

# **ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ**

**ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΠΟΝΙΑ**

**ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

***«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΑ-ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΗΒΩΝ –  
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»***

**ΚΟΥΤΣΟΥΡΕΛΗΣ ΤΡΥΦΩΝΑΣ  
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013**

### **Τριμελής Επιτροπή**

- Γ. Σταμάτης, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)
- Κ. Σερέλης, Επίκ. Καθηγητής ΓΠΑ (μέλος)
- Ε. Γκάρτζος, Καθηγητής ΓΠΑ (μέλος)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σταμάτη Γεώργιο (Καθηγητή Υδρογεωλογίας) για την ανάθεση αυτής της πολύ ενδιαφέρουσας εργασίας, τις κατευθύνσεις του και την πολύτιμη βοήθεια του στην εργασία υπαίθρου και στις εργαστηριακές αναλύσεις νερών. Αυτή η εργασία μου έδωσε την ευκαιρία να αποκτήσω νέες γνώσεις και να εντρυφήσω σε ορισμένα θέματα περισσότερο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Γκάρτζο Ευθύμιο και τον επίκουρο καθηγητή κ. Σερέλη Κων/νο γιατί μέσω των παρατηρήσεων τους αυτή η εργασία έγινε καλύτερη. Επίσης οι συμβουλές του διδάκτορα κ. Ψωμιάδη Μανώλη στην χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών ήταν πολύτιμες. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Μιγκίρο Γεώργιο, την καθηγήτρια Χρονοπούλου Αικατερίνη, τον επίκουρο καθηγητή Τσίρο Ιωάννη και τον επίκουρο καθηγητή Παπανικολάου Ιωάννη για τις γνώσεις που μου έδωσαν αυτό το διάστημα των σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την υπομονή που έδειξε ώστε να ολοκληρώσω αυτό το μεταπτυχιακό.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης των Θηβών. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην διερεύνηση των παραγόντων που έχουν προκαλέσει υφαλμύριση και εξετάστηκε η ποιότητα των νερών για διάφορες χρήσεις.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ανατολική Στερεά Ελλάδα, 50 Km περίπου από την Αθήνα και καταλαμβάνει έκταση 645 Km<sup>2</sup>. Ένα σημαντικό ποσοστό των κατοίκων ασχολείται με την γεωργία και την κτηνοτροφία και είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη η βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα, στην περιοχή Σχηματάρι-Οινόφυτα κατά μήκος της εθνικής οδού. Την μεγαλύτερη έκταση την καταλαμβάνουν οι ετήσιες καλλιέργειες, οι οποίες συνίσταται κυρίως από σιτάρι, και ακολουθούν οι δασικές εκτάσεις, οι βοσκότοποι και οι ελαιώνες.

Η μορφολογία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών με διεύθυνση Α-Δ που χωρίζουν την περιοχή σε επιμέρους ρηξιτεμάχη (κέρατα ή τάφρους), διαφόρων τάξεων, οι τεκτονικές κινήσεις συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Στην περιοχή βρίσκονται οι λεκάνες απορροής του Βοιωτικού Κηφισού και του Ασωπού. Το κλίμα χαρακτηρίζεται τυπικό μεσογειακό και το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι περίπου 20 °C. Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών και πάνω σε αυτούς βρίσκεται επωθημένο το Ηωελληνικό κάλυμα. Οι μεταλικοί σχηματισμοί αποτέθηκαν μετά το Αν. Μειόκαινο και συνίσταται από ποταμοχερσαία, λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα.

Ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή έχει ο Βοιωτικός Κηφισός ο οποίος εκβάλλει την Υλίκη και μέσω των διαφυγών της (υπόγειων και επιφανειακών) τροφοδοτεί την Παραλίμνη και τους υπόγειους υδροφορείς. Η τροφοδότηση των συστημάτων μέσω των επιφανειακών απορροών είναι υψηλή, αλλά λόγω των υπεραντλήσεων δημιουργείται αρνητικό ισοζύγιο. Τα ποσοστά ζήτησης των αναγκών στο υδατικό διαμέρισμα κατανέμονται ως εξής 92% αρδευτικές, 5% υδρευτικές, 1.5% βιομηχανικές και 1.1% κτηνοτροφικές.

Τα υπόγεια νερά είναι αρκετά επιβαρυνμένα από τα αγροχημικά και από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Τα κοιτάσματα Fe και Ni φαίνεται πως έχουν συνεισφέρει λιγότερο σε αυτήν την υποβάθμιση και εξαιτίας των οφιολίθων εμφανίζονται υψηλές τιμές σε Mg.

Εξαιτίας της διείδυσης της θάλασσας εμφανίζονται υφάλμυρα νερά στις παράκτιες περιοχές του Β και Ν Ευβοϊκού. Επίσης εμφανίζονται σε κάποιες περιοχές στην ενδοχώρα στους ανθρακικούς σχηματισμούς, οι οποίοι περιβάλλονται από νεογενή ιζήματα. Υπάρχουν αρκετές ενδείξεις που υποδεικνύουν ότι τα νερά είναι θαλάσσιας προέλευσης και πιθανά έχουν εγκλωβιστεί κατά το Κατ. Πλειόκαινο.

Στο πόσιμο νερό η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων Cr<sup>6+</sup>, As, Cd και Pb είναι αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργήσει προβλήματα στην υγεία. Το μεγαλύτερο μέρος των αρδευτικών νερών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση των καλλιεργειών, εξαιτίας των υψηλών τιμών σε Na, Cl και TDS. Τέλος στην βιομηχανία, οι συγκεντρώσεις σε Cl TDS και η ολική σκληρότητα μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην λειτουργία τους.

Τα επόμενα χρόνια αναμένεται να μειωθεί η τροφοδοσία των υπόγειων νερών, να αυξηθεί η ζήτηση σε νερό και να ανέλθει η στάθμη της θάλασσας. Σε αυτή την περίπτωση το θαλασσινό νερό θα διεισδύσει περισσότερο, δημιουργώντας εντονότερα προβλήματα.

## ABSTRACT

This study concerns the hydrogeological conditions of the basin of Thiva. Particular emphasis was given to the investigation of factors that has caused salination and and examined the quality of water for various uses.

The study area is located in eastern Central Greece, 50 Km approximately from Athens and occupies an area of 645 Km<sup>2</sup>. A significant proportion of the population is engaged in agriculture and animal husbandry and the industrial activity is highly developed in Schimatari-Oinofyta along the highway. The largest area is occupied by annual crops which consists mainly of wheat, followed by woodlands, pastures and orchards.

The topography is characterized by the existence of faults and fault zones with direction E-W, that divide the area into separate blocks, the tectonic movements continue until today. The climate is typically mediterranean and the annual temperature range is about 20 °C. Alpic formations belong to the Pelagonian zone (non metamorphic formations) The metalpikoi formations were deposited after late Miocene and consists of terrestrial and lagoon sediments.

Of particular importance for the region has the Biotic Kifissos, which flows into Yliki and via leaks feeds Paralimni and aquifers. The provision through surface runoff is high, but because of overpumping a negative balance is occur. The rates of demand for water distributed as follows 92% irrigation, 5% domestic use, 1.5% industrial use and 1.1% livestock use.

The groundwater has contaminated by agrochemicals and industrial facilities. The deposits Fe and Ni appears to have contributed less to degradation and because of serpentines high concentrations of Mg occur. Because of the seawater intrusion, brackish waters occur in the coastal areas of S and E Evian bay. Also occur in some areas in the hinterland in carbonate formations which are surrounded from neogene sediments. There are a lot of evidence to suggest that the water is of marine origin and probably has trapped in Early Pliocene.

In drinking water, the concentration of heavy metal Cr<sup>6+</sup>, As, Cd and Pb is high enough to create health problems. The majority of irrigation water can negatively affect crop yields due to high prices in Na, Cl and TDS. Finally in the industry, the concentrations of Cl and TDS and total hardness can cause problems in operation.

The coming year is expected the supply of groundwater to be reduced, the demand for water will become bigger and sea level will rise. In this case, the seawater intrusion will be bigger, creating acute problems.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>A</b>	<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	
<b>B</b>	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	
<b>C</b>	<b>ABSTRACT</b>	
<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1	Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης	1
1.2	Μεθοδολογία-Προσέγγιση θέματος	2
<b>2</b>	<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ</b>	
2.1	Υπόγειο νερό	3
2.2	Ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών	5
2.2.1	Επίδραση φυσικών παραγόντων	5
2.2.2	Επίδραση ανθρωπογενών παραγόντων	9
2.3	Υφαλμύριση	10
2.3.1	Υφαλμύριση φυσικής προέλευσης	11
2.3.2	Υφαλμύριση ανθρωπογενούς προέλευσης	19
2.4	Προέλευση αλατότητας-Ιοντικοί λόγοι	21
<b>3</b>	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b>	
3.1	Γεωγραφικά στοιχεία	24
3.2	Διοικητική διαίρεση	25
3.3	Πληθυσμιακή εξέλιξη-Απασχόληση	25
3.4	Κάλυψη-Χρήσεις Γης	26
<b>4</b>	<b>ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ</b>	
4.1	Ανάγλυφο περιοχής	29
4.2	Ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου	31
<b>5</b>	<b>ΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>	
5.1	Γενικά- Παλαιογεωγραφική εξέλιξη	32
5.2	Γεωλογικοί σχηματισμοί	37
5.2.1	Αλπικοί σχηματισμοί	37
5.2.2	Μεταλπικοί σχηματισμοί	39
5.3	Τεκτονική δομή	45
5.4	Σεισμικότητα	47
<b>6</b>	<b>ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
6.1	Γενικά	49

6.2	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα - Σχετική υγρασία	50
6.3	Θερμοκρασία ατμόσφαιρας	51
6.4	Χαρακτηρισμός κλίματος	51
<b>7</b>	<b>ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>	
7.1	Γενικά	52
7.2	Υδρολιθολογική ταξινόμηση	53
7.3	Υδροσυστήματα περιοχής	56
7.3.1	Καρστικό σύστημα Υλίκης - Παραλίμνης	57
7.3.2	Καρστικό σύστημα Ασωπού	58
7.3.3	Καρστικό σύστημα Ύπατου	59
7.3.4	Κοκκώδες σύστημα Θηβών - Υλίκης	60
7.3.5	Τοπικοί υδροφορείς	63
<b>8</b>	<b>ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ</b>	
8.1	Δειγματοληψία	66
8.2	Μετρήσεις πεδίου και διατήρηση δείγματος	71
8.3	Εργαστηριακές αναλύσεις	74
8.4.1	Φυσικοχημικοί παράμετροι	82
8.4.2	Κύρια ιόντα	87
8.4.3	Ιχνοενώσεις- Ιχνοστοιχεία	91
8.4.4	Βαρέα μέταλλα	92
<b>9</b>	<b>ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ</b>	
9.1	Γενικά	100
9.2	Ταξινόμηση κατά Piper και κατά Durov	
9.2.1	Υδροσύστημα Ύπατου – παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού	104
9.2.2	Υδροσύστημα Θηβών-Υλίκης	106
9.2.3	Υδροσύστημα Ασωπού	108
9.2.4	Τοπικοί υδροφορείς	109
<b>10</b>	<b>ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	112
10.1	Παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού – υδροσύστημα Ύπατου	112
10.2	Παράκτια περιοχή Ν Ευβοϊκού	113
10.3	Υδροσύστημα Θηβών-Υλίκης	115
10.4	Υδροσύστημα Ασωπού	116
10.5	Παλαιογεωγραφική ερμηνεία πρέλευσης αλατότητας στο σ. Ασωπού	120
10.6	Εκτίμηση εξέλιξη υφαλμύρισης	122

<b>11</b>	<b>ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ</b>	
11.1	Ανθρώπινη χρήση	124
11.2	Αρδευτική χρήση	130
11.3	Βιομηχανική χρήση	137
<b>12</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	142
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	145



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης

Η υφαλμύριση είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα, που εμφανίζεται κυρίως στις παράκτιες περιοχές λόγω διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Το φαινόμενο οφείλεται στην συγκέντρωση πλυθησμού σε αυτές τις περιοχές και στις υπεραντλήσεις που γίνονται για να καλυφθούν οι ανάγκες του. Σύμφωνα με τις προβλέψεις που υπάρχουν για άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, το πρόβλημα αναμένεται να γίνει εντονότερο μελλοντικά. Η απορρύπανση τετοιων υδροφορέων διαρκεί δεκαετίες και σε κάποιες περιπτώσεις είναι μη αναστρέψιμη. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να οφείλεται και σε άλλα αίτια φυσικά ή ανθρωπογενή.

Οι επιπτώσεις στην ζωή του ανθρώπου είναι άμεσες και έμμεσες. Όταν η συγκέντρωση αλάτων υπερβαίνει κάποιο όριο (διαφορετικό για κάθε χρήση) το καθιστά ακατάλληλο. Οι έμμεσες συνέπειες σχετίζονται συνήθως με την χρήση του ως αρδευτικό. Αφού μπορεί να προκληθεί αλάτωση εδαφών, με κίνδυνο ερημοποίησης, αλλαγή μικροκλιματικών συνθηκών και μείωση της βιοποικιλότητας. Για να γίνει σωστή διαχείριση του προβλήματος πρέπει πρώτα να οριστεί η προέλευση αλατότητας.

Οι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής μελέτης έχουν ιδιαίτερη σημασία, αφού καλύπτουν τις αρδευτικές, βιομηχανικές και υδρευτικές ανάγκες ενός μεγάλου πληθυσμού. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, εκτός από την ευρύτερη περιοχή τροφοδοτούν και την Αθήνα. Μετά την δεκαετία του 70 έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα η βιομηχανία-βιοτεχνία με παράλληλη αύξηση των υδατικών αναγκών. Αν και η τροφοδοσία των υδροσυστημάτων είναι μεγάλη οι υπεραντλήσεις δημιουργούν αρνητικό ισοζύγιο, με αποτέλεσμα την προέλαση του θαλασσινού νερού

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι **1.** η εύρεση των υπόγειων υφάλυρων νερών **2.** ο προσδιορισμός της προέλευσης τους **3.** ο βαθμός που έχουν επηρεαστεί οι διάφοροι υδροφόροι **4.** η διερεύνηση των αντιδράσεων που ελέγχουν την σύσταση του νερού κατά την υφαλμύριση **5.** η εκτίμηση της μελλοντικής τάσης διείσδυσης του θαλασσινού νερού σύμφωνα με τα πιεζομετρικά και κλιματολογικά δεδομένα **6.** η επιβάρυνση ρύπων εκτός του Cl και ο βαθμός που επηρεάζουν την αλατότητα **7.** η ποιότητα του νερού για διάφορες χρήσεις.

## 1.2 Μεθοδολογία-Προσέγγιση θέματος

Οι εργασίες υπαίθρου περιελάμβαναν καταγραφή συντεταγμένων υδροσημείων, συλλογή δειγμάτων και επιτόπου μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων: θερμοκρασία, pH, Eh και O<sub>2</sub>. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν αυθημερόν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του ΓΠΑ όπου έγιναν αναλύσεις σε κύρια και δευτερεύοντα ιόντα και ιχνοστοιχεία.

Για την διεύρυνση του δικτύου δειγματοληψιών και για να γίνει εφικτή η σύγκριση με υφάλμυρα νερά γνωστής προέλευσης (παράκτια περιοχή Β και Ν Ευβοϊκού) χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και από τις μελέτες:

- ✓ Δάνδολος Η., Ζοράπας Β., Γκιντώνη Ε. (2010). Καταγραφή και αποτίμηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού και υπολεκανών νομών Βοιωτίας -Εύβοιας. Τελική έκθεση
- ✓ Γιαννουλόπουλος Π. (2008). Αναγνωριστική υδρογεωλογική - υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας
- ✓ Τσαραμπάρης Χ. (2010). Υδρογεωλογικό καθεστώς στο άνω ρου του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας-Διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων.

Τα στοιχεία επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Aquachem 3.7 από το οποίο εξήχθησαν οι υδροχημικοί τύποι και προβλήθηκαν σε διαγράμματα Piper και Durov. Για τον προσδιορισμό της προέλευσης αλατότητας χρησιμοποιήθηκαν ιοντικοί λόγοι, οι οποίοι προέκυψαν από το Excel (2007).

Για την σύνταξη των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία

- τοπογραφικά φύλλα της ΓΥΣ Θήβα, 1987 και Χαλκίδα, 1988 (1:50.000)
- γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ Θήβα, 1970 και Χαλκίδα, 2007 (1:50.000)
- υδρογεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ Θήβα, 1982-87 (1:50.000)
- χρήσεις γης από το εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του ΓΠΑ
- όρια υδροσυστημάτων από το geodata.gov.gr

Όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, εκτός από τα 2 τελευταία, ήταν σε αναλογική μορφή και μετατράπηκαν σε ψηφιακή μέσω σάρωσης (ανάλυση 300 dpi) για να εισηχθούν και να επεξεργαστούν με το πρόγραμμα ArcGis 9.3.

Στην περιοχή διακρίθηκαν υδροσυστήματα και τοπικοί υδροφορείς, τα οποία μελετήθηκαν ξεχωριστά. Τα νερά διακρίθηκαν σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την συγκέντρωσή τους σε Cl 1. Cl<150 2. 150<Cl<250 3. Cl>250 mg/l.

Για την συγγραφή της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Word (2007).

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 2.1 Υπόγειο νερό

#### Προέλευση υπόγειου νερού

Το μεγαλύτερο μέρος του υπόγειου νερού προέρχεται από την διήθηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο υπέδαφος. Αυτό το νερό καλείται **μετεωρικό**. Σε αυτή την κατηγορία μπορούμε να πούμε ότι υπάγεται και το **νερό συμπυκνώσεως**. Σε ερημικά κλίματα συγκεντρώνεται νερό σε συγκεκριμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια. Αυτό οφείλεται στο ότι ο αέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι πιο θερμός από αυτόν που βρίσκεται στο έδαφος. Έτσι λόγω της διαφοράς της πίεσης οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας εισέρχονται στο έδαφος και συμπυκνώνονται όταν πέφτει η θερμοκρασία.

Κατά την άνοδο του μάγματος και την ψύξη του απελευθερώνονται υδρατμοί, οι οποίοι στην συνέχεια συμπυκνώνονται. Αυτό το νερό καλείται **μαγματικό** και ανάλογα με το βάθος που γίνεται ο διαχωρισμός διακρίνεται σε πλουτώνιο και ηφαιστειακό. Θεωρείται πως εισέρχεται για πρώτη φορά στον υδρολογικό κύκλο. Επίσης κατά την μεταμόρφωση των πετρωμάτων απελευθερώνεται νερό (**μεταμορφωμένο**). Κάποιοι ερευνητές θεωρούν πως το μαγματικό νερό δεν μπορεί να διακριθεί από το μετεωρικό, που διεισδύει σε μεγάλα βάθη και παίρνει μέρος στις διάφορες μαγματικές διεργασίες. Έτσι θεωρούν πως το μαγματικό προέρχεται εξολοκλήρου ή σε ένα μεγάλο βαθμό από το μετεωρικό (Michael Price, 1996).

Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο απελευθερώνεται από των μανδύα 0,1-1 Km<sup>3</sup> ενώ τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που εμπλουτίζουν τους υδροφόρους είναι 10,000 Km<sup>3</sup> (Dimkic M., Brauch H., Kavanaugh M. C., 2008)

Το νερό που για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν έχει λάβει μέρος στο υδρολογικό κύκλο καλείται **συγγενετικό**. Αυτό το νερό έχει παγιδευτεί στο υπέδαφος συνήθως σε μεγάλα βάθη και μπορεί να είναι θαλασσινό, μαγματικό, μεταμορφωμένο, μετεωρικό ή να προέρχεται από την διαγέννεση των ιζημάτων.

**Πιν. 2.1** Παγκόσμια κατανομή του νερού (Shiklomanov, 1990).

Τύπος νερού	Συνολικό νερό %	Γλυκό νερό %
Ωκεανοί	96.5	-
Συνολικό υπόγειο νερό	1.7	-
Γλυκό υπόγειο νερό	0.76	30.1
Εδαφική υγρασία	0.001	0.05
Παγετώνες	1.74	68.7
Παγωμένο νερό στο υπέδαφος	0.022	0.86
Λίμνες	0.013	-
Λίμνες με γλυκό νερό	0.007	0.26
Λίμνες με αλμυρό νερό	0.006	-
βάλτοι	0.0008	0.03
Ποτάμια	0.0002	0.006
Νερό της βιόσφαιρας	0.00007	0.003
Νερό της ατμοσφαιρας	0.0009	0.04
Γλυκό νερό	2.53	100

Εκτιμάται ότι τα 2/3 του υπόγειου νερού βρίσκονται σε υδροφορείς που το βάθος τους ξεπερνάει τα 750m (Utton, Albert E., 1982).

Οι κύριες πηγές του φυσικού εμπλουτισμού των υπόγειων νερών περιλαμβάνουν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, την επιφανειακή απορροή και τις φυσικές και τεχνητές λίμνες. Ένα μέρος της αναπλήρωσης των υδροφόρων οριζόντων προέρχεται από τον τεχνητό εμπλουτισμό, δηλαδή από το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού, τις διαρροές και διηθήσεις από τα κανάλια μεταφοράς και από τα έργα τεχνητού εμπλουτισμού.

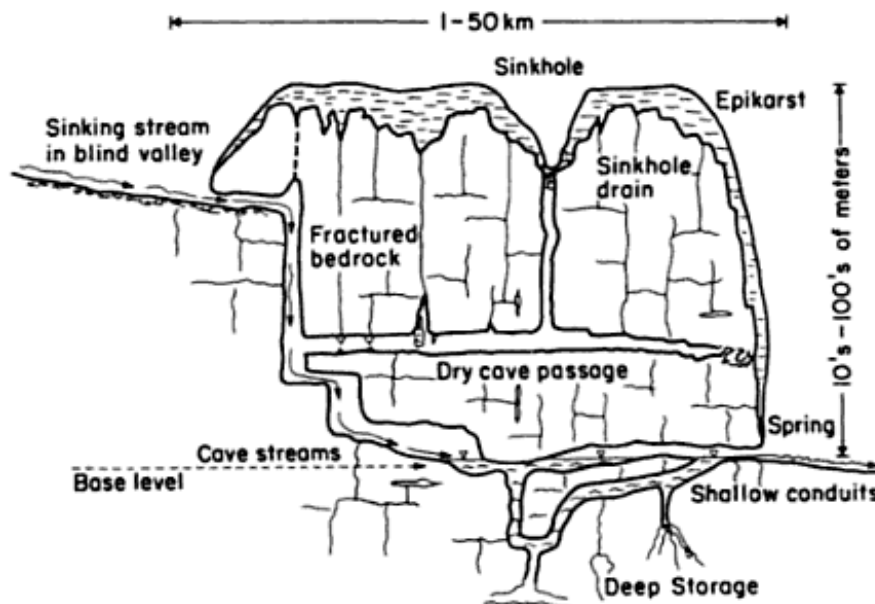
Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου νερού.

Η παρουσία του νερού στο υπέδαφος μπορεί να διακριθεί σε δυο ζώνες: τη ζώνη αερισμού και τη ζώνη κορεσμού.

Η ζώνη αερισμού αποτελείται από διάκενα που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα. Υποδιαιρείται σε 3 υποζώνες 1) του **εδαφικού νερού** που εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τη ζώνη του ριζικού συστήματος και το πάχος της μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και της βλάστησης 2) την **ενδιάμεση ρηχή** και την 3) **τριχοειδή**, σε αυτή την ζώνη το νερό κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Στη ζώνη κορεσμού όλα τα διάκενα είναι γεμάτα με νερό και είναι υπό υδροστατική πίεση. Η ζώνη αυτή εκτείνεται από την πάνω επιφάνεια κορεσμού μέχρι το υποκείμενο στεγανό υπόβαθρο. Η πάνω επιφάνεια κορεσμού αποτελεί μια υδροστατική επιφάνεια, όπου όταν απουσιάζει κάποιο στεγανό στρώμα η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτή η επιφάνεια καλείται πιεζομετρική και μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για το βάθος της από την στάθμη του νερού σε πηγάδια και γεωτρήσεις. Στον ελεύθερο υδροφόρο η υδροστατική επιφάνεια έχει μεταβαλλόμενη, κυματώδη μορφή και κλίση. Η πιεζομετρία γενικά ακολουθεί την τοπογραφία και επηρεάζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα, τις συνθήκες στην περιοχή τροφοδοσίας και στράγγισης και τις αντλήσεις (Καλλέργης, 1986).

Οι κύριοι υδροφορείς είναι οι κοκκώδης, οι ρωγμάδης και οι καρστικοί. Η υδροπερατότητα των κοκκωδών εξαρτάται από μία σειρά φυσικών παραγόντων, μεταξύ των οποίων το πορώδες, το μέγεθος, το σχήμα, η διάταξη και η κατανομή των κόκκων. Οι καρστικοί υδροφορείς έχουν μεγάλη περατότητα και αυτό οφείλεται στους μεγάλους αγωγούς που παρουσιάζουν λόγω της καρστικοποίησης (σχ. 2.2). Οι ρωγμάδεις έχουν συνήθως μια ενδιάμεση περατότητα.



Σχ. 2.2 Τυπικός καρστικός υδροφορέας (Alley William M. 1993).

## Ηλικία υπόγειου νερού

Κατά τον προσδιορισμό της ηλικίας κάποιου δείγματος νερού μπορεί να προκύψει μεγάλο σφάλμα. Αυτό οφείλεται σε διάφορους λόγους όπως η ανάμιξη νερών διαφορετικής ηλικίας και το ότι τα περισσότερα ισότοπα που χρησιμοποιούνται για χρονολόγηση δεν βρίσκονται στο μόριο του νερού.

Ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος, προσδιορίζεται από την στιγμή που κάποιο μόριο νερού εισέρχεται στο υπέδαφος, μέσω της διήθησης, μέχρι την στιγμή που βγαίνει πάλι στην επιφάνεια μέσω κάποιας πηγής. Η χρονολόγηση κάποιου δείγματος νερού δεν πρέπει να συγχέεται με τον χρόνο παραμονής.

Ανάλογα με την ηλικία το νερό μπορούμε να το διακρίνουμε σε νεαρό, παλιό και πολύ παλιό. Αυτή η διάκριση έχει γίνει με βάση το εύρος χρονολόγησης των διαφόρων τεχνικών. Έτσι το νέο νερό έχει ηλικία ως 60 χρόνια, το παλιό μεταξύ 60 και 50.000 χρόνια και το πολύ παλιό 50.000 ως μερικές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια. Όταν κάποιο δείγμα έχει ηλικία μεταξύ 60 και 200 δεν μπορεί να χρονολογηθεί με ακρίβεια.

Από την εκτίμηση του μέσου χρόνου παραμονής στα διάφορα τμήματα του υδρολογικού κύκλου η μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των μελετητών είναι για το υπόγειο νερό. Αυτό είναι ενδεικτικό της πολυπλοκότητας του προβλήματος (Kazemi G.A., Lehr J.H., Perrochet P. 2006).

**Πιν. 2.3** Μέσος χρόνος παραμονής ( $R_t$ ) σε διάφορα τμήματα του υδρολογικού κύκλου.

Υδάτινο σύστημα	$R_t$ (Langmuir, 1997)	$R_t$ (Freeze and Cherry, 1979)
Ωκεανοί	3,550 έτη	~4,000 έτη
Παγετώνες	10 – 1000 έτη	10 – 1000 έτη
Λίμνες, ταμιευτήρες	10 έτη	~10 έτη
Υπόγειο νερό	1700 έτη	2 εβδομάδες – 10,000 έτη
Ποτάμια	14 ημέρες	~14 ημέρες
Ατμόσφαιρα	11 ημέρες	~10 ημέρες
Νερό της βιόσφαιρας		~7 ημέρες
Έλη		1 – 10 έτη
Έδαφος		14 ημέρες – 1έτος

## 2.2 Ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών

### 2.2.1 Επίδραση φυσικών παραγόντων

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού, υπό φυσιολογικές συνθήκες, εξαρτάται από την σύσταση των κατακρημνισμάτων, από την αλληλεπίδραση του με τα ορυκτά και από τις βιοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υπέδαφος. Έτσι η σύσταση του νερού μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την προέλευση του και για τα περιβάλλοντα από τα οποία έχει διέλθει.

### Χημική σύσταση κατακρημνισμάτων

Η σύσταση των κατακρημνισμάτων καθορίζεται από την σύσταση του νερού που εξαιμίζεται, από τα σωματίδια χερσαίας προέλευσης και από τα αέρια φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης (Appello & Postma, 1996). Στις θαλάσσιες περιοχές και κοντά στην ακτή η σύσταση των κατακρημνισμάτων μοιάζει με αυτή του αραιωμένου θαλασσινού νερού και τα κυρίαρχα ιόντα είναι τα Cl, Na, Mg και SO<sub>4</sub>. Όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή η συγκέντρωση των ιόντων που προέρχονται από το θαλασσινό νερό μειώνεται και τα κυρίαρχα ιόντα είναι Ca, K, NH<sub>4</sub> και NO<sub>3</sub> (Hiscock K., 2005). Το TDS των κατακρημνισμάτων είναι μεταξύ 10-17 mg/l.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες το pH για την καθαρή βροχή είναι 5,6 και αντιστοιχεί στο pH του αποσταγμένου νερού που βρίσκεται σε ισορροπία με το CO<sub>2</sub> (0,03%) της ατμόσφαιρας (Lag, 1990). Μετά την δεκαετία του 60 η αυξημένη χρήση των ορυκτών καυσίμων στην βιομηχανία και στα μεταφορικά μέσα έχει αυξήσει την οξύτητα της βροχής, λόγω των παραγόμενων αερίων SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Αυτά τα αέρια οξειδώνονται και παράγουν τα οξέα HNO<sub>3</sub> και H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> δημιουργώντας το φαινόμενο της όξινης βροχής. Τα συστατικά που μπορούν να εξουδετερώσουν την οξύτητα είναι κυρίως η ατμοσφαιρική αμμωνία και η αιωρούμενη σκόνη CaCO<sub>3</sub> σύστασης (Appello & Postma 1996). Τέλος σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του pH παίζει η τοπική ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα πάνω από μία τσιμεντοβιομηχανία το pH μπορεί να είναι βασικό ενώ πάνω από κάποιο εργοστάσιο χημικών να είναι όξινο (Ridder, 1978, Appello & Postma, 1996). Γενικά παίζει καθοριστικό ρόλο στις χημικές αντιδράσεις μεταξύ διαφόρων ουσιών και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4 και 6.

**Πιν.2.4** Χημική σύσταση νερού κατακρημισμάτων από διάφορα περιβάλλοντα. Όλες οι τιμές δίνονται ως μέσοι όροι (Cornell, 1996).

Location (no. of samples)	Concentrations (μmol L <sup>-1</sup> )									
	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NssSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Land sites:										
Norwich, UK (n = 25) 52°38'N 1°17'E	4.7	31.6	55.0	5.4	11.3	15.3	37.0	48.0	46.5	43.2
Norfolk, UK (n = 12) 52°50'N 1°0'E	5.0	35.8	76.4	3.0	5.9	n.d.	39.7	27.9	71.4	79.2
Fichtelberg, Czech Republic (n = 5) 50°10'N 12°0'E	4.0	9.4	3.0	2.0	4.9	2.1	10.1	8.2	39.7	39.4
Cullowhee-NC, USA (n = 8) 34°54'N 82°24'W	4.9	2.1	8.4	9.2	8.9	2.0	6.3	11.4	18.1	19.4
Maraba-PA, Brazil (n = 5) 5°20'S 49°5'W	4.7	54.7	59.5	2.9	2.1	6.2	21.5	17.0	6.6	10.6
Marine, island and coastal sites:										
North Atlantic (n = 8) 50°60'N ~30°W and 38°52'N ~30°W	4.9	0.6	856.1	19.8	12.7	74.1	3.1	754.5	144.7	11.0
BBSR, Bermuda (n = 18) 32°35'N 8°25'W	5.0	8.0	58.2	2.6	6.9	3.1	2.9	88.2	35.8	25.8
Recife, Brazil (n = 9) 8°0'S 35°0'W	5.3	4.9	41.5	2.7	1.9	5.3	3.6	35.6	15.5	13.0
Tahiti (n = 16) 17°37'S 149°27'W	5.2	2.1	138.9	1.8	2.5	4.9	0.6	48.6	3.8	3.2

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται μέσες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε κατακρημισμάτα, από περιοχές κοντά στην Β Θάλασσα.

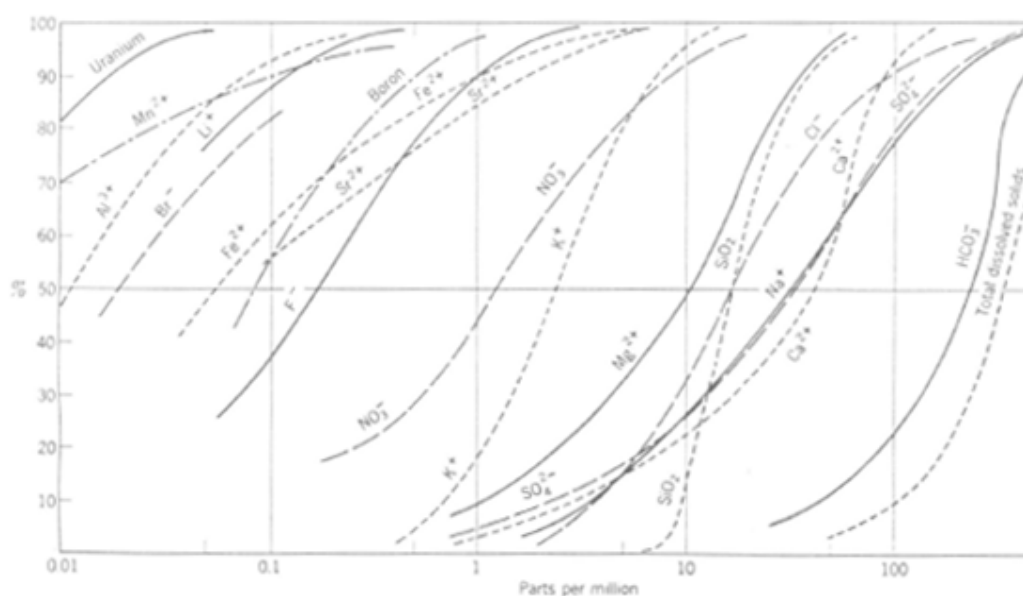
**Πιν.2.5** Μέσες τιμές συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων κατακρημισμάτων. Οι περιοχές είναι γύρω από την Β θάλασσα (Kane et al, 1994).

	Germany	UK	North Sea
(μg/l)	Pellworm island	Mannington, Norfolk	
<b>Fe</b>	88	17	31
<b>Mn</b>	3.8	2.7	3.6
<b>Cu</b>	2.3	4.0	1.0
<b>Zn</b>	13	2.9	7.6
<b>Pb</b>	4.0	4.1	3.5
<b>Cd</b>	0.7	0.25	0.08

Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό (35-45%) των κατακρημνισμάτων προκαλείται από αέριες μάζες με Δ-ΝΔ προέλευση. Στην πορεία αυτών των αερίων μαζών δεν υπάρχουν σημαντικές πηγές εκπομπής SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> (Ισπανία, Ν, Ιταλία, Β. Αφρική). Γι' αυτό τα κατακρημνίσματα εμφανίζουν pH παρόμοιο με εκείνο της «καθαρής» βροχής, δηλαδή 5,6. Ένα μεγάλο ποσοστό (30-40%) βροχών έχουν νότια προέλευση (Αίγυπτο, Λιβύη) και χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό pH (αλκαλικές) και σκόνη που μεταφέρουν από τη Σαχάρα (λασποβροχές). Περίπου το 20-25% των βροχών προέρχεται από την κεντρική Ευρώπη, όπου υπάρχουν σημαντικές πηγές εκπομπής SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Οι βροχές αυτές είναι ασθενώς όξινες (Κουϊμτζής Θ. κ.ά., 1998).

### Διάλυση ορυκτών

Σε έρευνα που έχει γίνει στα χερσαία νερά των ΗΠΑ το 10% έχει TDS λιγότερο από 100 ppm και το 95% λιγότερο από 1000 ppm. Αυτό σημαίνει ότι το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται σε άλατα, τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται. Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων κυμαίνεται από 25 mg/l μέχρι πάνω από 300.000 mg/l σε υπεραλμυρά νερά (Appelo & Postma, 1996). Το TDS του υπόγειου νερού αυξάνεται με το χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος μέχρι το σημείο που επέρχεται κορεσμός, από εκεί και πέρα αποθέτει.



**Σχ. 2.6** Συγκεντρώσεις διαφόρων στοιχείων χερσαίων νερών στις ΗΠΑ (Davies De Wiest, 1966).

Τα ορυκτά ανάλογα με την διαλυτότητα τους και τα στοιχεία που απελευθερώνουν στο νερό μπορούμε να τα διακρίνουμε σε 3 κατηγορίες: πυριτικά, ανθρακικά και εβαποριτικά. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες, λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητας τους, επηρεάζουν περισσότερο την σύσταση του νερού, ενώ η διαλυτότητα των πυριτικών ορυκτών κυμαίνεται μεταξύ 50 και 140 mg/l (Σούλιος, 2006). Η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος επειδή όσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα του νερού τόσο πιο πολύ χρόνο αντιδρά με τον γεωλογικό σχηματισμό. Συνήθως κοντά στην επιφάνεια απαντούν δισανθρακικά νερά και στους βαθύτερους σχηματισμούς συναντάμε χλωριούχα.

Όσο πηγαίνουμε σε μεγαλύτερα βάθη μεταβάλλονται διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν την διαλυτική ικανότητα του νερού και κατ' επέκταση το χημισμό του. Αυτοί οι παράμετροι είναι το ελεύθερο O<sub>2</sub>, η πίεση, η θερμοκρασία και η ταχύτητα ροής. Οι Do-

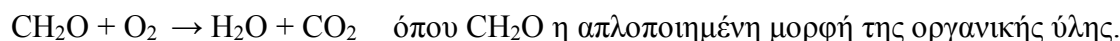
menico P. –Swartz F. (1998) έχουν προτείνει 3 ζώνες που εμφανίζουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανάλογα με το βάθος. Αυτές είναι η ανώτερη ζώνη όπου κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και το TDS είναι μικρό, η ενδιάμεση όπου τα  $\text{SO}_4^-$  τείνουν να γίνουν το κύριο ανιόν και το TDS έχει υψηλές τιμές και την κατώτερη όπου το Cl τείνει να γίνει το κύριο ανιόν και εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές TDS. Η διάκριση ισχύει σε γενικές γραμμές και εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις.

### Ιοντοανταλλαγή

Η ιοντοανταλλαγή γίνεται κυρίως μεταξύ των κατιόντων και της επιφάνειας των ιζημάτων. Αυτές οι αντιδράσεις μπορεί να έχουν σημαντική επιρροή σε μη σταθερές καταστάσεις όπως κατά την διείσδυση του θαλασσινού νερού, λημμάτων ή όξινης βροχής μέσα στον υδροφόρο (Appelo & Postma, 1996). Η ιοντοανταλλαγή αναφέρεται στην αντιστρέψιμη αντίδραση απομάκρυνσης ιόντων λόγω μόνιμων επιφανειακών φορτίων (κυρίως αρνητικών) που προέρχονται από την δομή των αργιλοπυριτικών ορυκτών (Νικολαΐδης, 2005).

### Βλάστηση και αποσύνθεση οργανικής ύλης

Ο τύπος και η έκταση της βλάστησης επηρεάζει τον χημισμό του νερού, αφού τα φυτά, ιδιαίτερα τα νεαρά, απορροφούν επιλεκτικά κάποια στοιχεία όπως K και P σε σημαντικές ποσότητες. Αντίθετα κατά την αποσύνθεση της οργανικής ύλης απελευθερώνονται στοιχεία όπως P, K, N, S κα. Είναι μια αντίδραση οξειδωσης όπου παράγεται  $\text{CO}_2$  και μπορεί να συμβεί στο έδαφος αλλά και στο υπέδαφος όπου υπάρχει απολιθωμένη οργανική ύλη (όπως λιγνίτης), σύμφωνα με την αντίδραση



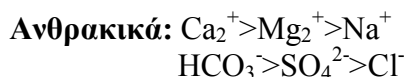
Η οξυανθρακική ρίζα, που είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά, προέρχεται από το  $\text{CO}_2$  της προηγούμενης αντίδρασης. Η αποσύνθεση μπορεί να ενεργοποιήσει σημαντικές αντιδράσεις όπως την αναγωγή των οξειδίων του Fe, των θειικών και νιτρικών και την παραγωγή μεθανίου. Επίσης η απελευθέρωση  $\text{CO}_2$  και οργανικών οξέων αυξάνει τον ρυθμό της χημικής αποσάθρωσης των ορυκτών (Drever, 1997). Η οξείδωση απαντά στα ανώτερα στρώματα του υπεδάφους, αφού το οξυγόνο μειώνεται με το βάθος.

**Πιν. 2.7** Συνήθεις συγκεντρώσεις διάφορων στοιχείων στο υπόγειο νερό (Freeze & Cherry, 1979).

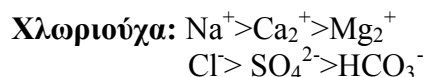
Κύρια (> 5 mg/l)		Δευτερεύοντα (0.01-10 mg/l)	
$\text{HCO}_3$	Na	$\text{NO}_3$	$\text{PO}_4$
Cl	Ca	$\text{CO}_3$	K
$\text{SO}_4$	Mg	F	Sr
		B	Fe
Ιχθυοστοιχεία (< 0.1 mg/l)			
Al	Ba	Cd	Mn
As	Br	Co	Ni
Rd	Se	Si	Ag
Cr	Pb	I	Th
Sn	Ti	U	Zn
Cs	Au	Li	Vn
Αέρια (< 10 mg/l)			
N	O	CO	$\text{CH}_4$
$\text{H}_2\text{S}$	NO		

Οι δύο κύριοι υδροχημικοί τύποι των υπόγειων νερών είναι





και



## 2.2.2 Επίδραση ανθρωπογενών παραγόντων

Οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη γεωμετρία τους σε σημειακές και διάχυτες και οι ρύποι διακρίνονται σε οργανικούς και ανόργανους.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος επηρεάζεται κυρίως από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και σε μικρότερο βαθμό από τα φυσικά φαινόμενα. Η διάλυση των ορυκτών και των πετρωμάτων από το νερό που κινείται στο έδαφος αποτελεί φυσική πηγή ρύπανσης, αφού είναι δυνατόν να εμπλουτίζει τα υπόγεια νερά με τοξικά μέταλλα όπως As, Fe, Mn, Cu, και Cr αλλά και ορυκτά όπως ο αμίαντος. Παρακάτω αναφέρονται ανθρώπινες δραστηριότητες που μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση.

- Βιομηχανική δραστηριότητα: βαφεία, εργοστάσια επεξεργασίας ανόργανων και οργανικών υλών κα.
- Γεωργική δραστηριότητα: χρήση και ψεκασμοί φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, υπεραντλήσεις κα.
- Κτηνοτροφική δραστηριότητα: πτηνοτροφεία, χοιροστάσια και ποιμνιοστάσια (κοπριές, στάβλοι, σφαγεία)
- Ανεξέλεγκτες χωματερές: στραγγίσματα, ελευθέρωση βαρέων μετάλλων, τοξικών, λάσπες, ενταφιασμός σκουπιδιών, φρούτων κλπ.
- Αποχετεύσεις: οδηγούν τα υγρά στοιχεία απευθείας στους υπόγειους υδροφόρους με τη διήθηση.
- Κακή κατασκευή γεωτρήσεων (μίξη επιφανειακών και υπόγειων υδροφόρων).

Στα υπόγεια νερά είναι πολύ δύσκολος ο εντοπισμός του είδους και προέλευσης του ρύπου και ακόμα δυσκολότερο να αντιμετωπιστεί, έτσι μπορεί να διατηρηθεί σε ψηλά επίπεδα για δεκαετίες.

Η ρύπανση του υδροφόρου γίνεται και με οργανικές ουσίες που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων, τα σφαγεία και τα οικιακά απόβλητα. Αυτές οργανικές ενώσεις χαρακτηρίζονται ως "απόβλητα που απαιτούν οξυγόνο" γιατί αποσυντίθενται εύκολα από ειδικά βακτήρια παρουσία οξυγόνου. Η ρύπανση από τα "απόβλητα που απαιτούν οξυγόνο" εκφράζεται με τον όρο "βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο" (Biochemical Oxygen Demand) ή BOD. Τα αστικά λύματα έχουν τιμές BOD από 100 ppm ως πάνω από 400 ppm, ενώ τα βιομηχανικά απόβλητα από 200 ppm έως και 10.000 ppm.

Οι υδρόβιοι ζωικοί και φυτικοί οργανισμοί για να διατηρηθούν στη ζωή απαιτούν ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου 6 mg/l. Το νερό θεωρείται ότι ρυπαίνεται, όταν η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ελαττώνεται κάτω από το όριο αυτό.

Ρύπανση μπορούν να προκαλέσουν και οργανικές ενώσεις τεχνητής προελεύσεως. Στους ρυπαντές αυτούς ανήκουν τα γεωργικά φάρμακα (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα), τα απορρυπαντικά, το πετρέλαιο και τα λιπαντικά. Τα γεωργικά φάρμακα είναι οργανοχλωριωμένες και οργανοφωσφορικές ή καρβαμιδικές ενώσεις, που είναι πολύ τοξικές και η αλόγιστη χρήση τους δημιούργησε πολλά προβλήματα στο περιβάλλον. Αυτές οι ουσίες, εκτός από την τοξικότητα τους, εμποδίζουν τη φυσική αποσύνθεση και άλλων οργανισμών.

Τα απορρυπαντικά λόγω του αφρισμού στην επιφάνεια των υδάτων παρεμποδίζουν την οξυγόνωση του ύδατος και την εμφάνιση του "ευτροφισμού". Τα απορρυπαντικά πρέπει

να βιοαποικοδομήσιμα, δηλαδή να καταστρέφονται από τους μικροοργανισμούς των υδάτων.

Από την λειτουργία των χωματερών δημιουργείται κάποιο στράγγισμα η σύσταση του οποίου ποικίλει ανάλογα με τα απορρίμματα όπως φαίνεται στον πιν. 2.8. Μέσω διαρροών εισέρχεται στον υδροφόρο ορίζοντα και δημιουργεί ένα πλούσιο ρύπανσης. Η ρύπανση από το πλούμιο έχει εντοπιστεί ως και 1 Km μακριά από την χωματερή.

**Πιν. 2.8 Τυπική σύσταση στραγγισμάτων από ΧΥΤΑ (Griffin et al, 1946).**

παράμετρος	mg/l	παράμετρος	mg/l
<b>K</b>	200-1000	<b>Zn</b>	0.1-100
<b>Na</b>	200-1200	<b>Pb</b>	<5
<b>Ca</b>	100-3000	<b>Hg</b>	<0.2
<b>Mg</b>	100-1500	<b>NO<sub>3</sub></b>	01-10
<b>Cl</b>	300-3000	<b>NH<sub>4</sub></b>	10-1000
<b>SO<sub>4</sub></b>	10-1000	<b>P ως PO<sub>4</sub></b>	1-100
<b>Fe</b>	1-1000	<b>Οργανικό άζωτο</b>	10-100
<b>Mn</b>	0.01-100	<b>TDS</b>	5000-40000
<b>Cu</b>	<10	<b>PH</b>	4-8
<b>Ni</b>	0.01-1		

### 2.3 Υφαλμύριση

Η υφαλμύριση είναι ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα, που υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού και επηρεάζει άμεσα την ζωή του ανθρώπου μέσω των διάφορων χρήσεων του (ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση). Επίσης υπάρχουν κάποιες έμμεσες επιπτώσεις όπως η μείωση της βιοποικιλότητας και η επικράτηση ανθεκτικών ειδών στο αλάτι, η αλάτωση των εδαφών όταν αυτό χρησιμοποιείται ως αρδευτικό, με κίνδυνο ερημοποίησης και η αλλαγή των τοπικών κλιματικών συνθηκών (Williams, 2001).

Η σταδιακή αύξηση της αλατότητας των υπόγειων νερών και η χημική τροποποίηση τους προς την τελική επικράτηση των ιόντων Cl και Na οφείλεται σε διάφορες διαδικασίες. Η δημιουργία του οφείλεται σε κάποιο από τους παρακάτω λόγους.

- Διείσδυση του θαλασσινού νερού
- Υδροφορείς που έρχονται σε επαφή με εβαποριτικούς σχηματισμούς
- Θαλασσινό νερό που διείσδυσε σε υδροφορείς κατά το παρελθόν και έχει εγκλωβιστεί. Χαρακτηρίζεται ως απολιθωμένο
- Υπολείμματα εξάτμισης νερού σε παλιρροιακές λίμνες, κοιλάδες κ.α.
- Νερό αβαθών υδροφόρων οριζόντων, όπου η έντονη εξατμισοδιαπνοή προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων αλάτων
- Νερό από αρδευόμενη γη που καταλήγει σε ρυάκια
- Ανάμιξη με λύματα υψηλής αλατότητας, ανθρώπινης προέλευσης
- Από την απόθεση του θαλασσινού spray στην ενδοχώρα και την μεταφορά των αλάτων μέσω της διήθησης.

Η υφαλμύριση προσδιορίζεται συνήθως από την συγκέντρωση του Cl ,από το TDS ή την EC. Όταν το υπόγειο νερό έχει TDS πάνω από 1000 mg/l χαρακτηρίζεται ως αλμυρό. Στα υφάλμυρα νερά ο λόγος Cl/TDS κυμαίνεται από 0,1 (όταν δεν σχετίζονται με την θάλασσα) ως 0,5 (όταν σχετίζονται με την θάλασσα). Τα υψηλά επίπεδα αλατότητας, σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις Cl και άλλων στοιχείων. Κάποια από αυτά είναι το

Na, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, B, F και ορισμένα που παρουσιάζουν βιοσυσσωρευση όπως το As και το Se (Vengosh A. 2007).

Η διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, αποτελεί την κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου. Στο φυσικό περιβάλλον, στην περίπτωση ύπαρξης εβαποριτικών ορυκτών η αλατότητα ελέγχεται πλήρως από αυτά όπως φαίνεται στον πίν. 2.9.

**Πιν. 2.9** Ορυκτά που ελέγχουν την αλατότητα στο φυσικό περιβάλλον (pH=7) (J. Artiola, I. Pepper, M. Brusseau, 2004).

Ορυκτό	Κυρίαρχα ιόντα	Διαλυτότητα (mg/l)
NaCl	Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup>	380.000
CaSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2400
CaCO <sub>3</sub> , CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15 - 100 (αλκαλικό περιβάλλον)
NaHCO <sub>3</sub> , NaNO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	> 1000 (αλκαλικό περιβάλλον)
Πυριτικά ορυκτά	Si(OH) <sub>4</sub> , Al <sup>3+</sup> κ.α.	40- >1000
Οξείδια Al	Al(OH) <sub>3</sub> , Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	100-500

Η διαδικασία της υφαλμύρισης ενισχύει την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων σε εδαφικά διαλύματα μέσω της ιοντοανταλλαγής και της δημιουργίας συμπλόκων χλωρίου με μέταλλα (Backstrom et al 2004). Επίσης μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα ραδιενέργειας του υπόγειου νερού. Τα περισσότερα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία που βρίσκονται σε ένα υδροφορέα δεν διαλύονται στο υπόγειο νερό. Το ράδιο αποτελεί εξαίρεση αφού η διάλυση του επηρεάζεται από την ιοντική ισχύ του νερού. Έτσι νερά με μεγάλη αλατότητα σχετίζονται με υψηλά επίπεδα ραδίου (Dickson, 1990, Moise et al, 2000).

### 2.3.1 Υφαλμύριση φυσικής προέλευσης

#### Σύσταση θαλασσινού νερού

Η σύσταση του θαλασσινού νερού είναι, σε γενικές γραμμές σταθερή, εξαιτίας του μεγάλου χρόνου παραμονής των βασικών στοιχείων του.

**Πιν. 2.10** Σύσταση θαλασσινού νερού από διάφορες αναλύσεις.

Παράμετρος mg/l	Appello Postma, 1996	Μεσόγειος Bear, 1999	Μεσόγειος Rosental et, al, 1999	Πατραϊκός κόλπος Μανδηλαράς, 2005	Βουδού- ρης, 2004
pH				8,11	
Na <sup>+</sup>	11150	12500	12772	11101	11155
K <sup>+</sup>	415	435	479	454	414,5
Mg <sup>2+</sup>	1340	1211	1487	1855	669,8
Ca <sup>2+</sup>	429	459	472	358	214,4
Cl <sup>-</sup>	20066	21940	22900	21900	20063,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2814	2700	3310	2908	1407,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				8,59	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	146	169	165	196	146,4
Br		74,1	76		
TDS		39420	41661		
<b>Λόγοι (meq/l)</b>					
Na/Cl	0.86	0,88	0.86	0.78	0.86
Cl/Br		667	679	666	
Mg/Ca	5.15	4.35	5.19	8.54	5.15
SO <sub>4</sub> /Cl	0.1	0.09	0.11	0.1	0.05

Έτσι οι λόγοι κάποιων στοιχείων (σε meq/l) έχουν συγκεκριμένες τιμές, όπως  $Na/Cl = 0,86$ ,  $Cl/Br = 667$  και  $Mg/Ca = 4,5-5,2$  (Vengosh A., 2007). Στον πιν. 2.10 δίνονται περισσότερα στοιχεία από διάφορες μελέτες. Στην Ελλάδα δίνεται η σύσταση του θαλασσινού νερού στον πατραϊκό κόλπο 1Km από τις εκβολές του Γλαύκου. Η σύγκριση των ιοντικών λόγων δείχνει κάποια απόκλιση από τις άλλες αναλύσεις, πιθανά λόγω του ποταμού.

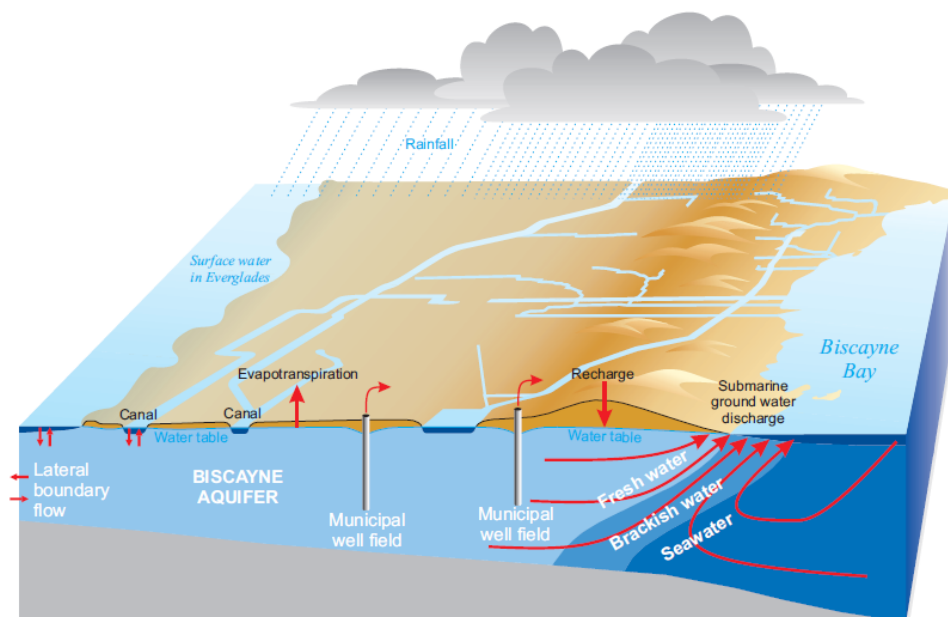
### Η διείσδυση του θαλασσινού νερού

Η διείσδυση του θαλασσινού νερού είναι μία από τις σημαντικότερες αιτίες υποβάθμισης ποιότητας του υπόγειου νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Το φαινόμενο συναντάται ακόμα και σε περιοχές με πολύ υψηλές τιμές βροχόπτωσης. Στις περιοχές που δραστηριοποιείται ο άνθρωπος το μέτωπο υφαλμύρισης έχει εισχωρήσει πιο πολύ στην ενδοχώρα. Αν αναλογιστούμε πως ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνει με γρήγορο ρυθμό και το 70% ζει κοντά στις ακτές το πρόβλημα παίρνει μεγάλες διαστάσεις.

Στην Ελλάδα, η κύρια πηγή κάλυψης των αναγκών σε γλυκό νερό είναι τα υπόγεια νερά. Η χρήση του νερού γίνεται κυρίως για πόση και άρδευση καθώς επίσης και για κάλυψη των τουριστικών και βιομηχανικών αναγκών. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες οι απαιτήσεις σε νερό είναι ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρέατα κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε το θαλασινό νερό διεισδύει στην ενδοχώρα και προκαλεί υφαλμύριση των υδροφόρων στρωμάτων (εμπλουτισμός του υπόγειου νερού με διαλυμένα άλατα, κυρίως με ιόντα χλωρίου και νατρίου). Το φαινόμενο θεωρείται μη αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση.

Όταν το υπόγειο νερό έχει αναμιχθεί με το θαλασινό σε ποσοστό μικρότερο από 1 % προκύπτει υφάλμυρο νερό ( $\approx 250\text{mg/l}$ ), έτσι θεωρείται ότι έχει υποστεί υφαλμύριση.

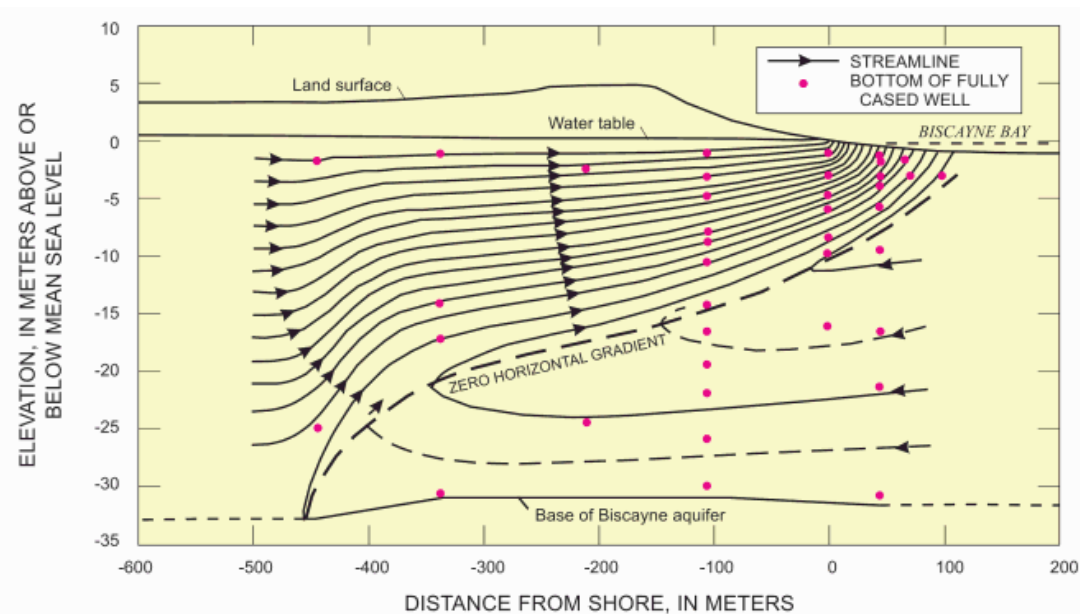
Στους παράκτιους υδροφορείς η υδραυλική κλίση του υπόγειου νερού έχει συνήθως κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Επειδή το αλμυρό νερό είναι πιο βαρύ από το γλυκό ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,040 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{sea}} = 1,024 \text{ gr/cm}^3$ ) εισέρχεται κάτω από τον υδροφορέα σχηματίζοντας μια ζώνη επαφής (Σούλιος Χ. Γ., 2004). Εξαιτίας της μοριακής διάχυσης και της υδροδυναμικής διασποράς τα νερά αναμιγνύονται και σχηματίζεται η ζώνη μετάβασης ή διάχυσης ή διεπιφάνειας.



Σχ. 2.11 Μοντέλο διείσδυσης θαλασσινού νερού (Christian D. Langevin, 2001).

Αν θεωρήσουμε πως η μεταβατική ζώνη βρίσκεται σε απόλυτο βάθος  $z$  και το απόλυτο ύψος της στάθμης του υδροφορέα είναι  $h$  τότε σύμφωνα με τον νόμο των Ghyben (1889) - Herzberg (1905) ισχύει  $z=25-40 h$ . Αυτή η σχέση έχει προκύψει με την παραδοχή ότι η διεπιφάνεια βρίσκεται σε στατική ισορροπία. Στην πραγματικότητα υπάρχουν διάφορες ροές και ισχύει μόνο όταν η διεύθυνση της ταχύτητας της ροής του υπόγειου νερού είναι οριζόντια. Η κατακόρυφη συνιστώσα προσεγγίζει το 0 όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή προς την ενδοχώρα (σχ. 2.12). Κοντά στην ακτή λόγω των διαφόρων ροών τα πραγματικά βάθη είναι μεγαλύτερα. Επίσης όταν η στάθμη του υπόγειου νερού κοντά στην ακτή, είναι κάτω από την μέση θαλάσσια στάθμη δεν ισχύει ο νόμος των Ghyben – Herzberg (Todd, 1980).

Σύμφωνα με τον Hubbert (1940) η διεπιφάνεια τέμνει τον βυθό σε κάποια απόσταση από την ακτή (σχ. 2.12), ενώ οι Ghyben- Herzberg υποστήριζαν ότι τέμνει την ακτή.

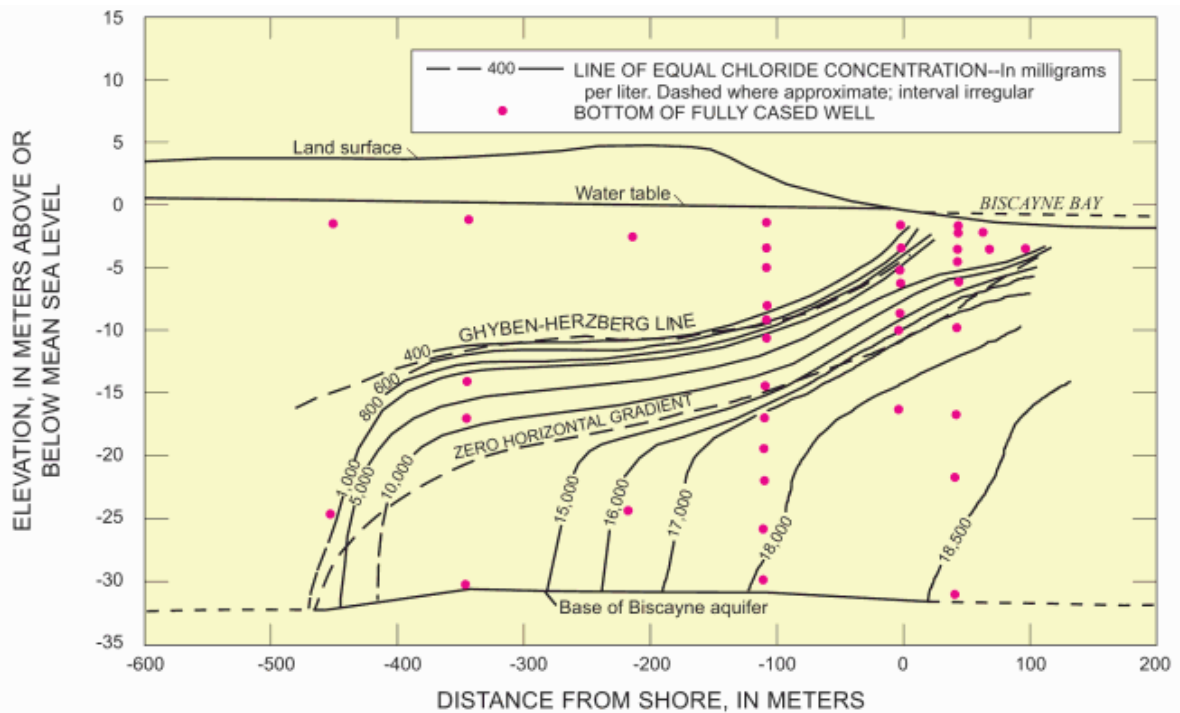


**Σχ. 2.12** Κατανομή των γραμμών ροής σε κατακόρυφη τομή σε παράκτιο υδροφόρο ακτή Biscayne, Florida (Kohout, 1964)

Η συγκέντρωση των χλωριόντων στην μεταβατική ζώνη αυξάνεται με το βάθος, όπως φαίνεται στο σχ. 2.13. Στο σχ. 2.12 διακρίνεται η γραμμή που οριοθετεί τα σημεία όπου η οριζόντια συνιστώσα της ροής είναι μηδενική. Επίσης φαίνεται ότι η ζώνη εκφόρτισης του υδροφορέα εκτείνεται 130 m από την ακτή.

Σύμφωνα με κάποιες παραδοχές η μεταβατική ζώνη αρχίζει όταν η συγκέντρωση του Cl είναι 300 ppm ή όταν το ποσοστό ανάμιξης θαλασσινού – γλυκού νερού είναι 1% (Ergil, 2000). Γενικά όταν η συγκέντρωση των Cl είναι της τάξεως των 100 mg/l είναι ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης (Βουδούρης Κ. κα, 2004).

Από παρατηρήσεις πεδίου φαίνεται ότι, υπό φυσικές συνθήκες, το πάχος της μεταβατικής ζώνης μειώνεται από την ακτή προς τη ενδοχώρα σε μικρή απόσταση, ενώ όπου γίνονται αντλήσεις αυξάνεται. Το πάχος της ζώνης κυμαίνεται από μερικά m ως αρκετά δεκάδες και το μέτωπο της υφαλμύρισης μπορεί να εισχωρήσει αρκετά Km στην ενδοχώρα.



**Σχ. 2.13** Κατανομή ισοχλωρικών καμπυλών σε κατακόρυφη τομή σε παράκτιο υδροφόρο ακτή Biscayne, Florida (Kohout, 1964).

Στους κοκκώδης υδροφορείς ο όγκος του αλμυρού νερού κάτω από το γλυκό παίρνει μια χαρακτηριστική μορφή που ονομάζεται σφήνα (σχ. 2.13).

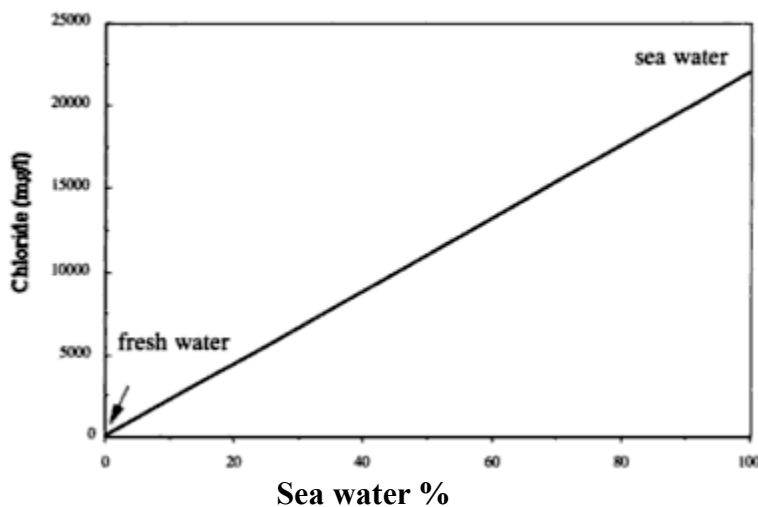
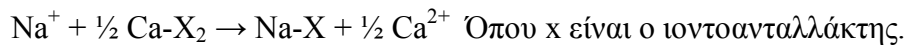
Στην περίπτωση των παράκτιων καρστικών συστημάτων η υδροδυναμική ισορροπία μεταξύ γλυκού και αλμυρού γίνεται περισσότερο πολύπλοκη, λόγω της ετερογένειας τους. Εδώ η μεταβατική ζώνη έχει μεγάλο πάχος, και το μέγεθος και το σχήμα εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών του καρστικού συστήματος. Στην πράξη η μεταβατική ζώνη είναι δυνατόν να φτάνει μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφορέα. Γι' αυτό τον λόγο συναντώνται παράκτιες υφάλμυρες πηγές ή υπόγειες υδροφορίες σε πολύ μικρά θετικά υψόμετρα. Επίσης προς την ενδοχώρα η μεταβατική ζώνη βρίσκεται σε μικρότερα βάθη απ' ό τι ορίζει ο νόμος του Ghyben – Herzberg. Τέλος η διείσδυση του θαλασσινού νερού μπορεί να φτάσει βαθύτερα στην ενδοχώρα συγκριτικά με άλλους τύπους υδροφορέων.

#### **Αντιδράσεις κατά την διείσδυση του θαλασσινού νερού**

Όταν το θαλασσινό νερό συμμετέχει σε ποσοστό 1% στην ανάμιξη η αλατότητα του τυπικού υπόγειου νερού τριπλασιάζεται (αρχική συγκέντρωση  $Cl = 100\text{mg/l}$ ). Ανάμιξη σε ποσοστό 5 % θα δημιουργήσει συγκέντρωση του  $Cl$  πάνω από  $1000\text{ mg/l}$  (Bear et al 1999). Το  $Cl$  θεωρείται συντηρητικό στοιχείο για αυτό μπορεί να συσχετιστεί με το ποσοστό ανάμιξης του θαλασσινού με το γλυκό νερό, όπως φαίνεται στο σχ. 2.14.

Η σύσταση του υφάλμυρου νερού που προκύπτει κατά την ανάμιξη, διαφέρει από την θεωρητική σύσταση του νερού που προκύπτει από την απλή ανάμιξη του θαλασσινού με το γλυκό νερό (Jones et al, 1999).

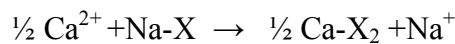
Μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες κατά την διείσδυση του θαλασσινού νερού είναι η κατιονανταλλαγή. Αυτή η αντίδραση γίνεται κυρίως μεταξύ των ιόντων  $Na$  θαλάσσιας προέλευσης με το  $Ca$  του υδροφορέα. Συνήθως το  $Na$  αντικαθιστά το  $Ca$  σύμφωνα με τη παρακάτω αντίδραση.



**Σχ. 2.14** Συγκέντρωση Cl σε σχέση με το ποσοστό ανάμιξης θαλασσινού νερού, σε υδροφόρο του Ισραήλ (Vengosh et al 1991).

Μαζί με το Ca απελευθερώνεται και Sr στο νερό (Johnson and Depaolo, 1994). Έτσι σε πολλές περιπτώσεις το νερό που προκύπτει είναι Ca-Cl τύπου και ισχύει  $\text{Ca}/(\text{SO}_4 + \text{HCO}_3) > 1$ . Το φαινόμενο είναι συχνό σε περιοχές που γίνεται υπερεκμετάλλευση (Fidelipus et al 1993).

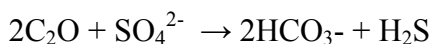
Όταν το θαλασσινό νερό υποχωρεί και ο χώρος καταλαμβάνεται από γλυκό νερό, η διαδικασία αντιστρέφεται, το Ca και το Mg προσροφούνται και το Na απελευθερώνεται σύμφωνα με την αντίδραση



Έτσι ο λόγος Na/Cl αυξάνεται, ενώ ο λόγος (Ca+Mg)/Cl μειώνεται και η σύσταση του νερού γίνεται Na-HCO<sub>3</sub> (Appelo & Postma, 1994). Πλεόνασμα Ca υποδηλώνει θαλάσσια διείσδυση και πλεόνασμα Na προέλαση γλυκού νερού.

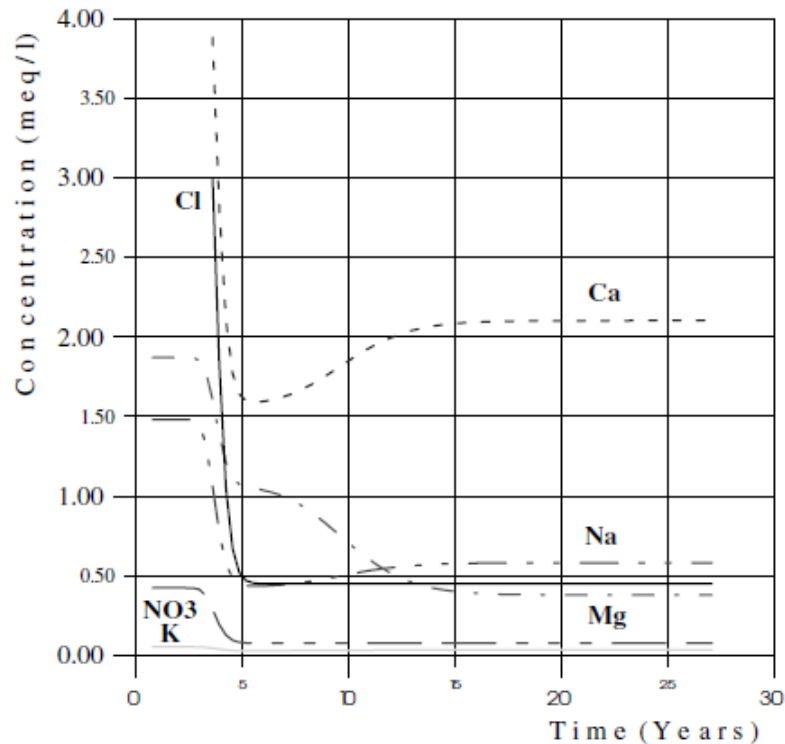
Μια άλλη διαδικασία που επηρεάζει την σύσταση του υφάλμυρου νερού είναι η προσρόφηση στοιχείων από τα αργιλικά ορυκτά, την οργανική ύλη, τα οξείδια, τα υδροξείδια και τα αργιλικά σωματίδια του υδροφορέα. Στοιχεία που είναι ευαίσθητα στην προσρόφηση είναι το K, B και Li. Έτσι η συγκέντρωση αυτών των στοιχείων μειώνεται κατά την διείσδυση και οι λόγοι K/Cl, B/Cl, Li/Cl είναι μικρότεροι από αυτών του θαλασσινού νερού (Bear et al. 1999).

Τέλος σε αναερόβιο περιβάλλον μπορεί να γίνει αναγωγή των θεικών και η αντίδραση περιλαμβάνει οξείδωση οργανικού υλικού (Bosh & Custodio 1993).



Όταν η διείσδυση του θαλασσινού νερού γίνεται κυρίως με διάχυση και όχι με οριζόντια μεταφορά και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των ιζημάτων είναι μικρή, η σύσταση του υφάλμυρου νερού που προκύπτει μοιάζει με την απλή ανάμιξη θαλασσινού και γλυκού νερού (Appello & Postma, 1993).

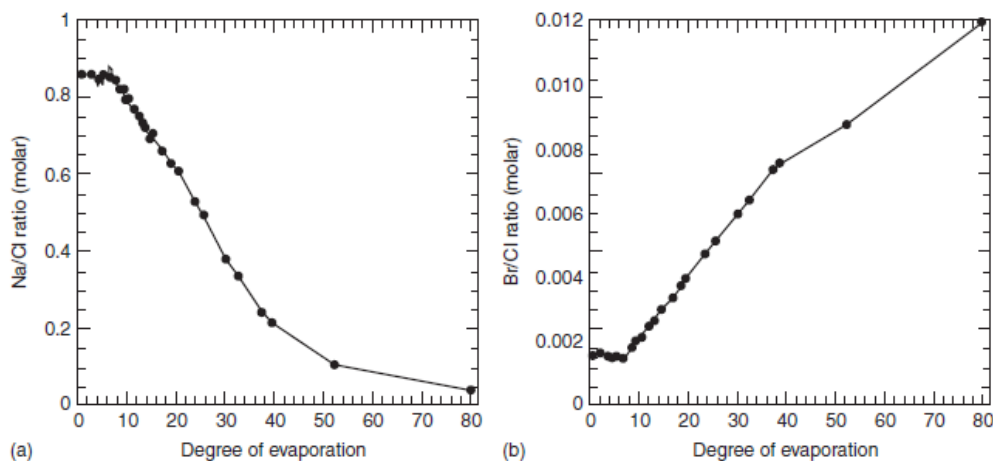
Στο σχ. 2.15 φαίνεται η εξέλιξη της ποιότητας του νερού σε καρστικό υδροφορέα, μετά την υποχώρηση του θαλασσινού νερού. Η μερική αποκατάσταση διαρκεί αρκετές δεκαετίες και η ολική εκατονταετίες.



