7   | 136.8  | 36.4   | 124.6  | 86.7  | 18.8  | 18.6  | 53.9  | 23.5  | 822.2   | 18.6 | 68.5   | 199.7  |
| 1991-92 | 25.2   | 63.8   | 5.1    | 36     | 13.9   | 19.7   | 81.3   | 37.6  | 61    | 40.7  | 0     | 16.2  | 400.5   | 0    | 33.4   | 81.3   |
| 1992-93 | 92.7   | 53.1   | 75.1   | 51.3   | 46.3   | 49.9   | 18     | 50.9  | 27.8  | 4.5   | 8.6   | 17.3  | 495.5   | 4.5  | 41.3   | 92.7   |
| 1993-94 | 64.5   | 114.8  | 51.6   | 118.2  | 60.4   | 60.3   | 55.1   | 53.6  | 33.8  | 24.9  | 23.6  | 35.8  | 696.6   | 23.6 | 58.1   | 118.2  |
| Aver.   | 61.2   | 81.5   | 78.7   | 61.0   | 62.6   | 61.0   | 53.1   | 53.9  | 34.1  | 24.0  | 23.1  | 35.2  | 629.6   | 5.7  | 52.5   | 130.4  |
| Max     | 195.3  | 201.3  | 233.5  | 127.8  | 157.9  | 165.6  | 124.6  | 110.4 | 131.9 | 95.1  | 116.6 | 135.5 | 899.9   | 23.6 | 74.992 | 233.5  |
| Min     | 0      | 9      | 3.7    | 0      | 8.4    | 8.3    | 7.5    | 10.4  | 2     | 0.2   | 0     | 0.2   | 367.4   | 0    | 30.617 | 63.7   |
| S.d     | 43.6   | 50.4   | 50.6   | 38.4   | 39.9   | 35.4   | 35.0   | 27.6  | 28.3  | 24.8  | 23.4  | 28.1  | 133.5   | 6.6  | 11.1   | 40.4   |
| Var     | 1899.3 | 2540.1 | 2564.6 | 1477.0 | 1590.5 | 1251.4 | 1224.6 | 763.9 | 802.4 | 613.9 | 548.3 | 791.0 | 17819.5 | 44.1 | 123.7  | 1634.6 |
| Kurt    | 1.4    | 0.0    | 2.0    | -1.0   | -0.1   | 1.2    | -0.6   | -0.8  | 3.5   | 1.1   | 6.8   | 3.7   | -0.8    | 1.4  | -0.8   | 0.1    |
| Skew    | 1.1    | 0.8    | 1.2    | 0.0    | 0.9    | 1.0    | 0.7    | 0.3   | 1.6   | 1.3   | 2.1   | 1.6   | 0.0     | 1.4  | 0.0    | 0.7    |

**Πίνακας 4.** Μηνιαία ύψη βροχόπτωσης στο σταθμό Νεστόριο (πηγή Χατζηστεφάνου, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ    | ΝΟΕ    | ΔΕΚ    | ΙΑΝ    | ΦΕΒ    | ΜΑΡ    | ΑΠΡ    | ΜΑΙΟ   | ΙΟΥΝ   | ΙΟΥΛ   | ΑΥΓ    | ΣΕΠ   | ΕΤΗΣΙΟ  | MIN  | M.O    | MAX    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|------|--------|--------|
| 1978-79 | 79     | 42     | 110    | 168    | 70     | 35     | 125    | 87     | 36     | 3      | 42     | 7     | 804     | 3    | 67.0   | 168    |
| 1979-80 | 107    | 269    | 126    | 92     | 44     | 81     | 44     | 116    | 40     | 3      | 31     | 33    | 986     | 3    | 82.2   | 269    |
| 1980-81 | 181    | 111    | 156    | 107    | 66     | 41     | 70     | 59     | 7      | 23     | 103    | 77    | 1001    | 7    | 83.4   | 181    |
