



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

### Μεταπτυχιακή Διατριβή

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ  
ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ  
ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ  
ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ»

Διακοπούλου Χρυσάνθη

**Επιβλέπων:**

**Ομότιμος Καθηγητής Ι. Κουμαντάκης**

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ :  
«ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

# Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	10
Ευχαριστίες.....	12
1.Εισαγωγή.....	13
1.1 Περιοχή Μελέτης.....	13
1.1.1 Γενική Περιγραφή Αναβύσσου.....	14
1.1.2 Γενική Περιγραφή Παλαιάς Φώκαιας.....	17
1.1.3 Γενική Περιγραφή Σαρωνίδας.....	18
1.1.4 Γενική Περιγραφή Καλυβίων Θορικού.....	19
2. Δημογραφικά Στοιχεία Δήμου Σαρωνίδας.....	21
3. Γεωλογία.....	25
3.1 Διάκριση Τεκτονοστρωματογραφικών Πεδίων και Ενότητα Αττικής.....	25
3.2 Γεωλογία Ανατολικής Αττικής.....	30
3.2.1 Λιθοστρωματογραφική Διάρθρωση.....	32
3.2.1.1 Σειρά Υμηττού – Ν. Αττικής.....	32
3.2.1.2 Ενότητα Κυανοσχιστολίθων.....	33
3.2.1.3 Νεογενή Ιζήματα.....	34
3.2.1.4 Τεταρτογενείς Αποθέσεις.....	34
3.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη Ανατολικής Αττικής.....	36
4. Υδρογεωλογία Ανατολικής Αττικής.....	40
4.1 Υδρολιθολογική Κατάταξη των Γεωλογικών Σχηματισμών.....	40
4.1.1 Υδροπερατοί Σχηματισμοί.....	43
4.1.2 Ημιπερατοί Σχηματισμοί.....	44
4.1.3 Αδιαπέρατοι Σχηματισμοί.....	46
4.2 Υπόγεια Υδροφόρα Συστήματα με Έμφαση στη Λεκάνη της Αναβύσσου.....	46
4.2.1 Καρστικά Συστήματα.....	46
4.2.2 Κοκκώδη Συστήματα.....	49
4.2.2.1 Νεογενή.....	49
4.2.2.2 Τεταρτογενείς Αποθέσεις.....	50
5. Εκτίμηση Υδρολογικού Ισοζυγίου.....	53
5.1 Κλιματικά Στοιχεία.....	53
5.2 Στοιχεία Μετεωρολογικών Σταθμών Περιοχής Μελέτης.....	55

5.3	Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα.....	56
5.3.1	Συμπλήρωση Ελλείψεων και Επέκταση.....	60
5.3.2	Έλεγχος Συνέπειας .....	67
5.3.3	Επιφανειακή Ολοκλήρωση της Σημειακής Βροχόπτωσης.....	71
5.4	Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή.....	76
5.5	Επιφανειακή Απορροή .....	85
5.6	Κατείσδυση .....	87
5.7	Εκτίμηση Υδατικού Ισοζυγίου.....	88
6.	Υδροχημεία .....	89
6.1	Παράγοντες που Επηρεάζουν την Χημική Σύσταση των Υπόγειων Νερών.....	89
6.2	Ποιοτικοί Παράμετροι του Υπόγειου Νερού .....	91
6.3	Χημικές Αναλύσεις .....	94
6.4	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων .....	98
6.4.1	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά.....	98
6.4.2	Αποτελέσματα Υδροχημικών Αναλύσεων.....	99
7.	Ανάλυση Συσχέτισης.....	103
7.1	Συντελεστής Συσχέτισης του Pearson.....	103
7.2	Συντελεστές Συσχέτισης Χημικών Παραμέτρων του 2001, 2011 και 2020 .....	105
7.3	Διαγράμματα Συσχέτισης – Σύγκριση με Δεδομένα του 2001, 2011 και 2020 .....	109
7.3.1	Εισαγωγή.....	109
7.3.2	Ανάλυση Παλινδρόμησης .....	110
7.3.3	Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2001 .....	112
7.3.4	Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2011 .....	118
7.3.5	Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2020.....	122
7.3.6	Συγκρίσεις Διαγραμμάτων 2001, 2011 και 2020 .....	125
8.	Υδρογεωχημικές Εκτιμήσεις Υπόγειου Νερού .....	128
8.1	Εισαγωγή.....	128
8.2	Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2001 .....	130
8.2.1	Ιοντικοί Λόγοι 2001 .....	135
8.2.2	Υδροχημικές Διεργασίες 2001 .....	136
8.2.3	Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2001.....	148
8.3	Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2011 .....	149
8.3.1	Ιοντικοί Λόγοι 2011 .....	154
8.3.2	Υδροχημικές Διεργασίες 2011 .....	155
8.3.3	Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2011.....	163
8.4	Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2020 .....	164

8.4.1	Ιοντικοί Λόγοι 2020 .....	167
8.4.2	Υδροχημικές Διεργασίες 2020 .....	168
8.4.3	Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2020.....	172
9.	Καταλληλόλητα Υπόγειου Νερού για Ύδρευση και Άρδευση .....	173
9.1	Εισαγωγή.....	173
9.2	WQI (Water Quality Index).....	174
9.2.1	Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2001.....	178
9.2.2	Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2011.....	179
9.2.3	Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2020.....	182
9.3	Δείκτες Ποιότητας Νερού για Άρδευση.....	183
9.3.1	Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2001 .....	185
9.3.2	Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2011 .....	190
9.3.3	Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2020 .....	194
10.	Συμπεράσματα.....	197
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>202</b>
	Ελληνική Βιβλιογραφία .....	202
	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία .....	203
	Διαδικτυακές Πηγές .....	204

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει αντικείμενο τη «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ». Εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ελήφθησαν δείγματα νερού από την λεκάνη της Αναβύσσου, την Παλαιά Φώκαια αλλά και από την περιοχή των Καλυβίων Θορικού με σκοπό την πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων και τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης του υπόγειου νερού του Δήμου Σαρωνικού. Ωστόσο, λόγω του COVID-19, δεν κατέστη εφικτή η περαιτέρω δειγματοληψία στις περιοχές αυτές. Για το λόγο αυτό δόθηκε περισσότερο έμφαση στη λεκάνη της Αναβύσσου και στην εκτίμηση της χωροχρονικής μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών αυτής, με βάση παλαιότερες μετρήσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος.

## ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εστιάζει στην χωροχρονική μεταβολή των ποιοτικών παραμέτρων του υπογείου νερού της λεκάνης της Αναβύσσου. Η κοινότητα της Αναβύσσου ανήκει στο Δήμο Σαρωνικού, μαζί με τις κοινότητες Παλαιάς Φωκαίας, Σαρωνίδας, Καλυβίων Θορικού και Κουβαρά.

Εκτός από την υδρογεωχημική μελέτη της περιοχής, υπολογίστηκε και το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης της Αναβύσσου. Για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου έγινε χρήση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας. Η περιοχή της Αναβύσσου διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία από το 2012 αλλά με πολλές ελλείψεις στα δεδομένα του αυτά τα χρόνια. Ως εκ τούτου, για την εύρεση του ύψους βροχής στην Ανάβυσσο χρησιμοποιήθηκαν οι γειτονικοί σταθμοί Λαυρίου και Κερατέας. Ως σταθμοί βάσης χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμοί του Ελληνικού και Μαρκόπουλου, με κοινά υδρολογικά έτη από το 1970 έως το 2019. Η συμπλήρωση των ελλείψεων και η επέκταση έγινε με χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης ενώ εκεί όπου ο συντελεστής συσχέτισης δεν ήταν ικανοποιητικός έγινε χρήση της μεθόδου των κανονικών λόγων. Για την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η υψομετρική μέθοδος. Υπολογίστηκε η μέση μηνιαία βροχόπτωση του κάθε σταθμού, η οποία συσχετίστηκε με το υψόμετρο του αντίστοιχου σταθμού, με χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης και λαμβάνοντας υπόψη και το μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Η μέση θερμοκρασία βρέθηκε με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη βροχόπτωση, με χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ακολούθως υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornthwaite και στη συνέχεια, μέσω εκείνης και της βροχόπτωσης, υπολογίστηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με το ισοζύγιο Thornthwaite-Mather. Προκύπτει ότι υπάρχει πλεόνασμα νερού από τον Νοέμβριο έως και το Μάρτιο ενώ η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας γίνεται το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Οκτωβρίου. Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιήθηκε ένα απλό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, το οποίο έχει ως δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η κατείσδυση υπολογίστηκε έμμεσα από το υδατικό ισοζύγιο. Σύμφωνα με τα ανωτέρω προέκυψε ότι το ύψος βροχής που δέχεται η περιοχή μελέτης είναι 419,6 mm και αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού  $22,49 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 332,6 mm, αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού  $17 \times 10^6 \text{ m}^3$  και αποτελεί το 79,27% της βροχόπτωσης. Η επιφανειακή απορροή είναι 10,49 mm και αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού  $0,562 \times 10^6 \text{ m}^3$  ενώ αποτελεί το 2,5% της βροχόπτωσης. Το

υπόλοιπο 18,23%, τα 76,38 mm αντιστοιχούν στη κατείδυση του νερού που σε ποσότητα νερού είναι  $4,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Αττικοκυκλαδική μάζα. Στην περιοχή της Αττικής συναντάται από κάτω προς τα πάνω η Ενότητα Βάσης, η Ενότητα Χώρας, η Ενότητα Κυανοσχιστολίθων και η Ανώτερη Ενότητα. Η Ενότητα Κυανοσχιστολίθων βρίσκεται τεκτονικά πάνω από την Ενότητα Χώρας ενώ σε ορισμένες θέσεις βρίσκεται επωθημένη απ' ευθείας στην Ενότητα Βάσης. Στην ευρύτερη περιοχή της Αναβύσσου από την Ενότητα Βάσης συναντάται το Κατώτερο Μάρμαρο και από την Ενότητα Κυανοσχιστολίθων το Κάλυμμα Στύρας με σχιστόλιθους, φυλλίτες και χαλαζίτες. Επίσης συναντώνται Νεογενή ιζήματα και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου καλύπτεται από μεγάλο πάχος Τεταρτογενών αποθέσεων, στις οποίες αναπτύσσεται υδροφορία που βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα. Εκτός από την υδροφορία των προσχώσεων υπάρχει και η καρστική υδροφορία.

Όσον αφορά στην υδρολιθολογική κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών, στους υδροπερατούς ανήκουν τα μάρμαρα, ως μακροπερατοί σχηματισμοί που έχουν αναπτύξει δευτερογενές πορώδες, τα ημισυνεκτικά κροκαλοπαγή και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις. Στους ημιπερατούς σχηματισμούς ανήκουν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, οι ψαμμίτες, οι μάργες, οι πηλοί και οι σχιστόλιθοι, όταν το πέτρωμα των τελευταίων έχει υποστεί διάρρηξη ή/και όταν εμφανίζεται αποσαθρωμένο. Αντίθετα, όταν το πέτρωμα των σχιστολίθων είναι υγιές, τότε εκείνοι ανήκουν στους αδιαπέρατους σχηματισμούς. Η διαφορά των σχιστολίθων με τα μάρμαρα και τους ασβεστόλιθους, ως προς την υδροπερατότητά τους, είναι ότι όταν εντός των σχιστολίθων εντοπίζεται δίκτυο ασυνεχειών, το νερό που κατέρχεται παρασύρει τα προϊόντα διάλυσης του μητρικού πετρώματος σε άλλες θέσεις που φράσσουν τελικά τη δίοδό του. Αντίθετα τα ανθρακικά πετρώματα διαλύονται από το νερό.

Τα δείγματα που ελήφθησαν για τις χημικές αναλύσεις προήλθαν κυρίως από την λεκάνη της Αναβύσσου και την Παλαιά Φώκεια, με δύο δείγματα να προέρχονται από την περιοχή των Καλυβίων Θορικού. Χρησιμοποιήθηκαν και παλαιότερες χημικές αναλύσεις, από τα έτη 2001 και 2011, με σκοπό τον προσδιορισμό του κυρίαρχου μηχανισμού ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού αλλά και την χρονική μεταβολή της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού.

Προκύπτει ότι ο κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού για τα έτη 2001 και 2011 ήταν η εξατμισοδιαπνοή ενώ για το 2020 η αλληλεπίδραση του

πετρώματος με το νερό. Ωστόσο το σύνολο των δειγμάτων για το 2020 ήταν μικρό με συνέπεια να μην μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα. Η επικράτηση του μηχανισμού της εξάτμισης στον έλεγχο της χημείας των υπόγειων νερών, σε συνδυασμό με τη χρήση λιπασμάτων, την επιστρεφόμενη «αρδευτική» ροή και την υπεράντληση του υπόγειου νερού, έχει προκαλέσει υφαλμύρωση στις γεωτρήσεις και τα πηγάδια της παράκτιας κυρίως ζώνης και τη συνολική υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι εκτός από το φυσικό μηχανισμό ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού, υπάρχει και ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος με τις ενέργειές του, όπως τη χρήση λιπασμάτων, επηρεάζει την χημική σύσταση του υπόγειου νερού. Επιπροσθέτως, το νερό που αποτελεί την επιστρεφόμενη αρδευτική ροή δύναται να έχει τριπλάσια ή και δεκαπλάσια συγκέντρωση αλάτων σε σχέση με την συγκέντρωση αλάτων του νερού που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην άρδευση.

Με σκοπό να διερευνηθεί η ποιότητα του υπόγειου νερού για υδρευτική χρήση χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Ποιότητας Νερού (Water Quality Index). Οι χημικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ποιότητας του υπόγειου νερού ήταν: pH, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, TH, T.D.S. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του WQI (Water Quality Index) και τα κριτήρια ποσιμότητας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2017), το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων για το 2001 και το 2011 είναι ακατάλληλο προς πόση. Αντίθετα το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων του 2020 είναι κατάλληλο προς πόση. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των δειγμάτων για το 2020 είναι μικρός με συνέπεια να μην μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα.

Με σκοπό να διερευνηθεί η καταλληλότητα του υπόγειου νερού για άρδευση χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες SAR, %Na, PI καθώς και το διάγραμμα Wilcox. Ο δείκτης προσρόφησης νατρίου και ο δείκτης διαπερατότητας έδειξαν ότι όλα τα δείγματα είχαν είτε εξαιρετικό είτε καλό νερό για άρδευση και για τα τρία έτη (2001, 2011, 2020). Υπήρξε μια μικρή διαφοροποίηση όσον αφορά το %Na, με τα δείγματα να έχουν είτε εξαιρετικό είτε καλό είτε επιτρεπτό νερό για άρδευση. Για το 2001 τα δείγματα που σύμφωνα με το δείκτη αυτό είχαν επιτρεπτό νερό για άρδευση βρίσκονταν κυρίως στο παράκτιο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου. Η κατηγοριοποίηση που προέκυψε σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox, για το 2001, έδειξε ότι τα περισσότερα δείγματα έχουν μέτριο έως πολύ μέτριο νερό για άρδευση το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προφυλάξεις. Ακόμη τρία δείγματα, τα πηγάδια Π16, Π18, και Π19, είχαν σύμφωνα με το διάγραμμα, τιμές εκτός ορίων, δηλαδή είχαν πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για το 2011, τα δείγματα που σύμφωνα με το %Na έχουν επιτρεπτό νερό για άρδευση, δεν συγκεντρώνονται σε ένα σημείο αλλά είναι διάσπαρτα στην περιοχή



της Αναβύσσου, της Παλαιάς Φώκαιας και του Θυμαρίου. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση από το διάγραμμα Wilcox τα περισσότερα δείγματα είχαν μέτριο έως πολύ μέτριο νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προφυλάξεις. Κανένα δείγμα, για το έτος αυτό, δεν βρίσκεται εκτός ορίου στο διάγραμμα. Για το 2020, σύμφωνα με το %Na, δείγμα από την ιδιωτική γεώτρηση στα Καλύβια Θορικού είχε αμφίβολο νερό για άρδευση ενώ δείγμα από πηγάδι στη Παλαιά Φώκεια είχε επιτρεπτό νερό για άρδευση. Στο διάγραμμα Wilcox αυτά τα δύο δείγματα είχαν κακής ποιότητας νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ανθεκτικά φυτά και με προσθήκη γύψου. Καθίσταται φανερό πόσο πολύ επηρεάζει η ηλεκτρική αγωγιμότητα την απόδοση των καλλιεργειών.

## ABSTRACT

The present diplomacy focuses on the spatio-temporal change of the parameters that characterize the quality of the aquifer in the basin of Anavussos. The community of Anavussos belongs to the Municipality of Saronikos with the communities of Palea Fokea, Saronida, Kalivia Thorikou and Kouvara.

Geologically, the largest part of Anavussos basin is covered with thick Quaternary deposits, at which an aquifer is developed with hydraulic communication with the sea. Apart from the aquifer of the alluvium, there is also the karstic aquifer, which is surrounded by impermeable formations and does not come into contact with the aquifer of the alluvium or with the sea.

The samples were taken mainly from the basin of Anavussos and Palea Fokea. Two samples were taken from Kalivia Thorikou. Also data from chemical analysis of previous years was used in order to determine the dominant process controlling the groundwater chemistry and to observe the chemical changes of the groundwater composition over time.

The dominant process in controlling the groundwater chemistry is evaporation. This process, in combination with the irrigation return flow, the extensive use of agricultural fertilizers and over-pumping has caused the salinization of the coastal zone and the overall deterioration of the quality of the water. It is important to note that besides the natural mechanism controlling the groundwater chemistry there is also the human factor, whose actions, such as the use of fertilizers, affects the chemical composition of the groundwater chemistry. In addition, the water that constitutes the return irrigation flow may have three or even ten times the salt concentration of the initial salt concentration of the water that was used originally in irrigation.

The drinking suitability in Anavussos basin was determined through the Water Quality Index (WQI) modelling approach and the WHO (2017) standards. The largest percentage of the samples, concerning the year of 2001 and 2011, showed that the water was unsuitable for drinking. In 2011 the largest percentage showed drinking suitability, the same as 2020.

Regarding the suitability of groundwater for agricultural uses, various indices have been calculated (SAR, %Na, PI). According to these indices, the largest percentage of samples, for the years 2001, 2011 and 2020 showed that the water is suitable for agricultural use.

However, according to the Wilcox diagram, most of the samples from the mentioned years, have medium quality water that can be used in irrigation with certain restrictions.

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ.Ιωάννη Κουμαντάκη, Ομότιμο Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., τόσο για την ανάθεση αυτής της μελέτης, αλλά και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, με τρόπο μοναδικό, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου των μεταπτυχιακών σπουδών μου, οι οποίες με βοήθησαν πολύ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Βασιλείου – Δρ. Μηχανικό Μεταλλείων-Μεταλλουργών-ΕΔΙΠ ΕΜΠ για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Μαρκαντώνη – Δρ. Γεωλόγο-ΕΔΙΠ ΕΜΠ, για την βοήθειά του, στην διεξαγωγή των εργαστηριακών αναλύσεων.

## 1.Εισαγωγή

### 1.1 Περιοχή Μελέτης

Ο δήμος Σαρωνικού δημιουργήθηκε από τη συνένωση των Δήμων Καλυβίων Θορικού, Αναβύσσου και των Κοινοτήτων Κουβαρά, Σαρωνίδας και Παλαιάς Φώκαιας, σύμφωνα με το πρόγραμμα «Καλλικράτης». Έχει έδρα τα Καλύβια Θορικού και η έκταση του είναι 133.43 km<sup>2</sup>. Ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 29.002 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του ΥΠΕΣ του 2011. Το Πρόγραμμα «Καλλικράτης» ψηφίστηκε από την Ελληνική Βουλή το Μάιο του 2010 και είναι ο ελληνικός νόμος 3852/2010, σύμφωνα με τον οποίο επανακαθορίστηκαν τα όρια των αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ) και η διαδικασία εκλογής των οργάνων και των αρμοδιοτήτων τους<sup>1</sup>.

Η διαίρεση του δήμου Σαρωνικού φαίνεται καθαρά στο παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.1.1** : Οι επιμέρους περιοχές που συναποτελούν το δήμο Σαρωνικού (πηγή: βικιπαίδεια)

<u>Ενότητα</u>	<u>Κοινότητες</u>	<u>Οικισμοί</u>
Καλύβια Θορικού	Καλύβια Θορικού	1. Καλύβια Θορικού 2. Λαγονήσι
Ανάβυσσος	Ανάβυσσος	1. Ανάβυσσος
Παλαιά Φώκαια	Παλαιά Φώκαια	1. Παλαιά Φώκαια 2. Θυμάρι
Σαρωνίδα	Σαρωνίδα	1. Σαρωνίδα
Κουβαράς	Κουβαράς	1. Κουβαράς 2. Μονή Μεταμορφώσεως Σωτήρος 3. Νέος Κουβαράς

Φαίνεται από τον ανωτέρω πίνακα ότι η ενότητα Κουβαρά περιλαμβάνει τους περισσότερους οικισμούς.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναφορά στην ενότητα Καλυβίων Θορικού και Παλαιάς Φώκαιας με έμφαση ωστόσο στην υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης της Αναβύσσου.

<sup>1</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση «[http://www.saronikocity.gr/wil.aspx?a\\_id=1](http://www.saronikocity.gr/wil.aspx?a_id=1)»

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι δημοτικές κοινότητες Καλυβίων Θορικού, Σαρωνίδας, Αναβύσσου και Παλαιάς Φώκαιας.



**Εικόνα 1.1.1:** Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής της Ν. Αττικής, με τα όρια των περιοχών μελέτης (πηγή: *Google Earth, 2020*).

### 1.1.1 Γενική Περιγραφή Αναβύσσου

Ο Δήμος Αναβύσσου βρίσκεται περίπου 45 km νότια της Αθήνας, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Αττικής. Βορειοδυτικά συνορεύει με την κοινότητα της Σαρωνίδας και το δήμο Καλυβίων και νοτιοανατολικά έρχεται σε επαφή με την κοινότητα της Παλαιάς Φώκαιας. Στα νότια και νοτιοδυτικά βρέχεται από θάλασσα<sup>2</sup>. Η λεκάνη της Αναβύσσου έχει επίμηκες σχήμα με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και προς το νότο έχει άνοιγμα στο Σαρωνικό κόλπο, όπου παλαιότερα βρίσκονταν οι αλυκές γνωστές για την παραγωγή άλατος και οι οποίες έκλεισαν το 1969<sup>3</sup>. Επρόκειτο για μια πολύ παλιά αλυκή που λειτουργούσε κατά τη περίοδο της τουρκοκρατίας σαν φυσική αλυκή, χωρίς παρέμβαση στο πήξιμο του αλατιού και όπου συγκεντρωνόταν μόνο όσο είχε δημιουργηθεί από μόνο του. Ήταν το μόνο σημείο στην περιοχή που είχε κάποια οικονομική δραστηριότητα όταν ήρθαν οι πρόσφυγες στην Ανάβυσσο<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.94

<sup>3</sup> Μπασινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.1

<sup>4</sup> Δαλάκογλου Θ., 1996, «Ανάβυσσος: Ο Τόπος, Οι Άνθρωποι και Η Ζωή», Τόμος 1, Ανάβυσσος, σ.27

Εντός των ορίων του Δήμου Αναβύσσου, εκτός από τον κεντρικό οικισμό, αξίζει να αναφερθούν και τα ακόλουθα<sup>5</sup>:

- Το Αγιασμόθι, περιοχή που βρίσκεται ανατολικά του Καπό.
- Ο Άγιος Νικόλαος.
- Ο Άγιος Παντελεήμονας είναι περιοχή που βρίσκεται 1,5 km βόρεια της Αναβύσσου.
- Ο οικισμός Αρέτσου, που βρίσκεται στην παραλία της Αναβύσσου στο όριο με την Παλαιά Φώκεια.
- Τα Βλάχικα, οικισμός που βρίσκεται στην αρχή του κεντρικού δρόμου Σαρωνίδας-Αναβύσσου.
- Το Μαύρο Λιθάρι που είναι περιοχή κατά μήκος του παραλιακού δρόμου Αθηνών-Σουνίου.
- Λάκκα, περιοχή που περικλείεται από το δρόμο της Σαρωνίδας-Αναβύσσου, τις Αλυκές, τα υψώματα του Αγίου Νικολάου και του Μαύρου Λιθαρίου.

Ο πληθυσμός της Αναβύσσου έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό την τελευταία δεκαετία λόγω της γεινιάσής της με την πρωτεύουσα, κάτι που οδήγησε στην τουριστική ανάπτυξη της περιοχής. Πολλοί είναι εκείνοι που επιλέγουν την εξοχική τους κατοικία, ως κύρια, αναζητώντας καλύτερη ποιότητα ζωής. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός της περιοχής φαίνεται να τριπλασιάζεται αφού η περιοχή μετατρέπεται σε παραθεριστικό θέρετρο.<sup>6</sup>



**Εικόνα 1.1.1.1:** Δορυφορική εικόνα της δημοτικής κοινότητας της Αναβύσσου με τα σαφή όρια της (πηγή: *Google Earth*, 2020).

<sup>5</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.94

<sup>6</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.104

Γεωμορφολογικά η Αναβύσσος είναι μια πεδινή και παράκτια περιοχή που περικλείεται από υψώματα και ορεινούς όγκους, οι οποίοι εντοπίζονται στα βόρεια, δυτικά καθώς και στα ανατολικά σύνορά της. Η έκταση της Αναβύσσου έχει κυρίως αραιή και χαμηλή βλάστηση και αξίζει να σημειωθούν τα κατωτέρω γεωμορφολογικά στοιχεία:

- Ο Όλυμπος της Αττικής είναι ένα μικρό, στρογγυλό και βραχώδες ξεροβούνι που εντοπίζεται ΒΒΔ της Αναβύσσου και χωρίζεται από το βουνό Πάνειο μέσω μία κοιλάδας, την οποία διασχίζει ο δρόμος Καλυβίων-Αναβύσσου. Οι δυτικές απολήξεις του φθάνουν σχεδόν στη θάλασσα. Υπάρχει μία αρκετά μεγάλη χαράδρα μεταξύ της κύριας κορυφής της και της κορυφής Σκορδί, που είναι 335 m και που χωρίζει το βουνό σχεδόν στα δύο<sup>7</sup>.
- Οι αλυκές της Αναβύσσου. Πρόκειται για μια πολύ παλιά αλυκή που λειτουργούσε την περίοδο της τουρκοκρατίας, ως μια φυσική αλυκή, χωρίς κάποια παρέμβαση στο πήξιμο του αλατιού, όπου συγκεντρωνόταν το δημιουργηθέν<sup>8</sup>.
- Το ακρωτήρι του Αγίου Νικολάου, στο οποίο βρίσκεται ένα εκκλησάκι όπου βόρεια και δυτικά αυτού υπήρχε προϊστορικός οικισμός, τα σημάδια του οποίου παρατηρεί κανείς καθώς ανεβαίνει το λόφο<sup>9</sup>.
- Ο Αρτσιδάς, βραχονησίδα έκτασης 800 στρεμμάτων πλησίον της ακτή, στο ύψος του 49<sup>00</sup> km της λεωφόρου Αθηνών-Σουνίου. Η ανατολική πλευρά του είναι απόκρημνη, ενώ στη δυτική παρατηρούνται τρία σημεία με αμμουδιά.
- Η μεγάλη παραλία με άμμο που εντοπίζεται μπροστά από τις Αλυκές και η οποία προτιμάται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες από τους κατοίκους της πρωτεύουσας.

Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό, με βροχές την ψυχρή περίοδο, ανομβρία και υψηλές θερμοκρασίες κατά το θέρος. Για να καλυφθούν οι ανάγκες της ύδρευσης και της άρδευσης της περιοχής ανορύχθηκαν πολλές γεωτρήσεις και πηγάδια, από τον δήμο αλλά και από ιδιώτες. Σήμερα οι ανάγκες ύδρευσης καλύπτονται από την ΕΥΔΑΠ, ενώ λειτουργούν πλέον μόνο κάποιες ιδιωτικές γεωτρήσεις για άρδευση. Η γεωργία στην περιοχή αφορά μόνο σε μικρές εκτάσεις στις οποίες καλλιεργούνται ελαιόδεντρα, αμπέλια, φιστίκια καθώς και ιδιωτικοί λαχανόκηποι. Η εντατική άρδευση των καλλιεργειών σε συνδυασμό με τη χρήση λιπασμάτων και την οικιστική ανάπτυξη έχουν μεταβάλλει τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής και έχουν υποβαθμίσει την ποιότητα του υπόγειου νερού.

<sup>7</sup>Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 95

<sup>8</sup> Δαλάκογλου Θ., 1996, «Ανάβυσσος: Ο Τόπος, Οι Άνθρωποι και Η Ζωή», Τόμος 1, Αναβύσσος, σ.27

<sup>9</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 95

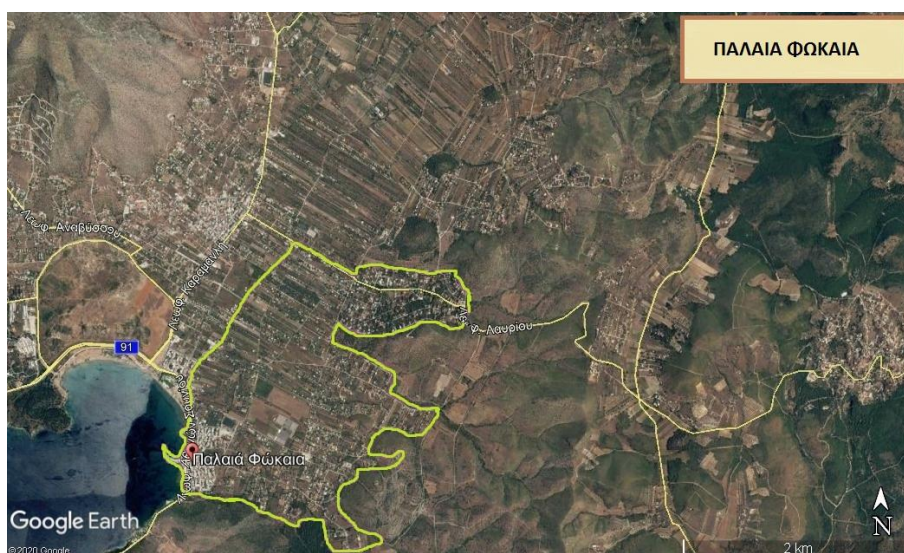


### 1.1.2 Γενική Περιγραφή Παλαιάς Φώκαιας

Η κοινότητα της Παλαιάς Φώκαιας έρχεται σε άμεση επαφή με τα ανατολικά όρια της Αναβύσσου. Ακόμη συνορεύει στα ανατολικά με τον δήμο Κερατέας ενώ δυτικά και νότια βρέχεται από τη θάλασσα και έχει έκταση 22.944 km. Βρίσκεται και εκείνη στο όριο επιρροής της Αθήνας, όπως και η Ανάβυσσος και έχει αναπτύξει μια δομή δορυφόρου-πόλου με την Ανάβυσσο<sup>10</sup>.

Ο δήμος Παλαιάς Φώκαιας περιλαμβάνει τους οικισμούς Παλαιάς Φώκαιας και Θυμάρι, οι οποίοι είναι οι περισσότερο γνωστοί, ωστόσο υπάρχουν και άλλοι διακριτοί οικισμοί οι οποίοι είναι<sup>11</sup>:

- Η Αγροτική Τράπεζα που είναι οικισμός εντός της κοινότητας Παλαιάς Φώκαιας. Το όνομα που δόθηκε στον οικισμό αυτό, οφείλεται στον Συνεταιρισμό υπαλλήλων Αγροτικής Τράπεζας.
- Καταφύγι. Είναι κοιλάδα και λόφος που βρίσκεται 3 km ανατολικά της Αναβύσσου και της Φώκαιας.
- Το Τουρκολίμανο, που είναι και αυτό κοιλάδα και βρίσκεται δεξιά και αριστερά από τον παραλιακό δρόμο, λίγο πριν το Κασίδι.



**Εικόνα 1.1.2.1:** Δορυφορική εικόνα της δημοτικής κοινότητας της Παλαιάς Φώκαιας με τα σαφή όριά της (πηγή: Google Earth, 2020).

<sup>10</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.99

<sup>11</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.99

Το ανατολικό κομμάτι της Παλαιάς Φώκαιας καλύπτεται από βουνά ενώ η περιοχή αποτελείται από βράχια και μικρούς βοσκότοπους. Δάση υπάρχουν και στα βόρεια, ενώ η υπόλοιπη περιοχή καλύπτεται από αγροκτήματα και κατοικίες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο για την περιοχή της Αναβύσσου όσο και για την περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας η οικοπεδοποίηση, η κατασκευή κατοικιών και η χάραξη δρόμων χωρίς πολεοδομικό σχεδιασμό οδήγησε σε αυθαίρετη και άναρχη οικιστική ανάπτυξη με συνέπεια την επέκταση των παραθεριστικών κατοικιών, σε όλα τα παράλια του Σαρωνικού κόλπου, αποτελώντας την προς νότια επέκταση της Αθήνας<sup>12</sup>.

Γενικά η περιοχή είναι αρκετά λοφώδης εκτός από το νοτιοδυτικό τμήμα της, το οποίο είναι πεδινό. Η κοινότητα περιλαμβάνει και το νησί Πάτροκλο το οποίο είναι ακατοίκητο. Τα γεωμορφολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την περιοχή είναι<sup>13</sup>:

- Η Αγία Ειρήνη, λόφος 100 m ανατολικά της Φώκαιας. Στην κορυφή του λόφου υπάρχει και μία εκκλησία, η οποία αποτελεί τη κεντρική εκκλησία του χωριού<sup>14</sup>.
- Η Αγία Φωτεινή, οροπέδιο 4 km, που εντοπίζεται στα ανατολικά της παραλίας του Θυμαρίου.<sup>15</sup>
- Το φυσικό γεφύρι που ονομάζεται «Τρύπια Κορυφή» και βρίσκεται στην περιοχή Καταφύγι Αναβύσσου<sup>16</sup>.
- Το νησί Πάτροκλος.

Όσον αφορά στο κλίμα, στις αρδευτικές και υδρευτικές συνθήκες της περιοχής καθώς στην γεωργία ισχύουν αντίστοιχες συνθήκες με αυτές της Αναβύσσου.

### 1.1.3 Γενική Περιγραφή Σαρωνίδας

Η κοινότητα της Σαρωνίδας βρίσκεται στα νοτιοανατολικά της Αττικής, βόρεια συνορεύει με το Δήμο Καλυβίων και νότια με το Δήμο Αναβύσσου. Στο δυτικό της τμήμα βρέχεται από θάλασσα και η συνολική έκταση της περιοχής ανέρχεται στα 6,6 km<sup>2</sup><sup>17</sup>. Η

<sup>12</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.3

<sup>13</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 99

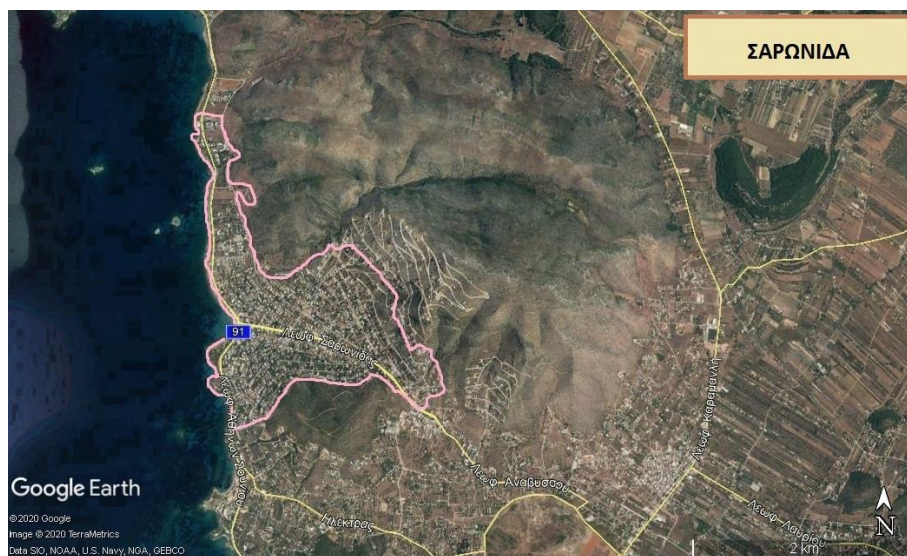
<sup>14</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 99

<sup>15</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 99

<sup>16</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 99

<sup>17</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 97

κοινότητα της Σαρωνίδας θεωρείται ένας ενιαίος οικισμός που έχει αναπτύξει μια δομή δορυφόρου-πόλου με την Ανάβυσσο, όπως και η Παλαιά Φώκεια.



*Εικόνα 1.1.3.1: Δορυφορική εικόνα της δημοτικής κοινότητας της Σαρωνίδας με τα σαφή όριά της (πηγή: Google Earth, 2020).*

Τα γεωμορφολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την περιοχή είναι τα εξής:

- Ο Όλυμπος της Αττικής, έχει ήδη προαναφερθεί στα φυσικά στοιχεία της Αναβύσσου<sup>18</sup>.
- Οι ακτές της Σαρωνίδας, που παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία, με το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής να είναι βραχώδεις, με πολλούς κόλπους που σχηματίζουν φυσικά λιμανάκια.

Όσον αφορά στο κλίμα, στις αρδευτικές και υδρευτικές συνθήκες ισχύουν αντίστοιχες συνθήκες με αυτές της Αναβύσσου.

#### **1.1.4 Γενική Περιγραφή Καλυβίων Θορικού**

Τα Καλύβια Θορικού βρίσκονται νοτιοανατολικά των Αθηνών, στο πίσω μέρος του Υμηττού και σε απόσταση 33 km από την πρωτεύουσα. Το όνομα του Δήμου προέρχεται από παλιότερα, όταν διέμεναν στην περιοχή, σε καταυλισμούς, οι εργάτες του Θορικού Λαυρίου όπου εργάζονταν στα ορυχεία ή στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις της πόλης<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ.98

<sup>19</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: «<https://el.wikipedia.org/>»

Η Δημοτική Κοινότητα Καλυβίων έχει έκταση 70.415 στρέμματα με το έδαφος να είναι ημιορεινό ενώ η κωμόπολη έχει υψόμετρο 110 m από τη θάλασσα και εκτείνεται ανάμεσα στο Πάνειο Όρος και την Αιματόριζα (Μερέντα). Στο βόρειο τμήμα των Καλυβίων παρατηρείται η κύρια πεδιάδα της περιοχής, η οποία εκτείνεται νοτιοδυτικά της περιοχής και φτάνει μέχρι το Λαγονήσι<sup>20</sup>.



*Εικόνα 1.1.4.1: Δορυφορική εικόνα του Δήμου Καλυβίων Θορικού με τα σαφή όριά του (πηγή: Google Earth, 2020).*

Τα γεωμορφολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την είναι τα εξής:

- Το Πάνειο Όρος (Πανί), που βρίσκεται μεταξύ της Κερατέα και των Καλυβίων Θορικού, έχει μέγιστο υψόμετρο 648 m (κορυφή Κερατοβούνι) και είναι το δεύτερο υψηλότερο βουνό της νότιας Αττικής μετά τον Υμηττό. Τμήμα του Πανείου κάηκε το 2008, αλλά την άνοιξη του 2009 έγινε αναδάσωση<sup>21</sup>.
- Τα όρη Μερέντα, όπου πρόκειται για την αρβανίτικη ονομασία του όρους Αιματόριζα και Ριζαγκιάκου.
- Ο Λαυρεωτικός Όλυμπος ή Όλυμπος της Αττικής ή «Όλυμπος Αναβύσσου», στο παρελθόν λεγόταν και Σκορδί, είναι ένα χαμηλό βουνό της νοτιοανατολικής Λαυρεωτικής όπου μαζί με το Πάνειο Όρος και τη Μερέντα είναι ένα από τα τρία βουνά του νοτιότερου τμήματος

<sup>20</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: <<http://www.saronikocity.gr/>>

<sup>21</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: <<https://el.wikipedia.org/>>

της Αττικής. Ο Όλυμπος έχει μέγιστο υψόμετρο τα 487 m και χαρακτηρίζεται από χαμηλή βλάστηση που αποτελείται κυρίως από θάμνους και φρύγανα<sup>22</sup>.

- Από την περιοχή Στρογγύλι μέχρι την παραλία του Λαγονησίου εκτείνονται οι λόφοι Καμάριζα, Τίποτι, Πρόι - Λιόπεσι, Μάλιε - Κούκιες, Αγία Τριάδα - Μπόσκιζα και Ξελαυτάκι<sup>23</sup>.

Οι κύριες χρήσεις γης εντός των ορίων της δημοτικής κοινότητας είναι οι εξής<sup>24</sup>:

- Κατοικία: περίπου 10.000 στρέμματα.
- Γεωργική χρήση: περίπου 35.000 στρέμματα.
- Δάση και δασικές εκτάσεις: περίπου 25.000 στρέμματα.
- Βιοτεχνική-βιομηχανική: περίπου 2.000 στρέμματα.

## 2. Δημογραφικά Στοιχεία Δήμου Σαρωνίδας

Σύμφωνα με τα δημογραφικά στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε προέκυψε ο κατωτέρω πίνακας και το σχήμα στο οποίο φαίνεται η μεταβολή του πληθυσμού στην Ανάβυσσο, την Παλαιά Φώκαια, τη Σαρωνίδα και τα Καλύβια Θορικού.

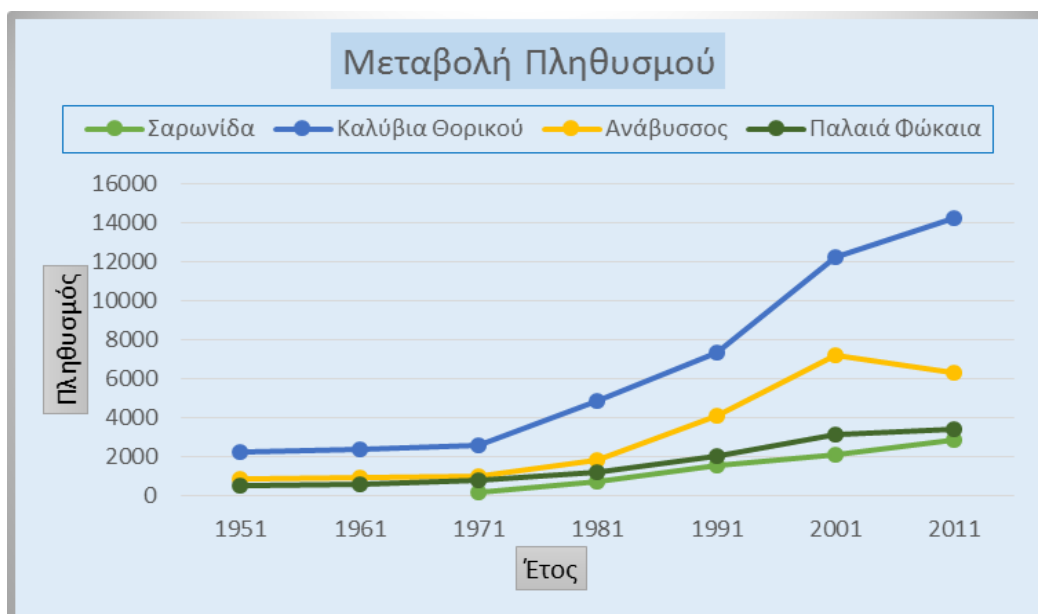
**Πίνακας 2.1:** Πληθυσμιακή μεταβολή ενοτήτων (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΕΤΗ						
	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Σαρωνίδα			159	733	1572	2102	2870
Καλύβια Θορικού	2253	2399	2624	4860	7357	12202	14188
Ανάβυσσος	851	960	1038	1837	4108	7189	6278
Παλαιά Φώκαια	526	582	773	1214	2051	3123	3397

<sup>22</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: <<https://el.wikipedia.org/>>

<sup>23</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: <<https://el.wikipedia.org/>>

<sup>24</sup> Ηλεκτρονική διεύθυνση: <<http://www.saronikoscity.gr/>>



**Σχήμα 2.1:** Διαχρονική μεταβολή πραγματικού πληθυσμού των ενοτήτων (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

Για την ενότητα της Αναβύσσου και όσον αφορά στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 2.1) αυτό που ξεχωρίζει είναι ότι τη δεκαετία του 80' και του 90' σημειώνεται σημαντική αύξηση του πληθυσμού. Από το 1950 έως το 1980 υπάρχει πολύ αργή πληθυσμιακή άνοδος, κάτι που συνάδει και με τα ιστορικά στοιχεία, όπου η περιοχή απαρτιζόταν από ολίγους ντόπιους, κυρίως πρόσφυγες, όπως έχει προαναφερθεί. Από το 1980 έως το 2001 η υψηλή πληθυσμιακή αύξηση πιθανά να είναι απόρροια του γεγονότος, ότι την περίοδο αυτή υπήρχε μία οικονομική άνθιση, λόγω της Ε.Ο.Κ. που οδήγησε τόσο στην κοινωνική αποκέντρωση όσο και στη δημιουργία εξοχικής κατοικίας στην περιοχή.

Ωστόσο, παρατηρείται, ότι από το 2001 έως το 2011 υπάρχει μία πληθυσμιακή πτώση η οποία μπορεί να οφείλεται εν μέρει στην εσωτερική μετανάστευση. Ένας άλλος λόγος καθαρά οικονομικός, είναι η αύξηση στην τιμή των οικοπέδων αλλά και του κόστους ζωής, λόγω της έντονης τουριστικής της ανάπτυξης.

**Πίνακας 2.2:** Ρυθμός μεταβολής πληθυσμού Αναβύσσου (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

<b>Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού Ενότητας Αναβύσσου σε Δεκαετή Βάση</b>					
51-'61	61-'71	71-'81	81-'91	91-'01	01-'11
+12,8%	+8,1%	+77%	+123,6%	+75%	-12,6%

Για την ενότητα της Παλαιάς Φώκαιας, από το 1950 έως και το 1980 υπάρχει πολύ αργή αύξηση του πληθυσμού, το 1981 έως το 1991 παρατηρείται μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης, ειδικότερα τη δεκαετία του 90'. Στη συνέχεια ο ρυθμός της πληθυσμιακής αύξησης πέφτει ελαφρώς, με τελική μέτρηση του πραγματικού πληθυσμού να είναι το 2011, 3.397 άτομα. Γενικά παρατηρείται ότι υπάρχει μία αργή αλλά σταθερή αύξηση των κατοίκων, κάτι που πιθανά να οφείλεται στην προτίμηση της εξοχικής κατοικίας ως κύριας, αλλά και στην παρουσία οικονομικών μεταναστών.

Στον πίνακα που ακολουθεί σημειώνεται ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού στην Ενότητα Παλαιάς Φώκαιας και σε δεκαετή βάση.

**Πίνακας 2.3:** Ρυθμός μεταβολής πληθυσμού Παλαιάς Φώκαιας (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

<b>Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού Ενότητας Παλαιάς Φώκαιας σε Δεκαετή Βάση</b>					
51-'61	61-'71	71-'81	81-'91	91-'01	01-'11
<b>+10,6%</b>	<b>+32,8%</b>	<b>+57%</b>	<b>+68,9%</b>	<b>+52,3%</b>	<b>+8,8%</b>

Για την ενότητα της Σαρωνίδας και λόγω των ελλιπών δεδομένων για τον πληθυσμό πριν το 1971 είναι φρόνιμο να γίνει μία σύντομη ανασκόπηση της περιοχής. Η Σαρωνίδα υπήρξε για πολλά χρόνια μία κατ' εξοχήν παραθεριστική περιοχή για τους Αθηναίους της μητρόπολης.

Το 1912 η Σαρωνίδα συμπεριλαμβάνεται στην κοινότητα Κερατέας, το 1927 συμπεριλαμβάνεται στην κοινότητα Καλυβίων Θορικού, το 1929 συμπεριλαμβάνεται στην κοινότητα της Αναβύσσου, με το 1979 να ιδρύεται αυτόνομη κοινότητα με το όνομα Σαρωνίδα και σήμερα καταλήγει να ανήκει στο δήμο Σαρωνικού<sup>25</sup>. Στα μέσα της δεκαετίας του 60' αρχίζει ένας μαζικός παραθερισμός, με τον πληθυσμό να στρέφεται προς τις παραλιακές, κυρίως, περιοχές της Αττικής. Την περίοδο αυτή δεν υπάρχει πολιτική χρήσεων γης ή πολεοδομικού σχεδιασμού, με συνέπεια να παρατηρείται μία μαζική αυθαίρετη δόμηση στα νότια παράλια της Αττικής, με τις ευρύτερες περιαστικές ζώνες παραθεριστικής κατοικίας να δημιουργούν προβλήματα στη ρυμοτομία, αλλά και με έλλειμμα στις υποδομές<sup>26</sup>. Εξαιρούνται

<sup>25</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.12

<sup>26</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.13

οι περιοχές ανάπτυξης, οι οποίες βρίσκονται εντός των ορίων των υφιστάμενων οικισμών ή εκείνες που εντάχθηκαν στο σχέδιο πόλης<sup>27</sup>. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα δεδομένα για τη καταγραφή του πληθυσμού να υφίστανται από το 1971 και μετέπειτα.

Από το 1971 μέχρι το 2011, σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση του πληθυσμού. Στις αρχές της δεκαετίας του 90' ξεκινά μία μεταβολή στη χρήση των περιοχών παραθεριστικής κατοικίας, κυρίως στα παράλια της Αττικής, σε περιοχές μόνιμης κατοικίας, τόσο με την οικοδόμηση νέων κατοικιών όσο και με αλλαγή χρήσης των ήδη υπαρχόντων<sup>28</sup>. Ιδιαίτερα την περίοδο 1994-1998 παρατηρείται μία αύξηση της νόμιμης οικοδόμησης σε περιοχές που δεν ήταν εντός σχεδίου, για οικοδόμηση, κατά 94,6% σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία<sup>29</sup>. Σημαντική αύξηση παρατηρείται μεταξύ των δεκαετιών 1971-1991. Σήμερα, η πλειοψηφία των κατοίκων της Σαρωνίδας είναι οι Αθηναίοι, οι οποίοι ενώ αρχικά κινούνταν ως παραθεριστές, στη συνέχεια εγκαταστάθηκαν στην περιοχή μόνιμα. Σε αυτό συνετέλεσε και η κατασκευή του παραλιακού αυτοκινητόδρομου Αθηνών Σουνίου<sup>30</sup>.

Στον πίνακα που ακολουθεί σημειώνεται ο ρυθμός μεταβολής (αύξησης) του πληθυσμού στην Ενότητα Σαρωνίδας και σε δεκαετή βάση.

**Πίνακας 2.4:** Ρυθμός μεταβολής πληθυσμού Σαρωνίδας (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

<b>Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού Ενότητας Σαρωνίδας σε Δεκαετή Βάση</b>					
51-'61	61-'71	71-'81	81-'91	91-'01	01-'11
-	-	<b>+361%</b>	<b>+114,5%</b>	<b>+33,7%</b>	<b>+36,6%</b>

Για τα Καλύβια Θορικού μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί ότι, από το 1951 έως σήμερα παρουσιάζεται συνεχής αύξηση του πραγματικού πληθυσμού με ιδιαίτερα ταχείς ρυθμούς μετά το 1971, όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2.1) και διάγραμμα (Σχήμα 2.1). Από το 2001 έως και το 2011 ενώ παρατηρείται ακόμη άνοδος του πληθυσμού υπάρχει

<sup>27</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.13

<sup>28</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.13

<sup>29</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.13

<sup>30</sup> Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα'», σ.14



εμφανής μείωση του ρυθμού αύξησης και μπορεί να ειπωθεί ότι διαφαίνεται μία ομαλοποίηση στους ρυθμούς ανόδου του αριθμού των κατοίκων της περιοχής. Τα Καλύβια Θορικού έχουν σχεδόν το διπλάσιο πληθυσμό από αυτόν της Αναβύσσου και περισσότερο πληθυσμό από τις υπόλοιπες ενότητες που εξετάστηκαν, την Παλαιά Φώκαια και τη Σαρωνίδα. Φαίνεται ότι από τη δεκαετία του 50' ο πληθυσμός των Καλυβίων Θορικού ήταν μεγαλύτερος από τις άλλες περιοχές καθότι είναι μία περιοχή που κατοικείται από την αρχαιότητα. Συγκριτικά με την Αναβύσσο ο πληθυσμός των Καλυβίων Θορικού τη δεκαετία του 90' αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς αλλά και από το 2001 έως το 2011 υπάρχει ακόμη άνοδος σε αντίθεση με αυτόν της Αναβύσσου. Ο λόγος πιθανά να είναι οικονομικός, εφόσον τα Καλύβια Θορικού δεν είναι παραθαλάσσια και η τιμή του οικοπέδου δεν φθάνει την αντίστοιχη της Αναβύσσου. Η προτίμηση επίσης, μπορεί να οφείλεται και στο ότι η περιοχή εξυπηρετεί τις ανάγκες του πληθυσμού καλύτερα σε επίπεδο δημόσιων υπηρεσιών σε σχέση με αυτήν της Αναβύσσου.

Στον πίνακα που ακολουθεί σημειώνεται ο ρυθμός μεταβολής (αύξησης) του πληθυσμού στην Ενότητα Καλυβίων Θορικού και σε δεκαετή βάση.

**Πίνακας 2.5:** Ρυθμός μεταβολής πληθυσμού Καλυβίων Θορικού (έπειτα από επεξεργασία των δημογραφικών στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ).

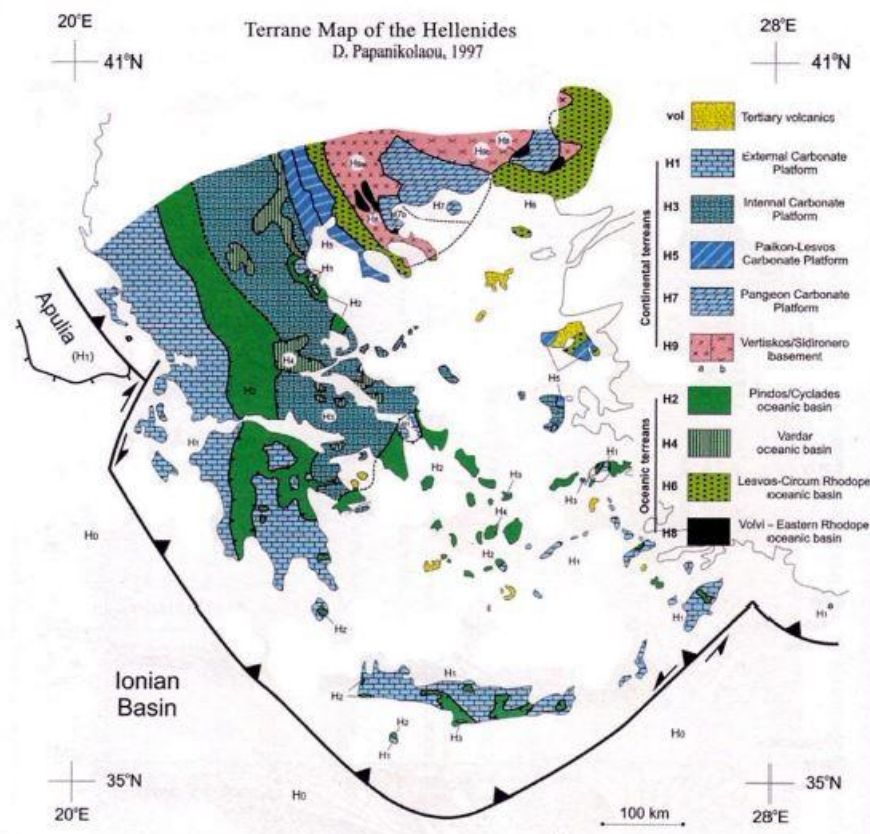
<b>Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού Ενότητας Καλυβίων Θορικού σε Δεκαετή Βάση</b>					
51-'61	61-'71	71-'81	81-'91	91-'01	01-'11
+6,5%	+9,4%	+85,2%	+51,4%	+65,9%	+16,3%

### 3. Γεωλογία

#### 3.1 Διάκριση Τεκτονοστρωματογραφικών Πεδίων και Ενότητα Αττικής

Υπάρχει η διάκριση εννέα τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων και πενήντα περίπου τεκτονικών ενοτήτων, τα οποία «ξεκλειδώνουν», κάθε ένα ξεχωριστά, την γνώση της αλπικής δομής της Ελλάδας<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> Δημήτρης Ι. Παπανικολάου, Οκτώβριος 2015, «Γεωλογία της Ελλάδας», εκδ. Πατάκη, Αθήνα, σ.181



**Εικόνα 3.1.1:** Χάρτης των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων των Ελληνίδων (από Papanikolaou, 1997)

Η γεωλογική δομή της Αττικής είναι αρκετά σύνθετη, με το σύνολο των ερευνητών να μην δύναται καλύψει όλα τα ερωτηματικά που αφορούν τις λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες των γεωλογικών σχηματισμών αλλά και τη γεωτεκτονική ένταξή τους<sup>32</sup>.

Οι σημαντικότερες απόψεις σχετικά με την γεωτεκτονική ένταξη των γεωλογικών σχηματισμών είναι οι εξής:

- Σύμφωνα με τον Jacobshagen (1979), στην περιοχή της Αττικής υπάρχει η Πελαγονική και οι εξωτερικές ενότητες των Κυανοσχιστολίθων, καθώς και των κατώτερων ενοτήτων των Κυκλάδων<sup>33</sup>.
- Σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985), η περιοχή της Αττικής, διαρθρώνεται από σχηματισμούς που εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ζώνες Αττικής-Κυκλαδικής και Υποπελαγονικής, με την μεν πρώτη να καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα και τη δε

<sup>32</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>33</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

δεύτερη το δυτικό. Η Υποπελαγονική είναι επωθημένη στη γεωτεκτονική ζώνη Αττικής-Κυκλαδικής<sup>34</sup>.

- Σύμφωνα με τον Παπανικολάου (1986), η Αττική αποτελείται από σχηματισμούς που εντάσσονται στην Υποπελαγονική (ή Ανατολική Ελλάδα) και καταλαμβάνουν το δυτικό κομμάτι της και στις ενότητες Λαυρίου και Αττικής που καταλαμβάνουν το ανατολικό κομμάτι της<sup>35</sup>. Υπάρχει τεκτονική σχέση μεταξύ αυτών των δύο ενοτήτων, με την ενότητα της Αττικής, να είναι υποκείμενη της ενότητας Λαυρίου, η οποία θεωρείται ότι είναι το αλλόχθονο της Αττικής. Ακόμη, όσον αφορά στο βόρειο τμήμα της Αττικής, η υπερκείμενη τεκτονικά σειρά Αλμυροπόταμου και Κερκετέα, θεωρείται πως είναι αυτόχθονη<sup>36</sup>.
- Σύμφωνα με τον Μιγκίρο (1991), στην Αττική εντοπίζεται η ενότητα Ολύμπου-Αλμυροπόταμου-Αττικής, η οποία αντιστοιχεί με τη ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, η Αττικοκυκλαδική ενότητα, η οποία αντιστοιχεί με τη ζώνη της Πίνδου και η Υποπελαγονική, η οποία δομείται τόσο με Μαλιακούς σχηματισμούς, όσο και με Βοιωτικούς. Οι Μαλιακοί και Βοιωτικοί σχηματισμοί παρατηρούνται στο δυτικό άκρο της περιοχής<sup>37</sup>.
- Σύμφωνα με τον Κατσίκατσο (1992), στην Αττική συναντώνται οι αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης, οι οποίοι είναι επωθημένοι στους εξωτερικότερους σχηματισμούς του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος και της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροπόταμου-Αττικής<sup>38</sup>.

Στην περιοχή της Αττικής συναντάμε<sup>39</sup>:

- Μεταλπικούς σχηματισμούς
- Αμεταμόρφωτους σχηματισμούς
  - 1) Ενότητα Υποπελαγονικής
  - 2) Ενότητα Ανατολικής Ελλάδας
- Μεταμορφωμένους σχηματισμούς
  - 1) Ενότητα Αττικής

<sup>34</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>35</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>36</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>37</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>38</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21

<sup>39</sup> Σκούρτσος Έμμανουήλ, 2015, Παρουσίαση Μαθήματος, «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Αττικής και Πελοποννήσου», Αθήνα, σ.9

## 2) Ενότητα Λαυρίου

Τα μεταλλικά συναντώνται στο εσωτερικό της Αττικής αλλά και στο παραλιακό τμήμα, από τα Μέγαρα μέχρι το Καβούρι και ΒΑ στη Ραφήνα. Διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες μεταλλικές λεκάνες<sup>40</sup>:

- Τα Μεσόγεια
- Το λεκανοπέδιο της Αθήνας
- Τον Ασπρόπυργο
- Τη λεκάνη των Μεγάρων

Θαλάσσιες αποθέσεις εντοπίζονται από τον Πειραιά μέχρι τη Γλυφάδα, το Καβούρι και τη Ραφήνα. Έχουν ηλικία Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο ενώ λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις εντοπίζονται στο εσωτερικό του λεκανοπεδίου των Αθηνών αλλά και των άλλων λεκανών, με ηλικία Ανώτερο Μειόκαινο και Πλειόκαινο<sup>41</sup>. Το Τεταρτογενές χαρακτηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από εκτεταμένα αλλουβιακά ριπίδια όπως είναι το Ριπίδιο Γλυφάδας και Ελληνικού, τεναγώδεις αποθέσεις, αλλούβια καθώς και παράκτιες αποθέσεις<sup>42</sup>.

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου (1986), οι κύριες ενότητες των σχηματισμών είναι:

Η Ενότητα Αττικής. Είναι η κατώτερη τεκτονικά ενότητα, χαρακτηρίζεται από μεταμόρφωση και έντονη παραμόρφωση. Επί αυτής βρίσκονται επωθημένες οι τεκτονικές ενότητες της Ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και του Αλυροπόταμου. Η ενότητα Αττικής χαρακτηρίζεται από αρχικές πτυχωσιγενείς δομές σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και νεότερες σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Αποτελείται από μεγάλη μάζα μαρμάρων που συνίστανται συνήθως από δολομίτη καθώς και από σχιστόλιθους, οι οποίοι εσωκλείουν λεπτούς ορίζοντες ενδιάμεσων μαρμάρων<sup>43</sup>. Εντός των σχιστολίθων εντοπίζονται βασικά και υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα<sup>44</sup>. Η στρωματογραφική στήλη παραμένει περίπου όπως την καθόρισε ο Lepsius (1893), στην περιοχή του Υμηττού με: (α) Σχιστόλιθοι της Βάρης στη βάση, (β) Δολομίτες Πιρναρής, (γ) Κατώτερο Μάρμαρο, (δ) Σχιστόλιθοι Καισαριανής και (ε) Ανώτερο Μάρμαρο<sup>45</sup>.

<sup>40</sup> Σκούρτσος Εμμανούλ, 2015, Παρουσίαση Μαθήματος, «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Αττικής και Πελοποννήσου», Αθήνα, σ.10

<sup>41</sup> Σκούρτσος Εμμανούλ, 2015, Παρουσίαση Μαθήματος, «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Αττικής και Πελοποννήσου», Αθήνα, σ.10

<sup>42</sup> Σκούρτσος Εμμανούλ, 2015, Παρουσίαση Μαθήματος, «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Αττικής και Πελοποννήσου», Αθήνα, σ.10

<sup>43</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>44</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>45</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

Η ενότητα της Λαυρεωτικής (επωθημένη). Η Ενότητα Λαυρίου αντιστοιχεί στην αλλόχθονη ενότητα της Λαυρεωτικής (Μαρίνος & Petrascheck, 1956) που σταδιακά μεταβαίνει στην πολυπλοκότερη αλλόχθονη ενότητα του λεκανοπεδίου της Αθήνας, που ναί μεν είναι μεταμορφωμένη, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Υπάρχει αδυναμία, ως προς τον καθορισμό στρωματογραφικής κολώνας, και λόγω αυτού, εντοπίζονται πολλές αντιθέσεις μεταξύ των ερευνητών (Μαρίνος et al. 1971, 1973, Τάταρης 1972, Παρασκευαΐδης & Χωριανοπούλου 1978)<sup>46</sup>. Η ενότητα της Λαυρεωτικής περιέχει αρκετούς ολισθόλιθους και τεκτονικές σφήνες, με πληθώρα λιθότυπων που της προσδίδουν χαρακτηριστικά μίγματος<sup>47</sup>. Ακόμη ασβεστόλιθοι παρατηρούνται στο ανώτερο τμήμα της ενότητας, οι οποίοι εμφανίζονται στην Αθήνα αλλά και στο Λαύριο<sup>48</sup>.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι<sup>49</sup>:

Στην Αττική γεωτεκτονικά διακρίνονται δύο κύριες ενότητες που είναι:

- (i) η ενότητα Αττικής και
- (ii) η επωθημένη σε αυτή Υποπελαγονική ενότητα.

Η ενότητα Αττικής διακρίνεται σε<sup>50</sup>:

- i. μια αυτόχθονη ακολουθία σχηματισμών, αντίστοιχη του Ολύμπου - Αλμυροπόταμου - Κερκετέα και
- ii. μια υπερκείμενη ακολουθία, αλλόχθονη και αντίστοιχη της Αττικοκυκλαδικής (Katsikatsos et al., 1986).

Η Υποπελαγονική ενότητα λόγω του ότι παρουσιάζει ποικίλες λιθοστρωματογραφικές αλλαγές και λόγω και της καλυμματικής τεκτονικής που την χαρακτηρίζει, μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους τεκτονικές ακολουθίες σχηματισμών.

---

<sup>46</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>47</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>48</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>49</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

<sup>50</sup> Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 24

### 3.2 Γεωλογία Ανατολικής Αττικής

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στη Ν. Αττική είναι είτε μεταμορφωμένοι είτε ημιμεταμορφωμένοι και χαρακτηρίζονται από το κατώτερο και σχετικά αυτόχθονο σύστημα, με μάρμαρα και σχιστόλιθους, μεσοζωικής ηλικίας. Πρόκειται για τη σειρά Υμηττού-Νότιας Αττικής (Κατσικάτσος, 1992)<sup>51</sup>. Οι σχηματισμοί της Ενότητας της Αττικής διακρίνονται στις ακόλουθες λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες:

- Σειρά Υμηττού - Νότιας Αττικής<sup>52</sup>. Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της σειράς αυτής, εξετάζεται χωριστά, διότι διαφοροποιείται από τους σχηματισμούς της Βορειοανατολικής Αττικής και Αλμυροποτάμου<sup>53</sup>.

Διακρίνεται, από κάτω προς τα πάνω σε πέντε λιθοστρωματογραφικούς ορίζοντες<sup>54</sup>:

- i. τους Σχιστόλιθους Βάρης,
- ii. τους Δολομίτες Πιρναρής,
- iii. το Κατώτερο Μάρμαρο,
- iv. τους Σχιστόλιθους Καισαριανής και
- v. το Ανώτερο Μάρμαρο.

Όσον αφορά το Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα (ή αλλιώς Τεκτονικό Κάλυμμα Κυανοσχιστολίθων), αυτό βρίσκεται επωθημένο στις σχετικά αυτόχθονες σειρές σχηματισμών της Αττικής (Κατσικάτσος, 1992).

Κατωτέρω παρατίθεται γεωλογικός χάρτης της Ανατολικής Αττικής.

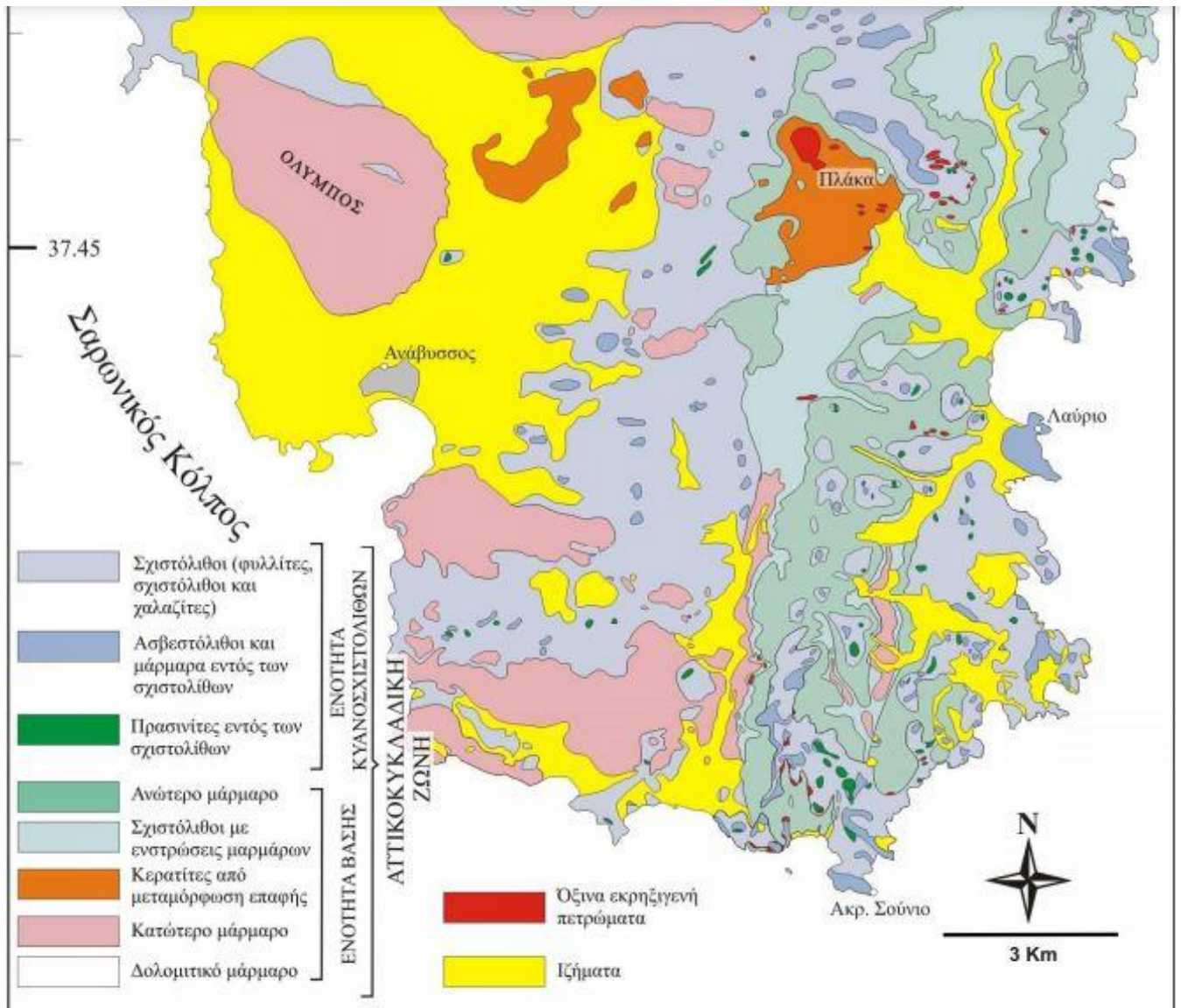
---

<sup>51</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 45

<sup>52</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 45

<sup>53</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 45

<sup>54</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 45



Σχήμα 3.2.1<sup>55</sup>: Γεωλογικός χάρτης Ανατολικής Αττικής (πηγή: Δημήτριος Γ. Σπανός, 2012)

<sup>55</sup> Δημήτριος Γ. Σπανός, 2012, Διδακτορική Διατριβή, «Γεωδυναμική εξέλιξη της Αττικής», Πάτρα, σ. 33

### 3.2.1 Λιθοστρωματογραφική Διάρθρωση

Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση των σχηματισμών που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Αναβύσσου, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι<sup>56</sup>:

#### 3.2.1.1 Σειρά Υμηττού – Ν. Αττικής

Από το αυτόχθονο σύστημα, στη μελετώμενη περιοχή εντοπίζονται μόνο οι σχηματισμοί του Κατώτερου Μαρμάρου. Ωστόσο η σειρά Υμηττού-Ν.Αττικής περιλαμβάνει:

- I. Ασβεστόλιθους και Σχιστόλιθους: Ποικίλου χρώματος ανακρυσταλλωμένοι και εν μέρει δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι, οι οποίοι εναλλάσσονται με σχιστόλιθους χλωριτικούς ασβεστιτικούς αλλά και μαρμαρυγιακούς. Εντός των στρωματογραφικών οριζόντων, υπάρχουν παρεμβολές πυροκλαστικών υλικών<sup>57</sup>.

Έχουν ηλικία Κάτω Τριαδική, με το εμφανές πάχος να φθάνει τα 250 m. Από τον Lepsius (1983) έχουν χαρακτηριστεί ως «σχιστόλιθοι Βάρης»<sup>58</sup>.

- II. Δολομίτες Πιρναρής: πρόκειται για μεσοπαχυστρωματώδεις έως άστρωτους δολομίτες που στη βάση τους γίνονται λεπτοστρωματώδεις και κλαστικοί, και εναλλάσσονται με μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και οι οποίοι έχουν υποστεί καρστική διάβρωση, εξαιτίας του τεκτονικού κατακερματισμού τους. Ωστόσο η καρστική διάβρωση είναι πιο δύσκολη στις ενστρώσεις των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων<sup>59</sup>. Έχουν ηλικία Άνω Τριαδική - Κάτω Ιουρασική, όπως έχει δείξει πλήθος απολιθωμάτων, όπως *Megalodon*, *Theocosmillia*, *Calamophyllia*, και *Gyroporella vesiculifera* με το πάχος τους να φτάνει τα 250 m περίπου<sup>60</sup>.