**Σχ. 2.15** Διακύμανση συγκέντρωσης κατιόντων σε ανθρακικό υδροφορέα (, κατά την υποχώρηση του θαλασσινού νερού (Μάλλια Κρήτης, Lambrakis & Kallergis 2001)

### Θαλάσσιες άλμες

Οι θαλάσσιες άλμες μπορούν να προκύψουν από υπολείμματα θαλασσινού νερού που έχει υποστεί εξάτμιση. Το ποσοστό εξάτμισης μπορεί να οριστεί από το λόγο της συγκέντρωσης του Br στο διάλυμα με την αρχική συγκέντρωση του Br στο θαλασσινό νερό (σχ. 2.16).



**Σχ. 2.16** Στα διαγράμματα φαίνεται η διακύμανση των λόγων Na/Cl και Br/Cl ανάλογα με το βαθμό εξάτμισης (McCaffrey et al 1987, Raab and Spriro 1991 Vengosh et al 1992).

Χαρακτηρίζονται από Ca-Cl σύσταση και ισχύει  $Ca/(SO_4+HCO_3) > 1$ ,  $Na/Cl < 0,86$ ,  $Br/Cl > 0.0015$  και υπάρχει σχετική μείωση των θεικών  $SO_4/Cl < 0.05$  (Carpenter, 1978 Carpenter et al, 1974 Starinsky, 1974 McCaffrey et al., 1987 Wilson and Long, 1993



Vengosh et al, 1992 Raab and Spiro,1991). Επίσης μπορούν να προκύψουν και όταν η θάλασσα παγώνει (Bein and Arad, 1992).

Εξαιτίας της μεγάλης αλατότητας του υπεραλμυρού νερού (>100 g/l) αν αναμιχθεί έστω και σε μικρό ποσοστό με το γλυκό νερό προκαλεί υφαλμύριση σε μεγάλο βαθμό. Όταν κάποια άλμη βρίσκεται σε υδρολογική επαφή με γλυκό νερό έχουν παρατηρηθεί μεγάλοι ρυθμοί υφαλμύρισης κοντά σε μεγάλα ρήγματα (Farber et al, 2005)

### **Διάλυση εβαποριτικών ορυκτών**

Μια άλλη αιτία είναι η διάλυση εβαποριτικών ορυκτών (Love et al, 2000). Όταν διαλύεται ο αλίτης (NaCl), τα κυρίαρχα ιόντα είναι Na και Cl και ισχύει  $Na/Cl \approx 1$ ,  $Br/Cl < 0,0015$  (Mehta et al., 2000). Όταν διαλύεται γύψος ισχύει γενικά ο λόγος  $Ca/SO_4 \approx 1$ , ωστόσο το Ca μπορεί να αντικατασταθεί από Na μέσω της ιοντοανταλλαγής και το υπολειπόμενο νερό να έχει Na-SO<sub>4</sub> σύσταση (Nesbitt and Cramer,1993). Κατά το Μεσσήνιο στην Μεσόγειο αποτέθηκαν εβαπορίτες σε μεγάλες εκτάσεις, οι οποίοι συνίσταται κυρίως από αλίτη.

### **Υδροθερμικά ρευστά**

Η υφαλμύριση μπορεί να προκύψει από ανάμιξη με υδροθερμικά ρευστά, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές αλατότητας. Αυτά τα ρευστά είναι εμπλουτισμένα σε Cl, Na, B, F και As. Για παράδειγμα στην δυτική Τουρκία έχει μετρηθεί αλατότητα από 2 ως 66 g/l και υψηλή συγκέντρωση B > 50 mg/l (Vengosh et al., 2002).

### **Απολιθωμένο θαλασσινό νερό**

Λόγω κλιματικών αλλαγών, ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων η θαλάσσια στάθμη μεταβάλλεται. Συνήθως οι επικλύσεις και αποσύρσεις γίνονται με πολύ αργούς ρυθμούς μερικά cm κάθε 100 χρόνια και διαρκούν χιλιάδες χρόνια. Έτσι σε κάποιες περιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές έχει παγιδευτεί θαλασσινό νερό στα ιζήματα από διεισδύσεις της θάλασσας κατά το παρελθόν. Αυτό το απολιθωμένο θαλασσινό νερό μπορεί να διακριθεί από το σύγχρονο μέσω χρονολόγησης με το C<sup>14</sup> και το H<sup>3</sup> (Hahn, 1991).

Όταν το θαλασσινό νερό έχει παγιδευτεί σε κάποιο γεωλογικό σχηματισμό η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ του αλμυρού και του γλυκού νερού εξαρτάται από την υδραυλική αγωγιμότητα του πετρώματος. Όταν η αγωγιμότητα του σχηματισμού είναι μικρή, μπορεί να αυξήσει την αλατότητα γειτονικών υδροφορέων μέσω της διάχυσης (Herczeg and Edmunds, 2000) ή μέσω ρηγμάτων που επιτρέπουν την κίνηση των αλατούχων νερών (Maslia and Prowell, 1990). Όταν το αλμυρό νερό έχει εγκλωβιστεί σε κάποιο υδροφόρο με μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα, όπως καρστικό, το γλυκό νερό επίκειται του υφάλμυρου.

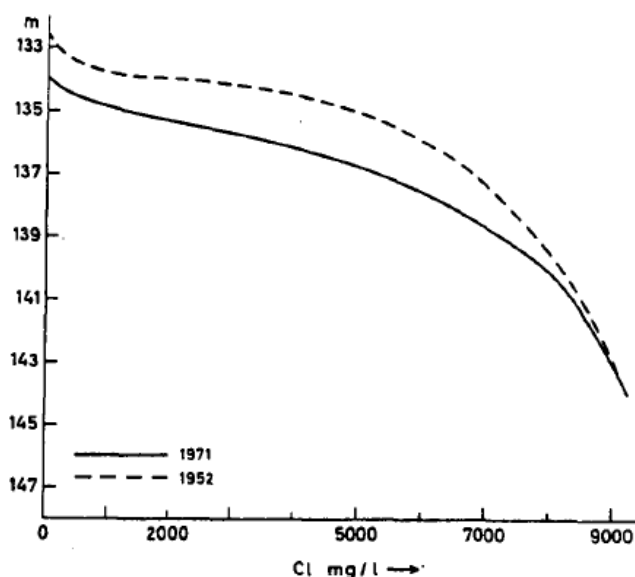
Όταν δεν ανανεώνεται το γλυκό νερό η επίδραση της υφαλμύρισης είναι μεγαλύτερη. Αυτό το φαινόμενο έχει παρατηρηθεί σε υδροφορείς, που βρίσκονται σε ξηρές περιοχές όπως στην Σαχάρα και στην Μέση ανατολή. Σε αυτούς τους υδροφορείς γλυκό νερό από το Αν. Πλειστόκαινο επικάθεται σε υφάλμυρο νερό (Cook et al, 1992, Phillips, 1994). Επειδή ο εμπλουτισμός είναι ανύπαρκτος ή γίνεται με πολύ αργό ρυθμό με την πάροδο του χρόνου έχει διαμορφωθεί μια εύθραυστη ισορροπία μεταξύ των δύο τύπων νερών. Η άντληση μέσω γεωτρήσεων μπορεί να διαταράξει αυτή την ισορροπία και να προκαλέσει υφαλμύριση του γλυκού νερού (Edmund and Droubi, 1998).

Σε ιζήματα της Μεσογείου (ηλικίας Μειοκαινίου - Τεταρτογενούς) έχουν βρεθεί εγκλωβισμένα υπεραλμυρά νερά. Αυτά με βάση τους λόγους Na/Cl και Ca/(HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>) έχουν διακριθεί στις παρακάτω κατηγορίες (Vengosh A., Starinsky A. & Anati A., 1992).

- Αραιωμένο θαλασσινό νερό: ο λόγος Na/Cl και τα Cl είναι μικρότερα ή ίδια με το θαλασσινό νερό.
- Θαλασσινό νερό που έχει υποστεί εξάτμιση: ο λόγος Na/Cl παραμένει ίδιος και τα Cl είναι περισσότερα. Αυτά τα νερά απαντούν σε ιζήματα από το Αν. Μειόκαινο ως το Τεταρτογενές και είναι τα πιο συχνά. Διακρίνονται σε α) Θαλασσινό νερό που έχει εξατμιστεί κατά το Μεσσήνιο, έχουν υψηλή αλατότητα (ως 260 g/l)  $Na/Cl \approx 0.1$   $Mg/Cl \approx 0.45$  και  $Ca/(HCO_3+SO_4) < 0.5$ . Εντοπίζονται μόνο στην Ιόνια λεκάνη πάνω από τους εβαποριτικούς σχηματισμούς β) Ca-Cl άλμες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος αλατότητας  $Na/Cl = 0.1-0.8$  και υψηλό λόγο  $Ca/(HCO_3+SO_4)$  ως 40.
- NaCl άλμες: χαρακτηρίζονται από υψηλή αλατότητα (ως 260 g/l) και  $Na/Cl \approx 1$ .

Στην Κεφαλλονιά, στην περιοχή Θηνιά, σε γεώτρηση βάθους 260 που βρίσκεται σε ασβεστόλιθους της ζώνης Παξών βρέθηκε υπεραλμυρό νερό με TDS περίπου 56.000 mg/l. Οι ασβεστόλιθοι περιφερειακά είναι εγκλωβισμένοι από νεογενείς μάργες και η αλατότητα των νερών υπολογίζεται πως είναι τουλάχιστον 20 % μεγαλύτερη επειδή έχουν αναμιχθεί με γλυκά νερά όπου η EC είναι 2950  $\mu S/cm$ . Θεωρείται πως έχουν προέλθει από την εξάτμιση θαλασσινού νερού και είναι εγκλωβισμένα αρκετά εκατομμύρια χρόνια (Κουμαντάκης Ι. και Μιμίδης Θ., 1989).

Μια ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η λίμνη Rorholtfjorden της Νορβηγίας, όπου έχει ανακαλυφθεί παγιδευμένο θαλασσινό νερό, ηλικίας 6000 ετών. Η λίμνη δεν δέχεται τροφοδοσία από κάποιο ποτάμι και περιβάλλεται από κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα, έτσι η σύσταση του νερού δεν επηρεάζεται πολύ από το περιβάλλον. Η λίμνη έχει βάθος 147 m και το αλμυρό νερό εντοπίζεται από τα 133 m ως το πυθμένα. Σε αυτή την ζώνη η αλατότητα αυξάνεται με το βάθος, και η μέγιστη παρατηρείται στον πυθμένα, όπου η σύσταση του νερού είναι παρόμοια με αυτή του θαλασσινού (με την ίδια συγκέντρωση Cl).



Σχ. 2.17 Διακύμανση Cl με το βάθος, σε εγκλωβισμένο θαλασσινό νερό στην λίμνη Rorholtfjorden της Νορβηγίας (Arne Lande, 1972).

Η σύσταση στο πυθμένα μοιάζει πολύ με αυτή του θαλασσινού νερού με τα ίδια Cl.

**Πιν. 2.18** Διακύμανση της σύστασης του νερού με το βάθος, στην λίμνη Rorholtfjorden της Νορβηγίας. Οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε mg/l (Arne Lande, 1972).

Depth m	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>
1	2.7	7.9	0.4	1.2	2.5
5	2.4	5.3	0.4	1.0	2.3
50	2.4	4.8	0.4	1.0	2.3
100	2.5	4.9	0.4	1.1	2.3
130	2.4	5.0	0.5	1.2	2.3
132	2.6	5.1	0.4	1.2	2.2
135	1,190	0.0	26	520	34.4
136	3,555	0.0	50	1,500	107
140	7,905	0.0	118	4,200	200
143	9,010	0.0	129	5,120	220

Φαίνεται πως έχει δημιουργηθεί μια ζώνη ανάμιξης μεταξύ του γλυκού και του αλμυρού νερού όπου δεν υπάρχουν SO<sub>4</sub> και ο λόγος Na/Cl αυξάνεται με το βάθος ενώ οι λόγοι K/Cl και Ca/Cl μειώνονται (πιν. 2.19) (Arne Lande, 1972).

**Πιν. 2.19** Διακύμανση των Cl και διάφορων ιοντικών λόγων με το βάθος στην λίμνη Rorholtfjorden της Νορβηγίας. Οι λόγοι έχουν προκύψει από την επεξεργασία των στοιχείων του πιν. 2.18.

Βάθος (m)	Cl	Na/Cl	K/Cl	Ca/Cl
135	1190	0.67	0.020	0.05
136	3555	0.65	0.013	0.05
140	7905	0.82	0.014	0.04
143	9010	0.88	0.013	0.04

### 2.3.2 Υφαλμύριση ανθρωπογενούς προέλευσης

#### Αστικό περιβάλλον

Οι κύριες πηγές αλατότητας στο αστικό περιβάλλον είναι τα λύματα και η χρήση του αλατιού για την αποπάγωση των δρόμων.

Η χρήση οικιακού NaCl και απορρυπαντικών εμπλουτισμένων σε Na και B (χρησιμοποιείται βορικό νάτριο ως λευκαντικός παράγοντας), έχει ως αποτέλεσμα στα λύματα να εμφανίζονται οι λόγοι Na/Cl > 1, Br/Cl < 0,0015 και B/Cl > 8x10<sup>-4</sup>. Επίσης τα άλατα που χρησιμοποιούνται στα πλυντήρια πιάτων έχουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε Cl. Συνήθως η επεξεργασία των λυμάτων φτάνει ως την δεύτερη φάση, η οποία δεν επαρκεί για να απομακρυνθούν τα ανόργανα συστατικά και η αλατότητα παραμένει σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Στο Ισραήλ τα επεξεργασμένα λύματα έχουν συγκέντρωση Cl = 300-400 mg/l (Vengosh et al., 1994, Harussi et al., 2001).

Η δεύτερη αιτία είναι η χρήση αλατιού (NaCl) για την αποπάγωση των δρόμων. Η ρύπανση προέρχεται από την διαρροή της άλμης που δημιουργείται στους χώρους αποθήκευσης και από την διάλυση του αλατιού που εφαρμόζεται στους δρόμους. Σε αυτή την περίπτωση για τα ρυπασμένα νερά ισχύει Na/Cl ≈ 1 (Howard and Beck, 1993).

#### Απορροή αρδευτικού νερού

Έρευνα στις Δ ΗΠΑ έχει δείξει ότι το νερό που απορρέει από τις γεωργικές περιοχές είναι αλατούχο και η συγκέντρωση των στοιχείων Se, B, As και Hg είναι σε υψηλά επίπεδα.

πεδα (Hern and Feltz, 1998). Η αλατότητα του αρδευτικού νερού που επιστρέφει στο έδαφος επηρεάζεται: **1)** από τα χημικά που εφαρμόζονται (λιπάσματα αζώτου, γύψος, δολομίτης, ενώσεις Β, ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα) **2)** από την ισορροπία που διαμορφώνεται μεταξύ των αλάτων που κατακρατούνται από το έδαφος και αυτών που απομακρύνονται και **3)** από την απορρόφηση του νερού από τις καλλιέργειες, συνήθως το 60% απορροφάται από τις καλλιέργειες και τα άλατα μένουν στο υπολειπόμενο διάλυμα.

Τα κυρίαρχα ιόντα που προσδίδονται μέσω χημικών είναι τα  $\text{NO}_3$  που προέρχονται κυρίως από τα αζωτούχα λιπάσματα. Άλλες σημαντικές πηγές είναι η ουρία ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), το νιτρικό αμμώνιο ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) και η κοπριά (Bolke, 2002).

Καθώς το αρδευτικό νερό διέρχεται από την ακόρεστη ζώνη, η χημική του σύσταση τροποποιείται. Κατά την μικροβιακή οξείδωση της αμμωνίας απελευθερώνονται  $\text{H}^+$ , αυξάνεται η οξύτητα του νερού και επομένως η διαλυτική του ικανότητα και παράγονται νιτρικά (Bolke, 2002). Έτσι σε υδροφορείς που βρίσκονται κάτω από καλλιεργούμενες εκτάσεις, που εφαρμόζονται λιπάσματα, έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ νιτρικών και ανόργανων στοιχείων όπως  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  και  $\text{Cl}^-$  και το νερό έχει σύσταση  $\text{Ca-Mg-NO}_3$  (Hamilton et al., 1993, Hamilton and Helsel, 1995).

Επίσης η κοπριά, και ιδιαίτερα αυτή των χοίρων, έχει μεγάλες συγκεντρώσεις σε  $\text{Cl}=1700 \text{ mg/l}$ ,  $\text{Na}=840 \text{ mg/l}$  και  $\text{K}=3960 \text{ mg/l}$  και η μακρόχρονη εφαρμογή της μπορεί να αυξήσει την αλατότητα του εδάφους και του υποκειμένου υδροφόρου (Krapac et al, 2002). Κάποια άλλα προσθετικά που χρησιμοποιούνται στο έδαφος είναι ο δολομίτης, η γύψος, το  $\text{KCl}$  και βορικό  $\text{Na}$  ή  $\text{Ca}$ .

Η αλατότητα επηρεάζεται και από αντιδράσεις διάλυσης και ιοντοανταλλαγής. Για παράδειγμα στις Δ ΗΠΑ η αυξημένη συγκέντρωση σε  $\text{Se}$  στο νερό απορροής, αποδίδεται στα αλκαλικά εδάφη που έχουν προκύψει από θαλάσσια ιζήματα πλούσια σε  $\text{Se}$ . (Grieve et al, 2001). Στα ξηρά και ημίξηρα κλίματα η φυσική αλατότητα του εδάφους είναι μεγάλη και καθώς απορρέει το νερό επηρεάζει την ποιότητα του.

Η υψηλή αλατότητα του νερού σχετίζεται με υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}$  το οποίο μέσω της ιοντοανταλλαγής αντικαθιστά το προσροφημένο  $\text{Ca}$  που βρίσκεται στο έδαφος. Αυτή η διαδικασία μειώνει την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Η ικανότητα ιοντοανταλλαγής των διάφορων ουσιών είναι περιορισμένη και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος τους και το  $\text{pH}$  του περιβάλλοντος. Ο λόγος  $\text{Na/Cl}$ , του νερού που απορρέει, είναι ένας καλός δείκτης της αποτελεσματικότητας της ιοντοανταλλαγής. Όταν ο λόγος παίρνει μεγαλύτερες τιμές από αυτόν της αρχικής σύστασης του αρδευτικού νερού, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής έχει εξαντληθεί. Αυτό συμβαίνει σε περιοχές όπου γίνεται άρδευση για μεγάλο χρονικό διάστημα (Vengosh & Karen, 1996). Όταν το αρδευτικό νερό είναι πλούσιο σε  $\text{Ca}$  συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία και απελευθερώνεται  $\text{Na}$ , οπότε ο λόγος  $\text{Na/Cl}$  στο νερό απορροής είναι μεγαλύτερος από τον αρχικό του αρδευτικού νερού (Kass et al, 2005).

Ο κίνδυνος νατρίωσης εκφράζεται με το δείκτη  $\text{SAR}$  που εκφράζει την σχετική ενεργότητα των ιόντων  $\text{Na}$  σε αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής με το έδαφος. Όταν ο δείκτης  $\text{SAR}$  παίρνει τιμές πάνω από 10 το νερό θεωρείται επικίνδυνο για νατρίωση και εφαρμόζεται  $\text{CaSO}_4$ , για να βελτιωθούν οι φυσικές του ιδιότητες του εδάφους.

Υπό αερόβιες συνθήκες λόγω οξείδωσης της οργανικής ύλης, αυξάνονται τα  $\text{SO}_4$  και λόγω της διάλυσης του ανθρακικού υλικού υδροφορέα, αυξάνονται τα  $\text{HCO}_3$  και  $\text{Ca}$ . Σε αναερόβιες συνθήκες τα  $\text{SO}_4$  και  $\text{NO}_3$  ανάγονται και το  $\text{Ca}$  καθιζάνει, οπότε αυτά τα ιόντα απομακρύνονται από το νερό απορροής καθώς κινείται στην ακόρεστη ζώνη (Goody et al, 2002). Σε κάποιες περιπτώσεις το αρδευτικό νερό έχει εξαρχής υψηλή αλατότητα αφού χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα οικιακά λύματα ή υφάλμυρο νερό.

## 2.4 Προέλευση αλατότητας - Ιοντικοί λόγοι

Κάποιοι ιοντικοί λόγοι αποτελούν ενδείξεις για την πορεία που έχει ακολουθήσει το υπόγειο νερό. Δηλαδή μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για το είδος του υδροφορέα, για τα πετρώματα από τα οποία έχει διέλθει, αν είναι κοντά στην ζώνη εμπλουτισμού, για την προέλευση τυχόν αλμυρότητας κα. Στους παρακάτω ιοντικούς λόγους οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε meq/l.

### Είδος υδροφόρου

#### Mg/Ca

Mg/Ca=0,5-0,7 Ασβεστολιθικά νερά

Mg/Ca=0,7-0,9 Δολομιτικά νερά

Mg/Ca>0,9 Πυριτικά νερά (Mandel-Shiftan, 1981)

Αν ο συντελεστής Revelle πάρει μεγάλες τιμές τα αποτελέσματα του παραπάνω λόγου θεωρούνται επισφαλής (Γεωργαλάς, 1996).

Ο λόγος Mg/Ca για τα γλυκά νερά είναι 0,2-1,5. Σε παράκτιους καρστικούς υδροφορείς, όπου έχει διεισδύσει το θαλασσινό νερό γίνεται δολομιτίωση και ο λόγος Mg/Ca μειώνεται με το χρόνο τείνοντας προς την τιμή 2. Αυτή η τιμή είναι ενδεικτική του χρονικής περιόδου που έχει διεισδύσει το θαλασσινό νερό (Βουδούρης Κ., 2006).

### Περιοχή εμπλουτισμού

#### (Ca+Mg) / (K+Na)

Ο λόγος αυτός επηρεάζεται από δευτερογενή ρύπανση και για αυτό κοντά στην περιοχή εμπλουτισμού είναι >1 και στις κατάντη περιοχές είναι <1 (Mandel-Shiftan, 1981).

#### HCO<sub>3</sub>/Cl

Κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων, ανάμεσα στα ανιόντα επικρατούν τα οξυανθρακικά η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει μέχρι ενός ορίου που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του CaCO<sub>3</sub> (Καλλέργης 1986).

#### Na/K

Na/K=15-25 Φρέσκα νερά

Na/K>50-70 Παλαιά νερά (Mandel-Shiftan, 1981).

### Προέλευση αλατότητας

Η αναγνώριση της πηγής υφαμύρινσης ενός υδροφορέα είναι σημαντική για την διαχείριση του προβλήματος. Κάθε πηγή αλατότητας χαρακτηρίζεται από κάποια συγκεκριμένα χημική και ισοτοπική σύνθεση. Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε λόγους κύριων ιόντων.

Κατά την ανάμιξη κάποιου αλατούχου νερού με γλυκό η σύσταση του νερού που προκύπτει θα έπρεπε να μοιάζει πολύ με αυτή του αλατούχου νερού. Όμως λόγω διάφορων αντιδράσεων που συμβαίνουν με τα ορυκτά του υδροφορέα η σύσταση του ρυπασμένου νερού διαφέρει αρκετά. Επίσης υπάρχουν κάποιες ομοιότητες στη σύσταση μεταξύ διαφορετικών πηγών αλατότητας γεγονός που δυσχεραίνει την αναγνώριση.

Κλειδί για τον εντοπισμό προέλευσης της αλατότητας είναι η συντηρητική συμπεριφορά κάποιων στοιχείων. Το Cl θεωρείται το πιο συντηρητικό στοιχείο, σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να λάβουν και αυτά μέρος σε αντιδράσεις γι' αυτό πρέπει να γίνεται συνεκτίμηση των διάφορων χημικών ιχνηθετών (Mazor, 1997).

Στις παράκτιες περιοχές το φαινόμενο οφείλεται κυρίως στην διείσδυση του σύγχρονου θαλασσινού νερού. Το θαλασσινό νερό παρουσιάζει μια ομοιογένεια στην σύνθεση του

λόγω του μεγάλου χρόνου παραμονής των κύριων στοιχείων του. Έτσι οι παρακάτω λόγοι έχουν σταθερές τιμές  $\text{Na/Cl}=0,86$  και  $\text{Br/Cl}=0,0015$   $\text{SO}_4/\text{Cl}=0,01$  και  $\text{B/Cl}=8 \times 10^{-4}$ . Η πρώτη ένδειξη πιθανής διείσδυσης είναι η αύξηση του Cl στον υδροφόρο, αν και αυτή μπορεί να οφείλεται και σε άλλες αιτίες (Bear et al, 1999). Το B έχει την τάση να προσροφάται από τα αργιλικά ορυκτά και τα οξείδια, ιδιαίτερα όταν η αλατότητα είναι υψηλή.

### Na/Cl

$\text{Na/Cl} \approx 0,86$  Γλυκό ή θαλασσίνο νερό

$\text{Na/Cl} < 0,86$  Είναι πιθανή η ρύπανση του υδροφόρου από διείσδυση της θάλασσας ή υπάρχουν υπολείμματα αλμυρών. Όταν συνδυαστεί με άλλες γεωχημικές παραμέτρους είναι δείκτης υφαλμύρισης ακόμα και στα πρώιμα στάδια

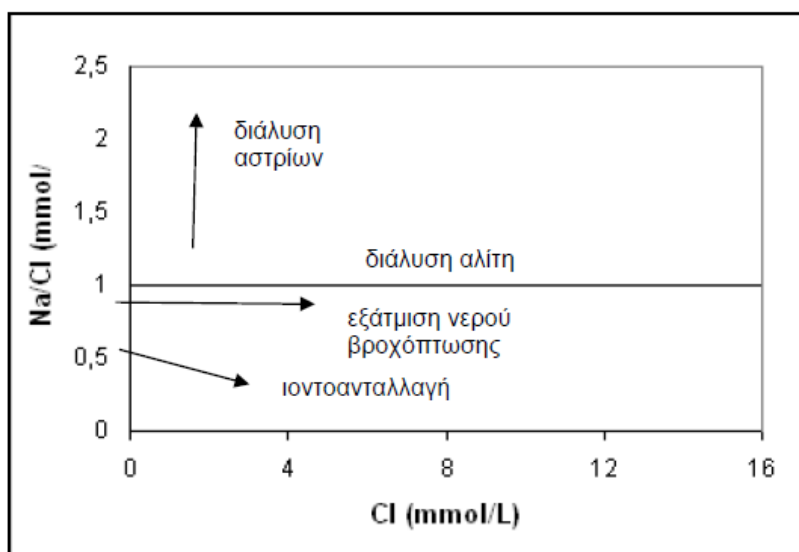
Επίσης όταν ο λόγος παίρνει μικρές τιμές ( $< 1$ ) είναι πιθανό να έχει γίνει ιοντοανταλλαγή του Na με στοιχεία αργιλικών ορυκτών.

$\text{Na/Cl} > 1$  Όταν ο λόγος είναι  $> 1$  και η αλατότητα είναι χαμηλή το Na δεν προέρχεται μόνο από το μετεωρικό NaCl. Μια άλλη πηγή που μπορεί να δώσει υψηλές τιμές του λόγου είναι η αποσάθρωση Na-αστρίων (σχ. 2.20). Σε αυτή την περίπτωση το νερό πιθανά φιλοξενείται σε αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα (Mandel-Shifan, 1981, Βουδούρης Κ. 2006). Επίσης μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενή ρύπανση του υδροφόρου, όπως από οικιακά λύματα (Bear et al, 1999).

### Na/K

$\text{Na/K} \approx 47$  Θαλασσίνο νερό

$\text{Na/K} < 10$  Βρόχινο νερό (Mandel-Shifan, 1981)



Σχ. 2.20 Συσχέτιση του λόγου  $\text{Na/Cl}$  με την συγκέντρωση Cl (Βουδούρης Κ., 2006).

### $\text{SO}_4/\text{Cl}$

$\text{SO}_4/\text{Cl} \approx 0,1$  Θαλασσίνο

$\text{SO}_4/\text{Cl} = 0,1-0,2$  Χλωριούχο

$\text{SO}_4/\text{Cl} = 0,2-1$  Χλωριοθειικό

$\text{SO}_4/\text{Cl} = 1-5$  Θεικοχλωριούχο

$\text{SO}_4/\text{Cl} > 5$  Θειικό (Mandel-Shifan, 1981)

Ο λόγος επηρεάζεται από δευτερογενή ρύπανση. Η τιμή του μειώνεται κατά την διεύθυνση ροής του νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί προς τα κατάντη η συγκέντρωση των Cl αυξάνει με πιο γρήγορο ρυθμό από αυτόν των θειικών (Γεωργαλάς, 1996).

### Cl/Br

Cl/Br $\approx$ 655 Θαλασσινό νερό. Το νερό στους παράκτιους υδροφορείς, όπου έχει διεισδύσει το θαλασσινό νερό, έχει το ίδιο λόγο με του θαλασσινού (Alcala & Custodio, 2004)

Cl/Br  $\approx$ 500-4000 Νερό σε επαφή με εβαπορίτες (Mandel-Shifan, 1981)

Cl/Br < 800 Ανάμιξη με λύματα αποχέτευσης (Vengosh and Pankratov, 1998)

Cl/Br < 300 Συγγενετικό νερό (Mandel-Shifan, 1981)

Η μέση συγκέντρωση του Br στο υπόγειο νερό είναι 0,01 mg/l και στο θαλασσινό νερό είναι 65 mg/l. Μικρές τιμές έχουν τα συγγενετικά νερά και τα νερά από σαλαμούρες. Η σχέση βοηθά στη διάκριση της διείσδυσης θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους, από άλλες πηγές αλατότητας. Ο λόγος μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα γιατί το Cl και το Br δεν παίρνουν μέρος σε αντιδράσεις, εκτός αν υπάρχουν υψηλές ποσότητες οργανικής ύλης (Bear et al, 1999).

### Συντελεστής Revelle

Cl/(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) $\geq$ 1 Αποτελεί ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης. Στον πιν. 2.21 φαίνεται σε τι βαθμό έχει επηρεαστεί ο υδροφόρος σε περίπτωση θαλάσσιας διείσδυσης.

**Πιν. 2.21** Ταξινόμηση ρυπασμένων νερών από την θάλασσα σύμφωνα με τον συντελεστή Revelle (Καλλέργης, 2000).

Συντελεστής Revelle	Ρύπανση από την θάλασσα
R<1	<b>ΧΩΡΙΣ</b>
1<R<2	<b>ΕΛΑΦΡΙΑ</b>
2<R<6	<b>ΜΕΤΡΙΑ</b>
6<R<10	<b>ΣΟΒΑΡΗ</b>
10<R<150	<b>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ</b>
R>150	<b>ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ</b>

### Ca/Mg, Ca/(HCO<sub>3</sub> + SO<sub>4</sub>)

Μία σημαντική ένδειξη διείσδυσης είναι οι αυξημένες συγκεντρώσεις Ca, μεγαλύτερες από αυτή του θαλασσινού νερού. Σε αυτή την περίπτωση οι λόγοι Ca/Mg, Ca/(HCO<sub>3</sub> + SO<sub>4</sub>) είναι μεγαλύτεροι από 1. Όμως υψηλές συγκεντρώσεις Ca σε υφάλμυρα νερά μπορεί να οφείλονται και σε διαφορετικές αιτίες (Bear et al, 1999).

**Πιν. 2.22** Συγκεντρωτικός πίνακας ιοντικών λόγων.

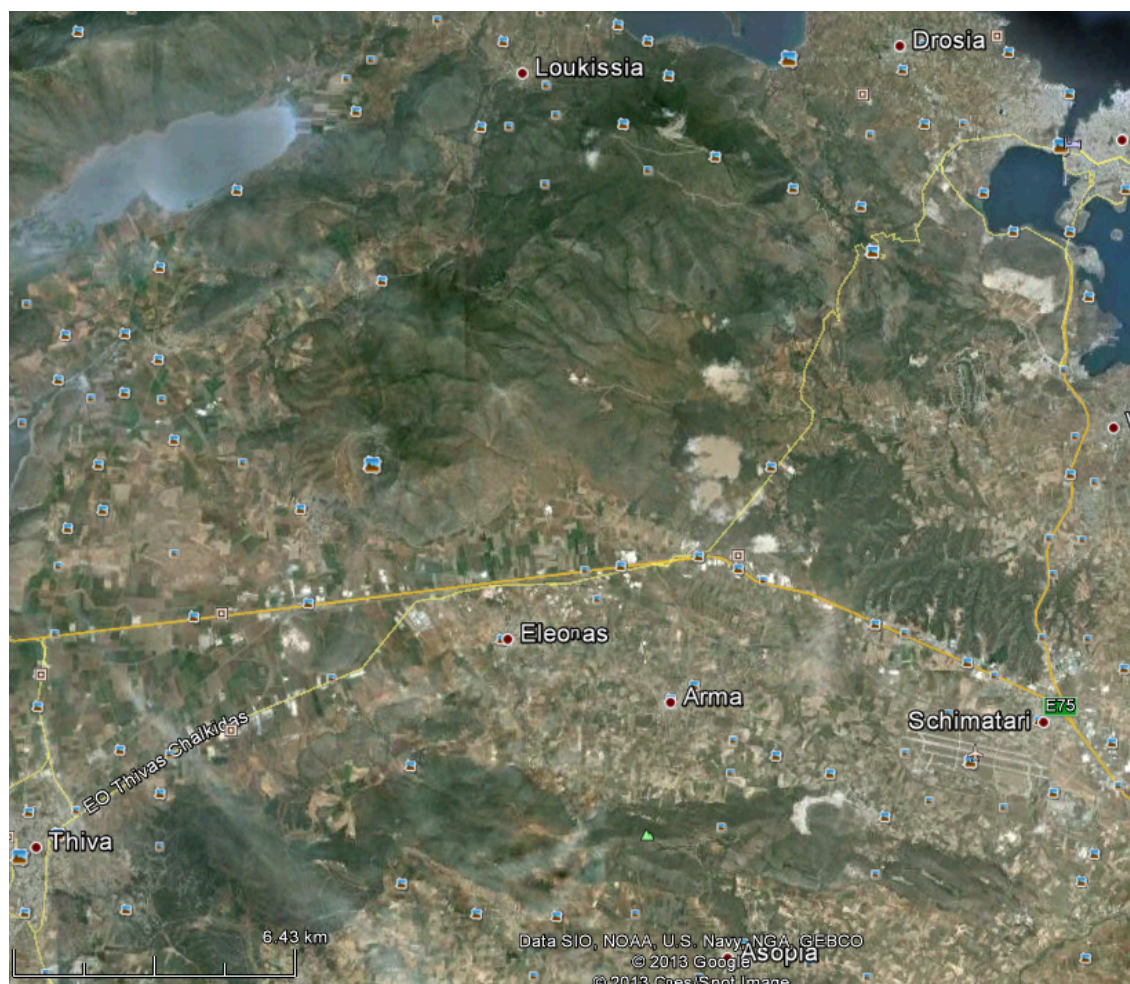
Τύπος νερού	Na/Cl	Cl/Br	SO <sub>4</sub> /Cl	Na /K	TDS (g/l)
<b>Κατακρημνίσματα</b>	$\approx$ 0.86				
<b>Γλυκό νερό</b>		$\approx$ 667		< 10	
<b>θάλασσα</b>	$\approx$ 0.86	$\approx$ 667	$\approx$ 0.1	$\approx$ 47	35
<b>Διείσδυση θαλασσινού νερού</b>	<0.86	$\approx$ 667			
<b>Άλμες</b>		<667	>0,1		
<b>Διάλυση εβαποριτών</b>	1	$\approx$ 500-4000	>>0,1		>1
<b>Υδροθερμικά ρευστά</b>	>1	<667	>>0,1		0.2 ως >1
<b>Ανθρωπογενής ρύπανση</b>	>1	< 800			
<b>Οικιακά λύματα</b>	>1	>667	>0,1		$\approx$ 1
<b>Απορροή σε καλλιερ. εκτάσεις</b>	>1	>667	>>0,1		0.5-5

### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 3.1 Γεωγραφικά στοιχεία



Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ανατολική Στερεά Ελλάδα, 50 Km από την Αθήνα και καταλαμβάνει έκταση 645 Km<sup>2</sup>. Στα Β βρέχεται από τον Β Ευβοϊκό κόλπο και στα Α από τον Ν Ευβοϊκό. Στα Δ – ΒΔ βρίσκονται οι λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής βρίσκεται στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού και το υπόλοιπο ανήκει στην λεκάνη του Ασωπού. Στην δορυφορική φωτογραφία (φωτ. 3.1) διακρίνονται οι λίμνες, οι ορεινοί όγκοι και οι λεκάνες της περιοχής.



Φωτ. 3.1 Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής μελέτης (Google Earth).



### 3.2 Διοικητική διαίρεση

Διοικητικά ανήκει στους νομούς Βοιωτίας και Ευβοίας και σύμφωνα με το νόμο Καλλικράτη συναντάμε τους δήμους Θηβαίων, Τανάγρας και Χαλκιδαιών. Στον παρακάτω χάρτη εμφανίζεται η κατανομή των οικισμών. Οι περισσότεροι οικισμοί βρίσκονται μέχρι 300 m υψόμετρο.



Σχ. 3.2 Νομοί και πόλεις της περιοχής μελέτης.

### 3.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη-Απασχόληση

Οι 2 μεγαλύτεροι οικισμοί είναι η Χαλκίδα στα ΒΑ και η Θήβα στα ΝΔ, ενδιάμεσα αυτών των οικισμών υπάρχουν μικρότεροι της τάξεως μερικών εκατοντάδων κατοίκων. Στον πιν.1.2 φαίνεται η απογραφή του 2001, εκείνη την περίοδο ίσχυε ο νόμος Καποδίστρια.

Πιν. 3.3 Πληθυσμιακά στοιχεία οικισμών (Απογραφή, 2001 ΕΣΥΕ).

<b>ΘΗΒΑ</b>	<b>21211</b>	<b>ΧΑΛΚΙΔΑ</b>	<b>53584</b>	ΑΡΜΑ	1070
ΠΛΑΤΑΝΑΚΙΑ	172	ΔΡΟΣΙΑ	4007	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	695
ΜΟΥΡΙΚΙ	437	ΛΟΥΚΙΣΙΑ	1036	ΤΑΝΑΓΡΑ	1102
ΥΠΑΤΟ	382	ΒΑΘΥ	3447	ΑΣΩΠΙΑ	1267
ΕΛΕΩΝ	724	ΦΑΡΟΣ	1175	ΚΑΛΟΧΩΡΙ	874
ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟ	557	Π. ΑΥΛΙΔΟΣ	2577		

Στην απογραφή του 2011, ίσχυε ο νόμος Καλλικράτη, και τα στοιχεία που δίνονται είναι μέχρι επιπέδου δημοτικής ενότητας. Επίσης έγιναν διάφορες ενοποιήσεις, έτσι δεν μπορούν να γίνουν άμεσες συγκρίσεις μεταξύ των 2 περιόδων.

**Πιν. 3.4** Πληθυσμιακά στοιχεία (Απογραφή 2001 και 2011).

2001			2011		
<b>ΔΗΜΟΣ</b>	ΘΗΒΑΙΩΝ	23820	<b>ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ</b>	ΘΗΒΑΙΩΝ	23752
	ΧΑΛΚΙΔΕΩΝ	53584		ΧΑΛΚΙΔΕΩΝ	52972
	ΤΑΝΑΓΡΑΣ	4134		ΤΑΝΑΓΡΑΣ	3268
	ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	8195		ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	4648
	ΣΧΗΜΑΤΑΡΙΟΥ	8095		ΣΧΗΜΑΤΑΡΙΟΥ	5148
			ΑΥΛΙΔΟΣ	6327	

### Απασχόληση

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ οι κύριοι κλάδοι απασχόλησης είναι οι παρακάτω

Πρωτογενής τομέας: ένα σημαντικό ποσοστό ασχολείται με την γεωργία. Στην περιοχή υπάρχουν κυρίως ετήσιες καλλιέργειες και ελαιώνες. Αρκετά αναπτυγμένη είναι και η κτηνοτροφία, είναι ενδεικτική η έκταση των βοσκοτόπων.

Δευτερογενής τομέας: η βιομηχανική-βιοτεχνική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη στην περιοχή Σχηματάρι-Οινόφυτα, κατά μήκος της εθνικής οδού.

Τριτογενής τομέας: ο τουρισμός γενικά δεν είναι ανεπτυγμένος, με εξαίρεση τις παραθαλάσσιες περιοχές.

### 3.4 Κάλυψη-Χρήσεις Γης

Ο χάρτης χρήσεων γης συντάχθηκε από δεδομένα του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γ.Π.Α. Διακρίθηκαν οι παρακάτω κατηγορίες:

- 10** Δάσος: δάση, δασωμένες περιοχές, θαμνώδεις εκτάσεις
- 20** Αστική: αμιγώς κατοικημένη περιοχή
- 21** Αστική μικτή: κατοικημένη περιοχή με διάσπαρτες καλλιέργειες
- 30** Βοσκότοπος
- 40** Αρόσιμη: ετήσιες καλλιέργειες
- 50** Μόνιμες καλλιέργειες
- 60** Ελαιοκαλλιέργειες
- 70** Αμπελοκαλλιέργειες
- 90** Άλλη χρήση: π.χ. λατομεία, αλυκές, μεταλλεία, βάλτοι, γήπεδα, ανοικτά κέντρα αθλητικών δραστηριοτήτων, παραλία, χέρσες εκτάσεις, αεροδρόμια, γκρεμοί, βραχώδεις – πετρώδεις εκτάσεις κλπ.
- 91** Δρόμοι – νερά: επιφάνειες κατάληψης δικτύων και περιβάλλουσες εκτάσεις δικτύων, ποτάμια, λίμνες, κλειστές λιμνοθάλασσες κλπ.
- 92** Αρόσιμες επιφάνειες σε εγκατάλειψη

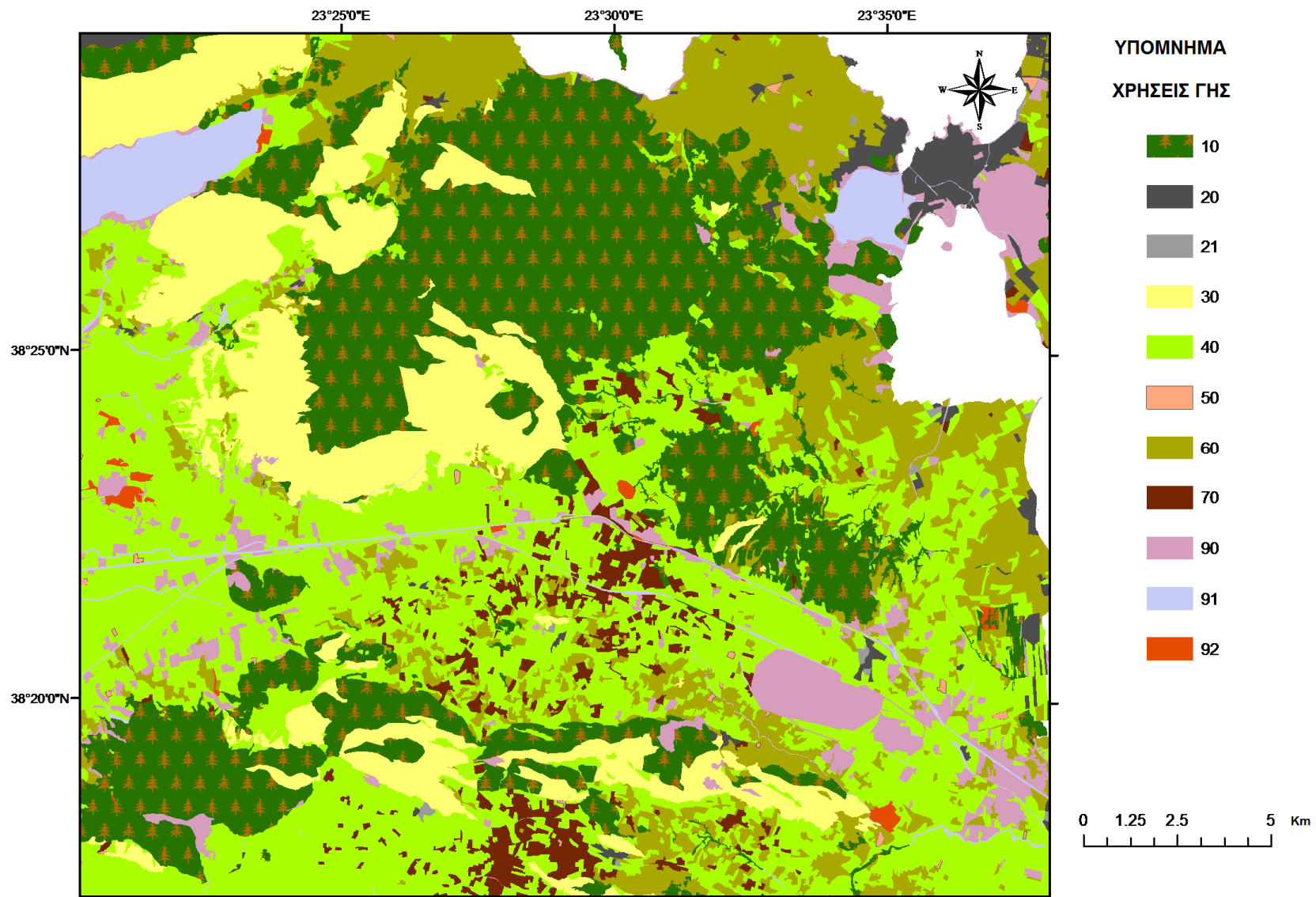
Την μεγαλύτερη έκταση την καταλαμβάνουν οι ετήσιες καλλιέργειες οι οποίες αναπτύσσονται κυρίως στις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η κύρια καλλιέργεια

είναι το σκληρό σιτάρι. Ακολουθούν οι δασικές εκτάσεις οι οποίες βρίσκονται στα ανθρακικά πετρώματα και δευτερευόντως στις νεογενείς αποθέσεις. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι δεν εμφανίζονται καθόλου στην ηφαιστειο-ιζηματογενή ακολουθία. Οι βοσκοτόποι βρίσκονται στο Ηωελληνικό κάλυμμα και στα ανθρακικά πετρώματα. Οι Ελαιώνες εντοπίζονται κυρίως στην παράκτια περιοχή του Β και Ν Ευβοϊκού και κεντρικά υπάρχουν αρκετοί αμπελώνες. Κατά μήκος της Εθνικής οδού μεταξύ Σχηματαρίου και Οиноφύτων, η βιομηχανική και βιοτεχνική δραστηριότητα είναι έντονα ανεπτυγμένη. Στον πιν. 3.5 δίνονται τα είδη και ο αριθμός των βιομηχανιών που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή.

**Πιν. 3.5** Βιομηχανικές μονάδες στην ευρύτερη περιοχή Σχηματαρίου – Οινόφυτων (Λοϊζίδου, 1998)

<b>Βιομηχανικός κλάδος</b>	<b>Αριθμός μονάδων</b>
<b>Κλωστοϋφαντουργία – Βαφεία - Φινιριστήρια</b>	17
<b>Μεταλλουργία</b>	51
<b>Τρόφιμα</b>	21
<b>Απορρυπαντικά</b>	6
<b>Χημικά</b>	10
<b>Λιπάσματα</b>	3
<b>Χρώματα</b>	6
<b>Φάρμακα</b>	4
<b>Πλαστικά είδη</b>	21
<b>Ζωοτροφές</b>	3
<b>Πτηνο-κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις</b>	16

Άλλες εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην περιοχή είναι **1)** 2 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων κοντά στην Θήβα και στο Σχηματάρι **2)** 1 ΧΥΤΑ κοντά στην Θήβα **3)** 4 ΧΑΔΑ 1 στην Θήβα και 3 κοντά στο Καλοχώρι **4)** 2 λατομεία στην Θήβα και στην Χαλκίδα και **5)** αρκετά κτηνοτροφεία στις περιοχές Θήβα, Άρμα, Ύπατο, Σχηματάρι κα. (Βαζιμάς Ι., 2012)



Σχ. 3.6 Χάρτης χρήσεων γης (Ανασχεδιασμένος από δεδομένα του εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας Γ.Π.Α.).

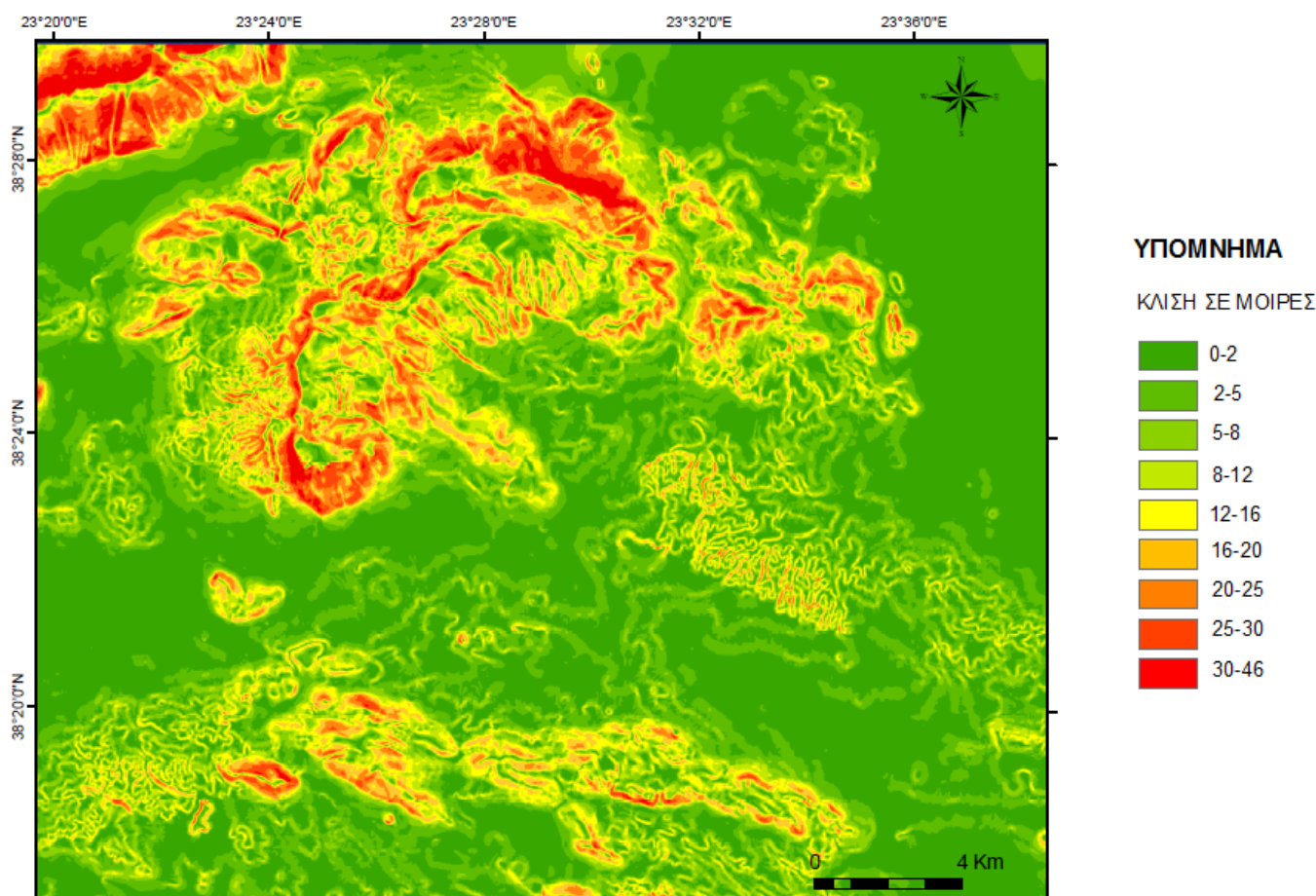
## 4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Ανάγλυφο περιοχής

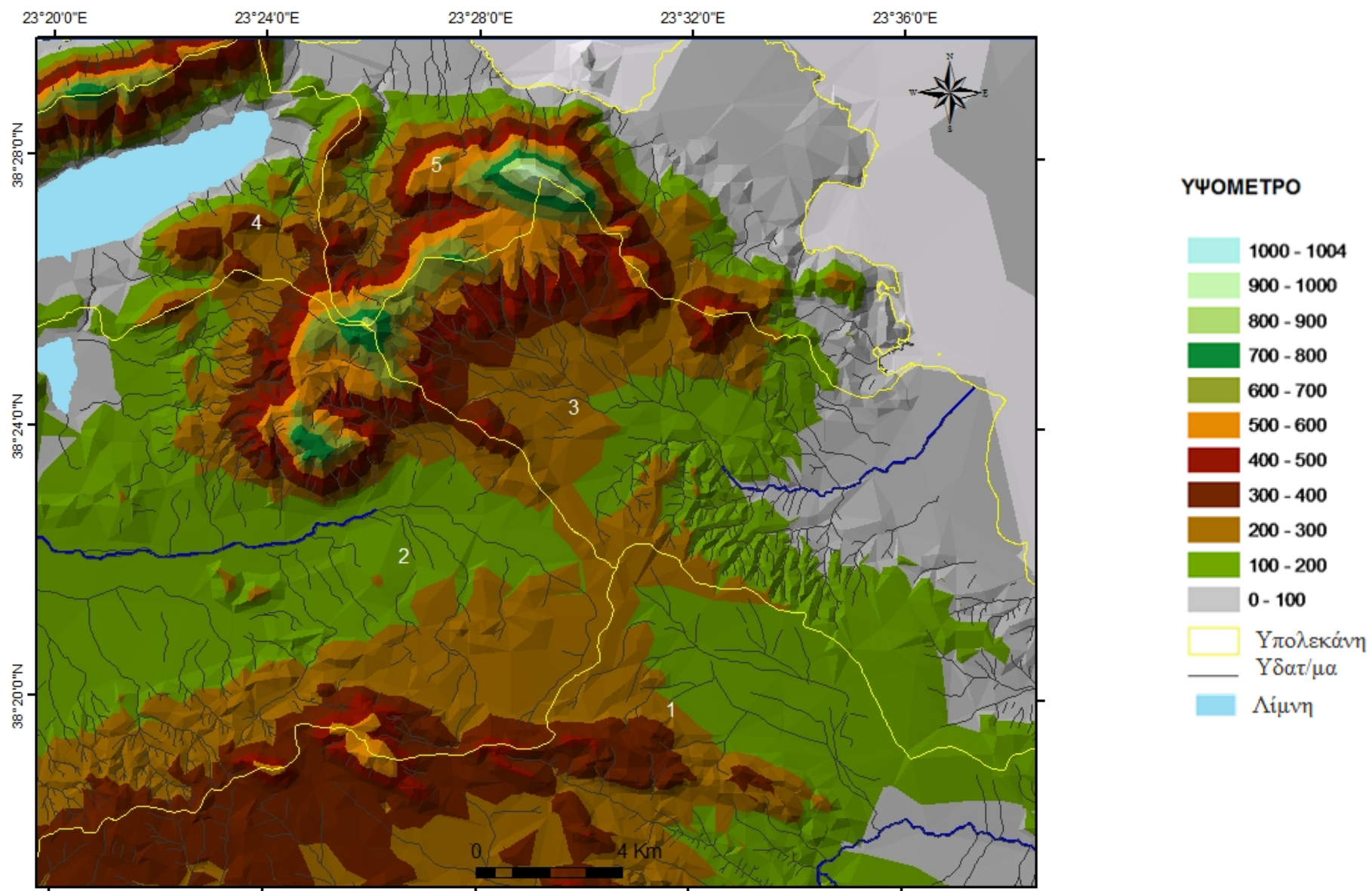
Στην διαμόρφωση του ανάγλυφου της περιοχής, ο τεκτονισμός έχει παίξει καθοριστικό ρόλο. Η μορφολογία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη λεκανών και ράχων που οριοθετούνται από ρήγματα.

Στα ΒΔ και Β βρίσκονται τα όρη Πτώο και Κτύπας με κορυφές 780 και 1004 m αντίστοιχα. Οι ορογραφικοί άξονες έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στα Β του Κτύπα, που εμφανίζονται τα μεγαλύτερα υψόμετρα, η διεύθυνση του άξονα αλλάζει και γίνεται ΔΒΔ-ΑΝΑ. Ανάμεσα στους 2 ορεινούς όγκους βρίσκεται η Παραλίμνη, η οποία και αυτή αναπτύσσεται κατά την διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η Υλίκη είναι ΝΔ της Παραλίμνης και ένα μικρό μέρος της βρίσκεται στην περιοχή μελέτης. Στα Ν βρίσκονται τα όρη Τευμησσός και Κιρίκιο με ορογραφικούς άξονες ΔΒΔ-ΑΝΑ και κορυφές 600 και 450 m αντίστοιχα (χαρτ. 4.2).

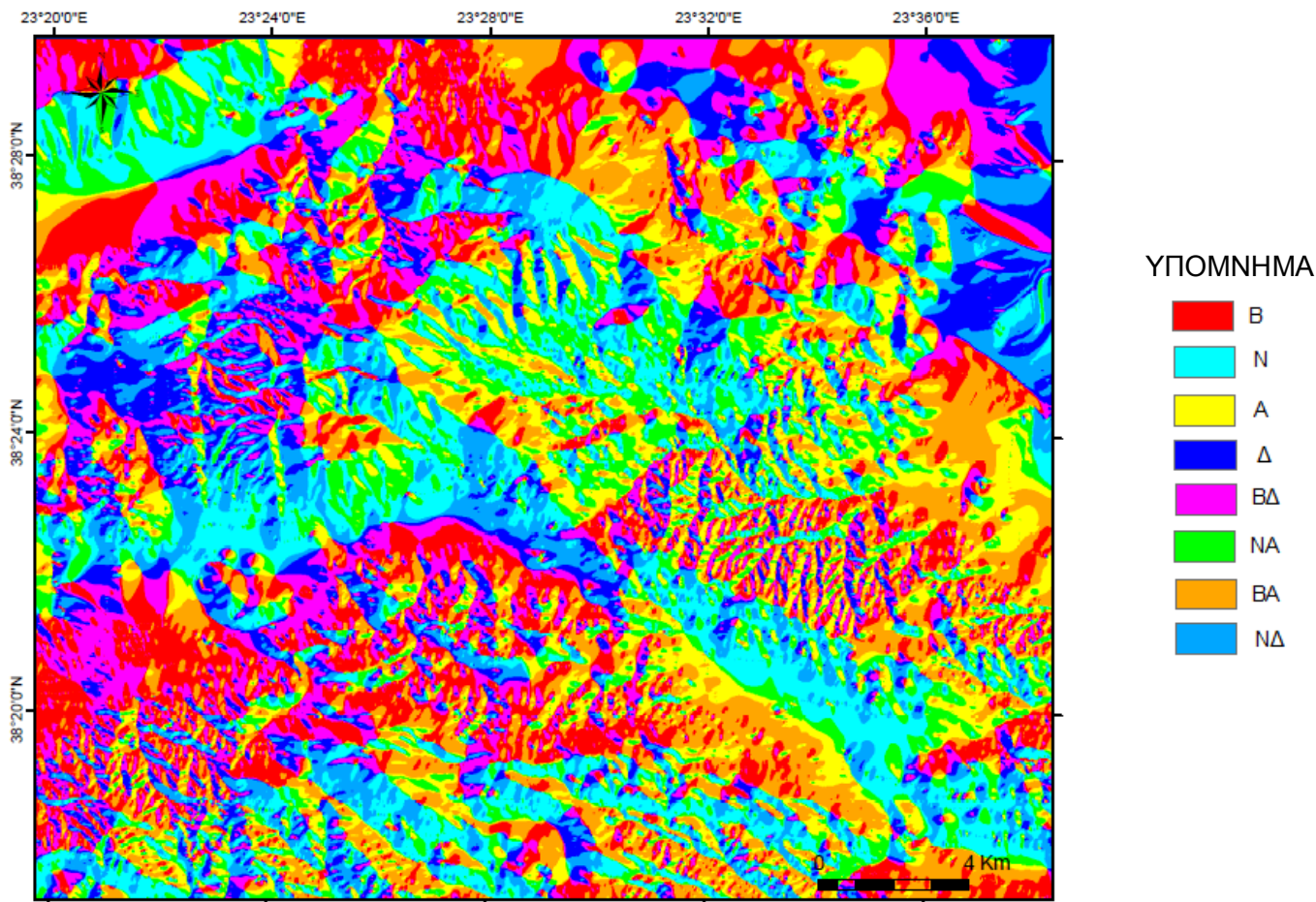
Στον χαρτ. 4.1 διακρίνονται οι επιφάνειες ισοπέδωσης με κλίση μικρότερη από 2°. Αυτές οφείλονται στην απόθεση και στην διάβρωση. Οι πρώτες συναντώνται κυρίως κατά μήκος των κύριων υδατορρομάτων και σχετίζονται με τις αλλουβιακές αποθέσεις. Οι δεύτερες έχουν μικρή ανάπτυξη και εντοπίζονται κατά μήκος των ορογραφικών αξόνων. Επίσης στις παρυφές των ορεινών όγκων συναντάμε αρκετά μεγάλες κλίσεις. Αυτά τα στοιχεία υποδεικνύουν ότι η περιοχή είναι ενεργή τεκτονικά.



Σχ. 4.1 Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης. Έχει προκύψει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).



**Χαρτ. 4.2** Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (TIN) στον οποίο απεικονίζονται οι υπολεκάνες, οι λίμνες και το υδρογραφικό δίκτυο.



**Σχ. 4.3** Χάρτης προσανατολισμών της περιοχής μελέτης. Έχει προκύψει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

Στον χάρτη προσανατολισμών (σχ. 4.3) μπορούν να διακριθούν τα όρια των λεκανών και τα κύρια υδατορέματα. Επίσης διακρίνονται περιοχές όπου κυριαρχούν συγκεκριμένοι προσανατολισμοί. Αυτές οι περιοχές πιθανά σχετίζονται με την τεκτονική των ρηγμάτων.

#### 4.2 Ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου

Στην περιοχή βρίσκονται οι λεκάνες απορροής του Βοιωτικού Κηφισού και του 1.Ασωπού. Η πρώτη μπορεί να υποδιαιρεθεί σε 4 υπολεκάνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τα κύρια υδατόρεμα που τις διαρρέει. Αυτές είναι του 2.Καλαμίτη της 3.Ριτσώνας του 4.Κακούση και του 5.Παλαιόμυλου (Οι υπολεκάνες φαίνονται αριθμημένες στον σχ. 4.2). Το υδρογραφικό δίκτυο γενικά, είναι δενδριτικού τύπου. Ο ποταμός Καλαμίτης αναπτύσσεται κατά την διεύθυνση Α-Δ και εκβάλλει στην Υλίκη. Η υπολεκάνη της Ριτσώνας βρίσκεται Α και αποστραγγίζεται στον Ν Ευβοϊκό. Το κύριο ρέμα αναπτύσσεται κατά την διεύθυνση Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ. Οι υπολεκάνες του Κακούση και του Παλαιόμυλου έχουν μικρή ανάπτυξη. Η πρώτη τροφοδοτεί την Παραλίμνη και η δεύτερη καταλήγει στον Β Ευβοϊκό.

Στην λεκάνη του Ασωπού διακρίνονται ένα σύστημα υδρορεμάτων με διεύθυνση Α-Δ και άλλο ένα διεύθυνσης Β-Ν. Αποστραγγίζεται στον Ν Ευβοϊκό.

## 5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 5.1 Γενικά - Παλαιογεωγραφική εξέλιξη

Στην διάρκεια του Μεσοζωικού – Καινοζωικού ο ελληνικός χώρος καλύπτονταν από την Τηθύ, που εκτεινόταν μεταξύ της Ευρασίας και της Γκοντβάνας. Στην περιοχή υπήρχε ένα εναλλασσόμενο σύστημα από αύλακες και ράχεις. Σε κάθε λεκάνη αποτέθηκε μια συγκεκριμένη αλληλουχία ιζημάτων, τα οποία όριζαν μια ενότητα. Τα ιζήματα που αποτέθηκαν αυτή την περίοδο αποτελούν τους αλπικούς σχηματισμούς. Κατά την αλπική ορογένεση συγκρούστηκαν οι ηπειρωτικές πλάκες της Ευρασίας και της Γκοντβάνας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα ιζήματα, που είχαν αποτεθεί μεταξύ των δύο πλακών, να πτυχωθούν και μαζί με τμήματα του ωκεάνιου πυθμένα να επωθηθούν και να συγκολληθούν στα περιθώρια των δύο ηπειρωτικών πλακών (Μουντράκης, 2010). Έτσι οι διάφοροι σχηματισμοί εντάσσονται σε κάποια γεωτεκτονική ενότητα, που κάθε μία χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη στρωματογραφία και γεωδυναμική εξέλιξη.

Στον ελλαδικό χώρο εκτός από τους αλπικούς σχηματισμούς υπάρχουν και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα παλαιότερης ηλικίας (Παλαιοζωικό, Προκάμβριο). Αυτοί οι προαλπικοί σχηματισμοί θεωρείται πως είναι τμήματα των παλαιών ηπειρωτικών πλακών της Γκοντβάνας και της Ευρασίας. Κατά την σύγκλιση των πλακών αποσπάστηκαν, συμπτυχώθηκαν με τα πετρώματα της Τηθύος και επωθήθηκαν μαζί με αυτά με την μορφή τεκτονικών καλυμμάτων (Μουντράκης, 2010).

Στην περιοχή μελέτης συναντάμε την Πελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών. Αυτή η ζώνη συμπίπτει παλαιογεωγραφικά με την παλιά Υποπελαγονική ζώνη, όπως είχε ονομαστεί από τον Aubouin, J. (1959) και αντιπροσώπευε την μετάβαση του Πελαγονικού υβάματος προς την αύλακα της Πίνδου στην δυτική πλευρά.

Ο παλαιογεωγραφικός χώρος της Πελαγονικής ήταν ένα υποθαλάσσιο ύβωμα, όπου στα ανατολικά είχε τον ωκεανό της Αλμωπίας και στα δυτικά τον Μαλιακό Ωκεανό (Κατσικάτσος, 1992). Οι σύγχρονες απόψεις θεωρούν την Πελαγονική ένα μεγάλο ηπειρωτικό τεμάχος, τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου, που αποσπάστηκε από την Gondwana. Εκατέρωθεν αυτού του τεμάχους αναπτύχθηκαν οι δύο ωκεάνιες περιοχές της Τιθύος, της ζώνης Αξιού και της Υποπελαγονικής Πίνδου (Μουντράκης, 1983),

Το υπόβαθρο της Πελαγονικής αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που σχηματίζουν αλληπάλγηλα τεκτονικά λέπια. Από τους βαθύτερους προς τους ανώτερους σχηματισμούς συναντάμε 1) βιοτιτικούς γνεύσιους 2) μιγματιτικούς γνεύσιους 3) ταινιωτούς γνεύσιους 4) αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς – βιοτιτικούς σχιστόλιθους 5) γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους 6) εναλλαγές αμφιβολιτικών – μαρμαρυγιακών - επιδοτιτικών σχιστόλιθων με παρεμβολές απλιτογενεσίων. Μεταμορφώθηκαν πρώτη φορά πριν το Άνω Λιθανθακοφόρο σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης. Κατά το Άνω Λιθανθακοφόρο (318-300 Ma) υπήρχαν μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο υπόβαθρο που έδωσαν γρανίτες. Αυτοί στο μεγαλύτερο μέρος τους εμφανίζονται γνευσιωμένοι λόγω της αλπικής μεταμόρφωσης (Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό) σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Κάποιοι από αυτούς δεν είναι μεταμορφωμένοι και διαπερνούν άλλες διεισδύσεις, στοιχεία που δείχνουν ότι πιθανά είναι πιο πρόσφατοι (Μουντράκης, 2010).

Κατά το Πέρμιο - Κάτω Τριαδικό (300-245 Ma) πάνω από το υπόβαθρο αποτέθηκαν ιζήματα, στα οποία παρεμβάλλονται ηφαιστειακά πετρώματα. Η απόθεση έγινε στην ηπειρωτική κατωφέρεια του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής, που σχηματίστηκε κατά την ηπειρωτική διάρρηξη που οδήγησε στην ανάπτυξη του ωκεανού, δυτικά της Πελαγονικής. Αυτοί οι σχηματισμοί μεταμορφώθηκαν κατά την Αλπική ορογένεση, δίνοντας μια μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά (Μουντράκης, 2010).



Κατά το Τριαδικό – Ιουρασικό υπήρξε νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση στα δύο περιθώρια της Πελαγονικής ζώνης. Στην περιοχή μελέτης συναντάμε τα ιζήματα που αποτέθηκαν στο δυτικό περιθώριο από το Μ. Τριαδικό μέχρι το Κατ. Μάλμιο (225-125 Ma). Η ανθρακική σειρά αποτέθηκε κατά κανόνα με συμφωνία πάνω στους μετακλαστίτες του Πέρμιου - Κάτω Τριαδικού, σε περιβάλλον ηπειρωτικής κατωφέρειας.

Η ιζηματογένεση ήταν συνεχής με μία διακοπή μεταξύ του Μέσου και Αν. Ιουρασικού λόγω ανάδυσης της περιοχής. Στην συνέχεια οι ανωιουρασικοί ασβεστόλιθοι αποτέθηκαν με ασυμφωνία και στην βάση τους υπάρχουν κοιτάσματα βωξιτών, μικρών διαστάσεων (Κατσικάτσος, 1992).

Κατά την ορογενετική περίοδο του Αν. Ιουρασικού – Κ. Κρητιδικού τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης και η ζώνη αναδύθηκε (Μουντράκης, 2010). Επίσης αυτό το διάστημα, κατά το κλείσιμο του ωκεανού που ήταν στα δυτικά της Πελαγονικής, επωθήθηκαν οφιόλιθοι με τα ακόλουθα ιζήματα τους πάνω στα τριαδικο-ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα. Αυτό το κάλυμμα έχει ονομαστεί Ηωελληνικό τεκτονικό κάλυμμα (V. Jacobshagen et al, 1976). Η επώθηση έγινε από τα Δ προς τα Α και προκάλεσε πτυχές με άξονα διεύθυνσης από 0° ως 30° και απόκλιση προς Α ή ΝΑ. Κατά την επώθηση αποσπάστηκαν μεγάλα τεμάχια από τα υποκείμενα ανθρακικά και σχηματίστηκαν τεκτονικά – οφειολιθικά μίγματα (melanges) (Μουντράκης, 2010). Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η επιπτεύσεις των Τριαδικο-Ιουρασικών ασβεστόλιθων πάνω στο Ηωελληνικό κάλυμμα, αυτές πρέπει να έγιναν την ίδια περίοδο.

Μέχρι το Μέσο – Άνω Κρητιδικό η περιοχή ήταν αναδυμένη. Αυτό το διάστημα λάμβαναν χώρα οι διεργασίες της διάβρωσης και δημιουργήθηκαν κοιτάσματα Fe-Ni από την διάβρωση των οφιολίθων.

Στο Μέσο - Άνω Κρητιδικό υπήρξε επίκλυση της θάλασσας και αποτέθηκαν ιζήματα με ασυμφωνία πάνω στα ανθρακικά πετρώματα ή στους οφιολίθους (Μουντράκης, 2010). Σύμφωνα με το φύλλο του ΙΓΜΕ Χαλκίδα, αρχικά αποτέθηκαν κροκαλοπαγή μικρού πάχους και στην συνέχεια μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι. Τα ιζήματα χρονολογούνται από το Αν. Άλβιο ως το Καμπάνιο. Στο φύλλο του ΙΓΜΕ Θήβα οι επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι χρονολογούνται ως το Σενώνιο. Ο Κατσικάτσος (1992) αναφέρει ότι η απόθεση έγινε από το Κενομάνιο ως το Μαιστρίχτιο με τους ασβεστόλιθους να μεταβαίνουν από νηριτικούς σε πελαγικούς.

Στο Παλαιόκαινο (65 Ma) (φύλλο ΙΓΜΕ, Θήβα) ακολούθησε η απόθεση του φλύσχη. Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής έγινε πριν το Μέσο Ηώκαινο (40 Ma) (Μουντράκης, 1992).

Στο Κατ. Μειόκαινο (23-15 Ma) λόγω έντονου τεκτονισμού, δημιουργήθηκε η λεκάνη Αττικής-Βοιωτίας-Εύβοιας (σχ. 5.1), στην οποία εντάσσεται η περιοχή μελέτης. Η τελική της μορφή διαμορφώθηκε από 2 εφελκυστικές φάσεις 1) στο Αν. Μειόκαινο-Πλειόκαινο και 2) στο Τεταρτογενές. Στην Β. Εύβοια η ιζηματογένεση ήταν συνεχής από το Αν Μειόκαινο ως το Αν. Πλειόκαινο – Κ. Πλειστόκαινο (Μέττος, Α. κ.α. 1990).

Στην περιοχή μελέτης τα νεογενή αποτέθηκαν κυρίως στην λεκάνη Θηβών-Τανάγρας-Μαλακάσας. Η λεκάνη είναι ρηξιγενής και οι τεκτονικές κινήσεις συνεχίζονται μέχρι σήμερα (Μέττος, Α. Ι. 1992). Κατά το σχηματισμό της δεν είχε ομοιόμορφη ανάπτυξη και σε αυτή μπορούσαν να διακριθούν μικρότερες λεκάνες που χαρακτηρίζονταν από διάφορες φάσεις ιζηματογένεσης.

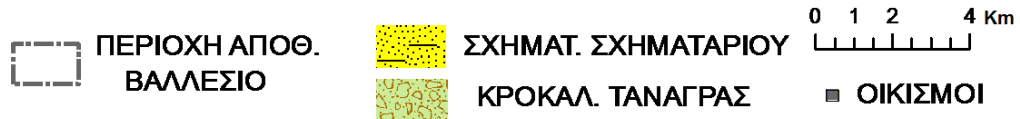
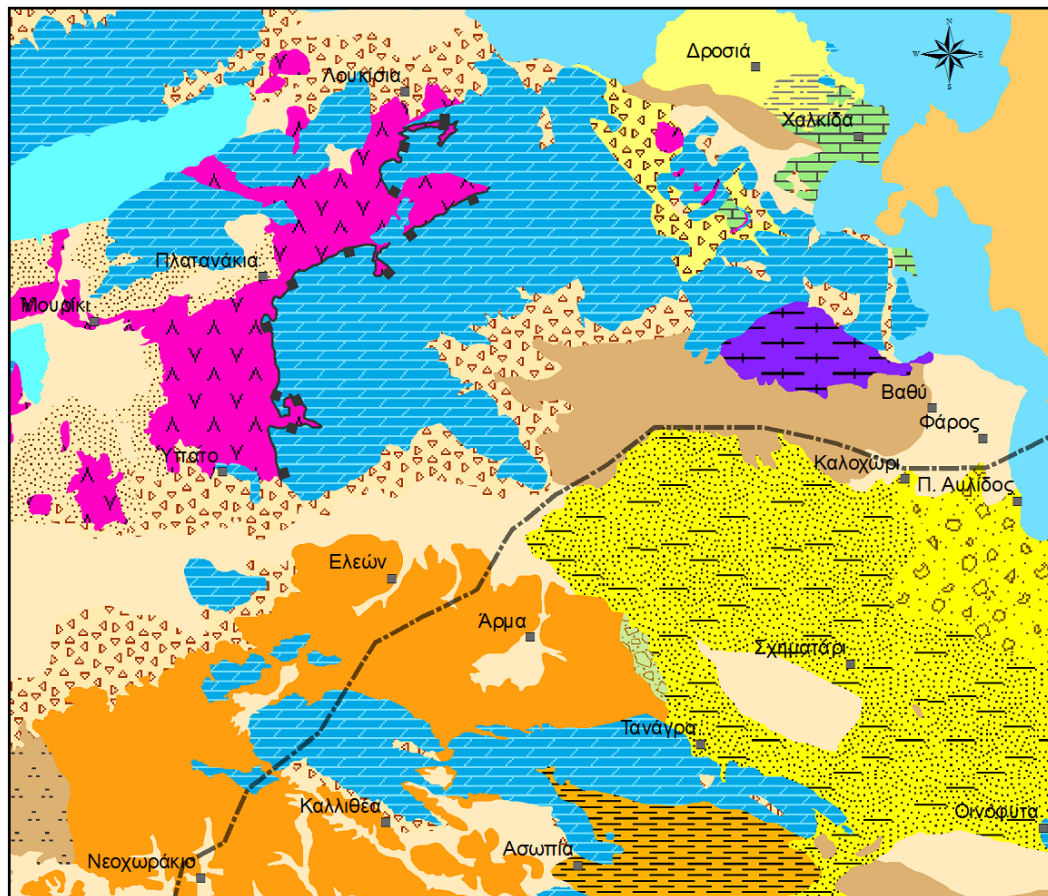
Η απόθεση των ιζημάτων ξεκίνησε στο Αν. Μειόκαινο, σε αντίθεση με την βόρεια και κεντρική Εύβοια (Μέττος, Α. κ.α. 1990, Katsikatsos, G. et al. 1981, Δούκας, Σ.1986) όπου αποτέθηκαν στο Κατ. Μειόκαινο, και είναι σε ασυμφωνία με ιζήματα του Αν. Μειόκαινου. Πιθανά η περιοχή μελέτης επηρεάστηκε από την εφελκυστική φάση του Αν. Μειοκαίνου - Πλειοκαίνου και τα πρώτα ιζήματα αποτέθηκαν πριν το Βαλλέσιο (Τορτό-

νιο, 11 Μα) (φύλλο ΙΓΜΕ, Χαλκίδα). Αυτά είναι οι μάργες Συκάμινου και οι άργιλοι, πηλοί και αμμούχες μάργες ανατολικά της Ασωπίας.



