

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ

ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ, ΔΕΜ: 4006

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, 2011



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ
ΖΑΚΥΝΘΟΥ



Στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	9
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	11
2.1. <i>Γενικά</i>	11
2.2. <i>Ζώνη Παζών (Προαπούλιος Ζώνη)</i>	11
2.3. <i>Ιόνιος Ζώνη</i>	15
3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	18
3.1. <i>Γενικά</i>	18
3.2. <i>Νεοτεκτονική δομή της Ζακύνθου</i>	19
4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	21
4.1. <i>Επιφανειακή υδρολογία</i>	21
4.2. <i>Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα</i>	21
4.2.1. <i>Γενικά</i>	21
4.2.2. <i>Βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού του Αεροδρομίου</i>	22
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	26
5.1. <i>Γενικά</i>	26
5.1.1. <i>Υδροπερατοί σχηματισμοί</i>	26
5.1.2. <i>Ημιπερατοί σχηματισμοί</i>	26
5.1.3. <i>Υδατοστεγείς σχηματισμοί</i>	26
5.2. <i>Διαμόρφωση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων</i>	27
5.2.1. <i>Υδροφορία προσχώσεων</i>	27
5.2.2. <i>Υδροφορία Πλειστοκαινικών σχηματισμών</i>	28
5.2.3. <i>Υδροφορία Πλειοκαινικών σχηματισμών</i>	28
5.2.4. <i>Υδροφορία Μειοκαινικών σχηματισμών</i>	28
5.2.5. <i>Υδροφορία καρστικών σχηματισμών</i>	28
5.2.6. <i>Τριαδική σειρά Ιονίου ζώνης</i>	31
5.3. <i>Υδραυλικά χαρακτηριστικά των καρστικών υδροφόρων οριζόντων της ενρύτερης περιοχής Κεριού</i>	31
5.3.1. <i>Γενικά</i>	31
5.3.2. <i>Γεώτρηση ΖΓ49 (Γ9)-περιοχή Λιθακιάς</i>	33
5.3.3. <i>Γεωλογία της περιοχής Λιθακιάς</i>	37
5.3.4. <i>Γεώτρηση Γ26 (ΓII)-Κερκιδάρι</i>	40
5.3.5. <i>Γεώτρηση Γ41-Κερκιδάρι</i>	41
5.4. <i>Υφιστάμενη κατάσταση υδατικών πόρων</i>	44
6. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	46

6.1. Γενικά	46
6.2. Κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού	46
6.2.1. Ενεργός Οξύτητα (pH).....	46
6.2.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.).....	47
6.2.3. Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S.)	47
6.2.4. Σκληρότητα.....	48
6.2.5. Αλκαλικότητα.....	48
6.2.6. Ιόντα Νατρίου (Na^+).....	48
6.2.7. Ιόντα Καλίου (K^+)	49
6.2.8. Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})	49
6.2.9. Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{2+})	50
6.2.10. Ιόντα Χλωρίου (Cl^-).....	50
6.2.11. Θειϊκά Ιόντα (SO_4^{2-}).....	51
6.2.12. Νιτρικά Ιόντα (NO_3^-)	52
6.2.13. Όξινα Ανθρακικά Ιόντα (HCO_3^-).....	53
6.3. Δειγματοληψία του υπόγειου νερού	53
6.4. Προσδιορισμός ιόντων χλωρίου με χρήση της μεθόδου Mohr	54
6.4.1. Γενικά.....	54
6.4.2. Απαιτούμενος εξοπλισμός και αντιδραστήρια	54
6.4.3. Διαδικασία μέτρησης	55
6.5. Υδροχημική συμπεριφορά του καρστικού υδροφόρου (ενότητα Σκιναρίου-Κεριού)	58
6.5.1. Γενικά.....	58
6.5.2. Χρονική μεταβολή της χημικής σύστασης	62
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνεχώς αυξανόμενες υδατικές ανάγκες στο νησί της Ζακύνθου έκαναν επιτακτική τη λεπτομερή μελέτη των υφιστάμενων υδατικών πόρων, προκειμένου να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τους και να επιλεγεί ο βέλτιστος τρόπος εκμετάλλευσής τους και ταυτόχρονα προστασίας τους από πιθανές πηγές μόλυνσης και ρύπανσης.

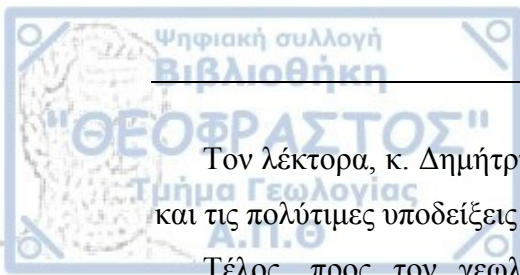
Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των υδραυλικών ιδιοτήτων του καρστικού υδροφορέα της νήσου Ζακύνθου, καθώς και του υδροχημικού χαρακτήρα του υπόγειου νερού που φιλοξενείται σε αυτόν.

Η ανάθεση έγινε από τον Επίκουρο καθηγητή Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ., Κωνσταντίνο Βουδούρη και μέρος των εργασιών πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πρακτικής μου άσκησης στο Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών κατά το έτος 2008.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Συλλογή γεωλογικών στοιχείων από υφιστάμενες μελέτες και κατασκευή γεωλογικού χάρτη της Ζακύνθου.
- Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων από το σταθμό Ε.Μ.Υ. του αεροδρομίου της Ζακύνθου.
- Παρακολούθηση αντλητικών δοκιμών σε υπάρχουσες υδρογεωτρήσεις στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα στο πλαίσιο έργων του Ι.Γ.Μ.Ε. και επεξεργασία αυτών με το πρόγραμμα AquiferTest Version 4.2.
- Δειγματοληψία υπόγειου νερού στον καρστικό υδροφορέα και ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Χημείου του Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών.
- Επεξεργασία των χημικών αναλύσεων με το πρόγραμμα AquaChem Version 5.1, στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ.
- Επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για την πολύτιμη βοήθειά του και την υπομονή που υπέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και προσοχή στη λεπτομέρεια, υπερευχαριστώ τον καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη.



Τον λέκτορα, κ. Δημήτρη Οικονομίδα ευχαριστώ θερμά για το χρόνο, τις γνώσεις και τις πολύτιμες υποδείξεις του στην επεξεργασία των χαρτών της εργασίας.

Τέλος, προς τον γεωλόγο και ερευνητή του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Αθηνών, κ. Γιώργο Ζαχαριουδάκη, εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου για την υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε από την αρχή έως το τέλος της συγγραφής.

1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η Ζάκυνθος είναι το νοτιότερο και το τρίτο σε έκταση και πληθυσμό νησί των Ιονίων νήσων. Η έκτασή της είναι 406 km² και ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 38.680 κατοίκους, σύμφωνα με απογραφή του 2001. Το συνολικό μήκος ακτογραμμής φθάνει τα 123 km. Από τις δυτικές άκρες της Πελοποννήσου απέχει 20 km (από την Κυλλήνη του Ν. Ηλείας) και 16 km περίπου από το πλησιέστερο σε αυτό νησί, την Κεφαλονιά.

Το σχήμα της Ζακύνθου είναι ακανόνιστο τριγωνικό, με το μεν βόρειο άκρο του νησιού να καταλήγει στο ακρωτήριο Σκινάρι, ενώ στο νοτιοανατολικό άκρο σχηματίζεται ο κόλπος του Λαγανά μεταξύ των δύο ακρωτηρίων, Μαραθιά στα δυτικά και Γέρακα στα ανατολικά. Μέσα στον κόλπο του Λαγανά υπάρχουν δύο νησιά, το Μαραθωνήσι και το Πελούζο, ενώ 68 km νότια του Λαγανά βρίσκονται οι νήσοι Στροφάδες (απέχουν 50 km από το ακρωτήριο Γέρακα).

Ο οριζόντιος διαμελισμός του νησιού είναι έντονος, όπως φαίνεται κυρίως στη δυτική πλευρά. Οι δυτικές ακτές έχουν μήκος περίπου 34 km, είναι βραχώδεις και απότομες, σχηματίζοντας πολυάριθμους όρμους, κολπίσκους, σπηλιές, ακρωτήρια και μικρές χερσονήσους. Το δυτικό τμήμα του νησιού καταλαμβάνεται από την οροσειρά Βραχίωνα, η οποία αποτελείται από ένα μορφολογικό αντίκλινο με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και μέγιστο υψόμετρο τα 758 m (Σχήμα 1.1). Η δυτική πλευρά του αντικλίνου είναι η πλέον ορεινή, με χαρακτηριστικό τις απόκρημνες ακτές. Αντίθετα, οι ανατολικές ακτές που κοιτάζουν προς την Πελοπόννησο και έχουν μήκος 37 km, είναι αμμώδεις.

Ο κάθετος διαμελισμός του νησιού είναι επίσης έντονος με υψηλά βουνά, εκτός της οροσειράς Βραχίωνα που ήδη αναφέρθηκε (Κακή ράχη 680 m, Μακριά ράχη 606 m, Μεγάλο βουνό 604 m, Αθέρας 583 m, Γαϊτανός 581 m, κλπ).

Η νήσος Ζάκυνθος διακρίνεται σε τρεις μεγάλες γεωμορφολογικές ενότητες (Σκαγιάς, 1999):

- Ορεινή:

Καταλαμβάνει το δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού. Πρόκειται για μια βραχώδη περιοχή με έντονο ανάγλυφο, που εκτείνεται από το Κερί μέχρι το

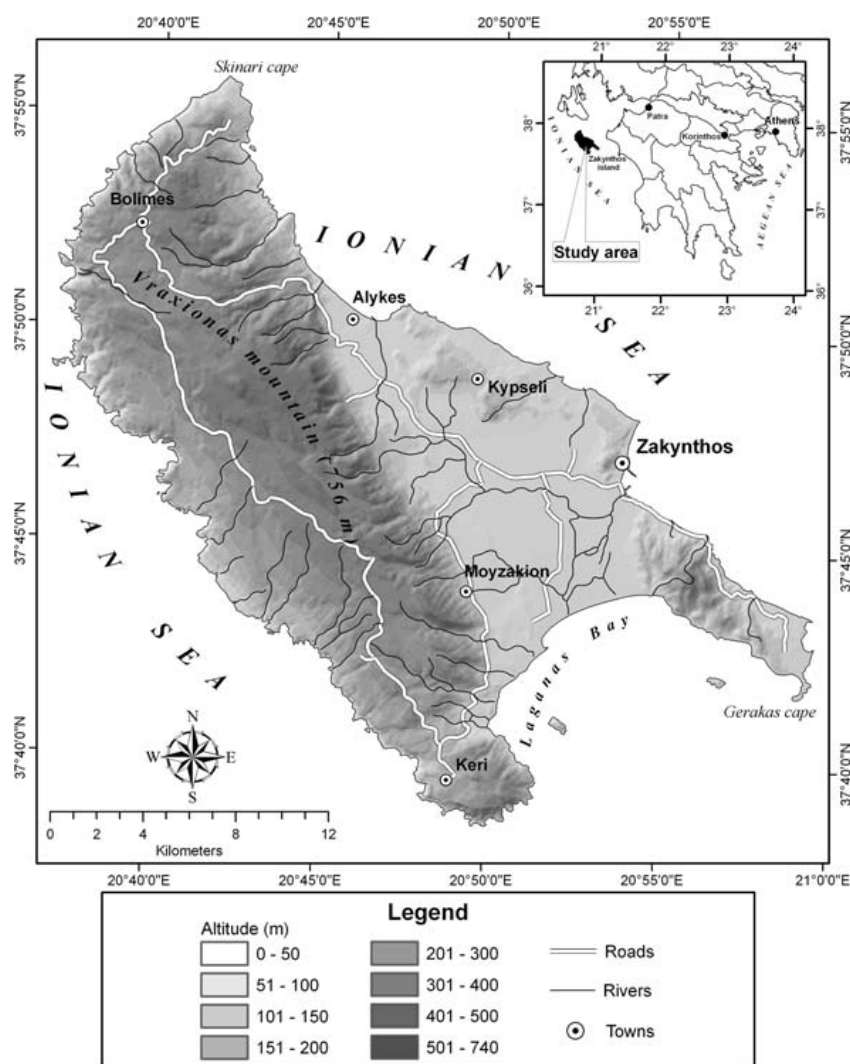
ακρωτήριο Σκινάρι στα βόρεια, και περιλαμβάνει τη χερσόνησο του Σκοπού στα νοτιοανατολικά. Αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά ιζήματα.

- Λοφώδης:

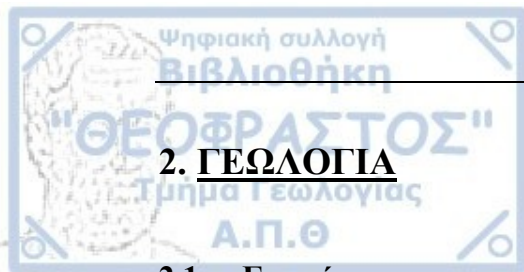
Εκτείνεται στις παρυφές των ορεινών όγκων, καθώς επίσης και στο ΑΒΑ τμήμα του νησιού. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται μετααλπικά ιζήματα που δημιουργούν ένα σχετικά ήπιο ανάγλυφο, λόγω της ευκολότερης διάβρωσης σχετικά με τα ασβεστολιθικά πετρώματα.

- Πεδινή:

Εντοπίζεται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού και αποτελείται από εύφορο έδαφος, που προήλθε από τα προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων του περιβάλλοντος της προσχωματικής λεκάνης.



Σχήμα 1.1: Μορφολογικός χάρτης της Ζακύνθου (Diamantopoulou, Voudouris, 2008)



2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1. Γενικά

Γεωλογικά το νησί Ζάκυνθος ανήκει στις Εξωτερικές ζώνες των Ελληνίδων (Σχήμα 2.1) και καταλαμβάνεται από τη γεωτεκτονική ζώνη Παξών, εκτός όμως του όρους Σκοπός στο ανατολικό τμήμα του νησιού, που δομείται από ιζήματα της Ιονίου ζώνης (Horstman 1967, Dermitzakis et al 1979, Nikolaou 1986, Δερμιτζάκης κ.α. 2000). Στο σημείο αυτό ο διαχωρισμός των δυο ζωνών γίνεται με την παρουσία μιας μεγάλης επώθησης.

Οι ενότητες που συνέρχονται στη γεωτεκτονική σύνθεση του νησιού κατά ζώνες αναλύονται στη συνέχεια (από τις παλαιότερες προς τις νεότερες).

2.2. Ζώνη Παξών (Προαπούλιος Ζώνη)

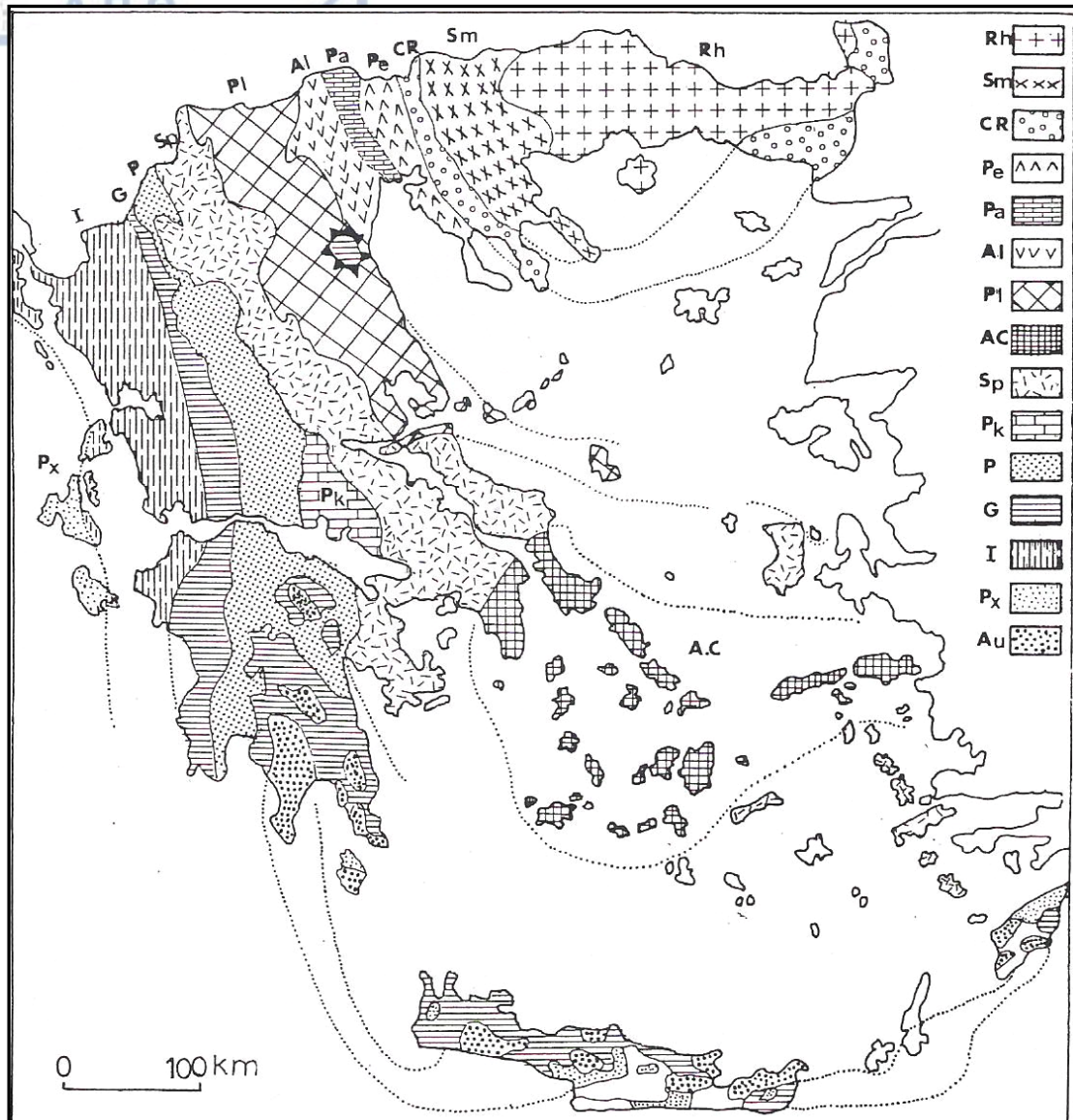
Τα πετρώματα από τα οποία αποτελείται η ζώνη αυτή είναι αποκλειστικά ιζηματογενή και στο νησί εμφανίζεται η στρωματογραφική σειρά, πλην του Ιουρασικού, από το Κρητιδικό μέχρι το Μειόκαινο. Η πλήρης στρωματογραφική ακολουθία των σχηματισμών της ζώνης δίνεται στο Σχήμα 2.2.

α. Κρητιδικό

Αντιπροσωπεύεται από ασβεστόλιθους λευκούς, λεπτοπλακώδεις έως παχυπλακώδεις. Η παράταξη των στρωμάτων είναι κυρίως BBA-NNA με μικρές κατά τόπους αποκλίσεις και η κλίση τους κυμαίνεται από 10° έως 40° . Η διεύθυνση κλίσης τους είναι ABA-ΔΝΔ, λόγω ύπαρξης μεγάλου αντικλίνου του οποίου ο άξονας ταυτίζεται με τη ράχη του όρους Βραχίωνα.

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί καταλαμβάνουν περί το 50% της συνολικής επιφάνειας του νησιού, παρουσιάζουν δε τη μεγαλύτερη ανάπτυξη από όλους τους άλλους σχηματισμούς που απαντούν στο νησί, ενώ αποτελούν και το γεωλογικό υπόβαθρο σχεδόν ολόκληρης της Ζακύνθου. Το πάχος τους είναι πάνω από 500 m.

Καταλαμβάνουν ως επί το πλείστον το δυτικό τμήμα του νησιού, από το ακρωτήριο Σκινάρι μέχρι την περιοχή του Κεριού.



Σχήμα 2.1: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας.

Rh: Μάζα Ροδόπης, *Sm:* Σερβομακεδονική μάζα, *CR:* Περιοδοπική ζώνη (*Pe:* ζώνη Παιονίας, *Pa:* ζώνη Πάικου, *Al:* ζώνη Αλμωπίας), *AC:* Αττικοκυκλαδική ζώνη, *Sr:* Υποελαγονική ζώνη, *Pk:* ζώνη Παρανασσού-Γκιώνας, *P:* ζώνη Πίνδου, *G:* ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, *I:* Ιόνιος ζώνη, *Px:* ζώνη Παζών ή Προαπούλια, *Au:* ενότητα «Ταλέα όρη-Πλακάδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Mountrakis et al, 1983)

β. Ηώκαινο

Επίκεινται στρωματογραφικά των Κρητιδικών ασβεστόλιθων με εμφανή ασυμφωνία και αντιπροσωπεύεται από λευκούς, στρωματώδεις, πλακώδεις έως λεπτοπλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, πάχους άνω των 300 m. Πρόκειται για πετρώματα νηριτικής ή υφαλώδους φάσεως που δομούν τα ανατολικά πρηνή του δυτικού ορεινού τμήματος του νησιού, από την Αγ. Μαρίνα έως το ακρωτήριο Μαραθιά της περιοχής του Κεριού, σε μια επιμήκη ζώνη πλάτους 1,5 km μέχρι και 4 km κατά τόπους.

γ. Ολιγόκαινο

Αποτελείται από λευκούς, πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με λεπτές ενστρώσεις μαργών. Τοπικά, στην επαφή της μαργαϊκής ενότητας με τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, υπάρχει συχνά λεπτή παρεμβολή χονδροκροκαλοπαγούς με ασβεστολιθικές κροκάλες του Κρητιδικού και του Ηώκαινου.

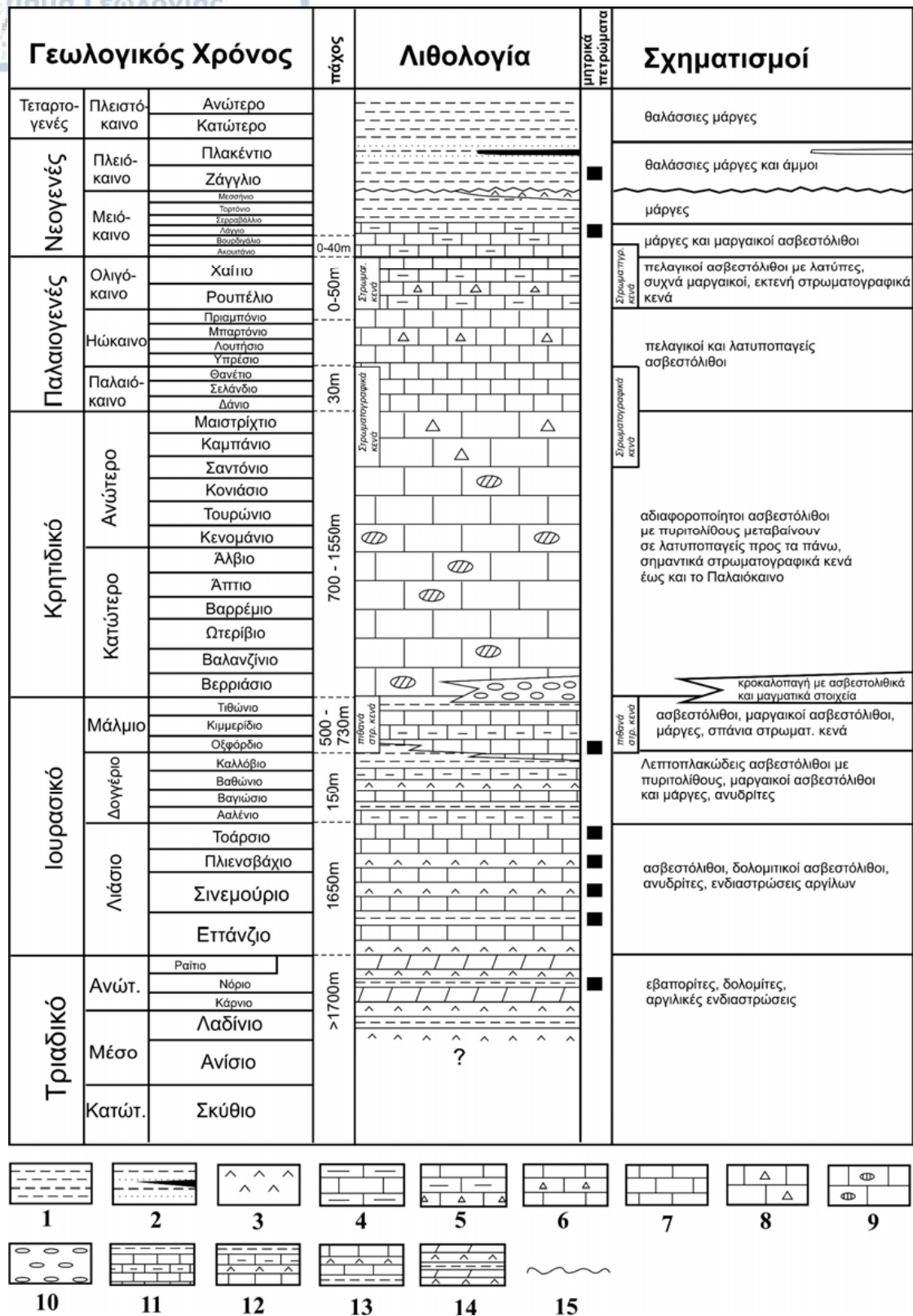
Ο σχηματισμός αυτός αναπτύσσεται παράλληλα με τον σχηματισμό του Ηώκαινου, από τα Λαγκαδάκια μέχρι τον όρμο του Κεριού, σε μια ζώνη πλάτους μέχρι και 2 km κατά τόπους.

δ. Μειόκαινο

Αποτελείται από γαλαζωπές μάργες, ιλυόλιθους και ψαμμίτες με συνολικό πάχος πάνω από 700 m. Στα ανώτερα τμήματα υπάρχουν ενστρώσεις γύψου, αργίλου με γύψο και ψαμμίτη με γύψο.

Το Ανώτερο Μειόκαινο χαρακτηρίζεται από μία σειρά εναλλαγών μαργών και πηλιτών με μέρη ψαμμίτη και ιλυολίθου.

Ο σχηματισμός αυτός εξαπλώνεται σε μια επιμήκη ζώνη πλάτους 3 km περίπου, από τον όρμο των Αλυκών μέχρι τον κόλπο του Κεριού.



Σχήμα 2.2: Λιθοστρωματογραφική στήλη Προαπούλιας (Παζών) ζώνης (Karakitsios & Rigakis, 2007).

2.3. Ιόνιος Ζώνη

Οι σχηματισμοί της ζώνης αυτής εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα του νησιού και δομούν το όρος Σκοπός. Η ζώνη αυτή είναι επωθημένη πάνω στη ζώνη Παξών. Στο νησί της Ζακύνθου απαντώνται μόνο τα κατώτερα και τα ανώτερα μέλη της σειράς. Στο Σχήμα 2.3 εμφανίζεται λεπτομερώς η στρωματογραφική σειρά των σχηματισμών της ζώνης.

α. Τριαδικό

Αντιπροσωπεύεται από γύψους και ανυδρίτες, οι οποίοι περιβάλλονται από λατυποπαγή. Σε μικρή έκταση απαντώνται ακόμα ασβεστόλιθοι μαύροι, μικροκοκκώδεις, πλακώδεις οι οποίοι είναι βιτουμενιούχοι.