- III. Κατώτερο Μάρμαρο: είναι κυρίως αδροκρυσταλλικό, καλά στρωμένο μάρμαρο, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που είναι παχυστρωματώδες (1-2 m) έως άστρωτο, ενώ κάποιες φορές περιέχει και ενστρώσεις σχιστολίθων<sup>61</sup>.

<sup>56</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>57</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>58</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>59</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.53

<sup>60</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>61</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46



Το Κατώτερο Μάρμαρο είναι γενικά κερματισμένο από πλήθος διακλάσεων, με συνέπεια να δίνει την εντύπωση μικρολατυποπαγούς<sup>62</sup>, με τα ρήγματα να είναι μικρά και με μεγάλες κλίσεις διεύθυνσης ΑΔ ή ΒΔ<sup>63</sup>. Έντονη ρωγμάτωση του κατώτερου μαρμάρου συναντάται στο ανατολικό και δυτικό Πάνειο όρος και στον Όλυμπο, με τις ανοικτές ρωγμές να πληρώνονται με CaCO<sub>3</sub><sup>64</sup>. Ο σχηματισμός είναι καρστικοποιημένος και το πάχος κυμαίνεται από 250 έως 600 m. Μαζί με τους Σχιστόλιθους Βάρης και τους Δολομίτες «Πιρναρής» το πάχος τους ξεπερνάει τα 800 m<sup>65</sup>.

Τον σχηματισμό του Κατώτερου Μαρμάρου τον συναντάμε στους ορεινούς όγκους της Αναβύσσου (Πάνειο όρος, Όλυμπος, Ασφακερή), ενώ με τη μορφή τεκτονικού παραθύρου παρατηρείται στο ανατολικό και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής<sup>66</sup>.

Εξαιτίας του ότι το μάρμαρο είναι κατακερματισμένο από διακλάσεις και σε συνδυασμό με την καρστική διάβρωση που έχει υποστεί, η διαπερατότητα που εμφανίζει είναι μεγάλη<sup>67</sup>. Το κατώτερο μάρμαρο εντοπίζεται ακόμη, στη Παλαιά Φώκεια σε μεγάλη έκταση, στο Θυμάρι, στη Σαρωνίδα, στα Καλύβια Θορικού αλλά και στον Κουβαρά. Παρατηρείται ότι στο Δήμο Σαρωνικού, ο σχηματισμός αυτός απαντάται σε ποικίλες θέσεις.

IV. Σχιστόλιθοι Καισαριανής με μεταβασίτες και μάρμαρα: Πρόκειται για μοσχοβιτικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες, με ενστρώσεις μαρμάρων, που είτε υπέρκεινται του Κατώτερου Μαρμάρου είτε αποτελούν πλευρική μετάβαση αυτού. Αυτό έχει σαν συνέπεια την καταστροφή του πάχους των σχιστολίθων Καισαριανής, που σε αντίθετη περίπτωση φθάνει τα 300 m πάχος (Κατσικάτσος, 1992) και έχουν ηλικία Άνω Ιουρασικό<sup>68</sup>.

### 3.2.1.2 Ενότητα Κυανοσχιστολίθων

Στη μελετώμενη περιοχή από την Ενότητα των Κυανοσχιστολίθων, απαντάται το Κάλυμμα Στύρας, το οποίο συνίσταται από μάρμαρα και σχιστόλιθους. Στην ευρύτερη περιοχή

<sup>62</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>63</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>64</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>65</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 46

<sup>66</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.47

<sup>67</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 47

<sup>68</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.55

της Αναβύσσου όμως, εντοπίζονται μόνο οι σχιστόλιθοι. Στις δυτικές παρυφές των βουνών Ολύμπου και Πανιού, η Ενότητα Κυανοσχιστολίθων υπέρκειται του Κατώτερου Μαρμάρου. Επίσης, σε μεμονωμένες θέσεις, συναντάμε ασβεστόλιθους και μάρμαρα εντός των σχιστολίθων. Ακόμη, σχιστόλιθους της ενότητας αυτής, συναντάμε και στην ευρύτερη περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας.

### 3.2.1.3 Νεογενή Ιζήματα

Από το Τριτογενές στην περιοχή της νότιας Αττικής απαντάται μόνο το νεογενές με τα νεογενή ιζήματα να είναι χερσαίας και υφάλμυρης προέλευση<sup>69</sup>. Οι νεογενείς σχηματισμοί έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στις επιφάνειες των υποκείμενων σχηματισμών<sup>70</sup>. Το μέγιστο πάχος τους υπερβαίνει τα 100m (Κούνης, 1975) και έχουν ηλικία Μέσο-Μειόκαινο (Ελβέτιο)<sup>71</sup>. Αυτά καλύπτουν το βόρειο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου και το δυτικό τμήμα της περιοχής ενώ εντοπίζονται και στο παραλιακό κομμάτι των Καλυβίων Θορικού. Συνίστανται από κροκαλοπαγή, ψαμιμίτες μάργες και μαργαικούς ασβεστόλιθους.

Συγκεκριμένα για τη λεκάνη της Αναβύσσου:

- Κροκαλοπαγή: Τα κροκαλοπαγή που παρατηρούνται στη λεκάνη της Αναβύσσου είναι δύο ειδών, τα ημισυνεκτικά έως χαλαρά κροκαλοπαγή, με μέγεθος κροκάλων έως 30 cm και τα ημισυνεκτικά έως συνεκτικά κροκαλοπαγή με μέγεθος κροκάλων έως 15 cm<sup>72</sup>.
- Μαργαικοί ασβεστόλιθοι: Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι πτυχωμένοι και κερματισμένοι. Εμφανίζονται κυρίως στο λόφο Βαλμά.
- Μάργες και άργιλοι: Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στη Φέριζα και στα υψώματα Αρί και Μελίτσια Γιατρού<sup>73</sup>.

### 3.2.1.4 Τεταρτογενείς Αποθέσεις

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν σημαντική έκταση της λεκάνης της Αναβύσσου, τμήμα της Παλαιάς Φώκαιας, το νότιο τμήμα της Κερατέας καθώς και το νότιο

---

<sup>69</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>70</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>71</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>72</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>73</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

παράκτιο κομμάτι των Καλυβίων Θορικού. Στη λεκάνη της Αναβύσσου διακρίνονται οι κατωτέρω λιθολογικές ενότητες:

- Ολόκαινο: Οι αποθέσεις του Ολοκαίνου είναι σχετικά πρόσφατοι και χαλαροί σχηματισμοί που περιλαμβάνουν τις χειμαρρώδεις αποθέσεις, τα πρόσφατα πλευρικά κορήματα και τους κώνους κορημάτων. Επίσης περιλαμβάνουν και τον μανδύα αποσάθρωσης των υποκείμενων σχηματισμών<sup>74</sup>.
  - i. Χειμαρρώδεις αποθέσεις: είναι πρόσφατοι αλλουβιακοί σχηματισμοί που καλύπτουν τις περιοχές της ευρύτερης κοίτης των χειμάρρων και είναι ασύνδετα έως χαλαρά υλικά μικρού συνήθως πάχους<sup>75</sup>.
  - ii. Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων: Εντοπίζονται στις κλιθείς του Ολύμπου και Κερατοβουνίου και αποτελούνται από αργιλώδη, ιλυώδη και αμμώδη χαλαρά υλικά χρώματος ανοιχτού καφέ με κροκάλες και χαλίκια<sup>76</sup>.
  - iii. Τα προϊόντα αποσάθρωσης: Καλύπτουν τις περιοχές χαμηλού υψομέτρου και αποτελούνται κροκάλες και λατύπες, ποικίλης σύστασης ανάλογα με τους υποκείμενους σχηματισμούς<sup>77</sup>.
  
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις που διακρίνονται σε δύο ενότητες:
  - i. Συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή: Εντοπίζονται στη βάση των κλιτύων των βουνών, και στη λεκάνη της Αναβύσσου, τα συναντάμε στο Κερατοβούνι, στο νότιο τμήμα του Ολύμπου αλλά και στην Ασφακερή. Είναι σχηματισμός που συνίσταται από κροκάλες και λατύπες του κατώτερου μαρμάρου<sup>78</sup>.
  - ii. Αργιλο-πηλοί: πρόκειται για ποταμοχειμάρριες και χερσαίες αποθέσεις, που αποτελούνται από χαλαρά και ασύνδετα υλικά με διάσπαρτα τεμάχια κροκάλων και λατύπων, που προέρχονται από την διαδικασία της φυσικής αποσάθρωσης των αλπικών σχηματισμών και των νεογενών<sup>79</sup>.

---

<sup>74</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>75</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>76</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>77</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>78</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

<sup>79</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 48

### 3.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη Ανατολικής Αττικής

Η περιοχή της Ανατολικής Αττικής συνιστά το βορειοδυτικό άκρο της Αττικοκυκλαδικής ζώνης, η οποία τεκτονικά εντοπίζεται κάτω από την Πελαγονική ζώνη, και αποτελεί ένα σύμπλεγμα μεταμορφωμένων σχηματισμών που μπορεί να διακριθεί σε τρεις ξεχωριστές ενότητες:

- **Την Ανώτερη Ενότητα**, που δομείται από μία σειρά αμεταμόρφωτων ιζημάτων της Υποπελαγονικής ζώνης και είναι Περμικής – Μεσοζωικής ηλικίας<sup>80</sup>. Η Υποπελαγονική ζώνη συνιστά, όπως έχει προαναφερθεί, το αμεταμόρφωτο κομμάτι της Πελαγονικής. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία οφιολιθικών μαζών, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί στην ενότητα με τεκτονικό τρόπο.
- **Την Ενότητα Κυανοσχιστολίθων**, που αποτελείται από μάρμαρα, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, μεταπηλίτες, πυριτιόλιθους, μεταβασίτες και μεταόξινα πετρώματα<sup>81</sup>. Η ενότητα αυτή εκτός από το ότι έχει υποστεί τρεις διαφορετικού βαθμού φάσεις μεταμόρφωσης, έχει λάβει χώρα και διείσδυση γρανιτικής σύστασης, ογκόλιθων. Περιλαμβάνει την Ενότητα Αττικής, την Ενότητα Όχης, την Ενότητα Στύρων, την Ενότητα Βορείων Κυκλάδων και τέλος την Ενότητα Νοτίων Κυκλάδων.
- **Την Ενότητα Βάσης**, όπου συνιστά κομμάτι των εξωτερικών Ελληνίδων και περιλαμβάνει μετα-ιζηματογενή και μαγματικά πετρώματα Περμικής έως Τριτογενής ηλικίας και πρωτόλιθους<sup>82</sup>.

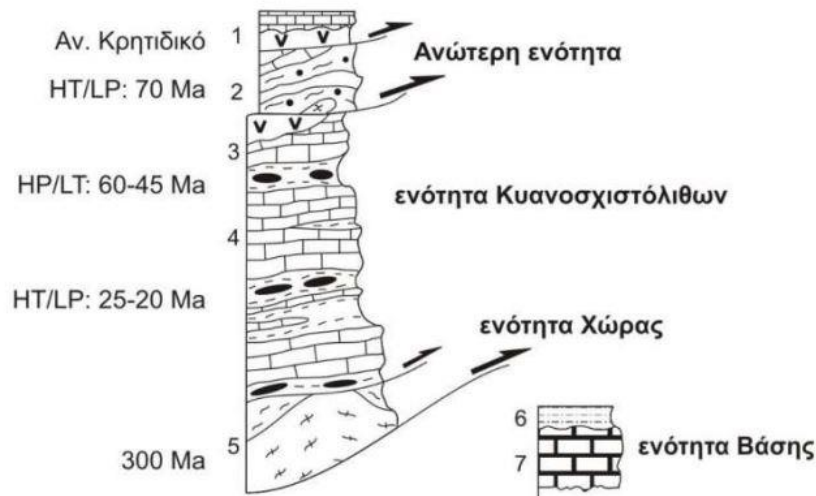
---

<sup>80</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 278

<sup>81</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 278

<sup>82</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 278

## Αττικο-κυκλαδική μάζα



**Εικόνα 3.3.1<sup>83</sup>:** Γεωλογική τομή Αττικοκυκλαδικής μάζας (πηγή: Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΠΠ)

Παρατηρείται ότι η Ενότητα των Κυκλάδων έχει σημαντική εξάπλωση στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου με χαρακτηριστική φακοειδή μορφή, λόγω των μεγάλων συμπίεστικών τάσεων που υπέστη<sup>84</sup>.

Ο βαθμός της μεταμόρφωσης αποτελεί την πιο ουσιώδη διαφορά μεταξύ των ενοτήτων της Αττικής και των Κυκλάδων<sup>85</sup>. Έχουν υποστεί υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας ανάδρομη μεταμόρφωση με όμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, αλλά διαφορετικές μεταμορφικές πορείες ανόδου (Baziotis, 2008)<sup>86</sup>. Το ανωτέρω σε συνδυασμό με την λιθοστρωματογραφία που χαρακτηρίζει τις δύο ενότητες, δίνει την εντύπωση ότι και οι δύο είναι πιθανό να είχαν την ίδια παλαιογραφική αρχή και εξέλιξη, με τη μόνη διαφορά να αφορά στο βαθμό της μεταμόρφωσης. Η επαφή τους είναι τεκτονική με υπερκείμενη την ενότητα Λαυρίου<sup>87</sup>.

Από το Τριαδικό έως σήμερα έχουμε την κατωτέρω εικόνα εξέλιξης:

<sup>83</sup> Ιωάννης Κουκουβέλας, Καθηγητής, Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Γεωλογίας, Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Πανεπιστήμιο Πατρών, σ. 12

<sup>84</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 278

<sup>85</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>86</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>87</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

- Την περίοδο από το Τριαδικό μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό έλαβε χώρα ο σχηματισμός των αρχικών πετρωμάτων των ενότητων, που ανάλογα με τη θέση και το βάθος της ενότητας, προέκυψε ο σχηματισμός των σχιστολίθων βάσης, των ανθρακικών νηρητικών σχηματισμών καθώς και των σχιστολίθων οροφής<sup>88</sup>. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι οι σχιστόλιθοι οροφής, σε αρκετά σημεία τους μοιάζουν με μεταφλύσχη, ωστόσο αυτό θα ήταν δύσκολο να εξακριβωθεί, διότι εντός του σχηματισμού εμφανίζονται επαναλαμβανόμενα τμήματα, που έχουν προκύψει από τεκτονισμό και συνεπώς η ερμηνεία καθίσταται δύσκολη<sup>89</sup>. Ο κύκλος αυτός φθάνει στο πέρας του, στο Ανώτερο Κρητιδικό με την παρουσία ασβεστόλιθων για την ενότητα Λαυρίου και σχιστόλιθων οροφής για την ενότητα Αττικής<sup>90</sup>.
- Κατά τη διάρκεια του Ολιγοκαίνου αρχίζει η σταδιακή υποβύθιση των Κυκλάδων, η οποία γίνεται παράλληλα με εκείνη της Πίνδου, και την ένεκα υψηλών πιέσεων-χαμηλών θερμοκρασιών μεταμόρφωση αυτής<sup>91</sup>. Η φάση της μεταμόρφωσης ξεκίνησε με υψηλή πίεση και παρουσία γλαυκοφανή, ενώ στη συνέχεια αυξήθηκε η θερμοκρασία πάνω από 300°C (Kessel, 1990)<sup>92</sup>. Οι δύο ενότητες χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό μεταμόρφωσης. Στη φάση αυτή τελειώνει και η μέγιστη συμπίεση. Με διάρκεια από 70 – 8 Ma η περιοχή των Ελληνίδων κυριαρχείται από δεξιόστροφη στρέψη, κατά 50° με κέντρο την Αλβανία και τη περιοχή της Τουρκίας να στρέφεται αριστερόστροφα πριν από 12 – 5 Ma (Kissel, et. al. 2003)<sup>93</sup>.
- Κατά το Κατώτερο Μειόκαινο πραγματοποιείται μία παροξυσμική φάση εφελκυσμού, όπου η διατήρηση της φάσης των υψηλών πιέσεων (Παλαιογενές), έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των μεταμορφικών συστημάτων των Κυκλάδων<sup>94</sup>.
- Κατά το Μέσο Μειόκαινο, η περιοχή του Κεντρικού Αιγαίου, καθώς και άλλα τμήματα του Ελληνικού χώρου, αρχίζουν να δέχονται την κύρια φάση εφελκυσμού, η εκδήλωση της οποίας γίνεται εμφανής με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης, μικρής και μεγάλης γωνίας (Papanikolaou and Royden, 2007). Σταδιακά οι τάσεις εφελκυσμού, μετατοπίζονται σε

<sup>88</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>89</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>90</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>91</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>92</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.279

<sup>93</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>94</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

άλλα τμήματα του Ελλαδικού χώρου, δημιουργώντας τις εφελκυστικές ζώνες που έχουμε σήμερα<sup>95</sup>.

- Στο Ανώτερο Μειόκαινο – Πλειόκαινο έχει ξεκινήσει η αποκάλυψη των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Ανατολικής Αττικής. Έχει δημιουργηθεί αναθόλωση σε όλες τις δομές της, ως απόρροια του εφελκυσμού που επικρατεί στη περιοχή. Στο ανώτερο τμήμα των μεταμορφωμένων σχηματισμών, αποτίθενται κατά θέσεις, παράκτια και τεναγώδη ιζήματα (ml)<sup>96</sup>. Στο δυτικό τμήμα του Υμηττού λειτουργεί ένα κανονικό ρήγμα αποκόλλησης (Παπανικολάου et. al., 2004), όπως επίσης, κανονικό ρήγμα αποκόλλησης λειτουργεί και στο ανατολικό τμήμα του Υμηττού<sup>97</sup>. Το ρήγμα αποκόλλησης οριοθετεί τη λεκάνη των Σπάτων<sup>98</sup>. Επίσης στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και παράλληλα με τον ορεινό όγκο της Πεντέλης, βρίσκεται πλαγιοκανονικό ρήγμα που έχει αρχή τη ζώνη επώθησης της Πάρνηθας και τέλος με διεύθυνση περίπου Α – Δ τον νότιο Ευβοϊκό κόλπο<sup>99</sup>. Στο νότιο μέρος της λεκάνης των Σπάτων, υπάρχει αρκετά μεγάλη ζώνη διάρρηξης, η οποία ωστόσο οριοθετεί την ολίσθηση, με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ<sup>100</sup>.
- Οι εφελκυστικές τάσεις που επικρατούν στη περιοχή της Ανατολικής Αττικής, είναι απόρροια του εφελκυσμού του κεντρικού Αιγαίου<sup>101</sup>. Τόσο η διεύθυνση του εφελκυσμού όσο και ο τοπικός χαρακτήρας της κίνησης, οφείλεται ως επί το πλείστο, στη διαφορική ταχύτητα των δύο μεγάλων λεκανών εκείνης της περιόδου, που είναι, του Νότιου Ευβοϊκού και του Κορινθιακού–Σαρωνικού<sup>102</sup>. Σύμφωνα με σημερινά στοιχεία, η λεκάνη του Κορινθιακού ανοίγει με μεγαλύτερη ταχύτητα από τη λεκάνη του Ευβοϊκού, με αυτό να συμβαίνει για τουλάχιστον τα τελευταία δύο εκατ. χρόνια, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα «κενό», που προκαλεί ακόμη μεγαλύτερο εφελκυσμό στην περιοχή και μαζί με το άνοιγμα των λεκανών υπό γωνία, έχει σαν συνέπεια την απελευθέρωση των τμημάτων εκατέρωθεν του Υμηττού, αποκαλύπτοντας το υπόβαθρο<sup>103</sup>.

<sup>95</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>96</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>97</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>98</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>99</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>100</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>101</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 280

<sup>102</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 281

<sup>103</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 281

- Τέλος κατά το Τεταρτογενές, επέρχεται και το τέλος της ανόδου της περιοχής και η τοποθέτησή της πίσω από το ηφαιστειακό τόξο με τις ρηξιγενείς ζώνες να τεμαχίζουν τις υπάρχουσες δομές και να συνεχίζουν να βαθαίνουν τις νεοτεκτονικές τάφρους<sup>104</sup>.

#### 4. Υδρογεωλογία Ανατολικής Αττικής

Η γεωλογική δομή μιας περιοχής μαζί με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή, έχουν άμεσο αντίκτυπο στην παρουσία, την κατανομή και τη διάρκεια των υδατικών πόρων. Σημαντικό ρόλο στους υπόγειους υδροφορείς, διαδραματίζουν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που αφορούν, τόσο εκείνα που έλαβαν χώρα στο παρελθόν όσο και εκείνα που παρατηρούνται σήμερα και τα οποία διηθούνται στο έδαφος και εμπλουτίζουν τους υδροφόρους ορίζοντες. Πρόκειται για το λεγόμενο βαρυτικό νερό, το οποίο υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και εμπλουτίζει τους υδροφορείς.

##### 4.1 Υδρολιθολογική Κατάταξη των Γεωλογικών Σχηματισμών

Οι υδροφόροι ορίζοντες είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν τέτοια ποσότητα νερού που να δύνανται να τροφοδοτήσουν με μεγάλες ποσότητες γεωτρήσεις, φυσικές πηγές αλλά και πηγάδια. Επίσης χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό<sup>105</sup>. Ο υδροφόρος ορίζοντας ή το υδροφόρο στρώμα συνίσταται τόσο από το γεωλογικό σχηματισμό όσο και από το υπεδαφικό νερό, το οποίο βρίσκεται στο έδαφος σε δύο μορφές, την βαρυτική αλλά και ως νερό συγκράτησης<sup>106</sup>. Συναντώνται οι εξής τύποι υπόγειων υδροφορέων:

- **Οι ελεύθεροι υδροφορείς:** είναι υδροφόρα στρώματα που έχουν στο δάπεδο κάποιο στεγανό στρώμα ενώ στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατος γεωλογικός σχηματισμός<sup>107</sup>. Με αυτόν τον τρόπο στη φρεάτια επιφάνεια, η υδροστατική πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική<sup>108</sup>. Γενικά παρατηρηθείσες μεταβολές στη στάθμη του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφορέα<sup>109</sup>. Ακόμη μία περίπτωση ελεύθερων υδροφόρων είναι και οι λεγόμενοι επικρεμάμενοι υδροφόροι<sup>110</sup>.

<sup>104</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 281

<sup>105</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>106</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>107</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>108</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>109</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>110</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)



- **Τους υπό πίεση υδροφόρους ή εγκλωβισμένους:** είναι υδροφόρα στρώματα όπου το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα σε αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς<sup>111</sup>. Οι υδροφόροι αυτοί χαρακτηρίζονται από κορεσμό που αντιστοιχεί σε όλο το πάχος τους, με τη πίεση του νερού να είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, με συνέπεια η πιεζομετρική εικονική επιφάνεια να συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο και να βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής<sup>112</sup>. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε έχουμε αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα που ονομάζεται αρτεσιανισμός.
- **Οι ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφορείς:** υπόγεια υδροφόρα στρώματα ανάλογα με τα υπό πίεση, με τη διαφορά ότι ο ανώτερος γεωλογικός σχηματισμός είναι ημιπερατός<sup>113</sup>.

Από πετρογραφικής πλευράς υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες υδροφορέων:

- i. Οι καρστικοί, που δημιουργούνται στα ανθρακικά πετρώματα<sup>114</sup>.
- ii. Οι πορώδεις, που δημιουργούνται σε κοκκώδεις σχηματισμούς, όπως είναι οι τεταρτογενείς και οι αδρομερείς νεογενείς αποθέσεις<sup>115</sup>.

Ανάλογα με την υδρολιθολογική συμπεριφορά, γίνεται η διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών σε κατηγορίες, ανάλογα με τη δυνατότητα κατείσδυσης και κυκλοφορίας του νερού μέσα σε αυτούς<sup>116</sup>. Η περατότητα έχει να κάνει με την ποσότητα του νερού βαρύτητας που διέρχεται δια μέσου της μοναδιαίας επιφάνειας του γεωλογικού σχηματισμού, στη μονάδα του χρόνου (m/sec) και συμβολίζεται με K<sup>117</sup>. Στην περίπτωση που το πορώδες είναι γνωστό, η ταχύτητα διεισδύσεως εξαρτάται από τη βαρύτητα και τη μοριακή έλξη<sup>118</sup>. Η διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών γίνεται ανάλογα με την περατότητά τους, σε διαπερατούς, σε ημιδιαπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς (Καλλέργης, 1974)<sup>119</sup>.

Στην Εικόνα 4.1.1 παρατίθεται ο ψηφιοποιημένος χάρτης υδρογεωλογικός χάρτης της Ανατολικής Αττικής.

<sup>111</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>112</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>113</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>114</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

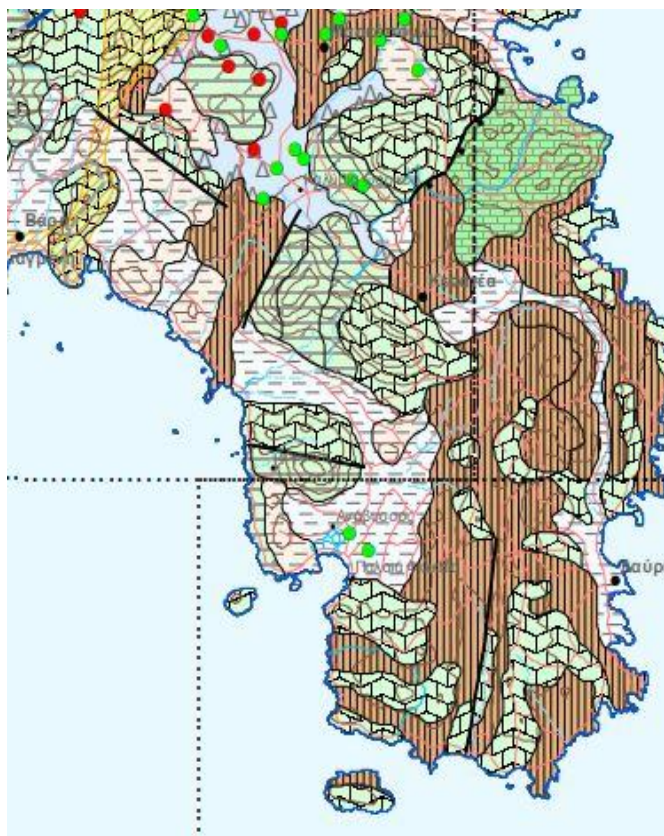
<sup>115</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

<sup>116</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 64

<sup>117</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 64

<sup>118</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 64

<sup>119</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 64



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

## ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΤΤΙΚΗΣ (06)

### ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:250.000

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

##### I. ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ

###### 1. ΠΟΡΩΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

- Εκτεταμένοι και μέτριας έως υψηλής αποδοτικότητας υδροφόροι
- q Προσχώσεις κυρίως ως ριτίδια, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- Εκτεταμένοι και χαμηλής αποδοτικότητας υδροφόροι
- q Χειμαρρώδεις αποθέσεις, ριτίδια, πλευρικά κορήματα
- Τοπικοί ή ασυνεχείς και χαμηλής αποδοτικότητας υδροφόροι
- q Προσχώσεις κυρίως ως ριτίδια, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων

###### 2. ΔΙΑΡΡΗΓΜΕΝΑ Ή / ΚΑΙ ΚΑΡΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

- Εκτεταμένοι ή τοπικοί και μέτριας έως υψηλής αποδοτικότητας υδροφόροι
- α, j+ε Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
- t Ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι, δολομίτες
- m-j Μάρμαρα

###### 3. ΠΟΡΩΔΗ Ή ΔΙΑΡΡΗΓΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΤΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ Ή ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΑΝΥΠΑΡΚΤΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ

- Σχηματισμοί με τοπική και περιορισμένη υδροφορία
- ηθ Νεογενείς σχηματισμοί συνιστάμενοι από μάργες, ψαμμίτες, άμμους, αργίλους και κροκαλοπαγή
- Σχηματισμοί με ανύπαρκτη ουσιαστική υδροφορία
- Αργιλικό σχιστόλιθοι, μεταψαμμίτες, φυλλίτες, οφίλιθοι, ηφαιστειακά πετρώματα

##### II. ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

- Διεύθυνση υπόγειας ροής

##### II. ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

- Διεύθυνση υπόγειας ροής

##### III. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

- Περιοχή υπαλιμύρνησης

##### IV. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

- Υδρόρευμα μόνιμης ροής
- Υδρόρευμα εποχιακής ροής

##### V. ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

- Γεώτρηση
- Πηγάδι

##### ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

- Γεωλογικό όριο
- Ρήγμα ορατό
- Ρήγμα πιθανό ή καλυμμένο
- Τεκτονική έσπαφή
- Εφίπτευση ορατή
- Άξονας κεκλιμένου αντικλίνου
- Άξονας κεκλιμένου συγκλίνου
- Διεύθυνση και κλίση στρωμάτων

ΣΥΝΤΑΞΗ : Ν.ΣΙΕΜΟΣ

ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ArcInfo(GIS) : Π. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ, Ν. ΧΑΒΕΛΑΣ

Copyright © Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών  
N.Π.Δ.Δ. εναρμόνιστο στο ΥΠ.ΑΝ. (N.272/76)

Εικόνα 4.1.1: Υδρογεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (ΙΓΜΕ, Σύνταξη: Ζίνδρος Γ., Σίεμος Ν., ψηφιακή επεξεργασία: Παρασκευοπούλου Π., Λιανού Δ., Χαβέλας Ν.)

#### 4.1.1 Υδροπερατοί Σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σχηματισμοί μεγάλης έως πολύ μεγάλης υδροπερατότητας ( $K=10^{-2}$  έως  $10^{-4}$  m/sec), με συνέπεια τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για κατείσδυση του νερού, εναποθήκευση αυτού στον υδροφόρο αλλά και την κυκλοφορία του<sup>120</sup>.

Οι υδροπερατοί σχηματισμοί εντοπίζονται στο δήμο Σαρωνικού, στην περιοχή της Αναβύσσου, Παλαιάς Φώκαιας, Θυμαρίου, Σαρωνίδας και Καλυβίων Θορικού και είναι:

**Μάρμαρα:** Τα πετρώματα αυτά έχουν μικρή διαπερατότητα αλλά η τεκτονική διάρρηξη και η κατάκλαση που έχουν υποστεί στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου τα καθιστούν υδροπερατά. Τα μάρμαρα έχουν υποστεί κατακερματισμό λόγω των εφελκυστικών τάσεων και της διάτμησης που επικρατούν στη περιοχή. Το ίδιο συμβαίνει και στις ενστρώσεις των σχιστόλιθων Καισαριανής που σκεπάζουν τα ανώτερα τμήματα των υψωμάτων στα ανατολικά της περιοχής της λεκάνης της Αναβύσσου αλλά και τμήμα των ορεινών όγκων στη Παλαιά Φώκεια και στο Θυμάρι<sup>121</sup>.

Ακόμη οι σχηματισμοί του κατώτερου μαρμάρου έχουν υποστεί τη διεργασία της καρστικοποίησης η οποία ακολουθεί τις επιφάνειες ασυνέχειας<sup>122</sup>. Οι ενστρώσεις μαρμάρου που συναντώνται μέσα στα στρώματα των σχιστόλιθων είναι καλοί υδροφορείς, ιδιαίτερα επειδή περιβάλλονται από υδατοστεγανά πετρώματα, ωστόσο έχουν υποστεί και αυτοί έντονη πτύχωση, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολυπτυχωμένοι και διερρηγμένοι<sup>123</sup>. Η εξάπλωσή τους είναι περιορισμένη και το πάχος μικρό, με συνέπεια να περιορίζεται ο διαθέσιμος όγκος και η ποσότητα σε νερό<sup>124</sup>.

**Κροκαλοπαγή του Νεογενούς:** Στους υδροπερατούς σχηματισμούς συγκαταλέγονται και τα κροκαλοπαγή του Νεογενούς οι οποίοι καλύπτουν μικρή σχετικά έκταση, στο κεντρικό και στο νοτιοδυτικό κύριο τμήμα της λεκάνης Αναβύσσου<sup>125</sup>.

Νοτιοδυτικά της λεκάνης συναντάμε κροκαλοπαγή χερσαίας προέλευσης τα οποία είναι ημισυνεκτικά έως χαλαρά και έντονα κερματισμένα με μεγάλες σε μέγεθος κροκάλες αλλά και

<sup>120</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 65

<sup>121</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 90

<sup>122</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>123</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>124</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>125</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

λατύπες ποικίλης σύστασης, που προέρχονται από την αποσάθρωση των προϋπαρχόντων πετρωμάτων<sup>126</sup>.

**Τεταρτογενείς αποθέσεις:** Οι αποθέσεις αυτές έχουν μεγάλη εξάπλωση στα χαμηλά και πεδινά τμήματα της λεκάνης της Αναβύσσου ενώ καλύπτουν εξ' ολοκλήρου την Παλαιά Φώκεια και τμήμα της παράκτιας περιοχής των Καλυβίων Θορικού. Οι αποθέσεις αυτές, αποτελούνται από ποικιλία πετρωμάτων, όπως είναι οι Πλειστοκαινικές χερσαίες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, ποτάμιες αναβαθμίδες, αλλουβιακές αποθέσεις και προσχώσεις με τα τελευταία να συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης της Αναβύσσου<sup>127</sup>. Έχουν προκύψει από χειμάρρους, με συνέπεια να συναντώνται χαλαρά υλικά και εναλλαγές λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών<sup>128</sup>.

#### 4.1.2 Ημιπερατοί Σχηματισμοί

Είναι πετρώματα χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας ( $K=10^{-5}$  έως  $10^{-7}$  m/sec) και σε αυτούς τους σχηματισμούς ανήκουν οι τεταρτογενείς αποθέσεις, τα πλευρικά κορήματα, τα προϊόντα αποσάθρωσης παλαιότερων σχηματισμών, οι προσχώσεις καθώς και οι θαλάσσιες αναβαθμίδες<sup>129</sup>. Η κίνηση του νερού εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής του αδρόκοκκου υλικού και το πάχος της απόθεσης, ενώ ο υδροφορέας χαρακτηρίζεται από μικρή έως μέτρια δυναμικότητα<sup>130</sup>.

Στους **σχηματισμούς του Νεογενούς**, συναντώνται αλληλοεμφανιζόμενες αποθέσεις μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ψαμμιτών, μαργών, πηλών και κροκαλοπαγών λιμναίας φάσης με παρεμβολές ασβεστόλιθων<sup>131</sup>. Τα κροκαλοπαγή σε ορισμένες θέσεις έχουν πάχος που φθάνει τα 30 με 80 m<sup>132</sup>. Ωστόσο εντοπίζονται σε μικρό τμήμα στη λεκάνη της Αναβύσσου, σε αντίθεση με τη Παλαιά Φώκεια, που απαντώνται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό.

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι επειδή είναι έντονα κατακερματισμένοι έχουν αποκτήσει δευτερογενές πορώδες με συνέπεια να θεωρούνται υδροπερατοί. Οι ψαμμίτες, από την άλλη,

<sup>126</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>127</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>128</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 91

<sup>129</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 67

<sup>130</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 68

<sup>131</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 68

<sup>132</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 68

έχουν πρωτογενές πορώδες αλλά και λόγω του κερματισμού τους, αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς<sup>133</sup>.

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατα πετρώματα εκτός εάν έχουν υποστεί κατακερματισμό, με τις μάργες και τους πηλούς, ως λεπτομερή ιζήματα, να μην χαρακτηρίζονται από σημαντικό πρωτογενές πορώδες<sup>134</sup>. Γεγονός είναι ότι θεωρούνται κατά κανόνα ημιπερατοί σχηματισμοί. Στην υδροφορία το δευτερογενές πορώδες διαδραματίζει σημαντικό ρόλο<sup>135</sup>.

Οι **σχιστόλιθοι της Ενότητας των Κυανοσχιστολίθων** καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση στη Παλαιά Φώκαια και στο δυτικό τμήμα της Αναβύσσου. Σαν πέτρωμα ο σχιστόλιθος θεωρείται υδατοστεγανό και για αυτό, στο μεγαλύτερο μέρος του, το νερό της βροχής ρέει επιφανειακά χωρίς να κατεισδύει προς το κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου<sup>136</sup>. Ωστόσο, στα ανώτερα τμήματά του, λόγω διαρρήξεων, το νερό μπορεί να εισέλθει και να διεισδύσει<sup>137</sup>. Βαθύτερα όμως, που το πέτρωμα είναι υγιές, δεν μπορεί να κατεισδύσει, με συνέπεια να δημιουργείται ένας υδροφόρος που έχει βάση αυτό το υγιές πέτρωμα, το βάθος του οποίου εξαρτάται από βάθος της αποσάθρωσης και κυμαίνεται από 2 με 10 m<sup>138</sup>. Ο υδροφόρος που σχηματίζεται είναι μικρής δυναμικότητας λόγω του ότι το νερό μπορεί να μεταφερθεί σε πιθανούς γειτονικούς και υδροπερατούς σχηματισμούς<sup>139</sup>.

Γενικά στην ευρύτερη περιοχή της Αναβύσσου και Παλαιάς Φώκαιας, όπως έχει προαναφερθεί, δεν παρατηρούνται ούτε ποτάμια, ούτε σημαντικοί χείμαρρο<sup>140</sup>. Συμπεραίνουμε ότι το νερό που κυλάει πάνω στους σχιστόλιθους, μάλλον καταλήγει στις προσχώσεις, οι οποίες εμπλουτίζονται σε νερό. Όταν στο εσωτερικό των σχιστολίθων εντοπίζονται και όγκοι μαρμάρου ή ασβεστόλιθου, μπορούν να σχηματιστούν περιορισμένης σημασίας, λόγω μικρής έκτασης, τοπικοί υδροφόροι.

---

<sup>133</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 68

<sup>134</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 68

<sup>135</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

<sup>136</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

<sup>137</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

<sup>138</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

<sup>139</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

<sup>140</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 92

### 4.1.3 Αδιαπέρατοι Σχηματισμοί

Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς δεν ευνοείται η διήθηση, η κυκλοφορία και η εναποθήκευση νερού στον όγκο τους εφόσον η κίνηση του νερού είναι περιορισμένη, με συνέπεια να δημιουργεί υδροφόρους μικρής δυναμικότητας. Αυτά τα πετρώματα έχουν πολύ χαμηλή υδροπερατότητα ( $K < 10^{-7} \text{m/s}$ )<sup>141</sup>.

Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς ανήκουν όλα τα αργιλικά και τα πηλιτικά πετρώματα, καθώς και όλα τα πετρώματα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες από τα υλικά αυτά, όπως είναι οι μάργες<sup>142</sup>. Το 40% περίπου του Ελληνικού χώρου καλύπτεται από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι είναι έντονα διερρηγμένοι και εξαλλοιωμένοι. Το νερό που κατεισδύει μέσα σε αυτούς, δεν συνεισφέρει στη δημιουργία υδροφόρων οριζόντων, πρόκειται για νερό συγκράτησης, και για αυτό δεν είναι θεμιτό να υπολογίζεται (Κουμαντάκης Ι., 1982)<sup>143</sup>.

**Σχιστόλιθοι της Ενότητας των Κυανοσχιστολίθων:** Σχιστόλιθοι, χαλαζίτες, φυλλίτες, ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εντός των σχιστολίθων. Πρόκειται για αδιαπέρατους σχηματισμούς, όταν βέβαια το πέτρωμα δεν είναι εξαλλοιωμένο και αποσαθρωμένο. Στην περιοχή, ωστόσο, εμφανίζονται πτυχωμένοι και με παρουσία ρωγμών, με αποτέλεσμα να έχουν αναπτύξει δευτερογενές πορώδες.

## 4.2 Υπόγεια Υδροφόρα Συστήματα με Έμφαση στη Λεκάνη της Αναβύσσου

### 4.2.1 Καρστικά Συστήματα

Η περιοχή της Ανατολικής Αττικής, εμφανίζει μεγάλου εύρους καρστικό σύστημα, στα ανθρακικά πετρώματα κυρίως που τη συνιστούν<sup>144</sup>. Το δευτερογενές πορώδες που παρουσιάζουν οφείλεται περισσότερο στις τάσεις εφελκυσμού που επικρατούν στην περιοχή

<sup>141</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 66

<sup>142</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 66

<sup>143</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 66

<sup>144</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

και λιγότερο σε πρωτογενή αίτια<sup>145</sup>. Συνεπάγεται ότι η παρουσία των καρστικών δομών αλλά και η κατανομή τους στο χώρο συνδέεται με την κινηματική της περιοχής<sup>146</sup>.

Η καρστικοποίηση των μαρμάρων στην Ανατολική Αττική θα πρέπει να ξεκίνησε πριν από την αρχική υποβύθιση των σχηματισμών<sup>147</sup>. Τα αρχικά καρστικά που δημιουργήθηκαν από υδροθερμικές διεργασίες «ξανααχρησιμοποιούνται» από το μετεωρικό νερό, διευρύνοντας και εξελίσσοντάς τα (Audra, et. al. 2007)<sup>148</sup>.

Σήμερα το επίπεδο της καρστικοποίησης έχει προχωρήσει σε πολύ βαθύτερους ορίζοντες του υποβάθρου, κάτι στο οποίο, συνετέλεσε η κρίση του Μεσσηνίου, όπου η στάθμη της θάλασσας ήταν σε χαμηλότερο επίπεδο από το σημερινό<sup>149</sup>. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σημαντικό μέρος του γλυκού νερού να εκφορτίζεται από υποθαλάσσιες πηγές γύρω από την ακτογραμμή της Αττικής<sup>150</sup>.

Η Αττικής έχει υδρογραφικό σύστημα που είναι μεικτό ποτάμιο – καρστικό<sup>151</sup>. Οι καρστικές δομές της, φαίνονται στην Εικόνα 4.2.1.

---

<sup>145</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

<sup>146</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

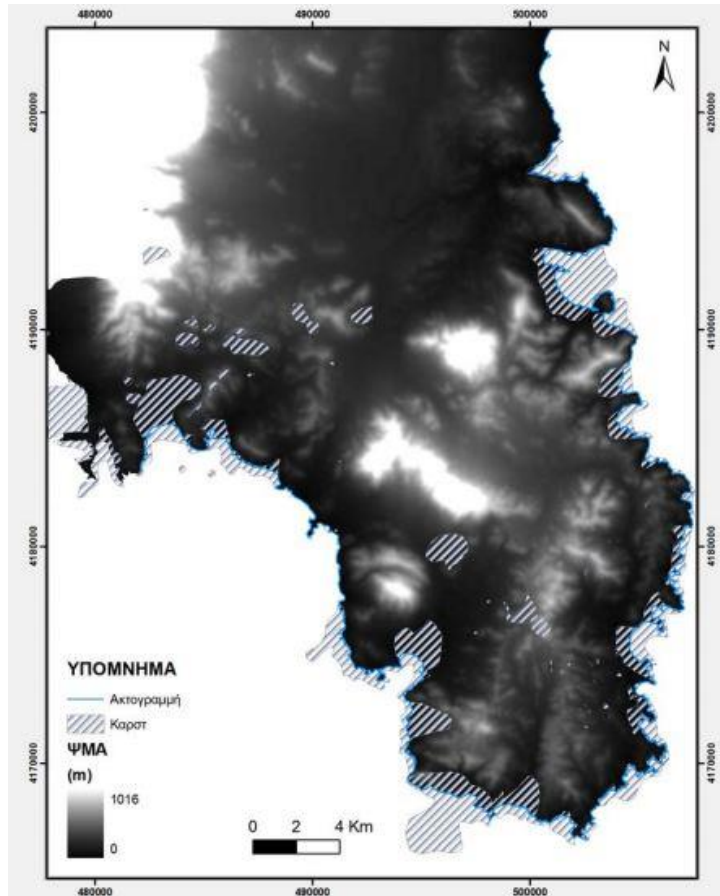
<sup>147</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

<sup>148</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

<sup>149</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

<sup>150</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250

<sup>151</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ.251



**Εικόνα 4.2.1**<sup>152</sup>: Χάρτης κύριων καρστικών δομών που εντοπίστηκαν με την ανάλυση του ΥΨΜΑ. (πηγή: Βασίλειος Σ. Αντωνίου, 2010)

Σύμφωνα με την ανωτέρω εικόνα καρστικές δομές εντοπίζονται στη λεκάνη της Αναβύσσου με μεγάλη έκταση, στο δυτικό παράκτιο τμήμα της Αναβύσσου και της Σαρωνίδας, στα Καλύβια Θορικού σε περιορισμένη έκταση, στην Κερατέα, επίσης σε περιορισμένη έκταση, κατά μήκος της ακτογραμμής στα ανατολικά της Ανατολικής Αττικής, καθώς και στο Θυμάρι, που φαίνεται τα καρστ να καλύπτουν όλη τη περιοχή. Τέλος παρατηρείται ότι καλύπτουν πολύ μεγάλο τμήμα στη παράκτια και υποθαλάσσια περιοχή του Χάρακα και των Λεγρενών και φθάνουν ως τη νησίδα Πάτροκλο.

Όσον αφορά στη περιοχή της Αναβύσσου, όπως προαναφέρθηκε, η καρστική υδροφορία αφορά στους ανθρακικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στη περιοχή και πρόκειται για τους σχηματισμούς του Κατώτερου Μαρμάρου. Οι σχιστολιθικές ενστρώσεις στο σχηματισμό του κατώτερου μαρμάρου περιορίζουν την περατότητα και χωρητικότητά του.

<sup>152</sup> Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 252



Η τροφοδοσία των υπόγειων καρστικών υδροφόρων, στην περιοχή, γίνεται κυρίως από την διήθηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και από την περιορισμένη εμφάνιση ρεμάτων<sup>153</sup>.

#### 4.2.2 Κοκκώδη Συστήματα

Τα κοκκώδη υδροφόρα συστήματα στη λεκάνη της Αναβύσσου διακρίνονται:

- Στα Νεογενή
- Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις

##### 4.2.2.1 Νεογενή

Στο κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται οι νεογενείς σχηματισμοί, λόγω της εναλλαγής περατών και αδιαπέρατων πετρωμάτων<sup>154</sup>. Η διαπερατότητα των νεογενών εξαρτάται από τη πετρολογική τους σύσταση ενώ οι υδροφόροι που σχηματίζονται σε αυτούς, ανάλογα με το πάχος των υδροπερατών στρωμάτων και τις συνθήκες τροφοδοσίας και επαναπλήρωσής τους, είναι από πολύ φτωχοί έως μέτριοι<sup>155</sup>.

Η τροφοδοσία των νεογενών γίνεται μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αλλά και από την υδραυλική επικοινωνία αυτών με γειτονικά υδροπερατά πετρώματα. Τέτοιου είδους τροφοδοσία εντοπίζεται τόσο νότια της Παλαιάς Φώκαιας, λόγω υδραυλικής επικοινωνίας με τα καρστικά πετρώματα της Γερακίνας και Ασφακερής, όσο και στην περίπτωση της πλευρικής τροφοδοσίας, με τα καρστικά πετρώματα του Ολύμπου στη λεκάνη της Αναβύσσου<sup>156</sup>.

---

<sup>153</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 96

<sup>154</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Μεταπτυχιακή διπλωματική, Οκτώβριος 2019, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ, Αθήνα, σ. 21.

<sup>155</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Μεταπτυχιακή διπλωματική, Οκτώβριος 2019, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ, Αθήνα, σ. 21.

<sup>156</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 96

#### 4.2.2.2 Τεταρτογενείς Αποθέσεις

Πρόκειται είτε για αβαθείς ελεύθερους, είτε βαθύτερους υπό πίεση υδροφόρους, σε χαμηλότερα τμήματα<sup>157</sup>.

Στη λεκάνη της Αναβύσσου οι Τεταρτογενείς αποθέσεις φιλοξενούν την κύρια υπόγεια υδροφορία, η οποία οφείλεται στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα<sup>158</sup>. Οι προσχωσιγενείς αποθέσεις εντοπίζονται κυρίως στο πεδινό τμήμα και έχουν περατότητα η οποία εξαρτάται από την παρουσία αργιλικού ή αμμώδους υλικού. Όταν το υλικό είναι αμμώδες η περατότητα αυξάνει, ενώ όταν είναι αργιλώδες η περατότητα μειώνεται<sup>159</sup>.

Η κύρια τροφοδοσία του φρεάτιου υδροφόρου γίνεται άμεσα από τη βροχόπτωση και μέσω της διήθησης από την κοίτη των χειμάρρων που ενίοτε εκχύνονται στη λεκάνη και πιθανά από την πλευρική μεταφορά, από τις νεογενείς αποθέσεις<sup>160</sup>. Επίσης η τροφοδοσία γίνεται και από τα ρέοντα επιφανειακά νερά, που αναπτύσσονται στα υψώματα του ανατολικού τμήματος της λεκάνης, τα οποία σκεπάζονται από τους στεγανούς σχηματισμούς της ενότητας των Κυανοσχιστολίθων.

Σημαντικό ρόλο για στην τροφοδοσία της λεκάνης της Αναβύσσου, η οποία είναι φτωχή, διαδραματίζει η μη μόνιμη επιφανειακή απορροή, η μικρή έκταση της λεκάνης, το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή με υψηλές θερμοκρασίες που ευνοούν την εξάτμιση και το χαμηλό ύψος βροχής. Στον παρακάτω πίνακα 4.2.2.2.1 και εικόνα 4.2.2.2.1 φαίνονται οι υδρολιθολογικές ενότητες και ο τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης της Αναβύσσου αντίστοιχα<sup>161</sup>.

---

<sup>157</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Μεταπτυχιακή διπλωματική, Οκτώβριος 2019, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ, Αθήνα, σ. 21.

<sup>158</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 97

<sup>159</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 97

<sup>160</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 97

<sup>161</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 97

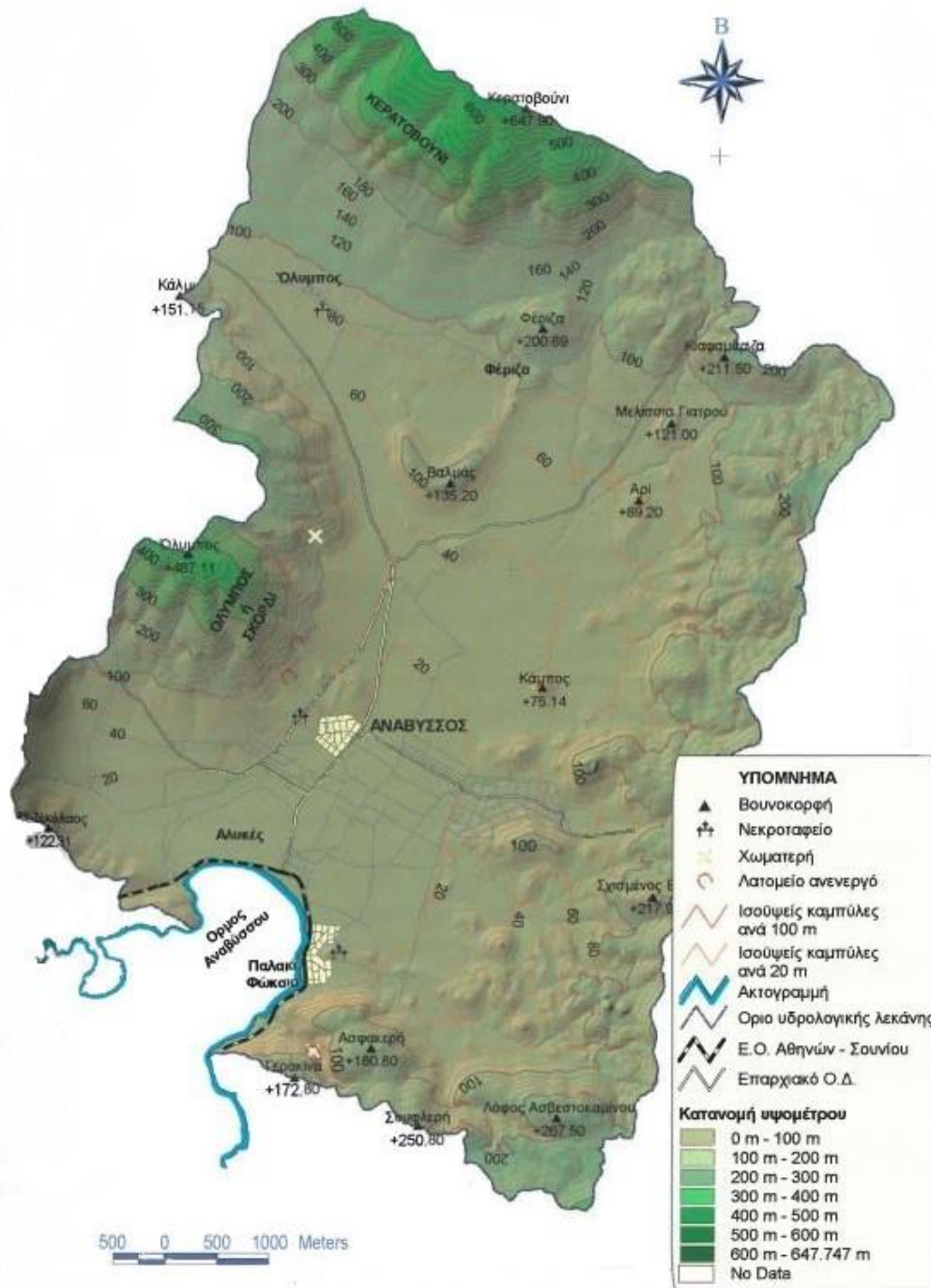
**Πίνακας 4.2.2.2.1** <sup>162</sup>: Έκταση που καταλαμβάνουν οι υδρολιθολογικές ενότητες στη λεκάνη Αναβύσσου. (πηγή: Μποσινάκου Παναγιώτα, 2001)

Υδρολιθολογική ταξινόμηση	Περιγραφή	Γεωλογική ενότητα	Έκταση	Έκταση (%)	
Αδιαπέρατοι	Φυλλίτες και σχιστόλιθοι	Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα	11.940.300,80	22,28	22,36
	Σχιστολιθικές ενστρώσεις στο κατώτερο μάρμαρο	Κατώτερο Μάρμαρο	44.411,82	0,08	
Ημιπερατοί	Μάργες, πηλοί, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή	Νεογενή	2.315.564,77	4,32	5,26
	Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι		500.736,47	0,94	
Περατοί	Πρόσφατες αποθέσεις στις κοίτες χειμάρρων	Τεταρτογενή	1.512.013,43	2,82	46,39
	Παλαιοί και πρόσφατοι κώνοι κορημάτων		5.277.767,23	9,85	
	Συνεκτικά κροκαλοπαγή		1.975.195,50	3,69	
	Πλειστοκαινικές αποθέσεις		16.093.424,80	30,03	
	Κροκαλοπαγή	Νεογενή	1.035.472,45	1,93	1,93
	Κατώτερο μάρμαρο	Κατώτερο Μάρμαρο	12.481.172,34	23,29	24,06
	Ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων και μαρμάρων στο τεκτονικό κάλυμμα.	Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα	412.141,58	0,77	
<b>Σύνολο</b>			<b>53.588.201,18</b>	<b>100</b>	

Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί καλύπτουν το 22,36% της επιφάνειας της λεκάνης, οι ημιπερατοί το 5,26% και οι υδροπερατοί το 72,38%<sup>163</sup>.

<sup>162</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.98

<sup>163</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.98



Εικόνα 4.2.2.2.1<sup>164</sup>: Τοπογραφικός χάρτης λεκάνης Αναβύσσου (πηγή: Μποσινάκου Παναγιώτα, 2001).

<sup>164</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.22

## 5. Εκτίμηση Υδρολογικού Ισοζυγίου

Υδρολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την παρουσία, την κυκλοφορία και την κατανομή του νερού, τις φυσικοχημικές ιδιότητές του, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον, στο οποίο συμμετέχουν και έμβια όντα (Παπαμιχαήλ, 2004)<sup>165</sup>.

Υπάρχουν δύο τρόποι εμφάνισης του νερού (α) στην επιφάνεια και (β) στο εσωτερικό της λιθόσφαιρας, το επιφανειακό νερό και το υπόγειο αντίστοιχα<sup>166</sup>. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ο όγκος των υπόγειων νερών έχει προέλθει από τα επιφανειακά νερά. Η γενική μορφή του υδρολογικού ισοζυγίου εκφράζει την ισότητα εισροών και εκροών στην λεκάνη, όπως προκύπτει άλλωστε και από μακροχρόνιες παρατηρήσεις<sup>167</sup>. Σύμφωνα με τον Καλλέργη (1986) η υδρολογική λεκάνη ταυτίζεται με την λεκάνη απορροής, με την τελευταία να ορίζεται ως η φυσιογραφική ενότητα που τροφοδοτεί με επιφανειακό νερό ένα ποτάμι, ενώ η υδρογεωλογική λεκάνη είναι η γεωλογική ενότητα που τροφοδοτεί με υπόγειο νερό ένα υδροφόρο σχηματισμό ή σύστημα<sup>168</sup>. Σύμφωνα με το ανωτέρω η λεκάνη απορροής και η υδρογεωλογική λεκάνη, μπορεί να ταυτίζονται ή και όχι. Η μαθηματική εξίσωση που συνδέει το υδρολογικό ισοζύγιο των επιφανειακών νερών μιας λεκάνης απορροής εκφράζεται από την σχέση:

$$P = R + E + I$$

όπου, P : τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η λεκάνη (mm).

R : η επιφανειακή απορροή σε (mm).

E : η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm).

I : η κατείσδυση (mm).

### 5.1 Κλιματικά Στοιχεία

Το κλίμα και η μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν τον υδρολογικό κύκλο του νερού και συνεπακόλουθα τη διαθέσιμη ποσότητα των υπόγειων νερών<sup>169</sup>. Η γνώση όλων εκείνων

<sup>165</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 88

<sup>166</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 88

<sup>167</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 88

<sup>168</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 88

<sup>169</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.61

των παραμέτρων, οι οποίες διαμορφώνουν το υδρολογικό ισοζύγιο συμβάλλουν στη καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι μεσογειακό, δηλαδή χαρακτηρίζεται από ήπιους και υγρούς χειμώνες με σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και από μακρές περιόδους ηλιοφάνειας, το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου <sup>170</sup>.

Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχει μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, μέσα στα πλαίσια ωστόσο του Μεσογειακού κλίματος<sup>171</sup>. Αυτό οφείλεται στην διαμόρφωση του αναγλύφου και του υψομέτρου της χώρας, με την εναλλαγή, δηλαδή, υψηλών οροσειρών και ορεινών όγκων με την ξηρά και θάλασσα<sup>172</sup>. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας<sup>173</sup>. Τέτοιες κλιματικές μεταβολές παρατηρούνται ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, κάτι που παρατηρείται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο<sup>174</sup>.

Αναλυτικότερα για την Αττική, το κλίμα είναι εύκρατο, μεσογειακό και ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου<sup>175</sup>. Ωστόσο παρά το ότι είναι μεσογειακό, έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στα εύρη της θερμοκρασίας, μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα, σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,3 βαθμούς Κελσίου<sup>176</sup>. Οι ημέρες με ηλιοφάνεια αποτελούν πολύ συχνό φαινόμενο ακόμα και τον χειμώνα κατά τη διάρκεια των αλκυονίδων ημερών. Η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί ακόμη και τους 40 °C. Η Αττική χαρακτηρίζεται από θερμά καλοκαίρια, με την υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα, αλλά και στην Ευρώπη, να είναι αυτή των 48,0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977 <sup>177</sup>. Οι χιονοπτώσεις το χειμώνα δεν είναι σπάνιες, αλλά όταν παρατηρούνται, τα χιόνια τήκονται μετά από μερικές ώρες<sup>178</sup>. Βροχές σημειώνονται κυρίως από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο, αλλά συνολικά ολόκληρο το χρόνο τα ύψη βροχής

---

<sup>170</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>171</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>172</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>173</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>174</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>175</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.89

<sup>176</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.89

<sup>177</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.89

<sup>178</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.89

είναι πολύ χαμηλά και δεν ξεπερνούν τα 400-450 mm με τις περισσότερες βροχές να σημειώνονται στα ανατολικά και στα βόρεια διαμερίσματα του νομού<sup>179</sup>.

Από κλιματολογικής άποψης, το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές, την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο, με διάρκεια από τα μέσα του Οκτωβρίου μέχρι και το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή, με διάρκεια από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο<sup>180</sup>. Όσον αφορά στην πρώτη περίοδο, οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10 °C στις παραθαλάσσιες περιοχές και από 0 - 5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές, με τις χαμηλότερες τιμές υπό του μηδενός να παρατηρούνται στις βόρειες περιοχές<sup>181</sup>.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στη χώρα, ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ ο ουρανός της χώρας δεν παραμένει συννεφώδης επί πολύ, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης<sup>182</sup>. Ο άστατος και κακός καιρός κατά τη διάρκεια του χειμώνα διακόπτεται συχνά, την περίοδο του Ιανουαρίου και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ημέρες με ηλιοφάνεια, τις γνωστές από την αρχαιότητα "Αλκυονίδες ημέρες"<sup>183</sup>. Η θερμότερη περίοδος απαντάται το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου, με τη μέση μέγιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 29 °C μέχρι 35 °C<sup>184</sup>. Κατά το θέρος οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετησίως) που πνέουν κυρίως στο Αιγαίο<sup>185</sup>.

## 5.2 Στοιχεία Μετεωρολογικών Σταθμών Περιοχής Μελέτης

- Ελληνικό. Ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ, λειτουργεί από το 1962 έως σήμερα και περιλαμβάνει, ηλιογράφο (Ηγ), ανεμογράφο (Αγ), βαρόμετρο (Βα), βροχόμετρο (Βμ), βροχογράφο (Βγ), όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα (Θα), της υγρασίας (Υα) και της ταχύτητας του ανέμου (Αμ)
- Σπάτα. Ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ, λειτουργεί από το 1970 έως σήμερα και περιλαμβάνει, βροχόμετρο (Βμ), βροχογράφο (Βγ), καθώς και όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του ανέμου (Θα).

<sup>179</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.89

<sup>180</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>181</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>182</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>183</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>184</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

<sup>185</sup> Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

- Μαρκόπουλο. Ο σταθμός ανήκει στο Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και περιλαμβάνει βροχόμετρο (Βμ), όργανα μέτρησης της υγρασίας (Υα) και της θερμοκρασίας του αέρα (Θα).
- Λαύριο. Ο σταθμός ανήκε στη ΔΕΗ και λειτούργησε από το 1969 έως το 1979. Περιελάμβανε βροχογράφο (Βγ), βροχόμετρο (Βμ), όργανα μέτρησης της υγρασίας (Υα) και ανεμογράφο.
- Κερατέα. Ο σταθμός ανήκε στη ΔΕΗ και λειτούργησε από το 1971 έως το 1981. Βρισκόταν σε υψόμετρο 200 μ. Ο σταθμός περιελάμβανε μόνο βροχόμετρο.

Στη περιοχή Μαρκόπουλο Αττικής και στο Λαύριο βρίσκονται σε λειτουργία και άλλοι μετεωρολογικοί σταθμοί, οι οποίοι ανήκουν στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και ξεκίνησαν να παρέχουν δεδομένα από τον Οκτώβριο του 2008 μέχρι και σήμερα.

**Πίνακας 5.2.1:** Συντεταγμένες και χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολογικών σταθμών (οι συντεταγμένες μέσα στις παρενθέσεις είναι στο σύστημα ΕΓΣΑ '87.)

Σταθμός	Συντεταγμένες		Υψόμετρο (μ.)	Φορέας	Περίοδος λειτουργίας	Όργανα μέτρησης
	Μήκος	Πλάτος				
Ελληνικό	23° 44' (476340)	37° 54' (4192376)	15	ΕΜΥ	1946-σήμερα	Βμ, Βγ, Υα, Αγ, Θα, Αμ, Ηγ, Βα
Μαρκόπουλο	23° 56' (493958)	37° 53' (4192460)	85	ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.	1962-	Βμ, Θα, Υα
	23° 54' (491059)	37° 54' (4194437)	100	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	2008-σήμερα	Βμ, Θα, Αμ
Σπάτα	23° 55' (493956)	37° 58' (4199846)	130	ΕΜΥ	1970-σήμερα	Βμ, Βγ, Θα
Λαύριο	24° 04' (504440)	37° 45' (4177720)	40	ΔΕΗ	1969-1979	Βμ, Βγ, Υα, Αγ
Κερατέα	23° 59' (497835)	37° 49' (4185235)	200	ΔΕΗ	1971-1981	Βμ

### 5.3 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Τα δεδομένα για τα μηνιαία ύψη βροχής, ελήφθησαν από τους σταθμούς Ελληνικό, Μαρκόπουλο, Σπάτα, Λαύριο και Κερατέα. Στη περιοχή της Αναβύσσου υπάρχει εγκατεστημένος μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος παρέχει δεδομένα από τον Μάιο του 2012 με αρκετές ωστόσο ελλείψεις στα χρόνια λειτουργίας του, και για το λόγο αυτό δεν συμπεριελήφθησαν στην παρούσα μελέτη.

Ο σταθμός του Ελληνικού εμφανίζει πλήρεις χρονοσειρές από το 1946 έως σήμερα. Ο σταθμός Μαρκόπουλο (ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.) εμφανίζει και εκείνος πλήρεις χρονοσειρές από το 1970 έως το 2011. Ο σταθμός Μαρκόπουλο Αττικής (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) εμφανίζει



πλήρεις χρονοσειρές από το 2006 έως σήμερα. Ο σταθμός των Σπάτων, ο οποίος δίνει αποσπασματικά δεδομένα με σημαντικές ελλείψεις, ιδιαίτερα στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του, από το 1970 έως το 1988, λειτουργεί έως σήμερα. Ο σταθμός Κερατέας λειτούργησε μόνο από το 1971-1979 και τέλος, ο σταθμός Λαύριο (ΔΕΗ) λειτούργησε μόνο από το 1969-1979. Σήμερα υπάρχει στο Λαύριο άλλος μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος υπάγεται στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και λειτουργεί από το 2008.

Για να υπάρξει καλύτερη ομοιογένεια επιλέχθηκαν για όλους τους σταθμούς τα κοινά υδρολογικά έτη 1970 έως 2019 (49 έτη). Για το σταθμό Ελληνικό η χρονοσειρά είναι πλήρης με τα δεδομένα να χορηγούνται από την ΕΜΥ. Για το σταθμό Μαρκόπουλο τα δεδομένα από το 1971 έως το 2009 προέρχονται από το ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. με το μετεωρολογικό σταθμό να βρίσκεται σε υψόμετρο 85 m, ενώ για τα έτη από 2009 έως 2019 τα δεδομένα προέρχονται από μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, με το σταθμό να βρίσκεται σε ύψος 100 m. Οι δύο αυτοί σταθμοί στην περιοχή του Μαρκόπουλου Αττικής βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Με σκοπό να καταστεί δυνατό να χρησιμοποιηθεί η χρονοσειρά στο σταθμό Μαρκόπουλο (ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.) ως ενιαία, δηλαδή από το 1971 έως το 2019, προέβην στα εξής βήματα: Υπολογίστηκε η μέση μηνιαία τιμή για όλους του μήνες για τον εκάστοτε σταθμό. Στην συνέχεια διαιρέθηκε η μέση μηνιαία τιμή του κάθε μήνα, από τον σταθμό Μαρκόπουλο που υπόκειται στο ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., με την αντίστοιχη μηνιαία τιμή του κάθε μήνα, από τον σταθμό Μαρκόπουλο που υπόκειται στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκαν 12 συντελεστές για τους 12 μήνες. Στη συνέχεια, στα δεδομένα από το σταθμό Μαρκόπουλο (Εθνικό Αστεροσκοπείο) από το 2009 έως το 2019 πολλαπλασιάστηκε ο κάθε συντελεστής του εκάστοτε μήνα με τις τιμές του σταθμού, με σκοπό να γίνει η αναγωγή από τα 100 m στα 85 m. Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται το μηνιαίο ύψος βροχής ανά υδρολογικό έτος, για τους σταθμούς Ελληνικό και Μαρκόπουλο.





Επιλέγεται να γίνει επέκταση στα δεδομένα ενός σταθμού, όταν η συνολική περίοδος λειτουργίας του είναι μικρή και πλησίον αυτού υπάρχουν γειτονικοί σταθμοί με μεγαλύτερη περίοδο λειτουργίας ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δικά τους δεδομένα (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990).

### 5.3.1 Συμπλήρωση Ελλείψεων και Επέκταση

Η περιοχή της Αναβύσσου, όπως προαναφέρθηκε, δεν διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό, με συνέπεια αυτό να καθιστά τους μετεωρολογικούς σταθμούς Κερατέας και Λαυρίου τους πιο κοντινούς στην περιοχή αυτή. Ωστόσο οι χρονοσειρές Κερατέας και Λαυρίου έχουν διάρκεια μόνο 10 ετών περίπου. Καθίσταται επομένως απαραίτητη η επέκταση των υπάρχοντων δεδομένων των ανωτέρων σταθμών, χρησιμοποιώντας ως σταθμούς βάσης αυτούς του Ελληνικού και του Μαρκόπουλου. Ο σταθμός Σπάτα είναι αρκετά μακριά από την περιοχή και λόγω και των σημαντικών ελλείψεων δεν συμπεριλήφθηκε υπόψη στην συμπλήρωση και επέκταση των δεδομένων στους σταθμούς Κερατέας και Λαυρίου.

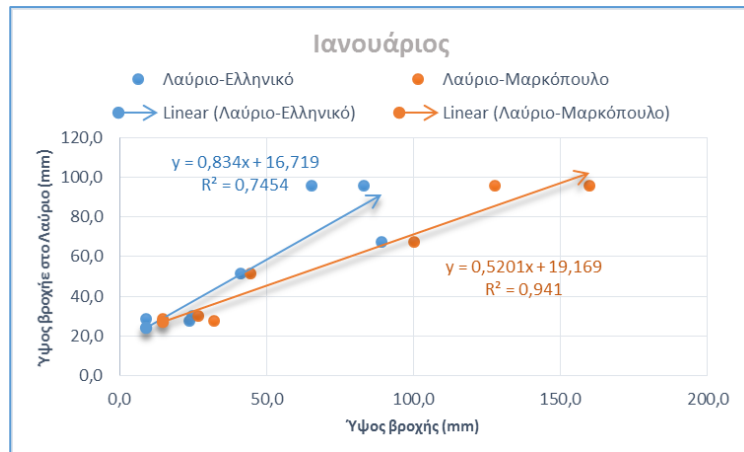
Για τη συμπλήρωση και επέκταση των χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ωστόσο, για τους μήνες όπου η συσχέτιση δεν θεωρήθηκε επαρκής, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κανονικών λόγων. Για να θεωρηθεί η συσχέτιση ικανοποιητική, ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος κατά απόλυτη τιμή από την κρίσιμη  $r_c$ , όπου  $r_c = 2/\sqrt{n}$  με  $n$  το μέγεθος του κοινού δείγματος.