**Σχ. 5.1** Οι κυριότερες νεογενείς λεκάνες στην περιοχή του Αιγαίου (Μειόκαινο-Πλειόκαινο). Η περιοχή μελέτης άνηκε στην ηπειρωτική λεκάνη Αττικής- Βοιωτίας (5c) (Παπανικολάου, Δ. και Δερμιτζάκης, Μ., 1979).

Στο Βαλλέσιο κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης υπήρχαν ανοδικές κινήσεις στο νότιο τμήμα της λεκάνης, με αποτέλεσμα την ανύψωση των νεογενών και αλπικών ιζημάτων (Μέττος, Α. Ι. 1992). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο ρυθμός διάβρωσης και να τροφοδοτηθεί η περιοχή που ήταν βορειότερα με κλαστικό υλικό. Ανάλογα με την μορφολογία της λεκάνης και την πηγή τροφοδοσίας αποτέθηκαν διάφορα ιζήματα. Στα ΒΔ της Τανάγρας αποτέθηκαν δελταϊκά κροκαλοπαγή, στα οποία το μέγεθος των κροκάλων γίνεται μικρότερο από Ν προς Β, γεγονός που δείχνει ότι η πηγή προέλευσης τους ήταν νοτιότερα της θέσης τους. Οι κροκάλες είναι κυρίως ασβεστολιθικές και σε μικρό ποσοστό οφιολιθικές. Οπότε νοτιότερα της θέσης τους εκείνη την περίοδο διαβρώνονταν τα αλπικά ιζήματα. Αυτές οι αποθέσεις μεταβαίνουν πλευρικά στις αποθέσεις της περιοχής Σχηματαρίου - Οινόφυτων. Σε αυτές αναπτύσσονται κοιτάσματα λιγνίτη. Στο σχ. 5.2 φαίνεται η περιοχή απόθεσης των ιζημάτων κατά το Βαλλέσιο και η σημερινή εμφάνιση τους.



Σχ. 5.2 Περιοχή απόθεσης κατά το Βαλλέσιο (Ανασχεδιασμένο από Μέττος, Α. Ι., 1992).

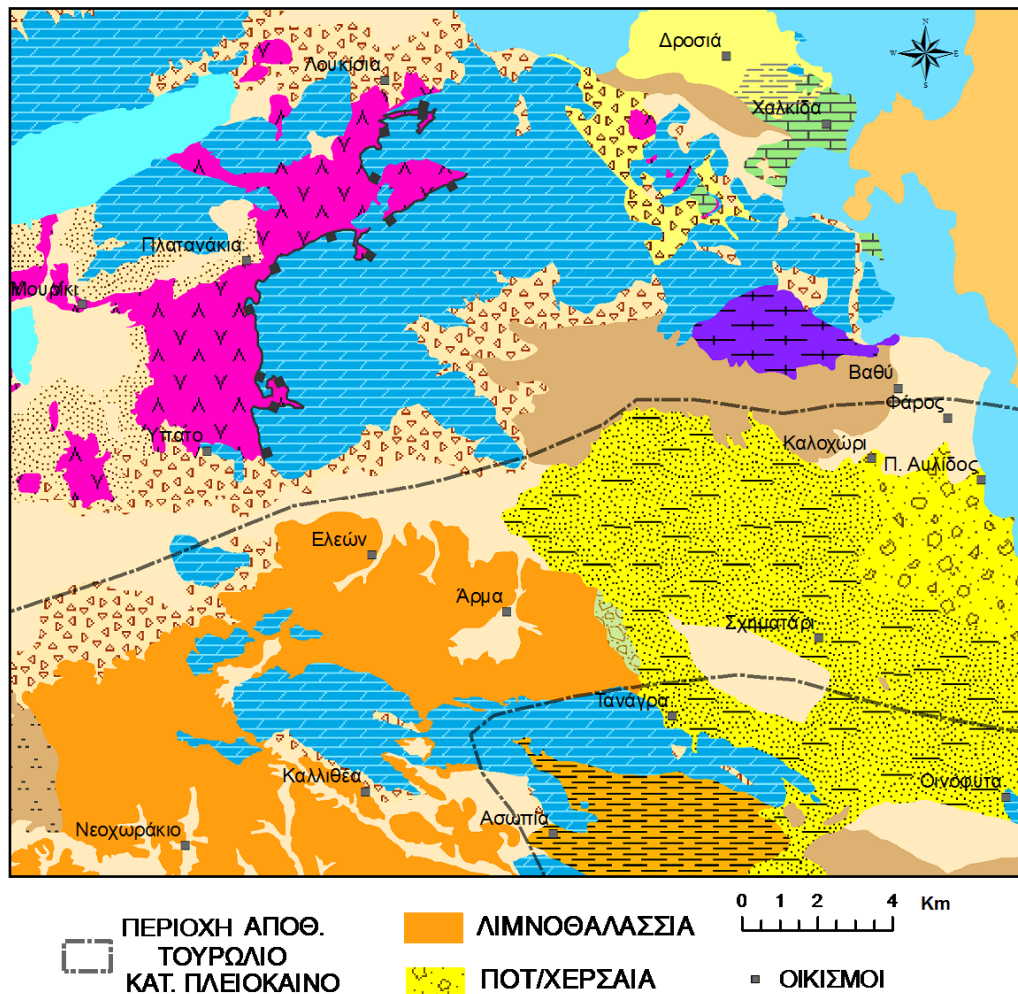
Στο Τουρώλιο (7,2 – 5,3Ma) αποτέθηκαν σύμφωνα στα υποκείμενα νεογενή οι ποταμο-χερσαίοι σχηματισμοί της περιοχής Δήλεσι-Παραλίας Αυλίδος. Το κλαστικό υλικό τους, προέρχεται από το προνεογενές υπόβαθρο της Πάρνηθας. Αυτή την περίοδο ο νότιος Ευβοϊκός δεν είχε σχηματιστεί ακόμα (Μέττος, Α. Ι. 1992).

Κατά το Μεσσήνιο (5,96-5,32 Ma) η Μεσόγειος αποκλείστηκε από τον Ατλαντικό και τον Ινδικό ωκεανό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα νερά να ανανεώνονται με αργό ρυθμό και να πέσει πολύ η θαλάσσια στάθμη. Στις παράκτιες περιοχές, το επίπεδο διάβρωσης έπεσε τουλάχιστον 1500 m ,από το αντίστοιχο του Ατλαντικού Ωκεανού, και αυξήθηκε η υδραυλική κλίση των παράκτιων υδροφορέων. Έτσι υπήρξε καρστικοποίηση σε μεγαλύτερο βάθος και παλαιοκαρστ που είχαν κλείσει άνοιξαν πάλι (Ρ. Audra et al, 2003). Στην περιοχή μελέτης το επίπεδο διάβρωσης των ανθρακικών σχηματισμών πρέπει να έφτασε μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο τους. Επίσης, λόγω της κρίσης αλμυρότητας, σε όλες τις τότε θαλάσσιες λεκάνες αποτέθηκαν εβαπορίτες σε στρώματα πάχους 5-300 m. (Μουντράκης, 2010). Αλλά στην περιοχή μελέτης αυτή την περίοδο δεν αποτέθηκαν θαλάσσια ιζήματα.

Στο τέλος της κρίσης, άνοιξε η διόδος από το Γιβραλτάρ και τα νερά αναπληρώθηκαν μέσα σε 20 χρόνια. Το πλειόκαινο η μέγιστη στάθμη της θάλασσας ήταν +5 με +40 m από την σημερινή. Αυτό το διάστημα άρχισε να σχηματίζεται το Αιγαίο πέλαγος (Δερμιτζάκης, Μ. Παπανικολάου, Δ. 1979). Η μορφολογία που διαμορφώθηκε εκείνη την

περίοδο στην ευρύτερη περιοχή δεν διαφέρει πολύ από την σημερινή εικόνα, αφού τα θαλάσσια ιζήματα της Ραφήνας βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την σημερινή ακτογραμμή (Μέττος, Α. Ι. 1992).

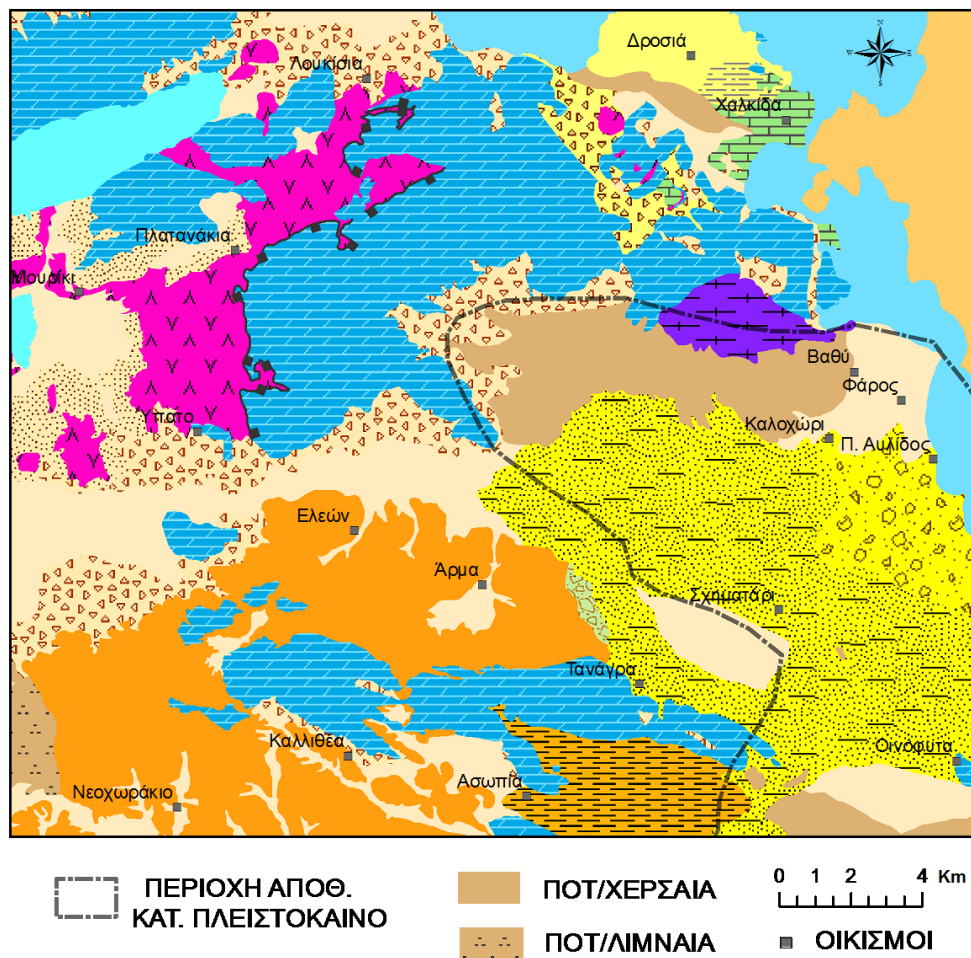
Αυτή την περίοδο που υπήρξε η επίκλυση της θάλασσας στο Κατ. Πλειόκαινο (5,3-3,6 Ma) αποτέθηκαν κατ' εναλλαγή ιζήματα λιμναίας και λιμνοθαλάσσιας φάσης. Αυτή η μετάβαση από λιμναία σε υφάλμυρα, δικαιολογείται με την ύπαρξη λιμνών που η στάθμη τους είχε μικρή υψομετρική διαφορά από την στάθμη της θάλασσας. Έτσι λόγω διαφορών αιτιών (τεκτονικές κινήσεις, μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης) οι λίμνες άλλοτε επικοινωνούσαν και άλλοτε όχι με την θάλασσα. Στο σχ. 5.3 φαίνεται η περιοχή απόθεσης από το Τουρώλιο ως το Κατ. Πλειόκαινο.



**Σχ. 5.3** Περιοχή απόθεσης κατά το Τουρώλιο-Κατ. Πλειόκαινο (Ανασχεδιασμένο από Μέττος, Α. Ι., 1992).

Στο Ανω. Πλειόκαινο - Κατ. Πλειστόκαινο (3.6– 0.8 Ma) αποτέθηκαν υφάλμυρα ιζήματα στην περιοχή της Δροσιάς.

Στο Κατ. Πλειστόκαινο υπήρξε πάλι εφελκυσμός που επαναδραστηριοποίησε τα ρήγματα Α-Δ. Το νότιο τμήμα της λεκάνης ανυψώθηκε και άλλο ενώ το βόρειο βυθιζόταν. Έτσι το Πλειστόκαινο (1.8 - 10.000) χαρακτηρίζεται κυρίως από ποταμοχερσαία ιζήματα που αποτέθηκαν με ασυμφωνία στα υποκείμενους σχηματισμούς. Σήμερα εμφανίζονται με μικρή κλίση (0°-5°). Οι αποθέσεις αυτές πρέπει να κάλυπταν μεγάλες εκτάσεις (Μέττος, Α. Ι. 1992), αλλά όπως φαίνεται στο σχ. 5.4 το μεγαλύτερο μέρος τους έχει διαβρωθεί.



**Σχ. 5.4** Περιοχή απόθεσης κατά το Πλειστόκαινο (Ανασχεδιασμένο από Μέττος, Α. Ι., 1992).

Μικρότερης έκτασης σχηματισμοί του Πλειστοκαίνου είναι ιζήματα χημικής προέλευσης (βρίσκονται μόνο στην περιοχή της Δροσιάς), πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Αυτή την περίοδο δημιουργήθηκαν οι λίμνες Υλική και Παραλίμνη εντός τεκτονικών βυθισμάτων (Μητσόπουλος και Τρικαλινός, 1947). Η πρώτη σχηματίστηκε μεταξύ του Πτώου και Μεσσαπίου όρους με γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και η δεύτερη μεταξύ του Πτώου και του Κτύπα με γενική διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Το Ολόκαινο χαρακτηρίζεται κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις και σε μικρό βαθμό από ασύνδετα αργιλοαμμώδη και χαλικομιγή καστανόχρωμα υλικά, πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων.

## 5.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί

### 5.2.1 Αλπικοί σχηματισμοί

Σύμφωνα με τα γεωλογικά φύλλα Θήβας και Χαλκίδας του ΙΓΜΕ και την «Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, 2010» του Δ. Μ. Μουντράκη στην περιοχή μελέτης συναντάμε τους παρακάτω σχηματισμούς.

Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών

Ασβεστόλιθοι τεφροί ως μελανότεφροι, κυρίως μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις, μικροκρυσταλλικοί ως επί το πλείστον με κονδύλους κερατολίθων (Ανω. Άλβιο – Καμπάνιο) **14**. Κατά θέσεις στους ασβεστόλιθους παρεμβάλλονται μάργες μικρού πάχους 1-10 cm Στη βάση εμφανίζονται κροκαλοπαγή μικρού πάχους και φακοειδή κοιτάσματα Fe-Ni συμπαγούς ή πισσολιθικής μορφής. Το μέταλλευμα υπόκειται σύμφωνα των ανοκρητιδικών ασβεστόλιθων και υπέρκειται ασύμφωνα των προανοκρητιδικών σχηματισμών. Ορατό πάχος: 200 m

Ηωελληνικό κάλυμμα (Κατ. Τριαδικό)

Πάνω στην προανοκρητιδική πλατφόρμα της Πελαγονικής ζώνης κατά το τέλος του Ανωτέρου Ιουρασικού - αρχή του Κατωτέρου Κρητιδικού επωθήθηκαν μάζες υπερβασικών πετρωμάτων και ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμοί.

Μάζες υπερβασικών πετρωμάτων: μάζες μεγάλων διαστάσεων σερπεντινωμένων περιδοιτών, που σε πολλές θέσεις εγκλείουν κοιτάσματα λευκόλιθου (Εύβοια) με μορφή φλεβών μικρού συνήθως πάχους, με εξαίρεση τα εξ ολοκλήρου εξορυχθέντα κοιτάσματα Αφρατίου, των οποίων οι φλέβες ήταν κατακόρυφες και είχαν πάχος αρκετών μέτρων Είναι συμπαγή πετρώματα τεφροπράσινου χρώματος, με κυψελώδη ιστό, και κύριο ορυκτό τον σερπεντίνη. Το μεγαλύτερο μέρος του σερπεντίνη προέρχεται από ολιβίνη (κυψελώδης μορφή), ενώ ένα μικρό ποσοστό παρουσιάζεται σαν βασίτης. Τη σύσταση του συμπληρώνουν λίγος χρωμίτης οξειδωμένος σε μαγνητίτη, κόκκοι μαγνητίτη και λίγα υδροξείδια σιδήρου. Γενικά διασχίζονται από λίγα φλεβίδια χρυσοτίλη και άφθονα ασβεσίτη. Δεν εμφανίζονται επιφανειακά.

Ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμοί **15**: εμφανίζονται πάντοτε στη βάση των υπερβασικών μαζών, έχουν μικρό πάχος και συνίστανται από: α) ιζήματα ωκεάνιων περιοχών, όπως ραδιολαριτών, κεραμόχρωμων πηλιτών, αργιλικών σχιστολίθων και μικριτικών ασβεστόλιθων με διαστρώσεις πυριτόλιθων (κ) και β) υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικών πυριγενών πετρωμάτων, κυρίως βασαλών, που έχουν υποστεί έντονη σπλιτίωση και εμφανίζονται συνήθως υπό μορφή pillow-lavas.

Ορατό πάχος: περίπου 200m.

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες: τεφροί έως λευκότεφροι, μέσο-έως παχυστρωματώδεις, κατά θέσεις άστρωτοι, συνήθως μικροκρυσταλλικοί, και έντονα τεκτονισμένοι (Μ. Τριαδικό-Κ. Μάλμιο) **16**. Στο όρος Κτυπός και Γαλατίδεζα παρεμβάλλονται κόκκινες ενστρώσεις ασβεστόλιθων μικρού πάχους. Στις νότιες παρυφές του όρους Κτυπός παρατηρήθηκαν μεγάλα Megalodon (μέχρι 25cm διάμετρο).

Στην οροσειρά νότια του χωριού Τανάγρα καθώς επίσης νότια και βόρεια του χωριού Ασωπία, εμφανίζονται μελανότεφροι έως μαύροι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, λεπτοπλακώδεις έως μεσοστρωματώδεις, μικριτικοί με κονδύλους κερατολίθων, οι οποίοι μεταβαίνουν προς τα πάνω σε τεφρούς ασβεστόλιθους με Megalodon.

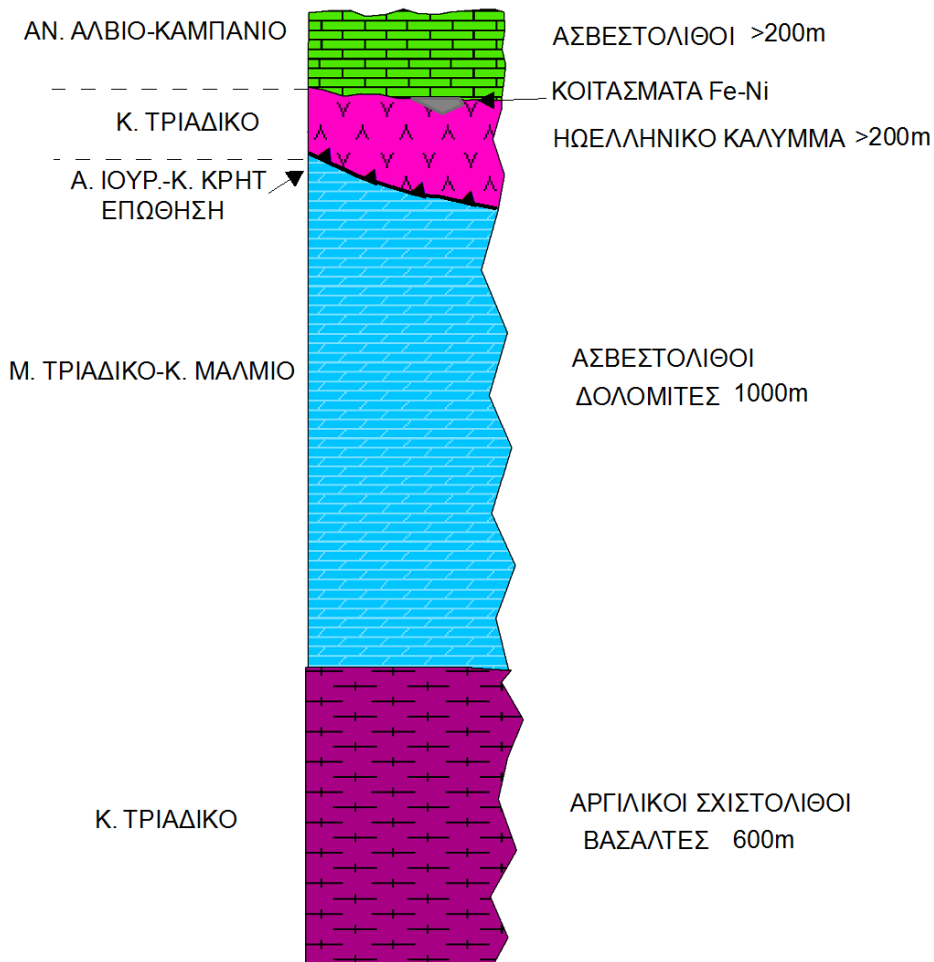
Στην περιοχή Αγ. Τριάδας του Αυλώνα παρατηρήθηκε μέσα στους ασβεστόλιθους μικρή εμφάνιση ηφαιστειακών πετρωμάτων (τραχείτης).

Τα πετρώματα κλίνουν γενικά προς τα ΒΔ με κλίσεις μεταξύ 300-450

Πάχος: περίπου 1000 m.

Ψαμμίτες, μικροκροκαλοπαγή, αργιλικό σχιστόλιθοι και σπιλίτες-βασάλτες (Κ. Τριαδικό) **17**: ελαφρά μεταμορφωμένη σειρά αποτελούμενη από κλαστικά ιζήματα, φακοειδής ενστρώσεις ασβεστόλιθων και σχιστοποιημένους σπιλίτες-βασάλτες και κερατοφυρικούς τόφρους.

Στη βάση σειράς (περιοχή Αυλίδας) αναπτύσσονται μαύροι έως μελανότεφροι ασβεστόλιθοι καλά στρωμένοι στους οποίους δεν βρέθηκαν απολιθώματα. Επειδή όμως μοιάζουν με τους ασβεστόλιθους που περιγράφονται στην περιοχή Παρθενίου Ευβοίας εντάσσονται και αυτοί συγκριτικά στο Κατ. Τριαδικό  
 Κλίνουν προς τα ΒΔ με κλίσεις μεταξύ 350-400  
 Πάχος: περίπου 600 m.



Σχ. 5.5 Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής από το φύλλο Χαλκίδα του ΙΓΜΕ 2007 (τμήμα Στερεάς Ελλάδας).

### 5.2.2 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Συνίσταται από ποταμοχερσαία, λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα

Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Ολόκαινο) 1: Ασύνδετα υλικά κατά κανόνα αδρομερή και γωνιώδη

Ασύνδετα αργιλοαμμώδη και χαλικομιγή καστανόχρωμα υλικά 2: Προέρχονται από την αποσάθρωση και εξαλλοίωση των γύρω σχηματισμών.

Αλλουβιακές αποθέσεις 3: Βρίσκονται σε ποταμοκοιλιάδες και πεδινές περιοχές ανοικτές προς την θάλασσα ή σε μικρές εσωτερικές λεκάνες. Αποτελούνται από ασύνδετα αργιλο-αμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπες καθώς και υλικά χειμάρων αναβαθμί-δων, μικρού ύψους. Συχνά απαντώνται και ερυθροί πηλοί.

Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Πλειστόκαινο) 4: λατύπες κυρίως ασβεστολιθικές μεταξύ των οποίων απαντούν πολλές φορές μεγάλα ασβεστολιθικά τεμά-χη. Το συνδετικό υλικό είναι αργιλοψαμμιτικό. Χαρακτηριστικό τους είναι οι διαστρώ-σεις από ερυθρούς αργίλους  
Μέγιστο πάχος: 20 m

Ιζήματα χημικής προέλευσης ασβεστολιθικής ή δολομιτικής σύστασης 5: που καλύπτουν μεγάλη έκταση στην περιοχή της Δροσιάς. Σχηματίζονται κατά την διάρκεια ξηρών ή ημίξηρων κλιματικών περιόδων.  
Πάχος 1-5 m.

Ποταμοχερσαίες αποθέσεις 6: Είναι καστανόχρωμα ιζήματα που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση νότια του Σχηματαρίου - Οινοφύτων και στην περιοχή της Ριτσώνας. Στην περιο-χή νότια Σχηματαρίου - Οινοφύτων αποτελούνται από μη συνεκτικά κροκαλοπαγή που εναλλάσσονται με ενστρώσεις καστανόχρωμων άμμων και πηλών των οποίων το πάχος μεταβάλλεται από θέση σε θέση. Οι κροκάλες είναι κύρια ασβεστολιθικές όχι καλά απο-στρογγυλωμένες και το μέγεθος τους φτάνει τα 30cm.

Στην περιοχή της Ριτσώνας τα βαθύτερα μέλη αποτελούνται από συνεκτικούς πάγκους κροκαλολατυποπαγών των οποίων οι κροκάλες είναι ελαφρά αποστρογγυλωμένες και με μέγεθος που ποικίλει από θέση σε θέση και φθάνει μέχρι 30cm. Πολλές φορές έχουμε την παρουσία τεμαχών ασβεστόλιθων μεγέθους μέχρι 1m. Το συνδετικό υλικό είναι αρ-γίλικό, αργιλοψαμμιτικό, αργιλομαργαϊκό ή ψαμμιτικό. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε μη συνεκτικά λατυποπαγή μέσα στα οποία παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις πη-λών και αργίλων.

Βρίσκονται σε ασυμφωνία με τις υποκείμενες νεογενείς αποθέσεις  
Συνολικό πάχος: 120-150m.

Λιμναίες-ποτάμιες αποθέσεις 7: ερυθροί πηλοί, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Κλίνουν προς τα ΒΑ με κλίση 15°

Οι νεογενείς σχηματισμοί απαντούν κυρίως στο νότιο τμήμα της περιοχής και αποτελούν τμήμα της νεογενούς λεκάνης Θηβών-Τανάγρας-Μαλακάσας. Συνίστανται από ποταμο-χερσαία, λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα.

Υφάλμυρες αποθέσεις όπου εναλλάσσονται με κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους, αργί-λους και υπόλευκες μάργες (Αν. Πλειόκαινο-Κ. Πλειστόκαινο) 8: Εμφανίζονται στην περιοχή της Δροσιάς.  
Ορατό πάχος: 50 m

Μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, άμμοι και κροκαλοπαγή λιμναίας και υφάλμυρης φάσης. (Κατ. Πλειόκαινο) 9 Στο σχηματισμό βρίσκονται ολισθόλιθοι ασβεστόλιθων του Τριαδι-κού – Λιάσιου.

Κλίνουν γενικά προς τα ΒΑ. Ορατό πάχος: 100 m



Ποταμογερσαίες αποθέσεις (Τουρώλιο) 10 περιοχής Δήλεσι-Παραλίας Αυλίδος: Καταλαμβάνουν ολόκληρη την περιοχή κατά μήκος του Ευβοϊκού από την Παραλία Αυλίδος και συνεχίζονται προς τα ανατολικά, στην περιοχή Ωρωπού Μαρκόπουλου. Αποτελούν την πλευρική και προς τα πάνω μετάβαση των μάργων και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή μικρής και μεγάλης συνεκτικότητας που εναλλάσσονται με ψαμμίτες και καστανέρυθρους πηλούς και αργίλους.

Οι κροκάλες έχουν ποικίλο μέγεθος και το συνδετικό υλικό είναι ψαμμιτικό, αργιλοψαμμιτικό ή κροκαλοψαμμιτικό και προέρχονται από το προνεογενές υπόβαθρο της Πάρνηθας (ανθρακικές, ψαμμιτικές του παλαιοζωϊκού και του φλύσχη) από μεταμορφωμένα πετρώματα καθώς και από τα βαθύτερα μέλη των νεογενών (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Απολιθώματα: πικερμική πανίδα, 2 km Δ του Χαλκουτσίου.

Πάχος: 300m.

Μάργες, αργίλοι, πηλοί, κροκάλες, άμμοι περιοχής Σχηματαρίου-Οινοφύτων (Βαλλέσιο) **11**: καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα της νεογενούς λεκάνης, καλύπτουν πολύ μεγάλη έκταση, έχουν μεγάλο πάχος και ποικίλη λιθολογική σύσταση. Τα βαθύτερα μέλη των σχηματισμών αυτών αποτελούνται από πλακώδεις μάργες, αμμούχους πηλούς, λεπτά στρώματα αργίλων και μαργούχων πηλών υπόλευκου-τεφρόλευκου χρώματος. Μέσα στις αποθέσεις αυτές αναπτύχθηκαν κοιτάσματα λιγνιτών.

Στην περιοχή της Οινόης τα ιζήματα αυτά μεταβαίνουν προς τα πάνω σε ελαφρά πτυχωμένες υπόλευκες-τεφρόλευκες μάργες που εναλλάσσονται με πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, πηλούχους μάργες και μικρές ενστρώσεις καστανών άμμων.

Βόρεια του Σχηματαρίου μεταβαίνουν σε υπόλευκες-τεφρές μάργες που εναλλάσσονται με πηλούχους μάργες, αμμούχους πηλούς, πλακώδεις μαργαϊκούς πηλίτες και φυλλώδεις μάργες που περικλείουν φυτικά υπολείμματα. Τα ανώτερα μέλη τους που αποτελούν την πλευρική και προς τα πάνω μετάβαση των παραπάνω ιζημάτων αποτελούνται από εναλλαγές τεφρόχρωμων αμμούχων αργίλων-πηλών, αμμούχων μαργών γκριζοπράσινου χρώματος που φέρουν, ενίοτε, λεπτές λιγνιτικές διαστρώσεις.

Προς τα δυτικά και προς τα πάνω μεταβαίνουν σε αποθέσεις που συνίστανται από εναλλαγές χαλαρών κροκαλών με άμμους εντός των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις από πηλούχους-αργιλούχους άμμους τεφρού χρώματος.

Τα ανώτερα μέλη των αποθέσεων αποτελούν τα καστανόχρωμα ιζήματα της περιοχής των Κόκκινων Χωμάτων που αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών και καστανόχρωμων ενστρώσεων αργίλων και πηλών των οποίων το πάχος κυμαίνεται από 5-20m.

Στην περιοχή των Οινοφύτων ανατολικά της περιοχής όπου αποκαλύπτεται το υπόβαθρο (Πύργος Διχαλωτός), απαντούν τα βαθύτερα μέλη των σχηματισμών που αποτελούνται από καστανόχρωμα υλικά από εναλλαγές κροκαλοπαγών, συνεκτικών αργίλων και πηλών δεν εμφανίζονται επιφανειακά

Τα ιζήματα αυτά προς βορρά μεταβαίνουν σε υπόλευκες μάργες, σε υποκάστανες αργίλους, πηλούς, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Στη συνέχεια σε υπόλευκες εύθρυπτες μάργες που εναλλάσσονται με πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και λεπτοπλακώδεις μάργες, που με τη σειρά τους μεταβαίνουν στις ποταμογερσαίες αποθέσεις της περιοχής Συκάμινου-Δήλεσι.

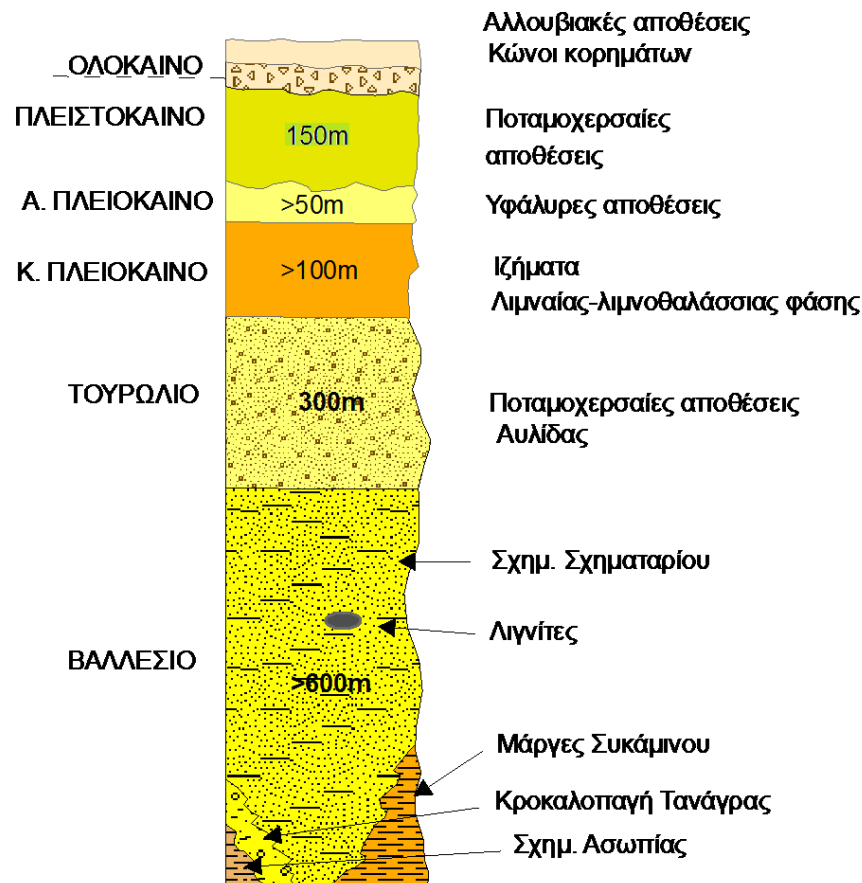
Κλίνουν προς τα ΒΑ και η κλίση τους είναι μεταξύ 15° -25°.

Πάχος: υπερβαίνει τα 500-600 m.

Δελταϊκά κροκαλοπαγή ΒΔ της Τανάγρας **12**: η περιοχή δυτικά του χωριού Τανάγρα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξ' αιτίας της τεκτονικής αστάθειας που υπήρχε κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης με αποτέλεσμα να έχουμε εσωτερικές ολισθήσεις μεγάλων τεμαχίων μέσα στα δελταϊκά κροκαλοπαγή.

Τα βαθύτερα μέλη, αποτελούνται από λευκές πλακώδεις μάργες που εναλλάσσονται με χακί πλακώδεις πηλούς και τεφρές αργίλους που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε δελταϊκά ιζήματα που συνίστανται από εναλλαγές άμμων κροκαλών με άμμους και πηλούχων άμμων. Μέσα στις αποθέσεις αυτές παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοψαμμιτών υπό μορφή πάγκων. Το υλικό των κροκαλών είναι κυρίως οφιολιθικό (70%) και σε μικρότερο ποσοστό ανθρακικό κερατολιθικό. Προς τα πάνω τα ιζήματα αυτά μεταβαίνουν πλευρικά σε λεπτομερή υλικά από αμμούχους, μαργούχους πηλούς και αμμούχους μάργες

Κλίνουν προς τα ΒΑ με κλίση 15°. Πάχος 200-250m.



Σχ. 5.6 Στρωματογραφική στήλη Νεογενών – Τεταρτογενών (Σύνθεση από τα φύλλα Χαλκίδας και Θήβας του ΙΓΜΕ).

Αργίλοι, πηλοί, αμμούχοι μάργες ανατολικά Ασωπίας (Πριν το Βαλλέσιο) 13: αποτελούνται από εναλλαγές πηλών, αργίλων, αμμούχων μαργών, αμμούχων πηλών-αργίλων χρώματος ανοικτού καστανού. Μέσα στα ιζήματα αυτά απαντούν φακοειδείς ενστρώσεις λεπτόκοκκων ψαμμιτών πάχους 7-10m.

Τα βαθύτερα μέλη των σχηματισμών αυτών στην περιφέρεια της λεκάνης κατά θέσεις αρχίζουν με λεπτοπλακώδεις- λεπτόκοκκους ψαμμίτες που εναλλάσσονται με πηλούς ή αργίλους. Τα ιζήματα αυτά μεταβαίνουν πλευρικά στις υπόλευκες μάργες της περιοχής Σχηματαρίου-Οινόης.

Κλίνουν προς τα ΒΑ με κλίση 25° -35°. Πάχος 200m.

Μάργες περιοχής Συκάμινου: Τα βαθύτερα μέλη αποτελούνται από λευκές έως τεφρό-λευκες, υποκίτρινες εύθρυπτες έως πολύ σκληρές μάργες, κατακερματισμένες με καλή στρώση, λεπτοπλακώδεις και με μικρή σχετικά κλίση. Προς τα πάνω μεταβαίνουν σε μαργαϊκά υλικά που φέρουν διαστρώσεις από φυλλώδεις μάργες.

Τα ανώτερα μέλη αποτελούνται από τραβερτίνες που εναλλάσσονται με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Στην περιοχή Ασπρόκαμπος - Ασπρόχωμα νότια των παραπάνω ιζημάτων, οι αποθέσεις αποτελούνται από υπόλευκες μάργες (βαθύτερα μέλη) που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε καστανέρυθρα λεπτόκοκκα υλικά που φέρουν ενστρώσεις μη συνεκτικών κροκαλοπαγών μικρού πάχους. Δεν εμφανίζονται επιφανειακά. Πάχος: 300 m.

Η ψηφιοποίηση του γεωλογικού χάρτη έγινε μέσω του προγράμματος ArcGIS 9.3 και χρησιμοποιήθηκαν τα γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ Θήβα και Χαλκίδα. Κατά την ένωση των δύο φύλλων διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ασυμφωνία στις περιοχές που βρίσκονται νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι σχηματισμοί διαφέρουν λιθολογικά και ηλικιακά. Έτσι έγιναν κάποιες τροποποιήσεις για να ενοποιηθούν οι σχηματισμοί. Παρακάτω δίνονται οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στον γεωλογικό χάρτη (σχ. 5.7)

#### Ολόκαινο

- 1 Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- 2 Ασύνδετα αργιλοαμμώδη και χαλικομιγή καστανόχρωμα υλικά
- 3 Αλλουβιακές αποθέσεις

#### Πλειστόκαινο

- 4 Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων
- 5 Ιζήματα χημικής προέλευσης ασβεστολιθικής ή δολομιτικής σύστασης
- 6 Ποταμοχερσαίες αποθέσεις
- 7 Λιμναίες-ποτάμιες αποθέσεις

#### Αν. Πλειόκαινο-Κ. Πλειστόκαινο

- 8 Υφάλμυρες αποθέσεις όπου εναλλάσσονται με κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους, αργίλους και υπόλευκες μάργες

#### Κατ. Πλειόκαινο

- 9 Μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, άμμοι και κροκαλοπαγή λιμναίας και υφάλμυρης φάσης.

#### Τουρώλιο

- 10 Ποταμοχερσαίες αποθέσεις

#### Βαλλέσιο

- 11 Μάργες, άργιλοι, πηλοί, κροκάλες, άμμοι περιοχής Σχηματαρίου-Οινοφύτων
- 12 Δελταϊκά κροκαλοπαγή ΒΔ της Τανάγρας

#### Πριν το Βαλλέσιο

- 13 Άργιλοι, πηλοί, αμμούχοι μάργες ανατολικά Ασωπίας

#### Ανω. Άλβιο – Καμπάνιο

- 14 Ασβεστόλιθοι τεφροί ως μελανότεφροι, κυρίως μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις, μικροκρυσταλλικοί ως επί το πλείστον με κονδύλους κερατολίθων

#### Κατ. Τριαδικό

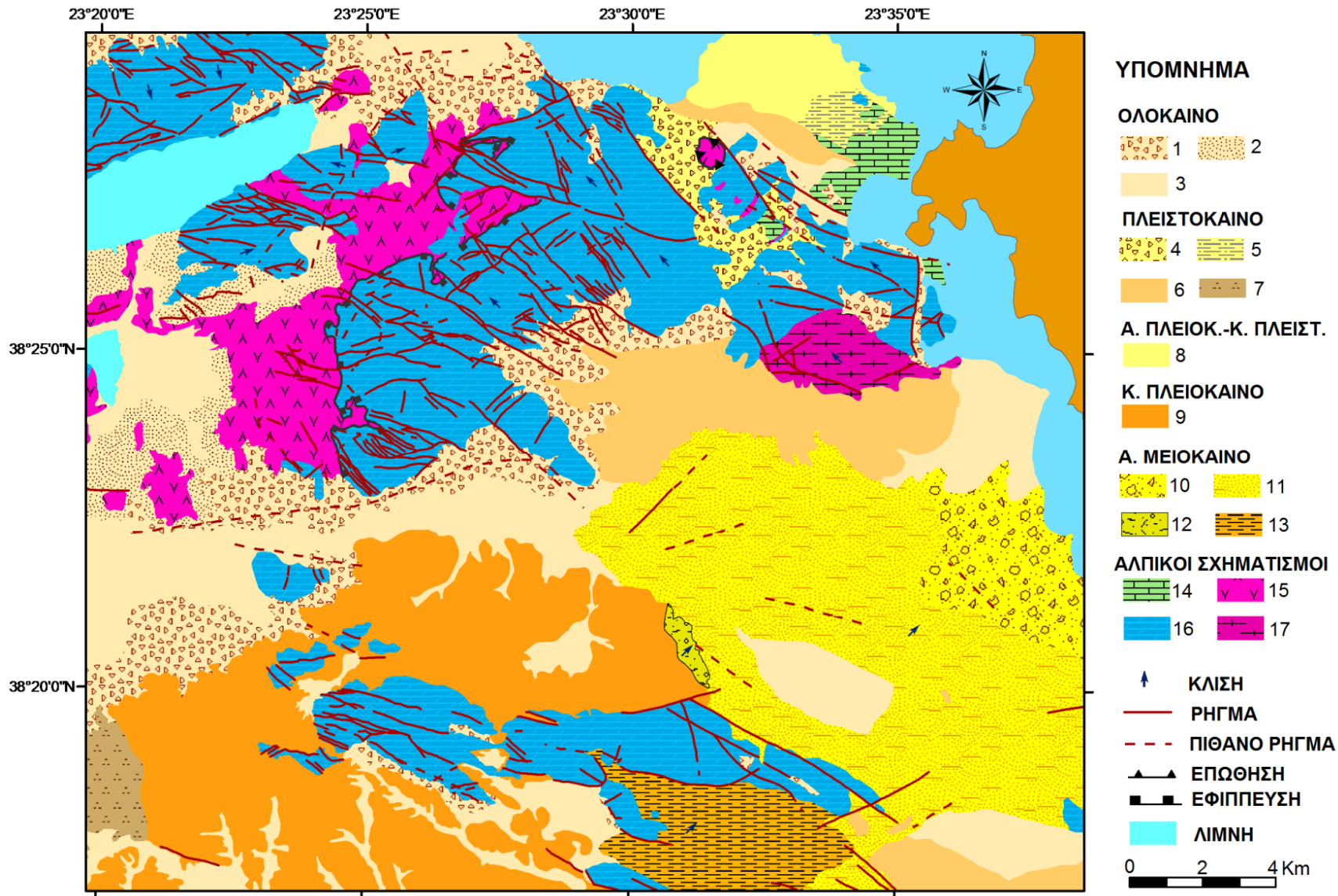
- 15 Ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμοί

#### Μ. Τριαδικό-Κ. Μάλμιο

- 16 Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες: τεφροί έως λευκότεφροι, μέσο- έως παχυστρωματώδεις, κατά θέσεις άστρωτοι, συνήθως μικροκρυσταλλικοί, και έντονα τεκτονισμένοι.

#### Κ. Τριαδικό

- 17 Ψαμμίτες, μικροκροκαλοπαγή, αργιλικόι σχιστόλιθοι και σπιλίτες-βασάλτες



Σχ. 5.7 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. (Ανασχεδιασμένος από τα φύλλα του ΙΓΜΕ Θήβα και Χαλκίδα).

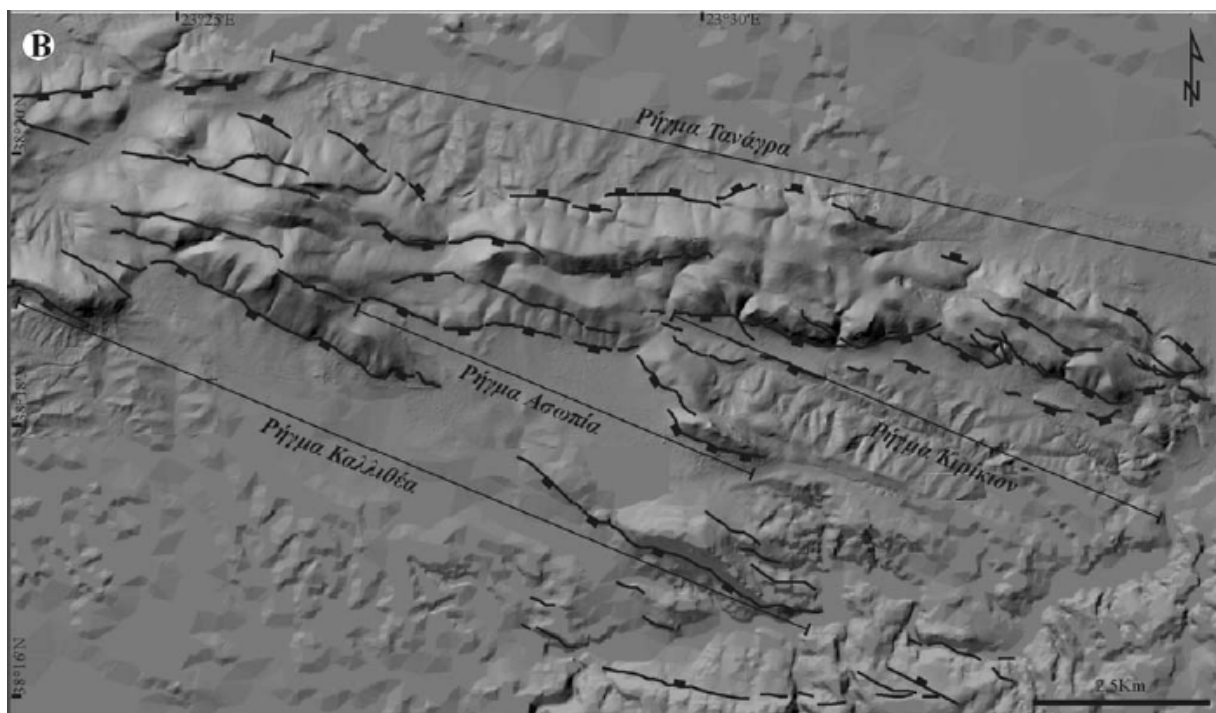


Διακρίνονται 3 κύρια συστήματα με διευθύνσεις:

1. A-Δ
2. ΒΑ-ΝΔ
3. ΒΔ-ΝΑ

Το κύριο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση Α-Δ και σε αυτά οφείλεται η δημιουργία της λεκάνης. Στο τέλος του Πλειστόκαινου υπήρξαν κατακόρυφες κινήσεις διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ ως Δ-Α που δημιούργησαν τον Ευβοϊκό κόλπο (Μέττος, 1992).

Η ρηξιγενής ζώνη Καλλιθέας-Ασωπίας έχει δημιουργήσει ένα τεκτονικό κέρατο με γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, επιφανειακό μήκος 18 Km και μέγιστο πλάτος 6 Km. Στα ΝΔ οριοθετείται από τα ρήγματα Κιρίκιον, Ασωπίας και Καλλιθέας που εμφανίζουν κλιμακωτή διάταξη και στα ΒΑ από το αντιθετικό ρήγμα Τανάγρας.



Σχ. 5.9 Ρηξιγενής ζώνη Καλλιθέας-Ασωπίας (Τσόδουλος Μ. Ιωάννης, 2009).

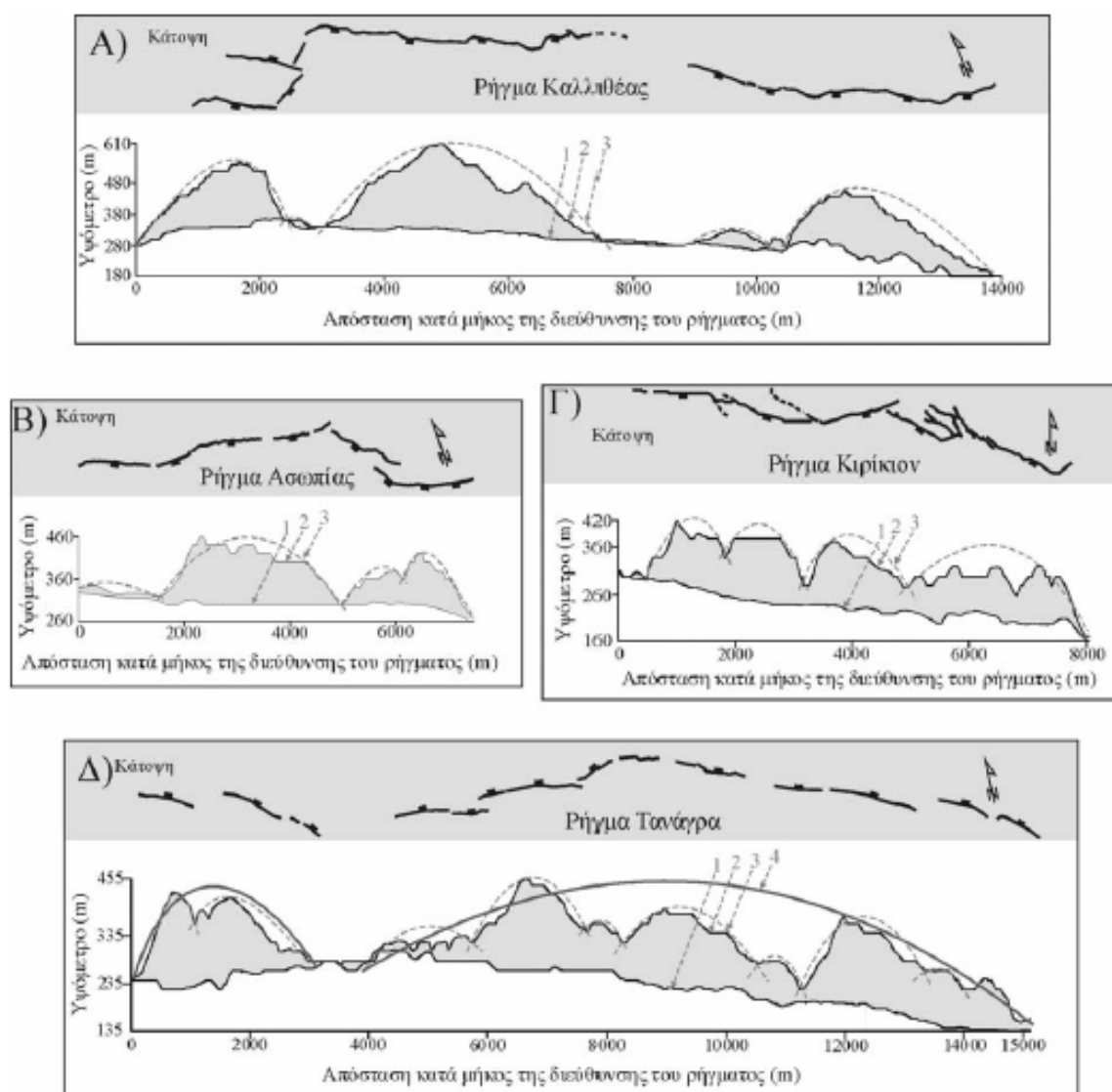
Τα κύρια ρήγματα είναι κανονικά και μπορούν να διακριθούν σε μικρότερα. Σχηματίζουν πρανή με κλίσεις μεταξύ 400 και 650 και το εκτιμώμενο κατακόρυφο άλμα τους κυμαίνεται από 360 ως 660 m, στον πιν. 5.10 δίνονται περισσότερες λεπτομέρειες.

Πιν. 5.10 Χαρακτηριστικά των κυρίων ρηγμάτων της ρηξιγενούς ζώνης Καλλιθέας-Ασωπίας. (Τσόδουλος Μ. Ιωάννης, 2009)

Ρήγμα	Ορατό μήκος (Km)	Μέση διεύθυνση κλίσης (°)	Μέση κλίση (°)	Μέγιστη μετατόπιση(m)	Ιζήματα οροφής(m)	Κατακόρυφο άλμα (m)
Καλλιθέας	14	220	45	310	350	660
Ασωπίας	7	212	41	160	200	360
Κιρίκιον	8	200	48	130	300	430
Τανάγρας	14	30	45	130	350	480

Στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής τα ρήγματα οριοθετούν τις κατω-πλειοκαινικές αποθέσεις. Οπότε δημιουργήθηκαν κατά ή μετά την απόθεση τους. Το ρήγμα Ασωπίας έχει δραστηριοποιηθεί και το Ολόκαινο. Από τα σεισμολογικά δεδομένα που αναφέρο-

νται παρακάτω, τα ρήγματα θεωρούνται ενεργά. Από τα τοπογραφικά προφίλ της βάσης και της οροφής των ρηγμάτων (σχ. 5.11) φαίνεται ότι οι μέγιστες μετατοπίσεις βρίσκονται κοντά στο κέντρο τους.



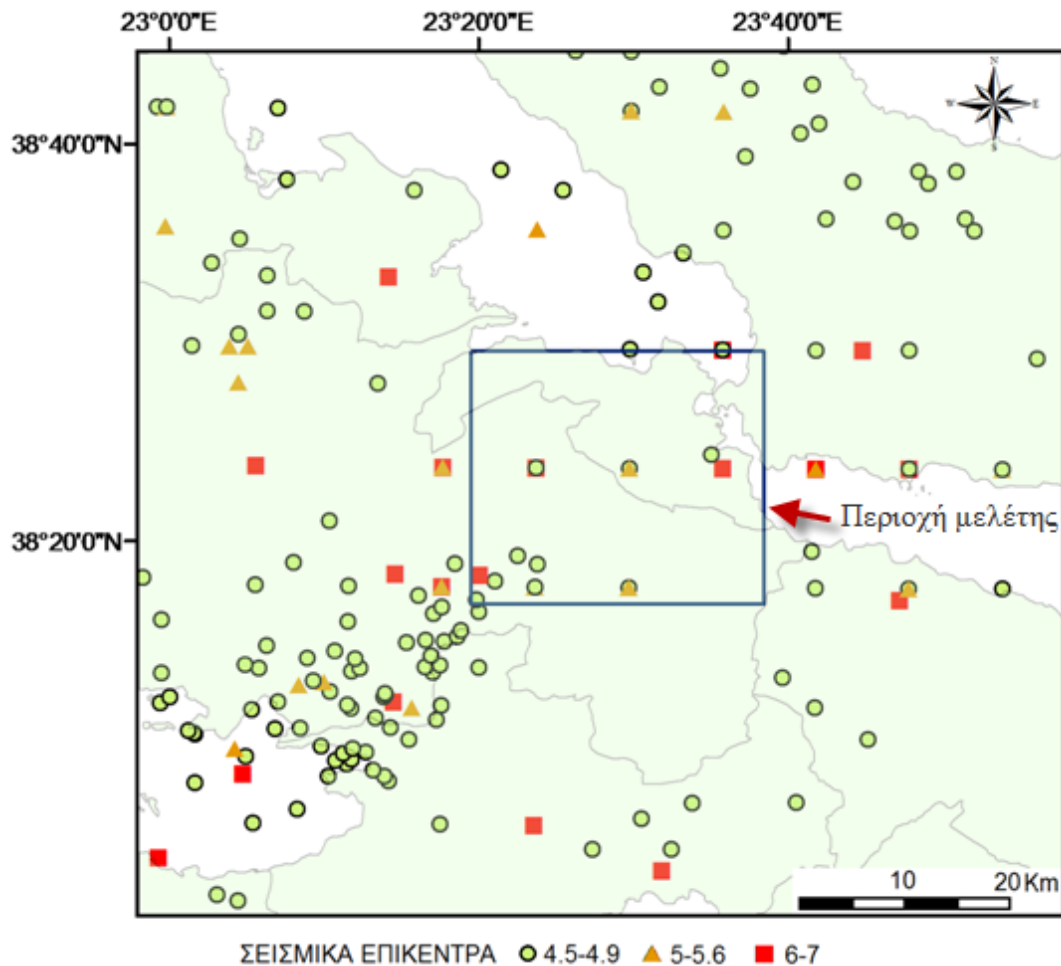
**Σχ. 5.11** Σε κάθε σχήμα διακρίνεται η κάτοψη των κύριων ρηγμάτων και από κάτω το τοπογραφικό προφίλ της βάσης (1) και οροφής (2) του ρήγματος, η ομαλοποιημένη τοπογραφία των επιμέρους ρηξιγενών τμημάτων (3) και η συνολική τοπογραφία (4) (Τσόδουλος Μ. Ιωάννης, 2009).

#### 5.4 Σεισμικότητα

Για τον ελλαδικό χώρο, ως ενεργά ρήγματα χαρακτηρίζονται αυτά που έχουν δημιουργηθεί ή έχουν επαναδραστηριοποιηθεί κατά το χρονικό διάστημα των τελευταίων 500.000 ετών περίπου (Μαριολάκος Η., 2000).

Η περιοχή μελέτης, εντάσσεται σε έναν ευρύτερο χώρο που ξεκινά από τον Κορινθιακό κόλπο και φθάνει στο Β Ευβοϊκό κόλπο, ο οποίος είναι αποδεδειγμένα σεισμικά ενεργός. Η ενεργότητα επιβεβαιώνεται και από τα παρακάτω στοιχεία. Αρκετά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης οριοθετούν ολοκαινικούς σχηματισμούς, που σημαίνει ότι έχουν δημιουργηθεί ή επαναδραστηριοποιηθεί αυτό το διάστημα. Επίσης οι κρημνοί έχουν με-

γάλα ύψη και εμφανείς κατοπτρικές επιφάνειες στις βάσεις τους (Τσόδουλος Ι., 2009). Τέλος από σεισμολογικά δεδομένα στην ευρύτερη περιοχή (σε μία ακτίνα 30 Km από την περιοχή μελέτης) από το 427 π.Χ. ως το 2008 έχουν καταγραφεί 195 σεισμοί μεγέθους 4.5 ως 7 R. (1901-1949 Κομνηνάκης – Παπαζάχος, 1950 – 2003 Γεωδ. Ινστιτ. Αστερ. Αθηνών). Ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί ήταν 7 R το 1894. Η μεγαλύτερη σεισμικότητα εντοπίζεται ΝΔ της περιοχής μελέτης προς τον Κορινθιακό κόλπο (σχ. 5.12).

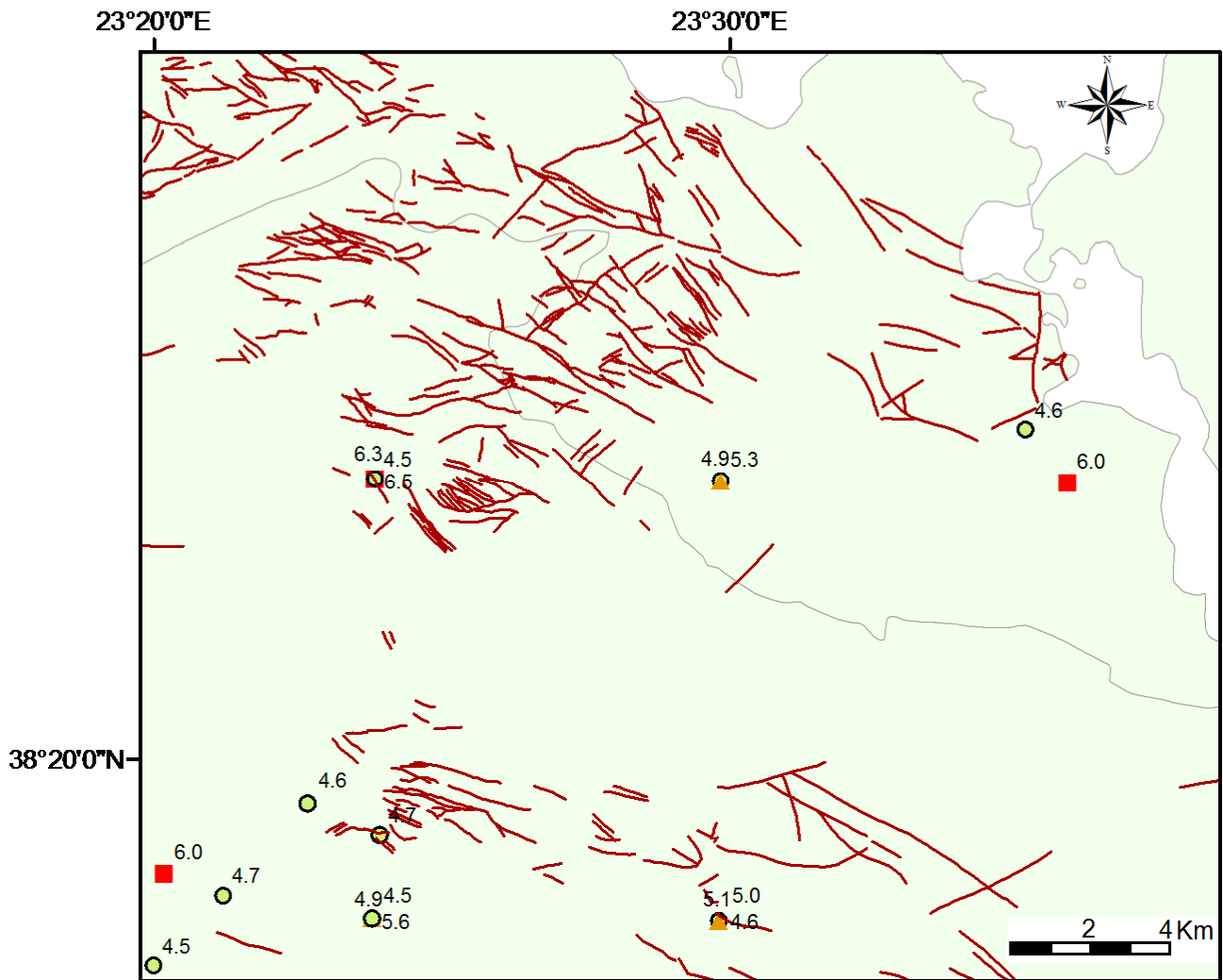


**Σχ. 5.12** Σεισμικά επίκεντρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (427π.Χ. – 2008). (1901-1949 Κομνηνάκης – Παπαζάχος, 1950 – 2003 Γεωδ. Ινστιτ. Αστερ. Αθηνών)

Στην περιοχή μελέτης (σχ. 5.13) φαίνεται ότι οι περισσότεροι σεισμοί σχετίζονται με τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Συνολικά έχουν σημειωθεί 18 σεισμοί μεγέθους μεγαλύτερο από 4.5 R Ο μεγαλύτερος και παλαιότερος σεισμός που έχει καταγραφεί ήταν 6.5 R το 1853.

Τα παραπάνω δείχνουν πως στην περιοχή υπάρχουν ενεργά ρήγματα και έχουν πρόσφατη και συνεχή δραστηριότητα.





Χαρτ.5.13 Σεισμικά επίκεντρα και ρήγματα της περιοχής μελέτης.

## 6. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 6.1 Γενικά

Τα κλιματολογικά στοιχεία έχουν ουσιαστικό ρόλο στην διαμόρφωση του υδατικού ισοζυγίου μια περιοχής. Στην περιοχή βρίσκονται 2 μετεωρολογικοί σταθμοί της ΕΜΥ, της Τανάγρας και του Τατοίου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συντεταγμένες, το υψόμετρο και η περίοδος λειτουργίας τους.

Μετεωρολογικός σταθμός	Συντεταγμένες	Υψόμετρο(m)	Περίοδος
Τανάγρα	38° 19' -23° 33'	139	1957-1997
Τατόι	38° 06' -23° 47'	236	1956-1997

Οι παράμετροι στους πίνακες 6.1 και 6.2 δίνονται σε μέσες μηνιαίες τιμές και αφορούν όλη την διάρκεια λειτουργίας των σταθμών.

ΜΗΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ			Μέση σχετική υ- γρασία (%)	ΥΕΤΟΣ		Επικρατούσα διεύθυνση ανέμου	Μέση ένταση ανέ- μου (κόμβοι)
	Μέση	Μέση Μέγιστη	Μέση Ελάχιστη		Μέσο Ύψος (mm)	Μέγιστο 24ωρου (mm)		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7.5	11.8	3.3	77.1	68.2	169.3	ΒΔ	6.3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	8.2	12.6	3.4	74.3	49.8	54.2	ΒΔ	6.5
ΜΑΡΤΙΟΣ	10.2	14.8	4.6	72.5	48.5	42	ΒΔ	5.9
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	14.4	19.3	7.2	66.1	27.4	47.3	Δ	5.4
ΜΑΙΟΣ	20	25	11.3	58.6	22.8	56	ΒΔ	5.2
ΙΟΥΝΙΟΣ	25.2	30	15.7	49	11.6	58	ΒΔ	5.7
ΙΟΥΛΙΟΣ	27.3	31.9	18.2	47.3	7.2	32	ΒΔ	6.4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26.6	31.6	18.2	49.5	10	55.5	ΒΔ	6.4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	22.4	27.9	15	58.1	19.1	51.5	ΒΔ	5.6
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	17.2	22.3	11.5	68.6	50.2	88	ΒΔ	5.6
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12.8	17.5	7.9	75.6	59.4	52.2	ΒΔ	5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9.4	13.6	5.1	77.6	77.2	77	Δ	6
ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ	16.8	21.5	10.1	64.5	451.4	169.3		5.8

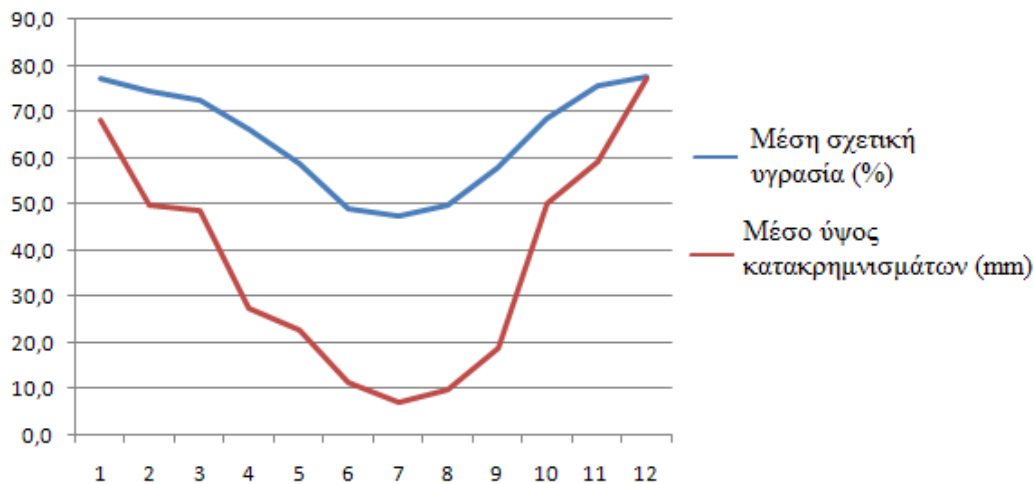
Πίν. 6.1 Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Τανάγρας (1956-1997).

ΜΗΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ			Μέση σχετική υγρασία (%)	ΥΕΤΟΣ		Επικρατούσα διεύθυνση ανέ- μου	Μέση ένταση ανέμου (κόμβοι)
	Μέση	Μέση Μέγ- στη	Μέση Ελάχι- στη		Μέσο Ύψος	Μέγιστο 24ωρου		
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7.4	11.9	3.3	76.6	70.1	138.8	Β	6.6
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7.8	12.5	3.6	74.7	51.4	68.5	Β	6.5
ΜΑΡΤΙΟΣ	10	14.6	5	71.1	43.2	37	Β	6.7
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	14.1	19.4	7.6	64.6	24.6	55.2	ΒΑ	5.3
ΜΑΙΟΣ	19.5	24.9	11.8	56.4	20.8	37.3	ΒΑ	5.1
ΙΟΥΝΙΟΣ	24.5	29.7	16	47.9	10.8	29.4	Β	5.3
ΙΟΥΛΙΟΣ	26.7	31.8	18.9	44.7	9.7	46	Β	7.1
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26.2	31.7	19.1	45.8	4.2	21.9	Β	7.4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	22.2	28	15.6	54.6	13.5	44	Β	6.7
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	16.9	22.4	11.7	66.6	49.9	110.7	Β	6.9
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12.4	17.8	7.7	75.4	55.9	175.1	Β	5.2
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9	13.8	4.9	77.9	76	111	Β	5.6
ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ	16.4	21.5	10.4	63	430.1	175.1		6.2

Πίν. 6.2 Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Τατοίου (1956-1997).

## 6.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα – Σχετική υγρασία

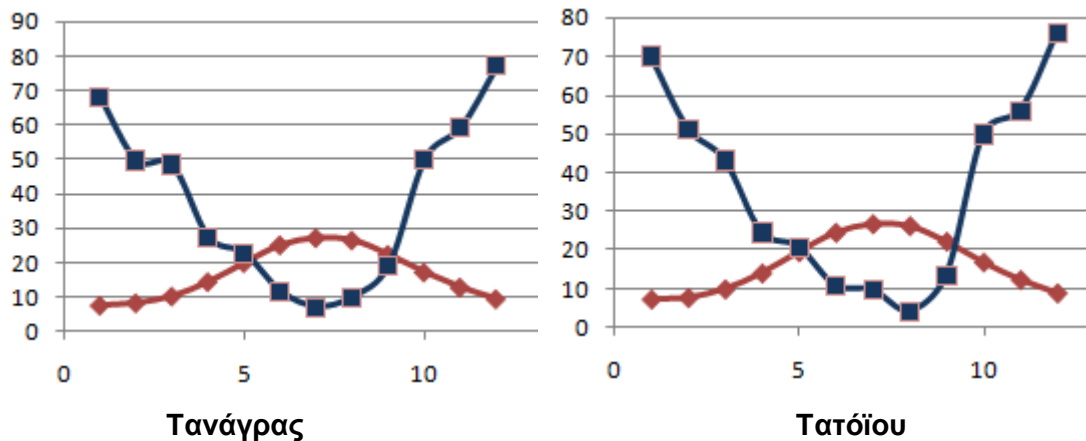
Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων, από τους 2 σταθμούς, είναι 441mm και θεωρείται μέτριο. Οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται από τον Νοέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο και ιδιαίτερα τον Δεκέμβριο με μέση τιμή περίπου 76 mm. Οι χαμηλότερες έχουν καταγραφεί τους θερινούς μήνες και κυμαίνονται γύρω στα 10 mm. Η σχετική υγρασία όπως φαίνεται στο σχ. 6.3 είναι ανάλογη των κατακρημνισμάτων. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται από Νοέμβριο μέχρι Ιανουάριο και οι μικρότερες τους θερινούς μήνες.



Σχ. 6.3 Διακύμανση κατακρημνισμάτων και σχετικής υγρασίας (Σταθμός Τανάγρας).

### 6.3 Θερμοκρασία ατμόσφαιρας

Η μέση ετήσια θερμοκρασία που προκύπτει και από τους 2 σταθμούς είναι 16.6 °C. Οι μεγαλύτερες μέσες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Ιούλιο (στον σταθμό της Τανάγρας η μ.θ. είναι 27.3 °C). Οι χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες απαντούν τους χειμερινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Ιανουάριο (στο Τατόι είναι 7.4 °C). Οι μέσες ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους ίδιους μήνες και γενικά οι πιο ακραίες τιμές απαντούν στον σταθμό της Τανάγρας. Από τα ομβροθερμικά διαγράμματα φαίνεται πως η ξηρή περίοδος είναι μεταξύ Μαΐου και Σεπτεμβρίου.



Σχ. 6.4 Ομβροθερμικά διαγράμματα μετεωρολογικών σταθμών

### 6.4 Χαρακτηρισμός κλίματος

Το κλίμα χαρακτηρίζεται τυπικό μεσογειακό και το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι περίπου 20 °C. Λόγω του υποτροπικού αντικυκλώνα υψηλών πιέσεων των Αζορών, τους θερινούς μήνες εκδηλώνονται ξηρές περιόδους μεγάλης διάρκειας. Τους χειμερινούς μήνες το κλίμα είναι υγρό, γιατί οι δυτικοί άνεμοι μετατοπίζονται προς τα Ν (Hilton, 1979, Barry and Chorley, 1998, Griffiths et al., 2002).

## 7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 7.1 Γενικά

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα **ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (7)** στο οποίο διακρίνονται 25 υπόγεια υδροφόρα συστήματα. Το νερό που αντλείται χρησιμοποιείται κυρίως στην άρδευση και δευτερευόντως στην βιομηχανία και στην ύδρευση. Η τροφοδότηση των συστημάτων μέσω των επιφανειακών απορροών είναι υψηλή, αλλά λόγω των υπεραντλήσεων δημιουργείται αρνητικό ισοζύγιο. Έτσι παρατηρείται μείωση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων και η πτώση στάθμης κυμαίνεται μεταξύ 1-10 m. Τοπικά υπερβαίνει τα 15 m όπως στο καρστικό σύστημα Υλίκης-Παραλίμνης (GR0713) και στο κοκκώδες Θηβών-Υλίκης (GR0716). Στα παράκτια υδροφόρα συστήματα παρατηρείται τάση υφαλμύρισης.

Σε περίοδο λειψυδρίας τα υδροσυστήματα του ευρύτερου χώρου του Βοιωτικού Κηφισσού, του Ασωπού και της ΒΑ Πάρνηθας τροφοδοτούν την ύδρευση της Αθήνας με 250.000 m<sup>3</sup>/d (περίοδος 1991-1995).



Σχ. 7.1 Υδατικά συστήματα Ελλάδας (ΙΓΜΕ, 2008).

Η κυριότερη ανθρωπογενής διάχυτη πηγή ρύπανσης που απαντά στο υδατικό διαμέρισμα είναι η νιτρορύπανση από τις καλλιέργειες, τα αστικά λύματα και τις κτηνοτροφικές μονάδες. Ενώ οι κυριότερες σημειακές πηγές ρύπανσης είναι οι βιομηχανικές-βιοτεχνικές μονάδες που βρίσκονται στις λεκάνες Σπερχειού, Βοιωτικού Κηφισσού, Ασωπού και Αταλάντης και οι ΧΑΔΑ που βρίσκονται σχεδόν σε όλους τους οικισμούς (Σιέμος Ν., Μιχαλάκης Ι., Κούκιος Δ. 2010).

