

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« Υδροχημική μελέτη και ποιότητα υδάτων του ταμιευτήρα  
Καλαμακίου Λάρισας»**

**Παπαντώνης Αθανάσιος**

**ΒΟΛΟΣ 2015**

**UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC  
ENVIRONMENT**

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**«Hydrochemical study and water quality of the reservoir Kalamaki  
Larissa»**

**Papadonis Athanasios**

**VOLOS 2015**

**«Υδροχημική μελέτη και ποιότητα υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου Λάρισας»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :**

- 1) **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Επίκουρος Καθηγητής – Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
- 2) **Δημήτριος Βαφείδης**, Καθηγητής – Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπόνδυλων και άμεση- έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
- 3) **Νικόλαος Νεοφύτου**, Επίκουρος Καθηγητής – Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

*Στην σύζυγό μου Ντίνα,  
τα παιδιά μου Πάλο και Φένια  
και στους αγαπημένους μου γονείς*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε από τη Γ.Σ. του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με επιβλέποντα τον κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την συνεχή μετάδοση των γνώσεων και της εμπειρίας του.

Ευχαριστώ επίσης, τους κ.κ. Δημήτριο Βαφείδη, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κ. Νικόλαο Νεοφύτου, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην Ανθούλα Τζούνη, Msc Δασολόγο - Περιβαλλοντολόγο για την αμέριστη βοήθεια και συνδρομή της στη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και την οικονομική βοήθεια καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου σταδιοδρομία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελεί υδροχημική μελέτη του ταμιευτήρα Καλαμακίου (Θεσσαλία). Σκοπός της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και της κατανομής των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό του ταμιευτήρα Καλαμακίου για τον υδροχημικό χαρακτηρισμό των υδάτων καθώς η αξιολόγηση τους προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα για την πιθανή ρύπανση της περιοχής μελέτης, καθώς και την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων.

Επιλέχθηκαν έξι (6) σημεία δειγματοληψίας, πέντε (5) εσωτερικά του ταμιευτήρα και ένα (1) εξωτερικά στην τάφρο T1. Συλλέχθηκαν είκοσι οκτώ (28) δείγματα. Η επιλογή των θέσεων έγινε με τη χάραξη μιας διαδρομής που ξεκινούσε από το βαθύτερο σημείο του ταμιευτήρα (κέντρο του ταμιευτήρα) και κατέληγε στο σημείο εισόδου νερού στον ταμιευτήρα από την τάφρο T1.

Τα συλλεχθέντα δείγματα νερού αναλύθηκαν προκειμένου να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των ιόντων  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $PO_4^{-3}$ ,  $SO_4^{-2}$ .

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ιόντων  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  και  $Mg^{+2}$  έγινε με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης με την τεχνική της φλόγας. Ο προσδιορισμός των ιόντων του  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  και  $CO_3^{-2}$  έγινε ογκομετρικά, ενώ οι συγκεντρώσεις των ιόντων  $PO_4^{-3}$  και  $SO_4^{-2}$  προσδιορίστηκαν υπολογιστικά. Οι αναλύσεις των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, το εύρος τιμών για τη θερμοκρασία, την αγωγιμότητα και το pH ήταν 16,45 - 22,39 °C,

2440 - 3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , και 8.22 - 8.51 αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις σε κύρια και βασικά ιόντα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι επικρατέστεροι τύποι νερού του ταμιευτήρα είναι οι :  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Cl-SO}_4$  και  $\text{Na-Mg-Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ . Η αποτύπωση των συγκεντρώσεων αυτών σε διάγραμμα Piper, έδειξε ότι τα νερά βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής των αλμυρών έως υφάλμυρων υδάτων. Σύμφωνα με τις τιμές της σκληρότητας τα νερά κατατάσσονται στην κατηγορία των σκληρών νερών. Τα νερά του ταμιευτήρα κρίνονται πιθανώς ακατάλληλα για πόση ως προς την τιμή της αγωγιμότητας και τις συγκεντρώσεις των ιόντων μαγνησίου, νατρίου καθώς και των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου σύμφωνα με την οδηγία 98/83EE. Επίσης μπορούν να καταταγούν στην κατηγορία των οριακά ακατάλληλων για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε σε ύδατα σαλμονιδών είτε σε ύδατα κυπρινιδών εξαιτίας των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων. Μπορούν να θεωρηθούν όμως κατάλληλα αναφορικά με τις τιμές των συγκεντρώσεων του pH και του διαλυμένου οξυγόνου (DO). Κρίνονται «ακατάλληλα» για άρδευση ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας (EC). Δεν εγκυμονούν κινδύνους όμως όσον αφορά το SAR.

Η αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των αναλυθέντων χημικών στοιχείων και ενώσεων έγινε με βάση τη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία.

**Λέξεις κλειδιά:** Κύρια και βασικά ιόντα, ταμιευτήρας Καλαμακίου



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Γενικά.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1. Ταμιευτήρες.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 Περιοχή μελέτης.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.3 Εδαφολογικά στοιχεία της περιοχής .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.4 Υδρολογικά-υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Ποιότητα υδάτων.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.2 Χημικές αναλύσεις υδάτων.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.3.1 pH.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.3.2 Θερμοκρασία (T<sup>0</sup>).....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.3.3 Αγωγιμότητα.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.3.4 Αλκαλικότητα.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.3.5 Διαλυμένο οξυγόνο (DO).....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.3.6 Σκληρότητα.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.3.7 Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου[Sodium Absorption Ratio].....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.3.8 Ιόντα ασβεστίου (Ca<sup>+2</sup>) και μαγνησίου (Mg<sup>+2</sup>).....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.3.9 Ιόντα καλίου (K<sup>+</sup>) και νατρίου (Na<sup>+</sup>).....</b>	<b>17</b>

1.3.3.10	Χλωριούχα (Cl <sup>-</sup> ).....	17
1.3.3.11	Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	17
1.3.3.12	Νιτρώδη (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )- Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )-Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	18
1.3.3.13	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).....	18
1.3.3.14	Φωσφορικά ιόντα (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	18
2.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	19
2.1.	Προγραμματισμός της έρευνας.....	19
2.2	Δειγματοληψία .....	19
2.3	Συλλογή δειγμάτων νερού.....	21
2.4	Προετοιμασία δειγμάτων.....	23
2.5	Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος.....	24
2.5.1	pH .....	24
2.5.2	Θερμοκρασία νερού (T <sup>0</sup> ) .....	24
2.5.3	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) .....	24
2.5.4	Ιόντα ασβεστίου ( Ca <sup>2+</sup> ), μαγνησίου (Mg <sup>2+</sup> ), νατρίου (Na <sup>+</sup> ) και καλίου (K <sup>+</sup> ).....	25
2.5.4.1	Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης.....	25
2.5.5	Χλωροϊόντα (Cl <sup>-</sup> ).....	28
2.5.6	Αλκαλικότητα (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	29
2.5.7	Θειικά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	30
2.5.8	Φωσφορικά ιόντα (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ) .....	30
2.5.9	Ολική σκληρότητα K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> .....	31
2.5.10	Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου ( S.A.R.).....	33
2.5.11	Επεξεργασία και παρουσίαση αναλυτικών δεδομένων .....	33

<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	<b>34</b>
3.1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων .....	34
3.2. Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του ταμιευτήρα.....	39
3.3 Παρουσίαση Φυσικοχημικών Παραμέτρων.....	42
3.3.1 Θερμοκρασία.....	42
3.3.2 pH.....	42
3.3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)] .....	43
3.3.4 Συνολικά διαλυμένα στερεά( TDS).....	45
3.3.5 Διαλυμένο οξυγόνο (DO).....	45
3.3.6 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{+2}$ ).....	46
3.3.7 Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{+2}$ ).....	49
3.3.8 Κάλιο ( $\text{K}^{+}$ ) .....	51
3.3.9 Νάτριο ( $\text{Na}^{+}$ ).....	53
3.3.10 Χλώριο ( $\text{Cl}^{-}$ ) .....	55
3.3.11 Θειικά ( $\text{SO}_4^{-2}$ ).....	57
3.3.12 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^{-}$ ).....	59
3.3.13 Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).....	59
3.3.14 Αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^{+}$ ) .....	59
3.3.15 Αλκαλικότητα ( $\text{CO}_3^{-2}$ , $\text{HCO}_3^{-}$ ).....	60
3.3.16 Σκληρότητα.....	60
3.4 Ταξινόμηση των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου .....	62
3.4.1 Διάγραμμα Piper .....	63
3.4.2 Ταξινόμηση κατά Duroν.....	70

3.4.3	Καταλληλότητα για πόση .....	75
3.4.4	Καταλληλότητα υδάτων για διαβίωση ιχθύων (κυπρινιδών, σαλμονιδών).....	77
3.4.5.	Καταλληλότητα για άρδευση .....	79
3.4.5.1	Ταξινόμηση κατά Richards.....	79
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	85
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	87
	ABSTRACT .....	97
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	99
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	100
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	113
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	142

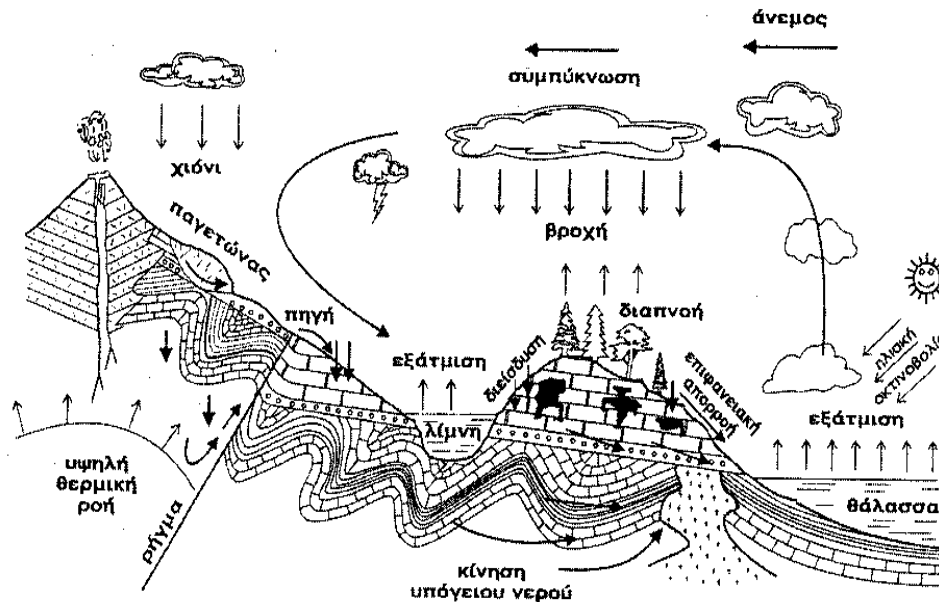
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Το νερό είναι πηγή ζωής και ζωτικό στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Απαραίτητο για τη ζωή, το νερό αποτελεί αναπόσπαστο κοινωνικό και οικονομικό αγαθό της καθημερινότητάς μας και είναι η βάση των ανθρώπινων κοινωνιών (Αντωνόπουλος 2001, Cooke et al. 2005). Ο άνθρωπος όμως με τις δραστηριότητες του έχει επιβαρύνει τα υδάτινα οικοσυστήματα σε τέτοιο βαθμό που οι συνέπειες της επιβάρυνσης να επηρεάζουν και τον ίδιο (Καμπράγκου 2006).

Το νερό βρίσκεται σε διαρκή κίνηση στον υδρολογικό κύκλο. Το ατμοσφαιρικό νερό συμπυκνώνεται και πέφτει στη γη σαν βροχή, χιόνι ή με κάποιες άλλες μορφές κατακρήμνισης. Όταν φτάσει στην επιφάνεια της γης, το νερό ρέει στο επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο (ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς) ή εισέρχεται στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και που τελικά μέρος αυτού καταλήγει και πάλι στην επιφάνεια (Εικ.1.1) Η ποσότητα του νερού στον πλανήτη είναι σταθερή. Αυτό όμως που μεταβάλλεται είναι η ποιότητα και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Το 97,9% του νερού της γης είναι σε υγρή κατάσταση, ενώ το 97,25% του συνολικού νερού της γης είναι αλμυρό νερό, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η άρδευση, η πόση ή η βιομηχανική του χρήση. Από την τεράστια ποσότητα νερού που υπάρχει στη γη μόνο το 2,8% είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα (γλυκό νερό) και από αυτό το μεγαλύτερο μέρος 77,25% ή 2,1% του συνολικού είναι σε στερεή κατάσταση (πάγοι και χιόνια). Αξίζει να σημειωθεί ότι από το 0,62% του νερού χαμηλής αλατότητας, το μισό περίπου βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 800 m και έτσι ουσιαστικά δεν είναι διαθέσιμο. Μόνο το 0,003% του παγκόσμιου όγκου του νερού διατίθεται εύκολα με τη

μορφή της εδαφικής υγρασίας, εκμεταλλεύσιμου υπόγειου νερού, υδρατμών, λιμνών και ποταμών (Gray 1994, G. Tyler Miller 1999, Μήτρακας 2001, Μιμίκου 2006, Τσέζος 2012).



Εικόνα 1.1: Υδρολογικός κύκλος (Αγγελίδης, 1993)

Η διαχείριση των υδατικών πόρων, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Στόχος των αναπτυγμένων χωρών αποτελεί η ποσοτική, αλλά και η ποιοτική διαχείριση των υδατικών πόρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Οδηγία 2000/60 ΕΚ θέσπισε «το πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», αναπροσάρμοσε την οδηγία 80/778/ΕΟΚ και διαμόρφωσε την οδηγία 98/83/ΕΚ «σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης». Η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία έγινε με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001(ΦΕΚ Β'892/11-07-200) (ypeka.gr).

Βάσει της οδηγίας 2000/60/ΕΚ οι υδατικοί πόροι διακρίνονται σε εσωτερικά, επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ύδατα. Τα εσωτερικά ύδατα

χαρακτηρίζονται από την παρουσία γλυκού νερού και διακρίνονται σε ρέοντα (ποτάμια, χείμαρροι) και στάσιμα ύδατα (λίμνες, ταμιευτήρες, έλη) (**ypaka.gr**).

### **1.1.1. Ταμιευτήρες**

Για χιλιάδες χρόνια ο άνθρωπος κατασκευάζει φράγματα για να ελέγξει τη ροή του νερού, να προστατευθεί από πλημμύρες και να καλύψει υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες. Το αρχαιότερο γνωστό φράγμα στον κόσμο κατασκευάστηκε στον ποταμό Νείλο περίπου το 4.000 π.Χ., ενώ το πρώτο φράγμα για έλεγχο πλημμυρών δημιουργήθηκε στη Sadd-el Kafara της Αιγύπτου την εποχή που άρχιζαν να κτίζονται οι Πυραμίδες, περίπου το 2600 π.Χ. (**Garbrecht 2003**).

Οι ταμιευτήρες χαρακτηρίζονται γενικά από στάσιμο νερό σε αντίθεση με τους ποταμούς που χαρακτηρίζονται από τρεχούμενο και τείνουν να αποθηκεύουν νερό για σχετικά μεγάλες περιόδους. Ο αυξημένος χρόνος αποθήκευσης ή παραμονής επιτρέπει την εσωτερική ανακύκλωση και η ύλη που γεννιάται μέσα στον ταμιευτήρα (*αυτόχθονη*) έχει αυξημένη σημασία σε σχέση με τα υλικά που γεννιούνται έξω και μεταφέρονται μέσα στον ταμιευτήρα (*αλλόχθονα υλικά*). Η εσωτερική παραγωγικότητα και φθορά (αποσύνθεση) ποικίλουν κατά εποχές ή έτη, έτσι ώστε καθίστανται σημαντικές οι αποκλίσεις στη μεταφορά και στην ανάμιξη που συμβαίνουν κατά ανάλογες χρονικές περιόδους. Οι αποκλίσεις σε σχέση με το βάθος είναι επίσης πιο σημαντικές στα στάσιμα νερά. Το φως δεν διεισδύει στο βυθό πολλών ταμιευτήρων, οπότε η ανταλλαγή θερμότητας και η παραγωγικότητα περιορίζονται σε επιφανειακά στρώματα. Πολλοί ταμιευτήρες δεν παρουσιάζουν ολική κάθετη ανάμιξη για κάποιες περιόδους του έτους και έτσι προκύπτουν μεγάλες κάθετες αποκλίσεις στη θερμοκρασία, πυκνότητα και ποιότητα του νερού (**Λουκάς 2007**).

Οι ταμιευτήρες νερού επιφέρουν φυσικές, χημικές και βιολογικές αλλαγές στο αποθηκευμένο νερό και στα υποκείμενα εδάφη και πετρώματα, τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα νερού. Η χημική σύσταση του νερού μέσα σε ένα ταμιευτήρα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετική από αυτήν των εισρεόμενων ποσοτήτων νερού. Το μέγεθος του ταμιευτήρα, η θέση του στο ποτάμιο σύστημα, η γεωγραφική θέση του, όσον αφορά το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του, ο χρόνος διατήρησης αποθήκευσης του νερού και η υδατική πηγή(ές), επηρεάζουν τον τρόπο που η κράτηση αποθήκευσης τροποποιεί την ποιότητα του νερού ( **Πολύζος 2008**).

Οι ταμιευτήρες μπορούν να διακριθούν στους παρακάτω τύπους

1. Λίμνες φραγμάτων ή φραγμολίμνες (valley reservoirs) που δημιουργούνται με την κατασκευή φράγματος κάθετα στη ροή ενός ποταμού.
2. Εξωποτάμιοι ταμιευτήρες ή λιμνοδεξαμενές (off-river storage reservoirs) οι οποίοι δημιουργούνται με κατασκευή αναχωμάτων έξω από την κοίτη του ποταμού και τροφοδοτούνται με νερό είτε μέσω φυσικής ροής, είτε μέσω άντλησης (**U.N.E.P.,2000**).

Οι ταμιευτήρες που κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια έχουν ελεγχόμενες εισροές και εκροές από και προς έναν ή περισσότερους ποταμούς.

Στην περιοχή της Θεσσαλίας συναντάμε αρκετές υδατοσυλλογές επιφανειακού νερού όπως ποτάμια, λίμνες και ταμιευτήρες. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 12 ταμιευτήρες νερού με ποιο παλιό και μεγαλύτερης χωρητικότητας τον ταμιευτήρα Καλαμακίου.

Στην περιοχή μελέτης έχουμε επίσης και την επαναδημιουργία της λίμνης Κάρλας στα πλαίσια της διαχείρισης των υδατικών πόρων και της στροφής προς την κατεύθυνση της διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας σε σχέση με τους υδάτινους πόρους.



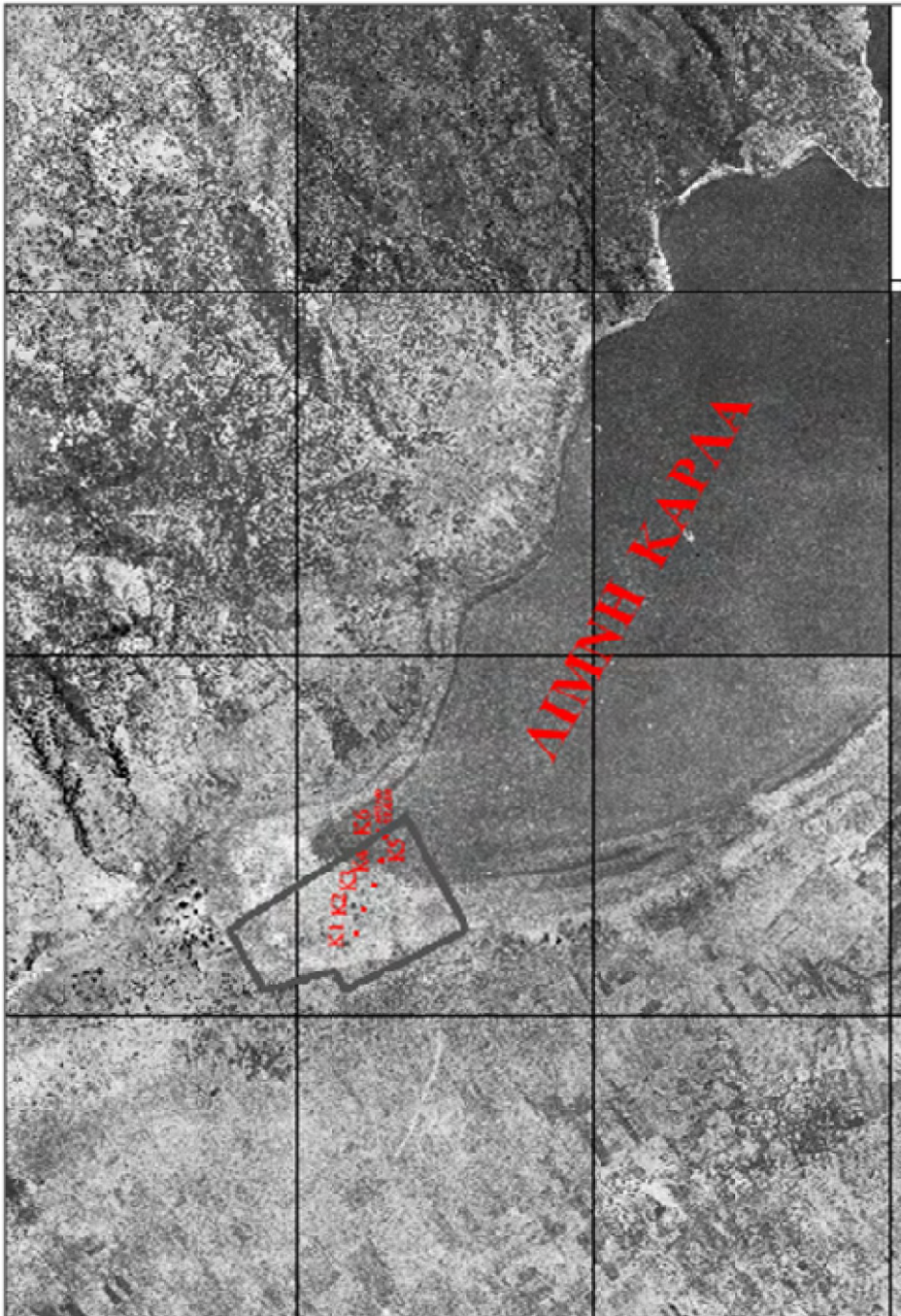
### **Σκοπός της διπλωματικής εργασίας**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας, η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας «Αειφορική Διαχείριση Υδατικού Περιβάλλοντος», ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και της κατανομής των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό του ταμιευτήρα Καλαμακίου για τον υδροχημικό χαρακτηρισμό των υδάτων καθώς και η αξιολόγηση τους προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, τόσο για την πιθανή ρύπανση της περιοχής μελέτης όσο και για την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων.

## 1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

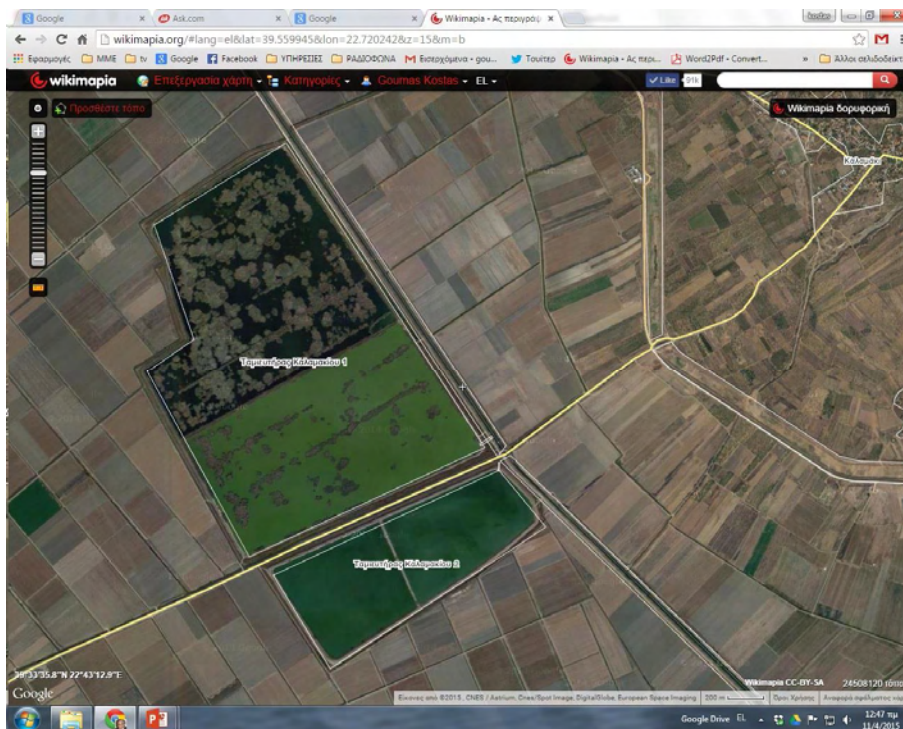
### 1.2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται στα διοικητικά όρια της τοπικής κοινότητας Καλαμακίου του Δήμου Κιλελέρ του Νομού Λάρισας. Ο ταμιευτήρας Καλαμακίου έχει έκταση περίπου 2.200 στρεμμάτων και χωρητικότητα 5.500.000 m<sup>3</sup>.



Εικόνα 1.2: Αποσπασμα Ο/Φ/Χ/ φωτοληψίας 1945 στην περιοχή της λίμνης Κάρλας με αποτύπωση του ταμιευτήρα Καλαμακίου και των σημείων δεγματοληψίας

Στην Εικόνα 1.2 φαίνεται ο ταμιευτήρας Καλαμακίου να βρίσκεται εντός των ορίων της λίμνης Κάρλας πριν την αποξήρανση της. Είναι ο πρώτος πεδινός ταμιευτήρας (Λιμνοδεξαμενή) ο οποίος κατασκευάστηκε από τη Νομαρχία Λάρισας το 1989 με σκοπό την αντιμετώπιση των έντονων προβλημάτων έλλειψης νερού καθώς και για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών της περιοχής. Ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται με νερό κατά κύριο λόγο μέσω της τάφρου T1 (με αντλιοστάσιο) και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Εικ.1.3).