Η μέθοδος των κανονικών λόγων δίνεται από την εξίσωση :

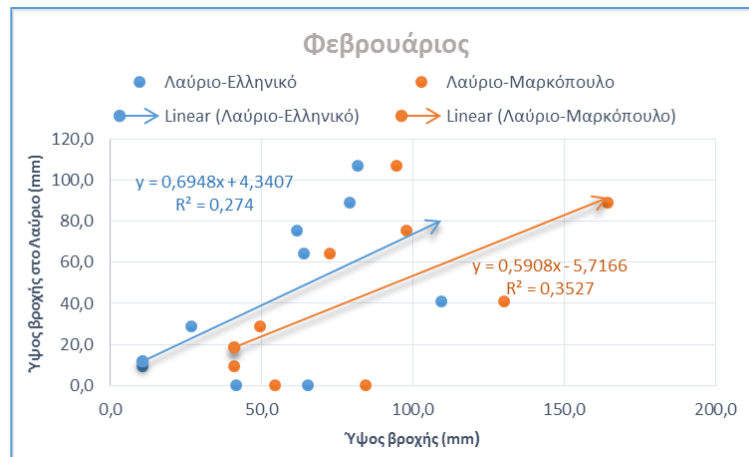
$$h_y = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{H_y}{H_i} h_i$$

όπου  $h_y$  η μηνιαία βροχόπτωση και  $H_y$ , η μέση ετήσια βροχόπτωση του σταθμού  $y$  και  $H_i$  η μέση ετήσια βροχόπτωση του γειτονικού σταθμού  $i$  (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

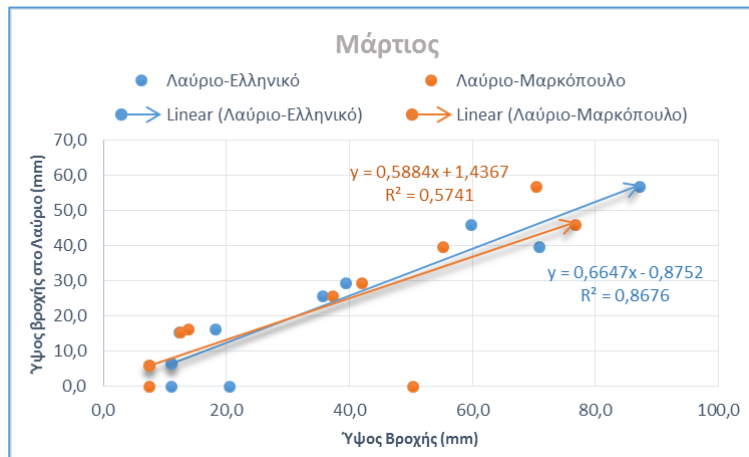
Η συμπλήρωση και επέκταση των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε στα μηνιαία δεδομένα κατακρημνίσεων νερού των σταθμών Κερατέας και Λαυρίου έπειτα από τη συσχέτιση με τα πλήρη και συνεχή δεδομένα των σταθμών Ελληνικό και Μαρκόπουλο. Τα διαγράμματα συσχέτισης καθώς και τα αποτελέσματα από τη συμπλήρωση και επέκταση για τους σταθμούς Λαύριο και Κερατέα φαίνονται κατωτέρω:



(α)

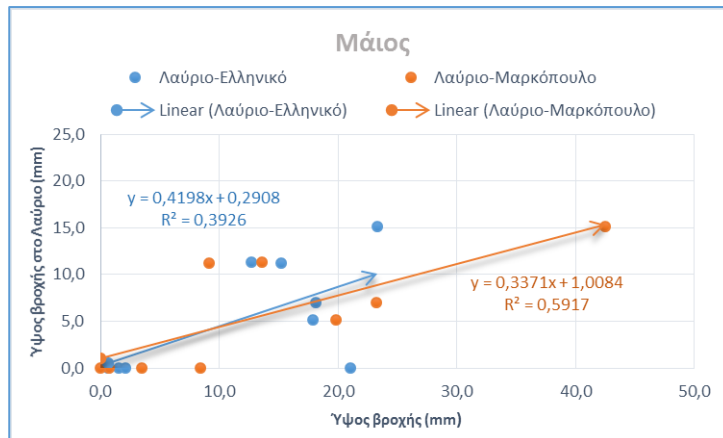


(β)

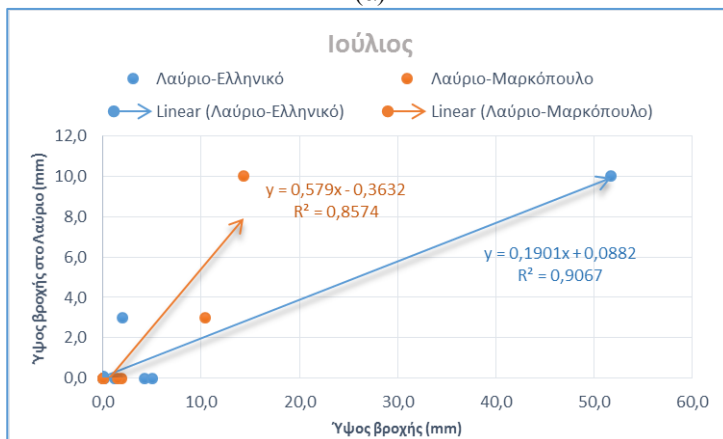


(γ)

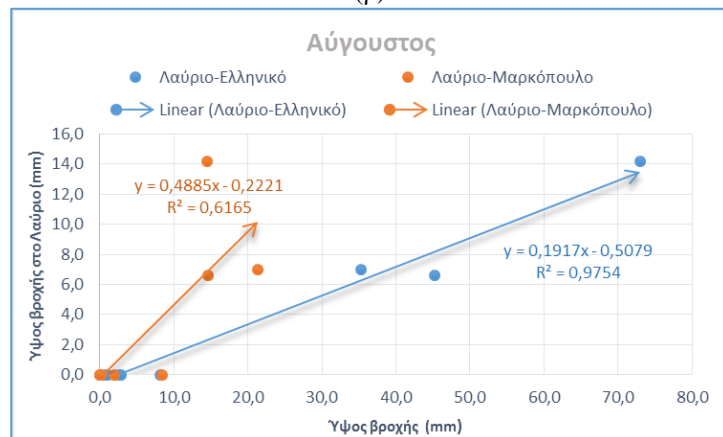
**Σχήμα 5.3.1.1:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Λαύριο τον (α) Ιανουάριο, (β) Φεβρουάριο και (γ) Μάρτιο έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.



(α)

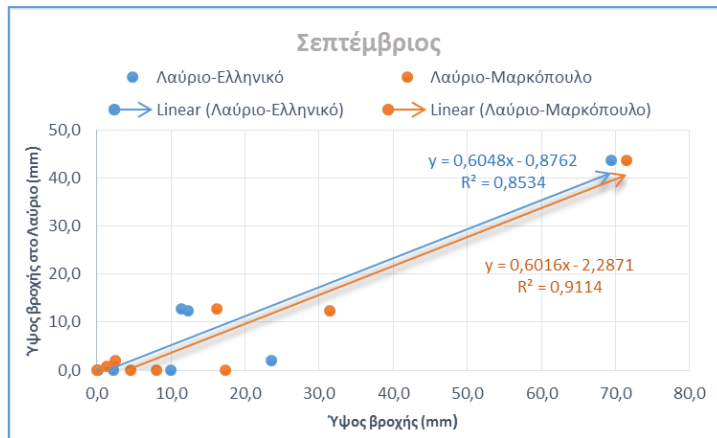


(β)

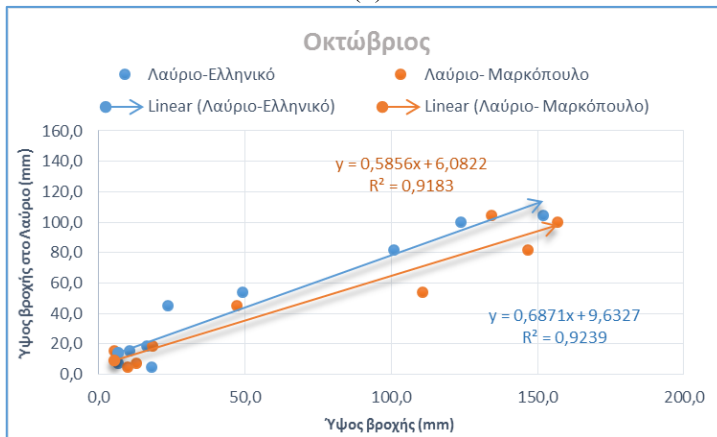


(γ)

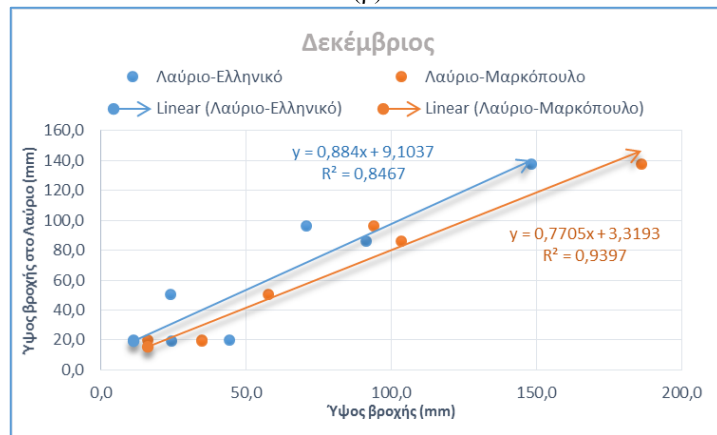
**Σχήμα 5.3.1.2:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Λαύριο τον (α) Μάιο, (β) Ιούλιο και (γ) Αύγουστο, έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.



(α)



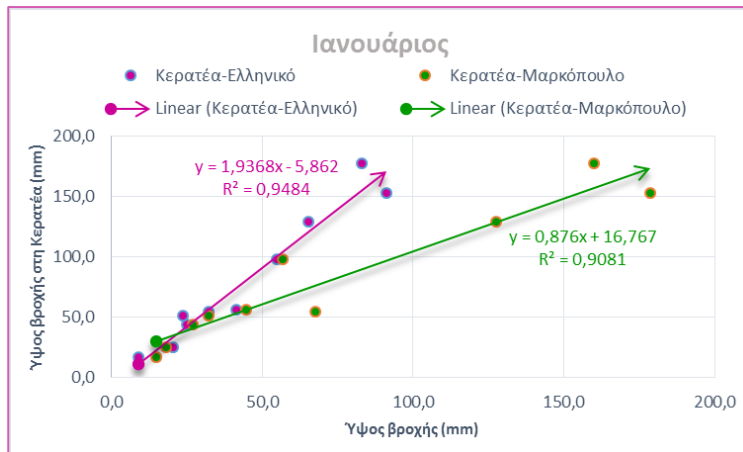
(β)



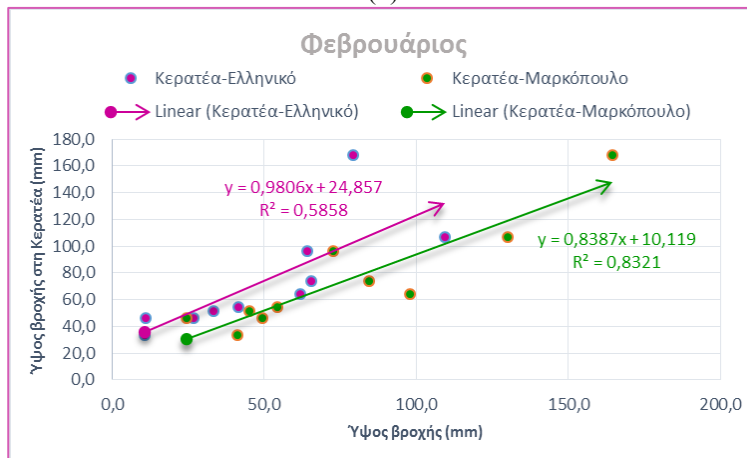
(γ)

**Σχήμα 5.3.1.3:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Λαύριο τον (α) Σεπτέμβριο, (β) Οκτώβριο και (γ) Δεκέμβριο, έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.

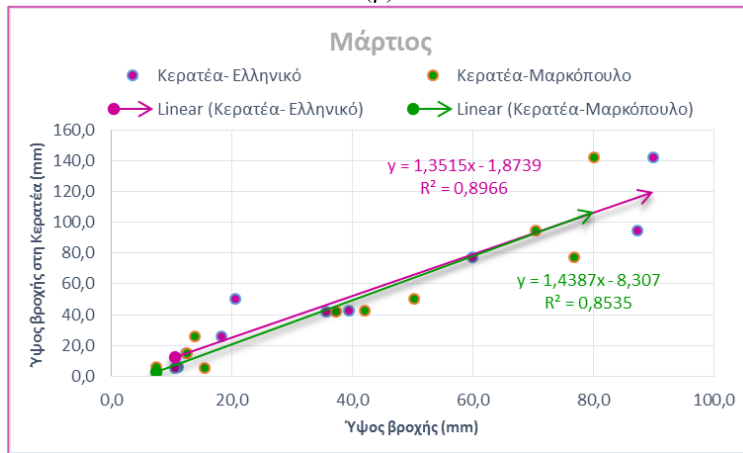
Συνεχίζεται και για τον σταθμό Κερατέα.



(α)

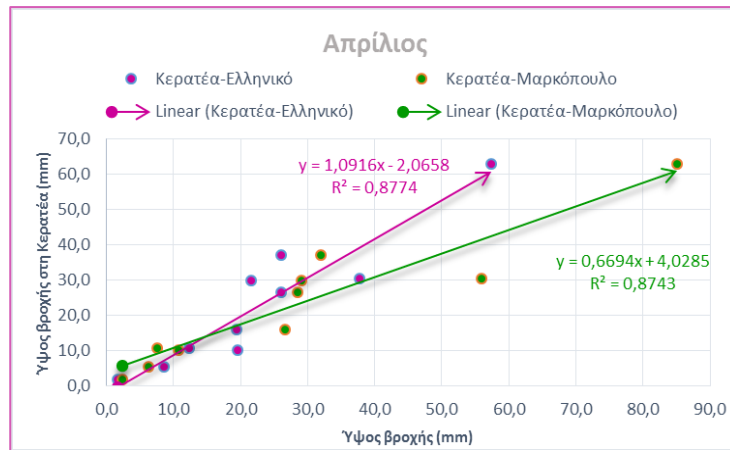


(β)



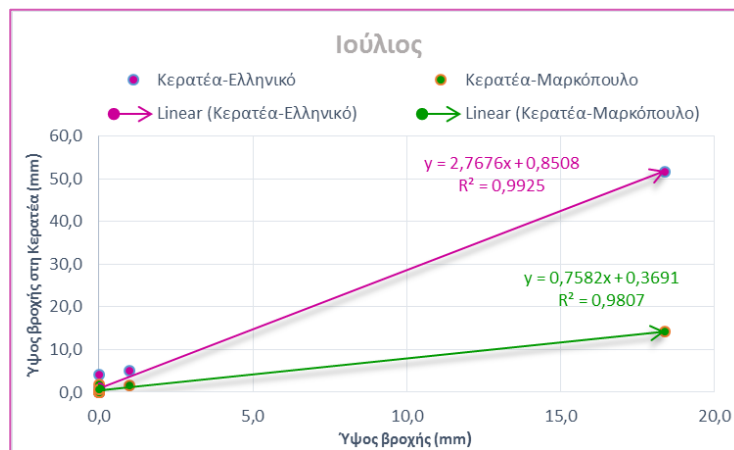
(γ)



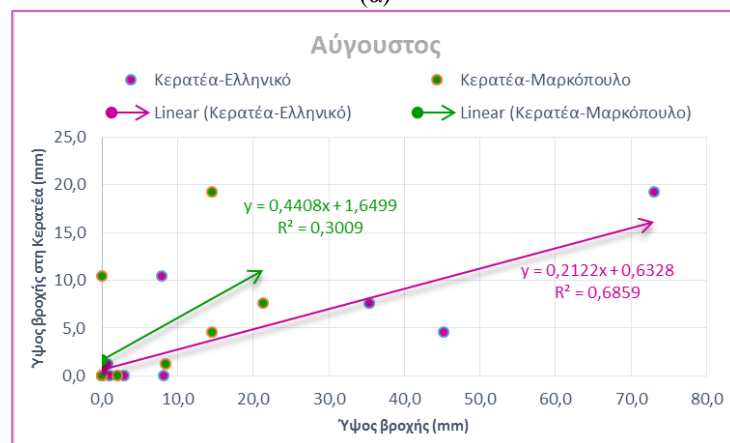


(δ)

**Σχήμα 5.3.1.4:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Κερατέα τον (α) Ιανουάριο, (β) Φεβρουάριο, (γ) Μάρτιο και (δ) Απρίλιο, έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.

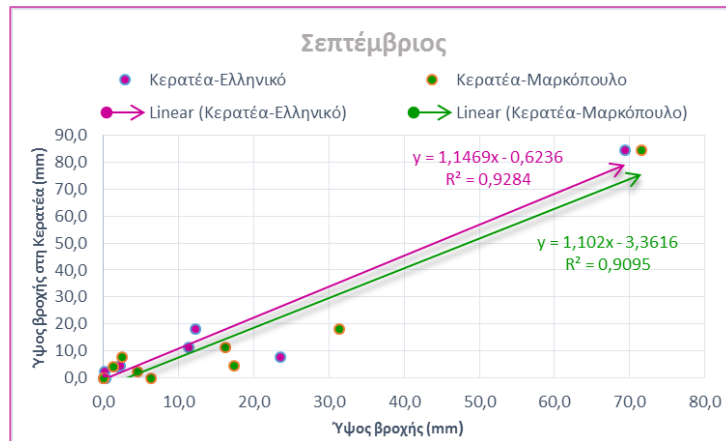


(α)

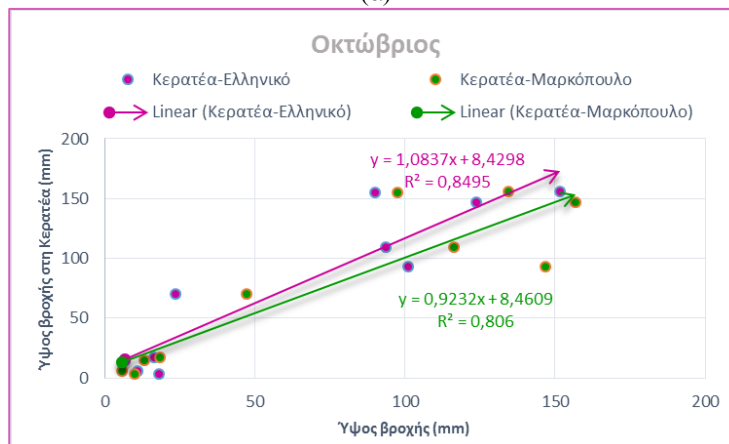


(β)

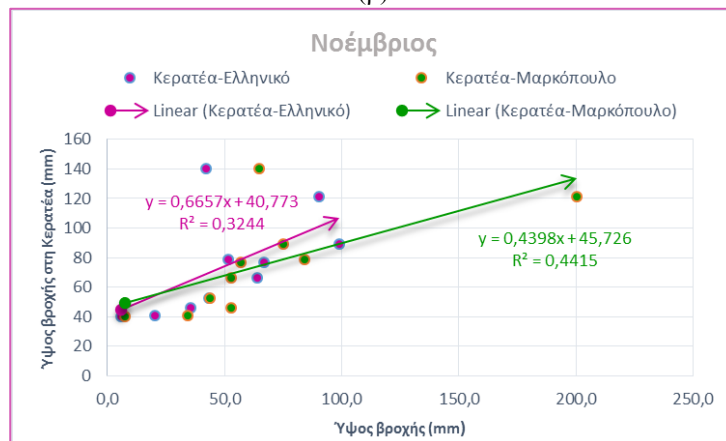
**Σχήμα 5.3.1.5:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Κερατέα τον (α) Ιούλιο και (β) Αύγουστο, έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.



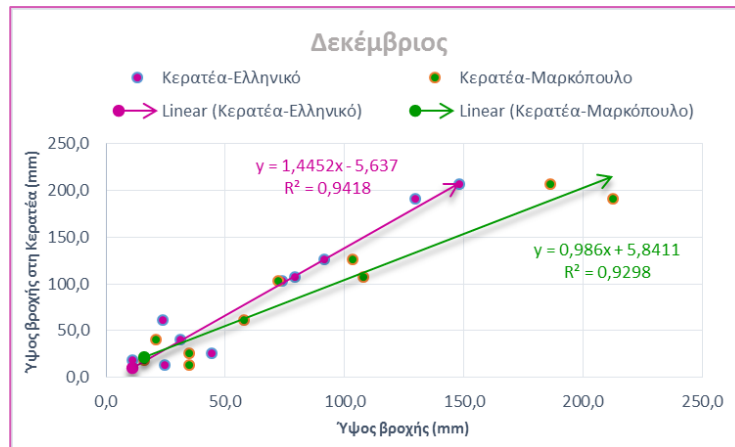
(α)



(β)



(γ)



(δ)

**Σχήμα 5.3.1.6:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση των μηνιαίων υψών βροχής στο σταθμό Κερατέα τον (α) Σεπτέμβριο, (β) Οκτώβριο, (γ) Νοέμβριο και (δ) Δεκέμβριο, έχοντας ως σταθμούς βάσης τους σταθμούς Ελληνικού και Μαρκόπουλου.

Οι εξισώσεις της γραμμικής συσχέτισης που αντιστοιχούν και που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μήνα, φαίνονται στον κατωτέρω πίνακα, ενώ εκεί όπου ο συντελεστής συσχέτισης δεν ήταν επαρκής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κανονικών λόγων.

**Πίνακας 5.3.1.1:** Εξισώσεις γραμμικής συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συμπλήρωση και επέκταση των μηνιαίων δεδομένων βροχόπτωσης στους σταθμούς Λαύριο και Κερατέα.

Σταθμός	Λαύριο			Κερατέα		
	Μήνας	Εξίσωση συμπλήρωσης/ επέκτασης	Συντελεστής συσχέτισης r	Σταθμός με την καλύτερη συσχέτιση	Εξίσωση συμπλήρωσης/ επέκτασης	Συντελεστής συσχέτισης r
Ιανουάριος	$y = 0,5201x + 19,169$	0,97	Μαρκόπουλο	$y = 1,9368x - 5,862$	0,97	Ελληνικό
Φεβρουάριος	$y = 0,5908x - 5,7166$	0,59	Μαρκόπουλο	$y = 0,8387x + 10,119$	0,91	Μαρκόπουλο
Μάρτιος	$y = 0,6647x - 0,8752$	0,93	Ελληνικό	$y = 1,3515x - 1,8739$	0,95	Ελληνικό
Απρίλιος	Μέθοδος κανονικών λόγων			$y = 1,0916x - 2,0658$	0,94	Ελληνικό
Μάιος	$y = 0,3371x + 1,0084$	0,77	Μαρκόπουλο	Μέθοδος κανονικών λόγων		
Ιούνιος	Μέθοδος κανονικών λόγων					
Ιούλιος	$y = 0,1901x + 0,0882$	0,95	Ελληνικό	$y = 2,7676x + 0,8508$	1	Ελληνικό
Αύγουστος	$y = 0,1917x - 0,5079$	0,99	Ελληνικό	$y = 0,2122x + 0,6328$	0,83	Ελληνικό
Σεπτέμβριος	$y = 0,6016x - 2,2871$	0,95	Μαρκόπουλο	$y = 1,1469x - 0,6236$	0,96	Ελληνικό
Οκτώβριος	$y = 0,6871x + 9,6327$	0,96	Ελληνικό	$y = 1,0837x + 8,4298$	0,92	Ελληνικό
Νοέμβριος	Μέθοδος κανονικών λόγων			$y = 0,4398x + 45,726$	0,66	Μαρκόπουλο
Δεκέμβριος	$y = 0,7705x + 3,3193$	0,97	Μαρκόπουλο	$y = 1,4452x - 5,637$	0,97	Ελληνικό

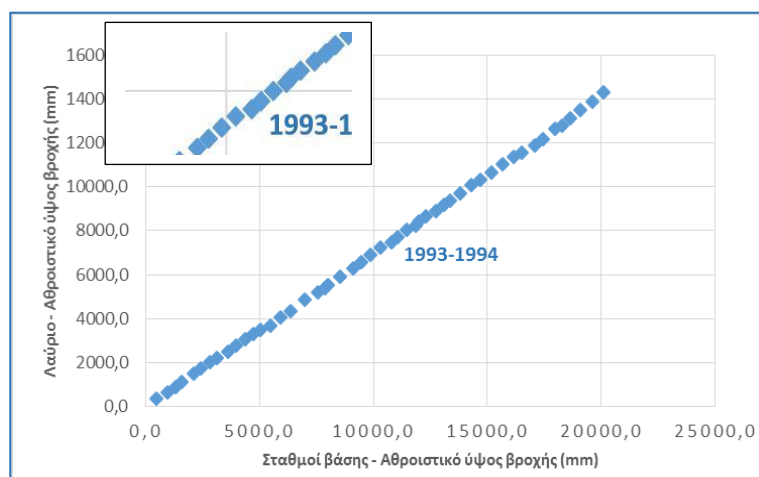
### 5.3.2 Έλεγχος Συνέπειας

Ο έλεγχος της συνέπειας αφορά στις ετήσιες τιμές ύψους των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και γίνεται για την εύρεση πιθανών τεχνητών αλλαγών στις συνθήκες της μέτρησης, οι οποίες επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης. Όταν παρατηρούνται τέτοιου

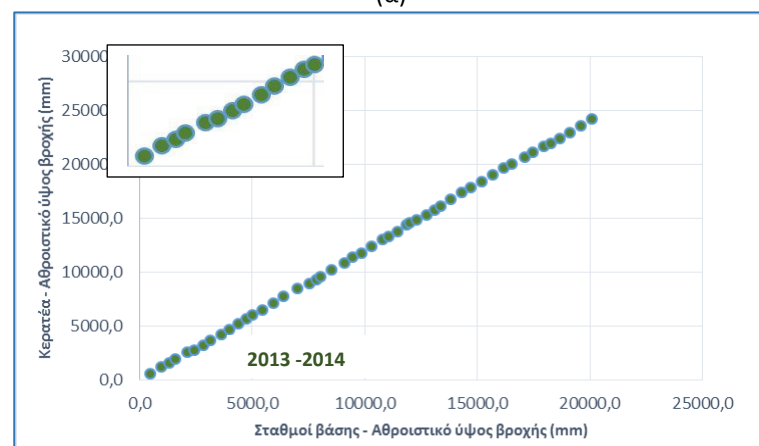
είδους αλλαγές γίνεται αποκατάσταση των μετρήσεων με ανόρθωση των τιμών, ώστε να αρθούν τα αποτελέσματα αυτών των αλλαγών (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Οι λόγοι των ασυνεπειών είναι ποικίλοι, όπως η αλλαγή της θέσης του οργάνου μέτρησης, η αλλαγή της θέσης του σταθμού ή και η αλλαγή του μηχανήματος. Ακόμη μπορεί να οφείλεται και σε αλλαγές του εξωτερικού χώρου, όπως η ανάπτυξη ενός δέντρου ή η κατασκευή μιας πολυκατοικίας. Ως επί το πλείστο η ασυνέπεια παρατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε και συνδυάζεται με συστηματικά σφάλματα μέτρησης<sup>187</sup>.

Ο έλεγχος της ασυνέπειας θα γίνει στη παρούσα μελέτη με τη διπλή αθροιστική καμπύλη, για την κατασκευή της οποίας χρησιμοποιήθηκε, ως σταθμός βάσης, ο μέσος όρος των σταθμών Ελληνικού και Μαρκόπουλου. Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιήθηκαν επειδή ήταν οι μόνοι συνεχείς και πλήρεις. Τα διαγράμματα της διπλής αθροιστικής καμπύλης για τους σταθμούς Λαύριο και Κερατέα φαίνονται κατωτέρω:



(α)



(β)

**Σχέδιο 5.3.2.1:** Διπλή αθροιστική καμπύλη στους σταθμούς (α) Λαύριο και (β) Κερατέα, με βάση το μέσο όρο των τιμών των σταθμών Ελληνικού και Μαρκόπουλου.

<sup>187</sup> Μποςινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.82

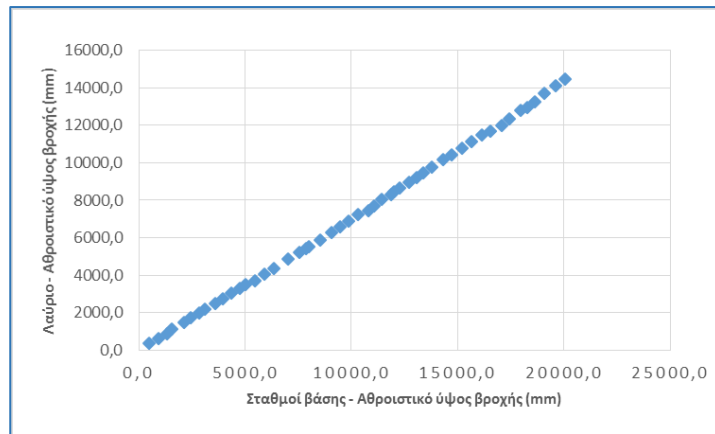
Από τα σχήματα προκύπτει ότι η χρονοσειρά του Λαυρίου παρουσιάζει ασυνέπεια που εμφανίζεται ως θλάση κατά τη χρονική περίοδο 1993-1994, ενώ η χρονοσειρά της Κερατέας φαίνεται να παρουσιάζει ασυνέπεια κατά τη χρονική περίοδο 2013-2014. Γενικά πιο σωστά θεωρούνται τα πιο πρόσφατα δεδομένα, λόγω ακριβέστερων οργάνων. Για την άρση της ασυνέπειας χρησιμοποιείται ο συντελεστής  $\lambda = m/m'$  όπου  $m$  είναι η κλίση της πιο πρόσφατης περιόδου, πριν την ασυνέπεια και  $m'$  η κλίση της παλαιότερης περιόδου, μετά την ασυνέπεια. Συνεπώς, για την άρση της ασυνέπειας στο σταθμό Λαυρίου και Κερατέας και την ανόρθωση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αναγωγής  $\lambda = 1,03$  και  $\lambda = 1,01$  αντίστοιχα.

Η πορεία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή της διπλής αθροιστικής καμπύλης φαίνεται κατωτέρω:

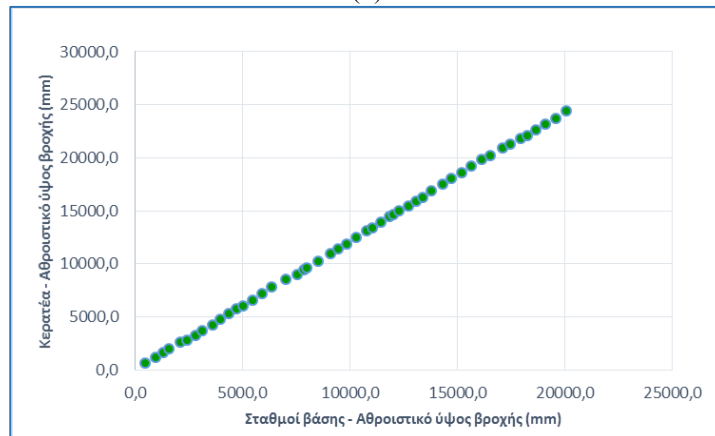
**Πίνακας 5.3.2.1:** Υπολογισμός αθροιστικής καμπύλης για το σταθμό Λαύριο και Κερατέα σε σχέση με το μέσο όρο των σταθμών βάσης Ελληνικό και Μαρκόπουλο.

Υδρολογικό έτος	Αθροιστικά ύψη (mm)					Λαύριο μετά την αποκατάσταση (mm)	Κερατέα μετά την αποκατάσταση (mm)
	Σταθμοί βάσης (Ελληνικό & Μαρκόπουλο)	Λαύριο	Κερατέα	Λαύριο μετά την αποκατάσταση (mm)	Κερατέα μετά την αποκατάσταση (mm)		
2018-2019	477,2	334,0	620,6	334,0	620,6	334,0	620,6
2017-2018	932,9	636,0	1205,5	636,0	1205,5	302,0	584,9
2016-2017	1308,5	872,9	1604,8	872,9	1604,8	236,9	399,3
2015-2016	1569,1	1098,2	1952,8	1098,2	1952,8	225,3	348,0
2014-2015	2112,1	1496,6	2585,1	1496,6	2585,1	398,4	632,3
2013-2014	2428,4	1720,1	2806,4	1720,1	2808,6	223,5	223,6
2012-2013	2822,6	1991,6	3256,6	1991,6	3263,3	271,4	454,6
2011-2012	3127,4	2200,5	3641,9	2200,5	3652,5	209,0	389,2
2010-2011	3607,2	2495,8	4230,3	2495,8	4246,8	295,2	594,3
2009-2010	3955,2	2758,2	4716,6	2758,2	4737,9	262,4	491,1
2008-2009	4372,4	3058,1	5251,7	3058,1	5278,4	299,9	540,5
2007-2008	4733,6	3281,1	5704,5	3281,1	5735,7	223,0	457,3
2006-2007	5012,3	3471,8	6004,1	3471,8	6038,3	190,7	302,6
2005-2006	5456,1	3682,8	6488,0	3682,8	6527,0	211,0	488,7
2004-2005	5931,7	4035,2	7165,2	4035,2	7211,0	352,3	684,0
2003-2004	6374,1	4359,0	7762,9	4359,0	7814,7	323,8	603,7
2002-2003	7002,5	4845,2	8457,0	4845,2	8515,7	486,2	701,0
2001-2002	7551,0	5209,4	8964,9	5209,4	9028,7	364,2	513,0
2000-2001	7849,8	5396,8	9328,9	5396,8	9396,3	187,5	367,6
1999-2000	8010,7	5537,1	9551,5	5537,1	9621,1	140,3	224,8
1998-1999	8524,5	5884,8	10210,7	5884,8	10287,0	347,7	665,9
1997-1998	9086,9	6287,6	10886,1	6287,6	10969,1	402,9	682,1
1996-1997	9452,0	6567,0	11358,5	6567,0	11446,3	279,4	477,1
1995-1996	9853,3	6900,2	11782,0	6900,2	11873,9	333,2	427,7
1994-1995	10298,4	7228,9	12387,6	7228,9	12485,6	328,7	611,6
1993-1994	10795,0	7450,2	12990,0	7456,8	13094,1	227,9	608,5
1992-1993	11064,0	7687,2	13293,9	7700,9	13400,9	244,1	306,9
1991-1992	11445,7	8019,5	13777,9	8043,2	13889,8	342,3	488,8
1990-1991	11853,2	8249,2	14359,0	8279,8	14476,8	236,7	587,0
1989-1990	12001,6	8416,4	14534,0	8452,0	14653,5	172,2	176,7
1988-1989	12287,9	8636,1	14859,5	8678,3	14982,3	226,3	328,8
1987-1988	12733,8	8893,5	15350,9	8943,5	15478,6	265,2	496,3
1986-1987	13083,3	9163,5	15797,8	9221,6	15929,9	278,1	451,4
1985-1986	13371,6	9389,5	16167,6	9454,3	16303,5	232,8	373,5
1984-1985	13797,3	9704,3	16765,9	9778,5	16907,7	324,2	604,3
1983-1984	14315,4	10071,2	17370,8	10156,5	17518,7	378,0	611,0
1982-1983	14706,5	10339,6	17892,9	10432,9	18046,0	276,5	527,3
1981-1982	15192,9	10659,5	18431,1	10762,4	18589,6	329,4	543,6
1980-1981	15662,3	11028,8	19028,8	11142,8	19193,2	380,4	603,7
1979-1980	16153,7	11347,8	19681,1	11471,4	19852,0	328,6	658,8
1978-1979	16530,0	11544,7	20063,2	11674,2	20238,0	202,8	386,0
1977-1978	17097,2	11875,1	20713,0	12014,4	20894,2	340,2	656,2
1976-1977	17441,1	12183,4	21106,1	12332,0	21291,3	317,5	397,0
1975-1976	17965,8	12621,3	21657,1	12783,0	21847,8	451,0	556,5
1974-1975	18264,0	12804,3	21938,0	12971,5	22131,5	188,5	283,7
1973-1974	18650,0	13099,5	22417,0	13275,6	22615,4	304,1	483,8
1972-1973	19098,8	13507,3	22940,1	13695,6	23143,6	420,0	528,3
1971-1972	19605,9	13899,6	23538,6	14099,7	23748,2	404,1	604,5
1970-1971	20079,5	14283,0	24214,7	14494,6	24431,0	394,9	682,8

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η νέα αθροιστική καμπύλη για τους σταθμούς Λαυρίου και Κερατέας.



(α)



(β)

**Σχήμα 5.3.2.1:** Νέα διπλή αθροιστική καμπύλη στους σταθμούς (α) Λαύριο και (β) Κερατέα, με βάση το μέσο όρο των τιμών των σταθμών Ελληνικού και Μαρκόπουλου.

### 5.3.3 Επιφανειακή Ολοκλήρωση της Σημειακής Βροχόπτωσης

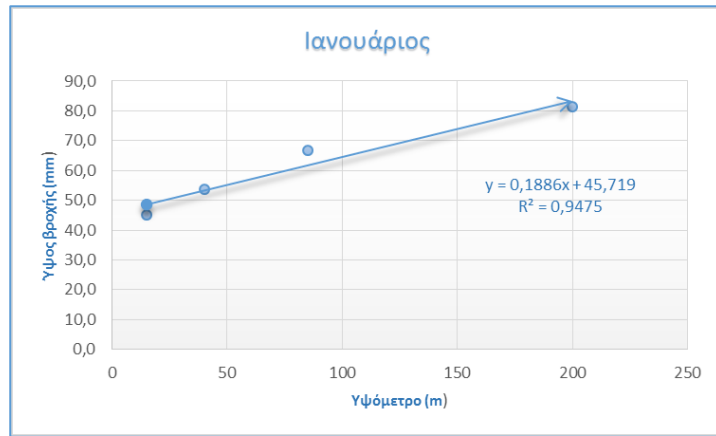
Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να γίνει η μετατροπή της σημειακής πληροφορίας σε επιφανειακή<sup>188</sup>. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να κάνουν αυτή τη μετατροπή και χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις μεθόδους της άμεσης ολοκλήρωσης και τις μεθόδους προσαρμογής της επιφάνειας<sup>189</sup>. Λόγω του ότι δεν υπήρχε βροχομετρικός σταθμός στην περιοχή της Αναβύσσου, για την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης, χρησιμοποιήθηκε η υψομετρική μέθοδος. Έγινε δηλαδή συσχέτιση της κατανομής της βροχής με την υψομετρική καμπύλη της λεκάνης<sup>190</sup>.

<sup>188</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.83

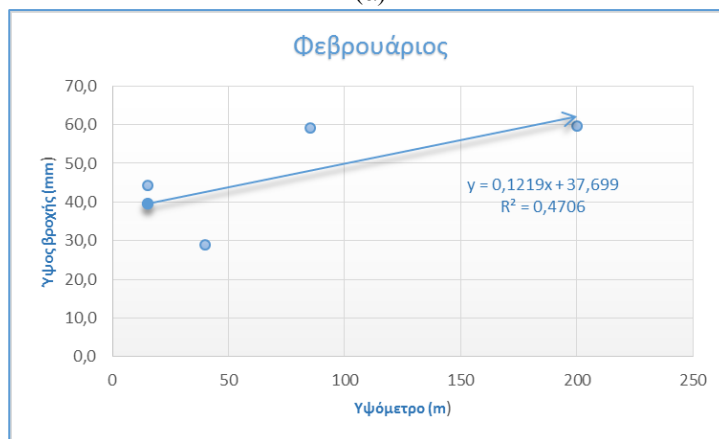
<sup>189</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.83

<sup>190</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.83

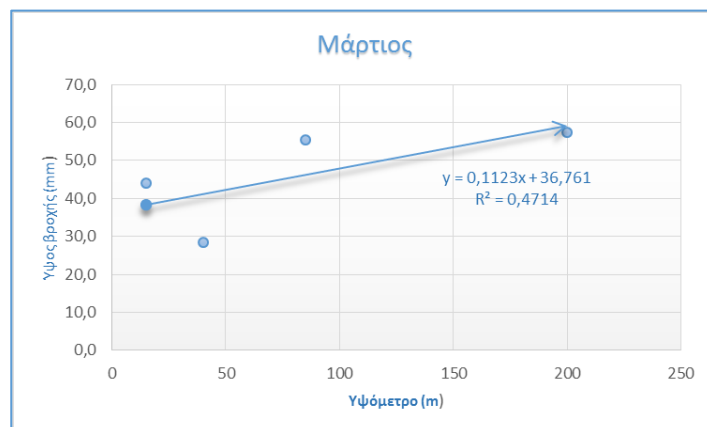
Αναλυτικότερα, για κάθε σταθμό της περιοχής υπολογίστηκε το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής, το οποίο στη συνέχεια συσχετίστηκε με το αντίστοιχο υψόμετρο του σταθμού, με χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, λαμβάνοντας υπόψη και το μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:



(α)

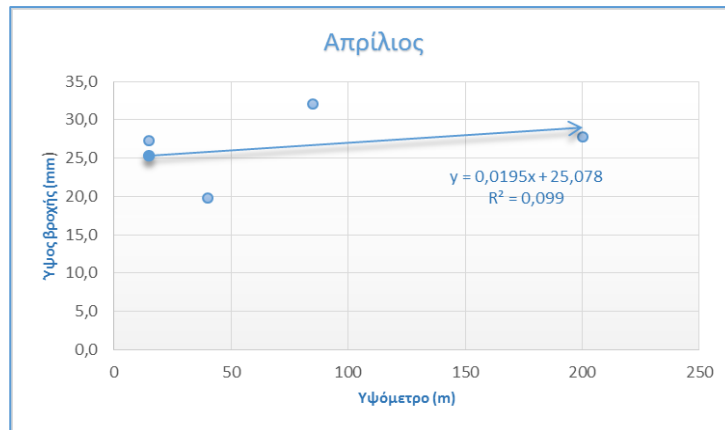


(β)



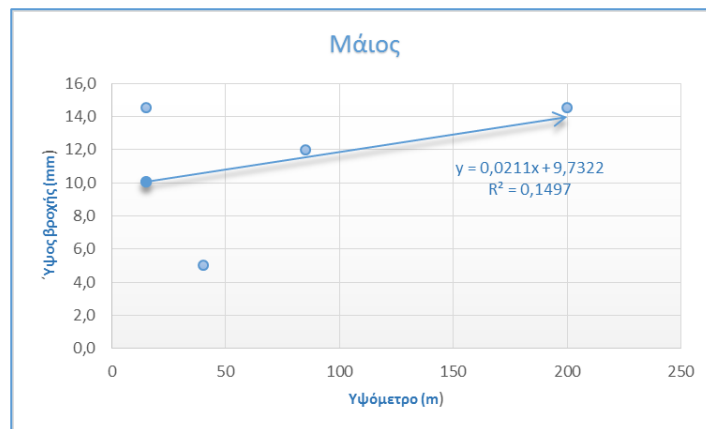
(γ)



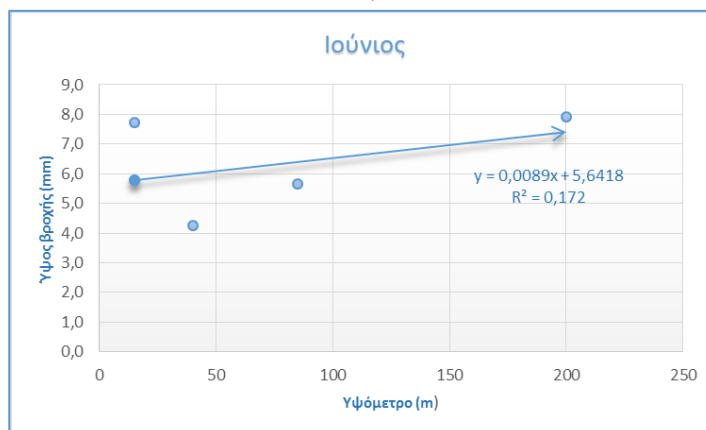


(δ)

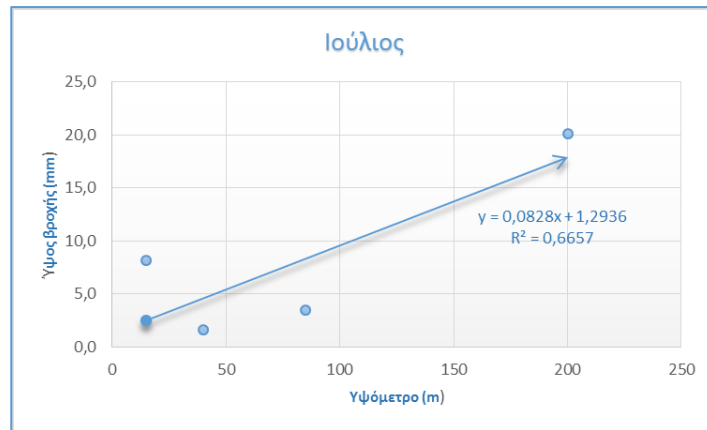
**Σχήμα 5.3.3.1:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση του μέσου υπερετήσιου ύψους βροχής στη λεκάνη της Αναβύσσου για τον (α) Ιανουάριο, (β) Φεβρουάριο, (γ) Μάρτιο και (δ) Απρίλιο με βάση τους σταθμούς Ελληνικού, Μαρκόπουλου, Λαυρίου και Κερατέας.



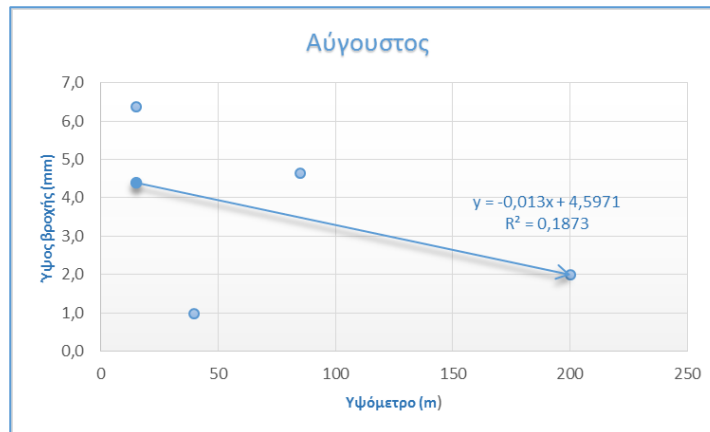
(α)



(β)

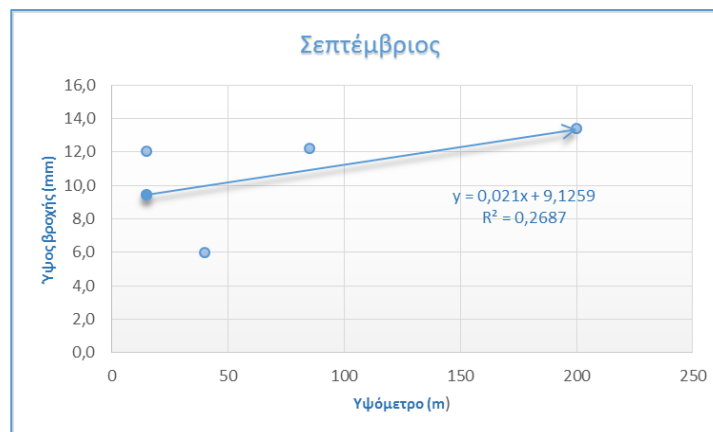


(γ)

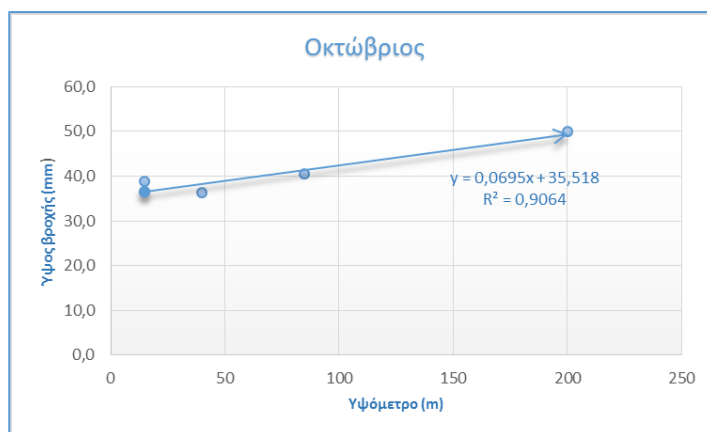


(δ)

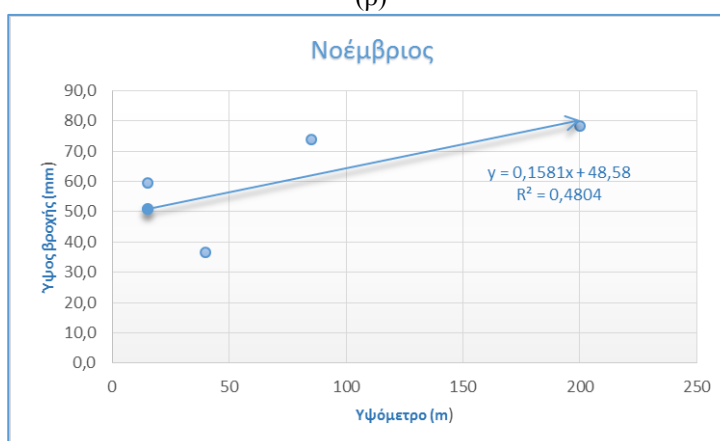
**Σχήμα 5.3.3.2:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση του μέσου υπερετήσιου ύψους βροχής στη λεκάνη της Αναβύσσου για τον (α) Μάιο, (β) Ιούνιο, (γ) Ιούλιο και (δ) Αύγουστο, με βάση τους σταθμούς Ελληνικού, Μαρκόπουλου, Λαυρίου και Κερατέας.



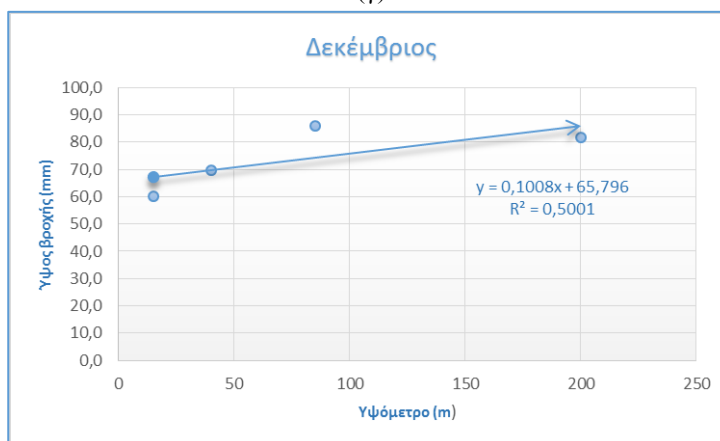
(α)



(β)



(γ)



(δ)

**Σχήμα 5.3.3.3:** Εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμπλήρωση του μέσου υπερετήσιου ύψους βροχής στη λεκάνη της Αναβύσσου για τον (α) Σεπτέμβριο, (β) Οκτώβριο, (γ) Νοέμβριο και (δ) Δεκέμβριο, με βάση τους σταθμούς Ελληνικού, Μαρκόπουλου, Λαυρίου και Κερατέας.

**Πίνακας 5.3.3.1:** Υπολογισμός του μέσου μηνιαίου υπερετήσιου ύψους βροχής (1970-2020) στη λεκάνη της Αναβύσσου.

Σταθμός	Μέση μηνιαία βροχόπτωση											
	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.
Ελληνικό	38,8	59,3	60,3	45,1	44,4	43,9	27,3	14,5	7,7	8,1	6,4	12,1
Μαρκόπουλο	40,6	73,8	86,0	66,6	59,1	55,5	32,0	12,0	5,7	3,4	4,6	12,2
Λαύριο	36,3	36,7	69,6	53,8	29,0	28,3	19,8	5,1	4,3	1,6	1,0	6,0
Κερατέα	50,0	78,2	81,6	81,5	59,7	57,5	27,8	14,5	7,9	20,1	2,0	13,4
Ανάβυσσος	44,2	50,6	78,5	69,4	53,0	50,9	27,5	12,4	6,8	11,7	3,0	11,8
<b>Βροχοβαθμίδα mm/100</b>	<b>6,95</b>	<b>13,10</b>	<b>10,08</b>	<b>18,86</b>	<b>12,19</b>	<b>11,23</b>	<b>1,95</b>	<b>2,11</b>	<b>0,89</b>	<b>8,28</b>	<b>1,30</b>	<b>2,10</b>

Από τον ανωτέρω πίνακα υπολογίζεται ότι το ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη της Αναβύσσου είναι 419,6 mm και εφόσον η έκτασή της είναι 53,6 km<sup>2</sup> προκύπτει ότι **η συνολική μέση ετήσια βροχόπτωση είναι  $22,49 \times 10^6 \text{ m}^3$** . Αντίστοιχα από την επεξεργασία δεδομένων, που έγινε αρχικά από τη Μποσινάκου Παναγιώτα στη διπλωματική της το 2001, για τα έτη 1970-2000 στην λεκάνη της Αναβύσσου, προέκυψε ότι η συνολική μέση ετήσια βροχόπτωση είναι:  $23,12 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Παρατηρείται μία διαφορά της τάξης των 630.000 m<sup>3</sup>. Αυτό το αποτέλεσμα δεν προκαλεί εντύπωση εφόσον διανύουμε τα τελευταία χρόνια μία περίοδο λειψυδρίας.

Στον ανωτέρω πίνακα έχει υπολογιστεί η μηνιαία βροχοβαθμίδα η οποία κυμαίνεται από 0,89 έως 18,86 mm/100m και μέση τιμή 7,42 mm/100m.

#### 5.4 Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

Σημαντικό ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επί της επιφανείας της γης επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω των διεργασιών της εξάτμισης, διαπνοής και κατανάλωσης ενέργειας. Στην υδρολογία για την εύρεση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, υπολογίζεται σε πρώτο στάδιο η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και στη συνέχεια με χρήση μαθηματικών σχέσεων και μοντέλων μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή<sup>191</sup>.

Σύμφωνα με τον Turc η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με δεδομένα εισόδου τη μέση ετήσια θερμοκρασία και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής. Ισχύει η εξίσωση:

<sup>191</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.84

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

όπου E: η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,

P: το μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε mm,

$L = 300 + 25T + 0,05T^3$  και T: μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα °C.

Χρησιμοποιείται η διορθωμένη θερμοκρασία:

$$T_{\Delta} = (P_1T_1 + P_2T_2 + \dots + P_{12}T_{12}) / (P_1 + P_2 + \dots + P_{12})$$

όπου  $P_1, P_2, \dots, P_{12}$  τα ύψη των βροχών για κάθε έναν από τους δώδεκα μήνες και  $T_1, T_2, \dots, T_{12}$  η αντίστοιχη θερμοκρασία του αέρα (Σούλιος, 1986)<sup>192</sup>.

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία της Αναβύσσου, υπολογίστηκε με γνώμονα τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας στους σταθμούς Ελληνικό και Μαρκόπουλο, για κοινή χρονική περίοδο 1970-2019. Αυτό επετεύχθη ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως με το μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής, με εφαρμογή της απλής γραμμικής παλινδρόμησης<sup>193</sup>.

Κατωτέρω απεικονίζονται οι πίνακες με τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για τους σταθμούς Ελληνικό και Μαρκόπουλο.

<sup>192</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.84

<sup>193</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.84

Πίνακας 5.4.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στο σταθμό Ελληνικό

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Ε.Μ.Υ.													
Υδρολογικό έτος	Όνομα Σταθμού: Ελληνικό							Περίοδος: 1/10/1970 έως 31/09/2020					
	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Μέση Ετήσια
1970-1971	18,3	15,2	11,4	11,5	9,8	11,8	14,9	21,5	25,1	26,7	28,1	23,0	18,1
1971-1972	17,6	15,1	10,9	10,0	10,2	12,0	16,4	20,6	25,5	26,5	27,4	23,9	18,0
1972-1973	17,5	15,0	10,4	9,6	11,0	10,9	15,1	21,3	24,8	27,8	27,0	24,9	17,9
1973-1974	19,8	14,2	13,1	8,9	11,3	12,2	14,6	19,7	24,8	28,1	28,1	24,1	18,2
1974-1975	21,3	15,2	11,4	9,7	8,6	14,1	16,6	21,1	24,6	28,2	26,1	25,6	18,5
1975-1976	19,7	14,6	10,5	10,2	8,9	11,7	15,5	20,3	24,7	26,5	25,1	22,9	17,6
1976-1977	19,2	14,8	11,9	10,5	13,5	13,3	16,4	21,5	25,3	28,5	28,1	22,9	18,8
1977-1978	18,0	16,8	9,9	9,4	12,2	13,1	15,6	20,4	25,4	27,8	26,5	22,2	18,1
1978-1979	18,2	12,9	13,0	10,5	11,2	14,0	15,2	20,3	26,3	27,2	27,0	24,2	18,3
1979-1980	18,5	15,1	12,4	9,2	9,0	11,5	14,6	18,9	24,3	27,7	27,5	23,5	17,7
1980-1981	20,1	17,1	12,0	8,2	9,8	13,8	16,1	19,3	25,4	27,1	27,0	24,3	18,4
1981-1982	22,0	13,5	14,4	10,3	8,2	10,7	14,6	19,4	24,7	26,6	27,1	25,1	18,1
1982-1983	19,9	14,1	12,0	9,1	7,9	11,3	16,4	21,5	23,3	27,1	26,2	23,6	17,7
1983-1984	18,1	14,1	11,6	10,9	10,8	11,4	14,0	20,5	24,0	26,7	25,6	24,4	17,7
1984-1985	20,8	15,2	11,1	10,9	8,6	11,6	16,7	21,7	25,2	27,2	28,0	24,0	18,4
1985-1986	17,5	16,5	12,9	12,0	11,3	12,3	17,7	21,2	25,2	27,9	28,8	24,7	19,0
1986-1987	18,9	13,2	10,7	11,5	11,0	8,5	14,5	18,7	25,4	29,1	27,2	26,4	17,9
1987-1988	18,3	14,8	11,7	11,6	10,4	12,3	15,3	20,8	25,3	30,2	28,7	24,7	18,7
1988-1989	18,6	12,3	10,8	8,5	10,5	13,5	17,9	19,5	23,7	27,8	28,1	24,4	18,0
1989-1990	18,1	14,6	11,0	9,0	11,1	14,2	16,9	20,9	25,0	29,2	28,0	24,1	18,5
1990-1991	20,0	17,1	12,6	9,1	10,1	13,0	15,2	18,6	25,3	27,7	27,3	23,7	18,3
1991-1992	19,7	15,3	7,6	9,1	8,1	11,2	16,0	19,2	24,4	26,6	29,3	23,8	17,5
1992-1993	21,7	15,8	10,0	9,5	7,9	11,8	16,1	20,3	26,0	28,3	28,6	24,5	18,4
1993-1994	21,2	13,8	13,5	11,8	10,7	13,1	17,1	21,6	25,7	28,7	29,5	27,4	19,5
1994-1995	21,7	14,2	11,1	10,8	12,1	12,5	15,6	21,0	26,8	29,0	27,7	24,8	18,9
1995-1996	18,4	13,3	12,8	9,7	10,3	9,8	15,1	22,2	26,6	28,8	28,3	23,9	18,3
1996-1997	18,0	16,1	13,0	11,3	10,6	11,7	13,1	21,7	26,1	28,5	26,8	22,9	18,3
1997-1998	18,1	15,3	11,5	10,6	11,7	10,1	16,8	20,1	26,7	30,1	29,9	24,3	18,8
1998-1999	20,9	15,9	10,5	10,9	10,8	13,0	17,0	22,0	27,6	29,3	29,6	25,1	19,4
1999-2000	21,7	15,7	14,0	8,1	10,8	12,5	17,6	22,0	27,1	29,4	29,5	24,6	19,4
2000-2001	19,4	17,4	12,8	11,9	11,7	16,0	16,4	21,4	26,0	29,8	30,0	25,6	19,9
2001-2002	21,1	14,6	8,8	8,5	12,5	13,4	15,9	21,9	27,2	29,5	28,0	24,0	18,8
2002-2003	19,9	16,0	10,9	12,2	6,5	10,3	14,3	22,6	28,1	29,1	29,9	23,9	18,6
2003-2004	20,8	15,6	11,1	8,9	10,1	12,8	16,1	20,0	25,7	28,7	27,8	24,4	18,5
2004-2005	21,0	16,1	12,3	9,9	9,1	12,6	15,7	21,2	25,5	28,7	28,6	24,4	18,8
2005-2006	18,4	13,8	12,2	7,6	10,2	12,8	16,9	21,3	25,9	28,2	29,2	23,9	18,4
2006-2007	19,2	13,3	10,5	11,6	10,7	10,1	16,6	21,5	27,2	30,3	29,6	24,3	18,7
2007-2008	20,1	14,3	10,3	9,5	9,3	14,5	16,9	21,4	27,3	29,6	30,2	24,2	19,0
2008-2009	19,8	16,4	12,2	11,8	10,2	12,6	16,3	22,2	26,6	29,6	28,6	23,3	19,1
2009-2010	19,8	15,2	14,1	11,2	12,8	13,9	17,7	21,9	26,1	29,9	30,8	25,6	19,9
2010-2011				10,6	11,1	12,1	15,4	20,3	25,5	31,2	29,5	27,1	20,3
2011-2012	17,8	12,1	11,8	7,9	9,5	12,5	18,1	21,8	28,3	29,1	30,5	26,6	18,8
2012-2013	22,6	17,3	11,8	11,1	12,5	15,5	16,8	23,5	24,3	27,5		25,4	18,9
2013-2014	19,5	16,5	8,6							29,6		22,3	19,3
2014-2015	18,8	15,2	14,6	10,5	9,6	12,2	15,9	22,3	24,8	29,3	29,3	26,2	19,1
2015-2016	20,3	17,4	12,1	11,3	15,0	14,4	19,7	21,8	28,5	30,0	29,4	24,4	20,3
2016-2017	21,5	15,0	9,4	7,7	12,8	13,9	17,2	22,6	26,6	29,7	30,6	25,0	19,3
2017-2018	19,9	16,0	12,7	12,1	12,3	15,7	19,5	24,0	26,9	28,5	29,2	25,6	20,2
2018-2019	20,2	16,1	11,4	9,4	11,2	14,3	16,2	19,9	27,5	28,5	30,2	25,7	19,2
Μέση Μηνιαία	19,6	15,1	11,6	10,1	10,5	12,5	16,2	21,0	25,8	28,5	28,4	24,5	18,7

Πίνακας 5.4.2: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στο σταθμό Μαρκόπουλο

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.													
Υδρολογικό έτος	Όνομα Σταθμού: Μαρκόπουλο							Περίοδος: 1/10/1970 έως 31/09/2020					
	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Μέση Ετήσια
1970-1971	16,7	13,5	9,2	9,5	7,2	9,9	13,3	21,1	25,2	24,9	26,0	21,5	16,5
1971-1972	15,6	12,6	8,5	6,7	7,3	9,5	15,4	20,0	25,5	26,4	26,0	22,3	16,3
1972-1973	15,3	12,1	7,4	6,9	8,6	8,2	13,3	20,7	23,8	26,8	24,4	22,5	15,8
1973-1974	17,8	11,4	9,5	5,3	8,2	9,7	12,9	17,6	22,8	26,6	26,3	22,3	15,9
1974-1975	19,9	12,2	7,8	6,8	5,8	11,9	15,1	19,7	24,3	26,6	24,4	23,6	16,5
1975-1976	18,7	12,0	7,9	8,0	6,7	8,9	13,6	18,8	23,3	25,3	23,4	20,9	15,6
1976-1977	18,8	13,9	10,4	8,8	12,2	12,3	15,5	19,9	23,9	27,5	26,5	20,9	17,6
1977-1978	15,8	14,3	7,7	6,9	9,3	11,7	12,8	18,3	25,0	26,3	24,4	20,0	16,0
1978-1979	16,2	11,2	9,8	9,3	9,5	12,6	13,9	19,0	25,7	26,5	24,8	22,0	16,7
1979-1980	17,0	13,3	9,6	7,3	7,5	10,0	12,6	17,2	23,5	27,5	25,8	21,5	16,1
1980-1981	18,5	14,8	9,0	5,6	7,8	13,0	13,9	19,1	25,9	27,7	26,9	23,3	17,1
1981-1982	21,8	11,7	12,2	9,2	7,3	9,9	14,0	18,0	23,8	26,3	25,7	23,6	17,0
1982-1983	19,4	12,9	9,8	6,8	6,4	10,2	16,1	20,8	22,5	24,6	24,4	22,1	16,3
1983-1984	16,8	13,0	11,1	10,0	9,8	10,6	13,0	19,2	20,9	24,8	23,8	22,0	16,3
1984-1985	18,6	13,0	8,7	8,0	6,4	9,1	16,2	20,7	24,7	25,9	26,8	22,7	16,7
1985-1986	15,9	15,1	11,1	8,9	9,8	11,6	16,9	20,1	25,7	27,2	28,4	24,2	17,9
1986-1987	17,6	11,8	8,1	9,1	8,7	7,2	14,6	19,8	25,5	28,6	26,5	24,4	16,8
1987-1988	17,5	13,7	10,5	10,1	9,0	13,3	15,1	21,3	26,2	29,1	27,8	23,8	18,1
1988-1989	17,4	10,3	9,0	6,8	9,4	12,8	17,8	19,2	25,2	27,0	27,6	23,6	17,2
1989-1990	16,8	13,6		7,5	10,0	14,0	16,6	20,8	26,4	29,9	27,7	25,5	19,0
1990-1991	19,9	15,7	10,6	7,5	8,8	12,1	13,4	17,6	25,5	27,1	27,8	22,5	17,4
1991-1992	19,4	12,6	5,1	7,1	6,3	10,3	15,0	17,2	24,8	26,0	27,7	23,3	16,2
1992-1993	21,8	15,7	7,3	7,9	6,5	9,5	13,4	18,6	24,5	26,7	28,0	23,1	16,9
1993-1994	19,7	12,4	10,7	9,3	6,8	11,3	16,0	19,8	23,2	27,0	29,3	29,1	17,9
1994-1995	21,4	13,1	9,4	8,9	11,0	12,1	14,7	21,1	29,6	29,1	28,5	25,6	18,7
1995-1996	16,5	11,9	10,4	8,3	9,0	9,3	14,6	22,0	27,3	29,4		23,5	16,6
1996-1997	16,6	14,9	11,8	10,2	9,2	10,6	12,7	22,3	27,5	28,9	25,2	18,6	17,4
1997-1998	17,3	14,0	10,1	9,6	10,7	9,4	16,1	20,2	27,4	30,3	28,3	23,4	18,1
1998-1999	18,0	13,8	8,3	9,8	9,8	12,2		20,1	29,2	30,8	29,9	23,9	18,7
1999-2000	10,8	14,5	12,2	5,8	10,6	11,2		18,8	25,3	31,4	29,1	24,2	17,6
2000-2001	15,3	14,6	9,1	8,7	7,3	13,1	10,3	19,9	23,9	25,6	25,1	20,7	16,1
2001-2002	16,6	11,3	4,7	6,3	9,6	12,7	10,5	16,4	21,9	26,2	23,7	18,8	14,9
2002-2003	18,2	13,0	8,5	7,9	4,0	6,0	9,6	15,2	21,9	25,8	25,4	19,0	14,5
2003-2004	15,2	13,0	7,4	5,8	9,5	10,5	10,3	11,8	19,5	24,0			12,7
2004-2005	13,2	9,4	8,0	6,4	6,4	9,3	12,2	12,8	20,5	25,5	23,3	18,5	13,8
2005-2006	12,5	9,3	9,2										10,3
2006-2007				11,6	10,2	12,6	15,4	20,7	26,4	28,7	28,0	22,9	19,6
2007-2008	19,0	14,1	9,9	8,8	8,9	14,1	16,3	20,0	25,6	27,6	27,9	22,6	17,9
2008-2009	18,7	16,3	11,6	11,3	9,8	11,9	15,0	20,8	25,1	27,9	26,6	22,1	18,1
2009-2010	19,0	15,0	13,7	10,7	12,2	13,0	16,2	21,1	24,7	27,5	28,9	23,6	18,8
2010-2011	17,8	17,4	12,9	9,8	10,1	11,1	13,7	18,6	24,0	28,1	26,7	24,7	17,9
2011-2012	16,5	11,4	11,5	7,5	8,7	11,9	16,7	20,5	26,4	29,1	28,2	24,1	17,7
2012-2013	21,1	16,3	11,1	10,5	11,6	13,4	17,0	22,0	24,6	26,9	27,5	23,8	18,8
2013-2014	18,0	15,5	10,1	12,0	12,0	13,0	15,7	19,9	24,5	26,8	27,5	23,0	18,2
2014-2015	18,4	14,4	12,3	9,8	9,7	11,5	14,9	20,6	23,2	27,3	27,7	24,3	17,8
2015-2016	18,6	16,0	10,4	10,4	13,4	12,9	18,3	20,0	25,9	27,8	27,2	23,2	18,7
2016-2017	18,8	14,8	8,5	7,5	10,9	13,1	15,6	20,4	25,2	27,8	27,8	24,0	17,9
2017-2018	18,2	14,1	12,1	10,6	12,0	14,8	18,0	21,8	25,1	27,5	27,2	23,4	18,7
2018-2019	18,4	14,9	9,9	9,1	9,6	13,2	14,7	19,4	25,9	27,0	27,9	23,6	17,8
Μέση Μηνιαία	17,6	13,5	9,7	8,5	9,0	11,3	14,5	19,4	24,8	27,3	26,7	22,8	17,0

Υπάρχει και άλλη μέθοδος για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και αυτή γίνεται μέσω της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής. Η μέθοδος Thornthwaite χρησιμοποιείται επειδή χρειάζεται ως δεδομένα εισόδου, μόνο αυτά της θερμοκρασίας<sup>194</sup>. Βασίζεται στην κατωτέρω εξίσωση:

$$ET_T = 16 (10 T_a / I)^{\alpha} \mu N / 360$$

όπου ET: η μηνιαία δυναμική εξατμισοδιαπνοή σε mm,

$T_a$ : η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C ,

$\mu$ : ημέρες του αντίστοιχου μήνα,

N: η μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας,

I: εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται ετήσιος θερμικός δείκτης,

$\alpha$ : εμπειρικός συντελεστής του I.

Η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας N, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad \text{όπου } \omega_s: \text{γωνία δύσης του ήλιου σε rad και } \omega_s = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta)$$

$\varphi$ : το γεωγραφικό πλάτος σε rad. Το γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου 37° 45' N, δηλαδή 37,75 rad.

$\delta$ : ηλιακή απόκλιση σε rad με  $\delta = -0,409 \cos(2\pi J_n / 365 + 0,16)$  όπου  $J_n$ : αριθμός ημέρας

I: εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται ετήσιος θερμικός δείκτης,

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_j \quad \text{όπου } i_j = 0,09 T_{aj}^{3/2} \text{ και}$$

$\alpha$ : εμπειρικός συντελεστής συναρτήσεως του I με  $\alpha = 0,016I + 0,5$

---

<sup>194</sup> Ο.π., Παράρτημα 2 σ. 59



**Πίνακας 5.4.3:** Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornthwaite, ET<sub>T</sub>

	J <sub>n</sub>	δ	ω <sub>ε</sub>	T <sub>a</sub>	i	μ	N	E <sub>n</sub> , mm
ΟΚΤ.	280	-0,11	1,49	16,05	5,79	31,00	11,37	57,34
ΝΟΕ.	310	-0,29	1,34	12,49	3,97	30,00	10,24	32,68
ΔΕΚ.	353	-0,41	1,23	8,53	2,24	31,00	9,39	16,26
ΙΑΝ.	10	-0,39	1,25	7,50	1,85	31,00	9,55	13,29
ΦΕΒ.	42	-0,26	1,36	8,10	2,07	28,00	10,42	14,92
ΜΑΡ.	78	-0,03	1,55	10,58	3,10	31,00	11,84	29,49
ΑΠΡ.	118	0,24	1,76	13,59	4,51	30,00	13,45	49,52
ΜΑΙΟΣ	141	0,35	1,86	18,43	7,12	31,00	14,18	90,38
ΙΟΥΝ.	165	0,40	1,91	24,16	10,69	30,00	14,59	142,35
ΙΟΥΛ.	200	0,37	1,87	26,56	12,32	31,00	14,31	169,41
ΑΥΓ.	232	0,22	1,74	25,72	11,74	31,00	13,32	149,31
ΣΕΠ.	260	0,03	1,60	21,84	9,19	30,00	12,20	100,30
				Σ(i) = I	74,59		Σύνολο	865,24
				a	1,69			

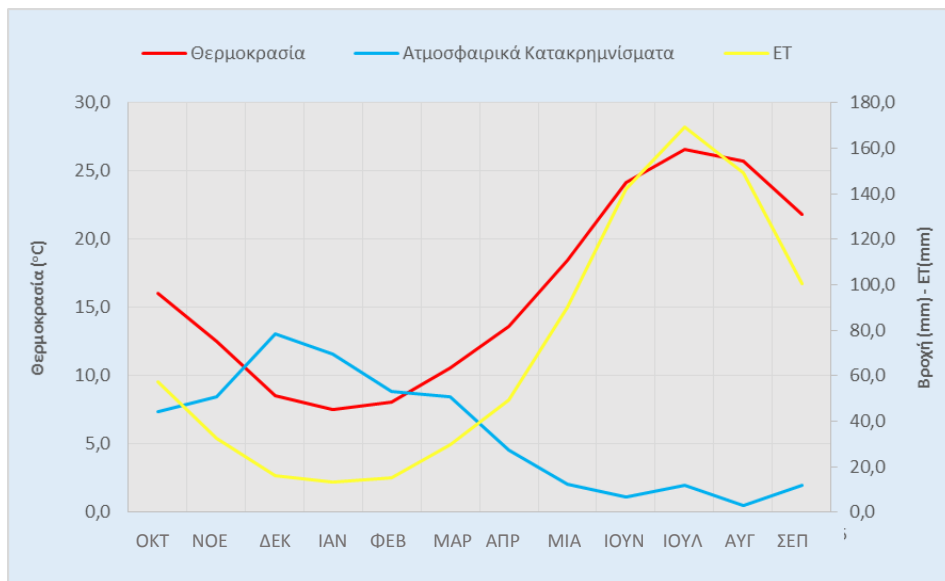
Στον κατωτέρω πίνακα, φαίνεται ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, αλλά και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Turc.

**Πίνακας 5.4.4:** Υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Turc.

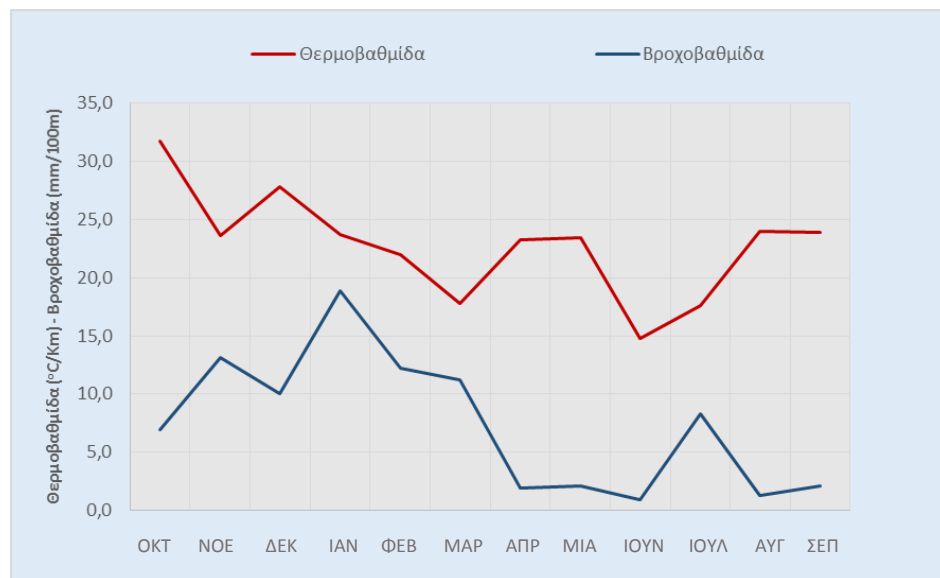
Σταθμός	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΕΤ
Ελληνικό	19,6	15,1	11,6	10,1	10,5	12,5	16,2	21,0	25,8	28,5	28,4	24,5	
Μαρκόπουλο	17,6	13,5	9,7	8,5	9,0	11,3	14,5	19,4	24,8	27,3	26,7	22,8	
Ανάβυσσος	16,1	12,5	8,5	7,5	8,1	10,6	13,6	18,4	24,2	26,6	25,7	21,8	
Θερμοβαθμίδα °C /Km	31,8	23,6	27,8	23,7	22,0	17,8	23,3	23,5	14,8	17,6	24,0	23,9	
ET <sub>Thornthwaite</sub>	57,34	32,68	16,26	13,29	14,92	29,49	49,52	90,38	142,35	169,41	149,31	100,30	865,2
ET <sub>Turc</sub>	369,6												

Με εφαρμογή του τύπου του Turc και με διορθωμένη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στους 11,7 °C, καθώς και μέση επιφανειακή βροχόπτωση στα 419,6 mm, προκύπτει ότι η **πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 369,6 mm, η οποία αντιστοιχεί στο 88,1% της βροχόπτωσης**. Αντίστοιχα από την επεξεργασία δεδομένων που έγινε αρχικά από τη Μποσινάκου Παναγιώτα στη διπλωματική της το 2001, για τα έτη 1970-2000, στην λεκάνη της Αναβύσσου, προέκυψε ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 371,69 mm. Παρατηρείται μία διαφορά μόνο της τάξης των 2,09 mm. Στον παραπάνω πίνακα δίνεται και η μηνιαία κατανομή της θερμοβαθμίδας σε °C/Km, απ' όπου προκύπτει ότι η θερμοβαθμίδα κυμαίνεται από 14,8 έως 31,8 °C/Km, με μέση τιμή 22,8 °C/Km.