β. Νεοαλπικοί σχηματισμοί

- *Πλειόκαινο*

Οι σχηματισμοί αυτοί απαντώνται στην ανατολική παραλιακή πλευρά του νησιού, από τον Αλικανά μέχρι την πόλη της Ζακύνθου και από το Αργάσι μέχρι το Βασιλικό. Αποτελούνται από έναν ανώτερο ορίζοντα με ανοικτοκάστανους έως λευκούς ψαμμίτες με αργιλομαργαϊκές παρεμβολές και έναν κατώτερο, με κυανές μάργες και μαργαϊκούς ψαμμίτες.

- *Πλειστόκαινο (Διλούβιο)*

Οι σχηματισμοί αυτοί συναντώνται κυρίως στις ζώνες ρηγμάτων (Λιθακιά), καθώς επίσης και στις περιοχές Μέσο Γερακάρι, Αλικανάς και Μπόχαλη. Αποτελούνται από χαλαρά ή συνεκτικά κροκαλοπαγή, κυανές μάργες και ασβεστοψαμμίτες.

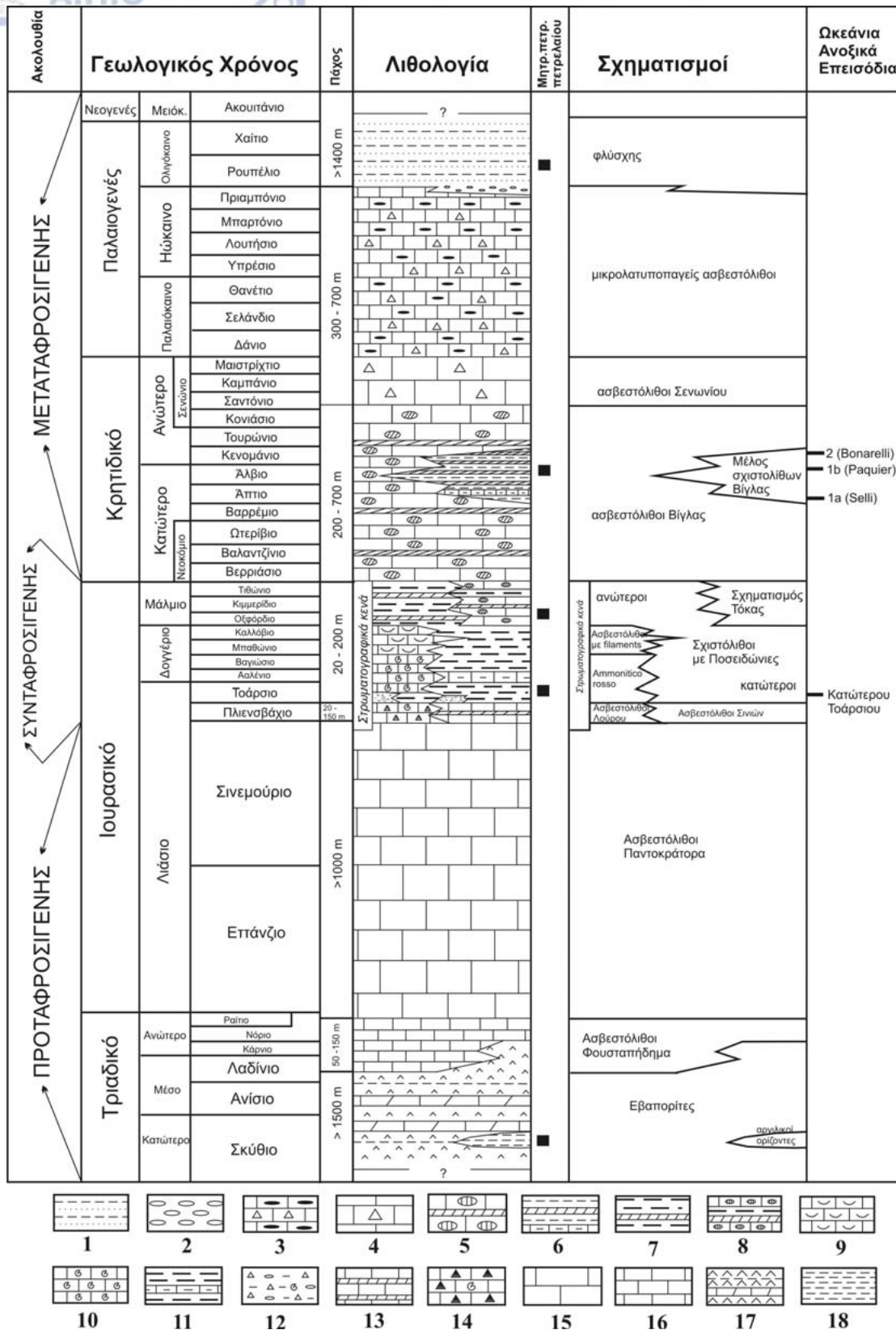
- *Ολόκαινο (Αλλούβιο)*

Πρόκειται για πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, κώνους χειμάρρων, αναβαθμίδες χειμάρρων, αποθέσεις κοιλάδων, κ.λ.π.

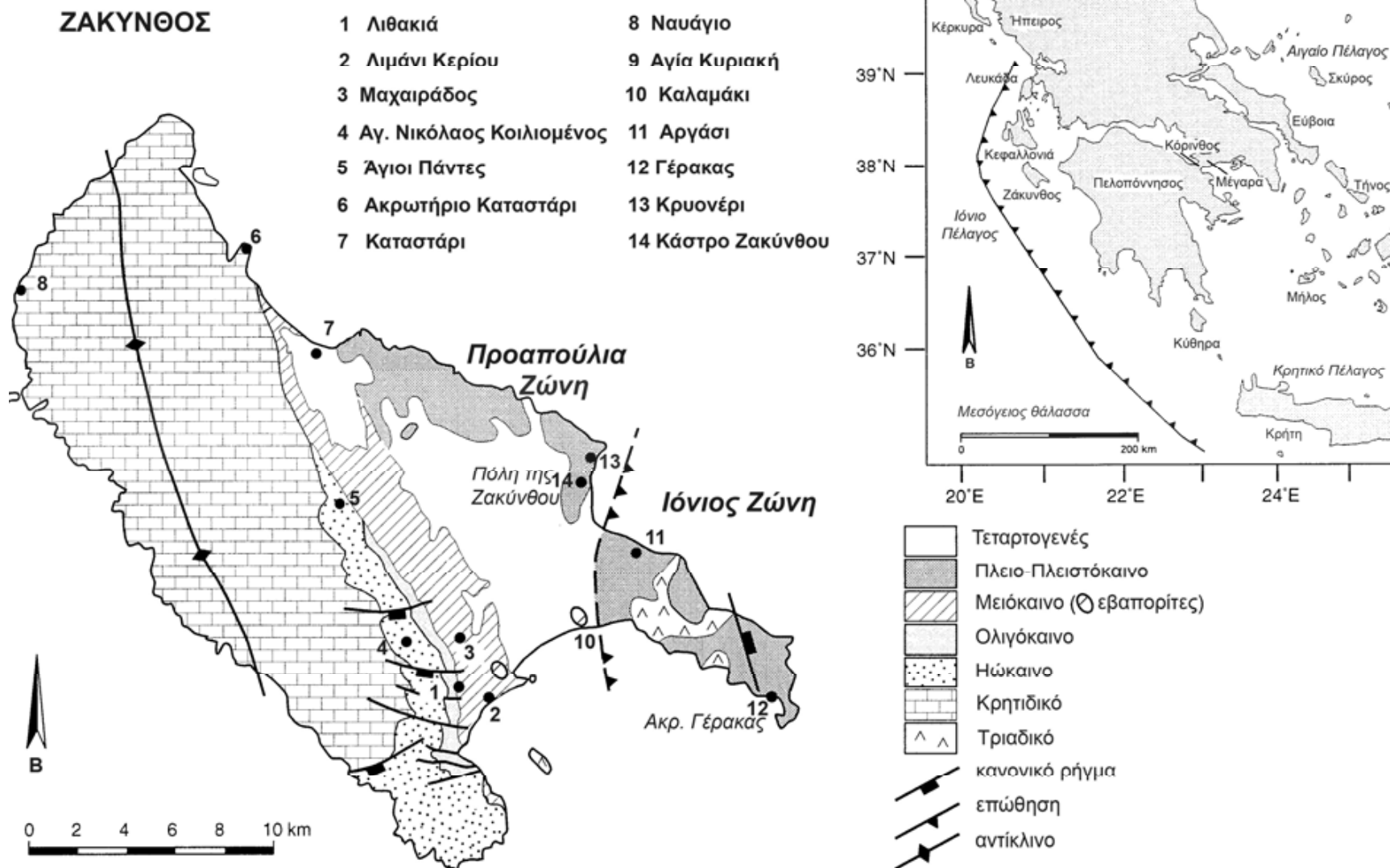
Οι Τεταρτογενείς αυτοί σχηματισμοί αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο στις πλαγιές των βουνών και των λόφων και ιδιαίτερα εντός των ορίων της πεδινής περιοχής που εντοπίζεται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου. Συναντώνται επίσης σε μεγάλη έκταση στην ορεινή ζώνη, μέσα σε δολίνες και πόλγες με μορφή ερυθρογαιών (πηλοί και ψαμμούχοι πηλοί ερυθρού χρώματος).

Ακολουθεί ένας γεωλογικός χάρτης της Ζακύνθου (Σχήμα 2.4), τροποποιημένος

με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS 9.3.



Σχήμα 2.3: Λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης. (Karakitsios & Rigakis, 2007).

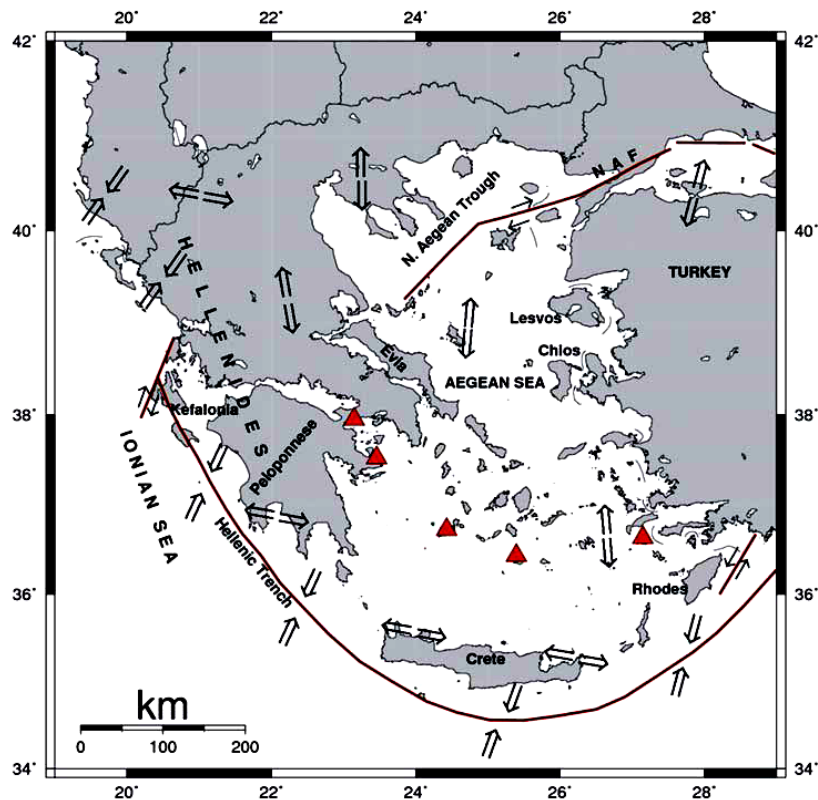


Σχήμα 2.4: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Ζακύνθου (βασισμένος στον γεωλογικό χάρτη 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε.).

3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

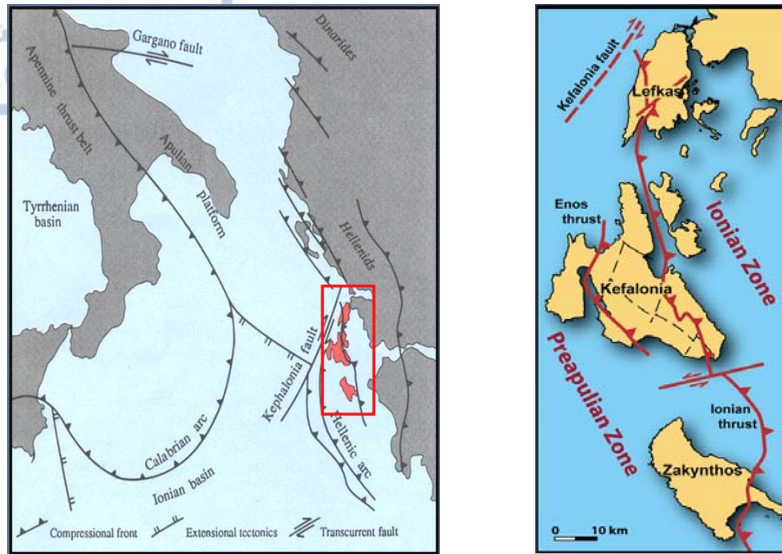
3.1. Γενικά

Τα νησιά του Ιονίου βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου, του πιο ενεργού περιθωρίου των λιθοσφαιρικών πλακών της περιοχής της Μεσογείου. Ο τεκτονικός χαρακτήρας της ευρύτερης περιοχής καθορίζεται από την ηπειρωτική σύγκρουση μεταξύ της βορειοδυτικής Ελλάδας στα ανατολικά, και της Απούλιας πλατφόρμας στα δυτικά, καθώς επίσης και από την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου, κατά μήκος του ενεργού Ελληνικού Τόξου προς τα νοτιοδυτικά (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου (Μουντράκης, 1988).

Τα Επτάνησα βρίσκονται πάνω σε μια μεταβατική ζώνη μεταξύ του βορειοδυτικού άκρου αυτής της ενεργής υποβύθισης και της ηπειρωτικής σύγκρουσης. Η κύρια τεκτονική δομή αυτής της μεταβατικής ζώνης είναι η ρηξιγενής ζώνη της Κεφαλονιάς, η οποία αντιπροσωπεύει το ενεργό όριο μεταξύ της μικροπλάκας του Αιγαίου και της Απούλιας πλατφόρμας (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Γεωτεκτονικό καθεστώς των Ιονίων νήσων (Accordi and Carbone, 1992).

3.2. Νεοτεκτονική δομή της Ζακύνθου

Η τεκτονική δομή της Ζακύνθου είναι παρόμοια με των υπολοίπων Ιονίων νησιών. Στο δυτικό τμήμα του νησιού όπως προαναφέρθηκε, παρατηρείται έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο που οφείλεται στην αντικλινική διάρθρωση της Κρητιδικής-Μειοκαινικής σειράς με κύριο άξονα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ.

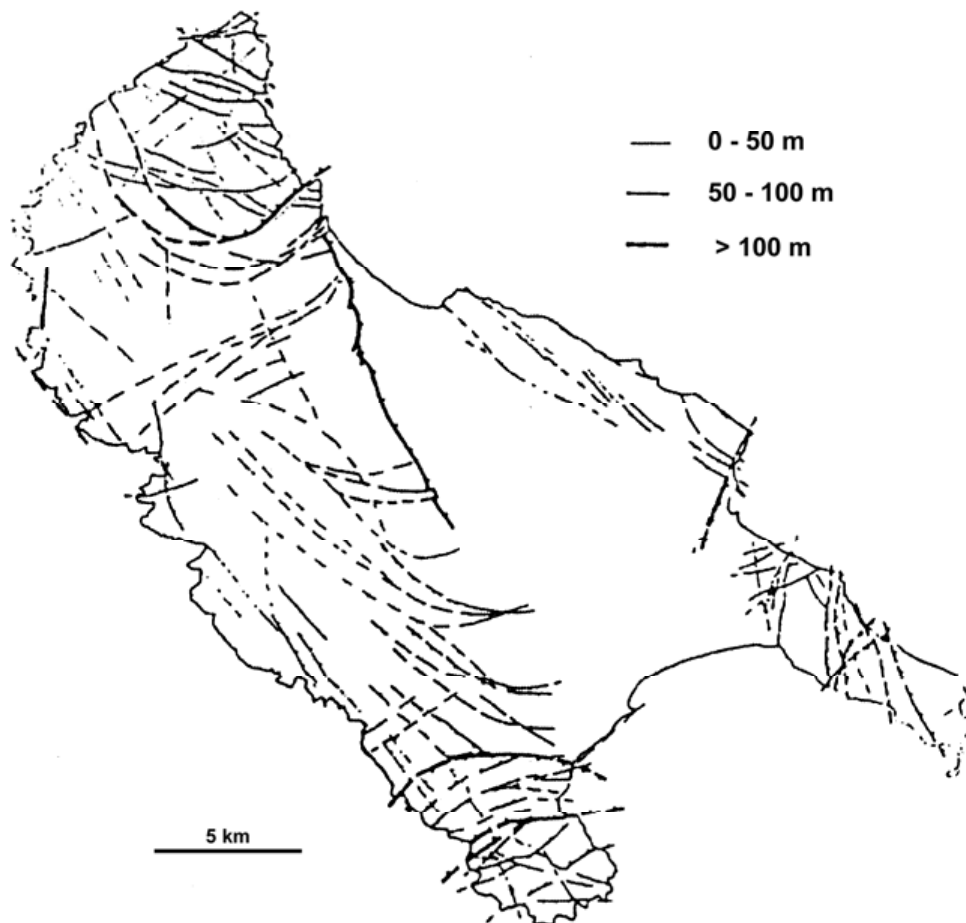
Την ασβεστολιθική σειρά του Μεσοζωικού διατέμνουν πολλά ρήγματα, που μπορούμε να πούμε ότι ομαδοποιούνται σε δύο οικογένειες ρηγμάτων με επικρατούσες διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Τα ρήγματα αυτά είναι αποτέλεσμα μεταπτώσεων που έδρασαν μετά την πύκωση της ασβεστολιθικής Μεσοζωικής σειράς, λόγω εφαπτομενικών κινήσεων. Μαρτυρία αυτού αποτελεί η μετακίνηση του άξονα πτυχώσεως σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Σκαγιάς, 1999).

Οι αναφερόμενες τεκτονικές κινήσεις έχουν πλήξει και τα ιζήματα του Νεογενούς, όπου την περίοδο εκείνη υπήρχε μία φάση συμπίεσης, στην οποία ορισμένοι ερευνητές αποδίδουν την επώθηση της Ιονίου ζώνης πάνω στην Προαπούλιο και την επαναδραστηριοποίηση των κανονικών ρηγμάτων της ζώνης Παξών (Προαπούλιας) σε ανάστροφα πτυχωσιγενή ρήγματα. Οι συμπιεστικές αυτές κινήσεις είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάδυση της Ζακύνθου.

Συμπερασματικά λοιπόν, και σύμφωνα με το χάρτη του ρηξιγενούς ιστού της Ζακύνθου (Σχήμα 3.3), διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

- I. Το μήκος των ρηγμάτων είναι μεταβλητό και σε ορισμένες περιπτώσεις υπερβαίνει τα 15 m.
- II. Ορισμένα από τα ρηγμάτα έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος, δεδομένου βέβαια ότι η συνέχισή τους βρίσκεται στον υποθαλάσσιο χώρο, όπως πχ. το ρήγμα Κατασταρίου, Βολιμνών κ.ά.
- III. Συνολικά, τα ρηγμάτα εντάσσονται σε τρία συστήματα και ειδικότερα στο πρωτεύον με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, στο δευτερεύον με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, και στο υπολειπόμενο με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι λόγω της έντονης τεκτονικής των Ιονίων νήσων που αποτελούν ρηξιγενή τεμάχια, τα οποία είναι προϊόν της Αλπικής ορογένεσης και των Ηπειρογενετικών κινήσεων που ακολούθησαν, έχουν δημιουργηθεί συνθήκες αστάθειας στην περιοχή αυτή, με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγάλες σεισμικές εστίες στο χώρο αυτό.



Σχήμα 3.3: Διάκριση των ρηγμάτων της Ζακύνθου ανάλογα με το άλμα τους (Λέκκας, 1992).

4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

4.1. Επιφανειακή υδρολογία

Στο νησί δεν υπάρχουν ποτάμια ούτε λίμνες. Επομένως, μόνιμη επιφανειακή ροή δεν παρατηρείται.

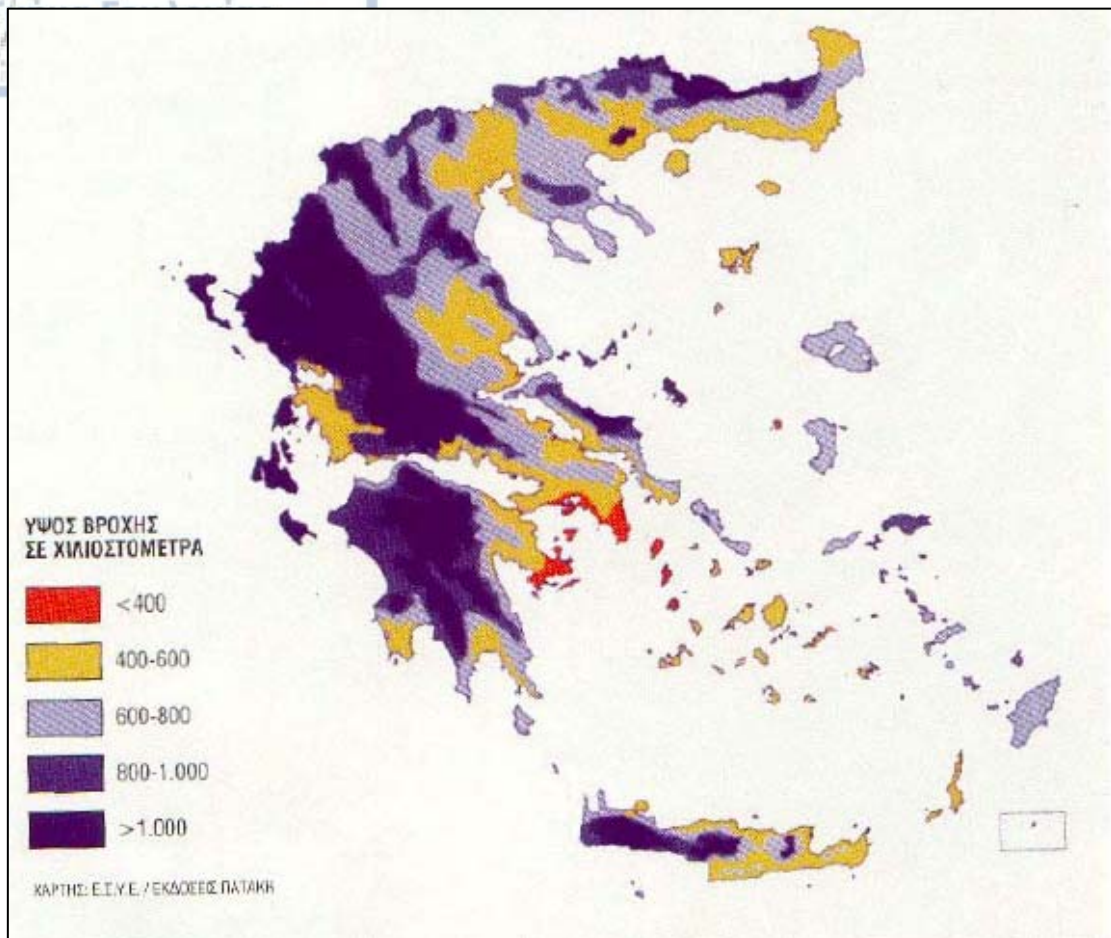
Το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού είναι σχετικά πυκνό. Ο κύριος επιφανειακός υδροκρίτης είναι η κορυφογραμμή του όρους Βραχίωνα, ο οποίος στα δυτικά δημιουργεί πολλές μικρές λεκάνες απορροής. Η πεδινή περιοχή ανατολικά του όρους διαρρέεται από τρεις χείμαρρους, το χείμαρρο Αγίου Χαραλάμπους, το χείμαρρο Λαγανά και το χείμαρρο Αλυκών οι οποίοι εκβάλλουν στον κόλπο της πόλης της Ζακύνθου στα ανατολικά, στον κόλπο Λαγανά στα νοτιοανατολικά και στον όρμο των Αλυκών στα βορειοανατολικά του νησιού αντίστοιχα. Μεταξύ των δύο χείμαρρων του Λαγανά και Αγίου Χαραλάμπους τοποθετούνταν παλιότερα η λίμνη Μακρή, η οποία έχει αποστραγγιστεί και στη θέση της κατασκευάστηκε μεταγενέστερα το σημερινό αεροδρόμιο της Ζακύνθου.

4.2. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

4.2.1. Γενικά

Με τον όρο «ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (P)» αναφερόμαστε στο σύνολο του μετεωρικού νερού που φθάνει στην επιφάνεια της Γης με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά, κλπ), (Σούλιος, 1996). Μεταξύ των διάφορων μορφών κατακρημνισμάτων, ποσοτικά υπερέχει η βροχή (συνήθως πάνω από το 80% στο σύνολο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων), γι' αυτό και στο εξής χρησιμοποιείται ο αντιπροσωπευτικός όρος «βροχόπτωση» για το σύνολο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα, τα βροχόμετρα, που εγκαθίστανται σε βροχομετρικούς σταθμούς σε διάφορες περιοχές.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ποικίλουν στο χώρο και το χρόνο ανάλογα με τη γενική μορφή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Σχήμα 4.1), καθώς επίσης ανάλογα και με τους τοπικούς παράγοντες (υψόμετρο και θέση βροχομετρικού σταθμού, ιδιαίτερο ανάγλυφο της περιοχής, κλπ.).



Σχήμα 4.1: Βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας (Γαϊόραμα, 1998).

Στη Ζάκυνθο σήμερα λειτουργεί μόνιμα ένας μοναδικός βροχομετρικός σταθμός, της Ε.Μ.Υ., σε υψόμετρο 8 m στην περιοχή του αεροδρομίου. Ωστόσο, στο νησί λειτούργησαν κατά περιόδους, από το 1894 μετεωρολογικοί σταθμοί του Εθνικού Αστεροσκοπείου, της Ε.Μ.Υ., του Υ.Δ.Ε., κλπ.

4.2.2. Βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού του Αεροδρομίου

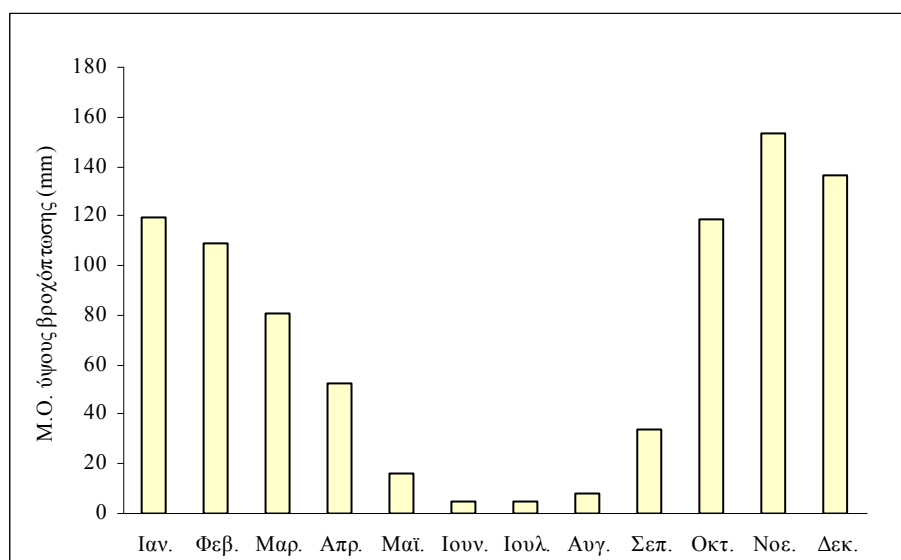
Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι μηνιαίες μετρήσεις βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού της Ε.Μ.Υ, στην περιοχή του αεροδρομίου, για την περίοδο 1970-2007 (βιβλιογραφικά δεδομένα Ι.Γ.Μ.Ε.). Έχουν υπολογισθεί οι συνολικές ετήσιες, καθώς και οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για την ίδια περίοδο.