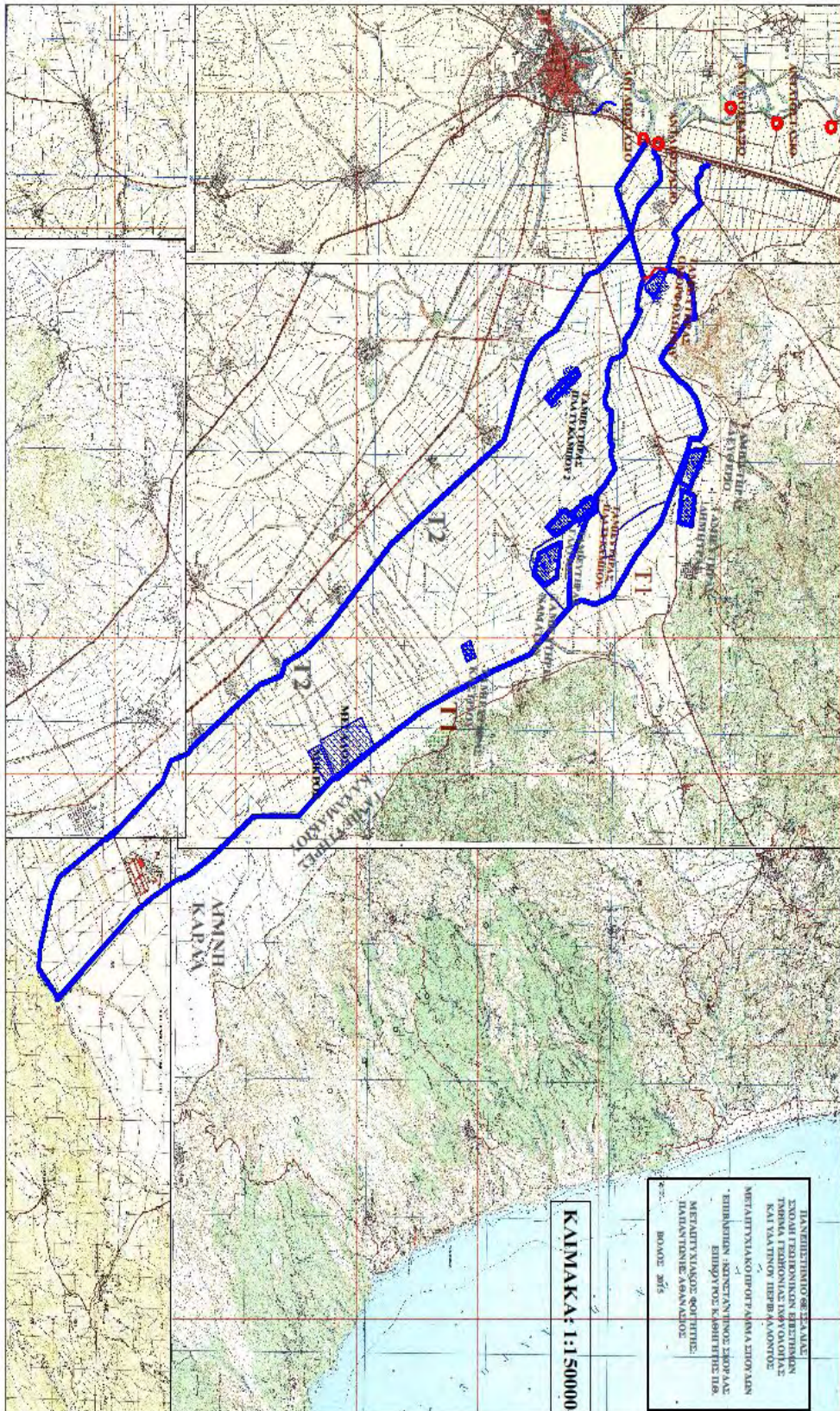


**Εικόνα 1.3:** Ταμιευτήρας Καλαμακίου (wikimapia.org)

Στον τοπογραφικό χάρτη 1.1 φαίνονται τα έργα αποθήκευσης νερού της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



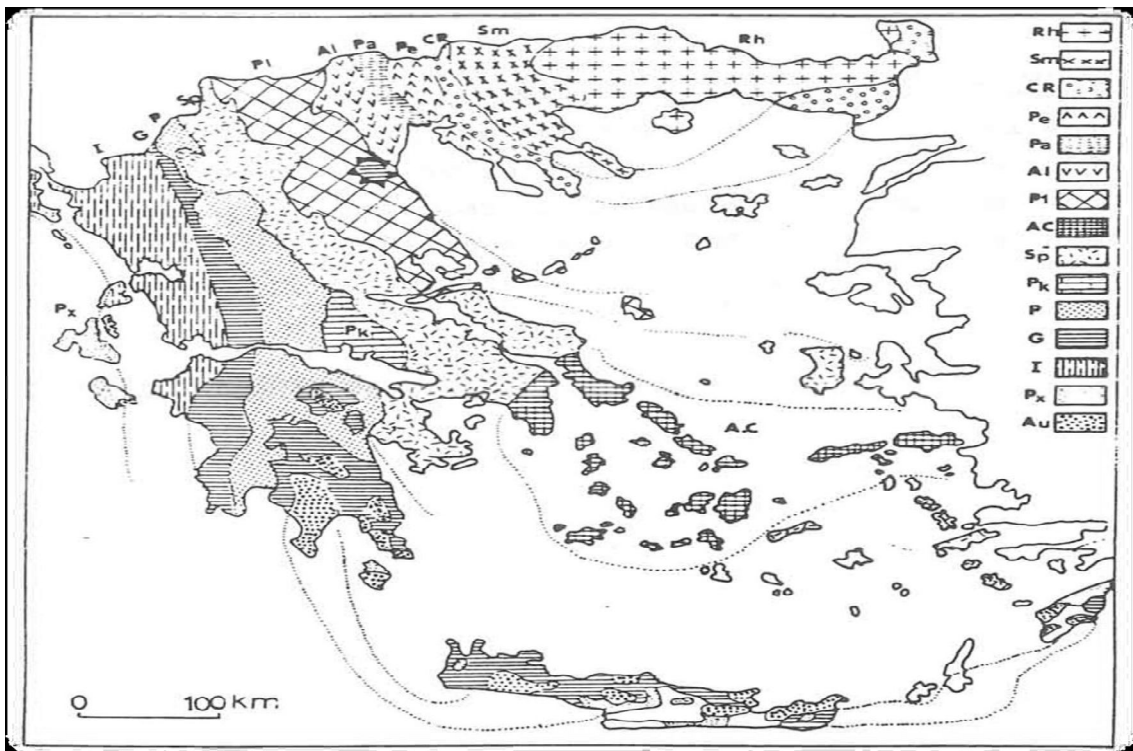
Χάρτης 1.1 Τοπογραφικός χάρτης περιοχής μελέτης όπου φαίνονται τα έργα αποθήκευσης νερού στην ευρύτερη περιοχή





### 1.2.2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

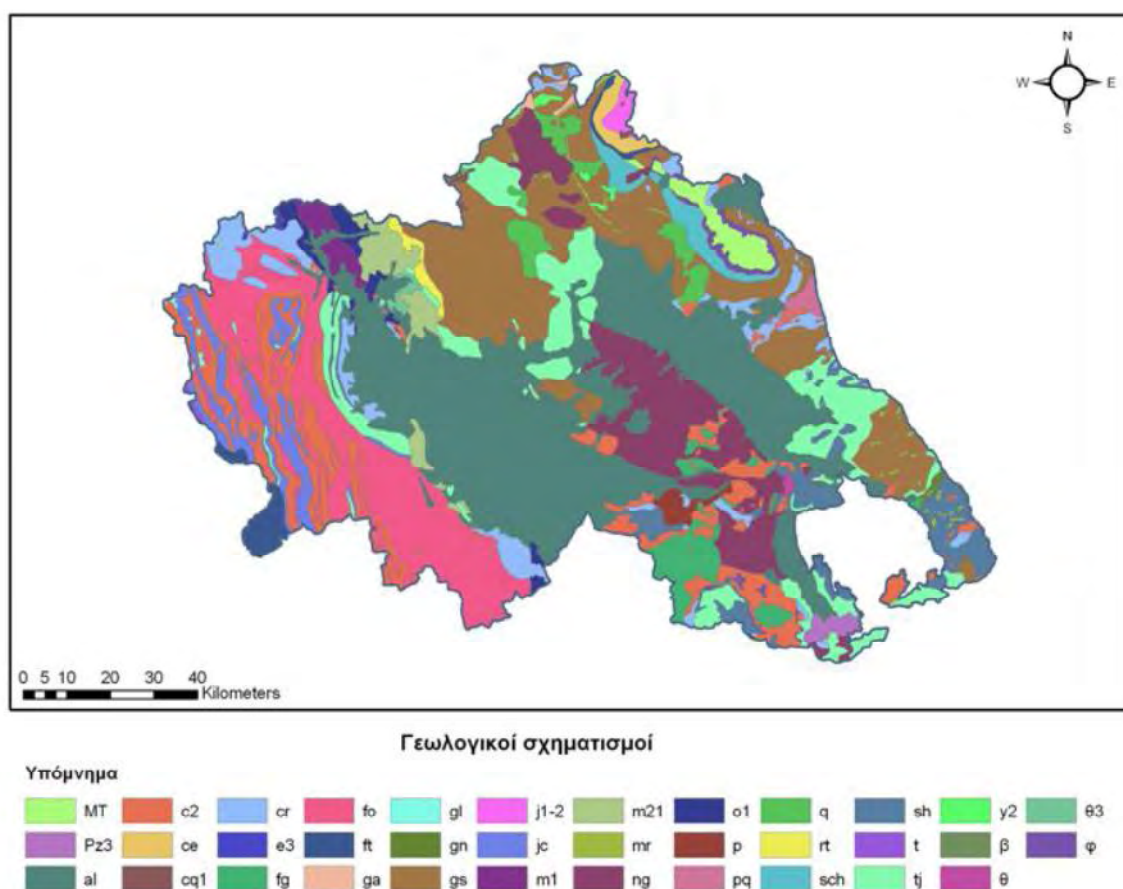
Η ευρύτερη περιοχή του ταμειυτήρα ανήκει από γεωτεκτονικής άποψης στη ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων και συγκεκριμένα στην Πελαγονική ζώνη (Εικ.1.4). Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα πάνω στα οποία υπάρχουν Μεσοζωικά ιζήματα. Ο όρος Πελαγονική ζώνη καθιερώθηκε από τους Brunn (1956) και Aubouin (1959) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες. Έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και εκτείνεται από την πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βέρνου, του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου, της Βόρειας Εύβοιας και στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες, συμπεριλαμβάνοντας τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος και Σκύρος. (Μουντράκης 1985).



Εικόνα 1.4: Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Μουντράκης 1985)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στη περιοχή της Θεσσαλίας (Εικ.1.5) είναι οι εξής:

- Πρόσφατα χαλαρά ιζήματα: καλύπτουν τις πεδινές εκτάσεις της Θεσσαλίας με πάχη που ξεπερνούν τα 200 μέτρα. Αποτελούνται κυρίως από άμμους, αργίλους, κροκαλοπαγή, χαλίκια και πηλούς.
- Νεογενή/Μολασσικά: ιζήματα του τριτογενούς. Πρόκειται για ψαμμίτες, ασβεστόλιθους, μάργες, κροκαλοπαγή, αργίλους και άμμους συνήθως σε αρκετά συνεκτική μορφή.
- Οφιόλιθοι: απαντώνται σε εκτεταμένες εμφανίσεις, ιδίως στο δυτικό τμήμα. Πρόκειται για βασικά ως υπερβασικά πυριγενή πετρώματα (δουνίτες, σερπεντινίτες, χαρτζβουργίτες, διορίτες κ.α.) με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το πρασινωπό χρώμα τους στο οποίο οφείλουν και το όνομα τους. Με τα πετρώματα αυτά συνδέεται και η μεταλλοφορία χρωμίτη που παρατηρείται ευρέως σε αυτές τις οφιολιθικές σειρές.
- Ασβεστόλιθοι/μάρμαρα: ανθρακικά πετρώματα του αλπικού υποβάθρου, συχνά συναντώνται ανακρυσταλλωμένα έως ελαφρά μεταμορφωμένα. Αποτελούν αντικείμενο έντονης λατομικής δραστηριότητας στην περιοχή.
- Φλύσσης: κλαστικός ιζηματογενής σχηματισμός της ζώνης Πίνδου και της Υποπελαγονικής. Αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, πηλιτών και αργιλικών σχιστόλιθων.
- Σχιστόλιθοι: μεταμορφωμένα πετρώματα του αλπικού υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης. Στην πλειοψηφία τους αποτελούνται από σχιστόλιθους, φυλλίτες και γνεύσιους.
- Γρανίτες/ Ηφαιστειακά. μέσα στα σχιστολιθικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης βρίσκονται συχνά και γνευσιωμένων γρανιτών (όξινα πλουτωνικά πετρώματα), με πιο εκτεταμένη εμφάνιση αυτή του γρανίτη της Δεσκάτης.



**Εικόνα 1.5:** Γεωλογικοί σχηματισμοί της Θεσσαλίας (Μαντουζά 2007)

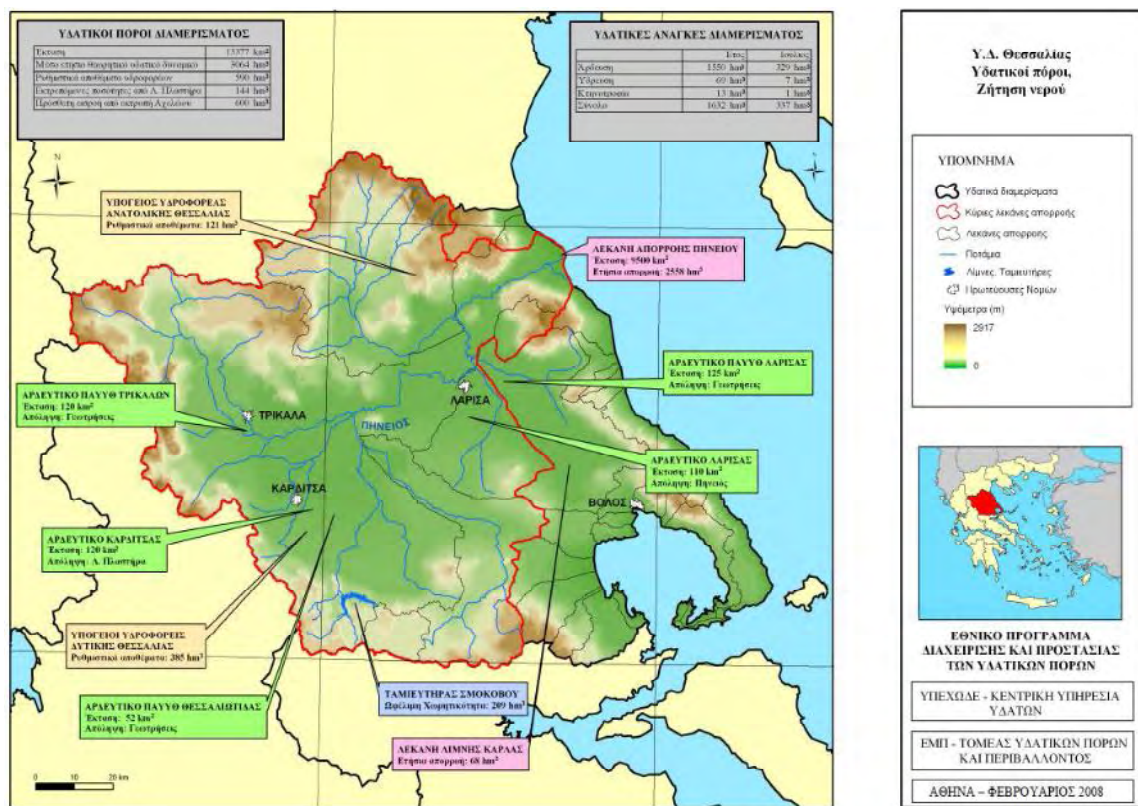
### 1.2.3 Εδαφολογικά στοιχεία της περιοχής

Στα εδάφη της περιοχής μελέτης επικρατούν οι ψιλόκοκκοι άμμοι με μεγάλα πακέτα αργίλων και αργιλλοίλους. Το πάχος των τεταρτογενών αποθέσεων ποικίλλει από 30-200 μέτρα.

### 1.2.4 Υδρολογικά-υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής

Με βάση τον Ν.1739/87 η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στο υπ' αριθμόν 08 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (Εικ.1.6) με έκταση 13.377 km<sup>2</sup> (**ypan.gr**). Αποτελείται από τις κύριες υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού και της Κάρλας και τις δευτερεύουσες (παράκτιες) ανοικτές λεκάνες. Από υδρογεωλογικής πλευράς, στο υδατικό διαμέρισμα αναπτύσσονται οι προσχωματικοί υδροφορείς (στη δυτική και ανατολική λεκάνη) και οι καρστικές γεωλογικές ενότητες. Οι κύριοι υδατικοί πόροι της

Θεσσαλίας είναι ο Πηνειός ποταμός, τα νερά του Ταυρωπού, οι νέοι Ταμιευτήρες Σμοκόβου (Καρδίτσα), Παναγιώτικο (Μαγνησία), πλήθος άλλων Ταμιευτήρων και οι υπόγειοι υδροφορείς της. Οι ανάγκες σε νερό για όλες τις χρήσεις, δεν καλύπτονται από τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και το υδατικό ισοζύγιο είναι ελλειμματικό. Οι συχνές συνθήκες ανομβρίας και η έλλειψη νερού, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στον Πηνειό και τους υπόγειους υδροφορείς της (Παπανίκος 2008).



Εικόνα 1.6: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας - Υδατικοί πόροι - ζήτηση νερού ([itia.ntua.gr](http://itia.ntua.gr))

### 1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής

Με βάση τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό ηπειρωτικού τύπου με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες ([hnms.gr](http://hnms.gr)).



Οι θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των εποχών είναι μεγάλες και αυτό διότι στην περιοχή οι χειμώνες είναι ψυχροί ενώ τα καλοκαίρια είναι ιδιαίτερα ζεστά. Οι πιο ψυχροί μήνες είναι ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος ενώ οι πιο θερμοί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (**Mahleras et al. 2006, Alexandridis et al. 2014, Panagopoulos et al. 2015**).

### 1.3 Ποιότητα υδάτων

Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι, ποτάμια, λίμνες, θάλασσα, όπως επίσης και οι ταμειυτήρες, δέχονται ποσότητες ρύπων με φυσικές διεργασίες ή με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Η ποιότητα του επιφανειακού νερού επηρεάζεται από τα πετρώματα από τα οποία διέρχεται, από ανθρωπογενείς παράγοντες, από τις υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και ανάμειξης του, αλλά και από τις επικρατούσες χημικές, βιολογικές και φυσικές συνθήκες. (**Αντωνόπουλος 1995, Tricca et al. 1999, Bellos et al. 2004, Bellos and Sawidis 2005, Στουρνάρας 2007**). Η παρουσία των ουσιών που καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση και τη χρήση του νερού δημιουργεί την ανάγκη για έλεγχο της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης του (**Κουιμτζής 2004**).

#### 1.3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά. Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού ανήκουν η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η οξύτητα, η αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θολότητα, η οσμή, η γεύση, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, διάφορα άλατα, η σκληρότητα του νερού, διάφορα κατιόντα ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), διάφορα ανιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), τα θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si), τα ιχνοστοιχεία και τα βαρέα μέταλλα (**Νταρακάς 2014**).

### 1.3.2 Χημικές αναλύσεις υδάτων

Για τον πλήρη καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, απαιτείται προσδιορισμός τόσο των βιοτικών όσο και των αβιοτικών παραμέτρων. Η βασική χημική ανάλυση των νερών βασίζεται στον προσδιορισμό των ολικών αλάτων, της ηλεκτρικής αγωγιμότητα, του pH, των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου και των ανιόντων θεικών, χλωριούχων, διττανθρακικών, νιτρικών και ανθρακικών (Κουιμτζής 2004, Skordas et al. 2007, Gjessing et al. 2011).

### 1.3.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

#### 1.3.3.1 pH

Ο βαθμός οξύτητας (pH) ή αλκαλικότητας (pOH) είναι από τα πλέον σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά του νερού. Η κλίμακα μέτρησης του pH εκτείνεται από 0 ως 14 (από το πολύ όξινο σε πολύ αλκαλικό) με το 7 να σημαίνει ουδέτερη κατάσταση. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9 (Chapman 1992, Mayo and Noike, 1996). Τιμές από 6,5 - 8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. (Κουιμτζής και συν. 2004, Νταρακάς 2014).

#### 1.3.3.2 Θερμοκρασία ( $T^0$ )

Η θερμοκρασία ( $T^0$ ) είναι καθοριστικός παράγοντας για τη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων, επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών αλλά και τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν. Η μέτρησή της είναι απλούστατη διαδικασία και σημαντικός παράγοντας στη μελέτη ενός υδάτινου συστήματος. Όσο χαμηλή είναι η θερμοκρασία, τόσο ευκολότερα διαλύεται το οξυγόνο (Κουιμτζής και Σαμαρά 1994). Η πλέον επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που

προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 και 12°C. Πάνω από τους 12 °C το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις. **(Νταρακάς 2014)**.

### **1.3.3.3 Αγωγιμότητα**

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι εξ ορισμού η ικανότητα ενός υλικού να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης. Η αγωγιμότητα ενός cm<sup>3</sup> νερού στη θερμοκρασία των 25°C ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη συγκέντρωση των διαφόρων ιόντων στο νερό. Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Συνήθως στα φυσικά γλυκά νερά η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50- 1500 μS/cm **(Κουϊμτζής και συν. 2004, Κελεπερτζής 2007, Νταρακάς 2014)**.

### **1.3.3.4 Αλκαλικότητα**

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητά του νερού να εξουδετερώνει μια ορισμένη ποσότητα υδροκατιόντων. Εκφράζεται από το άθροισμα των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) των ανθρακικών ιόντων (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) και των ιόντων υδροξυλίου (OH<sup>-</sup>) στο νερό. Στο pH των φυσικών νερών ουσιαστικά υπάρχουν μόνο τα ιόντα των όξινων ανθρακικών (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) **(Κουϊμτζής και συν. 2004, Κελεπερτζής 2007, Νταρακάς 2014)**.

### **1.3.3.5 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)**

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο για την επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα νερά, τόσο πιο καθαρά είναι αυτά. Η συγκέντρωσή του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων και είναι αντιστρόφως ανάλογη σε σχέση με τις δυο αυτές παραμέτρους **(Βασιλικιώτης 1989, Cox 2003, Κουϊμτζής και συν. 2004)**.

### 1.3.3.6 Σκληρότητα

Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος, που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα κυρίως ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ). Διακρίνεται σε ολική, προσωρινή και μόνιμη και είναι συνάρτηση της φύσης και της σύστασης των γεωλογικών σχηματισμών με τους οποίους έχει έρθει σε επαφή το νερό κατά την κίνησή του. Η ολική σκληρότητα αναφέρεται στα νερά που κατά κανόνα περιέχουν σημαντικές ποσότητες κατιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ) με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) και ανθρακικού μαγνησίου ( $\text{MgCO}_3$ ). Εάν συνυπάρχουν και άλλα κατιόντα όπως του στροντίου, του βαρίου, του μαγανίου, του ψευδαργύρου, του σιδήρου και του αργιλίου, τότε συμπεριλαμβάνονται και αυτά. Η παροδική (ανθρακική) σκληρότητα οφείλεται σε όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου [ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ] και μαγνησίου [ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ], τα οποία έπειτα από βρασμό μεταπίπτουν σε ουδέτερα και καθιζάνουν. Η μόνιμη (μη ανθρακική) σκληρότητα οφείλεται στα ανθρακικά, θειούχα, χλωριούχα και νιτρικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου και δεν καθιζάνουν με το βρασμό (Κουϊμτζής και συν. 2004, Λοϊζίδου 2006, Κελεπερτζής 2007, Νταρακάς 2014).

### 1.3.3.7 Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου [Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)]

Ο Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.) εκφράζει τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων του  $\text{Na}^+$  και των  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ . Προσδιορίζεται από τη σχέση:  $\text{S.A.R.} = \text{Na}^+ / \sqrt{[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]/2}$  όπου η συγκέντρωση των ιόντων εκφράζεται σε meq/l. Ο δείκτης S.A.R. εκφράζει την ιδιότητα που έχει το νερό σύμφωνα με την οποία μέρος των κατιόντων του μπορούν να αντικατασταθούν από κατιόντα εδάφους και συγκεκριμένα τα  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{Mg}^{+2}$  από τα  $\text{Na}^+$ .

Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση του ποσοστού του  $\text{Na}^+$  σε μακροχρόνια επαφή του νερού με το έδαφος με αποτέλεσμα την χειροτέρευση της ποιότητας του νερού άρδευσης. **(Καλλέργης 2000, Μήτρακας 2001, Τσακίρης 2004, Κελεπερτζής 2007, Βουδούρης 2009).**

#### **1.3.3.8 Ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ )**

Το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{+2}$ ) υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Το μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{+2}$ ) βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Τα άλατά του μαζί με τα άλατα του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού **(Νταρακάς 2014).**

#### **1.3.3.9 Ιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) και νατρίου ( $\text{Na}^+$ )**

Το κάλιο είναι ένα στοιχείο σε αφθονία στη φύση, βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια όμως η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει τα 20 mg/l. Το νάτριο είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1 - 500 mg/l **(Νταρακάς 2014).**

#### **1.3.3.10 Χλωριούχα ( $\text{Cl}$ )**

Τα χλωριούχα ιόντα είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Η συγκέντρωσή τους στα φυσικά νερά ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία και την προέλευσή τους **(Κουϊμτζής και συν. 2004, Λοϊζίδου 2006, Νταρακάς 2014).**

#### **1.3.3.11 Θεϊκά ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Τα θειικά ιόντα είναι ευρέως διαδεδομένα στα φυσικά νερά και μάλιστα σε συγκεντρώσεις που ποικίλλουν από μερικά mg/l μέχρι και χιλιάδες mg/l. Κύρια πηγή

των θεϊκών ιόντων στα φυσικά νερά είναι το νερό της βροχής. Άλλες πιθανές πηγές θεικών ιόντων είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θεικό ασβέστιο ή θεικό πυρίτιο (**Κουϊμτζής και συν. 2004, Νταρακάς 2014**).

#### **1.3.3.12 Νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ )- Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )-Αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ )**

Η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα ύδατα αποτελεί ένδειξη ρύπανσης τους από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά, αλλά η συγκέντρωσή τους πρέπει να είναι χαμηλή (**Κουϊμτζής και συν. 2004, Λοϊζίδου 2006, Νταρακάς 2014**).

#### **1.3.3.13 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)**

Τα ολικά διαλυμένα στερεά εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων χλωριούχων, θεικών, νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών αλάτων στο νερό και αποτελούν ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) (**Βουδούρης, 2006, Τσακίρης, 2010**).

#### **1.3.3.14 Φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ )**

Τα φωσφορικά στα ύδατα προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες (κυρίως από τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων) καθώς και από την απόρριψη αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (**Λοϊζίδου, 2006**).