Στο κατωτέρω σχήμα απεικονίζονται δύο διαγράμματα. Το πρώτο δείχνει τη μηνιαία κατανομή της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, και το δεύτερο δείχνει τη μηνιαία κατανομή της θερμοβαθμίδας και της βροχοβαθμίδας.



(α)



(β)

**Σχήμα 5.4.1:** Μηνιαία κατανομή (α) της θερμοκρασίας, της βροχής, και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και (β) της θερμοβαθμίδας και της βροχοβαθμίδας.

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τη δυνητική εφαρμόστηκε το ισοζύγιο κατά Thornthwaite-Mather<sup>195</sup>.

<sup>195</sup> Ο.π., σ.85

Εάν η βροχόπτωση (P) υπερβεί τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (ET), τότε θα ισχύει το εξής:  $E_{real} = ET$ . Η διαφορά P-ET εναποθηκεύεται στο υπέδαφος μέχρις ότου κορεστεί από υγρασία.

Η ικανότητα κατακράτησης του νερού στο υπέδαφος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση και τη βλάστηση που επικρατεί. Δόθηκε για την περιοχή μελέτης μία μέγιστη τιμή κατακράτησης που ισούται με:  $St_0 = 108,9 \text{ mm}^{196}$ . Η ικανότητα κατακράτησης του νερού είναι μία μεταβλητή, που υπολογίζεται στην αρχή της διαδικασίας και προκύπτει εμπειρικά αφού εξαρτάται από το είδος του εδάφους και τη φυτοκάλυψη<sup>197</sup>. Η παράμετρος αυτή προκύπτει από πίνακες και ο προσδιορισμός της φαίνεται αναλυτικά στον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής. Η τιμή  $St_0$  μεταβάλλεται από μήνα σε μήνα σύμφωνα με τη σχέση:

$$St = St_0 e^{-APWL/St_0}$$

όπου St είναι η ικανότητα κατακράτησης που έχει το έδαφος για κάθε μήνα και APWL η απώλεια ύδατος, που υφίσταται το έδαφος από την μείωση της υγρασίας του<sup>198</sup>. Η APWL είναι μηδέν όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, ενώ όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη από τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή, για τον υπολογισμό της APWL, προστίθεται στο έλλειμμα (P-ET) του μήνα η τιμή του APWL του προηγούμενου μήνα<sup>199</sup>.

Αν τα μηνιαία ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα έχουν χαμηλότερη τιμή από την ET τότε η  $E_{real}$  είναι ισούται με το άθροισμα των βροχοπτώσεων και του  $|ΔSt|$ , με το  $ΔSt$  να συνιστά τη μεταβολή της εδαφικής υγρασίας από μήνα σε μήνα<sup>200</sup>.

Οι υπολογισμοί ξεκινούν τον Ιανουάριο, διότι τον μήνα αυτό, το έδαφος έχει ικανοποιήσει τις ανάγκες του σε νερό<sup>201</sup>. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

<sup>196</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.84

<sup>197</sup> Πάντου Χριστίνα, Μάρτιος 2013, Διπλωματική εργασία, «ΤΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΡΗΣ-ΒΑΡΚΙΖΑΣ», Αθήνα, σ. 79

<sup>198</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.85-86

<sup>199</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.85-86

<sup>200</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.85-86

<sup>201</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.85-86

**Πίνακας 5.4.5:** Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη της Αναβύσσου

	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
P (mm)	69,4	53,0	50,9	27,5	12,4	6,8	11,7	3,0	11,8	44,2	50,6	78,5
ΕΤ (mm)	13,3	14,9	29,5	49,5	90,4	142,4	169,4	149,3	100,3	57,3	32,7	16,3
Πλεόνασμα	56,1	38,1	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9	62,2
Έλλειμμα	0,0	0,0	0,0	22,0	78,0	135,6	157,7	146,3	88,5	13,1	0,0	0,0
APWL	0,0	0,0	0,0	22,0	100,0	235,6	393,3	539,6	628,2	641,3	0,0	0,0
St	108,9	108,9	108,9	89,0	43,5	12,5	2,9	0,8	0,3	0,3	108,9	108,9
ΔSt	0,0	0,0	0,0	-19,9	-45,5	-31,0	-9,6	-2,2	-0,4	0,0	108,6	0,0
Ereal (mm)	13,3	14,9	29,5	47,4	57,9	37,7	21,3	5,1	12,2	44,3	32,7	16,3

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 332,6 mm και αντιστοιχεί στο 79,27% της βροχόπτωσης, που σε ποσότητα νερού είναι  $17,82 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Αντίστοιχα από την επεξεργασία δεδομένων που έγινε αρχικά από τη Μποσινάκου Παναγιώτα στη διπλωματική της το 2001, για τα έτη 1970-2000, στην λεκάνη της Αναβύσσου, προέκυψε ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 308,1 mm, που σε ποσότητα νερού είναι  $16,51 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Υπάρχει μία διαφορά της τάξης των  $1.310.000 \text{ m}^3$  νερού.

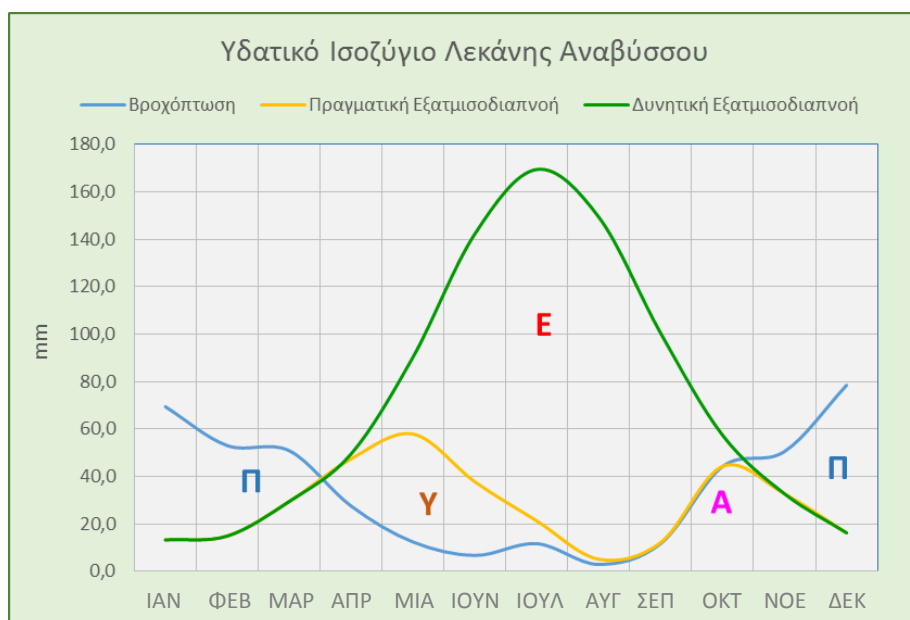
Στον ανωτέρω πίνακα φαίνεται πως υπάρχει έλλειμμα νερού από τον Απρίλιο μέχρι και τον Οκτώβριο, με την αναπλήρωση της υγρασίας να ξεκινάει τον Νοέμβριο, όπου και παρατηρείται πλεόνασμα. Παρατίθεται κατωτέρω και μία γραφική απεικόνιση του υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη της Αναβύσσου.

**Ε:** Έλλειμμα νερού

**Π:** Πλεόνασμα νερού

**Υ:** Χρησιμοποίηση εδαφικής υγρασίας

**Α:** Αναπλήρωση εδαφικής υγρασίας



**Σχήμα 4.5.2:** Διάγραμμα υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη της Αναβύσσου.

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.5.2 φαίνεται ότι έχουμε πλεόνασμα νερού από τον Νοέμβριο έως και τον Μάρτιο. Στη συνέχεια παρατηρείται έλλειμμα νερού και χρησιμοποίηση της εδαφικής υγρασίας από τον Απρίλιο έως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου. Έπειτα, από το τέλος του Αυγούστου έως τον Οκτώβριο εντοπίζεται τάση μείωσης σε έλλειμμα νερού, ενώ προς το τέλος του Οκτωβρίου αρχίζει η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας. Αρχές Νοεμβρίου έχουμε αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας, οπότε και παρουσιάζεται πλεόνασμα.

### 5.5 Επιφανειακή Απορροή

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής στη λεκάνη της Αναβύσσου, χρησιμοποιήθηκε ένα απλό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου στο ανώτερο τμήμα του εδάφους. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η μέγιστη χωρητικότητα του εδάφους καθορίζεται από την ( $S_{max}$ ) ενώ η μεταβλητή  $S_n$  αποτελεί τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα  $n$ . Άρα το αποτέλεσμα της διαφοράς ( $S_{max} - S_n$ ) αντιστοιχεί στο μέσο μηνιαίο έλλειμμα υγρασίας, σε μοναδιαία επιφάνεια της λεκάνης. Το ύψος της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας εξαρτάται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καθώς και την εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή αυξάνεται με τη βροχόπτωση ( $P_n$ ) και μειώνεται από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_n$ ), αλλά και από τη βαθιά διήθηση ( $D_n$ ).

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου μόνο τα μηνιαία ύψη βροχής και δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με την εξίσωση ισοζυγίου να είναι:

$$S_n' = S_{n-1} + P_n - ET_n$$

όπου:  $S_n$  είναι η διαθέσιμη εδαφική υγρασία σε mm και  $n = 1, 2, \dots, 12$  οι δώδεκα μήνες.

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις σε σχέση με τη τιμή της μεταβλητής  $S_n'$  όπου το ύψος επιφανειακής απορροής του μήνα  $n$ ,  $Q_n$  και το αντίστοιχο ύψος βαθιάς διήθησης  $D_n$  υπολογίζονται ως εξής:

**Πίνακας 5.5.1:** Υπολογιστικό μοντέλο επιφανειακής απορροής, με διάκριση τριών περιπτώσεων διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας ( $S_n'$ )

$S_n' < 0$	$0 \leq S_n' \leq S_{max}$	$S_n' > S_{max}$
$S_n = 0$	$S_n = S_n'$	$S_n = S_{max}$
$D_n = 0$	$D_n = 0$	$D_n = K (S_n' - S_{max})$
$Q_n = 0$	$Q_n = 0$	$Q_n = K' (S_n' - S_{max})$
όπου: $K' = 1 - K$		

Το υπολογιστικό αυτό μοντέλο ξεκινάει τον Οκτώβριο του πρώτου υδρολογικού έτους της μελετώμενης χρονοσειράς. Στο μοντέλο υφίστανται δύο προσδιοριζόμενες παράμετροι (παράμετροι βαθμονόμησης) όπου είναι η μέγιστη δυνατή εδαφική υγρασία ( $S_{max}$ ) της ανώτερης εδαφικής ζώνης (ύψος νερού σε mm) και ο συντελεστής βαθιάς διήθησης  $K$ , οι οποίες εξαρτώνται από το ανάγλυφο, τη διηθητικότητα του εδάφους, τη φυτοκάλυψη κ.α. Για τη μείωση του αριθμού των παραμέτρων βαθμονόμησης, η μέγιστη δυνατή εδαφική υγρασία  $S_{max}$ , μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$S_{max} = 25,4[(1000/CN) - 10]^{202}$$

όπου CN: ο αριθμός καμπύλης (Curve Number) προσδιοριζόμενος από πίνακες σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και ισχύει:  $0 < CN < 100$ . Η τιμή του αριθμού καμπύλης υπολογίστηκε ότι είναι:  $CN = 70$ . Το CN θεωρήθηκε ότι ανήκει στην ομάδα εδάφους A, με υφιστάμενη υδρολογική κατάσταση *φτωχή* και καλλιέργειες που βρίσκονται σε σειρά. Ο συντελεστής διήθησης είναι γενικά δύσκολο να προβλεφθεί, λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας που παρουσιάζουν τα εδάφη.

Οπότε με αρχική τιμή  $S_{max} = 108,9$  mm και  $K = 0,8$  λειτούργησε το μοντέλο. Η προκύπτουσα απορροή ήταν 17,36 mm, η οποία αντιστοιχεί στο 4,14% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Ωστόσο στην περιοχή της λεκάνης της Αναβύσσου δεν υπάρχει απορροή, παρά μόνο όταν παρατηρούνται ισχυρές βροχοπτώσεις. Γίνεται δεκτό ότι μία τιμή υπερετήσιας απορροής της τάξης του 2,5% της βροχόπτωσης, είναι επαρκής και συνεπώς **ρυθμίζουμε το μοντέλο ώστε η απορροή να είναι της τάξης του 2,5% της βροχόπτωσης, δηλαδή 10,49 mm που αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού ίση με  $0,562 \times 10^6$  m<sup>3</sup>** και γίνεται εκ νέου υπολογισμός από το μοντέλο. Με τον επανυπολογισμό διαφοροποιήθηκε ο συντελεστής  $K$  σε 0,88. Η υπερετήσια απορροή που υπολογίστηκε από τη Μποσινάκου Παναγιώτα στη

<sup>202</sup> United States Department of Agriculture, Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Chapter 10, July 2004, σ. 10 - 4

διπλωματική της, το 2001 ήταν ίση με  $0,578 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Υπάρχει μία διαφορά της τάξης των  $16.000 \text{ m}^3$ .

Τα αποτελέσματα φαίνονται κατωτέρω:

**Πίνακας 5.5.2:** Υπολογισμός της επιφανειακής απορροής με τη βοήθεια του απλού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου.

Αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους						$S_{\max} =$	108,90
Μήνας	P mm/μήνα	ΕΤ mm/μήνα	$S_n$	$S_n$ mm/μήνα	$Q_n$ mm/μήνα	$D_n$ mm/μήνα	
Σεπ			0,00	0,00			
Οκτ	44,25	57,34	-13,09	0,00	0,00	0,00	
Νοε	50,57	32,68	17,89	17,89	0,00	0,00	
Δεκ	78,46	16,26	80,09	80,09	0,00	0,00	
Ιαν	69,41	13,29	136,21	108,90	3,30	24,01	
Φεβ	53,01	14,92	147,00	108,90	4,60	33,49	
Μαρ	50,87	29,49	130,28	108,90	2,58	18,80	
Απρ	27,53	49,52	86,91	86,91	0,00	0,00	
Μαί	12,38	90,38	8,91	8,91	0,00	0,00	
Ιουν	6,76	142,35	-126,69	0,00	0,00	0,00	
Ιουλ	11,69	169,41	-157,71	0,00	0,00	0,00	
Αυγ	2,96	149,31	-146,34	0,00	0,00	0,00	
Σεπ	11,76	100,30	-88,54	0,00	0,00	0,00	
<b>Σύνολο</b>					<b>10,49</b>		

## 5.6 Κατείδυση

Η κατείδυση είναι η πλέον σημαντική διεργασία για να χαρακτηριστεί η υδροοικονομία ενός τόπου, διότι βοηθάει στην ανανέωση των υπόγειων αποθεμάτων νερού. Χαρακτηρίζει το ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, που διηθούνται στην επιφάνεια του εδάφους και καταλήγουν στους υπόγειους υδροφορείς, καθώς προστίθενται στα υπάρχοντα υπόγεια αποθέματα και συμβάλλουν στη κίνηση του υπόγειου ύδατος. Η δυνατότητα κατείδυσης σχετίζεται με τη κλίση του εδάφους, την υγρασία του, τη λιθολογική του σύσταση, καθώς επίσης με τη βλάστηση, την ένταση και κατανομή του όγκου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Μέτρο της κατείδυσης είναι ο συντελεστής (I), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του ύδατος που διηθείται σε σχέση με το σύνολο της βροχόπτωσης. Η προκύπτουσα τιμή υπολογίζεται ή με άμεσες μετρήσεις (λυσίμετρα), ή έμμεσα, από το υδατικό ισοζύγιο. Στην λεκάνη της Αναβύσσου προκύπτει, μέσω έμμεσων υπολογισμών, ποσοστό κατείδυσης που αντιστοιχεί στο 18,23% της βροχόπτωσης και είναι  $4,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

## 5.7 Εκτίμηση Υδατικού Ισοζυγίου

Το ύψος βροχής που δέχεται η περιοχή μελέτης είναι 419,6 mm, που αντιστοιχεί σε ποσότητα ύδατος  $22,49 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι 332,6 mm, που αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού  $17 \times 10^6 \text{ m}^3$  και αποτελεί το 79,27% της βροχόπτωσης. Η επιφανειακή απορροή είναι 10,49 mm, που αντιστοιχεί σε ποσότητα ύδατος  $0,562 \times 10^6 \text{ m}^3$  και αποτελεί το 2,5% της βροχόπτωσης, με το υπόλοιπο 18,23%, τα 76,38 mm, να είναι η κατείσδυση του νερού και αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού  $4,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

## 5.8 Συμπεράσματα

Για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου έγινε χρήση, ως αρχικών δεδομένων, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία στη περιοχή μελέτης, δηλαδή της λεκάνης της Αναβύσσου. Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

- Για να συμπληρωθεί και να επεκταθεί η χρονοσειρά της βροχόπτωσης στους σταθμούς Λαυρίου και Κερατέας, έγινε χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιώντας ως σταθμούς βάσης το Ελληνικό και το Μαρκόπουλο, ενώ εκεί όπου ο συντελεστής συσχέτισης δεν ήταν ικανοποιητικός έγινε χρήση της μεθόδου των κανονικών λόγων. Στη συνέχεια για την εύρεση του ύψους βροχής στη λεκάνη της Αναβύσσου χρησιμοποιήθηκε η υψομετρική μέθοδος.
- Το ετήσιο ύψος βροχής στη περιοχή μελέτης ανέρχεται στα 419,6 mm και η ετήσια θερμοκρασία στα 16,1 °C.
- Η μέση τιμή της μηνιαίας της θερμοβαθμίδας είναι 22,8 °C/km ενώ η μέση τιμή της μηνιαίας βροχοβαθμίδας είναι 7,42 mm/100m.
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή που προέκυψε σύμφωνα με τον τύπο του Turc (με διορθωμένη θερμοκρασία,  $T_{\Delta}=11,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ανέρχεται στα 369,6 mm και αντιστοιχεί στο 88,1% της βροχόπτωσης.
- Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite ανέρχεται στα 865,2 mm ενώ με βάση αυτήν υπολογίστηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, που ανέρχεται στα 332,26 mm και αντιστοιχεί στο 79,27% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- Η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε στο 2,5% της βροχής, δηλαδή στα 10,49 mm.
- Τέλος, η κατείσδυση η οποία αντιστοιχεί στο εναπομείναν 18,26% της βροχής, δηλαδή στα 76,38 mm ανέρχεται σε ποσότητα νερού είναι  $4,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



## 6. Υδροχημεία

Τα τελευταία χρόνια η ζήτηση του νερού βαίνει αυξανόμενη. Η ποιότητα του εξαρτάται από τη χημική του σύσταση, η οποία ακολουθώντας εξαρτάται από τη χημική και λιθολογική σύσταση του εδάφους διαμέσου των οποίων διέρχεται ώστε να καταλήξει στον υδροφόρο<sup>203</sup>. Κατά την διαδικασία αυτή το νερό εμπλουτίζεται σε άλατα<sup>204</sup>.

Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων αυξάνεται με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας<sup>205</sup>. Όσο βαθύτερα κινείται το υπόγειο νερό τόσο πιο αργά κυκλοφορεί και τόσο δυσκολότερα αναμιγνύεται με άλλο νερό, όπως με το νερό που κατεισδύει, για αυτό και η περιεκτικότητά του σε άλατα αυξάνει. Σε περιοχές με μικρή εξατμισοδιαπνοή το υπόγειο νερό ενδέχεται να αλλάξει από  $\text{HCO}_3^-$  σε μικρά βάθη, σε  $\text{Cl}^-$  σε μεγαλύτερα βάθη<sup>206</sup>.

Έχουν δημιουργηθεί σταθερές αναλόγως της ποιότητας των υπόγειων νερών. Με βάση τις σταθερές αυτές, κρίνεται η καταλληλότητα του νερού για διάφορες χρήσεις ή αντίθετα η ακαταλληλότητά του για άλλες<sup>207</sup>. Η χημική σύσταση καθορίζεται από σειρά εργαστηριακών αναλύσεων. Τα δείγματα παίρνονται από γεωτρήσεις, πηγάδια, φυσικές πηγές, καθώς επίσης και από επιφανειακά τρεχούμενα νερά<sup>208</sup>. Με την υδρογεωχημική έρευνα κατανοούνται τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

### 6.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Χημική Σύσταση των Υπόγειων Νερών

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως (Χαρμανίδης, 1998, 2002, Δημητρακόπουλος, 2002):

✚ Τη χημική σύσταση του εδάφους και από τον αέρα, που έχει εγκλωβιστεί στους εδαφικούς πόρους<sup>209</sup>.

<sup>203</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>204</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>205</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>206</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>207</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>208</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.110

<sup>209</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 120

- ✚ Τη χημική και ορυκτολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών που φιλοξενούν τα υδροφόρα στρώματα. Διότι το νερό ανταλλάσσει ιόντα στοιχείων μέσω της αποσάθρωσης των πετρωμάτων διαμέσου των οποίων διέρχεται<sup>210</sup>.
- ✚ Τη διάρκεια αλληλεπίδρασης νερού και πετρώματος, διότι η μεγαλύτερη διάρκεια επιφέρει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση μεταξύ τους<sup>211</sup>.
- ✚ Τη ρύπανση, είτε φυσικής, είτε ανθρωπογενούς προέλευσης, η οποία μεταφέρεται από την επιφάνεια στον υδροφόρο ορίζοντα<sup>212</sup>.
- ✚ Τη συνδυαστική επίδραση, στο νερό, της αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης λόγω του ότι αυξάνουν τη διαλυτότητα των ορυκτών, που απαντώνται στο πέτρωμα, μέσα στο οποίο το νερό αποθηκεύεται<sup>213</sup>.
- ✚ Την προέλευσή του<sup>214</sup>.
- ✚ Το είδος του εμπλουτισμού και ανανέωσης<sup>215</sup>.
- ✚ Την διείδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο<sup>216</sup>.

Επομένως, η χημική ισορροπία του νερού επηρεάζεται από τις υφιστάμενες φυσικοχημικές συνθήκες του περιβάλλοντος, μέσα από το οποίο διέρχεται και διαφοροποιεί τη χημική του σύσταση ανάλογα με αυτές τις επικρατούσες συνθήκες (Χαρμανίδης, 2002)<sup>217</sup>. Επίσης, όσο μεγαλύτερη διαδρομή ακολουθεί το νερό εντός του υπεδάφους, τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων σε αυτό (Ταβιτιάν, 1998)<sup>218</sup>.

Με βάση τον Στουρνάρα (1998), το υπόγειο νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως προς τη γεύση, την οσμή αλλά και τη θερμοκρασία, ανάλογα με την ποσότητα των διαλυμένων ουσιών που περιέχει. Η ποιότητα του νερού είναι απόρροια του φυσικού περιβάλλοντος και της πορείας του, κατά την διάρκεια της οποίας υφίσταται φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Επίσης αντιδρά με τις οργανικές ενώσεις του εδάφους. Όταν η συγκέντρωση των

<sup>210</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 120

<sup>211</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 120

<sup>212</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 120

<sup>213</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 120

<sup>214</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>215</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>216</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>217</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>218</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

ιόντων υπερβεί τα θεσπισμένα επιτρεπτά όρια, λόγω ανθρωπογενών ή φυσικών αιτιών, έχουμε ποιοτική υποβάθμιση του νερού.<sup>219</sup>.

Η μελέτη αυτών των παραμέτρων καθιστά εμφανή τη φυσικοχημική διαδικασία, την οποία υφίσταται κατά τη πορεία του υπογείου και αποκαλύπτει τον κυρίαρχο μηχανισμό ελέγχου της χημείας του νερού<sup>220</sup>.

## 6.2 Ποιοτικοί Παράμετροι του Υπόγειου Νερού

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού, σύμφωνα με τον Σούλιος Γ. (2006) είναι<sup>221</sup>:

- *Τα φυσικά χαρακτηριστικά*

1) *Η θολότητα*: Λόγω της χημικής και φυσικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων τα μεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια στο νερό, δεν είναι ορατά με γυμνό οφθαλμό<sup>222</sup>. Η παρουσία τους μειώνει τη διαύγεια του νερού, λόγω της διάχυσης του φωτός<sup>223</sup>. Επίσης τα σωματίδια αυτά λειτουργούν και ως μέσο προσρόφησης βλαβερών συστατικών όπως είναι τα βαρέα μέταλλα και η παρουσία μικροοργανισμών<sup>224</sup>. Η απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι εφικτή με την διαδικασία της καθίζησης, της διήθησης μέσω άμμου ή με κροκίδωση<sup>225</sup>.

2) *Το σύνολο διαλυμένων αλάτων και αιωρούμενων στερεών T.D.S.*

3) *Η οσμή*: Η οσμή και η γεύση του νερού, είναι συνήθως απόρροια της ανθρώπινης επέμβασης, κατά την επεξεργασία του, όπως επίσης και της μεταφοράς του στα σημεία διανομής. Μπορεί ωστόσο, να είναι και αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών<sup>226</sup>. Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) είναι ένας δείκτης για τη ποιότητα του ύδατος<sup>227</sup>, όπου εάν οι τιμές του είναι μικρές <1000 mg/l, η γεύση του νερού είναι αποδεκτή, ενώ αν οι τιμές είναι μεγάλες υποδεικνύουν υφαλμύρωση, η οποία του προσδίδει «γλυφή» γεύση<sup>228</sup>.

<sup>219</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>220</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 121

<sup>221</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 122

<sup>222</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 51

<sup>223</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 51

<sup>224</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 51

<sup>225</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 51

<sup>226</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 53

<sup>227</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 53

<sup>228</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 53

4) *Η θερμοκρασία*: Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού οφείλεται στην θερμική ισορροπία μεταξύ ύδατος και εδάφους<sup>229</sup>. Το νερό όταν κατεισδύει, έχει θερμοκρασία, η οποία αποκτάται από το έδαφος, το θερμαινόμενο από τον ήλιο και τη γεωθερμική βαθμίδα<sup>230</sup>. Επιπλέον υπάρχει εξάρτηση από τη μεταβολή της πιεζομετρικής επιφάνειας, λόγω του ότι το νερό έρχεται σε επαφή είτε με θερμά και είτε με ψυχρά πετρώματα<sup>231</sup>.

5) *Το χρώμα*

- *Τα γημικά χαρακτηριστικά*

1) **Κύρια συστατικά**, έχουν εύρος συγκέντρωσης από 1,0-1000 mg/L, και είναι:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{Cl}^-$ <sup>232</sup>.

2) **Δευτερεύοντα συστατικά** έχουν εύρος συγκέντρωσης από 0,01-10 mg/L και είναι: Al,  $\text{NH}_4$ , As, Br, Cu, Fe, Mn, Sr,  $\text{HSO}_4$ , F, OH,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  και S<sup>233</sup>.

3) **Ολιγοσυστατικά** έχουν εύρος συγκέντρωσης από 0,0001 - 0,1 mg/L και είναι: Sb, Ba, Cr, Co, Pb, Li, Ni, Se, Ti και Si<sup>234</sup>.

4) **Ιχνοστοιχεία** έχουν συγκέντρωση < 0,0001 mg/L και είναι: Bi, Cs, Au, Pt, Ag, Sn και Hg<sup>235</sup>.

- *Διάφοροι δείκτες*

1) *pH*: το pH ενός διαλύματος ορίζεται, ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου του διαλύματος,  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ <sup>236</sup>. Σε αρχικό στάδιο η σύσταση ενός διαλύματος είναι αλκαλική με  $\text{pH} > 7$ , ώστε να μετατραπεί σε εύθετο χρόνο, σε όξινη, με  $\text{pH} < 7$ . Η παρατηρούμενη αυτή μεταβολή, είναι η συνέπεια της συγκέντρωσης του οργανικού υλικού που με την αποσύνθεσή του οδηγεί σε έλκυση  $\text{CO}_2$ <sup>237</sup>. Το pH που έχει το υπεδαφικό νερό μπορεί να εντείνει την αποσάθρωση<sup>238</sup>. Το όξινο περιβάλλον στους υπόγειους υδροφορείς,

<sup>229</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>230</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>231</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>232</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 122

<sup>233</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 122

<sup>234</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 122

<sup>235</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 122

<sup>236</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

<sup>237</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

<sup>238</sup> Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 41

οδηγεί στην αφαίρεση Fe και Al από το μητρικό πέτρωμα, και την αύξηση της συγκέντρωσης του SiO<sub>2</sub>. Όξινο pH προκύπτει από την οξειδωση της αμμωνίας, πηγή της οποίας είναι το λίπασμα με κοπριά, καθώς και από την οξειδωση των πυριτικών ορυκτών.

2) *Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.-Total Dissolved Solids)*: Αποτελούν δείκτη της αλατότητας του νερού, όσο περισσότερα διαλυμένα άλατα υπάρχουν στο νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα<sup>239</sup>. Κυμαίνονται μεταξύ 100 και 100.000 mg/l, ενώ σε αυτά δεν περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα σωματίδια, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια.

3) *Ειδική Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. (Electric conductivity)*: Αγωγιμότητα είναι η ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από ένα υλικό<sup>240</sup>. Ως ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) ορίζεται η αγωγιμότητα 1 cm<sup>3</sup> νερού στη θερμοκρασία των 25°C<sup>241</sup>. Μονάδα μέτρησης είναι το siemens, ωστόσο επειδή οι τιμές είναι πολύ μικρές, χρησιμοποιείται το μικροsiemens ανά cm (μS/cm)<sup>242</sup>. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι άρρηκτα συνυφασμένη με τη θερμοκρασία του ύδατος καθώς και με τη συγκέντρωση αλάτων εντός του<sup>243</sup>. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C, προκαλεί αύξηση της αγωγιμότητας κατά 2% περίπου και υπάρχει σχέση μεταξύ της αγωγιμότητας και του συνόλου των διαλυμένων στερεών (T.D.S) (Λαμπράκης, 1989).

$$T.D.S = K_e \times EC$$

όπου το μεν T.D.S εκφράζεται σε mg/cm το δε EC σε μS/cm στους 25°C . Η μεταβλητή K<sub>e</sub> κυμαίνεται μεταξύ 0,55 και 0,80 για τα υπόγεια νερά.

4) *Αλκαλικότητα*: Ορίζεται ως η δυνατότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Προκύπτει δε από το άθροισμα των ανθρακικών, όξινων ανθρακικών ιόντων και υδροξυλίων<sup>244</sup>. Αυξημένη αλκαλικότητα είναι δυνατό να οφείλεται σε ρύπανση που συνδέεται με τα οικιακά ή βιομηχανικά απόβλητα (Λαμπράκης, 1989)<sup>245</sup>.

<sup>239</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>240</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>241</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>242</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>243</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.111

<sup>244</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

<sup>245</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

5) *Οξύτητα*: Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων  $H_3O^+$  που περιέχονται στο υγρό μέσο και η οποία εκφράζεται με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων  $H_3O^+$ , δηλαδή του pH, και που επιτυγχάνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά<sup>246</sup>.

6) *Δείκτης κορεσμού*: Όταν το νερό διέρχεται από ανθρακικά πετρώματα, τα διαλύει έως ότου επέλθει κορεσμός στα ορυκτά που το συνιστούν, δηλαδή σε ασβεστίτη και δολομίτη<sup>247</sup>. Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε το βαθμό κορεσμού του νερού, διότι η γνώση αυτή αποτελεί ένα δείκτη της ικανότητας διάβρωσης ή απόθεσης αλάτων, κυρίως ανθρακικού ασβεστίου<sup>248</sup>. Όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας με ένα ορυκτό, ο δείκτης κορεσμού ισούται με μηδέν, εάν ο δείκτης είναι αρνητικός το ορυκτό είναι ακόρεστο, ενώ εάν αυτός είναι θετικός, είναι υπέρκορο<sup>249</sup>.

7) *Σκληρότητα νερού*: Η σκληρότητα του νερού συνδέεται με τη συγκέντρωση των δισθενών κατιόντων  $Ca^{++}$  και  $Mg^{++}$ <sup>250</sup>. Υπάρχει η παροδική και η μόνιμη σκληρότητα, με το άθροισμά τους να αποτελεί την ολική σκληρότητα<sup>251</sup>. Η παροδική σκληρότητα είναι το αποτέλεσμα των όξινων ανθρακικών αλάτων Ca και Mg, τα οποία με βρασμό μετατρέπονται σε ουδέτερα και καθιζάνουν<sup>252</sup>. Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται σε χλωριούχα και θειικά άλατα Ca και Mg.

- *Τα βιολογικά χαρακτηριστικά*

1) Βιοχημικά ζητούμενο Οξυγόνο (B.O.D.)

2) Χημικά ζητούμενο Οξυγόνο (C.O.D.)

3) Ολικά ζητούμενο Οξυγόνο (T.O.D.)

### 6.3 Χημικές Αναλύσεις

Τα όργανα και ο εξοπλισμός που απαιτήθηκαν για την εργασία υπαίθρου καθώς και για τις εργαστηριακές δοκιμές, για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης του νερού,

---

<sup>246</sup> Βουδούρης Κώστας, Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ, «Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων», Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, σ.21

<sup>247</sup> Ζαγγανά Ελένη, Ενότητα 9: Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών- υδροχημικών παραμέτρων (Μέρος 2ο), Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΠΠ, σ. 17

<sup>248</sup> Ζαγγανά Ελένη, Ενότητα 9: Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών- υδροχημικών παραμέτρων (Μέρος 2ο), Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΠΠ, σ. 17

<sup>249</sup> Ζαγγανά Ελένη, Ενότητα 9: Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών- υδροχημικών παραμέτρων (Μέρος 2ο), Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΠΠ, σ. 17

<sup>250</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

<sup>251</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

<sup>252</sup> Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ.112

διατέθηκαν από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ.

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε έπειτα από άντληση και το δείγμα νερού τοποθετήθηκε σε αποστειρωμένες φιάλες πολυαιθυλενίου, οι οποίες κλείστηκαν αεροστεγώς, στη συνέχεια φυλάχθηκαν στο ψυγείο σε θερμοκρασία που δεν υπερέβη τους 4°C, έως ότου πραγματοποιήθηκε η χημική ανάλυση.

Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για των υπολογισμό των παραμέτρων που ενδιέφεραν αναλύονται λεπτομερώς παρακάτω.

Τα κατιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) μετρήθηκαν με το φλογοφωτόμετρο, τύπου Digital Flame Analyzer, με εξαρέωση δείγματος και μέτρηση εκλυόμενης ενέργειας και με αντιδραστήριο το Standard Νατρίου και απιονισμένο νερό μαζί με ποσότητα δείγματος 5 ml.

Τα κατιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) μετρήθηκαν με το φλογοφωτόμετρο, τύπου Digital Flame Analyzer, με εξαρέωση δείγματος και μέτρηση εκλυόμενης ενέργειας και με αντιδραστήριο το Standard Καλίου και απιονισμένο νερό, μαζί με ποσότητα δείγματος 5 ml.

Τα θειικά ( $\text{SO}_4^-$ ) και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) προσδιορίστηκαν με φορητή ψηφιακή συσκευή φασματοφωτόμετρου (portable Datalogging Spectrophotometer) τύπου DR 3000, η οποία είναι μία χρωματογραφική μέθοδος ανάλυσης, καθώς και με τη χρήση ανάλογων κάθε φορά αντιδραστηρίων. Συγκεκριμένα, για τα μεν θειικά χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Sulfaver 4 Sulfate Reagent Powder Pillows Cat 12065-49 με ποσότητα δείγματος 25 ml και για τα δε νιτρώδη χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Nitriver 3 Nitrite Reagent Powder Pillow Cat 21071-69 με ποσότητα δείγματος 10 ml.

Αναλυτικά η διαδικασία για τα θειικά ιόντα είναι η εξής: Τοποθετούμε 25 ml δείγματος στην κυβέτα και μηδενίζουμε την ένδειξη του οργάνου. Στη συνέχεια προσθέτουμε στο δείγμα το περιεχόμενο από ένα φακελάκι του αντιδραστηρίου και αναδεύουμε καλά για ένα λεπτό. Με την ανάδευση το δείγμα παίρνει λευκό γαλακτώδες χρώμα ανάλογα με την μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητά του σε  $\text{SO}_4^-$ . Στη συνέχεια τοποθετούμε το δείγμα στην ειδική θέση του φασματοφωτόμετρου για πέντε λεπτά και εν τέλει διαβάζουμε την ένδειξη του οργάνου. Να σημειωθεί ότι σε 3 δείγματα πραγματοποιήθηκε αραίωση προκειμένου να μπορέσει να τα 'διαβάσει' το φασματοφωτόμετρο. Συγκεκριμένα στο δείγμα ΠΦ\_ΜΑ τοποθετήθηκαν στη κυβέτα 12,5 ml δείγματος και 12,5 ml απιονισμένο νερό, και στο δείγμα ΠΦ\_Π 5ml δείγματος

και 20 ml απιονισμένο νερό και τέλος στο δείγμα ΚΘ\_ΙΔ τοποθετήθηκαν 12,5 ml δείγματος και 12,5 ml απιονισμένο νερό.

Αναλυτικά η διαδικασία για τα νιτρικά είναι η εξής: Τοποθετούμε 25 ml δείγματος στην κυβέτα και μηδενίζουμε την ένδειξη του οργάνου. Στη συνέχεια προσθέτουμε στο δείγμα το περιεχόμενο από ένα φακελάκι του αντιδραστηρίου και αναδεύουμε καλά για ένα λεπτό. Με την ανάδευση το δείγμα παίρνει χρώμα από καφέ ανοιχτό έως σκούρο, ανάλογα με το αν έχει μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητα σε  $\text{NO}_3^-$ . Έπειτα το δείγμα τοποθετείται στην ειδική θέση του φασματοφωτόμετρου, για πέντε λεπτά και διαβάζεται η ένδειξη του οργάνου.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται με αγωγιμόμετρο, το δε pH με πεχάμετρο.

Έγινε προσδιορισμός των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ), μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ), όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) και χλωριόντων ( $\text{Cl}^-$ ) τα οποία προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο τιτλοδότησης και με τη χρήση της συσκευής DREL/5 της HACH. Αναλυτικότερα :

- Για τα ιόντα ασβεστίου.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι : Pottasium Hydroxide Solution (KOH) 8N, Δείκτης Calver<sup>R</sup> 2 Calsium Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800 M.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται 2 ml Pottasium Hydroxide Solution, (KOH) 8N, για τη ρύθμιση του  $\text{pH}=13$ . Κατόπιν προστίθεται ένα φακελάκι του δείκτη Calver<sup>R</sup> 2 Calsium Indicator Powder Pillows και το διάλυμα αποκτά χρώμα κόκκινο-βιολετί. Ακολούθως χορηγείται EDTA Titration Cartridge 0,800 M με ένεση ενώ ταυτόχρονα αναδεύεται. Όταν το χρώμα του διαλύματος μετατραπεί σε μπλε, έχει απομακρυνθεί όλο το  $\text{Ca}^{++}$  και αυτό είναι το τελικό σημείο της τιτλοδότησης.

- Για τα ιόντα μαγνησίου.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται είναι: Buffer Solution, Δείκτης Manver<sup>R</sup> 2 Hardness Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800 M.

Η διαδικασία που ακολουθείτε είναι η εξής: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται 2 ml Buffer Solution για τη ρύθμιση του  $\text{pH}=10-10,1$ . Έπειτα προστίθεται ένα φακελάκι του δείκτη Manver<sup>R</sup> 2 Hardness Indicator Powder Pillows και το διάλυμα γίνεται ροζ. Ακολουθεί η χορήγηση του EDTA Titration Cartridge 0,800 M με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Το χρώμα του διαλύματος κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης μετατρέπεται σε μωβ και με τη



πρόσθεση 1-2 σταγόνων επιπλέον EDTA, το διάλυμα γίνεται μπλε που είναι το τελικό σημείο της τιτλοδότησης.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης  $Mg^{++}$  ακολουθείται η εξής σχέση:

$$[Mg^{++}] = (\text{τιμή τιτλοδότησης για } Mg^{++} - \text{τιμή τιτλοδότησης για } Ca^{++}) \times 0,243$$

- Για τα ιόντα όξινων ανθρακικών.

Δείκτης Bromcresol Green-Methyl Red Indicator, Ένεση Sulfaric Acid Titration Cartridge 1,6N

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται ένα φακελάκι του δείκτη Bromcresol Green - Methyl Red Indicator και το διάλυμα γίνεται μπλε. Ακολουθεί η χορήγηση του Sulfaric Acid Titration Cartridge 1,6N με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Το διάλυμα κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης αλλάζει χρωματισμούς από μπλε σε πράσινο-μπλε-γκρι, ροζ-γκρι και τελικά γίνεται ροζ που δηλώνει το πέρας της τιτλοδότησης.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης  $HCO_3^-$  ακολουθείται ο εξής τύπος:

$$[HCO_3^-] = (\text{τιμή τιτλοδότησης των } HCO_3^-) \times 1,22$$

- Για τα ιόντα γλωριόντων.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται είναι: Δείκτης Diphenylcarbazone Reagent Powder Pillows, Ένεση Mercuric Nitrate Titration Cartridge 2,256N.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται ένα φακελάκι του δείκτη Diphenylcarbazone Reagent Powder Pillows. Ακολουθεί η χορήγηση του Mercuric Nitrate Titration Cartridge 2,256N με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Μόλις το χρώμα του διαλύματος χρωματιστεί ανοιχτό ροζ, έχουν εξουδετερωθεί όλα τα ιόντα Cl και αυτό δηλώνει το πέρας της τιτλοδότησης.

Χρησιμοποιήθηκε ο κατωτέρω τύπος ώστε να υπολογιστούν τα ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.-Total Dissolved Solids), τα οποία συνδέονται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

$$EC: T.D.S \text{ (ppm)} \sim 0.65 * EC \text{ (}\mu\text{S/cm)}$$

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων που υπολογίστηκαν από τις χημικές αναλύσεις, είναι εκφρασμένες σε ppm.

## 6.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

### 6.4.1 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπογείου ύδατος που παρουσιάζονται στο πίνακα 6.4.1 αφορούν στην περίοδο Φεβρουαρίου 2020. Στον πίνακα επίσης παρουσιάζονται και τα στατιστικά μεγέθη που αφορούν στη μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση.

**Πίνακας 6.4.1:** Ποιοτικοί παράμετροι του υπόγειου νερού Δήμου Σαρωνικού (περίοδος Φεβρουαρίου 2020)

	Κωδικός	pH	EC (μS/cm)	T.D.S	TH
		Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	Φεβρουάριος
Δείγματα	ΠΦ_ΜΑ	7,5	1111	722,15	512,8
	ΠΦ_Π	7,405	2260	1469	806,8
	ΑΝ_ΑΔ	7,5	530	344,5	308,2
	ΑΝ_ΥΔ	7,7	195,6	127,14	134,1
	ΚΘ_ΝΤ	7,5	605	393,25	349,0
	ΚΘ_ΙΔ	7,4	2550	1657,5	625,5
Στατιστικά Στοιχεία	Μέση Τιμή	7,50	1208,60	785,59	456,07
	Μέγιστο	7,70	2550,00	1657,50	806,82
	Ελάχιστο	7,40	195,60	127,14	134,09
	Τυπική Απόκλιση	0,11	976,25	634,56	241,66

Σύμφωνα με τη δειγματοληψία του Φεβρουαρίου του 2020 η τιμή του pH κυμαίνεται από 7,40 έως 7,80 και έχει μέση τιμή 7,54. Συνεπώς τα υπόγεια νερά είναι κυρίως αλκαλικά.

Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2550 μS/cm), αντιστοιχεί σε πηγάδι που βρίσκεται στην Παλαιά Φώκεια και η ελάχιστη τιμή (195,5 μS/cm) σε γεώτρηση ύδρευσης που βρίσκεται σε περιοχή της Αναβύσσου. Η μέση τιμή του δείγματος είναι 1064,2 και η τυπική απόκλιση είναι 969,63. Η τυπική απόκλιση δίνει μία μη ομαλή κατανομή των τιμών. Επίσης η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο για το πόσιμο νερό που είναι 2500 μS/cm σύμφωνα με την ΚΥΑ1811/2011. Ωστόσο σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2017), το ανώτερο επιθυμητό όριο είναι τα 1000 μS/cm. Με βάση το τελευταίο, τρία είναι τα δείγματα που ξεπερνούν το ανώτερο επιθυμητό όριο, τα δύο δείγματα από την Παλαιά Φώκεια (ΠΦ\_Π, ΠΦ\_ΜΑ) και το ένα δείγμα από τα Καλύβια Θορικού (ΚΘ\_ΙΔ).

Τα συνολικά διαλυμένα στερεά έχουν μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί στα 1657,50 mg/L, και αφορά στην ιδιωτική γεώτρηση στην περιοχή των Καλυβίων ενώ η ελάχιστη τιμή του είναι 127,4 mg/L και εντοπίζεται στην υδρευτική γεώτρηση της Αναβύσσου. Η μέση τιμή είναι

691,73. Ανώτερο επιθυμητό όριο είναι μέχρι 1000 mg/L (ΠΟΥ,2017). Τιμές πάνω από το όριο αυτό υποδηλώνουν υφάλμυρα νερά, ενώ πάνω από 10.000 mg/L θεωρείται ότι είναι αλμυρό.

Σύμφωνα με τα ανώτερα όρια μόνο τα δείγματα από το πηγάδι στην Παλαιά Φώκαια και την ιδιωτική γεώτρηση στα Καλύβια φαίνεται πως έχουν υφάλμυρο νερό. Στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας το νερό θεωρείται γλυκό.

Όσον αφορά την ολική σκληρότητα, δείγματα νερού με τιμές έως 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πόση. Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα, τα περισσότερα δείγματα υπερβαίνουν αυτό το ανώτερο επιθυμητό όριο.

#### 6.4.2 Αποτελέσματα Υδροχημικών Αναλύσεων

Κατωτέρω παρατίθεται ο Πίνακας 6.4.2.1, στον οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων του νερού. Με μπλε σημειώνονται οι τιμές που υπερβαίνουν τα όρια ποσιμότητας σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (αναθεωρημένες ανώτερες επιθυμητές τιμές, 2017)<sup>253</sup>.

**Πίνακας 6.4.2.1:** Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων ύδατος Δήμου Σαρανικού (Φεβρουάριος 2020) μαζί με τα επιτρεπτά όρια του ΠΟΥ (2017)<sup>254</sup>

	Κωδικός	Κατιόντα				Ανιόντα				Χημικές Παράμετροι	Επιτρεπτά όρια σύμφωνα με ΠΟΥ (2017)
		Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)		
Δείγματα	ΠΦ_ΜΑ	133,40	43,74	90,00	12,20	300,12	218,00	90,00	67,30	pH	6.5–8.5
	ΠΦ_Π	142,20	110,08	391,00	8,40	479,46	455,00	300,00	101,20	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50
	ΑΝ_ΑΔ	104,93	11,18	30,20	1,90	313,54	53,00	21,00	7,00	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	250
	ΑΝ_ΥΔ	46,86	4,13	4,60	0,80	131,76	7,00	24,00	10,60	Cl <sup>-</sup>	200–300
	ΚΘ_ΝΤ	103,72	21,87	41,50	1,90	312,32	77,00	30,00	2,80	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	250
	ΚΘ_ΙΔ	146,60	63,18	429,00	17,00	307,44	819,00	116,00	29,50	K <sup>+</sup>	12
Στατιστικά Στοιχεία	Μέση Τιμή	112,95	42,36	164,38	7,03	307,44	271,50	96,83	36,40	Na <sup>+</sup>	200
	Μέγιστο	146,60	110,08	429,00	17,00	479,46	819,00	300,00	101,20	Ca <sup>++</sup>	75
	Ελάχιστο	46,86	4,13	4,60	0,80	131,76	7,00	21,00	2,80	Mg <sup>++</sup>	50
	Τυπική Απόκλιση	37,21	39,69	192,64	6,63	110,06	313,63	106,97	39,65	T.D.S	600–1000
										TH	100–300

Όσον αφορά στα νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), έχουν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Παρατηρείται ότι ρύπανση από νιτρικά έχουμε στα δύο δείγματα από τη Παλαιά Φώκαια. Αυτά εντοπίζονται σε νερά προερχόμενα από φυσικές διεργασίες. Προκύπτουν μέσα

<sup>253</sup> Chukwuma N. Mgbenu, et., al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria », σ. 5

<sup>254</sup> Chukwuma N. Mgbenu, et., al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria », σ. 5

από το κύκλου του αζώτου σε συγκεντρώσεις όμως, που είναι μικρές<sup>255</sup>. Σε υψηλές συγκεντρώσεις τα νιτρικά είναι απόρροια χρήσης λιπασμάτων κατά τη γεωργική δραστηριότητα ή ρύπανσης από απορρίμματα και απόβλητα και μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία διότι όταν εισέλθουν στον οργανισμό, τα νιτρικά μετατρέπονται σε νιτρώδη, τα οποία είναι καρκινογόνα<sup>256</sup>. Επιπροσθέτως, μπορεί οι αυξημένες τιμές να αφορούν σε συγκεκριμένα σημεία ρύπανσης, ενδεχομένως λόγω ύπαρξης νεκροταφείου ή και από μη στεγανούς βόθρους στην περιοχή. Ωστόσο, επειδή τα δείγματα είναι λιγοστά αυτό δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα.

Όσον αφορά στα θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), έχουν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Παρατηρείται ότι ρύπανση από θειικά έχουμε στην ιδιωτική γεώτρηση από τα Καλύβια Θορικού και από το πηγάδι στη περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας. Η παρουσία θεικών στα υπόγεια ύδατα οφείλεται είτε σε φυσικές διεργασίες, που είναι το αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης του νερού με το πέτρωμα, είτε σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η χρήση λιπασμάτων, οι καταστροφές των δασών από πυρκαγιά ή από τα εκπεμπόμενα καυσαέρια<sup>257</sup>.

Το χλώριο ( $\text{Cl}$ ) έχει ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 200-300 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου προσδίδουν αλμυρή γεύση στο νερό. Το πόσο ανιχνεύσιμη είναι, ως προς τη γεύση, εξαρτάται από το αν πρόκειται για χλωριούχο νάτριο, χλωριούχο κάλιο ή χλωριούχο ασβέστιο. Γενικά αυξανόμενες συγκεντρώσεις χλωρίου πάνω από 250 mg/L, είναι όλο και πιο πιθανό να ανιχνευτούν στη γεύση του νερού<sup>258</sup>. Παρατηρείται ότι συγκέντρωση χλωρίου που υπερβαίνει το όριο αυτό έχουμε στην ιδιωτική γεώτρηση από τα Καλύβια Θορικού και από το πηγάδι στη περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας. Το χλώριο εντοπίζεται κυρίως στα ιζηματογενή πετρώματα αργιλώδους σύστασης ή στο ορυκτό αλίτης, όπως υποδεικνύεται και από τον χημικό του τύπο ( $\text{NaCl}$ ), επίσης συναντάται λιγότερο στα μαγματικά πετρώματα<sup>259</sup>. Πολύ συχνή είναι η αυξημένη παρουσία του χλωρίου, σε παράκτιους υδροφορείς στους οποίους παρατηρείται φαινόμενο υφαλμύρωσης. Η μεγάλη συγκέντρωση χλωρίου στα υπόγεια

<sup>255</sup> Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας», σ.24

<sup>256</sup> Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας», σ.24

<sup>257</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.151

<sup>258</sup> WHO (2017) Guidelines for drinking water quality, 4th edn. World Health Organization, Geneva

<sup>259</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 153

νερά μπορεί οφείλεται σε βιομηχανικά απόβλητα, σε περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα<sup>260</sup>.

Όσον αφορά στο φρέαρ της περιοχής της Παλαιάς Φώκαιας οι υψηλές συγκεντρώσεις του χλωρίου πιθανόν να είναι αποτέλεσμα υφαλμύρωσης, ωστόσο για το δείγμα από τα Καλύβια Θορικού και με βάση το υψόμετρο (88 m) από το οποίο συλλέχθηκε ίσως να είναι αποτέλεσμα τοπικής ρύπανσης.

Όσον αφορά στην οξυανθρακική ρίζα ή Δισανθρακική ρίζα ( $\text{HCO}_3$ ), αυτή είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά και υποδεικνύει ότι υπάρχουν οργανικές ουσίες<sup>261</sup>. Προέρχεται από την απελευθέρωση του διοξειδίου του άνθρακα όταν αποσυντίθενται οργανισμοί στο έδαφος<sup>262</sup>. Η οξυανθρακική ρίζα έχει επιθυμητό όριο τα 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017)<sup>263</sup>.

Το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{+2}$ ), έχει επιθυμητό όριο ποσιμότητας τα 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Ωστόσο, η παρουσία του δεν έχει κάποια επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία. Υπέρβαση του ορίου αυτού, έχουμε στα δείγματα ΠΦ\_Π, ΠΦ\_ΜΑ (Παλαιά Φώκαια), ΑΝ\_ΑΔ (Ανάβυσσος) ΚΘ\_ΙΔ, ΚΘ\_ΝΤ (Καλύβια Θορικού), δηλαδή σε όλα τα δείγματα εκτός από ένα. Η παρουσία του ασβεστίου στα υπόγεια ύδατα είναι φυσικής προέλευσης και προκύπτει από τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων, ιδιαίτερα από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων<sup>264</sup>. Η ολική σκληρότητα του νερού οφείλεται στη συγκέντρωση του Ca. Τα ιόντα ασβεστίου κυριαρχούν, σε σχέση με τα κατιόντα, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνουν τις υψηλότερες τιμές στα υπόγεια νερά<sup>265</sup>. Υπάρχει άμεση σχέση του ασβεστίου με τη σύσταση του νερού. Το ασβέστιο προέρχεται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα και τα μάρμαρα, καθώς επίσης και από τους ασβεστο-νατριούχους άστριους, τους αμφιβόλους και τη γύψο. Στην περιοχή της Αναβύσσου απαντώνται ανθρακικά πετρώματα, για αυτό οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου στο νερό βρίσκονται πάνω από το επιθυμητό όριο των 75 mg/L.

Το γεγονός ότι δεν έχει επιβληθεί ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή για την ποσότητα του ασβεστίου δηλώνει πως δεν έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής, κάποια επίπτωση στην ανθρώπινη

<sup>260</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 153

<sup>261</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 158

<sup>262</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 158

<sup>263</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 158

<sup>264</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ.127

<sup>265</sup> Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας», σ. 25

υγεία, από πιθανή αύξηση του ασβεστίου σε πόσιμα νερά<sup>266</sup>. Το ασβέστιο ενδέχεται να παρουσιάζει αντιτοξική συμπεριφορά διότι δεν επιτρέπει την απορρόφηση επιβλαβών στοιχείων όπως πχ ο μόλυβδος και το κάδμιο<sup>267</sup>.

Το μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ ) το συναντάμε στον δολομίτη, τον ολιβίνη τους χλωρίτες, τον μαγνησίτη, ωστόσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωσή του στους δολομίτες και μαγνησίτες<sup>268</sup>. Ανώτατο όριο ποσिमότητας, όσον αφορά στο μαγνήσιο είναι, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας<sup>269</sup> τα 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Τιμές που υπερβαίνουν αυτό το όριο μπορεί να έχουν διουρητικές και καθαρτικές συνέπειες. Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του μαγνησίου υπερβαίνει το ανώτατο όριο στην ιδιωτική γεώτρηση από την περιοχή των Καλυβίων Θορικού και στο πηγάδι από την Παλαιά Φώκαια.

Το νάτριο ( $Na^+$ ), έχει ανώτατο όριο συγκέντρωσης τα 200 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Παρατηρείται ότι όπως και με το μαγνήσιο, το χλώριο και τα θειικά, τα δείγματα που έχουν υπερβεί το ποσό αυτό είναι τα ΠΦ\_Π και ΚΘ\_ΙΔ, το οποία όπως έχει προαναφερθεί, έχουν υποστεί κάποιου είδους ρύπανση. Από φυσικές διεργασίες, πηγή ιόντων νατρίου στα υπόγεια νερά, αποτελεί το εβαποριτικό ορυκτό αλίτης, τα αργιλικά ορυκτά, οι άστριοι κ.α. Από μη φυσικό τρόπο, υψηλές συγκεντρώσεις προκύπτουν από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, λόγω των βιομηχανικών αποβλήτων<sup>270</sup>. Σε παράκτιους υδροφόρους, το υψηλό ποσοστό σε νάτριο, μπορεί να προέρχεται και από την θαλάσσια διείσδυση στον υδροφορέα, επίσης μπορεί να προέρχεται και από τη διάλυση αλίτη<sup>271</sup>.

Αυξημένη περιεκτικότητά του στο νερού, οδηγεί σε αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία διότι αυξάνει την αρτηριακή πίεση<sup>272</sup>.

Το κάλιο ( $K^+$ ) έχει ανώτατο όριο ποσिमότητας τα 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017). Παρατηρείται από το σύνολο των δειγμάτων, ότι τη μεγαλύτερη συγκέντρωση έχει η ιδιωτική γεώτρηση από τα Καλύβια Θορικού, που φθάνει τα 17 mg/L και ακολουθεί το δείγμα Μικρά Ασία από τη Παλαιά Φώκαια, το οποίο έχει ξεπεράσει το συνιστώμενο όριο κατά 0,20 mg/L μόνο. Στα

<sup>266</sup> Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας», σ. 25

<sup>267</sup> Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας», σ. 25

<sup>268</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 131

<sup>269</sup> Chukwuma N. Mgbenu, et., al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria », σ. 5

<sup>270</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 135

<sup>271</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 135

<sup>272</sup> Αγγελικοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 135

υπόγεια ύδατα έχει φυσική πηγή προέλευσης τα αργιλικά ορυκτά, τους αστρίους και τις μαρμαρυγίες, με την περιεκτικότητά του να ελέγχεται και από την δυνατότητα απορρόφησης αυτού από τα φυτά <sup>273</sup>.

## 7. Ανάλυση Συσχέτισης

Η στατιστική μέθοδος που «μελετά» τη σχέση που έχουν δύο μεταβλητές ονομάζεται ανάλυση συσχέτισης<sup>274</sup>. Με την ανάλυση συσχέτισης εκείνο που ενδιαφέρει είναι να καθοριστεί το ποσοστό εξάρτησης των δύο μεταβλητών και η ένταση με την οποία σχετίζονται. Όταν η τιμή της συσχέτισης είναι πολύ υψηλή (θετική ή αρνητική), υποδεικνύεται μεγάλη εξάρτηση. Όταν η τιμή της συσχέτισης είναι χαμηλή ή σχεδόν μηδενική δεν υπάρχει αλληλοεπηρεασμός των μεταβλητών. Στην περίπτωση που υπάρχει ισχυρός συσχετισμός, αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντική πρόβλεψη<sup>275</sup>. Εντούτοις, με αυτή τη στατιστική μέθοδο, δεν είναι βέβαιο ότι μια μεταβλητή προκαλεί τη μεταβολή της άλλης<sup>276</sup>.

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson χρησιμοποιείται στην εύρεση της γραμμικής σχέσης δύο μεταβλητών όταν εκείνες ακολουθούν κανονική κατανομή. Σε αντίθεση περίπτωση, όταν δεν ακολουθείται κανονική κατανομή, ο προσδιορισμός της σχέσης των δύο μεταβλητών γίνεται με τον συντελεστή Spearman<sup>277</sup>.

### 7.1 Συντελεστής Συσχέτισης του Pearson

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson  $r$ , ο οποίος αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο δείγμα τιμών και προσδιορίζεται από τον λόγο της συνδιασποράς (ή συμμεταβλητότητας) δύο μεταβλητών ως προς το γινόμενο των αποκλίσεων των μεταβλητών και είναι:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\hat{\mu}_X)(Y-\hat{\mu}_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

<sup>273</sup> Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 139

<sup>274</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

<sup>275</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

<sup>276</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

<sup>277</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

όπου  $X, Y$  δύο τυχαίες μεταβλητές.

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson παίρνει τιμές από  $-1$  έως  $+1$ <sup>278</sup>. Όταν η τιμή της μίας μεταβλητής αυξάνεται παράλληλα με την τιμή της άλλης, έχουμε θετική συσχέτιση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές, δηλαδή ο συντελεστής είναι θετικός<sup>279</sup>. Αντίθετα, όταν η τιμή της μίας μεταβλητής βαίνει αυξανόμενη ενώ η τιμή της άλλης ελαττώνεται έχουμε αρνητική συσχέτιση, δηλαδή ο συντελεστής είναι αρνητικός<sup>280</sup>. Σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης διακρίνουμε τα εξής:

- $+0.75$  ως  $+1$ : πολύ καλή θετική συσχέτιση,
- $+0.50$  ως  $+0.75$ : καλή θετική συσχέτιση,
- $+0.30$  ως  $+0.50$ : μέτρια θετική συσχέτιση,
- $-0.75$  ως  $-1$ : πολύ καλή αρνητική συσχέτιση,
- $-0.50$  ως  $-0.75$ : καλή αρνητική συσχέτιση,
- $-0.30$  ως  $-0.50$ : μέτρια αρνητική συσχέτιση.

Οι τιμές  $-1$  έως  $+1$  προκύπτουν όταν υπάρχει απόλυτη, είτε αρνητική είτε θετική, γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών<sup>281</sup>. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή  $0$  δεν υπάρχει συσχετισμός των δύο μεταβλητών κατ' ουσία τρόπο. Ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι κάποια άλλη συνάρτηση, η οποία δεν είναι γραμμική, δεν μπορεί να δείχνει σημαντική συσχέτιση, απλά μπορεί να σημαίνει ότι η γραμμική συνάρτηση δεν εκφράζει τη σχέση των δύο μεταβλητών<sup>282</sup>.

Ο συντελεστής Pearson έχει κάποια μειονεκτήματα, διότι:

(α) εκφράζει τη σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, μόνο όταν αυτή είναι γραμμική.

(β) παρουσιάζει ευαισθησία στις ακραίες τιμές, με συνέπεια να οδηγούμαστε συχνά σε ανυπόστατα συμπεράσματα.

<sup>278</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

<sup>279</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 70

<sup>280</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 71

<sup>281</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 71

<sup>282</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ. 71



(γ) η υπολογισθείσα συσχέτιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πέραν του γνωστού εύρους των μεταβλητών<sup>283</sup>.

## 7.2 Συντελεστές Συσχέτισης Χημικών Παραμέτρων του 2001, 2011 και 2020

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης των χημικών παραμέτρων όπου:

- Για συντελεστή συσχέτισης  $0,75 \leq r < 0,80$  τα κελιά χρωματίζονται με ροζ.
- Για συντελεστή συσχέτισης  $0,80 \leq r < 0,90$  τα κελιά χρωματίζονται με κίτρινο.
- Για συντελεστή συσχέτισης  $r \geq 0,90$  τα κελιά χρωματίζονται με μπλε.

Πίνακας 7.2.1: Συντελεστές συσχέτισης χημικών παραμέτρων για την περίοδο Ιούνιος-Ιούλιος 2001.

	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{--}$	$NO_3^-$
$Ca^{++}$	1,00							
$Mg^{++}$	0,91	1,00						
$Na^+$	0,82	0,93	1,00					
$K^+$	0,77	0,81	0,85	1,00				
$HCO_3^-$	0,26	0,21	0,17	0,20	1,00			
$Cl^-$	0,91	0,97	0,96	0,83	0,15	1,00		
$SO_4^{--}$	0,68	0,69	0,60	0,68	0,18	0,59	1,00	
$NO_3^-$	0,42	0,46	0,40	0,41	0,38	0,38	0,48	1,00
pH	-0,31	-0,19	-0,06	-0,27	-0,34	-0,15	-0,21	-0,10
EC	0,92	0,98	0,97	0,85	0,21	0,99	0,66	0,45
T.D.S	0,93	0,98	0,97	0,86	0,22	0,99	0,69	0,46

Πίνακας 7.2.2: Συντελεστές συσχέτισης χημικών παραμέτρων για την περίοδο Οκτωβρίου 2001.

	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{--}$	$NO_3^-$
$Ca^{++}$	1,00							
$Mg^{++}$	0,96	1,00						
$Na^+$	0,91	0,95	1,00					
$K^+$	0,78	0,83	0,86	1,00				
$HCO_3^-$	-0,16	-0,05	0,06	0,26	1,00			
$Cl^-$	0,95	0,97	0,98	0,80	-0,09	1,00		
$SO_4^{--}$	0,75	0,76	0,70	0,76	0,15	0,68	1,00	
$NO_3^-$	0,56	0,48	0,51	0,58	0,17	0,44	0,66	1,00
pH	-0,21	-0,15	-0,21	-0,41	-0,58	-0,13	-0,49	-0,57
EC	0,97	0,99	0,98	0,84	-0,05	0,99	0,73	0,51
T.D.S	0,96	0,98	0,98	0,85	-0,02	0,99	0,76	0,53

<sup>283</sup> Ευσταθία Κ. Λυμπερόπουλου, Οκτώβριος 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ», Αθήνα, σ.71

Παρατηρείται, σύμφωνα με τους πίνακες 7.2.1 και 7.2.2, ότι οι συντελεστές συσχέτισης που παρουσιάζονται στους ανωτέρω πίνακες εμφανίζουν παρόμοιες τιμές και για τις δύο περιόδους με μικρές διαφοροποιήσεις. Από τη συσχέτιση μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων του νερού και των ιόντων προκύπτει ότι και για τις δύο περιόδους η συσχέτιση μεταξύ της αγωγιμότητας E.C. και των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου νατρίου και χλωρίου είναι πολύ ισχυρή, με τιμές συσχέτισης για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου,  $r=0,92$ ,  $r=0,98$ ,  $r=0,97$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα και τιμές συσχέτισης για την περίοδο Οκτωβρίου,  $r=0,97$ ,  $r=0,99$ ,  $r=0,98$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα.

Τα συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S) παρουσιάζουν αντίστοιχες τιμές συσχετίσεων με τα ανωτέρω ιόντα. Αναλυτικότερα, για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου, ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  μεταξύ των T.D.S και των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου νατρίου και χλωρίου είναι  $r=0,93$ ,  $r=0,98$ ,  $r=0,97$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα και για την περίοδο του Οκτωβρίου είναι  $r=0,96$ ,  $r=0,98$ ,  $r=0,98$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα.

Από τη συσχέτιση των ιόντων μεταξύ τους, ισχυρή είναι η σχέση, και για τις δύο περιόδους, του χλωρίου με το ασβέστιο (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,91$ , Οκτώβριος:  $r=0,95$ ), το μαγνήσιο (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,97$ , Οκτώβριος:  $r=0,97$ ) και το νάτριο (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,96$ , Οκτώβριος:  $r=0,98$ ). Ακόμη σημαντική είναι η σχέση του νατρίου με το μαγνήσιο (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,93$ , Οκτώβριος:  $r=0,95$ ) και του μαγνησίου με το ασβέστιο (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,91$ , Οκτώβριος:  $r=0,96$ ) για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου και του Οκτωβρίου. Ωστόσο στην τελευταία, την περίοδο του Οκτωβρίου, προστίθεται και η σχέση μεταξύ του νατρίου και του ασβεστίου, της οποίας ο συντελεστής συσχέτισης από  $r=0,82$  τον Ιούνιο-Ιούλιο, είναι  $r=0,91$  τον Οκτώβριο.

Όσον αφορά στις συσχετίσεις που έχουν συντελεστή συσχέτισης  $r < 0,90$  παρατηρείται ότι τα θειικά και νιτρικά ιόντα, παρουσιάζουν αυξημένο συντελεστή σε σχέση με τα ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου για την περίοδο του Οκτωβρίου συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου, όπως φαίνεται και από τους ανωτέρω πίνακες.

Πίνακας 7.2.3: Συντελεστές Συσχέτισης χημικών παραμέτρων για την περίοδο Αυγούστου 2011.

	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{--}$	$NO_3^-$
$Ca^{++}$	1,00							
$Mg^{++}$	0,42	1,00						
$Na^+$	0,42	1,00	1,00					
$K^+$	0,49	0,83	0,83	1,00				
$HCO_3^-$	0,20	0,50	0,50	0,21	1,00			
$Cl^-$	0,61	0,88	0,88	0,86	0,18	1,00		
$SO_4^{--}$	0,51	0,86	0,86	0,81	0,53	0,76	1,00	
$NO_3^-$	0,68	0,17	0,17	0,10	0,35	0,22	0,32	1,00
$pH$	-0,63	0,06	0,06	0,04	-0,16	-0,11	-0,04	-0,65
$EC$	0,62	0,93	0,93	0,87	0,38	0,97	0,86	0,32
$T.D.S$	0,62	0,93	0,93	0,87	0,38	0,97	0,86	0,32

Πίνακας 7.2.4: Συντελεστές Συσχέτισης χημικών παραμέτρων για την περίοδο Φεβρουαρίου 2011.

	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{--}$	$NO_3^-$
$Ca^{++}$	1,00							
$Mg^{++}$	0,44	1,00						
$Na^+$	0,50	0,96	1,00					
$K^+$	0,40	0,88	0,85	1,00				
$HCO_3^-$	0,33	0,39	0,35	0,45	1,00			
$Cl^-$	0,50	0,91	0,93	0,84	0,16	1,00		
$SO_4^{--}$	0,63	0,85	0,88	0,85	0,56	0,76	1,00	
$NO_3^-$	0,28	0,07	0,03	0,01	0,02	0,05	0,08	1,00
$pH$	-0,64	-0,36	-0,47	-0,24	-0,18	-0,52	-0,33	-0,34
$EC$	0,55	0,94	0,95	0,87	0,29	0,99	0,83	0,11
$T.D.S$	0,56	0,94	0,95	0,87	0,29	0,99	0,83	0,11

Από τους ανωτέρω πίνακες 7.2.3 και 7.2.4 παρατηρείται ότι υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων του νερού, δηλ. της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτού (E.C.) και των ολικώς διαλυμένων στερεών (T.D.S) με τα ιόντα μαγνησίου, νατρίου και χλωρίου και για τις δύο περιόδους, χωρίς μεγάλες διαφοροποιήσεις. Αναλυτικότερα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της E.C με τα ιόντα μαγνησίου, νατρίου και χλωρίου είναι για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου,  $r=0,94$ ,  $r=0,95$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα και για την περίοδο του Αυγούστου, είναι  $r=0,93$ ,  $r=0,93$ ,  $r=0,97$  αντίστοιχα. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των T.D.S με τα ιόντα μαγνησίου, νατρίου και χλωρίου, είναι για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου,  $r=0,94$ ,  $r=0,95$ ,  $r=0,99$  αντίστοιχα και για την περίοδο του Αυγούστου, είναι  $r=0,93$ ,  $r=0,93$ ,  $r=0,97$  αντίστοιχα.

Ομοίως καλή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ της αγωγιμότητας (E.C) και (T.D.S) με τα ιόντα καλίου και τα θειικά και για τις δύο περιόδους. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της E.C με τα ιόντα καλίου και τα θειικά είναι για την περίοδο του Φεβρουαρίου-

Μαρτίου  $r=0,87$ ,  $r=0,83$  αντίστοιχα (το ίδιο είναι και για το T.D.S) και για την περίοδο του Αυγούστου είναι  $r=0,87$ ,  $r=0,86$  (το ίδιο ισχύει και για το T.D.S) αντίστοιχα.

Όσον αφορά στη συσχέτιση των ιόντων μεταξύ τους υπάρχει για την περίοδο του Φεβρουαρίου πολύ καλή συσχέτιση του χλωρίου με το μαγνήσιο ( $r=0,91$ ) και του χλωρίου με το νάτριο ( $r=0,93$ ) ενώ για την περίοδο του Αυγούστου, ο συντελεστής συσχέτισης του χλωρίου με το μαγνήσιο ( $r=0,88$ ) και του χλωρίου με το νάτριο ( $r=0,88$ ) εμφανίζει μείωση. Ακόμη για την περίοδο του Αυγούστου η σχέση μεταξύ νατρίου και μαγνησίου έχει συντελεστή  $r=1$ , ενώ για την περίοδο του Φεβρουαρίου υπάρχει επίσης ισχυρή συσχέτιση με  $r=0,96$ . Καλή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ του καλίου και του μαγνησίου (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,88$ , Αύγουστος:  $r=0,83$ ), καθώς και του καλίου και του νατρίου (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,85$ , Αύγουστος:  $r=0,83$ ). Ομοίως, καλή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ των θεϊκών με το μαγνήσιο (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,85$ , Αύγουστος:  $r=0,86$ ), το νάτριο (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,88$ , Αύγουστος:  $r=0,86$ ) και με το κάλιο (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,85$ , Αύγουστος:  $r=0,81$ ) και για τις δύο περιόδους. Το χλώριο με το κάλιο παρουσιάζει καλή συσχέτιση (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $r=0,84$ , Αύγουστος:  $r=0,86$ ). Τέλος, υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των θεϊκών και του χλωρίου και για τις δύο περιόδους με συντελεστή συσχέτισης  $r=0,76$ .