Πίνακας 4.1: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για την περίοδο 1970-2007, από τον βροχομετρικό σταθμό αεροδρομίου της Ζακύνθου (Ε.Μ.Υ.).

	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαϊ.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	ΣΥΝ.
1970	154	150	31	42	14	0	0	0	47	172	59	145	814
1971	238	222	189	53	24	4	4	0	39	111	144	216	1244
1972	290	223	36	83	15	0	30	35	11	336	10	148	1217
1973	254	127	138	63	0	0	2	4	67	25	52	95	828
1974	155	157	94	77	0	0	8	9	108	63	124	85	880
1975	65	73	46	1	31	28	10	1	1	37	251	170	714
1976	96	126	53	86	28	15	16	10	0	125	224	115	895
1977	81	27	1	51	2	0	0	9	16	2	239	147	575
1978	180	76	63	69	11	0	0	0	35	68	121	118	741
1979	97	108	72	93	30	0	2	44	1	286	277	147	1156
1980	185	53	131	52	5	24	0	4	4	164	78	157	859
1981	213	68	19	58	41	0	0	32	35	89	143	191	888
1982	118	169	145	115	20	0	4	6	0	111	258	113	1058
1983	21	60	82	10	5	37	0	15	41	179	413	245	1108
1984	78	208	36	89	8	0	0	4	16	25	138	111	712
1985	226	86	262	40	0	0	0	0	0	119	167	45	945
1986	174	174	155	53	6	10	4	0	2	249	100	158	1085
1987	74	110	147	61	9	1	0	0	0	170	156	78	807
1988	178	132	94	21	0	0	0	0	14	95	145	98	776
1989	13	10	19	40	23	9	54	0	36	200	86	95	585
1990	22	53	0	102	17	0	0	0	207	191	160	198	950
1991	65	60	44	49	63	0	26	1	1	43	41	100	493
1992	2	27	20	77	18	6	0	0	24	42	26	92	334
1993	35	171	35	24	5	0	0	0	8	0	145	42	465
1994	11	207	41	29	46	0	0	0	0	176	125	87	722
1995	190	10	148	21	16	1	0	33	115	0	12	191	737
1996	199	161	126	25	14	0	0	0	83	281	112	143	1144
1997	97	27	42	86	0	10	0	19	18	99	104	205	707
1998	104	19	87	5	20	0	0	0	30	39	423	269	996
1999	45	132	125	44	8	0	0	26	90	53	278	99	900
2000	43	152	19	2	14	0	0	0	3	50	160	97	540
2001	58	206	157	27	32	1	0	0	12	32	87	109	721
2002	45	194	74	28	9	1	5	3	68	46	0	220	693
2003	80	0	0	0	14	5	0	0	221	57	169	331	877
2004	163	23	50	44	3	6	7	0	46	66	125	282	815
2005	127	87	70	39	15	5	0	0	79	83	165	201	871
2006	212	138	33	11	4	1	0	6	46	13	38	52	554
2007	20	76	55	53	24	2	0	0	5	12	198	203	648
Μ.Ο.	119	109	81	52	16	5	5	8	34	118	154	137	844

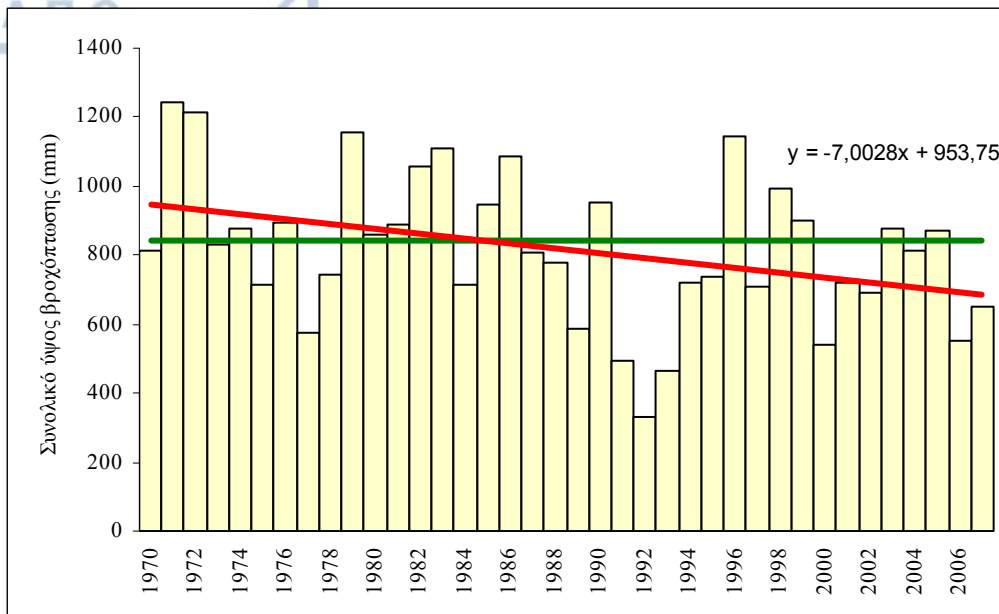
Από κλιματολογική άποψη, το κλίμα του νησιού ανήκει στο μεσογειακό τύπο. Χαρακτηρίζεται από υψηλές βροχοπτώσεις κατά τη χειμερινή περίοδο και ελάχιστες κατά τη θερινή περίοδο, σε συνδυασμό και με υψηλές θερμοκρασίες (η μέση θερμοκρασία στο νησί αντιστοιχεί σε 18,3°C).

Με βάση το ιστόγραμμα του Σχήματος 4.2, η αρχή της υγρής περιόδου του υδρολογικού έτους εντοπίζεται το Σεπτέμβριο και τελειώνει τον Μάιο, με πιο υγρό μήνα το Νοέμβριο. Οι μήνες Ιούνιος και Ιούλιος είναι οι πιο ξηροί μήνες της ξηρής περιόδου του υδρολογικού έτους. Ο μέσος όρος ετήσιας βροχόπτωσης στον πλανήτη μας είναι 800 mm. Στη Ζάκυνθο το ποσό αυτό ανέρχεται στα 844 mm (Πίνακας 4.1), γενικά υψηλό για τα ελληνικά δεδομένα. Υπολογίζεται ότι ένα ποσοστό 40% της βροχόπτωσης κατεισδύει και εμπλουτίζει τους υδροφόρους ορίζοντες του νησιού.

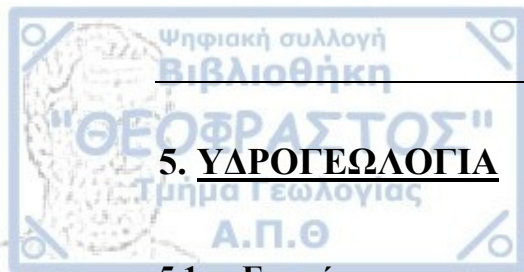


Σχήμα 4.2: Μέση μηνιαία κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για την περίοδο 1970-2007 από τον βροχομετρικό σταθμό αεροδρομίου Ζακύνθου (E.M.Y.).

Στο Σχήμα 4.3 σημειώνεται με πράσινο χρώμα αυτή η μέση ετήσια βροχόπτωση στο νησί για την περίοδο των 38 ετών (1970-2007) και με κόκκινο η γραμμική τάση. Από την εξίσωση της τάσης προκύπτει ότι το ετήσιο ύψος βροχής ελαττώνεται γραμμικά με το χρόνο με ρυθμό 7 mm/year. Από το ιστόγραμμα προκύπτει ότι η μικρότερη τιμή της χρονοσειράς παρατηρείται κατά το έτος 1992 (334 mm/year) ενώ η μεγαλύτερη το 1971 (1244 mm/year).



Σχήμα 4.3: Ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 1970-2007 από το βροχομετρικό σταθμό αεροδρομίου Ζακύνθου (E.M.Y.).



5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

5.1. Γενικά

Η πολύπλοκη γεωλογική δομή της Ζακύνθου, στην οποία συμμετέχουν δύο γεωτεκτονικές ζώνες (Παξών και Ιόνιος), έχει σαν συνέπεια την δημιουργία πολύπλοκων υδρογεωλογικών συνθηκών, γεγονός που συνηγορεί στην δημιουργία ημιανεξάρτητων υδρογεωλογικών ενοτήτων και όχι εκτεταμένων και ενιαίων υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Με βάση τη γεωλογική δομή του νησιού, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στη Ζάκυνθο, ανάλογα με το βαθμό υδροπερατότητας, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες (Σκαγιάς, 1999):

- Υδροπερατοί σχηματισμοί
- Ημιπερατοί σχηματισμοί
- Υδατοστεγείς σχηματισμοί

5.1.1. Υδροπερατοί σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Παξών, τα λατυποπαγή, οι γύψοι, οι ανυδρίτες και οι μαύροι ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης, οι ψαμμίτες του ανώτερου ορίζοντα του Πλειόκαινου και οι αλλουβιακές προσχώσεις του κεντρικού τμήματος του νησιού.

5.1.2. Ημιπερατοί σχηματισμοί

Στους ημιπερατούς σχηματισμούς περιλαμβάνονται οι γύψοι και οι ανυδρίτες που εγκλείουν ασβεστολιθικά τεμάχια, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Ολιγόκαινου, οι ψαμμίτες του Μειόκαινου, οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις, οι αργιλοαμμώδεις αποθέσεις του Τεταρτογενούς, καθώς και οι ελουβιακοί σχηματισμοί.

5.1.3. Υδατοστεγείς σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι λεπτομερείς αποθέσεις του Μειόκαινου και Πλειόκαινου καθώς και του Τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο-Ολόκαινο). Αυτές αποτελούνται από πηλίτες εναλλασσόμενους με μάργες, ιλυόλιθους και μικρές ενστρώσεις γύψων στο ανώτερο τμήμα τους και θεωρούνται πρακτικά στεγανές έως ελάχιστα διαπερατές. Η παρουσία των σχηματισμών αυτών κατά μήκος της ρίζας της

οροσειράς του Βραχίωνα, είναι καθοριστική για την δημιουργία του στεγανού φράγματος που συγκρατεί τα καρστικά νερά του ανατολικού σκέλους του αντικλίνου.

5.2. Διαμόρφωση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων

Η διαμόρφωση πλούσιων υπόγειων υδροφόρων οριζόντων (στρωμάτων) μέσα σε ορισμένους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι δυνατή όταν ευνοούν διάφοροι παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι (Σκαγιάς, 1999):

- Ο μεγάλος συντελεστής υδροπερατότητας
- Οι σημαντικές διαστάσεις του γεωλογικού σχηματισμού
- Η ευνοϊκή θέση του υδροφόρου σχηματισμού σχετικά με τα άλλα πετρώματα της περιοχής
- Η ευνοϊκή του θέση σχετικά με τη θάλασσα
- Η ήπια μορφολογία της περιοχής, κ.α.

Η υδρογεωλογική λεκάνη είναι μια υδρογεωλογική ενότητα που μπορεί να συμπίπτει ή όχι με μια υδρολογική λεκάνη. Στο νησί της Ζακύνθου οι υδροφόροι αποτελούν αυτοτελείς υδρογεωλογικές λεκάνες, ανεξάρτητες μεταξύ τους που δεν συμπίπτουν με τις υδρολογικές λεκάνες.

Με τις υπάρχουσες μορφολογικές, γεωλογικές, τεκτονικές, υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο μελετούμενο νησί, η διαμόρφωση των υδροφόρων οριζόντων στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς έχει ως ακολούθως (Σκαγιάς, 1999):

5.2.1. Υδροφορία προσχώσεων

Οι προσχωματικές (αλλουβιακές) αποθέσεις που εντοπίζονται στο κεντροανατολικό πεδινό τμήμα του νησιού, αποτελούνται από άμμους και αργίλους που προήλθαν από την αποσάθρωση των σχηματισμών του Πλειόκαινου και Μειόκαινου αντίστοιχα. Το μέσο πάχος των αποθέσεων αυτών είναι της τάξης των 6 m, ενώ το μέγιστο πάχος τους δεν ξεπερνά σε καμία περίπτωση τα 10 m.

Μέσα στις εν λόγω αποθέσεις, και πιο συγκεκριμένα στην επαφή τους με τις υποκείμενες μάργες του Μειόκαινου, σχηματίζεται ένας πτωχός φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, η αξιοποίηση του οποίου κρίνεται αναγκαία δεδομένων των αυξημένων υδατικών αναγκών στο νησί. Η λιθολογία και η κοκκομετρία αποτελούν τις κύριες παραμέτρους διαμόρφωσης της υδροφορίας στον ορίζοντα αυτόν.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα των αλλουβιακών αποθέσεων γίνεται ως επί το πλείστον από τις βροχοπτώσεις, ενώ έχει αποκλειστεί το ενδεχόμενο πλευρικής τροφοδοσίας από τους παρακείμενους ασβεστόλιθους, τουλάχιστον όσον αφορά στην κεντρική και νότια περιοχή του νησιού, λόγω της μεσολάβησης των πηλινών του Μειόκαινου, οι οποίοι φράσσουν την επικοινωνία.

5.2.2. Υδροφορία Πλειστοκαινικών σχηματισμών

Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από χαλαρά ή συνεκτικά κροκαλοπαγή με αργιλομαργαϊκό συνδετικό υλικό, μάργες και ασβεστοψαμμίτες. Εμφανίζουν αυξημένο ενεργό πορώδες κατά θέσεις, αλλά δεν εμφανίζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον μιας και εκείνοι που υπέρκεινται των Κρητιδικών ασβεστολίθων και αναπτύσσονται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 200 m (περιοχή ανάντη της Λιθακιάς) αποστραγγίζουν τα νερά τους μέσω των ασβεστολιθικών πετρωμάτων στη θάλασσα, ενώ όσοι επικάθονται πάνω σε Πλειοκαινικές μάργες (περιοχή Γερακαρίου) έχουν μικρό πάχος και έκταση.

5.2.3. Υδροφορία Πλειοκαινικών σχηματισμών

Οι Πλειοκαινικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην ανατολική παραλιακή περιοχή του νησιού, αποτελούνται από λεπτομερή και αδρομερή ιζήματα και εμφανίζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον στη περιοχή Κυψέλης, όπου εντοπίζονται ψαμμιτικοί ορίζοντες σε σχετικά μεγάλη έκταση και πάχος.

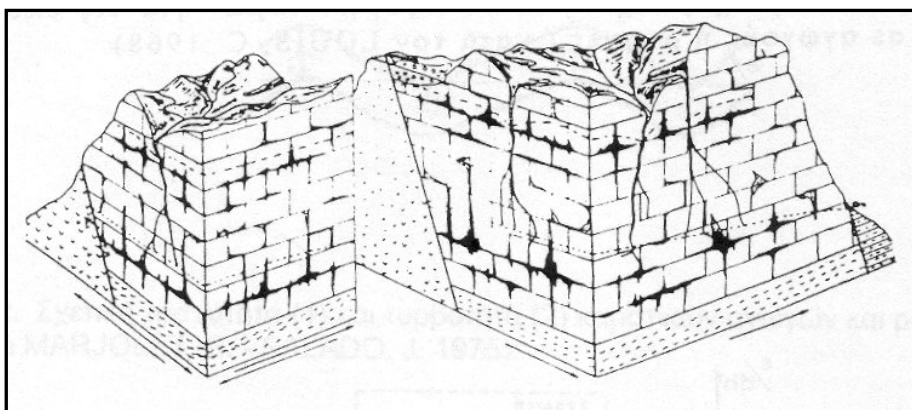
5.2.4. Υδροφορία Μειοκαινικών σχηματισμών

Οι σχηματισμοί αυτοί με πάχος μεγαλύτερο των 800 m, αποτελούνται από λεπτομερή υδατοστεγή ιζήματα και ως εκ τούτου δεν διαμορφώνονται υδροφόροι ορίζοντες μέσα στη μάζα τους. Τα ιζήματα αυτά όμως, παίζουν καθοριστικό ρόλο στη κίνηση των καρστικών νερών τα οποία έχουν διεύθυνση αποστράγγισης κυρίως ΒΔ-ΝΑ.

5.2.5. Υδροφορία καρστικών σχηματισμών

Οι ασβεστόλιθοι γενικά είναι υδροπερατοί σχηματισμοί, ο βαθμός υδροπερατότητας όμως μεταξύ των διαφόρων τύπων ασβεστόλιθων ποικίλλει σημαντικά και εξαρτάται από τους χημικούς και φυσικούς χαρακτήρες τους. Ένας

από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην διαμόρφωση πλούσιων υδροφόρων οριζόντων είναι και ο μεγάλος συντελεστής υδροπερατότητας. Τόσο η διάρρηξη όσο και η καρστικοποίηση των ανθρακικών πετρωμάτων, συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση του ενεργού πορώδους το οποίο πρωτογενώς ήταν χαμηλό. Η μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα (περίπου το 50% της έκτασης του νησιού) σε συνδυασμό με τον υψηλό βαθμό υδροπερατότητας, καθιστά σαφή το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα πετρώματα αυτά από υδρογεωλογικής σκοπιάς. Μέσα στα ανθρακικά πετρώματα, οι χημικές και μηχανικές διεργασίες που συντελούνται δημιουργούν ένα πολύπλοκο σύστημα καρστικών αγωγών και εγκοίλων μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Στερεοδιάγραμμα που απεικονίζει παραστατικά τα στοιχεία, την οργάνωση και τη λειτουργία ενός καρστικού υδροφόρου συστήματος. (Σούλιος, 1996)

Αξίζει να αναφερθεί ότι η φύση των καρστικών σχηματισμών και οι συνθήκες κυκλοφορίας του υπόγειου νερού σε αυτούς, δημιουργούν ένα ξεχωριστό πεδίο εσωτερικής δομής, τροφοδοσίας και διακίνησης του υπόγειου νερού. Είναι προφανές λοιπόν, ότι η οργάνωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος είναι σύνθετη και η λειτουργία του πολύπλοκη. Γι αυτό μπορούμε να πούμε ότι οι καρστικοί υδροφορείς χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερο υδρολογικό καθεστώς και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο κυριότερος αποδέκτης νερού στο νησί είναι οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί του Κρητιδικού, Ηωκαίνου και Ολιγοκαίνου, στη συνέχεια μελετώνται κυρίως τα χαρακτηριστικά αυτών.

Οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν το υπόβαθρο του νησιού και πάνω σ' αυτούς αναπτύσσονται οι ασβεστόλιθοι του Παλαιογενούς. Η αντικλινική τεκτονική

δομή της ασβεστολιθικής σειράς του Κρητιδικού διαμορφώνει δύο κύριους τομείς υδρομάστευσης, τον δυτικό και τον ανατολικό. Ο δυτικός εκφορτίζεται στη θάλασσα, στις δυτικές ακτές του νησιού, με τη μορφή διάσπαρτων παράκτιων και υποθαλάσσιων υφάλμυρων καρστικών πηγών, ενώ στον ανατολικό τομέα τα καρστικά νερά οδηγούνται προς την ενδοχώρα όπου συναντούν τα λεπτομερή υδατοστεγή ιζήματα του Νεογενούς, οπότε αλλάζουν διεύθυνση και εκφορτίζονται προς το Νότο (όρμος Κεριού) ή προς το Βορρά (όρμος Αλυκών). Αποτέλεσμα της εκφόρτισης του νερού στην περιοχή του Κεριού είναι η ύπαρξη πηγής, η οποία αναβλύζει μαζί με το νερό και πισσάσφαλτο (Σχήμα 5.2, 5.3). Για την ιστορία αναφέρεται ότι την πηγή αυτή τη μνημονεύει ο Ηρόδοτος (484-430 π.χ.).

Οι ενδείξεις ασφάλτου συγκεντρώνονται κυρίως κάτω από την Ανωμειοκαινική σειρά, η οποία παίζει το ρόλο καλύμματος που εμπεριέχει στεγανές μάργες, ενώ η ασυμφωνία του Ανώτερου Μειόκαινου φαίνεται ότι αποτελεί τον καλύτερο δρόμο μετανάστευσης. Συγκεκριμένα, το πετρέλαιο μεταναστεύει μέσω της ασυμφωνίας του Ανώτερου Μειόκαινου, του οποίου τα αργιλομαργαϊκά στρώματα είναι τα πρώτα αδιαπέρατα τα οποία συναντά το πετρέλαιο κατά την άνοδό του. Ακολουθώντας την ασυμφωνία, το πετρέλαιο ανέρχεται μέχρι την επιφάνεια ή εγκλωβίζεται σε παγίδες που σχηματίζονται κάτω από τα στρώματα του Ανώτερου Μειόκαινου (Νικόλαου, 1986).



Σχήμα 5.2: Η «πηγή του Ηροδότου».



Σχήμα 5.3: Η «πηγή του Ηροδότου» και η πισσάσφαλτος η οποία αναβλύζει από αυτήν.

Μετά από αυτό το σκεπτικό, η ανεύρεση καρστικού νερού θα πρέπει να αναμένεται στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται παράλληλα με

τα Νεογενή ιζήματα και μάλιστα, στο βάθος περίπου του επιπέδου της θάλασσας. Η διακίνηση του ασβεστολιθικού νερού γίνεται μέσω των κατακλάσεων και των καρστικών αγωγών στο πέτρωμα, καθώς επίσης και δια μέσου ρηγμάτων που τέμνουν όλη την ανθρακική σειρά.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο στα ιζήματα του Κρητιδικού όσο και στα ιζήματα του Ηωκαίνου, οι αγωγοί κίνησης του νερού πολλές φορές έχουν φράξει από υλικά απασβεστώσεως (Terra rossa), ή από δευτερογενή ασβεστίτη, με αποτέλεσμα την έλλειψη υδροφορίας (περιοχές Βουτσάκι και Τσιβούλι).

Τέλος, οι σχηματισμοί του Ολιγόκαινου δεν παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα λόγω των περιορισμένων κατακλάσεων.

5.2.6. Τριαδική σειρά Ιονίου ζώνης

Οι σχηματισμοί που απαντούν στο όρος Σκοπός δεν εμφανίζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, λόγω της ακαταλληλότητας του νερού από την υπερβολική συγκέντρωση θεϊκών ιόντων, η οποία προέρχεται από τις γύψους της περιοχής αυτής.

5.3. Υδραυλικά χαρακτηριστικά των καρστικών υδροφόρων οριζόντων της ευρύτερης περιοχής Κεριού

5.3.1. Γενικά

Η μεταβιβαστικότητα (T), η υδροπερατότητα (k) και ο συντελεστής εναποθήκευσης (S) αποτελούν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζόντων, ο υπολογισμός των οποίων οδηγεί σε περαιτέρω εκτίμηση του δυναμικού των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) ονομάζεται η ιδιότητα των πετρωμάτων και σχηματισμών να επιτρέπουν την κίνηση του νερού (γενικότερα των ρευστών) δια μέσου αυτών (Σούλιος, 1996). Μέτρο της υδροπερατότητας είναι ο συντελεστής περατότητας (συντελεστής Darcy, k), με διαστάσεις $|LT^{-1}|$ και μονάδα μέτρησης m/sec.

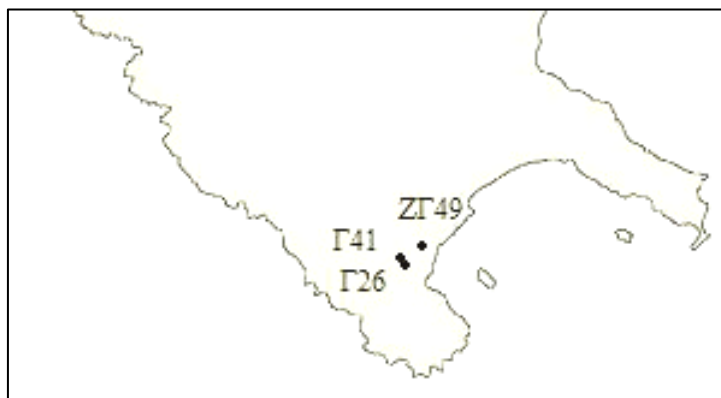
Μεταβιβαστικότητα (T) είναι το γινόμενο της υδροπερατότητας k επί το πάχος του υδροφόρου οριζόντα D : $T=kD$. Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει τον όγκο του νερού που περνά από μια μοναδιαία διατομή του υδροφόρου οριζόντα με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους (Βουδούρης, 2009). Μετριέται σε m^2/sec .

Ο συντελεστής εναποθήκευσης ή αποθηκευτικότητα ή υδροχωρητικότητα (S) εκφράζει τον όγκο του νερού που μπορεί να αποληφθεί ή να αποθηκευτεί από ένα κατακόρυφο πρίσμα ενός υδροφόρου στρώματος (ορίζοντα) με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου (Βουδούρης, 2009). Είναι καθαρός αριθμός και εκφράζεται είτε επί τοις εκατό, είτε με δεκαδική μορφή από τον τύπο $S = \Delta V / (A \cdot \Delta h)$, όπου ΔV ο όγκος του νερού που απελευθερώνεται ή προστίθεται από τη μονάδα οριζόντιας επιφάνειας A , εξαιτίας μοναδιαίας πτώσης ή αύξησης του φορτίου Δh .

Ο ασφαλέστερος τρόπος προσδιορισμού των υδραυλικών παραμέτρων που δίνει την δυνατότητα υπολογισμού τους στις πραγματικές επιτόπιες συνθήκες για ένα μεγάλο όγκο του υδροφορέα, είναι οι δοκιμαστικές αντλήσεις. Η πραγματοποίησή τους θεωρείται πλέον απαραίτητη, μετά τη διάνοιξη, συμπλήρωση και ανάπτυξη μιας γεώτρησης, γεγονός που παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού των υδραυλικών παραμέτρων σε διάφορες θέσεις του υδροφόρου στρώματος, επιτρέποντας έτσι μία ολοκληρωμένη εκτίμησή του σε όλη του την έκταση.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι υδραυλικές παράμετροι των καρστικών υδροφόρων οριζόντων του νησιού έγιναν δοκιμαστικές αντλήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, σε γεωτρήσεις που ήδη λειτουργούσαν. Η επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα AquiferTest Version 4.2 με τις μεθόδους Theis και Cooper-Jacob, με τη βοήθεια των οποίων κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα $s=f(\log t)$ και $W=f(1/u)$ και υπολογίστηκαν η μεταβιβαστικότητα και ο συντελεστής εναποθήκευσης, ενώ για την επαναφορά κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα $\delta=f(t/t')$.