## **2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **2.1. Προγραμματισμός της έρευνας**

Στο στάδιο του προγραμματισμού της έρευνας συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούσαν την περιοχή μελέτης. Τα στοιχεία αυτά αφορούσαν το ιστορικό της περιοχής, θεματικούς χάρτες καθώς επίσης εργασίες, μελέτες, διατριβές και δημοσιεύσεις της Ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας. Ο προγραμματισμός περιλάμβανε επίσης τον καθορισμό των σημείων δειγματοληψίας, τα βάθη από όπου θα συλλεχθούν τα δείγματα, τον αριθμό των δειγμάτων, τις παραμέτρους που θα προσδιοριστούν, καθώς και τις μεθόδους ανάλυσης των δειγμάτων.

### **2.2 Δειγματοληψία**

Πραγματοποιήθηκαν τρεις δειγματοληψίες κατά τους μήνες Μάιο 2013, Οκτώβριο του 2013 και Φεβρουάριο του 2014 με τη βοήθεια πλωτού μέσου (βάρκα). Τα σημεία δειγματοληψίας επιλέχθηκαν μετά από προσεκτική μελέτη της περιοχής του ταμιευτήρα για την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη δειγματοληψία και κάλυψη του μεγαλύτερου ποσοστού της επιφάνειάς του. Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με τη χάραξη μιας διαδρομής που ξεκινούσε από το βαθύτερο σημείο του ταμιευτήρα (κέντρο ταμιευτήρα) και κατέληγε στο σημείο εισόδου νερού στον ταμιευτήρα (αντλιοστάσιο) από την τάφρο T1. Επιλέχθηκαν έξι (6) σημεία δειγματοληψίας, πέντε εσωτερικά του ταμιευτήρα και ένα (1) εξωτερικά (θέση άντλησης νερού από την τάφρο T1 στον ταμιευτήρα) (Εικ. 2.1)

Ο προσδιορισμός των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με τη βοήθεια φορητού δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (GPS) τύπου MAGELAN και οι γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.



**Εικόνα 2.1:** Σημεία Δειγματοληψίας στον Ταμιευτήρα Καλαμακίου

**Πίνακας 2.1:** Συντεταγμένες θέσεων δειγματοληψίας (Ε.Γ.Σ.Α.87)

Σημεία δειγματοληψίας	X	Y
K1	388923	4379409
K2	389182	4379321
K3	389455	4379221
K4	389732	4379147
K5	389998	4379107
K6	390050	4379181



### 2.3 Συλλογή δειγμάτων νερού

Στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν συλλέχθηκαν 28 δείγματα νερού από τα έξι σημεία δειγματοληψίας (σημείο K<sub>1</sub> έως το σημείο K<sub>6</sub>) σε βάθη από 30 έως 60 cm από την επιφάνεια του νερού και 30-60 cm από τον πυθμένα του ταμιευτήρα. Για τη λήψη των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης νερού Limnos Rossincatu 2 E 17 20380 Turku Finland (Εικ. 2.2). Κατά τη συλλογή των δειγμάτων μετρήθηκαν στο πεδίο η θερμοκρασία του νερού σε °C, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) σε μS/cm, το διαλυμένο οξυγόνο O<sub>2</sub> (DO) σε mg/l και τα TDS με τη βοήθεια ειδικών οργάνων. Συγκεκριμένα το pH μετρήθηκε με τη βοήθεια του οργάνου Consort C531 (Εικ. 2.3) ενώ η E.C. με τη βοήθεια του οργάνου Combo by Hanna (Εικ. 2.4)



**Εικόνα 2.2:** Δειγματολήπτης νερού (Limnos Rossincatu 2 E 17 20380 Turku Finland)



**Εικόνα 2.3:** Ειδικό φορητό όργανο μέτρησης pH και DO (Consort C 531).



**Εικόνα 2.4:** Ειδικό φορητό όργανο μέτρησης αγωγιμότητας και TDS (Combo by Hanna).

Τα δείγματα μετά τη δειγματοληψία αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά, αριθμημένα μπουκάλια και μεταφέρθηκαν σε δροσερό και σκοτεινό μέρος, στο εργαστήριο Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέχρι να αναλυθούν.

#### **2.4 Προετοιμασία δειγμάτων**

Τα υδατικά δείγματα δεν απαιτούν διαλυτοποίηση, με εξαίρεση περιπτώσεις μεγάλης περιεκτικότητας αιωρούμενων στερεών, π.χ. δείγματα υγρών αποβλήτων. Η τυπική προετοιμασία των δειγμάτων νερού για χημική ανάλυση περιλαμβάνει διήθηση με χρήση φίλτρου οπής 0.45  $\mu\text{m}$ . Δείγματα φυσικών νερών φιλτράρονται και οξινίζονται κατά τη συλλογή τους στην ύπαιθρο ώστε να αποφευχθεί τυχούσα απώλεια των διαλυμένων μετάλλων (Αργυράκη 2007).

## 2.5 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος

### 2.5.1 pH

Για τον προσδιορισμό του pH των δειγμάτων ύδατος αρχικά πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του οργάνου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων. Πριν από κάθε μέτρηση το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια μεταφέρονται 100 ml δείγματος νερού σε πλαστικό ποτήρι, γίνεται εμβάπτιση του ηλεκτροδίου στο δείγμα υπό ανάδευση, διακόπτεται η ανάδευση και διαβάζεται η ένδειξη στην οποία σταθεροποιείται το όργανο. Παράλληλα με τη μέτρηση του pH υπολογίστηκε με τη βοήθεια του ίδιου οργάνου η θερμοκρασία του δείγματος. Επαναλήφθηκε η μέτρηση με άλλη ποσότητα δείγματος έως ότου η διαφορά των δύο τιμών να μην εμφανίζει απόκλιση μεγαλύτερη από 0.1 μονάδες. Το αποτέλεσμα της μέτρησης του pH και της θερμοκρασίας εκφράστηκε με ένα δεκαδικό ψηφίο. Πριν την επαναληπτική μέτρηση το ηλεκτρόδιο του οργάνου ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό και έπειτα σκουπίστηκε επιμελώς χωρίς ένταση για την αποφυγή ανάπτυξης ηλεκτροστατικού φαινομένου.

### 2.5.2 Θερμοκρασία νερού ( $T^{\circ}$ )

Η θερμοκρασία ( $T^{\circ}$ ) είναι μια παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και βιοχημικές αντιδράσεις. Η μέτρησή της είναι απλούστατη διαδικασία και σημαντικός παράγοντας στη μελέτη ενός υδάτινου συστήματος. Η θερμοκρασία των δειγμάτων μετρήθηκε ταυτόχρονα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.)

### 2.5.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τέθηκε σε λειτουργία το αγωγιμόμετρο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 100ml, προστέθηκαν 80ml δείγματος. Έπειτα τοποθετήθηκε

μέσα στο δείγμα η κυψελίδα έως ότου καλυφθεί εξ ολοκλήρου. Μόλις σταθεροποιήθηκε η ένδειξη του οργάνου έγινε καταγραφή της τιμής. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για το διάλυμα εσωτερικού ελέγχου [ $c(\text{KCl})=0.05 \text{ mol/l}$ ,  $6.700 \mu\text{S/cm}$ ], με μόνη διαφορά στη θέση του δείγματος προστέθηκε ποσότητα 80ml του διαλύματος εσωτερικού ελέγχου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν σε  $\mu\text{S/cm}$  (στους  $25^\circ\text{C}$ ), με ταυτόχρονο υπολογισμό της θερμοκρασίας του δείγματος.

#### **2.5.4. Ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ), νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και καλίου ( $\text{K}^+$ )**

Για τον προσδιορισμό των ιόντων του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και των ιόντων μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) χρησιμοποιήθηκε η ατομική απορρόφηση με την τεχνική φλόγας.

##### **2.5.4.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης**

Με τον όρο ατομική φασματοσκοπία χαρακτηρίζεται ένα σύνολο φασματοσκοπικών τεχνικών ανάλυσης που βασίζονται στην αλληλεπίδραση ατόμων με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ατομική φασματοσκοπία βασίζεται στην ατομοποίηση δείγματος σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ατόμων με μέτρηση είτε της απορρόφησης, είτε της εκπομπής, είτε του φθορισμού στο χαρακτηριστικό μήκος κύματος κάθε στοιχείου (**Λιοδάκης 2003**).

Το φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από το μηχανικό τμήμα παραγωγής ατόμων από το δείγμα και το οπτικό τμήμα όπου γίνεται η ατομική απορρόφηση της εξωτερικής πηγής ακτινοβολίας.

Αρχικά το προς ανάλυση δείγμα υποβάλλεται σε ατομοποίηση, παίρνει δηλαδή τη μορφή ατόμων. Για να γίνει αυτό, το υγρό δείγμα αναρροφάται στον εκνεφωτή και μετατρέπεται σε λεπτότατες σταγόνες. Τα σταγονίδια αυτά μετά από μια σειρά εμποδίων και απωλειών εισέρχονται στη φλόγα. Τα άτομα που σχηματίζονται στη φλόγα, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση,

διαπερνούν την οπτική δέσμη της πηγής ακτινοβολίας και διεγείρονται. Η απορρόφησή τους καταγράφεται με τη βοήθεια ενός συστήματος μονοχρωμάτορα και ανιχνευτή. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου που προσδιορίζουμε. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ατομοποίησης είναι η ατομοποίηση με φλόγα για συγκεντρώσεις της τάξεως των mg/L (ppm). Η θερμοκρασία της φλόγας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και του οξειδωτικού που χρησιμοποιείται και ο συνηθέστερος συνδυασμός είναι ακετυλένιο και αέρας, ώστε να επιτυγχάνεται θερμοκρασία μέχρι 2550 0 C. Θεμελιώδης απαίτηση είναι η εισαγωγή του δείγματος στη φλόγα με σταθερό και ομοιόμορφο τρόπο. **(Λιοδάκης 2003, Αργυράκη 2007).**

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων ( $\text{Ca}^{+2}$ ), ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ( $\text{Na}^{+}$ ) και ( $\text{K}^{+}$ ) χρησιμοποιήθηκε η φλογοφωτομετρική μέθοδος και μάλιστα η χρήση των φασμάτων εκπομπής σε φλόγα, με όργανο το φλογοφωτόμετρο.

Αρχικά, ανοίγεται το φλογοφωτόμετρο και δημιουργείται η φλόγα (ανοίγεται η βαλβίδα της φιάλης προπανίου η οποία είναι συνδεδεμένη στο φλογοφωτόμετρο, ούτως ώστε να τροφοδοτήσει με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου το όργανο και πατώντας έναν ειδικό διακόπτη πάνω στο φλογοφωτόμετρο δημιουργείται η φλόγα). Αφήνεται το όργανο για 30 min να σταθεροποιηθεί η φλόγα και έπειτα πραγματοποιείται η βαθμονόμησή του. Η διαδικασία της βαθμονόμησης του οργάνου στηρίζεται στην αρχή του ψεκασμού της φλόγας του οργάνου (η οποία έχει μπλε χρώμα), διαμέσου ενός σωλήνα πάρα πολύ μικρής διαμέτρου, με τα πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων των στοιχείων που επιθυμείται να μετρηθούν, καθώς επίσης και ενός τυφλού διαλύματος (περιέχει διάφορες ουσίες πλην αυτής που επιθυμείται). Η φλόγα με αυτόν τον τρόπο, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για κάθε ένωση και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η



οποία μπαίνει στη φλόγα διασπώνται σε άτομα. Τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερσή τους παρατηρείται εκπομπή ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται (δηλαδή το χρώμα της φλόγας) εξαρτάται από τη φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με τη χρήση κατάλληλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φωτοανιχνευτή. Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα.

Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στα φλογοφωτόμετρα αποτελείται από φίλτρα απορρόφησης και ως φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοστοιχεία.

Επιλέγεται η ουσία που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση από ένα διακόπτη ψηλά στο φλογοφωτόμετρο ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ ). Έστω ότι επιλέγεται το ( $\text{Ca}^{+2}$ ). Έπειτα, από μια ροδέλα ρυθμίζεται το εύρος των τιμών της ουσίας που πρόκειται να μετρηθεί και σταθεροποιείται η τιμή 0 με τη χρήση υπερκάθαρου νερού «κερασμένου» σε ποτηράκι ζέσεως (τυφλό διάλυμα), το οποίο τοποθετείται στην ειδική εσοχή του φλογοφωτόμετρου. Το ειδικό σωληνάκι της συσκευής εμποτίζεται επαρκώς μέσα στο υπερκάθαρο νερό και έτσι «ρουφάει» μια επαρκή ποσότητα νερού (περίπου 3–6 ml/min), η οποία ραντίζει τη φλόγα του οργάνου. Η φλόγα με τη σειρά της, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για το υπερκάθαρο νερό (εδώ απλά γίνεται πιο έντονη μπλε) και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η οποία μπαίνει στη φλόγα διασπώνται σε άτομα, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Με τον ίδιο τρόπο συνεχίζεται η βαθμονόμηση, χρησιμοποιώντας τα πρότυπα διαλύματα του  $\text{Ca}^{2+}$  διαφόρων συγκεντρώσεων και καταγράφονται οι ενδείξεις του οργάνου για καθένα από αυτά.

### 2.5.5 Χλωροϊόντα (Cl<sup>-</sup>)

Για την ογκομέτρηση του αγνώστου δείγματος τοποθετήθηκαν με σιφόνιο μιας χαραγής Class A, 100ml δείγματος που βρισκόταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (ή μικρότερος όγκος με σιφόνιο Class A, αραιωμένος ως τα 100ml), μέσα σε κωνική φιάλη των 250ml η οποία είχε άσπρο φόντο (αν το pH των δειγμάτων ήταν έξω από την περιοχή 5 έως 9,5, ρυθμιζόταν το pH με τη χρήση αντιστοίχως υδροξειδίου του νατρίου ή διαλύματος νιτρικού οξέος και σημειωνόταν ο όγκος που απαιτούνταν, ενώ αν ήταν μικρότερο του 5, τότε ήταν προτιμότερη η ρύθμιση του με NaHCO<sub>3</sub> γιατί έτσι θα ρυθμιζόταν και η ρυθμιστική ικανότητα του δείγματος). Η προστιθέμενη ποσότητα έπρεπε να επιλεγεί έτσι ώστε το ανθρακικό ίζημα να παρέμενε και μετά την ογκομέτρηση. Στη συνέχεια, προστέθηκε 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου συγκέντρωσης 100g/l. Ογκομετρήθηκε με τη βοήθεια προχοϊδας το διάλυμα, προσθέτοντας διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,02 mol/l και αναδεύοντας μέχρι το χρώμα του διαλύματος να αλλάξει σε φαιοκόκκινο. Μετά από προσθήκη μιας σταγόνας διαλύματος χλωριούχου νατρίου 0,02mol/l, το χρώμα εξαφανίστηκε (όπως αναμενόταν). Τα ογκομετρημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση στις επόμενες τιτλοδοτήσεις. Έγινε καταγραφή της κατανάλωσης του AgNO<sub>3</sub> και του όγκου του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του τυφλού δείγματος. Η συγκέντρωση των χλωροϊόντων σε mg/l υπολογίστηκε τελικά από τον τύπο:  $P_{Cl} = (V_s - V_b) * c * f / V_a$ , όπου c ήταν η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος νιτρικού αργύρου εκφρασμένη σε mol/l, f ήταν ο συντελεστής μετατροπής (35,453 mg/mol), V<sub>s</sub> ήταν η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το δείγμα σε ml, V<sub>b</sub> ήταν η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το τυφλό δείγμα σε ml και V<sub>a</sub> ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml. ανθρακικά (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και ανθρακικά (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).



### 2.5.6 Αλκαλικότητα ( $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ )

Το δείγμα ογκομετρήθηκε με πρότυπο διάλυμα οξέος ως τις καθορισμένες τελικές τιμές  $\text{pH}=8,3$  και  $\text{pH}=4,5$ . Αυτά τα τελικά σημεία τα οποία καθορίζονται οπτικά ή ποτενσιομετρικά, ήταν τα επιλεγμένα ισοδύναμα σημεία για τους προσδιορισμούς των τριών κύριων συστατικών: όξινων ανθρακικών, ανθρακικών και υδροξυλίων. Το τελικό σημείο  $\text{pH}=8,3$  πλησίαζε προς τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ανθρακικών και του διοξειδίου του άνθρακα και απεικόνιζε κατά προσέγγιση την ογκομέτρηση όλων των υδροξυλίων και του μισού των υπαρχόντων ανθρακικών. Το τελικό σημείο  $\text{pH}=4,5$  πλησίαζε το ισοδύναμο σημείο για τα υδρογονοϊόντα και τα όξινα ανθρακικά και επέτρεπε τον προσδιορισμό της ολικής αλκαλικότητας στο δείγμα.

Αρχικά, βαθμονομήθηκε το πεχάμετρο και ακολούθησε ο προσδιορισμός της σύνθετης και ολικής αλκαλικότητας, ογκομετρημένης ως  $\text{pH} = 8,3$  και  $4,5$  αντίστοιχα. Για την πρώτη περίπτωση, τοποθετήθηκαν με σιφώνιο μιας χαραγής Class A, 100 ml δείγματος (όγκος  $V_4$ ) μέσα σε γυάλινο ποτήρι ζέσεως, το οποίο με τη σειρά του τοποθετήθηκε πάνω σε ένα μαγνητικό αναδευτήρα. Στο δείγμα βυθίστηκε μια πλαστικά επιχρισμένη ράβδος και το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου. Ακολούθησε ανάδευση με ρυθμό στον οποίο μόλις η δίνη δεν ήταν αντιληπτή (μετριόταν το  $\text{pH}$  για το δείγμα και αν η τιμή του ήταν  $8,3$  ή μικρότερη, αναφερόταν η σύνθετη αλκαλικότητα ως μηδέν. Αν ήταν μεγαλύτερη του  $8,3$ , ογκομετρούνταν το δείγμα με το υδροχλωρικό οξύ συγκέντρωσης  $0,02 \text{ mol/l}$  μέχρι  $\text{pH}=8,3$  και σημειωνόταν ο όγκος  $V_5$  σε ml του οξέος που καταναλώθηκε και η μοριακότητα του). Για τον προσδιορισμό της ολικής αλκαλικότητας, συνεχίστηκε η ογκομέτρηση του διαλύματος που κρατήθηκε από τον προσδιορισμό της σύνθετης αλκαλικότητας, με το υδροχλωρικό οξύ συγκέντρωσης  $0,10 \text{ ml/l}$ , μέχρι το πεχάμετρο να διαβάσει  $4,5$ . Όταν το  $\text{pH}$  πλησίαζε στο  $4,5$ ,

προστέθηκε ο τιτλοδότης σταγόνα-σταγόνα αναμένοντας την ισορροπία με το δείγμα. Τέλος, σημειώθηκε ο όγκος  $V_6$  σε ml του οξέος που καταναλώθηκε και η μοριακότητα του (αν η κατανάλωση του HCl 0,10 mol/l ήταν μικρότερη από 4 ml, το δείγμα τιτλοδοτούνταν με HCl 0,02 mol/l). Η σύνθετη αλκαλικότητα εκφρασμένη σε mmol/l υπολογίστηκε από τον τύπο  $A_p = c(\text{HCl}) \cdot V_5 \cdot 1000 / V_4$  και η ολική αλκαλικότητα εκφρασμένη σε mmol  $\text{H}^+$ /l από τον τύπο  $A_T = c(\text{HCl}) \cdot V_6 \cdot 1000 / V_4$ . Η ολική αλκαλικότητα εκφρασμένη σε mg  $\text{CaCO}_3$ /l έδωσε την παροδική σκληρότητα  $H_C$  και υπολογίστηκε από τον τύπο  $H_C = 50 \cdot A_T$ .

### 2.5.7 Θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

Η συγκέντρωση ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) σε meq/l, προσδιορίστηκε υπολογιστικά δεχόμενοι ότι ισχύει η σχέση:  $[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{CO}_3^{-2}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{-2}]$ .

### 2.5.8 Φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

Ο προσδιορισμός των φωσφορικών ιόντων έγινε με ανάπτυξη χρώματος, του μολυβδαινικού-φωσφορικού συμπλόκου που δημιουργήθηκε πάνω σε μήτρα θεικού οξέος και ανάχθηκε με ασκορβικό οξύ. Σε φασματοφωτόμετρο μετρήθηκε η απορρόφηση, σε μήκος κύματος 840-888nm (το χρώμα είναι σταθερό από 10 λεπτά ως 1 μέρα μετά τη δημιουργία του).

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου A, 12g  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\text{H}_2\text{O}$  διαλύθηκαν σε 250ml απεσταγμένο νερό (θέρμανση) και 0,2908g  $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  σε 100ml απεσταγμένο νερό. Τα παραπάνω διαλύματα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 2000ml που περιείχαν 1000ml διαλύματος  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5N, αναμείχθηκαν καλά και προστέθηκαν μέχρις όγκου 2000ml. Το διάλυμα διατηρήθηκε σε σκοτεινό και ψυχρό μέρος.

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου Β, 0,528g ασκορβικού οξέος (L(+)-Ascorbic acid) διαλύθηκαν σε 100 ml από το αντιδραστήριο Α (διατηρείται μόνο για 24 ώρες).

Η ανάπτυξη του χρώματος για τα δείγματα νερού έγινε σε ογκομετρικές φιάλες των 50ml, χρησιμοποιώντας 10ml από το δείγμα νερού και 8ml από το αντιδραστήριο Β.

Για το Stock διάλυμα Ρ (1000 mgP/l), ζυγίστηκαν 1,099g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( $105^\circ\text{C}$ , 1 ώρα) και διαλύθηκαν σε 1000ml απεσταγμένο νερό. Για το πρότυπο διάλυμα Ρ (10mgP/ml), αραιώθηκε 1ml από το Stock διάλυμα μέχρις όγκου 100ml. Στη συνέχεια σε 5 ογκομετρικές φιάλες των 50ml παρασκευάστηκαν τα πρότυπα διαλύματα. Σε κάθε φιάλη τοποθετήθηκαν αντίστοιχα 0,5,15,25 και 50ml από το πρότυπο διάλυμα. Έτσι, δημιουργήθηκαν πρότυπα διαλύματα με συγκεντρώσεις 0,1,3,5 και 10ppm, αντίστοιχα. Μετά από 1 ώρα, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 870nm, με κυψελίδα 1cm. Πρώτα μετρήθηκε η απορρόφηση των πέντε προτύπων διαλυμάτων για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης. Το όργανο μηδενίστηκε με το τυφλό πρότυπο και στη συνέχεια μετρήθηκαν τα υπόλοιπα τέσσερα με τη σειρά περιεκτικότητας σε πρότυπο διάλυμα Ρ. Ακολούθησε η μέτρηση της απορρόφησης στα δείγματα νερού. Κατασκευάστηκε η πρότυπη καμπύλη με την περιεκτικότητα σε Ρ των πέντε προτύπων διαλυμάτων στον άξονα των Χ και την αντίστοιχη απορρόφηση στο άξονα των Υ. Με βάση την εξίσωση που προέκυψε, οι τιμές της απορρόφησης των δειγμάτων νερού μετατράπηκαν στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε Ρ (Murphy and Riley, 1962).

Τέλος, έγινε μετατροπή της συγκέντρωσης του Ρ σε  $\text{PO}_4^{3-}$  με βάση τον τύπο: ppm  $\text{PO}_4^{3-} = \text{ppm P} * 3,065$ .

### 2.5.9 Ολική σκληρότητα $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$

Για τον προσδιορισμό της ολικής σκληρότητας και πριν την ανάλυση, τα δείγματα που ήταν θολά, διηθήθηκαν με φίλτρο μεγέθους πόρων 0,45μm. Στη συνέχεια,

ακολούθησαν δύο τιτλοδοτήσεις. Για την πρώτη, μεταφέρθηκαν 50ml δείγματος, σε κωνική φιάλη των 250ml μέσω σιφωνίου μιας χαραγής Class A. Ακολούθως, προστέθηκαν με dispenser, 4ml ρυθμιστικού διαλύματος και 3 σταγόνες δείκτη Eriochrome Black T οπότε το χρώμα του διαλύματος έγινε βαθύ κόκκινο ή βιολετί. Αναδεύοντας, το διάλυμα τιτλοδοτήθηκε αμέσως με προχοΐδα που περιείχε EDTA (γρήγορα στην αρχή και αργά στο τέλος). Συνεχίστηκε η προσθήκη EDTA 0,01mol/l όταν το χρώμα άλλαζε από βαθύ κόκκινο ή βιολετί σε μπλε. Η τιτλοδότηση τελείωσε όταν εξαφανίστηκε οποιαδήποτε κόκκινη χροιά και το χρώμα άλλαξε ξεκάθαρα σε μπλε (το χρώμα δεν έπρεπε να αλλάξει περισσότερο με την προσθήκη άλλης σταγόνας διαλύματος EDTA). Η δεύτερη τιτλοδότηση πραγματοποιήθηκε σε άλλο δείγμα. Μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη των 250ml τόσα ml δείγματος όσα χρησιμοποιήθηκαν και στην πρώτη τιτλοδότηση και προστέθηκε ποσότητα EDTA κατά 0,5ml μικρότερη. Ακόμα, προστέθηκαν με dispenser 4ml ρυθμιστικού διαλύματος και 3 σταγόνες δείκτη Eriochrome Black T. Ακολούθησε τιτλοδότηση με την προσθήκη EDTA σταγόνα-σταγόνα, ως το τελικό σημείο (αν το αποτέλεσμα διέφερε περισσότερο από 0,2ml από το αποτέλεσμα της πρώτης τιτλοδοτήσεως, έπρεπε να τιτλοδοτηθεί και τρίτο δείγμα). Η συγκέντρωση του συνόλου του ασβεστίου και μαγνησίου στο δείγμα, σε mmol/l, υπολογίστηκε από τον τύπο  $c_{Ca+Mg}=1000*c_1*V_3/V_0$ , όπου  $c_1$  ήταν η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος EDTA σε mol/l,  $V_3$  ήταν ο όγκος του EDTA σε ml, που καταναλώθηκαν για το δείγμα και  $V_0$  ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml. Η ολική σκληρότητα εκφρασμένη σε mg CaCO<sub>3</sub>/l υπολογίστηκε από τον τύπο  $H_T=100*c_{Ca+Mg}$  (Μόνιμη σκληρότητα = Ολική σκληρότητα – Παροδική σκληρότητα).

### 2.5.10 Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου [ (Sodium Absorption Ratio (S.A.R.))]

Ο συντελεστής S.A.R. είναι δείκτης της συγκέντρωσης του νατρίου στο νερό σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του ασβεστίου και μαγνησίου και προσδιορίζεται από τη σχέση:  $S.A.R. = Na^+ / \sqrt{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]/2}$  όπου η συγκέντρωση των ιόντων εκφράζεται σε meq/l.

Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία νατρίου ως προς το ασβέστιο και μαγνήσιο, τόσο υψηλότερο είναι το S.A.R. Ο S.A.R. χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Μετρά το βαθμό στον οποίο το νάτριο σε νερό άρδευσης αντικαθιστά τα ιόντα προσροφημένα στις εδαφικές αργίλους  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , και έτσι καταστρέφει τη δομή του εδάφους. Τα νερά άρδευσης ταξινομούνται επί τη βάση της επικινδυνότητας αλμυρότητας (αγωγιμότητας ή TDS) και της επικινδυνότητας νατρίου (SAR) (Καλλέργης 2000, Μήτρακας 2001, Κελεπερτζής 2007, Βουδούρης 2009).