| 1981-82 | 130    | 99     | 153    | 26     | 50     | 107    | 151    | 77     | 11     | 15     | 104    | 72    | 995     | 11   | 82.9   | 153    |
| 1982-83 | 96     | 138    | 117    | 36     | 63     | 51     | 27     | 112    | 104    | 54     | 40     | 79    | 917     | 27   | 76.4   | 138    |
| 1983-84 | 37     | 109    | 231    | 98     | 132    | 70     | 96     | 16     | 18     | 1      | 35     | 26    | 869     | 1    | 72.4   | 231    |
| 1984-85 | 20     | 62     | 47     | 124    | 41     | 76     | 116    | 74     | 6      | 5      | 0      | 10    | 581     | 0    | 48.4   | 124    |
| 1985-86 | 47     | 198    | 40     | 94     | 171    | 55     | 37     | 171    | 101    | 30     | 9      | 13    | 966     | 9    | 80.5   | 198    |
| 1986-87 | 66     | 84     | 61     | 131    | 97     | 149    | 48     | 44     | 17     | 34     | 31     | 22    | 784     | 17   | 65.3   | 149    |
| 1987-88 | 126    | 113    | 49     | 43     | 48     | 60     | 48     | 14     | 26     | 4      | 10     | 36    | 577     | 4    | 48.1   | 126    |
| 1988-89 | 46     | 152    | 108    | 2      | 59     | 46     | 16     | 87     | 16     | 117    | 28     | 19    | 696     | 2    | 58.0   | 152    |
| 1989-90 | 97     | 101    | 116    | 0      | 26     | 6      | 55     | 95     | 10     | 18     | 40     | 22    | 586     | 0    | 48.8   | 116    |
| 1990-91 | 37     | 144    | 185    | 38     | 137    | 34     | 176    | 85     | 13     | 39     | 53     | 24    | 965     | 13   | 80.4   | 185    |
| 1991-92 | 34     | 118    | 30     | 20     | 6      | 15     | 129    | 74     | 87     | 84     | 2      | 21    | 620     | 2    | 51.7   | 129    |
| 1992-93 | 131    | 50     | 105    | 89     | 70     | 95     | 44     | 41     | 40     | 0      | 46     | 21    | 732     | 0    | 61.0   | 131    |
| 1993-94 | 61     | 188    | 88     | 126    | 159    | 33     | 77     | 26     | 8      | 89     | 15     | 8     | 878     | 8    | 73.2   | 188    |
| 1994-95 | 84     | 63     | 103    | 167    | 59     | 108    | 39     | 89     | 13     | 81     | 122    | 46    | 974     | 13   | 81.2   | 167    |
| Aver.   | 81.1   | 120.1  | 107.4  | 80.1   | 76.4   | 62.5   | 76.4   | 74.5   | 32.5   | 35.3   | 41.8   | 31.5  | 819.5   | 7.1  | 68.3   | 165.0  |
| Max     | 181    | 269    | 231    | 168    | 171    | 149    | 176    | 171    | 104    | 117    | 122    | 79    | 1001    | 27   | 83.417 | 269    |