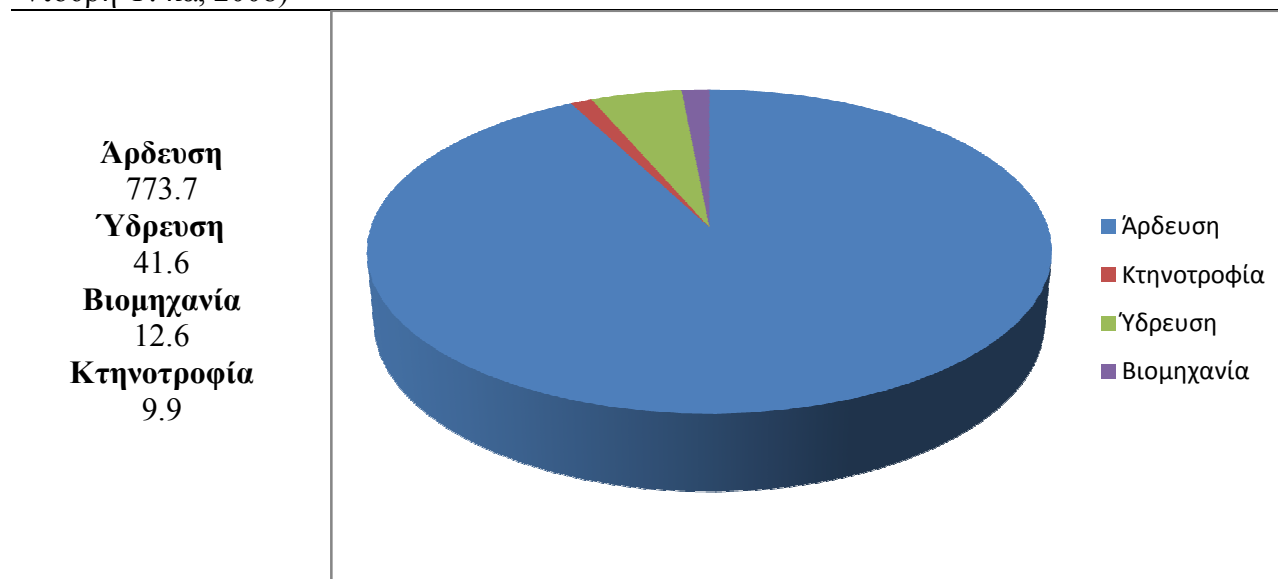
Στον πιν. 7.2 φαίνεται πως η περιοχή καλύπτεται κυρίως από καρστικούς σχηματισμούς

**Πιν. 7.2** Υδρολογικό ισοζύγιο του ηπειρωτικού τμήματος (Στουρνάρας Γ., κα 2011).

	Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί				Σύνολο
	Αδιαπέρ.	Ημιπερ.	Προσχωμ.	Καρστ.	
Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	1 970	847	1 978	3100	7895
Ύψος βροχής (mm)	780	780	780	780	
Όγκος βροχής (hm <sup>3</sup> )	1537	661	1543	2418	6158
Εξάτμιση (hm <sup>3</sup> )	830	357	833	1306	3325
Συντελεστής κατεισδύσεως	3.0%	3.0%	15.0%	95.0%	
Κατείσδυση (hm <sup>3</sup> )	21	9	106	1057	1194
Επίγεια ροή (hm <sup>3</sup> )	686	295	603	56	1639

Το 92% της συνολικής ζήτησης, στο υδατικό διαμέρισμα, οφείλεται στις αρδευτικές ανάγκες (σχ. 7.3). Οι υδρευτικές, οι βιομηχανικές και οι κτηνοτροφικές ανάγκες συμμετέχουν σε ποσοστό 5%, 1.5% και 1.1% αντίστοιχα. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται πως η συνολική ζήτηση θα αυξηθεί περίπου 1%.

**Σχ. 7.3** Ετήσια ζήτηση νερού (σε hm<sup>3</sup>) στο υδατικό διαμέρισμα της Α Στερεάς Ελλάδας. (Κουντούρη Φ. κα, 2008)



## 7.2 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Τους σχηματισμούς ανάλογα με τον λιθολογικό τους χαρακτήρα και την περατότητα τους μπορούμε να τους διακρίνουμε στις παρακάτω κατηγορίες (Δάνδολος κ.α., 2010).

### Κοκκώδεις σχηματισμοί

#### 1. Αλλουβιακές αποθέσεις, ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Πλειστοκαίνου.

Δημιουργούν ελεύθερους ή μερικώς υπό πίεση υδροφόρους μέτριας ως χαμηλής δυναμικότητας λόγω περιορισμένης γεωμετρικής ανάπτυξης. Στις παράκτιες περιοχές συχνά παρουσιάζουν υφαλμύριση. Παρουσιάζουν μέτρια ως χαμηλή υδροπερατότητα ( $K=10^{-4}-10^{-6}$  m/sec) η οποία περιορίζεται από τις προσμίξεις αργιλομιγών υλικών.

2. Ασύνδετα αργιλοαμμώδη και χαλικομιγή καστανόχρωμα υλικά, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Δημιουργούν τοπικά υδροφόρους πολύ μικρής δυναμικότητας. Παρουσιάζουν χαμηλή ως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα ( $K=10^{-5}-10^{-7}$  m/sec) λόγω της επικράτησης των λεπτομερών αργιλοπηλιτικών υλικών.

#### **Ρωγμώδεις σχηματισμοί**

3. Οι ποταμογερσαίες αποθέσεις της περιοχής Δήλεσι-Παραλίας Αυλίδος παρουσιάζουν μέτρια υδροπερατότητα ( $K=10^{-3}-10^{-5}$  m/sec) δευτερογενούς πορώδους, η οποία περιορίζεται από αραιές ενστρώσεις αργιλομαργών. Δημιουργούν υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφόρους μέτριας δυναμικότητας.

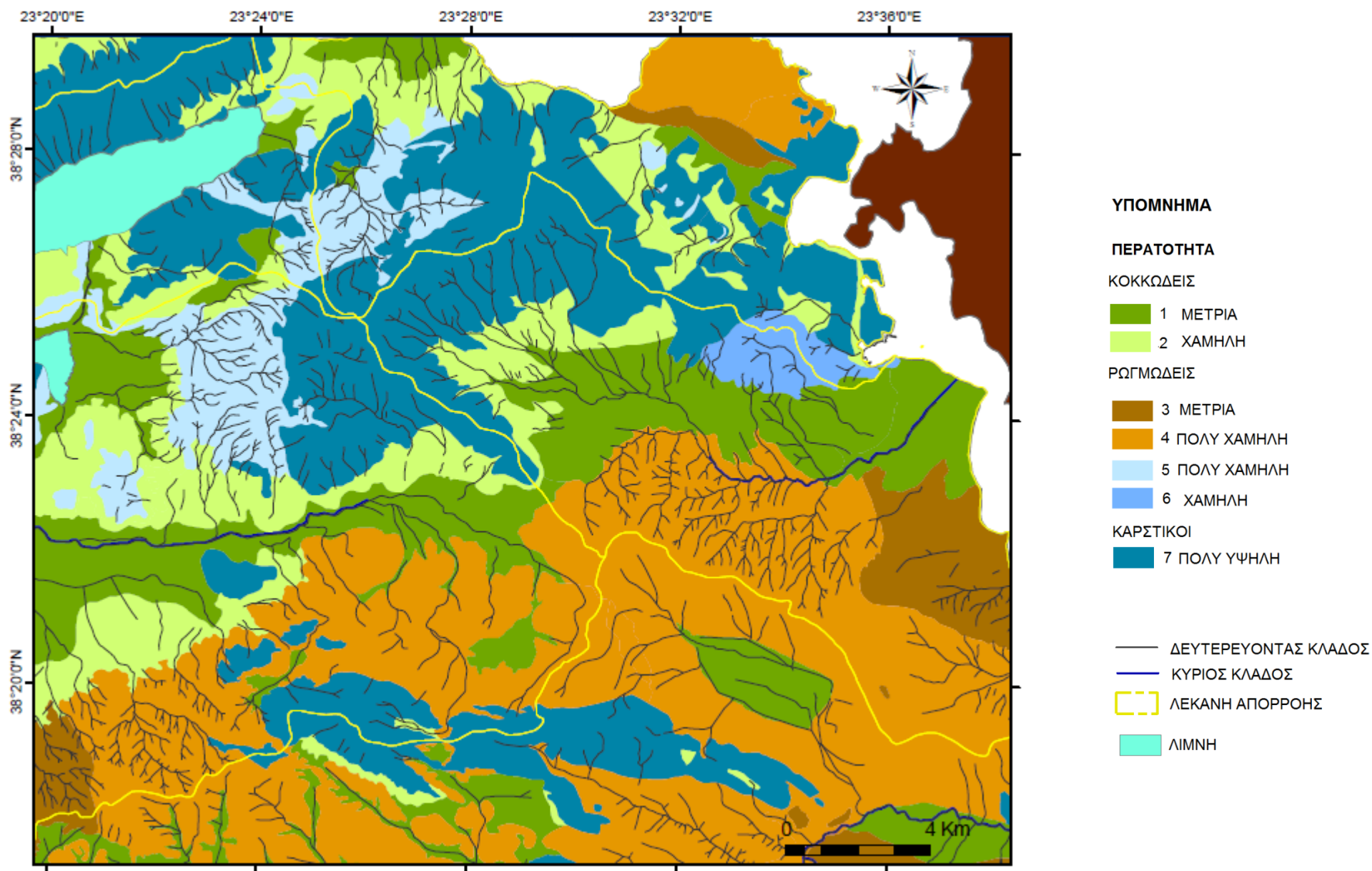
4. Οι υπόλοιποι σχηματισμοί του Νεογενούς θεωρούνται πρακτικά υδροστεγανοί με πολύ χαμηλή υδροπερατότητα ( $K<10^{-7}$  m/sec). Η κίνηση του νερού στη μάζα τους είναι περιορισμένη λόγω της εμφάνισης αργίλο - μαργών και έχουν δημιουργηθεί υδροφόροι μικρού δυναμικού στις ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Εξάιρεση αποτελούν οι αδρομερείς σχηματισμοί που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη.

5. Οι σχηματισμοί του Ηωελληνικού καλύμματος και τα Fe-Ni κοιτάσματα θεωρούνται πρακτικά υδροστεγανά με πολύ χαμηλή υδροπερατότητα ( $K=10^{-6}-10^{-8}$  m/sec). Πρακτικά το ενεργό πορώδες τους είναι μηδέν και δεν επιτρέπουν την κατείσδυση και την κυκλοφορία του νερού. Έχουν υδρο-γεωχημικό ενδιαφέρον λόγω των ορυκτών C1 που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα των υπόγειων νερών (Γιαννουλόπουλος Π., 2008)

6. Ο σχηματισμοί του Κατ. Τριαδικού θεωρείται ημιπερατός με χαμηλή ως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα ( $K=10^{-5}-10^{-7}$  m/sec). Τοπικά δημιουργούνται ελεύθεροι ή υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες μικρής δυναμικότητας

#### **Καρστικοί σχηματισμοί**

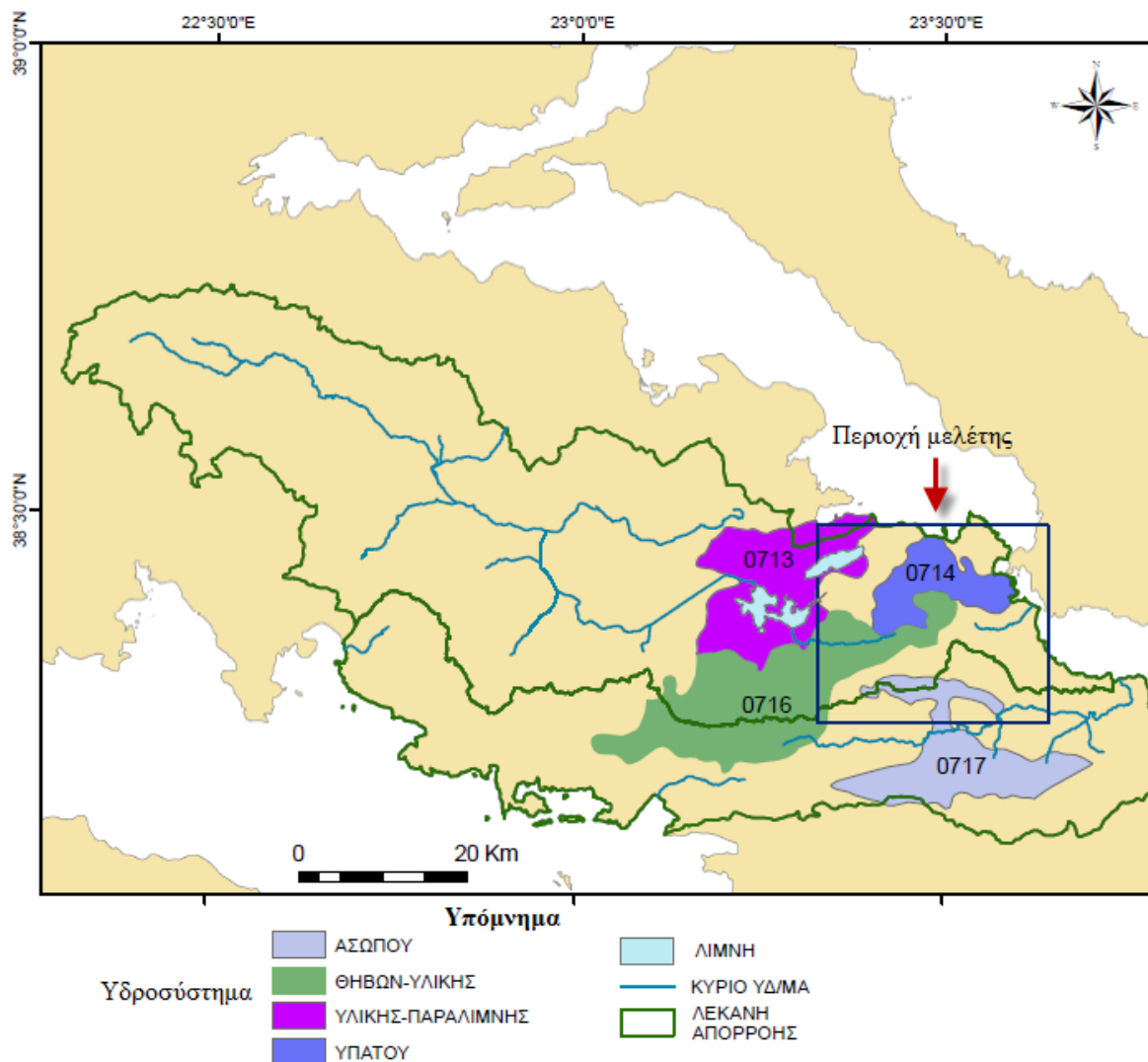
7. Οι Τριαδικο-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι έχουν υψηλή καθαρότητα σε  $\text{CaCO}_3$  (99-100%), είναι έντονα τεκτονισμένοι και αποκαρστωμένοι και έχουν μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης. Έτσι εμφανίζουν υψηλή ως πολύ υψηλή υδροπερατότητα ( $K=10^{-1}-10^{-3}$  m/sec) και δημιουργούν καρστικούς υδροφόρους μεγάλης δυναμικότητας



Σχ.7.4 Υδρογεωλογικός χάρτης (Η διάκριση έγινε με στοιχεία από την μελέτη του ΙΓΜΕ, Δάνδολος κ.α. 2010).

### 7.3 Υδροσυστήματα περιοχής

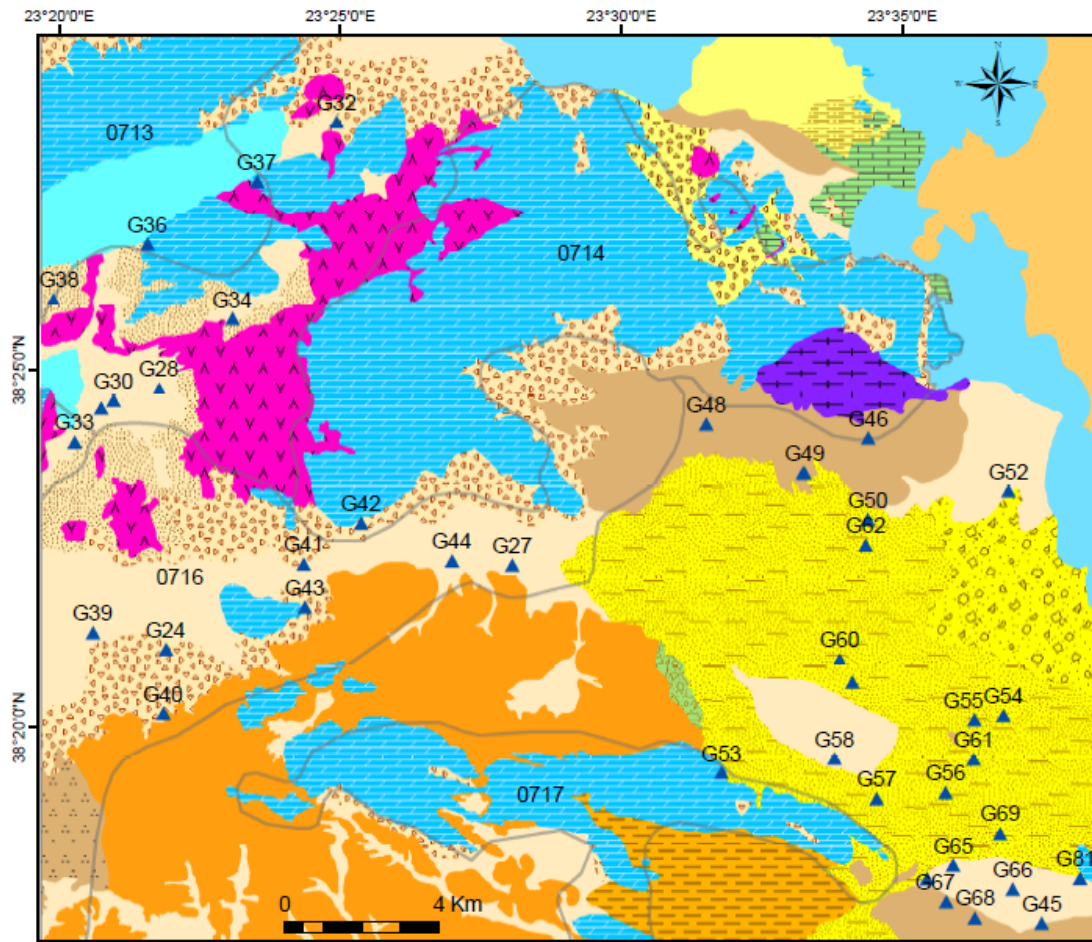
Στο σχ. 7.5 διακρίνονται τα υδροσυστήματα της περιοχής μελέτης, οι λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη, τα ποτάμια του Βοιωτικού Κηφισού και Ασωπού και οι αντίστοιχες λεκάνες που αποστραγγίζουν.



Σχ. 7.5 Λεκάνες απορροής, κύρια υδατορέμματα, λίμνες και υδροσυστήματα στην ευρύτερη περιοχή. Για την σύνταξη του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το geodata.gov.gr.

Στο σχ. 7.6 απεικονίζονται τα υδροσημεία παρακολούθησης της πιεζομετρίας των υδροφόρων. Τα στοιχεία πιεζομετρίας που αναφέρονται παρακάτω προέρχονται από τις μελέτες του ΙΓΜΕ Δάνδολος κ.α., 2010 και Γιαννουλόπουλος Π. (2008) και από τον υδρογεωλογικό χάρτη των Δούνας κ.α. (1982).





Σχ. 7.6 Υδροσημεία παρακολούθησης πιεζομετρίας (Δάνδολος κ.α., 2010 και Γιαννουλόπουλος Π., 2008)

### 7.3.1 Καρστικό σύστημα Υλικής-Παραλίμνης

Αναπτύσσεται στην περιοχή των λιμνών Υλικής και Παραλίμνης και καταλαμβάνει έκταση 230 Km<sup>3</sup>. Η αποξηραμένη λίμνη της Κωπαΐδας και οι δύο προαναφερθείσες λίμνες εμφανίζουν μια κλιμακωτή διάταξη και συνδέονται μέσω ενός υπόγειου συστήματος αγωγών (Παρασκευαΐδης, 1971).

Το σύστημα συνίσταται από τα ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής, με πάχος μεταξύ 100-250 m. Είναι μεγάλης παραγωγικότητας, είναι υπό πίεση και στην ευρύτερη περιοχή το καρστικό δίκτυο είναι πολύ ανεπτυγμένο και φτάνει κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Η περατότητα (K) είναι 500-800 m/sec και η αποθηκευτικότητα (S) 1-3%. Τροφοδοτείται κυρίως από τον Βοιωτικό Κηφισό και δευτερεύοντος από τον Μέλανα, Καλαμίτη, Καναβάρι και πιθανά από μεταγγίσεις γειτονικών υδροφορέων. Η μέση ετήσια τροφοδοσία είναι 330 hm<sup>3</sup> και οι απολήψεις φτάνουν τα 20 hm<sup>3</sup>, αυξάνουν σε περίοδο λειψυδρίας (Δάνδολος κ.α. 2010). Το μεγαλύτερο μέρος της τροφοδοσίας το δέχεται η Υλική 300 hm<sup>3</sup> και οι εκροές της φτάνουν τα 113 hm<sup>3</sup> eydap.gr.

Στην περιοχής μελέτης εντοπίζεται στα ΒΔ στο Πτώο όρος και στις λίμνες Υλική – Παραλίμνη. Αποτελείται από τους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και εμφανίζεται ελεύθερος.

Οι διαφυγές του συστήματος έχουν ΒΑ διεύθυνση προς τον Β Ευβοϊκό κόλπο και σχετίζονται με την διάταξη των σχηματισμών και με την διεύθυνση των ρηγμάτων. Ο όγκος

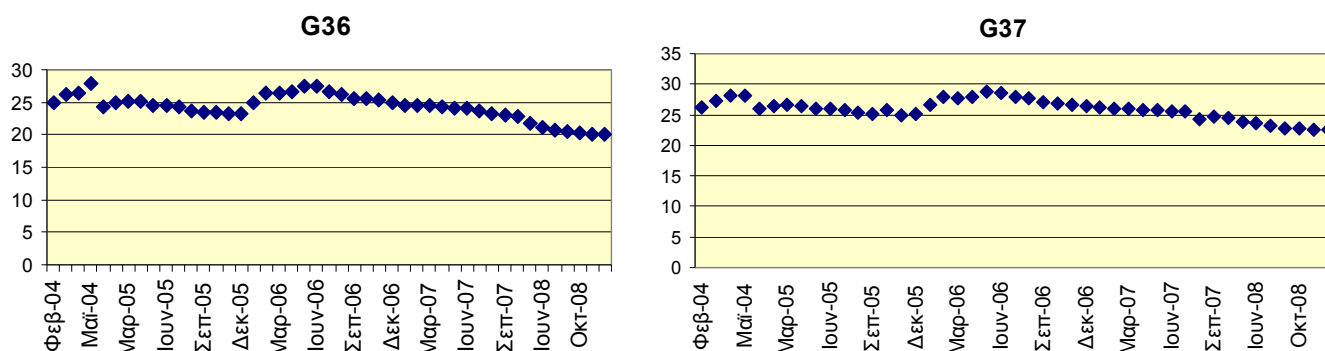
των διαφυγών είναι μεγάλος και είναι ανάλογος της στάθμης των λιμνών. Ενδεικτικό του όγκου διαφυγής είναι οι μεγάλες παροχές (>600 m<sup>3</sup>/h) που παρατηρούνται σε γεωτρήσεις, οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση 2-4 Km από τις λίμνες προς την κατεύθυνση των διαφυγών. Έτσι η πιεζομετρία ακολουθεί την στάθμη των λιμνών (Δάνδολος κ.α. 2010).

Η μέση έκταση της Υλίκης είναι περίπου 22 Km<sup>2</sup>. Ο πυθμένας της βρίσκεται σε υψόμετρο 41 m και στην αρχή της ξηρής περιόδου, η μέση στάθμη της είναι μεταξύ 61 και 64 m. Οι διαφυγές γίνονται μέσω των ασβεστόλιθων που βρίσκονται σε τμήμα του πυθμένα και των πρανών προς Α και ΝΔ. Επειδή βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο χρησιμοποιούνται αντλιοστάσια που καταναλώνουν πολύ ηλεκτρική ενέργεια, για αυτό χρησιμοποιείται για την άρδευση της Αθήνας μόνο σε περιόδους λειψυδρίας (Από το 1959). eydap.gr

Η Παραλίμνη τροφοδοτείται κυρίως από τις υπόγειες διαφυγές της Υλίκης αλλά και τις επιφανειακές, μέσω της διώρυγας Μουρικίου, όταν η στάθμη της Υλίκης είναι πάνω από τα 65 m. Ο πυθμένας της Παραλίμνης είναι στα 28 m. Γύρω από την λίμνη η παροχή των γεωτρήσεων ξεπερνάει τα 100 m<sup>3</sup>/h και η υδροφορία εντοπίζεται σε βάθη μικρότερα των 100 m (Δούνας κ.α., 1982). Διαφυγές εκδηλώνονται προς Α και ΒΑ με μεγάλη υδραυλική κλίση 25-40 ‰ με τις παράκτιες πηγές Λουκίσια, Σκορπονέρια, Ανθηδόνα και άλλες υποθαλάσσιες. Σε περιόδους ξηρασίας στερεύει (π.χ. ξηρασία του 1993). Τέλος χρησιμοποιείται για την ύδρευση της Χαλκίδας

### Πιεζομετρία

Οι γεωτρήσεις G36 και G37 βρίσκονται ανατολικά της Παραλίμνης, σε μικρή απόσταση από αυτήν. Τα πιεζομετρικά δεδομένα των γεωτρήσεων καλύπτουν την περίοδο 2004-2008.



Σχ. 7.7 Διακύμανση της απόλυτης στάθμης γεωτρήσεων του συστήματος Υλίκη – Παραλίμνη.

Στο σχ.7.7 φαίνεται ότι η στάθμη έχει μικρή διακύμανση, περίπου 4 m, πιθανά λόγω των διαφυγών της Παραλίμνης. Επίσης μετά το 2006 παρατηρείται μια πτωτική τάση της στάθμης. Πιθανά σχετίζεται με την περίοδο λειψυδρίας (2006-2008).

### 7.3.2 Καρστικό σύστημα Ασωπού

Έχει έκταση 189 Km<sup>2</sup> και καταλαμβάνει την ΒΑ και Α περιοχή της Πάρνηθας. Στην περιοχή μελέτης συνίσταται από τους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και το πάχος τους ξεπερνάει τα 250m. Η περατότητα (K) είναι 150-400 m/sec και η αποθηκευτικότητα (S) 3-5%. Οι γεωτρήσεις έχουν παροχή άντλησης 80-300 m<sup>3</sup>/h, από βάθος 200 m.

Η φυσική τροφοδοσία είναι > 90 hm<sup>3</sup>/y και γίνεται από τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας. Τα ρυθμιστικά αποθέματα είναι περίπου 80 hm<sup>3</sup>/y και οι απολήψεις φτάνουν τα 20 hm<sup>3</sup>/y. Από τον χάρτη των Δούνα κ.α. (1982) η στάθμη στα περιβάλλοντα Νεογενή βρίσκεται ψηλότερα, αλλά οι πλευρικές διηθήσεις πρέπει να είναι λίγες αφού η περατότητα

τους είναι πολύ χαμηλή. Είναι μεγάλης παραγωγικότητας και έχει ιδιαίτερη σημασία αφού σε περίοδο λειψυδρίας τροφοδοτεί τη Αθήνα. (Δάνδολος κ.α. 2010).

Δυτικά των Οινοφύτων οι Τριαδικο-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν το υπόβαθρο των Νεογενών και φαίνεται να έχουν ανυψωθεί μέσω κάποιων ρηγμάτων. Σε αυτή την θέση από την πιεζομετρία εκτιμάται ότι υπάρχει μια καταβόθρα, μέσω της οποίας μέρος των υπόγειων νερών συστήματος διοχετεύονται προς τα ανατολικά στην Μαυροσουβάλα και καταλήγουν στις υφάλμυρες πηγές του Καλάμου (Γιαννουλόπουλος Π., 2008).

### Πιεζομετρία

Την ξηρή περίοδο του 1982 η πιεζομετρική επιφάνεια ξεπέρασε τα 75 m στην περιοχή της Καλλιθέας (Δούνας κ.α. 1982).

### 7.3.3 Καρστικό σύστημα Ύπατου

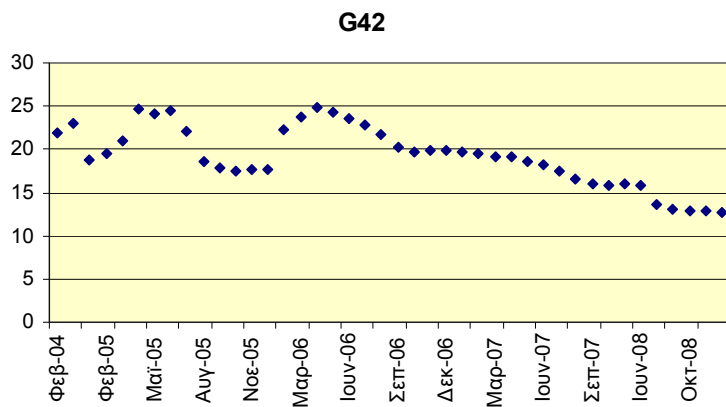
Εκτείνεται από το όρος Κτύπας ως το Βαθύ Αυλίδας και η έκτασή του είναι 99 Km<sup>2</sup>. Συνίσταται από τους Τριαδικο-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, το πάχος των οποίων είναι 200 -500 m. Η περατότητα (K) είναι 150-300 m/sec και η αποθηκευτικότητα (S) 3-5%. Εξαιτίας παρεμβολών υδατοστεγανών σχηματισμών και επιπεύσεων, στους αλπικούς σχηματισμούς, έχουν διαμορφωθεί διάφοροι υδροφόροι οι οποίοι είτε είναι ανεξάρτητοι είτε επικοινωνούν μεταξύ τους.

Σύμφωνα με τον υδρογεωλογικό χάρτη των Δούνα κ.α. (1982) το σύστημα οριοθετείται στα δυτικά από την εφίπλευση των ασβεστόλιθων στον ηφαιστειο-ιζηματογενή σχηματισμό, η οποία ταυτίζεται με τον υπόγειο υδροκρίτη. Η τροφοδοσία γίνεται από το νότιο τμήμα του συστήματος μέσω των διαφυγών του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης, από τα νεογενή, από το σύστημα του Ασωπού και από τα κατεισδύοντα κατακρημνίσματα. Έχει μικρή παραγωγικότητα και η παροχή των γεωτρήσεων στο νότιο τμήμα φτάνει τα 50 με 100 m<sup>3</sup>/h.

Η ροή των υδάτων είναι προς τα Β-ΒΑ και η κλίση της πιεζομετρίας είναι περίπου 2<sup>0</sup>/100. Οι διαφυγές είναι κυρίως προς τον Β Ευβοϊκό. Αποτελεί την κατώτερη και κυριότερη ζώνη αποστράγγισης της περιοχής (πεδιάδα Θηβών, Υλίκη και ΝΑ Ελικώνας). Τα ρυθμιστικά αποθέματα υπολογίζονται σε 20 hm<sup>3</sup>/y και κάθε χρόνο η υδροληψία φτάνει τα 5 hm<sup>3</sup>.

### Πιεζομετρία

Στοιχεία πιεζομετρίας υπάρχουν από μια γεώτρηση, την G42, η οποία βρίσκεται στο νότιο άκρο του συστήματος. Η διακύμανση της οροφής του υδροφόρου κυμαίνεται γενικά μεταξύ 15 και 25 m περίπου και μετά το 2006 παρατηρείται μια πτώση της στάθμης.



Σχ. 7.8 Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε γεώτρηση στο σύστημα Ύπατου (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κ.α, 2010)

Την ξηρή περίοδο του 1982 σε αυτή την θέση η στάθμη ήταν μεγαλύτερη από 30 m και σύμφωνα με τα στοιχεία του διαστήματος 2004-2008, η μέση στάθμη της ξηρής περιόδου είναι κάτω από τα 20 m. Οπότε σε μια 25ετία περίπου η στάθμη έχει πέσει 10 m. Τέλος μετά το 2006 η στάθμη έχει πτωτική στάθμη.

#### 7.3.4 Κοκκώδες σύστημα Θηβών-Υλίκης

Βρίσκεται στην περιοχή γύρω από την Υλίκη και στα πεδινά τμημάτων Βαγίων και Θήβας. Η έκταση του είναι 340 km<sup>2</sup>. Η κατείσδυση είναι 24% περίπου και η εξατμισιοδιαπνοή 58%. Αποτελείται κυρίως από νεογενείς αποθέσεις, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 50 ως 250 m. Κοντά στα όρια των ορεινών όγκων και στα ρέματα απαντούν και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Τα υδραυλικά στοιχεία είναι K=15-50 m/sec και S= 10-20%.

Η φυσική ετήσια εισροή είναι 120 hm<sup>3</sup> και τροφοδοτείται κυρίως από τις διαφυγές της Υλίκης με υδραυλική κλίση 5 ‰, και από τα καρστικά συστήματα Ελικώνα Ασωπού. Τα ρυθμιστικά αποθέματα υπολογίζονται σε 40 hm<sup>3</sup>/y και οι απολήψεις σε 30 hm<sup>3</sup>/y. Η παροχή άντλησης κυμαίνεται μεταξύ 30-80 m<sup>3</sup>/h από βάθος 150 m και θεωρείται μέσης παραγωγικότητας. Το σύστημα αποστραγγίζεται προς Β, ΒΑ (Υπατο) και προς ΝΑ (Οινόφυτα) (Δάνδολος κα, 2010).

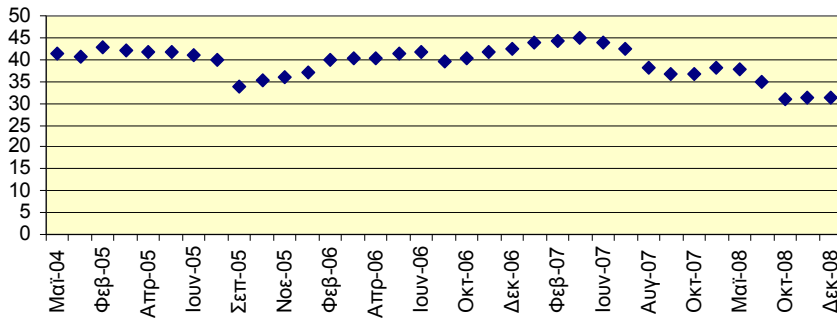
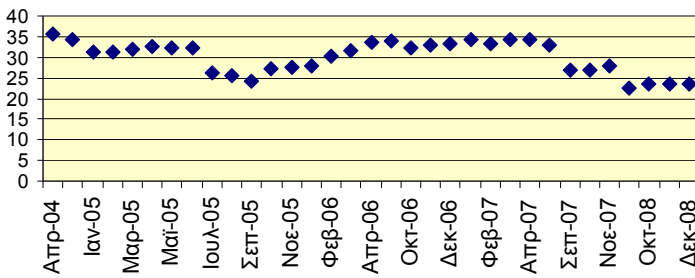
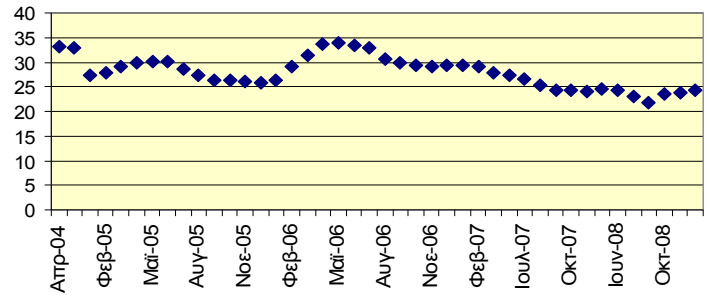
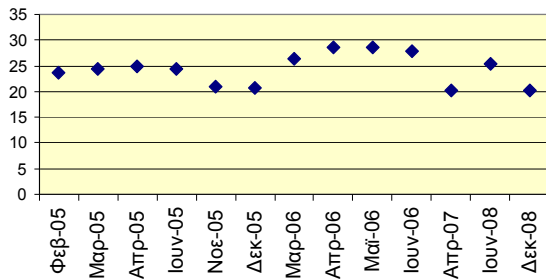
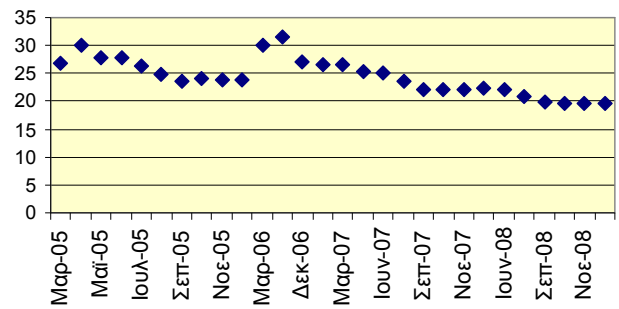
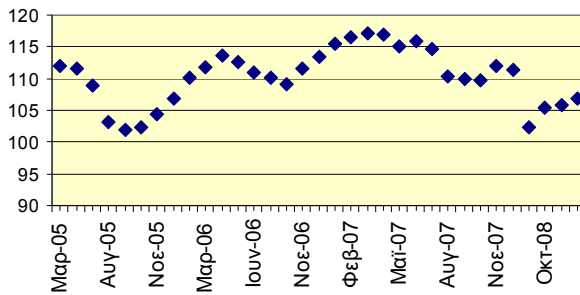
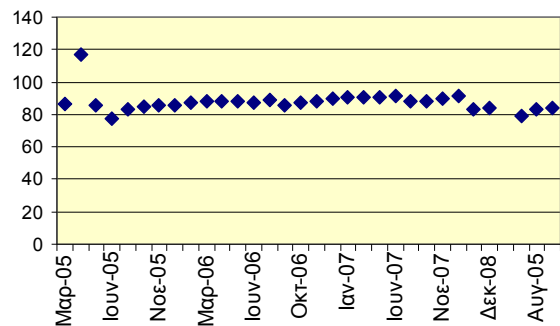
#### Πιεζομετρία

Στο σχ. 7.11 φαίνεται ότι στην περιοχή Άρμα-Ελεώνας, την ξηρή περίοδο του 1982, η στάθμη στον κοκκώδη υδροφορέα έφτανε τα 170 m και η ροή είχε κατεύθυνση προς τα ΒΔ με υδραυλική κλίση 20 ‰. Στην ίδια περιοχή κάτω από τα νεογενή αναπτύσσεται ένας καρστικός υδροφόρος ο οποίος φαίνεται ότι σχετίζεται με το σύστημα του Ασωπού και του Υπατου. Οι οροφές των 2 υδροφόρων είχαν μια υψομετρική διαφορά της τάξεως των 100 m. Από την σύγκριση στοιχείων μεταξύ των περιόδων 1982 και 2004-08 φαίνεται ότι η στάθμη έχει υποβιβαστεί πάνω από 10 m σε διάστημα μιας 25ετίας περίπου (πιν. 7.9).

**Πιν. 7.9** Σύγκριση πιεζομετρικών στοιχείων διαφορετικών περιόδων.

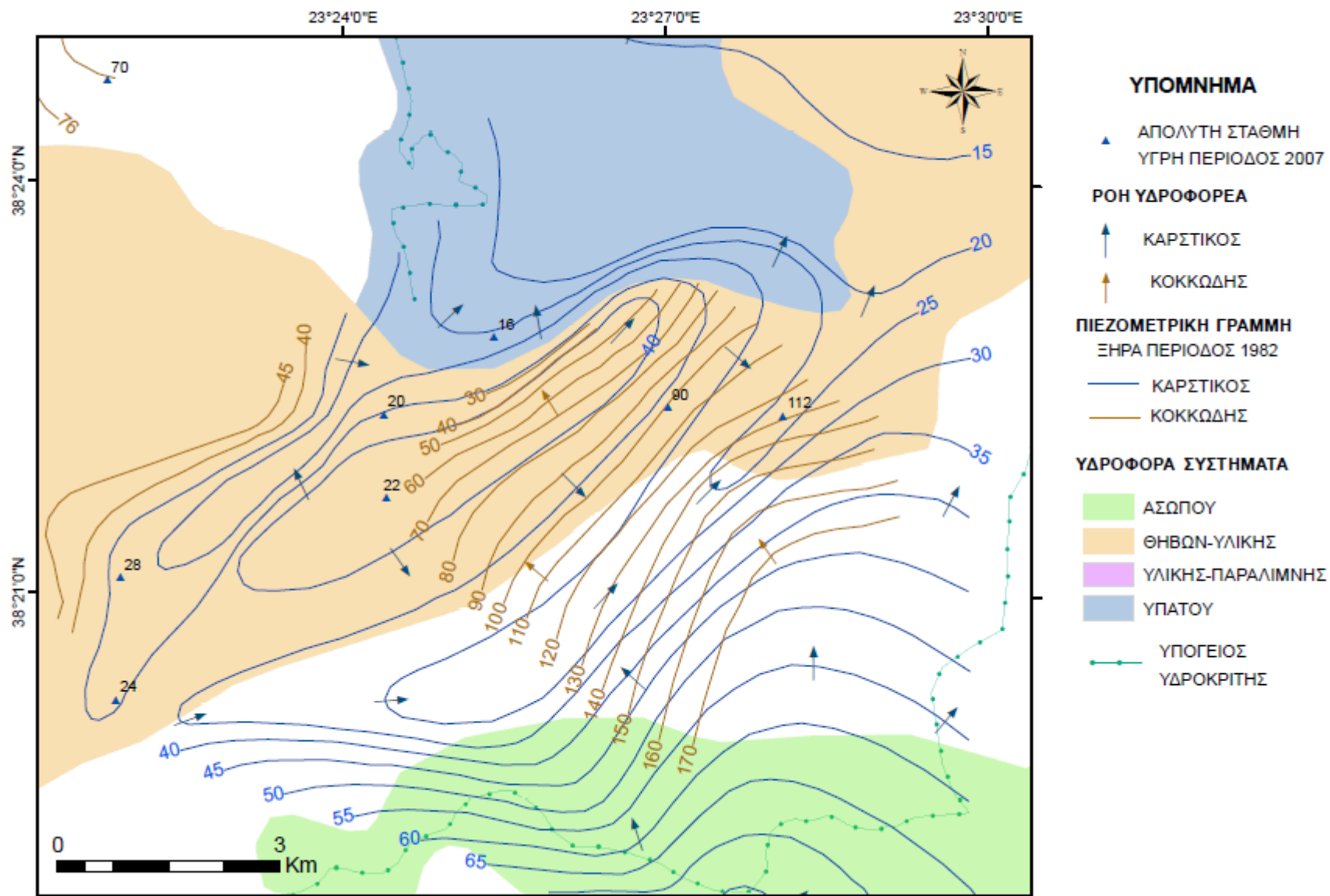
ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟ	ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 82	ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 04-08	Γεωλογικά στοιχεία
G24	35	25	Νεογενή
G27	145	105	Τεταρτογενή, Νεογενή
G39	47	35	Τεταρτογενή Νεογενή
G43	40	21	Ασβεστόλιθοι
G44	100	84	Τεταρτογενή, Νεογενή

Στο σχ. 7.10 φαίνεται η διακύμανση της απόλυτης στάθμης, την περίοδο 2004-2008, σε διάφορα σημεία. Σε όλες τις γεωτρήσεις, εκτός από την G44, η διακύμανση της στάθμης μεταξύ της ξηρής και της υγρής περιόδου είναι περίπου 10 m. Επίσης εμφανίζεται, γενικά μια πτωτική τάση μετά το 2006.

**G39****G24****G40****G41****G43****G27****G44**

**Σχ. 7.10** Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε γεωτρήσεις του συστήματος Θηβών-Υλίκης. (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010)

Η μεταβολή της πιεζομετρίας σε ετήσια βάση είναι γενικά μικρή, επειδή το σύστημα τροφοδοτείται από το υδροσύστημα Υλίκης - Παραλίμνης.



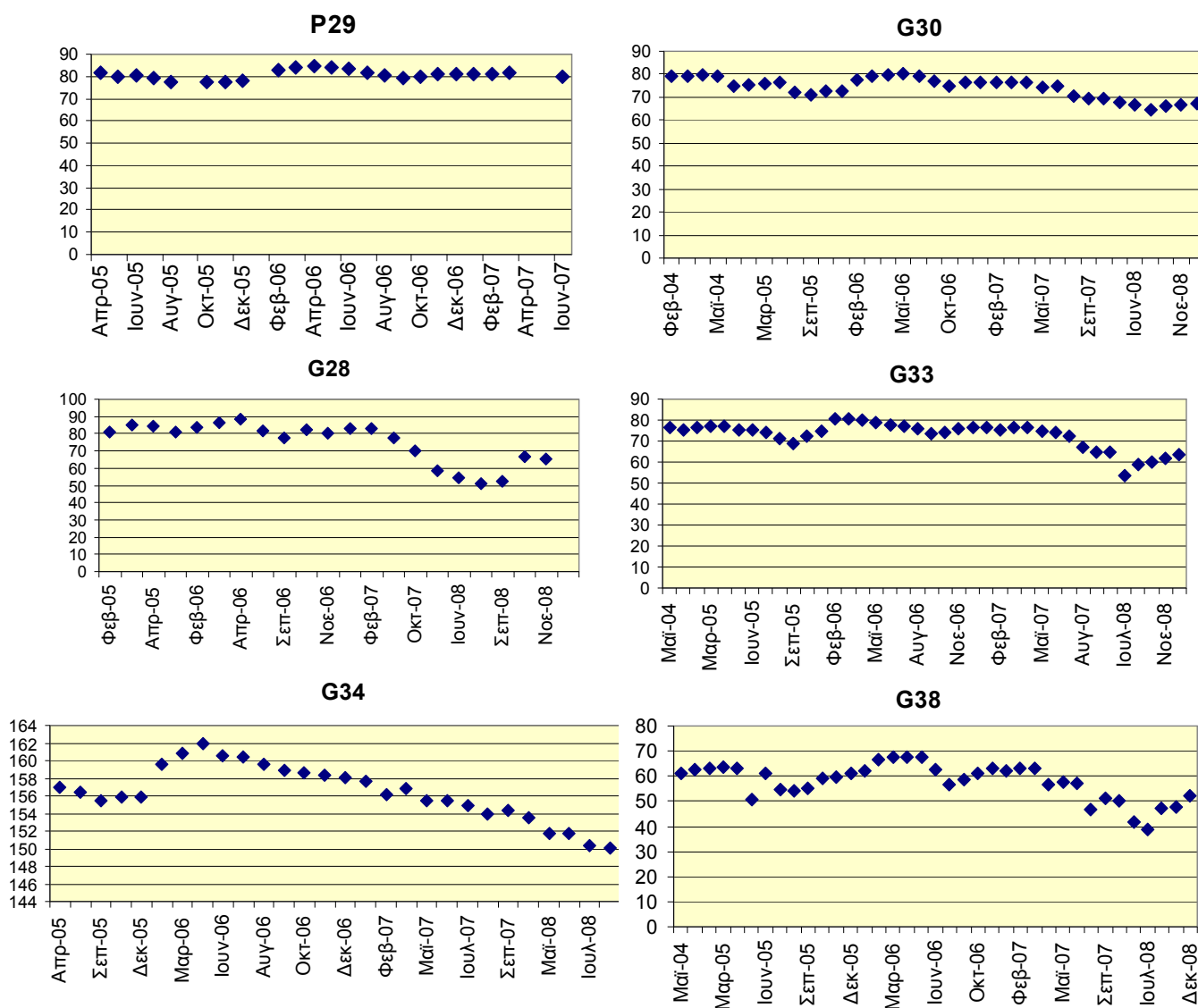
Σχ. 7.11 Πιεζομετρικές καμπύλες σε καρστικό και κοκκώδη υδροφόρα Δούνας (κ.α., 1982) και απόλυτη στάθμη σε διάφορα υδροσημεία την υγρή περίοδο του 2007 (Δάνδολος κ.α., 2010)

### 7.3.5 Τοπικοί υδροφορείς

#### Περιοχή ανατολικά του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης

Τα υδροσημεία P29, G30, G28, G33 και G34 βρίσκονται στα ανατολικά του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης, σε αλλουβιακές αποθέσεις (σύμφωνα με τον λόγο Mg/Ca βρίσκονται σε πυριτικά πετρώματα) και από την γεωλογία της περιοχής φαίνεται ότι υπέρκεινται του Ηωελληνικού καλύμματος.

Από τα πιεζομετρικά στοιχεία φαίνεται ότι διαμορφώνονται διάφοροι ανεξάρτητοι υδροφόροι. Η στάθμη σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζει σταθερότητα και σε άλλες έχει μια πτωτική τάση μετά το 2006. Οι οροφές των υδροφόρων βρίσκονται ψηλότερα από το καρστικό σύστημα Υλίκης-Παραλίμνης, οπότε το τροφοδοτούν.

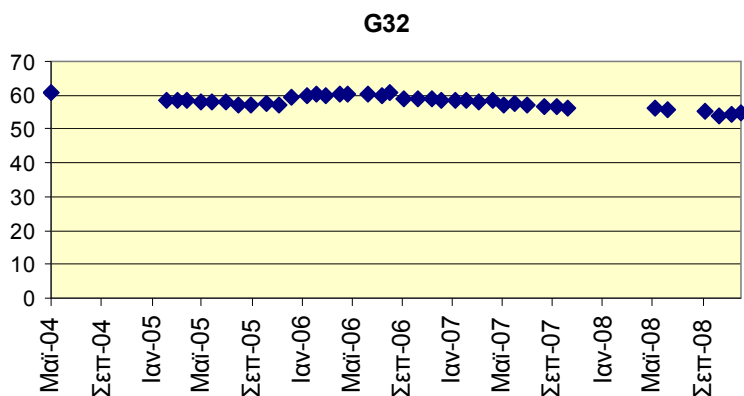


Σχ. 7.12 Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε υδροσημεία ανατολικά του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010).

#### Παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκός

Η γεώτρηση G32 βρίσκεται ΒΑ της Παραλίμνης και απέχει 2 Km από την ακτή. Στην περιοχή βρίσκονται πλευρικά κορήματα και ο ιοντικός λόγος δείχνει ότι ο υδροφόρος είναι δολομιτικός. Οπότε πιθανά σε μεγαλύτερο βάθος συναντάει τον ανθρακικό σχημα-

τισμό. Η στάθμη εμφανίζει μεγάλη σταθερότητα, πιθανά λόγω των διαφυγών της λίμνης, και βρίσκεται πάνω από τα 55 m. Η στάθμη βρίσκεται ψηλότερα από την αντίστοιχη στο καρστικό σύστημα Ύπατου, που βρίσκεται ανατολικότερα. Πιθανά οι 2 υδροφόροι δεν σχετίζονται και διαχωρίζονται από το Ηωελληνικό κάλυμα.



**Σχ. 7.13** Διακύμανση της απόλυτης στάθμης γεώτρησης ΒΑ του συστήματος Υλίκη –Παραλίμνη. (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010)

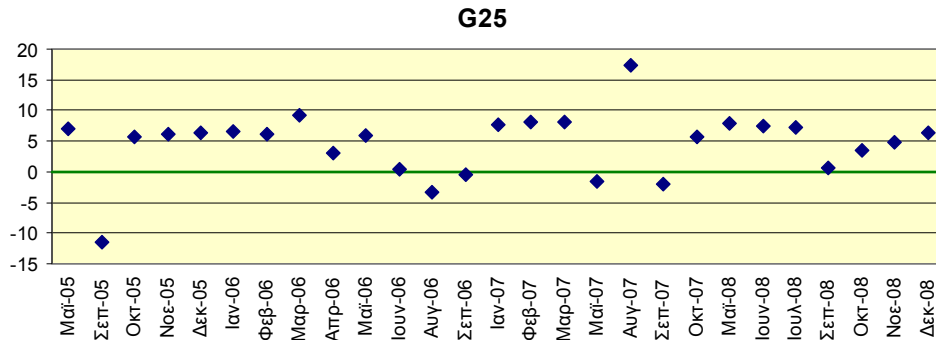
### Παράκτια περιοχή Ν Ευβοϊκός

Στην παράκτια περιοχή του Ν ευβοϊκού από το Βαθύ μέχρι τα Οινόφυτα αναπτύσσονται 2 υδροφόροι ορίζοντες **1.** στις πλειστοκαινικές και αλλουβιακές αποθέσεις και **2.** στις νεογενείς αποθέσεις. Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί βρίσκονται Β και Ν της προαναφερθείσας περιοχής και σύμφωνα με τον Γιαννούλοπουλο (2008) ο υδροφόρος ορίζοντας που βρίσκεται στα Β εκμεταλλεύεται από γεωτρήσεις βάθους μεγαλύτερο των 100-150 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υποβιβάζεται η στάθμη, ακόμη και κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Αυτό φαίνεται και στην γεώτρηση G26 (σχ. 7.15). Στους νεογενείς σχηματισμούς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον έχουν 1) οι μαργαϊκοί και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι που βρίσκονται στα ανώτερα μέλη των μαργών της περιοχής Συκάμινου και 2) τα κροκαλοπαγή που συναντάμε σε μεγάλα βάθη. Στην περιοχή Σχηματαρίου-Οινοφύτων οι εκμεταλλεύσιμες υδροφορίες βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα των 100-150m. Η επικρατέστερη κίνηση σε αυτούς τους υδροφορείς είναι προς τα ΒΑ.

Σύμφωνα με τον λόγο Mg/Ca η πλειοψηφία των γεωτρήσεων βρίσκονται σε πυριτικά πετρώματα, εκτός από τις γεωτρήσεις G47, G48, G56, G64, G68 και G69 οι οποίες φαίνεται ότι βρίσκονται και σε ανθρακικά πετρώματα. Οι 2 πρώτες βρίσκονται κοντά στο Ν άκρο του καρστικού συστήματος Ύπατου και οι άλλες Δ των Οινοφύτων, στην περιοχή που πιθανά έχουν ανυψωθεί ασβεστόλιθοι.

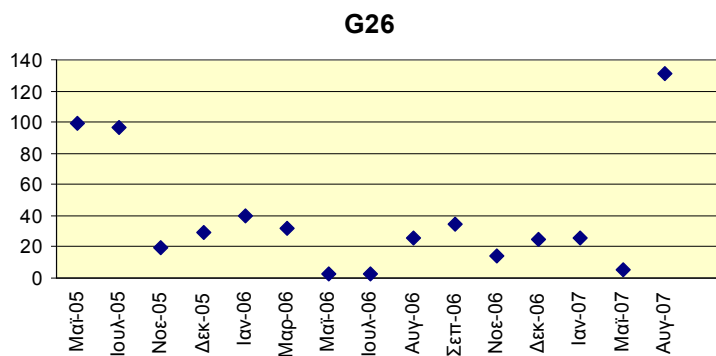
Κοντά στον οικισμό Φάρος, σε απόσταση 1 Km από την ακτή, βρίσκεται η γεώτρηση G25. Φτάνει σε βάθος -102 m και η στάθμη κυμαίνεται μεταξύ -5 και 10m περίπου (σχ. 7.14). Οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται την ξηρή περίοδο και είναι ενδεικτικές των υπεραντλήσεων που γίνονται, λόγω αρδεύσεων. Στην περιοχή υπάρχουν ετήσιες καλλιέργειες και ελαιώνες.





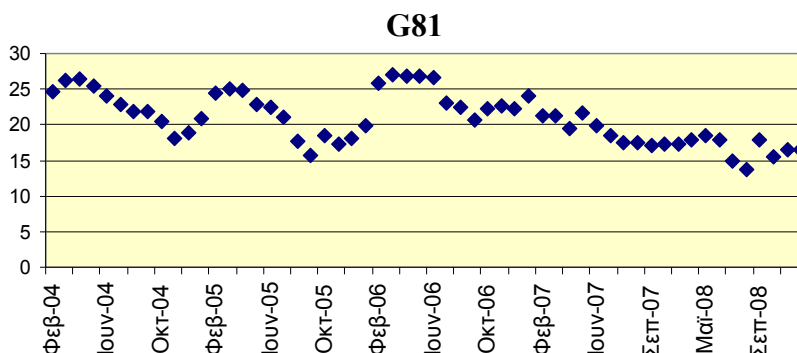
**Σχ. 7.14** Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε γεώτρηση στην παράκτια περιοχή του Ν. Ευβοϊκού (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010).

Η γεώτρηση G26 βρίσκεται δυτικότερα από την G25 σε απόσταση περίπου 5 Km από την ακτή. Έχει γίνει στις πλειστοκαινικές αποθέσεις και φτάνει σε βάθος -68m. Η στάθμη παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση, την υγρή περίοδο μπορεί να ξεπεράσει τα 100m ενώ την ξηρή φτάνει κοντά στην θαλάσσια στάθμη (σχ. 7.15). Πιθανά πρόκειται για κάποιο τοπικό υδροφόρο και η μεγάλη διαφορά στην πιεζομετρία οφείλεται στις αρδευτικές αντλήσεις και στην μικρή δυναμικότητα και τροφοδοσία του υδροφόρου.



**Σχ. 7.15** Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε γεώτρηση στην παράκτια περιοχή του Ν. Ευβοϊκού (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010).

Η γεώτρηση G81 βρίσκεται κοντά στα Οινόφυτα, περίπου 6 Km από την ακτή. Διατρύπαι τις τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις και φτάνει σε βάθος -67 m. Πιθανά συναντάει και τους Τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους, αφού φαίνεται πως έχουν ανυψωθεί στην περιοχή. Η στάθμη κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25 m περίπου.



**Σχ. 7.16** Διακύμανση απόλυτης στάθμης σε γεώτρηση στην παράκτια περιοχή του Ν. Ευβοϊκού (Πιεζομετρικά στοιχεία: Δάνδολος κα, 2010).

## Περιοχή μεταξύ των συστημάτων Θηβών-Υλίκης και Ασωπού

Στην περιοχή βρίσκονται οι κατω-Πλειοκαινικές αποθέσεις και συναντάμε τις γεωτρήσεις G35, G36 και G37. Σε μεγαλύτερο βάθος πιθανά αναπτύσσεται ένας καρστικός υδροφόρος. Ενδεικτική είναι η γεώτρηση G37 η οποία φαίνεται ότι βρίσκεται και σε ασβεστόλιθους.

## 8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

### 8.1 Δειγματοληψία

Επειδή οι ταχύτητες κίνησης και ανάμειξης στα υπόγεια υδροφόρα συστήματα είναι γενικά πολύ μικρές, οι μεταβολές στην σύσταση του νερού μπορούν να ελεγχθούν με ετήσια ή εποχιακή δειγματοληψία. Αν ο υδροφόρος αναπτύσσεται σε καρστικοποιημένους σχηματισμούς ή αν υπάρχουν προβλήματα ρύπανσης, όπως βακτηρίδια και υψηλές συγκεντρώσεις Fe (λόγω της οξείδωσης του περιβλήματος της γεώτρησης) πρέπει να γίνεται πιο συχνά δειγματοληψία. Στις αρδευτικές γεωτρήσεις τα δείγματα πρέπει να συλλέγονται κατ' ευθείαν μέσα από αυτές. Γιατί όταν το νερό διέρχεται μέσα από τις σωληνώσεις και τα συστήματα διήθησης μπορεί να επηρεαστεί όσο αφορά το pH, τις συγκεντρώσεις βακτηρίων, το Fe και τα ιχνοστοιχεία.

Η μέτρηση του επιπέδου του νερού είναι πολύ σημαντική. Γιατί σε πολλές περιπτώσεις η ποιότητα του νερού παρουσιάζει μεγάλες διαφορές με το βάθος, ακόμα και σε μικρή κλίμακα. Αυτό συμβαίνει γιατί στα περισσότερα ιζήματα η οριζόντια περατότητα είναι μεγαλύτερη από την κατακόρυφη, έτσι το νερό που βρίσκεται σε ορισμένο στρώμα αναπτύσσει διαφορετικά χημικά χαρακτηριστικά από τα υποκείμενα ή υπερκείμενα. Οι γεωτρήσεις συνήθως αντλούν νερό από διαφορετικά στρώματα (Hiem John, D, 1994).

Όταν κάποια γεώτρηση έχει να χρησιμοποιηθεί καιρό δημιουργούνται στάσιμα νερά, αυτά πρέπει να απομακρυνθούν για να πάρουμε δείγμα. Έτσι η γεώτρηση πρέπει να αδειάσει και να ξαναγεμίσει αρκετές φορές (συνήθως 2 με 4 είναι αρκετές) ώστε το νερό να είναι αντιπροσωπευτικό του υδροφόρου. Καθώς η γεώτρηση αδειάζει και ξαναγεμίζει μετράμε το pH, Eh, EC και την θερμοκρασία, όταν αυτές οι τιμές σταθεροποιηθούν έχει επέλθει ισορροπία στο σύστημα. Στη συνέχεια μπορούμε να πάρουμε δείγμα ή το πολύ σε 6 ώρες αφού έχει γίνει η εκκαθάριση της γεώτρησης (Harter Thomas, 2003).

Στα πλαίσια του ελέγχου ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης έγινε δειγματοληψία από 22 υδροσημεία. Αυτά διακρίνονται σε 18 γεωτρήσεις, 3 πηγάδια και μία πηγή. Η δειγματοληψία έγινε τον Αύγουστο του 2012 (περίοδος χαμηλής στάθμης). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία αναλύσεων από 3 μελέτες, ώστε να διευρυνθεί το δίκτυο αναλύσεων.

1. Δάνδολος Η., Ζοράπας Β., Γκιντώνη Ε. (2010) Καταγραφή και αποτίμηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού και υπολεκανών νομών Βοιωτίας -Εύβοιας (11 δείγματα).

2. Τσαραμπάρης Χαραλάμπος (2010) Υδρογεωλογικό καθεστώς στον άνω ρού του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας - διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων (4 δείγματα).

3. Γιαννουλόπουλος Π. (2008) Αναγνωριστική υδρογεωλογική-υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας (36 δείγματα).

Στους παρακάτω πίνακες έχει δοθεί ένας κωδικός σε κάθε υδροσημείο: το πρόθεμα G συμβολίζει γεώτρηση, το P πηγάδι και το S πηγή.

**Πιν. 8.1** Γενικά χαρακτηριστικά υδροσημείων

ΥΔΡΟΣ.	ΥΨΟΜ.	ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΒΑΘΟΣ	X	Y	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΔΕΙΓΜ.
<b>G1</b>	315			450707	4239866	Καλλιθέα	5/8/12
<b>G2</b>	312			449864	4240253	Καλλιθέα	5/8/12
<b>G3</b>	152	110	42	444379	4244131	Ύπατο	5/8/12
<b>G4</b>	133	180	-47	445950	4244808	Ύπατο	5/8/12
<b>G5</b>	130	220	-90	446158	4246026	Ύπατο	5/8/12
<b>P6</b>	120			446679	4244980	Ύπατο	5/8/12
<b>G7</b>	148			447664	4245283	Ύπατο	5/8/12
<b>G8</b>	129			447112	4246784	Ύπατο	5/8/12
<b>G9</b>	127			446511	4246660	Ύπατο	5/8/12
<b>G10</b>	135			446381	4246975	Ύπατο	5/8/12
<b>G11</b>	143			448796	4247681	Ύπατο	5/8/12
<b>G12</b>	167			451283	4248720	Ελεώνας	5/8/12
<b>G13</b>	166			453783	4247680	Ελεώνας	5/8/12
<b>G14</b>	306			453116	4240461	Καλλιθέα	5/8/12
<b>G15</b>	298	200	98	454717	4240306	Ασωπία	5/8/12
<b>G16</b>	297			454777	4239462	Ασωπία	5/8/12
<b>G17</b>	197			457945	4251542	Καλοχώρι	5/8/12
<b>P18</b>	52			452900	4260267	Λουκίσια	5/8/12
<b>P20</b>	2	9	-7	458421,2	4259048	Δροσιά	5/8/12
<b>P21</b>	9	20	-11	459467,2	4259875	Δροσιά	5/8/12
<b>G22</b>	5	45	-40	459127,1	4259692	Δροσιά	5/8/12
<b>S23</b>	565			452235,2	4257757	Λουκίσια	5/8/12

**Πιν. 8.2** Γενικά χαρακτηριστικά υδροσημείων (Δάνδολος Η., Ζοράπας Β., Γκιντώνη Ε., 2010).

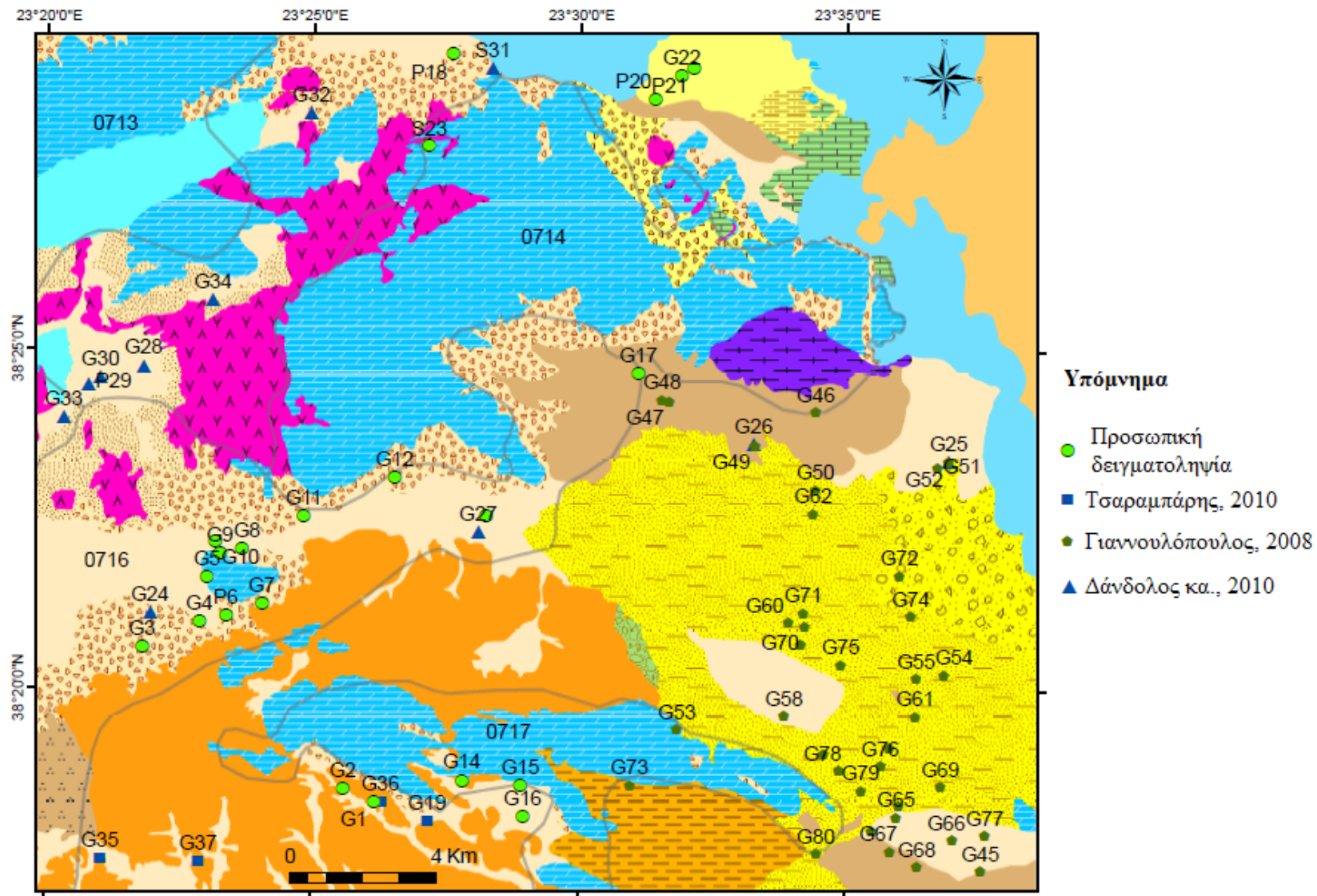
ΥΔΡΟ.	ΧΡΗΣΗ	ΥΨΟΜ.	ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΒΑΘΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /h)	X	Y	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΔΕΙΓΜ.
G24	Άρδευση	124,23	180	-55,77	60	444603,1	4245035	Ύπατο	29/5/05
G25	Ύδρευση	18,3	120	-101,7	40	466416,6	4249121	Φάρος	18/5/05
G26	Ύδρευση	131,7	200	-68,3	20	461088,3	4249604	Βαθύ	29/5/05
G27	Άρδευση	172	200	-28	50	453564,5	4247220	Ελεόνας	15/7/08
G28	Άρδευση	119,2	130	-10,8	80	444427,1	4251762	Μουρίκι	22/6/06
P29	Άρδευση	90,8	40	50,8	50	442929,8	4251259	Μουρίκι	18/4/05
G30	Ύδρευση	91,8	138	-46,2	200	443249	4251461	Μουρίκι	25/10/07
S31		1,5			590	453967,5	4259877	Λουκίσια	18/4/05
G32	Ύδρευση	121,7	100	21,7	60	449014,1	4258659	Λουκίσια	18/4/05
G33	Άρδευση	81,14	76	5,14	60	442239,8	4250381	Μουρίκι	18/4/05
G34	Άρδευση	194	150	44	65	446323,4	4253573	Πλατανάκια	18/4/05

**Πιν. 8.3.** Γενικά χαρακτηριστικά υδροσημείων (Τσαραμπάρης Χ., 2010).

ΥΔΡΟΣ.	ΥΨΟΜ.	ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΒΑΘΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /h)	X	Y	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΔΕΙΓΜ.
G19	309	300	9	20	452171	4239368	Καλλιθέα	15/6/09
G35	295	220	75	15	443222	4238359	Νεοχωράκιο	10/6/09
G36	234	200	34	10	450901	4239890	Καλλιθέα	10/6/09
G37	271	215	56	20	445909	4238289	Νεοχωράκιο	3/7/09

**Πιν. 8.4** Γενικά χαρακτηριστικά υδροσημείων (Γιαννουλόπουλος Π., 2008).

ΥΔΡΟΣ.	ΥΨΟΜ.	ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΒΑΘΟΣ	X	Y	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΔΕΙΓΜ.
G45	87			467272	4237963	Οινόφυτα	30/11/07
G46	102			462786	4250492	Βαθύ	5/12/07
G47	157	170	-13	458780	4250813	Βαθύ	5/12/07
G48	161			458590	4250848	Βαθύ	5/12/07
G49	132			461137	4249595	Βαθύ	5/12/07
G50	60			462772	4248390	Αυλίδα	5/12/07
G51	15			466115	4248964	Φάρος	5/12/07
G52	16			466412	4249122	Φάρος	5/12/07
G53	260	300	-40	458990	4241844	Τανάγρα	6/12/07
G54	106	160	-54	466280	4243325	Σχηματάρι	7/12/07
G55	131			465533	4243213	Σχηματάρι	7/12/07
G56	122			464781	4241327	Σχηματάρι	7/12/07
G57	118	260	-142	462997	4241167	Σχηματάρι	7/12/07
G58	137	90	47	461912	4242208	Σχηματάρι	7/12/07
G59	160	170	-10	462377	4244177	Σχηματάρι	7/12/07
G60	182	280	-98	462042	4244765	Σχηματάρι	7/12/07
G61	118	200	-82	465505	4242185	Σχηματάρι	12/12/07
G62	69			462716	4247726	Καλοχώρι	14/1/08
G63	87			465037	4239743	Οινόφυτα	21/1/08
G64	91			464301	4239091	Οινόφυτα	21/1/08
G65	82			464976	4239454	Οινόφυτα	21/1/08
G66	79			466517	4238831	Οινόφυτα	21/1/08
G67	100	150	-50	464797	4238514	Οινόφυτα	22/1/08
G68	102	150	-48	465543	4238096	Οινόφυτα	22/1/08
G69	97	108	-11	466187	4240274	Οινόφυτα	25/1/08
G70	184			462482	4244651	Σχηματάρι	3/12/2007
G71	189			462445	4245015	Σχηματάρι	3/12/2007
G72	107			465073	4246028	Σχηματάρι	5/12/2007
G73	239			457706	4240335	Τανάγρα	6/12/2007
G74	128			465376	4244914	Σχηματάρι	7/12/2007
G75	156	120	36	463475	4243618	Σχηματάρι	7/12/2007
G76	107			464555	4240829	Οινόφυτα	7/12/2007
G77	74			467394	4238952	Οινόφυτα	21/1/2008
G78	115	198	-83	463410	4240715	Οινόφυτα	22/1/2008
G79	100			464010	4240183	Οινόφυτα	22/1/2008
G80	100	220	-120	462785	4238451	Τανάγρα	22/1/2008



Σχ. 8.5 Κατανομή σημείων δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης.

## 8.2 Μετρήσεις πεδίου και διατήρηση δείγματος

Όταν κάποιο δείγμα υπόγειου νερού έρχεται στην επιφάνεια, εκτίθεται σε διαφορετικές φυσικό-χημικές συνθήκες από αυτές που επικρατούν στον υδροφόρο. Για παράδειγμα το ατμοσφαιρικό οξυγόνο μπορεί εύκολα να οξειδώσει στοιχεία όπως  $Fe^{2+}$ ,  $H_2S$  κ.α. Επιπλέον, μπορεί να μειωθεί το  $CO_2$ , προκαλώντας αλλαγές στο pH, την αλκαλικότητα, το συνολικό ανόργανο άνθρακα και να προκληθεί καθίζηση ανθρακικών.

Κάποιοι παράμετροι πρέπει να μετρηθούν επιτόπου και αφορούν συνήθως το pH, Eh, EC και  $O_2$  και δευτερευόντως την αλκαλικότητα και τον  $Fe^{2+}$ . Το Eh μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως ποιοτικός δείκτης για τις συνθήκες οξειδοαναγωγής. Στην μέτρηση του pH πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία, γιατί είναι μια κρίσιμη παράμετρος. Κατά την μέτρηση του μπορεί να εμφανιστούν πολλά προβλήματα. Ένα σύννηθες σφάλμα οφείλεται στην διαφυγή του  $CO_2$ , λόγω απομάκρυνσης του νερού από την επιτόπια θέση του, που οδηγεί σε αύξηση του pH.

Πριν μεταφερθεί το δείγμα, πρέπει να προετοιμαστεί κατάλληλα ώστε να διατηρηθεί η αρχική του σύσταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις η διατήρηση γίνεται με την προσθήκη οξέος στο δείγμα, ώστε το pH να γίνει  $<2$  (συνήθως χρησιμοποιούνται 0,7 ml 65%  $HNO_3$  για την οξίνιση 100 ml δείγματος). Η αύξηση της οξύτητας σταματά την βακτηριδιακή ανάπτυξη σε μεγάλο ποσοστό, μπλοκάρει τις αντιδράσεις οξείδωσης και αποτρέπει την προσρόφηση και την καθίζηση των κατιόντων. Πριν από την οξίνιση το δείγμα πρέπει να φιλτραριστεί ώστε να απομακρυνθούν στερεά υλικά που μπορούν να διαλυθούν με την προσθήκη του οξέος.

**Πιν. 8.6** Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι ιδιαίτεροι τρόποι διατήρησης και αποθήκευσης που χρειάζεται κάθε ιόν ή ένωση. Επίσης αναφέρονται ποιοι παράμετροι μετριοούνται άμεσα.

Παράμετρος	Διατήρηση / μετρήσεις πεδίου
$Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $K^+$ , $Na^+$ , $NH_4^+$ , $Si$ , $PO_4^{3-}$	Οξίνιση pH $<2$ αποθήκευση σε πολυαιθυλένιο
Βαρέα μέταλλα $SO_4^{2-}$ , $Cl^-$	Οξίνιση pH $<2$ αποθήκευση σε γυαλί Δεν χρειάζεται
$NO_3^-$ , $NO_2^-$	Αποθήκευση στους $4^\circ C$ και ανάλυση μέσα σε 24 h ή προσθήκη βακτηριογόνου, όπως θυμόλη ( $NO_3^-$ μπορούν να σχηματιστούν από $NH_4^+$ όταν στο δείγμα επικρατούν αναγωγικές συνθήκες. Τα $NO_2^-$ μπορούν να αποσυντεθούν ακόμα και όταν προστεθεί βακτηριογόνο)
$H_2S$	Διατήρηση σε οξικό Zn ή φασματοφωτομετρική μέτρηση πεδίου
$Fe^{2+}$	Φασματοφωτομετρική μέτρηση πεδίου ή οξίνιση δείγματος
pH, Eh, EC, $O_2$ , Θερμοκρασία	Μέτρηση πεδίου

Οι μετρήσεις πεδίου έγιναν με τα παρακάτω όργανα

- ✓ Αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET: μέτρηση θερμοκρασίας, EC και pH
- ✓ Οξυγονόμετρο WTW OXI 96: μέτρηση συγκέντρωσης  $O_2$

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι μετρήσεις πεδίου ανά υδροσύστημα και τοπικό υδροφορέα.