### 2.5.11 Επεξεργασία και παρουσίαση αναλυτικών δεδομένων

Η επεξεργασία και η παρουσίαση των αναλυτικών δεδομένων έγινε με την χρήση του προγράμματος Aquachem 3.6.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων

Τα αναλυτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών ανάλυσης στα δείγματα νερού και στις τρεις δειγματοληψίες φαίνονται στους Πίνακες 3.1, 3.2, 3.3. Σε κάθε δειγματοληψία 6 δείγματα αντιστοιχούν σε επιφανειακά δείγματα (< 1m) και φέρουν την επισήμανση **S** (surface) και τα υπόλοιπα 4 αντιστοιχούν σε δείγματα πυθμένα και φέρουν την επισήμανση **B** (bottom). Στην 2<sup>η</sup> και στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία στο σημείο K5 δεν έχουμε μέτρηση λόγω μη λειτουργίας του αντλιοστασίου τη συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας. Στον Πίνακα 3.4 φαίνεται ο μέσος όρος και το εύρος διακύμανσης των τιμών των δειγμάτων νερού του ταμιευτήρα.

**Πίνακας 3.1:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου (Μάιος 2013)

Δείγμα	pH		Θερμοκρασία °C		ES(μs/cm)		TDS	DO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Αλκαλικότητα	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	(S.A.R.)	Σκληρότητα		
	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		Ολική	Παροδική	Μόνιμη
k1s	8,2	8,16	22,4	23,7	3410	2840	1818	6	104	172	5,7	460	0	6,86	532	764	0,18	2,1	6,4	968	343	625
k1b	8,3	7,94	23	22,5	3260	2880	1843	5,7	105	179	11	470	0	7,37	545	765	0,12	2,2	6,4	999	369	630
k2s	8,3	8,19	22	23,7	3480	284	182	5,9	102	168	8,9	460	0	7,47	545	753	0,25	2,3	6,5	944	374	570
k2b	8,2	8,16	22	22,5	3580	2800	1792	5,4	104	174	12	450	0	6,76	545	743	0,24	2,1	6,2	977	338	639
k3s	8,2	8,27	22	23	3410	2840	1818	5,8	104	181	6,7	470	0	6,66	559	758	0,18	2,3	6,4	1003	333	670
k3b	8,2	8,25	22,9	22	3380	2840	1818	4,9	105	177	11	460	0	7,37	545	769	0,21	2,2	6,3	989	369	620
k4s	8,2	8,18	22,8	23,7	3450	2830	1811	5,4	104	185	6,1	470	0	6,46	545	766	0,22	2,3	6,4	1020	323	697
k4b	8,2	8,12	22,2	22,3	3350	2870	1837	5,1	107	181	10	460	0	7,27	545	770	0,22	2,2	6,3	1011	364	647
k5	8,2	8,16	22,2	23	3400	2800	1792	5,3	105	176	19	460	0	7,67	532	743	0,18	2,2	6,3	984	384	600
k6	8,2	8	22,4	24	1300	1050	672	7,9	70	54	10	140	0	6,36	136	163	0,6	1,5	3	396	318	78

**Πίνακας 3.2:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου (Οκτώβριος 2013)

Δείγμα	pH		Θερμοκρασία °C		ES(μs/cm)		TDS	DO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Αλκαλικότητα	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	(S.A.R.)	Σκληρότητα		
	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		Ολική	Παροδική	Μόνιμη
k1s	8,6	8,32	21	22	3270	3090	1978	12,5	51	167	12	410	0,1	6,06	559	690	0,1	0,2	6,2	814	303	511
k1b	8,6	8,26	21,3	22,5	3250	3060	1958	10,27	53	168	8,3	390	0,1	6,06	532	690	0,1	0,2	6	823	303	520
k2s	8,6	8,34	21,2	21	3190	3060	1958	10,5	54	166	6,9	430	0,1	6,06	532	660	0,1	0,2	6,5	817	303	514
k2b	8,5	8,19	21	19,5	3170	3090	1978	10,4	51	177	14	390	0,1	5,95	545	680	0,1	0,1	5,8	855	298	557
k3s	8,5	8,26	21,2	19,5	3120	3070	1965	9,33	52	186	6,6	410	0,1	5,85	545	690	0,11	0,1	5,9	895	293	602
k3b	8,5	8,37	21,4	19,5	3240	3070	1965	7,2	56	187	6,5	400	0,1	6,06	545	650	0,12	0,1	5,8	909	303	606
k4s	8,4	8,4	21,3	18,8	3130	3060	1958	8,53	48	165	6,9	390	0,1	5,85	532	660	0,1	0,3	6	799	293	506
k4b	8,4	8,4	21,3	18,5	3220	3060	1958	7	47	168	6,5	400	0,1	6,06	532	670	0,12	0,1	6,1	809	303	506
k5	-	-	-	-		--	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k6	8,1	8,24	21,1	18,5	1930	1910	1222	9	58	78	7,7	250	0,1	6,46	273	342	0,7	0,4	5	465	323	142



**Πίνακας 3.3:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου (Φεβρουάριος 2014)

Δείγμα	pH		Θερμοκρασία °C		ES(μs/cm)		TDS	DO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Αλκαλικότητα	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	(S.A.R.)	Σκληρότητα		
	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	Εργαστήριο	Πεδίο	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		Ολική	Παροδική	Μόνιμη
k1s	8,3	8,53	17	12,5	2520	2340	1498	10,44	73	116	6,2	310	-	6,86	382	462	0,24	-	5,3	658	343	315
k1b	8,4	8,65	16,5	12	2580	2350	1504	10,16	70	111	5,7	330	-	6,76	375	487	0,27	-	5,7	634	338	296
k2s	8,3	8,64	16,3	13	2440	2340	1498	10,2	71	115	5,9	330	-	6,96	382	380	0,27	-	5,6	650	348	302
k2b	8,3	8,5	16,4	12,5	2570	2370	1517	9,4	72	117	5,1	340	-	6,86	382	498	0,27	-	5,7	660	343	317
k3s	8,3	8,35	16,4	12,5	2540	2340	1498	9,7	69	108	5,9	320	-	6,96	382	435	0,28	-	5,6	616	348	268
k3b	8,3	8,46	16,3	13	2540	2370	1517	9	72	114	5,7	330	-	6,86	382	474	0,27	-	5,6	647	343	304
k4s	8,3	8,49	16,4	14	2560	2350	1504	10	70	115	5,8	330	-	6,86	361	427	0,26	-	5,7	648	343	305
k4b	8,3	8,52	16,3	12,3	2530	2380	1523	9,4	71	112	5,7	330	-	6,86	382	500	0,27	-	5,6	636	343	293
k5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k6	8,3	8,65	16,7	14	1190	1150	736	14,5	55	41	30	130	-	5,25	136	142	0,14	-	3,1	307	263	44

**Πίνακας 3.4:** Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών στα δείγματα υδάτων του ταμειευτήρα Καλαμακίου.

Παράμετροι	Περίοδοι δειγματοληψίας		
	30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014
Θερμοκρασία δείγματος (T )	22,39 (22-23)	21,21 (21-21,4)	16,45 (16,3-17)
pH (στη θερμοκρασία του δέρματος)	8,22 (8,2-8,3)	8,51 (8,4-8,6)	8,31 (8,3-8,4)
Αγωγιμότητα στους 25 <sup>0</sup> C	3413,3(3260-3580)	3198,75(3270-3120)	2535 (2440-2580)
TDS	2883 (2800-2880)	1965 (1958-1978)	1507 (1498-1523)
Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	5,5 (4,9-6)	9,47 (7-12,5)	9,79 (9-10,44)
Ασβέστιο (Ca <sup>+2</sup> )	104,44 (102-107)	51,5 (47-56)	71 (69-73)
Μαγνήσιο (Mg <sup>+2</sup> )	177 (168-185)	173 (165-187)	113,5 (108-117)
Κάλιο (K <sup>+</sup> )	10,04 (5,7-19)	8,46(6,5-14)	5,75 (5,1-6,2)
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	462,22 (450-470)	402,5(390-430)	327,5 (310-340)
Αμμωνιακά (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0	0,1	0
Ολική αλκαλικότητα	7,10 (6,46-7,67)	5,99 (5,85-6,06)	6,87 (6,76-6,96)
Χλωροϊόντα (Cl <sup>-</sup> )	543,67 (532-559)	540,25 (532-559)	378,5 (361-382)
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	759 (743-770)	673,75 (650-690)	457,88 (380-500)
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2,21 (2,10-2,30)	0,16 (0,10-0,16)	0
Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	0,2 (0,12-0,25)	0,11 (0,10-0,12)	0,27 (0,24-0,28)
Σχέση προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)	6,36 (6,20-6,50)	6,04 (5,8-6,5)	5,6 (5,3-5,7)
Ολική σκληρότητα	988,33 (944-1020)	840,13 (799-909)	643,63 (616-660)
Παροδική σκληρότητα	355,22 (323-384)	299,88 (293-303)	343,63 (338-348)
Μόνιμη σκληρότητα	633,11 (570-697)	540,25 (506-606)	300 (268-317)

### 3.2. Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν κατά τα έτη 2000-2006 στον Ταμιευτήρα Καλαμακίου καθώς και οι τιμές της παρούσας έρευνας.

**Πίνακας 3.5:** Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου με αποτελέσματα προηγούμενων ετών.

Παράμετροι	Ταμιευτήρας Καλαμακίου							
	2013-2014	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Ηλεκτρ.αγωγιμότητα (EC)	3049	4250	2004	2019	2946	2020	1746	3820
pH	8	9	8	8	8	8	8	8
Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> )	460	762	270	310	482	284	244	180
Ασβέστιο (Ca <sup>+2</sup> )	74	114	52	76	49	54	68	46
Μαγνήσιο (Mg <sup>+2</sup> )	144	243	105	105	161	108	75	160
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	380	560	280	230	382	246	230	226
Ολική Αλκαλικότητα	7	7	6		6			
S. A . R .	6	7	5	4	6	6	5	7
Κατηγορία νερού								
Σκληρ/τα Ολική CaCO <sub>3</sub>	779	1284	559	620	786	579	480	1030
Παροδική -//-	336	337	279	248	244	286	221	300
Μόνιμη -//-	443	947	280	372	542	293	259	730
Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	8	10	9		5		13	8

Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι παραμετρικές τιμές της παρούσας έρευνας σε σύγκριση με αντίστοιχες έρευνες των άλλων ταμιευτήρων της περιοχής. Από την σύγκριση των τιμών παρατηρούμε διαχρονικά πολύ υψηλότερες τιμές σε όλες τις χημικές παραμέτρους στον ταμιευτήρα Καλαμακίου σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες της περιοχής. Οι υψηλότερες τιμές έχουν καταγραφεί το έτος 2006 και οι χαμηλότερες το έτος 2001. Η μεγάλη απόκλιση των τιμών των χημικών παραμέτρων του ταμιευτήρα Καλαμακίου από τους άλλους της περιοχής αποδίδεται πιθανόν στην επαναδιάλυση των αλάτων που είχαν αποθεθεί στο πυθμένα της λίμνης Κάρλας πριν την αποξηρανσή της διότι ο ταμιευτήρας βρίσκεται εντός της λεκάνης μόνιμης κατάκλυσης (φυσική κοίτη) της πρώην λίμνης. Επίσης από την επιβάρυνση των υδάτων της τάφρου T1 με θρεπτικές ουσίες, ως αποτέλεσμα της ρύπανσης από αστικά λύματα και τη γεωργική δραστηριότητα, αφού αποτελεί τον καταληκτικό ταμιευτήρα των εισερχόμενων υδάτων της τάφρου T1 πριν την λίμνη Κάρλα.

Τα στοιχεία των πινάκων 3.5 και 3.6 προέρχονται από τη Δ/νση Υδάτων Περιφέρειας Θεσσαλίας.

Πίνακας 3.6: Στοιχεία ταμιευτήρων περιοχής ΤΟΕΒ Πηνειού (2006-2009)

Παράμετροι	2013-2014	2009				2008				2007			2006			
	Καλαμακίου	Γλαύκης	Δήμητρας	Ελευθέριο	Πλαυκάμπου	Γλαύκης	Δήμητρας	Ελευθέριο	Πλαυκάμπου	Γλαύκης	Δήμητρας	Πλαυκάμπου	Γλαύκης	Δήμητρας	Ελευθέριο	Πλαυκάμπου
Ηλεκτρ.αγωγιμ/τα (EC)	3049	576	838	721	352	565	790	761	545	577	704	780	449	962	466	462
pH	8	8	8	7	9	8	8	8	7	9	8	8	8	8	8	8
Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> )	460	24	72	59	18			65		13	35	8	23	107	38	22
Ασβέστιο (Ca <sup>+2</sup> )	74	68	53	65	25	75	55	58	52	37	60	69	31	42	28	47
Μαγνήσιο (Mg <sup>+2</sup> )	144	24	28	18	19	20	27	27	26	19	22	18	23	46	21	20
Νάτριο (Na <sup>+</sup> )	380	24	83	67	21			67		17	38	12	27	104	40	24
Σύνθετη Αλκαλικότητα		0	0	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0
Ολική Αλκαλικότητα	7	5	5	4	3			5		3	4	4	3	4	3	4
S. A . R .	6	1	2	2	1			2		1	1	0	1	2	1	1
Σκληρ/τα Ολική CaCO <sub>3</sub>	779	270	247	236	142	270	247	254	236	170	237	246	170	295	158	196
Σκληρ/τα Παρροδική CaCO <sub>3</sub>	336	246	231	215	129			247		165	224	224	154	211	155	196
Σκληρ/τα Μόνιμη CaCO <sub>3</sub>	443	24	16	21	13			7		5	13	22	11	97	3	24
Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	8									12	10	9	6,4	9		11

### 3.3 Παρουσίαση Φυσικοχημικών Παραμέτρων

#### 3.3.1 Θερμοκρασία

Οι τιμές της θερμοκρασίας στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμάνθηκαν από 22-23 °C με μέσο όρο 22,39 °C και στην τάφρο T1 ήταν 22,4 °C. Στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμάνθηκαν από 21-21,4 °C με μέσο όρο 21,21 °C, ενώ στην Τάφρο T1 η θερμοκρασία είναι 21,1 °C και στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμάνθηκαν από 16,3-17 °C με μέσο όρο 16,45 °C, ενώ στην Τάφρο T1 έχουμε θερμοκρασία 16,7 °C.

**Πίνακας 3.7:** Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (T)						
	30/5/2013		8/10/2013		26/2/2014	
	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1
Ελάχιστη τιμή	22	-	21	-	16,3	-
Μέγιστη τιμή	23	-	21,4	-	17	-
Μέσος όρος	22,39	22,4	21,21	21,1	16,45	16,7

Παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές θερμοκρασίας εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου (1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> δειγματοληψία) και οι μικρότερες το Φεβρουάριο (3<sup>η</sup> δειγματοληψία). Αυτό είναι φυσικό αφού η θερμοκρασία των φυσικών υδάτων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα την ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Heath 1964, Keery et al 2006).

#### 3.3.2 pH

Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 8,2 - 8,3 με μέση τιμή 8,22 στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, από 8,4 - 8,6 με μέση τιμή 8,51 στη 2<sup>η</sup> και στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία από 8,3 - 8,4 με μέση τιμή 8,31.

Πίνακας 3.8: Στατιστικά στοιχεία pH

pH						
	30/5/2013		8/10/2013		26/2/2014	
	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1
Ελάχιστη τιμή	8,2		8,4		8,3	
Μέγιστη τιμή	8,3		8,6		8,4	
Μέσος όρος	8,22	8,1	8,51	8,3	8,31	8,2

Οι τιμές του pH στον ταμιευτήρα κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα  $>7$  (μέσος όρος pH από 8,22 - 8,31) φανερόντας έτσι τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών του. Οι τιμές αυτές βρίσκονται (ποσοστό 100%) εντός των ορίων που θέτει η ΕΕ με τις οδηγίες 98/83 και 2006/44. Στα περισσότερα φυσικά νερά το pH κυμαίνεται από 6 - 9 (Chapman 1992, Κουϊμτζής 2004). Οι τιμές του pH συγκρινόμενες με τις τιμές των άλλων ταμιευτήρων της περιοχής (Πιν. 3.6) κινούνται στα ίδια επίπεδα. Συγκρινόμενες τώρα με τις τιμές του ίδιου ταμιευτήρα κατά τη χρονική διάρκεια 2000-2006 (Πιν.3.5) παρατηρούμε ότι κυμαίνονται επίσης στα ίδια επίπεδα.

### 3.3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)]

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υδάτων του ταμιευτήρα στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία εμφανίζει ελάχιστη και μέγιστη τιμή 3260 και 3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  αντίστοιχα με μέση τιμή 3413,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Στην 2<sup>η</sup> έχουμε ελάχιστη τιμή 3120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και μέγιστη 3270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  με μέση τιμή 3198,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ενώ στην 3<sup>η</sup> έχουμε ελάχιστη τιμή 2440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , μέγιστη 2580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και μέση τιμή 2532  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Στην τάφρο T1 η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 1190 - 1930  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Πίνακας 3.9:** Στατιστικά στοιχεία αγωγιμότητας

Αγωγιμότητα με αντιστάθμιση στους 25 <sup>0</sup> C						
	30/5/2013		8/10/2013		26/2/2014	
	Ταμιευτήρας	Τάφος T1	Ταμιευτήρας	Τάφος T1	Ταμιευτήρας	Τάφος T1
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	3260		3120		2440	
<b>Μέγιστη τιμή</b>	3580		3270		2580	
<b>Μέσος όρος</b>	3413	1300	3199	1930	2535	1190

Παρατηρούμε μια εποχική διακύμανση των τιμών της αγωγιμότητας με μικρότερες τιμές το Φλεβάρη (3<sup>η</sup> δειγματοληψία με ελάχιστη τιμή τα 2440  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στο δείγμα K2s) και μεγαλύτερες τιμές το καλοκαίρι και το φθινόπωρο (μέγιστη τιμή 3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στο δείγμα K2b).

Σύμφωνα με τον **(Chapman 1992)** η αγωγιμότητα των περισσότερων γλυκών νερών κυμαίνεται από 10 έως 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  αλλά μπορεί να ξεπεράσει και τα 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ειδικά σε ρυπασμένα νερά ή σε εκείνα που λαμβάνουν μεγάλες ποσότητες υδάτων από επιφανειακή απορροή. Από τις μετρήσεις στα σημεία δειγματοληψιών το όριο αυτό ξεπερνιέται, όπως ξεπερνιέται και από το σύνολο των δειγμάτων (ποσοστό 100%) η ανώτατη παραμετρική τιμή των 2500 mg/l της οδηγίας 98/83EE για το πόσιμο νερό. Αυτό συνδέεται πιθανόν με την εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας αφού η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση των αλάτων και κατά συνέπεια αύξηση της αγωγιμότητας. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1<sup>0</sup>C προκαλεί αύξηση της EC κατά 2% περίπου **(Κελεπερτζής 2007)**.

Συγκρίνοντας τις τιμές της αγωγιμότητας της παρούσας έρευνας με τιμές προηγούμενων ετών (Πιν 3.5) παρατηρούμε ότι στον ταμιευτήρα του Καλαμακίου η αγωγιμότητα βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα εκτός από τα έτη 2000 και 2006.



Σε σχέση με τις τιμές αγωγιμότητας των άλλων ταμιευτήρων της περιοχής (Πιν 3.6) παρατηρούμε η αγωγιμότητα του ταμιευτήρα κυμαίνεται στα πολύ υψηλότερα επίπεδα.

### 3.3.4 Συνολικά διαλυμένα στερεά( TDS)

Οι τιμές των TDS στα νερά του ταμιευτήρα Καλαμακίου κυμαίνονται από 2800-2880 mg/l με μέση τιμή 2883 mg/l στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, από 1958-1978 mg/l με μέση τιμή τα 1965 mg/l στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία και στην 3<sup>η</sup> έχουμε τιμές TDS που κυμαίνονται από 1498-1523 mg/l με μέση τιμή τα 1507 mg/l. Στην τάφρο T1 οι τιμές των TDS κυμαίνονται από 672-1222 mg/l.

**Πίνακας 3.10:** Στατιστικά στοιχεία TDS

TDS						
	30/5/2013		8/10/2013		26/2/2014	
	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1
Ελάχιστη τιμή	2800		1958		1498	
Μέγιστη τιμή	2880		1978		1523	
Μέσος όρος	2883	672	1965	1222	1507	763

Παρατηρούμε μια μείωση των συγκεντρώσεων των TDS από την 1<sup>η</sup> προς την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Οι μεγαλύτερες τιμές των συγκεντρώσεων των TDS παρατηρούνται το Μάιο και μειώνονται αρκετά το Φλεβάρη.

### 3.3.5 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου για τα νερά του ταμιευτήρα κυμαίνονται από 4,9-6 mg/l, με μέση τιμή 5,5 mg/l στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, από 7-12,5 με μέση τιμή τα 9,47 mg/l στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία και από 9-10,44 με μέση τιμή τα 9,79 mg/l στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία.. Στην τάφρο T1 οι τιμές κυμαίνονται από 7,9-14,5 mg/l. Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου εμφανίζονται στην 2<sup>η</sup> και στην

3<sup>η</sup> δειγματοληψία (Οκτώβριο και Φεβρουάριο). Αυτό είναι φυσικό καθώς οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό (**Βασιλικιώτης 1989**).

**Πίνακας 3.11:** Στατιστικά στοιχεία διαλυμένου οξυγόνου (DO)

Διαλυμένο οξυγόνο (DO)						
	30/5/2013		8/10/2013		26/2/2014	
	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1	Ταμιευτήρας	Τάφρος T1
Ελάχιστη τιμή	4.9		7		9	
Μέγιστη τιμή	6		12.5		10.44	
Μέσος όρος	5.5	7.9	9.47	9	9.8	14.5

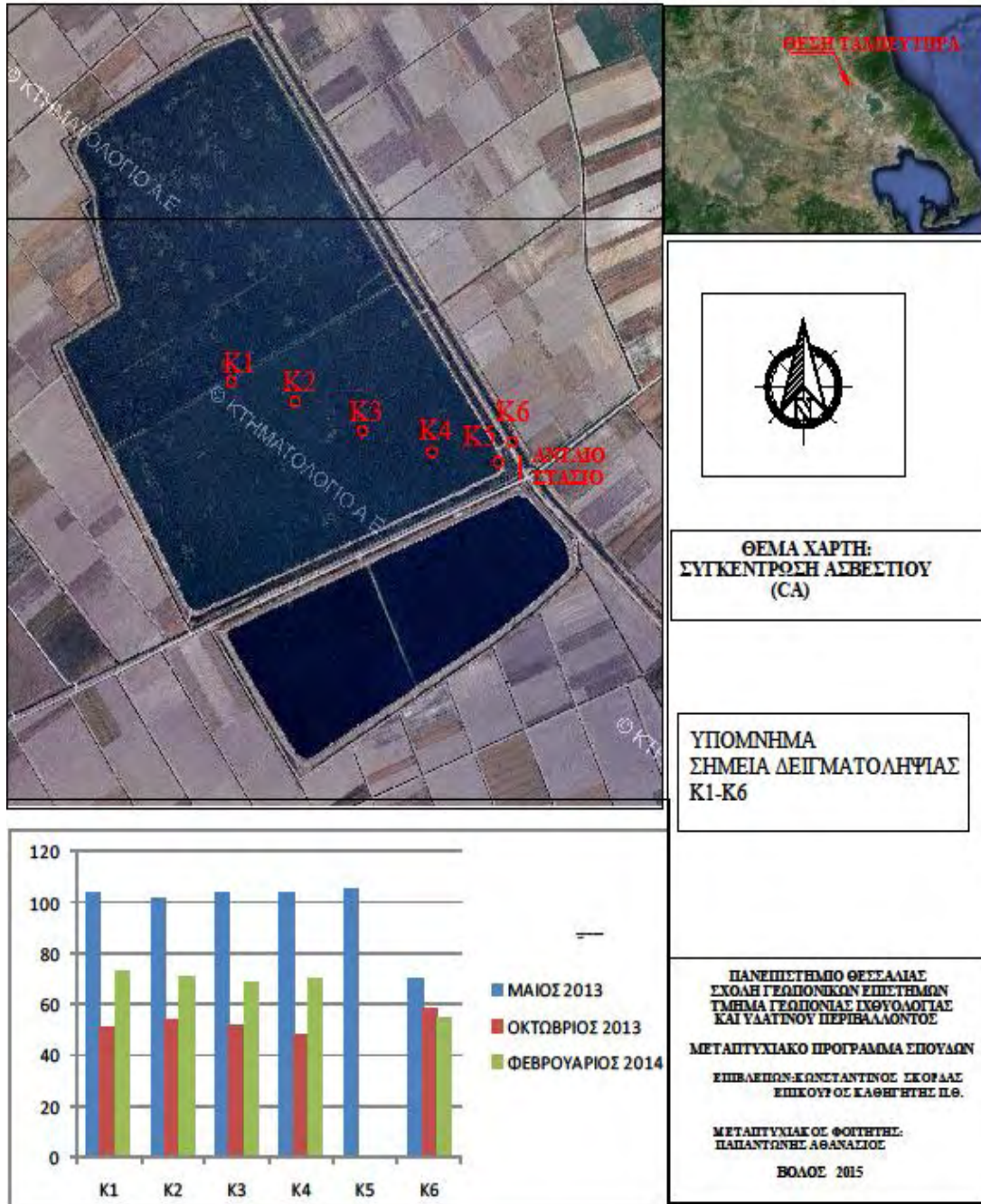
Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες της περιοχής (Πιν.3.6). Συγκρινόμενες τώρα οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στον ταμιευτήρα με τις αντίστοιχες του κατά τη χρονική διάρκεια 2000-2006 (Πιν.3.5) παρατηρούμε ότι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα εκτός από το έτος 2001 όπου έχουμε αύξηση.

### 3.3.6 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{+2}$ )

Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 102-107 mg/l με μέση τιμή τα 104,44 mg/l στη 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, από 47-56 mg/l με μέση τιμή 51,5 mg/l στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία και στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία έχουμε ελάχιστη τιμή 69 και μέγιστη 73 mg/l με μέση τιμή 71 mg/l. Παρατηρούμε μια μείωση των τιμών της συγκέντρωσης του ασβεστίου στη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία σε σχέση με την 1<sup>η</sup> και στη συνέχεια έχουμε μικρή αύξηση (3<sup>η</sup> δειγματοληψία, Φεβρουάριος). Στα δείγματα της τάφρου T1 παρατηρούμε μείωση των τιμών από την 1<sup>η</sup> προς την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Οι τιμές αυτές ξεπερνούν την ενδεικτική των 100 mg/l της ΕΕ για το πόσιμο νερό (98/83) στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία (Μάιος 2013) σε ποσοστό 100%.