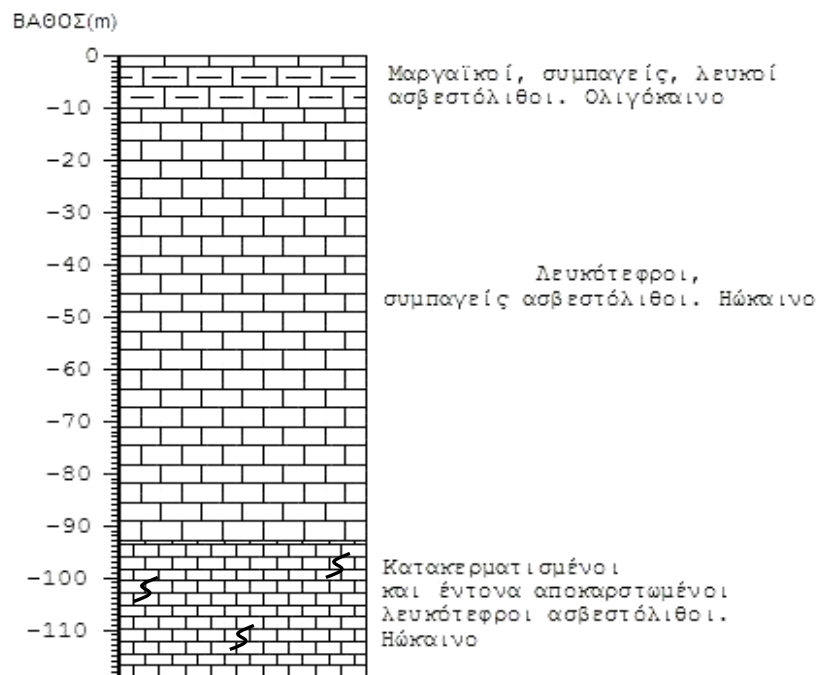
Στο Σχήμα 5.4 φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων στις οποίες πραγματοποιήθηκαν αντλητικές δοκιμές τον Δεκέμβριο του 2008.



Σχήμα 5.4: Θέσεις των γεωτρήσεων.

5.3.2. Γεώτρηση ΖΓ49 (Γ9)-περιοχή Λιθακιάς

Η ανώτερω γεώτρηση βρίσκεται ΝΝΑ του χωριού Λιθακιά, σε απόσταση περίπου 2,5 km από το κέντρο του χωριού και συγκεκριμένα στο χώρο του παλιού λατομείου «Κούτση». Το υψόμετρο της θέσης είναι 78,16 m, το δε βάθος της γεώτρησης 119 m. Η ανόρυξη της γεώτρησης έγινε τη χρονική περίοδο από 30/11/81 έως 03/12/81. Για την δυνατότητα παρακολούθησης της στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα υπάρχει τοποθετημένο, μεταξύ της σωληνώσεως και των τοιχωμάτων της γεώτρησης, πιεζομετρικός σωλήνας ο οποίος φθάνει μέχρι το βάθος των 116m. Το πάχος του υδροφόρου στρώματος είναι 43,35 m. Η γεώτρηση ανορύχθηκε για να εξυπηρετήσει υδρευτικούς σκοπούς της περιοχής. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται από την επιφάνεια προς το βάθος φαίνονται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης ΖΓ49.

Η υδροστατική στάθμη της γεώτρησης βρίσκεται στα 76,65 m. Η υπερυψωμένη αυτή στάθμη σε σχέση με το υψόμετρο της θέσης σε τόσο μικρή απόσταση από τη θάλασσα (700 m περίπου) δικαιολογείται και αναμενόταν από το φραγμό που δημιουργούν τα στεγανά ιζήματα του Μειόκαινου (Σχήμα 5.6), τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ θάλασσας και γεώτρησης και προστατεύουν το νερό του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα από την επίδραση της θάλασσας.



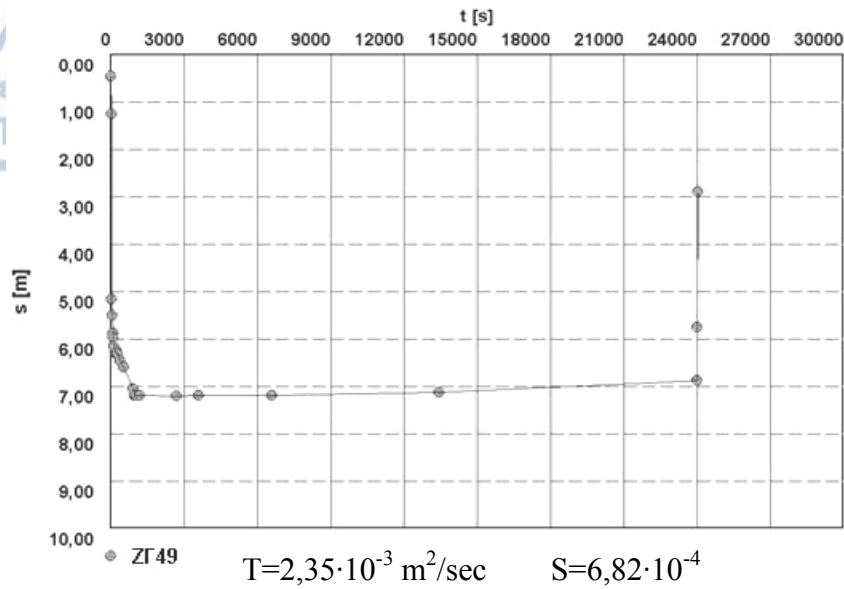
Σχήμα 5.6: Η Μειοκαινική λεκάνη στα ΝΑ της Ζακύνθου, όπως αυτή φαίνεται από το υψόμετρο της θέσης της γεώτρησης ΖΓ49. Στο βάθος στα δεξιά της φωτογραφίας διακρίνεται το Μαραθωνήσι.

Στη γεώτρηση αυτή έγινε δοκιμαστική άντληση στις 10/12/08 διάρκειας 400 min (περίπου 7 ώρες). Μετά την παύση της άντλησης, είχαμε σχεδόν πλήρη επαναφορά (Σχήμα 5.11) της στάθμης μέσα στα 4 πρώτα λεπτά. Η παροχή καθ' όλη τη διάρκεια της άντλησης ήταν σταθερή και ίση με $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Το ύψος H_1 του ανώτερου τμήματος του πιεζόμετρου από το έδαφος μετρήθηκε $0,43 \text{ m}$. Στις φωτογραφίες (Σχήμα 5.7) απεικονίζεται η γεώτρηση ΖΓ49 (Γ9).

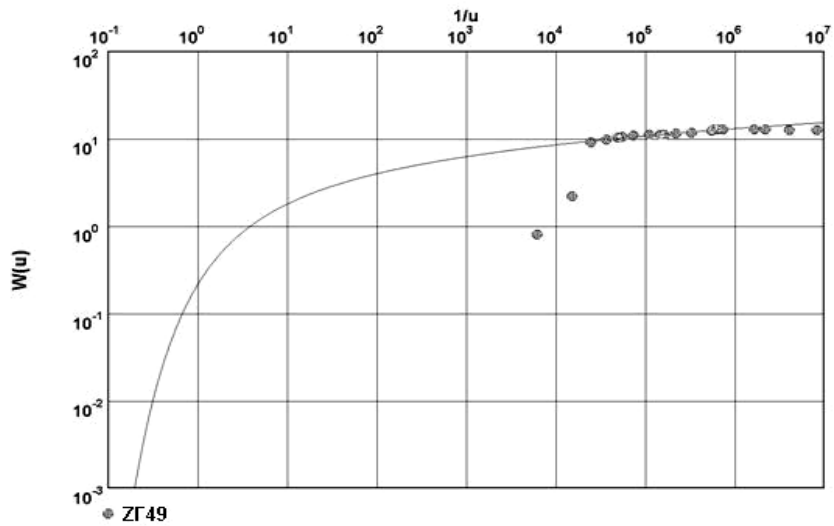
Από την επεξεργασία των δεδομένων της δοκιμαστικής άντλησης, προσδιορίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι T και S με τη μέθοδο Theis (1935) και με τη μέθοδο Cooper-Jacob (1946), οι τιμές των οποίων φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 5.8, 5.9, 5.10).



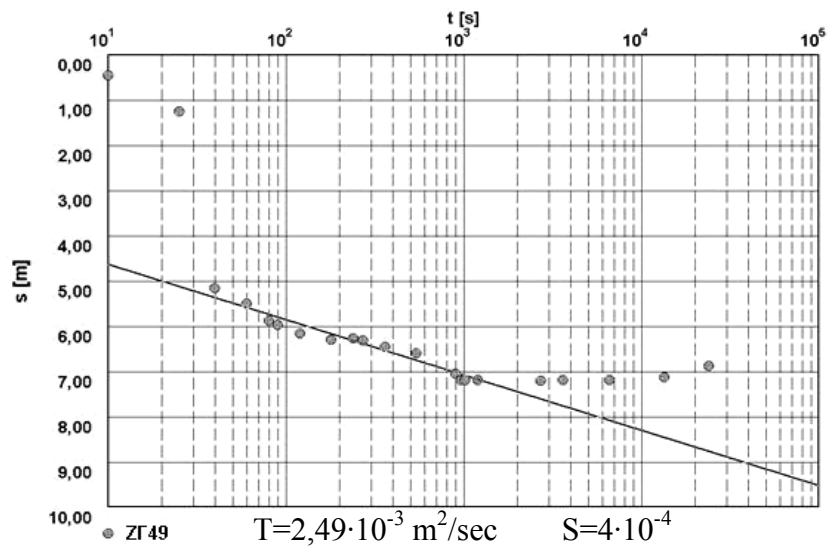
Σχήμα 5.7: Η γεώτρηση ΖΓ49 (Γ9).



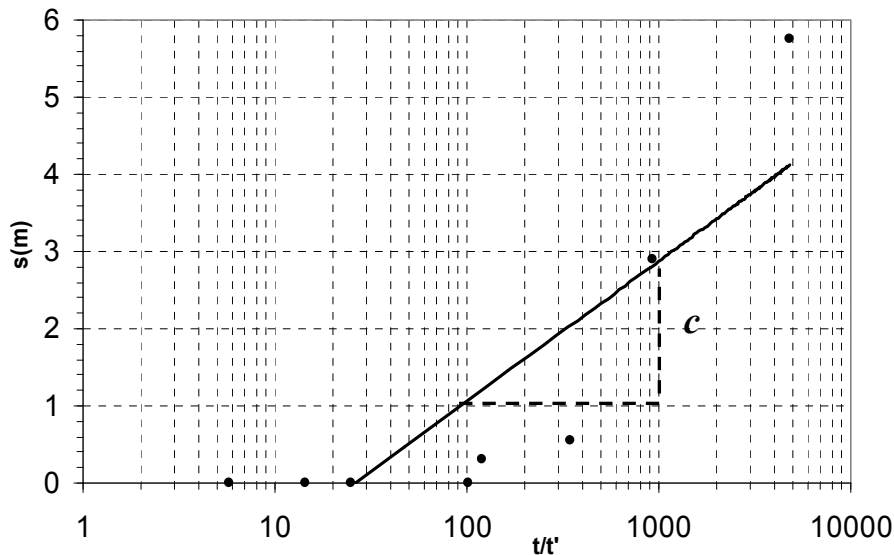
Σχήμα 5.8: Μέθοδος Theis για τη γεώτρηση ZG49.



Σχήμα 5.9: Μέθοδος Theis για τη γεώτρηση ZG49.



Σχήμα 5.10: Μέθοδος Cooper-Jacob για τη γεώτρηση ZG49.



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα επαναφοράς στάθμης για τη γεώτρηση ΖΓ49.

Από το διάγραμμα του Σχήματος 5.11, υπολογίζουμε το c , που είναι η πτώση στάθμης η οποία αντιστοιχεί σε έναν λογαριθμικό κύκλο, ίσο με 1,8 m. Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στον τύπο που ακολουθεί, και την τιμή της παροχής, $q=60 \text{ m}^3/\text{h}$ η οποία ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της άντλησης, υπολογίζουμε την τιμή της παραμέτρου T σύμφωνα με τη μέθοδο του Theis (1935) για την επάνοδο της στάθμης:

$$T = 0,183 \cdot q/c = 0,183 \cdot 60/1,8 = 6,1 \text{ m}^3/\text{h} = 10,16 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$$

Σε απόσταση 7,40 m από αυτήν υπάρχει γεώτρηση, η Γ9(μέσα) (Σχήμα 5.12) στην οποία, κατά τη διάρκεια άντλησης στη ΖΓ49, γινόταν παράλληλη παρακολούθηση αυτής. Η υδροστατική στάθμη αυτής βρίσκεται στα 75,01 m ενώ το αντίστοιχο H_1 μετρήθηκε 0,10 m.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης σε αυτήν παρατηρήθηκε εξαιρετικά μικρή πτώση στάθμης, η μεταβολή της οποίας φαίνεται στον Πίνακα 5.1. Η μικρή απόσταση από τη γεώτρηση ΖΓ49 δεν δικαιολογεί την πολύ μικρή αυτή πτώση στάθμης σχετικά με το χρόνο, γεγονός που οφείλεται στο ότι το πιεζόμετρο πιθανόν να ήταν βουλωμένο ή μπαζωμένο, κάτι που αγνοούσαμε από την αρχή της άντλησης. Η διαδικασία της δοκιμαστικής άντλησης διακόπηκε, εφόσον δεν ήταν δυνατόν να

γνωρίζουμε αν το νερό μέσα στο πιεζόμετρο ήταν του υδροφόρου στρώματος ή στάσιμο.

Πίνακας 5.1: Η εξαιρετικά μικρή πτώση στάθμης στη γεώτρηση Γ9(μέσα).

Χρόνος (min)	Στάθμη (m)
0	75,01
0,5	75,02
1	75,02
5	75,02
15	75,02
30	75,02
45	75,02
60	75,02
90	75,03
120	75,03
150	75,03
180	75,03
200	75,03
240	75,04
270	75,04
300	75,04
360	75,04



Σχήμα 5.12: Η γεώτρηση Γ9(μέσα).

5.3.3. Γεωλογία της περιοχής Λιθακιάς

Οι δύο γεωτρήσεις όπως αναφέρθηκε βρίσκονται στο χώρο του παλιού λατομείου της Λιθακιάς. Από την τομή των πετρωμάτων στα όρια του λατομείου εμφανίζονται κυρίως ασβεστιτικά πετρώματα (Σχήμα 5.13), ασβεστόλιθοι δηλαδή, μαργαϊκοί ως επί το πλείστον, λευκοί, λευκοκίτρινοι και λευκότεφροι, όπως επίσης και ψαμμίτες (Σχήμα 5.14). Στην περιοχή παρατηρείται εμφανής γωνιώδης ασυμφωνία μεταξύ των Ανωκρητιδικών και Ανωηκαινικών ασβεστολίθων της Προαπούλιας ζώνης. Τα υποκείμενα στρώματα ηλικίας Μαιστριχτίου είναι μεικτής (νηρητικής και πελαγικής) φάσεως, με χαρακτηριστικά απολιθώματα *Orbitoides*, *Helenocyclina beotica*, *Omphalocyclus macroporus*, *Lepidorbitoides*, *Globotruncana*. Τα υπερκείμενα στρώματα ηλικίας Ανωτέρου Λουθησίου – Ανωτέρου Ηωκαίνου είναι λατυποπαγή, περιωφλώδους φάσεως, με χαρακτηριστικά απολιθώματα *Fabiania cassis*,

Nummulites, Discocyclina, Grzybowskia, Alveolina, Orbitolites, Amphistegina, Linderina, Rotaliidae, Globigerinidae, Globorotaliidae (Τριανταφύλλου, 1993).

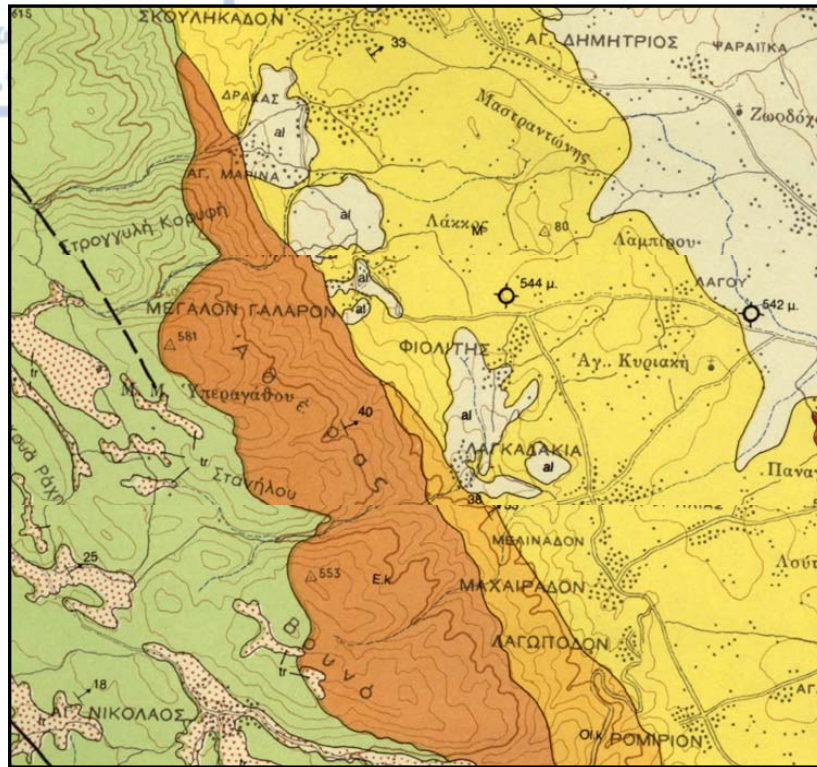


Σχήμα 5.13: Χρήση HCl στα δείγματα των πετρωμάτων του λατομείου.



Σχήμα 5.14: Ψαμμιτικό πέτρωμα στο λατομείο.

Το στρωματογραφικό κενό, το οποίο στην περιοχή της Λιθακιάς εντοπίζεται στο Παλαιόκαινο-Μέσο Ηώκαινο, σε άλλες περιοχές, όπως βορειότερα στην περιοχή Φιολίτη και στην περιοχή Σκουληκάδων διευρύνεται. Παρατηρούμε στο τμήμα του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 5.15) ότι τα Ηώκαινικά στρώματα αποσφηνώνονται και τα Ολιγοκαινικά και τα Μειοκαινικά ιζήματα επίκεινται επικλυσιογενώς του Κρητιδικού και συγκεκριμένα του Κατώτερου Σενωνίου με *Cuneolina* gr. *ravonia*, *Accordiella conica* (Τριανταφύλλου, 1993).



Σχήμα 5.15: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη.

Μια συνολική εικόνα των πετρωμάτων του λατομείου φαίνεται στη συνέχεια (Σχήμα 5.16). Στο δεξί κάτω άκρο της φωτογραφίας διακρίνεται και η γεώτρηση ΖΓ49.



Σχήμα 5.16: Πετρώματα λατομείου Κούτση. Κάτω δεξιά φαίνεται η γεώτρηση ΖΓ49.

5.3.4. Γεώτρηση Γ26 (ΓII)-Κερκιδάρι

Η γεώτρηση Γ26 (Σχήμα 5.17) ανήκει στο δήμο Κεριού και βρίσκεται νότια του χωριού Λιθακιά σε απόσταση περίπου 4 km από το κέντρο του, στην τοποθεσία Κερκιδάρι. Το υψόμετρο της θέσης είναι 75,2 m. Το βάθος της γεώτρησης είναι 85 m, το δε πιεζόμετρο φθάνει στα 81 m από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό της γεώτρησης εξυπηρετεί τις ανάγκες των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής σε ύδρευση. Κατά τη διάτρηση για την ανόρυξη της γεώτρησης συναντήθηκαν Ηωκαινικοί μαργαϊκοί λευκοί κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι, με έντονη αποκάρσωση με την αύξηση του βάθους (Σκαγιάς, 1999)

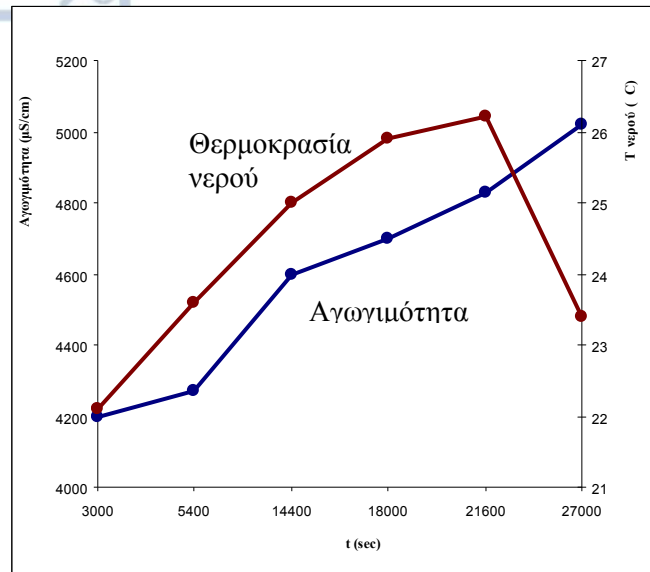


Σχήμα 5.17: Η γεώτρηση Γ26.

Η υδροστατική στάθμη της γεώτρησης βρίσκεται στα 55,38 m. Καθ' όλη τη διάρκεια της αντλήσεως, έγινε συστηματική παρακολούθηση της αγωγιμότητας του νερού και της θερμοκρασίας του. Η μεταβολή τους σε συνάρτηση με το χρόνο φαίνεται στο διάγραμμα (Σχήμα 5.18).

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η θερμοκρασία του νερού της γεώτρησης αυξάνεται συνεχώς με το χρόνο. Αυτή η υπερθέρμανση του νερού οφείλεται πιθανότατα σε κάποια βλάβη που παρουσίασε η αντλία, εφόσον στην περιοχή δεν έχει

αναφερθεί γεωθερμικό πεδίο, γεγονός που μας ανάγκασε να διακόψουμε τη δοκιμαστική άντληση.



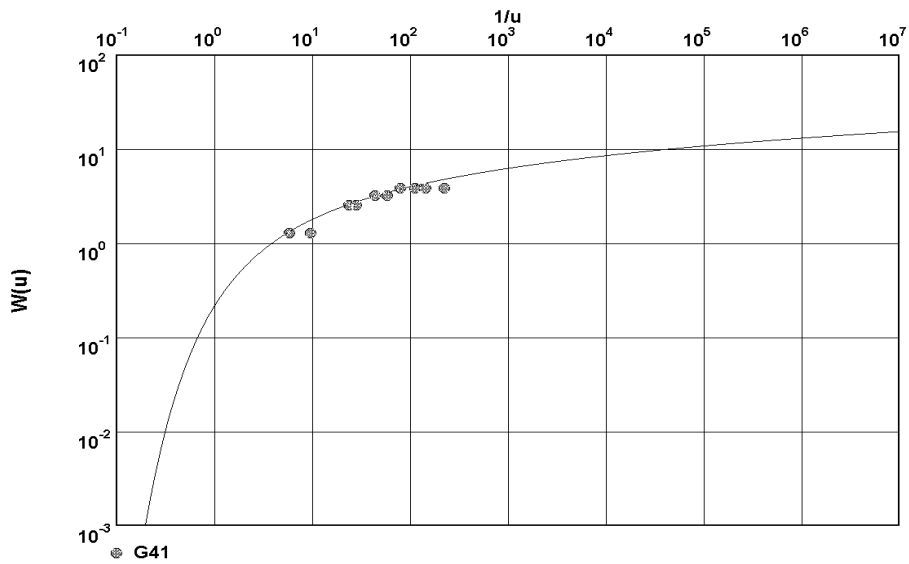
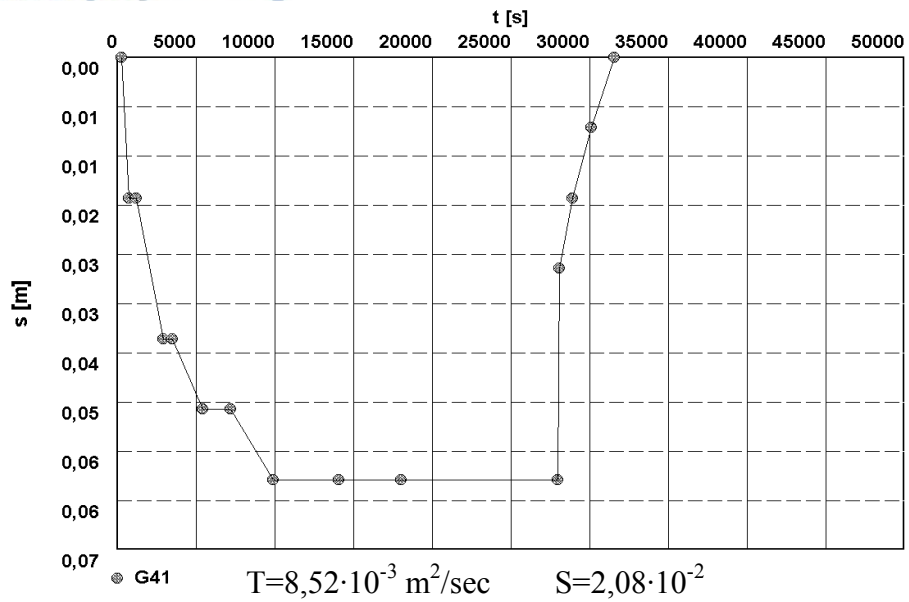
Σχήμα 5.18: Μεταβολή θερμοκρασίας νερού και αγωγιμότητας σε συνάρτηση με το χρόνο άντλησης, στη γεώτρηση Γ26.

5.3.5. Γεώτρηση Γ41-Κερκιδάρι

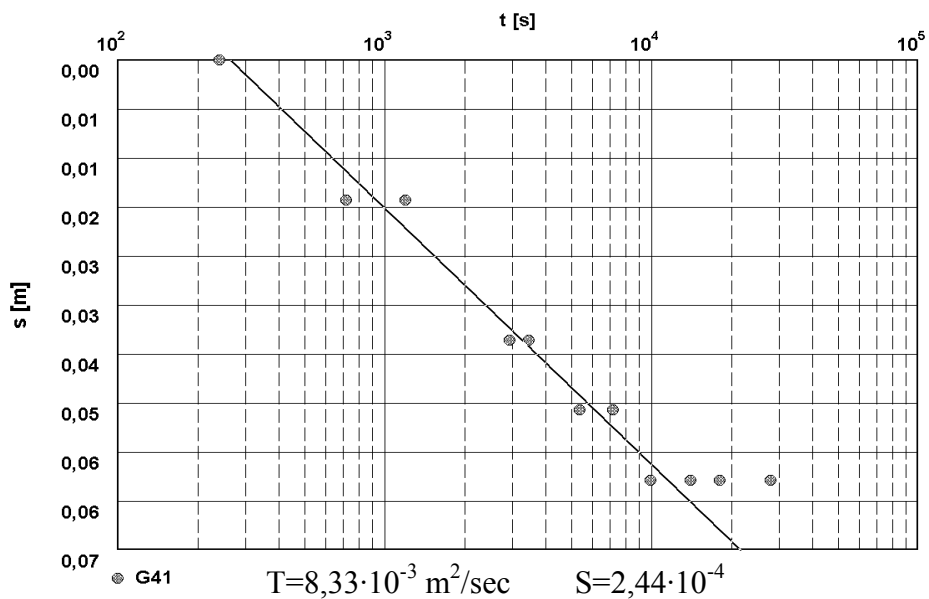
Η γεώτρηση Γ41 (Σχήμα 5.19) βρίσκεται και αυτή στην τοποθεσία Κερκιδάρι του δήμου Κεριού και σε απόσταση 45 m από τη γεώτρηση Γ26. Καθ' όλη τη διάρκεια άντλησης στη γεώτρηση Γ26, γινόταν παρακολούθηση της πτώσης στάθμης στη γεώτρηση Γ41. Το πάχος του υδροφόρου στρώματος είναι 29,7 m.