**Πιν. 8.7** Μετρήσεις πεδίου ανά υδροσύστημα και τοπικό υδροφορέα.

	ΥΔΡΟΣ.	ΘΕΡΜ.(°C)	pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (μS/cm)	Eh (mV)	O <sub>2</sub>		ΔΕΙΓΜ.	
						mg/l	%		
<b>ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ</b>									
<b>Σ. ΑΣΩΠΟΥ</b>	<b>G1</b>	19,5	7,63	870	52	6,8	70	5/8/12	
	<b>G2</b>	19,1	7,45	2400	39	6,4	68	5/8/12	
	<b>G14</b>	20,3	7,62	1185	48,8	8,2	97	5/8/12	
	<b>G15</b>	18,3	7,31	1150	31,6	5,6	71	5/8/12	
	<b>G16</b>	17,9	7,92	597	57,8	6,2	80	5/8/12	
	<b>G19</b>	19,5	7,7	2300		7,7	83	15/6/09	
	<b>G73</b>	17,5	7,3	1196	109			6/12/07	
	<b>G53</b>	17,5	7,3	696	212			6/12/07	
<b>Σ. ΘΗΒΩΝ – ΥΛΙΚΗΣ</b>	<b>G3</b>	18,2	7,88	750	59,3	6,8	72	5/8/12	
	<b>G4</b>	18,5	7,86	800	38,9	7	78	5/8/12	
	<b>G5</b>	20,1	7,65	1086	54,3	5	57	5/8/12	
	<b>P6</b>	18,9	7,87	726	63,2	7,2	87	5/8/12	
	<b>G7</b>	28,4	7,33	1140	30,9	5,2	72	5/8/12	
	<b>G8</b>	20,3	7,39	960	32,4	5,6	71	5/8/12	
	<b>G9</b>	19,3	7,64	1060	51,3	4,5	51	5/8/12	
	<b>G10</b>	21,3	8,3	570	81,8	6,3	81	5/8/12	
	<b>G11</b>	20,2	7,69	1030	52,4	5,9	72	5/8/12	
	<b>G13</b>	19,2	7,16	820	19,5	3,5	42	5/8/12	
	<b>G17</b>	18,4	7,69	900	51,3	7,8	80	5/8/12	
	<b>G24</b>		7,6	720					29/5/05
	<b>G27</b>		7,8	860					15/7/08
<b>Σ. ΥΠΑΤΟΥ</b>	<b>G12</b>	19,9	7,62	2700	48,9	5	65	5/8/12	
	<b>S23</b>	17,1	7,5	600	222			5/8/12	
<b>Σ. ΥΛΙΚΗΣ - ΠΑΡΑΛΙΜΝΗΣ</b>	<b>G33</b>		8,1	979				18/4/05	
<b>ΤΟΠΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ</b>									
<b>ΠΕΡΙΟΧΗ Α Σ. ΥΛΙ.-ΠΑΡ.</b>	<b>G28</b>		8,3	738				22/6/06	
	<b>P29</b>		7,9	938				18/4/05	
	<b>G30</b>		8	761				25/10/07	
	<b>G34</b>		8	918				18/4/05	
<b>ΠΕΡΙΟΧΗ Α Σ. ΘΗΒ.-ΥΛΙΚ.</b>	<b>G35</b>	17,4	8,2	560		7,1	75	10/6/09	
	<b>G36</b>	20,4	7,8	840		8,2	88	10/6/09	
	<b>G37</b>	17,2	7,8	708		8	86	3/7/09	



	ΥΔΡΟΣ.	ΘΕΡΜ.(°C)	pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (μS/cm)	Eh (mV)	ΔΕΙΓΜ.
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΕΥΒΟΙΚΟΣ</b>	<b>P18</b>		7,44	6920	201	5/8/12
	<b>P20</b>	19,6	7,4	4600	207	5/8/12
	<b>P21</b>	19,7	7,3	4970	212	5/8/12
	<b>G22</b>	19,6	7,3	6580	210	5/8/12
	<b>S31</b>		7,8	4998		18/4/05
	<b>G32</b>		7,5	816		18/4/05
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Ν ΕΥΒΟΙΚΟΣ</b>	<b>G25</b>		7,8	2400		18/5/05
	<b>G26</b>		7,7	1180		29/5/05
	<b>G45</b>	16,8	7,3	978	190	30/11/07
	<b>G70</b>	17,3	7,9	1196	145	3/12/07
	<b>G71</b>	17,9	7,7	1685	155	3/12/07
	<b>G46</b>		7,3	1413	212	5/12/07
	<b>G47</b>	15,5	7,8	1152	156	5/12/07
	<b>G48</b>		7,8	1130	175	5/12/07
	<b>G49</b>	16,6	8	1087	595	5/12/07
	<b>G50</b>	15,5	7,6	2228	20	5/12/07
	<b>G51</b>	18,5	7,8	2391	105	5/12/07
	<b>G52</b>	15,5	7,5	2256	197	5/12/07
	<b>G72</b>	16,5	7,8	1294	270	5/12/07
	<b>G54</b>	14,9	7,8	1890	183	7/12/07
	<b>G74</b>	16,9	7,7	1779	205	7/12/07
	<b>G75</b>	17,5	7,8	1168	205	7/12/07
	<b>G56</b>	17,5	7,4	1668	206	7/12/07
	<b>G76</b>	17,5	7,7	1523	190	7/12/07
	<b>G57</b>	17,5	7,5	1412	188	7/12/07
	<b>G58</b>	17,2	7,6	1557	205	7/12/07
	<b>G59</b>	17,5	8	1029	163	7/12/07
	<b>G60</b>	17,1	7,9	1068	180	7/12/07
	<b>G61</b>	17,4	7,4	1967	213	12/12/07
	<b>G62</b>		8,4	2046	210	14/1/08
	<b>G63</b>	17,5	7,8	1848	241	21/1/08
	<b>G64</b>	17,6	7,6	1054	203	21/1/08
	<b>G65</b>	17,5	7,7	1794	240	21/1/08
	<b>G66</b>	18,2	7,5	1446	204	21/1/08
	<b>G77</b>	17,5	7,7	1902	217	21/1/08
	<b>G78</b>	16,5	7,5	1500	283	22/1/08
	<b>G79</b>	16,8	7,5	1707	260	22/1/08
	<b>G67</b>	17,5	7,3	1065	269	22/1/08
<b>G80</b>	18,5	7,7	1228	230	22/1/08	
<b>G68</b>	17,7	7,4	1087	256	22/1/08	
<b>G69</b>	17,6	7,4	2087	258	25/1/08	
<b>G55</b>	16,2	7,7	1701	200	7/12/07	

### 8.3 Εργαστηριακές αναλύσεις

Για την υδροχημική ανάλυση των δειγμάτων εφαρμόστηκαν οι παρακάτω μέθοδοι

- ✓ Για τον προσδιορισμό των ιόντων Ca, Mg, HCO<sub>3</sub> και Cl και της ολικής και παροδικής σκληρότητας έγινε τιτλοδότηση.
- ✓ Για τον προσδιορισμό των HCO<sub>3</sub> και της ολικής σκληρότητας έγινε τιτλοδότηση με EDTA 0.01N.
- ✓ Για την ανθρακική σκληρότητα χρησιμοποιήθηκε HCl 0.1N και για τα Cl AgNO<sub>3</sub> 0.1N.
- ✓ Τα PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Br και το SiO<sub>2</sub> προσδιορίστηκαν με το φασματοφωτόμετρο εκπομπής Hatch DR-3000.
- ✓ Το Na και K προσδιορίστηκαν με το φλογοφωτόμετρο INTECH/420.

Η ακρίβεια των αναλύσεων μπορεί να υπολογιστεί από την επαναληπτική ανάλυση του ίδιου δείγματος. Επίσης η ακρίβεια μέτρησης των κύριων ιόντων μπορεί να υπολογιστεί από την συνθήκη της ηλεκτρικής ουδετερότητας (Electro Neutrality E.N.) αφού το άθροισμα θετικών και αρνητικών ιόντων στο νερό είναι ισορροπημένο. Η συνθήκη ισχύει για νερά με μέση συγκέντρωση TDS 250-1000 mg/l.

$$E.N.\% = (\text{Άθροισμα κατ.} + \text{Άθροισμα ανιο.}) / (\text{Άθροισμα κατ.} - \text{Άθροισμα ανιο}) \times 100$$

Τα ιόντα εκφράζονται σε meq/l και υπολογίζονται τα κατιόντα Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> και τα ανιόντα Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Διαφορές ως 2-5% περίπου είναι αποδεκτές.

Ένας άλλος τρόπος είναι η σύγκριση της μετρούμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC με αυτή που υπολογίζουμε μέσω του τύπου  $\Sigma \text{ ανιόντα} = \Sigma \text{ κατιόντα (meq/l)} = EC/100$  (μS/cm) στους 25 °C. Ο τύπος ισχύει για τιμές EC ως 2000 μS/cm.

Η ακρίβεια των μετρήσεων για τα δευτερεύοντα στοιχεία είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Ένας έμμεσος τρόπος ελέγχου είναι η ασυμβατότητα κάποιων στοιχείων υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Για παράδειγμα η ύπαρξη O<sub>2</sub> και NO<sub>3</sub><sup>-</sup> που υποδηλώνουν οξειδωτικές συνθήκες μαζί με σημαντικές ποσότητες Fe<sup>2+</sup> μας υποδεικνύει κάποιο λάθος στις μετρήσεις.

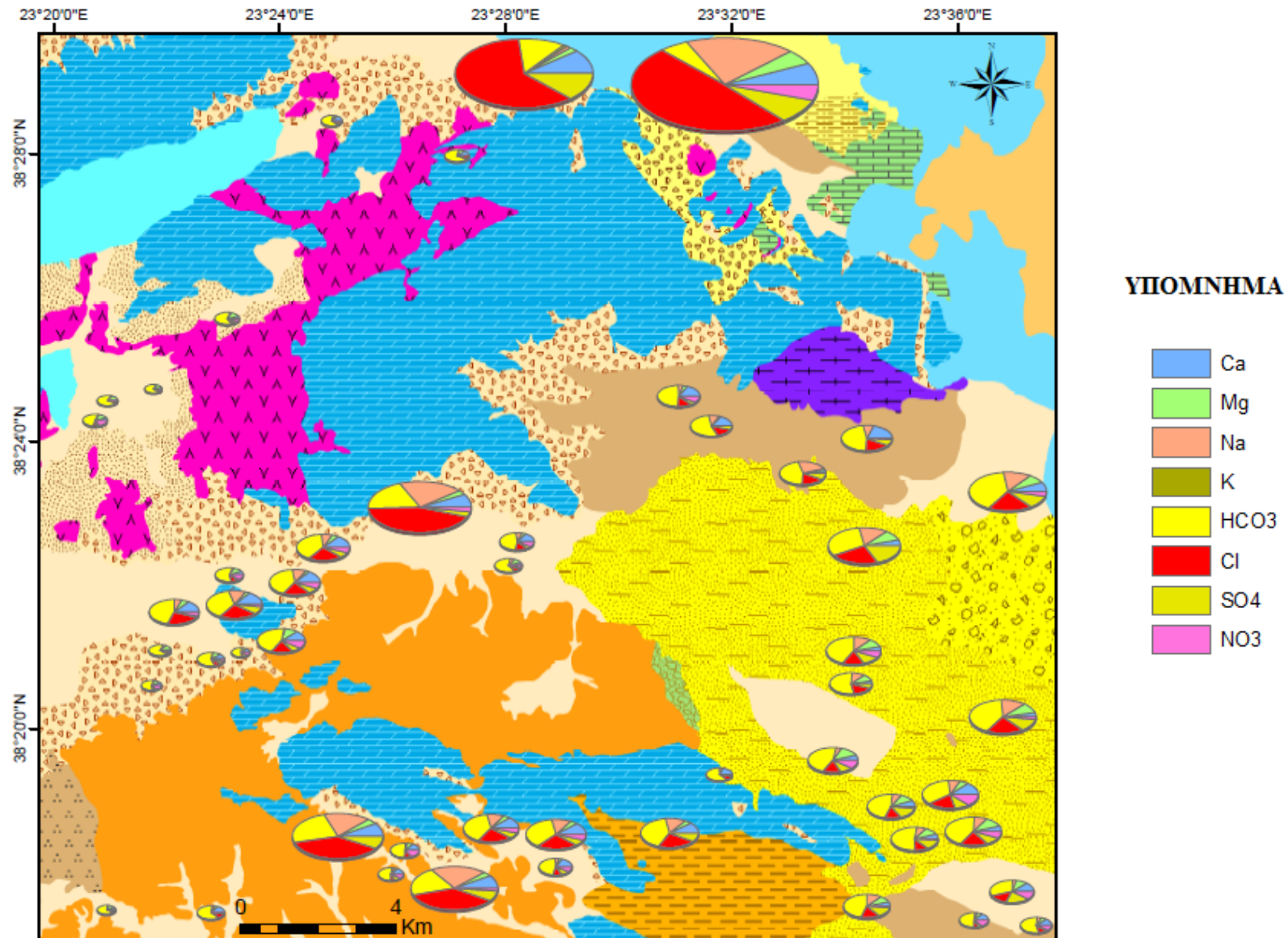
**Πιν. 8.8** Εργαστηριακές αναλύσεις κύριων και δευτερευόντων ιόντων και σκληρότητας. Το TDS υπολογίστηκε έμμεσα. Αναφέρονται τα όρια ποσιμότητας σύμφωνα με την οδηγία 80/778/ΕΟΚ.

ΥΔΡΟΣ.	ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (mg/l)											ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/l)			TDS (mg/l)	ΔΕΙΓΜ.
	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Br	Παροδική	Μόνιμη	Ολική		
OPIO mg/l)		<b>50</b>	<b>150</b>	<b>10</b>		<b>250</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>0.5</b>	<b>5</b>						
<b>Σ. ΑΣΩΠΟΥ</b>																
G1	84,8	37,8	23,5	1,7	335,5	46,1	56	<b>60,5</b>	0,05	0,26	0,07	274	94	368	647	8/12
G2	105,6	<b>50,4</b>	<b>310,3</b>	<b>11,9</b>	317,2	<b>585</b>	100	12,3	0,01	0,27	0,06	260	210	470	1493	8/12
G14	92,8	37,4	119,3	6,6	317,2	219,9	51	35,2	0,06	0,13	0,01	258	126	384	880	8/12
G15	93,6	36,9	133,3	6,2	311,1	<b>255,3</b>	52	44	0,05	0,12	0,01	255	129	384	933	8/12
G16	108	24,3	33,5	3,8	292,8	78	54,5	48,8	0,14	0,35	0,1	239	131	370	645	8/12
G19	102	41,7	<b>360</b>	3,8	239,4	<b>539</b>	82,1	18,9	0,01	0,02	0,1	270	157	427	1399	6/09
G53	104,2	13,6	26,6	0,9	355,0	48,6	15,6	6,2	<0,26			291,2	25,1	316,2	571,0	12/07
G73	86,6	36,0	137,9	6,1	354,0	237	70,0	<5	<0,26			290,3	74,2	364,5	929,0	12/07
<b>Σ. ΘΗΒΩΝ - ΥΔΙΚΗΣ</b>																
G3	46,4	<b>65,2</b>	11,4	0,3	329,4	28,4	26	<b>77</b>	0,02	0,52	0,06	113	269	382	585	8/12
G4	64,8	<b>63</b>	10,8	0,8	366	53,2	34	23,3	0,02	0,19	0,05	299	121	420	616	8/12
G5	84,8	40,8	44,8	3,9	298,9	177,3	7,4	28,6	0,03	0,33	0,01	244	136	380	687	8/12
P6	67,2	<b>50,8</b>	25,5	3,7	298,9	24,8	54	<b>57,2</b>	0,02	0,59	0,13	244	132	376	583	8/12
G7	92	<b>86,5</b>	8,7	1,5	366	163,1	56	<b>66,9</b>	0,04	0,22	0,01	299	285	584	841	8/12
G8	107,2	21,7	99,1	3,4	317,2	184,4	58	48,4	0,01	0,14	0,04	260	96	356	840	8/12
G9	104,8	24,9	110,3	3,1	274,5	219,8	55	16,7	0,01	0,05	0,14	225	139	364	810	8/12
G10	37,6	<b>56,9</b>	14,8	0,4	305	56,7	10	48,4	0,04	0,02	0,16	250	78	328	530	8/12
G11	95,2	36,9	69,9	3,3	274,5	198,6	41	36,3	0,02	0,14	0,03	225	163	388	756	8/12
G13	84	26	46	0,9	268,4	85,1	24	46,2	0,01	0,27	0,06	219	99	318	581	8/12
G24	8	<b>70</b>	32,2	0,8	384	35,5	9,6	12,4	<0,26			308	0	308	553	5/05
G27	40	<b>62,6</b>	49,4	0,9	436	52,8	21,5	24,8	<0,26			357	0	357	689	7/08
<b>Σ. ΥΠΑΤΟΥ</b>																
G12	103,2	39,5	<b>414,5</b>	<b>12,7</b>	280,6	<b>744,7</b>	39	35,2	0,02	0,04	0,03	230	190	420	1670	8/12
S23	76	<b>61,2</b>	9,1	1,2	488	42,5	2,5	5,3	0,039	0,095	0,06	398,7	41,3	440	686	8/12

ΥΔΡΟΣ.	ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ( mg/l )											ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (CaCO <sub>3</sub> mg/l)			TDS (mg/l)	ΔΕΙΓΜ.
	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Br	Παροδική	Μόνιμη	Ολική		
<b>ΠΕΡΙΟΧΗ Α Σ. ΥΑΙΚΗΣ - ΠΑΡΑΛΙΜΝΗΣ</b>																
G33	27,3	<b>106</b>	18,4	1,6	404	35,5	55,2	<b>111,6</b>	<0,26			502	331	505	761	4/05
G34	33,7	<b>95,8</b>	23,0	0,8	480,0	42,5	32,7	49,6	<0,26			478,0	393,0	479	759,0	4/05
G28	12,0	<b>83,2</b>	11,2	0,9	406,0	21,3	8,4	37,2	<0,26			372,0	338,0	373	581,0	6/06
P29	41,7	<b>90,5</b>	16,1	0,8	387,0	42,5	43,2	<b>124,0</b>	<0,26			324,0	277,0	477	747,0	4/05
G30	4,8	<b>98,3</b>	12,0	0,9	472,0	31,2	4,0	6,2	<0,26			416,0	387,0	417	630,0	10/07
<b>ΠΕΡΙΟΧΗ Α Σ. ΘΗΒΩΝ - ΥΑΙΚΗΣ</b>																
G35	36	<b>53,5</b>	10,3	0,5	298,9	24,8	1,1	13,2	0	0,17	0,04	245	64	309	464	6/09
G36	80,8	<b>50,8</b>	14,8	2	298,9	60,3	7	87,1	0	0,05	0,11	245	166	411	621	6/09
G37	77,6	30,4	26,7	1,7	366	53,2	1,2	14,5	0,01	0,07	0	300	20	320	584	7/09
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΕΥΒΟΙΚΟΣ</b>																
P18	252,8	<b>307,8</b>	<b>765</b>	6,4	341,6	<b>2021,3</b>	231	12,8	0,38	0,27	0,07	280	1610	1890	3939	8/12
P20	220	<b>122,6</b>	<b>850,6</b>	2,8	335,5	<b>1773</b>	165	48,4	<b>0,516</b>	0,38	0,21	274,1	775,9	1050	3520	8/12
P21	360	<b>196,1</b>	<b>666,7</b>	3,8	274,5	<b>1773</b>	187,5	<b>308</b>	<b>1,667</b>	0,71	0,12	224,3	1475,7	1700	4950	8/12
G22	280	<b>220,4</b>	<b>1213,8</b>	2,6	274,5	<b>2482,3</b>	<b>370</b>	<b>198</b>	0,0129	0,825	0,19	224,3	1375,7	1600	6726	8/12
G32	88,2	42,1	23	0,8	456	<b>31,9</b>	26,4	9,3	<0,26			393	374	394	679	4/05
S31	186	<b>62,3</b>	<b>747</b>	<b>21,9</b>	305	<b>1347</b>	223	3,1	<0,26			720	250	721	2895	4/05

ΥΔΡΟΣ.	ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ( mg/l )									ΣΚΑΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/l)			TDS (mg/l)	ΔΕΙΓΜ.
	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Παροδική	Μόνιμη		
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Ν ΕΥΒΟΙΚΟΣ</b>														
G17	146,4	40,8	47,6	0,7	433,1	127,7	36	<b>70,4</b>	0,14	354	178	532	903	8/12
G25	52,1	<b>132</b>	<b>257,5</b>	0,8	610	<b>408</b>	84,1	<b>93</b>	<0,26	671	500	171	1638	5/05
G26	9,6	13,1	<b>225</b>	0,8	354	160	50,9	0	<0,26	78	78	78	814	5/05
G45	81,8	49,6	40,9	1,3	408,0	71,0	16,2	<b>62,0</b>	<0,26	334,6	73,9	408,5	732,0	11/07
G46	192,0	4,9	92,0	0,9	455,0	182,0	62,5	12,4	<0,26	373,2	126,5	499,7	1003,0	12/07
G47	130,0	14,6	98,9	0,9	469,0	121,0	36,5	<5	<0,26	384,7	0,1	384,8	872,0	12/07
G48	129,0	19,0	101,0	0,9	455,0	126,0	69,5	<5	<0,26	373,2	27,2	400,4	901,0	12/07
G49	22,0	14,8	200,0	0,4	354,0	150,0	56,5	<5	<0,26	290,3	0,0	115,9	794,0	12/07
G51	41,7	89,0	<b>401,0</b>	1,3	518,0	<b>492,0</b>	184,0	12,4	<0,26	424,8	45,8	470,6	1740,0	12/07
G52	104,0	<b>118,0</b>	<b>271,0</b>	0,4	649,0	<b>423,0</b>	163,0	49,6	<0,26	532,3	213,4	745,7	1779,0	12/07
G50	90,6	<b>125,0</b>	<b>245,0</b>	<b>23,9</b>	452,0	<b>535,0</b>	146,0	12,4	<0,26	370,7	370,3	741,0	1630,0	12/07
G62	52,9	<b>114,0</b>	<b>228,0</b>	2,6	400,0	<b>372,0</b>	232,0	12,4	<0,26	342,6	259,0	601,6	1413,0	1/08
G72	68,9	14,1	<b>221,0</b>	1,7	412,0	223,0	60,5	<5	<0,26	337,9	0,0	230,1	1002,0	12/07
G71	43,3	<b>102,8</b>	<b>152,9</b>	1,7	500,0	208,8	128,5	<b>74,4</b>	<b>3,0</b>	410,1	120,6	530,6	1215,0	12/07
G74	58,1	<b>130,4</b>	137,9	1,7	598,0	<b>278,0</b>	65,1	<b>82,0</b>	<0,26	490,5	188,6	677,1	1352,0	12/07
G60	24,0	<b>68,5</b>	95,4	1,3	410,0	125,5	32,2	15,5	<0,26	336,3	5,8	342,0	773,0	12/07
G70	34,5	<b>63,7</b>	112,7	1,3	384,0	136,0	43,3	<b>80,6</b>	<0,26	314,9	33,5	348,5	857,0	12/07
G75	31,3	<b>88,3</b>	74,7	1,7	409,0	98,9	44,5	<b>93,0</b>	<0,26	335,4	106,3	441,8	842,0	12/07
G54	40,1	<b>106,5</b>	<b>201,2</b>	2,2	509,0	<b>312,0</b>	132,5	24,8	<0,26	417,5	121,2	538,7	1329,0	12/07
G55	40,1	<b>123,3</b>	128,7	1,3	486,0	186,5	129,0	<b>124,0</b>	<0,26	398,6	209,3	607,9	1219,0	12/07
G56	129,9	<b>66,6</b>	101,2	0,9	360,0	223,0	111,5	<b>124,0</b>	<0,26	295,3	303,4	598,7	1118,0	12/07
G57	92,2	<b>82,0</b>	82,8	1,3	509,0	173,0	100,5	6,2	<0,26	417,5	150,5	567,9	1048,0	12/07
G59	24,0	<b>69,1</b>	92,0	0,9	421,0	127,0	39,9	<5	<0,26	345,3	0,0	344,5	775,0	12/07
G58	53,7	<b>138,3</b>	55,2	0,9	476,0	177,3	105,0	<b>93,0</b>	<0,26	390,4	313,2	703,6	1100,0	12/07
G61	90,2	<b>126,0</b>	<b>150,6</b>	0,9	588,0	<b>262,0</b>	172,0	<b>74,4</b>	<0,26	482,3	261,9	744,1	1465,0	12/07
G76	48,3	<b>107,3</b>	102,3	1,7	439,0	223,0	87,5	<b>62,0</b>	<0,26	360,1	201,9	562,0	1072,0	12/07
G78	64,9	<b>109,0</b>	88,5	0,9	491,0	164,0	152,0	21,7	<0,26	402,7	208,2	610,9	1093,0	1/08
G79	66,5	<b>130,0</b>	115,0	3,9	720,0	158,0	153,0	18,6	<0,26	590,5	110,9	701,4	1366,0	1/08

<b>G63</b>	92,2	<b>79,5</b>	<b>173,6</b>	4,3	430,0	<b>319,0</b>	142,0	18,6	<0,26	352,7	205,0	557,6	1260,0	1/08
<b>G64</b>	169,1	11,4	37,9	1,7	448,0	88,6	55,0	18,6	<0,26	367,4	101,8	469,2	831,0	1/08
<b>G69</b>	120,0	<b>51,6</b>	<b>244,0</b>	4,8	359,0	<b>445,0</b>	98,0	12,4	<0,26	294,4	217,7	512,2	1336,0	1/08
<b>G80</b>	40,1	68,1	112,0	2,2	384,0	154,0	102,0	12,4	<0,26	314,9	65,6	380,6	875,0	1/08
<b>G77</b>	104,2	86,1	172,4	2,2	483,0	<b>277,0</b>	212,0	24,8	<0,26	396,1	218,6	614,8	1362,0	1/08
<b>G65</b>	62,1	120,4	183,9	5,6	631,0	151,0	<b>282,0</b>	15,5	<0,26	517,5	133,4	650,9	1452,0	1/08
<b>G66</b>	103,4	97,8	37,9	1,7	293,0	138,3	209,5	89,9	<0,26	240,3	420,7	661,0	972,0	1/08
<b>G67</b>	93,0	66,4	28,7	1,3	535,0	54,6	22,0	31,0	<0,26	438,8	66,9	505,7	833,0	1/08
<b>G68</b>	102,0	52,5	31,0	1,3	389,0	59,9	36,8	105,0	<0,05	319,0	151,9	470,9	779,0	1/08



Σχ.8.9 Απεικόνιση ορισμένων αναλύσεων σε μορφή πίτας. Το μέγεθος της πίτας είναι ανάλογο της συγκέντρωσης Cl.

### Βαρέα μέταλλα

Στα δείγματα από τα υδροσημεία G1 ως P18 προσδιορίστηκαν τα βαρέα μέταλλα Cd, Cr<sub>tot</sub>, Cu, Fe<sub>tot</sub>, Mn, Ni, Pb και Zn. Η ανάλυση έγινε με το όργανο **ατομικής απορρόφησης ASS GBS 908**. Στον πίνακα φαίνονται τα μήκη κύματος και το εύρος μετρήσεων του οργάνου για κάθε στοιχείο.

**Πιν. 8.10** Εύρος μετρήσεων του οργάνου ASS GBS 908.

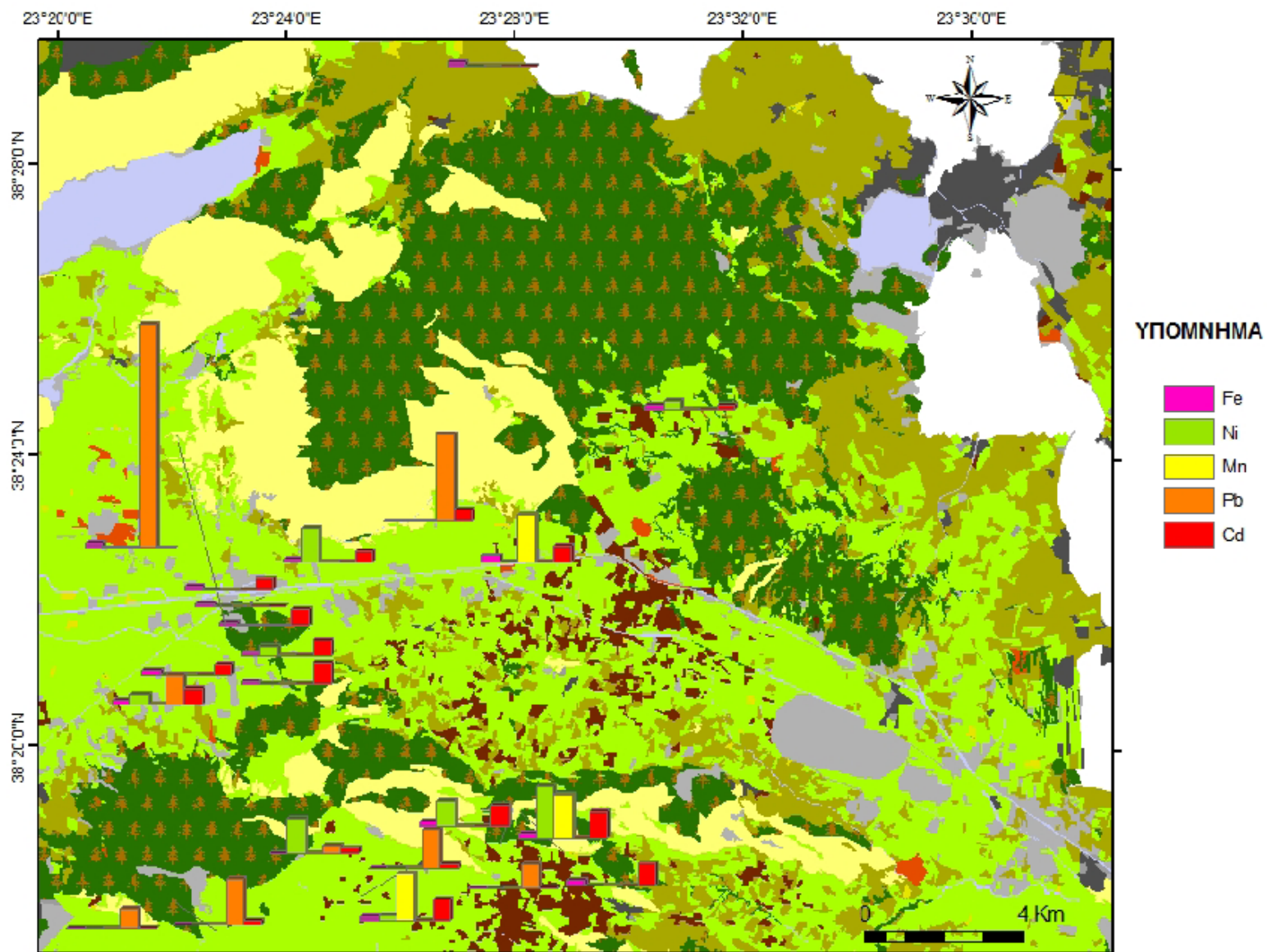
Στοιχείο	Μήκος κύματος (nm)	Έυρος μετρήσεων (ppm)
<b>Cd</b>	228.8	0.2-1.8
<b>Cr</b>	357.9	2-15
<b>Cu</b>	324.7	1-5
<b>Fe</b>	248.3	2-9
<b>Mn</b>	279.5	0.1-0.4
<b>Ni</b>	232	1.8-8
<b>Pb</b>	217	2.5-20
<b>Zn</b>	213.9	0.4-1.5

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τους Δάνδολος κ.α. (2010) και Τσαραμπάρη Χ., (2010). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δίνονται στους πιν.8.10 όπου αναφέρονται και τα μέγιστα όρια για το πόσιμο νερό.

**Πιν. 8.11** Αναλύσεις ιχνοστοιχείων. Τα δείγματα G1 ως P18 αναλύθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του ΓΠΑ. Τα δείγματα G24, G28, G30, G33 είναι από την μελέτη: Δάνδολος κ.α. (2010) και τα G19, G35, G36, G37 από την εργασία: Τσαραμπάρη Χ. (2010).

OPIA (µg/l)	Zn	Fe	Ni	Mn	Pb	Cd	Cu	Cr	ΔΕΙΓΜ.
<b>G1</b>	30	320	40	870	<1	40	<1	–	8/12
<b>G2</b>	120	100	260	20	30	10	<1	–	8/12
<b>G3</b>	90	350	70	30	110	30	<1	–	8/12
<b>G4</b>	850	270	<1	10	10	20	<1	–	8/12
<b>G5</b>	<1	330	<1	10	830	<1	<1	–	8/12
<b>P6</b>	<1	240	<1	20	10	40	<1	–	8/12
<b>G7</b>	<1	240	70	20	10	30	<1	–	8/12
<b>G8</b>	50	250	<1	10	<1	30	<1	–	8/12
<b>G9</b>	<1	240	<1	<1	<1	<1	<1	–	8/12
<b>G10</b>	20	280	<1	20	<1	20	<1	–	8/12
<b>G11</b>	80	220	250	<1	<1	20	<1	–	8/12
<b>G12</b>	70	180	<1	20	320	20	<1	–	8/12
<b>G13</b>	60	440	<1	860	<1	30	<1	–	8/12
<b>G14</b>	<1	370	190	<1	<1	40	<1	–	8/12
<b>G15</b>	30	350	390	820	<1	50	<1	–	8/12
<b>G16</b>	360	330	<1	<1	<1	40	<1	–	8/12
<b>G17</b>	40	370	70	<1	<1	10	<1	–	8/12
<b>P18</b>	160	360	<1	<1	<1	<1	<1	–	8/12
<b>G24</b>	18	<100	–	<5	<5	–	<5	150	5/05
<b>G28</b>	<5	<100	–	<5	<5	<5	<5	15	6/06
<b>G30</b>	14	<100	–	<5	<5	<5	<5	9	10/07
<b>G33</b>	58	<100	–	<5	<5	<5	<5	9	4/05
<b>G19</b>	261	70	2	22	93	5	2	26	6/09
<b>G35</b>	20	62	2	12	74	4	2	22	6/09
<b>G36</b>	25	37	4	16	143	8	1	34	6/09
<b>G37</b>	53	98	3	27	172	9	8	22	7/09





Σχ. 8.12 Απεικόνιση θέσεων όπου η συγκέντρωση κάποιων ιχνοστοιχείων υπερβαίνουν το όριο ποσιμότητας. Το ύψος των στηλών είναι ανάλογο της υπέρβασης του εκάστωτε ορίου.

Σύμφωνα με την μελέτη «Εξασθενές χρώμιο και άλλα τοξικά στοιχεία στα φυσικά νερά της λεκάνης Θήβας - Τανάγρας –Μαλακάσας» (Βασιλάτος κ.α. 2008) σε 2 γεωτρήσεις κοντά στο Σχηματάρι και άλλες 2 κοντά στον Ελεώνα έχουν βρεθεί αυξημένες συγκεντρώσεις σε κάποια βαρέα μέταλλα. Οι γεωτρήσεις βρίσκονται στους νεογενείς σχηματισμούς και έχουν βάθος μεταξύ 200 και 220 m. Σε όλες τις γεωτρήσεις υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις  $Cr^{6+}$  (20 - 40  $\mu g/l$ ) συγκρινόμενο με το όριο ποσιμότητας που έχουν θέσει στην Ιταλία (5  $\mu g/l$ ). Ο λόγος  $Cr^{6+} / Cr_{total}$  είναι σχεδόν 1, στοιχείο που δείχνει ότι η κυρίαρχη μορφή είναι η εξασθενής. Επίσης σε 3 γεωτρήσεις βρέθηκε As πάνω από το όριο των 10  $\mu g/l$  μεταξύ 20 και 34  $\mu g/l$ .

#### 8.4.1 Φυσικοχημικοί παράμετροι

##### Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που ρυθμίζουν την ισορροπία σε ένα οικοσύστημα (Jones et al, 2006). Μέχρι το βάθος των 10 με 25 m η θερμοκρασία επηρεάζεται από την επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα και έτσι παρουσιάζει εποχιακές διακυμάνσεις. Σε αυτό το στρώμα κοντά στην επιφάνεια, η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 1 °C με 2 °C μεγαλύτερη από την μέση ετήσια θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από την επιφάνεια. Μετά από αυτή την επιφανειακή ζώνη, η θερμοκρασία έχει μια σχετικά σταθερή τιμή σε όλη την διάρκεια του χρόνου. Μέχρι ενός ορισμένου βάθους αυξάνει ανάλογα με την γεωθερμική βαθμίδα. Η μέση τιμή της τελευταίας είναι 2.9 °C ανά 100 m (Todd, 1980). Η μέση θερμοκρασία σε συνήθη βάθη είναι 14-15 °C (Σούλιος Γ., 2006).

Κατά την ανάμιξη θερμού και ψυχρού νερού με θερμοκρασίες  $T_{\theta}$ ,  $T_{\psi}$  και όγκους  $V_{\theta}$ ,  $V_{\psi}$  ισχύει

$$V_{mix} \cdot T_{mix} = V_{\theta} \cdot T_{\theta} + V_{\psi} \cdot T_{\psi} \text{ και } V_{mix} = V_{\theta} + V_{\psi} = 100\%$$

Λύνοντας ως προς  $V_{\theta}$  υπολογίζεται το ποσοστό του όγκου του θερμού νερού στο μίγμα

$$V_{\theta} = \frac{(T_{mix} - T_{\psi})100}{(T_{\theta} - T_{\psi})}$$

Βουδούρης Κ. (2006)

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την γεύση του, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τα διαλυμένα αέρια διαφεύγουν και γίνεται λιγότερο εύγεστο. Η καλύτερη θερμοκρασία είναι μεταξύ 5-15 °C. Όταν είναι μεγαλύτερη από 15 °C τα τυχόν μικρόβια πολλαπλασιάζονται, αναπτύσσονται άγλη και αυξάνεται η διαλυτική του ικανότητα. (Παππά Γ., 2001).

Στην περιοχή μελέτης τον 8/12 η θερμοκρασία κυμαινόταν μεταξύ 17.5-21.3 °C με μέσο όρο 19.3 °C (n=22) και στο διάστημα μεταξύ 12/07-1/08 ήταν μεταξύ 14.9-18.5 °C, με μέσο όρο 17.2 °C (n=32).

##### pH

Η ενεργός οξύτητα εκφράζεται με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων  $H^{+}$  (mol/l). Το pH παίρνει τιμές από 0 ως 14 που εκφράζουν την ακραία οξύτητα και την ακραία αλκαλικότητα αντίστοιχα. Στην θερμοκρασία των 25 °C η τιμή 7 θεωρείται ουδέτερη. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία η ουδέτερη τιμή ελαττώνεται, για παράδειγμα η ουδέτερη τιμή στους 30 °C είναι 6.92 ενώ στους 0 °C είναι 7.48.

Η μέτρηση του pH πρέπει να γίνεται επιτόπου, γιατί το υπόγειο νερό βρίσκεται υπό πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Έτσι όταν εκτεθεί κάποιο δείγμα στην ατμό-

σφαιρα γίνεται απαέρωση του  $H^+$  και η μετρούμενη τιμή είναι μικρότερη από την πραγματική. Στα φυσικά νερά οι τιμές του pH κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 5 και 8.5 (Hem, 1986).

Στα περισσότερα νερά το pH εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ  $CO_2$ ,  $CO_3$  και  $(CO_3)_2$ . Αυτή η ισορροπία επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την πίεση. Επίσης το pH μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία φωσφορικών, πυριτικών, βορικών και φθορικών αλάτων, από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής και από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης (K. R. Karanth, 1987).

Το pH που οφείλεται στο  $CO_2$  καλείται pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs τότε το νερό μπορεί να διαλύσει το  $CaCO_3$ , διαφορετικά γίνεται απόθεση (Βουδούρης K., 2006).

**Πιν. 8.13** Ταξινόμηση νερών με βάση το pH, σε θερμοκρασία 18 °C (Σούλιος, 2006).

pH	Βαθμός οξύτητας
<4,5	Ισχυρώς όξινο
4,5-6	Όξινο
6-6,8	Ασθενώς όξινο
7	Ουδέτερο
7,2-7,7	Ασθενώς αλκαλικό
7,7-7,8	Αλκαλικό
>8,2	Ισχυρώς αλκαλικό

Το pH στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ 7.16- 8.4 και εμφανίζει μέσο όρο 7.67 (n=73). Οπότε τα νερά χαρακτηρίζονται από ουδέτερα ως ισχυρώς αλκαλικά.

### Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductivity) του υπόγειου νερού σχετίζεται άμεσα με την φύση και την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων. Η EC αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, περίπου 2% ανά 1 °C (Hiscock Kevin, 2005). Για αυτό η μέτρηση της ανάγεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 °C)

Κατά την ανάμιξη δύο νερών με διαφορετική τιμή EC ισχύει :

$$EC_{mix} = EC_1 \cdot x + EC_2 \cdot (1-x)$$

Όπου  $EC_{mix}$  είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μίγματος  $EC_1$ ,  $EC_2$  οι αγωγιμότητες των νερών που αναμίχθηκαν και x το ποσοστό ανάμιξης του ενός νερού στο μίγμα (Βουδούρης K., 2006).

Οι μεγαλύτερες τιμές EC παρατηρήθηκαν στην παράκτια περιοχή του Β. Ευβοϊκού ό-που ο μ.ο. είναι 5767 (n=4).

### Σύνολο διαλυμένων στερεών TDS

Το TDS (total dissolved solids=σύνολο διαλυμένων στερεών) εκφράζει την συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων. Οφείλεται κυρίως στα δισανθρακικά, θειικά και χλωριούχα άλατα του Ca, Mg και Si, το K, Cl,  $NO_3$  και το B αποτελούν ένα μικρό μέρος. Τα βαρέα μέταλλα και τα ραδιενεργά συστατικά απαντούν σε ίχνη. Τα αιωρούμενα στε-

ρεά, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια δεν συμπεριλαμβάνονται στο TDS. Υπολογίζεται από το βάρος των σωματιδίων που προκύπτουν ύστερα από θέρμανση του νερού για μία ώρα στους 180 °C. Το θαλασσινό νερό έχει κατά μέσο όρο 34,000 ppm, ενώ στα υπόγεια νερά φτάνει συνήθως ως τα 1000 ppm.

**Πιν. 8.14** Ταξινόμηση νερών με βάση το TDS (Davis, S.N. De Wiest R.J., 1966).

Κατηγορία	TDS (mg/l)
Γλυκό νερό	0- 1000
Υφάλμυρο	1000- 10,000
Αλμυρό	10,000 – 35,000
Υπεραλμυρό	>35,000

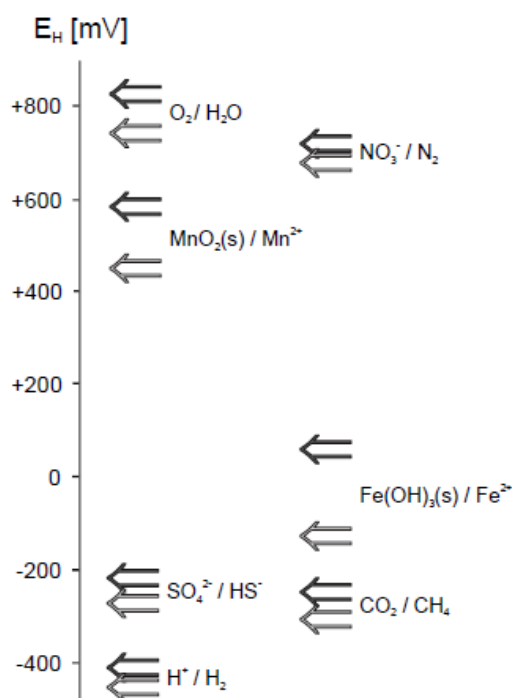
Η τιμή του TDS μπορεί να συσχετιστεί με αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC σύμφωνα με τον τύπο  $TDS (mg/l) = K_e \cdot EC (\mu S/cm)$ . Η τιμή του συντελεστή  $K_e$  είναι μεταξύ 0,5 και 0,8 (Hiscock Kevin, 2005).

Στους σχηματισμούς που δεν εμφανίζεται υφαλμύριση ο μ.ο. είναι 615 (n=18)

Στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού ο μ.ο. των υφάλμυρων νερών είναι 4406 (n=5) και στο Ν Ευβοϊκό ο μ.ο. είναι 1482 (n=11).

#### Δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής είναι ένας δείκτης της σχετικής τάσης που έχει ένα διάλυμα να δίνει ή να δέχεται e- και μια ποιοτική ένδειξη για το αν οι συνθήκες που επικρατούν είναι αερόβιες ή αναερόβιες. Επίσης μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την ύπαρξη κάποιων βιολογικών αντιδράσεων αφού αυτές γίνονται σε συγκεκριμένο εύρος Eh. Κατά την βιοαποδόμηση διάφορων ρύπων που βρίσκονται στο νερό τα θρεπτικά συστατικά και οι υποδοχείς e- μειώνονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται και το Eh (Wiedemeier Todd H. et al, 1999).



**Σχ. 8.15** Δυναμικό οξειδοαναγωγής για κάποιες σημαντικές αντιδράσεις που απαντούν σε φυσικά νερά, για pH=7 (πάνω βέλος) και για pH=8 (κάτω βέλος) (Schüring J. et al 1999).

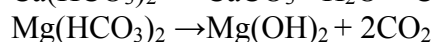
Από τα στοιχεία που συναντάμε στο νερό σε αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις τα ακόλουθα είναι ευαίσθητα στο δυναμικό οξειδοαναγωγής  $O_2$ ,  $NO_3^-/N_2/NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}/HS^-$ ,  $Mn(II)/(IV)$  και  $Fe(II)/(III)$ . Επίσης επηρεάζεται η αντιδραστικότητα, η κινητικότητα και η τοξικότητα αρκετών ιχνοστοιχείων όπως  $As(III)/(V)$ ,  $Se(IV)/(VI)$ ,  $Cr(III)/(VI)$  (Hamilton-Taylor & Davison, 1995). Για παράδειγμα το  $Cr(VI)$  είναι πολύ πιο τοξικό από το  $Cr(III)$ . Οι πιο σημαντικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής στα φυσικά νερά είναι η οξείδωση της οργανικής ύλης και οι αναγωγικές αντιδράσεις του  $O_2$  σε  $H_2O$ , των νιτρικών σε  $N_2$ , του  $Mn(III/IV)$  σε  $Mn(II)$ ,  $Fe(III)$  σε  $Fe(II)$ , των θεικών σε θειούχα και του  $CO_2$  σε μεθάνιο. (Schüring J. et al, 1999). Στα φυσικά νερά, για τιμές pH μεταξύ 7 και 8 το Eh κυμαίνεται μεταξύ -400mV και 800mV.

Στην περιοχή το Eh κυμαίνεται μεταξύ 19.5-595 mV και ο μ.ο. είναι 159 mV (n=58).

### Σκληρότητα νερού

Το νερό ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε άλατα χαρακτηρίζεται ως μαλακό ή σκληρό. Οι όροι αυτοί προτάθηκαν αρχικά από τον Ιπποκράτη (460-354 π.χ.). Η σκληρότητα (hardness) οφείλεται κυρίως στα κατιόντα του ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) και του μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), ενώ ελάχιστα συνεισφέρουν και τα κατιόντα του δισθενούς σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ), του στροντίου ( $Sr^{2+}$ ), του βαρίου ( $Ba^{2+}$ ) και του μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ). Το σύνολο αυτών των αλάτων δίνουν την ολική σκληρότητα. Σκληρό χαρακτηρίζεται το φυσικό νερό που η περιεκτικότητά του σε άλατα είναι μεγαλύτερη από 0,05%.

Τη σκληρότητα του φυσικού ύδατος τη διακρίνουμε σε παροδική και μόνιμη. Η παροδική ή ανθρακική σκληρότητα οφείλεται στα ανθρακικά άλατα  $Ca(HCO_3)_2$  και  $Mg(HCO_3)_2$ . Αν θερμάνουμε το νερό και αυτό φτάσει σε κατάσταση βρασμού τα άλατα του όξινου ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου μετατρέπονται σε αδιάλυτα, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Έτσι το  $CaCO_3$  και το  $Mg(OH)_2$  καθιζάνουν και δημιουργούν το "πουρί" που αποτίθεται στα τοιχώματα των λεβήτων, των σωληνώσεων υδρεύσεως, των οικιακών συσκευών, κ.λπ. Το  $Mg(OH)_2$  δημιουργείται κατά την αύξηση του pH του ύδατος λόγω της απομακρύνσεως του  $CO_2$ .

Η **μόνιμη** σκληρότητα οφείλεται στα χλωριούχα και θειικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου και μένει και μετά το βράσιμο του νερού.

**Πιν. 8.16** Ταξινόμηση νερών με βάση την σκληρότητα (Δάβη Ε.,1990).

Σκληρότητα (γερμανικοί βαθμοί)	Χαρακτηρισμός
0 – 4	Πολύ μαλακό
4 – 8	Μαλακό
8 – 12	Μέτρια σκληρό
12 – 18	Αρκετά σκληρό
18 – 25	Σκληρό
25 – 50	Πολύ σκληρό
>50	Εξαιρετικά σκληρό

Η σκληρότητα μετρείται σε βαθμούς που διακρίνονται σε γαλλικούς, γερμανικούς, αγγλικούς και αμερικάνικους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται οι γερμανικοί και οι γαλλι-

κοί βαθμοί. Ένας γερμανικός βαθμός αντιστοιχεί σε 10 mg/l CaO και 7,13 mg/l MgO (Λέκκας Σ., Αλεξόπουλος Α., 1984).

Οι σκληρομετρικές κλίμακες που χρησιμοποιούμε είναι οι ακόλουθες:

α) Γερμανικός βαθμός (d<sub>o</sub>) αντιστοιχεί σε 17,8 mg/l CaCO<sub>3</sub>

β) Γαλλικός βαθμός (F°) αντιστοιχεί σε 10 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Η ολική σκληρότητα σε mg/l CaCO<sub>3</sub> προκύπτει και από τον τύπο

$TH = 2.497Ca + 4.115Mg$  όπου TH :ολική σκληρότητα. Οι συγκεντρώσεις είναι σε mg/l.

Η ολική σκληρότητα στην περιοχή κυμαίνεται από 78 ως 1899 mg/l CaCO<sub>3</sub> με μέση τιμή 523 mg/l CaCO<sub>3</sub> (n=73). Οπότε γενικά τα νερά χαρακτηρίζονται πολύ σκληρά. Αυτή η σκληρότητα, εκτός από την διείσδυση του θαλασσινού νερού, πιθανά οφείλεται στους ηφαιστειο-ιζηματογενείς σχηματισμούς.

### Δείκτης σταθερότητας Ryznar (RSI)

Ο δείκτης σταθερότητας Ryznar είναι ενδεικτικός της τάσης που έχει το νερό να αποθέσει άλατα ή να διαβρώνει. Υπολογίζεται από την σχέση  $RSI = 2 pH_s - pH$ . Όπου pH είναι το μετρούμενο και το pH<sub>s</sub> υπολογίζεται και αντιστοιχεί στο pH του νερού σε κατάσταση ισορροπίας με το ανθρακικό ασβέστιο. Ο δείκτης έχει μεγαλύτερη ακρίβεια όταν το νερό έχει την τάση να αποθέσει. (Rafferty Kevin, 1999)

**Πιν. 8.17** Κατάταξη νερών σύμφωνα με τον δείκτη Ryznar (Carrier, 1965).

Τιμή δείκτη Ryznar	Τάση
4 - 5	Μεγάλη τάση απόθεσης
5 - 6	Σημαντική τάση απόθεσης
6 - 7	Μικρή τάση απόθεσης ή διάβρωσης
7 - 7.5	Σημαντική τάση διάβρωσης
7.5 - 9	Μεγάλη τάση διάβρωσης
>9	Πολύ μεγάλη τάση διάβρωσης

Στα νερά της περιοχής ο δείκτης έχει προσδιοριστεί από το site [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com). και είναι γενικά κοντά στο 7, οπότε έχουν νερά μικρή τάση απόθεσης ή διάβρωσης.

### Διαλυμένα αέρια

Τα αέρια που περιέχει το νερό προέρχονται από την ατμόσφαιρα όπως CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> και N<sub>2</sub> και από γεωχημικές διεργασίες όπως η αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Σε περιβάλλοντα πλούσια σε οργανικό άνθρακα (π.χ. υγρότοποι), οι βιοχημικές διαδικασίες μπορούν να δημιουργήσουν αναερόβιες συνθήκες και να παράγουν αέρια όπως N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S και CH<sub>4</sub> που διαλύονται στο νερό. Ένα άλλο συνηθισμένο αέριο είναι το ραδόνιο (222Rn), το οποίο είναι προϊόν της διάσπασης του ουρανίου (U) και του θορίου (Th). Το ουράνιο είναι συνηθισμένο σε γρανιτικά πετρώματα και κάποια ορυκτά του είναι ο ουρανινίτης UO<sub>2</sub> το ζιρκόνιο και ο απατίτης. Επίσης σε μικρές ποσότητες βρίσκονται τα αδρανή αέρια αργό (Ar), ήλιο (He), κρυπτό (Kr), νέο (Ne), και ξένο (Xe). Αυτά μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για την ηλικία του υπόγειου νερού και την θερμοκρασία του νερού εμπλουτισμού (Hiscock Kevin, 2005).

Η προέλευση του O<sub>2</sub> είναι κυρίως ατμοσφαιρική και η συγκέντρωση μειώνεται με το βάθος. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η αλατότητα μειώνεται η διαλυτότητα του (Rose Seth and Long Austin, 1988). Όταν το νερό ανανεώνεται στο επίπεδο της θάλασσας, το διαλυμένο οξυγόνο (ΔΟ) είναι περίπου 15 mg/l στους 0 °C και 8 mg/l στους 25 °C. Το ΔΟ εκφράζεται και ως ποσοστό κορεσμού. Το πόσιμο νερό που έχει ποσοστό

κορεσμού μικρότερο από 80%, μπορεί να έχει δυσάρεστη γεύση ή οσμή (Μηνασίδου Κ., 2005).

Το πιο σημαντικό χημικό χαρακτηριστικό του O<sub>2</sub> είναι η ιδιότητα του να δέχεται e. Είναι το πιο ισχυρό οξειδωτικό μέσο που υπάρχει στη φύση και επηρεάζει τις διάφορες βιολογικές και γεωχημικές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.

Το ΔΟ δεν επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, για αυτό δεν περιλαμβάνεται συνήθως στα διάφορα σταθερότυπα πόσιμου νερού. Όμως επηρεάζει έμμεσα την ποιότητα, αφού ελέγχει το σθένος με το οποίο εμφανίζονται διάφορα στοιχεία και επομένως την διαλυτότητα τους. Για παράδειγμα όταν επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες η συγκέντρωση του Fe είναι κάτω από το επιτρεπόμενο όριο του πόσιμου νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί ο Fe γίνεται τρισθενής και καθιζάνει ως υδροξείδιο. Με την σειρά τους τα υδροξείδια προσροφούν σημαντικά τα βαρέα μέταλλα. Άλλα στοιχεία των οποίων η συγκέντρωση επηρεάζεται είναι As, Cr, Fe, Hg, Mn, Se, Ur, N, S, Cu, Cd, Zn και Ag. (cherry et al, 1984).

Στην περιοχή μελέτης η συγκέντρωση του O<sub>2</sub> κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 8.2 mg/l και ο μ.ο. είναι 6.3 mg/l - 73.5% (n=22).

#### 8.4.2 Κύρια ιόντα

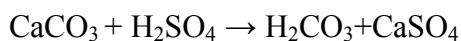
##### Ca<sup>+2</sup>

Το Ca βρίσκεται κυρίως σε ασβεστίτη, αραγωνίτη, δολομίτη, γύψο, αμφιβόλους, πλαγιόκλαστα και αργιλικά ορυκτά. Η συγκέντρωση του Ca στο υπόγειο νερό εξαρτάται κυρίως από την διαλυτότητα των αλάτων που σχηματίζει το Ca με τα ανθρακικά, θειικά και χλωριούχα ιόντα. Στο περιβάλλον βρίσκεται συνήθως ως CaCO<sub>3</sub>, η διαλυτότητα του οποίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε CO<sub>2</sub>. Το νερό που έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα μπορεί να περιέχει ως 20 με 30 ppm Ca. Όταν όμως το νερό διέρχεται από την ακόρεστη ζώνη εμπλουτίζεται σε CO<sub>2</sub>, λόγω της βακτηριδιακής δραστηριότητας, και η συγκέντρωση του μπορεί να φτάσει τα 70 με 110 ppm. Συνήθως η συγκέντρωση του είναι μικρότερη από 100 mg/l (Λέκκας Σ., Αλεξόπουλος Α., 1984). Όταν υπάρχει CO<sub>2</sub> στο υπόγειο νερό το CaCO<sub>3</sub> διαλύεται σύμφωνα με την αντίδραση



Μόλις το ανθρακικό οξύ εξαντληθεί μπορεί να αρχίσει να καθιζάνει CaCO<sub>3</sub>. Διάφορες άλλες αιτίες που μπορεί να προκαλέσουν καθίζηση είναι η εξάτμιση, η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση της πίεσης, και αν το pH είναι μεγαλύτερο από 8.2.

Η ύπαρξη θειικού οξέος στο υπόγειο νερό, λόγω της οξείδωσης και της υδρόλυσης των θειούχων ορυκτών, μπορεί να διαλύσει το CaCO<sub>3</sub> σύμφωνα με την αντίδραση

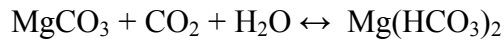


Επίσης η διαλυτότητα του CaCO<sub>3</sub> είναι ανάλογη της αλατότητας. Όταν το νερό έρχεται σε επαφή με γύψο το Ca μπορεί να φτάσει τα 600 ppm και όταν τα νερά είναι υφάλμυρα μπορεί να φτάσει τα 2400 ppm. Σε θειικά και χλωριούχα νερά παρουσία CO<sub>2</sub> η συγκέντρωση του Ca μπορεί να μειωθεί (Κ. R. Karanth, 1987).

Στην περιοχή κυμαίνονται από 4.8 μέχρι 360 mg/l και η μ.τ. είναι 87 mg/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού λόγω υφαλμύρινσης και οι μικρότερες σε αλλουβιακές αποθέσεις, που πιθανά έχουν προέλθει από την διάβρωση του Ηωελληνικού καλύμματος, ανατολικά του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης.

## Mg<sup>+2</sup>

Το Mg είναι ένα σημαντικό στοιχείο των 1) βασικών πυριγενών πετρωμάτων (δουνίτες, πυροξενίτες και αμφιβολίτες) 2) των ηφαιστειακών πετρωμάτων (βασάλτες) 3) των μεταμορφωμένων (τάλκης) και 4) των ιζηματογενών (δολομίτης). Ακόμα και οι περισσότεροι ασβεστόλιθοι περιέχουν Mg. Κάποια σημαντικά πυριτικά ορυκτά είναι ο ολιβίνης, αυγίτης, βιοτίτης και ο σερπεντίνης. Αυτά τα ορυκτά δεν είναι ευδιάλυτα αλλά με την εξαλλοίωση μεταπίπτουν σε άλλα πιο ευδιάλυτα όπως αργιλικά και ανθρακικά. Παρουσία H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> το MgCO<sub>3</sub> μετατρέπεται στο πιο ευδιάλυτο Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>



Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, παρουσία CO<sub>2</sub>, η διαλυτότητα του MgCO<sub>3</sub> είναι 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή του CaCO<sub>3</sub>. Έτσι η συγκέντρωση του Mg μπορεί να φτάσει τα 190 ppm (K. R. Karanth, 1987). Η συνηθισμένη συγκέντρωση του είναι μικρότερη από 50 mg/l (Λέκκας Σ., Αλεξόπουλος Α., 1984).

Όπως στο CaCO<sub>3</sub> έτσι και στο MgCO<sub>3</sub> η διαλυτότητα είναι ανάλογη της αλατότητας. Επειδή στο θαλασσινό νερό η αναλογία Ca/Mg είναι 1/5, αν στο υπόγειο νερό παράκτιας περιοχής παρατηρηθεί μεγάλη συγκέντρωση Mg είναι ενδεικτική διεύδυσης του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο. Γενικά στο υπόγειο νερό το Ca υπερτερεί του Mg λόγω της αφθονίας των πετρωμάτων που βρίσκεται το πρώτο.

Στην περιοχή μελέτης η συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 4.9 - 307.8 mg/l και ο μ.ο. είναι 74.5 mg/l (n=73). Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στις παράκτιες περιοχές λόγω υφαλμύρισης. Γενικά εμφανίζεται σε υψηλά επίπεδα λόγω των οφιολιθικών σχηματισμών.

## Na<sup>+</sup>

Οι κυριότερες φυσικές πηγές του στοιχείου είναι οι άστριοι, τα αργιλικά ορυκτά και οι εβαπορίτες. Κάποια από τα ορυκτά είναι αλβίτης, ολιγόκλαστο και αλίτης. Επίσης η προέλευση του μπορεί να είναι ανθρωπογενής. Βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στα βιομηχανικά απόβλητα. Όταν στο υπόγειο νερό ο ιοντικός λόγος Na/Cl, είναι μεγαλύτερος από την 1 είναι ενδεικτικός ρύπανσης.

Η συγκέντρωση του σε μη ρυπασμένα νερά είναι συνήθως μεταξύ 2.5 και 45 mg/l (Appelo and Postma, 1996).

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 8.7-1213.8 mg/l και ο μ.ο. είναι 159 mg/l (n=73). Και σε αυτό το στοιχείο οι υψηλότερες τιμές οφείλονται στην υφαλμύριση.

## K<sup>+</sup>

Συνήθως το K στο υπόγειο νερό προέρχεται από τα πυριτικά ορυκτά ορθόκλαστο, μικροκλινής, νεφελίτης, λευκίτης και από τα ευδιάλυτα εβαποριτικά ορυκτά (συλβίτης). Στα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα το K και το Na βρίσκεται περίπου στις ίδιες ποσότητες, αλλά στο υπόγειο νερό η συγκέντρωση του K είναι συνήθως το 1/10 ως 1/100 αυτής του Na. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μικρής διαλυτότητας των ορυκτών του. Στο πόσιμο νερό η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 1 και 15 ppm (K. R. Karanth, 1987)

Στην περιοχή μελέτης οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.3-23.9 mg/l και μ.ο. είναι 2.9 mg/l (n=73). Οι υψηλότερες τιμές βρίσκονται σε ανθρακικά πετρώματα, λόγω έλλειψης αργιλικών ορυκτών, και σχετίζονται με υφαλμύριση.



### **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Προέρχεται από τους ασβεστόλιθους και τους δολομίτες. Η συγκέντρωσή του είναι μικρότερη από 500 mg/l.

Στην περιοχή μελέτης στα γλυκά νερά είναι το κυρίαρχο ανιόν. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 239.4-720 mg/l και ο μ.ο. είναι 404 mg/l (n=73).

### **Cl<sup>-</sup>**

Στα κατακρημνίσματα η συγκέντρωσή του Cl είναι συνήθως μέχρι 10 ppm. Τα εβαποριτικά πετρώματα μπορούν να δώσουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Cl. Στα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα το Cl μπορεί να προέρχεται από τα ορυκτά σοδάλιθος (Na<sub>8</sub>Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>24</sub>Cl<sub>2</sub>) και χλωροαπατίτης (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl) που συναντώνται σε μικρές ποσότητες. Επίσης μπορεί να προέρχεται από ρευστά εγκλείσματα.

Στο θαλασσίνο νερό η συγκέντρωσή του είναι περίπου 21300 mg/l, οπότε κατά την διείσδυση του σε παράκτιους υδροφορείς δημιουργεί μεγάλες συγκεντρώσεις. Επίσης μπορεί να προέρχεται από απολιθωμένο θαλασσίνο νερό που έχει εγκλωβιστεί σε ιζημάτα. Ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε Cl, το νερό θεωρείται γλυκό μέχρι 300 ppm, μεταξύ 300 και 5000 ppm υφάλμυρο και πάνω από 5000 αλμυρό. Στο θαλασσίνο νερό η συγκέντρωσή του είναι μεταξύ 18000-34000 ppm. (Σούλιος 2004). Το όριο ποσιμότητας είναι 250 mg/l.

Στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 21.3-2482.3 mg/l και ο μ.ο. είναι 297.8 mg/l (n=73). Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού.

### **SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>**

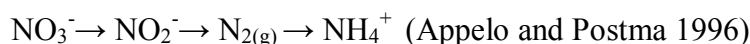
Προέρχονται από οξείδια θειούχων ορυκτών, γύψο και ανυδρίτη. Στο φυσικό περιβάλλον η κυριότερη πηγή του είναι ο σιδηροπυρίτης (FeS<sub>2</sub>). Επίσης μεγάλες ποσότητες μπορούν να προσδώσουν στο περιβάλλον οι εβαπορίτες.

Στην περιοχή μελέτης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 1.1-720 mg/l και ο μ.ο. είναι 84 mg/l (n=73). Οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται στην υφαλμύριση και στην ανθρωπογενή ρύπανση.

### **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Το N<sub>2</sub> και το O<sub>2</sub> μέσω των ηλεκτρικών εκκενώσεων της ατμόσφαιρας σχηματίζουν το NO<sub>3</sub> που διαλύεται στα κατακρημνίσματα. Η μέση περιεκτικότητα των κατακρημνισμάτων είναι 0.2 ppm (Riffenburg, 1926). Ένα μέρος των νιτρικών από τα κατακρημνίσματα συγκρατείται από τα φυτά πριν φτάσουν στον υδροφόρο. Στο υπόγειο νερό τα νιτρικά προέρχονται κυρίως από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, τα αστικά λύματα και τα νιτρικά λιπάσματα. Τα ορυκτά που περιέχουν N είναι πολύ διαλυτά και γι' αυτό το λόγο είναι σπάνια στην φύση. Τα σθένη που εμφανίζονται είναι από +5 μέχρι -3.

Η ακολουθία αναγωγής είναι η παρακάτω:



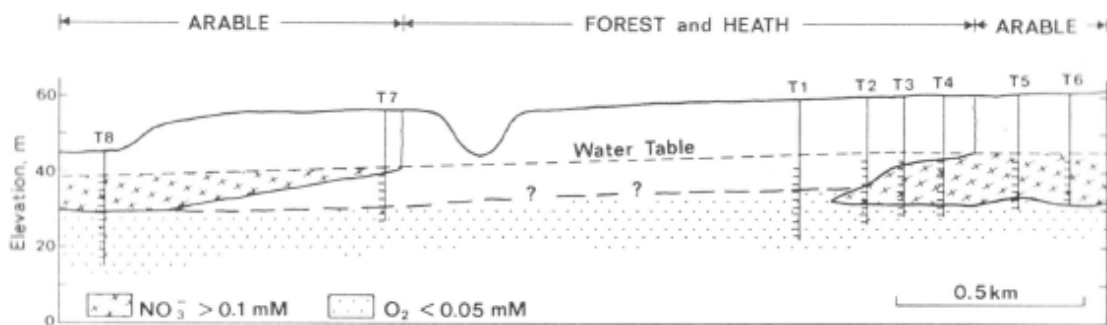
Ο πιο διαδεδομένος ρυπαντής των υπόγειων νερών είναι το διαλελυμένο άζωτο που εμφανίζεται κυρίως με την μορφή της νιτρικής ρίζας NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Μπορεί να εμφανίζεται επίσης ως NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και ως οργανικό N. Τα νιτρώδη συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες. Το ίδιο ισχύει για το οργανικό άζωτο και την αμμωνία (NH<sub>3</sub>), γιατί πιστεύεται ότι η βιολογική δραστηριότητα που απαιτείται για την παραγωγή τους δεν είναι αρκετή στα υπόγεια ύδατα. (Follett & Hatfield, 2001).

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που δημιουργούν μεγάλες συγκεντρώσεις NO<sub>3</sub><sup>-</sup> είναι οι αγροτικές και η ελεύθερη απόρριψη κτηνοτροφικών και αστικών αποβλήτων. Η κύρια

πηγή N είναι η κοπριά και τα ανόργανα λιπάσματα N. Η εκτροφή βοοειδών και χοίρων και η καλλιέργεια δημητριακών, σόγιας και καλαμποκιού δημιουργούν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νιτρικών στα νερά. Επίσης μπορεί να παραχθούν από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους και των υπολειμμάτων καλλιεργειών.

Τα νιτρικά εισέρχονται απευθείας στο υπόγειο νερό από την εφαρμογή λιπασμάτων και από λύματα πλούσια σε  $\text{NO}_3^-$ . Επίσης μπορεί να προέρχονται από μετατροπή του οργανικού N και του  $\text{NH}_4^+$ . Η διαδικασία μετατροπής του οργανικού N σε  $\text{NH}_4^+$  και η διαδικασία μετατροπής του  $\text{NH}_4^+$  σε  $\text{NO}_3^-$  συναντώνται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα στην εδαφική ζώνη, όπου η οργανική ύλη και το οξυγόνο αφθονούν. Η απορρόφηση από τις καλλιέργειες και η μικροβιακή αφομοίωση είναι οι κύριες αιτίες που ακινητοποιούν τα νιτρικά στην ακόρεστη ζώνη. Όταν αυτοί οι μηχανισμοί είναι ανενεργοί και η βροχόπτωση ή η άρδευση υπερτερούν της εξάτμισης τα νιτρικά διαρρέουν προς τον υδροφόρο μέσω των περατών εδαφών. Έτσι σε πολλά υδατικά συστήματα έχουμε εισροή νιτρικών την άνοιξη και το φθινόπωρο. Τα  $\text{NO}_3^-$  είναι πολύ κινητικά και εισέρχονται στο υπόγειο νερό χωρίς να εμποδίζονται από τα σωματίδια του εδάφους. Όταν επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες αποτελούν την σταθερή μορφή του διαλυμένου N.

Στο σχ. 8.18 φαίνεται η κατανομή των νιτρικών κάτω από αροτραίες (arable) και δασώδεις περιοχές-θαμνότοπους (forest - heath). Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών εντοπίζονται στον ανώτερο τμήμα του υδροφόρου και το βάθος που φτάνουν σχετίζεται με την συγκέντρωση  $\text{O}_2$ .



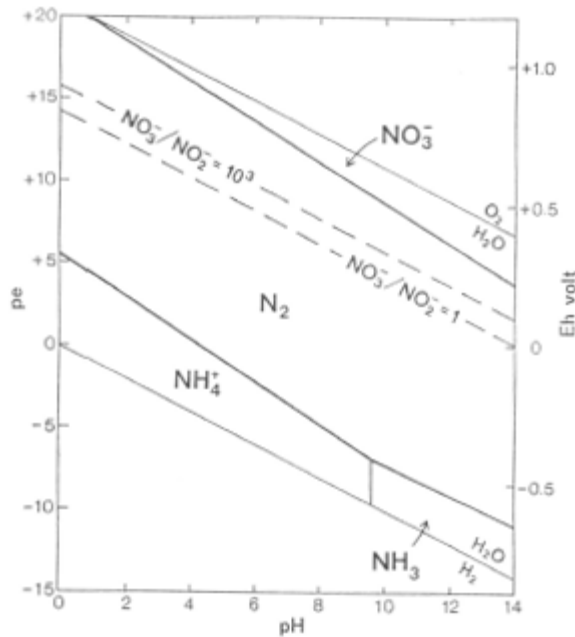
**Σχ. 8.18** Πλούσια νιτρικής ρύπανσης από αγροτική δραστηριότητα, σε ελεύθερο αμμώδη υδροφορέα. Η ροή του νερού από δεξιά προς τα αριστερά (Rabis Creek, Denmark. Αναπαραγμένο από Postma et al, 1991).

Η τρωτότητα των υδροφορέων εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά τους χαρακτηριστικά και από την πηγή του αζώτου. Έτσι η ευαισθησία του υδροφορέα εξαρτάται από το πόσο κοντά είναι στην επιφάνεια, από τις υδρολογικές ιδιότητες του εδάφους και από την ποσότητα και την περιοχή που γίνεται ο εμπλουτισμός του. Γενικά στις περιοχές με πετρώματα υψηλής περατότητας ο εμπλουτισμός σε νιτρικά είναι μεγαλύτερος. Επιρρεπείς σε νιτρορύπανση είναι οι αλλουβιακοί και επιφανειακοί υδροφορείς. Επίσης όταν η έκταση πάνω από τον υδροφορέα είναι αρδευόμενη, ο κίνδυνος ρύπανσης είναι μεγαλύτερος. Όταν ένας επιφανειακός υδροφορέας ρυπανθεί από νιτρικά χρειάζονται δεκαετίες για να αποκατασταθεί η ποιότητα του νερού.

Η απονιτροποίηση είναι η κύρια διαδικασία μείωσης των νιτρικών και συμβαίνει μέσω μικροβίων απαιτώντας θερμοκρασία πάνω από  $10^{\circ}\text{C}$ , χαμηλά επίπεδα οξυγόνου και διαθέσιμο άνθρακα. Έχει παρατηρηθεί ότι η συγκέντρωση των νιτρικών στα υπόγεια νερά είναι αντιστρόφως ανάλογη με το βάθος. Μπορεί να φτάσει το 50% των νιτρικών που έχουν διαρρεύσει κάτω από το ριζόστρωμα.

Πηγάδια που δεν έχουν κατασκευαστεί σωστά μπορούν να επηρεαστούν από την χρήση αγροχημικών χωρίς να έχει επηρεαστεί αισθητά ο υδροφόρος ορίζοντας. Αυτό μπορεί να

συμβεί όταν χημικές ουσίες, που βρίσκονται στην επιφάνεια κοντά στο πηγάδι, κινούνται προς το εσωτερικό του από τμήματα που δεν έχουν απομονωθεί σωστά.



**Σχ. 8.19** Διάγραμμα pH – Eh του N στους 25 °C,  $P_{N_2}=0,77\text{atm}$  (Appelo and Postma 1996).

Όταν το νερό δεν έχει ρυπανθεί η συγκέντρωσή τους φτάνει τα 5ppm, διαφορετικά μπορεί να ξεπεράσει τα 100 ppm.

Στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από 3.1 ως 308 mg/l και ο μ.ο. είναι 49.6 mg/l (n=73). Οι υψηλές τιμές οφείλονται πιθανά στα λιπάσματα, γιατί δεν συσχετίζονται με άλλους ρυπαντικούς δείκτες (όπως  $NH_4$ ) που συνδέονται με άλλες πηγές ρύπανσης.

### 8.4.3 Ιχνοενώσεις- Ιχνοστοιχεία

#### $NH_4^+$

Στο υπόγειο νερό συνήθως δεν υπερβαίνουν τα 0.5 mg/l. Αποτελεί δείκτη κοπρανόδους μόλυνσης και οι αυξημένες συγκεντρώσεις ευνοούν την ανάπτυξη βακτηριδίων και φυκιών. Στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από 0.01 ως 1.667 mg/l και ο μ.ο. είναι 0.13 mg/l (n=23). Εμφανίζονται 3 υπερβάσεις στις παράκτιες περιοχές και πιθανά σχετίζονται με σηπτικούς βόθρους.

#### $PO_4^{-3}$

Σε μη ρυπασμένα νερά η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται μεταξύ 0 και 0.02 mmol/l και προέρχονται κυρίως από την οργανική ύλη και τα φωσφορικά ορυκτά. (Appelo and Postma, 1996). Υψηλές συγκεντρώσεις είναι δείκτες βιομηχανικής ή αστικής μόλυνσης. Για το πόσιμο νερό τίθεται ως όριο τα 5 mg/l και αφορά το  $P_2O_5$ . Στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από 0.02 ως 0.825 και ο μ.ο. είναι 0.24 (n=26).