Η μέση τιμή (76 mg/l) των ιόντων του ασβεστίου στον ταμιευτήρα κινείται σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες της ευρύτερης περιοχής με εξαίρεση το έτος 2006, αλλά και με τιμές προηγούμενων ετών του ίδιου για τα έτη 2000-2006.

Το ασβέστιο υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά. Προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό (**Νταρακάς 2014**) και σύμφωνα με τον **Βασιλικιώτης 1989** πιθανή προέλευση θεωρείται η διαλυτοποίηση των ασβεστούχων ορυκτών της περιοχής

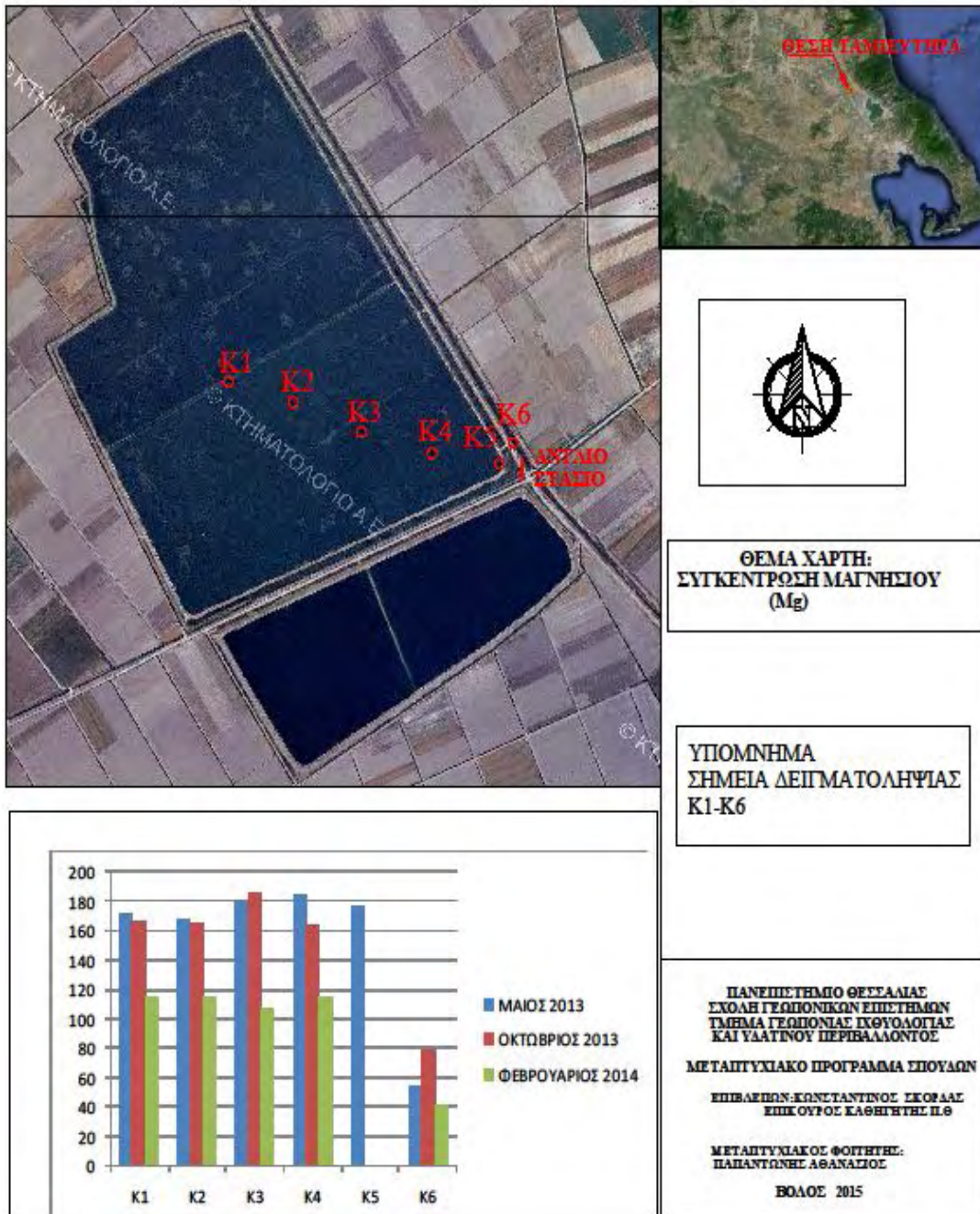


**Εικόνα 3.1:** Συγκέντρωση ιόντων Ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) του ταμιευτήρα Καλαμακίου

### 3.3.7 Μαγνήσιο ( $Mg^{+2}$ )

Η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 168 έως 185 mg/l με μέση τιμή 177 mg/l στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία. Στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία οι τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου κυμαίνονται από 165-187 mg/l με μέση τιμή 173 mg/l ενώ στην 3<sup>η</sup> έχουμε ελάχιστη τιμή 108 mg/l και μέγιστη 117 mg/l με μέση τιμή 113,5 mg/l. Στην τάφρο T1 οι τιμές των  $Mg^{+2}$  κυμαίνονται από 41-78 mg/l. Παρατηρούμε ότι στις δυο πρώτες δειγματοληψίες δεν έχουμε διακύμανση των μέσων τιμών του μαγνησίου (1<sup>η</sup> δειγματοληψία 177mg/l, 2<sup>η</sup> δειγματοληψία 173mg/l) ενώ, στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία παρατηρείτε αισθητή μείωση των τιμών. Όλα τα δείγματα του ταμιευτήρα (ποσοστό 100%) καθώς και της Τάφρου T1 υπερβαίνουν το ενδεικτικό επίπεδο των 30 mg/l καθώς και την ανωτάτη παραδεκτή τιμή συγκέντρωσης των 50 mg/l που θέτει η ΕΕ ως όριο για το πόσιμο νερό (**98/83/ΕΕ**). Σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες της περιοχής, οι τιμές των ιόντων του μαγνησίου εμφανίζονται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα ενώ συγκρινόμενες με τις τιμές του ταμιευτήρα για τα έτη 2000-2006 κινούνται σε παρόμοια επίπεδα με εξαίρεση το 2006. Η ύπαρξη μεγάλων συγκεντρώσεων ιόντων μαγνησίου στα νερά του ταμιευτήρα πιθανών να οφείλεται στην διείσδυση θαλασσινού νερού στο υπέδαφος.

Η παρουσία των ιόντων μαγνησίου οφείλεται στις διεργασίες αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών Ασβεστίτη ( $CaCO_3$ ) και Δολομίτη [ $CaMg(CO_3)_2$ ] των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής (**Parinet et al. 2004, Swanson et al. 2006**).



**Εικόνα 3.2:** Συγκέντρωση ιόντων Μαγνησίου ( $Mg^{+2}$ ) του ταμειτήρα Καλαμακίου

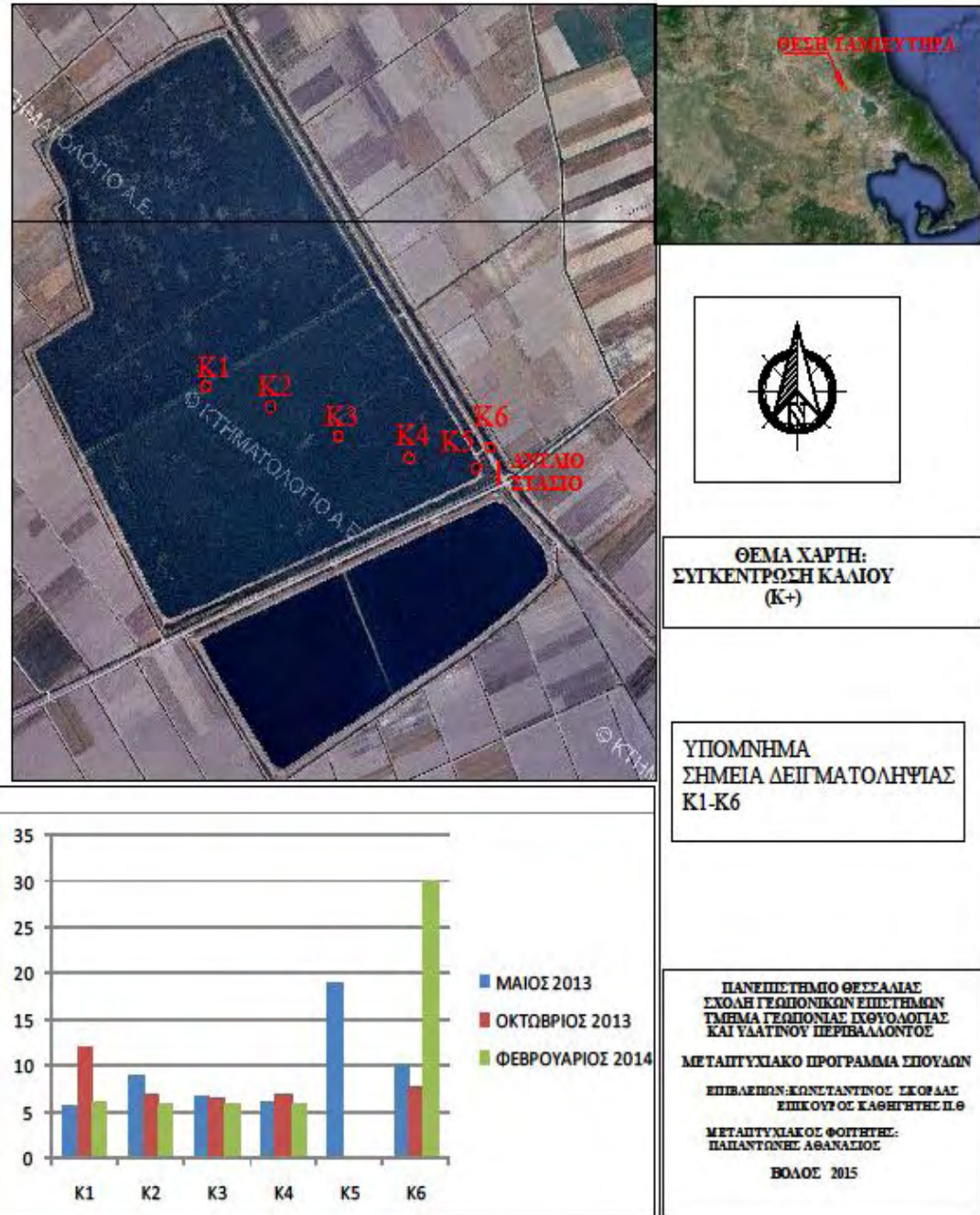
### 3.3.8 Κάλιο (K<sup>+</sup>)

Η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται στην 1<sup>η</sup> περίοδο δειγματοληψίας από 5,7 έως 19 mg/l με μέση τιμή 10,04 mg/l, στη 2<sup>η</sup> από 6,5 έως 14 mg/l με μέση τιμή 8,46 mg/l και στη 3<sup>η</sup> από 5,1 έως 6,2 mg/l με μέση τιμή 5,75 mg/l. Στην τάφρο T1 οι συγκεντρώσεις των ιόντων καλίου κυμαίνονται από 7,7 - 30 mg/l. Γενικά δεν παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του καλίου. Οι μικρότερες τιμές βέβαια παρατηρούνται στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία (Φεβρουάριος).

Σε όλα τα δείγματα του ταμιευτήρα (ποσοστό 100%) δεν παρατηρείτε υπέρβαση του ανώτερου επιτρεπτού ορίου των 12 mg/l (98/83της ΕΕ) για το πόσιμο νερό, με εξαίρεση το δείγμα K6 της τάφρου T1 στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Πιθανόν να οφείλεται σε ανθρωπογενή επίδραση.

Το κάλιο είναι ένα στοιχείο σε αφθονία στη φύση, καθώς βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια, όμως, η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει τα 20 mg/l. Επίσης, το κάλιο σχετίζεται και με τα καλιούχα λιπάσματα. Όσον αφορά τις επιπτώσεις του στην υγεία του ανθρώπου, δεν έχουν αναφερθεί συγκεκριμένα προβλήματα (Νταρακάς 2010).





**Εικόνα 3.3:** Συγκέντρωση ιόντων Καλίου (K<sup>+</sup>) στα νερά του ταμειυτήρα Καλαμακίου

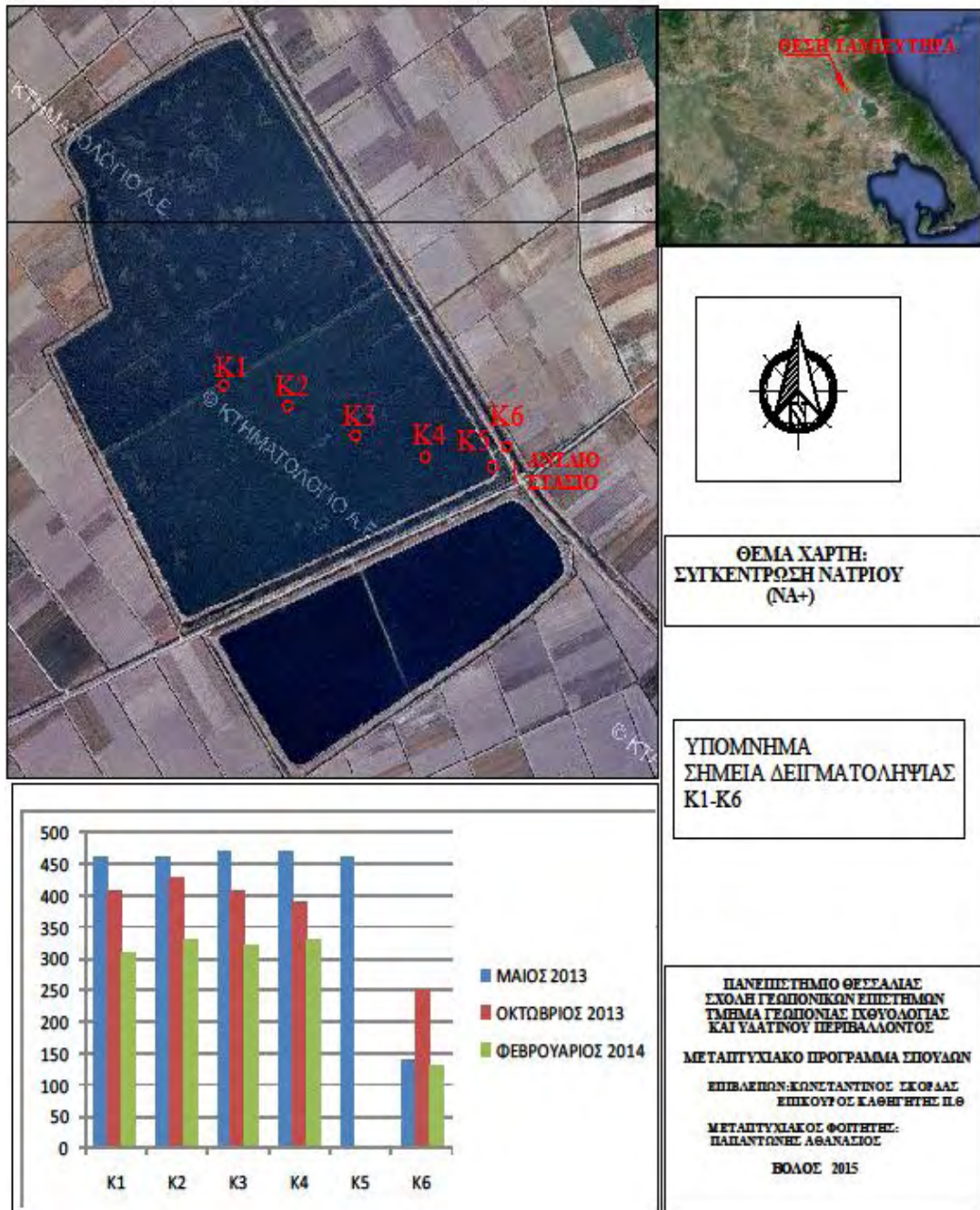


### 3.3.9 Νάτριο (Na<sup>+</sup>)

Η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμαίνεται από 450-470 mg/l με μέση τιμή 462,22 mg/l, στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμαίνεται από 390-430 mg/l με μέση τιμή 402,5 mg/l και στην 3<sup>η</sup> έχουμε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 310-340 mg/l. Αντίστοιχα οι συγκεντρώσεις των ιόντων του νατρίου για την τάφρο T1 κυμαίνονται μεταξύ 130-250 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου από την 1<sup>η</sup> δειγματοληψία (μέση τιμή 402,5mg/l) προς την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία (327,5mg/l). Στο σύνολο τους τα δείγματα του ταμιευτήρα (ποσοστό 100%) υπερβαίνουν την ανώτατη παραμετρική τιμή των 200 mg/l (98/83 ΕΕ). Βέβαια στην Τάφρο T1 οι τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου είναι αρκετά μικρότερες από ότι στον ταμιευτήρα.

Οι τιμές σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες της περιοχής τα ιόντα νατρίου του ταμιευτήρα Καλαμακίου κινούνται σε υψηλά επίπεδα εκτός από τον ταμιευτήρα Δήμητρας για το 2006. Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των ιόντων του ταμιευτήρα Καλαμακίου στα έτη 2000 - 2006 βλέπουμε μεγάλη αύξηση των τιμών το 2006.

Το νάτριο είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο και λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1 - 500 mg/l.



**Εικόνα 3.4:** Συγκέντρωση ιόντων Νατρίου (Na<sup>+</sup>) στα νερά του ταμιευτήρα Καλαμακίου

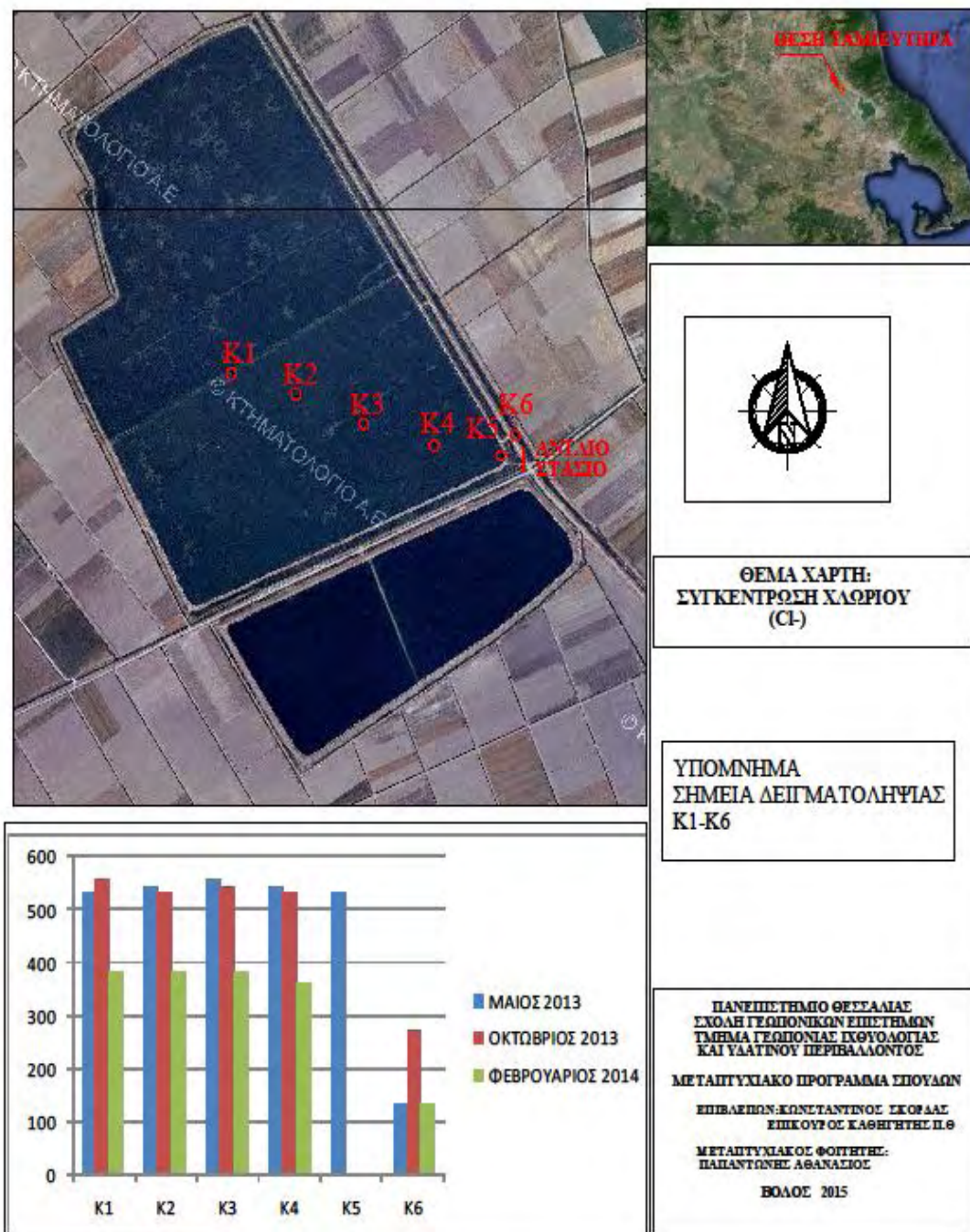
### 3.3.10 Χλώριο (Cl)

Παρατηρούμε μείωση των τιμών των συγκεντρώσεων των ιόντων χλωρίου από την 1<sup>η</sup> προς την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Στις δυο πρώτες δειγματοληψίες ο μέσος όρος των τιμών των συγκεντρώσεων των ιόντων χλωρίου κυμαίνεται μεταξύ 540,25 και 543,57 mg/l ενώ στην 3<sup>η</sup> έχουμε μέση τιμή 378,50 mg/l. Στην τάφρο T1 οι τιμές κυμαίνονται από 136-273 mg/l. Όλα τα δείγματα του ταμιευτήρα σε ποσοστό 100% ξεπερνούν το όριο των 250mg/l για το πόσιμο νερό(98/83 ΕΕ) με εξαίρεση τα δείγματα της τάφρου T1.

Η μέση τιμή των Cl σε σχέση με τις μέσες τιμές των άλλων ταμιευτήρων της περιοχής κινείται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα. Συγκρίνοντας τις τιμές της έρευνας με τις αντίστοιχες της περιόδου 2000-2006 στον ίδιο ταμιευτήρα παρατηρούμε ότι κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών εκτός από το έτος 2006.

Τα χλωριούχα ιόντα είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τη διάβρωση των πετρωμάτων. Είναι πολύ ευδιάλυτα και εισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και τους ωκεανούς (Νταρακάς 2014). Σε μικρότερο βαθμό η παρουσία ιόντων χλωρίου πιθανόν να οφείλεται και σε οικιακά απόβλητα (π.χ. αεροζόλ, κ.λ.π.) τα οποία φτάνουν στον ταμιευτήρα μέσω της απορροής των επιφανειακών υδάτων (Boari 1997, Xue 2003 ).

Το χλώριο προέρχεται από τη διάβρωση ιζηματογενών πετρωμάτων, τα οποία περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, από εβαπορίτες, καθώς και από θερμές Πηγές (Βουδούρης, 2009, Νταρακάς, 2010).



Εικόνα 3.5: Συγκέντρωση ιόντων Χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) στα νερά του ταμιευτήρα Καλαμακίου

### 3.3.11 Θεϊκά ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

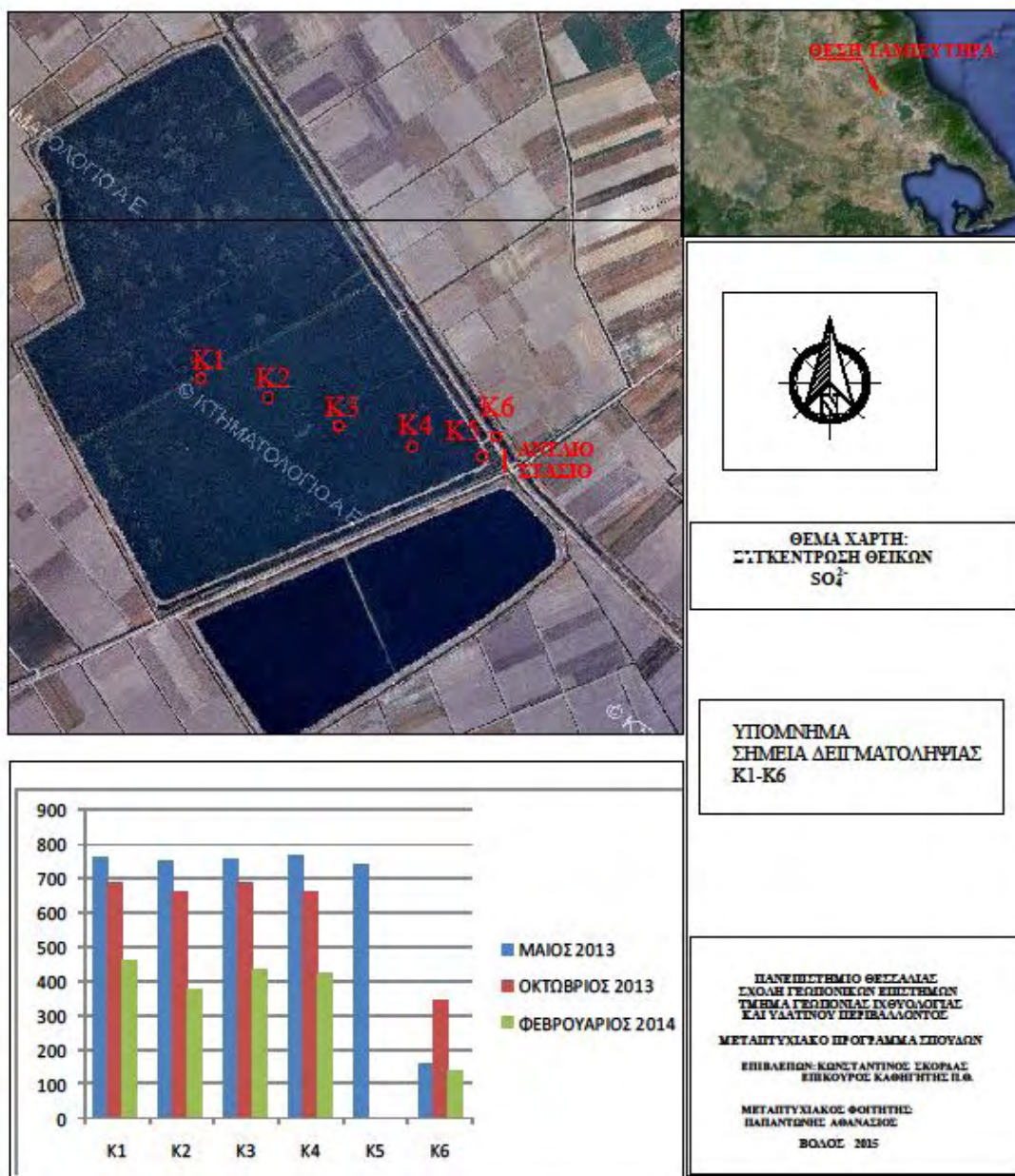
Οι συγκεντρώσεις των θεϊκών ιόντων στα νερά του ταμιευτήρα κυμαίνονται μεταξύ των 743 και 770 mg/l με μέση τιμή 759 mg/l στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, 650 και 690 mg/l με μέση τιμή 673,75 mg/l στη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία και στην 3<sup>η</sup> έχουμε συγκεντρώσεις μεταξύ των 380 και 500 mg/l με μέση τιμή 457,88 mg/l. Παρατηρούμε μείωση των τιμών των συγκεντρώσεων των θεϊκών ιόντων από την 1<sup>η</sup> στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία με τα μεγαλύτερα επίπεδα τιμών να εμφανίζονται το Μάιο (1<sup>η</sup> δειγματοληψία) και τα μικρότερα το Φεβρουάριο (3<sup>η</sup> δειγματοληψία). Οι τιμές για όλα τα δείγματα (ποσοστό 100%) ξεπερνούν την ανώτερη παραμετρική τιμή των 250 mg/l για το πόσιμο νερό (98/83). Στην Τάφρο T1 οι τιμές κυμαίνονται από 142-342 mg/l, αρκετά μικρότερες σε σχέση με τις τιμές του ταμιευτήρα.