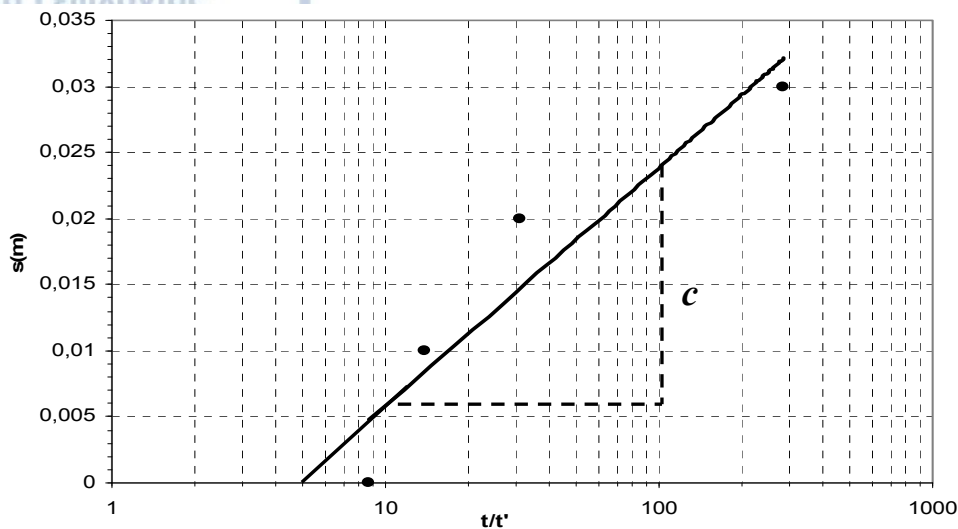
Σχήμα 5.19: Η γεώτρηση Γ41.



Σχήμα 5.20: Μέθοδος Theis για τη γεώτρηση Γ41.



Σχήμα 5.21: Μέθοδος Cooper-Jacob για τη γεώτρηση Γ41.



Σχήμα 5.22: Διάγραμμα επαναφοράς στάθμης για τη γεώτρηση Γ41.

Η επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων με τη μέθοδο Theis (1935) και ο προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων T και S , φαίνονται στα διαγράμματα του Σχήματος 5.20, ενώ τα αποτελέσματα της μεθόδου Cooper-Jacob (1946), στο διάγραμμα του Σχήματος 5.21. Η επαναφορά της στάθμης στη γεώτρηση Γ41 παριστάνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 5.22.

Από το διάγραμμα του Σχήματος 5.22, υπολογίζουμε το c , που είναι η πτώση στάθμης που αντιστοιχεί σε ένα λογαριθμικό κύκλο, ίσο με 0,09 m. Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στον παρακάτω τύπο, και την τιμή της παροχής, $q=60 \text{ m}^3/\text{h}$ η οποία ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της άντλησης, υπολογίζουμε την τιμή της παραμέτρου T , σύμφωνα με τη μέθοδο Theis (1935) της επανόδου της στάθμης:

$$T = 0,183 \cdot q/c = 0,183 \cdot 60/0,09 = 2,03 \text{ m}^2/\text{sec}$$

Στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα του υπολογισμού των υδραυλικών παραμέτρων του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα για τις γεωτρήσεις στις οποίες εκτελέστηκαν οι δοκιμαστικές αντλήσεις.

Πίνακας 5.2: Υδραυλικές παράμετροι του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Theis			Cooper-Jacob		
	S	T (m ² /sec)	k (m/sec)	S	T (m ² /sec)	k (m/sec)
ZΓ49 (Γ9)	$6,82 \cdot 10^{-3}$	$2,35 \cdot 10^{-3}$	$5,42 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,49 \cdot 10^{-3}$	$5,74 \cdot 10^{-5}$
Γ41	$2,08 \cdot 10^{-2}$	$8,52 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-3}$	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$

5.4. Υφιστάμενη κατάσταση υδατικών πόρων

Στην περιοχή της Ζακύνθου και συγκεκριμένα στην ανατολική πλευρά της, λόγω του πεδινού χαρακτήρα, των εύφορων εδαφών της και των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών, τα τελευταία 20–25 χρόνια εντατικοποιήθηκαν οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις, οι οποίες άλλωστε αποτελούν και σημαντικό οικονομικό πόρο των κατοίκων της. Πέραν της άρδευσης, συνεχώς αυξάνονται οι ανάγκες σε νερό και των άλλων χρήσεων, όπως υδρευτικής, βιοτεχνικής καθώς και χρήσεις αναψυχής δεδομένου ότι στο νησί και συγκεκριμένα στην παραθαλάσσια ζώνη τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τουριστικά συγκροτήματα, τα οποία κάθε χρόνο δέχονται μεγάλο αριθμό ντόπιων και ξένων επισκεπτών.

Οι καταναλώσεις της περιοχής σε νερό, ανά κατηγορία χρήσης, εκτιμώνται ως ακολούθως (Κουρής, 2001):

45% σε άρδευση

50% σε ύδρευση

3% σε βιομηχανική- βιοτεχνική χρήση

2% σε χρήση για αναψυχή

Η κάλυψη των συνολικών υδατικών αναγκών της Ζακύνθου γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από την εκμετάλλευση των υπόγειων νερών με μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων και φρεάτων.

Ο ρυθμός εκτέλεσης των υδρογεωτρήσεων υπήρξε αυξητικός από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έως και σήμερα, τόσο σε αριθμό όσο και σε διαρκώς αυξανόμενα βάθη, λόγω της διαδοχικής ταπείνωσης της στάθμης των υπόγειων νερών (κυρίως του φρεάτιου ορίζοντα) από την υπερεκμετάλλευσή τους και της αλλαγής των κλιματολογικών συνθηκών (μείωση βροχοπτώσεων).

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη χώρα μας, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 δεν υπήρχε Νομοθετικό πλαίσιο όσον αφορά τον περιορισμό ή την απαγόρευση

εκτέλεσης υδροληπτικών έργων γενικότερα, και υδρογεωτρήσεων ειδικότερα. Μετά από το 1990 θεσπίστηκαν στην περιοχή απαγορευτικά και περιοριστικά μέτρα όσον αφορά την ανόρυξη γεωτρήσεων, τα οποία άμβλυναν σε κάποιο βαθμό το πρόβλημα, όχι όμως ιδιαίτερα σημαντικά δεδομένου ότι η εφαρμογή τους είχε διοικητικές, αλλά και άλλες αδυναμίες.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες στη Ζάκυνθο εκτιμάται ότι έχουν εκτελεστεί περίπου 1.500- 2.000 γεωτρήσεις και φρέατα χωρίς προγραμματισμό, χωρίς μελέτη ή διαχειριστικό σχέδιο, όσον αφορά την «αντοχή» του υδροφόρου της περιοχής, με αποτέλεσμα σήμερα να απειλείται με ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση.

6. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

6.1. Γενικά

Η ποιότητα του υπόγειου νερού χαρακτηρίζεται από ορισμένα στοιχεία, όπως η χημική σύσταση, διάφορες φυσικοχημικές παράμετροι, βιολογικοί δείκτες, κλπ, ενώ εξαρτάται αφενός από την αρχική του σύσταση (κατακρημνίσματα) και αφετέρου από τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων στα οποία κινήθηκε και τελικώς του υδροφόρου στρώματος μέσα στο οποίο φιλοξενείται.

Κύριο εργαλείο για τον προσδιορισμό της ποιότητας του υπόγειου νερού είναι οι χημικές αναλύσεις, οι οποίες εκφράζονται με διάφορες τιμές. Με τη βοήθειά τους μπορεί να προσδιοριστεί η ποιότητα ενός δείγματος νερού, η καταλληλότητά του για διάφορες χρήσεις και ενδεχομένως η υπόγεια διαδρομή του και η διέλευσή του μέσα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων περισσότερων του ενός δειγμάτων, κατασκευάζονται ειδικά υδροχημικά διαγράμματα και χάρτες που επιτρέπουν συγκρίσεις, κατατάξεις, χαρακτηρισμούς και γενικά, την εξαγωγή συμπερασμάτων για το πλήθος των δειγμάτων του υπόγειου νερού.

6.2. Κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού

Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού είναι το χρώμα, η οσμή, η θολότητα, η θερμοκρασία και η ραδιενέργεια. Στη συνέχεια, αναλύονται τα σημαντικότερα χημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού.

6.2.1. Ενεργός Οξύτητα (pH)

Είναι μία παράμετρος η οποία παίζει ουσιαστικό ρόλο στην αξιολόγηση της υδροχημείας του υπόγειου νερού. Ορίζεται ως η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχονται σε συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος νερού και εκφράζεται με τον αρνητικό λογάριθμο της συγκέντρωσης αυτής ($pH = -\log H_3O$).

Τα υπόγεια νερά, ως φυσικά νερά (δηλ. μη χημικώς καθαρά), ανάλογα με την πετρολογική σύσταση των σχηματισμών μέσα στους οποίους φιλοξενούνται και ρέουν, μπορεί να είναι όξινα ($pH < 7$), αλκαλικά ($pH > 7$) ή ουδέτερα ($pH = 7$). Ανάλογα με τη γεωλογική σύσταση των φιλοξενούντων σχηματισμών, υπάρχουν υπόγεια νερά με κλιμακούμενο pH: από υπεραλκαλικά (έχει μετρηθεί pH έως 11) έως υπερόξινα

(έχει μετρηθεί pH έως 4,5-5). Στο ίδιο σημείο του υπεδάφους, υπό φυσικές συνθήκες, στα βαθύτερα στρώματα το pH μεταβάλλεται περιορισμένα ανάλογα με τις συνθήκες ροής (διεύθυνση, ταχύτητα ροής, κλπ), ενώ στα πολύ ρηχά στρώματα, όπου η επίδραση του ανθρώπου και οι μεταβολές των φυσικών συνθηκών (σύσταση νερού βροχής, ταχύτητα ροής, κλπ) είναι έντονες, η διακύμανση της τιμής του pH είναι μεγαλύτερη (Σούλιος, 2006). Ενδεικτικές τιμές για το pH του πόσιμου νερού είναι: $6,5 < \text{pH} < 8,5$ (ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'-ΦΕΚ 892 / 11.07.2001, τεύχος Β')

6.2.2. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (E.C.)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μια σπουδαία υδροχημική παράμετρο και η μονάδα μέτρησής της είναι το $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν απαιτεί δυσκολία στη δειγματοληψία, ούτε πολύπλοκες συσκευές, ενώ συνδέεται στενά με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό το λόγο η μέτρηση της τελευταίας θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25°C). Έτσι, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτροδιαλυτών (Βουδούρης, 2009).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί όχι μόνο έναν ασφαλή τρόπο διάγνωσης της ποιότητας του υπόγειου νερού, αλλά και έναν πολύ γρήγορο χονδρικό προσδιορισμό της χημικής του σύστασης. Το ενδεικτικό επίπεδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι περίπου $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ (συνήθως $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ έως $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ για τα γλυκά υπόγεια νερά), ενώ σε περιπτώσεις όπου ο υδροφορέας έχει υποστεί υφαλμύρωση η τιμή αυτή υπερβαίνει τα $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

6.2.3. Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S.)

Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κolloειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη σχέση (Matthess, 1973):

$$\text{T.D.S (mgr/l)} = 0,65 \cdot \text{E.C. (}\mu\text{S/cm)}$$

Το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται ως γλυκό αν το T.D.S κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0-1.000 mgr/l, υφάλμυρο για τιμές 1.000-10.000 mgr/l, αλμυρό για το εύρος τιμών 10.000-100.000 mgr/l και υπεραλμυρό για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mgr/l.

Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση της ορυκτής ύλης. Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά, λόγω φόρτισης με άλατα από τη διάλυση των πετρωμάτων. Γενικά, το T.D.S στα υπόγεια νερά αυξάνεται με το χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος, και επομένως αυξάνεται με το μήκος της υπόγειας διαδρομής την οποία αυτά έχουν διανύσει (Σούλιος, 2006).

6.2.4. Σκληρότητα

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} . Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία και έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις του νερού, εφόσον αποτελεί δείκτη της τάσης σχηματισμού ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, της ικανότητας δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων, κ.α. (Μήτρακας, 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού, μεταξύ των άλλων, σχετίζεται και με καρδιακές παθήσεις στον άνθρωπο.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική ή ανθρακική, μόνιμη ή μη ανθρακική και ολική (το άθροισμα παροδικής και μόνιμης).

6.2.5. Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- . Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Τα χλωριούχα, θειϊκά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα (Βουδούρης, 2009).

6.2.6. Ιόντα Νατρίου (Na^+)

Κατά τους Richter and Kreitlel (1993), τα ιόντα νατρίου (Na^+) προέρχονται από την αποσύνθεση των αστρίων ή από άλατα του νατρίου, ενώ σύμφωνα με τον

Καλλέργη (2001), ως κύρια προέλευση έχουν τον αλβίτη, τα αργιλικά ορυκτά, τους εβαπορίτες (όπως ο αλίτης) και διάφορα βιομηχανικά απόβλητα.

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/l, ενώ στο θαλασσίνο νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/l (Βουδούρης, 2009). Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν (αυξάνει την αρτηριακή πίεση). Οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου γενικά πρέπει να είναι μικρότερες των 200 mg/l, ενώ υψηλότερες τιμές επηρεάζουν τη γεύση του πόσιμου νερού.

Οι υψηλές τιμές των συγκεντρώσεων του νατρίου οφείλονται στο μεγάλο χρόνο παραμονής του υπόγειου νερού στο έδαφος και στη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης του ασβεστίτη, δολομίτη και των αργιλικών ορυκτών.

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τις συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου για τον προσδιορισμό του είδους των αλμυρών υπόγειων νερών (Leonard and Ward 1962, Custodio 1987, Dazy et al. 1995, Kim et al. 2003), όπως επίσης και για τον προσδιορισμό των υδροχημικών χαρακτηριστικών και των συνθηκών τροφοδοσίας για τα διάφορα υδροφόρα στρώματα.

6.2.7. *Ιόντα Καλίου (K^+)*

Τα ιόντα καλίου (K^+) προέρχονται κυρίως από πετρώματα πλούσια σε ορθόκλαστο και μικροκλινή, ενώ αποτελούν προϊόν αποσάθρωσης των καλιούχων αστρίων. Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001), οι συγκεντρώσεις καλίου στα υπόγεια νερά δεν ξεπερνούν τα 10 mg/l, στις θερμές πηγές τα 100 mg/l και στις «σαλαμούρες» (υπεράλμυρα νερά) ανέρχονται έως και τα 25.000 mg/l. Επίσης, οι Richter and Kreitlel (1993) αναφέρουν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων καλίου απαντώνται συχνά σε νερά μεταλλείων, θερμών πηγών και σε αλμύρες που προκύπτουν από τη διάλυση του συλβίνη.

6.2.8. *Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})*

Τα ιόντα μαγνησίου (Mg^{2+}) απαντώνται στον ολιβίνη, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης, στα ανθρακικά πετρώματα στα οποία είναι περισσότερο άφθονα όταν αυτά περιέχουν μαγνησίτη και δολομίτη (Βουδούρης, 2009). Η περιεκτικότητα του μαγνησίου στα υπόγεια νερά δεν ξεπερνά τα 530 meq/l (Schoeller, 1955).

6.2.9. *Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{2+})*

Τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) αποτελούν τα επικρατέστερα ιόντα των υπόγειων νερών, ενώ το ασβέστιο αποτελεί το βασικό χημικό συστατικό των ορυκτών των περισσότερων γεωλογικών υδροφόρων σχηματισμών. Κύρια προέλευση των ιόντων ασβεστίου είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα, ενώ η περιεκτικότητά του στα υπόγεια νερά μπορεί να φθάσει τα 1.200 meq/l (Schoeller, 1975).

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001), ιόντα ασβεστίου εντοπίζονται σε υδροφορείς με σύσταση από ασβεστόλιθο, γύψο ή γυψούχο αργιλικό σχιστόλιθο. Επίσης, ορυκτά όπως αμφίβολοι, άστριοι, πυρόξενοι, αραγωνίτες, ασβεστίτες και διάφορα αργιλικά ορυκτά αποτελούν την κύρια προέλευση του ασβεστίου, με τυπικές τιμές στα υπόγεια νερά μικρότερες των 100 mg/l.

Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου εξαρτάται κυρίως από την τιμή του pH, τη μερική πίεση του CO_2 (Πανίλας 1998, Back 1986, Morse and Mackenzie 1990, Stanford and Konikow 1989, Hanor 1978) και την παρουσία των ανθρακικών ορυκτών. Επίσης, οι συγκεντρώσεις τους επηρεάζονται από διεργασίες όπως η καθίζηση, η διάλυση και η ιοντική ανταλλαγή, ενώ σε μικρότερο βαθμό επηρεάζονται από την ανάμιξη του γλυκού νερού με το αλμυρό νερό.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου είναι μεγαλύτερες από αυτές των ιόντων μαγνησίου στα υπόγεια νερά, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στο θαλασσινό νερό όπου η συγκέντρωση του μαγνησίου είναι τριπλάσια σε σχέση με τη συγκέντρωση του ασβεστίου (Goldberg and Melloul, 1994).

6.2.10. *Ιόντα Χλωρίου (Cl)*

Τα ιόντα χλωρίου αποτελούν ένα συντηρητικό δείκτη ο οποίος δεν απορροφάται εύκολα από τα σωματίδια της στερεάς φάσης, ούτε αντιδρά εύκολα με αυτά, και επομένως δε μεταβάλλεται χημικά. Η απομάκρυνσή τους μπορεί να επιτευχθεί μόνο με καθίζηση, η οποία προκαλείται κατά τη διάρκεια της εξάτμισης σε πολύ προχωρημένο στάδιο (Custodio 1987, Καλλιώρας 2007).

Οι κυριότερες φυσικές πηγές προέλευσης των ιόντων χλωρίου των υπόγειων νερών είναι τα προϊόντα διάλυσης των εβαποριτών ($NaCl$), η απόπλυση αλμυρών νερών εγκλωβισμένων σε λεπτόκκοκες ιζηματογενείς αποθέσεις και η θαλάσσια διείσδυση στους υδροφορείς. Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001), ως κύρια πετρώματα προέλευσης αναφέρονται οι εβαπορίτες.

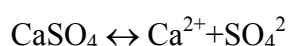
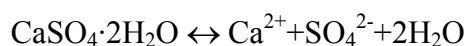
Η τυπική συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου για τις υγρές περιοχές είναι μικρότερη από 10 mg/l, ενώ στις ξηρές περιοχές ξεπερνά τα 1.000 mg/l. Αναφορικά με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες εντείνουν το φαινόμενο της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών, αυτές είναι τα άλατα για αποπαγοποίηση των δρόμων, τα βιομηχανικά, οικιακά και αγροχημικά απόβλητα, οι αλμύρες των πετρελαϊκών πεδίων και φυσικά η θαλάσσια διείσδυση λόγω ανεξέλεγκτων αντλήσεων.

Οι Richter και Kreitler (1993) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στο βρόχινο νερό συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1-20 mg/l στη στενή ζώνη της ακτογραμμής, ενώ μεταβάλλεται σε λιγότερο από 1 mg/l προς την ενδοχώρα. Θεωρείται ότι υγρά σταγονίδια θαλασσινού νερού, τα οποία είτε ψεκάζονται κατευθείαν από τη θάλασσα είτε μεταφέρονται μέσω ανέμων, ενδέχεται να ρυπάνουν επιφανειακά νερά της ενδοχώρας ή να επικαθίσουν στην επιφάνεια προκαλώντας αλμύριση του εδάφους (Καλλιώρας, 2007).

Λόγω της συντηρητικής χημικής συμπεριφοράς των ιόντων χλωρίου καθώς επίσης και λόγω της συμμετοχής τους στις διαδικασίες της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών, τα ιόντα αυτά χρησιμοποιούνται ως η κύρια παράμετρος προσδιορισμού της υποβάθμισης των υπόγειων νερών (Todd 1959, Custodio and Llamas 1976, Custodio, 1997, Custodio et al. 1987). Ενδεικτικό επίπεδο για το πόσιμο νερό σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία είναι τα 25 mg/l, ενώ η παραμετρική τιμή της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/l.

6.2.11. Θειϊκά Ιόντα (SO_4^{2-})

Τα θειϊκά ιόντα στο υπόγειο νερό προέρχονται κυρίως από τη διάλυση της γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) και του ανυδρίτη ($CaSO_4$), σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Επίσης, ο εμπλουτισμός του νερού σε SO_4^{2-} πραγματοποιείται κατά την κίνησή του δια μέσω σχηματισμών με υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, καθώς και από την έκπλυση των καλλιεργούμενων εδαφών στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί

θειούχα λιπάσματα (Aschenbrenner et al., 1992). Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις των θειϊκών ιόντων παρουσιάζουν σημαντική μείωση λόγω αναγωγής, εξαιτίας μικροβιολογικών αντιδράσεων.

6.2.12. Νιτρικά Ιόντα (NO_3^-)

Η πιο διαδεδομένη μορφή ρύπανσης τόσο του υπόγειου όσο και του επιφανειακού νερού, είναι η νιτρορύπανση (Cander, 1997). Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως της φυτικής και της ζωικής πρωτεΐνης. Οι γεωργικές διεργασίες με αζωτούχα λιπάσματα, η απρογραμμάτιστη άρδευση των καλλιεργειών καθώς και τα περιττώματα των διάφορων οικόσιτων ζώων, αποτελούν τις κύριες πηγές συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό (Perez et al. 2003, Porta et al. 1996).

Επίσης, η μεγάλη συγκέντρωση και διάδοση του διαλυμένου αζώτου υπό μορφή νιτρικής ρίζας (NO_3^-), οφείλεται στην απόρριψη, επιφανειακή ή υπόγεια, των λυμάτων. Σε μικρότερες αναλογίες, το διαλυμένο άζωτο απαντά επίσης στο αμμώνιο (NH_4^+), στην αμμωνία (NH_3), στη νιτρώδη ρίζα (NO_2^-), στο υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και στο άζωτο (N_2) οργανικής ή ανόργανης προέλευσης.

Οι πηγές του αζώτου διακρίνονται σε άμεσες, όπως τα απόβλητα ή τα λιπάσματα, και σε έμμεσες κατά τις οποίες παράγεται NO_3^- από άζωτο οργανικής προέλευσης ή από NH_4^+ . Οι διαδικασίες δημιουργίας NO_3^- είναι πολύπλοκες και περιλαμβάνουν την αμμωνιοποίηση (μετατροπή N οργανικής προέλευσης σε NH_4^+) και τη νίτρωση (οξειδωση NH_4^+ σε NO_3^-). Η αμμωνιοποίηση και η νίτρωση λαμβάνουν χώρα πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, όπου αφθονούν τα οργανικά υλικά και το οξυγόνο και επομένως το άζωτο στο υπόγειο νερό προέρχεται γενικά από πηγές αζώτου που βρίσκονται στην εδαφική ζώνη ή σε ρηχές υπεδαφικές ζώνες.

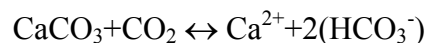
Το υπόγειο νερό των πολύ υδροπερατών ή ρωγματομένων υδροφόρων στρωμάτων είναι γενικά πλούσιο σε NO_3^- , γιατί περιέχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και η νιτρική ρίζα είναι η σταθερή μορφή του αζώτου σε οξειδωτικό περιβάλλον. Χαρακτηριστική περίπτωση αυτού είναι τα καρστικά πετρώματα, στα οποία αναπτύσσονται ρηχοί υδροφορείς, δηλαδή με μικρό πάχος ακόρεστης ζώνης. Επομένως, αυτές οι περιοχές παρουσιάζονται ιδιαίτερα ευαίσθητες σε φαινόμενα νιτρορύπανσης (Laftouhi et al. 2003, Freeze and Cherry 1979, Stenich et al. 1996). Η ελάττωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής προκαλεί απονίτρωση (Payne, 1981), δηλαδή αναγωγή του NO_3^- αρχικά σε N_2O και μετέπειτα σε N_2 . Όταν

το νερό ξεπεράσει την ακόρεστη ζώνη, ένα μέρος του N_2O ή του N_2 χάνεται με εξαέρωση.

Η απονίτρωση είναι επιθυμητή, και αυτό γιατί τα N_2O και N_2 δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα του πόσιμου νερού, σε αντίθεση με το NO_3^- , όπου συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 50 mg/l κάνουν το νερό ακατάλληλο προς πόση, ενώ για συγκεντρώσεις πάνω από 450 mg/l το νερό είναι ακατάλληλο ακόμα και για τις καλλιέργειες (ΦΕΚ 892/11.07.2001, τεύχος Β'). Η απονίτρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί και από βακτήρια του εδάφους.

6.2.13. Όξινα Ανθρακικά Ιόντα (HCO_3^-)

Η οξινοανθρακική ρίζα είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά και προέρχεται από τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων (κυρίως ασβεστολίθων και δολομιτών) στο νερό, καθώς και από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ή από την απελευθέρωση κατά την αποσύνθεση των οργανικών υλικών στο υπέδαφος, σύμφωνα με την αντίδραση:



Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών ιόντων εντοπίζονται σε νερά τα οποία έχουν κινηθεί σε ανθρακικούς σχηματισμούς, ενώ οι χαμηλότερες σε αυτά που κινούνται δια μέσω κρυσταλλικών και πυριτικών πετρωμάτων.

6.3. Δειγματοληψία του υπόγειου νερού

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μετρήθηκαν επιτόπου οι εξής φυσικοχημικές παράμετροι: η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), το pH, ενώ στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου. Τα δεδομένα των συγκεντρώσεων των ιόντων νατρίου (Na^+), καλίου (K^+), μαγνησίου (Mg^{2+}), ασβεστίου (Ca^{2+}), θεικών (SO_4^{2-}), νιτρικών (NO_3^-) και όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) συγκεντρώθηκαν από χημικές αναλύσεις του Ι.Γ.Μ.Ε., προκειμένου να προσδιοριστεί η χωροχρονική μεταβολή της ποιότητας των υπόγειων νερών.

Από υπολογισμούς με βάση τις παραπάνω μετρήσεις, προσδιορίστηκαν επιπλέον τα συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.), η σκληρότητα (ολική, παροδική, μόνιμη), η αλκαλικότητα, και οι λόγοι Ca/Mg, Ca/SO₄, Na/Cl. Η επεξεργασία των

αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, για τον έλεγχο της ορθότητας και τον υπολογισμό των διάφορων συντελεστών έγινε με το πρόγραμμα AquaChem 5.1 (WHI software group, 2006). Τα αποτελέσματα για το κάθε ένα δείγμα νερού ξεχωριστά παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I, στο τέλος της παρούσης εργασίας.