#### $Br^-$

Η μέση συγκέντρωση του Br στα μαγματικά πετρώματα είναι 2.37 mg/Kg, στους ψαμίτες 1 mg/Kg, στις αργίλους 4.3 mg/Kg, στα ανθρακικά 6.6 mg/Kg και στους εβαπορίτες 33 mg/Kg (Matthess, 1973). Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωσή του είναι 74 mg/l, για αυτό σε παράκτιες περιοχές, που έχει γίνει διείσδυση θαλασσινού νερού, το υπόγειο

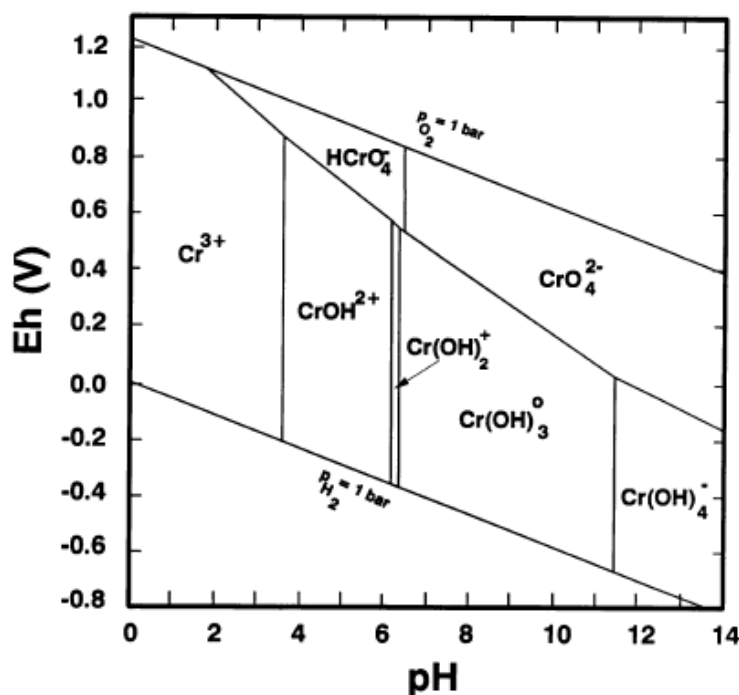
νερό παρουσιάζει υψηλές τιμές. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προέρχονται από την χρήση φυτοφαρμάκων. Στην περιοχή τα Br κυμαίνονται μεταξύ 0.01 ως 0.21 mg/l. Η παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού υφίσταται υφαλμύριση λόγω διείσδυσης της θάλασσας τα Br έχουν μ.ο. 0.15 mg/l. (n=4). Σε δείγματα που τα Cl είναι λιγότερα από 250mg/l ο μ.ο. είναι 0.07 mg/l (n=11). Στις περιοχές όπου έχει διεισδύσει το θαλασσινό νερό θα έπρεπε οι τιμές να είναι μεγαλύτερες, για αυτό το μηχάνημα αναλύσεων θα πρέπει να έχει δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα.

#### 8.4.4 Βαρέα μέταλλα

##### Cr

Είναι μεταλλικό στοιχείο, άοσμο και άγευστο. Υπάρχει συνήθως ως τρισθενές, εξασθενές και με την μεταλλική του μορφή. Στο περιβάλλον συναντάται σε μικρές ποσότητες μαζί με άλλα μέταλλα και κυρίως τον Fe. Το κύριο μέταλλευμα του είναι ο χρωμίτης ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ).

Στην βιομηχανία χρησιμοποιείται στην παραγωγή χάλυβα και άλλων κραμάτων, στην επιχρωμίωση, στην βιομηχανία πυρίμαχων υλικών (χρησιμοποιείται χρωμίτης, καθώς έχει υψηλό σημείο τήξης, μέτρια θερμική διαστολή, και σταθερή κρυσταλλική δομή), στις βαφές και στην συντήρηση δέρματος και ξύλου. Το  $\text{Cr}^{6+}$  που βρίσκεται στα βιομηχανικά λύματα προέρχεται κυρίως από τις χρωστικές ουσίες. Τα λύματα περιέχουν συνήθως 5 ppm Cr.



Σχ. 8.20 Διάγραμμα Eh-pH για τα είδη χρώμιου στο σύστημα Cr - H<sub>2</sub>O. (Rai et al., Wagman et al., Hem, and Barner and Scheuerman) (US EPA, 2000)

Η συγκέντρωση του στο νερό της βροχής είναι μεταξύ 0,2 και 1 μg/l, στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται μεταξύ 0,04 – 0,5 μg/l, στα επιφανειακά νερά είναι συνήθως μεταξύ 0,5–2 μg/l, στα υπόγεια νερά είναι συνήθως μικρότερη από 1 μg/l. Γενικά στα φυσικά νερά το Cr<sup>6+</sup> βρίσκεται σε συγκεντρώσεις ως 1μg/l, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υποδεικνύουν ανθρωπογενή ρύπανση. Αυτές είναι από την διαρροή στο περιβάλλον μέσω της

εκμετάλλευσης κοιτασμάτων και από την χρήση του  $\text{Cr}^{6+}$  στην βιομηχανία. Γενικά η συγκέντρωση του στα επιφανειακά νερά είναι ανάλογη με την ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας.

Στο νερό υπάρχει ως  $\text{Cr}^{6+}$  και ως  $\text{Cr}^{3+}$ . Το χρώμιο δεσμεύεται σε μεγάλο βαθμό από τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στο νερό. Η κλασμάτωση των διαφόρων μορφών Cr καθορίζεται από το pH και το Eh, αλλά δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για αυτή. Η διαλυτότητα των οξειδίων του  $\text{Cr}^{3+}$  είναι πολύ μικρή στο νερό για αυτό καθιζάνει εύκολα ως  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  (s) ή ως μικτά υδροξείδια Cr-Fe για τιμές pH μεγαλύτερες από 4. Έτσι η συγκέντρωση του στα φυσικά νερά είναι περιορισμένη. Το  $\text{Cr}^{6+}$  σε σχέση με το  $\text{Cr}^{3+}$  είναι πιο διαλυτό στο νερό και παρουσιάζει μεγαλύτερη κινητικότητα. Απαντά ως  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCrO}_4^-$  και  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Οι ενώσεις του  $\text{Cr}^{6+}$  είναι σταθερές σε αερόβιες συνθήκες, αλλά ανάγεται σε  $\text{Cr}^{3+}$  όταν 1) οι συνθήκες είναι αναερόβιες από την οργανική ύλη και 2) όταν το pH είναι χαμηλό και επικρατούν αναγωγικές συνθήκες. Ο ρυθμός της αναγωγής εξαρτάται από την ποσότητα της οργανικής ύλης από το pH και από τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες.

Υπό αναγωγικές συνθήκες το  $\text{Cr}^{3+}$  είναι η πιο σταθερή μορφή, αλλά το  $\text{Cr}^{6+}$  μπορεί να είναι μετασταθές για μεγάλες χρονικές περιόδους. Σε συγκεντρώσεις  $\text{Cr}^{6+}$  μικρότερες από 10 mM ή σε ουδέτερο pH το  $\text{Cr}^{6+}$  υπάρχει ως  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{HCrO}_4^-$  και  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Σε οξειδωτικές συνθήκες και σε συγκεντρώσεις  $\text{Cr}^{6+}$  μεγαλύτερες από 10 mM το  $\text{HCrO}_4^-$  πολυμερίζεται και παράγεται  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Νερά που έχουν συγκέντρωση Cr πάνω από 1 mg/l όταν επικρατούν τα ιόντα  $\text{HCrO}_4^-$  και  $\text{CrO}_4^{2-}$  έχουν κίτρινο χρώμα. Η παρουσία  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  δίνει στα ρυπασμένα νερά πορτοκαλί χρώμα.

Το  $\text{Cr}^{6+}$  είναι ισχυρό οξειδωτικό και ανάγεται όταν υπάρχουν δότες ηλεκτρονίων όπως ο  $\text{Fe}^{2+}$ . Η αποκατάσταση ρυπασμένων υδροφόρων μέσω της αναγωγής του  $\text{Cr}^{6+}$  σε  $\text{Cr}^{3+}$  θεωρείται μια σημαντική διαδικασία.

**Πιν. 8.21** Μορφές του Cr στο περιβάλλον σύμφωνα με την κατάσταση οξειδώσεως. (NIEBOER and JUSYS, 1988 SYRACUSE RESEARCH CORPORATION 1993, KATZ and SALEM 1994).

<b>Cr στοιχείο</b>		Δεν απαντά στο φυσικό περιβάλλον
<b>Cr<sup>2+</sup></b>	CrBr <sub>2</sub> , CrCl <sub>2</sub> , CrF <sub>2</sub> , CrSe, Cr <sub>2</sub> Si	Είναι σχετικά ασταθές και οξειδώνεται εύκολα σε τρισθενές
<b>Cr<sup>3+</sup></b>	CrB, CrB <sub>2</sub> , CrBr <sub>3</sub> , CrCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O, CrCl <sub>3</sub> , CrF <sub>3</sub> , CrN, KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	Δημιουργεί σταθερές ενώσεις και βρίσκεται στην φύση σε μορφή μεταλλευμάτων, όπως (FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ).
<b>Cr<sup>4+</sup></b>	CrO <sub>2</sub> , CrF <sub>4</sub>	Δεν απαντά στο φυσικό περιβάλλον
<b>Cr<sup>5+</sup></b>	CrO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Δεν απαντά στο φυσικό περιβάλλον
<b>Cr<sup>6+</sup></b>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , BaCrO <sub>4</sub> , CaCrO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Είναι το δεύτερο πιο σταθερό ιόν του Cr. Σπάνια απαντά φυσικά στο περιβάλλον στο ορυκτό PbCrO <sub>4</sub> . Παράγεται κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές.

Το δυναμικό οξειδωσης για την μετατροπή του  $\text{Cr}^{3+}$  σε  $\text{Cr}^{6+}$  είναι υψηλό και για αυτό σε περιβαλλοντικές συνθήκες δύσκολα γίνεται αυτή η μετατροπή. Στο φυσικό περιβάλλον αυτή η οξειδωση μπορεί να γίνει από λίγα οξειδωτικά. Αυτά είναι κυρίως το διαλυμένο οξυγόνο και τα οξείδια Mn. Τα πιο σημαντικά στα υπόγεια νερά είναι τα οξείδια Mn γιατί η οξειδωση του  $\text{Cr}^{3+}$  είναι πιο γρήγορη από ότι με το  $\text{O}_2$ .

Όπως έχει αναφερθεί στις περιοχές του Ελεώνα και του Σχηματαρίου η συγκέντρωση του  $\text{Cr}^{6+}$  σε 4 περιπτώσεις φτάνει ως τα 40  $\mu\text{g/l}$ . Σε αυτά τα δείγματα το Eh μετρήθηκε από -27 ως -49 mV και η αλατότητα από 431 mg/l ως 524 mg/l (Βασιλάτος κ.α. 2008).. Το ολικό Cr (πιν 8.11) κυμαίνεται από 9 ως 150  $\mu\text{g/l}$  με μ.τ. 36  $\mu\text{g/l}$  (n=8). Μόνο στην γεώτρηση G24 βρέθηκε μεγάλη τιμή. Αυτή βρίσκεται σε αλλουβιακές αποθέσεις και στην περιοχή υπάρχουν κάποιες εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με τις συνθήκες pH και Eh της περιοχής (σχ. 8.20) η πιο σταθερή μορφή φαίνεται να είναι η τρισθενής  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Πιθανά οι αυξημένες τιμές οφείλονται σε βιομηχανική ρύπανση.

## As

Το αρσενικό ανήκει στην 5 ομάδα του περιοδικού πίνακα. Έχει χαρακτηριστεί χημικά ως μεταλλοειδές, έχοντας τις ιδιότητες και ενός μετάλλου και ενός αμέταλλου, ωστόσο συχνά αναφέρεται ως μέταλλο. Μπορεί να εμφανιστεί στο περιβάλλον σε διάφορες καταστάσεις οξειδωσης (-3, -1, 0, 3 και 5). Στο περιβάλλον είναι ευρέως διαδεδομένο. Μπορεί να κινητοποιηθεί μέσα από ένα συνδυασμό φυσικών διεργασιών όπως η αποσάθρωση, η διάβρωση, η βιολογική και ηφαιστειακή δραστηριότητα και από τον ανθρώπινο παράγοντα. Όσον αφορά τις εκπομπές του στο περιβάλλον, υπάρχει μια αναλογία 60/40 υπέρ των φυσικών πηγών. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα και η πτητικοποίηση σε χαμηλή θερμοκρασία (βιομεθυλίωση) είναι οι δύο κυρίαρχες φυσικές πηγές. (U.S. Department of health and human services, 2007).

Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες εφαρμογές του στην βιομηχανία:

- Η κύρια χρήση του αρσενικού είναι ως πρόσθετο σε συντηρητικά ξύλου.
- Σε μεγάλες ποσότητες στη βιομηχανία γυαλιού, στη μεταλλουργία για την κατασκευή κραμάτων και στη βιομηχανία χρωμάτων.
- Ως συστατικό στα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα. Οργανικές ενώσεις του αρσενικού χρησιμοποιούνται (ως συστατικό) ως τροφή για πουλερικά και γουρούνια για να επιτευχθεί αύξηση βάρους, και για την παρασκευή τονωτικού για τα βοοειδή και τα άλογα.
- Στην επεξεργασία δερμάτων και στη φαρμακοβιομηχανία.

Η μέση συγκέντρωση του φλοιού σε As είναι περίπου 1.5 mg/kg. Στα πυριγενή πετρώματα οι συγκεντρώσεις είναι γενικά χαμηλές (ως 5 mg/kg). Στις ηφαιστειακές ύελους οι συγκεντρώσεις είναι ελαφρώς υψηλότερες με μέσο όρο γύρω στα 6 mg/kg (Smedley & Kinniburgh, 2002). Στα μεταμορφωμένα πετρώματα οι συγκεντρώσεις είναι ανάλογες των μητρικών πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται. Τα περισσότερα περιέχουν περίπου 5 mg/kg ή λιγότερο. Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες έχουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις με μέσο όρο 18 mg/kg. Οι συγκεντρώσεις στα ιζηματογενή πετρώματα είναι συνήθως μεταξύ 5-10 mg/kg (Webster, 1999). Τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις άλλες κατηγορίες πετρωμάτων γιατί αποτελούνται από ορυκτά τα οποία έχουν την τάση να προσροφούν το As. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες τυπικές συγκεντρώσεις ιζηματογενών πετρωμάτων:

Άργιλοι	3–15 (ως 490)
Ψαμμίτης	0.6–120
Ασβεστόλιθος-Δολομίτης	0.1–20.1
Άνθρακες	0.3–35.000

Απαντά ως καθαρό στοιχείο, σε θειούχα ορυκτά και οξείδια. Αυτά τα ορυκτά είναι σχετικά σπάνια στο φυσικό περιβάλλον. Ανάμεσα στα πιο κοινά ορυκτά στις μεταλλευτικές ζώνες είναι αρσενικούχος σιδηροπυρίτης ( $\text{Fe}(\text{S},\text{As})_2$ ) και ο αρσενοπυρίτης ( $\text{FeAsS}$ ). Ο αρσενικούχος σιδηροπυρίτης είναι ίσως η πιο σημαντική πηγή αρσενικού σε ζώνες μεταλλεύματος (Nordstrom, 2000). Επίσης τα ορυκτά αρσενικού συχνά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις από κάδμιο, μόλυβδο, ασήμι, χρυσό, αντιμόνιο, φώσφορο, βολφράμιο, και μολυβδαίνιο. Την μεγαλύτερη συγκέντρωση As έχουν τα θειούχα ορυκτά, εκ των οποίων ο σιδηροπυρίτης ( $\text{FeS}_2$ ) είναι ο πιο άφθονος. Κάποιες τυπικές συγκεντρώσεις ορυκτών σε mg/kg είναι: αιματίτης ως 160, υδροξείδιο του  $\text{Fe}^{3+}$  ως 76000, πυρίτης 100-77000 και μαρκασίτης 20-126000.

Σχετικά με άλλα τοξικά στοιχεία το As είναι κινητικό στις συνήθεις τιμές pH που συναντάμε στα φυσικά νερά (pH 6,5-8,5) και σε οξειδωτικές και σε αναγωγικές συνθήκες. Το pH και Eh είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την μορφή του στο υδατικό περιβάλλον. Υπό φυσιολογικές συνθήκες το συναντάμε σε ανόργανη μορφή ως 3σθενές ή ως 5σθενές. Μπορεί να παραχθεί σε οργανική μορφή από βιολογική δραστηριότητα, κυρίως στα επιφανειακά νερά αλλά δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα (Selinus Olle et al, 2005). Σε κάποιο διάλυμα που έχουμε χαμηλό pH και υψηλή συγκέντρωση θείου μπορούν να δημιουργηθούν σουλφίδια του As. Σε αναγωγικές και όξινες συνθήκες μπορούν να καθιζάνουν  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{AsS}$  και άλλα θειούχα ορυκτά του As (Cullen & Reimer, 1989). Έτσι όπου έχουμε υψηλή συγκέντρωση σε ελεύθερο θείο δεν αναμένουμε ρύπανση από As (Moore et al., 1988). Η αναλογία του  $\text{As}^{3+}$  και του  $\text{As}^{5+}$  εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής του υδροφορέα που διαμορφώνεται από την συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα, του οξυγόνου, των νιτρικών και θειικών αλάτων. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Σε οξειδωτικά συστήματα κυριαρχεί το  $\text{As}^{5+}$ .

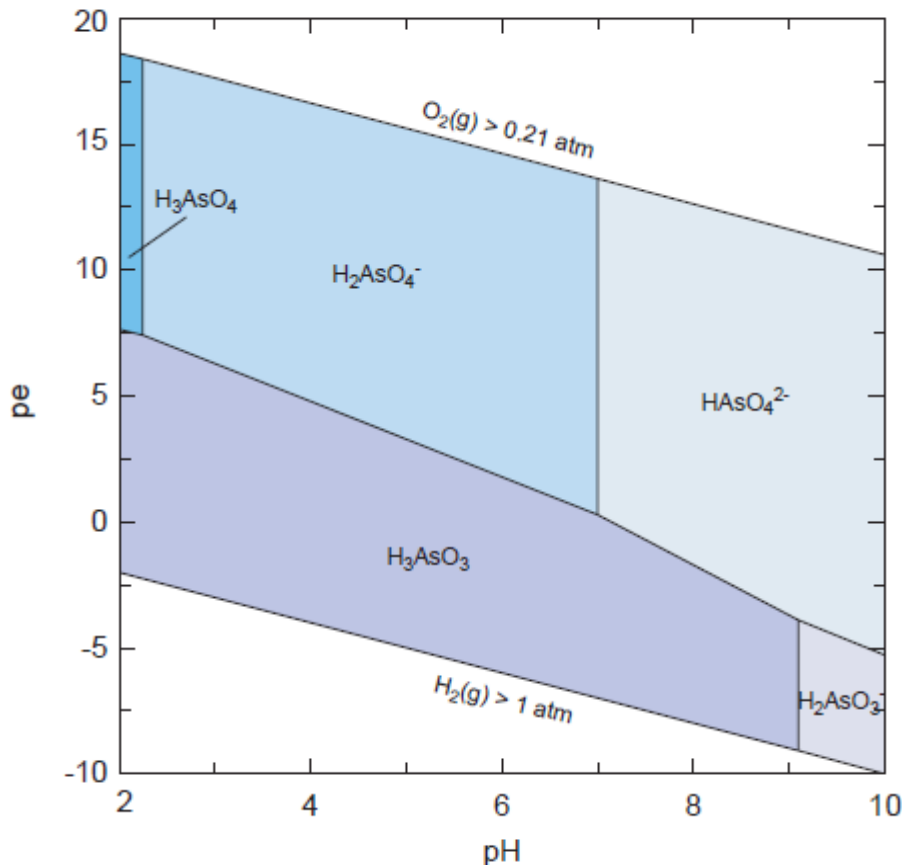
Γενικά η συμπεριφορά του As σε υδροφορείς, ιζήματα και εδάφη συνδέεται με αντιδράσεις προσρόφησης και εκρόφησης (Korte 1991, Manning & Goldberg, 1997, BGS & DPHE, 2001). Τα κυριότερα ορυκτά που προσροφούν As στα ιζήματα είναι τα οξείδια των μετάλλων και κυρίως του Fe, Al, Mg. Τα σημαντικότερα ορυκτά ως προς την προσρόφηση είναι τα οξείδια του Fe εξαιτίας της αφθονίας τους, της ισχυρής δέσμευσης που παρουσιάζουν και της μεγάλης ειδικής επιφάνειας που έχουν. Τα ανθρακικά ορυκτά μπορούν να προσροφήσουν As αλλά σε μικρότερο βαθμό.

Όσον αφορά την κινητικότητα του As φαίνεται πως δύο παράγοντες καθορίζουν τις υψηλές συγκεντρώσεις στους υδροφορείς. Κατ' αρχήν πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες γεωχημικές συνθήκες που θα απελευθερώσουν το As από την στερεά φάση στο υπόγειο νερό. Αφού απελευθερωθεί το As θα πρέπει να επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες ώστε το As να παραμείνει στον υδροφόρο και να μην απομακρυνθεί. Οι γεωχημικές συνθήκες που μπορεί να επικρατούν είναι διάφορες. Η πιο σημαντική είναι η εκρόφηση ή διάλυση του As από τα οξείδια του Fe. Επίσης μπορούν να οξειδωθούν θειούχα ορυκτά σε μεταλλοφόρες ζώνες όταν πχ. κατέλθει ο υδροφόρος ορίζοντας και το περιβάλλον γίνει οξειδωτικό. Οι αντιδράσεις διάλυσης είναι γενικά αργές, αλλά υπάρχουν αντιδράσεις (όπως οξείδωση) που μπορούν γίνουν σε εβδομάδες ή μέρες. (Masscheleyn et al., 1991). Όταν τα ιζήματα είναι θαμμένα (διαγέννεση) η απελευθέρωση είναι πιο αργή. Γενικά υψηλές συγκεντρώσεις As συνδέονται με υδροφορείς που φιλοξενούνται σε νέα ιζήματα.

Στο φυσικό περιβάλλον συνήθως συναντάμε αερόβιες συνθήκες με pH από όξινο ως ουδέτερο. Σε αυτή την κατάσταση το As είναι προσροφημένο κυρίως στα οξείδια των μετάλλων και η συγκέντρωση του στο νερό είναι χαμηλή. Καθώς το pH αυξάνεται, ιδιαίτερα πάνω από 8,5 το As έχει την τάση να απελευθερώνεται (Dzombak & Morel, 1990).

Σε ισχυρές αναγωγικές συνθήκες μπορούν να αναχθούν ο  $\text{Fe}^{3+}$  και τα θειούχα ορυκτά απελευθερώνοντας As. Αυτές τις συνθήκες τις συναντάμε συνήθως στην ταχεία συσσώρευση και ταφή των ιζημάτων (μεγάλα αλλουβιακά πεδία και δέλτα).

Οι αντιδράσεις διάλυσης των ορυκτών τείνουν να είναι πιο γρήγορες σε ακραίες συνθήκες pH και Eh. Για παράδειγμα, τα οξείδια του σιδήρου διαλύονται υπό πολύ όξινες συνθήκες και υπό έντονα αναγωγικές συνθήκες.



**Σχ. 8.22.** Διάγραμμα pH Eh για διαλυτές μορφές As στο σύστημα As-O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. AsT=10<sup>-5</sup> M, NaCl=10<sup>-2</sup> M, 25 °C (Selinus Olle et al, 2005)

Η συσσώρευση As σε υδροφορείς έχει να κάνει με τον ρυθμό απελευθέρωσης του As και με την ταχύτητα ροής μέσα στον υδροφορέα. Όταν η ταχύτητα ροής είναι μικρή και ο ρυθμός απελευθέρωσης σημαντικός οι πιθανότητες ρύπανσης αυξάνονται. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η σχετική ηλικία των υδροφορέων και του υπόγειου νερού. Για παράδειγμα τα περισσότερα πετρώματα που φιλοξενούν νερό είναι κάποιων εκατομμυρίων χρόνων και το νερό που φιλοξενείται έχει ηλικία μερικές χιλιάδες χρόνια. Έτσι το νερό που υπάρχει έχει ανανεωθεί πολλές φορές και έχει γίνει σημαντική έκπλυση των στοιχείων. Κατά την τεταρτογενή περίοδο υπήρξαν σημαντικές κλιματικές αλλαγές. Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο (πριν από 21000 ως 13500 χρόνια). Η στάθμη της θάλασσας έπεσε 130 m επηρεάζοντας το επίπεδο διάβρωσης, την πιεζομετρική επιφάνεια και την ροή των παραθαλάσσιων υδροφορέων. Έτσι αυξήθηκε η υδραυλική κλίση και η ταχύτητα ροής, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση του As από παράκτιους υδροφορείς.

Στην περιοχή μελέτης έχουν βρεθεί αυξημένες τιμές (ως 34 μg/l) στον Ελεώνα και στο Σχηματάρι (Βασιλάτος κ.α. 2008) και πιθανά σχετίζονται με ανθρωπογενή ρύπανση.



## **Cd**

Στην φύση σχετίζεται με κοιτάσματα Zn και χρησιμοποιείται κυρίως ως αντιδιαβρωτικό, στην επιμετάλλωση, σε κράματα και σε μπαταρίες Ni. Τα άλατα του χρησιμοποιούνται στην φωτογραφία, κεραμική, στην βιομηχανία ηλεκτρονικών και σε χρωστικές.

Αλληλεπιδρά ισχυρά με τον Zn λόγω των χημικών ομοιοτήτων τους και με το Se. Σχηματίζει άλατα με S, CO<sub>3</sub> και OH που θεωρούνται αδιάλυτα στο νερό, ενώ τα άλατα με Cl, NO<sub>3</sub> και SO<sub>4</sub> έχουν μεγάλη διαλυτότητα. Η διαλυτότητα του στο νερό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH, όταν αυξηθεί η οξύτητα μπορεί να διαλυθεί από τις διάφορες μορφές στις οποίες υπάρχει (Ros & Sloof, 1987). Στα φυσικά νερά βρίσκεται συνήθως σε αιωρούμενα σωματίδια και έχει την τάση να δεσμεύεται από ιζήματα (Friberg et al., 1986). Σε μη ρυπασμένα νερά η συγκέντρωση του συνήθως δεν ξεπερνάει το 1 µg/l. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1 µg/l, είναι ενδεικτικές ρύπανσης από βιομηχανικά λύματα και διάβρωσης υλικών στα οποία υπάρχει επίστρωση Cd, όπως είναι οι γαλβανισμένοι σωλήνες, όπου το Cd βρίσκεται ως πρόσμιξη στον Zn. Επίσης τα λιπάσματα που προέρχονται από φωσφορικά ορυκτά μπορεί να αποτελέσουν σημαντική πηγή διάχυτης ρύπανσης. Η μεγαλύτερη τιμή που έχει καταγραφεί είναι 100 µg/l (WHO/UNEP, 1989).

Στην περιοχή κυμαίνεται από <1 μέχρι 40 µg/l και η μέση τιμή είναι 24 µg/l (n=25). Πιθανά οι αυξημένες συγκεντρώσεις οφείλονται σε βιομηχανική ρύπανση.

## **Pb**

Είναι το πιο διαδεδομένο στοιχείο από τα βαρέα μέταλλα και η συγκέντρωσή του στο γήινο φλοιό φτάνει τα 13 mg/Kg. Βρίσκεται συνήθως στα ορυκτά γαληνίτη, κερουσίτη και ανγκλεσίτη και σπάνια συναντάται με την στοιχειακή του μορφή. Έχει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές όπως στις μπαταρίες, σε κράματα και σε χρωστικές ουσίες. Στο φυσικό περιβάλλον έχει την τάση να συσσωρεύεται στα ιζήματα και εδάφη. Στα επιφανειακά νερά βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 10 µg/l και στο θαλασσίνο νερό δεν ξεπερνά τα 3 µg/l.

Στην περιοχή κυμαίνεται από <1 μέχρι 830 µg/l και η μ.τ. είναι 74 µg/l (n=24). Πιθανά οι αυξημένες συγκεντρώσεις οφείλονται σε βιομηχανική ρύπανση.

## **Zn**

Λόγω των αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων του χρησιμοποιείται σε κράματα και στον γαλβανισμό χάλυβα και σιδήρου. Η κύρια ένωση που χρησιμοποιείται είναι το οξείδιο Zn που βρίσκει εφαρμογή ως λευκαντικό στο καουτσούκ. Επίσης χρησιμοποιείται σε φυτοφάρμακα. Στα επιφανειακά νερά η συγκέντρωσή του συνήθως είναι μικρότερη από 10 µg/l και στα υπόγεια νερά είναι μεταξύ 10-40 µg/l (Elinder CG, 1986).

Στην περιοχή οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ <1 µg/l και 850 µg/l, αλλά σε λίγες περιπτώσεις υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις, χωρίς να υπερβαίνουν το όριο ποσομότητας.

## **Fe**

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο διαδεδομένο στοιχείο στον γήινο φλοιό και η συγκέντρωσή του φτάνει το 5%. Στην φύση οι πιο συνήθεις μορφές είναι Fe<sup>2+</sup> και Fe<sup>3+</sup>. Ο στοιχειακός Fe απαντά σπάνια στην φύση. Συνήθως σχηματίζει ενώσεις με το O<sub>2</sub> και δευτερευόντως με τα ανιόντα OH, CO<sub>3</sub> και S (Elinder C., 1986). Το πιο συνηθισμένο ορυκτό του είναι ο αιματίτης (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) και ακολουθούν ο πυρίτης (FeS<sub>2</sub>), ο σιδερίτης FeCO<sub>3</sub>, ο μαγνητίτης (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), γκοεθίτης (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O) και ο λειμονίτης (2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O). Επίσης συναντάται σε αρκετά μίκτα κοιτάσματα και σε ορυκτά όπως χαλκοπυρίτης (CuFeS<sub>2</sub>) και αρσеноπυρίτης (FeAsS). Χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό τομέα και σε χρωστικές ουσίες.

Στο νερό βρίσκεται υπό διάλυση με την δισθενή και την τρισθενή μορφή του και ως υδροξείδια του Fe με την μορφή αιωρούμενων σωματιδίων. Η συγκέντρωση του διαλυμένου Fe στο νερό εξαρτάται από το pH, το Eh, την θολερότητα, τα αιωρούμενα σωματίδια, την συγκέντρωση Al και Mn και άλλων βαρέων μετάλλων. Διάλυση του Fe μπορεί να προκύψει από οξείδωση και μείωση του pH. Επίσης οι μικρο-οργανισμοί και ιδιαίτερα τα βακτηρίδια του Fe, όπως το *Gallionella* spp., παίζουν σημαντικό ρόλο στην ισορροπία μεταξύ του διαλυμένου Fe και του Fe που καθιζάνει.

Στα μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά η συγκέντρωση του κυμαίνεται μεταξύ 0.001-0.5 mg/l, στο θαλασινό νερό είναι περίπου 0.002 mg/l. Στα υπόγεια νερά, όταν το pH είναι ουδέτερο ή αλκαλικό και επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες, τα άλατα του  $Fe^{2+}$  είναι ασταθή και καθιζάνουν ως  $Fe(OH)_3$  και η συγκέντρωση του διαλυμένου Fe είναι μικρή. Αντίθετα όταν οι συνθήκες είναι αναερόβιες, επικρατεί η δισθενής μορφή και η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 10 mg/l (National Research Council, 1979). Όταν το pH είναι μικρότερο από 3.5 η συγκέντρωση του μπορεί να φτάσει τις μερικές εκατοντάδες mg/l.

Όταν στο νερό σωληνώσεων τα επίπεδα του Fe είναι μεταξύ 0.05-0.1 mg/l, μπορεί να αναπτυχθεί θολερότητα και χρωματισμός. Επίσης όταν η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από 0.3 mg/l μπορεί να χρωματιστούν τα ρούχα και τα υδραυλικά. Τέλος ο Fe ευνοεί την ανάπτυξη ανεπιθύμητων βακτηρίων (Department of National Health and Welfare, 1990).

Στην περιοχή η συγκέντρωση του στα νερά κυμαίνεται από 37 ως 440  $\mu$ g/l και η μ.τ. είναι 226  $\mu$ g/l (n=25). Στα περισσότερα δείγματα που αναλύθηκαν εμφανίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις και η διακύμανση των τιμών δεν είναι μεγάλη. Επίσης σύμφωνα με τις συνθήκες pH και Eh της περιοχής οι τιμές είναι αρκετά μεγάλες, αφού σε αλκαλικά νερά όπου επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες ο  $Fe^{2+}$  καθιζάνει. Πιθανά σχετίζονται με τα κοιτάσματα Fe-Ni.

## Ni

Βρίσκεται σε αρκετά κοιτάσματα και το κύριο ορυκτό του είναι ο χαλκοπυρίτης. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα και σε άλλα κράματα. Άλλες χρήσεις είναι στην επιμετάλλωση, καταλύτες, μπαταρίες Ni-Cd, κέρματα, προϊόντα συγκόλλησης, χρωστικές και ηλεκτρονικά προϊόντα (IARC, 1990).

Όσο αφορά τα βαρέα μέταλλα είναι ένα από τα πιο κινητικά στοιχεία στο υδάτινο περιβάλλον. Στα φυσικά νερά με pH 5-9, βρίσκεται κυρίως με την μορφή  $Ni(H_2O)_6^{2+}$  (IPCS, 1991) και σε μικρότερο βαθμό σχηματίζει σύμπλοκα με τα ιόντα OH,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ , Cl και  $NH_3$ . Το μεταλλικό Ni δεν επηρεάζεται από το νερό αλλά διαβρώνεται σε μικρό βαθμό από αραιωμένο υδροχλωρικό ή θειικό οξύ και σε μεγάλο βαθμό από το νιτρικό οξύ. Τα άλατα που σχηματίζει με Cl,  $NO_3$ ,  $SO_4$  είναι διαλυτά στο νερό, τα άλατα με  $CO_3$  και OH είναι ελάχιστα και τα άλατα με S και O είναι πρακτικά αδιάλυτα.

Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση του στα υπόγεια νερά είναι η χρήση γης, το pH και το βάθος δειγματοληψίας. Σε περιοχές που έχουν ρυπανθεί ή βρίσκονται κοιτάσματα Ni έχουν καταγραφεί υψηλές τιμές (100-2500  $\mu$ g/l). (McNeely et al., 1972, Hopfer et al., 1989). Ρύπανση μπορεί να προκληθεί και από εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε Ni, όπου λόγω της όξινης βροχής το Ni μεταφέρεται στα υπόγεια νερά. Υψηλά επίπεδα σχετίζονται και με διάβρωση επινικελωμένων υλικών (φτάνουν 100-400  $\mu$ g/l και ενίοτε τα 1000  $\mu$ g/l), αλλά με την πάροδο του χρόνου το Ni που διαρρέει μειώνεται (Berg et al., 2000). Στην Αριζόνα των ΗΠΑ, σε γεωτρήσεις που έχει χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένος τύπος χάλυβα, καταγραφήκαν τιμές μεταξύ 8-395  $\mu$ g/l και σε κάποιες περιπτώσεις έφταναν τα 5 mg/l (Oakley & Korte, 1996). Η μέση συγκέντρωση σε υπόγεια νερά της Ολλανδίας κυμαίνονταν από 7.9  $\mu$ g/l στις αστικές περιοχές ως 16.6

μg/l στις αγροτικές. Στην Ευρώπη η συγκέντρωση στο πόσιμο νερό είναι μικρότερη από 10 μg/l (IPCS, 1991).

Στα νερά της περιοχής κυμαίνονται από <1 μέχρι 390 μg/l. Οι υψηλές τιμές, πιθανά σχετίζονται με τα κοιτάσματα Fe-Ni, αλλά η περιοχή μπορεί να έχει επηρεαστεί και από ανθρωπογενή ρύπανση.

## **Mn**

Είναι ένα από τα πιο άφθονα μέταλλα στο φλοιό της γης και συνήθως συνυπάρχει με τον Fe. Βρίσκεται σε περισσότερα από 100 ορυκτά και στην φύση δεν απαντά με την στοιχειακή του μορφή (ATSDR, 2000). Έχει 11 οξειδωτικά σθένη αλλά τα κυριότερα είναι  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Mn^{7+}$  (USEPA, 1994).

Χρησιμοποιείται κυρίως στην βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, το  $MnO_2$  και άλλες ενώσεις βρίσκουν εφαρμογή σε μπαταρίες, υαλουργία και πυροτεχνήματα, το  $KMnO_4$  χρησιμοποιείται στην λεύκανση και απολύμανση, διάφορες ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε λιπάσματα, βερνίκια, μυκητοκτόνα και συμπληρώματα διατροφής ζώων.

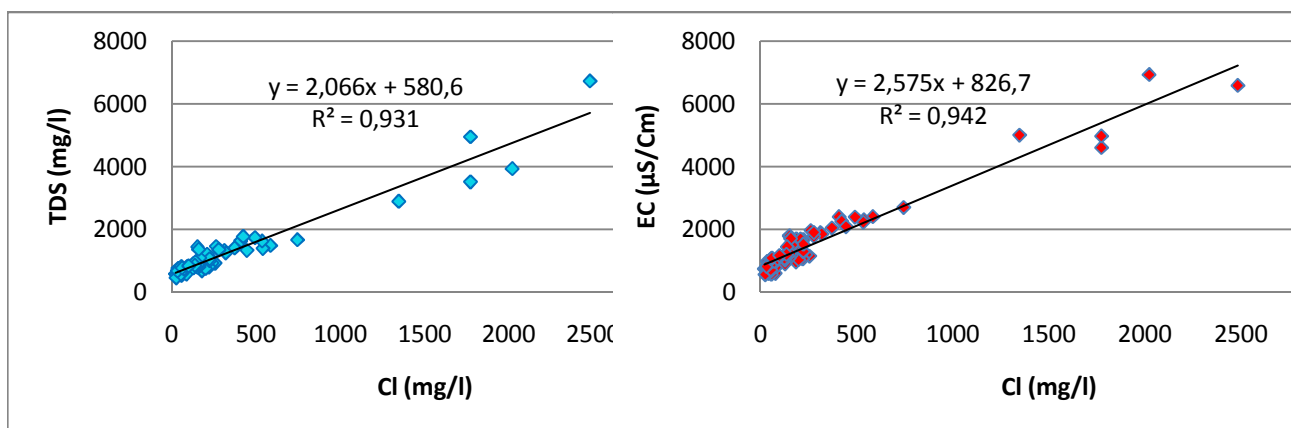
Στο νερό βρίσκεται με 2 μορφές, διαλυμένο και ως αιωρούμενο σωματίδιο. Η συγκέντρωση στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 2 μg/l και στα γλυκά νερά 1-200 μg/l (Bacheloux, 1999). Η μέση συγκέντρωση στα υπόγεια νερά είναι 5 μg/l (USGS, 2001), αλλά όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες ευνοούν υψηλές συγκεντρώσεις (σε ουδέτερα και όξινα νερά έχουν καταγραφεί 1300 και 9600 αντίστοιχα ATSDR, 2000). Στα νερά με pH 4-7 επικρατεί η δισθενής μορφή, αλλά σε υψηλότερες τιμές pH μπορεί να γίνει οξείδωση και να ακολουθήσει καθίζηση. Υψηλές συγκεντρώσεις σε νερά, όπου επικρατούν αερόβιες συνθήκες, σχετίζονται συνήθως με βιομηχανική ρύπανση. Σε σωλήνες νερού μπορούν να σχηματιστούν επιστρώσεις από την καθίζηση, ακόμα και όταν η συγκέντρωση είναι 0.02 mg/l (Bean, 1974). Επίσης όταν η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από 0.05 mg/l μπορεί να δημιουργηθεί αποχρωματισμός. Μπορεί να γίνει προσρόφηση από το έδαφος, η έκταση της οποίας εξαρτάται από την ποσότητα της οργανικής ύλης και την ιοντοανταλλακτική ικανότητα του εδάφους.

Στην περιοχή μελέτης η συγκέντρωση του βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα εκτός από 3 περιπτώσεις που κυμαίνεται από 820 ως 870 μg/l. Οι τιμές είναι αρκετά υψηλές αν συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι επικρατούν αερόβιες συνθήκες και το pH των νερών είναι μεγαλύτερο από 7, οπότε ευνοείται η καθίζηση. Πιθανά οι αυξημένες τιμές οφείλονται σε ανθρωπογενή ρύπανση.

## 9. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

### 9.1 Γενικά

Στην παρούσα μελέτη τα νερά έχουν διακριθεί ως προς την αλατότητα τους με βάση την συγκέντρωση Cl. Έχουν διακριθεί 3 ομάδες **1.** Cl<150 mg/l **2.** 150<Cl<250 mg/l **3.** Cl>250 mg/l (σχ. 9.5). Άλλοι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι το TDS και η EC και όπως φαίνεται από τα διαγράμματα στο σχ.9.1 υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους.



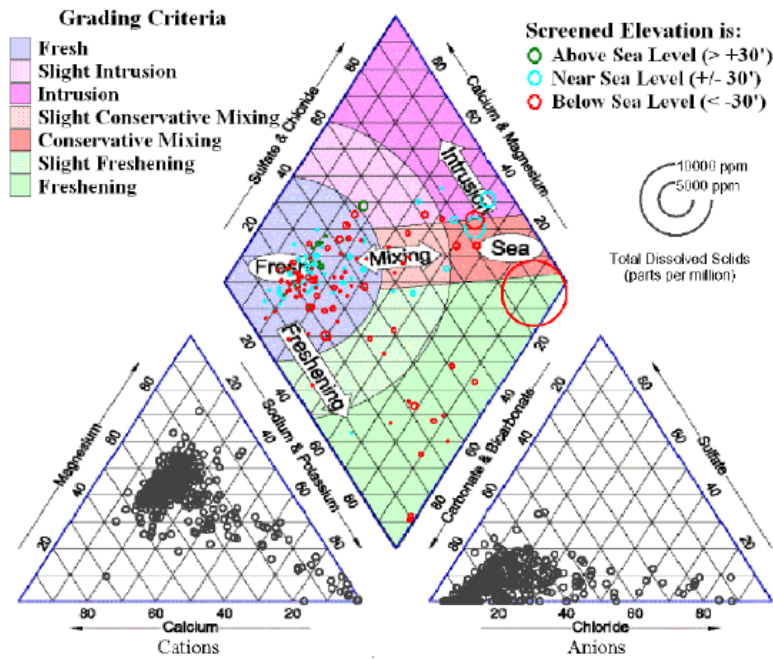
Σχ. 9.1 Συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης Cl και των παραμέτρων TDS και EC.

### Διάγραμμα Piper

Δημιουργήθηκε από τον Piper (1944) και αναδιαμορφώθηκε από τους Davis S. – De Wiest R. (1967) και Fetter C. W. (1994). Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή είναι αυτή στο σχ. 9.2. Αποτελούνται από δύο τριγωνικά διαγράμματα (ένα για τα κύρια ανιόντα και ένα για τα κύρια κατιόντα) και από ένα ενδιάμεσο ρόμβο, όπου όλα μαζί σχηματίζουν ένα τρίγωνο. Για να γίνει προβολή στα τρίγωνα των κατιόντων χρησιμοποιείται το εκατοστιαίο ποσοστό της συγκέντρωσης (meq/l) του κάθε κατιόντος στο σύνολο των κατιόντων. Ανάλογα γίνεται και με τα ανιόντα. Από την προβολή στα δύο τρίγωνα προκύπτουν 2 σημεία. Από αυτά φέρουμε 2 γραμμές παράλληλες στις πλευρές του μεγαλύτερου τριγώνου που σχηματίζεται, έτσι ώστε να τέμνονται σε ένα σημείο μέσα στο ρόμβο. Αυτό το σημείο μας δίνει τον υδροχημικό τύπο του νερού.

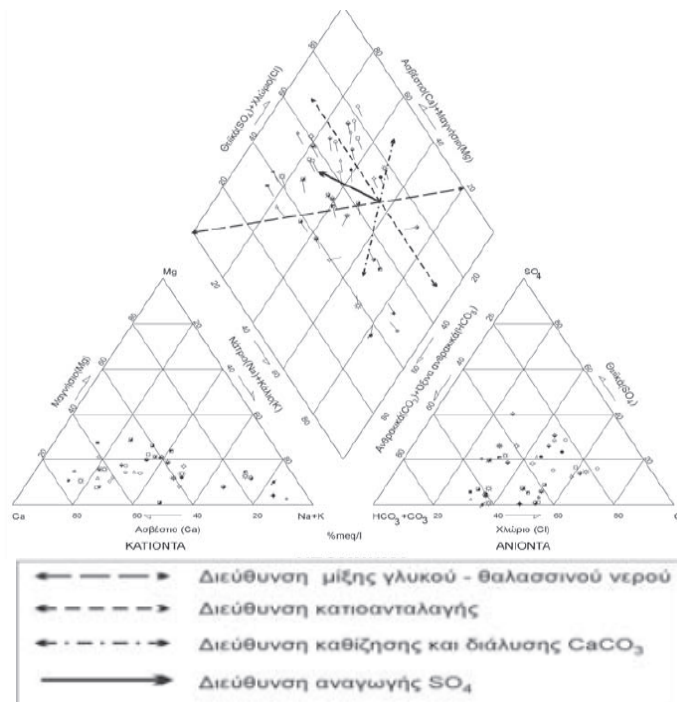
Η προβολή των αναλύσεων σε διάγραμμα Piper μπορεί να μας δώσει πολλές πληροφορίες για τον τύπο του νερού και για τις γεωχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την ρύπανση των υδροφορέων. Στο σχ. 9.2 φαίνονται οι περιοχές προβολής του γλυκού, του θαλασσινού και του νερού που προκύπτει από την ανάμιξη τους. Επίσης μπορούμε να δούμε τον βαθμό διείσδυσης του θαλασσινού νερού και αν στην περιοχή προελαύνει το θαλασσινό ή το γλυκό νερό.

Όταν κατά την ανάμιξη δύο διαφορετικών τύπων νερού δεν υπάρχουν αντιδράσεις που μεταβάλλουν την συγκέντρωση των ιόντων (όπως ιοντοανταλλαγές και καθίζηση), τότε στο διάγραμμα Piper, το νερό που προκύπτει βρίσκεται πάνω στην ευθεία που ορίζεται από τις προβολές των νερών που αναμίχθηκαν (Alley William M., 1993). Στην περίπτωση υφαλμύρισης το νερό ακολουθεί μια καμπύλη γραμμής.



Σχ. 9.2 Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται οι περιοχές προβολής διάφορων τύπων νερών

Όπως φαίνεται στο σχ. 9.3 όταν γίνεται μόνο κατιοανταλλαγή τα σημεία προβάλλονται παράλληλα στην εξωτερική πλευρά του ρόμβου, ενώ όταν συμβαίνουν άλλες αντιδράσεις αποκλίνουν από την εξωτερική πλευρά. Όταν διαλύεται  $\text{CaCO}_3$  τα σημεία μετακινούνται προς την γωνία Ca και  $\text{HCO}_3$ , ενώ όταν αποτίθεται μετακινούνται προς την γωνία Na και  $\text{SO}_4, \text{Cl}$ . Κατά την αναγωγή των  $\text{SO}_4$  τα σημεία κινούνται παράλληλα στον άξονα των ανιόντων.

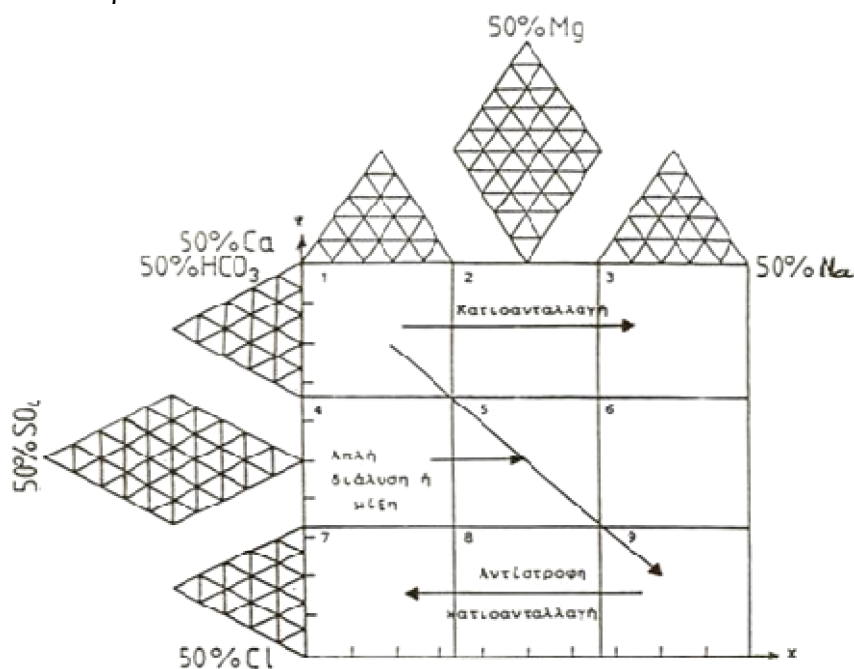


Σχ. 9.3 Διάγραμμα Piper. Από Βουδούρης Κ., Νίκας Κ. Αντωνάκος Α. (2004).

### Διάγραμμα Durov

Εισήχθηκε από τον Durov S.A. (1948) και τροποποιήθηκε από τους Zarogozec A. (1972), Hem J.D. (1970) και Lloyd J. – Heathcote J. (1985). Η συνηθέστερη μορφή του είναι δύο τρίγωνα όπου γίνεται η προβολή των κατιόντων και ανιόντων (όπως στο διάγραμμα του Piper) και ένα τετράγωνο, το οποίο χωρίζεται σε 9 μικρότερα. Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov χρησιμεύει στην κατανόηση των φαινομένων κατιοανταλλαγής μίξης και διάλυσης. Στο σχ. 9.4 φαίνονται τα πεδία των διαφόρων υδροχημικών φάσεων (Younger Paul L., 2007 και Lloyd et al., 1985).

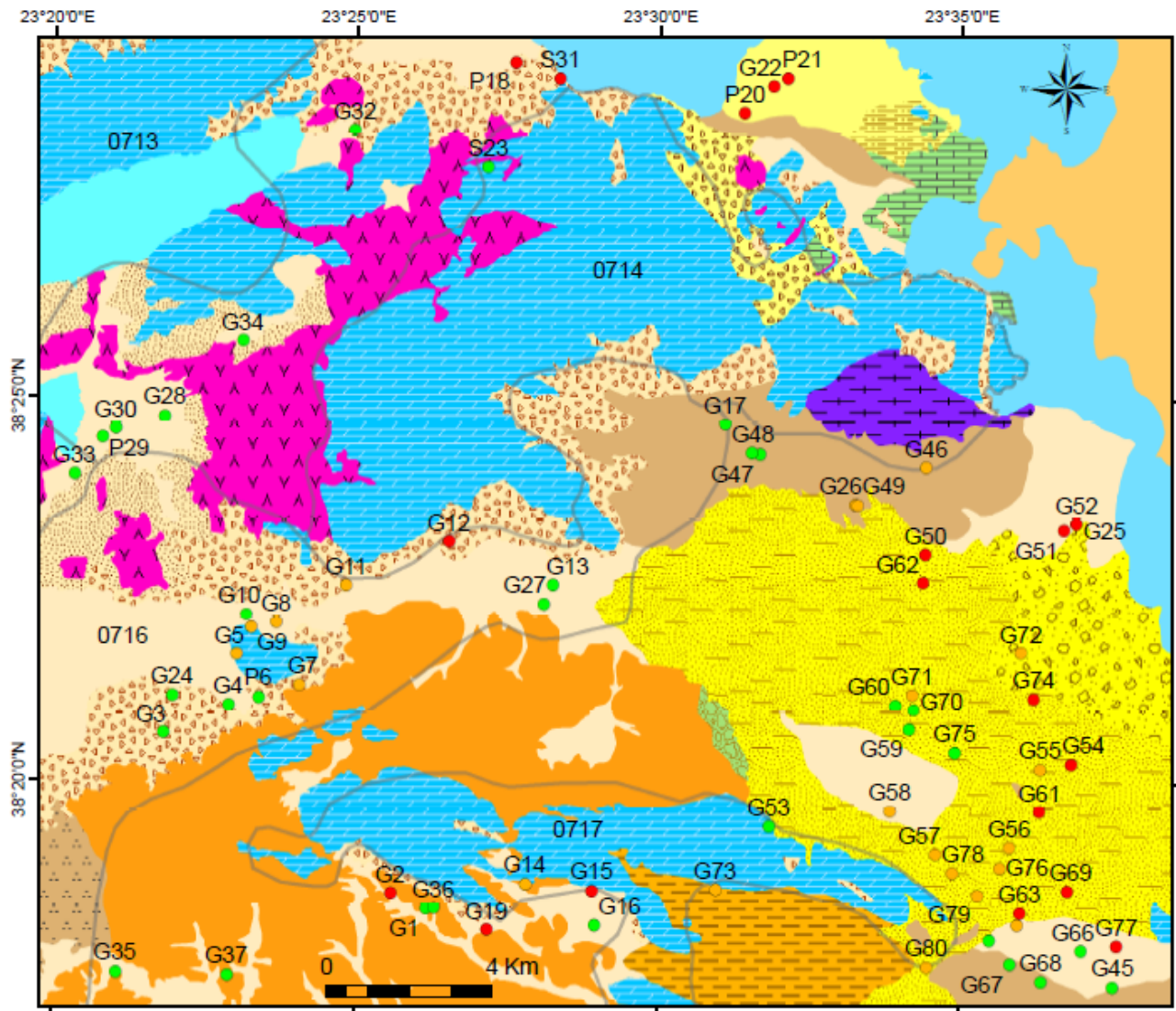
1. **Ca-HCO<sub>3</sub>** Φρέσκα νερά κοντά στην περιοχή εμπλουτισμού. Βρίσκονται σε ποικιλία υδροφορέων.
2. **Mg-HCO<sub>3</sub>** Συνήθως βρίσκονται σε ελεύθερους υδροφόρους όπου έχει γίνει διείδυση του θαλασσινού νερού και έχει ξεκινήσει η κατιοανταλλαγή.  
**Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>** Φρέσκα υπόγεια νερά κοντά στην επιφάνεια που φιλοξενούνται συνήθως σε δολομίτες.
3. **Na-HCO<sub>3</sub>** Νερά στα οποία το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
4. **Ca-SO<sub>4</sub>** Νερά που έχουν προκύψει από διάλυση γύψου ή έχουν επηρεαστεί από οξείδωση πυρίτη και άλλων θειούχων ορυκτών.
5. Δεν υπάρχει κυρίαρχο ιόν. Συνήθως προκύπτουν από ανάμιξη 2 ή περισσότερων διαφορετικών τύπων νερού.



Σχ. 9.4 Διαστελλόμενο διάγραμμα Durov. Τα βέλη απεικονίζουν τις πιο συνηθισμένες αντιδράσεις στα υπόγεια νερά.

6. **Na-SO<sub>4</sub>** Σπάνια νερά. Μπορούν να προκύψουν από ανάμιξη παλαιών, πλούσια σε Na νερών με νερά που έχουν προκύψει από οξείδωση πυρίτη. Επίσης μπορούν να προκύψουν από νερά που έχουν χάσει το Ca και HCO<sub>3</sub> μέσω της καθίζησης και μεταγενέστερα έχουν υποστεί εξάτμιση.
7. **Ca-Cl** Σχετίζονται με διείδυση θαλασσινού νερού και είναι το τελικό προϊόν της αντίστροφης κατιοανταλλαγής από Na-Cl νερά. Επίσης μπορούν να προκύψουν από το σπάνιο εβαποριτικό ορυκτό CaCl<sub>2</sub>.

8. **Mg-(Na)-(Ca)-Cl** Έχουν προκύψει από ανάμιξη γλυκών και υφάλινων νερών, όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
9. **Na-Cl** Νερά που συνήθως σχετίζονται με διείσδυση θαλασσινού νερού. Επίσης μπορεί να είναι παλαιά εγκλωβισμένα υφάλμυρα νερά ή να προέρχονται από την διάλυση αλίτη.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟ**
- Cl < 150 mg/l
  - 150 < Cl < 250 mg/l
  - Cl > 250 mg/l

Σχ. 9.5 Διάκριση των δειγμάτων ανάλογα με την συγκέντρωσή τους σε Cl.

Παρακάτω χρησιμοποιήθηκε ο λόγος Mg/Ca και οι λόγοι Na/K, (Ca+Mg)/(K+Na) και HCO<sub>3</sub>/Cl οι οποίοι είναι ενδεικτικοί του είδους του υδροφρέα και της απόστασης από την περιοχή εμπλουτισμού αντίστοιχα.

## 9.2 Ταξινόμηση κατά Piper και κατά Durov

### 9.2.1 Υδροσύστημα Ύπατου – παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού

Από το υδροσύστημα του Ύπατου υπάρχουν αναλύσεις από 2 υδροσημεία S23 και G12. Η πηγή S23 είναι κοντά στον υπόγειο υδροκρίτη στοιχείο που συμφωνεί με τους ιοντικούς λόγους που δείχνουν ότι είναι κοντά στην περιοχή εμπλουτισμού. Πιθανά εμφανίζεται στην επαφή των ασβεστολίθων με τον ηφαιστειο-ιζηματογενή σχηματισμό. Ο τύπος του νερού είναι Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, πιθανά έχει επηρεαστεί από τα υπερβασικά πετρώματα και τα Cl είναι 42.5 mg/l.

Η γεώτρηση G12 βρίσκεται στο νότιο άκρο του συστήματος (περίπου 11Km από τον Β Ευβοϊκό), κοντά σε ένα πιθανό ρήγμα που φαίνεται ότι οριοθετεί το καρστικό σύστημα από το σύστημα Θηβών – Υλίκης. Οι ιοντικοί λόγοι δείχνουν ότι βρίσκεται σε ασβεστόλιθους και κατάντη της περιοχής εμπλουτισμού. Από τον χάρτη των Δούνα κ.α. (1982) φαίνεται ότι είναι περίπου στην ίδια πιεζομετρική γραμμή με την γεώτρηση G42, οπότε η στάθμη μεταβάλλεται ανάλογα με την G42 και βρίσκεται περίπου στα 15 m. Το νερό έχει αυξημένα Cl (744.7 mg/l), 3 φορές πάνω από το όριο.

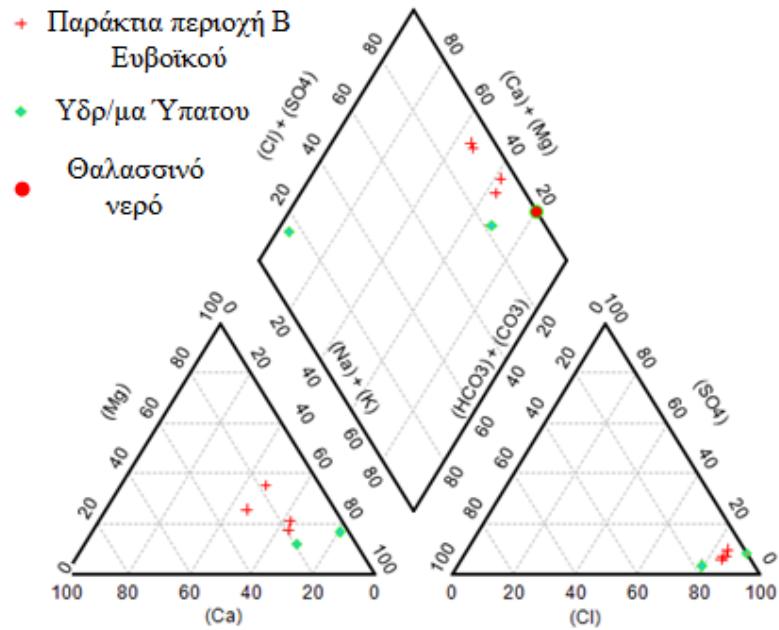
Στην περιοχή Λουκίσια-Δροσιά βρίσκονται τα υδροσημεία P18, P20, P21, G22 και S31. Αυτά απέχουν μέχρι 1Km από την ακτή του Β Ευβοϊκού και οι υδροφορείς έχουν υποστεί υφαλμύριση από την διείσδυση της θάλασσας. Η συγκέντρωση Cl κυμαίνεται μεταξύ 1773 και 2482.3 mg/l. Ο γ.τ. των υφάλμυρων νερών είναι Na-Cl. Ανατολικότερα βρίσκεται η γεώτρηση G32, η οποία δεν έχει υποστεί υφαλμύριση και τα Cl μετρήθηκαν 31.9 mg/l.

Πιν. 9.6 Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος	Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος
<b>Υδροσύστημα Ύπατου</b>		<b>Παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού</b>	
<b>G12</b>	Na-Cl	<b>P18</b>	Na-Mg-Cl
<b>S23</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>	<b>P20</b>	Na-Cl
		<b>P21</b>	Na-Ca-Mg-Cl
		<b>G22</b>	Na-Mg-Cl
		<b>S31</b>	Na-Cl
		<b>G32</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

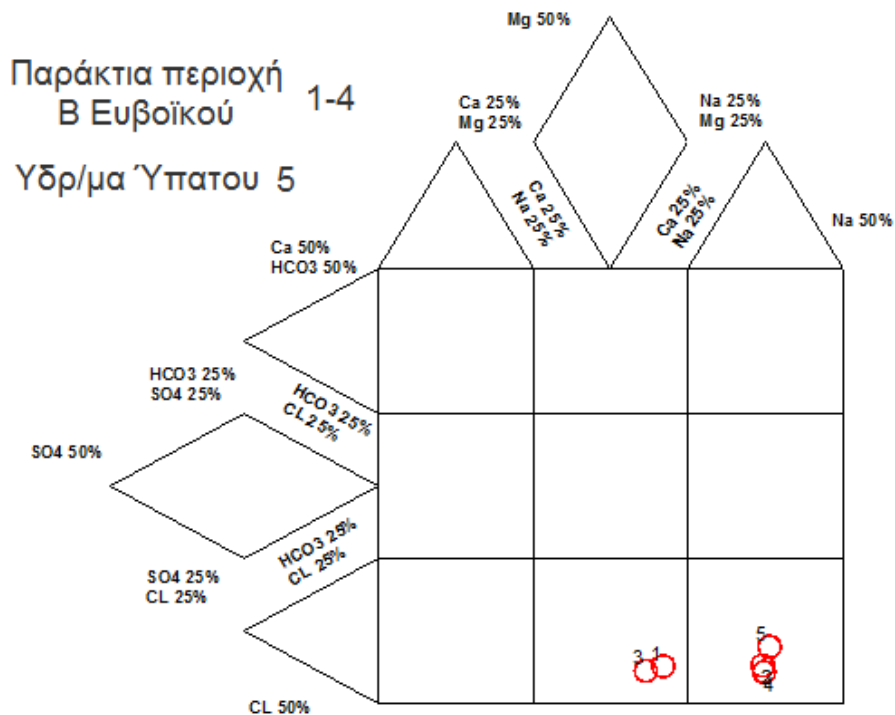
Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (σχ. 9.7), στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού τα μισά δείγματα έχουν προκύψει από συντηρητική ανάμιξη και στα άλλα γίνεται κατιοανταλλαγή. Το υφάλμυρο νερό από το υδρ/μα Ύπατου προβάλλεται στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης γλυκού με θ.ν.





Σχ. 9.7 Διάγραμμα Piper από υδροσημεία στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού και στο υδροσύστημα Ύπατου. Οι δειγματοληψίες έγιναν την περίοδο 8/12.

Στο διάγραμμα Durov (σχ. 9.8) τα μισά νερά, από την παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού, προβάλλονται στο πεδίο 8, όπου γίνεται αντίστροφη κατιοανταλλαγή και τα άλλα στο 9 όπου έχουμε απλή ανάμιξη. Το δείγμα από το υδρ/μα του Ύπατου προβάλλεται στο πεδίο 9.



Σχ. 9.8 Διάγραμμα Durov παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού, υδρ/μα Ύπατου.

## 9.2.2 Υδροσύστημα Θηβών-Υλίκης

Σε μια συγκεκριμένη περιοχή (μεταξύ Ελεώνα και Ύπατου), όπου εμφανίζονται επιφανειακά οι Τριαδικο-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι τα νερά έχουν σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις Cl (163.1-219.8 mg/l). Τα νερά βρίσκονται στις γεωτρήσεις είναι G5, G8, G9, G11 και G7. Σύμφωνα με τον ιοντικό λόγο Mg/Ca οι 4 πρώτες γεωτρήσεις βρίσκονται σε ανθρακικά πετρώματα και έχουν γενικό υδροχημικό τύπο Ca-Cl και η G7 σε πυριτικά με γ.τ. Mg-HCO<sub>3</sub> (σχ 9.5).

Στην ίδια περιοχή στον χάρτη των Δούνας κ.α. (1982), επισημαίνονται υφάλμυρα νερά και υπάρχει μια επιμήκης αναθόλωση στην πιεζομετρική επιφάνεια του καρστικού υδροφορέα. Αυτή έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (σχ. 7.11 ) και πιθανά σχετίζεται με κάποια ρήγματα, τα οποία έχουν ανυψώσει τους ασβεστόλιθους.

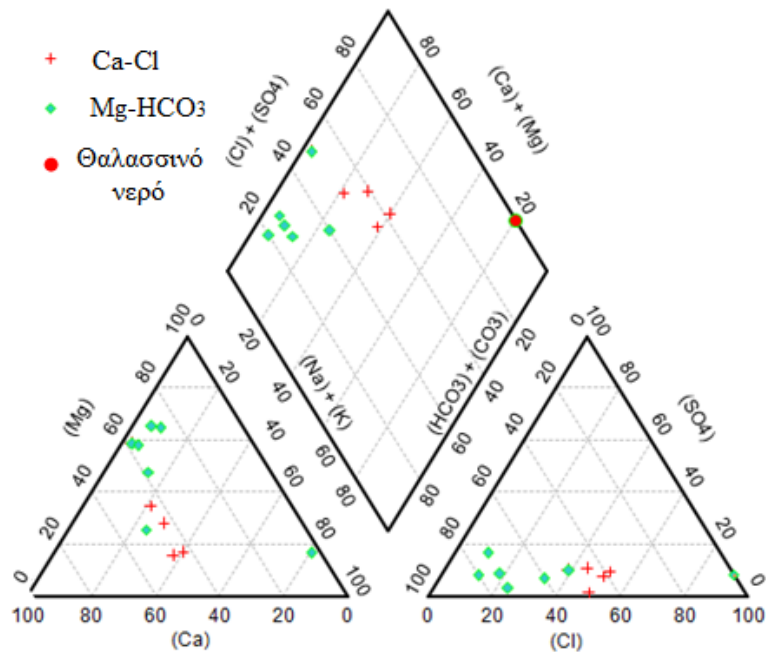
Τα υπόλοιπα υδροσημεία βρίσκονται σε πυριτικά πετρώματα με γ.τ. Mg-HCO<sub>3</sub> και διακύμανση Cl μεταξύ 24,8-56,7 mg/l. Εξαιρέση αποτελεί η G13 που βρίσκεται κοντά στο υδροσύστημα Ύπατου και φαίνεται ότι φιλοξενείται σε ασβεστόλιθους με Cl 85.1 mg/l. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν 2 ομάδες νερών:

- ✓ στα ανθρακικά, μεταξύ της περιοχής Ελεώνα-Ύπατου, με γ.τ. Ca-Cl
- ✓ στα νεογενή, με γ.τ. Mg-HCO<sub>3</sub>

**Πιν. 9.9** Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

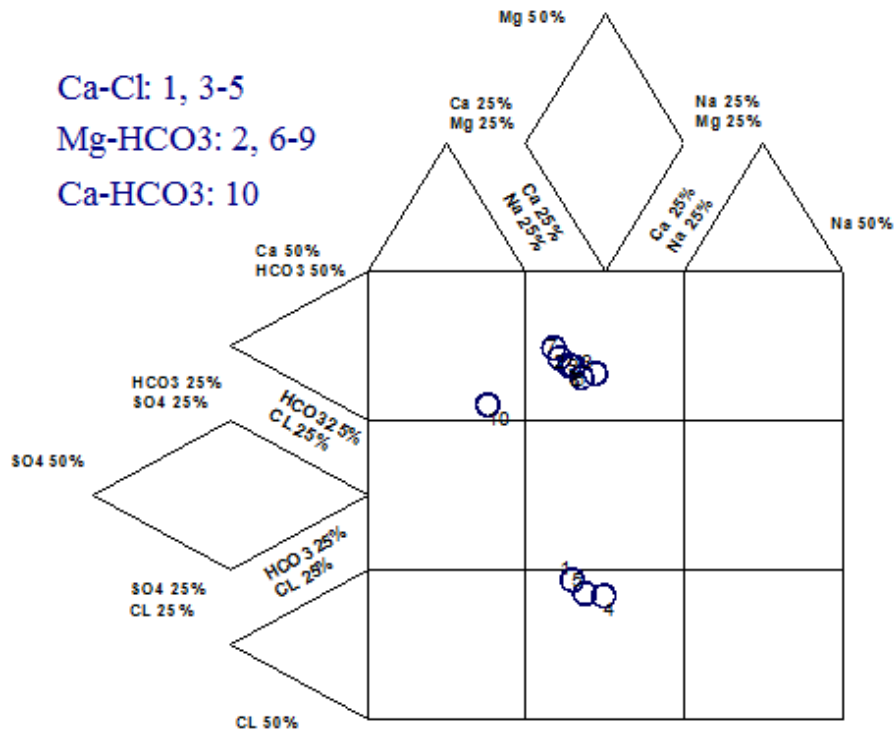
Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος	Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος
<b>Ανθρακικοί σχηματισμοί (Cl&gt;150 mg/l)</b>		<b>Νεογενείς σχηματισμοί (Cl&lt;150 mg/l)</b>	
<b>G5</b>	Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G3</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G7</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G4</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G8</b>	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>P6</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G9</b>	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G10</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G11</b>	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G13</b>	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		<b>G24</b>	Mg-HCO <sub>3</sub>
		<b>G27</b>	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub>

Στο διάγραμμα Piper (σχ. 9.10) προβάλλονται αναλύσεις και από τις 2 ομάδες. Τα νερά από τα ανθρακικά προβάλλονται στην περιοχή μεταξύ των γλυκών και του θαλασσινού νερού, στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης.



Σχ. 9.10 Διάγραμμα Piper από υδροσημεία του συστήματος Θηβών - Υλίκης. Οι δειγματοληψίες έγιναν ξηρή περίοδο (8/12)

Στο διάγραμμα Durov (σχ. 9.11) τα νερά από τα ανθρακικά προβάλλονται κυρίως στο πεδίο 8. Στα νεογενή το σύνολο σχεδόν των νερών προβάλλονται στο πεδίο 2, λόγω της επικράτησης του Mg.



Σχ. 9.11 Διάγραμμα Durov σύστημα Θηβών-Υλίκης.

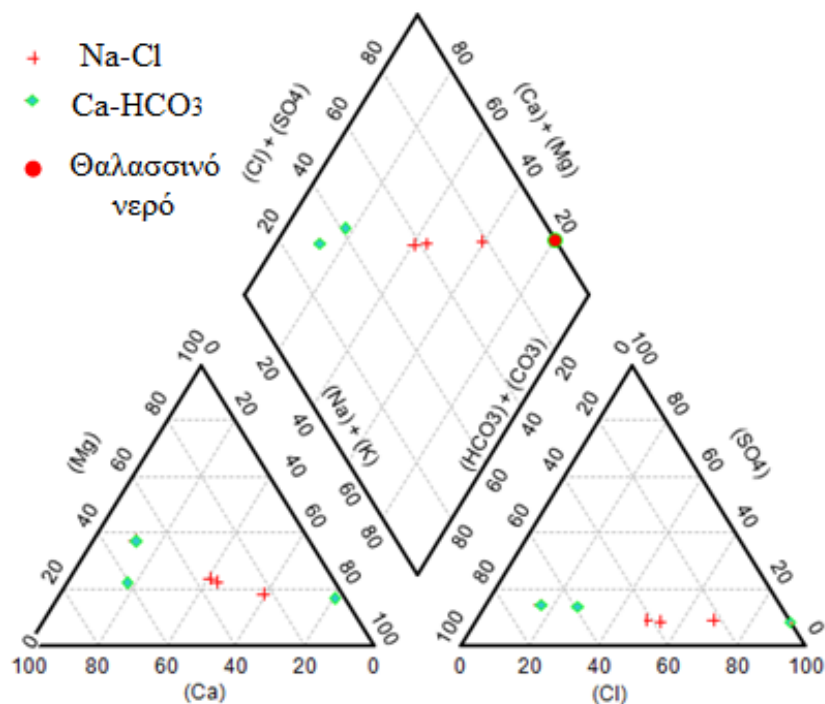
### 9.2.3 Υδροσύστημα Ασωπού

Από την γεωλογία της περιοχής και τον ιοντικό λόγο Mg /Ca, φαίνεται ότι το νερό των γεωτρήσεων G2, G14, G15, G16, G19, G53 και G73 προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα και αντιπροσωπεύουν το καρστικό σύστημα. Το σύστημα στην περιοχή οριοθετείται από την ρηξιγενή ζώνη Καλλιθέας-Ασωπίας και περιβάλλεται από Νεογενείς σχηματισμούς. Στα σημεία G2, G15 και G19 τα Cl είναι >250 mg/l (255,3-585 mg/l) και στα σημεία G14, G73 είναι σχετικά αυξημένα (219,9-237 mg/l). Ο γ.τ. αυτών των νερών είναι Na-Cl. Στις άλλες γεωτρήσεις τα Cl κυμαίνονται μεταξύ 46.1 και 78 mg/l και ο γ.τ. είναι Ca-HCO<sub>3</sub>. Γενικά όπως φαίνεται στον πιν. 9.12 μπορούμε να διακρίνουμε 2 ομάδες νερών **1.** Na-Cl και **2.** Ca-HCO<sub>3</sub>.

Πιν. 9.12 Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος	Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος
	(Cl>150 mg/l)		(Cl<150 mg/l)
<b>G2</b>	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G1</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
<b>G15</b>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G16</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G19</b>	Na-Ca-Cl	<b>G53</b>	Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G14</b>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>		
<b>G73</b>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>		

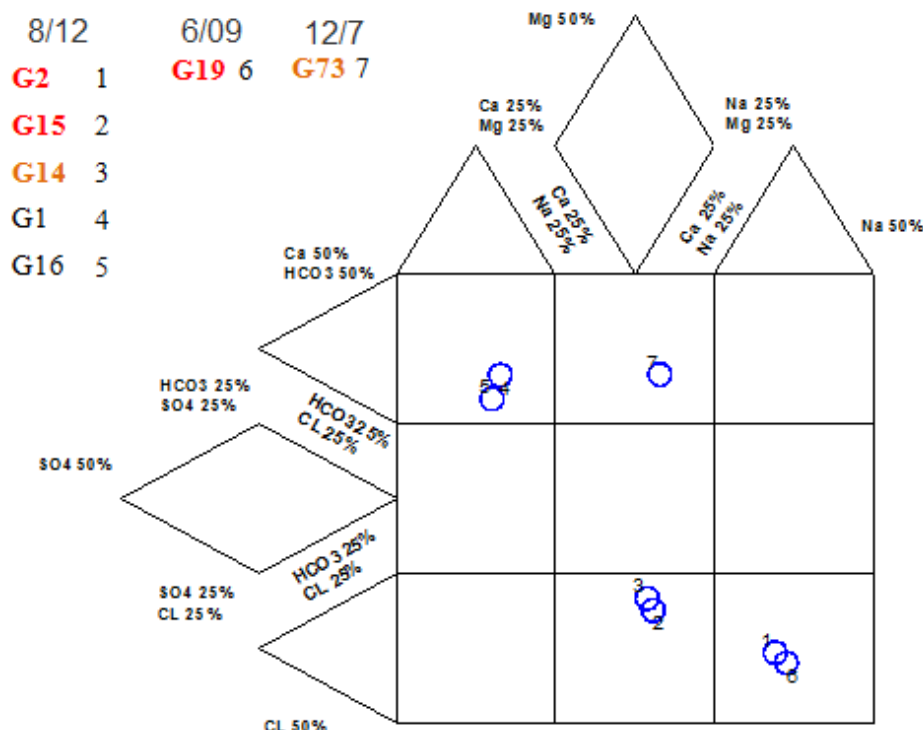
Από τους ιοντικούς λόγους φαίνεται ότι τα νερά με Cl>150 mg/l βρίσκονται κατάντη της περιοχής εμπλουτισμού, ενώ τα νερά με Cl<150 mg/l φαίνεται ότι είναι κοντά.



Σχ. 9.13 Διάγραμμα Piper –Υδροσύστημα Ασωπού. Δειγματοληψία 8/12

Στο διάγραμμα Piper (σχ. 9.13) τα υφάλμυρα νερά προβάλλονται μεταξύ των γλυκών και του θαλασσινού νερού.

Στο διάγραμμα Duroν (σχ. 9.14) προβάλλονται οι αναλύσεις από όλες τις περιόδους. Τα υφάλμυρα νερά προβάλλονται στα πεδία 8 και 9. Τα γλυκά νερά προβάλλονται στο πεδίο 1, οπότε πρόκειται για φρέσκα νερά.



Σχ. 9.14 Διάγραμμα Duroν, σύστημα Ασωπού.