Κύρια πηγή των θεϊκών ιόντων στα φυσικά νερά είναι το νερό της βροχής. Άλλες πιθανές πηγές θεϊκών ιόντων είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θεϊκό ασβέστιο ή θεϊκό πυρίτιο. **(Νταρακάς 2014)**.

Νερά με συγκεντρώσεις θεϊκών ιόντων άνω των 250 mg/l, καθιστούν τη χρήση τους προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για προβλήματα οσμών και διαβρώσεων **(Βουδούρης 2006)**. Επίσης, η προέλευση των θεϊκών ιόντων πιθανόν να οφείλεται στις αγροτικές αρδεύσεις και τα γεωργικά λιπάσματα πλούσια σε θεϊκές ενώσεις **(Boari 1997, Swanson et al. 2006)**.

Κύρια προέλευση των θεϊκών ανιόντων είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θεϊκών λιπασμάτων τύπου  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα. Όταν το νερό αποκτήσει περιεκτικότητα σε θεϊκά ανιόντα μεγαλύτερη των 250 mg/L, τότε αυτό καθίσταται προβληματικό στη χρήση και πόση **(Βουδούρης, 2009)**.





**Εικόνα 3.6:** Συγκεντρώσεις Θεικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ) των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου και των τριών περιόδων δειγματοληψίας

### 3.3.12 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση των 50 mg/l, για τα πόσιμα νερά με βάση την οδηγία 98/83 της Ε.Ε.

Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία οι τιμές αυτές των συγκεντρώσεων δεν θεωρούνται υψηλές (**Jarvie et al 1998, EE**). Βέβαια στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία ξεπερνούν το όριο των 0,1 mg/l που υποδεικνύει ο **Meybeck 1982 & 89** ως μέση συγκέντρωση για ρυπασμένα ποτάμια, αλλά είναι κάτω από το όριο των 0,4 mg/l που προτείνει ο **Chapman το 1992** ως όριο για τα υποβαθμισμένα επιφανειακά νερά.

### 3.3.13 Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ιόντων των νερών του ταμιευτήρα για την 1<sup>η</sup> δειγματοληψία κυμαίνονται από 0,12 έως 0,25 mg/l με μέση τιμή 0,2 mg/l, στην 2<sup>η</sup> έχουμε συγκεντρώσεις από 0,10 έως 0,12 mg/l με μέση τιμή 0,11 mg/l και στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων κυμαίνονται από 0,24 έως 0,28 mg/l με μέση τιμή 0,27 mg/l. Στην τάφρο T1 οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων κυμαίνονται από 0,6-0,14 mg/l. Αυξημένες τιμές παρατηρούνται στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία (Φεβρουάριος)

### 3.3.14 Αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ )

Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα νερά του ταμιευτήρα καθώς και της τάφρου είναι αμελητέες και κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει τα 0,5 mg/l, ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε.

Η παρουσία  $\text{NH}_4^+$  είναι δείκτης άμεσης ρύπανσης ενώ η ύπαρξη  $\text{NO}_3^-$  δείχνει ότι η ρύπανση δεν είναι πρόσφατη (**Stambuk -Giljanovic 2006**).

### 3.3.15 Αλκαλικότητα ( $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ )

Η ολική αλκαλικότητα στα νερά του ταμιευτήρα Καλαμακίου κυμαίνεται από 6,46 -7,67 με μέση τιμή 7,10 στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, μεταξύ 5,85 και 6,06 με μέση τιμή 5,99 στη 2<sup>η</sup> και από 6,76-6,96 με μέση τιμή 6,87 στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Στην τάφρο T1 οι τιμές αλκαλικότητας κυμαίνονται από 5,25-6,36.

### 3.3.16 Σκληρότητα

Για τον ταμιευτήρα Καλαμακίου οι τιμές της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας για τις τρεις περιόδους δειγματοληψίας δίνονται στον παρακάτω Πίνακα. Στην παρούσα έρευνα η διακύμανση των τιμών της ολικής κυμαίνονται από 944-1020 mgCaCO/l στην 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, από 799-909 mgCaCO/l στην 2<sup>η</sup> και από 616-660 mgCaCO/l στην 3<sup>η</sup> δειγματοληψία. Στην τάφρο T1 η ολική σκληρότητα κυμαίνεται μεταξύ των 307 και 465mg CaCO/l.

**Πίνακας 3.7:** Τιμές σκληρότητας για τα ύδατα του Ταμιευτήρα Καλαμακίου των 3<sup>ων</sup> περιόδων δειγματοληψίας (ολική, παροδική, μόνιμη).

Δείγμα	Σκληρότητα (mgCaCO/l)								
	Ολική			Παροδική			Μόνιμη		
	30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014	30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014	30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014
<b>K1s</b>	968	814	658	343	303	343	625	511	315
<b>K1b</b>	999	823	634	369	303	338	630	520	296
<b>K2s</b>	944	817	650	374	303	348	570	514	302
<b>K2b</b>	977	855	660	338	298	343	639	557	317
<b>K3s</b>	1003	895	616	333	293	348	670	602	268
<b>K3b</b>	989	909	647	369	303	343	620	606	304
<b>K4s</b>	1020	799	648	323	293	343	697	506	305
<b>K4b</b>	1011	809	636	364	303	343	647	506	293
<b>K5</b>	984	799	-	384	-	-	600	-	-
<b>K6</b>	396	465	307	318	323	263	78	142	44



Τα νερά ανάλογα με την ολική τους σκληρότητα ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες. Η σκληρότητα εκφράζεται σε ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$ (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας **(Μήτρακας 2001, Βουδούρης 2006)**

**Πίνακας 3.8:** Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

Σκληρότητα		
Περιγραφή	meq / l	mg / l $\text{CaCO}_3$
Μαλακό	< 1	< 50
Μετρίως σκληρό	1 – 3	50 – 150
Σκληρό	3 – 6	150 – 300
Πολύ σκληρό	> 6	> 300

Πηγή: Masters M. Gilbert, 1998

Η ταξινόμηση του νερού του ταμιευτήρα φαίνεται στον Πίνακα 3.9 και έγινε βάσει των ορίων σκληρότητας, όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 3.8. Έτσι με βάση τα στοιχεία αυτά φαίνεται ότι τα νερά της ταμιευτήρα Καλαμακίου κατατάσσονται στην κατηγορία των πολύ σκληρών νερών.

**Πίνακας 3.9:** Χαρακτηρισμός των υδάτων του ταμιευτήρα με βάση την ολική σκληρότητα.

Δείγμα	Σκληρότητα (mgCaCO/l)			Χαρακτηρισμός του νερού			
	Ολική			Μαλακό	Μέτρια Σκληρό	Σκληρό	Πολύ Σκληρό
	30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014				
<b>K1s</b>	968	814	658				√
<b>K1b</b>	999	823	634				√
<b>K2s</b>	944	817	650				√
<b>K2b</b>	977	855	660				√
<b>K3s</b>	1003	895	616				√
<b>K3b</b>	989	909	647				√
<b>K4s</b>	1020	799	648				√
<b>K4b</b>	1011	809	636				√
<b>K5</b>	984	799	-				√
<b>K6</b>	396	465	307				√

Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l ισοδύναμο CaCO<sub>3</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/l. Τα πολύ σκληρά νερά υφίστανται αποσκλήρυνση συνήθως με τη μέθοδο της ιοντοεναλλαγής ή αναμιγνύονται με πιο μαλακά νερά (Νταρακάς 2014).

Παρ' ότι δεν έχει αποδειχθεί σύνδεση της σκληρότητας με δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων (μόνο μειονεκτήματα από αισθητικής απόψεως λόγω της γεύσης), υπάρχουν υποψίες για σύνδεση των υπερβολικά υψηλών τιμών σκληρότητας υδάτων με φαινόμενα ουρολιθίασης, θνησιμότητας, μορφών καρκίνου και καρδιαγγειακών παθήσεων (Durvey et al, 1991).

### 3.4 Ταξινόμηση των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου

Η ταξινόμηση σε κατηγορίες ή σε ομάδες των νερών ανάλογα με τη φυσικοχημική σύστασή τους, βάσει των ιοντικών συγκεντρώσεων και το είδος και την ποσότητα των αλάτων που περιέχονται στα νερά, είναι αναγκαία ώστε να μελετηθούν τα νερά των

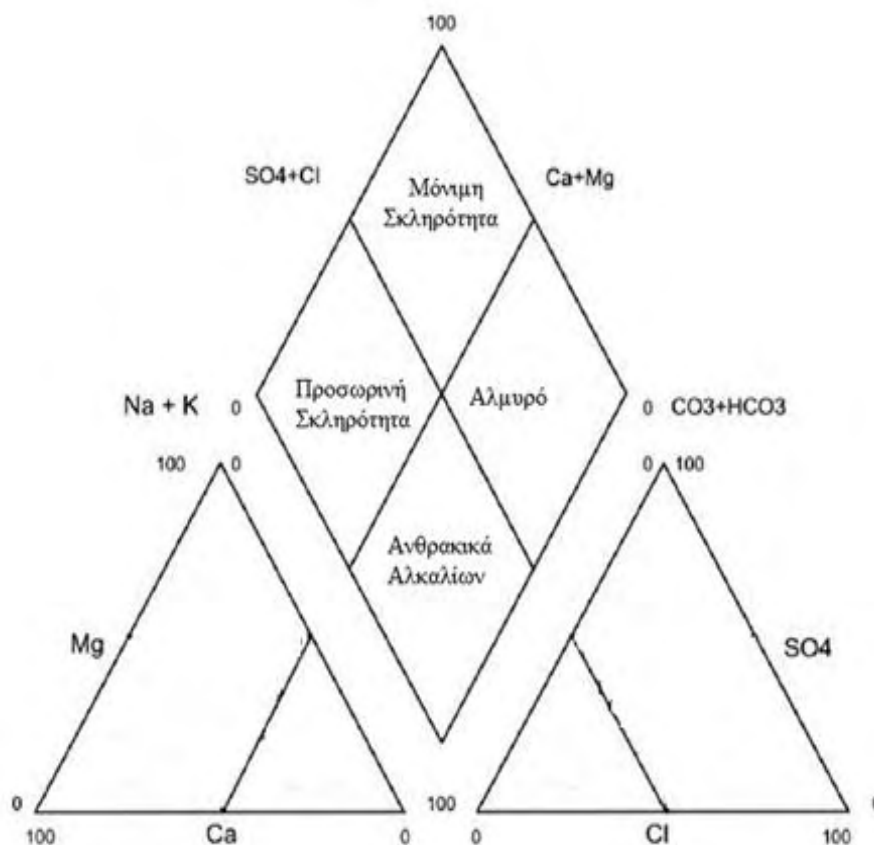
υδρολογικών λεκανών και υδροφορέων. Μας παρέχει πληροφορίες για τη γενική σύνθεση του νερού και βοηθά να επισημανθούν οι διαφοροποιήσεις και να αναζητηθούν τα αίτια ρύπανσης, ανάμειξης με λύματα και απόβλητα βιομηχανιών, οικιστικών, τουριστικών, αγροτικών και άλλων δραστηριοτήτων, καθώς και να επισημανθούν υπεραντλήσεις, εξάντληση ή μη των υδροφοριών, αναμειξεις με θαλασσινό νερό. Ο **Piper (1944)** πρότεινε τριγωνικά διαγράμματα στα οποία μπορεί να ερμηνευθεί η ανάμειξη νερών διαφορετικής προέλευσης και σύστασης και να αναγνωριστεί η διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την κίνηση του νερού.

### 3.4.1 Διάγραμμα Piper

Το διάγραμμα δημιουργήθηκε από τον **Piper (1944)** και αναδιαμορφώθηκε από τους **Davis S.De Wiest R.(1967)** και **Fetter C.W.(1994)**. Αποτελεί μια σχετικά απλή και γρήγορη μέθοδο για την κατηγοριοποίηση και σύγκριση διαφόρων τύπων νερού, η οποία στηρίζεται στην ιοντική σύσταση των επιμέρους δειγμάτων (**Αλεξάκης 2011**).

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή είναι αυτή στο Σχήμα. 3.1. Τα διαγράμματα Piper είναι συνδυασμός τριγώνων κατιόντων και ανιόντων που βρίσκονται σε μια κοινή βασική γραμμή. Οι γειτονικές πλευρές των δυο τριγώνων βρίσκονται σε μια κοινή βασική γραμμή. Οι γειτονικές πλευρές των δυο τριγώνων βρίσκονται  $60^0$  χωριστά. Ένα σχήμα διαμαντιού μεταξύ αυτών χρησιμοποιείται για επανασχεδιασμό των αναλύσεων ως κύκλων των οποίων οι επιφάνειες είναι ανάλογες των ολικών διαλυμένων στερεών τους. Το μέρος διαμαντιού ενός διαγράμματος Piper μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό διαφόρων τύπων νερού. Νερό που σχεδιάζεται στην κορυφή διαμαντιού είναι πλούσιο σε  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ , και  $SO_4^{-2}$  που καταλήγει σε μια περιοχή μόνιμης σκληρότητας. Νερό που σχεδιάζεται στην αριστερή γωνία είναι πλούσιο σε  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  και  $HCO_3^-$  και είναι νερό προσωρινής σκληρότητας. Νερό τώρα που προβάλλεται στην χαμηλότερη γωνία του διαμαντιού αποτελείται

κυρίως από ανθρακικά αλκάλια (πλούσιο σε  $\text{Na}^+$  και  $\text{HCO}_3^-$ ) ενώ νερό που βρίσκεται κοντά στη δεξιά πλευρά του διαμαντιού θεωρείται αλμυρό και είναι πλούσιο σε  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , και  $\text{SO}_4^{2-}$  (Κελεπερτζής 2007, Τσακίρης 2010).



**Σχήμα 3.7:** Διάφοροι τύποι νερού στο τμήμα διαμαντιού του διαγράμματος Piper.

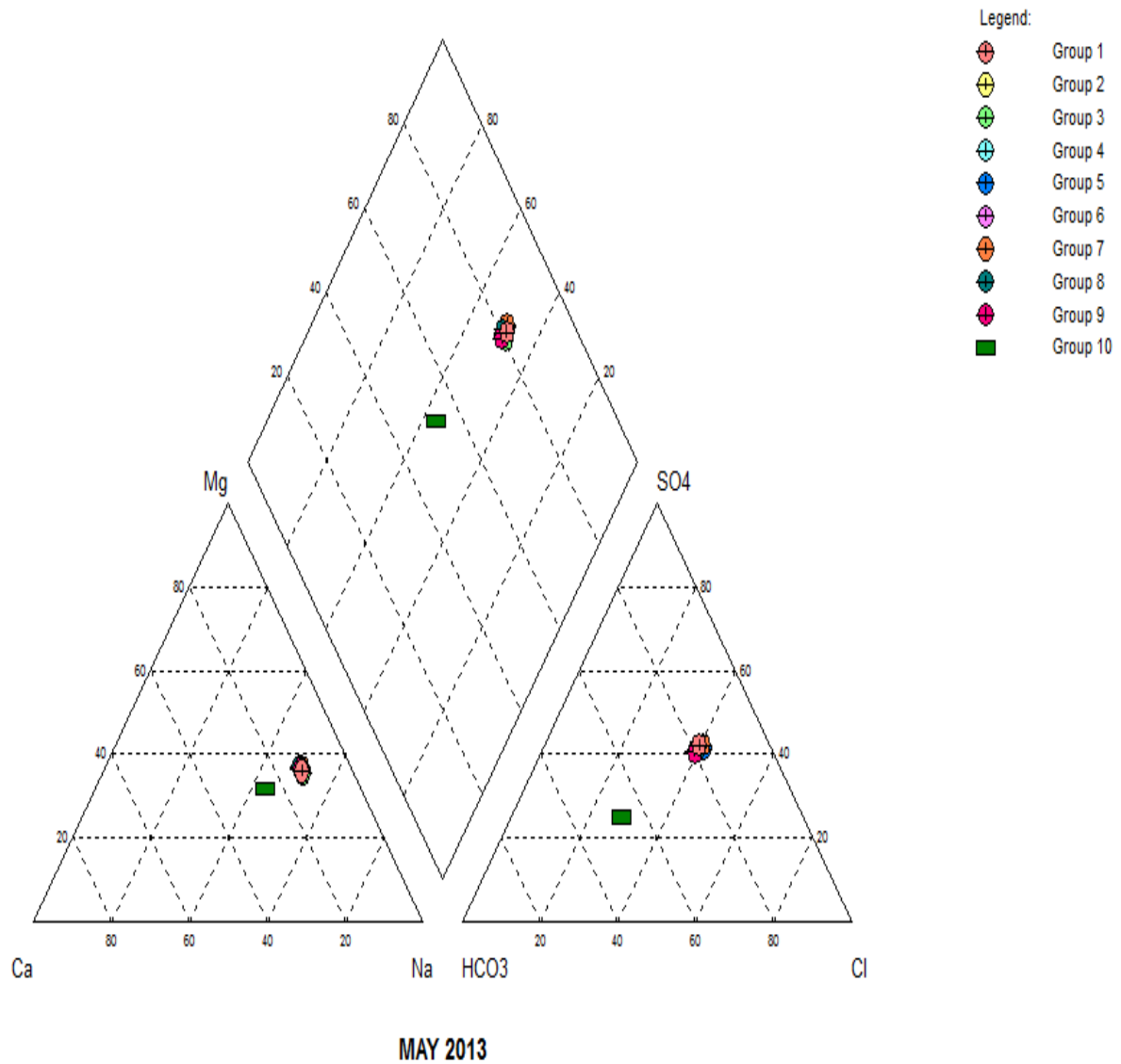
Η προβολή των δειγμάτων των υδάτων του ταμειυτήρα Καλαμακίου στο διάγραμμα Piper μας δίνει τους παρακάτω τύπους νερού:  $\text{Na-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Cl-SO}_4$  και  $\text{Na-Mg-Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ . Στην Τάφρο T1(δείγμα K6) οι τύποι νερού είναι οι ακόλουθοι:  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ ,  $\text{Na-Mg-Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ . Στα Σχήματα 3.8-11 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των υδάτων του ταμειυτήρα και της τάφρου T1 με βάση τα

διαγράμματα Piper και στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται οι υδροχημικοί τύποι των υδάτων των υδάτων του ταμιευτήρα και της τάφρου T1.

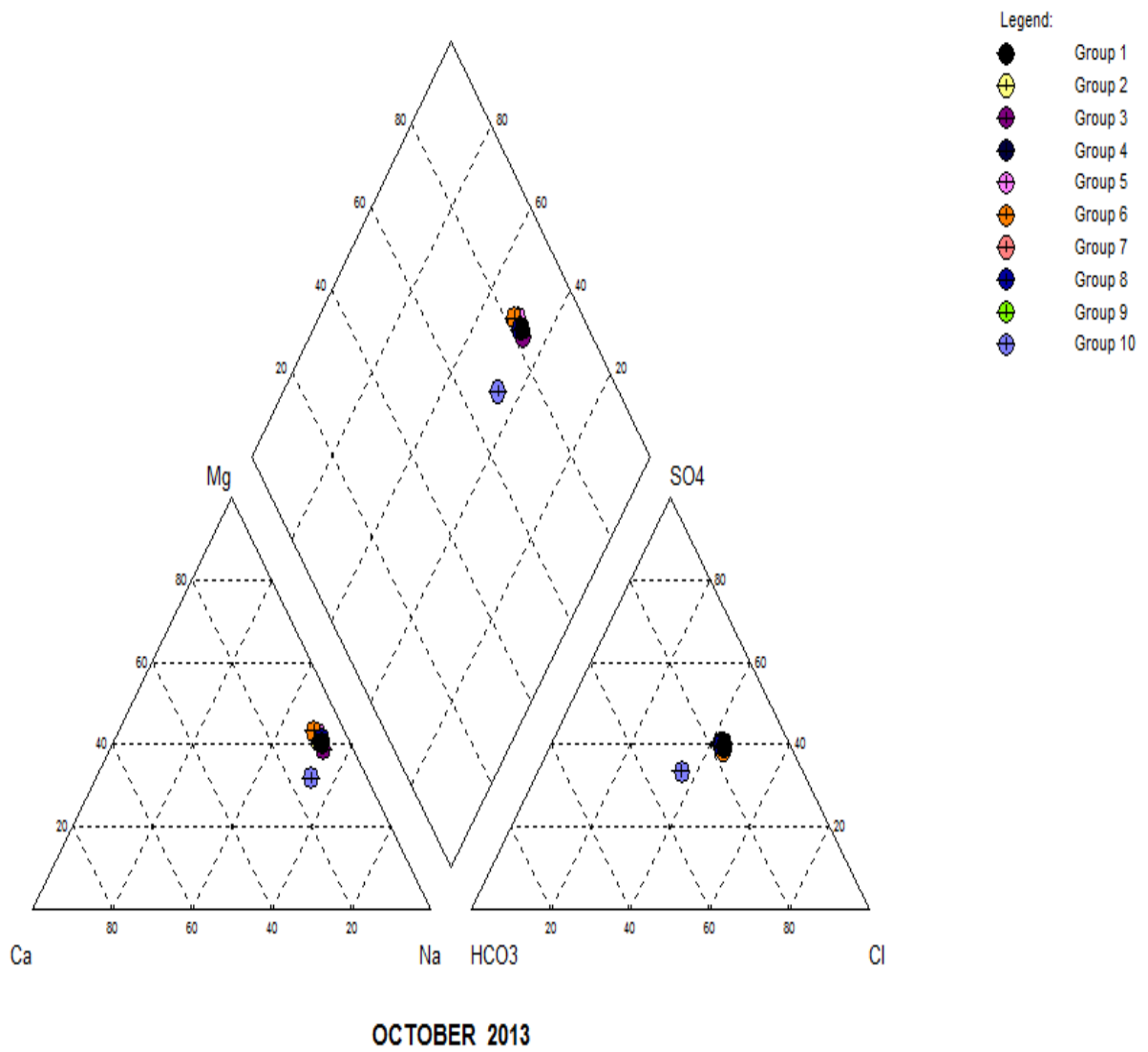
Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Aquachem 3.6 (Παράρτημα I).