**Πίνακας 7.2.5:** Συντελεστές Συσχέτισης χημικών παραμέτρων για την περίοδο Φεβρουαρίου 2020.

	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{--}$	$NO_3^-$
$Ca^{++}$	1,00							
$Mg^{++}$	0,80	1,00						
$Na^+$	0,76	0,89	1,00					
$K^+$	0,81	0,67	0,79	1,00				
$HCO_3^-$	0,87	0,85	0,67	0,46	1,00			
$Cl^-$	0,77	0,75	0,95	0,90	0,53	1,00		
$SO_4^{--}$	0,65	0,97	0,81	0,51	0,79	0,61	1,00	
$NO_3^-$	0,66	0,89	0,64	0,56	0,72	0,48	0,91	1,00
pH	-0,95	-0,74	-0,72	-0,68	-0,89	-0,71	-0,59	-0,54
EC	0,85	0,90	0,99	0,86	0,72	0,96	0,79	0,67
T.D.S	0,72	0,61	0,87	0,91	0,40	0,98	0,44	0,34

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα ισχυρή συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ της αγωγιμότητας (E.C.) και των ιόντων νατρίου ( $r=0,99$ ) και καλή συσχέτιση της αγωγιμότητας με το μαγνήσιο ( $r=0,90$ ) και το χλώριο ( $r=0,96$ ). Τα συνολικά διαλυμένα στερεά έχουν καλή συσχέτιση με τα ιόντα καλίου ( $r=0,91$ ), πολύ καλή με τα ιόντα χλωρίου ( $r=0,96$ ) λιγότερο καλή με τα ιόντα νατρίου ( $r=0,87$ ). Τα νιτρικά έχουν καλή συσχέτιση με θειικά ( $r=0,91$ ) και τα θειικά με το μαγνήσιο ( $r=0,97$ ). Τα ιόντα χλωρίου έχουν πολύ καλή συσχέτιση με τα ιόντα νατρίου

( $r=0,95$ ) αλλά και με τα ιόντα καλίου ( $r=0,90$ ). Καλή συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των νιτρικών και των ιόντων μαγνησίου με  $r=0,89$  (Ίδιος συντελεστής παρατηρείται μεταξύ των ιόντων νατρίου και μαγνησίου, και του pH με την οξυανθρακική ρίζα, με τη διαφορά στο δεύτερο υπάρχει αρνητική συσχέτιση).

### 7.3 Διαγράμματα Συσχέτισης – Σύγκριση με Δεδομένα του 2001, 2011 και 2020

#### 7.3.1 Εισαγωγή

Στους κατωτέρω πίνακες γίνεται αναφορά σε συσχετίσεις μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων του ύδατος και των ιόντων, καθώς και των ιόντων μεταξύ τους, για τις οποίες ο βαθμός συσχέτισης ήταν πολύ υψηλός. Ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος έκρινε να ζεύγη που μελετήθηκαν βασίστηκε στον συντελεστή συσχέτισης για τιμές  $r \geq 0,90$ . Ωστόσο για λόγους σύγκρισης, μεταξύ των ζευγών, κάποιες φορές επιλέχθηκε και συντελεστής συσχέτισης  $r < 0,90$ . Χρησιμοποιήθηκε, για τα ζεύγη αυτά, η γραμμική και η πολυωνυμική παλινδρόμηση.

Παρατίθενται οι πίνακες με τις γραμμικές και πολυωνυμικές συσχετίσεις ( $R^2$ ) των ζευγών που αναφέρθηκαν με τους αντίστοιχους συντελεστές συσχέτισης ( $R$ ) για τα έτη 2001, 2011, 2020.

**Πίνακας 7.3.1.1:** Γραμμικές και Πολυωνυμικές Συσχετίσεις ζευγών για το έτος 2001

a/a	Συσχετισμοί	Γραμμική Συσχέτιση ( $R^2$ )		Συντελεστής Γραμμική Συσχέτισης ( $R$ )		Πολυωνυμική Συσχέτιση ( $R^2$ )		Συντελεστής Πολυωνυμικής Συσχέτισης ( $R$ )	
		Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος
1	Ca <sup>++</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,8328	0,9319	0,91	0,96	0,8328	0,9232	0,9126	0,9608
2	Na <sup>+</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,856	0,8939	0,93	0,95	0,8651	0,8939	0,9301	0,9455
3	Cl <sup>-</sup> -Ca <sup>++</sup>	0,8332	0,9108	0,91	0,95	0,8721	0,9122	0,9339	0,9551
4	Na <sup>+</sup> -Ca <sup>++</sup>	0,6667	0,8212	0,82	0,91	0,6841	0,8214	0,8271	0,9063
5	Cl <sup>-</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,9436	0,941	0,97	0,97	0,9466	0,944	0,9729	0,9716
6	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>	0,9256	0,9527	0,96	0,98	0,9409	0,9576	0,9700	0,9786
7	E.C.-Ca <sup>++</sup>	0,846	0,9319	0,92	0,97	0,8593	0,9328	0,9270	0,9658
8	E.C.-Mg <sup>++</sup>	0,9596	0,9717	0,98	0,99	0,9569	0,9732	0,9782	0,9865
9	E.C.-Na <sup>+</sup>	0,9404	0,9629	0,97	0,98	0,9448	0,9673	0,9720	0,9835
10	E.C.-Cl <sup>-</sup>	0,9865	0,9854	0,99	0,99	0,9895	0,9856	0,9947	0,9928

Πίνακας 7.3.1.2: Γραμμικές και Πολυωνυμικές Συσχετίσεις ζευγών για το έτος 2011

a/a	Συσχετισμοί	Γραμμική Συσχέτιση (R <sup>2</sup> )		Συντελεστής Γραμμική Συσχέτισης (R)		Πολυωνυμική Συσχέτιση (R <sup>2</sup> )		Συντελεστής Πολυωνυμικής Συσχέτισης (R)	
		Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος	Αύγουστος
1	Na <sup>+</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,9167	1	0,96	1	0,9235	1	0,9610	1
2	Cl <sup>-</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,8354	0,7671	0,91	0,88	0,9238	0,9326	0,9611	0,9657
3	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>	0,8618	0,7671	0,93	0,88	0,8926	0,9326	0,9448	0,9657
4	E.C.-Mg <sup>++</sup>	0,8877	0,8597	0,94	0,93	0,9119	0,9111	0,9549	0,9545
5	E.C.-Na <sup>+</sup>	0,9019	0,8598	0,95	0,93	0,9052	0,9111	0,9514	0,9545
6	E.C.-Cl <sup>-</sup>	0,971	0,9453	0,99	0,97	0,9832	0,9737	0,9916	0,9868

Πίνακας 7.3.1.3: Γραμμικές και Πολυωνυμικές Συσχετίσεις ζευγών για το έτος 2020

a/a	Συσχετισμοί	Γραμμική Συσχέτιση (R <sup>2</sup> )	Συντελεστής Γραμμική Συσχέτισης (R)	Πολυωνυμική Συσχέτιση (R <sup>2</sup> )	Συντελεστής Πολυωνυμικής Συσχέτισης (R)
		Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	Φεβρουάριος	Φεβρουάριος
1	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>	0,9068	0,95	0,9078	0,9528
2	Cl <sup>-</sup> -K <sup>+</sup>	0,8085	0,90	0,8252	0,9084
3	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -Mg <sup>++</sup>	0,9393	0,97	0,9935	0,9967
4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,8304	0,91	0,8516	0,9228
5	E.C.-Mg <sup>++</sup>	0,8126	0,90	0,8924	0,9447
6	E.C.-Na <sup>+</sup>	0,9711	0,99	0,9914	0,9957
7	E.C.-Cl <sup>-</sup>	0,9244	0,96	0,9898	0,9949

## 7.3.2 Ανάλυση Παλινδρόμησης

Με την παλινδρόμηση υπάρχει δυνατότητα προσέγγισης της γραμμικής σχέσης των μεταβλητών, η οποία δίνεται από τον συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) Pearson, και καθορισμού σχέσης αιτίου-αιτιατού ή αιτίου-αποτελέσματος. Η μορφή της συναρτησιακής σχέσης δίνεται ως εξίσωση<sup>284</sup>.

Μία από τις μεταβλητές της εξίσωσης είναι η εξαρτημένη μεταβλητή (dependent ή response variable) και η άλλη είναι η ανεξάρτητη. Όταν χρησιμοποιείται μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή, έχουμε την απλή παλινδρόμηση ενώ όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, η παλινδρόμηση καλείται πολλαπλή<sup>285</sup>.

Εφόσον δημιουργηθεί το μοντέλο της παλινδρόμησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης, για να προβλεφθούν οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής από τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών και να γίνει επέκταση των αρχικών δεδομένων.

<sup>284</sup> Διαδικτυακή πηγή: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02\\_chapter\\_05-lliopoulou.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02_chapter_05-lliopoulou.pdf) σ. 17

<sup>285</sup> Διαδικτυακή πηγή: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02\\_chapter\\_05-lliopoulou.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02_chapter_05-lliopoulou.pdf) σ. 17

Η γραμμική σχέση είναι της μορφής:

$$Y = a + bX + e$$

όπου  $Y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,

$X$  η ανεξάρτητη μεταβλητή,

$a, b$  οι παράμετροι της εξίσωσης και

$e$  πιθανό σφάλμα εκτίμησης.

Σε κάθε μεταβολή της μεταβλητής  $X$ , κατά μία μονάδα, μεταβάλλεται κατά  $b$  η μεταβλητή  $Y$  με σταθερό τρόπο.

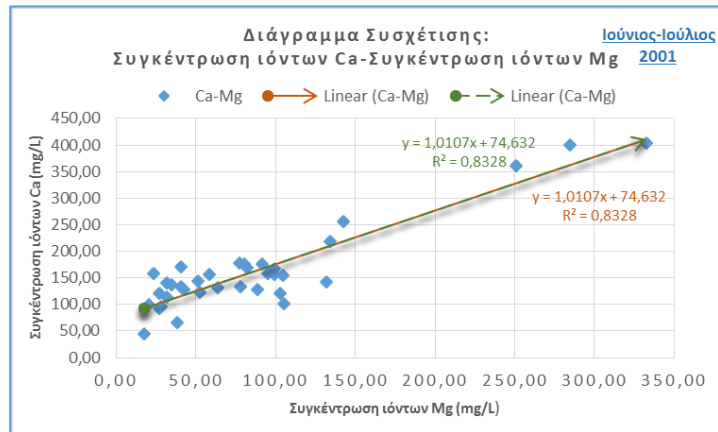
Η παράμετρος  $b$  αποτελεί τον συντελεστή παλινδρόμησης (regression coefficient) και δίνει την κλίση της ευθείας. Η παράμετρος  $a$  είναι η τιμή της  $Y$  όταν  $X=0$ . Η ερμηνεία του  $a$  δεν είναι πάντα αξιόπιστη.

Η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης δίνεται με μια ευθεία γραμμή. Η μεταβλητή  $Y$  είναι η εξαρτημένη και η μεταβλητή  $X$  η ανεξάρτητη. Μπορεί να υπάρξει πρόβλεψη της μεταβλητής  $Y$  από την μεταβλητή  $X$ . Η ανωτέρω διαδικασία περιγράφει την πιο απλή μορφή παλινδρόμησης.

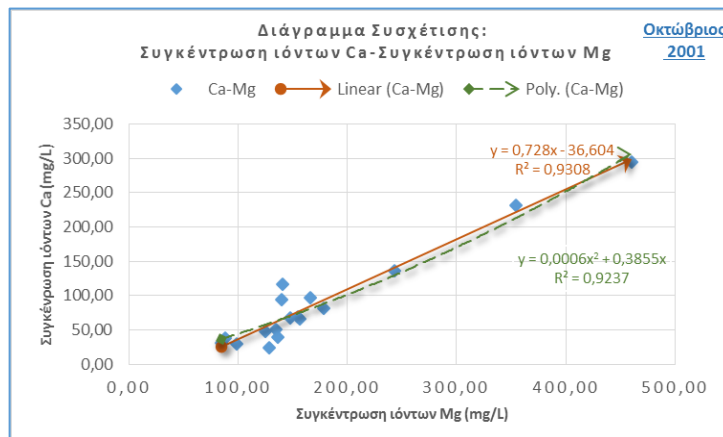
Σημαντικά στην ανάλυση παλινδρόμησης είναι τα κατάλοιπα (residuals), που εκφράζουν τις διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και τις εκτιμώμενες τιμές, οι οποίες δίνονται την εξίσωση παλινδρόμησης. Η παρουσία των καταλοίπων οφείλεται στο ότι δεν περιλαμβάνονται όλες οι ενδεχόμενες ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο της παλινδρόμησης.

Η παλινδρόμηση εκτιμάται από τον συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή  $R^2$ , τόσο μεγαλύτερη η προσαρμοστικότητα του μοντέλου στα δεδομένα (goodness of fit). Δηλαδή αν  $R^2 = 0,65$ , τότε το 65% της διασποράς της μεταβλητής  $Y$  ερμηνεύεται από τη μεταβλητή  $X$  και με αυτόν τον τρόπο, ο συντελεστής προσδιορισμού αξιολογεί το πόσο σημαντική είναι η μεταβλητή  $X$  για να προσδιορίσει τη μεταβλητή  $Y$ .

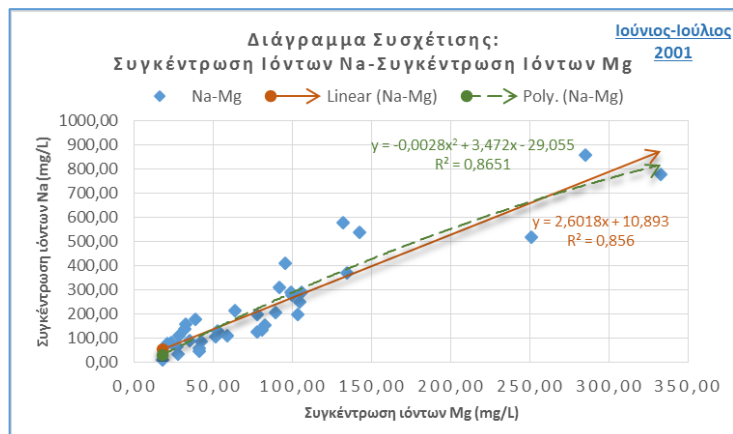
### 7.3.3 Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2001



Διάγραμμα 7.3.3.1: Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Ca^{2+}$  (mg/L)

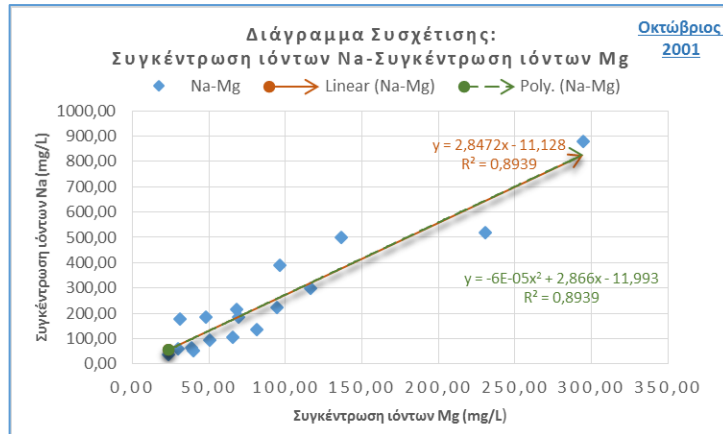


Διάγραμμα 7.3.3.2: Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Ca^{2+}$  (mg/L)

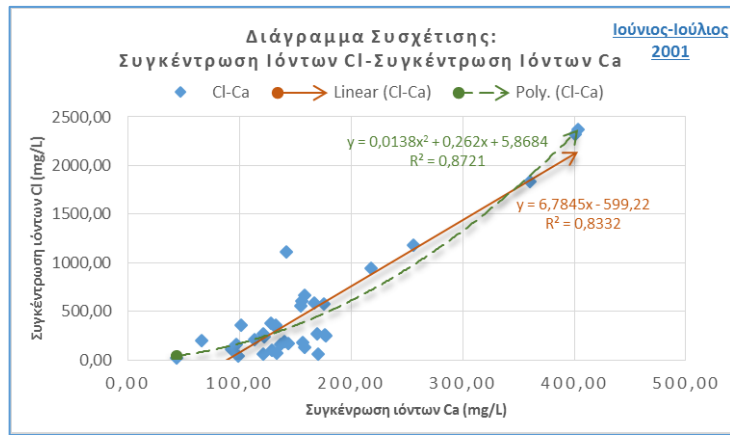


Διάγραμμα 7.3.3.3: Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Na^+$  (mg/L)

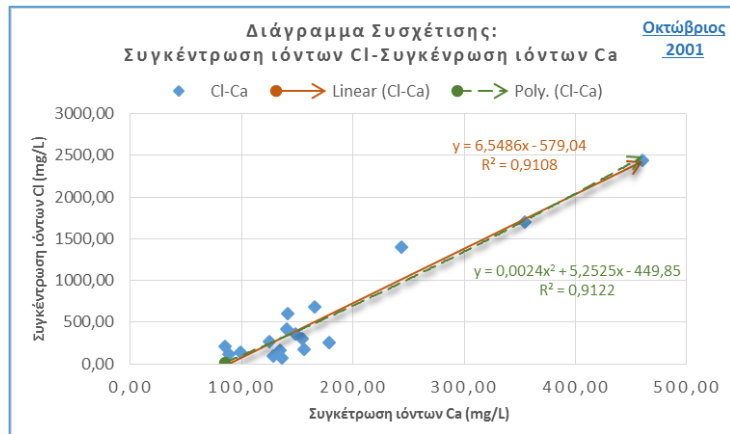




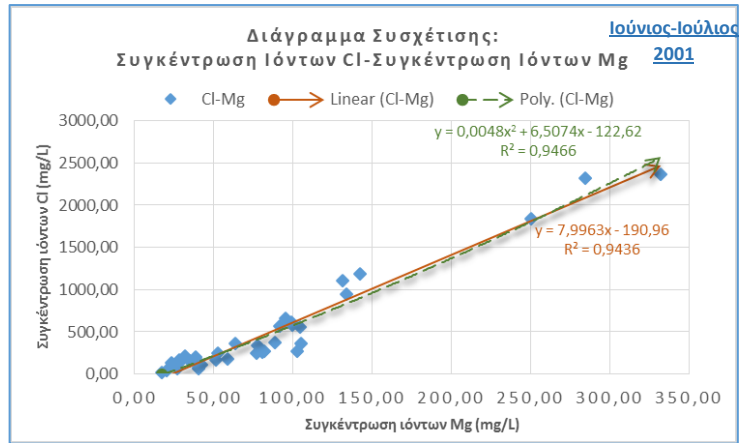
**Διάγραμμα 7.3.3.4:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Na^+$  (mg/L)



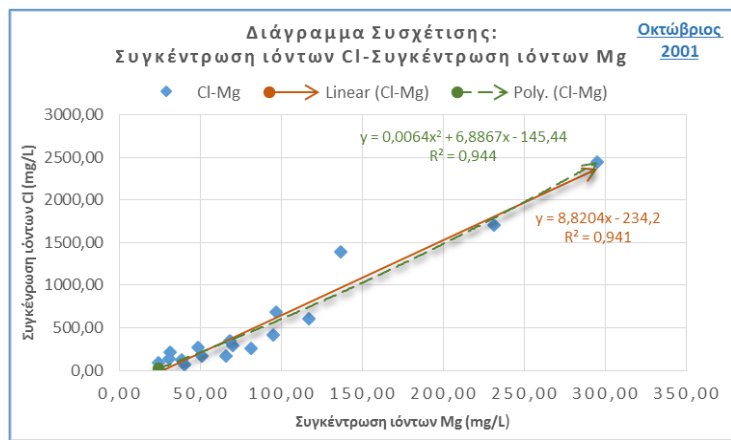
**Διάγραμμα 7.3.3.5:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Ca^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



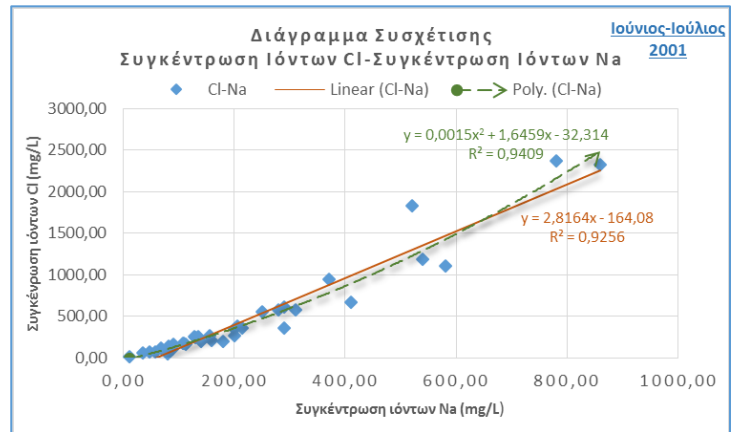
**Διάγραμμα 7.3.3.6:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Ca^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



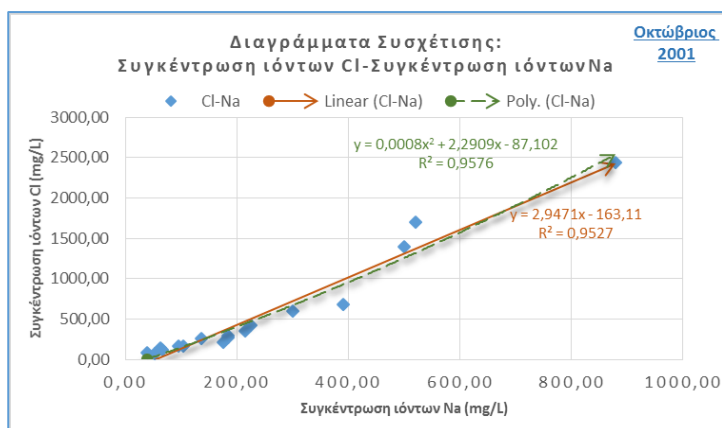
**Διάγραμμα 7.3.3.7:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



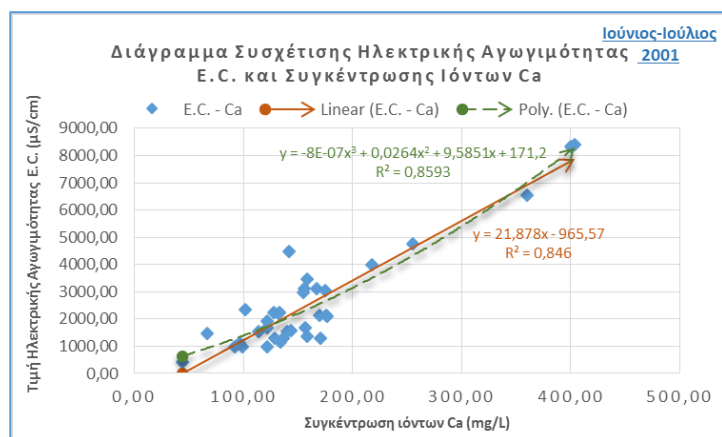
**Διάγραμμα 7.3.3.8:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



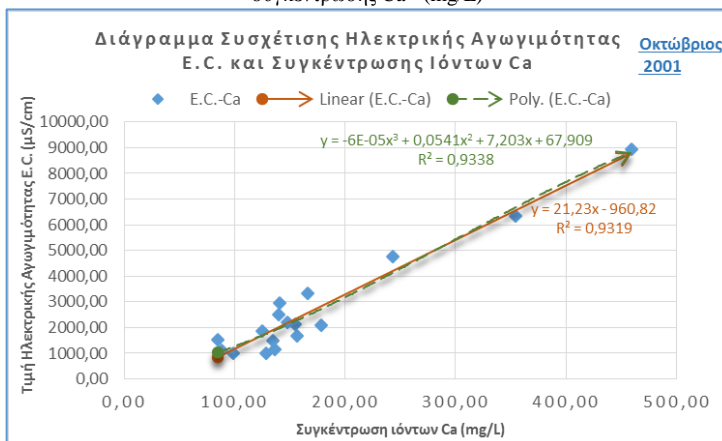
**Διάγραμμα 7.3.3.9:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Na^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



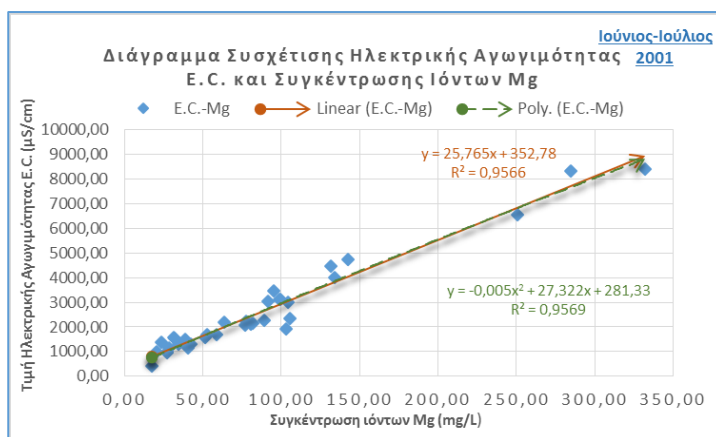
**Διάγραμμα 7.3.3.10:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $\text{Na}^{2+}$  (mg/L) και  $\text{Cl}^-$  (mg/L)



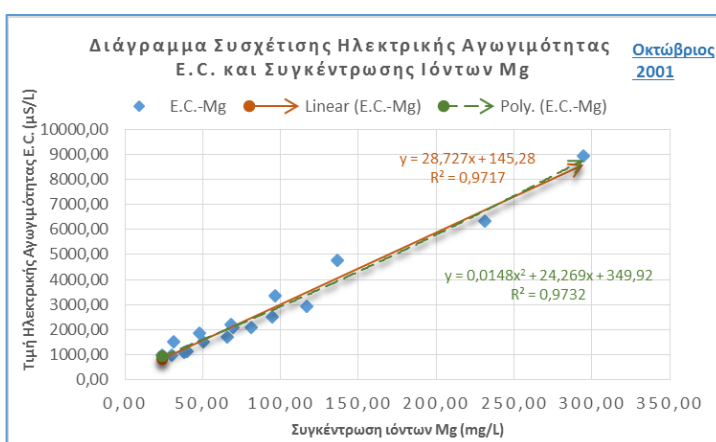
**Διάγραμμα 7.3.3.11:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L)



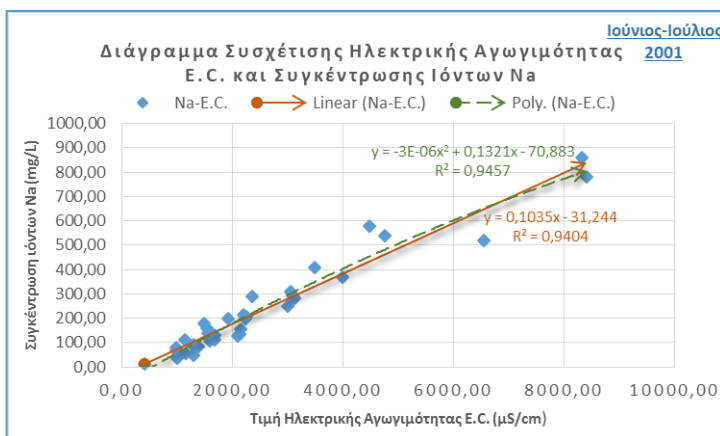
**Διάγραμμα 7.3.3.12:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L)



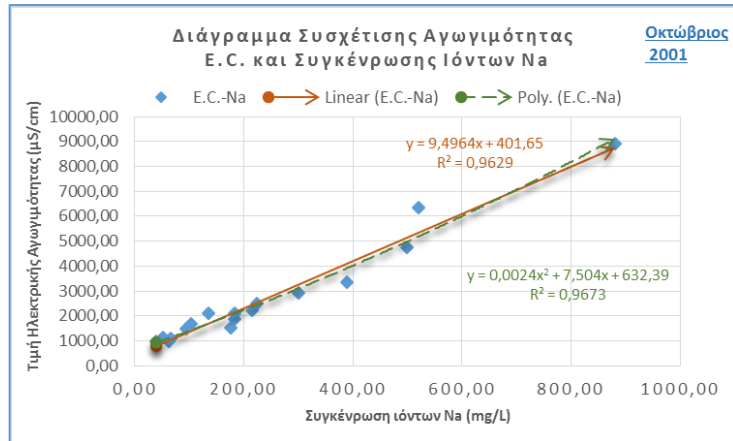
**Διάγραμμα 7.3.3.13:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )



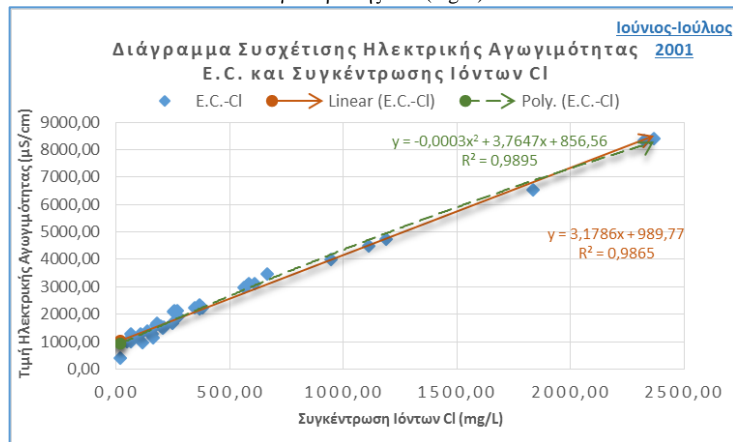
**Διάγραμμα 7.3.3.14:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )



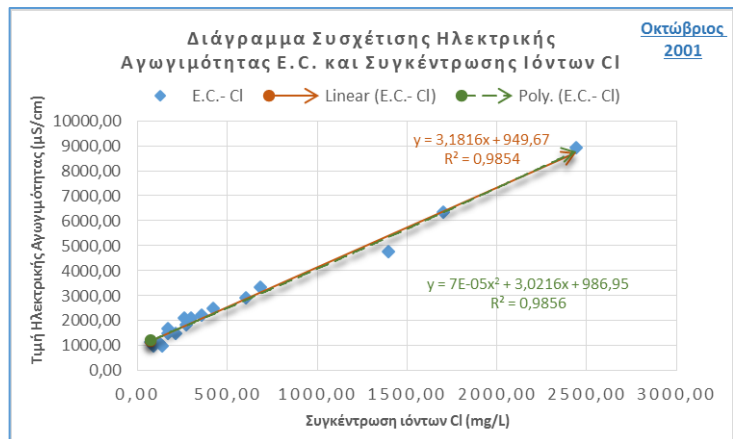
**Διάγραμμα 7.3.3.15:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )



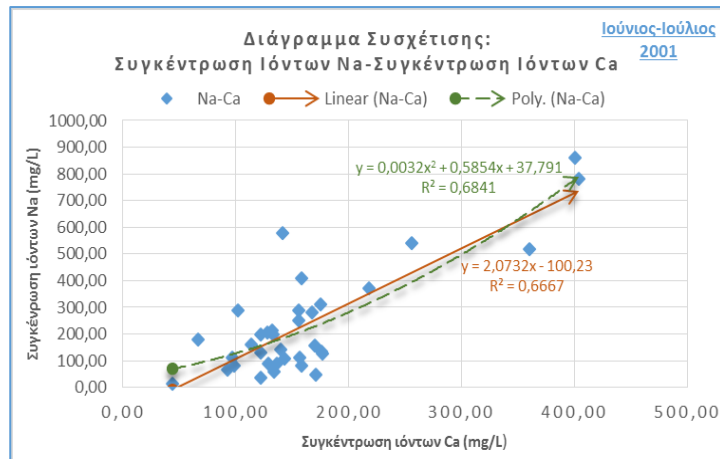
**Διάγραμμα 7.3.3.16:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (μS/cm) και συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> (mg/L)



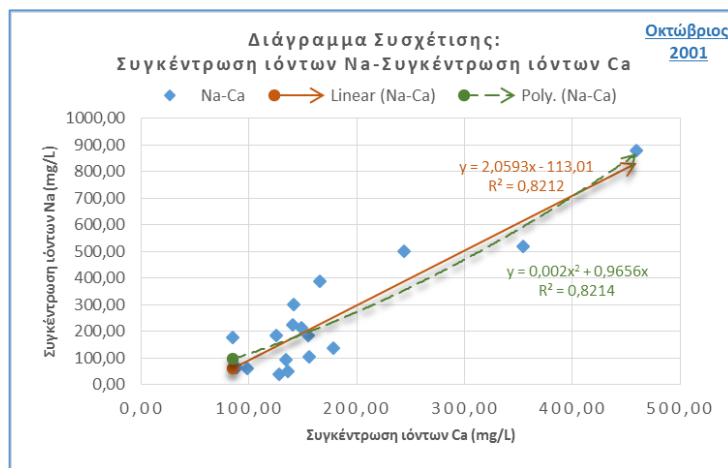
**Διάγραμμα 7.3.3.17:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (μS/cm) και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (mg/L)



**Διάγραμμα 7.3.3.18:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (μS/cm) και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (mg/L)

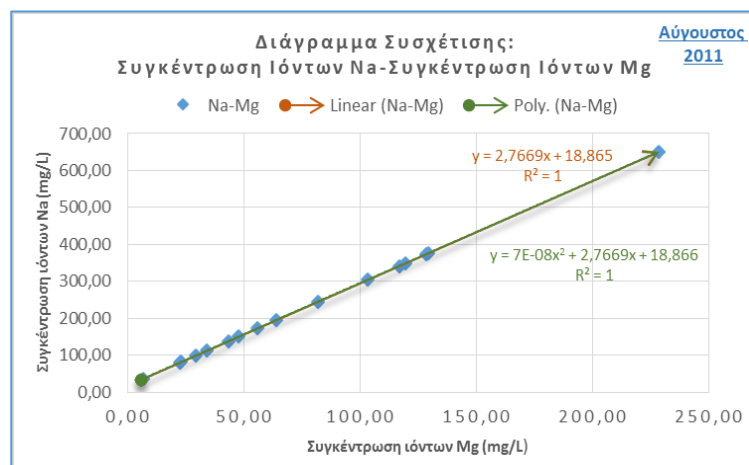


**Διάγραμμα 7.3.3.19:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L) και  $\text{Na}^+$  (mg/L)

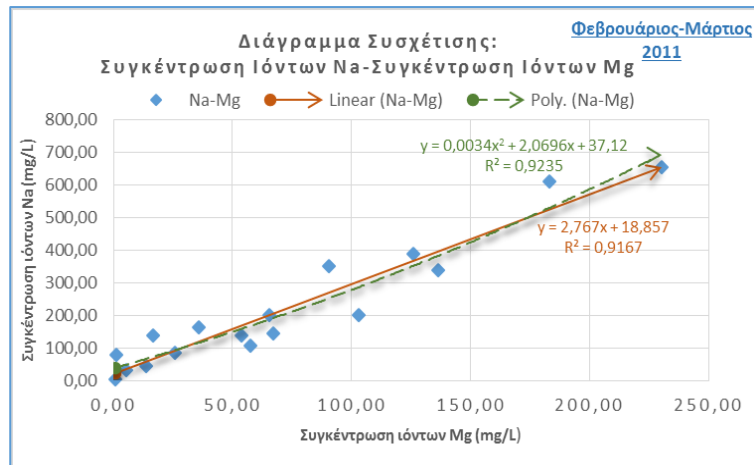


**Διάγραμμα 7.3.3.20:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L) και  $\text{Na}^+$  (mg/L)

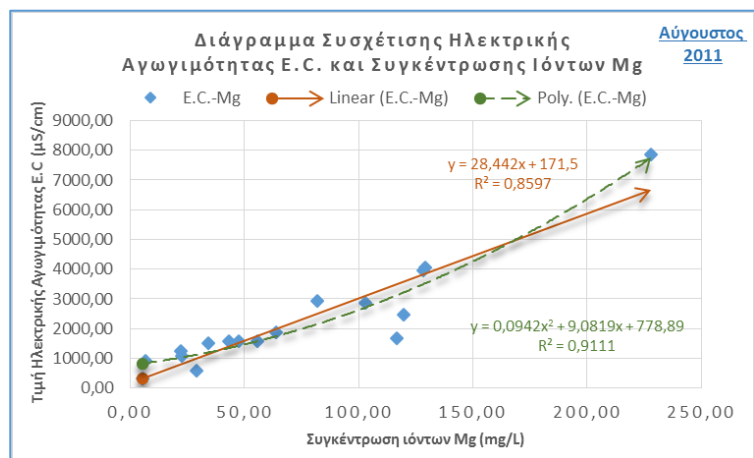
### 7.3.4 Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2011



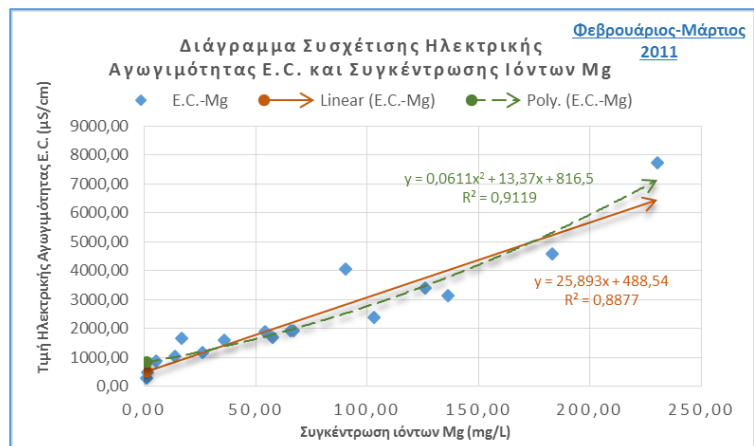
**Διάγραμμα 7.3.4.1:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/L) και  $\text{Na}^+$  (mg/L)



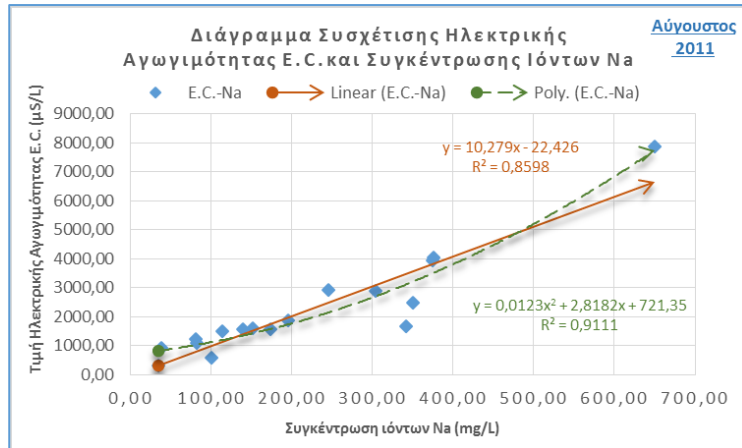
**Διάγραμμα 7.3.4.2:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Na^+$  (mg/L)



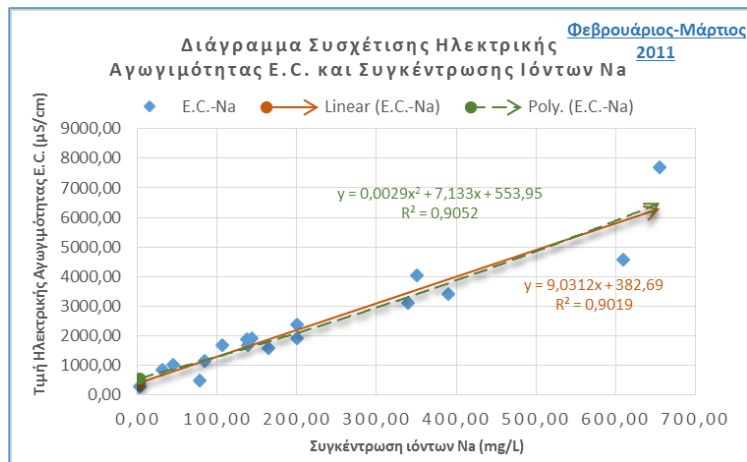
**Διάγραμμα 7.3.4.3:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu S/cm$ ) και συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L)



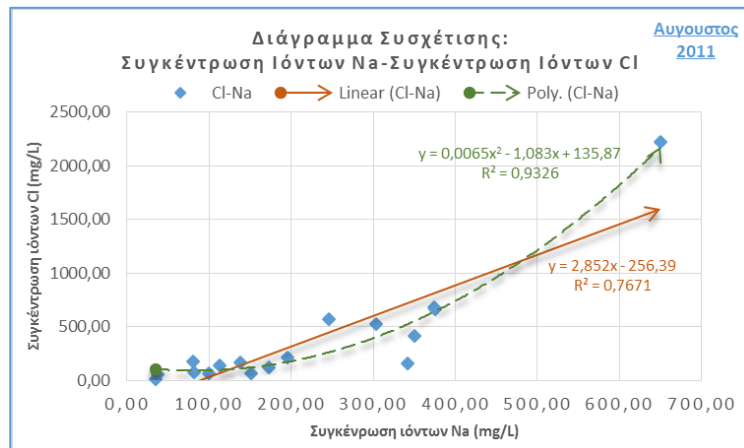
**Διάγραμμα 7.3.4.4:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu S/cm$ ) και συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L)



**Διάγραμμα 7.3.4.5:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας Ε.Σ. (μS/cm) και συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> (mg/L)

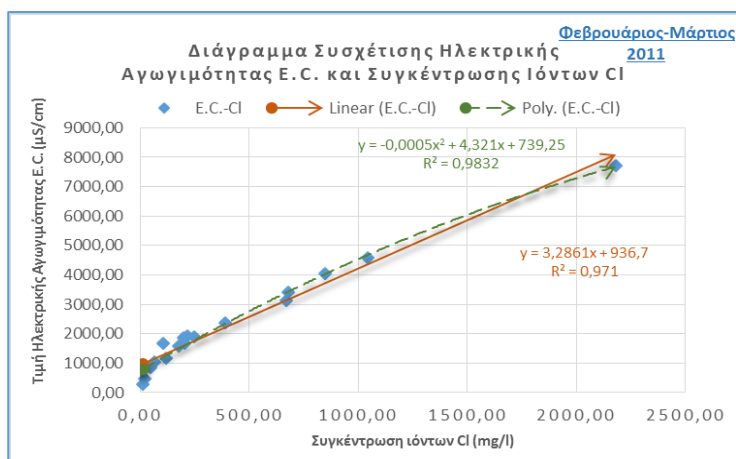


**Διάγραμμα 7.3.4.6:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας Ε.Σ. (μS/cm) και συγκέντρωσης Na<sup>+</sup> (mg/L)

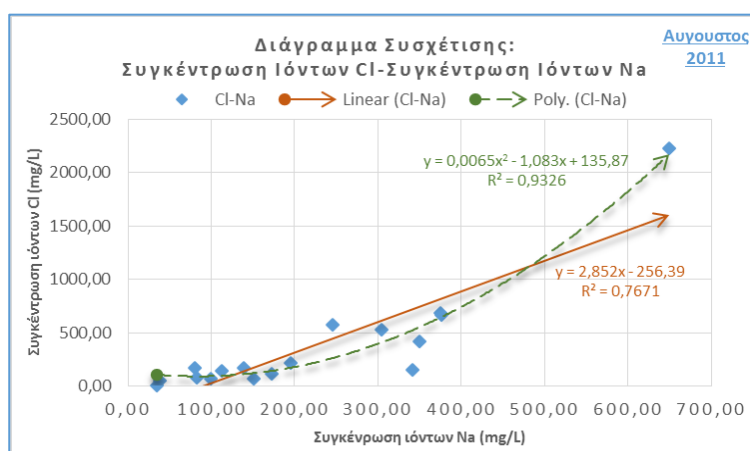


**Διάγραμμα 7.3.4.7:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας Ε.Σ. (μS/cm) και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (mg/L)

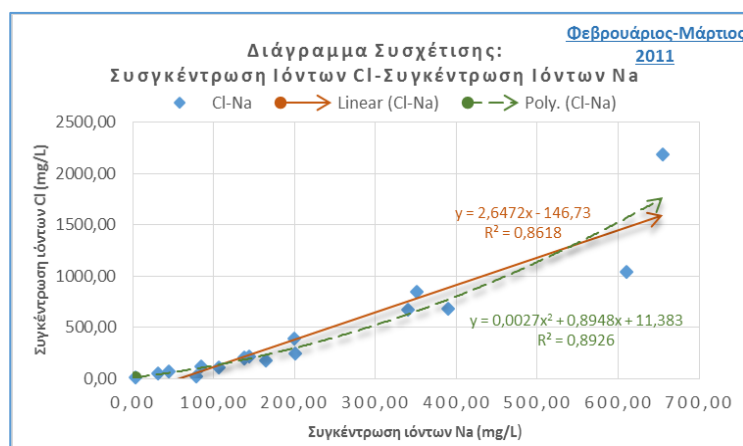




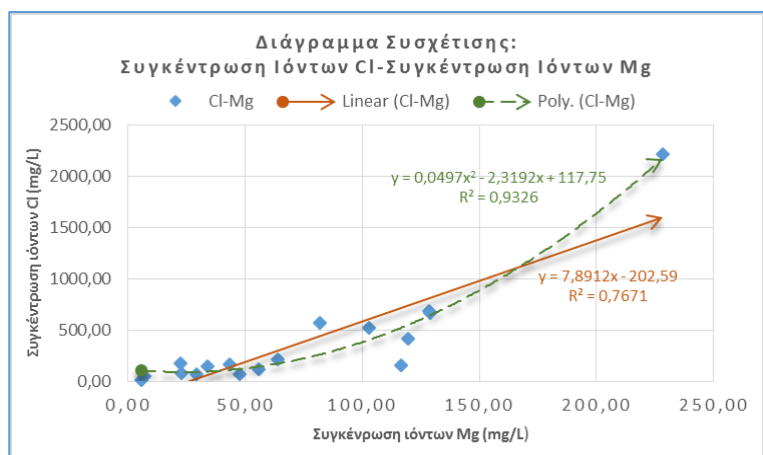
**Διάγραμμα 7.3.4.8:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. (μS/cm) και συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (mg/L)



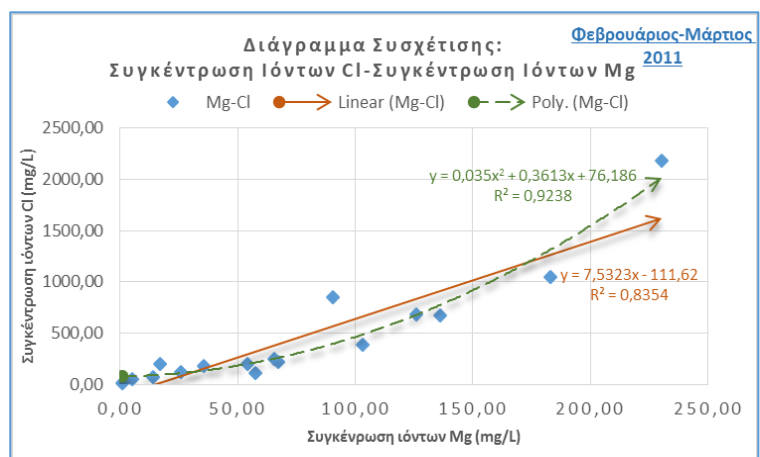
**Διάγραμμα 7.3.4.9:** Συσχέτιση συγκέντρωσης Na<sup>2+</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L)



**Διάγραμμα 7.3.4.10:** Συσχέτιση συγκέντρωσης Na<sup>2+</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L)

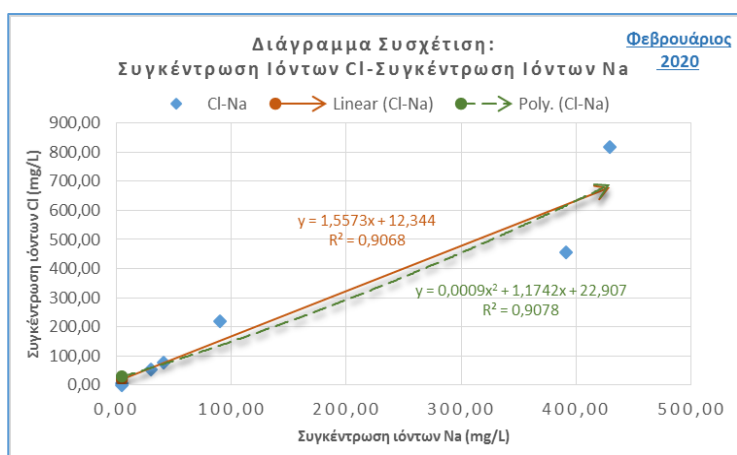


**Διάγραμμα 7.3.4.11:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)

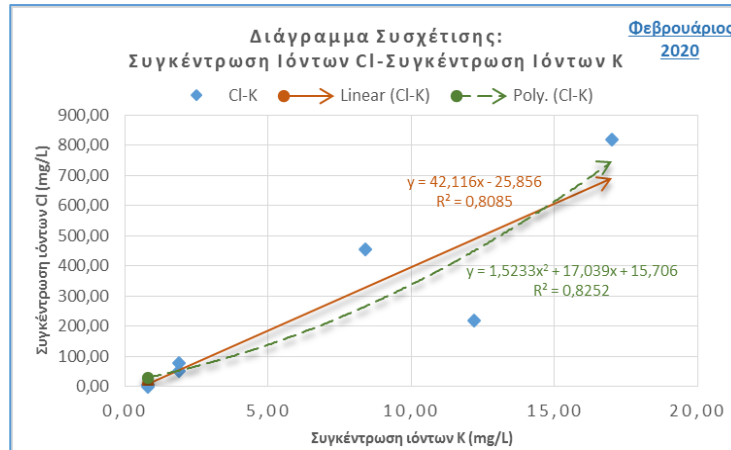


**Διάγραμμα 7.3.4.12:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)

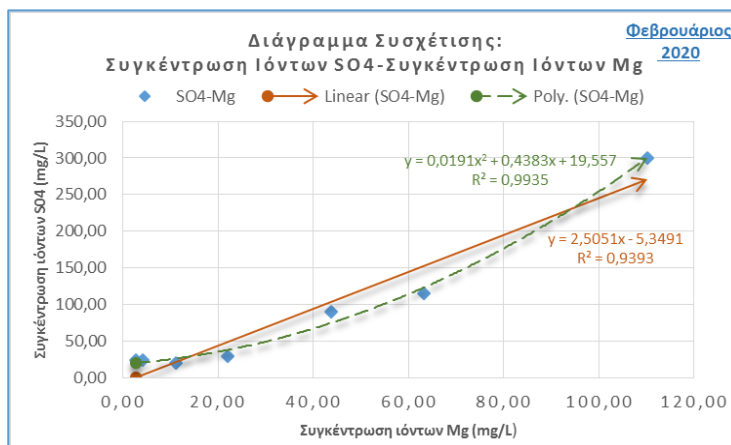
### 7.3.5 Παράθεση Διαγραμμάτων Συσχέτισης Έτους 2020



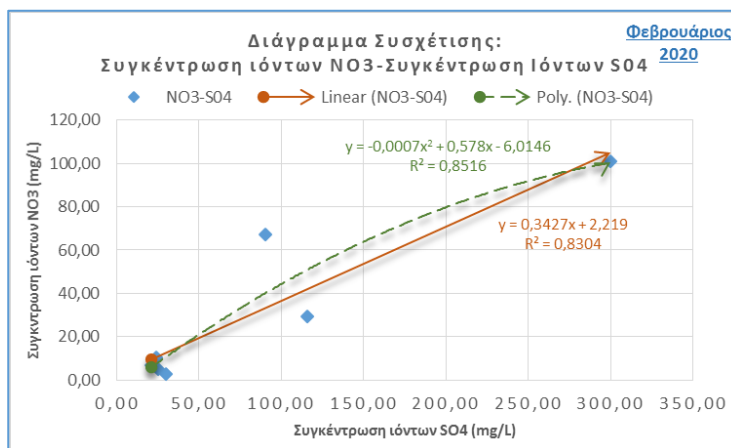
**Διάγραμμα 7.3.5.1:** Συσχέτιση συγκέντρωσης  $Na^+$  (mg/L) και  $Cl^-$  (mg/L)



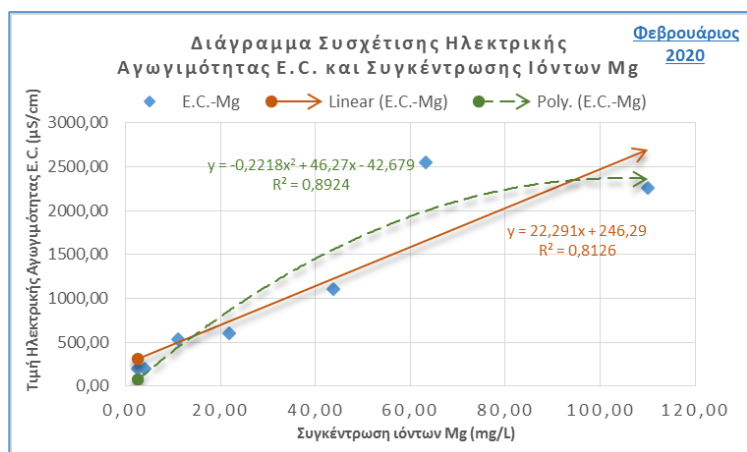
**Διάγραμμα 7.3.5.2:** Συσχέτιση συγκέντρωσης K<sup>+</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L)



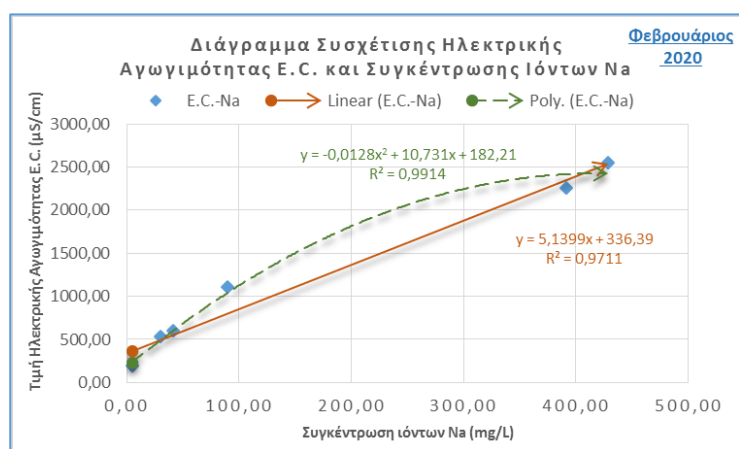
**Διάγραμμα 7.3.5.3:** Συσχέτιση συγκέντρωσης SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L) και Mg<sup>2+</sup> (mg/L)



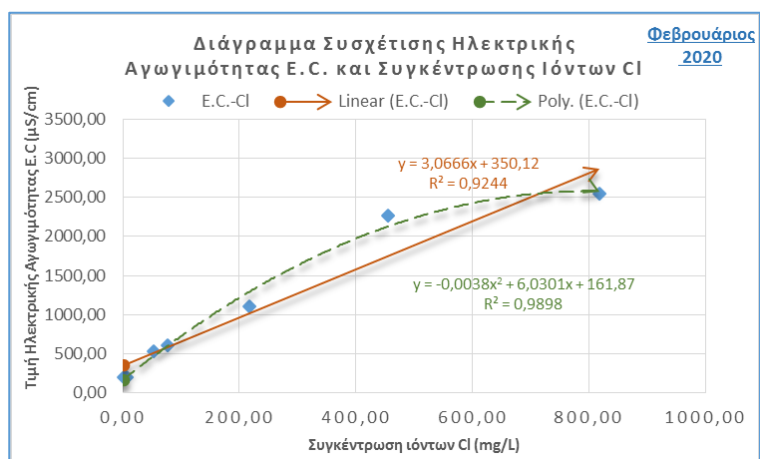
**Διάγραμμα 7.3.5.4:** Συσχέτιση συγκέντρωσης SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L) και NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)



**Διάγραμμα 7.3.5.5:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )



**Διάγραμμα 7.3.5.6:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )



**Διάγραμμα 7.3.5.7:** Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και συγκέντρωσης  $\text{Cl}^-$  ( $\text{mg}/\text{L}$ )

### 7.3.6 Συγκρίσεις Διαγραμμάτων 2001, 2011 και 2020

Ακολουθεί πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τις γραμμικές και πολυωνυμικές συσχετίσεις με τους αντίστοιχους συντελεστές συσχέτισης των ετών 2001, 2011 και 2020 με ζεύγη τα οποία ήταν κοινά στις αναφερόμενες χρονολογίες. Για λόγους σύγκρισης με τα ζεύγη  $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}$  των ετών 2001 και 2011, έχει υπολογιστεί η γραμμική και πολυωνυμική συσχέτιση του έτους 2020, παρά το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν  $r < 0,90$  και αυτές οι συσχετίσεις απεικονίζονται με χρώμα πορτοκαλί στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.3.6.1: Σύγκριση των συσχετίσεων και των συντελεστών τους, για τα τρία έτη

a/a	Συσχετισμοί	Γραμμική Συσχέτιση ( $R^2$ )						Συντελεστής Γραμμικής Συσχέτισης (R)					
		2001		2011		2020	2001		2011		2020		
		Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος		
1	$\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$	0,8560	0,8939	0,9167	1,0000	0,7947	0,9300	0,9500	0,9600	1,0000	0,8900		
2	$\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}$	0,9436	0,9410	0,8354	0,7671	0,5671	0,9700	0,9700	0,9100	0,8800	0,7500		
3	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	0,9256	0,9527	0,8618	0,7671	0,9068	0,9600	0,9800	0,9300	0,8800	0,9500		
4	$\text{E.C.} - \text{Mg}^{2+}$	0,9596	0,9717	0,8877	0,8597	0,8126	0,9800	0,9900	0,9400	0,9300	0,9000		
5	$\text{E.C.} - \text{Na}^+$	0,9404	0,9629	0,9019	0,8598	0,9711	0,9700	0,9800	0,9500	0,9300	0,9900		
6	$\text{E.C.} - \text{Cl}^-$	0,9865	0,9854	0,9710	0,9453	0,9244	0,9900	0,9900	0,9900	0,9700	0,9600		

(Συνέχεια Πίνακα 7.3.6.1)

a/a	Συσχετισμοί	Πολυωνυμική Συσχέτιση ( $R^2$ )						Συντελεστής Πολυωνυμικής Συσχέτισης (R)					
		2001		2011		2020	2001		2011		2020		
		Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος	Φεβρουάριος	Αύγουστος	Φεβρουάριος		
1	$\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$	0,8651	0,8939	0,9235	1,0000	0,8179	0,9301	0,9455	0,9610	1,0000	0,9044		
2	$\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}$	0,9466	0,9440	0,9238	0,9326	0,7351	0,9729	0,9716	0,9864	0,9857	0,8574		
3	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	0,9409	0,9576	0,8926	0,9326	0,9078	0,9700	0,9786	0,9448	0,9657	0,9827		
4	$\text{E.C.} - \text{Mg}^{2+}$	0,9569	0,9732	0,9119	0,9111	0,8476	0,9782	0,9865	0,9549	0,9545	0,9207		
5	$\text{E.C.} - \text{Na}^+$	0,9448	0,9673	0,9052	0,9111	0,9927	0,9720	0,9835	0,9514	0,9545	0,9963		
6	$\text{E.C.} - \text{Cl}^-$	0,9895	0,9856	0,9832	0,9737	0,9499	0,9947	0,9928	0,9916	0,9868	0,9746		

Συγκρίνοντας τα ανωτέρω παρατηρούνται τα εξής:

Όσον αφορά το συσχετισμό  $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$ , τόσο η γραμμική συσχέτιση, ο συντελεστής συσχέτισης, η πολυωνυμική συσχέτιση και ο συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές το έτος 2011. Υπάρχει δηλαδή μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ αυτών των στοιχείων το 2011 σε σχέση με το 2001 και το 2020. Το έτος 2020 λαμβάνει συγκριτικά τις μικρότερες συσχετίσεις, με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης  $r=0,89$  (με  $R^2=0,79$ ). Το έτος 2011, που λαμβάνει τις υψηλότερες τιμές, ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης για τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου, είναι  $r=0,96$  ( $R^2=0,92$ ) και για την περίοδο

Αυγούστου, είναι  $r=1$ . Το έτος 2001, ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης για τη περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου είναι  $r=0,93$  ( $R^2=0,86$ ) και για την περίοδο του Οκτωβρίου είναι  $r=0,95$  ( $R^2=0,89$ ).

Προκαλεί εντύπωση, το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης για τον Αύγουστο του 2011 λαμβάνει την τιμή 1, που σημαίνει ότι υπάρχει τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση όπου η αύξηση της μιας μεταβλητής αντιστοιχεί σε αύξηση της άλλης μεταβλητής, όπως επίσης και η γραμμική συσχέτιση έχει τιμή  $R^2=1$ . Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής προσδιορισμού, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα. Στην προκειμένη περίπτωση, φαίνεται ότι το 100% της διασποράς της μεταβλητής Y ερμηνεύεται από την μεταβλητή X, για τον Αύγουστο του 2011.

Όσον αφορά στο συσχετισμό  $Cl^- - Mg^{2+}$  η γραμμική συσχέτιση, ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης, η πολυωνυμική συσχέτιση και ο συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης για το 2001 λαμβάνουν υψηλές τιμές, υψηλότερες από το 2011 και 2020. Για το έτος 2001, ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι πολύ υψηλός με  $r=0,97$  και για τις δύο περιόδους και με  $R^2=0,94$ . Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της μίας μεταβλητής οδηγεί σε αύξηση της άλλης μεταβλητής. Ωστόσο ο συντελεστής συσχέτισης για τη γραμμική παλινδρόμηση, μειώνεται το 2011, όπου τον Αύγουστο αυτού του έτους έχει τιμή  $r=0,88$  ( $R^2=0,77$ ), από  $r=0,97$  που είχε το 2001 και για τον Φεβρουάριο του 2011 έχει τιμή  $r=0,91$  ( $R^2=0,83$ ). Το 2020 η τιμή είναι αρκετά χαμηλότερη με  $r=0,75$  ( $R^2=0,57$ ). Ίσως η μείωση αυτή να δείχνει κάποια μεταβολή στις συνθήκες της θαλάσσιας διείδυσης.

Στην πολυωνυμική συσχέτιση, δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στον συντελεστή πολυωνυμικής συσχέτισης, για τα τρία έτη. Το 2011 φαίνεται να υπάρχει καλύτερη συσχέτιση απ' ότι το 2001 και το 2020.

Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι συσχέτιση δεν σημαίνει αιτιότητα. Όταν σε μια μη πειραματική έρευνα (δειγματοληψία) δύο μεταβλητές X και Y βρίσκονται συσχετισμένες αυτό σημαίνει μόνο ότι οι μεταβλητές αυτές συνδέονται με κάποια σχέση. Δε συνεπάγεται, κατ' ανάγκη, αιτιότητα. Οι δύο μεταβλητές μπορεί βεβαία να συνδέονται με σχέση αιτιότητας, μπορεί όμως, και όχι. Μπορεί και οι δύο να επηρεάζονται από μία τρίτη μεταβλητή.

Όσον αφορά στο συσχετισμό  $Cl^- - Na^+$ , η γραμμική συσχέτιση  $R^2$  είναι πάρα πολύ καλή για το έτος 2001 (Ιούνιος-Ιούλιος:  $R^2=0,93$ , Οκτώβριος:  $R^2=0,95$ ), όπως και για το έτος 2020 ( $R^2=0,95$ ) και αρκετά χαμηλότερη για το 2011, με τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου να είναι  $R^2=0,86$  και τον Αύγουστο να είναι  $R^2=0,77$ . Σε σύγκριση με την πολυωνυμική συσχέτιση, οι

τιμές για το 2001 είναι περίπου ίδιες με αυτές της γραμμικής, ενώ για το 2011 οι τιμές είναι πολύ καλύτερες, με τον Φεβρουάριο να έχει πολυωνυμική συσχέτιση  $R^2=0,89$  και τον Αύγουστο  $R^2=0,93$ . Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης για τα έτη 2001 (Ιούνιος-Ιούλιος:  $r=0,96$ , Οκτώβριος:  $r=0,98$ ) και 2020 ( $r=0,95$ ) είναι πολύ καλός, δηλαδή υπάρχει ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση, όπου δείχνει, όπως έχει προαναφερθεί, ότι η αύξηση της μίας μεταβλητής αντιστοιχεί σε αύξηση και της άλλης. Χαμηλότερος συντελεστής γραμμικής συσχέτισης παρατηρείται για το 2011, με τον Αύγουστο αυτού του έτους να έχει τιμή  $r = 0,88$  και το Φεβρουάριο του ίδιου έτους να έχει τιμή  $r=93$ . Ο καλός συσχετισμός των ιόντων νατρίου και χλωρίου πιθανά να οφείλεται σε θαλάσσια διείδυση ή και σε διάλυση αλίτη.

Όσον αφορά στο συσχετισμό E.C.- $Mg^{2+}$ , η γραμμική συσχέτιση  $R^2$  είναι πάρα πολύ καλή για το έτος 2001 (Ιούνιος-Ιούλιος:  $R^2=0,96$ , Οκτώβριος:  $R^2=0,97$ ) και λιγότερο καλή το 2011 (Φεβρουάριος-Μάρτιος:  $R^2=0,89$ , Αύγουστος:  $R^2=0,86$ ) και 2020 ( $R^2=0,81$ ). Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης λαμβάνει τιμή  $r=0,98$  και  $r=0,99$  για τον Ιούνιο-Ιούλιο και Οκτώβριο αντίστοιχα, υπάρχει δηλαδή, πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση. Για το 2011 ο συντελεστής συσχέτισης είναι επίσης πολύ καλός και λαμβάνει τιμή  $r=0,94$  και  $r=0,93$  για τον Φεβρουάριο και Αύγουστο αντίστοιχα. Για το 2020 είναι  $r=0,90$ .

Όσον αφορά στο συσχετισμό E.C.- $Na^+$ , καλύτερη γραμμική συσχέτιση εντοπίζεται το 2020 ( $R^2=0,97$ ). Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης και για τα τρία έτη είναι πολύ καλός. Το 2020 ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι  $r=0,99$ , το 2011 είναι  $r=0,95$  ( $R^2=0,90$ ), για τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου και  $r=0,93$  ( $R^2=0,86$ ), για την περίοδο Αυγούστου και τέλος, για το 2001 είναι  $r=0,97$  ( $R^2=0,94$ ), για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου και  $r=0,99$  για την περίοδο του Οκτωβρίου ( $R^2=0,96$ ).

Όσον αφορά στο συσχετισμό E.C.- $Cl^-$ , ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ ισχυρός και για τα τρία έτη. Το 2020 ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι  $r=0,96$  ( $R^2=0,92$ ), το 2011 είναι  $r=0,99$  ( $R^2=0,97$ ), για τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου και  $r=0,97$  ( $R^2=0,94$ ), για την περίοδο Αυγούστου και τέλος, για το 2001 είναι  $r=0,99$  ( $R^2=0,99$ ), για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου και  $r=0,99$  ( $R^2=0,98$ ), για την περίοδο του Οκτωβρίου. Ο συσχετισμός μπορεί να υποδεικνύει θαλάσσια διείδυση. Επίσης η πολυωνυμική συσχέτιση και ο συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης, παρουσιάζουν υψηλές τιμές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το στατιστικό δείγμα για το 2020 είναι πολύ μικρό, με συνέπεια να επηρεάζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

## 8. Υδρογεωχημικές Εκτιμήσεις Υπόγειου Νερού

### 8.1 Εισαγωγή

Τα υπόγεια νερά είναι ένας πεπερασμένος φυσικός πόρος. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα των υδατικών πόρων, εξαιτίας της αδιάλειπτης αστικοποίησης, των μη σχεδιασμένων χρήσεων γης, της εκβιομηχάνισης των χωρών, της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού και της εντατικοποίησης των γεωργικών δραστηριοτήτων. Τα ανωτέρω, στο σύνολό τους, ενέχουν κίνδυνο ρύπανσης τόσο του εδάφους όσο και των υπόγειων νερών, τα οποία αυτό φιλοξενεί<sup>286</sup>. Ωστόσο, η ποιότητα των υπόγειων νερών επηρεάζεται και από φυσικές διεργασίες, όπως η ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η φύση του νερού τροφοδοσίας, τα επιφανειακά νερά και οι γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους υδροφορείς. Η τροφοδοσία και η ανάκτηση των υπόγειων νερών αποκτούν μείζονα σημασία στις άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές λόγω λειψυδρίας των επιφανειακών νερών, με εξαίρεση τις περιοχές που διαρρέονται από ποταμούς<sup>287</sup>. Το προαναφερθέν αναφέρεται στη λεκάνη της Αναβύσσου, τα υπόγεια νερά της οποίας επαναφορτίζονται από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από τη διαλειμματική εμφάνιση ρεμάτων κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους.

Παράκτιες περιοχές, όπως είναι η λεκάνη της Αναβύσσου, βρίσκονται στο σύνθετο και δυναμικό σύστημα διεπαφής μεταξύ ξηράς και θάλασσας<sup>288</sup>. Η περιβαλλοντική διαχείριση των περιοχών αυτών είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η σημερινή κοινωνία, σε παγκόσμιο επίπεδο, αφού η πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού επιθυμεί να ζήσει σε περιοχές πλησίον της θάλασσας<sup>289</sup>. Η ποιότητα των νερών αποτελεί ζωτικής σημασίας προτεραιότητα για την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Τέλος, οι εκτιμήσεις των υδατικών πόρων και η βιωσιμότητα αυτών είναι σημαντικά ζητήματα εφόσον έχουν αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία.

Συμπερασματικά οι παράκτιες περιοχές είναι ευάλωτες και επηρεάζονται από την ανάπτυξη του πληθυσμού, που έχει ως συνέπεια την εξάντληση των υπόγειων υδατικών

<sup>286</sup> Srinivasamoorthy et al., 2012, «Hydrochemistry of groundwater Sarabanga Minor Basin, Tamilnadu, India. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 2», σ. 193-203.

<sup>287</sup> Balatzi Etikala et. Al., 2019, «Factors controlling groundwater chemistry of Renigunta area, Chittoor District, Andhra Pradesh, South India: A multivariate statistical approach», σ. 57

<sup>288</sup> Holly A.Michael, Post, V, 2017, «Science, society, and the coastal groundwater squeeze» Water Resour. Res. <https://doi.org/10.1002/2017WR020851>.

<sup>289</sup> Saliha Najib et. Al., 2016, « Salinization process and coastal groundwater quality in Chaouia. Morocco.», σ.18.



αποθεμάτων και την εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα που οδηγούν σε υπεράντληση των υπόγειων αποθεμάτων και θέτουν σε κίνδυνο τα αποθέματα των υδροφορέων<sup>290</sup>.

Η κατανόηση του μηχανισμού ενός σύνθετου συστήματος υπόγειων νερών είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό των κυρίαρχων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα και των υδρογεωχημικών χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος <sup>291</sup> . Οι αλληλεπιδράσεις του νερού με το έδαφος και τα πετρώματα συνδέονται στενά με τη σύνθεση της κορεσμένης και ακόρεστης ζώνης μέσω ποικίλων γεωχημικών αντιδράσεων (διάλυση, καθίζηση, απορρόφηση, προσρόφηση, εκρόφηση, ιοντική ανταλλαγή, αντίστροφη ιοντική ανταλλαγή κ.α) που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού <sup>292</sup> . Επιπλέον, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός παράκτιου συστήματος υδροφορέων ελέγχονται και από τη διείσδυση του θαλασσινού ύδατος (SWI).

Θαλάσσια διείσδυση έχουμε όταν το θαλασσινό νερό μεταναστεύει στο γλυκό νερό. Αυτό το φαινόμενο κατηγοριοποιείται ως ενεργό ή παθητικό ανάλογα με το αν η υδραυλική κλίση κλίνει προς την ενδοχώρα ή τη θάλασσα αντίστοιχα<sup>293</sup>. Η διείσδυση του θαλασσινού νερού στα παράκτια συστήματα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες υποβαθμίσεις της ποιότητας των υπόγειων νερών παγκοσμίως, καθιστώντας τα, ακατάλληλα για υδρευτική ή αρδευτική χρήση<sup>294</sup>. Η υπερεκμετάλλευση υπόγειων νερών για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα ο οποίος προκαλεί θαλάσσια διείσδυση σε παράκτιες περιοχές<sup>295</sup>.

Η Ελλάδα είναι η Τρίτη χώρα στην Ευρώπη με τη μεγαλύτερη ακτογραμμή και τη μεγαλύτερη στη Μεσόγειο Θάλασσα, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι παράκτιοι υδροφορείς είναι ευάλωτοι στη θαλάσσια διείσδυση και την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών<sup>296</sup>. Η υπερεκμετάλλευση σε συνδυασμό με την έλλειψη κατάλληλων πρακτικών άρδευσης, μπορεί να οδηγήσει σε επιδείνωση της ποιότητάς τους.

---

<sup>290</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>291</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>292</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>293</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>294</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>295</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

<sup>296</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50.