## 9.2.4 Τοπικοί υδροφορείς

### Περιοχή μεταξύ των συστημάτων Θηβών-Υλίκης

Στην περιοχή βρίσκονται οι κατω-Πλειοκαινικές αποθέσεις και συναντάμε τις γεωτρήσεις G35, G36 και G37. Τα Cl κυμαίνονται μεταξύ 24.8 και 60.3 mg/l και ο κύριος τύπος είναι Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>. Σε μεγαλύτερο βάθος πιθανά αναπτύσσεται ένας καρστικός υδροφόρος. Ενδεικτική είναι η γεώτρηση G37 η οποία φαίνεται ότι βρίσκεται και σε ασβεστόλιθους. Όπως φαίνεται παρακάτω (πιν. 9.15) επικρατεί ο Mg-CO<sub>3</sub> τύπος.

Πιν. 9.15 Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος
<b>G35</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G36</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G37</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

### Περιοχή ανατολικά του συστήματος Υλίκης-Παραλίμνης

Οι συγκεντρώσεις των Cl είναι μικρές (21.3-42.5 mg/l). Ο κυρίαρχος τύπος είναι Mg-HCO<sub>3</sub> και το Mg είναι ενδεικτικό της προέλευσης των αλλουβιακών αποθέσεων. Οι τελευταίοι σχηματισμοί περιβάλλονται από το Ηωελληνικό κάλυμμα και πιθανά έχουν προέλθει από την διάβρωση του.

**Πιν. 9.16** Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

Υδροσ.	Υδροχημικός τύπος
<b>G28</b>	Mg-HCO <sub>3</sub>
<b>P29</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G30</b>	Mg-HCO <sub>3</sub>
<b>G33</b>	Mg-HCO <sub>3</sub>
<b>G34</b>	Mg-HCO <sub>3</sub>

**Παράκτια περιοχή Ν Ευβοϊκός**

Οι συγκεντρώσεις των Cl κυμαίνεται μεταξύ 54,6 και 535 mg/l και διακρίνονται 3 ομάδες (πιν. 9.17):

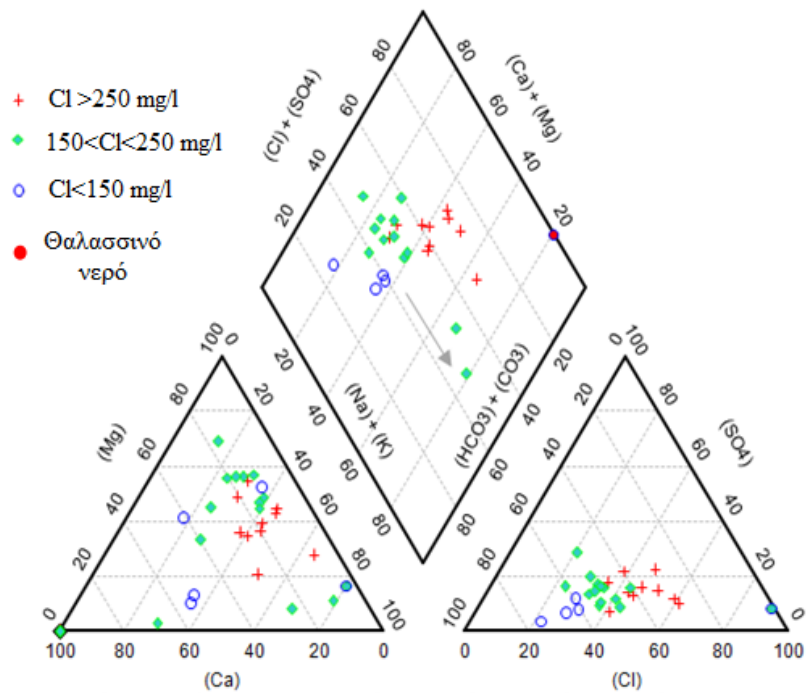
1. Cl>250 με κυρίαρχο γ.τ. Na-Cl
2. 150<Cl<250 οι γ.τ. που απαντούν είναι κυρίως Na-HCO<sub>3</sub> και Mg-HCO<sub>3</sub>
3. Cl<150 οι γ.τ. που απαντούν είναι κυρίως Mg-HCO<sub>3</sub> και Ca-HCO<sub>3</sub>

Από τα υπάρχοντα στοιχεία, υπάρχουν υφάλμυρα νερά σε γεωτρήσεις που βρίσκονται ως και 7 Km από την ακτή και τα νερά της ομάδας 2 βρίσκονται σε απόσταση ως και 10 Km. Ο χημικός τύπος των νερών που δεν έχουν υποστεί υφαλμύριση είναι ενδεικτικός της σύστασης του υδροφορέα. Από αυτά τα νερά, εκείνα που βρίσκονται στους νεογενείς σχηματισμούς έχουν ως κυρίαρχο κατιόν το Mg.

**Πιν. 9.17** Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων, παράκτιας περιοχής Ν Ευβοϊκού

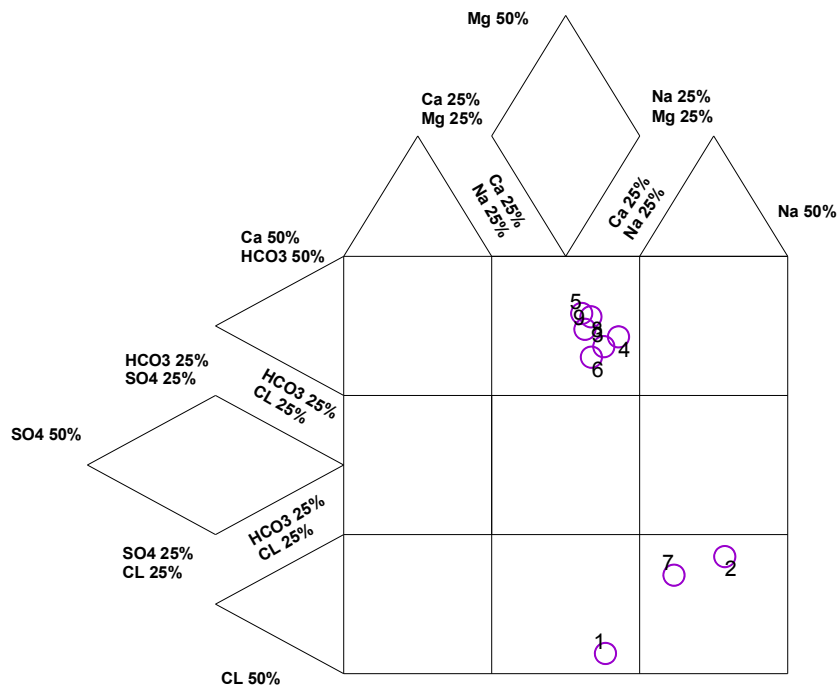
Cl>250 mg/l		150<Cl<250 mg/l		Cl<150 mg/l	
<b>G25</b>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G26</b>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G17</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G50</b>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G46</b>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G45</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G51</b>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G49</b>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G47</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G52</b>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G55</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G48</b>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G54</b>	Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G56</b>	Ca-Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G58</b>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G61</b>	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G57</b>	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G59</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G62</b>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	<b>G65</b>	Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G60</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G63</b>	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G71</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	<b>G64</b>	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
<b>G69</b>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	<b>G72</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G66</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
<b>G74</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G76</b>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G67</b>	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>G77</b>	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G78</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G68</b>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
		<b>G79</b>	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G70</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		<b>G80</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	<b>G75</b>	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl

Στο διάγραμμα Piper (σχ. 9.18) τα περισσότερα σημεία προβάλλονται στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης και σε κάποιες θέσεις φαίνεται να γίνεται αντίστροφη κατιοανταλλαγή.



Σχ. 9.18 Διάγραμμα Piper από υδροσημεία στην παράκτια περιοχή του Ν Ευβοϊκού. Οι δειγματοληψίες έγιναν την περίοδο 12/07-1/08.

Στο διάγραμμα Durov (σχ. 9.19) προβάλλονται μόνο τα υφάλμυρα νερά. Η πλειοψηφία των δειγμάτων προβάλλονται κυρίως στο πεδίο 2 και δευτερευόντως στα πεδία 8 και 9, οπότε γίνεται αντίστροφη κατιοναλλαγή σε μικρό βαθμό.



Σχ. 9.19 Διάγραμμα Durov παράκτια περιοχή Ν Ευβοϊκού. Προβάλλονται μόνο τα υφάλμυρα νερά.

## 10. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία στην περιοχή δεν υπάρχουν εβαποριτικοί σχηματισμοί και υδροθερμικά ρευστά. Οπότε αυτές οι πηγές υφαλμύρινσης αποκλείονται από την έρευνα προέλευσης της αλατότητας. Όπως έχει αναφερθεί τα υπόγεια νερά της περιοχής έχουν ρυπανθεί από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές. Η πιο εκτεταμένη ρύπανση σχετίζεται με τα NO<sub>3</sub> τα οποία πιθανά προέρχονται από τα αγροχημικά. Επίσης οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων είναι ενδεικτικές βιομηχανικής ρύπανσης. Αν εξαιρέσουμε τις παράκτιες περιοχές, οι υψηλές τιμές των προηγούμενων ρύπων τις περισσότερες φορές σχετίζονται με αλατότητες μεταξύ 500 και 800 mg/l. Γενικά φαίνεται ότι οι ανθρωπογενείς ρύποι δεν επηρεάζουν σημαντικά την αλατότητα.

Ο λόγος Cl/Br θεωρείται ενδεικτικός της προέλευσης, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε επειδή οι λόγοι που προέκυψαν είχαν αρκετά μεγάλες τιμές. Πιθανά λόγω σφάλματος προσδιορισμού από το μηχάνημα αναλύσεων.

Στους παρακάτω πίνακες τα δείγματα έχουν διακριθεί ανάλογα με το υδροσύστημα που ανήκουν και την χρονική περίοδο που έχουν ληφθεί. Επίσης έχουν ταξινομηθεί με βάση την συγκέντρωσή τους σε Cl (από την μεγαλύτερη στην μικρότερη). Το θαλασσίνο νερό αναφέρεται ως θ.ν.

### 10.1 Παράκτια περιοχή Β Ευβοϊκού-υδροσύστημα Ύπατου

Στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού προφανώς η αιτία υφαλμύρινσης είναι η διείσδυση της θάλασσας, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τον Na/Cl (μ.ο.=0.66). Τα υδροσημεία βρίσκονται σε ανθρακικά και πυριτικά πετρώματα και τα νερά έχουν Na-Cl τύπο. Την μεγαλύτερη υφαλμύριση την έχει υποστεί η γεώτρηση G22, η οποία φτάνει στο μεγαλύτερο βάθος. Από την συγκέντρωση των Cl φαίνεται πως το θ.ν. είναι αναμεμιγμένο με το γλυκό σε ποσοστό 10 % περίπου.

Πιν.10.1 Υδροχημικά χαρακτηριστικά και περιγραφή θέσεως των δειγμάτων.

	Na/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	K/Cl	SO <sub>4</sub> /Cl	RSI	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΙΓΜΑ. (m)	ΑΠΟΣΤΑ- ΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (Km)	Cl (mg/l)
<i>SEA</i>	0.86	0.03	0.18	0.019	0.1				21300
<i>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΕΥΒΟΙΚΟΣ (8/12)</i>									
<i>G22</i>	0.75	0.20	0.26	0.001	0.11	7.4	-40	1	2482.3
<i>P18</i>	0.58	0.22	0.44	0.003	0.08	6.9		0.8	2021.3
<i>P20</i>	0.74	0.22	0.20	0.001	0.07	7	-7	0.5	1773
<i>P21</i>	0.58	0.36	0.32	0.002	0.08	7	-11	1	1773
<i>M.O.</i>	0.66	0.25	0.31	0.002	0.09				
<i>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΗΓΗ Β ΕΥΒΟΙΚΟΣ (4/05)</i>									
<i>S31</i>	0.86	0.24	0.13	0.015	0.12	6.8	1.5	0.07	1347
<i>ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΑΤΟΥ (8/12)</i>									
<i>G12</i>	0.86	0.25	0.15	0.015	0.04	7.3		11.5	744.7

Χαρακτηριστική είναι η πηγή S31, που ενώ είναι σε υψόμετρο 1,5 m είναι υφάλμυρη. Αυτό μπορεί να συμβεί σε παράκτιους καρστικούς υδροφορείς, αφού λόγω της ιδιομορφίας τους η διεπιφάνεια μπορεί να φτάσει κοντά στην μέση θαλάσσια στάθμη. Οι ιοντικοί λόγοι της πηγής εμφανίζουν την μεγαλύτερη συσχέτιση με αυτούς του θ.ν.



Στο υδροσύστημα του Έπατου βρέθηκε ένα δείγμα υφάλμυρο. Ο λόγος Na/Cl υποδεικνύει θαλάσσια προέλευση. Στο διάγραμμα Piper προβάλλεται στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης γλυκού με θ.ν., οπότε πιθανά η προέλευση του είναι θαλάσσια. Επίσης στο διάγραμμα Duron προβάλλεται στο πεδίο 9, το οποίο είναι ενδεικτικό θαλάσσιας προέλευσης. Όλες οι ενδείξεις δείχνουν ότι πρόκειται για θαλασσινό νερό, στο οποίο δεν κυριαρχεί κάποια αντίδραση. Ο λόγος K/Cl είναι κοντά σε αυτόν του θ.ν., πιθανά λόγω έλλειψης αργιλικών ορυκτών και κατ' επέκταση μικρής προσρόφησης. Ο λόγος SO<sub>4</sub>/Cl είναι μειωμένος και σχετίζεται με αναγωγικές συνθήκες. Βρίσκεται 11.5 Km από την ακτή του Β Ευβοϊκού και σε αυτή την θέση η στάθμη του υδροφόρου είναι στα 15 m περίπου. Λόγω της θέσης του είναι πιθανό η υφαλμύριση να μην οφείλεται σε σύγχρονη διεύδωση αλλά να έχει εγκλωβιστεί θαλασσινό νερό κατά το παρελθόν. Το πεδίο που προβάλλεται στο διάγραμμα Duron είναι ενδεικτικό αυτής της προέλευσης.

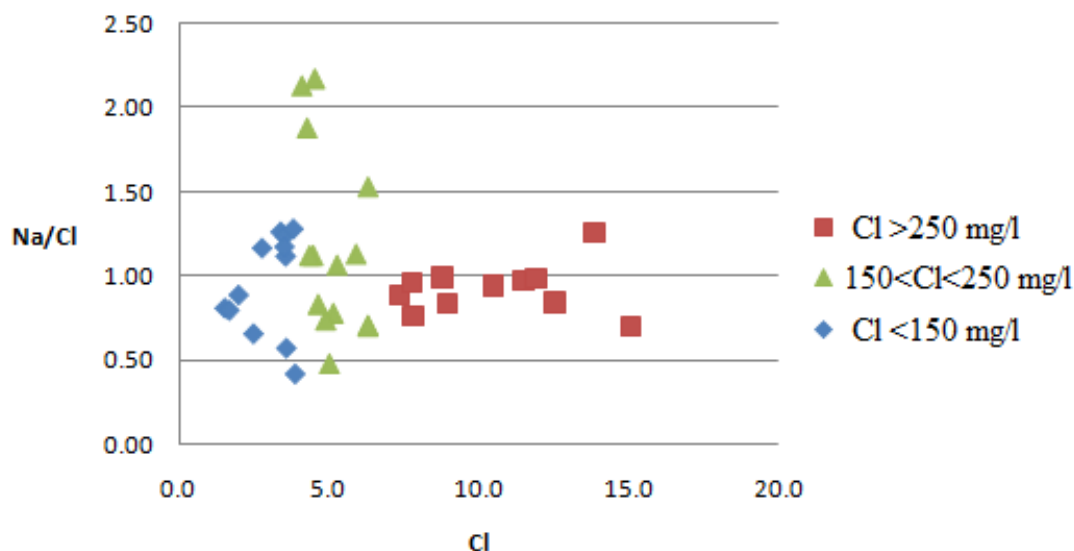
## 10.2 Παράκτια περιοχή Ν Ευβοϊκού

Στην παράκτια περιοχή του Ν Ευβοϊκού η δειγματοληψία έγινε την περίοδο (12/7-1/8). Όπως έχει αναφερθεί τα νερά έχουν διακριθεί σε 3 ομάδες με βάση την συγκέντρωση τους σε Cl. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται στοιχεία για τις 2 πρώτες ομάδες.

**Πιν. 10.2** Υδροχημικά χαρακτηριστικά και περιγραφή θέσεως των δειγμάτων.

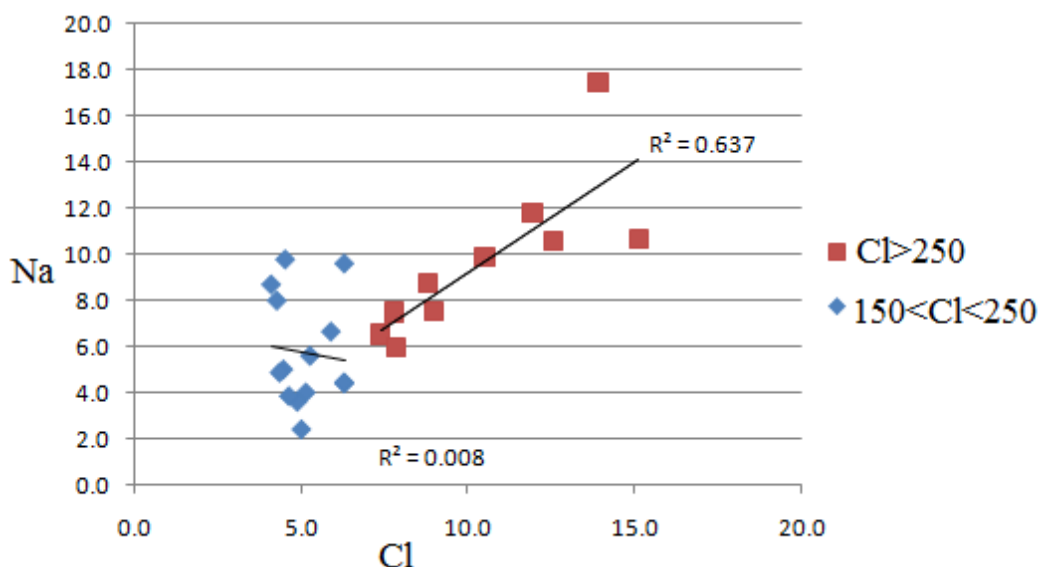
	Na/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	K/Cl	SO <sub>4</sub> /Cl	RSI	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΙΓΜΑ. (m)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (Km)	Cl (mg/l)
<b>SEA</b>	<b>0.86</b>	<b>0.03</b>	<b>0.18</b>	<b>0.019</b>	<b>0.1</b>				<b>21300</b>
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Ν ΕΥΒΟΪΚΟΣ (12/07 - 1/08)</b>									
<b>G50</b>	0.71	0.30	0.68	0.041	0.20	7.2		4.7	535
<b>G51</b>	1.26	0.15	0.53	0.002	0.28	7.5		1.2	492
<b>G69</b>	0.85	0.48	0.34	0.010	0.16	7.2	-11	5.5	445
<b>G52</b>	0.99	0.43	0.81	0.001	0.28	6.9		0.9	423
<b>G62</b>	0.95	0.25	0.89	0.006	0.46	6.9		4.9	372
<b>G63</b>	0.84	0.51	0.73	0.012	0.33	6.9		6.8	319
<b>G54</b>	0.99	0.23	1.00	0.006	0.31	7.6	-54	3.4	312
<b>G74</b>	0.76	0.37	1.37	0.006	0.17	7.1		3.2	278
<b>G77</b>	0.96	0.67	0.91	0.007	0.56	6.8		6.2	277
<b>G61</b>	0.89	0.61	1.40	0.003	0.48	7.1	-82	4.8	262
<b>M.O.</b>	<b>0.92</b>	<b>0.40</b>	<b>0.87</b>	<b>0.009</b>	<b>0.32</b>				
<b>G76</b>	0.71	0.38	1.40	0.007	0.29			6.5	223
<b>G72</b>	1.53	0.55	0.18	0.007	0.20			3	223
<b>G56</b>	0.70	1.03	0.87	0.004	0.37			6	223
<b>G71</b>	1.13	0.37	1.44	0.007	0.45			6	208.8
<b>G55</b>	1.06	0.38	1.93	0.006	0.51			4	186.5
<b>G46</b>	0.78	1.87	0.08	0.004	0.25			2	182
<b>G58</b>	0.48	0.54	2.27	0.005	0.44			8	177.3
<b>G57</b>	0.74	0.94	1.38	0.007	0.43			7.5	173
<b>G78</b>	0.83	0.70	1.94	0.005	0.68			8	164
<b>G79</b>	1.12	0.74	2.40	0.022	0.71			8	158
<b>G80</b>	1.12	0.46	1.29	0.013	0.49			10	154
<b>G65</b>	1.88	0.73	2.33	0.034	1.38			8	151
<b>G49</b>	2.13	0.27	0.30	0.003	0.29			6	150
<b>M.O.</b>	<b>1.17</b>	<b>0.65</b>	<b>1.29</b>	<b>0.009</b>	<b>0.48</b>				

Στο παρακάτω διάγραμμα Na/Cl – Cl (σχ. 10.6) φαίνεται πως ο λόγος Na/Cl στα υφάλμυρα νερά παραμένει γενικά σταθερός ενώ στις άλλες 2 ομάδες έχει μεγάλες διακυμάνσεις και παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Αυτή η διάταξη θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα αντίστροφης κατιοανταλλαγής, αλλά όπως φαίνεται στο διάγραμμα Duroν συμβαίνει σε μικρό βαθμό.



Σχ. 10.3 Διάγραμμα Na/Cl – Cl.

Στο παρακάτω διάγραμμα (σχ.10.7) ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ Cl και Na, στα νερά όπου τα Cl είναι μεταξύ 150 και 250 mg/l, είναι πολύ μικρός και υποδεικνύει ότι προέρχονται από διάφορες πηγές. Αντίθετα στα νερά όπου τα Cl είναι περισσότερα από 250 mg/l η συσχέτιση είναι πολύ μεγαλύτερη.



Σχ. 10.4 Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ Na και Cl, από δείγματα της περιοχής του Ν Ευβοϊκού.

Οπότε φαίνεται ότι η περιοχή εκτός από την διείσδυση της θάλασσας έχει επηρεαστεί και από ανθρωπογενή ρύπανση και σε αυτή οφείλονται οι αυξημένοι λόγοι Na/Cl. Στον πιν. 10.2 φαίνεται ότι όσο μικρότερη είναι η αλατότητα τόσο εμφανέστερη είναι η επίδραση των λυμάτων. Οι αυξημένοι λόγοι SO<sub>4</sub>/Cl (μεγαλύτεροι από 0.1) είναι ενδεικτικοί ρύπανσης από οικιακά λύματα ή από αγροχημικά, αλλά όπως φαίνεται από τα νερά της περιοχής δεν σχετίζονται πάντα με υψηλή αλατότητα. Στα νερά όπου τα Cl είναι λιγότερα από 150 mg/l ο μ.ο. του λόγου SO<sub>4</sub>/Cl είναι 0.36. ΝΔ της περιοχής υπάρχουν 3 ΧΑ-ΔΑ και πιθανά τα στραγγίσματα που κατεισδύουν μεταφέρονται, σύμφωνα με την ροή των υδάτων προς τα ΒΑ και ρυπαίνουν τα νερά.

Ο λόγος K/Cl είναι μικρότερος του θ.ν. πιθανά λόγω προσρόφησης και φαίνεται ότι δεν επηρεάζεται από τον βαθμό αλατότητας. Επίσης τα υφάλμυρα νερά παρουσιάζουν μικρή τάση απόθεσης ως σημαντική τάση διάλυσης σύμφωνα με τον δείκτη σταθερότητας Ryznar.

### 10.3 Υδροσύστημα Θηβών-Υλίκης

Όπως έχει αναφερθεί στο υδρ/μα Θηβών –Υλίκης διακρίνονται 2 ομάδες νερών. Η μία βρίσκεται στα ανθρακικά πετρώματα με σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις Cl και γ.τ. Ca-Cl και η άλλη στα νεογενή, όπου υπάρχουν γλυκά νερά με γ.τ. Mg-CO<sub>3</sub>. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται στοιχεία για την 1<sup>η</sup> ομάδα.

**Πιν. 10.5** Υδροχημικά χαρακτηριστικά και περιγραφή θέσεως των δειγμάτων.

	Na/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	K/Cl	SO <sub>4</sub> /Cl	RSI	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (Km)	Cl (mg/l)
<b>SEA</b>	0.86	0.03	0.18	0.019	0.1			<b>21300</b>
<b>ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΗΒΩΝ-ΥΛΙΚΗΣ (8/12)</b>								
<b>G9</b>	0.77	0.84	0.33	0.013	0.18	7.1	14.8	219.8
<b>G11</b>	0.54	0.85	0.54	0.015	0.15	7.1	13	198.6
<b>G8</b>	0.83	1.03	0.34	0.017	0.23	7.2	14.6	184.4
<b>G5</b>	0.39	0.85	0.67	0.020	0.03	7.1	16	177.3
<b>G7</b>	0.08	1.00	1.55	0.008	0.25	7.2	16	163.1
<b>M.O.</b>	<b>0.52</b>	<b>0.91</b>	<b>0.69</b>	<b>0.015</b>	<b>0.17</b>			

Στο διάγραμμα Piper τα νερά από τα ανθρακικά προβάλλονται στην περιοχή μεταξύ των γλυκών και του θαλασσινού νερού, στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης και φαίνεται ότι έχουν θαλάσσια προέλευση. Στο διάγραμμα Durog κυρίως στο πεδίο 8, που είναι ενδεικτικό νερών θαλάσσιας προέλευσης.

Από τους λόγους Na/Cl και από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι τα νερά από τα ανθρακικά έχουν θαλάσσια προέλευση και το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής είναι σε πλήρη εξέλιξη. Ο μ.ο. του SO<sub>4</sub>/Cl στα ανθρακικά είναι 0.17 και στα νεογενή είναι 0.51. Οι αυξημένοι λόγοι δεν σχετίζονται με υψηλή αλατότητα. Ο μ.ο. του K/Cl είναι κοντά σε αυτόν του θ.ν., πιθανά λόγω έλλειψης αργιλικών ορυκτών. Τέλος εμφανίζουν μικρή τάση διάλυσης.

Η περιοχή που βρίσκονται τα ανθρακικά απέχει από την ακτή του Β Ευβοϊκού 16 Km και η στάθμη είναι αρκετά ψηλά (την υγρή περίοδο του 2007 η πιεζομετρική επιφάνεια έφτανε πάνω από τα 20 m). Στον χάρτη των Δούνα κ.α. (1982) σε αυτή την περιοχή έχουν επισημανθεί υφάλμυρα νερά. Από τότε έχει υποβιβαστεί αρκετά η στάθμη του υ-

δροφόρου με επακόλουθο να έχει αυξηθεί η προέλαση του θαλασσινού νερού. Όμως σήμερα τα νερά παρουσιάζονται εντός ορίων.

Πιθανά έχει εγκλωβιστεί παλαιό θαλασσινό νερό στα ανθρακικά πετρώματα που είναι ανυψωμένα μέσω ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης και έχουν απομονωθεί από τα περιβάλλοντα νεογενή. Τα τελευταία χρόνια μέσω των αντλήσεων έχει μειωθεί η ποσότητα τους και εμφανίζονται μικρότερες αλατότητες.

#### 10.4 Υδροσύστημα Ασωπού

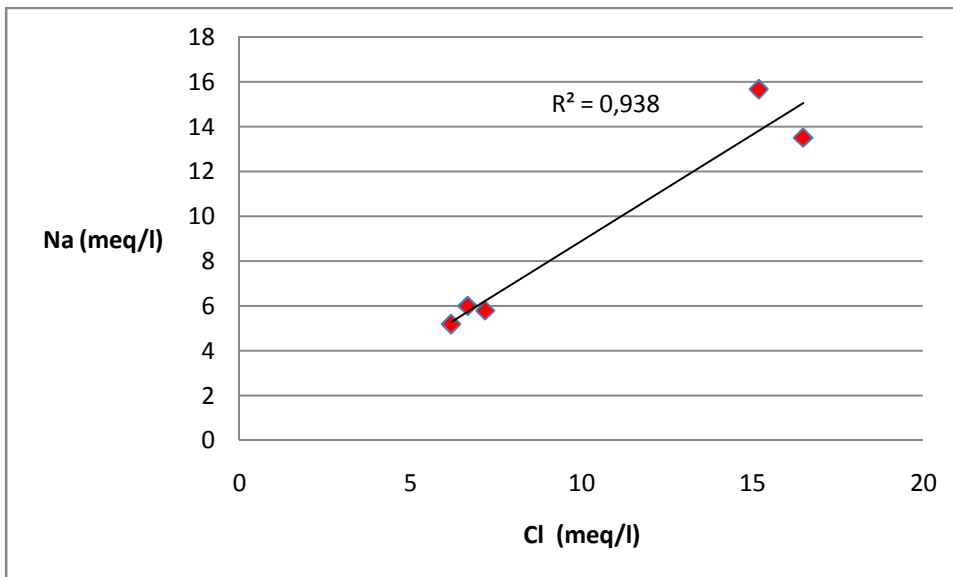
Στον καρστικό υδροφορέα μπορούμε να διακρίνουμε 2 ομάδες νερών: **1.** Na-Cl και **2.** Ca-HCO<sub>3</sub>. Στον πίν.10.6 δίνονται στοιχεία από 3 διαφορετικές περιόδους δειγματοληψίας. Στα δείγματα της περιόδου 8/12, ο λόγος Na/Cl δείχνει ότι τα υφάλμυρα νερά έχουν θαλάσσια προέλευση.

**Πιν.10.6** Υδροχημικά χαρακτηριστικά και περιγραφή θέσεως των δειγμάτων.

	Na/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	K/Cl	SO <sub>4</sub> /Cl	RSI	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΙΓΜΑ. (m)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ (Km)	Cl (mg/l)
<b>SEA</b>	<b>0.86</b>	<b>0.03</b>	<b>0.18</b>	<b>0.019</b>	<b>0.1</b>				<b>21300</b>
<b>ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΩΠΟΥ (8/12)</b>									
<b>G2</b>	0.82	0.32	0.25	0.018	0.13	7.3		20	585
<b>G15</b>	0.81	0.65	0.42	0.022	0.15	7.5	98	15	255
<b>G14</b>	0.84	0.75	0.50	0.027	0.17	7.1		16	237
<b>M.O.</b>	<b>0.82</b>	<b>0.57</b>	<b>0.39</b>	<b>0.02</b>	<b>0.15</b>				
<b>G1</b>	0.79	3.25	2.39	0.033	0.90	7			46.1
<b>G16</b>	0.66	2.45	0.91	0.044	0.52	6.7			78
<b>M.O.</b>	<b>0.72</b>	<b>2.85</b>	<b>1.65</b>	<b>0.04</b>	<b>0.71</b>				
<b>6/09</b>									
<b>G19</b>	1.03	0.33	0.23	0.006	0.11	7.3	9	17.5	539
<b>12/07</b>									
<b>G73</b>	0.90	0.65	0.44	0.023	0.22	7.5		12	219.9
<b>G53</b>	0.84	3.79	0.82	0.017	0.24	7.3			48.6

Στο διάγραμμα Piper προβάλλονται αναλύσεις από την περίοδο 8/12. Τα Na-Cl νερά προβάλλονται κοντά στην ευθεία που ορίζεται από τα γλυκά νερά και το θ.ν., στην ζώνη συντηρητικής ανάμιξης. Στο διάγραμμα Durov προβάλλονται οι αναλύσεις από όλες τις περιόδους. Τα υφάλμυρα νερά προβάλλονται στα πεδία 8 και 9. Τα γλυκά νερά προβάλλονται στο πεδίο 1, οπότε πρόκειται για φρέσκα νερά. Από τους λόγους Na/Cl και από τα διαγράμματα συμπεραίνουμε πως υφάλμυρα νερά είναι θαλάσσιας προέλευσης.

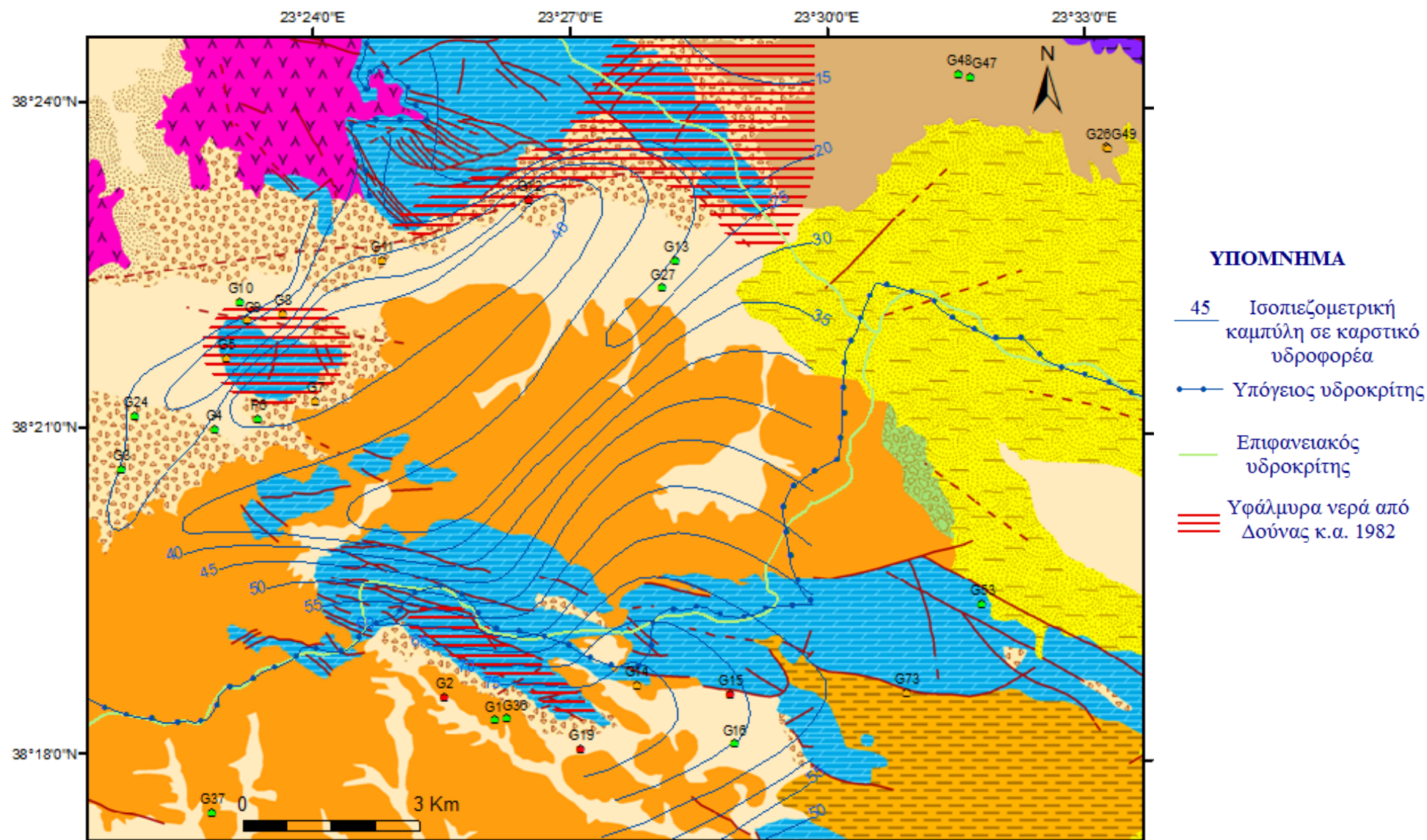
Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ Cl και Na είναι πολύ μεγάλος (σχ. 10.7) και υποδεικνύει ότι έχουν κοινή προέλευση. Οπότε η αλατότητα έχει επηρεαστεί σε μικρό βαθμό από ανθρωπογενή ρύπανση.



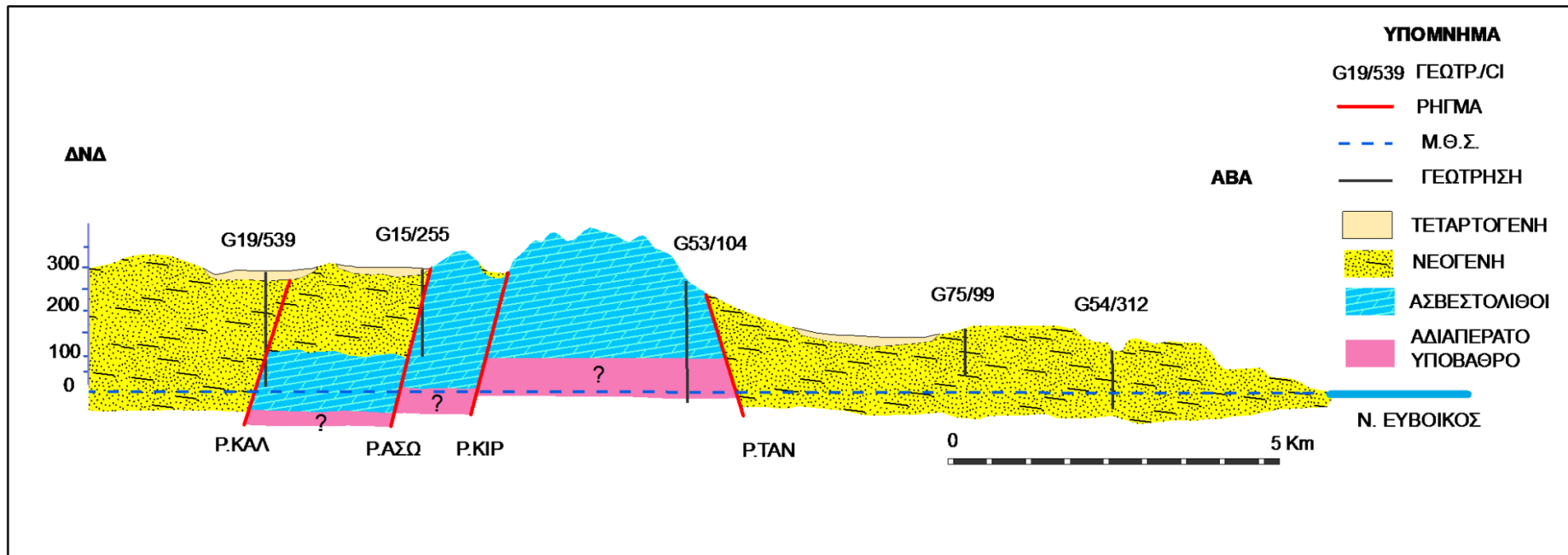
Σχ. 10.7 Διάγραμμα συσχέτισης Cl και Na από δείγματα του συστήματος Ασωπού.

Στην τομή (σχ. 10.9) φαίνεται ότι οι γεωτρήσεις G15 και G19 φτάνουν σε θετικό υψόμετρο, οπότε η υψηλή αλατότητα δεν μπορεί να προέρχεται από σύγχρονη διείσδυση θ.ν.. Πιθανά πρόκειται για παλαιά εγκλωβισμένα νερά θαλάσσιας προέλευσης. Στο πεδίο 9 προβάλλονται τέτοιου τύπου νερά.

Τα υφάλμυρα νερά εντοπίζονται στους ασβεστόλιθους που έχουν ανυψωθεί μέσω των ρηγμάτων της ρηξιγενούς ζώνης Καλλιθέας-Ασωπίας (σχ. 10.8). Στην περιοχή υπάρχουν οι κατάλληλες υδρογεωλογικές συνθήκες ώστε να εγκλωβιστούν νερά. Οι ασβεστόλιθοι περιβάλλονται από τους πρακτικά στεγανούς νεογενείς σχηματισμούς και το υπόβαθρο είναι αδιαπέρατο, αφού αποτελείται είτε από τον σχηματισμό του Κατ. Τριαδικού είτε από τον σχηματισμό του Ηωελληνικού τόξου, στην περίπτωση που έχει γίνει εφίπλευση. Στα ΒΔ οριοθετούνται από τον υπόγειο και επιφανειακό υδροκρίτη και φαίνεται ότι δέχονται μικρή τροφοδοσία. Στα ΝΑ από την μορφή της πιεζομετρίας φαίνεται ότι οριοθετούνται από ένα ρήγμα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Η ύπαρξη αυτού του ρήγματος ενισχύεται από το γεγονός ότι στην προέκταση της απότομης αλλαγής της πιεζομετρίας εμφανίζεται ένα ρήγμα ίδιας διεύθυνσης.



**Σχ. 10.8** Χάρτης που απεικονίζονται τα υπόγεια υφάλμυρα νερά, ο υπόγειος υδροκρίτης και οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες από τον υδρογεωολογικό χάρτη των Δούνα κ.α., 1982.



**Σχ. 10.9** Γεωλογική τομή που διέρχεται από την ρηξιγενή ζώνη Καλλιθέας- Ασωπίας. Απεικονίζονται τα ρήγματα Καλλιθέας, Ασωπίας, Κιρίκιον και Τανάγρας, το βάθος που φτάνουν κάποιες γεωτρήσεις και η συγκέντρωση C1 που έχει βρεθεί σε αυτές. Για την σύνταξη της τομής έχουν χρησιμοποιηθεί στοιχεία από το διδακτορικό του Τσόδουλου Μ. Ι. (2009) και από την μελέτη του ΙΓΜΕ Δάνδολος κ.α. (2010).

Τα στοιχεία του πιν.10.10 είναι ενδεικτικά της υδροχημικής κατάστασης που επικρατεί. Φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το βάθος αυξάνεται η αλατότητα ενώ οι ιοντικοί λόγοι του Cl με Na, K, Ca, Mg και SO<sub>4</sub> μειώνονται. Αντίστοιχη ισορροπία παρατηρήθηκε και στην λίμνη Rorholtfjorden της Νορβηγίας.

**Πιν. 10.10** Διακύμανση Cl και διάφορων λόγων με το βάθος.

	<i>Cl</i>	<i>Na/Cl</i>	<i>Ca/Cl</i>	<i>Mg/Cl</i>	<i>K/Cl</i>	<i>SO<sub>4</sub>/Cl</i>
<b>G73</b>	237	0.84	0.75	0.50	0.027	0.17
<b>G19</b>	539	0.81	0.65	0.42	0.022	0.15
<b>G2</b>	585	0.82	0.32	0.25	0.018	0.13

Το υφάλμυρο νερό βρίσκεται στον πυθμένα του υδροφορέα και έχει δημιουργηθεί μια μεταβατική ζώνη μεταξύ του γλυκού και του υφάλμυρου, λόγω της διαταραχής από τις αντλήσεις. Όσες γεωτρήσεις δεν φτάνουν στην ζώνη υφαλμύρινσης παρουσιάζουν το συνηθισμένο τύπο (Ca-HCO<sub>3</sub>) νερού που συναντάμε σε ανθρακικά πετρώματα.

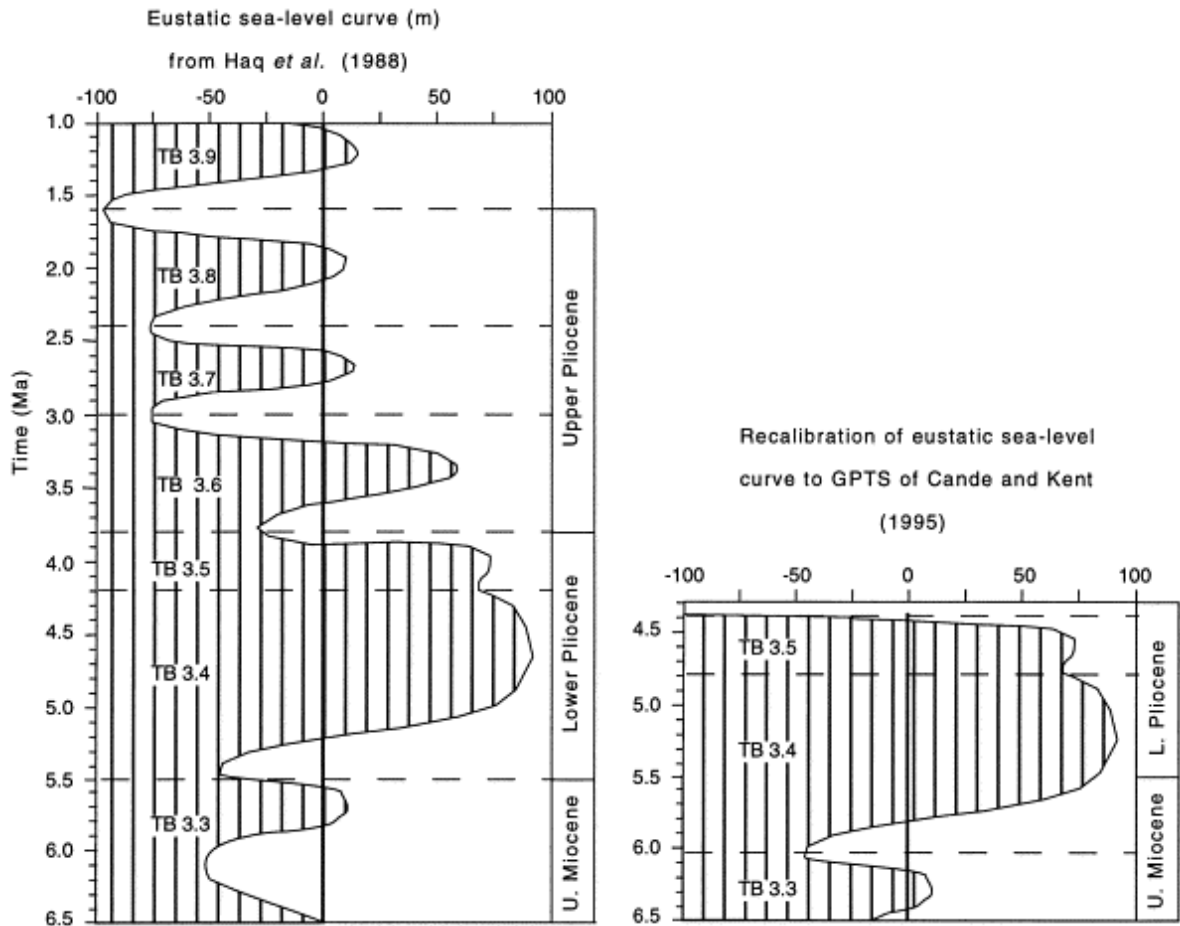
Οι λόγοι K/Cl είναι παρόμοιοι με τον αντίστοιχο του θ.ν. και σύμφωνα με τον δείκτη Ryznar έχουν σημαντική τάση διάλυσης. Οι λόγοι SO<sub>4</sub>/Cl είναι μεγαλύτεροι από 0.1. Όπως έχει αναφερθεί είναι ενδεικτικοί ρύπανσης από οικιακά λύματα ή αγροχημικά, αλλά φαίνεται πως δεν επηρεάζουν σημαντικά την αλατότητα.

### 10.5 Παλαιογεωγραφική ερμηνεία προέλευσης αλατότητας στο σ. Ασωπού

Η ιζηματογένεση των μεταλλικών στην περιοχή, ξεκίνησε στο Αν. Μειόκαινο (πριν το Βαλλέσιο) με την απόθεση ποταμοχερσαίων σχηματισμών. Στο Βαλλέσιο στο νότιο τμήμα της λεκάνης Θήβας-Τανάγρας-Μαλακάσας υπήρχαν ανοδικές κινήσεις που ανύψωσαν τα νεογενή και αλπικά ιζήματα (Μέττος, Α. Ι. 1992). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να τροφοδοτηθούν με κλαστικό υλικό οι περιοχές που ήταν βορειότερα. Χαρακτηριστικά αυτής απόθεσης είναι τα δελταϊκά κροκαλοπαγή ΒΔ της Τανάγρας, που εντοπίζονται βόρεια και σε μικρή απόσταση από την ρηξιγενή ζώνη Καλλιθέας-Ασωπίας. Το κλαστικό υλικό των κροκαλοπαγών μειώνεται σε μέγεθος από Ν προς Β και συνίσταται κυρίως από ασβεστολιθικό υλικό και σε μικρότερο βαθμό από οφιολιθικό. Πιθανά εκείνη την περίοδο η ρηξιγενής ζώνη της Καλλιθέας-Ασωπίας είχε ενεργοποιηθεί και οι ασβεστόλιθοι είχαν εμφανιστεί επιφανειακά.

Στο Τουρώλιο αποτέθηκαν ποταμοχερσαία ιζήματα, στο Μεσσήνιο υπήρξε απόσυρση της θάλασσας και το επίπεδο καρστικοποίησης των ανθρακικών πρέπει να έφτασε μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο τους. Εκείνη την περίοδο δεν αποτέθηκαν θαλάσσια ιζήματα και κατ' επέκταση εβαπορίτες. Στο Κ. Πλειόκαινο η στάθμη άρχισε να ανεβαίνει και διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα μέχρι το Μ. Πλειόκαινο (σχ.10.11). Αυτή η επίκλυση επηρέασε και την περιοχή μελέτης, όπου αποτέθηκαν λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα κατ' εναλλαγήν.



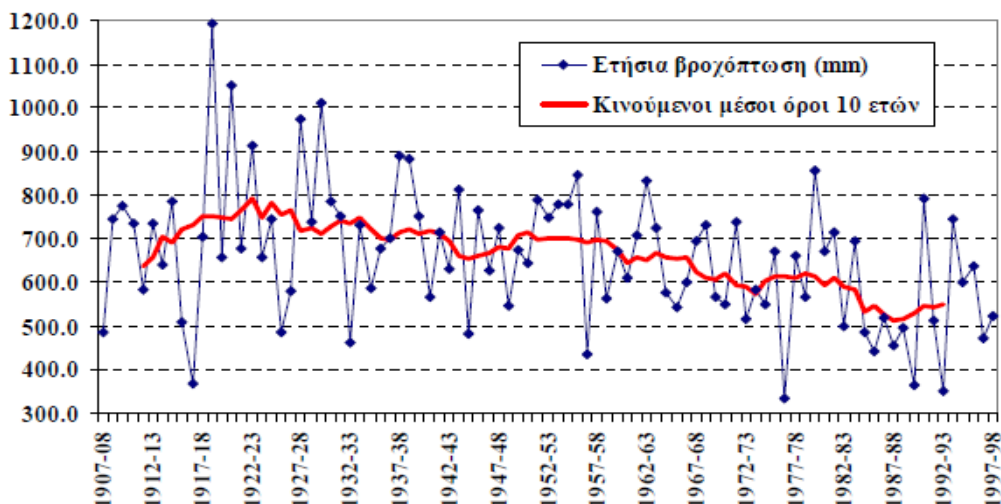


Σχ. 10.11 Διακύμανση θαλάσσιας στάθμης από το Αν Μειόκαινο μέχρι το Μ. Πλειστόκαινο (Haq et al 1988. Δίπλα παρατίθεται η διακύμανση από τους Cande and Kent, 1995)

Αυτή την περίοδο κατά την προέλαση του θαλασσινού νερού πιθανά ένα μέρος εγκλωβίστηκε στους ανθρακικούς σχηματισμούς που είχαν ανυψωθεί από την ρηξιγενή ζώνη. Φαίνεται πως η περιοχή υψομετρικά ήταν κοντά στην θαλάσσια στάθμη, αλλά η επικοινωνία δεν ήταν συνεχής, λόγω ευστατικών ή τεκτονικών αιτιών. Οπότε, πιθανά τα νερά εγκλωβίστηκαν όταν το επίπεδο της θάλασσας είχε φτάσει στην ανώτατη στάθμη κατά το Κατ. Πλειόκαινο και η ηλικία τους είναι 5 με 4.5 m.a. (σχ. 10.11)

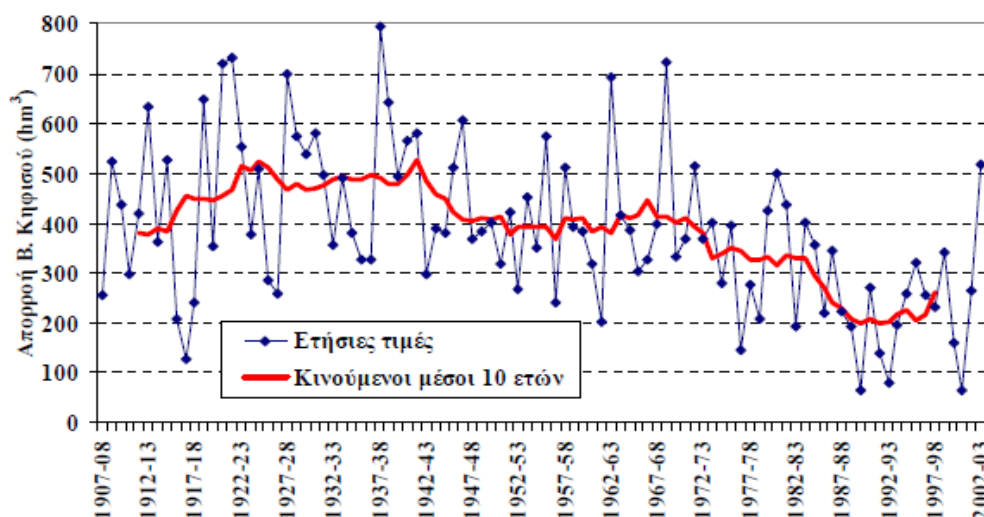
## 10.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

Στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού λειτουργεί ένας από τους παλαιότερους βροχομετρικούς σταθμούς της Ελλάδας, του Αλιάρτου. Ο σταθμός λειτουργεί από το 1907 με ελάχιστα κενά. Στο σχ. 10.12 φαίνεται ότι από το 1907 μέχρι το 1998 η ετήσια βροχόπτωση έχει μια πτωτική τάση, σε διάστημα 100 ετών έχουν μειωθεί κατά 20%.



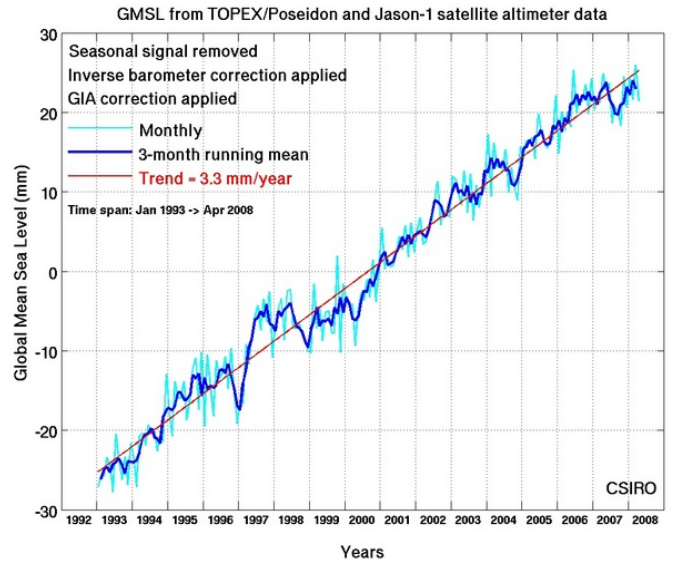
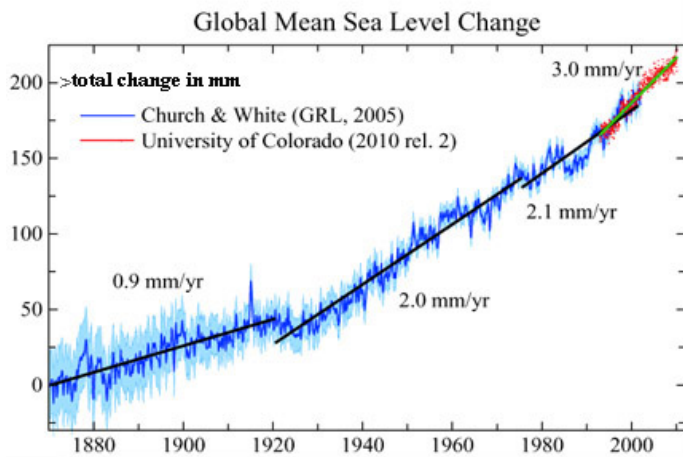
Σχ. 10.12 Διακύμανση των ετήσιων κατακρημνισμάτων του σταθμού Αλιάρτου (Κουτσογιάννης Δ. κ.α., 2004)

Από την σύγκριση των 2 διαγραμμάτων (σχ.10.12 και σχ. 10.13) φαίνεται πως υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της απορροής στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού.



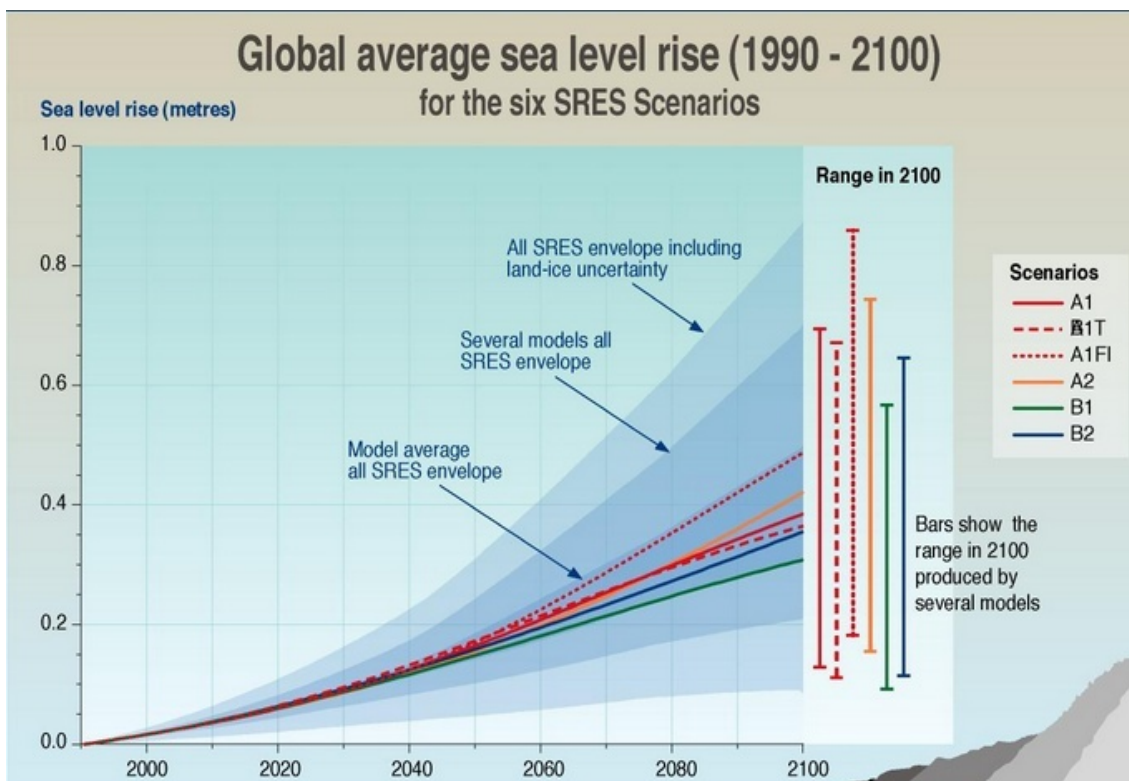
Σχ. 10.13 Διακύμανση της ετήσιας απορροής του Βοιωτικού Κηφισού (Κουτσογιάννης Δ. κ.α., 2004)

Από το 1880 μέχρι το 2008 η θαλάσσια στάθμη έχει ανέλθει 20 cm και δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 20 ετών δείχνουν ανοδική τάση της θαλάσσιας στάθμης. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο ρυθμός ανόδου συνεχώς αυξάνει (σχ. 10.14).



Σχ.10.14 Μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης από το 1880 μέχρι το 2008

Σύμφωνα με τις μελλοντικές προβλέψεις αναμένεται μέχρι το 2100 η θαλάσσια στάθμη να ανέλθει από 10 ως 90 cm (σχ. 10.15).



Σχ. 10.15 Μελλοντικές προβλέψεις μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης.

Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης νερού, υποδεικνύουν ότι τα επόμενα χρόνια το θαλασσινό νερό θα διεισδύσει περισσότερο, δημιουργώντας εντονότερα προβλήματα.

## 11 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

### 11.1 Ανθρώπινη χρήση

Τα όρια ποσιμότητας που αναφέρονται παρακάτω, προέρχονται από την οδηγία 2006/118/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου.

#### NO<sub>3</sub>

Ένας ενήλικας χάνει περίπου 54 mg N ανά kg σωματικού βάρους σε ημερήσια βάση, όποτε για να διατηρηθεί η ισορροπία του N πρέπει να προσλαμβάνει 70 mg/ kg N. Υπό κανονικές συνθήκες τα NO<sub>3</sub> βρίσκονται στο πόσιμο νερό σε μικρές ποσότητες. Νερά που δεν έχουν επηρεαστεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα έχουν συγκέντρωση μικρότερη από 10 mg/l. Έτσι προσλαμβάνονται κατά κύριο λόγο από την τροφή, όπως αλλαντικά, πράσινα λαχανικά (μαρούλι, σπανάκι) και ρίζες (τεύτλα, καρότα). Τα νιτρικά άλατα γενικά μεταβολίζονται γρήγορα και απεκκρίνονται μέσω των ούρων. Συνήθως δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, αλλά προκαλεί ανησυχία η μετατροπή τους σε NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Από την άλλη πλευρά η ένωση NO θεωρείται απαραίτητη για τον ανθρώπινο οργανισμό (WHO).

Ο κυρίως κίνδυνος για την υγεία είναι η ανάπτυξη μεθαιμοσφαιριναιμίας (Κυάνωση) σε βρέφη. Τα νιτρώδη που απορροφώνται από τον οργανισμό αντιδρούν με την αιμοσφαιρίνη και αναστέλλουν την μεταφορά του οξυγόνου. Συγκεντρώσεις σε νιτρικά πάνω από 45 ppm (όριο στις ΗΠΑ USEPA, 2001) μπορούν να προκαλέσουν μεθαιμοσφαιριναιμία. Επίσης αναφέρεται ότι μπορεί να εμφανιστούν υψηλές συγκεντρώσεις κατά την αποστείρωση του νερού μέσω της εξάτμισης (Bruning-Fann and Kaneene, 1993). Η μετατροπή των νιτρικών σε νιτρώδη γίνεται στο έντερο μέσω βακτηριδίων. Συναντάται κυρίως σε βρέφη κάτω των έξι (6) μηνών και οφείλεται στο γεγονός, ότι τα οξέα του στομάχου των βρεφών δεν είναι τόσο ισχυρά όσο των μεγαλύτερων παιδιών και ενηλίκων, με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα βακτηρίδια που μετατρέπουν τα νιτρικά σε νιτρώδη. Στους ενήλικες μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο του στομάχου. Δευτερογενείς ασθένειες που μπορούν να προκύψουν είναι αναπνευστικά προβλήματα, αναστολή της πρόσληψης ιωδίου από τον θυρεοειδή και αναπαραγωγικά προβλήματα. Επίσης όταν το νερό είναι μολυσμένο σε βακτηρίδια γίνεται μετατροπή σε νιτρώδη καθιστώντας το νερό επικίνδυνο. Περιεκτικότητες νιτρικών μεγαλύτερες από 10 mg/l, προσδίδουν στο νερό πικρή γεύση και μπορεί να προκαλέσουν άγχος. Συνήθως, ποσότητες μεγαλύτερες από 10 mg/l σε νιτρικά, περιέχει το νερό από αβαθή πηγάδια.

Το θεσμοθετημένο όριο είναι 50 mg/l και στην περιοχή το 1/3 των δειγμάτων υπερβαίνουν αυτή την τιμή.

#### Cl

Αποτελούν από ποσοτική άποψη τα πιο σημαντικά ανιόντα του οργανισμού. Χρειάζονται για την παρασκευή υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι και ακολουθούν παθητικά τα πρωτόνια για να διατηρηθεί η ηλεκτρική ουδετερότητα. Παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων, όταν απ' αυτά αποβάλλονται τα όξινα ανθρακικά ιόντα κατά τις αντιδράσεις της αναπνοής.

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας ένα φυσιολογικός ενήλικας περιέχει στο σώμα του περίπου 81,7g χλωριούχων. Σε ημερήσια βάση, οι απώλειες σε ένα ενήλικα φτάνουν τα 530mg, έτσι προτείνεται μια διαιτητική πρόσληψη 9 mg χλωριούχων ανά κιλό σωματικού βάρους (ισοδύναμο με λίγο περισσότερο από 1 g αλατιού ανά άτομο την ημέρα). Για παιδιά έως 18 ετών, η καθημερινή πρόσληψη 45 mg χλωριούχων είναι επαρκής. Έχει αναφερθεί ότι η δόση του 1 g NaCl ανά kg σωματικού βάρους είναι θανατηφόρα σε βρέφος 9 εβδομάδων. Γενικά τοξικότητα χλωριούχων δεν έχει παρατηρηθεί σε ανθρώπους με εξαίρεση την ειδική περίπτωση που ο οργανισμός αντιμετωπίζει διαταραχές στον μεταβολισμό του NaCl. Νερό που περιέχει NaCl σε συγκεντρώσεις πάνω από 2,5 g/l μπορεί να προκαλέσει υπέρταση, η οποία οφείλεται στα ιόντα Na. Το όριο είναι 250 mg/l και το 1/3 περίπου των δειγμάτων υπερβαίνουν αυτή την τιμή.

## Cr

Το Cr<sup>3+</sup> είναι απαραίτητο στοιχείο για τον άνθρωπο και βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα σε πολλά λαχανικά, φρούτα, κρέας, ψάρια, δημητριακά και μαγιά. Η συγκέντρωση του στις τροφές είναι μεταξύ 10 - 1300 μg/kg. Ο άνθρωπος προσλαμβάνει την ημέρα ποσότητα μεταξύ 52 και 943 μg, κυρίως από την τροφή. Μαζί με την ινσουλίνη απομακρύνει τη γλυκόζη από το αίμα, και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον μεταβολισμό του λίπους. Η έλλειψη του μπορεί να ενισχύσει τα συμπτώματα του διαβήτη. Όταν προσλαμβάνεται με την τροφή και το νερό δεν θεωρείται τοξικό, αντίθετα μπορεί να συμβάλλει στην θεραπεία νευροπάθειας και εγκεφαλοπάθειας.

Το Cr<sup>6+</sup> είναι καρκινογόνο, μεταλλαξιογόνο, ισχυρά οξειδωτικό και είναι 1000 φορές πιο τοξικό από το Cr<sup>3+</sup>. Μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές και ασθματικές αντιδράσεις, διάρροια, στομαχικές και εντερικές αιμορραγίες, βλάβες στο συκώτι και στα νεφρά, κράμπες και παράλυση. Η θανάσιμη δόση είναι 1 με 2 gr.

Στον άνθρωπο το Cr<sup>3+</sup> απορροφάται σε ποσοστό περίπου 0,5% έως 2% από το γαστρεντερικό σωλήνα. Το Cr<sup>6+</sup> απορροφάται περισσότερο αλλά μετατρέπεται εύκολα σε Cr<sup>3+</sup> στο γαστρικό περιβάλλον.(WHO)

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του αυξάνουν, σωρευτικά με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με τις εστίες παραγωγής και του τρόπου απόρριψης. Το όριο ποσιμότητας στην E.E. και την Ελλάδα για το ολικό χρώμιο είναι 50 μgr/l ενώ δεν έχει τεθεί όριο για το Cr<sup>6+</sup>. Στην Ιταλία για το Cr<sup>6+</sup> έχει τεθεί ως όριο τα 5 μgr/l. Όταν παρακολουθείται συστηματικά και δεν παρουσιάζει αύξηση των συγκεντρώσεων, δεν αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Γεωτρήσεις όπου το εξασθενές χρώμιο έχει εντός διαίτας κάθετη αύξηση ανεξαρτήτως ορίου πρέπει να εξαιρούνται της ύδρευσης.

Στην περιοχή μελέτης σε 1 δείγμα η συγκέντρωση του ολικού Cr βρέθηκε 3πλάσια του ορίου. Σε 4 περιπτώσεις κοντά στο Σχηματάρι και στον Ελεώνα το Cr<sup>6+</sup> ήταν 4 ως 8 φορές πάνω από το όριο (Βασιλάτος κ.α., 2008).

## As

Ο άνθρωπος μπορεί να εκτεθεί στο As μέσω του εδάφους, του νερού, του αέρα και της τροφής. Οι ανόργανες και οι οργανικές ενώσεις φεύγουν από το σώμα μέσω της ουρίνης. Οι οργανικές ενώσεις απεκκρίνονται μετά από λίγες μέρες, ενώ οι ανόργανες μπορούν να μείνουν για αρκετούς μήνες.

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος βρίσκεται στο πόσιμο νερό και μάλιστα αυτό που προέρχεται από υπόγειους υδροφορείς. Το ανόργανο As όταν βρίσκεται στο νερό σε συγκέντρωση 60000 ppb είναι θανατηφόρο. Σε συγκεντρώσεις μεταξύ 300 και 30000 ppb ο άνθρωπος μπορεί να πάθει ναυτία, διάρροια κα. Άλλη επίδραση είναι μείωση της παραγωγής λευκών και ερυθρών αιμοσφαιρίων με αποτέλεσμα την κόπωση, καρδιακές αρρυθμίες κα. Ίσως το πιο χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της μακροχρόνιας έκθεσης σε ανόργανο αρσενικό είναι οι παθήσεις του δέρματος. Αυτές περιλαμβάνουν μαυρίσματα του δέρματος και την εμφάνιση «κάλων» ή «μυρμηγκιών» στις παλάμες και στα πέλματα, και συνδέονται συχνά με τις αλλαγές στα αιμοφόρα αγγεία του δέρματος. Μπορεί να προκληθεί επίσης καρκίνος του δέρματος, του συκωτιού, της ουροδόχου κύστης και των πνευμόνων (U.S. Department of health and human services, 2007).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μείωση του ορίου στο πόσιμο νερό. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας μείωσε το όριο το 1993 από 50  $\mu\text{g/l}$  σε 10  $\mu\text{g/l}$ . Σε 4 περιπτώσεις κοντά στο Σχηματάρι και στον Ελεώνα ήταν 2 ως 3.5 φορές πάνω από το όριο (Βασιλάτος κ.α., 2008).

## **Cd**

Καλλιέργειες που βρίσκονται σε ρυπασμένα εδάφη ή αρδεύονται με ρυπασμένο νερό μπορούν να παρουσιάσουν μεγάλες συγκεντρώσεις, όπως και το κρέας των ζώων που βόσκουν σε αυτές τις περιοχές (IARC, 1976). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα ζώα εντοπίζονται στα νεφρά και στο συκώτι. Στα φρούτα τα λαχανικά και το κρέας η συγκέντρωση είναι μικρότερη από 10  $\mu\text{g/Kg}$ , στο συκώτι 10-100  $\mu\text{g/Kg}$  και στα νεφρά 100-1000  $\mu\text{g/Kg}$ . Στα δημητριακά και στα ψάρια είναι περίπου 25 και 20  $\mu\text{g/Kg}$  αντίστοιχα. Επίσης στα οστρακοειδή έχουν βρεθεί μεγάλες τιμές, 200-1000  $\mu\text{g/Kg}$  (Galal-Gorchev, 1991).

Είναι πολύ τοξικό για τους οργανισμούς και επειδή συνδέεται ισχυρά με σουλφιδρυλομάδες παρουσιάζει βιοσυσώρευση. Η απορρόφηση του γίνεται από το γαστρεντερικό σύστημα και εξαρτάται από την διαλυτότητα των ενώσεων του. Στα υγιή άτομα απορροφάται 3-7% της προσλαμβανόμενης ποσότητας, ενώ στα άτομα που έχουν έλλειψη Fe το ποσοστό μπορεί να φτάσει 15-20 (Krajnc et al., 1987). Το μεγαλύτερο μέρος αποθηκεύεται στα νεφρά και στο συκώτι και ένα μικρό ποσοστό απεκκρίνεται μέσω των ούρων. Ο βιολογικός χρόνος ημιζωής στον άνθρωπο είναι 10 με 35 χρόνια (WHO, 1992), για αυτό πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση σε αυτό.

Η ημερήσια πρόσληψη Cd από την διατροφή είναι 10-25  $\mu\text{g}$  (WHO, 1992) και από το νερό λιγότερο από 2  $\mu\text{g}$  (JESFA, 1989). Επίσης τα άτομα που καπνίζουν περίπου 20 τσιγάρα την ημέρα προσλαμβάνουν 2-4  $\mu\text{g}$  (Ros & Slooff, 1987). Ως όριο μηνιαίας πρόσληψης έχουν τεθεί 25  $\mu\text{g}$  ανά Kg σωματικού βάρους. (JESFA, 2011), δηλαδή ένα άτομο 75 kg δεν πρέπει να προσλαμβάνει περισσότερα από 62  $\mu\text{g}$  την ημέρα. Σε πολύ ρυπασμένες περιοχές η ημερήσια πρόσληψη έχει υπολογιστεί σε 600-2000  $\mu\text{g}$ , ενώ σε λιγότερο 100-390  $\mu\text{g}$  (WHO, 1992).

Οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου από την χρήση ρυπασμένου με Cd νερό διακρίνονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 1) 5-10 µg/l: όταν η έκθεση είναι βραχυπρόθεσμη δεν έχουν παρατηρηθεί κάποιες επιπτώσεις στην υγεία. Αν η έκθεση είναι μακροχρόνια αντιμετωπίζουν μικρό κίνδυνο τα άτομα που η διατροφή τους είναι φτωχή σε Zn και οι καπνιστές.
- 2) 10-20 µg/l: είναι οριακή στο να δημιουργήσει προβλήματα υγείας μετά από συνεχή έκθεση.
- 3) 20-1000 µg/l: υπάρχει κίνδυνος για τα νεφρά, εκτός αν η περίοδος έκθεσης δεν ξεπερνάει την 1 εβδομάδα.
- 4) >1000 µg/l: υπάρχει κίνδυνος οξείας δηλητηρίασης και θανάτου (South Africa water quality guidelines. Domestic water use, 1996).

Η δηλητηρίαση από Cd αντιμετωπίζεται δύσκολα με Zn και αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικό οξύ, εξαιτίας της ταχείας και μη αναστρέψιμης πρόσληψης από τα νεφρά. Υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή βλάβη στα νεφρά και οξεία γαστρεντερίτιδα, που μοιάζει με την ιογενή. Η θανάσιμη δόση είναι μεταξύ 350 και 3500 mg. Από επιδημιολογικές μελέτες, φαίνεται ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση μέσω της διατροφής δεν σχετίζεται με καρκινογένεση, αντίθετα η πρόσληψη μέσω της αναπνευστικής οδού μπορεί να δημιουργήσει καρκινώματα.

Στην περιοχή μελέτης το 70% των δειγμάτων (n=25) υπερβαίνουν το όριο των 5 µg/l και η συγκέντρωση του είναι ως και 5 φορές μεγαλύτερη.

## **Pb**

Ο Pb έχει την τάση να συσσωρεύεται στα οστά και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Οι πιο ευαίσθητες ομάδες είναι τα έμβρυα και οι εγκυμονούσες, τα βρέφη και τα παιδιά ως 6 ετών.

Ο ανόργανος Pb δεν μεταβολίζεται από τον άνθρωπο. Η ποσότητα που δεν απορροφάται από το γαστρεντερικό σύστημα αποβάλλεται μέσω των κοπράνων και η ποσότητα που απορροφάται αλλά δεν διατηρείται απεκκρίνεται μέσω των νεφρών και των χοληφόρων αγγείων (US EPA, 1990). Ο βιολογικός χρόνος ημιζωής στους ενήλικες είναι 36-40 ημέρες στο αίμα και στους μαλακούς ιστούς ενώ στα οστά φτάνει τα 17 με 27 χρόνια (Rabinowitz MB, Wetherill CW, Kopple JD, 1972). Στους ενήλικες 80- 95% του συνολικού Pb βρίσκεται στα οστά ενώ στα παιδιά 73% (Barry PSI, 1978). Όταν η έκθεση είναι χρόνια υπάρχει μια σταθερή κατανομή σε διάφορους ιστούς και όργανα όπως πνεύμονες, σπλήνα, συκώτι, νεφρά και οστά. Στις εγκύους ο Pb μεταφέρεται στο έμβρυο από την 12<sup>η</sup> εβδομάδα εγκυμοσύνης. Η συγκέντρωση Pb στο αίμα του βρέφους φτάνει το 80-100 % της αντίστοιχης συγκέντρωσης στην μητέρα (Lacey RF., 1985).