**Πίνακας 3.10:** Σύνθεση επικρατούντων ιόντων και υποθετική συνάθροιση αλάτων στα υδατικά δείγματα του ταμιευτήρα Καλαμακίου

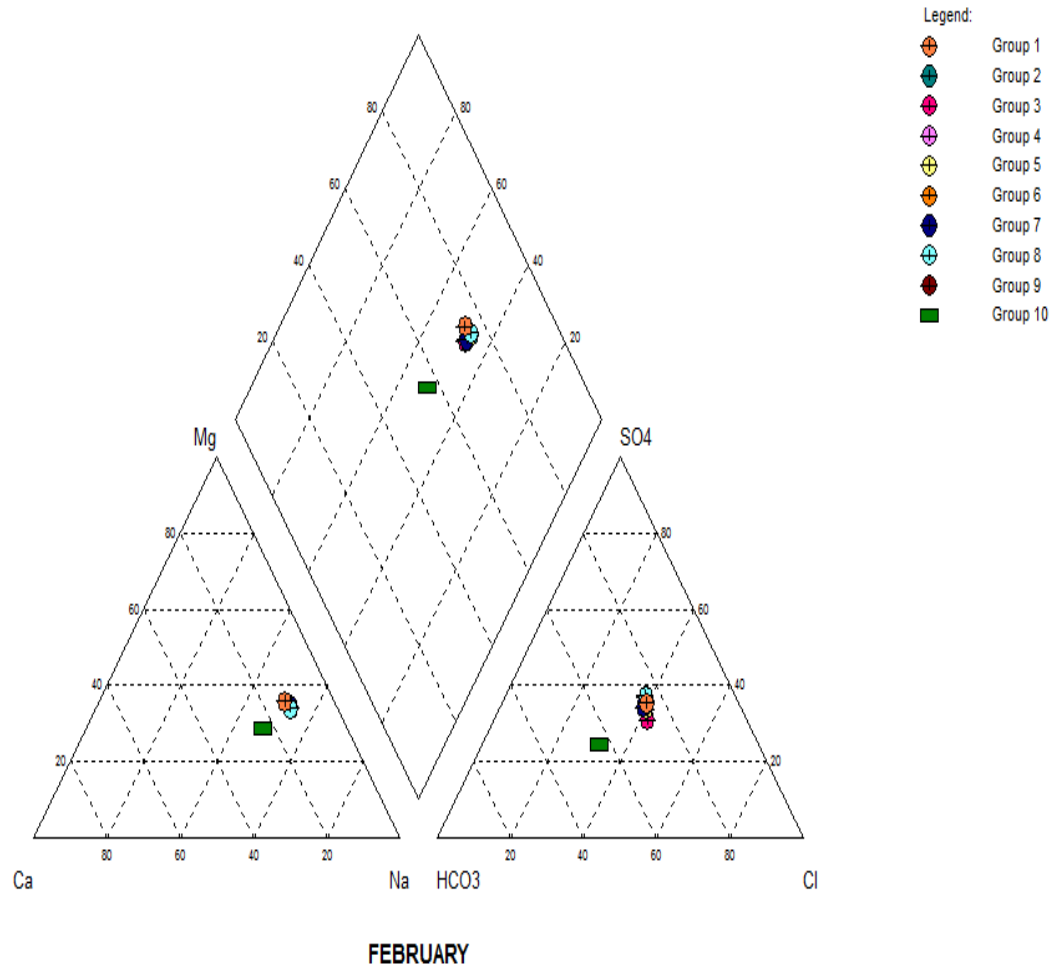
Δείγμα	Σύνθεση ιόντων		
	1 <sup>η</sup> δειγματοληψία	2 <sup>η</sup> δειγματοληψία	3 <sup>η</sup> δειγματοληψία
K1s	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K1b	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K2s	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K2b	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K3s	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K3b	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K4s	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K4b	Na-Mg-SO4-Cl	Na-Mg-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3
K5	Na-Mg-SO4-Cl	-	-
K6	Na-Mg-Ca-HCO3-Cl-SO4	Na-Mg-Cl-SO4-HCO3	Na-Mg-Ca-HCO3-Cl-SO4



**Σχήμα 3.8:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Piper (Δειγματοληψία Μάιος 2013)

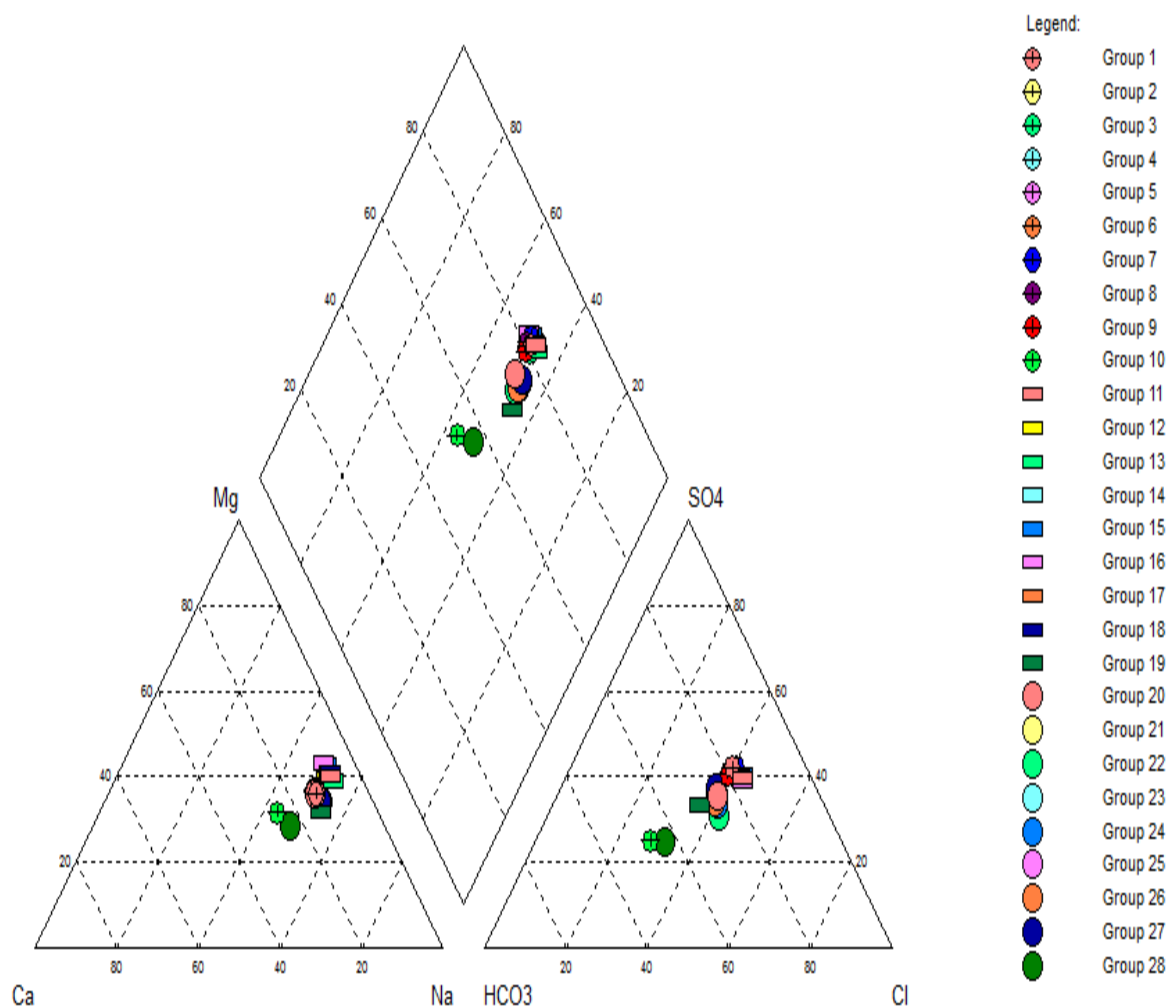


**Σχήμα 3.9:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Piper (Δειγματοληψία Οκτώβριος 2013)



**Σχήμα 3.10:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Piper (Δειγματοληψία Φεβρουάριος 2014 )





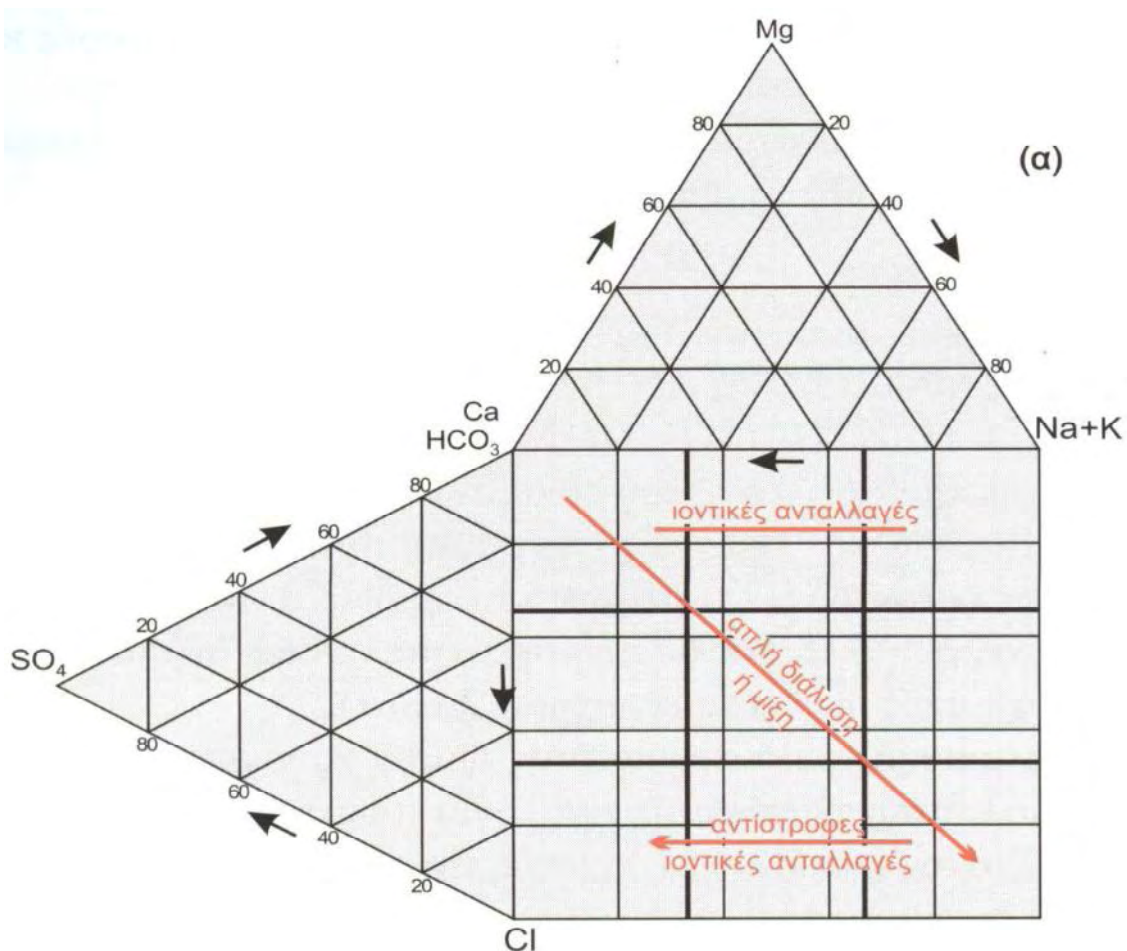
MAY -OCTOBER 2013 -FEBRUARY 2014

**Σχήμα 3.11:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Piper (Δειγματοληψίες Μάιος- Οκτώβριος 2013- Φεβρουάριος 2014)

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Piper των παραπάνω σχημάτων προκύπτει ότι τα νερά όλων των δειγμάτων όσο αφορά τα κύρια ιόντα και στις τρεις δειγματοληψίες κατατάσσονται στην κατηγορία των αλμυρών έως υφάλμυρων και είναι πλούσια σε ιόντα  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , και  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### 3.4.2 Ταξινόμηση κατά Durov

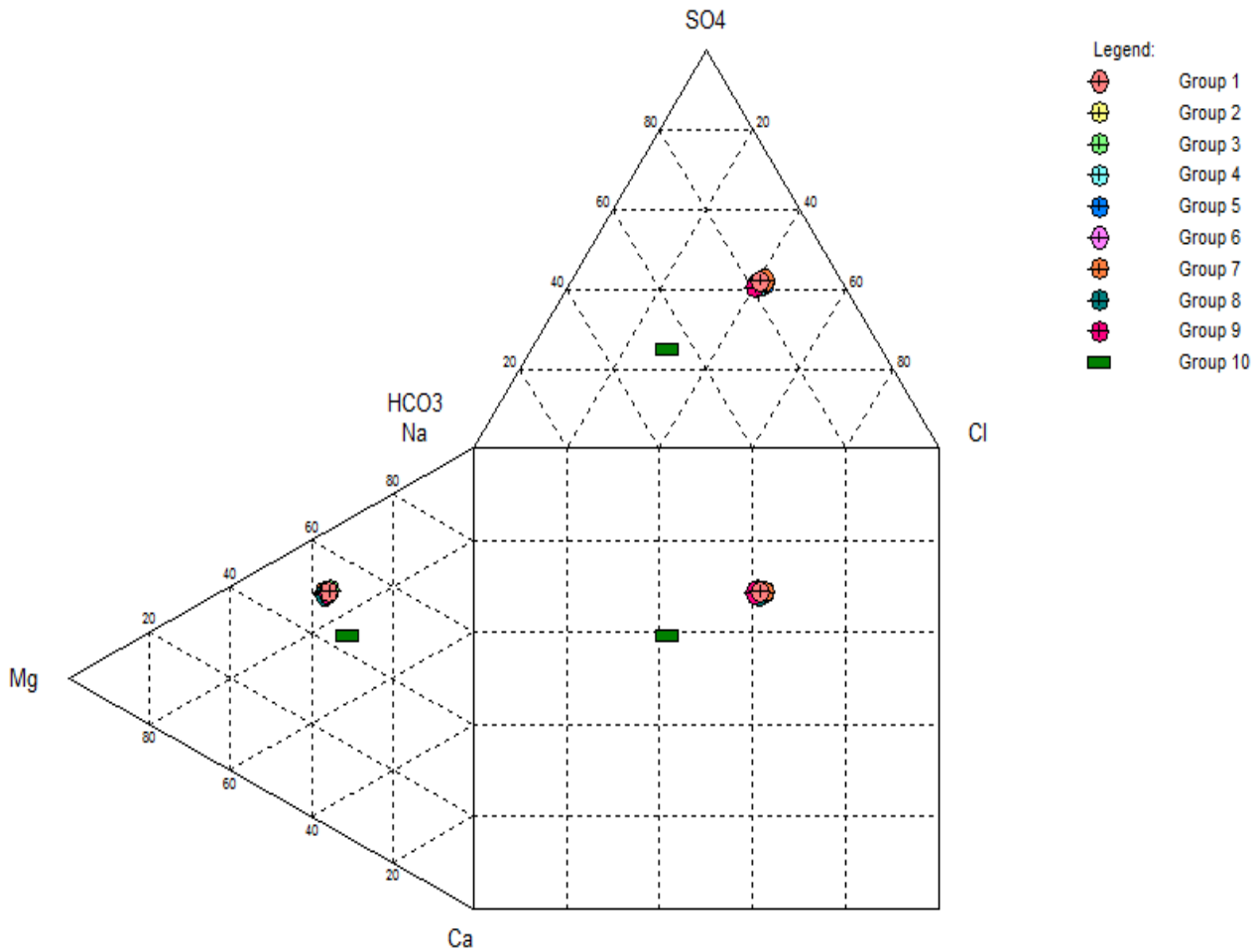
Το διάγραμμα Durov (Σχήμα 3.12) αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα που συνδέονται με ένα τετραγωνικό, διαχωριζόμενο σε επί μέρους τετραγωνίδια, τα οποία αντιστοιχούν σε κατηγορίες νερού, αλλά και σε περιοχές στις οποίες συμβαίνουν στο νερό διάφορες υδροχημικές διαδικασίες (Σούλιος, 2006).



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα Durov (Σούλιος, 2006).

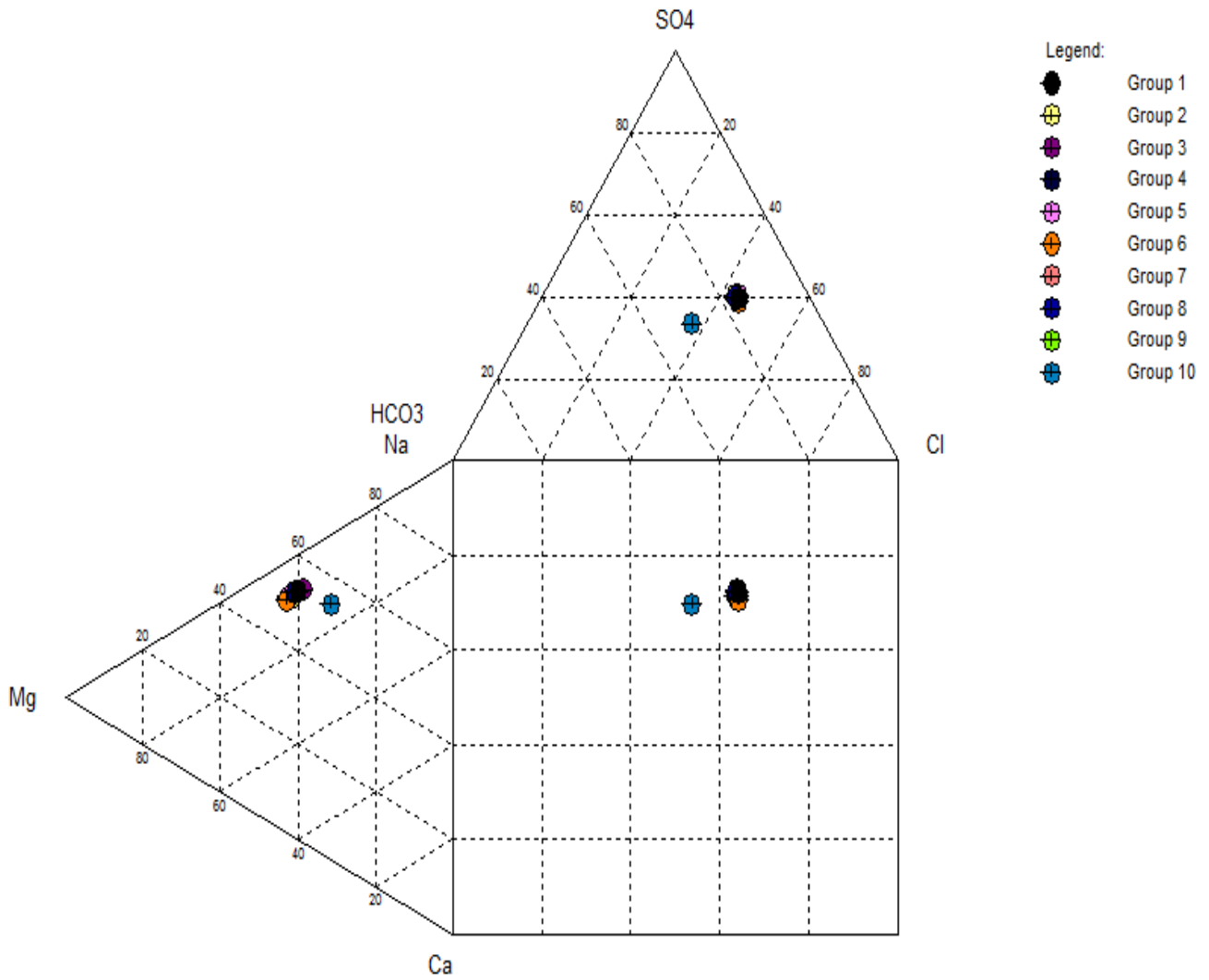
Στο άνω-αριστερό τμήμα του τετραγώνου του διαγράμματος Durov βρίσκεται ο Ασβεστούχος - οξυανθρακικός τύπος του νερού, ενώ ο νατριούχος-χλωριούχος στο κάτω-δεξιό τμήμα του τετραγώνου (Βουδούρης 2009).

Στα Σχήματα 3.13-16 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των υδάτων της περιοχής έρευνας με βάση τα διαγράμματα Durom.



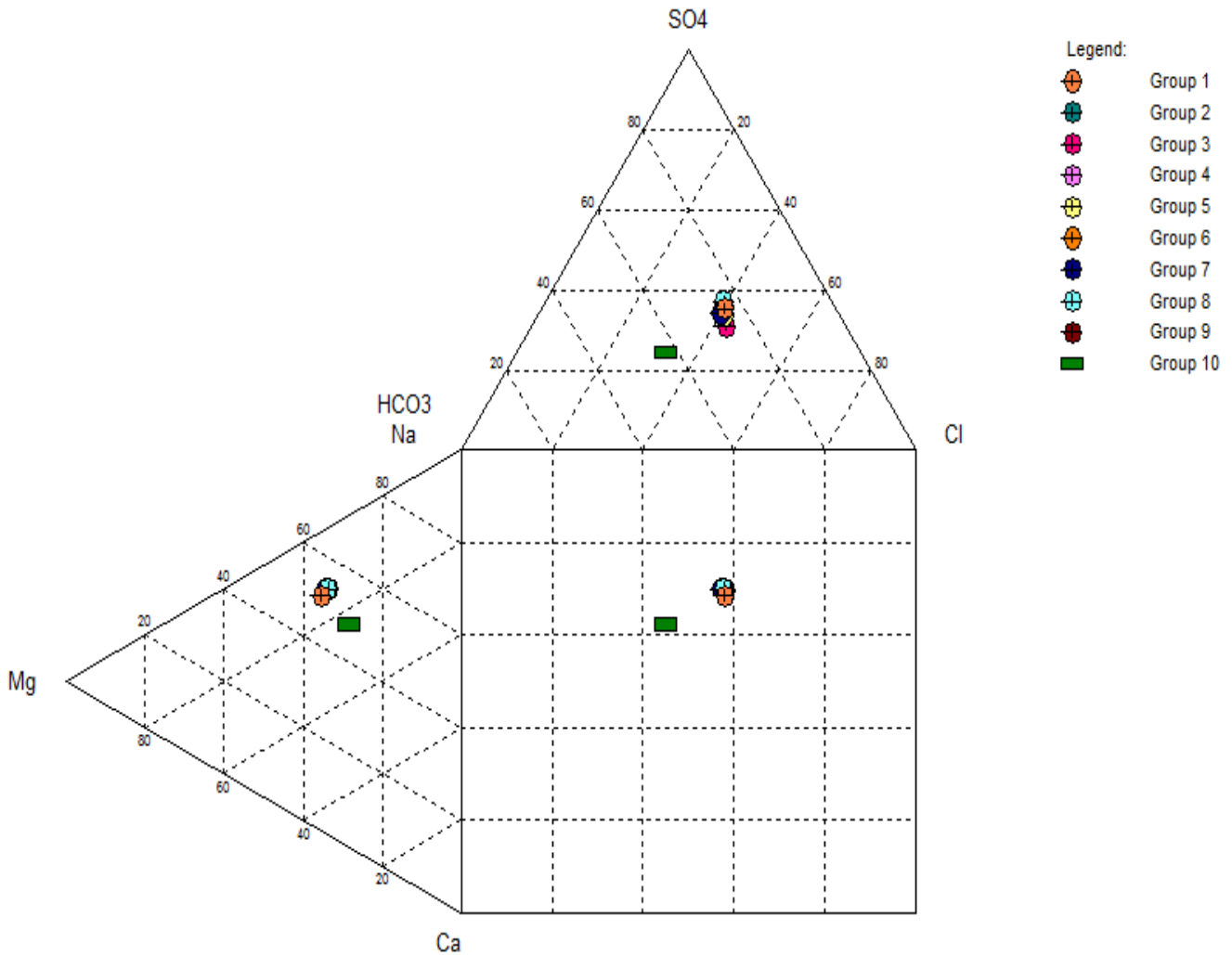
**MAY 2013**

**Σχήμα 3.13 :** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Durom (Δειγματοληψία Μάϊος 2013)



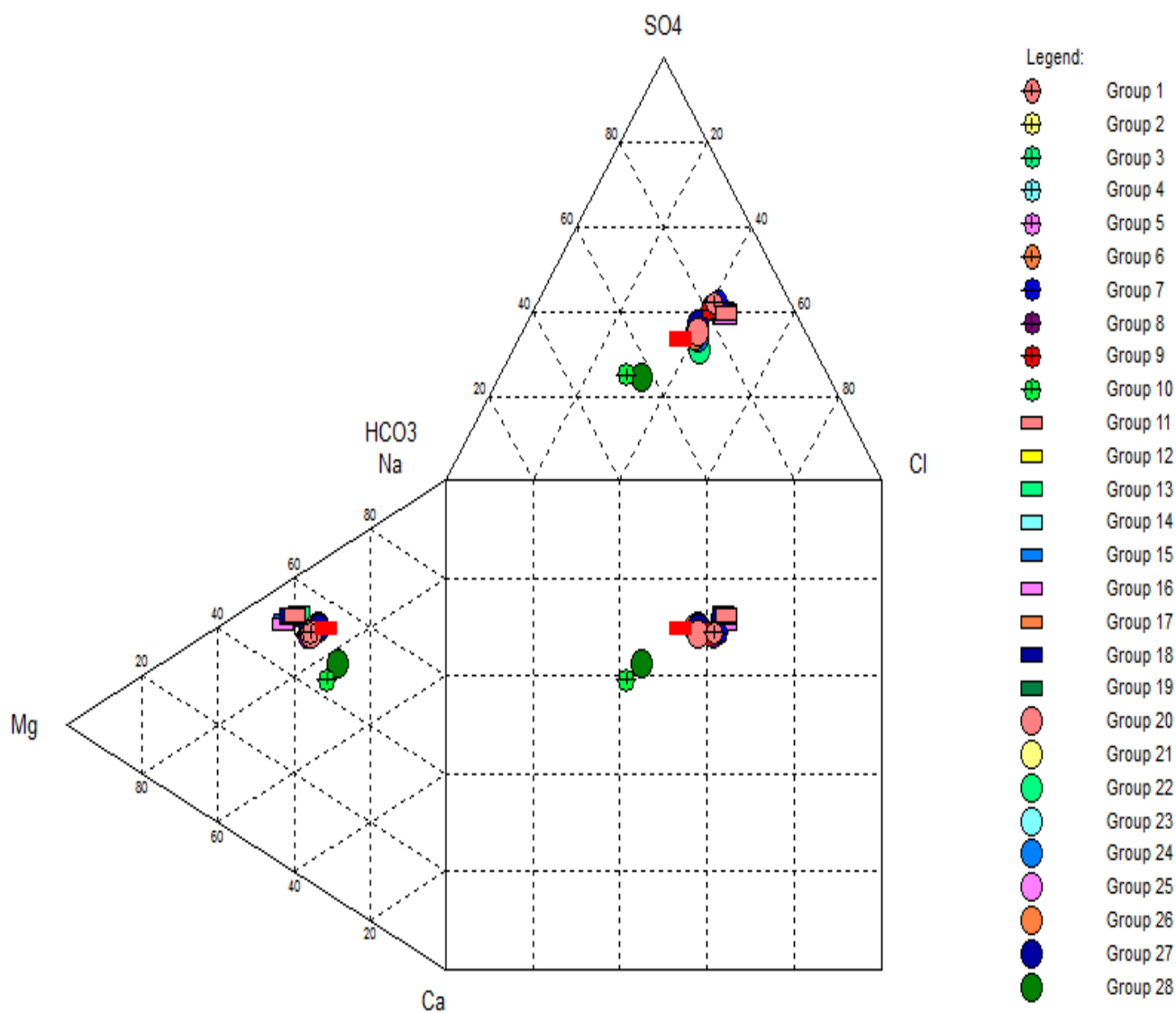
**OCTOBER 2013**

**Σχήμα. 3.14 :** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Durov (Δειγματοληψία Οκτώβριος 2013)



**FEBRUARY 2014**

**Σχήμα 3.15:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Durov (Δειγματοληψία Φεβρουάριος 2014)



**MAY - OCTOBER 2013 -FEBRUARY 2014**

**Σχήμα 3.16:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα

διαγράμματα Durov (Δειγματοληψίες Μάϊος- Οκτώβριος 2013-Φεβρουάριος 2014)

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Duroν των παραπάνω σχημάτων προκύπτει ότι τα νερά όλων των δειγμάτων όσο αφορά τα ανιόντα και στις τρεις δειγματοληψίες κατατάσσονται στην κατηγορία των μεικτών και είναι πλούσια σε θειικά και χλωριούχα. Αναφορικά με τα κατιόντα τα νερά κατατάσσονται στα νατριούχα και η συσχέτιση ανιόντων και κατιόντων με την πιθανή σύσταση αλάτων τα χαρακτηρίζει θειονατριούχα ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Οι παραπάνω τύποι φυσικών νερών μεταβάλλονται ανάλογα με το βάθος διείσδυσης και με την επίδραση του θαλάσσιου νερού, όπου και όταν αυτό διεισδύει.

### 3.4.3 Καταλληλότητα για πόση

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ ορισμένων αποδεκτών ορίων, που αποτελούν και τα πρότυπα ποιότητας του νερού. Τα πρότυπα αυτά διαφέρουν από χώρα σε χώρα, μπορεί ακόμη να διαφέρουν και στην ίδια τη χώρα ανάλογα με την επάρκεια ή όχι νερού ορισμένης ποιότητας (**Καλλέργης 2000**). Στην Ελλάδα ισχύουν τα πρότυπα της ευρωπαϊκής ένωσης τα οποία θεσπίζονται νομοθετικά (Πιν.3.12), έχουν καθορισθεί με την Οδηγία 98/83 Ε.Κ και στη χώρα μας αναφέρονται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση (**ΚΥΑ Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892/ 11.7.2001**).