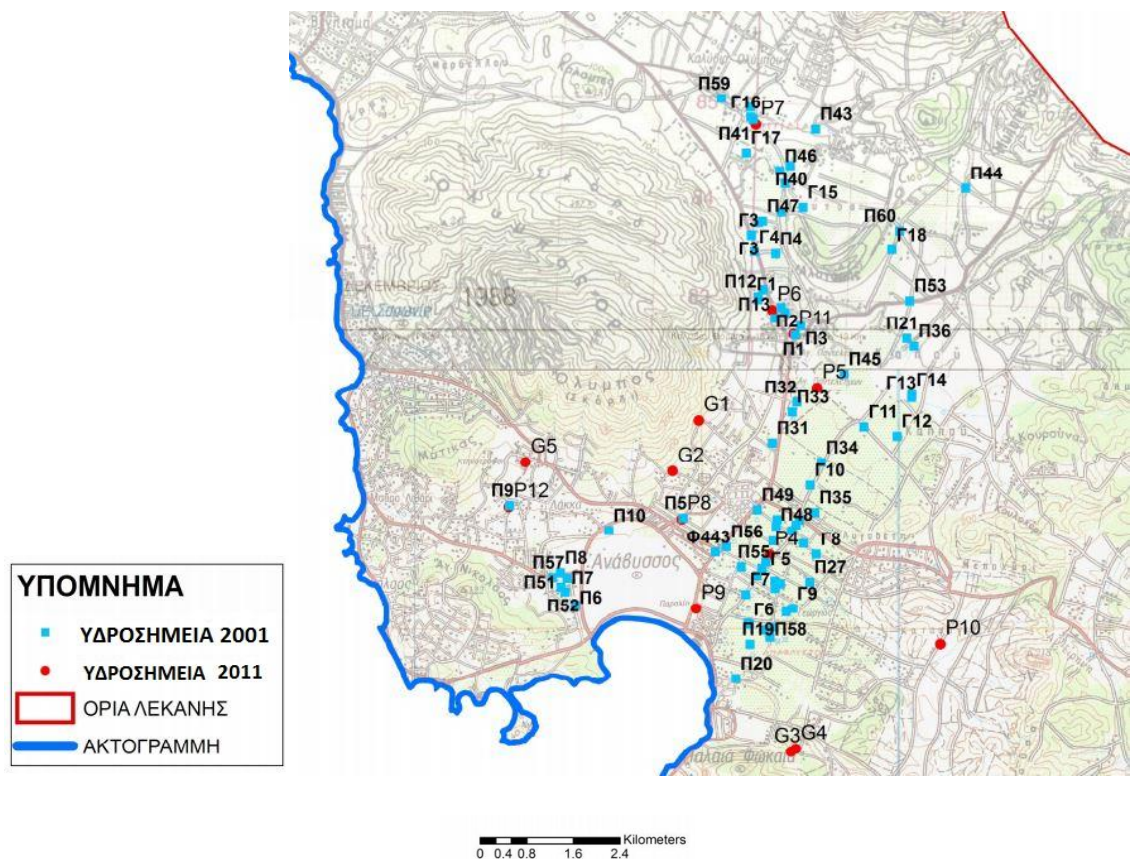
Η αξιολόγηση των διαδικασιών που ελέγχουν την ποιότητα των υπόγειων νερών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης του νερού<sup>297</sup>.

Κατωτέρω γίνεται μία διερεύνηση των κυρίαρχων υδρογεωχημικών διεργασιών που επηρεάζουν τον παράκτιο υδροφορέα της λεκάνης της Αναβύσσου.

## 8.2 Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2001

Το 2001 συλλέχθηκαν συνολικά 52 δείγματα από πηγάδια και γεωτρήσεις τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο και Οκτώβριο. Από το σύνολο των δειγμάτων τα 35 συλλέχθηκαν κατά τη περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου και τα 17 τον Οκτώβριο και τα οποία αντιστοιχούν σε ποσοστό 67,3% και 32,7% αντίστοιχα.

Στην κατωτέρω εικόνα παρουσιάζονται με μπλε τα υδροσημεία του 2001.



Εικόνα 8.2.1<sup>298</sup>: Παρουσίαση υδροσημείων μελέτης 2001 και 2011 (πηγή: Παρασκευή Αγγελακοπούλου, 2011)

<sup>297</sup> Ο.π.

<sup>298</sup> Επεξεργασμένος χάρτης από Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», σ. 197

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2001, από το σύνολο των δειγμάτων που αντιστοιχούν στο 67,3% προκύπτουν τα εξής:

- Το 42,3% έχει τιμή συγκέντρωσης μαγνησίου ( $Mg^{+2}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 36,5% έχει τιμή συγκέντρωσης νατρίου ( $Na^{+}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 200 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 19,2% έχει τιμή συγκέντρωσης καλίου ( $K^{+}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 67,3% έχει τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου ( $Ca^{+2}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 29% έχει τιμή συγκέντρωσης χλωρίου ( $Cl^{-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 53,8% έχει τιμή συγκέντρωσης νιτρικών ( $NO_3^{-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 26,9% έχει τιμή συγκέντρωσης θεικών ( $SO_4^{2-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περίοδο Οκτωβρίου 2001, από το σύνολο των δειγμάτων που αντιστοιχούν στο 32,7% προκύπτουν τα εξής:

- Το 21,2% έχει τιμή συγκέντρωσης μαγνησίου ( $Mg^{+2}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 19,2% έχει τιμή συγκέντρωσης νατρίου ( $Na^{+}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 150 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 9,6% έχει τιμή συγκέντρωσης καλίου ( $K^{+}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 32,7% έχει τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου ( $Ca^{+2}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 13,5% έχει τιμή συγκέντρωσης χλωρίου ( $Cl^{-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 19,2% έχει τιμή συγκέντρωσης νιτρικών ( $NO_3^{-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

- Το 7,7% έχει τιμή συγκέντρωσης θεικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

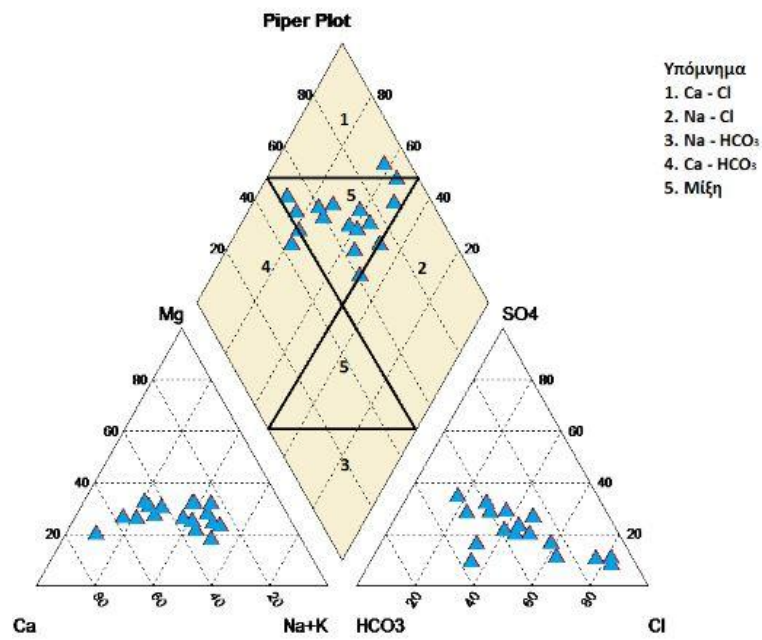
Εκείνο που παρατηρείται, σύμφωνα με τα ανωτέρω, είναι ότι τον Ιούνιο-Ιούλιο τα δείγματα που παρουσιάζουν υπερβάσεις των ορίων ποσιμότητας είναι γενικά περισσότερα σε σχέση με αυτά του Οκτωβρίου. Ιδιαίτερα το μαγνήσιο αλλά και το νάτριο στα περισσότερα δείγματα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (σύνολο δειγματοληψιών) παρουσιάζουν σφάλμα ισοζυγίου (%) εντός  $\pm 10\%$ .

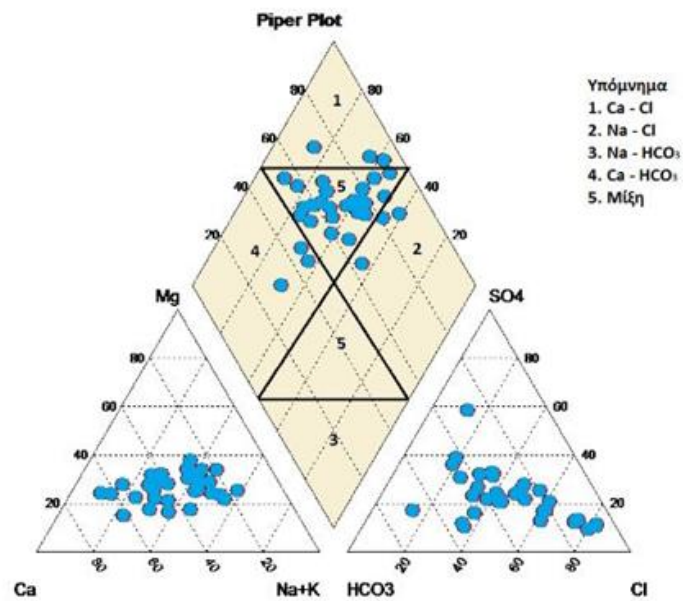
Για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου, από τα κύρια κατιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 234,27 mg/L και στη συνέχεια το ασβέστιο με μέση τιμή 164,67 mg/L. Από τα ανιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα χλώρια με μέση τιμή 508,36 mg/L και στη συνέχεια η οξυανθρακική ρίζα με μέση τιμή 344,78 mg/L.

Για την περίοδο του Οκτωβρίου, από τα κύρια κατιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 242,82 mg/L και στη συνέχεια το ασβέστιο με μέση τιμή 172,80 mg/L. Από τα ανιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το χλώριο με μέση τιμή 552,53 mg/L και στη συνέχεια η οξυανθρακική ρίζα με μέση τιμή 376,48 mg/L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper παρατηρείται η υδροχημική φάση του δείγματος, η οποία δίνεται και για τις δύο περιόδους στην κατωτέρω εικόνα.



(a)



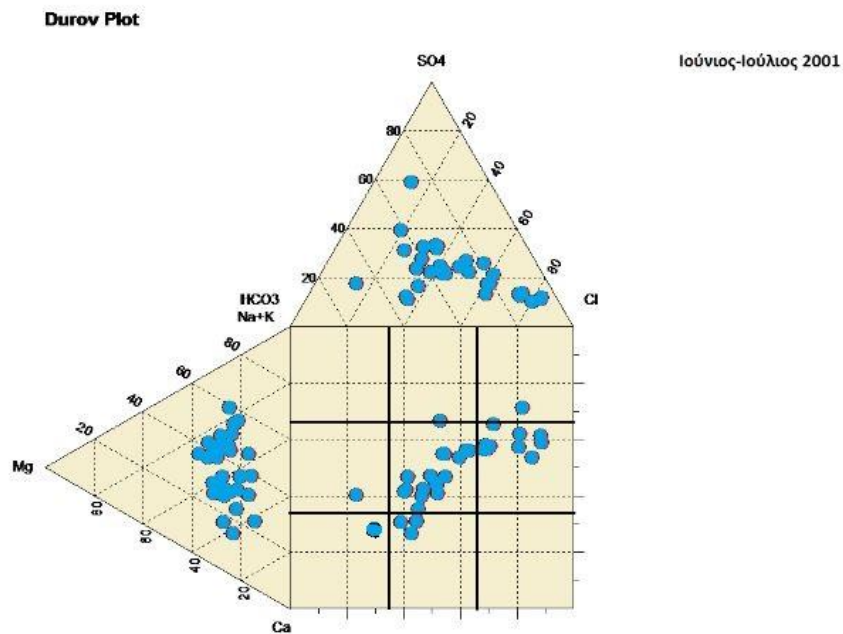
(b)

Εικόνα 8.2.2: Διάγραμμα Piper για την περίοδο (a) Οκτωβρίου 2001 και (b) Ιουνίου-Ιουλίου 2001

Παρατηρείται ότι για την περίοδο Οκτωβρίου 2001 τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται εντός του πεδίου 5 που αντιπροσωπεύει μεικτά νερά, ενώ από ένα δείγμα υπάρχει στο πεδίο 1 και 4 που αντιστοιχούν σε Ca-Cl και Ca-HCO<sub>3</sub>.

Παρατηρείται ότι για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2001 τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται εντός του πεδίου 5 που αντιπροσωπεύει μεικτά νερά, ενώ ελάχιστα εντοπίζονται στα πεδία 1, 4, 2 που αντιστοιχούν σε Ca-Cl, Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl αντίστοιχα.

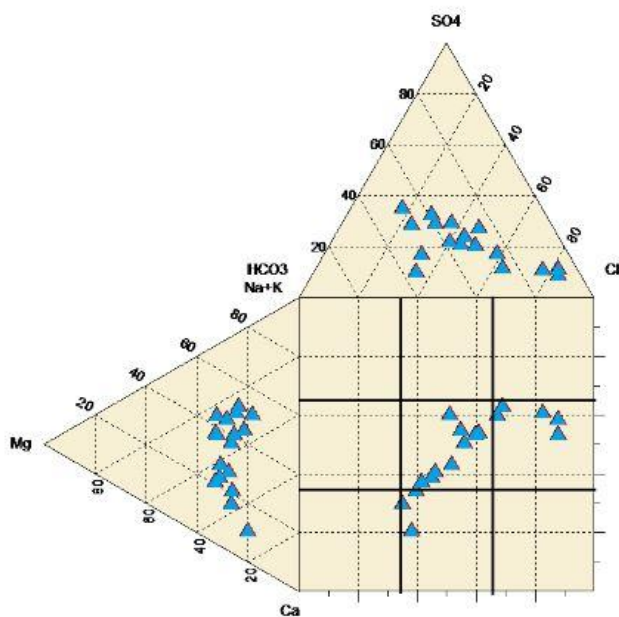
Χρησιμοποιείται το διάγραμμα Durov για την κατηγοριοποίηση του ύδατος και των διάφορων υδροχημικών διαδικασιών, βάσει των οποίων θα παρατεθεί κατωτέρω, πληθώρα διαγραμμάτων με σκοπό την εξαγωγή λεπτομερέστερων και ακριβέστερων συμπερασμάτων για τη χημεία του νερού.



(a)

**Durov Plot**

Οκτώβριος 2001



(β)

Διάγραμμα 8.2.3: (α) Διάγραμμα Durov – περίοδος Ιουνίου-Ιουλίου 2001, (β) Διάγραμμα Durov – περίοδος Οκτωβρίου 2001

### 8.2.1 Ιοντικοί Λόγοι 2001

Οι ιοντικές αναλογίες παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τα υπόγεια νερά, τη χημεία και την προέλευση των διαλυμάτων. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των ιοντικών λόγων, μαζί με τους αντίστοιχους ιοντικούς λόγους του θαλασσινού και γλυκού νερού για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 8.2.1.1: Στατιστικά στοιχεία ιοντικών λόγων (meq/L) για τη λεκάνη της Αναβύσσου (α) για τη περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου 2001 και (β) για την περίοδο Οκτωβρίου 2001.

	Stdev	Min	Max	Median	Average	Θαλασσινό νερό	Γλυκό νερό
$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	0,3	0,2	1,5	0,8	0,8	< 1	-
$Na^+/Cl^-$	0,4	0,4	2,6	0,9	0,9	< 0,86	0,86 - 1
$Cl^-/SO_4^{2-}$	2,3	0,2	8,6	2,0	2,8	9,0	1 - 2.
$Cl^-/HCO_3^-$	2,8	0,2	12,7	1,1	2,4	> 0,5	< 0,5

(α)

	Stdev	Min	Max	Median	Average	Θαλασσινό νερό	Γλυκό νερό
$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	0,3	0,3	1,4	0,7	0,8	< 1	-
$Na^+/Cl^-$	0,2	0,5	1,3	0,8	0,8	< 0,86	0,86 - 1
$Cl^-/SO_4^{2-}$	2,6	0,5	9,5	2,0	3,1	9,0	1 - 2.
$Cl^-/HCO_3^-$	3,5	0,4	11,7	1,2	2,7	> 0,5	< 0,5

(b)

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου, ο λόγος  $Na^+/Cl^-$  δεν δείχνει κάποιο ιδιαίτερο αποτέλεσμα, όσον αφορά τη διείσδυση του θαλασσινού νερού, ο λόγος  $Cl^-/SO_4^{2-}$  δείχνει στη μέγιστη τιμή του υφαλμύρωση του υδροφορέα όπως και ο λόγος  $Cl^-/HCO_3^-$ . Ο λόγος  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  δείχνει μία πιθανή τάση υφαλμύρωσης.

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για την περίοδο του Οκτωβρίου, ο λόγος  $Na^+/Cl^-$  δείχνει τάση υφαλμύρωσης, ο λόγος  $Cl^-/SO_4^{2-}$  δείχνει στη μέγιστη τιμή του υφαλμύρωση του υδροφορέα, ο λόγος  $Cl^-/HCO_3^-$  δείχνει επίσης υφαλμύρωση. Ο λόγος  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων, στο σύνολό τους, δείχνουν είτε αυξημένη αλατότητα, είτε μία τάση αύξησης της αλατότητας.

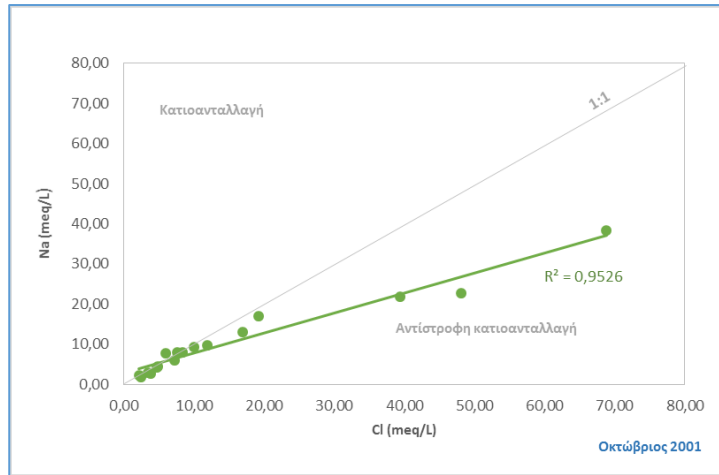
### 8.2.2 Υδροχημικές Διεργασίες 2001

Με βάση τις συγκεντρώσεις των ιόντων, που προσδιορίστηκαν μέσω υδροχημικών αναλύσεων στα δείγματα υδατικού διαλύματος, μπορούν να εξαχθούν διάφορες πληροφορίες για την προέλευση αυτών στα υπόγεια νερά. Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιόντων έχει πραγματοποιηθεί με διαγράμματα διασποράς που απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ των διαλυμένων συστατικών των υπόγειων νερών και παρέχει σημαντικές ενδείξεις για την πιθανή υδροχημική διαδικασία μέσω της οποίας έχει προκύψει η παρούσα χημεία των υπόγειων νερών<sup>299</sup>.

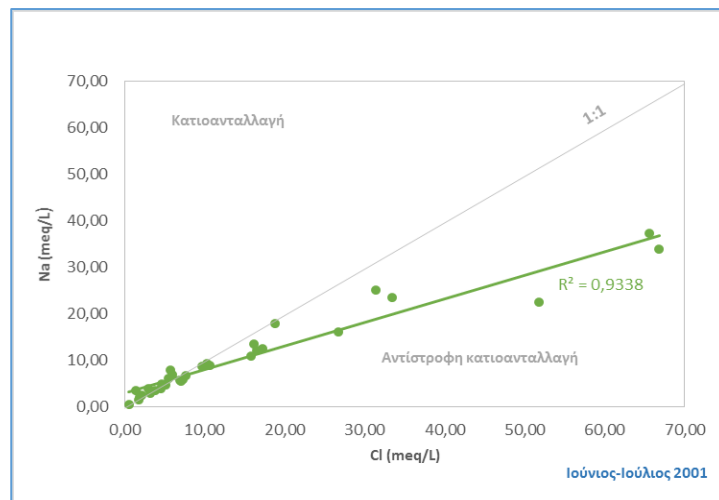
Κατωτέρω παρατίθενται διαγράμματα διασποράς, η επεξήγηση των οποίων θα ακολουθήσει μετέπειτα.

<sup>299</sup> Jawed Akhtar et. Al., 2019, «Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 39

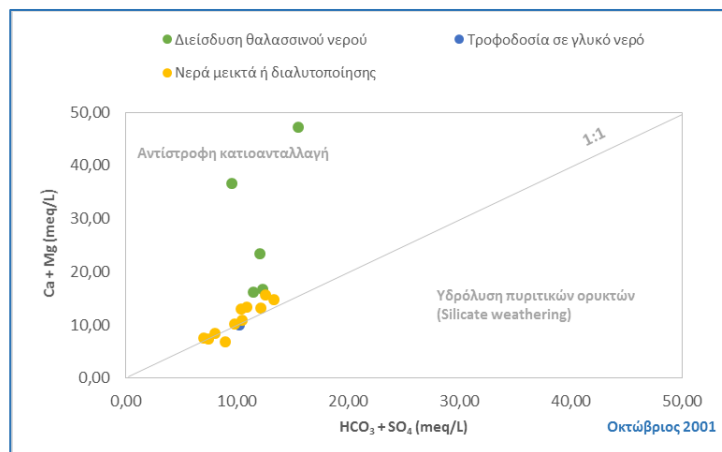




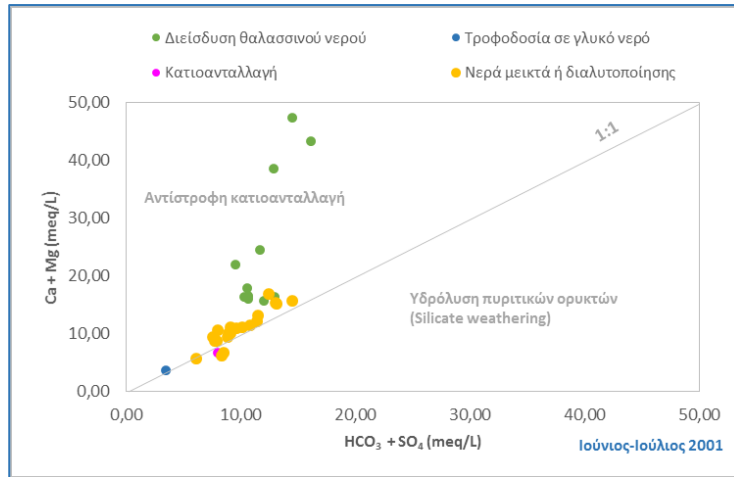
Διάγραμμα 8.2.2.1: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Na}^+$  (meq/L) και  $\text{Cl}^-$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



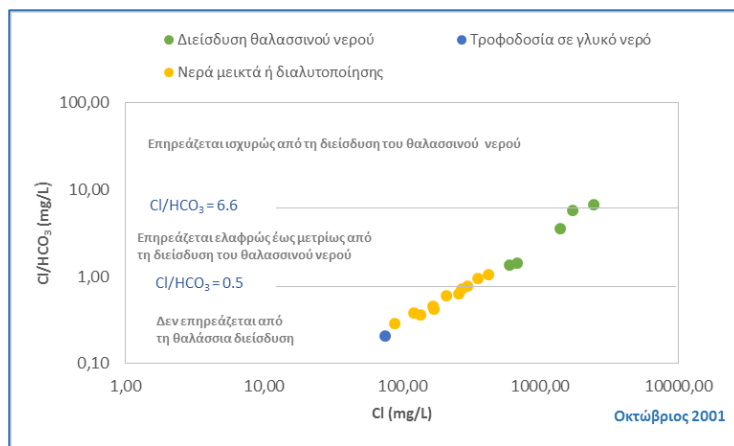
Διάγραμμα 8.2.2.2: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Na}^+$  (meq/L) και  $\text{Cl}^-$  (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



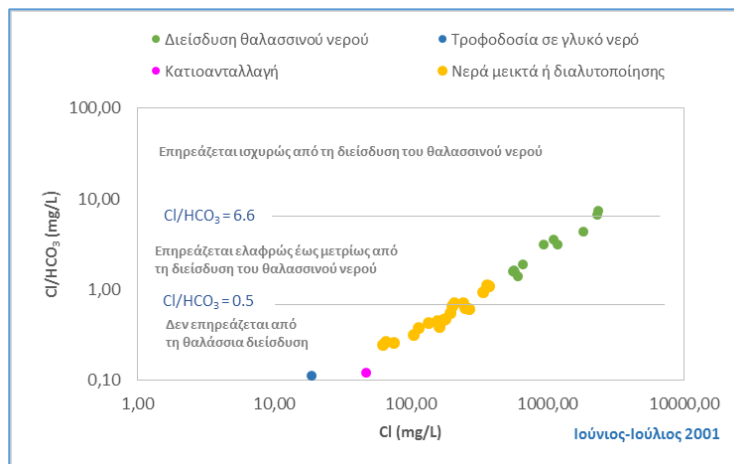
Διάγραμμα 8.2.2.3: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  (meq/L) και  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



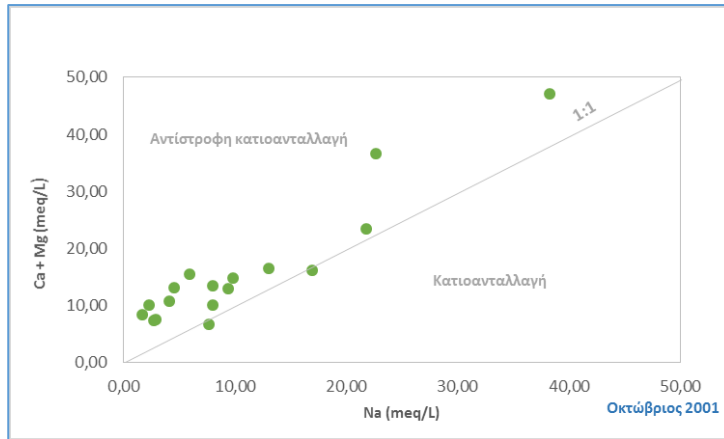
**Διάγραμμα 8.2.2.4:** Διάγραμμα διασποράς Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> (meq/L) και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



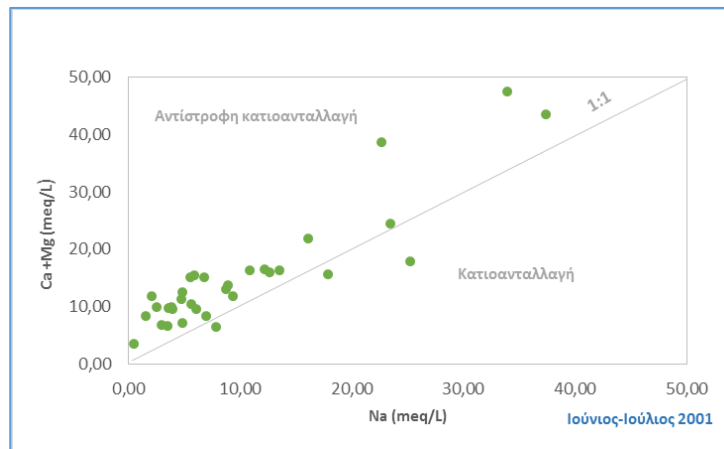
**Διάγραμμα 8.2.2.5:** Διάγραμμα διασποράς Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L) για τον Οκτώβριο του 2001



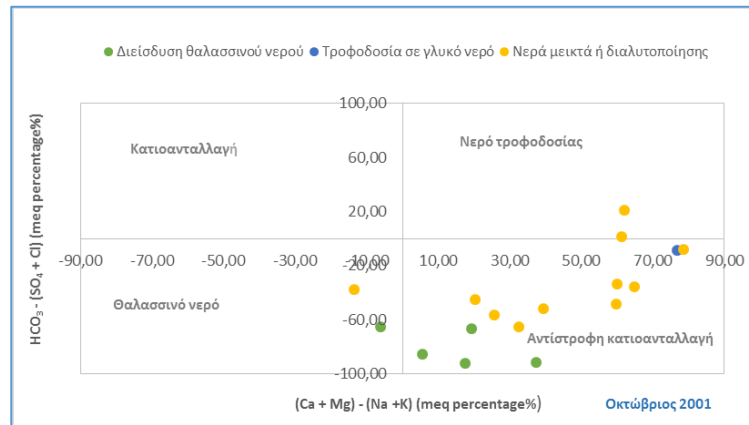
**Διάγραμμα 8.2.2.6:** Διάγραμμα διασποράς Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



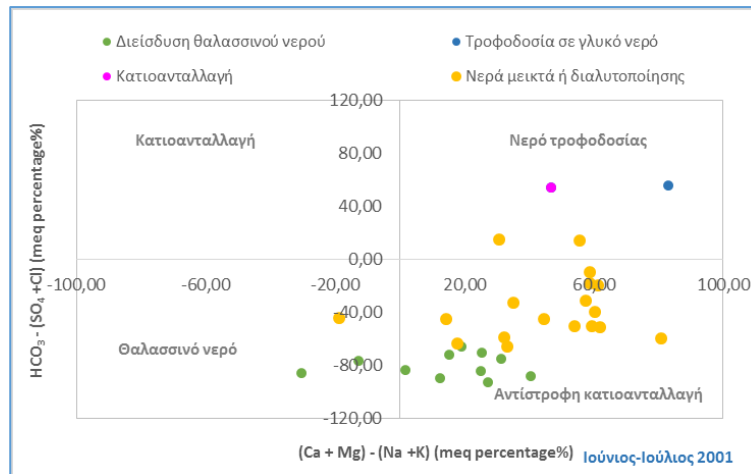
Διάγραμμα 8.2.2.7: Διάγραμμα διασποράς  $Ca^{+2}+Mg^{+2}$  (meq/L) και  $Na^{+}$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



Διάγραμμα 8.2.2.8: Διάγραμμα διασποράς  $Ca^{+2}+Mg^{+2}$  (meq/L) και  $Na^{+}$  (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



Διάγραμμα 8.2.2.9: Διάγραμμα διασποράς  $HCO_3^- - (SO_4^{2-} + Cl^-)$  (meq percentage%) και  $(Ca^{+2} + Mg^{+2}) - (Na^{+} + K^{+})$  (meq percentage%) για τον Οκτώβριο του 2001



**Διάγραμμα 8.2.2.10:** Διάγραμμα διασποράς  $\text{HCO}_3^- - (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$  (meq percentage%) και  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  (meq percentage%) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001

Όσον αφορά στα διαγράμματα διασποράς 8.2.2.1 και 8.2.2.2 παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους, τον Οκτώβριο αλλά και τον Ιούνιο-Ιούλιο τα δείγματα νερού έχουν περισσότερα ιόντα χλωρίου απ’ ότι νατρίου, αν και τα περισσότερα βρίσκονται επί ή πλησίον της αναλογίας 1:1. Τα δείγματα που βρίσκονται κάτω από την αναλογία 1:1 υφίστανται τις διεργασίες της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Για τα δείγματα που βρίσκονται επί της αναλογίας 1:1 σημαίνει ότι λαμβάνει χώρα διάλυση αλίτη<sup>300</sup>. Επίσης και για τις δύο περιόδους ο συντελεστής συσχέτισης είναι θετικός και πάρα πολύ υψηλός, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει κοινή προέλευση των ιόντων νατρίου και χλωρίου.

Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.2.2.3 και 8.2.2.4, έχει γίνει μια αρχική κατηγοριοποίηση του νερού με βάση το διάγραμμα Durov, όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους, τα περισσότερα δείγματα απεικονίζονται πάνω ή πλησίον της αναλογίας 1:1. Ωστόσο το ποσοστό των δειγμάτων που απομακρύνονται από την αναλογία 1:1 αυξάνει κατά την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου με περίσσεια σε ασβέστιο και μαγνήσιο ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ) δείχνοντας έτσι διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων ή και αντίστροφη κατιοανταλλαγή<sup>301</sup>. Σε αντίθετη περίπτωση υποδεικνύουν ότι υπάρχει υδρόλυση πυριτικών αλάτων<sup>302</sup>. Σύμφωνα με τα ανωτέρω φαίνεται ότι κυρίαρχη διεργασία μάλλον είναι η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων ή και αντίστροφη κατιοανταλλαγή για τις δύο περιόδους.

<sup>300</sup> Chukwuma N. Mgbenu, et. Al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria», σ. 22

<sup>301</sup> Faisal K. Zaidi et. Al., 2015, «Reverse ion exchange as a major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: a case study from northwestern Saudi Arabia», σ. 9

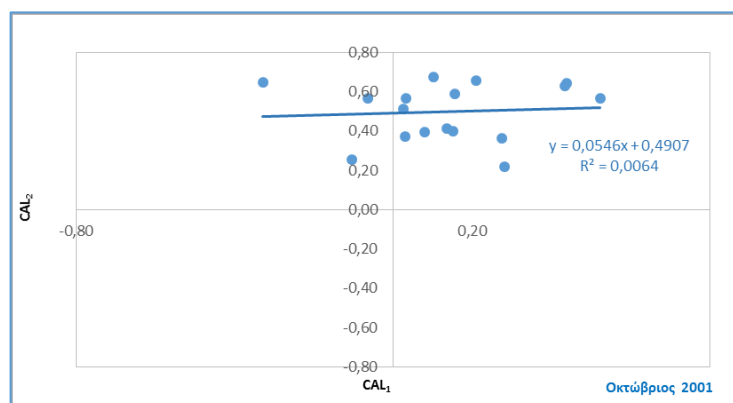
<sup>302</sup> Faisal K. Zaidi et. Al., 2015, «Reverse ion exchange as a major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: a case study from northwestern Saudi Arabia», σ. 9

Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.2.2.5 και 8.2.2.6 μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τη διείσδυση του θαλασσινού ύδατος στα υπόγεια νερά. Όταν οι τιμές της ιοντικής αναλογίας  $Cl/HCO_3$  είναι από 0 έως 0,5, υποδεικνύει ότι τα δείγματα του υπόγειου ύδατος είναι ανεπηρέαστα από το θαλασσινό νερό. Όταν η ιοντική αναλογία παίρνει τιμές από 0,5 έως 6,6, τότε τα δείγματα επηρεάζονται ελαφρώς έως μετρίως από το θαλασσινό νερό. Τέλος, όταν έχουν τιμή πάνω από 6,6, τότε επηρεάζονται ισχυρώς από το θαλασσινό νερό. Παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους ένα ή δύο δείγματα είναι ισχυρώς επηρεασμένα από το θαλασσινό νερό. Η πλειοψηφία των δειγμάτων για την περίοδο του Οκτωβρίου φαίνεται να μην επηρεάζεται από τη θαλάσσια διείσδυση, εφόσον βρίσκεται κάτω από την αναλογία 0,5. Την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου περισσότερα δείγματα φαίνεται να είναι επηρεασμένα από το θαλασσινό νερό. Τα αποτελέσματα γενικά συμπίπτουν και με την κατηγοριοποίηση που έγινε με το διάγραμμα Durov, αφού τα δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στη τροφοδοσία με γλυκό νερό βρίσκονται κάτω από την αναλογία 0,5 και τα δείγματα που αντιστοιχούν στην διείσδυση θαλασσινού ύδατος βρίσκονται μεταξύ της αναλογίας 0,5 και 6,6, που σημαίνει ότι επηρεάζονται μετρίως από το θαλασσινό νερό.

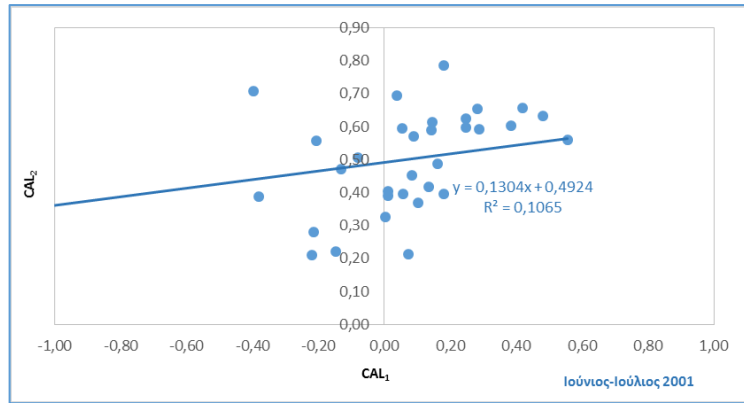
Όσον αφορά στα διαγράμματα διασποράς 8.2.2.7 και 8.2.2.8, αυτά δείχνουν ότι τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου απελευθερώνονται κυρίως μέσω της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Ωστόσο τα δείγματα παραμένουν γενικά κοντά στην αναλογία 1:1.

Όσον αφορά τα διαγράμματα 8.2.2.9 και 8.2.2.10, αυτά αντικατοπτρίζουν ότι έχει ειπωθεί ανωτέρω. Παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους έχουμε επικράτηση της αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

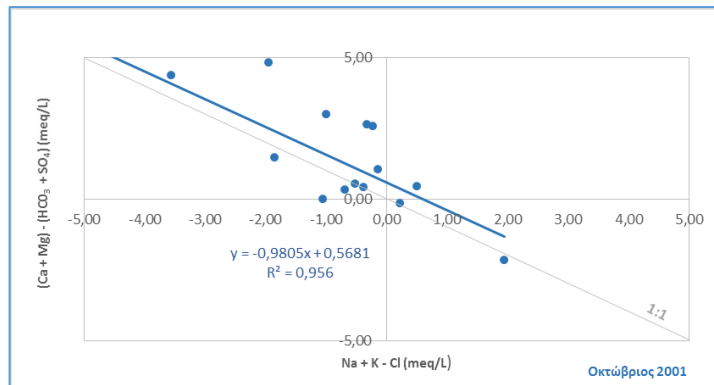
Κατωτέρω ακολουθούν περισσότερα διαγράμματα διασποράς, με σκοπό να καθοριστεί ακριβέστερα η διεργασία η οποία ελέγχει τη χημεία του υπόγειου ύδατος.



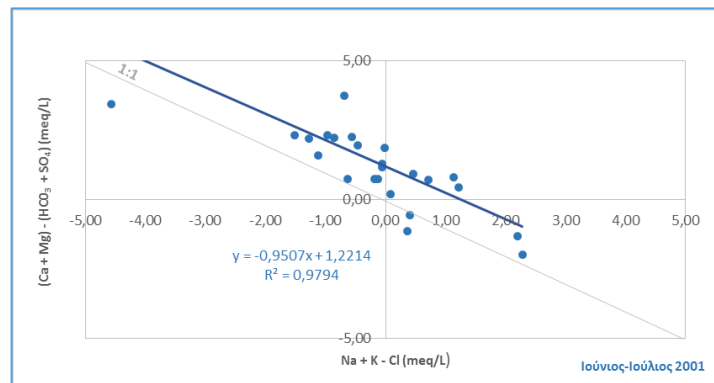
**Διάγραμμα 8.2.2.11:** Διάγραμμα χλωροαλκαλικών δεικτών CAL<sub>2</sub> και CAL<sub>1</sub> για τον Οκτώβριο του 2001



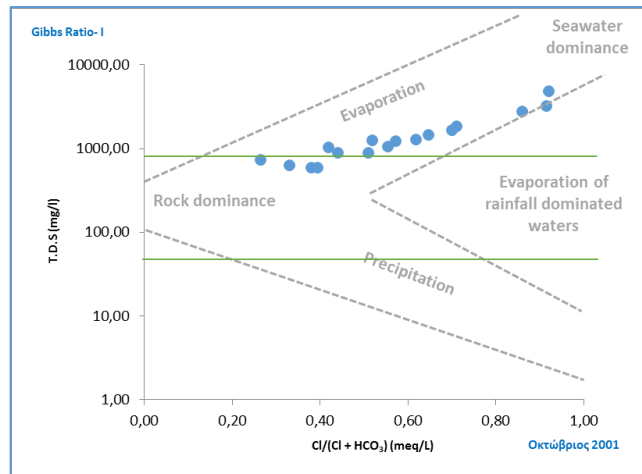
**Διάγραμμα 8.2.2.12:** Διάγραμμα χλωροαλκαλικών δεικτών  $CAL_2$  και  $CAL_1$  για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



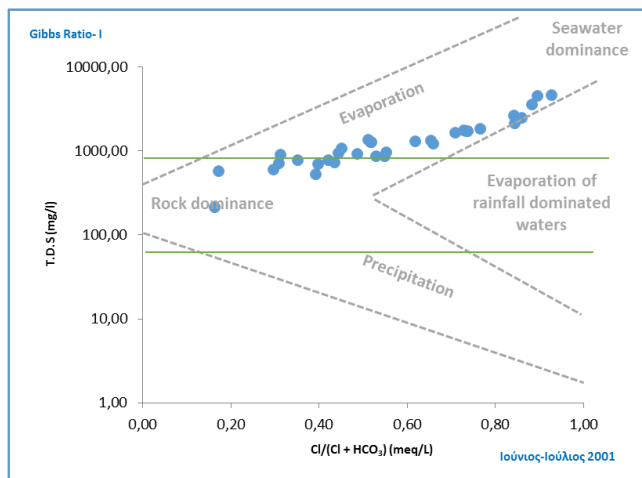
**Διάγραμμα 8.2.2.13:** Διάγραμμα διασποράς  $(Ca^{2+}+Mg^{2+})-(HCO_3^- + SO_4^{2-})$  (meq/L) και  $Na^++K^+ - Cl^-$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



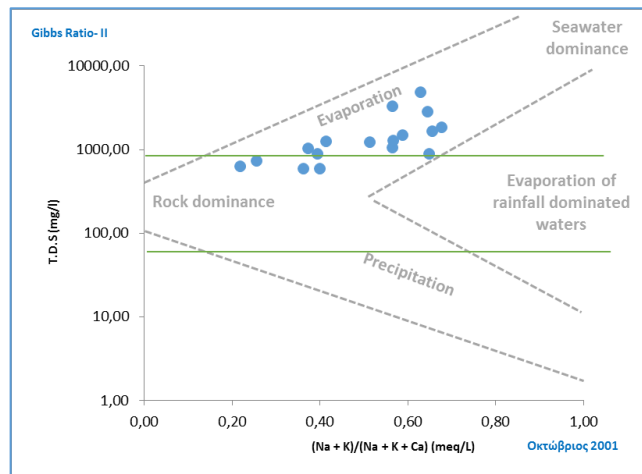
**Διάγραμμα 8.2.2.14:** Διάγραμμα διασποράς  $(Ca^{2+}+Mg^{2+})-(HCO_3^- + SO_4^{2-})$  (meq/L) και  $Na^++K^+ - Cl^-$  (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



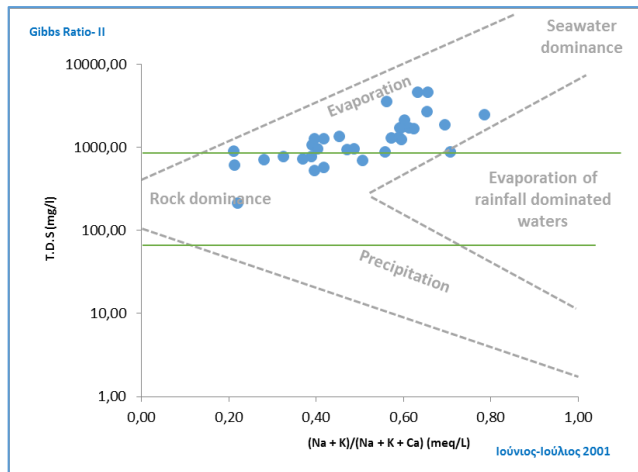
Διάγραμμα 8.2.2.15: Διάγραμμα Gibbs Ratio I T.D.S (meq/L) και  $Cl/(Cl + HCO_3^-)$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



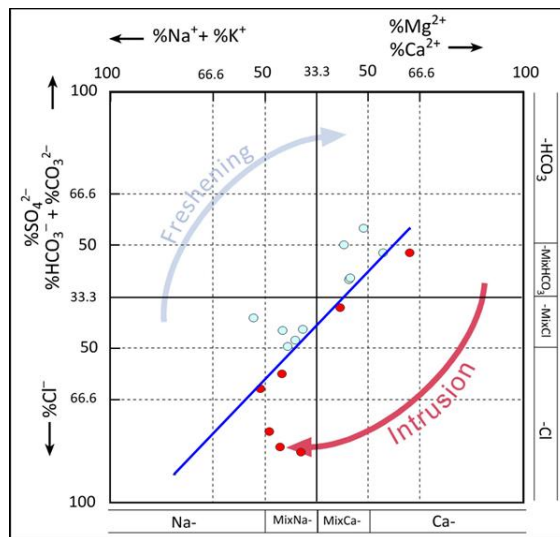
Διάγραμμα 8.2.2.16: Διάγραμμα Gibbs Ratio I T.D.S (meq/L) και  $Cl/(Cl + HCO_3^-)$  (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



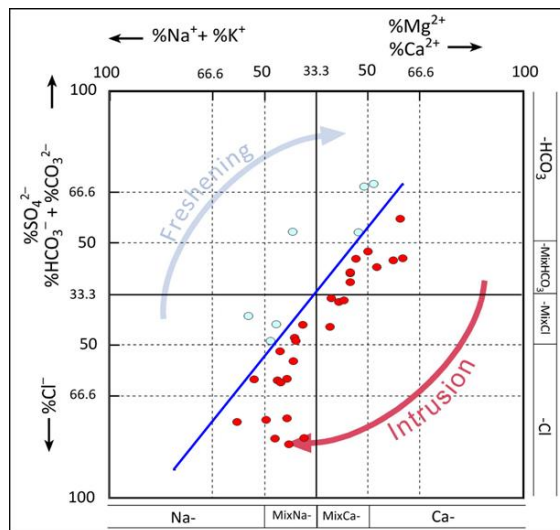
Διάγραμμα 8.2.2.17: Διάγραμμα Gibbs Ratio II T.D.S (meq/L) και  $(Na^+ + K^+) / (Na^+ + K^+ + Ca^{+2})$  (meq/L) για τον Οκτώβριο του 2001



Διάγραμμα 8.2.2.18: Διάγραμμα Gibbs Ratio II T.D.S (meq/L) και  $(Na^+ + K^+) / (Na^+ + K^+ + Ca^{2+})$  (meq/L) για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



Διάγραμμα 8.2.2.19: Διάγραμμα HFE-D για τον Οκτώβριο του 2001



Διάγραμμα 8.2.2.20: Διάγραμμα HFE-D για τον Ιούνιο-Ιούλιο του 2001



Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.2.2.11 και 8.2.2.12, αυτά χρησιμοποιούν τους χλωροαλκαλικούς δείκτες, με τους οποίους μπορεί να αναγνωριστεί η διεργασία της ιοντικής ανταλλαγής, κάτι που έχει χρησιμοποιηθεί από αρκετούς ερευνητές<sup>303</sup>. Οι εξισώσεις που δίνουν τους δείκτες αυτούς είναι οι κατωτέρω:

$$(CAI) 1 = (Cl - (Na + K))/Cl \text{ και } (CAI) 2 = (Cl - (Na + K))/(SO_4 + HCO_3 + NO_3)^{304}$$

Εάν ο λόγος CAI είναι αρνητικός θα έχουμε ανταλλαγή ιόντων Na, K με Ca, Mg στο υπόγειο νερό. Εάν ο λόγος είναι θετικός η ανταλλαγή θα είναι αντίστροφη, δηλαδή θα έχουμε ανταλλαγή ιόντων Ca και Mg με Na και K<sup>305</sup>. Σύμφωνα με τα ανωτέρω διαγράμματα φαίνεται ότι τα περισσότερα δείγματα και για τις δύο περιόδους έχουν θετικούς και τους δύο δείκτες. Αυτό σημαίνει ότι η αντίστροφη κατιοανταλλαγή είναι η κύρια διεργασία.

Από τα διαγράμματα 8.2.2.13 και 8.2.2.14 συμπεραίνουμε τα εξής: Εάν η ιοντική ανταλλαγή είναι η μόνη διαδικασία, τότε η γραμμική συσχέτιση θα πρέπει να είναι αρνητική. Και για τις δύο περιόδους η γραμμική συσχέτιση είναι αρνητική, ωστόσο σχεδόν όλα τα δείγματα είναι αρκετά απομακρυσμένα από την ευθεία της γραμμικής συσχέτισης, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει και άλλος παράγοντας εκτός της αντίστροφης κατιοανταλλαγής που οδηγεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις των ιόντων<sup>306</sup>.

Όσον αφορά στα διαγράμματα Gibbs 8.2.2.15, 8.2.2.16, 8.2.2.17 και 8.2.2.18, αυτά χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστεί ο μηχανισμός που ελέγχει την χημεία των υπόγειων νερών. Στα διαγράμματα έχουμε 3 γεωχημικά πεδία που αντιστοιχούν στην εξάτμιση ως κυρίαρχου μηχανισμού, στην αλληλεπίδραση των πετρωμάτων με το νερό ως κυρίαρχου μηχανισμού και στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ως κυρίαρχου μηχανισμού ελέγχου της χημείας των υπόγειων νερών. Για τον μήνα Οκτώβρη τα διαγράμματα απεικονίζουν τα δείγματα στο πεδίο κυρίως της εξάτμισης, με επίδραση ίσως του θαλάσσιου νερού. Παρόμοια φαίνεται να είναι η κατάσταση και για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου αλλά κάπως εντονότερη, όσον αφορά στη διεύδυση του θαλάσσιου νερού στον υδροφορέα. Ελάχιστα δείγματα εντοπίζονται και στο πεδίο όπου έχουμε την αλληλεπίδραση πετρώματος και νερού. Σε παράκτιες περιοχές, η εξάτμιση προκαλεί αύξηση της αλατότητας, αυξάνοντας τα ιόντα

<sup>303</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 55

<sup>304</sup> Balatzi Etikala et. Al., 2019, «Factors controlling groundwater chemistry of Renigunta area, Chittoor District, Andhra Pradesh, South India: A multivariate statistical approach», σ. 61

<sup>305</sup> Balatzi Etikala et. Al., 2019, «Factors controlling groundwater chemistry of Renigunta area, Chittoor District, Andhra Pradesh, South India: A multivariate statistical approach», σ. 61

<sup>306</sup> Jawed Akhtar Ansari et. Al., 2019, «Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 40

νατρίου και χλωρίου και την αύξηση των διαλυμένων αλάτων στο νερό<sup>307</sup>. Ακόμη, τα γεωργικά λιπάσματα και η επιστρεφόμενη «αρδευτική» ροή, επίσης επηρεάζουν την εξάτμιση με την αύξηση των ιόντων νατρίου και χλωρίου και άρα τα συνολικά διαλυμένα άλατα στα υπόγεια νερά<sup>308</sup>. Το νερό της επιστρεφόμενης «αρδευτικής» ροής έχει τριπλάσια μέχρι και δεκαπλάσια συγκέντρωση αλάτων, σε σχέση με την συγκέντρωση αλάτων του νερού που χρησιμοποιήθηκε στην άρδευση.

Τέλος, έχουμε τα διαγράμματα 8.2.2.19 και 8.2.2.20. Ονομάζονται Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό επηρεασμού της αλατότητας των υπόγειων υδροφορέων, που έχει προκληθεί από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Το διάγραμμα παρέχει μια συνολική εικόνα των κύριων υδροχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε έναν υδροφόρο. Οι υδροχημικές όψεις του διαγράμματος αυτού έχουν καθοριστεί με βάση τα δύο κύρια ανιόντα ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) και κατιόντα ( $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), εκφρασμένα ως το συνολικό ποσοστό (%) των ανιόντων και των κατιόντων<sup>309</sup>. Κάθε όψη ονομάζεται ανάλογα με το κυρίαρχο ανιόν και κατιόν που υπερβαίνει το 50% του συνόλου των ανιόντων και κατιόντων αντίστοιχα<sup>310</sup>. Οι κύριες όψεις ορίζονται από το ότι έχουν περισσότερο από το 50% των ανιόντων και περισσότερο από το 50% των κατιόντων που τις χαρακτηρίζουν. Εάν κανένα ιόν δεν υπερβαίνει το 50% τότε η όψη χαρακτηρίζεται ως μείξη ιόντων<sup>311</sup>.

Εντός των πεδίων που αντιπροσωπεύουν τροφοδοσία ή θαλάσσια διείσδυση υπάρχουν τέσσερα υποστάδια αντιστοίχως. Τα πρώτα υποστάδια i1, f1 σε κάθε φάση καθορίζουν το όριο της δυναμικής αντίδρασης του υδροφόρου στρώματος στην είσοδο θαλασσινού νερού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, όταν οι αντιτιθέμενες ροές ανταγωνίζονται για να «εισβάλουν» στον υδροφόρο<sup>312</sup>. Αντίθετα τα υποστάδια i4, f4 αντιπροσωπεύουν τα τελικά στάδια της θαλάσσιας διείσδυσης και της τροφοδοσίας στον υδροφόρο. Τέλος, τα υποστάδια i2, i3, f2, f3 αντιστοιχούν σε ενδιάμεσα στάδια όπου η κατιοανταλλαγή είναι πιο εμφανής<sup>313</sup>.

Στην κατωτέρω εικόνα φαίνεται αναλυτικά η επεξήγηση του HFE-D διαγράμματος.

<sup>307</sup> Somvir Singh et. al., 2017, «Groundwater quality in and around Tuticorin town, Southeast coast of India», σ. 41

<sup>308</sup> Somvir Singh et. al., 2017, «Groundwater quality in and around Tuticorin town, Southeast coast of India», σ. 41

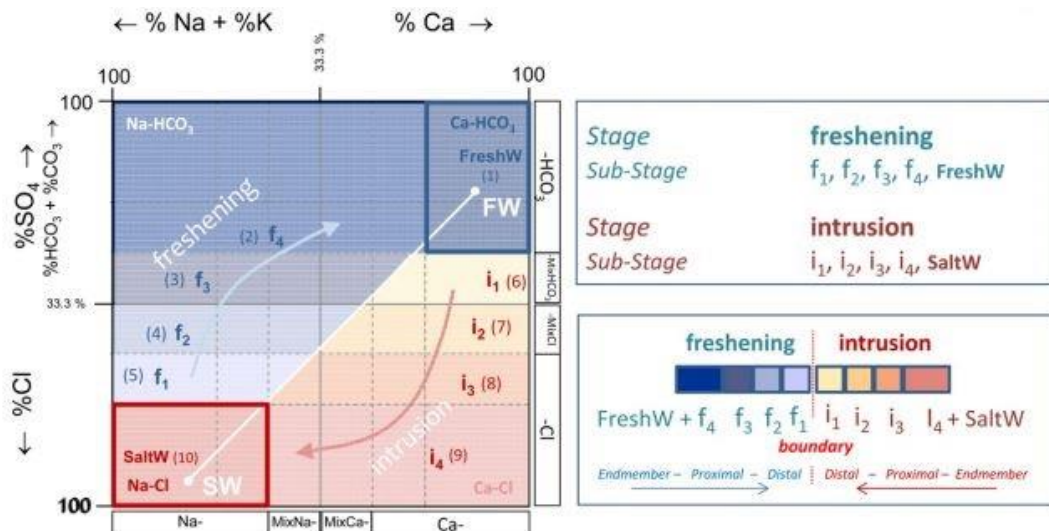
<sup>309</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 78

<sup>310</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 78

<sup>311</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 78

<sup>312</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 78

<sup>313</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 78



Εικόνα 8.2.2.1: Η αναλυτική ερμηνεία του διαγράμματος HFE με τα διάφορα υποστάδια.

Μία από τις σημαντικότερες δευτερεύουσες διαδικασίες της θαλάσσιας διείσδυσης, στους αλλουβιακούς υδροφορείς, είναι η ιοντική ανταλλαγή<sup>314</sup>. Η παρουσία αντιδράσεων κατιοανταλλαγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να προσδιοριστεί το μέτωπο της θαλάσσιας διείσδυσης, σύμφωνα με το αν έχουμε κατιοανταλλαγή ή αντίστροφη κατιοανταλλαγή, που σημαίνει για το πρώτο ότι γίνεται «ξέπλυμα» της αλατότητας του υδροφορέα και για το δεύτερο ότι έχουμε φάση θαλάσσιας «εισβολής»<sup>315</sup>.

Εκείνο που παρατηρείται σύμφωνα με τα διαγράμματα αυτά, είναι ότι για την περίοδο του Οκτωβρίου το 41,2% του συνόλου των δειγμάτων δείχνει επηρεασμό των υπόγειων νερών από τη θαλάσσια διείσδυση, με το υπόλοιπο 58,8% να βρίσκεται σε καθεστώς τροφοδοσίας. Επίσης τα περισσότερα δείγματα που είναι επηρεασμένα από το θαλασσινό νερό βρίσκονται στα στάδια i<sub>3</sub>, i<sub>4</sub> που σημαίνει ότι η θαλάσσια διείσδυση είναι πολύ έντονη. Αντίθετα τα περισσότερα δείγματα που βρίσκονται στο καθεστώς τροφοδοσίας, εντοπίζονται στα υποπεδία f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> που αντιστοιχούν στα πρώτα στάδια τροφοδοσίας του υδροφορέα. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το σύστημα βρίσκεται στα αρχικά ακόμη στάδια της απομάκρυνσης της αλατότητας από τα υπόγεια νερά.

Για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου παρατηρείται ότι το εντυπωσιακό ποσοστό του 77% των δειγμάτων αντιστοιχούν στο πεδίο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού και μόνο

<sup>314</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ.76

<sup>315</sup> Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ.76

το 23% βρίσκεται σε καθεστώς τροφοδοσίας. Σύμφωνα με το διάγραμμα είναι ξεκάθαρο ότι τα υπόγεια νερά έχουν υποστεί έντονη διείσδυση θαλασσινού νερού.

### 8.2.3 Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2001

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, τη γεωλογία της περιοχής, τις υδροχημικές αναλύσεις και το σύνολο των διαγραμμάτων που παρουσιάστηκαν, κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού, για την περίοδο Οκτωβρίου φαίνεται να είναι η εξάτμιση, αφού το 58,8% των δειγμάτων στα διαγράμματα Gibbs βρίσκονται στο ανάλογο πεδίο. Η ποιότητα του νερού του 23,6% των δειγμάτων φαίνεται ότι ελέγχεται από την διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων, ενώ το 17,6% των δειγμάτων ίσως να επηρεάζεται από τη θαλάσσια διείσδυση. Στη λεκάνη της Αναβύσσου υπάρχει ανεπτυγμένο σύστημα καρστικών δομών και άρα καρστική υδροφορία. Επίσης υπάρχει και η υδροφορία των προσχώσεων.

Το παράκτιο τμήμα της περιοχής λειτουργούσε αλυκή. Στην Αλυκή γίνεται παραγωγή του αλατιού μέσω της εξάτμισης του θαλάσσιου νερού με την επίδραση της θέρμανσης από τον ήλιο και από τον άνεμο. Το ότι υπάρχει επικράτηση του νατρίου από τα κατιόντα και του χλωρίου από τα ανιόντα μπορεί να αποδοθεί στον κύριο μηχανισμό ελέγχου, την εξάτμιση, που σε παράκτιες περιοχές, προκαλεί αύξηση της αλατότητας, αυξάνοντας τα ιόντα νατρίου και χλωρίου και την αύξηση των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Ακόμη όσο πιο αργά κινείται το υπόγειο νερό τόσο πιο αργά κυκλοφορεί και τόσο δυσκολότερα αναμιγνύεται με άλλο νερό, όπως αυτό που κατεισδύει, για αυτό και η περιεκτικότητά του σε άλατα αυξάνει. Ωστόσο φαίνεται ότι υπάρχει μικρός επηρεασμός του υπόγειου νερού και από θαλάσσια διείσδυση για τα τρία δείγματα που τείνουν στο διάγραμμα Gibbs I τα οποία βρίσκονται στη παράκτια περιοχή της λεκάνης και είναι τα Π16, Π17 και Π19.

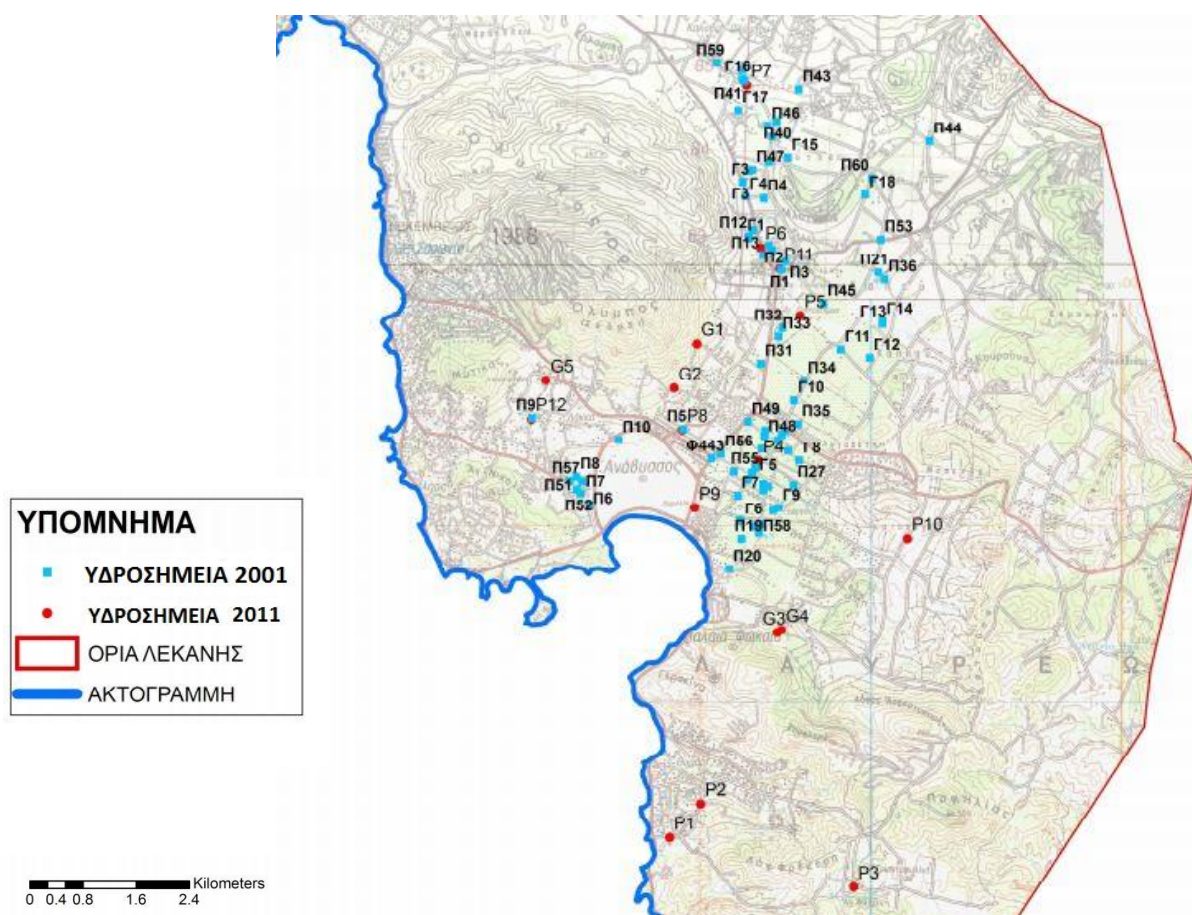
Ο κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού για τον Ιούνιο-Ιούλιο φαίνεται πως είναι επίσης η εξάτμιση, αφού περίπου το 48,6% των δειγμάτων εντοπίζονται στο συγκεκριμένο πεδίο, με το 20% να ελέγχεται από τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων ή και τη διάλυση αλίτη, ενώ το 33,4% φαίνεται να επηρεάζεται από τη θαλάσσια διείσδυση. Λόγω υψηλών θερμοκρασιών εντείνεται η εξάτμιση προκαλώντας αύξηση της αλατότητας και των ιόντων νατρίου και χλωρίου και άρα αυξάνονται τα διαλυμένα άλατα στο νερό. Ακόμη, τα γεωργικά λιπάσματα και η επιστρεφόμενη «αρδευτική» ροή, ομοίως επηρεάζουν την εξάτμιση με αύξηση των ιόντων νατρίου και χλωρίου και άρα με αύξηση των συνολικά διαλυμένα αλάτων στα υπόγεια νερά. Ωστόσο, το διάγραμμα HFE, για την περίοδο αυτή, δείχνει έντονη θαλάσσια διείσδυση στα υπόγεια ύδατα, σε αντίθεση με το διάγραμμα Cl<sup>-</sup>

/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Cl<sup>-</sup> που δείχνει ότι ναι μεν υπάρχει επηρεασμός από το θαλασσινό νερό αλλά αυτός είναι μέτριος και μόνο για ένα με δύο δείγματα ο επηρεασμός βρίσκεται στο όριο του ισχυρού. Πιθανά το διάγραμμα HFE, λόγω του ότι λειτουργεί με ποσοστά και όρια τα οποία κάθε φορά καθορίζονται από τα δεδομένα εισόδου, να «διαβάζει» τις αυξημένες τιμές του νατρίου και του χλωρίου ως «θαλάσσια διείσδυση», ενώ μπορεί να οφείλονται στην διαδικασία της εξάτμισης, όπως έχει εξηγηθεί ανωτέρω.

### 8.3 Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2011

Το 2011 συλλέχθηκαν συνολικά 34 δείγματα από πηγάδια και γεωτρήσεις τους μήνες Φεβρουάριο-Μάρτιο και Αύγουστο. Από το σύνολο των δειγμάτων τα 17 συλλέχθηκαν κατά τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου και τα υπόλοιπα 17 τον Αύγουστο.

Στην κατωτέρω εικόνα παρουσιάζονται με κόκκινο τα υδροσημεία του 2011.



Εικόνα 8.3.1<sup>316</sup>: Παρουσίαση υδροσημείων μελέτης 2001 και 2011 (πηγή: Αγγελακοπούλου Παρασκευή, 2011)

<sup>316</sup> Επεξεργασμένος χάρτης από Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», σ. 197

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2011, από το σύνολο των δειγμάτων που αντιστοιχούν στο 50% προκύπτουν τα εξής:

- Το 29,41% έχει τιμή συγκέντρωσης μαγνησίου (Mg) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 23,5% έχει τιμή συγκέντρωσης νατρίου (Na) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 200 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 5,9% έχει τιμή συγκέντρωσης καλίου (K) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 50% έχει τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου (Ca) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 18% έχει τιμή συγκέντρωσης χλωρίου (Cl) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 4,1% έχει τιμή συγκέντρωσης νιτρικών (NO<sub>3</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 4,1% έχει τιμή συγκέντρωσης θεικών (SO<sub>4</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περίοδο Αυγούστου 2011, από το σύνολο των δειγμάτων που αντιστοιχούν στο 50% προκύπτουν τα εξής:

- Το 26,47% έχει τιμή συγκέντρωσης μαγνησίου (Mg) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 29,4% έχει τιμή συγκέντρωσης νατρίου (Na) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 200 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 2,9% έχει τιμή συγκέντρωσης καλίου (K) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 3% έχει τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου (Ca) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 18% έχει τιμή συγκέντρωσης χλωρίου (Cl) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 26,5% έχει τιμή συγκέντρωσης νιτρικών (NO<sub>3</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

- Το 17,6% έχει τιμή συγκέντρωσης θεικών (SO<sub>4</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

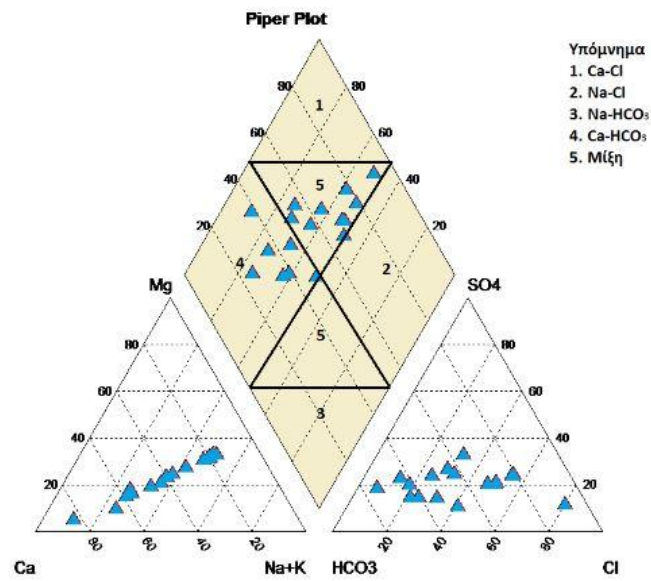
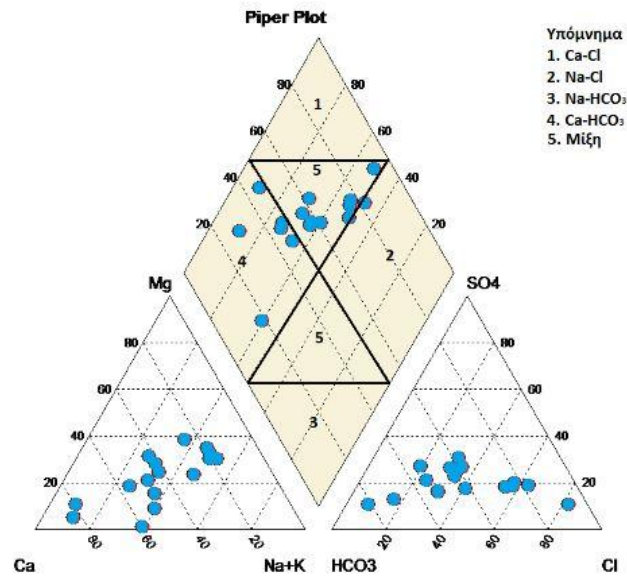
Εκείνο που παρατηρείται, σύμφωνα με τα ανωτέρω, είναι ότι τον Αύγουστο λιγότερα δείγματα έχουν ξεπεράσει το ανώτατο επιτρεπτό όριο ποσιμότητας όσον αφορά το μαγνήσιο το κάλιο και το ασβέστιο, ενώ περισσότερα δείγματα παρουσιάζουν αύξηση της συγκέντρωσης νατρίου, νιτρικών και θεικών σε σχέση με την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου. Η αύξηση των δειγμάτων που παρουσιάζουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης νατρίου μπορεί να σχετίζεται με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο. Τα αυξημένα νιτρικά και θειικά είναι πιθανό να σχετίζονται με ρύπανση από λιπάσματα και απόβλητα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (σύνολο δειγματοληψιών) παρουσιάζουν σφάλμα ισοζυγίου (%) εντός  $\pm 10\%$ .

Για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου, από τα κύρια κατιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 177,96 mg/L και στη συνέχεια το ασβέστιο με μέση τιμή 145,91 mg/L. Από τα ανιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα οξυανθρακικά με μέση τιμή 440,75 mg/L και στη συνέχεια το χλώριο με μέση τιμή 280,40 mg/L.

Για την περίοδο του Αυγούστου, από τα κύρια κατιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 189,64 mg/L και στη συνέχεια το ασβέστιο με μέση τιμή 131,30 mg/L. Από τα ανιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα οξυανθρακικά με μέση τιμή 426,99 mg/L και στη συνέχεια το χλώριο με μέση τιμή 277,50 mg/L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper παρατηρείται η υδροχημική φάση του δείγματος, η οποία δίνεται και για τις δύο περιόδους στην κατωτέρω εικόνα.

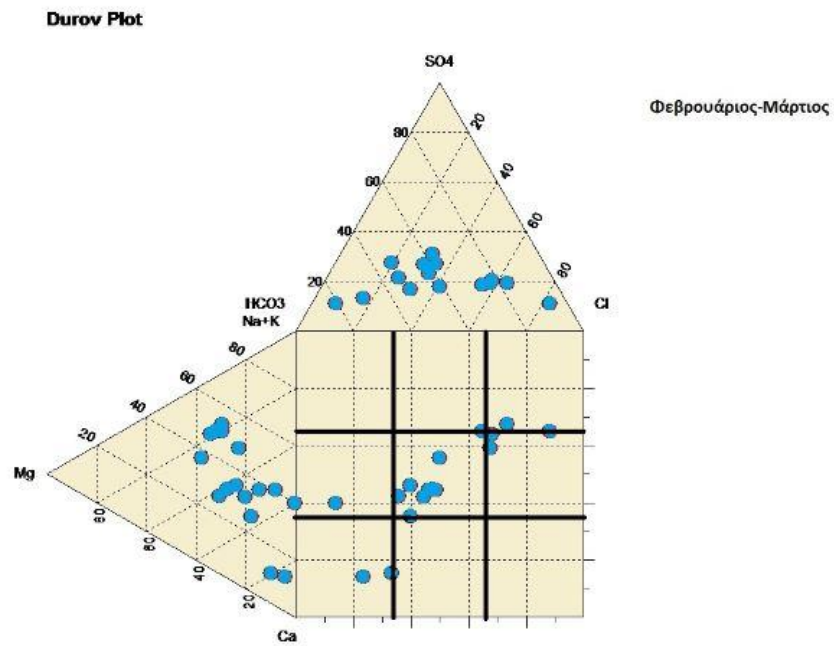


**Εικόνα 8.3.2:** Διάγραμμα Piper για την περίοδο (a) Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2011 και (b) Αυγούστου 2011

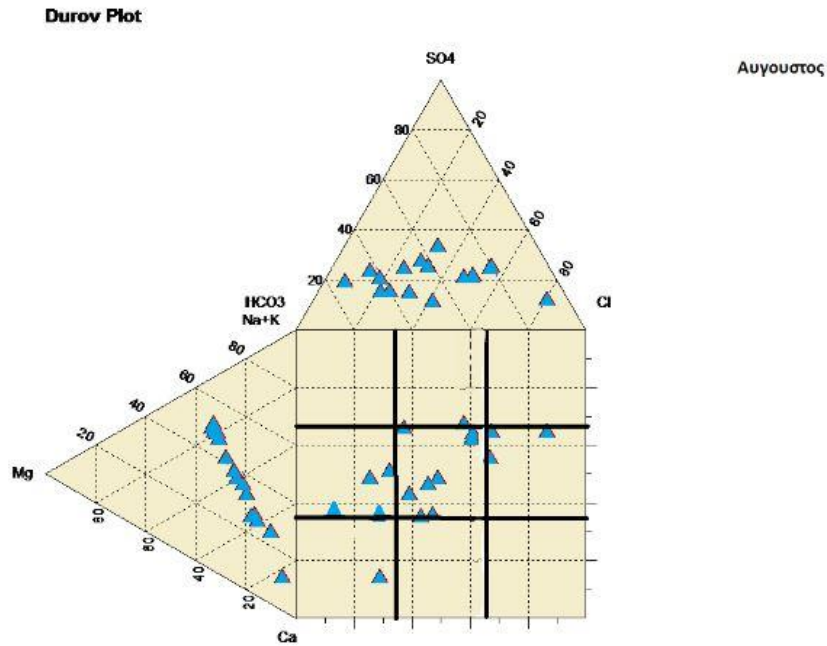


Παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται στο πεδίο 5 που αντιπροσωπεύει τα μεικτά νερά, με κάποια δείγματα να βρίσκονται και στο πεδίο 4, το οποίο αντιστοιχεί στο τύπο νερού Ca-HCO<sub>3</sub>.