| Min     | 20     | 42     | 30     | 0      | 6      | 6      | 16     | 14     | 6      | 0      | 0      | 7     | 577     | 0    | 48.083 | 116    |
| S.d     | 43.9   | 58.5   | 53.9   | 54.5   | 46.9   | 37.1   | 47.3   | 39.7   | 32.9   | 36.8   | 36.1   | 23.5  | 159.6   | 7.4  | 13.3   | 40.9   |
| Var     | 1931.5 | 3423.9 | 2900.4 | 2969.3 | 2202.4 | 1374.1 | 2238.6 | 1576.8 | 1084.1 | 1355.1 | 1300.2 | 550.0 | 25485.4 | 54.2 | 177.0  | 1675.8 |
| Kurt    | -0.1   | 1.3    | 0.3    | -1.2   | -0.2   | 0.4    | -0.5   | 0.9    | 0.9    | -0.2   | 0.6    | 0.3   | -1.4    | 2.0  | -1.4   | 1.3    |
| Skew    | 0.6    | 1.0    | 0.6    | 0.0    | 0.8    | 0.7    | 0.8    | 0.5    | 1.5    | 1.0    | 1.1    | 1.2   | -0.4    | 1.4  | -0.4   | 1.1    |

**Πίνακας 5.** Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας στο σταθμό Καστοριά (πηγή Χατζηστεφάνου, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ  | ΝΟΕ  | ΔΕΚ | ΙΑΝ  | ΦΕΒ  | ΜΑΡ   | ΑΠΡ   | ΜΑΙΟ | ΙΟΥΝ | ΙΟΥΛ | ΑΥΓ  | ΣΕΠ  | ΕΤΗΣΙΟ | MIN    | Μ.Ο  | MAX    |
|---------|------|------|-----|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|--------|------|--------|
| 1961-62 | 13.5 | 8.4  | 3.9 | 2.3  | 3.9  | 7.2   | 12.12 | 18.1 | 20   | 23.9 | 26   | 20.1 | 2.3    | 13.3   | 26   | 115.5  |
| 1962-63 | 14   | 10   | 1.1 | 0    | 2.1  | 4.9   | 11.1  | 14.8 | 19.1 | 23.2 | 24   | 20.9 | 0      | 12.1   | 24   | 201.3  |
| 1963-64 | 13.7 | 12   | 5.5 | 1.4  | 3.6  | 7.6   | 12.3  | 15.1 | 20.6 | 22.1 | 22.1 | 17.1 | 1.4    | 12.8   | 22.1 | 90.8   |
| 1964-65 | 14.7 | 9.4  | 4.5 | 2.8  | -1.4 | 6     | 9.9   | 15.7 | 20   | 24.1 | 20.8 | 19.5 | -1.4   | 12.2   | 24.1 | 113.7  |
| 1965-66 | 13.8 | 9.4  | 6   | 1.1  | 8.1  | 6.9   | 12.7  | 15.3 | 19.6 | 23   | 23.7 | 19.4 | 1.1    | 13.3   | 23.7 | 127.8  |
| 1966-67 | 16.8 | 9.3  | 5   | 0.7  | 2    | 8     | 10.3  | 16.1 | 18.1 | 21.9 | 23.7 | 18.9 | 0.7    | 12.6   | 23.7 | 171    |
| 1967-68 | 15.6 | 10   | 4.6 | 0.3  | 5.4  | 7.4   | 14    | 18.6 | 18.3 | 22.5 | 20.6 | 18.3 | 0.3    | 13.0   | 22.5 | 104.7  |
| 1968-69 | 13.2 | 9.2  | 3.5 | 1    | 4.2  | 6     | 11    | 19.2 | 19.9 | 21   | 22.3 | 19.2 | 1      | 12.5   | 22.3 | 165.6  |
| 1969-70 | 13.6 | 10.8 | 4.8 | 5.2  | 5.6  | 8.2   | 13.1  | 14.7 | 20.6 | 22.2 | 23.3 | 19.9 | 4.8    | 13.5   | 23.3 | 233.5  |
| 1970-71 | 13.1 | 9.7  | 4.4 | 5    | 3.9  | 5.1   | 11.6  | 17.4 | 20.4 | 20.8 | 23.2 | 17   | 3.9    | 12.6   | 23.2 | 135.5  |