Η ορθότητα των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού ελέγχθηκε με βάση το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων:

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = [(\Sigma^{(+)} - \Sigma^{(-)}) / (\Sigma^{(+)} + \Sigma^{(-)})] \cdot 100$$

Το σύμβολο Σ δηλώνει το άθροισμα κατιόντων-ανιόντων κατά περίπτωση και οι συγκεντρώσεις είναι σε meq/l. Το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Στις χημικές αναλύσεις όλων των δειγμάτων νερού το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων δεν ξεπέρασε το 1,74%, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I).

6.4. Προσδιορισμός ιόντων χλωρίου με χρήση της μεθόδου Mohr

6.4.1. Γενικά

Σε δείγματα νερού που πάρθηκαν κατά τον μήνα Δεκέμβριο του 2008, από υδρογεωτρήσεις της Ζακύνθου μετρήθηκαν τα χλωριούχα με τη βοήθεια της αναλυτικής μεθόδου ογκομέτρησης με διάλυμα αργύρου (μέθοδος Mohr). Η εκτέλεση της μεθόδου πραγματοποιήθηκε στον χώρο του Χημείου του Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών. Στη συνέχεια περιγράφεται ο απαιτούμενος εξοπλισμός και τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν, η διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς παραθέτονται και τα αποτελέσματα αυτής.

6.4.2. Απαιτούμενος εξοπλισμός και αντιδραστήρια

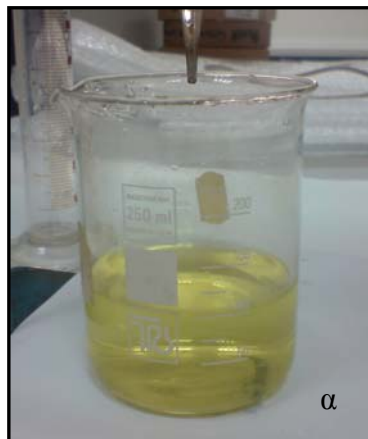
Για την εκτέλεση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν κωνικές φιάλες των 250ml, ογκομετρικός σωλήνας των 100ml, προχοΐδα των 50ml, απιονισμένο νερό, πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,01N (AgNO_3) και δείκτης χρωμικού καλίου 2% K_2CrO_4 (Σχήμα 6.1, 6.2).



Σχήμα 6.1: Διάλυμα χρωμικού καλίου. **Σχήμα 6.2:** Εξοπλισμός για την εκτέλεση της μεθόδου.

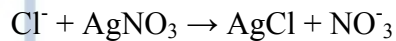
6.4.3. Διαδικασία μέτρησης

Τοποθετούνται 50ml AgNO_3 στην προχοΐδα. Σε 100ml δείγματος νερού προστίθεται 1ml (3 σταγόνες) διαλύματος K_2CrO_4 και η φιάλη ανακινείται ελαφρά. Το δείγμα τιτλοδοτείται με το πρότυπο διάλυμα AgNO_3 που περιέχεται στην προχοΐδα με συνεχή ανακίνηση μέχρι τελικού σημείου, όπου παρατηρείται αλλαγή του χρώματός του από κίτρινο (Σχήμα 6.3α) σε καστανέρυθρο (Σχήμα 6.3β) (Θεμελής, Ζαχαριάδης 1997, Νταρακάς 2009).



Σχήμα 6.3: α) Αρχικό χρώμα δείγματος, πριν την προσθήκη διαλύματος νιτρικού αργύρου, β) το δείγμα χρωματίζεται μετά την προσθήκη του νιτρικού αργύρου.

Σημειώνονται τα ml του AgNO_3 που καταναλώθηκαν. Η διαδικασία ακολουθείται για κάθε ένα από τα δείγματα. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την εκτέλεση της μεθόδου είναι η εξής:



Για τον υπολογισμό των ιόντων χλωρίου χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$\text{mgr/l Cl}^- = (A - B) \times N \times (35450 / C)$$

όπου $A - B$: η διαφορά της αρχικής ένδειξης της προχοΐδας από την τελική, δηλαδή τα ml διαλύματος AgNO_3 που καταναλώθηκαν

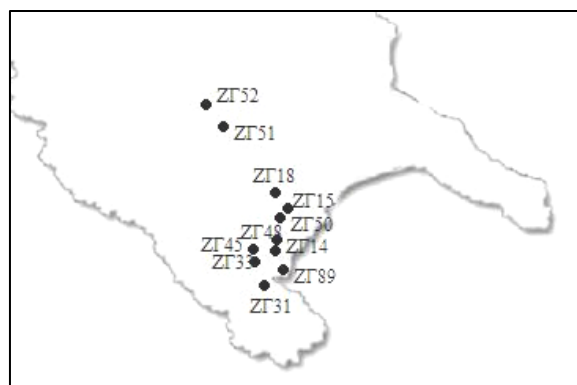
N : η κανονικότητα του διαλύματος AgNO_3 που χρησιμοποιήθηκε

C : ο όγκος του δείγματος σε ml

Στον Πίνακα 6.1 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου που υπολογίστηκαν με βάση τον παραπάνω τύπο, για δείγματα νερού που πάρθηκαν από γεωτρήσεις στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα (Σχήμα 6.4).

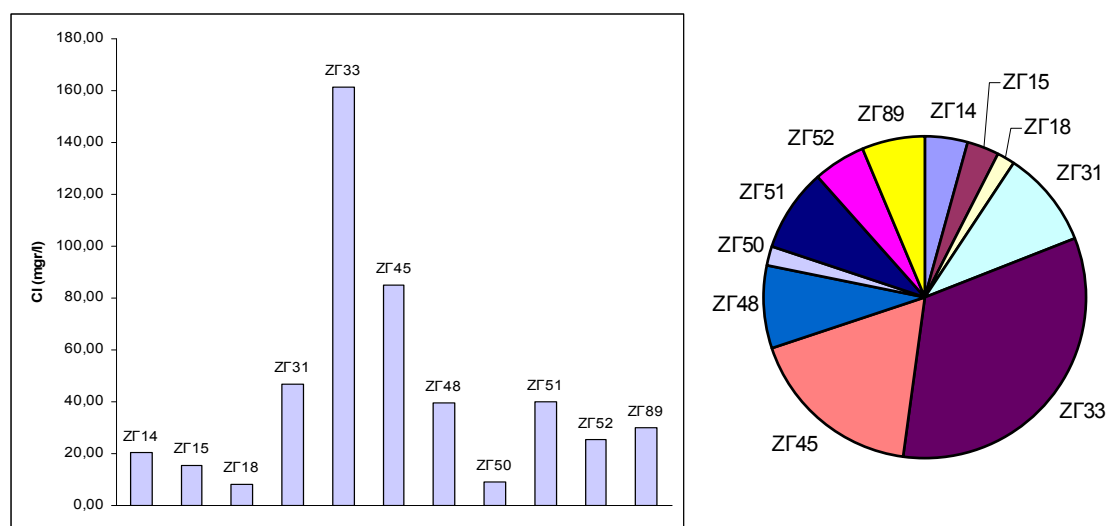
Πίνακας 6.1: Συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου σε δείγματα νερού γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφόρο (Δεκέμβριος 2008).

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	A-B(ml)	N	C(ml)	Cl ⁻ (mgr/l)
ZΓ14	5,8	0,01	100	20,56
ZΓ15	4,3	0,01	100	15,24
ZΓ18	2,3	0,01	100	8,15
ZΓ31	13,2	0,01	100	46,79
ZΓ33	45,5	0,01	100	161,30
ZΓ45	24,0	0,01	100	85,08
ZΓ48	11,1	0,01	100	39,35
ZΓ50	2,6	0,01	100	9,22
ZΓ51	11,3	0,01	100	40,06
ZΓ52	7,2	0,01	100	25,52
ZΓ89	8,5	0,01	100	30,13

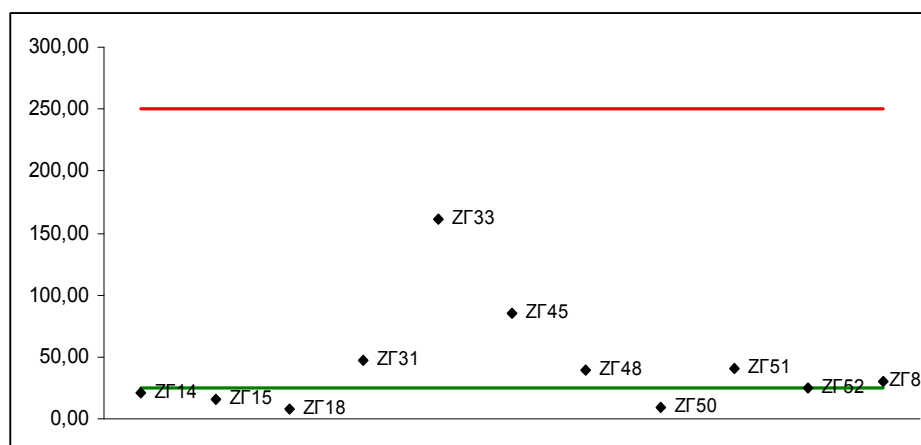


Σχήμα 6.4: Θέσεις των γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα.

Κατά την περίοδο του Δεκεμβρίου του 2008, οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 8,15 mgr/l και 161,30 mgr/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (Σχήμα 6.5) παρατηρούνται στις γεωτρήσεις ΖΓ33 (161,30 mgr/l) και ΖΓ45 (85,08 mgr/l). Το επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό γενικά είναι περί τα 25 mgr/l και το ανώτατο όριο μέχρι τα 250 mgr/l. Από το διάγραμμα του Σχήματος 6.6, φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις στα δείγματα των περισσότερων γεωτρήσεων βρίσκονται γύρω από την τιμή 25 mgr/l (πράσινου χρώματος), με εξαίρεση τις δύο γεωτρήσεις ΖΓ33 και ΖΓ45 στις οποίες οι συγκεντρώσεις των ιόντων χλωρίου αποκλίνουν αρκετά από την τιμή αυτή, χωρίς όμως να αγγίζουν το ανώτατο όριο πόσιμότητας των 250 mgr/l (γραμμή κόκκινου χρώματος).



Σχήμα 6.5: Ιστόγραμμα και ποσοτική κατανομή των ιόντων χλωρίου σε δείγματα νερού γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφορέα (Δεκέμβριος 2008).

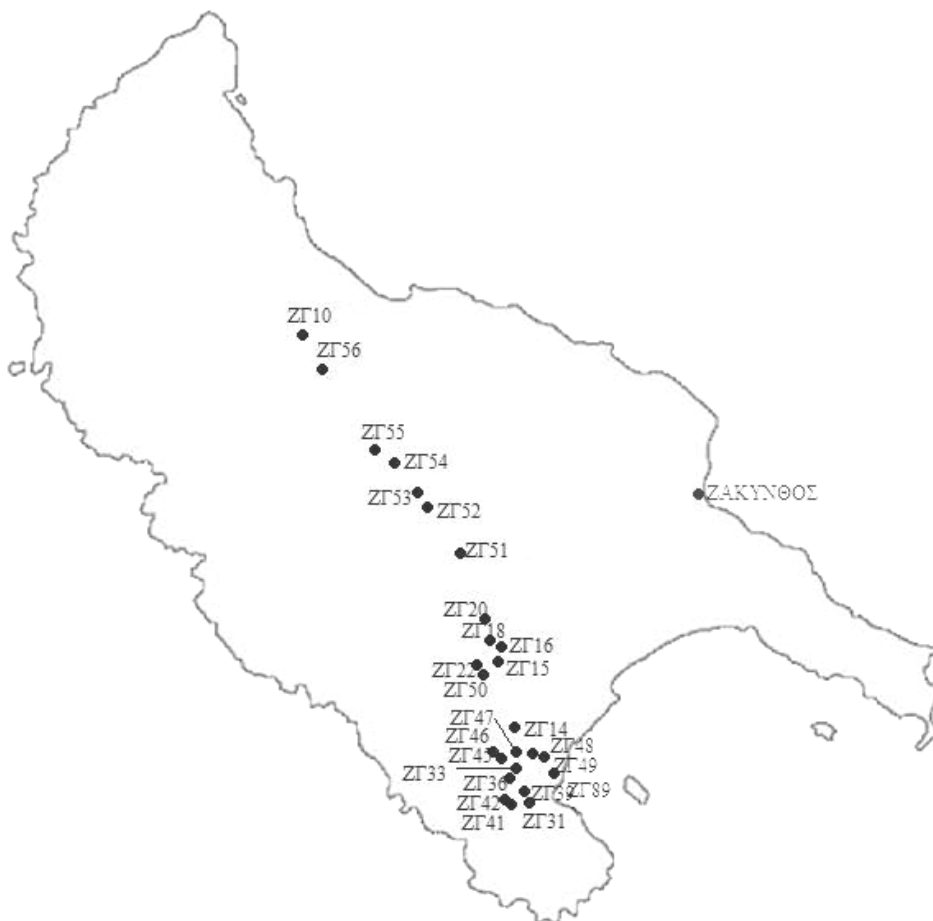


Σχήμα 6.6: Διάγραμμα συγκεντρώσεων ιόντων χλωρίου στις γεωτρήσεις του καρστικού υδροφόρου κατά τον μήνα Δεκέμβριο 2008.

6.5. Υδροχημική συμπεριφορά του καρστικού υδροφόρου (ενότητα Σκιναρίου-Κεριού)

6.5.1. Γενικά

Για τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, έγινε προσπάθεια να συγκεντρωθούν δεδομένα παλαιότερων χημικών αναλύσεων, οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί από το Ι.Γ.Μ.Ε Αθηνών (Σκαγιάς, 1984), όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά από το σύνολο του υδροφόρου σχηματισμού, προκειμένου να μελετηθεί διεξοδικά η υδροχημική του συμπεριφορά. Οι θέσεις των γεωτρήσεων φαίνονται στο Σχήμα 6.7. Οι συγκεντρώσεις των κύριων και δευτερευόντων ιόντων, καθώς και οι χημικοί τύποι νερού που προσδιορίστηκαν για την κάθε γεώτρηση και αφορούν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά το έτος 2006, φαίνονται στον Πίνακα 6.2.

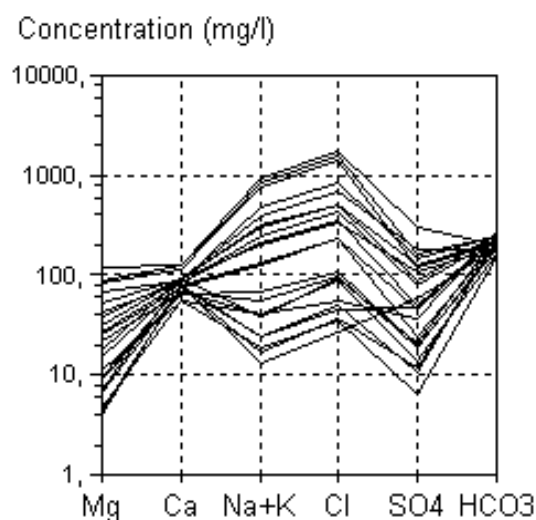


Σχήμα 6.7: Χάρτης Ζακύνθου με τις θέσεις των γεωτρήσεων.

Πίνακας 6.2: Συγκεντρώσεις ιόντων, μετρήσεις του pH και της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας και προσδιορισμός χημικού τύπου σε δείγματα νερού του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα για το 2006.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	pH	E.C.	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
	mgr/l	mgr/l	mgr/l	mgr/l	mgr/l	mgr/l	mgr/l	mgr/l		μS/cm	
ZΓ10	910	30,8	121	127	1744	300	0.0	203	8,1	5424	Na-Cl
ZΓ14	66,7	2,2	9,4	64,6	106	19,8	49.6	183	7,9	657	Ca-Na-HCO₃-Cl
ZΓ15	37,7	1,7	7,1	92,7	91,1	21,3	0.0	244	7,9	685	Ca-Na-HCO₃-Cl
ZΓ16	20,9	3	9,7	80,2	44	46,4	3.1	227	7,6	544	Ca-HCO₃-Cl
ZΓ18	16,1	0,9	4,4	73,8	36,9	11,7	3.1	218	7,8	457	Ca-HCO₃-Cl
ZΓ20	31,7	10	21,8	67,2	56,4	36,8	0.0	279	7,7	652	Ca-Mg-Na- HCO3-Cl
ZΓ22	17,6	0,9	4,7	56,4	35,5	6,5	24.8	153	7,9	375	Ca-HCO₃-Cl
ZΓ31	303	10	39,3	92,1	514	88	6.2	257	8,2	2138	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ33	828	0,9	85,7	116	1528	165	0.0	246	8,1	4694	Na-Cl
ZΓ36	11,7	1,7	4	80,6	26,6	57,5	0.0	187	7,6	457	Ca-HCO₃-SO₄
ZΓ39	122	3,9	25,1	75,9	229	44	0.0	243	7,9	1130	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ41	24	0,9	6,7	73,5	48,9	10,9	0.0	229	7,6	501	Ca-HCO₃-Cl
ZΓ42	460	16,1	67,4	89,6	862	148	3.1	241	8,1	3129	Na-Cl
ZΓ46	747	26,5	88,2	125	1386	120	0.0	212	8,2	4402	Na-Cl
ZΓ47	239	8,3	43,3	82,1	438	78	0.0	239	8	1773	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ48	204	7	27	83,4	359	50	0.0	243	8	1565	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ50	37,7	3	11,3	55,6	88,6	13,8	3.1	163	7,8	563	Ca-Na-HCO₃-Cl
ZΓ51	195	5,6	18	90,5	340	106	0.0	193	7,8	1435	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ52	131	4,3	15,7	77,5	238	24	3.1	207	7,8	1098	Na-Ca-Cl-HCO₃
ZΓ53	50,6	3,5	9,3	69,3	96,8	18,7	6.2	205	7,7	652	Ca-Na-HCO₃-Cl
ZΓ54	294	9,6	31,7	92,5	506	123	0.0	225	7,9	2065	Na-Ca-Cl
ZΓ56	384	13	52,3	90,6	674	179	0.0	184	8	2503	Na-Cl

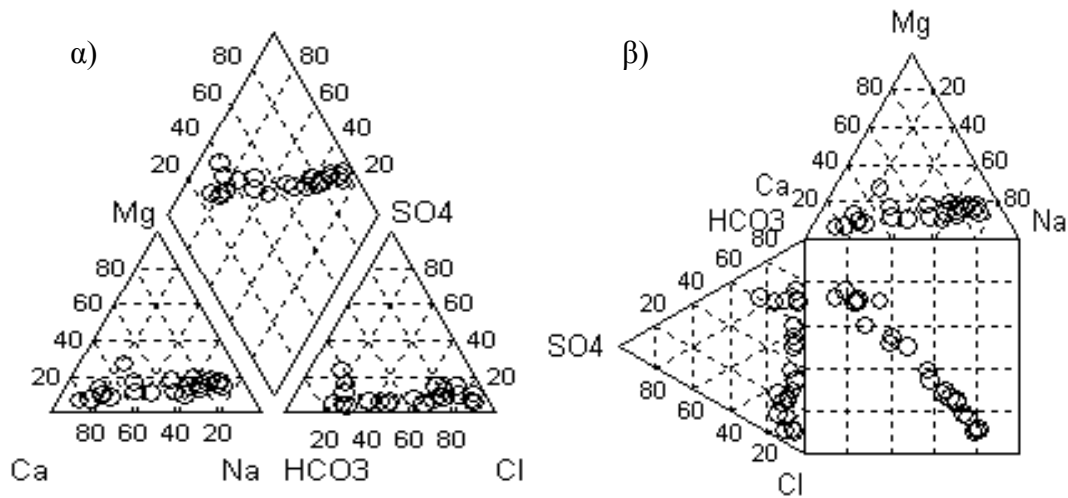
Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του Πίνακα 6.2, κατασκευάστηκε το ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller (Σχήμα 6.8). Οι καμπύλες με το κυρτό τους μέρος προς τα επάνω δηλώνουν υφάλμυρα νερά, ενώ οι καμπύλες με το κοίλο τους μέρος προς τα επάνω δηλώνουν γλυκά νερά. Επίσης, όσο πιο «πάνω» βρίσκεται μια καμπύλη, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή των συνολικών διαλυμένων ιόντων, δηλαδή το T.D.S. Είναι δυνατόν να ομαδοποιήσουμε τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που προβάλλονται στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller, ώστε δύο κύριοι τύποι διακρίνονται στο καρστ της ενότητας Σκιναριού-Κεριού: τα όξινα-ανθρακικά (HCO_3) με υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca), που οφείλονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς, και τα νατριο-χλωριούχα (Na-Cl) τα οποία είναι θαλάσσιας προέλευσης. Οι υπόλοιποι τύποι νερού με ποικίλες συγκεντρώσεις των διάφορων ιόντων, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν προέλθει από την ανάμιξη αυτών των δύο κύριων τύπων, κυρίως με την επίδραση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού.



Σχήμα 6.8: Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller αποτύπωσης των ιόντων από τις χημικές αναλύσεις στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ενότητας Σκιναριού-Κεριού.

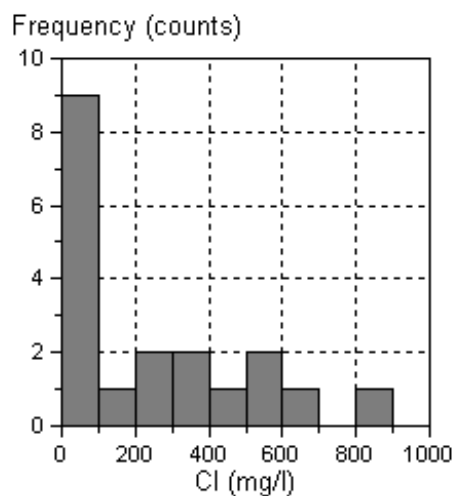
Η θέση των περισσότερων δειγμάτων στο διάγραμμα Piper (Σχήμα 6.9α) είναι χαρακτηριστική για νερά τα οποία προέρχονται από αυτήν ακριβώς την μίξη γλυκού νερού (Ca-HCO_3) με θαλασσινό νερό (Na-Cl) σε διάφορα ποσοστά. Στο Σχήμα 6.9β απεικονίζεται το διάγραμμα Durov, το τετραγωνικό τμήμα του οποίου μαρτυρεί την

υδροχημική διαδικασία της μίξης των δύο κύριων τύπων νερού που συμβαίνει στους καρστικούς σχηματισμούς της περιοχής.



Σχήμα 6.9: Θέση των δειγμάτων νερού από τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ενότητας Σκιναρίου-κεριού α) στο διάγραμμα Piper και β) στο διάγραμμα Durov.

Στο Σχήμα 6.10 φαίνεται η συχνότητα εμφάνισης των διάφορων τάξεων τιμών των ιόντων χλωρίου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων κατά το έτος 2006. Σε ποσοστό 90% των δειγμάτων από τις γεωτρήσεις στο καρστ της περιοχής μελέτης, η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου βρίσκεται μεταξύ των τιμών 0 και 100 mgr/l, δηλαδή χαμηλές τιμές με βάση το ανώτατο όριο ποσιμότητας των 250 mgr/l.

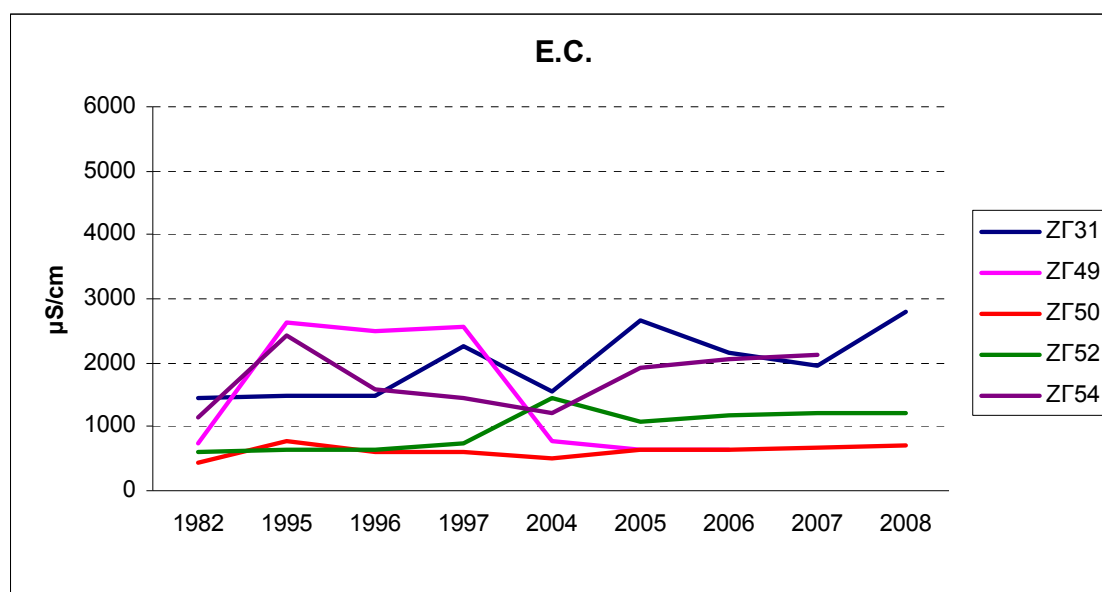


Σχήμα 6.10: Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης των ιόντων χλωρίου στα νερά των γεωτρήσεων των καρστικών σχηματισμών.

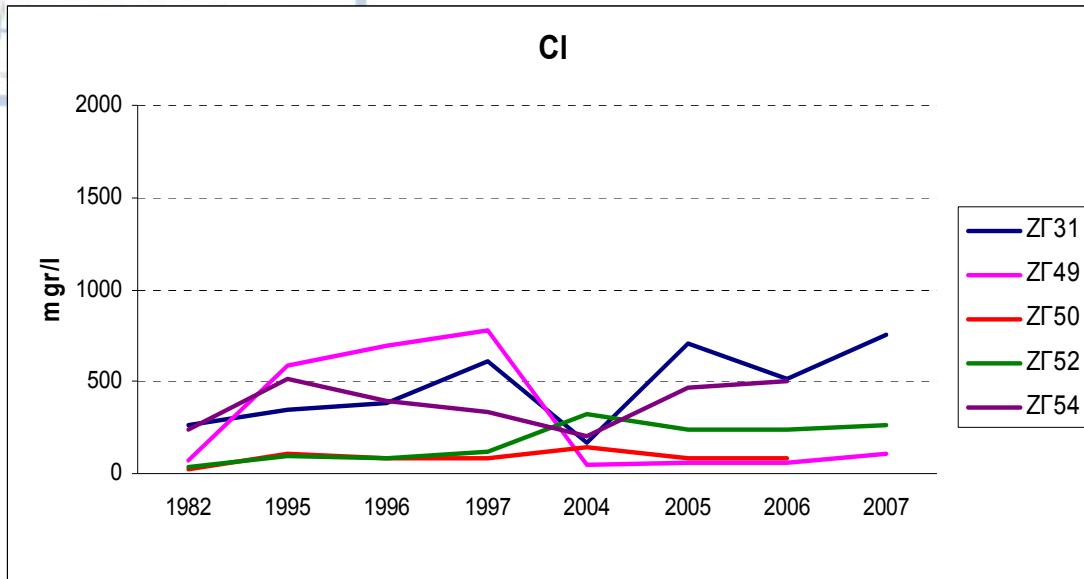
6.5.2. Χρονική μεταβολή της χημικής σύστασης

Η ύπαρξη χημικών αναλύσεων προηγούμενων ετών που πραγματοποιήθηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. Αθηνών (Σκαγιάς 1984, Σκαγιάς 1999, Κουρής 2001) για τις γεωτρήσεις των καρστικών σχηματισμών, σε συνδυασμό και με τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μελέτης, επέτρεψαν την κατασκευή διαγραμμάτων ικανών να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την ποιοτική εξέλιξη των καρστικών υδάτων με τον χρόνο, όσον αφορά τουλάχιστον μερικά από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους (Σχήματα 6.11-6.13). Σημειώνεται ότι οι τιμές των E.C., Cl και Ca που αναλύονται στα διαγράμματα αφορούν μετρήσεις που έγιναν στις γεωτρήσεις κατά την υγρή περίοδο κάθε έτους.