Χρησιμοποιείται το διάγραμμα Durov για την κατηγοριοποίηση του νερού και των διάφορων υδροχημικών διαδικασιών, βάσει των οποίων θα παρατεθούν κατωτέρω πληθώρα διαγραμμάτων με σκοπό την εξαγωγή λεπτομερέστερων και ακριβέστερων συμπερασμάτων.



(α)



(β)

Εικόνα 8.3.3: (α) Διάγραμμα Durov – περίοδος Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2011, (β) Διάγραμμα Durov – περίοδος Αυγούστου 2011

### 8.3.1 Ιοντικοί Λόγοι 2011

Οι ιοντικές αναλογίες παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τα υπόγεια νερά, τη χημεία και την προέλευση των διαλυμάτων. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των ιοντικών λόγων, μαζί με τους αντίστοιχους ιοντικούς λόγους του θαλασσινού και γλυκού νερού για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 8.3.1.1:** Στατιστικά στοιχεία ιοντικών λόγων (meq/L) για τη λεκάνη της Αναβύσσου (α) για τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου και (β) για την περίοδο Αυγούστου.

	Stdev	Min	Max	Median	Average	Θαλασσινό νερό	Γλυκό νερό
$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	0,6	0,0	1,8	0,4	0,7	< 1	-
$Na^+/Cl^-$	1,3	0,4	6,0	1,0	1,3	< 0,86	0,86 - 1
$Cl^-/SO_4^{2-}$	0,9	0,6	3,4	1,3	1,7	9,0	1 - 2.
$Cl^-/HCO_3^-$	1,0	0,1	3,5	0,7	1,0	> 0,5	< 0,5

(α)

	Stdev	Min	Max	Median	Average	Θαλασσινό νερό	Γλυκό νερό
$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	0,6	0,1	2,1	0,6	0,8	< 1	-
$Na^+/Cl^-$	1,4	0,7	5,9	1,2	1,7	< 0,86	0,86 - 1
$Cl^-/SO_4^{2-}$	0,9	0,4	3,7	1,5	1,7	9,0	1 - 2.
$Cl^-/HCO_3^-$	0,8	0,1	2,7	0,8	1,0	> 0,5	< 0,5

(b)

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου ο λόγος  $Na^+/Cl^-$  δεν δείχνει γενικά υφαλμύρωση και διείσδυση θαλασσινού νερού, ο λόγος  $Cl^-/SO_4^{2-}$  επίσης δεν δείχνει υφαλμύρωση του υδροφορέα και ο λόγος  $Cl^-/HCO_3^-$ , σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα, δείχνει μία τάση υφαλμύρωσης, μαζί με τον λόγο  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$ .

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για την περίοδο του Αυγούστου ο λόγος  $Na^+/Cl^-$  δείχνει γενικά μία τάση υφαλμύρωσης, ο λόγος  $Cl^-/SO_4^{2-}$  δεν δείχνει υφαλμύρωση του υδροφορέα, ο λόγος  $Cl^-/HCO_3^-$  δείχνει ίσως μία τάση υφαλμύρωσης, όπως και ο λόγος  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$ , περισσότερο σε σχέση με την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου.

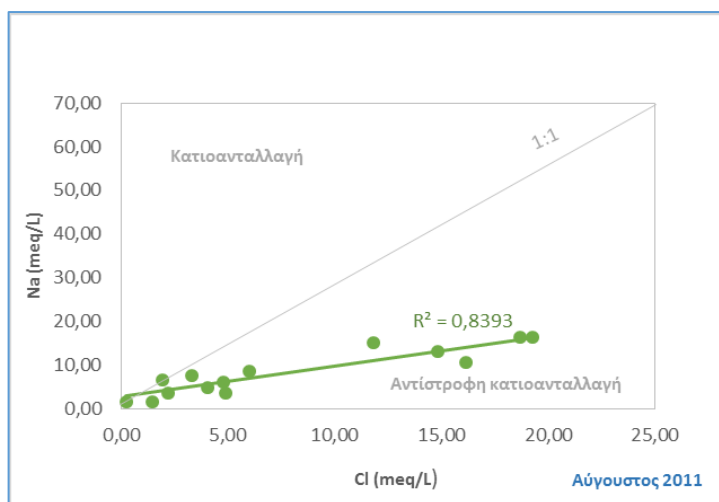
Τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων δείχνουν μία τάση αύξησης της αλατότητας, χωρίς ωστόσο αυτά, να θεωρούνται αδιαμφισβήτητα.

### 8.3.2 Υδροχημικές Διεργασίες 2011

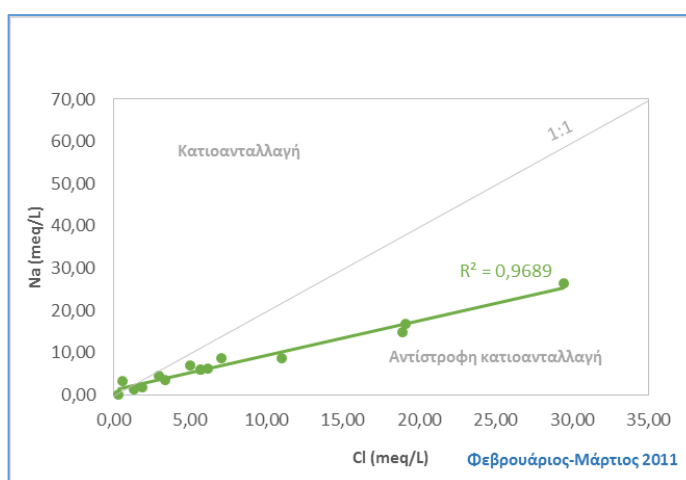
Με βάση τις συγκεντρώσεις των ιόντων, που προσδιορίστηκαν μέσω υδροχημικών αναλύσεων στα δείγματα υδατικού διαλύματος, μπορούν να εξαχθούν διάφορες πληροφορίες για την προέλευση αυτών στα υπόγεια νερά. Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιόντων έχει πραγματοποιηθεί με διαγράμματα διασποράς που απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ των διαλυμένων συστατικών των υπόγειων νερών και παρέχουν σημαντικές ενδείξεις για την πιθανή υδροχημική διαδικασία μέσω της οποίας έχει προκύψει η παρούσα χημεία αυτών<sup>317</sup>.

Κατωτέρω παρατίθενται διαγράμματα διασποράς μεταξύ των ιόντων, η επεξήγηση των οποίων θα ακολουθήσει μετέπειτα.

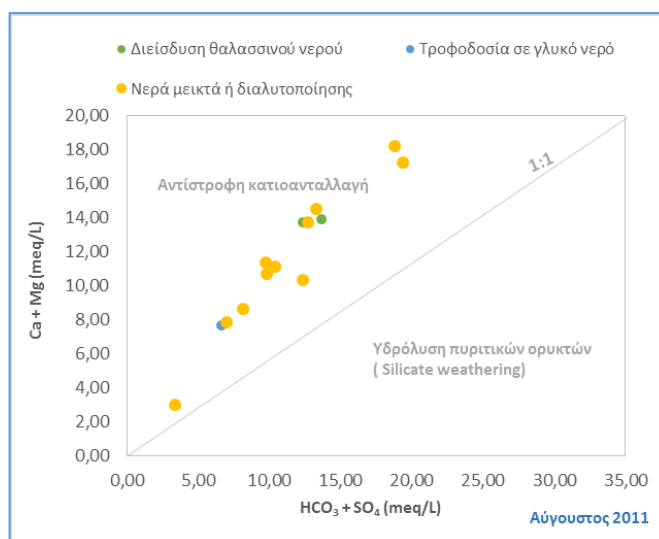
<sup>317</sup> Jawed Akhtar et. Al., 2019, «Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 39



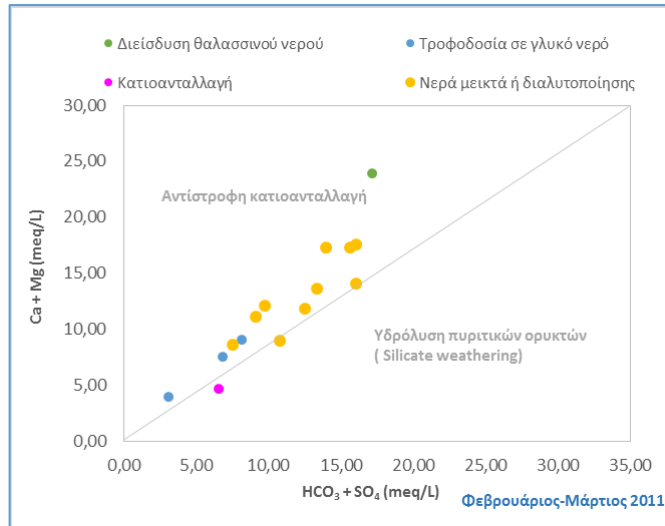
Διάγραμμα 8.3.2.1: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Na}^+$  (meq/L) και  $\text{Cl}^-$  (meq/L) για τον Αύγουστο του 2011



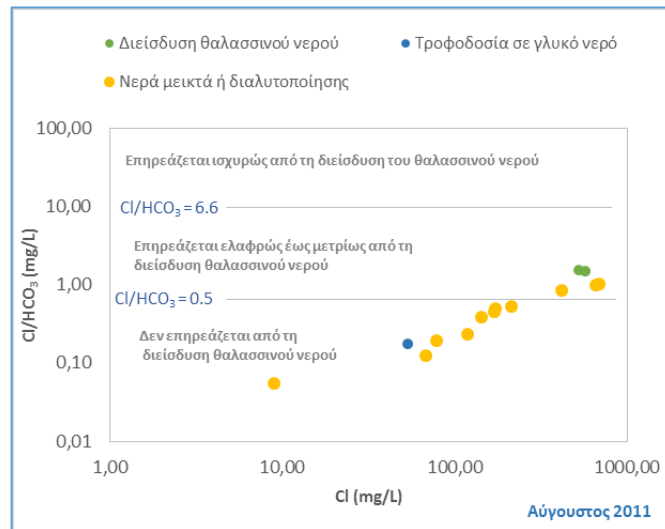
Διάγραμμα 8.3.2.2: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Na}^+$  (meq/L) και  $\text{Cl}^-$  (meq/L) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011



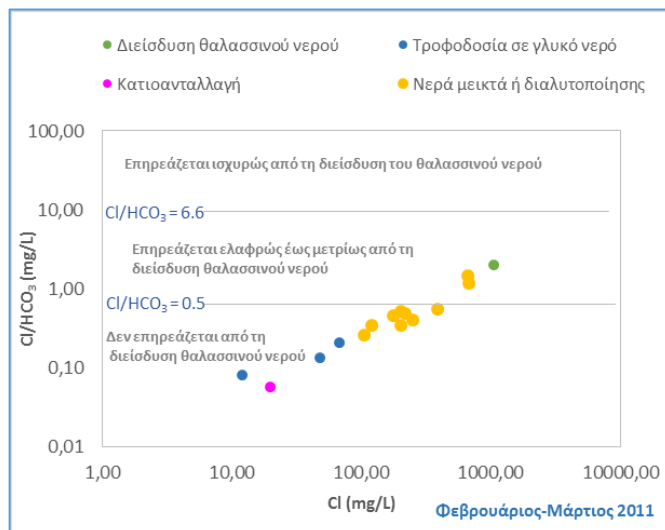
Διάγραμμα 8.3.2.3: Διάγραμμα διασποράς  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{2+}$  (meq/L) και  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  (meq/L) για τον Αύγουστο του 2011



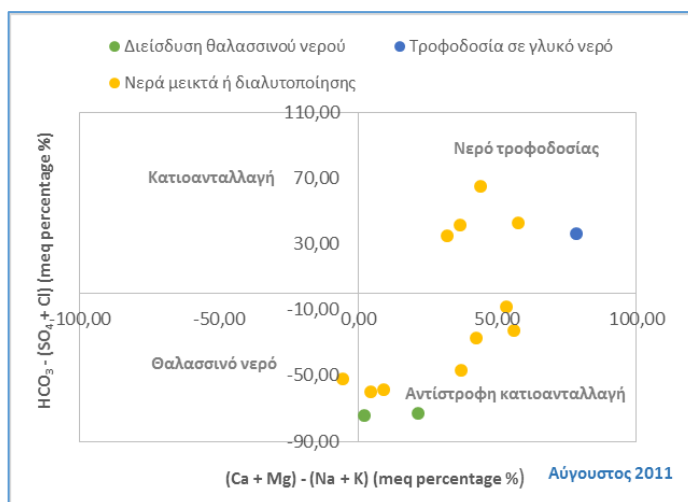
**Διάγραμμα 8.3.2.4:** Διάγραμμα διασποράς  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{2+}$  (meq/L) και  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  (meq/L) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011



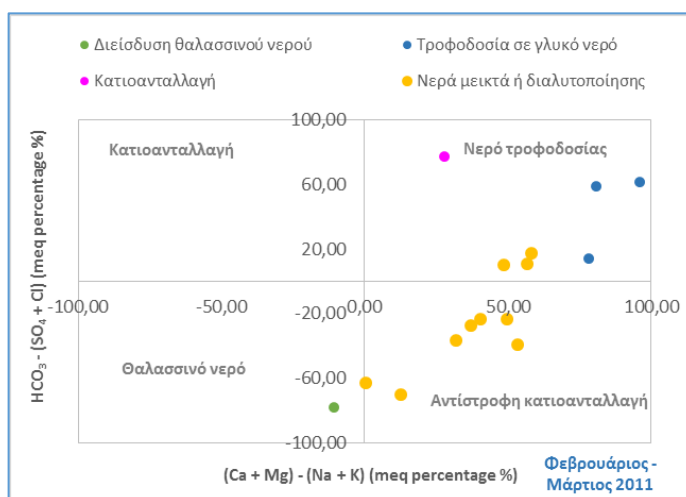
**Διάγραμμα 8.3.2.5:** Διάγραμμα διασποράς  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  (mg/L) και  $\text{Cl}^-$  (mg/L) για τον Αύγουστο του 2011



**Διάγραμμα 8.3.2.6:** Διάγραμμα διασποράς  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  (mg/L) και  $\text{Cl}^-$  (mg/L) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011



Διάγραμμα 8.3.2.7: Διάγραμμα διασποράς  $\text{HCO}_3^- - (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$  (meq percentage%) και  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  (meq percentage%) για τον Αύγουστο του 2011



Διάγραμμα 8.3.2.8: Διάγραμμα διασποράς  $\text{HCO}_3^- - (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$  (meq percentage%) και  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  (meq percentage%) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011

Όσον αφορά στα διαγράμματα διασποράς 8.3.2.1 και 8.3.2.2 παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους, τον Αύγουστο αλλά και το Φεβρουάριο-Μάρτιο, τα δείγματα νερού έχουν περισσότερα ιόντα χλωρίου απ' ότι νατρίου, όπως φαίνεται και από την αναλογία 1:1. Σχεδόν όλα τα δείγματα βρίσκονται κάτω από την αναλογία 1:1, με συνέπεια να υφίστανται τις διεργασίες της αντίστροφης κατιοανταλλαγής<sup>318</sup>. Κάποια δείγματα βρίσκονται επί της αναλογίας 1:1, ενώ για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου ένα μόνο δείγμα έχει περισσότερα ιόντα νατρίου.

<sup>318</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 54

Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.3.2.3 και 8.3.2.4, έχει γίνει μια αρχική κατηγοριοποίηση του ύδατος με βάση το διάγραμμα Durov, όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους τα περισσότερα δείγματα απεικονίζονται πάνω ή πλησίον την αναλογίας 1:1. Δείγματα τα οποία έχουν περίσσεια σε (Ca +Mg) απ' ότι (HCO<sub>3</sub> + SO<sub>4</sub>) υποδεικνύουν ότι λαμβάνει χώρα διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων ή/και αντίστροφη κατιοανταλλαγή<sup>319</sup>. Σε αντίθετη περίπτωση υποδεικνύουν ότι υπάρχει υδρόλυση πυριτικών αλάτων<sup>320</sup>. Γενικά, τα δείγματα τείνουν να είναι πάνω από την αναλογία 1:1, ιδιαίτερα για την περίοδο Αυγούστου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω φαίνεται ότι κυρίαρχη διεργασία μάλλον είναι η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου και η αντίστροφη κατιοανταλλαγή την περίοδο του Αυγούστου<sup>321</sup>.

Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.3.2.5 και 8.3.2.6, παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους κανένα από τα δείγματα δεν είναι ισχυρώς επηρεασμένο από το θαλασσίνο νερό, ενώ η πλειοψηφία των δειγμάτων βρίσκεται κάτω από την αναλογία 0,5, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει επηρεασμός από αυτό. Τα αποτελέσματα γενικά συμπίπτουν και με την κατηγοριοποίηση που έγινε με το διάγραμμα Durov, αφού τα δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στη τροφοδοσία με γλυκό νερό βρίσκονται κάτω από την αναλογία 0,5 και τα δείγματα που αντιστοιχούν στην διείσδυση θαλασσινού ύδατος βρίσκονται μεταξύ της αναλογίας 0,5 και 6,6, που σημαίνει ότι επηρεάζονται μετρίως από το θαλασσίνο νερό. Τα μεικτά ή τα νερά διαλυτοποίησης βρίσκονται διασκορπισμένα μεταξύ της αναλογίας 0,05 και 1,39.

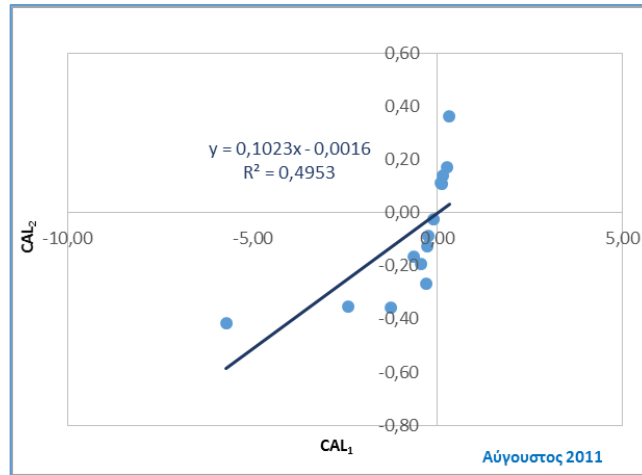
Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.3.2.7 και 8.3.2.8, αυτά αντικατοπτρίζουν ότι έχει ειπωθεί ανωτέρω. Παρατηρείται ασυνέπεια όσον αφορά στο δείγμα Φεβρουαρίου-Μαρτίου, στο οποίο σύμφωνα με το διάγραμμα Durov, έχουμε κατιοανταλλαγή, αλλά στο παρόν διάγραμμα απεικονίζεται ως νερό τροφοδοσίας. Αρκετά δείγματα απεικονίζονται στα ύδατα τροφοδοσίας στο διάγραμμα αυτό, κάτι που δεν συνάδει με την κατηγοριοποίηση από τα διαγράμματα Durov.

Κατωτέρω ακολουθούν περισσότερα διαγράμματα διασποράς, με σκοπό να καθοριστεί ακριβέστερα η διεργασία η οποία ελέγχει τη χημεία του υπόγειου νερού.

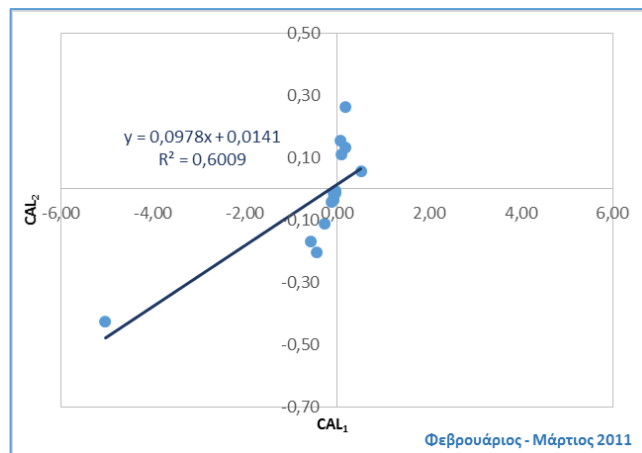
<sup>319</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 54

<sup>320</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 54

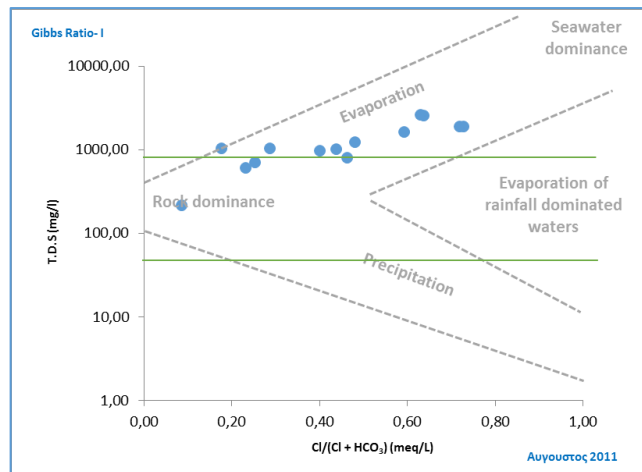
<sup>321</sup> Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 54



Διάγραμμα 8.3.2.9: Διάγραμμα χλωροαλκαλικών δεικτών CAL<sub>2</sub> και CAL<sub>1</sub> για τον Αύγουστο του 2011

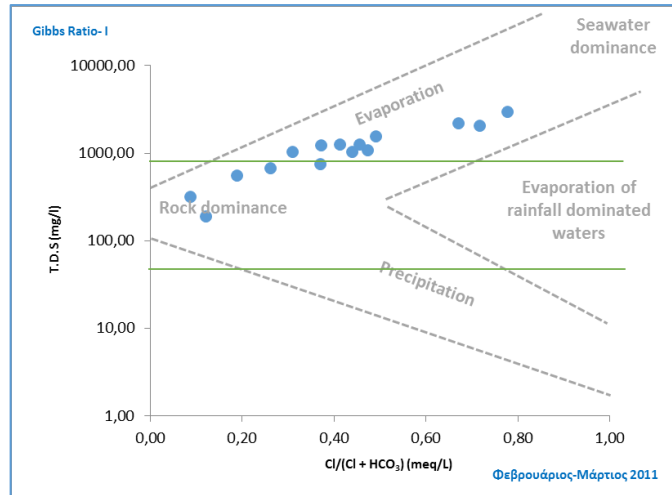


Διάγραμμα 8.3.2.10: Διάγραμμα χλωροαλκαλικών δεικτών CAL<sub>2</sub> και CAL<sub>1</sub> για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011

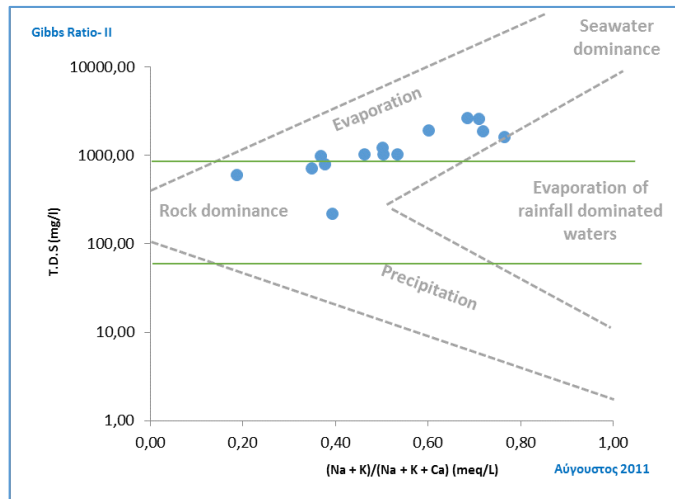


Διάγραμμα 8.3.2.11: Διάγραμμα Gibbs Ratio I T.D.S (meq/L) και Cl<sup>-</sup>/(Cl<sup>-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (meq/L) για τον Αύγουστο του 2011

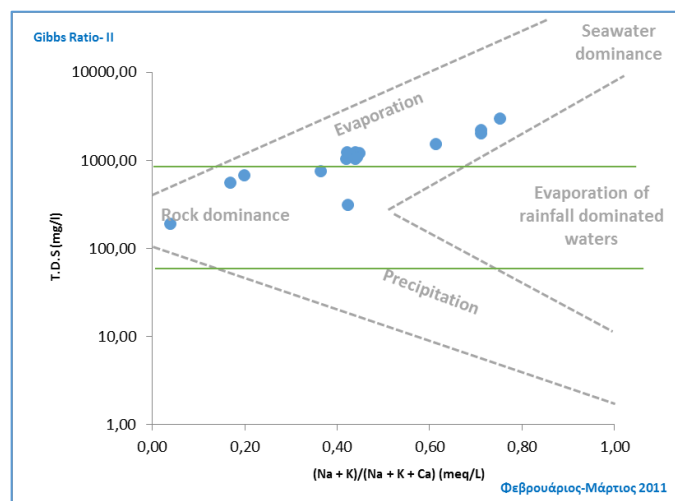




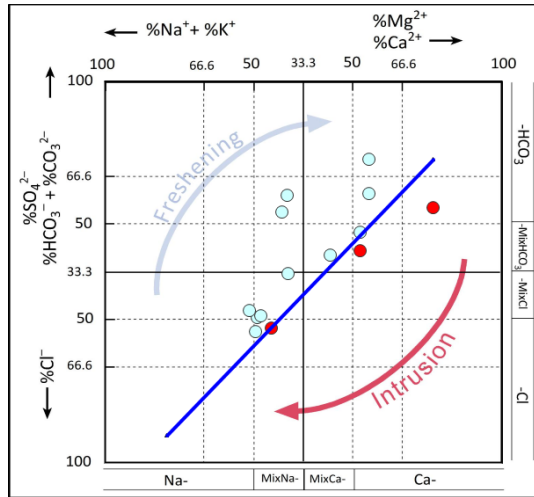
**Διάγραμμα 8.3.2.12:** Διάγραμμα Gibbs Ratio I T.D.S (meq/L) και Cl<sup>-</sup>/(Cl<sup>-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (meq/L) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011



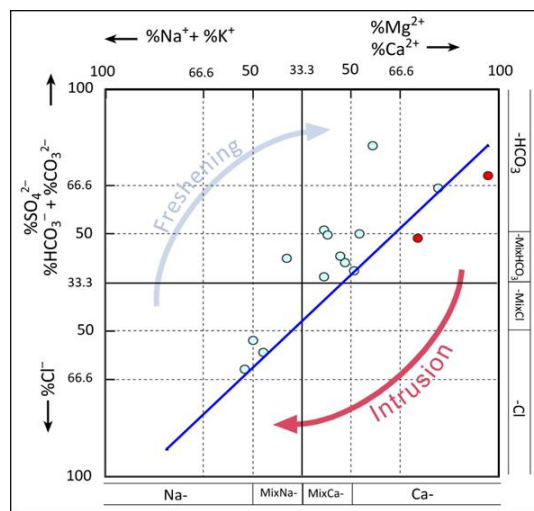
**Διάγραμμα 8.3.2.13:** Διάγραμμα Gibbs Ratio II T.D.S (meq/L) και (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)/(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+ Ca<sup>2+</sup>) (meq/L) για τον Αύγουστο του 2011



**Διάγραμμα 8.3.2.14:** Διάγραμμα Gibbs Ratio II T.D.S (meq/L) και (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)/(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+ Ca<sup>2+</sup>) (meq/L) για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011



Διάγραμμα 8.3.2.15: Διάγραμμα HFE-D για τον Αύγουστο του 2011



Διάγραμμα 8.3.2.16: Διάγραμμα HFE-D για τον Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2011

Όσον αφορά στα διαγράμματα 8.3.2.9 και 8.3.2.10, φαίνεται ότι τα περισσότερα δείγματα και για τις δύο περιόδους έχουν αρνητικούς και τους δύο δείκτες. Αυτό σημαίνει ότι η αντίστροφη κατιοανταλλαγή δεν είναι η κύρια διεργασία.

Όσον αφορά στα διαγράμματα Gibbs 8.3.2.11, 8.3.2.12, 8.3.2.13 και 8.3.2.14, αυτά δείχνουν ότι για τον μήνα Αύγουστο, ο κύριος μηχανισμός ελέγχου του υπόγειου νερού είναι η εξάτμιση, με ποσοστό 79%, με το υπόλοιπο 21% να αντιστοιχεί στο πεδίο αλληλεπίδρασης πετρώματος και νερού, με διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων ή και αλίτη. Το δείγμα P5 έχει χημεία νερού που προέρχεται από διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων.

Παρόμοια είναι η κατάσταση και για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου, με το 67% να έχει κυρίαρχο μηχανισμό ελέγχου την εξάτμιση, με το υπόλοιπο 33% να υφίσταται το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πετρώματος και νερού. Το μόνο που μπορεί να ειπωθεί είναι

ότι για αυτή την περίοδο υπάρχει τάση ελέγχου χημείας του νερού από τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων λίγο εντονότερη απ' ότι τον Αύγουστο.

Τέλος, έχουμε τα διαγράμματα 8.3.2.15 και 8.3.2.16. Εκείνο που παρατηρείται σύμφωνα με τα διαγράμματα αυτά, είναι ότι ελάχιστα από τα δείγματα αντιπροσωπεύουν θαλάσσια διείσδυση και τα περισσότερα βρίσκονται σε στάδιο τροφοδοσίας. Μάλιστα, τα δείγματα που αντιστοιχούν σε θαλάσσια διείσδυση βρίσκονται στα αρχικά υποστάδια του διαγράμματος, που σημαίνει ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού βρίσκεται σε αρχικά στάδια.

### **8.3.3 Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2011**

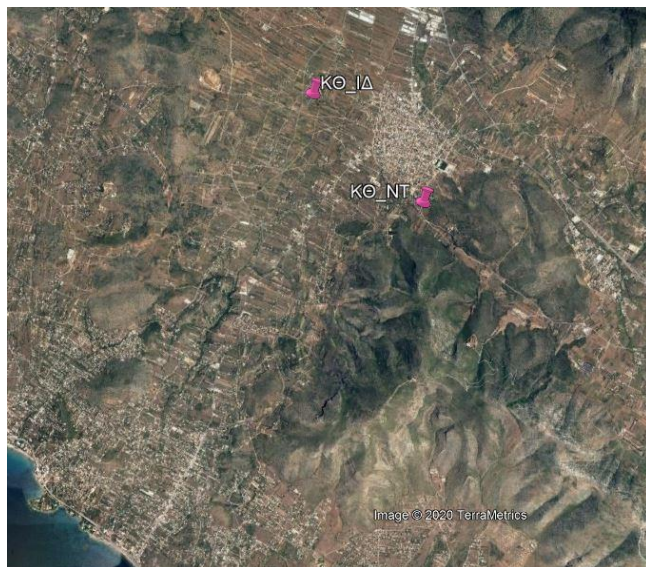
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, τη γεωλογία της περιοχής, τις υδροχημικές αναλύσεις και το σύνολο των διαγραμμάτων που παρουσιάστηκαν, κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού, για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου φαίνεται να είναι εξάτμιση, αλλά και με επίδραση χημικής αποσάθρωσης των ανθρακικών πετρωμάτων. Η ποιότητα του υπόγειου νερού επηρεάζεται από τη διάλυση των πετρωμάτων μέσω των οποίων αυτό κυκλοφορεί.

Ο κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού για τον Αύγουστο φαίνεται πως είναι επίσης η εξάτμιση. Λόγω υψηλών θερμοκρασιών εντείνεται η εξάτμιση προκαλώντας την αύξηση της αλατότητας και των ιόντων νατρίου και χλωρίου και άρα την αύξηση των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Ακόμη, τα γεωργικά λιπάσματα και η επιστρεφόμενη «αρδευτική» ροή, επηρεάζουν επίσης την εξάτμιση με την αύξηση των ιόντων νατρίου και χλωρίου και άρα τα συνολικά διαλυμένα άλατα στα υπόγεια ύδατα, όπως έχει προαναφερθεί. Ακόμη, σύμφωνα με τα ανωτέρω διαγράμματα, δεν αποδεικνύεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφορέα, ούτε από τα διαγράμματα χλωροαλκαλικών δεικτών, ούτε από τα υδρογεωχημικά διαγράμματα 8.3.2.7 και 8.3.2.8. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής που απεικονίζεται σε κάποια διαγράμματα, μπορεί να οφείλεται είτε στην διαδικασία της εξάτμισης με διάλυση αλίτη είτε στη θαλάσσια διείσδυση. Δεν μπορεί να αποδοθεί με βεβαιότητα, σε κάποια από τις ανωτέρω διαδικασίες.

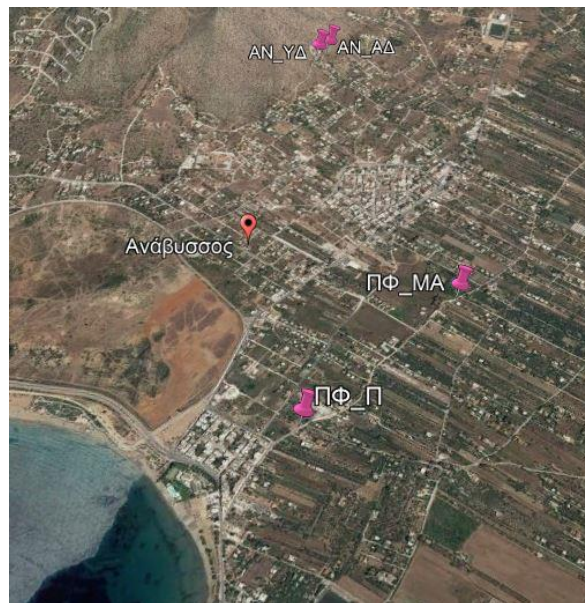
## 8.4 Επεξεργασία Υδροχημικών Αναλύσεων Έτους 2020

Το 2020 συλλέχθηκαν συνολικά έξι δείγματα το μήνα Φεβρουάριο, εκ των οποίων τα 4 συλλέχθηκαν από την περιοχή της Αναβύσσου και της Παλαιάς Φώκαιας και τα υπόλοιπα 2 από την περιοχή των Καλυβίων Θορικού.

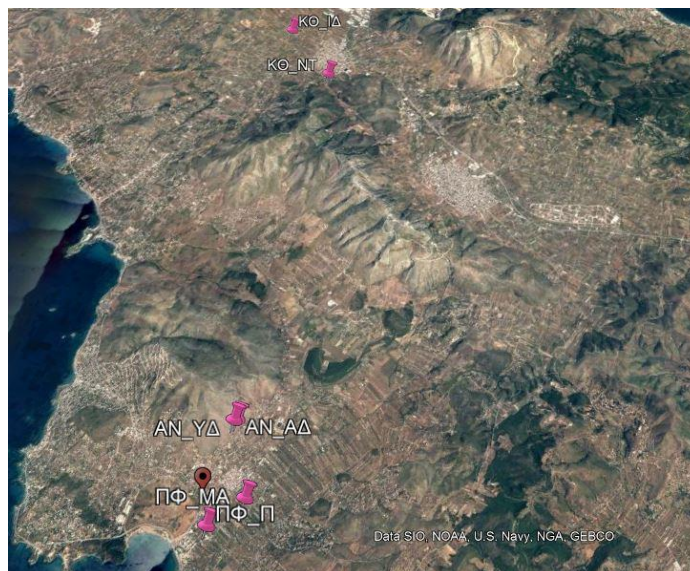
Κατωτέρω φαίνονται στο χάρτη οι θέσεις δειματοληψιών.



(a)



(b)



(c)

**Εικόνα 8.4.1:** Δορυφορική εικόνα δειματοληψίας (a) Καλυβίων Θορικού, (b) Αναβύσσου-Παλαιάς Φώκαιας και (c) συνολικών δειματοληψιών (πηγή: google earth, 2020)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού για την περίοδο Φεβρουαρίου 2020, προκύπτουν τα εξής:

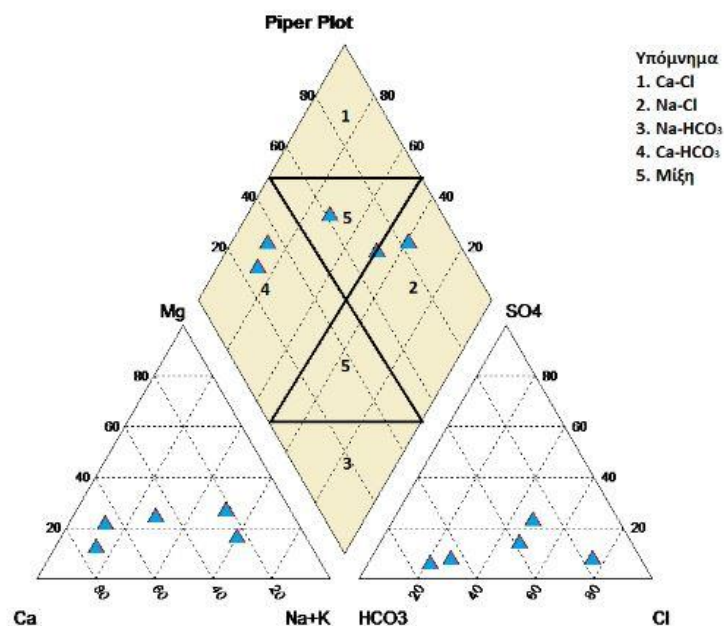
- Το 16,7% έχει τιμή συγκέντρωσης μαγνησίου (Mg) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 33,3% έχει τιμή συγκέντρωσης νατρίου (Na) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 200 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 33,3% έχει τιμή συγκέντρωσης καλίου (K) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 12 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 83% έχει τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου (Ca) πάνω από το επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 75 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 33,3% έχει τιμή συγκέντρωσης χλωρίου (Cl) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 300 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 33,3% έχει τιμή συγκέντρωσης νιτρικών (NO<sub>3</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 50 mg/L (ΠΟΥ, 2017).
- Το 16,7% έχει τιμή συγκέντρωσης θεικών (SO<sub>4</sub>) πάνω από το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας των 250 mg/L (ΠΟΥ, 2017).

Παρατηρείται ότι γενικά μικρό ποσοστό δειγμάτων υπερβαίνουν το ανώτατο επιθυμητό όριο ποσιμότητας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (σύνολο δειγματοληψιών) παρουσιάζουν σφάλμα ισοζυγίου (%) εντός  $\pm 8\%$ .

Για την περίοδο του Φεβρουαρίου του 2020, από τα κύρια κατιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 164,38 mg/L και στη συνέχεια το ασβέστιο με μέση τιμή 112,95 mg/L. Από τα ανιόντα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα οξυανθρακικά με μέση τιμή 307,44 mg/L και στη συνέχεια το χλώριο με μέση τιμή 271,50 mg/L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper παρατηρείται η υδροχημική φάση του δείγματος, η οποία δίνεται και για τις δύο περιόδους στην κατωτέρω εικόνα.

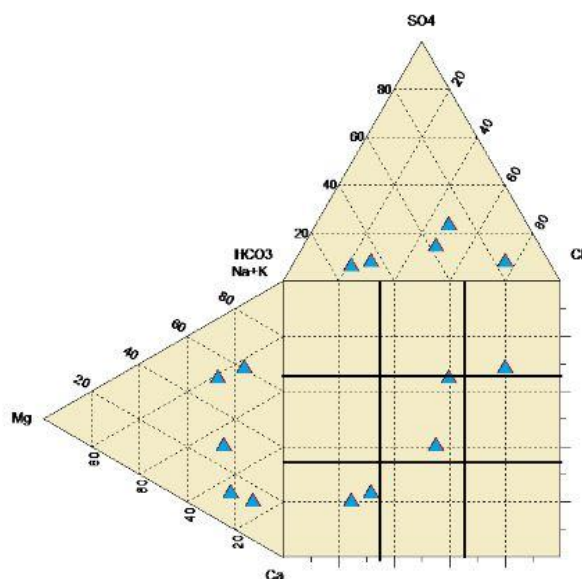


**Εικόνα 8.4.2:** Διάγραμμα Piper για την περίοδο Φεβρουαρίου 2020

Παρατηρείται ότι τα δείγματα βρίσκονται στο πεδίο 5 που αντιπροσωπεύει τα μεικτά ύδατα, στο πεδίο 4 που αντιστοιχεί στο τύπο νερού Ca-HCO<sub>3</sub> και στο πεδίο 2 που αντιστοιχεί σε τύπο νερού Na-Cl.

Χρησιμοποιείται το διάγραμμα Durov για την κατηγοριοποίηση του νερού και των διάφορων υδροχημικών διαδικασιών, βάσει των οποίων θα παρατεθούν κατωτέρω πληθώρα διαγραμμάτων με σκοπό την εξαγωγή λεπτομερέστερων και ακριβέστερων συμπερασμάτων.

Durov Plot



Εικόνα 8.4.3: Διάγραμμα Durov για τη περίοδο Φεβρουαρίου 2020.

### 8.4.1 Ιοντικοί Λόγοι 2020

Οι ιοντικές αναλογίες παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τα υπόγεια νερά, τη χημεία και την προέλευση των διαλυμάτων. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των ιοντικών λόγων, μαζί με τους αντίστοιχους ιοντικούς λόγους του θαλασσινού και γλυκού νερού για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 8.4.1.1: Στατιστικά στοιχεία ιοντικών λόγων (meq/L) για τη λεκάνη της Αναβύσσου για τη περίοδο Φεβρουαρίου 2020.

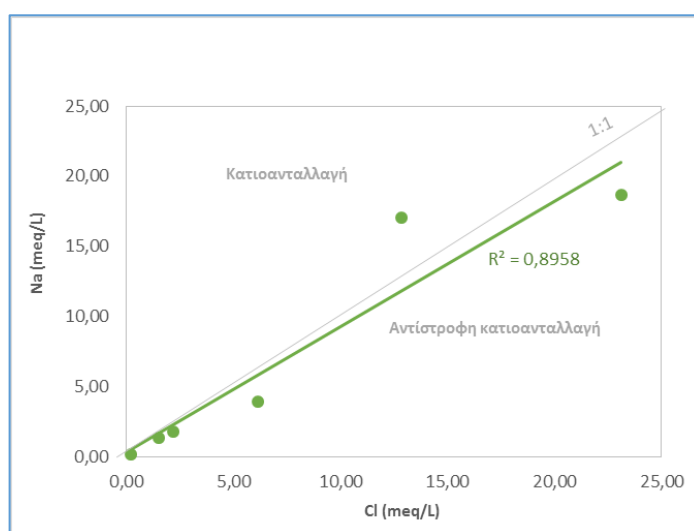
	Stdev	Min	Max	Median	Average	Θαλασσινό νερό	Γλυκό νερό
$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	0,4	0,1	1,3	0,4	0,5	< 1	-
$Na^+/Cl^-$	0,2	0,6	1,3	0,8	0,9	< 0,86	0,86 - 1
$Cl^-/SO_4^{2-}$	3,1	0,4	9,5	3,3	3,7	9,0	1 - 2.
$Cl^-/HCO_3^-$	1,7	0,1	4,6	0,8	1,4	> 0,5	< 0,5

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία ο λόγος  $Na^+/Cl^-$  δείχνει ίσως μία τάση υφαλμύρωσης, ωστόσο η μέση τιμή είναι 0,9 και ο διάμεσος 0,8, ο λόγος  $Cl^-/SO_4^{2-}$  έχει μέγιστη τιμή 9,5 και δείχνει πάλι μία τάση υφαλμύρωσης του υδροφορέα. Ο λόγος  $Cl^-/HCO_3^-$  δείχνει υφαλμύρωση μαζί με τον λόγο  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ .

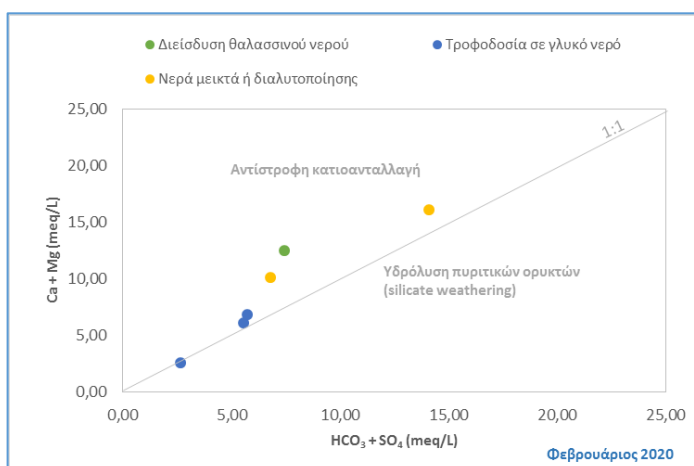
## 8.4.2 Υδροχημικές Διεργασίες 2020

Με βάση τις συγκεντρώσεις των ιόντων, που προσδιορίστηκαν μέσω υδροχημικών αναλύσεων στα δείγματα υδατικού διαλύματος, μπορούν να εξαχθούν διάφορες πληροφορίες για την προέλευση αυτών στα υπόγεια νερά. Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιόντων έχει πραγματοποιηθεί με διαγράμματα διασποράς που απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ των διαλυμένων συστατικών των υπόγειων νερών και παρέχουν σημαντικές ενδείξεις για την πιθανή υδροχημική διαδικασία μέσω της οποίας έχει προκύψει η παρούσα χημεία αυτών<sup>322</sup>.

Κατωτέρω παρατίθενται διαγράμματα διασποράς, η επεξήγηση των οποίων θα ακολουθήσει μετέπειτα.



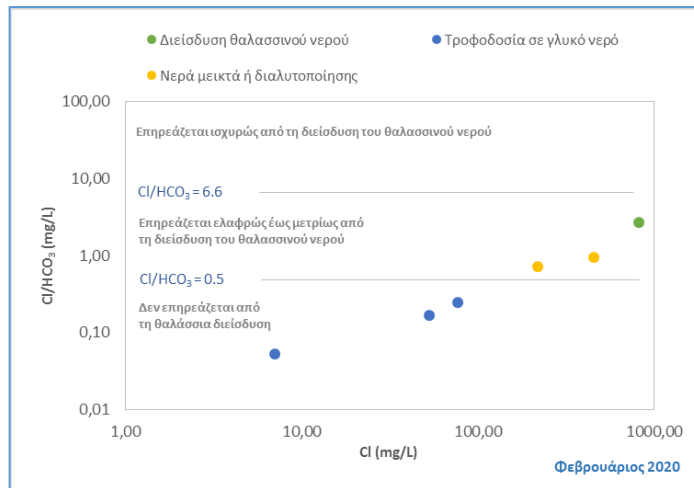
Διάγραμμα 8.4.2.1: Διάγραμμα διασποράς Na<sup>+</sup> (meq/L) και Cl<sup>-</sup> (meq/L) για τον Φεβρουάριο του 2020



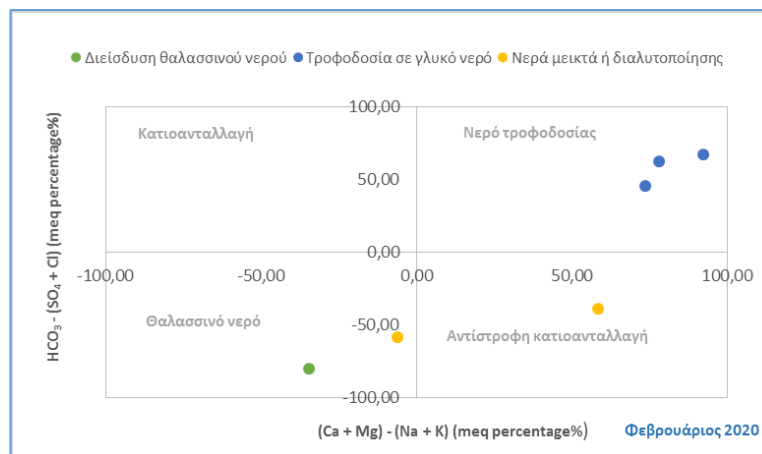
Διάγραμμα 8.4.2.2: Διάγραμμα διασποράς Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> (meq/L) και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (meq/L) για τον Φεβρουάριο του 2020

<sup>322</sup> Jawed Akhtar et. Al., 2019, «Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 39





**Διάγραμμα 8.4.2.3:** Διάγραμμα διασποράς Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L) και Cl<sup>-</sup> (mg/L) για τον Φεβρουάριο του 2020



**Διάγραμμα 8.4.2.4:** Διάγραμμα διασποράς HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+Cl<sup>-</sup>) (meq percentage%) και (Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)-(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>) (meq percentage%) για τον Φεβρουάριο του 2020

Όσον αφορά στο διάγραμμα διασποράς 8.4.2.1, τα δείγματα νερού βρίσκονται κοντά στην αναλογία 1:1 με κάποια να βρίσκονται κάτω από αυτήν με συνέπεια να υφίστανται τις διεργασίες της αντίστροφης κατιοανταλλαγής αφού έχουν περισσότερα ιόντα χλωρίου απ' ότι νατρίου, με ένα δείγμα να υφίστανται τις διεργασίες της κατιοανταλλαγής. Πρόκειται για το δείγμα ΠΦ\_Π από την Παλαιά Φώκεια. Τα δείγματα που βρίσκονται επί της αναλογίας 1:1 υποδεικνύουν διάλυση αλίτη<sup>323</sup>.

Όσον αφορά στο διάγραμμα 8.4.2.2 παρατηρείται ότι τα δείγματα είναι μοιρασμένα σε εκείνα που βρίσκονται επί της αναλογίας 1:1 και υποδεικνύουν διάλυση αλίτη και σε εκείνα που βρίσκονται πάνω από αυτή και υποδεικνύουν αντίστροφη κατιοανταλλαγή. Δείγματα τα

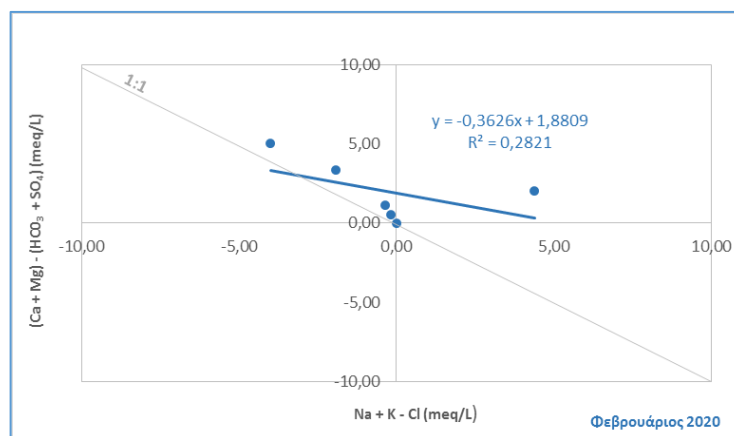
<sup>323</sup> Chukwuma N. Mgbenu et. Al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria», σ. 22

οποία έχουν περίσσεια σε (Ca +Mg) απ' ότι (HCO<sub>3</sub> + SO<sub>4</sub>) υποδεικνύουν ότι λαμβάνει χώρα διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων ή/και αντίστροφη κατιοανταλλαγή.

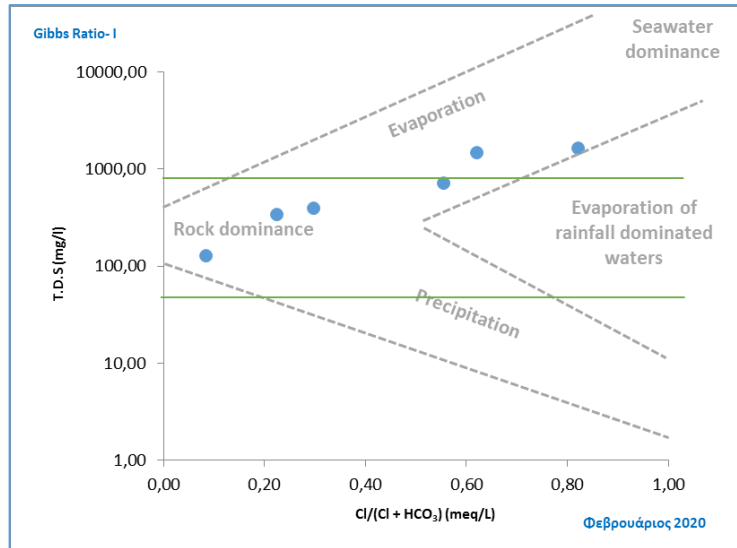
Όσον αφορά στο διάγραμμα 8.4.2.3 παρατηρείται ότι τα δείγματα είτε δεν επηρεάζονται καθόλου από το θαλασσινό νερό είτε επηρεάζονται ελάχιστα. Τα αποτελέσματα γενικά συμπίπτουν και με την κατηγοριοποίηση που έγινε με το διάγραμμα Durov, αφού τα δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στη τροφοδοσία με γλυκό νερό βρίσκονται κάτω από την αναλογία 0,5 και τα δείγματα που αντιστοιχούν στην διεύδυση θαλασσινού νερού βρίσκονται μεταξύ της αναλογίας 0,5 και 6,6, που σημαίνει ότι επηρεάζονται μετρίως από το θαλασσινό νερό.

Όσον αφορά στο διάγραμμα 8.4.2.4, αυτό επαληθεύει ό,τι έχουν δείξει τα προηγούμενα διαγράμματα και η κατηγοριοποίηση Durov, ότι 3 δείγματα νερού βρίσκονται σε φάση τροφοδοσίας. Το δείγμα ΚΘ\_ΙΔ που απεικονίζεται στο τεταρτημόριο του θαλάσσιου νερού μαζί με το δείγμα ΠΦ\_Π και τέλος το δείγμα ΠΦ\_ΜΑ που βρίσκεται στο τεταρτημόριο καθεστώς αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

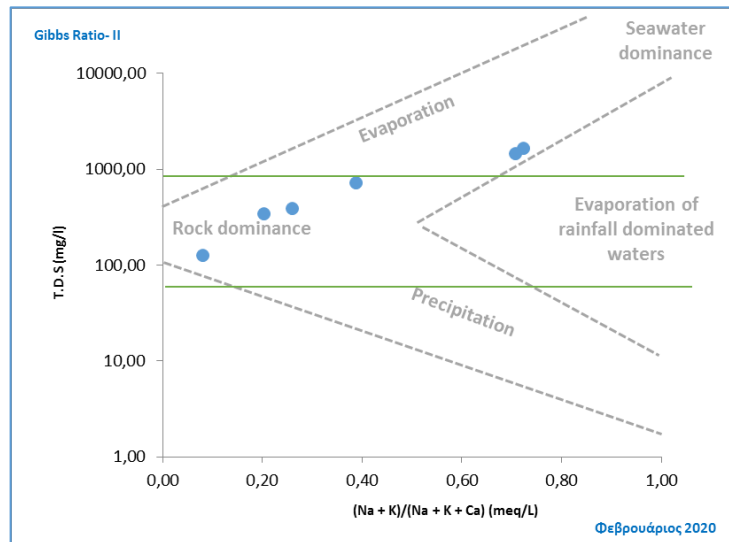
Κατωτέρω ακολουθούν περισσότερα διαγράμματα διασποράς, με σκοπό να καθοριστεί ακριβέστερα η διεργασία η οποία ελέγχει τη χημεία του υπόγειου νερού.



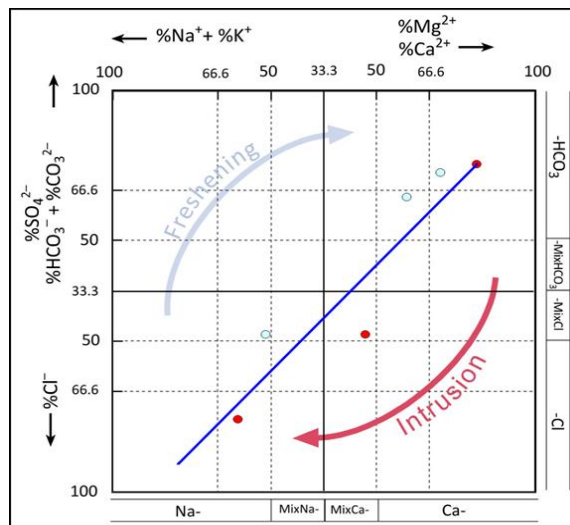
**Διάγραμμα 8.4.2.5:** Διάγραμμα διασποράς(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)-(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) (meq/L) και Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> - Cl<sup>-</sup> (meq/L) για τον Φεβρουάριο του 2020



Διάγραμμα 8.4.2.6: Διάγραμμα Gibbs Ratio I T.D.S (meq/L) και Cl/(Cl + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (meq/L) για τον Φεβρουάριο του 2020



Διάγραμμα 8.4.2.7: Διάγραμμα Gibbs Ratio II T.D.S (meq/L) και (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)/(Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+Ca<sup>+2</sup>) (meq/L) για τον Φεβρουάριο του 2020



Διάγραμμα 8.4.2.8: Διάγραμμα HFE-D για τον Φεβρουάριο του 2020

Όσον αφορά στο διάγραμμα 8.4.2.5 φαίνεται ότι όλα τα δείγματα, εκτός από το δείγμα ΠΦ\_Π βρίσκονται στο πρώτο τεταρτημόριο του διαγράμματος, που σημαίνει ότι τα περισσότερα υφίστανται αντίστροφη κατιοανταλλαγή.

Όσον αφορά στα διαγράμματα Gibbs 8.4.2.6 και 8.4.2.7, αυτά δείχνουν ότι ο κύριος μηχανισμός ελέγχου του υπόγειου νερού είναι η αλληλεπίδραση πετρώματος και νερού, η διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων και πιθανά η διάλυση αλίτη. Φαίνεται από το διάγραμμα ότι το 66,7% των δειγμάτων βρίσκονται εντός του πεδίου αλληλεπίδρασης πετρώματος και νερού, ενώ το υπόλοιπο 33,3% των δειγμάτων φαίνεται να επηρεάζεται από την εξάτμιση. Το ένα εκ των δύο δειγμάτων που αποκλίνουν από το σύνολο είναι το δείγμα ΚΘ\_ΙΔ, πρόκειται για την ιδιωτική γεώτρηση στα Καλύβια Θορικού, το άλλο είναι το δείγμα ΠΦ\_Π και πρόκειται για πηγάδι στην περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας.

Τέλος, έχουμε το διάγραμμα 8.4.2.8 που απεικονίζει τρία δείγματα που επηρεάζονται από το θαλασσίνο νερό, με τα δύο να επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό.

### **8.4.3 Κυρίαρχος Μηχανισμός Ελέγχου Χημείας Υπόγειου Νερού 2020**

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, τη γεωλογία της περιοχής, τις υδροχημικές αναλύσεις και το σύνολο των διαγραμμάτων που παρουσιάστηκαν, κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού, για την περίοδο του Φεβρουαρίου 2020 είναι η αλληλεπίδραση πετρώματος και νερού, με πολύ πιθανή τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων. Ωστόσο φαίνεται πως και η διαδικασία της εξάτμισης έχει μια μικρή επίδραση.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C) κυμαίνονται από 195,6 έως 2550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Οι μεγαλύτερες που υποδηλώνουν υφάλμυρα νερά είναι 2550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  από το δείγμα ΚΘ\_ΙΔ και 2260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  από το δείγμα ΠΦ\_Π. Το πρώτο βρίσκεται στα Καλύβια Θορικού και σε υψόμετρο 88 μέτρα και είναι μάλλον απίθανο να έχει υποστεί υφαλμύρωση, και το δεύτερο βρίσκεται στην Παλαιά Φώκαια σε υψόμετρο 4 μέτρων. Οι τιμές των συνολικών διαλυμένων αλάτων (T.D.S), που δείχνουν υφαλμύρωση, αφορούν στα ανωτέρω δύο δείγματα, και έχουν τιμή 1469 mg/L (Παλαιά Φώκαια) και 1657 mg/L (Καλύβια Θορικού). Όσον αφορά το δείγμα ΚΘ\_ΙΔ, έχει αρκετά αυξημένες τις συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου και χλωρίου αλλά και του καλίου και του μαγνησίου. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις ιόντων του δείγματος ΠΦ\_Π, αυτό έχει αυξημένες τις συγκεντρώσεις νατρίου, χλωρίου, μαγνησίου, θεικών και νιτρικών.

Εάν από το σύνολο των δειγμάτων αφαιρούσαμε τα δύο ανωτέρω δείγματα τότε από τα κύρια κατιόντα μεγαλύτερη συγκέντρωση θα είχε το ασβέστιο απ' ότι το νάτριο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, στην ιδιωτική γεώτρηση από τα Καλύβια Θορικού, οι υψηλές τιμές των ανωτέρω παραμέτρων δεν είναι πιθανό να οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση, διότι το υψόμετρο είναι αρκετά υψηλό. Μάλλον κάποιος άλλος παράγοντας ρύπανσης είναι υπεύθυνος για τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων των ιόντων στο υπόγειο νερό. Για το πηγάδι που βρίσκεται στην Παλαιά Φώκαια είναι αρκετά πιθανό να έχει υποστεί υφαλμύρωση από τη θάλασσα διότι είναι πολύ κοντά σε αυτήν και σε χαμηλό υψόμετρο.

## **9. Καταλληλότητα Υπόγειου Νερού για Ύδρευση και Άρδευση**

### **9.1 Εισαγωγή**

Η ποιότητα των υπόγειων νερών εξαρτάται από τη σύνθεση του νερού τροφοδοσίας, από την αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και του νερού, από τα πετρώματα με τα οποία το αυτό έρχεται σε επαφή καθώς διηθείται στην ακόρεστη ζώνη, από το χρόνο επαφής με αυτά και τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο υδροφόρο στρώμα. Η ποιότητα του νερού επηρεάζεται και από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η ποιότητά του στις αγροτικές περιοχές είναι πολύ σημαντική διότι ο πληθυσμός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, στις περιοχές αυτές, από τα υπόγεια νερά. Η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού έχει αρνητικό αντίκτυπο και στην οικονομία, με συνέπεια να περιορίζονται οι βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στις συνθήκες διαβίωσης των αγροτών. Συνεπώς καθίσταται αναγκαία η συστηματική παρακολούθηση και ο έλεγχος της ποιότητας των υπόγειων νερών για πόση αλλά και η λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας αυτού.

Η καταλληλότητα του υπόγειου νερού για αρδευτική χρήση επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, χημικής φύσεως, που βρίσκονται διαλυμένοι στο νερό, όπως τα άλατα. Επίσης επηρεάζεται από την αναλογία του νατρίου με το ασβέστιο και το μαγνήσιο και την αναλογία της οξυανθρακικής ρίζας με το ασβέστιο και το μαγνήσιο<sup>324</sup>. Όταν το νερό της άρδευσης περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε διαλυμένα ιόντα, τότε επηρεάζεται τόσο το έδαφος όσο και τα φυτά με χημικούς τρόπους, αλλά επίσης υπάρχει και επίπτωση στη φυσική τους ανάπτυξη<sup>325</sup>.

<sup>324</sup> Jawed Akhtar Ansari et. al., 2019, « Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 43

<sup>325</sup> Jawed Akhtar Ansari et. al., 2019, « Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 43

Η σταδιακή συσσώρευση αλάτων στο ριζικό σύστημα των φυτών, λόγω της έντονης εξάτμισης των επιφανειακών νερών του εδάφους, θα μπορούσε να εγκυμονεί κίνδυνο τοξικότητας αλλά και αλατότητας οδηγώντας στην καταστροφή των φυτών και δέντρων<sup>326</sup>. Εάν το νερό της άρδευσης περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε άλατα και ιόντα νατρίου, τότε αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει τη δομή του εδάφους και την διαπερατότητα αυτού και να παραγάγει τοξικές συνθήκες για τα φυτά. Ακόμη, εξαιτίας της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής, το νάτριο του αρδευόμενου νερού καταλαμβάνεται από τους πηλούς και προκαλεί της ανταλλαγή ιόντων νατρίου με ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό<sup>327</sup>.

## 9.2 WQI (Water Quality Index)

Για να υπάρξει μία ολοκληρωμένη εικόνα της ποιότητας των υπόγειων νερών χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Ποιότητας Ύδατος (WQI). Ο WQI ορίζεται ως μία βαθμονόμηση που αντικατοπτρίζει τη σύνθετη επίδραση των διαφορετικών παραμέτρων ποιότητας νερού, στη συνολική ποιότητά του. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των ορίων των παραμέτρων του πόσιμου νερού, ήταν του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2017). Το WQI υπολογίστηκε μέσω τριών βημάτων. Αρχικά, για κάθε μία από τις 11 παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν, ορίστηκε μία τιμή βάρους (1-5), ανάλογα με τη σημασία και το αντίκτυπο που έχει στην ποιότητα του πόσιμου ύδατος.

Η τιμή βάρους (w) που ορίζεται για κάθε παράμετρο, είναι κάπως υποκειμενική. Στη παρούσα εργασία, για το ασβέστιο, το μαγνήσιο και τη συνολική σκληρότητα δόθηκε τιμή βάρους 2<sup>328</sup>, διότι νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/L μπορεί να προκαλέσουν καθαρτικά και διουρητικά συμπτώματα. Επιπλέον τα ιόντα αυτά συμβάλλουν στην αύξηση της τιμής της ολικής σκληρότητας με αποτέλεσμα να προσδίδουν δυσάρεστη γεύση στο νερό και να εμποδίζουν το καλό βράσιμο των τροφίμων. Ωστόσο από τις μέχρι τώρα μελέτες δεν παρατηρείται να έχουν δυσμενή επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και για το λόγο αυτό δόθηκε χαμηλή τιμή βάρους<sup>329</sup>.

<sup>326</sup> Jawed Akhtar Ansari et. al., 2019, « Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 43

<sup>327</sup> Jawed Akhtar Ansari et. al., 2019, « Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 43

<sup>328</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>329</sup> Διαδικτυακή πηγή: «<https://epoptes.wordpress.com>»

Στα νιτρικά και θειικά δόθηκαν τιμές βάρους 5<sup>330</sup> και 4<sup>331</sup> αντίστοιχα, διότι για τα μεν νιτρικά, υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό μπορεί να είναι οφείλονται σε μόλυνση των υπόγειων αποθεμάτων από πρόσθετα τροφών και κατά μείζονα λόγο από την υπερβολική χρήση αζωτούχων γεωργικών λιπασμάτων και για τα δε θειικά, επειδή υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων αυτών στο νερό μπορεί προξενήσουν διάρροιες και αφυδάτωση, ιδιαίτερα σε μικρής ηλικίας άτομα αλλά και σε ενήλικες που παρουσιάζουν ευαισθησία<sup>332</sup>. Το νερό αποκτά δυσάρεστη γεύση ενώ και η παρουσία συγκεκριμένων βακτηρίων μπορεί να μετατρέψει τις θεικές ενώσεις σε θειούχες και να δώσει οσμή «κλούβιου αυγού» στο νερό<sup>333</sup>. Επιπλέον τα νιτρικά, σε μεγάλες συγκεντρώσεις, όταν καταναλωθούν μετατρέπονται από τον οργανισμό μας σε νιτρώδη άλατα<sup>334</sup>. Ποσότητα των νιτρωδών αλάτων θα μετατραπεί σε νιτροζαμίνη που είναι καρκινογόνος χημική ένωση<sup>335</sup>.

Στο χλώριο δόθηκε τιμή βάρους 4<sup>336</sup>. Υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου μπορεί να προκύψουν από λιπάσματα, λύματα και απόβλητα βιομηχανικά αλλά και τη διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές<sup>337</sup>. Η απότομη αύξηση των χλωριόντων στο νερό, αν δεν είναι απόρροια θαλάσσιας διείσδυσης, μπορεί να οφείλεται σε ρύπανση από λύματα και να πρέπει να γίνει πάραυτα υγειονομική επιθεώρηση<sup>338</sup>. Επίσης προσδίδει οσμή στο νερό και αλλοιώνει τη γεύση του<sup>339</sup>.

Στο νάτριο δόθηκε τιμή βάρους 3<sup>340</sup> διότι εκτός από το ότι επηρεάζει τη γεύση του νερού, επίσης άτομα που υποφέρουν από καρδιακές παθήσεις δεν μπορούν να καταναλώνουν νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο<sup>341</sup>.

Στο pH δόθηκε τιμή βάρους 4<sup>342</sup>, στο T.D.S δόθηκε τιμή βάρους 4<sup>343</sup>, διότι υψηλές τιμές μπορεί να οφείλονται σε ρύπανση από αστικά απορρίμματα, βιομηχανικά απόβλητα και χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία καθαρισμού του. Στην οξυανθρακική

---

<sup>330</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>331</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>332</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://www.water-academy.com/>>

<sup>333</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://www.water-academy.com/>>

<sup>334</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://www.water-academy.com/>>

<sup>335</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://www.water-academy.com/>>

<sup>336</sup> Khanoranga et. al., 2019, «An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches», σ. 20

<sup>337</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://epoptes.wordpress.com>>

<sup>338</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://epoptes.wordpress.com>>

<sup>339</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://epoptes.wordpress.com>>

<sup>340</sup> Khanoranga et. al., 2019, «An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches», σ. 20

<sup>341</sup> Διαδικτυακή πηγή: <<https://epoptes.wordpress.com>>

<sup>342</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>343</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

ρίζα δόθηκε τιμή βάρους 1<sup>344</sup> διότι δεν φαίνεται να έχει επίπτωση στον ανθρώπινο οργανισμό ούτε να καθιστά δυσάρεστη τη γεύση του νερού. Τέλος στο κάλιο δόθηκε τιμή βάρους 3 επειδή δεν προκαλεί ανεπιθύμητες αντιδράσεις, εκτός εάν λανθάνει νεφρική ανεπάρκεια<sup>345</sup>.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάθεσης τιμών βάρους στις χημικές παραμέτρους, το επόμενο βήμα αφορά στον υπολογισμό της τιμής του σχετικού βάρους ( $W_i$ ) της εκάστοτε παραμέτρου, ο οποίος γίνεται μέσω της εξίσωσης<sup>346</sup>:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Όπου,  $W_i$  το σχετικό βάρος,  $w_i$  το βάρος της κάθε παραμέτρου και  $n$  ο αριθμός των παραμέτρων<sup>347</sup>.

Ο υπολογισμός των τιμών του σχετικού βάρους της κάθε παραμέτρου δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 9.2.1:** Σχετικό βάρος χημικών παραμέτρων και εύρη χημικών παραμέτρων ΠΟΥ(2017)<sup>348</sup>

Χημικές Παράμετροι (mg/L)	WHO (2017)	Βάρος	Σχετικό Βάρος ( $W_i$ )
pH	6.5–8.5	4	0,1176
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	5	0,1471
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	250	1	0,0294
Cl <sup>-</sup>	200–300	4	0,1176
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	250	4	0,1176
K <sup>+</sup>	12	3	0,0882
Na <sup>+</sup>	200	3	0,0882
Ca <sup>++</sup>	75	2	0,0588
Mg <sup>++</sup>	50	2	0,0588
T.D.S	600–1000	4	0,1176
TH	100–300	2	0,0588
	<b>Σύνολο</b>	<b>34</b>	<b>1,0000</b>

<sup>344</sup> Ahmad Badeenezhad et. al., 2020, «Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran», σ. 5

<sup>345</sup> Διαδικτυακή πηγή: «www.eirinika.gr»

<sup>346</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>347</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>348</sup> Chukwuma N. Mgbenu et. al., 2019, « The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria», σ. 22



Το τρίτο βήμα αφορά στον υπολογισμό ενός δείκτη για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού, ο οποίος επιτυγχάνεται με τη διαίρεση της συγκέντρωσης της παραμέτρου με το αντίστοιχο ανώτατο όριο συγκέντρωσης που δίνεται από Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, πολλαπλασιάζοντάς το με το 100. Η εξίσωση είναι της μορφής<sup>349</sup>:

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

Όπου  $q_i$  είναι δείκτης που έχει ως παράμετρο ελέγχου, την ποιότητα του δείγματος νερού,  $C_i$  η συγκέντρωση της κάθε παραμέτρου του δείγματος νερού σε mg/L και  $S_i$  το πρότυπο συγκέντρωσης των χημικών παραμέτρων του WHO στο πόσιμο νερό<sup>350</sup>.

Για τον υπολογισμό του WQI, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί ο υπο-δείκτης ( $SI$ ) για κάθε χημική παράμετρο και δίνεται από την εξίσωση<sup>351</sup>:

$$SI_i = W_i \times q_i$$

Και τέλος,

$$WQI = \sum SI_{i-n}$$

Όπου  $SI_i$  ο υπο-δείκτης για την κάθε παράμετρο,  $W_i$  το σχετικό βάρος της κάθε παραμέτρου,  $q_i$  ο δείκτης ποιότητας που βασίζεται στη συγκέντρωση της κάθε παραμέτρου και  $n$  ο αριθμός των χημικών παραμέτρων<sup>352</sup>.

Οι τιμές του WQI ταξινομούνται σε πέντε ομάδες:  $WQI < 50$  → εξαιρετικό νερό,  $WQI = 50-100$  → καλό νερό,  $WQI = 100-200$  κακό νερό,  $WQI = 200-300$  πολύ κακό νερό και  $WQI > 300$  → ακατάλληλο νερό<sup>353</sup>.