| 1971-72 | 12.5 | 8.3  | 4.9 | 2.8  | 3.7  | 8.3   | 12.5  | 16.1 | 21.4 | 21.8 | 21.5 | 17.3 | 2.8    | 12.6   | 21.8 | 114.3  |
| 1972-73 | 9.9  | 10   | 3.2 | 1    | 4.1  | 3.8   | 10.2  | 18.2 | 20.2 | 23.2 | 21.3 | 20.2 | 1      | 12.1   | 23.2 | 195.3  |
| 1973-74 | 14.2 | 8.1  | 2.5 | 3.6  | 5.2  | 7.7   | 9.4   | 15.2 | 20.4 | 22.8 | 22.9 | 19.3 | 2.5    | 12.6   | 22.9 | 135.2  |
| 1974-75 | 13.7 | 8    | 4.6 | 2.7  | 3.5  | 8.9   | 12.4  | 16.9 | 20.8 | 23   | 22.3 | 21.8 | 2.7    | 13.2   | 23   | 105.1  |
| 1975-76 | 14.4 | 7.9  | 3.7 | 3.7  | 3.4  | 6.4   | 11.1  | 15.8 | 18.9 | 21.7 | 20.4 | 18   | 3.4    | 12.1   | 21.7 | 79.7   |
| 1976-77 | 15.1 | 9.1  | 4   | 4.2  | 8.8  | 10.2  | 12.7  | 17.9 | 20.9 | 24.8 | 23.6 | 17.7 | 4      | 14.1   | 24.8 | 79     |
| 1977-78 | 13.6 | 11.6 | 2.8 | 1.7  | 6.1  | 8.3   | 11.1  | 16.2 | 21.3 | 23.4 | 22.6 | 17.1 | 1.7    | 13.0   | 23.4 | 109.4  |
| 1978-79 | 12.6 | 6.1  | 6.5 | 2.4  | 5.3  | 9.2   | 9.6   | 16.7 | 20.9 | 22.3 | 21.7 | 18.6 | 2.4    | 12.7   | 22.3 | 115.5  |
| 1979-80 | 12.4 | 7.3  | 4.2 | 0.7  | 1.8  | 4.8   | 8.5   | 11.8 | 17.4 | 21.3 | 21.2 | 17.4 | 0.7    | 10.7   | 21.3 | 167.7  |
| 1980-81 | 12.2 | 8.4  | 1.8 | -0.5 | 3.2  | 9.9   | 12.1  | 15.1 | 22.2 | 21.3 | 21.5 | 18.9 | -0.5   | 12.2   | 22.2 | 140.2  |
| 1981-82 | 15.1 | 5.8  | 4.8 | 1.9  | 1.2  | 5.1   | 9.5   | 14.7 | 20.6 | 20.7 | 21.2 | 18.5 | 1.2    | 11.6   | 21.2 | 120.6  |
| 1982-83 | 11.2 | 3.3  | 4.4 | 1.7  | 0.2  | 6.6   | 11.9  | 16.5 | 16.6 | 20.7 | 19.8 | 16.5 | 0.2    | 10.8   | 20.7 | 125    |
| 1983-84 | 10.2 | 5.3  | 1.6 | 2.5  | 2.8  | 4.6   | 7.9   | 14   | 18.4 | 21.6 | 19   | 17.3 | 1.6    | 10.4   | 21.6 | 127.9  |
| 1984-85 | 14.7 | 8.1  | 2.7 | 3    | 1    | 7     | 13.7  | 17.8 | 19.8 | 22.3 | 23   | 18.5 | 1      | 12.6   | 23   | 87.4   |
| 1985-86 | 12.1 | 9.3  | 5   | 3.9  | 4.5  | 6.4   | 12.7  | 15.9 | 19.4 | 22   | 24.2 | 19.5 | 3.9    | 12.9   | 24.2 | 184.2  |
| 1986-87 | 14.1 | 6.6  | 2   | 3.2  | 5.6  | 2.4   | 23    | 14.3 | 20.6 | 24   | 22.8 | 22   | 2      | 13.4   | 24   | 127.4  |
| 1987-88 | 12.3 | 8.1  | 4.7 | 5.2  | 3.7  | 7.3   | 21.7  | 15.9 | 20.3 | 25.3 | 24.6 | 18.6 | 3.7    | 14.0   | 25.3 | 124.6  |
| 1988-89 | 13.5 | 4.3  | 2.9 | 2    | 5.7  | 11.1  | 14.5  | 14   | 17.5 | 22.1 | 23.4 | 19.3 | 2      | 12.5   | 23.4 | 149.2  |
| 1989-90 | 12.6 | 8.9  | 2.6 | 0.6  | 8.1  | 11.21 | 12.1  | 15.9 | 19.7 | 23.4 | 22.6 | 19.4 | 0.6    | 13.1   | 23.4 | 63.7   |