Το πιο εμφανές χαρακτηριστικό, είναι η συνεχής διαφοροποίηση της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου κατά την πάροδο των ετών από το 1982 έως το 2008, η οποία σε γενικές γραμμές φαίνεται να επηρεάζει ανάλογα την πορεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στο σύνολο των γεωτρήσεων, η συγκέντρωση των χλωριόντων παρουσιάζει μια αυξητική τάση, άλλοτε μικρότερη και άλλοτε πιο εμφανή, που οφείλεται στην άντλησή τους. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η γεώτρηση ΖΓ49 που μετά το 1997 εμφανίζει σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε χλώρια, η οποία πιθανόν να συνδέεται με σημαντικό περιορισμό των αντλούμενων ποσοτήτων νερού, προκειμένου να εξασφαλιστεί η διατήρηση της ποιότητάς του.

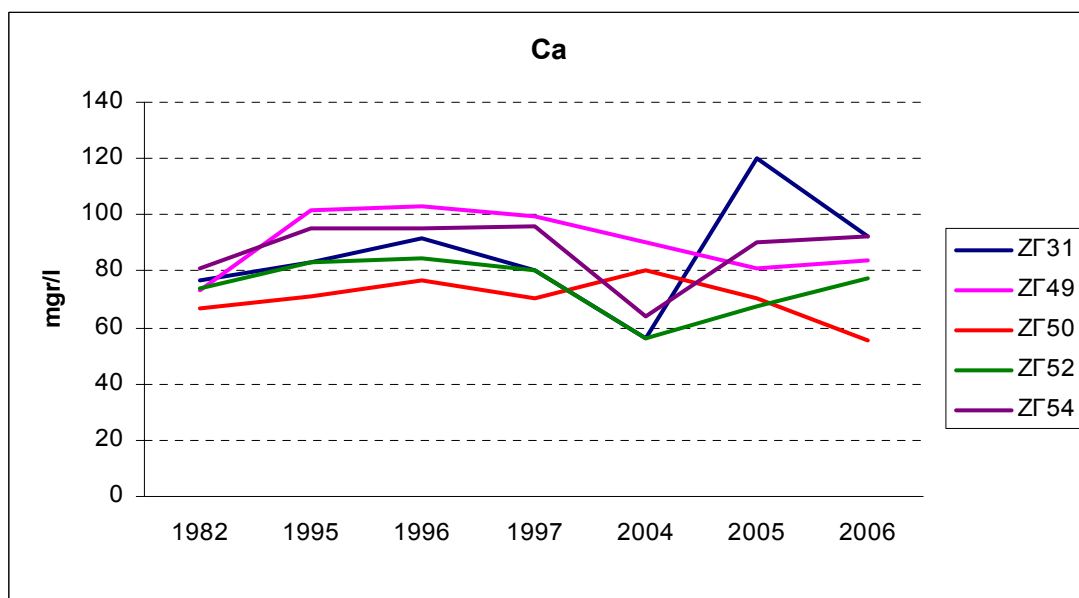


Σχήμα 6.11: Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα με τον χρόνο.



Σχήμα 6.12: Μεταβολή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου του νερού γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα με τον χρόνο.

Όσον αφορά στη μεταβολή των ιόντων ασβεστίου, αυτή φαίνεται επίσης να μην μεταβάλλεται σημαντικά σε κάθε γεώτρηση με την πάροδο των ετών και να ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη μεταβολή των ιόντων χλωρίου.



Σχήμα 6.13: Μεταβολή της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου του νερού γεωτρήσεων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα με τον χρόνο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα ανωτέρω, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα που αφορούν το νησί της Ζακύνθου:

A) Γεωλογικά-Τεκτονικά

Γεωτεκτονικά, το νησί της Ζακύνθου ανήκει στη ζώνη Παξών, εκτός του όρους Σκοπός στο ανατολικό της άκρο που δομείται από ιζήματα της Ιονίου ζώνης. Για το τμήμα αυτό της Ιονίου ζώνης, επικρατεί η άποψη ότι είναι επωθημένο στη ζώνη Παξών, μέσω ενός μεγάλου ρήγματος το οποίο αποτελεί και το γεωτεκτονικό όριο των δύο ζωνών.

Οι σχηματισμοί της ζώνης Παξών είναι αποκλειστικά ιζηματογενείς, με το μεγαλύτερο μέρος του νησιού να καλύπτεται από ασβεστόλιθους του Ανώτερου Κρητιδικού, επί των οποίων επικάθονται σε ασυμφωνία οι Ηωκαινικοί σχηματισμοί.

Οι σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης αποτελούνται κυρίως από Τριαδικά λατυποπαγή, τα οποία κατά κανόνα περιβάλλουν τις εμφανίσεις των Τριαδικών γύψων, καθώς και από μαύρους βιτουμενιούχους ασβεστόλιθους, οι οποίοι στρωματογραφικά επικάθονται των γύψων.

B) Υδρολογικά

Από υδρολογικής σκοπιάς και από την επεξεργασία των υδρομετεωρολογικών δεδομένων του σταθμού της Ε.Μ.Υ. του αεροδρομίου της Ζακύνθου, προκύπτουν τα ακόλουθα:

- 1) Η μέση βροχόπτωση ανέρχεται σε 844 mm (σύμφωνα με δεδομένα του σταθμού του αεροδρομίου της Ζακύνθου) και η μέση θερμοκρασία σε 18,3°C.
- 2) Ο κύριος επιφανειακός υδροκρίτης είναι η κορυφογραμμή του όρους Βραχίωνας, που στα δυτικά δημιουργεί πολλές μικρές λεκάνες απορροής και στα ανατολικά δημιουργεί τρεις κύριες λεκάνες απορροής με τελικούς αποδέκτες τους τρεις κύριους χείμαρρους του νησιού: των Αλυκών, του Αγίου Χαραλάμπους και του Λαγανά. Μεταξύ των δύο τελευταίων, υπήρχε η λίμνη Μακρή η οποία έχει αποστραγγιστεί και στη θέση της κατασκευάστηκε το σημερινό αεροδρόμιο του νησιού.
- 3) Ο υγρότερος μήνας προσδιορίστηκε ο Νοέμβριος, ενώ οι μήνες Ιούνιος και Ιούλιος είναι οι ξηρότεροι. Η αρχή της υγρής περιόδου του υδρολογικού έτους

εντοπίζεται τον Σεπτέμβριο και τελειώνει τον Μάιο. Από την εξίσωση της τάσης για τον σταθμό του αεροδρομίου, προκύπτει ότι το ετήσιο ύψος βροχής ελαττώνεται γραμμικά με τον χρόνο με ρυθμό 7 mm/year, για τη χρονική περίοδο 1970-2007.

- 4) Σε γενικές γραμμές, στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού υπάρχει επάρκεια νερού το χειμώνα αλλά το καλοκαίρι υπάρχει οξύ πρόβλημα έλλειψης νερού, λόγω των μειωμένων βροχοπτώσεων σε συνδυασμό και με την κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού λόγω της μεγάλης τουριστικής κίνησης.

Γ) Υδρογεωλογικά

Με βάση την υδρολιθολογική μελέτη της Ζακύνθου, τρεις είναι οι κυριότεροι υδροφόροι ορίζοντες οι οποίοι εκμεταλλεύονται για να καλύψουν τις υδατικές ανάγκες του νησιού:

- 1) Μέσα στους ψαμμίτες των Πλειοκαινικών σχηματισμών (υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας).
- 2) Μέσα στα αλλουβιακά ιζήματα του κεντροανατολικού πεδινού τμήματος του νησιού (φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας).
- 3) Μέσα στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς της ανθρακικής σειράς της ζώνης Παξών (ελεύθερος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας).

Από άποψη υδροφορίας οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, λόγω έντονης διάρρηξης και αποκάρσωσης ακόμα και σε αρνητικά επίπεδα, εμφανίζουν πλούσια υδροφορία. Η ισχυρή όμως διάρρηξη και η μεγάλο βαθμού αποκάρσωση διευκολύνουν την κατείδυση του βρόχινου νερού στη μάζα τους καθώς και την αποστράγγισή του στη θάλασσα, αλλά δημιουργούν και ειδικές συνθήκες για την είσοδο της θάλασσας στις περιοχές όπου γίνεται υπεράντληση του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Αυτό γίνεται γιατί κατά την άντληση σχηματίζεται ένας κώνος πτώσεως στάθμης στον υδροφόρο ορίζοντα και υποπίεσεις στην περιοχή αναρροφήσεως, που οφείλονται στη μείωση του στρώματος του γλυκού νερού. Στη συνέχεια, προκειμένου να επιτευχθεί δυναμική ισορροπία παρατηρείται κίνηση του υποκείμενου αλμυρού νερού προς τα επάνω, με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Μετά από τα ανωτέρω και δεδομένου ότι οι περισσότερες γεωτρήσεις έχουν ανορυχθεί στους πιο πάνω αναφερθέντες καρστικούς σχηματισμούς, και προκειμένου να αποφευχθεί η ποιοτική υποβάθμιση του αντλούμενου νερού και επειδή τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα δεν είναι ανεξάντλητα, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα

ώστε να αποφευχθούν οι ανεξέλεγκτες αντλήσεις (όσον αφορά την αντλούμενη παροχή και τη διάρκεια αντλήσεως) και να παρακολουθείται συνεχώς η δίαιτα του υδροφορέα, ει δυνατόν από χρόνο σε χρόνο σε συνδυασμό με τις ετήσιες απολήψεις.

Δ) Υδραυλικά Χαρακτηριστικά

Από την παρακολούθηση αντλητικών δοκιμών σε δυο γεωτρήσεις του καρστικού υδροφόρου της ενότητας Σκιναρίου-Κεριού, προσδιορίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι του υπόγειου νερού ως εξής:

- 1) Για τη γεώτρηση Γ9 (Λιθακιά), υπολογίστηκαν $S=6,82 \cdot 10^{-3}$, $T=2,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ και $k=5,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{sec}$ με τη μέθοδο Theis, ενώ με τη χρήση της μεθόδου Cooper-Jacob υπολογίστηκαν αντίστοιχα $S=4 \cdot 10^{-4}$, $T=2,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ και $k=5,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{sec}$.
- 2) Για τη γεώτρηση Γ41 (Κερκιδάρι), προσδιορίστηκαν οι τιμές $S=2,08 \cdot 10^{-2}$, $T=8,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ και $k=2,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}/\text{sec}$ με τη μέθοδο Theis, ενώ με τη μέθοδο Cooper-Jacob οι αντίστοιχες τιμές προσδιορίστηκαν $S=2,44 \cdot 10^{-4}$, $T=8,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ και $k=2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}/\text{sec}$.

Ε) Υδροχημικά

Η υδροχημική μελέτη των καρστικών υδροφόρων οριζόντων της Ζακύνθου έδειξε την πολυπλοκότητα των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη ροή του υπόγειου νερού. Ειδικότερα:

- 1) Στους ασβεστόλιθους που καταλαμβάνουν την ευρύτερη περιοχή Σκιναρίου-Κεριού, διακρίθηκαν δύο κύριοι τύποι υπόγειου νερού, με βάση τις περιεκτικότητες των κύριων και δευτερευόντων ιόντων: α)τα Ca-HCO_3 γλυκά νερά και β)τα Na-Cl νερά θαλάσσιας προέλευσης.
- 2) Από την ανάλυση των υδροχημικών διαγραμμάτων Piper και Durov, διαπιστώνεται η ανάμιξη των δύο κύριων τύπων υπόγειου νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία όλων των υπόλοιπων τύπων νερού.
- 3) Η χρονική διακύμανση των ιόντων ασβεστίου είναι μικρή, σε αντίθεση με τη χρονική μεταβολή των ιόντων χλωρίου η οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με τις αντλήσεις και επηρεάζει ανάλογα την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρείται με την πάροδο του χρόνου ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων της Ζακύνθου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απολήψιμων ποσοτήτων νερού καλής ποιότητας και την αναζήτηση νέων

σχεδίων για την κάλυψη των υφιστάμενων ελλειμμάτων. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να επιτευχθεί με ορθολογική διαχείριση των υπαρχόντων υδατικών πόρων (υπόγειων και επιφανειακών), με κατασκευή φραγμάτων για εμπλουτισμό, αφαλατώσεις για βελτίωση της ποιότητας του υποβαθμισμένου νερού, αλλά και με γεωτρητική έρευνα των ανθρακικών ιζημάτων (Κρητιδικών ασβεστόλιθων ζώνης Παξών) σε μεγάλα υψόμετρα.

Τέλος, απαιτείται συνεχής και συστηματική παρακολούθηση (monitoring) της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων υδροφορέων και ιδιαίτερα του καρστικού υδροφορέα της Ζακύνθου, ο οποίος είναι και ο πλέον ευάλωτος.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

SampleID	ZG10	
Ph	8.1	
Cond 20°C (µS)	5424	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	9,100E+02	3,958E+01
K +	3,080E+02	7,877E-01
Mg++	1,210E+02	9,955E+00
Ca++	1,270E+02	6,337E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1,744E+03	4,919E+01
SO4--	3,000E+02	6,246E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,030E+02	3,327E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 58,7657
Sum of Cations (meq/l)	: 56,6622
Balance:	: -1,82%

Calculated TDS(mg/l) : 3435,8

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 16,29	81,46	45,62	814,6
Permanent hardness	: 12,96	64,82	36,30	648,2
Temporary hardness	: 3,33	16,64	9,32	166,4
Alkalinity	: 3,33	16,64	9,32	166,4
(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)				

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	910,0	39,582	39,582	33,787
K +	30,8	0,788	0,788	0,0
Ca++	127,0	3,169	6,337	5,198
Mg++	121,0	4,977	9,955	7,797
Cl-	1744,0	49,192	49,192	42,451
SO4--	300,0	3,123	6,246	5,198
HCO3-	203,0	3,327	3,327	2,599

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,05	0,637	0.319	0.194
Ca/SO4	0,423	1,015	0.152	0.364
Na/Cl	0,522	0,805	0.556	0.858

Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 2315,572	39,5824
Sylvite (KCl)	: 58,726	0,7925
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 8,374	0,045
Anhydrite (CaSO4)	: 425,377	3,123

SampleID	ZG14	
Ph	7.9	
Cond 20°C (µS)	657	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	6,670E+02	2,901E+00
K +	2,200E+01	5,627E-02
Mg++	9,400E+01	7,733E-01
Ca++	6,460E+02	3,224E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1,060E+02	2,990E+00
SO4--	1,980E+02	4,123E-01
NO3-	4,960E+02	7,999E-01
HCO3-	1,830E+02	3,000E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 7,2016
Sum of Cations (meq/l) : 6,9544
Balance: : -1,75%

Calculated TDS (mg/l) : 501,3

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,0	19,98	11,19	199,8
Permanent hardness	: 1,0	4,99	2,79	49,9
Temporary hardness	: 3,0	15,00	8,40	150,0
Alkalinity	: 3,0	15,00	8,40	150,0

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	66,7	2,901	2,901	14,128
K +	2,2	0,056	0,056	0,0
Ca++	64,6	1,612	3,224	21,192
Mg++	9,4	0,387	0,773	0,0
Cl-	106,0	2,99	2,99	14,128
SO4--	19,8	0,206	0,412	0,0
HCO3-	183,0	3,0	3,0	21,192

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6,872	0.319 0.194
Ca/SO4	3,263	0.152 0.364
Na/Cl	0,629	0.556 0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 169,724	2,9013
Sylvite (KCl)	: 4,195	0,0566
Carbonate (CaCo3)	: 101,999	1,02
Dolomite (CaMg(CO3)2):	71,186	0,387
Anhydrite (CaSO4)	: 28,075	0,206

SampleID	ZG15	
Ph	7.9	
Cond 20°C (µS)	685	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	3,770E+02	1,640E+00
K +	1,700E+01	4,348E-02
Mg++	7,100E+01	5,841E-01
Ca++	9,270E+02	4,626E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	9,170E+02	2,587E+00
SO4--	2,130E+02	4,435E-01
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,440E+02	3,999E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 7,0295
Sum of Cations (meq/l)	: 6,8932
Balance:	: -0,98%

Calculated TDS(mg/l) : 496,2

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 5,21	26,05	14,59	260,5
Permanent hardness	: 1,21	6,05	3,39	60,5
Temporary hardness	: 4,0	20,00	11,20	200,0
Alkalinity	: 4,0	20,00	11,20	200,0

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	37,7	1,64	1,64	7,183
K +	1,7	0,043	0,043	0,0
Ca++	92,7	2,313	4,626	28,73
Mg++	7,1	0,292	0,584	0,0
Cl-	91,7	2,587	2,587	14,365
SO4--	21,3	0,222	0,443	0,0
HCO3-	244,0	3,999	3,999	21,548

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	13,056	7,919
Ca/SO4	4,352	10,43
Na/Cl	0,411	0,634

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 95,931	1,6398
Sylvite (KCl)	: 3,241	0,0437
Carbonate (CaCO3)	: 180,087	1,8009
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 53,768	0,292
Anhydrite (CaSO4)	: 30,202	0,222

SampleID	ZG16	
Ph	7.6	
Cond 20°C (µS)	544	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	2,090E+02	9,091E-01
K +	3,000E+00	7,673E-02
Mg++	9,700E+01	7,980E-01
Ca++	8,020E+02	4,002E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	4,400E+01	1,241E+00
SO4--	4,640E+02	9,661E-01
NO3-	3,100E+01	4,999E-02
HCO3-	2,270E+02	3,721E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 5,9780
Sum of Cations (meq/l)	: 5,7858
Balance:	: -1,63%

Calculated TDS(mg/l) : 434,3

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,8	24,00	13,44	240,0
Permanent hardness	: 1,08	5,40	3,02	54,0
Temporary hardness	: 3,72	18,60	10,42	186,0
Alkalinity	: 3,72	18,60	10,42	186,0

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	20,9	0,909	0,909	0,0
K +	3,0	0,077	0,077	0,0
Ca++	80,2	2,001	4,002	34,003
Mg++	9,7	0,399	0,798	0,0
Cl-	44,0	1,241	1,241	8,501
SO4--	46,4	0,483	0,966	0,0
HCO3-	227,0	3,721	3,721	25,502

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	8,268	5,015	0.319	0.194
Ca/SO4	1,728	4,142	0.152	0.364
Na/Cl	0,475	0,732	0.556	0.858

Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 53,182	0,9091
Sylvite (KCl)	: 5,72	0,0772
Carbonate (CaCo3)	: 112,005	1,1201
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 73,458	0,399
Anhydrite (CaSO4)	: 65,792	0,483

SampleID	ZG18	
Ph	7.8	
Cond 20°C (µS)	457	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,610E+02	7,003E-01
K +	.9	2,302E-02
Mg++	4,400E+01	3,620E-01
Ca++	7,380E+02	3,683E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	3,690E+02	1,041E+00
SO4--	1,170E+02	2,436E-01
NO3-	3,100E+01	4,999E-02
HCO3-	2,180E+02	3,573E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 4,9077
Sum of Cations (meq/l) : 4,7679
Balance: : -1,44%

Calculated TDS (mg/l) : 364,9

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,04	20,22	11,32	202,2
Permanent hardness	: 0,47	2,36	1,32	23,6
Temporary hardness	: 3,57	17,87	10,01	178,7
Alkalinity	: 3,57	17,87	10,01	178,7

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	16,1	0,7	0,7	0,0
K +	0,9	0,023	0,023	0,0
Ca++	73,8	1,841	3,683	31,006
Mg++	4,4	0,181	0,362	0,0
Cl-	36,9	1,041	1,041	10,335
SO4--	11,7	0,122	0,244	0,0
HCO3-	218,0	3,573	3,573	31,006

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	16,773	10,173	0.319	0.194
Ca/SO4	6,308	15,117	0.152	0.364
Na/Cl	0,436	0,673	0.556	0.858

Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 40,968	0,7003
Sylvite (KCl)	: 1,716	0,0232
Carbonate (CaCo3)	: 154,006	1,5401
Dolomite (CaMg(CO3)2):	33,321	0,181
Anhydrite (CaSO4)	: 16,59	0,122

SampleID	ZG20	
Ph	7.7	
Cond 20°C (µS)	652	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	3,170E+02	1,379E+00
K +	1,000E+01	2,558E-01
Mg++	2,180E+02	1,794E+00
Ca++	6,720E+02	3,353E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	5,640E+02	1,591E+00
SO4--	3,680E+02	7,662E-01
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,790E+02	4,573E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 6,9302
Sum of Cations (meq/l) : 6,7814
Balance: : -1,09%

Calculated TDS (mg/l) : 355,3

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO ₃
Total hardness	: 5,15	25,73	14,41	257,3
Permanent hardness	: 0,57	2,87	1,61	28,7
Temporary hardness	: 4,57	22,87	12,80	228,7
Alkalinity	: 4,57	22,87	12,80	228,7

(1 °f = 10 mg/l CaCO₃/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	31,7	1,379	1,379	7,293
K +	10,0	0,256	0,256	0,0
Ca++	67,2	1,677	3,353	21,879
Mg++	21,8	0,897	1,794	7,293
Cl-	56,4	1,591	1,591	7,293
SO4--	36,8	0,383	0,766	0,0
HCO3-	279,0	4,573	4,573	29,172

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3,083	0.319 0.194
Ca/SO4	1,826	0.152 0.364
Na/Cl	0,562	0.556 0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 78,102	1,3351
Sylvite (KCl)	: 19,067	0,2573
Carbonate (CaCo3)	: 39,718	0,3972
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 165,092	0,897
Anhydrite (CaSO4)	: 52,18	0,383

SampleID	ZG22	
Ph	7.9	
Cond 20°C (µS)	375	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,760E+02	7,656E-01
K +	.9	2,302E-02
Mg++	4,700E+01	3,867E-01
Ca++	5,640E+02	2,814E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	3,550E+02	1,001E+00
SO4--	6,500E+01	1,353E-01
NO3-	2,480E+02	3,999E-01
HCO3-	1,530E+02	2,508E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 4,0445
Sum of Cations (meq/l) : 3,9896
Balance: : -0,68%

Calculated TDS(mg/l) : 299,4

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 3,2	16,01	8,96	160,1
Permanent hardness	: 0,69	3,47	1,94	34,7
Temporary hardness	: 2,51	12,54	7,02	125,4
Alkalinity	: 2,51	12,54	7,02	125,4

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	17,6	0,766	0,766	0,0
K +	0,9	0,023	0,023	0,0
Ca++	56,4	1,407	2,814	24,894
Mg++	4,7	0,193	0,387	0,0
Cl-	35,5	1,001	1,001	12,447
SO4--	6,5	0,068	0,135	0,0
HCO3-	153,0	2,508	2,508	24,894

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	12,0	7,278	0.319	0.194
Ca/SO4	8,677	20,795	0.152	0.364
Na/Cl	0,496	0,765	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 44,785	0,7656
Sylvite (KCl)	: 1,716	0,0232
Carbonate (CaCO3)	: 114,733	1,1473
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 35,593	0,193
Anhydrite (CaSO4)	: 9,216	0,068

SampleID	ZG31	
Fh	8.2	
Cond 20°C (μS)	2138	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	3,030E+02	1,318E+01
K +	1,000E+01	2,558E-01
Mg++	3,930E+02	3,233E+00
Ca++	9,210E+02	4,596E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	5,140E+02	1,450E+01
SO4--	8,800E+01	1,832E+00
NO3-	6,200E+01	9,998E-02
HCO3-	2,570E+02	4,213E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 20,6429
Sum of Cations (meq/l)	: 21,2644
Balance:	: 1,48%

Calculated TDS(mg/l) : 1309,6

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 7,83	39,15	21,92	391,5
Permanent hardness	: 3,62	18,08	10,13	180,8
Temporary hardness	: 4,21	21,06	11,80	210,6
Alkalinity	: 4,21	21,06	11,80	210,6

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	303,0	13,18	13,18	31,021
K +	10,0	0,256	0,256	0,0
Ca++	92,1	2,298	4,596	9,545
Mg++	39,3	1,617	3,233	7,159
Cl-	514,0	14,498	14,498	33,407
SO4--	88,0	0,916	1,832	2,386
HCO3-	257,0	4,213	4,213	9,545

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	2,344	1,421	0.319	0.194
Ca/SO4	1,047	2,508	0.152	0.364
Na/Cl	0,589	0,909	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 771,009	13,1796
Sylvite (KCl)	: 19,067	0,2573
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 254,384	1,382
Anhydrite (CaSO4)	: 124,777	0,916

SampleID	ZG33	
Ph	8.1	
Cond 20°C (µS)	4694	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	8,280E+02	3,602E+01
K +	.9	2,302E-02
Mg++	8,570E+02	7,051E+00
Ca++	1,160E+02	5,788E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1,528E+03	4,310E+01
SO4--	1,650E+02	3,435E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,460E+02	4,032E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 50,5671
Sum of Cations (meq/l)	: 48,8777
Balance:	: -1,70%

Calculated TDS (mg/l) : 2969,6

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 12,84	64,20	35,95	642,0
Permanent hardness	: 8,81	44,03	24,66	440,3
Temporary hardness	: 4,03	20,16	11,29	201,6
Alkalinity	: 4,03	20,16	11,29	201,6

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	828,0	36,016	36,016	36,201
K +	0,9	0,023	0,023	0,0
Ca++	116,0	2,894	5,788	5,028
Mg++	85,7	3,525	7,051	7,039
Cl-	1528,0	43,099	43,099	43,24
SO4--	165,0	1,718	3,435	3,017
HCO3-	246,0	4,032	4,032	4,022

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,354	0,821	0.319	0.194
Ca/SO4	0,703	1,685	0.152	0.364
Na/Cl	0,542	0,836	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 2106,916	36,0157
Sylvite (KCl)	: 1,716	0,0232
Dolomite (CaMg(CO3)2):	216,587	1,176
Anhydrite (CaSO4)	: 233,957	1,718

SampleID	ZG36	
Ph	7.6	
Cond 20°C (µS)	457	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,170E+02	5,089E-01
K +	1,700E+01	4,348E-02
Mg++	4,000E+00	3,291E-01
Ca++	8,060E+02	4,022E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	2,660E+02	7,503E-01
SO4--	5,750E+02	1,197E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	1,870E+02	3,065E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 5,0127
Sum of Cations (meq/l)	: 4,9034
Balance:	: -1,10%

Calculated TDS(mg/l) : 369,1

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,35	21,76	12,18	217,6
Permanent hardness	: 1,29	6,43	3,60	64,3
Temporary hardness	: 3,07	15,33	8,58	153,3
Alkalinity	: 3,07	15,33	8,58	153,3
(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)				