Περισσότερο από το 80% του προσλαμβανόμενου Pb προέρχεται από την διατροφή και την σκόνη. Στους ενήλικες απορροφάται το 10 % του Pb που περιέχεται στην διατροφή (US EPA, 1986) αλλά στα παιδιά η απορρόφηση είναι 4 με 5 φορές μεγαλύτερη (Alexander FW, 1974). Για τα παιδιά σημαντική πηγή πρόσληψης είναι το χώμα και η σκόνη, όπου η απορρόφηση φτάνει το 30%. Η απορρόφηση είναι ακόμα μεγαλύτερη όταν η πρόσληψη Fe, Ca και F από τον οργανισμό δεν είναι επαρκής. (Van Barneveld AA, Van den Hamer CJA, 1985). Τα εδάφη και η οικιακή σκόνη μπορεί να αποτελέσουν σημαντική πηγή Pb, ιδιαίτερα για την ευαίσθητη ομάδα των παιδιών (Drill S et al, 1979). Η συγκέντρωση του μπορεί να είναι λιγότερο από 5µg/g ως δεκάδες mg σε ρυπασμένες

περιοχές. Η συγκέντρωση του στα εδάφη δεν μεταβάλλεται εύκολα και απαντά κυρίως ως 5 cm βάθος. (Raab GM, Laxen DPH, Fulton M., 1987)

Παλαιότερα ήταν αρκετά διαδεδομένη η χρήση του στα συστήματα διανομής νερού (Quinn MJ, Sherlock JC, 1990). Ο Pb δεν διαλύεται εύκολα, αλλά υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να δημιουργηθούν τοξικές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό. Κάποιοι από τους παράγοντες που ελέγχουν την διάλυση είναι η συγκέντρωση Cl και διαλυμένου οξυγόνου, η θερμοκρασία, η σκληρότητα, το pH και ο χρόνος παραμονής του νερού στα συστήματα. Τα μαλακά νερά με υψηλή οξύτητα ευνοούν περισσότερο την διάλυση του (Schock MR, 1990). Επίσης οι σωλήνες από PVC περιέχουν ενώσεις Pb και μπορούν να δημιουργηθούν υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό.

Μελέτες σε βρέφη και μικρά παιδιά έδειξαν ότι η όταν ημερήσια πρόσληψη είναι μεγαλύτερη από 5 µg ανά κιλό σωματικού βάρους η καθαρή κατακράτηση είναι περίπου 32%. Αντίθετα όταν η ημερήσια πρόσληψη είναι μικρότερη από 5µg/Kg δεν αυξάνεται η συγκέντρωση Pb στο αίμα (Ziegler EE et al, 1978).

Η οξεία δηλητηρίαση σχετίζεται με νωθρότητα, ανησυχία, εγκεφαλοπάθειες, κοιλιακές κράμπες, νεφρικές βλάβες, ψευδαισθήσεις κ.α.. Συνήθη συμπτώματα της χρόνιας έκθεσης είναι κόπωση, αϋπνία, πονοκέφαλοι, πόνοι στις αρθρώσεις και γαστρεντερικά προβλήματα. Ως μέγιστο όριο ημερήσιας πρόσληψης έχουν τεθεί τα 3.5 µg ανά κιλό σωματικού βάρους για όλες τις ηλικίες (JECFA, 1993).

Όταν προσλαμβάνεται από τον οργανισμό αλληλεπιδρά με τον Fe και εμποδίζει την σύνθεση αιμοσφαιρίνης. Η επαρκής διαίτα σε Ca τείνει να καταστέλλει την απορρόφηση του από τον οργανισμό. Ανάλογα με την συγκέντρωση του στο νερό οι επιπτώσεις στις ευαίσθητες ομάδες είναι οι παρακάτω:

0-10 µg/l: Δεν υπάρχει κίνδυνος από την χρήση του

10-50 µg/l: Υπάρχει μικρός κίνδυνος νευρολογικής βλάβης

50-100 µg/l: Πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση

100-300 µg/l: Η πρόκληση νευρολογικής βλάβης είναι βέβαιη (South Africa water quality guidelines. Domestic water use, 1996)

Στην περιοχή μελέτης η πλειοψηφία των δειγμάτων (n=26) είναι κάτω από όριο, αλλά το 25% των δειγμάτων έχουν αυξημένες τιμές και είναι ως και 83 φορές πάνω από το όριο των 10 µg/l.

## **Fe**

Είναι ένα πολύ σημαντικό ιχνοστοιχείο για τους οργανισμούς. Η ημερήσια ανάγκη σε Fe κυμαίνεται μεταξύ 10 και 50 mg και εξαρτάται από την ηλικία, το φύλλο, την φυσική κατάσταση του ατόμου και από την βιοδιαθεσιμότητα του Fe. Ο άνθρωπος προσλαμβάνει 10 με 14 mg την ημέρα μέσω της διατροφής (National Food Agency of Denmark, 1990) και περίπου 0.6 mg από το νερό.

Στις τροφές οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στο συκώτι, νεφρά, ψάρια και πράσινα λαχανικά 20-150 mg/Kg. Τα κόκκινα κρέατα και οι κρόκοι αυγών περιέχουν 10-20 mg/Kg και οι μικρότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στο ρύζι και σε αρκετά φρούτα και λαχανικά. 1-10 mg/Kg.



Η απορρόφηση εξαρτάται από τα επίπεδα Fe που έχει το κάθε άτομο, και αν περισσεύει ποσότητα δεν αποθηκεύεται. Ο συνολικός Fe στους άντρες και τις γυναίκες είναι περίπου 50 mg και 34-42 mg ανά κίλο σωματικού βάρους, αντίστοιχα (Bothwell TH et al, 1979). Οι ημερήσιες απώλειες στους ενήλικες είναι μικρές (1 mg) αλλά οι γυναίκες χάνουν αρκετή ποσότητα κατά την έμμηνο ρύση (15-70 mg) (Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a Joint FAO/WHO, 1988). Η θανάσιμη δόση είναι 3-30 gr. Όταν η συγκέντρωση στο πόσιμο νερό είναι 1) 0.1-1 mg/l δεν εμφανίζονται προβλήματα υγείας, αλλά σταδιακά επηρεάζεται η γεύση του 2) 1-10 mg/l τα μικρά παιδιά μπορούν να επηρεαστούν και οι επιπτώσεις στην γεύση είναι έντονες.

Στην περιοχή το 60% των δειγμάτων είναι πάνω από το όριο των 200 µg/l και η συγκέντρωση φτάνει ως και 440 µg/l. Φαίνεται πως δεν αποτελεί κίνδυνο για την υγεία.

## **Mn**

Αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την σωστή λειτουργία του οργανισμού. Στους κατώτερους οργανισμούς μπορεί να εμφανιστεί βιοσυσσώρευση, ενώ στους ανώτερους οργανισμούς γενικά δεν απαντά (ATSDR, 2000). Εξαιρέση αποτελούν τα βρέφη που παρουσιάζεται συσσώρευση στον εγκέφαλο (Kontur & Fechter, 1988). Ο βιολογικός χρόνος ημιζωής είναι 13 και 37 ημέρες.

Η κυριότερη πηγή πρόσληψης Mn είναι η τροφή. Με βάση την δίαιτα που ακολουθείται στο δυτικό κόσμο και από χορτοφάγους, η ημερήσια πρόσληψη Mn κυμαίνεται μεταξύ 0.7 mg και 10.9 mg (Greger, 1999). Σύμφωνα με μια άλλη μελέτη, η μέση ημερήσια πρόσληψη είναι 2.4 mg (National Health and Nutrition Estimation Survey, 2001). Η επαρκής ημερήσια πρόσληψη για τους άντρες έχει οριστεί στα 2.3 mg, για τις γυναίκες 1.8 mg και για τα βρέφη 0.003 mg (IOM, 2002). Μεγάλες ποσότητες βρίσκονται στους ξηρούς καρπούς (18-47 mg/Kg), στο τσάι (0.4-1.3 mg ανά κούπα) και σε μερικές περιπτώσεις στα σιτηρά (0.4-40 mg/Kg) (ATSDR, 2000). Εκτός από την ποσότητα πρόσληψης σημαντικό ρόλο παίζει και η βιοδιαθεσιμότητα, που εξαρτάται από διάφορες αιτίες. Όταν οι δίαιτα περιέχει τανίνες και φυτικά οξέα μπορεί να μειωθεί η πρόσληψη Mn (Gibson, 1994), όταν έχει χαμηλά επίπεδα Fe αυξάνεται η προσρόφηση Fe και Mn (Finley, 1999), τέλος σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με τα επίπεδα Ca (Lutz et al., 1993).

Τα άτομα που εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε σκόνη και αναθυμιάσεις με υψηλές συγκεντρώσεις Mn, μπορούν να αναπτύξουν το σύνδρομο του μαγγανισμού (έχει ομοιότητες με το σύνδρομο Parkinson), που συνήθως δεν θεραπεύεται. Δεν έχει εξακριβωθεί αν παρόμοιες νευρολογικές βλάβες δημιουργούνται, όταν η πρόσληψη γίνεται δια του στόματος.

Η μέση συγκέντρωση στο πόσιμο νερό είναι 10 µg/l, οπότε η συνεισφορά του στην ολική πρόσληψη είναι μικρή. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.1 mg/l προσδίδει μια δυσάρεστη γεύση και κατά το πλύσιμο των ρούχων δημιουργούνται λεκέδες (Griffin, 1960). Μελέτες στην Γερμανία (Vieregge et al., 1995) και στην Ιαπωνία (Suzuki, 1970) έδειξαν ότι κατανάλωση νερού με συγκέντρωση 0.3-2.16 mg/l και 0.75 mg/l αντίστοιχα, δεν δημιουργεί νευρολογικά προβλήματα. Αντίθετα σε μελέτη που έγινε στην Ελλάδα (Kondakis et al., 1989), τα νερά είχαν συγκέντρωση ως 2.3 mg/l και υπήρχε συσχέτιση με νευρολογικά προβλήματα. Επίσης παιδιά, ηλικίας 13 ετών που εκτέθηκαν σε αυξημένες συγκεντρώσεις Mn μέσω του νερού (0.24 mg/l) και σιτηρών που αρδεύονταν με ρυ-

πασμένα νερά, ανέπτυξαν νευρολογικά προβλήματα και είχαν μειωμένη απόδοση στο σχολείο (Zhang et al., 1995).

Στην περιοχή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα εκτός από 3 περιπτώσεις που μετρήθηκε ως και 17.5 φορές πάνω από το όριο των 50 µg/l. Η κατανάλωση αυτού του νερού ενδέχεται να επηρεάσει την υγεία και ιδιαίτερα των παιδιών.

## Ni

Η διατροφή αποτελεί την κύρια πηγή πρόσληψης εκτός αν το άτομο καπνίζει ή λόγω της δουλειάς του εκτίθεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Η συνεισφορά του μη ρυπασμένου νερού είναι μικρή. Οι τροφές περιέχουν συνήθως 0.01-0.1 mg/Kg (Booth, 1990), αλλά υπάρχουν και μεγαλύτερες περιεκτικότητες όπως στα φασόλια και τους ξηρούς καρπούς (1-6 mg/Kg) και στο κακάο (8-12 mg/Kg) (Smart & Sherlock, 1987). Η μέση ημερήσια πρόσληψη από την τροφή είναι περίπου 200 µg από τα οποία τα 10 µg απορροφώνται. Αντίστοιχα η πρόσληψη από το νερό 5-25 µg και απορροφούνται 5 µg (European risk assessment for nickel, 2004).

Κάποια άτομα και ιδιαίτερα οι γυναίκες έχουν υπερευαισθησία στο Ni. Η ελάχιστη ποσότητα που έχει δυσμενής για τον άνθρωπο έχει προσδιοριστεί σε 12 µg ανά κιλό σωματικού βάρους. Χρόνια έκθεση σε νερό με Ni μεγαλύτερη από 0.1 mg/l μπορεί να προκαλέσει μείωση βάρους, βλάβη στο συκώτι και στην καρδιά και δερματίτιδα. Γενικά δεν υπάρχουν ενδείξεις για καρκινογένεση.

Η πλειοψηφία των δειγμάτων (n=23) είναι κάτω από το όριο των 20 µg/l, αλλά σε αρκετά δείγματα οι τιμές είναι αυξημένες και είναι ως 19.5 φορές μεγαλύτερες από το όριο.

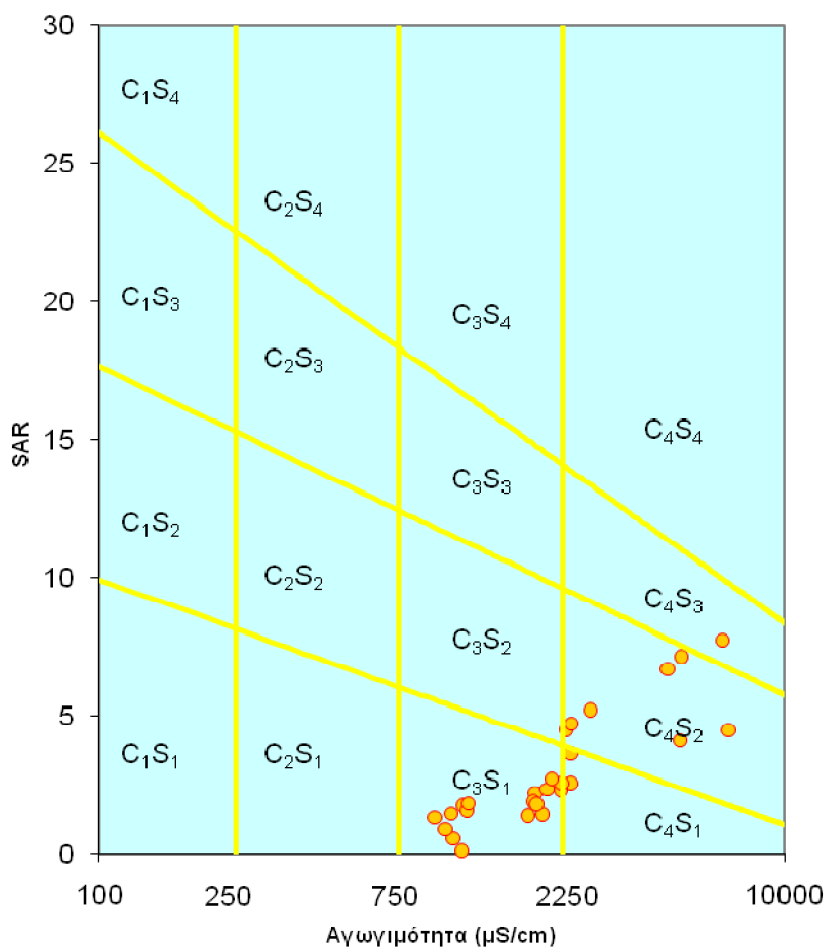
## Zn

Το νερό της βρύσης μπορεί να έχει υψηλές συγκεντρώσεις εξαιτίας της διάβρωσης Zn από τις σωληνώσεις. Η ημερήσια πρόσληψη Zn έχει υπολογιστεί σε 5-22 mg. Το νερό που περιέχει περισσότερα από 3 mg/l, έχει στυφή γεύση, τείνει να ιριδίζει και δημιουργείται μια λιπαρή επίστρωση όταν βράζεται. Ένας ενήλικας χρειάζεται 15-22 mg την ημέρα και ως μέγιστη ημερήσια πρόσληψη έχει τεθεί το 1 mg ανά κιλό σωματικού βάρους (JECFA, 1982).

Στην περιοχή κανένα από τα δείγματα δεν υπερέβαινε το όριο των 3 mg/l.

### 11.2 Αρδευτική χρήση

Για τη διάγνωση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού χρησιμοποιείται ο δείκτης SAR (Πηλίκιο Προσρόφησης Na), οποίος υπολογίζεται από τον τύπο  $SAR = Na / (Ca + Mg)^{1/2}$ . Στο διάγραμμα (σχ.11.1) τα περισσότερα νερά προβάλλονται στο πεδίο C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, σύμφωνα με το οποίο είναι μέτριας ποιότητας και τα εδάφη πρέπει να αποστραγγίζονται ή να προστίθεται γύψος. Τα πιο ακατάλληλα νερά βρίσκονται στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού και προβάλλονται στα πεδία C<sub>4</sub>S<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>. Είναι κακής ως πολύ κακής ποιότητας και πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή σε στραγγιζόμενα εδάφη.



	Αγω. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SAR
<b>G2</b>	2400	3.66
<b>G15</b>	1150	1.74
<b>G19</b>	2300	4.46
<b>G14</b>	1185	1.55
<b>G73</b>	1196	1.85
<b>G5</b>	1086	0.59
<b>G7</b>	1140	0.09
<b>G8</b>	960	1.34
<b>G9</b>	1060	1.48
<b>G11</b>	1030	0.91
<b>G12</b>	2700	5.17
<b>P18</b>	6920	4.49
<b>P20</b>	4600	6.70
<b>P21</b>	4970	4.13
<b>G22</b>	6580	7.75
<b>S31</b>	4998	7.12
<b>G25</b>	2400	2.54
<b>G50</b>	2228	2.30
<b>G51</b>	2391	4.73
<b>G52</b>	2256	2.54
<b>G54</b>	1890	2.22
<b>G61</b>	1967	1.41
<b>G62</b>	2046	2.38
<b>G63</b>	1848	1.88
<b>G69</b>	2087	2.76
<b>G74</b>	1779	1.35
<b>G77</b>	1902	1.78

**Σχ. 11.1** Κατάταξη νερών της περιοχής με βάση το διάγραμμα SAR – αγωγιμότητα. Προβάλλονται τα υφάλμυρα νερά από την παράκτια περιοχή του Ν Ευβοϊκού και από τις υπόλοιπες περιοχές τα δείγματα όπου τα Cl είναι περισσότερα από 150 mg/l.

Άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι:

Το πλέον τοξικό στοιχείο που υπάρχει στα νερά για άρδευση είναι το Cl, δεν δεσμεύεται από το έδαφος, αλλά υπάρχει στο εδαφικό διάλυμα ως ιόν. Το Cl του εδαφικού διαλύματος μετακινείται διαμέσου των εδαφικών πόρων με τα νερά της έκπλυσης στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής. Το χλώριο του εδαφικού διαλύματος προσλαμβάνεται από το ριζικό σύστημα των φυτών και με τη διαπνοή αυτών συσσωρεύεται στα φύλλα. Όταν η συγκέντρωση του Cl στα φύλλα υπερβεί την αντοχή τους, τότε εμφανίζονται τοξικά συμπτώματα όπως είναι το κάψιμο των φύλλων ή η ξήρανση των ιστών στα φύλλα. Η καταστροφή ξεκινά από τις άκρες των φύλλων και προχωράει προς τα πίσω. Τα φυτά που δεν έχουν ξυλώδη ιστό, έχουν μικρή ευαισθησία στο Cl, ενώ ισχύει το αντίθετο για τα φυτά με ξυλώδη ιστό. Όταν η άρδευση γίνεται με καταιωνιστήρες η απορρόφηση γίνεται και μέσω του φυλλώματος. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι σημαντικές ανάλογα με το φυτό και τις κλιματολογικές συνθήκες (υψηλή θερμοκρασία, χαμηλή υγρασία και άνεμος επιδεινώνουν το πρόβλημα). Για παράδειγμα στα εσπεριδοειδή, στα πυρηνόκαρπα φρούτα και στα αμύγδαλα συγκεντρώσεις της τάξεως 70-105 mg/l στο αρδευτικό

νερό, μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο φύλλωμα (South African water quality guidelines. Agriculture use, 1996).

Υψηλές τιμές **Na** μπορούν να υποβιβάσουν την τιμή διαπερατότητας του νερού και του αέρα στα εδάφη. Παράλληλα μπορεί να παρατηρηθεί τοξικότητα στα φυτά. Από τα διάφορα άλατα, αυτά που περιέχουν νάτριο είναι και τα πιο επιβλαβή. Στην περιοχή το 60% των δειγμάτων υπερβαίνουν το όριο των 70 mg/l.

Η συγκέντρωση των **υδατοδιαλυτών αλάτων**, η οποία εκφράζεται 1) με τη ηλεκτρική αγωγιμότητα του (EC) που τη μετράμε σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους  $25^\circ\text{C}$  και με 2) το ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό σε mg/l. Στον πιν. 11.2 φαίνεται η ευαισθησία κάποιων φυτών στην αλατότητα.

**Πιν. 11.2** Εκτιμώμενη απόδοση καλλιεργειών, ανάλογα με την ποιότητα του αρδευτικού νερού σε  $\text{mS}/\text{cm}$ . Κατά τον υπολογισμό έχει θεωρηθεί ότι το νερό διηθείται κάτω από το ριζόστρωμα σε ποσοστό 15-20%. Επίσης δεν έχει συνεκτιμηθεί η επίδραση άλλων στοιχείων. (Maas & Grattan, 1999. Από Irrigation water salinity and crop production. Grattan S., 2002)

	100%	90%	75%	50%	Ανθεκτικότητα
Φράουλα	0.7	0.9	1.2	1.7	Ευαίσθητα
Φασόλια	0.7	1	1.5	2.4	
Καρότο	0.7	1.1	1.9	3	
Κρεμμύδι	0.8	1.2	1.8	2.9	
Μελιτζάνα	7	1.7	3.1	5.6	Μέτρια ευαίσθητα
Πατάτα	1.1	1.7	2.5	3.9	
Λάχανο	1.2	1.9	2.9	4.6	
Αγγούρι	1.7	2.2	2.9	4.2	
Μπρόκολο	1.9	2.6	3.7	5.5	
Κουνουπίδι	1.9	2.6	3.7	5.5	
Τεύτλα	2.7	3.4	4.5	6.4	Μέτρια ανθεκτικό
Σπαράγγια	2.7	6.1	11.1	19.4	Ανθεκτικό

Στην περιοχή μελέτης το 65% των δειγμάτων έχει EC μεγαλύτερη από  $1000 \mu\text{S}/\text{Cm}$ , οπότε τα ευαίσθητα φυτά μπορούν να επηρεαστούν αλλά καταλαμβάνουν μικρό ποσοστό καλλιεργήσιμης έκτασης. Το μεγαλύτερο ποσοστό το καταλαμβάνει το σιτάρι, που θεωρείται ότι έχει μέση ανθεκτικότητα. Ακολουθούν οι ελιές που βρίσκονται που βρίσκονται κυρίως σε παράκτιες περιοχές, αλλά θεωρούνται ανθεκτικές.

### Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή

Οι Maas και Hoffman (1977), πρότειναν την ακόλουθη εξίσωση η οποία εκφράζει τη σχέση της αλατότητας με την απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών:

$$Y=100(C_0-C_e)/(C_0-C_{100})$$

Y η σχετική % απόδοση παραγωγής,

$C_e$  : η μετρούμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε  $\text{mS}/\text{cm}$

$C_0$  : ηλεκτρική αγωγιμότητα για την οποία η φυτική παραγωγή μηδενίζεται

$C_{100}$  : η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην οποία αντιστοιχεί απόδοση 100%.

## Βαρέα μέταλλα

Η αξιοποίηση των υγρών αποβλήτων του βιολογικού καθαρισμού των αστικών λυμάτων για γεωργικούς σκοπούς έχει ευρεία εφαρμογή σε πολλές χώρες του κόσμου. Σε αυτά τα νερά πρέπει να ελέγχονται τα επίπεδα των βαρέων μετάλλων. Η χρήση νερών που περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα, θα προκαλέσει την συσσώρευση τους στο έδαφος. Στις περιπτώσεις που η γονιμότητα του εδάφους δεν υποβαθμίζεται, τα παραγόμενα προϊόντα είναι ακατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο ή τα ζώα. Έρευνες έχουν δείξει ότι περισσότερο από το 85% των βαρέων μετάλλων που προστίθενται στο έδαφος, συσσωρεύονται σ' αυτό και μάλιστα σε λίγα cm βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.

Τα ιχνοστοιχεία Cd, Pb, Ni, As, Cr και Zn έχουν παρόμοια χημική συμπεριφορά όταν βρίσκονται στο έδαφος. Είναι δυνατόν να συσσωρευτούν στο έδαφος σε επίπεδο φυτοτοξικών συγκεντρώσεων, εξαιτίας της ισχυρής προσρόφησης από τα αργίλικα ορυκτά, σωματίδια και οργανική ύλη. Η συγκέντρωσή τους στο εδαφικό διάλυμα εξαρτάται από αντιδράσεις ρόφησης, εκρόφησης, συγκαθίζησης με οξείδια και υδροξείδια μετάλλων και από το pH. Όταν επικρατεί η ρόφηση απαντούν σχετικά μικρές συγκεντρώσεις. Η χρήση νερών με αυξημένες συγκεντρώσεις και για μεγάλο χρονικό διάστημα έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση τους στο έδαφος. Σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη έχουν μικρή διαλυτότητα, οπότε παρουσιάζουν μικρή διαθεσιμότητα για τα φυτά και δεν μετακινούνται σε βαθύτερα στρώματα ώστε να ρυπάνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Αντίθετα στα όξινα εδάφη η διαλυτότητα τους είναι μεγάλη.

Όταν το αρδευτικό νερό έχει μεγάλες συγκεντρώσεις συμβαίνουν τα παρακάτω:

- ✓ Συσσωρεύονται στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους (στα πρώτα 150 mm)
- ✓ Συνήθως δεν κατεισδύουν σε μεγαλύτερα βάθη ώστε να ρυπανθεί ο υδροφόρος ορίζοντας
- ✓ Όσο μεγαλύτερη είναι η ιοντοανταλλακτική ικανότητα του εδάφους τόσο μεγαλύτερες ποσότητες προσροφούνται
- ✓ Τα εδάφη με ουδέτερο ή αλκαλικό pH μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερες ποσότητες από ότι τα όξινα, πριν γίνουν φυτοτοξικά.
- ✓ Συνήθως η μετακίνηση τους σε μεγαλύτερα βάθη είναι μικρή, οπότε οι πιθανότητες να ρυπανθεί ο υδροφόρος ορίζοντας είναι λίγες. Εξαίρεση αποτελεί το Cr<sup>+6</sup>

Η απομάκρυνση τους από νερό που προορίζεται για αρδευτική χρήση είναι οικονομικά ασύμφορη. Για αυτό συνήθως συστήνεται η καλλιέργεια ανθεκτικών ειδών και η εφαρμογή σε εδάφη με υψηλά επίπεδα αργίλου, χρήση ασβεστούχων προσθετικών. Αν και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο έδαφος τονώνουν την ανάπτυξη των φυτών δεν αποτελούν ουσιαστικό θρεπτικό στοιχείο, ο Zn αποτελεί εξαίρεση. Τα όρια (πιν. 11.3) ισχύουν για εδάφη όπου οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων στο έδαφος πριν την άρδευση είναι μικρές.

**Πιν. 11.3** Ανώτατα επιτρεπτά όρια ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό (South African water quality guidelines. Agriculture use, 1996)

Συγκέντρωση στο νερό (mg/l)				Συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα (mg/l)
	Ανώτατο όριο	Εφαρμογή σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη με μεγάλο ποσοστό αργλικών.	Εφαρμογή για μικρή χρονική περίοδο	Εμφάνιση τοξικότητας
As	0.1	0.1-2	2	0.5-10
Cd	0.01	0.01-0.5	>0.5	0.1
Cr	0.1	0.1-1	>1	0.5-10
Pb	0.2	0.2-2	>2	1
Ni	0.2	0.2-2	>2	0.5-1
Zn	1	1-5	>5	0.3-1
Mn	0.02	0.02-10	>10	
Fe	5	5-20	>20	

Το **αρσενικό** βρίσκεται στο έδαφος με την τρισθενή και πεντασθενή μορφή του. Από το συνολικό As ένα μικρό μέρος απορροφάται από τα φυτά. Σε μεγάλες ποσότητες, η κύρια επίδραση του είναι η καταστροφή της χλωροφύλλης από τα φυλλώματα, με αποτέλεσμα την μείωση ή την καταστροφή της παραγωγής. Έχει βρεθεί ότι συσσωρεύεται στις ρίζες και σε φυτά όπως πατάτες και ραπανάκια, αλλά γενικά στα βρώσιμα μέρη των φυτών δεν βρίσκεται σε τοξικές ποσότητες για τον άνθρωπο. Υψηλά επίπεδα σε καλλιεργούμενα εδάφη μπορεί να οφείλονται σε εφαρμογή φυτοφαρμάκων που περιέχουν As. Οι συγκεντρώσεις στην περιοχή είναι κάτω από το επιτρεπόμενο όριο.

Το **κάδμιο** έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί συσσωρεύεται στους οργανισμούς. Η διαθεσιμότητα του στα φυτά αυξάνεται όσο μειώνεται το pH και αυξάνεται η συγκέντρωση Cl, αντίθετα είναι μειωμένη όταν τα επίπεδα της οργανικής ύλης είναι υψηλά. Όταν στο εδαφικό διάλυμα η συγκέντρωση του είναι 0.1 mg/l η παραγωγή των φασολιών, τεύτλων και γογγυλιών μειώνεται κατά 25% και όταν είναι 1 mg/l η παραγωγή του λάχανου και του κριθαριού μειώνεται 20 - 50%. Η κατανάλωση τροφών πλούσιων σε Cd για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο, εξαιτίας της βιοσυσσωρευτικότητας του. Στην περιοχή μελέτης σε αρκετές περιπτώσεις υπερβαίνει το όριο.

Το **Cr<sup>+3</sup>** συγκρατείται ισχυρά από το έδαφος, ενώ το **Cr<sup>+6</sup>** παρουσιάζει μεγάλη κινητικότητα και μπορεί να ρυπάνει τους υδροφόρους. Το Cr<sup>+3</sup> μπορεί να οξειδωθεί εύκολα σε Cr<sup>+6</sup> υπό τις συνήθεις εδαφικές συνθήκες, σημαντικό ρόλο στην οξείδωση έχουν η οργανική ύλη και τα οξείδια Mn, ως υποδοχείς ηλεκτρονίων. Η συγκέντρωση του στο έδαφος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το pH, σε μεγάλες τιμές το υδροξείδιο του Cr<sup>+3</sup> είναι αδιάλυτο και καθιζάνει. Τα τοξικά όρια στα εδάφη για το Cr<sup>+3</sup> κυμαίνονται μεταξύ 50 και 5000 mg/Kg και για το Cr<sup>+6</sup> μεταξύ 5 και 500 mg/Kg. Το 90 % του Cr που προσλαμβάνεται από το φυτό παραμένει στις ρίζες και γενικά τα βρώσιμα μέρη του φυτού δεν περιέχουν τοξικές ποσότητες για τον άνθρωπο. Σε ένα δείγμα το ολικό Cr υπερβαίνει την ανώτατη τιμή.

Ο **μόλυβδος** επειδή συγκρατείται ισχυρά από το έδαφος έχει χαμηλή φυτοτοξικότητα σε σχέση με άλλα ιχνοστοιχεία. Συσσωρεύεται κυρίως στις ρίζες, αλλά γενικά η συγκέντρωσή του στα φυτά δεν είναι τοξική για τον άνθρωπο. Σε κάποιες περιπτώσεις υπερβαίνει το όριο.

Το **νικέλιο** στα εδάφη έχει την τάση να συγκρατείται σε σωματίδια MnO. Είναι αδιάλυτο στο νερό και σε άλλους συνήθεις διαλύτες και τα εδάφη έχουν την τάση να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες. Οι μεγαλύτερες ποσότητες που απελευθερώνονται παγκοσμίως οφείλονται στην καύση των ορυκτών καυσίμων. Παρουσία Mo τα συμπτώματα είναι ηπιότερα. Σε αρκετές περιπτώσεις υπερβαίνει το όριο.

Ο **ψευδάργυρος** είναι βασικό θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά, αλλά σε μικρές ποσότητες. Συγκρατείται ισχυρά ακόμα και σε εδάφη με μικρό ποσοστό αργίλων. Τα συμπτώματα τοξικότητας περιλαμβάνουν χλώρωση σιδήρου, παραμόρφωση και μείωση του μεγέθους των φύλλων και νέκρωση των άκρων. Στην περιοχή η συγκέντρωση του είναι εντός του επιθυμητού ορίου.

Τα φυσικά εδάφη έχουν συνήθως μεγάλη περιεκτικότητα σε **σίδηρο**, αλλά η συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα εξαρτάται από το pH και τον αερισμό του εδάφους. Αυτοί οι 2 παράγοντες καθορίζουν το οξειδωτικό του σθένος και κατ' επέκταση την διαλυτότητα του. Σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH υπό οξειδωτικές συνθήκες καθιζάνει με την μορφή υδροξειδίων και ο διαλυμένος Fe είναι της τάξεως των μερικών mg/l. Κατά την καθίζηση δεσμεύει τον P και το Mo και η διαθεσιμότητα των 3 στοιχείων μπορεί να μην είναι επαρκής για τα φυτά. Υπό αναγωγικές συνθήκες μπορεί να σχηματιστεί  $Fe^{+2}$  και η συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα να φτάσει τα μερικά mg/l. Οπότε η συγκέντρωση στο αρδευτικό νερό έχει μικρή σημασία, αλλά μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα όταν κατά την άρδευση αποτίθεται πάνω στα φύλλα. Για να μην δημιουργηθεί πρόβλημα στένωσης στις σωληνώσεις η συγκέντρωση του δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0.2 mg/l. Στην περιοχή η συγκέντρωση του είναι εντός των ορίων, αλλά μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στις σωληνώσεις.

### **Αλάτωση εδαφών**

Η συσσώρευση αλάτων στο έδαφος (αλάτωση) και ιδιαίτερα του Na (νατρίωση) αποτελεί μία από τις κύριες απειλές για τα οικοσυστήματα. Μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην ερημοποίηση στα ξηρά κλίματα ενώ στα υγρά και ύφυγρα κλίματα μπορεί να εμφανιστεί εποχιακά αλάτωση. Οι διεργασίες που οδηγούν στο φαινόμενο μπορούν να διακριθούν σε φυσικές και ανθρωπογενείς. Οι τελευταίες παίζουν τον κύριο ρόλο και οφείλονται κυρίως στις μεθόδους άρδευσης. Το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση περιέχει συνήθως ένα ποσοστό υδατοδιαλυτών αλάτων. Ως υδατοδιαλυτά αναφέρονται τα ανόργανα άλατα, τα οποία είναι περισσότερο διαλυτά από τη γύψο ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), η διαλυτότητα της οποίας ανέρχεται στα 0,241 g/100 ml στους 0°C.

Από την ποσότητα του αρδευτικού νερού το 1/3 ή τα 2/3 καταναλώνονται από την εξατμισοδιαπνοή. Το υπόλοιπο νερό αποστραγγίζεται από τα επιφανειακά κανάλια ή κατεισδύει προς τον υδροφόρο. Η αλατότητα αυτού του νερού είναι 3-10 φορές μεγαλύτερη από την αρχική. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην συγκέντρωση αλάτων στα επιφανειακά στρώματα (περιοχή ριζοστρώματος) λόγω εξατμισοδιαπνοής, επιλεκτικής προσρόφησης από τα φυτά, στα λιπάσματα και σε διορθωτικά εδαφών που πολλές φορές χρησιμοποιούνται για την βελτίωση των εδαφών. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι νιτρικά, φωσφορικά και καλιούχα. Τα βελτιωτικά εδαφών που χρησιμοποιούνται κυρίως σε αρδευόμενες εκτάσεις, είναι συνήθως ανθρακικά και θειικά άλατα (Λέκκας Σ., Αλε-

ξόπουλος Α.,1984). Σύμφωνα με το Εργαστήριο αλατούχων εδαφών ΗΠΑ η ο κίνδυνος αλατότητας των εδαφών καθορίζεται από την EC (πιν. 11.4).

**Πιν. 11.4** Κίνδυνος αλατότητας εδάφους σύμφωνα με την EC. (Εργαστήριο αλατούχων εδαφών ΗΠΑ)

EC (μS/cm)	Κίνδυνος αλατότητας
250 – 750	Μέτριος
750 – 2250	Σχετικά υψηλός
2250 – 4000	Υψηλός
>4000	Πολύ υψηλός

Ακόμα και με την χρήση καλής ποιότητας νερού που οι συγκεντρώσεις του σε άλατα κυμαίνονται από 200 ως 500 mg/l. Ένα μέσο ύψος άρδευσης σε με μια αρδευτική περίοδο είναι 600mm νερού, έτσι προστίθενται στο έδαφος περίπου 120-300 Kg αλάτων ανά στρέμμα. Όταν το ύψος των βροχοπτώσεων δεν είναι επαρκές για να μεταφερθούν τα άλατα κάτω από το βάθος ριζοστρώματος, όπως συμβαίνει συνήθως στις ξηρές και ημί-ξηρες περιοχές, τα εδάφη σταδιακά μετατρέπονται σε αλατούχα και κατά συνέπεια προβληματικά για την άσκηση γεωργίας. Σε αργιλώδη εδάφη θεωρείται μη αναστρέψιμο φαινόμενο και γενικά η αποκατάσταση του φαινομένου απαιτεί πολύπλοκες και δαπανηρές μεθόδους, για αυτό η καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η πρόληψη.

Μια άλλη αιτία συσσώρευσης αλάτων, είναι η χρήση υφάλμυρου νερού. Αυτό συμβαίνει κυρίως στις παράκτιες περιοχές όπου έχουμε διείσδυση του θαλασσινού νερού λόγω υπερεκμετάλλευσης των γεωτρήσεων. Επίσης τα tsunami μπορεί να προκαλέσουν αλάτωση παράκτιων περιοχών και τα εδάφη να έχουν μικρή γονιμότητα για αρκετά χρόνια.

Η αλάτωση του εδάφους επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με τους παρακάτω τρόπους:

(α) Μειώνεται το οσμωτικό δυναμικό του εδαφικού διαλύματος, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ικανότητα πρόσληψης νερού από τα φυτά. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα τόσο λιγότερο νερό μπορούν να απορροφήσουν

(β) Πρόκληση τοξικότητας στα φυτά από την αυξημένη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων και ειδικά του χλωρίου, του νατρίου και του βορίου. Η πρόσληψη αυξημένων ποσοτήτων ορισμένων ιόντων από το φυτό προκαλεί αλλοιώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες του (διέγερση της αναπνοής, μείωση της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, μείωση της βιοσύνθεσης πρωτεϊνών κ.ά.).

Η παραγωγικότητα δεν επηρεάζεται από τα χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης αλάτων, αλλά όταν η αλάτωση υπερβεί ένα κρίσιμο επίπεδο για κάθε καλλιέργεια, συμβαίνει απότομη πτώση της παραγωγικότητας. Η σχέση μεταξύ παραγωγικότητας και αλατότητας δεν είναι γραμμική. Έτσι μια περιοχή που καλλιεργείται μπορεί να έχει μέτρια επίπεδα αλατότητας και να μην είναι ανιχνεύσιμη για χρόνια, όμως η περαιτέρω αύξηση της μπορεί να προκαλέσει εγκατάλειψη της γης σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα δημητριακά είναι γενικά πιο ανθεκτικά από τα κηπευτικά και τα οπωροφόρα.

Από τον πιν. 11.5 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη επικινδυνότητα αλάτωσης, εντοπίζεται στη παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού.



**Πιν. 11.5** Χαρακτηρισμός των υφάλμυρων νερών της περιοχής, ως προς τον κίνδυνο αλατότητας εδαφών. (Με βάση τον πιν.11.5)

Υδροσύστημα	Κίνδυνος αλατότητας εδαφών
<b>ΑΣΩΠΟΥ</b>	Σχετικά υψηλός
<b>ΘΗΒΩΝ-ΥΛΙΚΗΣ</b>	Σχετικά υψηλός
<b>ΥΠΑΤΟΥ</b>	Υψηλός
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΕΥΒΟΪΚΟΥ</b>	Πολύ υψηλός
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ Ν ΕΥΒΟΪΚΟΥ</b>	Σχετικά υψηλός- υψηλός

### Κίνδυνος ερημοποίησης

Οι περιοχές με τον μεγαλύτερο κίνδυνο ερημοποίησης λόγω της αλάτωσης είναι οι πεδινές αρδευόμενες με ατελή στράγγιση. Οι κύριοι παράγοντες που ευνοούν τη συγκέντρωση αλάτων είναι η άρδευση με χαμηλής ποιότητας νερό, οι κακές συνθήκες στράγγισης και οι ξηρές κλιματικές συνθήκες.

Ο κίνδυνος μπορεί να προσδιοριστεί από πολλούς δείκτες. Για την Ελλάδα έχει αποδειχθεί εμπειρικά ότι οι σημαντικότεροι δείκτες είναι το ύψος των κατακρημνισμάτων, ο βαθμός αποστράγγισης του εδάφους, το υψόμετρο, η ποιότητα του νερού, το βάθος του υπόγειου νερού, η συχνότητα πλημμυρών, η βελτίωση των εδαφών, η προηγούμενη και η παρούσα χρήση γης.

Στην Ελλάδα τα αλατούχα εδάφη σχηματίζονται κυρίως σε αλλουβιακές, λιμναίες και αιολικές αποθέσεις. Το βάθος των εδαφών είναι συνήθως μεγάλο (>150 cm) η αποστράγγιση τους είναι κακή και η κοκκομετρική τους σύσταση είναι από μέση ως λεπτόκοκκη. Τέλος η κλίση των εδαφών είναι μέχρι 6%.

Στο site [http://www.unibas.it/desertnet/dis4me/land\\_uses/salinisation\\_risk\\_tool\\_gr.htm](http://www.unibas.it/desertnet/dis4me/land_uses/salinisation_risk_tool_gr.htm), δίνοντας τιμές στις παραπάνω παραμέτρους μπορείς να υπολογίσεις τον κίνδυνο ερημοποίησης. Για την περιοχή μελέτης δόθηκαν κάποιες ενδεικτικές τιμές και το νερό θεωρήθηκε ότι είναι υφάλμυρο, σύμφωνα με το αποτέλεσμα ο κίνδυνος γενικά είναι μέτριος.

### 11.3 Βιομηχανική χρήση

Κάθε βιομηχανία έχει ορίσει διαφορετικά κριτήρια ποιότητας νερού. Ακόμα και αυτές που ανήκουν στον ίδιο κλάδο μπορεί να εμφανίζουν μεγάλες διαφορές. Έτσι δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο σταθερότυπο που να αφορά όλες τις βιομηχανίες. Το τμήμα περιβάλλοντος της Ν Αφρικής (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996) έχει ταξινομήσει τις βιομηχανίες σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα νερού που απαιτείται σε συνηθισμένες διαδικασίες, όπως ψύξη, παραγωγή ατμών, πλύση, ύγρανση και παραγωγή τελικού προϊόντος.

- Στην κατηγορία 1 απαιτείται υψηλής ποιότητας νερό και το εύρος των επιθυμητών ορίων για όλα σχεδόν τα συστατικά είναι περιορισμένο. Συνήθως σε αυτές τις βιομηχανίες απαιτείται εξειδικευμένη τεχνολογία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη ποιότητα νερού, γεγονός που ανεβάζει το κόστος της διαδικασίας. Κάποιες βιομηχανίες είναι πετροχημικές και φαρμακευτικές.
- Στην κατηγορία 2 απαιτείται νερό χαμηλότερης ποιότητας, αλλά σε αρκετά συστατικά τα όρια είναι αυστηρότερα από αυτά του πόσιμου νερού. Συνήθως το νερό χρειάζεται επεξεργασία και η προσαύξηση στο κόστος της παραγωγικής διαδικασίας είναι σημαντική. Σε αυτή ανήκουν οι βιομηχανίες ποτοποιίας και γαλακτοκομικών προϊόντων

- Στην κατηγορία 3 τα ελάχιστα κριτήρια ποιότητας του νερού ταυτίζονται με αυτά του πόσιμου. Συνήθως δεν χρειάζεται κάποια επεξεργασία. Σχετικές βιομηχανίες είναι των τροφίμων, των χημικών και της μεταλλουργίας.
- Στην κατηγορία 4 η ποιότητα του νερού είναι χαμηλή. Χρησιμοποιείται στην βιομηχανία ως μέσο μεταφοράς, στην κατάσβεση πυρκαγιών, στην πλύση κ.α.

Οι δυσμενείς επιπτώσεις των διάφορων φυσικοχημικών παραμέτρων στην βιομηχανία σχετίζονται με τον εξοπλισμό, την παραγωγική διαδικασία, την ποιότητα του προϊόντος και την ποιότητα των αποβλήτων.

## ρΗ

Όταν το ρΗ είναι μεταξύ 6.5 και 8 τα προβλήματα που εμφανίζονται στον εξοπλισμό είναι λίγα. Όταν το ρΗ είναι μικρότερο από 5 το νερό είναι πολύ διαβρωτικό και ευνοείται η αποσύνθεση του σκυροδέματος. Οι βλάβες στον εξοπλισμό από την διάβρωση, συνήθως δεν είναι επισκεύασιμες και χρειάζεται αντικατάσταση. Αντίθετα όταν το ρΗ είναι μεταξύ 8 και 10 υπάρχει μέτρια τάση απόθεσης αλάτων και όταν τα νερά είναι σκληρά και το ρΗ είναι μεγαλύτερο από 10 αυτή η τάση είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Από την απόθεση δημιουργείται στένωση στις σωλήνες η οποία αντιμετωπίζεται ως ένα βαθμό με χημικά ή μηχανικά μέσα.

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται το επιθυμητό ρΗ για κάθε βιομηχανία. Για την αύξηση συνήθως χρησιμοποιείται  $\text{NaCO}_3$  ή  $\text{NaOH}$  και για την μείωση  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$  και  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Επίσης το προμηθευόμενο νερό δεν πρέπει να εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις στο ρΗ. Στις περισσότερες βιομηχανίες το επιθυμητό ρΗ είναι κοντά στο 7. Ανεπιθύμητες μεταβολές στο ρΗ μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση σε χρωστικές, ποτά, τρόφιμα, απορρυπαντικά κ.α.

Το ρΗ των παραγόμενων αποβλήτων ρυθμίζεται εύκολα, αλλά εμφανίζουν αυξημένη αλατότητα λόγω της προσθήκης οξέων ή βάσεων.

**Πιν.11.6** ρΗ νερού και επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996).

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	7-8	6-7 και 8-9.5		<6 και >9.5
2	6.5-8	5-6.5 και 8-10		<5 και >10
3	6.5-8	5-6.5 και 8-10		<5 και >10
4	5-10	<5 και >10		

Στην περιοχή το ρΗ κυμαίνεται μεταξύ 7.1 και 8.4, η μέση τιμή είναι περίπου 7.7 και σε λίγες περιπτώσεις υπερβαίνει την τιμή 8. Οπότε δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα στις βιομηχανίες.

## Χλώριο

Υψηλές συγκεντρώσεις ευνοούν την διάβρωση, ιδιαίτερα όταν οι τιμές του ρΗ είναι μικρές. Σε συγκεντρώσεις πάνω από 20 mg/l μπορούν να δημιουργηθούν στίγματα σκουριάς σε προϊόντα χάλυβα. Όταν η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από 100 mg/l

επιηρεάζει την ποιότητα της μύρας, ενώ όταν είναι 60-100 mg/l ευνοεί την ωρίμανση της. Κατά την απομάκρυνση του Cl μπορεί να προκύψουν νερά με αυξημένο TDS.

**Πιν. 11.7** Συγκέντρωση Cl (mg/l) στο νερό και αναμενόμενες επιπτώσεις στην (βιομηχανία. (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996)

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-20	20-50	50-120	>120
2	0-40	40-80	80-200	>200
3	0-100	100-200		>200
4	0-500	>500		

Περίπου το 30% των δειγμάτων (n=73) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατηγορία 3 χωρίς επιπτώσεις, αντίστοιχα για την κατηγορία 2 το ποσοστό είναι 10%, ενώ για την κατηγορία 1 κανένα από τα νερά δεν είναι κατάλληλο.

### Σίδηρος

Μπορεί να δημιουργήσει βλάβες στον εξοπλισμό μέσω της καθίζησης. Σε διαδικασίες λεύκανσης μπορεί να προσδώσει κίτρινη απόχρωση όταν η συγκέντρωση του είναι μεγαλύτερη από 1 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις επηρεάζουν την ποιότητα προϊόντων όπως χαρτί, ποτά, τρόφιμα και γαλακτοκομικά. Η απομάκρυνση του γίνεται μέσω της οξειδω-σης όπου καθιζάνει και ύστερα διηθείται η μέσω ιοντοανταλλαγής. Τα παραγόμενα απόβλητα έχουν την μορφή λάσπης ή διαλύματος.

**Πιν. 11.8** Συγκέντρωση Fe (mg/l) στο νερό και αναμενόμενες επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996).

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-0.1	0.1-0.3	0.3-1	>1
2	0-0.2	0.2-0.5	0.5-2	>2
3	0-0.3	0.3-1	1-10	>10
4	0-10	>10		

Στις κατηγορίες 1 και 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί περίπου το 38% των δειγμάτων (n=26) χωρίς επιπτώσεις, ενώ στην κατηγορία 3 το 65%. Η μέγιστη συγκέντρωση που μετρήθηκε είναι 0.44 mg/l, οπότε η χρήση των νερών χωρίς επεξεργασία μπορεί να προκαλέσει από ήπιες ως μέτριες βλάβες.

### Μαγγάνιο

Οι επιπτώσεις του είναι παρόμοιες με αυτές του Fe. Μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε λέβητες, σωλήνες κ.α. μέσω της καθίζησης. Μεγάλες συγκεντρώσεις χρωματίζουν το νερό και επηρεάζουν τις διαδικασίες λεύκανσης σε δέρματα, χαρτί και υφάσματα, λόγω της οξειδωσης και της προσρόφησης του από ίνες κυτταρίνης. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.2 mg/l δημιουργεί λεκέδες στα υφάσματα. Επίσης δρα αρνητικά στην ποιότητα ποτών και τροφίμων. Στα παραγόμενα απόβλητα η συγκέντρωση του δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.4 mg/l.

**Πιν. 11.9** Συγκέντρωση Mn (mg/l) στο νερό και αναμενόμενες επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996).

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-0.05	0.05-0.2	0.2-1	>1
2	0-0.1	0.1-0.5	0.5-2	>2
3	0-0.2	0.2-1	1-10	>10
4	0-10	>10		

Το σύνολο σχεδόν των νερών είναι μέσα στα επιθυμητά όρια για όλες τις κατηγορίες. Εξαιρέση αποτελούν 3 περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0.82 και 0.87 και μπορούν να δημιουργήσουν ήπια ως μέτρια προβλήματα.

### Θειικά

Υψηλές συγκεντρώσεις διαβρώνουν το σκυρόδεμα και ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών που επιτείνουν την διάβρωση. Στον εξοπλισμό αποτίθεται  $\text{CaSO}_4$ . Μπορεί να παραχθεί  $\text{H}_2\text{S}$  κατά την παρασκευή της μύρας και να επηρεαστούν διάφορες διαδικασίες βαφής. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 20-30 mg/l μπορεί να προκαλέσει διάστικτη σκουριά στον χάλυβα. Αυξημένες συγκεντρώσεις στα απόβλητα λόγω επεξεργασίας ή αφαλάτωσης, μπορεί να διαβρώσει το σκυρόδεμα στους υπονόμους.

**Πιν. 11.10** Συγκέντρωση  $\text{SO}_4$  (mg/l) στο νερό και αναμενόμενες επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996)

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-30	30-80	80-150	>150
2	0-80	80-150	150-250	>250
3	0-200	200-300		>300
4	0-500	>500		

Στην κατηγορία 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 20% των νερών χωρίς επιπτώσεις, αντίστοιχα στις κατηγορίες 2 και 3 είναι 60% και 90%.

### TDS

Αν στο νερό επικρατούν τα ιόντα  $\text{CO}_3$ , Si, Ca και Mg έχει την τάση να αποθέτει ενώ αν επικρατούν τα  $\text{SO}_4$  και Cl έχει την τάση να διαβρώνει. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι το TDS τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα καθίζησης. Η καθίζηση αδιάλυτων αλάτων μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα χρωμάτων, ιατρικών προϊόντων, ποτών κ.α. Σε πολλές διαδικασίες παράγονται άλατα ως παραπροϊόν, με αποτέλεσμα τα απόβλητα να παρουσιάζουν αυξημένο TDS.

**Πιν. 11.11** TDS (mg/l) νερού και αναμενόμενες επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996).

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-100	100-200	200-450	>450
2	0-200	200-350	350-800	>800
3	0-450	450-800	800-1600	>1600
4	0-1600		>1600	

Το 86% των δειγμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατηγορία 4 χωρίς επιπτώσεις. Αντίθετα στις άλλες 3 κατηγορίες ενδεχόμενη χρήση θα προκαλέσει κυρίως μέτρια ως σημαντικά προβλήματα, αφού η μέση τιμή είναι 1196 mg/l.

### Ολική σκληρότητα

Σε όποια διαδικασία λαμβάνει χώρα θέρμανση του νερού το κύριο πρόβλημα που προκύπτει είναι η απόθεση αδιάλυτων ανθρακικών και θειϊκών αλάτων του Ca και Mg. Αυξημένα επίπεδα σκληρότητας και αλκαλικότητας ευνοούν την καθίζηση. Όταν αποτίθεται σε επιφάνειες που μεταδίδουν θερμότητα τις μονώνουν και στις σωλήνες προκαλούν στένωση και περιορισμό της ροής. Όταν η απόθεση γίνεται ανομοιόμορφα σε λέβητες μπορεί να προκαλέσει αστοχίες, λόγω τοπικών υπερθερμάνσεων. Αντίθετα τα πολύ μαλακά νερά διαβρώνουν το σκυρόδεμα και τις μεταλλικές επιφάνειες που δεν έχουν προστασία.

**Πιν. 11.12** Ολική σκληρότητα (CaCO<sub>3</sub> mg/l) νερού και αναμενόμενες επιπτώσεις στην βιομηχανία (South Africa water quality guidelines, industrial water use, 1996).

Κατηγορία	Επιπτώσεις			
	Καμία	Ήπιες	Μέτριες	Σημαντικές
1	0-50	50-100	100-250	>250
2	0-100	100-200	200-500	>500
3	0-250	250-500		>500
4	0-1000	>1000		

Το 95% των νερών (n=73) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατηγορία 4 χωρίς επιπτώσεις, ενώ στις κατηγορίες 3 και 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο 4% και 1% αντίστοιχα. Για την κατηγορία 1 κανένα από τα νερά δεν πληροί τα επιθυμητά κριτήρια. Η μέση τιμή της ολικής σκληρότητας είναι περίπου 523 mg/l. Γενικά η χρήση των νερών χωρίς επεξεργασία στις 3 πρώτες κατηγορίες θα προκαλέσει από μέτρια ως σημαντικά προβλήματα.

## 12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης βρίσκονται 4 υπόγεια υδροσυστήματα το καρστικό Υλίκης-Παραλίμνης, το καρστικό Ύπατου, το καρστικό Ασωπού και το κοκκώδες Θηβών-Υλίκης. Έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ευρύτερη περιοχή, γιατί έχουν μεγάλο δυναμικό και εξυπηρετούν αρδευτικές, βιομηχανικές και υδρευτικές ανάγκες.

Το σημαντικότερο υδροσύστημα της περιοχής είναι το καρστικό της Υλίκης-Παραλίμνης. Αυτό τροφοδοτείται κυρίως από τον Βοιωτικό Κηφισσό και το μεγαλύτερο μέρος των νερών το δέχεται η Υλίκη (300 hm<sup>3</sup>/y). Οι διαφυγές του συστήματος είναι περίπου οι μισές των εισροών και τροφοδοτούν το καρστικό σύστημα του Ύπατου από την νότια πλευρά του και το κοκκώδες σύστημα των Θηβών-Υλίκης. Από στοιχεία πιεζομετρίας της περιόδου 2004-08, η στάθμη στο σύστημα Υλίκης-Παραλίμνης μετά το 2006 παρουσιάζει μια πτωτική τάση (πιθανά λόγω της περιόδου λειψυδρίας 2006-2008). Αντίστοιχη πτώση εμφανίζεται και στα άλλα δύο συστήματα και είναι ενδεικτική του βαθμού που επηρεάζονται. Επίσης από σύγκριση στοιχείων μεταξύ της ξηρής περιόδου του 1982 και της αντίστοιχης του διαστήματος 2004-08, φαίνεται ότι στα συστήματα Ύπατου και Θηβών-Υλίκης η στάθμη έχει υποβιβαστεί πάνω από 10 m σε διάστημα 25ετίας. Επίσης στην περιοχή βρίσκεται και το καρστικό σύστημα του Ασωπού που τροφοδοτείται από τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας και φαίνεται ότι επικοινωνεί υπογείως με το σύστημα του Ύπατου και πιθανά το τροφοδοτεί. Τέλος αναπτύσσονται αρκετοί τοπικοί υδροφορείς σε νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις.

Εκτός από την διείσδυση της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές, οι υδροφόροι έχουν επηρεαστεί από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης. Αυτές οι πηγές σχετίζονται με την βιομηχανία-βιοτεχνία, τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τους οικισμούς.

Η πιο εκτεταμένη ρύπανση είναι η νιτρορύπανση. Περίπου στο 1/3 των υδροσημείων βρέθηκαν NO<sub>3</sub> πάνω από το όριο και αφορούν σχεδόν όλους τους υδροφορείς. Εξαιρέση αποτελεί το σύστημα του Ύπατου, όπου στην περιοχή υπάρχουν δασικές εκτάσεις. Επίσης σε μεμονωμένες περιπτώσεις, στις παράκτιες περιοχές του Β και Ν Ευβοϊκού, βρέθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις σε SO<sub>4</sub> και NH<sub>4</sub>. Ο τελευταίος ρύπος συνδέεται με σηπτικούς βόθρους και σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν οικισμοί. Οπότε πιθανά η νιτρορύπανση οφείλεται στα αγροχημικά.

Σε γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά σε περιοχές με βιομηχανική και βιοτεχνική δραστηριότητα, βρέθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις στα βαρέα μέταλλα Pb, Cd, Ag, As, και Cr. Επίσης αυτές οι γεωτρήσεις βρίσκονται κυρίως στις νεογενείς αποθέσεις. Αυτό οφείλεται στην χημική συμπεριφορά των συγκεκριμένων στοιχείων, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αντιδράσεις προσρόφησης και εκρόφησης. Στα νεογενή υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε οξείδια μετάλλων (Fe, Al και Mg), αργλικών ορυκτών, λεπτομερών υλικών και οργανικής ύλης που έχουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων. Αντίθετα τα ανθρακικά έχουν μικρή ικανότητα προσρόφησης και οι ρύποι αραιώνονται μέσω της διασποράς.

Σύμφωνα με την γεωλογία της περιοχής κάποια από αυτά μπορεί να προέρχονται και από φυσικές πηγές. Το Cr μπορεί να προέρχεται από τους οφιόλιθους. Στο φυσικό περιβάλλον βρίσκεται κατά κύριο λόγο ως Cr<sup>3+</sup>, ενώ το Cr<sup>6+</sup> είναι σπάνιο γιατί, το δυναμικό οξειδωσης που απαιτείται για την μετατροπή του είναι υψηλό. Επίσης σύμφωνα με τις

συνθήκες pH και Eh της περιοχής, η πιο σταθερή μορφή είναι η τρισθενής Cr(OH)<sub>3</sub>. Οπότε οι αυξημένες συγκεντρώσεις Cr<sup>6+</sup> (>1 mg/l), υποδεικνύουν βιομηχανική ρύπανση.

Μια πιθανή φυσική προέλευση του As είναι τα μεταλλεύματα Fe-Ni, που υπέρκεινται του Ηωελληνικού καλύμματος, και τα λιγνιτικά κοιτάσματα εντός των νεογενών, όμως η έκτασή τους είναι περιορισμένη. Επιπλέον το pH των νερών (6.5-8.5) ευνοεί την κινητικότητα του As και κατ' επέκταση την έκπλυση του από τους υδροφορείς.

Οπότε πιθανά οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα οφείλονται σε βιομηχανική ρύπανση και μπορεί να οφείλεται σε διαρροή, στην κακή αποθήκευση και στις παράνομες διαθέσεις των αποβλήτων. Οι τελευταίες γίνονται συνήθως με εισπιέσεις μέσα σε φρεάτια, οπότε ρυπαίνεται άμεσα ο υδροφόρος.

Τέλος οι λόγοι SO<sub>4</sub>/Cl, ο οποίος είναι μεγαλύτερη από 0.1, είναι ενδεικτικοί ρύπανσης από οικιακά λύματα ή από αγροχημικά. Από την κατανομή των υψηλών συγκεντρώσεων Cl και των παραπάνω ρύπων φαίνεται πως δεν υπάρχει συσχέτιση.

Τα κοιτάσματα Fe και Ni φαίνεται ότι έχουν επηρεάσει την ποιότητα των υδάτων, χωρίς να δημιουργούν έντονο πρόβλημα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκετοί παράμετροι υπερβαίνουν τα όρια ποσιμότητας. Από τα κύρια ιόντα οι σημαντικότεροι ρύποι είναι τα NO<sub>3</sub> και τα Cl και από τα βαρέα μέταλλα το Cr<sup>6+</sup>, As, Cd και Pb φαίνεται ότι μπορούν να επηρεάσουν την υγεία. Πρέπει να τονιστεί, ότι ενώ το Cr<sup>6+</sup> είναι πολύ επικίνδυνο δεν έχει οριστεί κάποιο όριο από την Ε.Ε.. Η Ιταλία έχει θέσει ως όριο τα 5 mg/l και στην περιοχή φτάνουν τα 40. Η καλύτερη ποιότητα νερού βρίσκεται ανατολικά του συστήματος Υλίκης –Παραλίμνης όπου η μόνη υπέρβαση είναι στο Mg. Το αρδευτικό νερό στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση των καλλιεργειών, λόγω των υψηλών τιμών σε Na, Cl και TDS. Επίσης τα στοιχεία Cd, Pb και Ni σε κάποιες περιπτώσεις υπερβαίνουν τα θεσμοθετημένα όρια. Τέλος όσον αφορά την βιομηχανική χρήση κάποιοι παράμετροι όπως Cl, TDS και ολική σκληρότητα έχουν αυξημένες τιμές και μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα.

Στους ανθρακικούς υδροφορείς που δεν έχουν υποστεί υφαλμύριση τα κύρια ιόντα είναι Ca και HCO<sub>3</sub>. Το Ca προέρχεται κυρίως από τον ασβεστίτη (CaCO<sub>3</sub>). Τα Cl κυμαίνονται, περίπου, μεταξύ 40 και 80 mg/l. Αντίστοιχα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς τα κύρια ιόντα είναι Mg και HCO<sub>3</sub>. Στις περισσότερες περιπτώσεις το Mg υπερβαίνει το όριο ποσιμότητας. Το Mg είναι ενδεικτικό της προέλευσης των μεταλλικών, που πιθανά έχουν σχηματιστεί από την διάβρωση των υπερβασικών πετρωμάτων. Βρίσκεται σε ορυκτά όπως χλωρίτης και μαρμαρυγίες. Τα Cl είναι μεταξύ 20 και 100 mg/l περίπου.

Τα υφάλμυρα νερά εντοπίζονται **1.** στην παράκτια περιοχή του Β και Ν Ευβοϊκού και **2.** σε ανθρακικά πετρώματα στην ενδοχώρα, στο σύστημα Ύπατου και σε κάποιες θέσεις στο σύστημα Ασωπού. Επίσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή του συστήματος Θηβών-Υλίκης, όπου επιφανειακά εμφανίζονται ασβεστόλιθοι, τα Cl είναι εντός του ορίου αλλά είναι αρκετά αυξημένα.

Από τον ιοντικό λόγο Na/Cl και από τα διαγράμματα Piper και Durov φαίνεται πως όλα τα υφάλμυρα νερά και αυτά που βρίσκονται στο υδροσύστημα Θηβών-Υλίκης έχουν θαλάσσια προέλευση. Στο υδροσύστημα του Ασωπού σε 2 γεωτρήσεις που φτάνουν σε θετικό υψόμετρο βρίσκονται υφάλμυρα νερά. Οπότε πιθανά πρόκειται για θαλασσινό

νερό που εγκλωβίστηκε κατά το παρελθόν. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μπορούν να δικαιολογήσουν αυτόν τον εγκλωβισμό αφού τα ανθρακικά πετρώματα έχουν ανυψωθεί από την ρηξιγενή ζώνη της Καλλιθέας- Ασωπίας, περιβάλλονται από τα νεογενή και το υπόβαθρο θεωρείται αδιαπέρατο. Σύμφωνα με την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής είναι πιθανό τα νερά να εγκλωβίστηκαν στο Κατ. Πλειόκαινο. Τα νερά με υψηλή αλατότητα, που βρίσκονται στα ανθρακικά στο σύστημα Θηβών-Υλίκης και στο νότιο άκρο του συστήματος του Ύπατου, μπορεί να είναι και αυτά εγκλωβισμένα αφού βρίσκονται πολύ μακριά από την ακτή και η πιεζομετρική στάθμη είναι αρκετά ψηλά, ώστε να επιτρέπει την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Επιπλέον στην πρώτη περίπτωση το 1982 τα νερά είχαν επισημανθεί ως υφάλμυρα ενώ σήμερα τα Cl είναι εντός ορίων.

Η κύρια πηγή τροφοδοσίας των υπόγειων νερών της περιοχής είναι ο Βοιωτικός Κηφισός, ο οποίος αποστραγγίζει την αντίστοιχη λεκάνη. Από μετεωρολογικά δεδομένα σταθμών που βρίσκονται στην προηγούμενη λεκάνη, τα τελευταία 100 χρόνια υπάρχει μια συνεχής μείωση των κατακρημνισμάτων και σήμερα είναι μειωμένα τουλάχιστον κατά 20%. Αυτή η μείωση των κατακρημνισμάτων και οι αρδευτικές αντλήσεις που γίνονται στην λεκάνη έχει επηρεάσει τον όγκο απορροής του Βοιωτικού Κηφισού. Από σύγκριση στοιχείων φαίνεται ότι η στάθμη στα υδροσυστήματα της περιοχής έχει μειωθεί περισσότερο από 10 m σε διάστημα 25ετίας. Οπότε υπάρχει η τάση αύξησης της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο αν συνυπολογίσουμε τις προβλέψεις για άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, σχεδόν κατά 1 m μέχρι το τέλος του αιώνα.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα υφαλμύρισης θα εμφανιστεί στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού, στο καρστικό σύστημα του Ύπατου και σε μικρότερο βαθμό θα επηρεαστεί η παράκτια περιοχή του Ν Ευβοϊκού όπου βρίσκονται τα Νεογενή. Η αύξηση της αλατότητας θα επηρεάσει ανάλογα την ποιότητα του νερού. Από τα υπάρχοντα στοιχεία οι περισσότερες γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για άρδευση οπότε θα επηρεαστεί η γεωργία. Η ποιότητα του αρδευτικού νερού, στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού είναι ήδη κακή. Όμως γενικά οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην περιοχή είναι περιορισμένες, οπότε η επίδραση θα είναι μικρή. Στην παράκτια περιοχή του Ν Ευβοϊκού η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι μέτρια αλλά οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι μεγαλύτερες. Επίσης η χρήση υφάλμυρου νερού ως αρδευτικό έχει και έμμεσες επιπτώσεις που σχετίζονται με την αλάτωση εδαφών και την ερημοποίηση. Με τα σημερινά δεδομένα ο κίνδυνος αλάτωσης στις παράκτιες περιοχές είναι σχετικά υψηλός ως πολύ υψηλός και ο κίνδυνος ερημοποίησης θεωρείται μέτριος στην παράκτια περιοχή του Β Ευβοϊκού. Στην περίπτωση που τα υφάλμυρα νερά στην ενδοχώρα είναι εγκλωβισμένα, με την πάροδο του χρόνου, μέσω των αντλήσεων η αλατότητα θα μειωθεί. Οπότε αυτές οι περιοχές δεν φαίνεται να αντιμετωπίζουν ιδιαίτερο πρόβλημα.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

- Βαζιμάς Ιωάννης (2012) Κατάσταση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων.
- Βασιλάτος, Χ. Μεγρεμή, Ι. Οικονόμου-Ηλιοπούλου, Μ. Μήτσης, Ι. (2008) Hexavalent chromium and other toxic elements in natural waters in the Thiva-Tanagra-Malakassa basin, Greece
- Βουδούρης Κ. (2006) Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος
- Βουδούρης Κ., Νίκας Κ. Αντωνάκος Α. (2004) Μελέτη της εξέλιξης του μετώπου υφαλμύρισης σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες. Η περίπτωση του παράκτιου τμήματος της ΒΔ Αχαΐας.
- Γιαννουλόπουλος Π. (2008) Αναγνωριστική υδρογεωλογική-υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. βοιωτίας
- Δάβη Ελευθερία (1990) Μαθήματα Γενικής Γεωλογίας.
- Δάνδολος Η., Ζοράπας Β., Γκιντώνη Ε. (2010) Καταγραφή και αποτίμηση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων λεκάνης Βοιωτικού Κηφισσού και υπολεκανών νομών Βοιωτίας -Εύβοιας. Δίκτυο παρακολούθησης υπόγειων νερών Ελλάδος. Μετρήσεις υπαίθρου 2006-2008 (υδρολογικές - φυσικοχημικές). Υδροχημικές μετρήσεις 2006-2008 (Γενικές-ειδικές- ιχνοστοιχεία). Τελική έκθεση.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (1999) Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ : περίοδος 1955-1997
- ΕΣΥΕ. Απογραφή πληθυσμού 2001 και 2011
- Ζιώγας Χ. κα (2009) Το πρόβλημα του Ασωπού ποταμού. Προτάσεις αντιμετώπισης του. ΤΕΕ
- Θεοδωρικός Στεργίος (1997) Γεωχημεία.
- Καλλέργης, Γ. (6ο:2002, 8-10 Νοεμβρίου:Ξάνθη) Πανελλήνιο υδρογεωλογικό συνέδριο: με έμφαση στην υφαλμύριση των υπόγειων νερών : πρακτικά Η υφαλμύριση υδροφόρων από περιβαλλοντική άποψη
- Κατσίκατος (1992) Γεωλογία Ελλάδας.
- Κίλιας, Α. Μουντράκης, Δ. (1989) Το τεκτονικό κάλυμμα της πελαγονικής τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός
- Κουμαντάκης Ι. και Μιμίδης Θ. (1989) Υπεραλμυρά νερά σε εγκλωβισμένους ασβεστολίθους της Κεφαλλονιάς.
- Κουντούρη Φοίβη κα (2008) Εφαρμογή των οικονομικών πτυχών του άρθρου 5 της κοινοτικής οδηγίας περί υδάτων 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα.
- Κουτσογιάννης Δ., Α. Ευστρατιάδης, Ι. Ναλμπάντης, Ε. Ρόζος (2004) Μοντέλο προσομείωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκη
- Κουτσόπουλος Κ. Ανδρουλάκης Ν. (2005) Εφαρμογές του λογισμικού ArcGIS 9x με απλά λόγια
- Μανδηλαράς Δ. (2005) Περιβαλλοντική-Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύ-

κου.

Μέττος, Α. Ι. (1992) Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών βα/κης Αττικής και Να/κης Βοιωτίας

Μηνασίδου Κασσιανή (2005) Μεταβολή της ποιότητας του νερού κατά την ταμίευση

Μήτσιοις Ιωάννης (1996) Αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης

Μουντράκης, Δ. Μ. (2010) Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας

Σ. Λέκκας, Α. Αλεξόπουλος (1984) Μαθήματα υδρογεωλογίας

Σιέμος Ν., Μιχαλάκης Ι., Κούκιος Δ. (2010) Δίκτυο παρακολούθησης υπόγειων νερών Ελλάδος.

Σούλιος Χ. Γεώργιος (2004) Γενική υδρογεωλογία, τρίτος τόμος

Σούλιος Χ. Γεώργιος (2006) Γενική υδρογεωλογία, τέταρτος τόμος

Σταμάτης Γεώργιος (2009) Εισαγωγή στην υδρογεωλογία

Στουρνάρας Γ., Νάστος Π., Γιόξας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Ε., Παρτσινέβελου Σ. Α., Ηλιόπουλος Β. (2011) Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του Ελλαδικού χώρου.

Τζιρίτης Ευάγγελος (2008) Υδρογεωχημική Περιβαλλοντική μελέτη του καρστικού συστήματος Α. Κωπαΐδας - Υλίκης και προσομείωση της τρωτότητας του με μεθόδους Γεωπληροφορικής.

Τσαραμπάρης Χ. (2010) Υδρογεωλογικό ξαθεστώσ στο άνω ρου του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας-Διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων.

Τσόδουλος Μ. Ιωάννης (2009) Ενεργός τεκτονική της ΝΑ Στερεάς Ελλάδας.

Ψυχογιού, Μαρία Χ. Επίδραση της άρδευσης με υφάλμυρα νερά στο έδαφος κα

## ΔΙΕΘΝΗΣ

Alley William M.(1993) Regional Ground-Water Quality.

Appelo C.A.J., Postma D. ,(1996) Geochemistry, groundwater and pollution.

Arne Lande (1972) Trapped Sea water in Rorholtfjoden.

Artiola J., I. Pepper, M. Brusseau (2004) Enviromental monitoring and characterization.

Audra P. et al (2003) The effect of the Messinian Deep stage on Karst development around the Mediterranean sea. Examples from S France.

BEAR J. CHENG, S. SOREK, D. Ouazar, I. Herrera,(1999) SEA WATER INTRUSION IN COASTAL AQUIFERS.

Catherine H. Skinner W. (2007) Medical Geology.

Follett, R.F. and J.L. Hatfield. 2001. Nitrogen in the environment, sources, problems, and management.

Gholam A. Kazemi,Jay H. Lehr,Pierre Perrochet (2006) Groundwater Age.

- Harter Thomas (2003) Groundwater sampling and monitoring.
- Hiem John. D. Επεξεργασία και ερμηνεία χημικών δεδομένων σύμφωνα με το U.S Geological survey water-supply paper, του [μετάφραση] Αγγελιδάκη Καλλιόπη, Γκέλη Ελένη.
- Hiscock Kevin (2005) Hydrogeology: Principles and Practice.
- International stratigraphic chart.
- Karant K. R.(1987) Ground Water Assessment, Development, and Management.
- Kasenow Michael (2001) Applied Ground-Water Hydrology and Well Hydraulics.
- Lambrakis N. Kallergis G (2000) Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece.
- Langevin Christian D. (2001) Simulation of groundwater discharge to Biscayne bay, SW Florida.
- Luminda Niroshana Gunawardhana, So Kazama. (2010) Statistical and numerical analyses of the influence of climate variability on aquifer water levels and groundwater temperatures: The impacts of climate change on aquifer thermal regimes.
- Maureen Raymo et al (2009) Pliocene maximum sea level project.
- Michael Price (1996) Introducing Groundwater.
- Milan Dimkic, Heinz-Jürgen Brauch, Michael C. Kavanaugh (2008) Groundwater management in large river basins.
- Papazachos BC, Comninakis PE, Karakaisis GF, Karakostas BG, Papaioannou CA, Papazachos CB, Scordilis EM (2000) A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550 BC–1999. Publication of Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki, Thessaloniki.
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F. and C.B. Papazachos (2009).A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 - Sep2009, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.
- Rafferty Kevin (1999) Scaling in Geothermal heat pump systems.
- Rose Seth, Long Austin (1988) Monitoring dissolved oxygen in groundwater: Some basic considerations.
- Rosental E. Weinberger G. Kronfeld (1999) Groundwater salinization caused by residual Neogene and Pliocene sea water
- Schüring J., Schulz H.D, Fischer W.R., Böttcher J., Duijnsveld W.H.M. (1999) Redox: Fundamentals, Processes and Applications.
- Selinus Olle et al (2005) Medical Geology Impacts of the Natural Environment on Public Health.
- South Africa water quality guidelines (1996), domestic water.
- South Africa water quality guidelines (1996), industrial water.
- South Africa water quality guidelines (1996), irrigation water.
- U.S. Department of health and human services.(2007)Toxicological profile for As.

Vengosh A. (2007) Salinization and saline environments.

Warrick R. Oerlemans J. Sea level rise.

Werner A. (2012) Sea water intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges

WHO (2011) Cd, Pb, Mn, Ni, Zn, Fe in drinking water.

Wiedemeier Todd H. , Rifai Hanadi S., Newell Charles J., Wilson John T. (1999) Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface.

Younger Paul L. (2007) Groundwater in the Environment: An Introduction.