| 1990-91 | 15.2 | 8.7  | 3.8 | 2    | 2.1  | 9.4   | 9.6   | 12.2 | 20.7 | 21.9 | 21.3 | 19.1 | 2      | 12.2   | 21.9 | 199.7  |
| 1991-92 | 15.8 | 9.4  | 0.5 | 2.5  | 2.8  | 8.3   | 12.5  | 15.9 | 20.4 | 22.4 | 26.1 | 20.3 | 0.5    | 13.1   | 26.1 | 81.3   |
| 1992-93 | 17.8 | 10.7 | 2.7 | 1.4  | 2.4  | 8     | 13.5  | 18.2 | 22.8 | 25.2 | 25.9 | 20.4 | 1.4    | 14.1   | 25.9 | 92.7   |
| 1993-94 | 17.5 | 6.4  | 7.5 | 2.3  | 3.9  | 7.2   | 12.1  | 15.9 | 19.8 | 22.5 | 22.3 | 19.5 | 2.3    | 13.1   | 22.5 | 118.2  |
| Aver.   | 13.8 | 8.4  | 3.8 | 2.3  | 3.8  | 7.3   | 12.2  | 15.9 | 19.9 | 22.6 | 22.6 | 19.0 | 1.7    | 12.6   | 23.2 | 130.4  |
| Max     | 17.8 | 12   | 7.5 | 5.2  | 8.8  | 11.21 | 23    | 19.2 | 22.8 | 25.3 | 26.1 | 22   | 4.8    | 14.083 | 26.1 | 233.5  |
| Min     | 9.9  | 3.3  | 0.5 | -0.5 | -1.4 | 2.4   | 7.9   | 11.8 | 16.6 | 20.7 | 19   | 16.5 | -1.4   | 10.433 | 20.7 | 63.7   |
| S.d     | 1.8  | 2.0  | 1.5 | 1.5  | 2.2  | 2.0   | 3.1   | 1.7  | 1.3  | 1.2  | 1.7  | 1.4  | 1.4    | 0.9    | 1.4  | 40.4   |
| Var     | 3.2  | 3.9  | 2.4 | 2.1  | 4.9  | 4.1   | 9.4   | 2.9  | 1.8  | 1.5  | 2.9  | 1.8  | 2.0    | 0.7    | 1.9  | 1634.6 |
| Kurt    | 0.4  | 0.6  | 0.1 | -0.3 | 0.5  | 0.0   | 6.4   | 0.3  | 0.6  | -0.1 | 0.0  | -0.2 | -0.2   | 1.0    | -0.2 | 0.1    |
| Skew    | 0.1  | -0.7 | 0.0 | 0.3  | 0.2  | -0.2  | 2.2   | -0.3 | -0.5 | 0.6  | 0.3  | 0.2  | 0.2    | -0.8   | 0.5  | 0.7    |

**Πίνακας 6.** Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας στο σταθμό Νεστόριο (πηγή Παυλίδης, 2002)

| ΕΤΟΣ    | ΟΚΤ  | ΝΟΕ  | ΔΕΚ  | ΙΑΝ  | ΦΕΒ  | ΜΑΡ  | ΑΠΡ  | ΜΑΙΟ | ΙΟΥΝ | ΙΟΥΛ | ΑΥΓ  | ΣΕΠ  | ΕΤΗΣΙΟ | MIN     | M.O  | MAX   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|------|-------|
| 1978-79 | 9.7  | 5    | 4.5  | 0.3  | 3.5  | 7.6  | 8.3  | 14.8 | 19.7 | 20.8 | 19.8 | 16.6 | 0.3    | 10.9    | 20.8 | 165.6 |
| 1979-80 | 11.4 | 6.7  | 4.1  | -1.4 | 1.6  | 5    | 8    | 12.4 | 18   | 21.5 | 21.3 | 17.1 | -1.4   | 10.5    | 21.5 | 233.5 |
| 1980-81 | 11.9 | 8.4  | 2.1  | -2.5 | -1.1 | 7.9  | 10.5 | 13.6 | 20.6 | 21.2 | 20.1 | 16.5 | -2.5   | 10.8    | 21.2 | 135.5 |
| 1981-82 | 12.9 | 3.1  | 3.3  | 1.9  | 0.1  | 4.4  | 8.9  | 14.7 | 20   | 21.1 | 20.6 | 17.8 | 0.1    | 10.7    | 21.1 | 114.3 |
| 1982-83 | 11.4 | 5    | 3.6  | 1.9  | -0.3 | 5    | 12.2 | 15.8 | 16.7 | 20.4 | 18.9 | 15.2 | -0.3   | 10.5    | 20.4 | 195.3 |