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	11,7	0,509	0,509	0,0
K +	1,7	0,043	0,043	0,0
Ca++	80,6	2,011	4,022	40,338
Mg++	4,0	0,165	0,329	0,0
Cl-	26,6	0,75	0,75	0,0
SO4--	57,5	0,599	1,197	10,085
HCO3-	187,0	3,065	3,065	30,254

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	20,15	12,222	0.319	0.194
Ca/SO4	1,402	3,359	0.152	0.364
Na/Cl	0,44	0,678	0.556	0.858

Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 29,772	0,5089
Sylvite (KCl)	: 3,241	0,0437
Carbonate (CaCO3)	: 124,908	1,2491
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 30,292	0,165
Anhydrite (CaSO4)	: 81,531	0,599

SampleID	ZG39	
Ph	7.9	
Cond 20°C (µS)	1130	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,220E+02	5,307E+00
K +	3,900E+01	9,974E-02
Mg++	2,510E+02	2,065E+00
Ca++	7,590E+02	3,787E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	2,290E+02	6,459E+00
SO4--	4,400E+01	9,161E-01
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,430E+02	3,983E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 11,3585
Sum of Cations (meq/l)	: 11,2588
Balance:	: -0,44%

Calculated TDS(mg/l) : 742,9

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 5,85	29,26	16,39	292,6
Permanent hardness	: 1,87	9,35	5,23	93,5
Temporary hardness	: 3,98	19,92	11,15	199,2
Alkalinity	: 3,98	19,92	11,15	199,2

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	122,0	5,307	5,307	22,107
K +	3,9	0,1	0,1	0,0
Ca++	75,9	1,894	3,787	13,264
Mg++	25,1	1,032	2,065	8,843
Cl-	229,0	6,459	6,459	26,528
SO4--	44,0	0,458	0,916	0,0
HCO3-	243,0	3,983	3,983	13,264

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3,024	1,834	0.319	0.194
Ca/SO4	1,725	4,134	0.152	0.364
Na/Cl	0,533	0,822	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 310,439	5,3067
Sylvite (KCl)	: 7,436	0,1004
Carbonate (CaCo3)	: 40,355	0,4036
Dolomite (CaMg(CO3)2):	190,083	1,032
Anhydrite (CaSO4)	: 62,389	0,458

SampleID	ZG41	
Ph	7.6	
Cond 20°C (µS)	501	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	2,400E+01	1,044E+00
K +	.9	2,302E-02
Mg++	6,700E+01	5,512E-01
Ca++	7,350E+02	3,668E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	4,890E+02	1,379E+00
SO4--	1,090E+02	2,270E-01
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,290E+02	3,754E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 5,3598
Sum of Cations (meq/l) : 5,2858
Balance: : -0,70%

Calculated TDS(mg/l) : 393,9

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,22	21,09	11,81	210,9
Permanent hardness	: 0,47	2,33	1,30	23,3
Temporary hardness	: 3,75	18,77	10,51	187,7
Alkalinity	: 3,75	18,77	10,51	187,7

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	24,0	1,044	1,044	9,393
K +	0,9	0,023	0,023	0,0
Ca++	73,5	1,834	3,668	28,18
Mg++	6,7	0,276	0,551	0,0
Cl-	48,9	1,379	1,379	9,393
SO4--	10,9	0,113	0,227	0,0
HCO3-	229,0	3,754	3,754	28,18

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	10,97	6,654
Ca/SO4	6,743	16,161
Na/Cl	0,491	0,757

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 61,07	1,0439
Sylvite (KCl)	: 1,716	0,0232
Carbonate (CaCO3)	: 144,619	1,4462
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 50,739	0,276
Anhydrite (CaSO4)	: 15,455	0,113

SampleID	ZG42	
Ph	8.1	
Cond 20°C (µS)	3129	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	4,600E+02	2,001E+01
K +	1,610E+02	4,118E-01
Mg++	6,740E+02	5,545E+00
Ca++	8,960E+02	4,471E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	8,620E+02	2,431E+01
SO4--	1,480E+02	3,082E+00
NO3-	3,100E+01	4,999E-02
HCO3-	2,410E+02	3,950E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 31,3957
 Sum of Cations (meq/l) : 30,4366
 Balance: : -1,55%

Calculated TDS (mg/l) : 1887,2

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO ₃
Total hardness	: 10,02	50,08	28,05	500,8
Permanent hardness	: 6,07	30,33	16,98	303,3
Temporary hardness	: 3,95	19,75	11,06	197,5
Alkalinity	: 3,95	19,75	11,06	197,5

(1 °f = 10 mg/l CaCO₃/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	32,346
K +	16,1	0,412	0,412	0,0
Ca++	89,6	2,236	4,471	6,469
Mg++	67,4	2,773	5,545	8,086
Cl-	862,0	24,314	24,314	38,815
SO4--	148,0	1,541	3,082	4,852
HCO3-	241,0	3,95	3,95	4,852

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,329	0,806	0.319	0.194
Ca/SO4	0,605	1,451	0.152	0.364
Na/Cl	0,534	0,823	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 1170,509	20,0087
Sylvite (KCl)	: 30,697	0,4143
Dolomite (CaMg(CO ₃) ₂)	: 127,905	0,695
Anhydrite (CaSO ₄)	: 209,853	1,541

SampleID	ZG46	
Ph	8.2	
Cond 20°C (µS)	4402	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	7,470E+02	3,249E+01
K +	2,650E+02	6,777E-01
Mg++	8,820E+02	7,256E+00
Ca++	1,250E+02	6,238E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1,386E+03	3,909E+01
SO4--	1,200E+02	2,499E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,120E+02	3,475E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 45,0675
Sum of Cations (meq/l) : 46,6639
Balance: : 1,74%

Calculated TDS (mg/l) : 2704,7

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO ₃
Total hardness	: 13,49	67,47	37,78	674,7
Permanent hardness	: 10,02	50,09	28,05	500,9
Temporary hardness	: 3,47	17,37	9,73	173,7
Alkalinity	: 3,47	17,37	9,73	173,7

(1 °f = 10 mg/l CaCO₃/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	747,0	32,492	32,492	34,884
K +	26,5	0,678	0,678	0,0
Ca++	125,0	3,119	6,238	6,541
Mg++	88,2	3,628	7,256	7,631
Cl-	1386,0	39,094	39,094	42,515
SO4--	120,0	1,249	2,499	2,18
HCO3-	212,0	3,475	3,475	3,27

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,417	0,86	0.319	0.194
Ca/SO ₄	1,042	2,496	0.152	0.364
Na/Cl	0,539	0,831	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 1900,805	32,4924
Sylvite (KCl)	: 50,527	0,6819
Dolomite (CaMg(CO ₃) ₂)	: 344,173	1,869
Anhydrite (CaSO ₄)	: 170,151	1,249

SampleID	ZG47	
Ph	8	
Cond 20°C (µS)	1773	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	2,390E+02	1,040E+01
K +	8,300E+01	2,123E-01
Mg++	4,330E+02	3,562E+00
Ca++	8,210E+02	4,097E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	4,380E+02	1,235E+01
SO4--	7,800E+01	1,624E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,390E+02	3,918E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 17,8960
Sum of Cations (meq/l) : 18,2672
Balance: : 1,03%

Calculated TDS (mg/l) : 1127,7

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 7,66	38,30	21,45	383,0
Permanent hardness	: 3,74	18,71	10,48	187,1
Temporary hardness	: 3,92	19,59	10,97	195,9
Alkalinity	: 3,92	19,59	10,97	195,9

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	239,0	10,396	10,396	27,652
K +	8,3	0,212	0,212	0,0
Ca++	82,1	2,048	4,097	11,061
Mg++	43,3	1,781	3,562	8,296
Cl-	438,0	12,354	12,354	33,183
SO4--	78,0	0,812	1,624	2,765
HCO3-	239,0	3,918	3,918	8,296

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,896	1,15
Ca/SO4	1,053	2,523
Na/Cl	0,546	0,841

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 608,156	10,3958
Sylvite (KCl)	: 15,825	0,2136
Dolomite (CaMg(CO3)2):	227,617	1,236
Anhydrite (CaSO4)	: 110,598	0,812

SampleID	ZG48	
Ph	8	
Cond 20°C (µS)	1565	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	2,040E+02	8,873E+00
K +	7,000E+00	1,790E-01
Mg++	2,700E+01	2,221E+00
Ca++	8,340E+02	4,162E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	3,590E+02	1,013E+01
SO4--	5,000E+01	1,041E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,430E+02	3,983E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 15,1502
Sum of Cations (meq/l)	: 15,4354
Balance:	: 0,93%

Calculated TDS (mg/l) : 973,4

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 6,38	31,91	17,87	319,1
Permanent hardness	: 2,4	12,00	6,72	120,0
Temporary hardness	: 3,98	19,92	11,15	199,2
Alkalinity	: 3,98	19,92	11,15	199,2

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	204,0	8,873	8,873	26,156
K +	7,0	0,179	0,179	0,0
Ca++	83,4	2,081	4,162	13,078
Mg++	27,0	1,111	2,221	6,539
Cl-	359,0	10,126	10,126	32,695
SO4--	50,0	0,521	1,041	3,27
HCO3-	243,0	3,983	3,983	9,809

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3,089	1,874	0.319	0.194
Ca/SO4	1,668	3,998	0.152	0.364
Na/Cl	0,568	0,876	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 519,095	8,8734
Sylvite (KCl)	: 13,347	0,1801
Carbonate (CaCO3)	: 45,01	0,4501
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 204,471	1,111
Anhydrite (CaSO4)	: 70,896	0,521

SampleID	ZG50	
Ph	7.8	
Cond 20°C (µS)	563	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	3,770E+02	1,640E+00
K +	3,000E+00	7,673E-02
Mg++	1,130E+02	9,297E-01
Ca++	5,560E+02	2,774E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	8,860E+02	2,499E+00
SO4--	1,380E+02	2,873E-01
NO3-	3,100E+01	4,999E-02
HCO3-	1,630E+02	2,672E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 5,5082
Sum of Cations (meq/l) : 5,4207
Balance: : -0,80%

Calculated TDS (mg/l) : 376,1

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 3,7	18,52	10,37	185,2
Permanent hardness	: 1,03	5,16	2,89	51,6
Temporary hardness	: 2,67	13,36	7,48	133,6
Alkalinity	: 2,67	13,36	7,48	133,6

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	37,7	1,64	1,64	9,15
K +	3,0	0,077	0,077	0,0
Ca++	55,6	1,387	2,774	18,3
Mg++	11,3	0,465	0,93	0,0
Cl-	88,6	2,499	2,499	18,3
SO4--	13,8	0,144	0,287	0,0
HCO3-	163,0	2,672	2,672	18,3

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4,92	0.319
Ca/SO4	4,029	0.152
Na/Cl	0,426	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 95,931	1,6398
Sylvite (KCl)	: 5,72	0,0772
Carbonate (CaCO3)	: 77,951	0,7795
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 85,575	0,465
Anhydrite (CaSO4)	: 19,567	0,144

SampleID	ZG51	
Ph	7.8	
Cond 20°C (μS)	1435	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,950E+02	8,482E+00
K +	5,600E+01	1,432E-01
Mg++	1,800E+01	1,481E+00
Ca++	9,050E+02	4,516E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	3,400E+02	9,590E+00
SO4--	1,060E+02	2,207E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	1,930E+02	3,164E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 14,9607
Sum of Cations (meq/l)	: 14,6220
Balance:	: -1,14%

Calculated TDS(mg/l) : 948,1

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 6,0	29,98	16,79	299,8
Permanent hardness	: 2,83	14,17	7,93	141,7
Temporary hardness	: 3,16	15,82	8,86	158,2
Alkalinity	: 3,16	15,82	8,86	158,2

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	195,0	8,482	8,482	27,043
K +	5,6	0,143	0,143	0,0
Ca++	90,5	2,258	4,516	13,521
Mg++	18,0	0,74	1,481	3,38
Cl-	340,0	9,59	9,59	30,423
SO4--	106,0	1,104	2,207	6,761
HCO3-	193,0	3,164	3,164	10,141

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	5,028	3,05
Ca/SO4	0,854	2,046
Na/Cl	0,574	0,884

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 496,194	8,4819
Sylvite (KCl)	: 10,677	0,1441
Carbonate (CaCo3)	: 41,444	0,4144
Dolomite (CaMg(CO3)2):	136,314	0,74
Anhydrite (CaSO4)	: 150,3	1,104

SampleID	ZG52	
Ph	7.8	
Cond 20°C (µS)	1098	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1,310E+02	5,698E+00
K +	4,300E+01	1,100E-01
Mg++	1,570E+02	1,292E+00
Ca++	7,750E+02	3,867E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	2,380E+02	6,713E+00
SO4--	2,400E+01	4,997E-01
NO3-	3,100E+01	4,999E-02
HCO3-	2,070E+02	3,393E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 10,6558
Sum of Cations (meq/l) : 10,9670
Balance: : 1,44%

Calculated TDS (mg/l) : 700,6

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 5,16	25,79	14,44	257,9
Permanent hardness	: 1,77	8,83	4,94	88,3
Temporary hardness	: 3,39	16,96	9,50	169,6
Alkalinity	: 3,39	16,96	9,50	169,6

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	131,0	5,698	5,698	23,124
K +	4,3	0,11	0,11	0,0
Ca++	77,5	1,934	3,867	13,874
Mg++	15,7	0,646	1,292	4,625
Cl-	238,0	6,713	6,713	27,748
SO4--	24,0	0,25	0,5	0,0
HCO3-	207,0	3,393	3,393	13,874

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	4,936	2,994
Ca/SO4	3,229	7,739
Na/Cl	0,55	0,849

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 333,341	5,6981
Sylvite (KCl)	: 8,199	0,1106
Carbonate (CaCO3)	: 103,899	1,039
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 118,896	0,646
Anhydrite (CaSO4)	: 34,03	0,25

SampleID	ZG53	
Ph	7.7	
Cond 20°C (µS)	652	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	5,060E+02	2,201E+00
K +	3,500E+01	8,951E-02
Mg++	9,300E+01	7,651E-01
Ca++	6,930E+02	3,458E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	9,680E+02	2,730E+00
SO4--	1,870E+02	3,894E-01
NO3-	6,200E+01	9,998E-02
HCO3-	2,050E+02	3,360E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 6,5799
Sum of Cations (meq/l) : 6,5137
Balance: : -0,51%

Calculated TDS (mg/l) : 459,4

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4,22	21,12	11,82	211,2
Permanent hardness	: 0,86	4,31	2,42	43,1
Temporary hardness	: 3,36	16,80	9,41	168,0
Alkalinity	: 3,36	16,80	9,41	168,0

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	50,6	2,201	2,201	15,275
K +	3,5	0,09	0,09	0,0
Ca++	69,3	1,729	3,458	22,912
Mg++	9,3	0,383	0,765	0,0
Cl-	96,8	2,73	2,73	15,275
SO4--	18,7	0,195	0,389	0,0
HCO3-	205,0	3,36	3,36	22,912

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	7,452	4,52	0.319	0.194
Ca/SO4	3,706	8,882	0.152	0.364
Na/Cl	0,523	0,806	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 128,756	2,201
Sylvite (KCl)	: 6,673	0,0901
Carbonate (CaCO3)	: 115,296	1,153
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 70,429	0,383
Anhydrite (CaSO4)	: 26,515	0,195

SampleID	ZG54	
Ph	7.9	
Cond 20°C (µS)	2065	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	2,940E+02	1,279E+01
K +	9,600E+01	2,455E-01
Mg++	3,170E+02	2,608E+00
Ca++	9,250E+02	4,616E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	5,060E+02	1,427E+01
SO4--	1,230E+02	2,561E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	2,250E+02	3,688E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 20,5215
Sum of Cations (meq/l)	: 20,2574
Balance:	: -0,65%

Calculated TDS(mg/l) : 1281,8

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 7,22	36,12	20,23	361,2
Permanent hardness	: 3,54	17,68	9,90	176,8
Temporary hardness	: 3,69	18,44	10,33	184,4
Alkalinity	: 3,69	18,44	10,33	184,4

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	294,0	12,788	12,788	29,427
K +	9,6	0,246	0,246	0,0
Ca++	92,5	2,308	4,616	9,809
Mg++	31,7	1,304	2,608	4,904
Cl-	506,0	14,272	14,272	34,331
SO4--	123,0	1,281	2,561	4,904
HCO3-	225,0	3,688	3,688	7,357

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	2,918	1,77	0.319	0.194
Ca/SO4	0,752	1,802	0.152	0.364
Na/Cl	0,581	0,896	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 748,108	12,7882
Sylvite (KCl)	: 18,304	0,247
Dolomite (CaMg(CO3)2):	189,141	1,027
Anhydrite (CaSO4)	: 174,405	1,281

SampleID	ZG56	
Ph	8	
Cond 20°C (µS)	2503	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	3,840E+02	1,670E+01
K +	1,300E+01	3,325E-01
Mg++	5,230E+02	4,303E+00
Ca++	9,060E+02	4,521E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	6,740E+02	1,901E+01
SO4--	1,790E+02	3,727E+00
NO3-	0,000E+00	0,000E+00
HCO3-	1,840E+02	3,016E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 25,7541
Sum of Cations (meq/l) : 25,8591
Balance: : 0,20%

Calculated TDS(mg/l) : 1576,9

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 8,82	44,12	24,71	441,2
Permanent hardness	: 5,81	29,04	16,26	290,4
Temporary hardness	: 3,02	15,08	8,44	150,8
Alkalinity	: 3,02	15,08	8,44	150,8

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	384,0	16,703	16,703	31,0
K +	13,0	0,332	0,332	0,0
Ca++	90,6	2,26	4,521	7,75
Mg++	52,3	2,151	4,303	7,75
Cl-	674,0	19,011	19,011	36,812
SO4--	179,0	1,863	3,727	5,812
HCO3-	184,0	3,016	3,016	5,812

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,732	1,051	0.319	0.194
Ca/SO4	0,506	1,213	0.152	0.364
Na/Cl	0,57	0,879	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 977,121	16,7029
Sylvite (KCl)	: 24,787	0,3345
Dolomite (CaMg(CO3)2):	73,085	0,397
Anhydrite (CaSO4)	: 253,808	1,863

1. Accordi G. and Carbone F., 1992: Lithofacies map of the Hellenide Pre-Apulian zone (Ionian Islands, Greece). Cons. Nazion. Ricer., Spec. Publ.
2. AquaChem v5.1, 2006: WHI Software Group.
3. AquiferTest v4.2: SWS Software Group.
4. ArcGIS v9.3, 2008: Environmental Systems Research Institute, Inc.
5. Aschenbrenner F., Richter G.M., Richter J., 1992: Modelling Groundwater quality in an agriculturally used water catchment. Environ. Geol. Water Sci.
6. Back W., 1986: Geologic significance of the groundwater mixing zone associated with seawater intrusion. 5th Int. Symp: Water-Rock Interaction. Reykjavik, Iceland.
7. Βουδούρης Κ., 2009: Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
8. Γαιόραμα, Experiment. Τεύχος Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 1998: «Νερό, η πηγή της ζωής». Ειδικές εκδόσεις Άρης Τερζόπουλος Α.Ε.
9. Cander L.W., 1997: Nitrates in groundwater. Boca Raton. CRC Press.
10. Cooper H.H. and Jacob C.E., 1946: A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Amer. Geophys. Union Trans.
11. Custodio E., 1987: Hydrochemistry and tracers in Groundwater problems in coastal areas: Studies and Reports in Hydrology.
12. Custodio E., Bruggenman G.A., Cotecchia V., 1987: Groundwater problems in coastal areas. Studies and Reports in Hydrology.
13. Custodio E. 1997: Studying monitoring and controlling seawater intrusion in coastal aquifers, in guidelines for Study, monitoring and Control. FAO Water Reports.
14. Custodio E., Llamas M.R., 1996: Hidrologia subterranea. Editions Omega, Barcelona.
15. Dazy J., Droque C., Charmanidis P., Darlet C., 1995 : The influence of marine inflows on the chemical composition of groundwater in small islands. The example of the Cyclades (Greece). Environmental Geology.

16. Δερμιτζάκης κ.α., 2000: Στρωματογραφία και Τεκτονοϊζηματογενής εξέλιξη της νήσου Ζακύνθου. ΣΤ' Διεθνές Πανιώνιο Συνέδριο 1997.
17. Dermitzakis et al., 1979: The Neogene of Zakynthos. Publications of the Department of Geology and Paleontology. University of Athens.
18. Διαμαντοπούλου Π., 2000: Υδρογεωλογικές συνθήκες νήσου Ζακύνθου. Διδακτορική Διατριβή. Τμ. Γεωλογίας Πανεπ. Πατρών.
19. Diamantopoulou P., Voudouris K., 2008: Optimization of water resources management using SWOT analysis: the case of Zakynthos Island, Ionian Sea, Greece. *Environmental Geology*, vol. 54.
20. Freeze A., Cherry J.A., 1979: *Groundwater*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
21. Goldberg L.C., Melloul A.G., 1994: Hydrological and chemical management in the rehabilitation of an aquifer. *Environmental Management*.
22. Θεμελής Δ., Ζαχαριάδης Γ., 1997: *Αναλυτική Χημεία*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
23. Hanor J.S., 1978: Precipitation of beachrock cements: Mixing of marine and meteoric waters vs. carbon dioxide–degassing. *Journal of Sedimentary Petrology*.
24. Horstman G., 1967: *Geologie de la partie meridionale de l' ile de Zante (Greece)*. These Univ. Paris.
25. Ι.Γ.Μ.Ε.: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Ζάκυνθος (κλίμακα 1:50.000). Γραφείο εκδόσεως Γεωλογικών Χαρτών του ΙΓΜΕ. 1980.
26. Καλλέργης Γ., 2001: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη ρύπανση νερών και εδαφών. Πρακτικά Ημερίδας «Υδρογεωλογία και Περιβάλλον»
27. Καλλέργης Γ., 2001: Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμοι Α', Β', Γ'. 2^η έκδοση, Αθήνα.
28. Καλλιώρας Α., 2007: Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του Δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δημοκρ. Πανεπ. Θράκης, Ξάνθη.
29. Karakitsios V., Rigakis N., 2007: Evolution and petroleum potential of Western. Greece, *Journal of petroleum geology*.

30. Kim J., Kim R., Lee J., Chang H., 2003: Hydrogeochemical characterization of major factors affecting the quality of shallow groundwater in the coastal area at Kimje in South Korea. *Environmental Geology*.
31. Κουρής Χ., 2001: Υδρογεωλογική Έκθεση αποτελεσμάτων των γεωτρητικών-αντλητικών εργασιών στη Ζάκυνθο (περιοχή Κεριού). Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
32. Laftouhi E., Marnik V., Jalal M., Witam O., Aboufirassi M., Bahir M., Persoons E., 2003: Groundwater nitrate pollution in the Essaouira Basin (Morocco). *C.R. Geoscience*.
33. Λέκκας Ε., 1992: Εκπόνηση Νεοτεκτονικού χάρτη της Ελλάδας, φύλλα «Ζάκυνθος» και «Βολίμναι» (κλίμακα 1:50.000). Ερευνητικό Πρόγραμμα Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα.
34. Leonard A.R. and Ward P.E., 1962: Use of Na/Cl ratios to distinguish oil-field from salt-spring brines in western Oklahoma, U.S., *Geol. Surv., Professional Papers*.
35. Matthes G., 1973: Die Beschaffenheit des Grundwassers. Εκδόσεις Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
36. Μήτρακας Μ., 2001: Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
37. Morse J.W., Mackenzie F.T., 1990: *Geochemistry of sedimentary carbonates. Developments in Sedimentology*.
38. Μουντράκης Δ., 2007: Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
39. Μουντράκης Δ., 1988: Συνοπτική Γεωτεκτονική Εξέλιξη του Ευρύτερου Ελληνικού χώρου. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.
40. Nikolaou, 1986: Contribution to the knowledge of the Neogene, the Geology and the limits of the Ionian and Preapulian zones, in relation to the petroleum exploration, observations in Strofades, Zakynthos and Kefallinia islands. The doct. Uni. Ath.
41. Νταρακάς Ε., 2009: Βασικές παράμετροι ελέγχου ποιότητας νερού και λυμάτων. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Θεσσαλονίκη.
42. Πανίλας Σ., 1998: Υδρογεωλογικά προβλήματα κατά την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων με τη μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής. Η περίπτωση του λιγνιτικού κοιτάσματος Δράμας. Διδακτορική Διατριβή, Παν. Πατρών.

43. Perez M.J., Antiguada I., Arrate I., Garcia-Linares C., Morreld I., 2003: The influence of nitrate leaching through unsaturated soil on groundwater pollution in an agricultural area of Basque country: a case study. *The Science of the Total Environment*.
44. Piper A.M., 1944: A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Amer. Geophys. Union. Trans.*
45. Porta J., Lopez-Acevedo M., Roquero C., 1996: *Edafologia para la Aricultura y el Medio Ambiente*. Mundi-Pressa, Madrid.
46. Richter B.C. and Kreitler W.C., 1993: *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Groundwater Salinization*. Library of Congress. CRC Press, New York.
47. Schoeller H., 1975: *Le chimisme des eaux souterraines*. Atti 3 Converno Internazionale delle Acque Sotterranee. International Association of Hydrogeology, Palermo
48. Schoeller H., 1955: *Geochemie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de petrole*. Revue de l' Institute Francais du Patrole et Annales de Combustibles Liquides, Paris.
49. Σκαγιός Σ., 1984: *Αποτελέσματα υδρογεωτρητικής έρευνας νήσου Ζακύνθου*. Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
50. Σκαγιός Σ., 1999: *Μελέτη δίαιτας και ποιοτική καταγραφή υπόγειων νερών νήσων Ιονίου*. Βιβλιοθήκη Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
51. Σκαγιός Σ., 1999: *Απογραφή σημείων ύδατος (νησιά Ζάκυνθος, Κεφαλληνία)*. Βιβλιοθήκη Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
52. Σούλιος Γ., 1996: *Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Α΄*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
53. Σούλιος Γ., 1996: *Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Β΄*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
54. Σούλιος Γ., 2006: *Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Δ΄*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
55. Stanford W.E., Konikow L.F., 1989: *A two constituent solute transport model for groundwater having variable density*. U.S. Geol. Survey Water Resour. Inv.

56. Stenich B., Escolero O., Martin L., 1996: Salt-water intrusion and nitrate contamination in the Valley of Hermosillo and El Sehuaral Coastal aquifers, Sonora, Mexico. *Hydrogeology Journal*.
57. Theis C., 1935: The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Amer. Geophys. Union*.
58. Todd D.K., 1959: Seawater intrusion in coastal aquifers. *Am. Geophys. Union Trans.*
59. Τριανταφύλλου Μ.Β., 1993: Βιοστρωματογραφικές και Οικοστρωματογραφικές παρατηρήσεις με βάση τα ασβεστολιθικά νανοαπολιθώματα, των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων της Ανατολικής Μεσογείου. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Εκδόσεις ΓΑΙΑ.
60. ΦΕΚ 53 τεύχος Β', 20/02/1986: Ποιότητα του πόσιμου νερού σε συμμόρφωση προς την 80/778 οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
61. ΦΕΚ 892 τεύχος Β', 11/07/2001: Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς την 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 03/11/1998. ΚΥΑ Υ2/2600/2001.