Η ανωτέρω διαδικασία υπολογισμού του Δείκτη Ποιότητας Ύδατος έχει εφαρμοστεί για τα δείγματα του 2001, του 2011 και του 2020.

---

<sup>349</sup> Asit Kumar Batabyal et. al., 2015, « Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses», σ. 609

<sup>350</sup> Ο.π.

<sup>351</sup> Ο.π.

<sup>352</sup> Ο.π.

<sup>353</sup> Ο.π.

## 9.2.1 Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2001

Στον πίνακα 9.2.1.1 φαίνονται αναλυτικά τα δείγματα νερού για τις περιόδους Ιουνίου-Ιουλίου και Οκτωβρίου του 2001 με τις αντίστοιχες ταξινομήσεις αυτών, ως προς την καταλληλότητά τους για πόση.

**Πίνακας 9.2.1.1:** Υπολογισμένες τιμές των δειγμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για πόση, σύμφωνα με τον Δείκτη Ποιότητας Ύδατος (WQI) για τις περιόδους Ιουνίου-Ιουλίου και Οκτωβρίου 2001.

2001					
Ιούνιος-Ιούλιος			Οκτώβριος		
Δείγμα	Κατάταξη	WQI	Δείγμα	Κατάταξη	WQI
Π1	Κακό	136,9	Π1	Κακό	138,4
Π4	Κακό	116,1	Π4	Κακό	108,1
Π6	Πολύ κακό	204,5	Π7	Κακό	164,0
Π7	Κακό	162,2	Π10	Καλό	61,2
Π10	Καλό	75,5	Π16	Πολύ κακό	268,9
Π11	Εξαιρετικό	28,1	Π17	Πολύ κακό	221,1
Π12	Καλό	93,5	Π19	Ακατάλληλο	402,5
Π13	Κακό	106,0	Π35	Καλό	99,8
Π14	Κακό	142,4	Π41	Καλό	72,3
Π15	Κακό	134,9	Π45	Κακό	134,3
Π16	Πολύ κακό	299,5	Π46	Καλό	77,2
Π17	Πολύ κακό	228,1	Π55	Κακό	129,0
Π18	Ακατάλληλο	372,3	Γ1	Καλό	57,0
Π19	Ακατάλληλο	395,8	Γ8	Κακό	128,9
Π21	Καλό	89,2	Γ12	Καλό	84,4
Π27	Κακό	180,6	Γ15	Κακό	139,4
Π28	Κακό	188,2	Γ17	Καλό	90,9
Π30	Κακό	152,6			
Π32	Καλό	64,9			
Π41	Καλό	74,6			
Π43	Καλό	94,3			
Π45	Κακό	127,8			
Π46	Καλό	78,2			
Γ1	Καλό	53,4			
Γ2	Κακό	140,4			
Γ4	Καλό	63,4			
Γ5	Κακό	102,8			
Γ8	Κακό	125,1			
Γ9	Κακό	191,9			
Γ10	Κακό	103,6			
Γ12	Καλό	87,6			
Γ15	Κακό	158,0			
Γ17	Καλό	89,5			
			<b>Υπόμνημα</b>		
			< 50	Εξαιρετικό	
			50-100	Καλό	
			100-200	Κακό	
			200-300	Πολύ κακό	
			> 300	Ακατάλληλο	

Στη συνέχεια, στον πίνακα 9.2.1.2, έχουν συγκεντρωθεί τα στοιχεία του ανωτέρου πίνακα και έχουν εκφραστεί σε ποσοστά (%).

**Πίνακας 9.2.1.2:** Κατάταξη των δειγμάτων (%) ως προς την ποιότητα του ύδατος για πόση.

Έτος 2001				
			%Δείγματα	
Κατηγοριοποίηση	Κατάταξη	Εύρη	Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος
WQI	Εξαιρετικό	< 50	3%	
	Καλό	50-100	33%	41%
	Κακό	100-200	49%	41%
	Πολύ κακό	200-300	9%	12%
	Ακατάλληλο	> 300	6%	6%

Σύμφωνα με τους ανωτέρω πίνακες καθίσταται φανερό ότι στα κοινά δείγματα, που υπάρχουν μεταξύ των δύο περιόδων, δεν παρατηρούνται αλλαγές στην ποιότητα του νερού, παρά μόνο στη γεώτρηση Γ1 που ενώ έχει, σύμφωνα με την κατάταξη, εξαιρετικό πόσιμο νερό τον Ιούνιο-Ιούλιο, τον Οκτώβριο έχει απλά καλό νερό. Ακατάλληλο είναι το νερό στα πηγάδια Π18 και Π19 τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της Παλαιάς Φώκαιας και σε κοντινή απόσταση από τη θάλασσα. Αυτά έχουν υποστεί υφαλμύρωση αλλά υπάρχει και επιβάρυνση με νιτρικά, πιθανά από γεωργικά λιπάσματα, όπως φαίνεται στις χημικές αναλύσεις. Πολύ κακό νερό έχουν τα πηγάδια Π16 και Π17 τα οποία επίσης βρίσκονται στη Παλαιά Φώκεια και κοντά στη θάλασσα. Το 49% των δειγμάτων που έχουν κακό νερό βρίσκονται γενικά στη παράκτια ζώνη και στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης στην υδροφορία των προσχώσεων, εκτός από τη γεώτρηση Γ15 που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και της οποίας τα νερά πρέπει να έχουν υποστεί κάποιου είδους ρύπανση. Καλό νερό έχουν τα δείγματα που έχουν παρθεί από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, από το βόρειο τμήμα (υδροφορία προσχώσεων) καθώς και από την καρστική και φρεάτια αβαθή υδροφορία. Ωστόσο το δείγμα Π35, που βρίσκεται στη παράκτια ζώνη, έχει και αυτό, κατάλληλο νερό για πόση.

## 9.2.2 Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2011

Στον πίνακα 9.2.2.1 φαίνονται αναλυτικά τα δείγματα νερού για τις περιόδους Φεβρουαρίου-Μαρτίου και Αυγούστου του 2011 με τις αντίστοιχες ταξινομήσεις αυτών, ως προς την καταλληλότητά τους για πόση.

**Πίνακας 9.2.2.1:** Υπολογισμένες τιμές των δειγμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για πόση, σύμφωνα με τον Δείκτη Ποιότητας Ύδατος (WQI) για τις περιόδους Φεβρουαρίου-Μαρτίου και Αυγούστου του 2011.

2011					
Φεβρουάριος-Μάρτιος			Αύγουστος		
Δείγμα	Κατάταξη	WQI	Δείγμα	Κατάταξη	WQI
P1	Κακό	183,7	P1	Κακό	174,4
P2	Πολύ κακό	211,2	P2	Κακό	183,3
P3	Κακό	155,8	P3	Κακό	135,3
P4	Καλό	72,5	P4	Κακό	101,3
P5	Καλό	63,0	P5	Εξαιρετικό	28,2
P6	Κακό	105,7	P6	Καλό	98,5
P7	Καλό	83,0	P7	Καλό	66,4
P8	Καλό	88,2	P8	Καλό	88,5
P10	Κακό	115,6	P9	Κακό	146,7
P11	Κακό	126,2	P10	Κακό	125,3
P12	Κακό	109,8	P11	Κακό	120,8
G1	Εξαιρετικό	30,3	P12	Κακό	109,7
G2	Εξαιρετικό	39,3	G1	Καλό	65,5
G4	Καλό	90,9	G2	Καλό	67,6
G5	Κακό	120,5			

Υπόμνημα	
< 50	Εξαιρετικό
50-100	Καλό
100-200	Κακό
200-300	Πολύ κακό
> 300	Ακατάλληλο

Στη συνέχεια, στον πίνακα 9.2.2.2, έχουν συγκεντρωθεί τα στοιχεία του ανωτέρου πίνακα και έχουν εκφραστεί σε ποσοστά (%).

**Πίνακας 9.2.2.2:** Κατάταξη των δειγμάτων (%) ως προς την ποιότητα του ύδατος για πόση.

Έτος 2011				
			%Δείγματα	
Κατηγοριοποίηση	Κατάταξη	Εύρη	Φεβρουαρίου-Μαρτίου	Αυγούστου
WQI	Εξαιρετικό	< 50	13%	7%
	Καλό	50-100	33%	36%
	Κακό	100-200	47%	57%
	Πολύ κακό	200-300	7%	
	Ακατάλληλο	> 300		

Σύμφωνα με τους ανωτέρω πίνακες παρατηρείτε ότι στα κοινά δείγματα, που υπάρχουν μεταξύ των δύο περιόδων, παρατηρείται ότι το πηγάδι P2 ενώ τον Φεβρουάριο-Μάρτιο έχει πολύ κακό νερό, τον Αύγουστο έχει κακό νερό για πόση. Το πηγάδι P6 τον Φεβρουάριο-Μάρτιο χαρακτηρίζεται από κακής ποιότητας νερό ενώ τον Αύγουστο το νερό είναι καλό για

πόση. Το πηγάδι P5 από καλό νερό τον Φεβρουάριο-Μάρτιο, αυτό γίνεται εξαιρετικό τον Αύγουστο. Υπάρχει και εδώ βελτίωση. Ωστόσο, το πηγάδι P4 ενώ τον Φεβρουάριο-Μάρτιο έχει καλό νερό, τον Αύγουστο έχει κακής ποιότητας νερό. Οι γεωτρήσεις G1 και G2 ενώ έχουν εξαιρετικό νερό για πόση τον Φεβρουάριο-Μάρτιο, τον Αύγουστο έχουν καλό. Συνοψίζοντας, τα πηγάδια P2, P5 και P6 έχουν βελτίωση τον Αύγουστο ενώ οι γεωτρήσεις G1, G2 και το πηγάδι P4 παρουσιάζουν επιδείνωση τον Αύγουστο. Τα υπόλοιπα δείγματα, ανάμεσα σε αυτές τις περιόδους δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις.

Το πηγάδι P2 βρίσκεται στην περιοχή του Θυμαρίου κοντά στην παραλιακή ζώνη και πιθανά το κακής ποιότητας νερό να είναι αποτέλεσμα κάποιας τοπικής ρύπανσης, όπως η χρήση λιπασμάτων ή η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Το πηγάδι P5 βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου, σε υψόμετρο 25 m και πιθανά η επίσης λιγότερο καλή ποιότητα νερού, το μήνα Φεβρουάριο να είναι ομοίως απόρροια κάποιας τοπικής ρύπανσης, όπως η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Ομοίως για το πηγάδι P6. Το πηγάδι P4 βρίσκεται στην παράκτια ζώνη και η επιδείνωση που παρουσιάζει, ως προς την ποιότητα του νερού, τον Αύγουστο, μπορεί να οφείλεται σε θαλάσσια διείσδυση, εφόσον βρίσκεται σε υψόμετρο 8 m ή και κάποιου είδους τοπικής ρύπανσης.

Οι γεωτρήσεις G1 και G2 βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, στις παρυφές του Ολύμπου και μάλλον εκμεταλλεύονται την καρστική υδροφορία. Η αλλαγή στην ποιότητα τον Αύγουστο πιθανά να οφείλεται σε συνθήκες εξατμισοδιαπνοής, με αύξηση νατρίου και χλωρίου, ωστόσο το νερό παραμένει καλό για πόση. Τα υπόλοιπα δείγματα δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στις δύο περιόδους.

Την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου τα μεγαλύτερα ποσοστά της ποιότητας του νερού συγκεντρώνονται μεταξύ καλής ποιότητας νερού (33%) και κακής ποιότητας νερού (47%) για πόση. Καλής ποιότητας πόσιμο νερό έχουν τα πηγάδια P4, P5 και P8, τα οποία βρίσκονται στη παράκτια ζώνη και το πηγάδι P7 που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου. Πόσιμο νερό έχουν και οι γεωτρήσεις G1, G2 και G4. Κακής ποιότητας νερά έχουμε στα πηγάδια P3 και P10 και βρίσκονται σε υψόμετρο 178 και 61 μέτρα αντίστοιχα. Το υψόμετρο είναι αρκετά υψηλό για να είναι αποτέλεσμα υφαλμύρωσης, οπότε πιθανά, και στις δύο περιπτώσεις η κακή ποιότητα να είναι απόρροια ρύπανσης από λιπάσματα ή λύματα. Τα πηγάδια P11 και P12 έχουν και αυτά κακής ποιότητας νερά, πιθανά για τους ίδιους λόγους. Το πηγάδι P1 έχει κακής ποιότητας νερό που δεν είναι για πόση, το οποίο βρίσκεται πολύ κοντά στη θάλασσα και σε χαμηλό υψόμετρο, στην περιοχή του Θυμαρίου και πιθανά να έχει υποστεί

υφαλμύρωση. Το πηγάδι P6 και η γεώτρηση G5 έχουν και αυτά μη πόσιμο νερό, πιθανά λόγω κάποιας τοπικής ρύπανσης.

Την περίοδο του Αυγούστου το 57% των δειγμάτων έχει κακής ποιότητας νερό. Πόσιμο νερό έχουν τα πηγάδια P5, P6, P7, P8 και οι γεωτρήσεις G1, G2.

### 9.2.3 Υπολογισμός WQI (Water Quality Index) για το Έτος 2020

Στον πίνακα 9.2.3.1 φαίνονται αναλυτικά τα δείγματα νερού για τη περίοδο του Φεβρουαρίου του 2020 με τις αντίστοιχες ταξινομήσεις αυτών, ως προς την καταλληλότητά τους για πόση.

**Πίνακας 9.2.3.1:** Υπολογισμένες τιμές των δειγμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για πόση, σύμφωνα με τον Δείκτη Ποιότητας Ύδατος (WQI) για τη περίοδο του Φεβρουαρίου του 2020.

2020				
Φεβρουάριος				
Δείγμα	Κατάταξη	WQI	Υπόμνημα	
ΚΘ_ΙΔ	Κακό	142,2	< 50	Εξαιρετικό
ΚΘ_NT	Εξαιρετικό	44,7	50-100	Καλό
ΑΝ_ΑΔ	Εξαιρετικό	41,6	100-200	Κακό
ΑΝ_ΥΔ	Εξαιρετικό	25,8	200-300	Πολύ κακό
ΠΦ_ΜΑ	Καλό	93,6	> 300	Ακατάλληλο
ΠΦ_Π	Κακό	158,2		

Στη συνέχεια, στον πίνακα 9.2.3.2, έχουν συγκεντρωθεί τα στοιχεία του ανωτέρου πίνακα και έχουν εκφραστεί σε ποσοστά (%).

**Πίνακας 9.2.3.2:** Κατάταξη των δειγμάτων (%) ως προς την ποιότητα του ύδατος για πόση.

Έτος 2020			
			%Δείγματα
Κατηγοριοποίηση	Κατάταξη	Εύρη	Φεβρουάριος
WQI	Εξαιρετικό	< 50	50%
	Καλό	50-100	17%
	Κακό	100-200	33%
	Πολύ κακό	200-300	
	Ακατάλληλο	> 300	

Σύμφωνα με τους ανωτέρω πίνακες παρατηρείται ότι γενικά το νερό των δειγμάτων είναι καλής ποιότητας, εκτός από την ιδιωτική γεώτρηση στα Καλύβια Θορικού και το πηγάδι στη Παλαιά Φώκαια. Όσον αφορά στο δείγμα από την Παλαιά Φώκαια η κακή ποιότητά του νερού μπορεί να οφείλεται στην χρήση λιπασμάτων και την υφαλμύρωση, διότι βρίσκεται

κοντά στη θάλασσα, ενώ η κακή ποιότητα του νερού από την ιδιωτική γεώτρηση είναι αποτέλεσμα ρύπανσης και όχι υφαλμύρωσης, διότι αυτή βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο.

### 9.3 Δείκτες Ποιότητας Νερού για Άρδευση

Η καταλληλότητα του νερού για αρδευτική χρήση καθορίζεται σε πολλές μελέτες με το υπολογισμό των εξής δεικτών:

- SAR. Το αντίστοιχο υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης των Ηνωμένων Πολιτειών (1954) ταξινομεί το νερό της άρδευσης ανάλογα με τον δείκτη προσρόφησης νατρίου (SAR)<sup>354</sup>. Η τιμή του υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Σύμφωνα με τον δείκτη αυτό, η ταξινόμηση του υπόγειου ύδατος γίνεται σε 4 τάξεις, οι οποίες είναι:

- i. 0 – 10 → εξαιρετικό νερό για άρδευση
- ii. 10 – 18 → καλό νερό για άρδευση
- iii. 18 – 26 → μέτριο νερό για άρδευση
- iv. > 26 → ακατάλληλο νερό για άρδευση

Ακόμη, ευρέως χρησιμοποιείται και το διάγραμμα USSL για τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών<sup>355</sup>. Χρησιμοποιεί το δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. Με αυτόν τον τρόπο το υπόγειο νερό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 16 κλάσεις, χρησιμοποιώντας τις ανωτέρω παραμέτρους<sup>356</sup>.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κατηγοριοποιείται σε χαμηλή (C1), μέτρια (C2), υψηλή (C3) και πολύ υψηλή (C4) αλατότητα. Οι κατηγορίες (C1 – C4) έχουν τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας από 0–250 μS/cm, 250-750 μS/cm, 750-2250 μS/cm και > 2250 μS/cm

<sup>354</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56

<sup>355</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56

<sup>356</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56

αντίστοιχα<sup>357</sup>. Ο δείκτης SAR χωρίζεται σε 4 κλάσεις και αυτές είναι: χαμηλή (S1), μέτρια (S2), υψηλή (S3) και πολύ υψηλή (S4) επικινδυνότητα νατρίου<sup>358</sup>.

- %Na. Το %Na ποσοστό νατρίου υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}$$

Όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Ο Wilcox (1955), ταξινομήσε τα υπόγεια νερά ανάλογα με την %Na, όπου ανάλογα με τον δείκτη, το υπόγειο νερό ταξινομείται σε 5 ομάδες. Αυτές είναι:

- 0 – 20 % → εξαιρετικό υπόγειο νερό για άρδευση
- 20 – 40 % → καλό υπόγειο νερό για άρδευση
- 40 – 60 % → επιτρεπτό υπόγειο νερό για άρδευση
- 60 – 80 % → αμφίβολο υπόγειο νερό για άρδευση
- 80 – 100 % → ακατάλληλο υπόγειο νερό για άρδευση

- PI. Ο δείκτης διαπερατότητας (PI) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του υπόγειου νερού για αρδευτικούς σκοπούς και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο<sup>359</sup>:

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} 100$$

Όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Σύμφωνα με τον ανωτέρω δείκτη, το υπόγειο νερό κατηγοριοποιείται σε τρεις τάξεις. Αυτές είναι:

- 0 – 25 → ακατάλληλο νερό για άρδευση
- 25 – 75 → καλό νερό για άρδευση
- ≥ 75 → εξαιρετικό νερό για άρδευση

<sup>357</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56

<sup>358</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56

<sup>359</sup> Panagiotis Papazotos, et. al., «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ. 56



### 9.3.1 Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2001

Πίνακας 9.3.1.1: Υπολογισμένες τιμές SAR, %Na και PI για την περίοδο Ιουνίου Ιουλίου και Οκτωβρίου 2001

Έτος 2001							
Περίοδος Ιουνίου-Ιουλίου				Περίοδος Οκτωβρίου			
Δείγματα	SAR	%Na	PI	Δείγματα	SAR	%Na	PI
Π1	2,1	28,9	39,8	Π1	2,1	28,7	39,6
Π4	1,9	28,4	41,8	Π4	1,8	26,1	40,1
Π6	8,4	59,0	63,7	Π7	6,0	51,6	59,5
Π7	4,5	44,8	53,5	Π10	1,5	27,9	49,5
Π10	1,8	29,3	46,5	Π16	5,3	38,5	41,7
Π11	0,4	14,6	52,4	Π17	6,4	48,5	53,8
Π12	1,6	27,9	43,7	Π19	7,9	45,2	47,6
Π13	2,0	29,8	44,6	Π35	3,5	44,4	57,6
Π14	2,0	27,5	39,1	Π41	0,8	17,6	39,2
Π15	3,4	40,4	51,3	Π45	3,6	40,3	50,2
Π16	5,1	37,3	41,2	Π46	1,0	18,9	38,0
Π17	6,7	49,5	54,2	Π55	3,1	37,8	49,0
Π18	8,0	46,7	49,7	Γ1	1,4	27,5	51,5
Π19	7,0	42,1	44,5	Γ8	3,7	42,6	53,0
Π21	3,4	46,2	60,0	Γ12	4,2	53,6	69,5
Π27	4,7	45,9	53,3	Γ15	4,5	44,7	53,1
Π28	4,2	42,8	51,0	Γ17	1,8	28,6	43,9
Π30	6,4	53,4	60,3	<b>Υπόμνημα</b>			
Π32	1,9	34,7	59,3	<b>SAR</b>			
Π41	0,8	16,5	36,7	0-10	Εξαιρετικό		
Π43	0,9	16,1	29,5	10-18.	Καλό		
Π45	3,4	40,0	49,9	18-26.	Μέτριο		
Π46	1,1	20,6	37,5	>26	Ακατάλληλο		
Γ1	1,6	30,8	53,0	<b>PI</b>			
Γ2	2,5	31,5	43,1	0-25	Ακατάλληλο		
Γ4	2,6	41,0	62,4	25-75	Καλό		
Γ5	2,8	39,3	54,2	≥ 75	Εξαιρετικό		
Γ8	3,8	45,1	55,0	<b>%Na</b>			
Γ9	4,9	42,9	48,2	0-20	Εξαιρετικό		
Γ10	2,5	35,7	49,9	20-40	Καλό		
Γ12	4,3	55,2	70,4	40-60	Επιτρεπτό		
Γ15	3,8	40,7	48,7	60-80	Αμφίβολο		
Γ17	1,7	29,2	44,8	80-100	Ακατάλληλο		

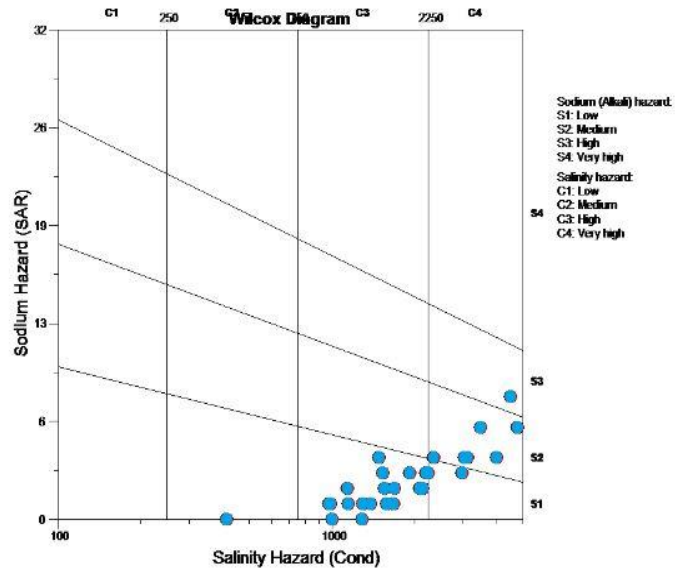
Στον κατωτέρω πίνακα έχει γίνει η κατηγοριοποίηση του υπόγειου νερού για άρδευση σύμφωνα με τους δείκτες SAR, %Na και PI.

**Πίνακας 9.3.1.2:** Κατηγοριοποίηση του υπόγειου ύδατος σύμφωνα με τους δείκτες SAR, %Na και PI, για τις περιόδους Ιουνίου-Ιουλίου και Οκτωβρίου.

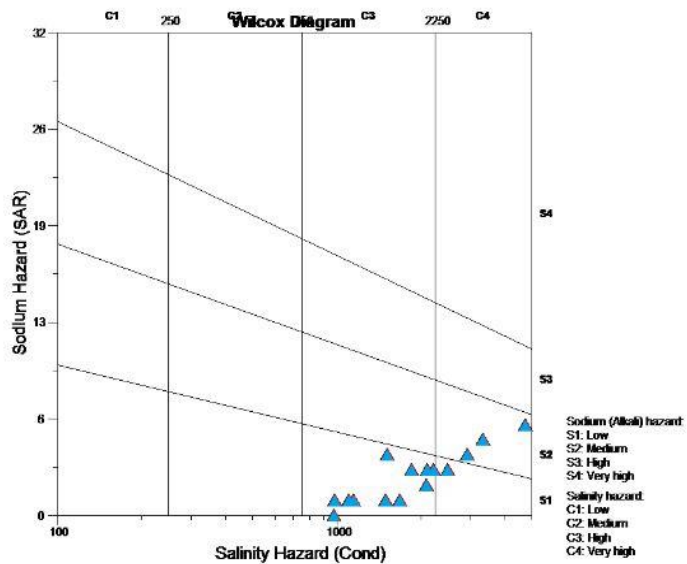
Έτος 2001				
Ταξινόμηση	Κατηγορίες	Εύρη	%Δείγματα	
			Ιούνιος-Ιούλιος	Οκτώβριος
SAR	Εξαιρετικό	0-10	100%	100%
	Καλό	10-18.		
	Μέτριο	18-26.		
	Ακατάλληλο	>26		
%Na	Εξαιρετικό	0-20	10,00%	6%
	Καλό	20-40	45,00%	47%
	Επιτρεπτό	40-60	45,00%	47%
	Αμφίβολο	60-80		
	Ακατάλληλο	80-100		
PI	Ακατάλληλο	0-25		
	Καλό	25-75	100%	100%
	Εξαιρετικό	≥ 75		

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ανωτέρου πίνακα παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους τα αποτελέσματα είναι παρόμοια. Σύμφωνα με το δείκτη SAR το σύνολο των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους είναι εξαιρετικό και με τον δείκτη PI το σύνολο των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους είναι καλό. Σύμφωνα με τον δείκτη %Na τα μεγαλύτερα ποσοστά των δειγμάτων βρίσκονται ισόποσα μοιρασμένα μεταξύ καλού και επιτρεπτού υπόγειου νερού για άρδευση, με μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των δειγμάτων να είναι εξαιρετικό για άρδευση. Επομένως, σύμφωνα με τους ανωτέρω δείκτες όλα τα δείγματα, έχουν νερό κατάλληλο για άρδευση.

Στη κατωτέρω εικόνα παρατίθεται το διάγραμμα Wilcox και για τις δύο περιόδους.



(a)



(b)

Εικόνα 9.3.1.1: Διάγραμμα Wilcox για την περίοδο (a) Ιουνίου-Ιουλίου και (b) Οκτωβρίου 2001

Παρατηρείται ότι σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox για τη περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου, το 3% (C4.S3) των δειγμάτων έχουν πολύ κακής ποιότητας νερό και δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε καμία περίπτωση, το 18% (C4.S2) των δειγμάτων έχουν επίσης κακής ποιότητας νερά, που ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανθεκτικά φυτά, με καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και προσθήκη γύψου, το 64% (C3.S1) των δειγμάτων έχουν νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παίρνοντας όμως, μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά. Το 3% (C2.S1) των δειγμάτων

αντιστοιχεί σε ποιότητα νερού καλή έως μέτρια, με επιφύλαξη τη χρήση του στα ευαίσθητα φυτά. Το 3% (C4.S1) έχει ποιότητα νερού πολύ μέτρια έως κακή, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη, που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος. Τέλος, το 9% των δειγμάτων έχει τιμές εκτός ορίων σύμφωνα με το διάγραμμα, δηλαδή έχουν πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Πρόκειται για τα πηγάδια Π16, Π18 και Π19 με το νερό να είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση.

Για την περίοδο του Οκτωβρίου το 18% (C4.S2) των δειγμάτων αντιπροσωπεύουν νερά κακής ποιότητας που χρησιμοποιούνται για άρδευση ανθεκτικών φυτών σε καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και με προσθήκη γύψου. Το 65% (C3.S1) των δειγμάτων έχουν νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί παίρνοντας μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή με προσθήκη γύψου. Το 6% των δειγμάτων αντιστοιχεί σε ποιότητα ύδατος πολύ μέτρια έως κακή και πρέπει να χρησιμοποιηθεί παίρνοντας μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη με προσθήκη γύψου. Το 12% των δειγμάτων έχει τιμές εκτός ορίων σύμφωνα με το διάγραμμα, δηλαδή έχουν πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Πρόκειται για τα πηγάδια Π16 και Π19 με το νερό να είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση.

Στον κατωτέρω πίνακα, φαίνεται αναλυτικά η κατάταξη της ποιότητας του νερού, των γεωτρήσεων και των πηγαδιών, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox και για τις δύο περιόδους.

**Πίνακας 9.3.1.3:** Κατάταξη δειγμάτων, ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox.

<b>Έτος 2001</b>		
<b>Κατηγορίες αρδευτικού νερού (Wilcox)</b>	<b>Περίοδος Ιουνίου-Ιουλίου</b>	<b>Περίοδος Οκτωβρίου</b>
C1.S1		
C1.S2		
C2.S1	Π11	
C1.S3		
C2.S2		
C3.S1	Π1, Π4, Π10, Π12, Π13, Π14, Π15, Π21, Π32, Π41, Π43, Π46, Γ1, Γ2, Γ4, Γ5, Γ8, Γ10, Γ12, Γ17	Π1, Π4, Π10, Π35, Π41, Π46, Π55, Γ1, Γ8, Γ12, Γ17
C1.S4		
C2.S3		
C3.S2		
C4.S1	Γ15	
C2.S4		
C3.S3		
C4.S2	Π7, Π17, Π27, Π28, Π30, Γ9	Π7, Π17, Γ15,
C3.S4		
C4.S3	Π6	
C4.S4		
Τιμές Εκτός Ορίων	Π16, Π18, Π19	Π16, Π19

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα, παρατηρείται ότι για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου, το πηγάδι Π11 έχει καλή έως μέτρια ποιότητα νερού για άρδευση και εκμεταλλεύεται την φρεάτια αβαθή υδροφορία. Η γεώτρηση Γ15, που έχει ποιότητα νερού για άρδευση πολύ μέτρια έως κακή, έχει υποστεί κάποιου είδους τοπικής ρύπανσης. Το πηγάδι Π6 έχει κακής ποιότητας νερό, πιθανά λόγω υφαλμύρωσης και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Ακόμη τα πηγάδια Π16, Π18 και Π19, τα οποία βρίσκονται στη παράκτια ζώνη της λεκάνης της Αναβύσσου, έχουν νερό που είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση, γεγονός το οποίο πιθανά να οφείλεται σε έντονη υφαλμύρωση. Τέλος, τα υπόλοιπα δείγματα (Π1, Π4, Π10, Π12, Π13, Π14, Π15, Π21, Π32, Π41, Π43, Π46, Γ1, Γ2, Γ4, Γ5, Γ8, Γ10, Γ12, Γ17) έχουν ποιότητα νερού μέτρια έως πολύ μέτρια για άρδευση και βρίσκονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης (υδροφορία προσχώσεων), ενώ κάποια από αυτά εκμεταλλεύονται την καρστική και αβαθή υδροφορία.

Για την περίοδο του Οκτωβρίου, τα πηγάδια Π16 και Π19 έχουν ακόμη νερό, το οποίο είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση. Τα πηγάδια Π7, Π17 και η γεώτρηση Γ15 έχουν κακής ποιότητας νερό για άρδευση. Παρατηρείται ότι το νερό στη γεώτρηση Γ15, σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, έχει επιβαρυνθεί περαιτέρω. Τα υπόλοιπα δείγματα έχουν ποιότητα

ύδατος μέτρια έως πολύ μέτρια για άρδευση και παρατηρείται ότι η κατηγοριοποίησή τους, δεν έχει αλλάξει σε σχέση με την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου, πρόκειται για τα Π1, Π4, Π10, Π35, Π41, Π46, Π55, Γ1, Γ8, Γ12 και Γ17.

### 9.3.2 Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2011

**Πίνακας 9.3.2.1:** Υπολογισμένες τιμές SAR, %Na και PI για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου και Αυγούστου 2011

Έτος 2011							
Περίοδος Φεβρουαρίου-Μαρτίου				Περίοδος Αυγούστου			
Δείγματα	SAR	%Na	PI	Δείγματα	SAR	%Na	PI
P1	5,8	49,9	58,5	P1	5,5	48,8	58,4
P2	7,7	52,8	58,4	P2	5,4	47,6	56,9
P3	5,0	46,6	54,6	P3	5,0	49,4	57,8
P4	1,8	30,2	49,3	P4	2,6	36,5	50,8
P5	0,7	16,1	42,2	P5	1,2	35,9	69,5
P6	2,9	37,3	50,2	P6	2,0	30,5	45,2
P7	0,9	17,9	38,5	P7	0,8	17,8	41,3
P8	1,9	29,4	45,6	P8	2,9	38,8	56,6
P10	3,3	38,7	52,9	P9	4,0	44,0	53,6
P11	2,4	31,8	45,0	P10	5,6	51,4	60,7
P12	2,4	33,9	50,9	P11	3,2	38,6	49,7
G1	0,1	3,9	41,7	P12	3,2	40,5	55,7
G2	2,2	42,0	71,8	G1	1,8	31,8	51,8
G4	2,8	40,5	56,8	G2	1,7	29,8	50,4
G5	2,9	33,6	45,2				

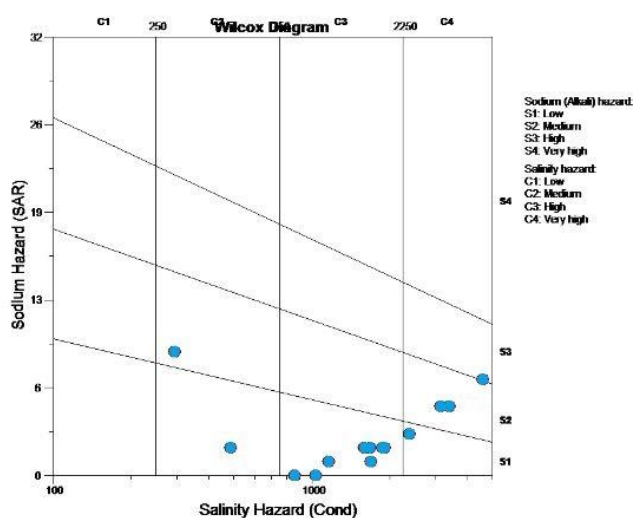
Υπόμνημα	
SAR	
0-10	Εξαιρετικό
10-18.	Καλό
18-26.	Μέτριο
>26	Ακατάλληλο
PI	
0-25	Ακατάλληλο
25-75	Καλό
≥ 75	Εξαιρετικό
%Na	
0-20	Εξαιρετικό
20-40	Καλό
40-60	Επιτρεπτό
60-80	Αμφίβολο
80-100	Ακατάλληλο

Στον κατωτέρω πίνακα έχει γίνει η κατηγοριοποίηση του υπόγειου νερού για άρδευση σύμφωνα με τους δείκτες SAR, %Na και PI.

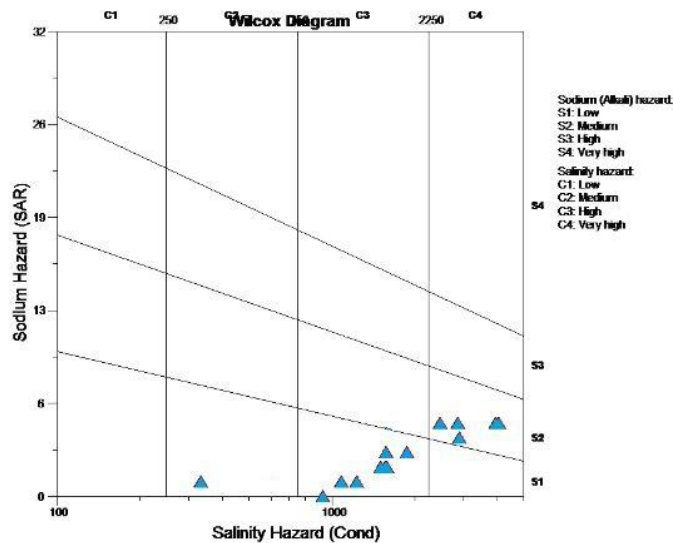
**Πίνακας 9.3.2.2:** Κατηγοριοποίηση του υπόγειου ύδατος σύμφωνα με τους δείκτες SAR, %Na και PI, για τις περιόδους Φεβρουαρίου-Μαρτίου και Αυγούστου.

Έτος 2011				
			%Δείγματα	
Ταξινόμηση	Κατηγορίες	Εύρη	Φεβρουάριος-Μάρτιος	Αύγουστος
SAR	Εξαιρετικό	0-10	100%	100%
	Καλό	10-18.		
	Μέτριο	18-26.		
	Ακατάλληλο	>26		
%Na	Εξαιρετικό	0-20	20,00%	7%
	Καλό	20-40	47,00%	50%
	Επιτρεπτό	40-60	33,00%	43%
	Αμφίβολο	60-80		
	Ακατάλληλο	80-100		
PI	Ακατάλληλο	0-25		
	Καλό	25-75	100%	100%
	Εξαιρετικό	≥ 75		

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους τα αποτελέσματα είναι γενικά παρόμοια. Σύμφωνα με το δείκτη SAR το σύνολο των δειγμάτων είναι εξαιρετικό, με τον δείκτη PI το σύνολο των δειγμάτων είναι καλό και σύμφωνα με τον δείκτη %Na φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό και για τις δύο περιόδους είναι καλό για άρδευση. Την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου περισσότερα δείγματα είχαν εξαιρετικό νερό. Επίσης τον Αύγουστο έχουν αυξηθεί τα δείγματα που έχουν επιτρεπτό νερό συγκριτικά με αυτά του Φεβρουαρίου. Στη παρακάτω εικόνα παρατίθεται το διάγραμμα Wilcox και για τις δύο περιόδους.



(a)



(b)

**Εικόνα 9.3.2.1:** Διάγραμμα Wilcox για την περίοδο (a) Φεβρουαρίου-Μαρτίου και (b) Αυγούστου.

Παρατηρείται ότι σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox για τη περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου, το 7% (C4.S3) των δειγμάτων έχει πολύ κακής ποιότητας νερό που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για άρδευση. Το 13% (C4.S2) των δειγμάτων έχουν κακής ποιότητας νερό που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, παρά μόνο σε ανθεκτικά φυτά με καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και με προσθήκη γύψου. Το 60% (C3.S1) των δειγμάτων έχουν νερά μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν παίρνοντας μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται ή να προστίθεται σε αυτό γύψος. Το 7% (C2.S1) των δειγμάτων αντιστοιχούν σε ποιότητα ύδατος καλή έως μέτρια, με επιφύλαξη στα ευαίσθητα φυτά. Το 7% (C4.S1) αντιστοιχεί σε νερό πολύ μέτριας έως κακής ποιότητας που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, παρά μόνο με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη ή με προσθήκη γύψου. Το 7% (C2.S2) των δειγμάτων αντιστοιχεί σε νερά μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν παίρνοντας μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται ή να προστίθεται σε αυτό γύψος.

Για την περίοδο του Αυγούστου το 36% (C4.S2) των δειγμάτων έχουν κακής ποιότητας νερό που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για άρδευση παρά μόνο σε ανθεκτικά φυτά με καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και με προσθήκη γύψου. Το 57% (C3.S1) των δειγμάτων έχουν μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί παίρνοντας μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή να προστίθεται σε αυτό γύψος.



Το 7% (C2.S1) των δειγμάτων αντιστοιχεί σε ποιότητα ύδατος καλή έως μέτρια, με επιφύλαξη στα ευαίσθητα φυτά.

Στον κατωτέρω πίνακα, φαίνεται αναλυτικά η κατάταξη της ποιότητας του νερού, των γεωτρήσεων και των πηγαδιών, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox και για τις δύο περιόδους.

**Πίνακας 9.3.2.3:** Κατάταξη δειγμάτων, ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox.

<u>Έτος 2011</u>		
<u>Κατηγορίες αρδευτικού νερού (Wilcox)</u>	<u>Περίοδος Φεβρουαρίου-Μαρτίου</u>	<u>Περίοδος Αυγούστου</u>
C1.S1		
C1.S2		
C2.S1	G2	P5
C1.S3		
C2.S2	G1	
C3.S1	P4,P5, P6, P7, P8, P11, P12, G4, G5	P4, P6, P7, P8, P11, P12, G1, G2
C1.S4		
C2.S3		
C3.S2		
C4.S1	P10	
C2.S4		
C3.S3		
C4.S2	P1, P3	P1, P2, P3, P9, P10
C3.S4		
C4.S3	P2	
C4.S4		

Σύμφωνα με το ανωτέρω διάγραμμα, παρατηρείται ότι για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου τα δείγματα P4, P5, P6, P7, P8, P11, P12, G4 και G5 έχουν μέτρια έως πολύ μέτρια ποιότητα νερού για άρδευση. Τα πηγάδια P4, P8 βρίσκονται στη παράκτια ζώνη της λεκάνης της Αναβύσσου. Τα πηγάδια P5, P6 και P11 βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, ενώ το πηγάδι P7 είναι αρκετά απομακρυσμένο από τη περιοχή της Αναβύσσου. Το πηγάδι P12 βρίσκεται στα δυτικά της Αναβύσσου. Οι γεωτρήσεις G4 και G5 βρίσκονται στη Παλαιά Φώκεια και κοντά στο παράκτιο τμήμα. Η γεωτρήσεις G1 και G2 βρίσκονται στις παρυφές του Ολύμπου και στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου. Τα πηγάδια P1, P2 βρίσκονται στη περιοχή του Θυμαρίου και έχουν κακή και πολύ κακή ποιότητα νερού για άρδευση, πιθανά λόγω υφαλμύρωσης, αφού βρίσκονται στο παράκτιο τμήμα. Το πηγάδι P3 βρίσκεται μακριά από την περιοχή, στην Αγία Φωτεινή και σε υψόμετρο 176 m. Το κακής

ποιότητας νερό για άρδευση, πιθανά να οφείλεται σε κάποια τοπική ρύπανση. Τέλος, το πηγάδι P10 βρίσκεται και αυτό σε μεγάλο υψόμετρο, με ποιότητα νερού πολύ μέτρια έως κακή.

Παρατηρείται, για την περίοδο του Αυγούστου, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων έχει μέτρια έως πολύ μέτρια ποιότητα νερού. Τα δείγματα P4, P6, P7, P8, P11, P12, G1 έχουν παραμείνει στην κατηγορία αυτή, όπως φαίνεται και για τον Αύγουστο. Ωστόσο το δείγμα G2 από καλή έως μέτρια ποιότητα νερού που είχε τον Φεβρουάριο-Μάρτιο, τον Αύγουστο εμφανίζει να έχει μέτρια έως πολύ μέτρια ποιότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρουσία σκουπιδότοπου στις ανατολικές παρυφές του Ολύμπου. Η ποιότητα του νερού στο πηγάδι P5 τον Αύγουστο παρουσιάζει βελτίωση. Τα πηγάδια P1 και P3 έχουν παραμείνει στην ίδια κατηγορία, όπως τον Φεβρουάριο-Μάρτιο, με τα πηγάδια P2 και P10 να έχουν προστεθεί σε αυτήν (κακή ποιότητα νερού για άρδευση). Το πηγάδι P2 παρουσιάζει βελτίωση, σε σχέση με τον Φεβρουάριο-Μάρτιο, αντίθετα το πηγάδι P10 παρουσιάζει επιδείνωση της ποιότητας του νερού, σε σχέση με τον Φεβρουάριο-Μάρτιο.

### 9.3.3 Ποιότητα Υπόγειου Νερού για Άρδευση Έτους 2020

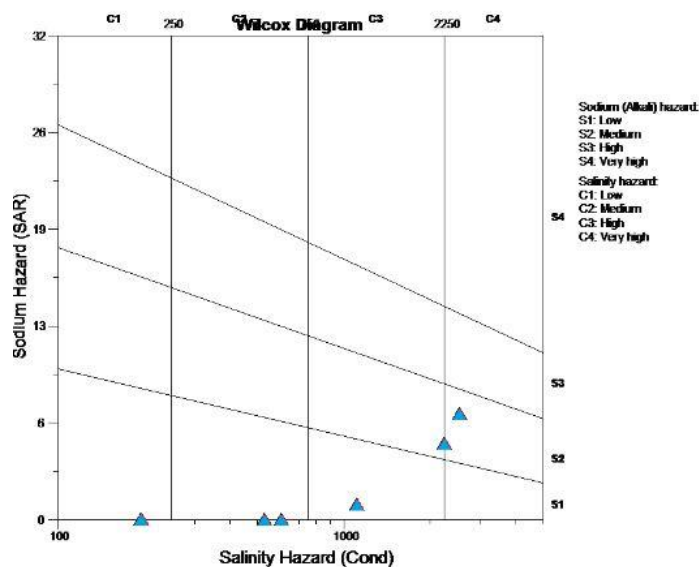
**Πίνακας 9.3.3.1:** Υπολογισμένες τιμές SAR, %Na και PI για την περίοδο Φεβρουαρίου 2020

<b>Έτος 2020</b>				<b>Υπόμνημα</b>	
<u>Περίοδος Φεβρουαρίου</u>					
<u>Δείγματα</u>	<b>SAR</b>	<b>%Na</b>	<b>PI</b>	<b>SAR</b>	
<i>ΚΘ_ΙΔ</i>	7,5	60,5	67,1	0-10	Εξαιρετικό
<i>ΚΘ_ΝΤ</i>	1,0	20,8	46,7	10-18.	Καλό
<i>ΑΝ_ΑΔ</i>	0,7	17,9	48,2	18-26.	Μέτριο
<i>ΑΝ_ΥΔ</i>	0,1	7,1	58,4	>26	Ακατάλληλο
<i>ΠΦ_ΜΑ</i>	1,7	29,4	43,6	<b>PI</b>	
<i>ΠΦ_Π</i>	6,0	51,6	59,8	0-25	Ακατάλληλο
				25-75	Καλό
				≥ 75	Εξαιρετικό
				<b>%Na</b>	
				0-20	Εξαιρετικό
				20-40	Καλό
				40-60	Επιτρεπτό
				60-80	Αμφίβολο
				80-100	Ακατάλληλο

**Πίνακας 9.3.3.2:** Κατηγοριοποίηση του υπόγειου ύδατος σύμφωνα με τους δείκτες SAR, %Na και PI, για τη περίοδο Φεβρουαρίου 2020

Έτος 2020			
			%Δείγματα
Ταξινόμηση	Κατηγορίες	Εύρη	Φεβρουάριος
SAR	Εξαιρετικό	0-10	100%
	Καλό	10-18.	
	Μέτριο	18-26.	
	Ακατάλληλο	>26	
%Na	Εξαιρετικό	0-20	33,00%
	Καλό	20-40	33,00%
	Επιτρεπτό	40-60	17,00%
	Αμφίβολο	60-80	17,00%
	Ακατάλληλο	80-100	
PI	Ακατάλληλο	0-25	
	Καλό	25-75	100%
	Εξαιρετικό	≥ 75	

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ανωτέρου πίνακα παρατηρείται ότι και για τις δύο περιόδους τα αποτελέσματα είναι παρόμοια. Σύμφωνα με το δείκτη SAR το σύνολο των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους είναι εξαιρετικό και με τον δείκτη PI το σύνολο των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους είναι καλό. Σύμφωνα με τον δείκτη %Na φαίνεται ότι τα δείγματα έχουν ίδια τιμή ποσοστού μεταξύ εξαιρετικού και καλού νερού για άρδευση. Το ίδιο συμβαίνει και μεταξύ του επιτρεπτού και αμφίβολου νερού για άρδευση. Στη παρακάτω εικόνα παρατίθεται το διάγραμμα Wilcox



**Πίνακας 9.3.3.1:** Διάγραμμα Wilcox για την περίοδο Φεβρουαρίου 2020

Παρατηρείται ότι σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox ότι το 33% (C4.S2) των δειγμάτων έχουν κακής ποιότητας νερό και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο σε ανθεκτικά φυτά με καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και προσθήκη γύψου. Το 17% (C3.S1) των δειγμάτων έχουν νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παίρνοντας όμως, μέτρα προφύλαξης, ενώ το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται ή να προστίθεται σε αυτό γύψος. Το 33% (C2.S1) των δειγμάτων αντιστοιχούν σε ποιότητα ύδατος καλή έως μέτρια, με επιφύλαξη στη χρήση του στα ευαίσθητα φυτά. Τέλος το 17% (C1.S1) αντιστοιχεί σε πολύ καλής ποιότητας νερό.

Στον κατωτέρω πίνακα, φαίνεται αναλυτικά η κατάταξη της ποιότητας του νερού, των γεωτρήσεων και των πηγαδιών, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox και για τις δύο περιόδους.

**Πίνακας 9.3.3.3:** Κατάταξη δειγμάτων, ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox.

<b>Έτος 2020</b>	
<b>Κατηγορίες αρδευτικού νερού (Wilcox)</b>	<b>Περίοδος Φεβρουαρίου</b>
C1.S1	AN_ΥΔ
C1.S2	
C2.S1	AN_ΑΔ, ΚΘ_NT
C1.S3	
C2.S2	
C3.S1	ΠΦ_ΜΑ
C1.S4	
C2.S3	
C3.S2	
C4.S1	
C2.S4	
C3.S3	
C4.S2	ΠΦ_Π, ΚΘ_ΙΔ
C3.S4	
C4.S3	
C4.S4	

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα, παρατηρείται ότι το δείγμα νερού από πηγάδι της Παλαιάς Φώκαιας, όπως και το δείγμα νερού από ιδιωτική γεώτρηση, έχουν κακής ποιότητας νερό για άρδευση. Το δείγμα από γεώτρηση στη Παλαιά Φώκεια, έχει ποιότητα νερού για άρδευση μέτρια έως πολύ μέτρια. Όπως έχει προαναφερθεί, τα δείγματα από την Παλαιά Φώκεια είναι πιθανό να έχουν υποστεί υφαλμύρωση ενώ το δείγμα από την ιδιωτική γεώτρηση στα Καλύβια Θορικού είναι πιθανό να έχει υποστεί κάποια τοπική ρύπανση. Τα δείγματα από την περιοχή της Αναβύσσου, στις παρυφές του Ολύμπου, έχουν ποιότητα καλή για άρδευση, όπως επίσης και το δείγμα από τη γεώτρηση στο Ντίσιρι των Καλυβίων Θορικού.

## 10. Συμπεράσματα

Οι υδροχημικοί τύποι που προέκυψαν από τα διαγράμματα Piper έδειξαν ότι τα νερά και για τα τρία έτη αντιστοιχούν σε Ca-Cl, Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl και μίξη. Στη μίξη αντιστοιχούν τα περισσότερα δείγματα για το 2001 και 2011. Στους υδροχημικούς τύπους του 2011, απουσίαζε ο Na-Cl και ο Ca-Cl, είχαμε δηλαδή τον Ca-HCO<sub>3</sub> και το μεικτό. Το 2020 έχουμε τους ίδιους τύπους, όπως του 2001. Επομένως, έχουμε νερά που κατεisdύουν σε ανθρακικά πετρώματα ή και αλλουβιακούς σχηματισμούς (Ca-HCO<sub>3</sub>), κάτι που είναι αναμενόμενο, εφόσον στη λεκάνη της Αναβύσσου απαντώνται μάρμαρα καθώς και αλλουβιακές αποθέσεις. Επίσης, απαντώνται νερά Ca-Cl και Na-Cl που συνδέονται με το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής και διεϊσδυσης του θαλασσινού νερού στη παράκτια ζώνη, κάτι που επίσης είναι αναμενόμενο στη λεκάνη της Αναβύσσου.

Στο σύνολο των δειγμάτων του 2001, το επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και έπειτα το ασβέστιο ενώ το επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι το χλώριο και έπειτα τα οξυανθρακικά. Στη παράκτια ζώνη (Π6, Π7, Π15, Π17, Π18, Π19, 27, Π28, Π55, Γ5, Γ8, Γ9, Γ10) και στα πηγάδια, επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι το χλώριο και από τα κατιόντα το νάτριο, ενώ στις γεωτρήσεις επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά και από τα κατιόντα το νάτριο. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης (Π1, Π4, Π12, Π13, Π14, Π21, Π45, Γ2, Γ12) επικρατέστερο ανιόν είναι τα οξυανθρακικά και επικρατέστερο κατιόν το ασβέστιο (εκτός από τη Γ12 που είναι το νάτριο και το κάλιο). Στη καρστική και φρεάτια αβαθή υδροφορία επικρατέστερο ανιόν είναι τα οξυανθρακικά και επικρατέστερο κατιόν είναι το ασβέστιο. Πρόκειται για νερά που έχουν κινηθεί σε ανθρακικά πετρώματα ή και σε πλευρικά κορήματα, με μεγάλο ποσοστό σε αργιλικά υλικά. Τέλος, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης (Π41, Π43, Π46, Γ15, Γ17), επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά (εκτός από το Π43

που είναι θειικά και Γ15 που είναι το χλώριο) και από τα κατιόντα το ασβέστιο (εκτός από τη Γ15, που είναι το νάτριο και το κάλιο).

Στο σύνολο των δειγμάτων του 2011, επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά. Στο παράκτιο τμήμα (P4, P8, P9, G5, G5), για την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου επικρατέστερο ανιόν είναι τα οξυανθρακικά και επικρατέστερο κατιόν είναι το ασβέστιο ενώ για την περίοδο του Αυγούστου, επικρατέστερο ανιόν είναι επίσης τα οξυανθρακικά, αλλά επικρατέστερο κατιόν είναι το νάτριο. Στο δυτικό τμήμα της Αναβύσσου (P12, G5) το επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το ασβέστιο και το επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά. Στο παράκτιο τμήμα της περιοχής του Θυμαρίου (P1,P2) επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι το χλώριο. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης (P5, P6, P11, G1, G2) επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το ασβέστιο και επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά. Τέλος, στο πηγάδι P10, το επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και το επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά και στο P3, επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι το χλώριο.

Στο σύνολο των δειγμάτων του 2020, επικρατέστερο από τα κατιόντα είναι το νάτριο και επικρατέστερο από τα ανιόντα είναι τα οξυανθρακικά. Στα δείγματα AN\_ΥΔ, AN\_ΑΔ, ΠΦ\_ΜΑ, ΚΘ\_NT επικρατέστερο ανιόν είναι τα οξυανθρακικά και επικρατέστερο κατιόν είναι το ασβέστιο, ενώ στα δείγματα ΠΦ\_Π και ΚΘ\_ΙΔ επικρατέστερο ανιόν είναι τα οξυανθρακικά και επικρατέστερο κατιόν είναι το νάτριο.

Ο κύριος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού για τα έτη 2001 και 2011 ήταν η εξάτμιση, ενώ το 2020 ήταν η αλληλεπίδραση του πετρώματος με το νερό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο αφού, όπως υπολογίστηκε και από το υδρολογικό ισοζύγιο, η εξατμισοδιαπνοή φθάνει τα 332,26 mm και αντιστοιχεί στο 79,27% της βροχόπτωσης που είναι 419,6 mm. Ωστόσο, το σύνολο των δειγμάτων του 2020, για την περιοχή της Αναβύσσου, ήταν μικρό, με συνέπεια να μην μπορούν να εξαχθούν ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα. Αναλυτικότερα, για το 2001, εκτός από τον κυρίαρχο μηχανισμό της εξάτμισης, εντοπίστηκαν και δείγματα τα οποία βρίσκονταν κοντά στο πεδίο που αντιπροσωπεύει το θαλασσίνο νερό, στα διαγράμματα Gibbs, ιδιαίτερα την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου αλλά και κάποια που βρίσκονταν στην αλληλεπίδραση πετρώματος και νερού. Για το 2011, ναι μεν ο κύριος μηχανισμός ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού ήταν η εξάτμιση, όμως, δείγματα εντοπίζονται και στο πεδίο αλληλεπίδρασης πετρώματος και νερού. Για το

2020 κυρίαρχος μηχανισμός ελέγχου είναι η αλληλεπίδραση πετρώματος και νερού, ενώ δύο μόνο δείγματα απεικονίζονται στο πεδίο της εξάτμισης, με το ένα να αντιστοιχεί στο πηγάδι από την Παλαιά Φώκεια και το άλλο, στην ιδιωτική γεώτρηση, στα Καλύβια Θορικού. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής, που απεικονίζεται σε πολλά διαγράμματα, και στα τρία έτη, μπορεί να οφείλεται είτε σε θαλάσσια διείσδυση, είτε σε διάλυση αλίτη. Διείσδυση θαλασσινού νερού στη παράκτια ζώνη της λεκάνης της Αναβύσσου φαίνεται να έχουμε, κυρίως, το έτος 2001. Το 2011 θαλάσσια διείσδυση έχουμε πιθανά στα δείγματα P1 και P2 που βρίσκονται στο παράκτιο τμήμα του Θυμαρίου, ενώ το 2020, υφαλμύρωση φαίνεται να έχουμε στο δείγμα ΠΦ\_Π, που βρίσκεται κοντά στην ακτή.

Εκτός από τον κυρίαρχο μηχανισμό ελέγχου, παρατηρείται ότι πολλά από τα δείγματα που βρίσκονταν στη σφαίρα επιρροής των γεωργικών καλλιεργειών, παρουσιάζουν στις χημικές αναλύσεις αυξημένη αλατότητα. Φαίνεται ότι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως είναι τα γεωργικά λιπάσματα και η επιστρεφόμενη «αρδευτική» ροή επηρεάζουν την εξάτμιση, με περαιτέρω αύξηση των ιόντων νατρίου και χλωρίου στα υπόγεια νερά και άρα των συνολικών διαλυμένων αλάτων. Αυτό δείχνει ξεκάθαρα ότι εκτός από το φυσικό μηχανισμό ελέγχου της χημείας του υπόγειου νερού, υπάρχει και ο ανθρώπινος παράγοντας, που με τις ενέργειές του, επηρεάζει και οδηγεί στην αλλαγή της χημικής σύνθεσης του υπόγειου νερού.

Όσον αφορά στην ποιότητα του νερού και στην καταλληλότητά του για πόση, φαίνεται ότι το 2001, για την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου το 36% (Π10, Π11, Π12, Π21, Π32, Π41, Π43, Π46, Γ1, Γ4, Γ12, Γ17) των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για πόση, ενώ το 64% των δειγμάτων έχουν νερό ακατάλληλο για πόση. Για την περίοδο του Οκτωβρίου το 41% (Π10, Π35, Π41, Π46, Γ1, Γ12, Γ17) των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για πόση, ενώ το 59% των δειγμάτων έχουν νερό ακατάλληλο. Τα δείγματα που έχουν νερό κατάλληλο για πόση βρίσκονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης όπως και εκείνα που εκμεταλλεύονται τη καρστική και φρεάτια αβαθή υδροφορία, εκτός από το Π35, που βρίσκεται στη παράκτια ζώνη. Το 2011, την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου, το 46% (P4, P5, P7, P8, G4) των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για πόση, ενώ το 54% των δειγμάτων έχουν νερό ακατάλληλο. Τη περίοδο του Αυγούστου, το 43% ( P6, P7, P8, G1, G2) των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για πόση, ενώ το 57% των δειγμάτων έχουν νερό ακατάλληλο. Τα δείγματα που είναι κατάλληλα για πόση το 2011, εντοπίζονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης της Αναβύσσου. Το 2020, το 67% (ΠΦ\_ΜΑ, ΑΝ\_ΥΔ, ΑΝ\_ΑΔ, ΚΘ\_NT) των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για πόση, ενώ το 33% (ΠΦ\_Π, ΚΘ\_ΙΔ) των δειγμάτων έχουν νερό ακατάλληλο.

Παρατηρείται ότι το 2011 έχει αυξηθεί το ποσοστό των δειγμάτων νερού που είναι κατάλληλα για πόση, σε σχέση με το 2001. Το 2020 το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων είναι κατάλληλα για πόση, ωστόσο λόγω του μικρού αριθμού των δειγμάτων δεν μπορούμε να εξαγάγουμε αξιόπιστα συμπεράσματα.

Για να βρεθεί η καταλληλότητα των δειγμάτων νερού για άρδευση χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες SAR, %Na, PI καθώς και η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox. Υπήρξε σημαντική απόκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δεικτών SAR, %Na, PI με το διάγραμμα Wilcox, λόγω του ότι το τελευταίο λαμβάνει υπόψη και την ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση των καλλιεργειών. Σύμφωνα με το δείκτη SAR και PI, σε όλα τα δείγματα και για τα τρία έτη, το νερό είναι εξαιρετικό και καλό για αρδευτική χρήση, αντίστοιχα.

Το 2001, σύμφωνα με το δείκτη %Na, για τη περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου το 55% των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για αρδευτική χρήση ενώ το 45% (Π6, Π7, Π10, Π11, Π12, Π13, Π14, Π15, Π16, Π17, Π18, Γ4, Γ8, Γ9, Γ12, Γ15) των δειγμάτων έχουν επιτρεπτό νερό για αρδευτική χρήση. Την περίοδο του Οκτωβρίου, το 53% των δειγμάτων έχουν νερό κατάλληλο για αρδευτική χρήση ενώ το 47% (Π7, Π17, Π19, Π35, Π45, Γ8, Γ12, Γ15) των δειγμάτων έχουν επιτρεπτό νερό για αρδευτική χρήση. Το 2011, για την περίοδο του Φεβρουαρίου-Μαρτίου, το 67% των δειγμάτων έχει νερό κατάλληλο για αρδευτική χρήση ενώ το 33% (P1, P2, P3, G2, G4) των δειγμάτων έχει νερό επιτρεπτό για αρδευτική χρήση. Τον Αύγουστο του ίδιου έτους, το 57% των δειγμάτων έχει κατάλληλο νερό για αρδευτική χρήση ενώ το 43% (P1, P2, P3, P9, P10, P12) των δειγμάτων έχει επιτρεπτό νερό για άρδευση. Παρατηρείται ότι υπάρχει αύξηση του ποσοστού που αντιστοιχεί στο κατάλληλο νερό για άρδευση, σε σχέση με το 2001. Το 2020 το δείγμα ΠΦ\_Π έχει επιτρεπτό νερό για άρδευση, το ΚΘ\_ΙΔ έχει αμφίβολο νερό για αρδευτική χρήση και τα υπόλοιπα δείγματα έχουν καλό νερό για άρδευση. Γενικά, σύμφωνα με το δείκτη %Na, τα δείγματα που βρίσκονται στη κατηγορία του επιτρεπτού νερού είναι κατάλληλα για άρδευση, απλά είναι λίγο πιο επιβαρυνμένα ως προς την ποιότητά τους. Επομένως, σε γενικές γραμμές και σύμφωνα με αυτόν τον δείκτη, το νερό των δειγμάτων και για τα τρία έτη, εκτός του ΚΘ\_ΙΔ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην άρδευση.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox, το 2001 τα περισσότερα δείγματα, τόσο κατά την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου, όσο και για την περίοδο του Οκτωβρίου, τα οποία αντιστοιχούν σε ποσοστό 64% (20 δείγματα) και 65% (11 δείγματα) αντίστοιχα, έχουν νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας για άρδευση, που μπορεί όμως, να χρησιμοποιηθεί με μέτρα προφύλαξης.



Την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου το 18% (6 δείγματα) των δειγμάτων έχουν κακής ποιότητας νερό το οποίο πρέπει να χρησιμοποιείται σε ανθεκτικά φυτά. Σε αυτήν την κατηγορία, για το μήνα Οκτώβριο αντιστοιχεί επίσης το 18% (3 δείγματα) των δειγμάτων. Για την περίοδο του Ιουνίου-Ιουλίου έχουμε τρία δείγματα, εκ των οποίων το πρώτο έχει νερό καλό έως μέτριο, το δεύτερο έχει κακό και το τρίτο πολύ μέτριο έως κακό. Επίσης τρία δείγματα τον Ιούνιο-Ιούλιο και δύο τον Οκτώβριο, βρίσκονται εκτός ορίων στο διάγραμμα Wilcox.

Για το 2011, την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου, το 67% (10 δείγματα) των δειγμάτων παρουσιάζουν νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας. Το 13% των δειγμάτων (2 δείγματα), έχουν κακής ποιότητας νερό. Τα υπόλοιπα τρία δείγματα αντιστοιχούν: το πρώτο σε νερό καλής έως μέτριας ποιότητας, το δεύτερο αντιστοιχεί σε μέτριας έως κακής ποιότητας και το τρίτο αντιστοιχεί σε πολύ κακής ποιότητας νερό για άρδευση. Για την περίοδο Αυγούστου, το 57% (8 δείγματα) των δειγμάτων έχει νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας για άρδευση ενώ το 36% (5 δείγματα) των δειγμάτων αντιστοιχεί σε κακής ποιότητας νερό που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, ένα δείγμα δε έχει ποιότητα νερού καλή έως μέτρια με επιφύλαξη στα ευαίσθητα φυτά.

Για το 2020, δύο δείγματα έχουν κακής ποιότητας νερό που δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο σε ανθεκτικά φυτά, δύο δείγματα αντιστοιχούν σε ποιότητα νερού καλή έως μέτρια, ένα δείγμα έχει νερό μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας και ένα δείγμα έχει πολύ καλής ποιότητας νερό για άρδευση.

Συμπεραίνουμε, όσον αφορά στη χρήση του νερού για αρδευτικούς σκοπούς, ότι υπάρχει διαφοροποίηση ως προς την καταλληλότητά του, ανάμεσα στους δείκτες SAR, %Na, PI με το διάγραμμα Wilcox. Ενώ με τους ανωτέρω τρεις δείκτες το νερό «κρίνεται» κατάλληλο για άρδευση, με το διάγραμμα Wilcox φαίνεται ότι στα περισσότερα δείγματα, το νερό έχει μέτρια ποιότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με προφυλάξεις. Τα δείγματα που έχουν καλό νερό για άρδευση είναι τρία συνολικά για τα έτη 2001 και 2011. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα για τα έτη 2001 και 2011 έχουν ποιότητα η οποία κυμαίνεται από πολύ μέτρια έως κακή, κακή και πολύ κακή. Καθίσταται φανερό πόσο πολύ επηρεάζει η ηλεκτρική αγωγιμότητα την απόδοση των καλλιεργειών. Για το έτος 2020, σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox, μόνο δύο δείγματα έχουν κακής ποιότητας νερό για άρδευση, ωστόσο για το έτος αυτό δεν μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, λόγω του μικρού αριθμού των δειγμάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγελακοπούλου Παρασκευή, Οκτώβριος 2011, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «ΥΔΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΒΥΣΣΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ», Αθήνα, σ. 45, 53, 55, 64, 65, 66, 67, 68, 114, 120, 121, 122, 127, 131, 135, 139, 145, 151, 153, 158.

Βαρβάρα Ε. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, «ΟΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ», Αθήνα 2000, σ. 21, 24, 25.

Βασίλειος Σ. Αντωνίου, Διδακτορική διατριβή, 2010, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ», Αθήνα, σ. 250, 251, 278

Βισβίκου Δήμητρα, 2017, «ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕΣΟΖΩΙΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΙΟΝΙΟΥ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΜΕΓΑΝΗΣΙ ΛΕΥΚΑΔΑΣ», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, σ. 16, 17

Βουδούρης Κώστας, Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ , «Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων», Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα,σ.21

Γεράσιμος Μυρίλλα, Νοέμβριος 2017, Πτυχιακή Εργασία, «'ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΟΝ ΔΗΜΟ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ. ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΟΡΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ & ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΥΠΙΚΩΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΑ ΟΙΚΙΣΜΟ. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.'»», Αιγάλεω, σ. 17,18.

Δαλάκογλου Θ., 1996, «Ανάβυσσος: Ο Τόπος, Οι Άνθρωποι και Η Ζωή», Τόμος 1, Ανάβυσσος, σ. 27.

Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, «Τεχνική Υδρολογία», Έκδοση 4, Αθήνα 2016.

Δημήτρης Ι. Παπανικολάου, Οκτώβριος 2015, «Γεωλογία της Ελλάδας», εκδ. Πατάκη, Αθήνα, σ.16, 18, 19, 20,21,22 , 23, 162, 163 168 169, 171, 173, 174, 175, 180, 181.

Ευσταθία Κ. Λυμπεροπούλου, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Οκτώβριος 2019, «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΗΤΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ, Αθήνα, σ. 21, 70, 71.

Ζαγγανά Ελένη, Ενότητα 9: Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών- υδροχημικών παραμέτρων (Μέρος 2ο), Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΠΠ, σ. 17.

Ιωάννης Κουκουβέλας, Καθηγητής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Πανεπιστήμιο Πατρών, σ. 12.

Καρύτσας Σπυρίδων, 2009, Διπλωματική Εργασία, «Περιφερειακή Ανάπτυξη Μέσω του Κοινωνικοοικονομικού Πλαισίου σε περιοχές της Νοτιοανατολικής Αττικής», Αθήνα, σ. 94, 95, 99, 100 ,103, 104, 105.

Λουκάς Αθανάσιος, Καθηγητής, «Ενότητα 2: Στοιχεία Μετεωρολογίας – Υετόπτωση: Ασκήσεις», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,

Μποσινάκου Παναγιώτα, 2002, Διπλωματική Εργασία, «Υδρογεωλογική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης της Αναβύσσου», Αθήνα, σ. 1, 3, 46, 48, 82, 84, 85, 86, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 110, 111, 112.

Παναγιωταροπούλου Βασιλική, Σκαμπαρδώνης Αλέξανδρος, Σκιαδάς Βαλεντίνος, Ιανουάριος 2018, Παρουσίαση, «“Η επάρκεια των υπηρεσιών με βάση τις νέες ανάγκες του πληθυσμού που δημιουργήθηκαν από τους χωροκοινωνικούς μετασχηματισμούς των τελευταίων δεκαετιών στη Σαρωνίδα”», σ.12, 13

Πάντου Χριστίνα, Μάρτιος 2013, Διπλωματική εργασία, «ΤΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΡΗΣ-ΒΑΡΚΙΖΑΣ», Αθήνα, σ. 79

Σκούρτσος Εμμανοήλ, 2015, Παρουσίαση Μαθήματος, «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Αττικής και Πελοποννήσου», Αθήνα, σ.7, 9, 10

Στυλιανή Χρυσικοπούλου, Χανιά 2010, Πτυχιακή Εργασία, «Η σκληρότητα ως ποιοτικό χαρακτηριστικό του πόσιμου νερού και η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η περίπτωση της Κέρκυρας.», σ.24, 25, 26

Φωτοπούλου Αντωνία-Αγγελική, Οκτώβριος 2009, «Το νερό ως οικονομικό και κοινωνικό αγαθό. Η ανάγκη επίτευξης ισορροπιών μεταξύ των δύο διαστάσεων.», Αθήνα, σ.7

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

Ahmad Badeenezhad et. al., 2020, «Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran», σ. 5

Asit Kumar Batabyal et. al., 2016, «Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses» σ. 609

Balatzi Etikala et. Al., 2019, «Factors controlling groundwater chemistry of Renigunta area, Chittoor District, Andhra Pradesh, South India: A multivariate statistical approach», σ. 57, 61.

Chukwuma N. Mgbenu, et. Al., 2019, «The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water resources in Umunya district, southeast Nigeria», σ. 5, 22.

Elena Giménez-Forcada, 2019, «Use of the Hydrochemical Facies Diagram (HFE-D) for the evaluation of salinization by seawater intrusion in the coastal Oropesa Plain: Comparative analysis with the coastal Vinaroz Plain, Spain», σ. 76, 78.

Holly A.Michael, Post, V, 2017, «Science, society, and the coastal groundwater squeeze» Water Resour. Res. <https://doi.org/10.1002/2017WR020851>.

Jawed Akhtar Ansari et. Al., 2019, «Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India», σ. 39, 40, 43.

Khanoranga et. al., 2019, «An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches», σ. 20

M. Sherif, et. Al., 2011, «Assessment of groundwater quality in the northeastern coastal area of UAE as precursor for desalination».

Panagiotis Papazotos et. al., 2019, «Hydrogeochemical assessment and suitability of groundwater in a typical Mediterranean coastal area: A case study of the Marathon basin, NE Attica, Greece», σ.50, 54, 55, 56.

Saliha Najib et. Al., 2016, « Salinization process and coastal groundwater quality in Chaouia. Morocco.», σ.18.

Somvir Singh et. al., 2017, «Groundwater quality in and around Tuticorin town, Southeast coast of India», σ. 41

Srinivasamoorthy et al., 2012, «Hydrochemistry of groundwater Sarabanga Minor Basin, Tamilnadu, India. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 2», σ. 193-203.

United States Department of Agriculture, Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Chapter 10, July 2004, σ. 10 – 4

### **Διαδικτυακές Πηγές**

Ηλεκτρονική διεύθυνση: «<https://el.wikipedia.org/>»

Ηλεκτρονική διεύθυνση: «<http://www.saronikoscity.gr/>»

Ηλεκτρονική διεύθυνση «[http://www.saronikoscity.gr/wil.aspx?a\\_id=1](http://www.saronikoscity.gr/wil.aspx?a_id=1)»

Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_1.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

Διαδικτυακή πηγή: <http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology>

Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 51, 53

Διαδικτυακή πηγή: [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_3.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf), σ. 41

Διαδικτυακή πηγή: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02\\_chapter\\_05-Piioroulou.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02_chapter_05-Piioroulou.pdf) σ. 17

Διαδικτυακή πηγή: «Κεφάλαιο 2: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση & Συσχέτιση», pdf.

Διαδικτυακή πηγή: «Κεφάλαιο 5: Συσχέτιση και Παλινδρόμηση», pdf.

Διαδικτυακή πηγή: «<https://epoptes.wordpress.com>»

Διαδικτυακή πηγή: «<https://www.water-academy.com/>»