| 1983-84 | 10   | 5.3  | 1.2  | 2.2  | 1.7  | 3.9  | 7.5  | 15.4 | 18.3 | 21.3 | 19.2 | 17.2 | 1.2    | 10.3    | 21.3 | 135.2 |
| 1984-85 | 14.1 | 6.8  | 0.5  | 0.8  | 0.7  | 4.3  | 11.4 | 16   | 19   | 22.1 | 22   | 17.4 | 0.5    | 11.3    | 22.1 | 105.1 |
| 1985-86 | 10.4 | 7.7  | 4.8  | 2.2  | 1.9  | 4.8  | 11.9 | 15   | 17.9 | 20.4 | 21.6 | 17.6 | 1.9    | 11.4    | 21.6 | 79.7  |
| 1986-87 | 11.4 | 4.8  | 0.1  | 1.6  | 3.1  | 0.1  | 9.8  | 13.6 | 19.5 | 23.1 | 21.7 | 20.3 | 0.1    | 10.8    | 23.1 | 79    |
| 1987-88 | 10.4 | 6.4  | 5.5  | 3.9  | 2.1  | 4.6  | 9.4  | 15.5 | 19.5 | 25.1 | 23   | 17.6 | 2.1    | 11.9    | 25.1 | 109.4 |
| 1988-89 | 10.9 | 2.6  | 1    | 0.3  | 3.8  | 8.2  | 12.6 | 13.5 | 17.2 | 19.6 | 20.1 | 16.7 | 0.3    | 10.5    | 20.1 | 115.5 |
| 1989-90 | 9.7  | 5.8  | 2.5  | -0.4 | 4.6  | 8.5  | 10.2 | 13.9 | 19.2 | 22.6 | 20.5 | 16.5 | -0.4   | 11.1    | 22.6 | 167.7 |
| 1990-91 | 12.8 | 7.1  | 1.2  | -0.1 | 0.5  | 7.5  | 7.7  | 11.7 | 19.8 | 20   | 19.4 | 16.9 | -0.1   | 10.4    | 20   | 140.2 |
| 1991-92 | 11.9 | 6.3  | -2.3 | 0.8  | 1.1  | 5    | 9.8  | 13.5 | 18.1 | 19.7 | 22.1 | 16.5 | -2.3   | 10.2    | 22.1 | 120.6 |
| 1992-93 | 14.1 | 7    | 0.9  | 0.6  | -0.6 | 3.9  | 10.2 | 14.9 | 19.7 | 22.4 | 21.8 | 17   | -0.6   | 11.0    | 22.4 | 125   |
| 1993-94 | 13.6 | 4    | 4.1  | 3.7  | 2.1  | 8.3  | 10.6 | 15.5 | 19.3 | 21.1 | 22.7 | 20.1 | 2.1    | 12.1    | 22.7 | 127.9 |
| 1994-95 | 12.7 | 6    | 2.2  | -0.6 | -0.4 | 4.4  | 9    | 13.8 | 19.7 | 21   | 18.6 | 15.3 | -0.6   | 10.1    | 21   | 87.4  |
| Aver.   | 11.7 | 5.8  | 2.3  | 0.9  | 1.4  | 5.5  | 9.9  | 14.3 | 19.0 | 21.4 | 20.8 | 17.2 | 0.0    | 10.8    | 21.7 | 184.2 |
| Max     | 14.1 | 8.4  | 5.5  | 3.9  | 4.6  | 8.5  | 12.6 | 16   | 20.6 | 25.1 | 23   | 20.3 | 2.1    | 12.0917 | 25.1 | 127.4 |
| Min     | 9.7  | 2.6  | -2.3 | -2.5 | -1.1 | 0.1  | 7.5  | 11.7 | 16.7 | 19.6 | 18.6 | 15.2 | -2.5   | 10.1417 | 20   | 124.6 |
| S.d     | 1.5  | 1.6  | 2.0  | 1.7  | 1.7  | 2.2  | 1.6  | 1.2  | 1.1  | 1.4  | 1.4  | 1.3  | 1.3    | 0.6     | 1.3  | 149.2 |
| Var     | 2.1  | 2.5  | 4.1  | 2.8  | 2.8  | 4.9  | 2.4  | 1.5  | 1.1  | 1.9  | 1.8  | 1.8  | 1.8    | 0.3     | 1.6  | 63.7  |
| Kurt    | -1.1 | -0.1 | 0.0  | 0.0  | -0.8 | 0.6  | -0.8 | -0.2 | -0.3 | 2.1  | -1.2 | 1.9  | -0.1   | 0.4     | 2.0  | 199.7 |
| Skew    | 0.2  | -0.5 | -0.4 | 0.0  | 0.3  | -0.5 | 0.2  | -0.6 | -0.7 | 1.2  | 0.0  | 1.2  | -0.2   | 0.9     | 1.1  | 81.3  |