Η σύγκριση του συνόλου των νερών του ταμιευτήρα με τα όρια αυτά δείχνει ότι οι τιμές για την ηλεκτρική αγωγιμότητα και για τη θερμοκρασία στο σύνολο των δειγμάτων του ταμιευτήρα ( ποσοστό 100% ) υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή που ορίζει η οδηγία. Οι τιμές του pH όπως και οι τιμές των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και καλίου ( $\text{K}^+$ ) βρίσκονται εντός των παραμετρικών τιμών. Οι τιμές των ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), των ιόντων μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ), των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) και των ιόντων χλωρίου ( $\text{Cl}^{-1}$ ) υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή που ορίζεται από τις Οδηγίες 98/83/ΕΕ και 80/778/ΕΟΚ στο σύνολο των δειγμάτων του ταμιευτήρα(ποσοστό 100%).

Τέλος τα νιτρικά ιόντα βρίσκονται πολύ κάτω από την ανώτατη παραμετρική τιμή της οδηγίας, ενώ τα ιόντα μαγνησίου ξεπερνούν τις παραμετρικές τιμές της οδηγίας στο σύνολο των δειγμάτων (ποσοστό 100%) στην 1<sup>η</sup> και στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία. Η διακύμανση των τιμών της αγωγιμότητας για τα δείγματα της παρούσας έρευνας δείχνει ότι τα νερά του ταμιευτήρα κατατάσσονται στην κατηγορία των πολύ σκληρών νερών. Μετά την αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει ότι τα νερά του ταμιευτήρα είναι ακατάλληλα για πόση.

**Πίνακας 3.12:** Μέσος όρος και εύρος τιμών των υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου σε σύγκριση με τις παραμετρικές τιμές της οδηγίας 98/83/EE

Παράμετροι	Ανώτατη Παραμετρική τιμή	Περίοδοι δειγματοληψίας		
		30/5/2013	8/10/2013	26/2/2014
Αγωγιμότητα με αντιστάθμιση στους 25 <sup>0</sup> C ( μS/cm)	2500	3413,33 (3260-3580)	3198,75(3120-3270)	2535(2440-2580)
Θερμοκρασία <sup>0</sup> C	25	22,39(22-23)	21,21(21-21,4)	16,45(16,3-17)
pH (στη θερμοκρασία του δέρματος)	6,5 ≤ pH ≤ 9,5	8,22 (8,2-8,3)	8,51(8,4-8,6)	8,31(8,3-8,4)
Ασβέστιο (Ca <sup>+2</sup> ) mg/l	100*	104,44(102-107)	51,5(47-56)	71(69-73)
Μαγνήσιο (Mg <sup>+2</sup> ) mg/l	50	177(168-185)	173(165-187)	113,5(108-117)
Κάλιο (K <sup>+</sup> ) mg/l	12	10,04(5,7-19)	8,46(6,5-14)	5,75(5,1-6,2)
Νάτριο (Na <sup>+</sup> ) mg/l	200	462,22(450-470)	402,5(390-430)	327,5(310-340)
Χλωροϊόντα (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	250	543,67(532-559)	540,25(532-559)	378,5(361-382)
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/l	50	2,21(2,1-2,3)	0,16(0,10-0,30)	0
Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) mg/l	250	759(743-770)	673,75(650-690)	457,88(380-500)

\*Οδηγία 80/778/EEC.



### 3.4.4 Καταλληλότητα υδάτων για διαβίωση ιχθύων (κυπρινιδών, σαλμονιδών)

Η Οδηγία 2006/44/EK της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων καθορίζει τις ελάχιστες ποιοτικές απαιτήσεις για την προστασία των γλυκών υδάτων στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτύσσονται ιχθύες ([itia.ntua.gr](http://itia.ntua.gr)).

Στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζονται ο μέσος όρος και το εύρος των μετρήσεων των δειγμάτων ύδατος του ταμιευτήρα Καλαμακίου σε σχέση με τα επιθυμητά και τα ανώτατα όρια που καθορίζεται με την παραπάνω Οδηγία και για τις τρεις δειγματοληψίες.

Από τον Πίνακα 3.12 φαίνεται ότι η θερμοκρασία (T) του ταμιευτήρα δεν υπερβαίνει τόσο τα επιθυμητά όσο και τα ανώτατα όρια και για τις δύο κατηγορίες υδάτων. Οι τιμές του pH βρίσκονται εντός των επιθυμητών και των ανώτατων ορίων, τόσο για τα νερά των σαλμονιδών όσο και για αυτά των κυπρινιδών με μόνο ένα δείγμα στην 2<sup>η</sup> δειγματοληψία να ξεπερνά το επιθυμητό όριο για τα νερά των σαλμονιδών. Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου (DO) δεν υπερβαίνουν ούτε τα επιθυμητά ούτε και τα ανώτατα όρια, τόσο για τα νερά των σαλμονιδών όσο και για αυτά των κυπρινιδών. Επομένως τα συγκεκριμένα νερά μπορούν να χαρακτηριστούν κατάλληλα για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε σε ύδατα σαλμονιδών είτε σε ύδατα κυπρινιδών

**Πίνακας 3.13:** Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης νερών ταμιευτήρα Καλαμακίου σε αντιπαράθεση με την Οδηγία 2006/ 44/EK 25-9-20006

Φυσικοχημικές Παράμετροι	Κατηγορίες νερών						
	Νερά ταμιευτήρα 30/05/2013	Νερά ταμιευτήρα 08/10/2013	Νερά ταμιευτήρα 26/02/2014	Νερά σαλμονιδών		Νερά κυπρινοειδών	
				Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο
Θερμοκρασία (°C)	22,39(22-23)	21,21(21-21,4)	16,45(16,3-17)	(0) (1)	21.5 <sup>(0)(1)</sup>	25 <sup>(0)(1)</sup>	28 <sup>(0)(1)</sup>
pH	8,22 (8,2-8,3)	8,51(8,4-8,6)	8,31(8,3-8,4)	6.5 – 8.5 <sup>(2)</sup>	6 – 9 <sup>(0)(2)</sup>	5.5– 8.5 <sup>(0)(2)</sup>	6 – 9 <sup>(0)(2)</sup>
DO	5,5(4,9-6)	9,47(7-12,5)	9,79(9-10,44)	50% δειγμάτων ≥ 9 ή 100%δειγματων ≥7	50% δειγμάτων≥9	50% δειγμάτων ≥ 8 ή 100%δειγματων ≥5	50%δειγμάτων ≥7

(0) Μπορεί να γίνει παρέκκλιση λόγω εξαιρετικών καιρικών ή ειδικών γεωγραφικών συνθηκών.

(1) Απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας πρέπει να αποφεύγονται.

(2) Μεταβολές στο pH που οφείλονται σε ανθρώπινη δραστηριότητα μπορούν να ανέλθουν έως 0.5 μονάδες με την προϋπόθεση ότι δεν αυξάνεται αισθητά η δραστηριότητα άλλων ουσιών που περιέχονται στο νερό του αποδέκτη.

### 3.4.5. Καταλληλότητα για άρδευση

Η καταλληλότητα των υδάτων προς άρδευση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου. Οι ποιοτικές απαιτήσεις για αρδευόμενο νερό ποικίλουν ανάλογα με την αρδευόμενη περιοχή (Ako Ako et al, 2011).

#### 3.4.5.1 Ταξινόμηση κατά Richards

Ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για άρδευση αποτελεί ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (SAR), ο οποίος εκφράζει τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων ιόντων του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ). Το διάγραμμα Richards προτάθηκε από το U.S.Salinity Laboratory και βασίζεται στο δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Κατατάσσει τα νερά σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών σύμφωνα με την ειδική αγωγιμότητα (Σχήμα 3.16) Το αρδευτικό νερό με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) κατατάσσεται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (US Salinity Laboratory, 1954):

- Κατηγορία C1. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μικρότερη των 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη των 160 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μικρός
- Κατηγορία C2. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μεταξύ 250-750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα μεταξύ 160 έως 480 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μέσος

- Κατηγορία C3. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μεταξύ 750-2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα 480 έως 1470 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μεγάλος
- Κατηγορία C4. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) > 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα > 1470 ppm, κίνδυνος αλατώσεως πολύ μεγάλος.

Η περιεκτικότητα σε νάτριο χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της επίδρασης του νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα, η διηθητικότητα και η καταλληλότητα για γεωργική χρήση.

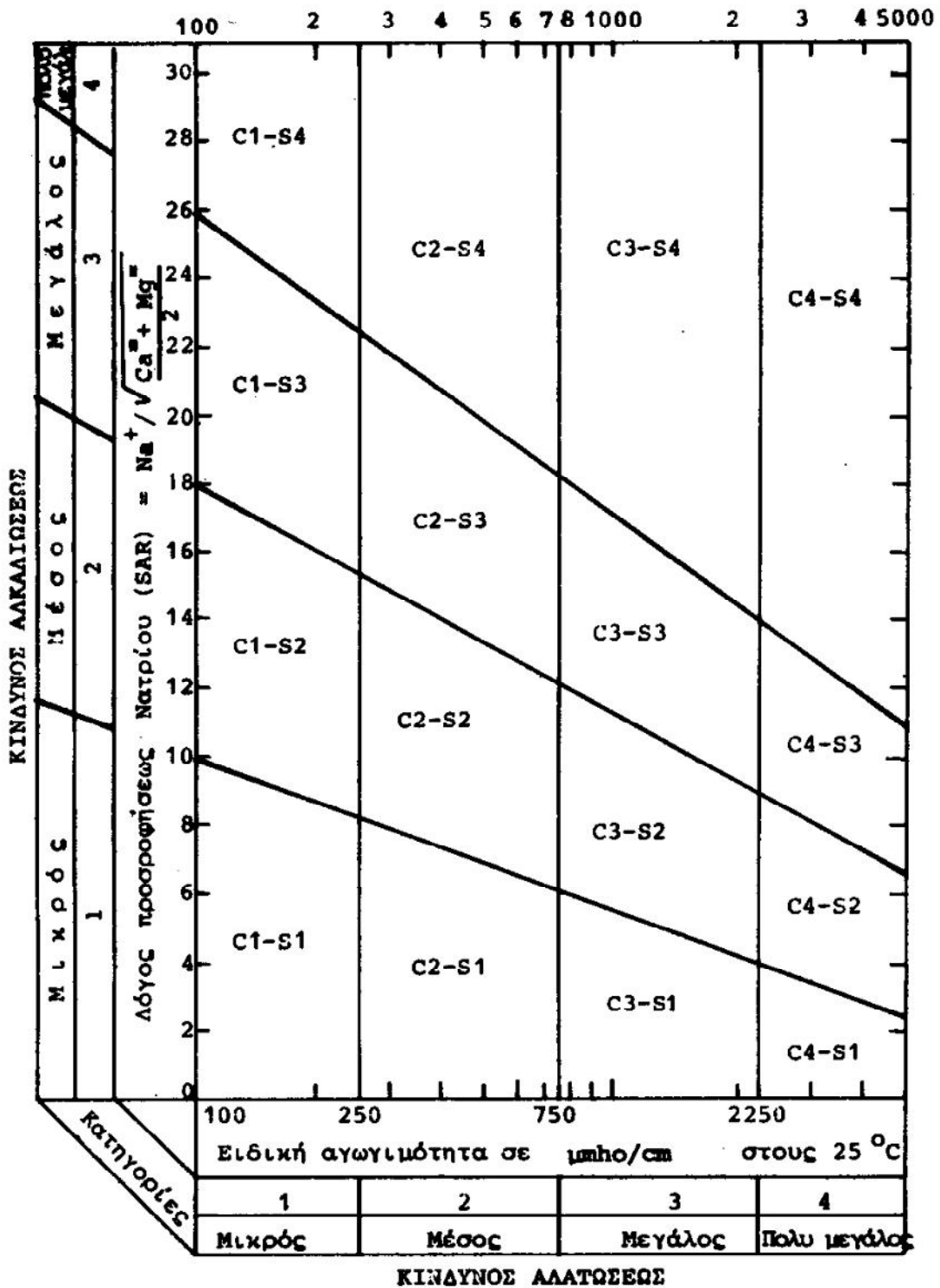
Με βάση την τιμή του S.A.R. διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με την ταξινόμηση του Υπουργείου Γεωργίας των Η. Π. Α. Οι κατηγορίες αυτές για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα 100 $\mu\text{mho}/\text{cm}$  είναι οι ακόλουθες:

- Κατηγορία S1: S.A.R <10, κίνδυνος νατρίου μικρός
- Κατηγορία S2: S.A.R από 10 έως 18, κίνδυνος νατρίου μέσος
- Κατηγορία S3: S.A.R από 18 έως 26, κίνδυνος νατρίου μεγάλος

Κατηγορία S4: S.A.R >26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος (**Μήτρακας 2001,**

**Τσακίρης 2004, Κελεπερτζής 2007** )

Ο Πίνακας 3.14 παρουσιάζει την κατάταξη των δειγμάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου σε σχέση με τις παραπάνω κατηγορίες.



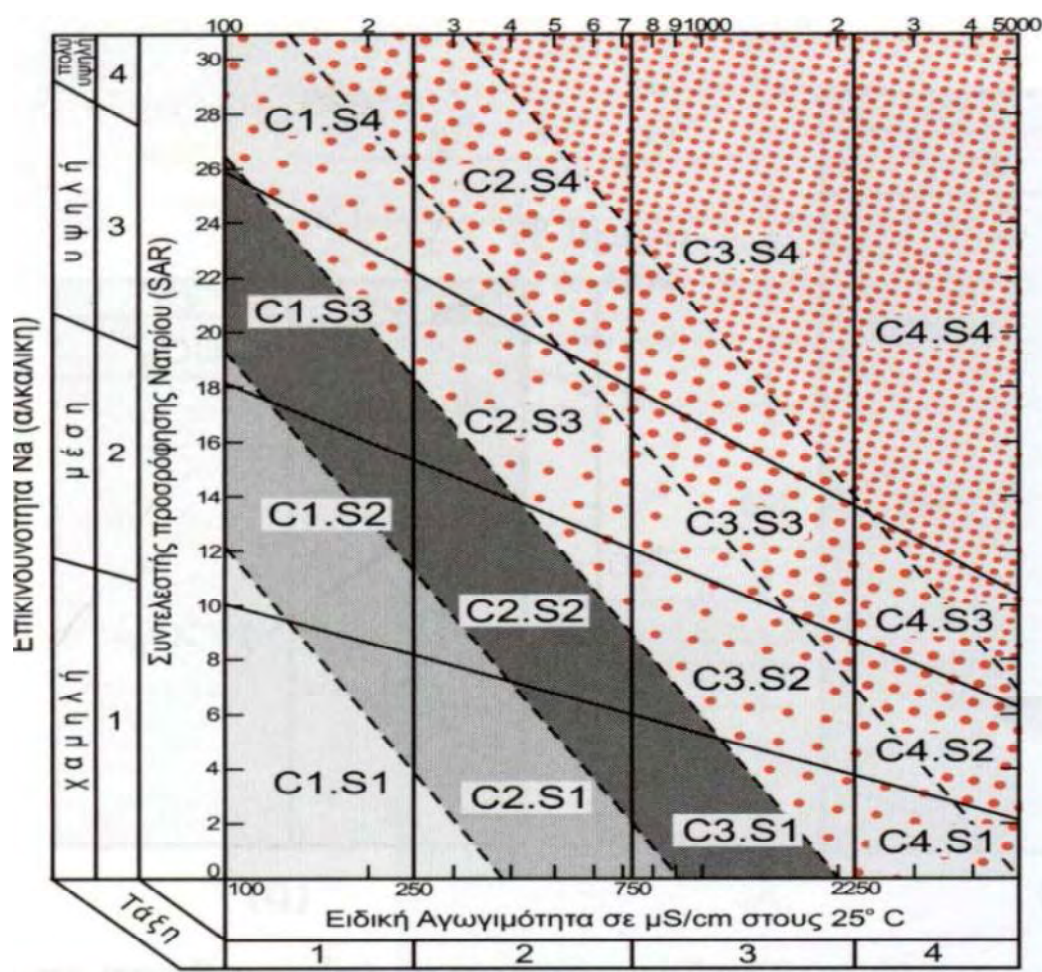
Σχήμα. 3.16: Διάγραμμα για την ταξινόμηση του νερού αρδεύσεως σε κατηγορίες κατά το U.S Salinity Laboratory (1954)

Πίνακας 3.14: Κατάταξη δειγμάτων σύμφωνα με την καταλληλότητά τους προς άρδευση κατά Richards.

Δείγμα	Τιμή EC $\mu\text{S}/\text{cm}$ ταμιευτήρα Καλαμακίου			Χαρακτηρισμός με βάση την EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Τιμή SAR ταμιευτήρα Καλαμακίου			Χαρακτηρισμός με βάση τον SAR
	30/05/2013	08/10/2013	26/02/2014		30/05/2013	08/10/2013	26/02/2014	
<b>K1s</b>	3410	3270	2520	Πολύ υψηλή	6,4	6,2	5,3	Χαμηλή
<b>K1b</b>	3260	3250	2580	Πολύ υψηλή	6,4	6	5,7	Χαμηλή
<b>K2s</b>	3480	3190	2440	Πολύ υψηλή	6,5	6,5	5,6	Χαμηλή
<b>K2b</b>	3580	3170	2570	Πολύ υψηλή	6,2	5,8	5,7	Χαμηλή
<b>K3s</b>	3410	3120	2540	Πολύ υψηλή	6,4	5,9	5,6	Χαμηλή
<b>K3b</b>	3380	3240	2540	Πολύ υψηλή	6,3	5,8	5,6	Χαμηλή
<b>K4s</b>	3450	3130	2560	Πολύ υψηλή	6,4	6	5,7	Χαμηλή
<b>K4b</b>	3350	3220	2530	Πολύ υψηλή	6,3	6,1	5,6	Χαμηλή
<b>K5</b>	3400				6,3			
<b>K6</b>	1300	1930	1190	Υψηλή	3	5	3,1	Χαμηλή

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι σε ποσοστό σχεδόν 100% επί των δειγμάτων έχουμε πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Εξάιρεση αποτελεί το σημείο δειγματοληψίας K6 (Τάφος T1) που παρουσιάζει και στις τρεις δειγματοληψίες υψηλή αγωγιμότητα. Αναφορικά τώρα με το συντελεστή προσρόφησης του νατρίου (SAR) αυτός εμφανίζεται χαμηλός με βάση την κατάταξη του Richards για όλα τα δείγματα. Πρόκειται δηλαδή για νερά τα οποία δεν εγκυμονούν κινδύνους όσον αφορά το SAR, αλλά κρίνονται ακατάλληλα ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας (EC) και τα οποία δύναται να οδηγήσουν στο σχηματισμό αλατούχων εδαφών, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς.

Η ίδια ταξινόμηση έγινε επίσης από τον **Wilcox το 1948** (Σχ.3.17)



Σχήμα 3.17. Διάγραμμα SAR-αγωγιμότητας (Σούλιος,2006)

Το διάγραμμα Wilcox αποτελεί μία σημαντική μέθοδο ελέγχου της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. Το διάγραμμα Wilcox κατατάσσει τα νερά στην κατηγορία Δ ( C3- S1, C3- S2, C4- S2, C4- S1). Η ποιότητα των νερών της κατηγορίας αυτής είναι πολύ μέτρια έως κακή. Δεν πρέπει να γίνεται χρήση τους σε ευαίσθητα φυτά ούτε σε βαριά εδάφη. Μπορούν να χρησιμοποιούνται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος. (Σούλιος, 2006).



#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία και αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των ιόντων στα ύδατα του ταμιευτήρα Καλαμακίου είναι τα ακόλουθα:

- Τα νερά του ταμιευτήρα κρίνονται ακατάλληλα για πόση, ως προς την τιμή της αγωγιμότητας και τις συγκεντρώσεις των ιόντων μαγνησίου, νατρίου καθώς και των θεικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου σύμφωνα με την οδηγία 98/83/ΕΕ
- Δεν παρατηρήθηκαν αξιόλογες εποχιακές μεταβολές, ενώ ιδιαίτερα σημαντική είναι η έλλειψη επιβάρυνσης των υδάτων του ταμιευτήρα από παραμέτρους (κυρίως από νιτρικά και φωσφορικά) που σχετίζονται με τις έντονες γεωργικές δραστηριότητες δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή
- Πιθανώς να μπορούν να καταταγούν στην κατηγορία των κατάλληλων (σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ) για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε σε ύδατα σαλμονιδών είτε σε ύδατα κυπρινιδών αναφορικά με τις τιμές των συγκεντρώσεων του pH και του διαλυμένου οξυγόνου.
- Με βάση την ταξινόμηση κατά Rishards κρίνονται «ακατάλληλα» για άρδευση ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας (EC) αφού είναι δυνατόν να οδηγήσουν στο σχηματισμό αλατούχων εδαφών, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς. Δεν εγκυμονούν κινδύνους όμως όσον αφορά το SAR.
- Οι τιμές του pH είναι >7 και φανερώνουν τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών του ταμιευτήρα

- Οι συγκεντρώσεις των μετρηθέντων ιόντων νατρίου, μαγνησίου, χλωρίου καθώς και τα θειικά ιόντα παρουσιάζουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο της ΕΕ για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης και στις τρεις περιόδους δειγματοληψίας.
- Με βάση την ολική σκληρότητα τα νερά του ταμιευτήρα κατατάσσονται στα πολύ σκληρά νερά
- Με βάση τα διαγράμματα Piper οι τύποι νερού που επικρατούν είναι οι:  
Na-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl, Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> και Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> αντίστοιχα για τις τρεις περιόδους δειγματοληψίας για τον ταμιευτήρα και για την Τάφρο T1 είναι Na-Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub>, Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> και Na-Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub> αντίστοιχα.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Προτείνεται μια λεπτομερέστερη έρευνα του ταμιευτήρα σε συνεργασία με άλλους επιστημονικούς κλάδους.
2. Διαρκής παρακολούθηση (monitoring) και καταγραφή των παραμέτρων και στοιχείων που υποβαθμίζουν και προκαλούν ρύπανση σε συνεργασία με την Τοπική Αυτοδιοίκηση.
3. Έλεγχος για τις επιδράσεις στους οργανισμούς.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελίδης Μ., Λέκκας Θ., Αλμπάνης Τ. (2005)** Ρύπανση των υδατικών πόρων της Ελλάδας, Συνέδριο: Υδατικοί πόροι: Μια ρεαλιστική προσέγγιση, Αθήνα
- Αργυράκη Α. (2007)** Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία, Αθήνα ΕΚΠΑ
- Αντωνόπουλος Β. (2001)** Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Αντωνόπουλος Β. (2001)** Ποιότητα και ρύπανση υπόγειων νερών, Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη
- Βαλαβανίδης Α. (2007)** Οικοτοξικολογία και περιβαλλοντική τοξικολογία Ερευνητική μεθοδολογία για την εκτίμηση οικολογικού κινδύνου από επικίνδυνες χημικές ουσίες. Έκδοση Τμήμα χημείας Πανεπιστήμιο Αθηνών Αθήνα 2007
- Βαλαβανίδης Α., Βλαχογιάννη Θ. (2008)** Περιβαλλοντική χημεία & οικοτοξικολογία, διαχείριση οικοσυστημάτων εκτίμηση οικολογικού κινδύνου. Εκδόσεις σύγχρονα θέματα, Αθήνα, σελ 133-141
- Βαλαβανίδης Αθ., Βλαχογιάννη Θ. (2010)** Δοκιμασίες τοξικότητας και οικοτοξικότητας σε υδρόβιους οργανισμούς, Βασικές αρχές, Πειραματική πορεία, Επεξεργασία αποτελεσμάτων Πρότυπες πειραματικές μεθοδολογίες, Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος Τμήμα Χημείας Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2010
- Βασιλικιώτης Γ.Σ., (1989)** «Χημεία Περιβάλλοντος» University Studio Press. Θεσσαλονίκη σελ 231

**Βουδούρης Κ. (2006)** Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κεφ 3 σελ 1-35

**Βουδούρης Κ. (2009)** Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος- Υπόγεια νερά και περιβάλλον Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 460.

**ΕΚΒΥ(2008)** «Ελληνικοί Υγρότοποι Αθήνα

**Καλλέργης Γ. (2000)** Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. 2<sup>η</sup> έκδοση, Τόμος Β', έκδοση Τ.Ε.Ε. Αθήνα σελ. 345.

**Καμπράκου Ε. (2006)** Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων. Εφαρμογή του πίνακα ισορροπημένης στοχοθεσίας στη λεκάνη απορροής του Νέστου. Διδακτορική διατριβή, τμήμα πολιτικών μηχανικών, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη

**Κελεπρτζής Α.(2007)** Γεωχημεία. Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα σελ 93-152

**Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά Δ. (2004).** Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος. University Studio Press Θεσσαλονίκη σελ.385

**ΚΥΑΥ2/2600/2001ΦΕΚ 892/Β'/11-07-2001** «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998 [www.et.gr](http://www.et.gr)

**Κωτούλας Δ. ( 2001α)** Υδρολογία και Υδραυλική Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

**Λοιζίδου Μ. (2006)** Διενέργεια δειγματοληψιών, μετρήσεων και αναλύσεων σε ύδατα και υγρά απόβλητα Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα

- Λουκάς Α. (2007)** Ποιότητα νερού στους ταμιευτήρες, Συμπληρωματικές σημειώσεις για το μάθημα φράγματα, Βόλος σελ 127
- Μαντουζα Α. (2008)** Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Πηνειού στα πλαίσια της οδηγίας 2000/60 με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., σελ 141
- Μήτρακας Μ. (2001)** Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού 2<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη σελ543
- Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α., (2006)** Τεχνική Υδρολογία 4<sup>η</sup> Έκδοση Εκδόσεις Παπασωτηρίου Αθήνα σελ 1-25
- Μουντράκης Δ. (1985)** Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ 98-108
- Νταρακάς Ε.(2009)** «Βασικές παράμετροι ελέγχου ποιότητας νερού και λυμάτων» Σημειώσεις για τη θεωρία και τα εργαστήρια των μαθημάτων ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ – ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Θεσσαλονίκη
- Νταρακάς Ε. (2010)** Προστασία Περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη, Σημειώσεις του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Στοιχεία Χημείας Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
- Νταρακάς Ε. (2014)** Ποιοτικά χαρακτηριστικά και Διεργασίες επεξεργασίας νερού Θεσσαλονίκη
- Οδηγία 98/83 ΕΚ** του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης:  
<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
- Παπουτσόγλου Σ. (1981)** Το υδάτινο περιβάλλον και οι οργανισμοί του, Εκδόσεις Καραμπερόπουλος, Αθήνα.

**Σούλιος Γ. (2004)** Γενική υδρογεωλογία, Τρίτος τόμος, ΣΤ. Αποθέματα και διαχείριση του υπογείου νερού. Εκδοτικός οίκος αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-249

**Στουρνάρας Γ. (2007)** Νερό: Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή. Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, σελ 664

**Τσακίρης Γ. (2004)** Σημειώσεις Υδατικοί πόροι, Ποιότητα αρδευτικού νερού. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα σελ 1-17

Διαθέσιμο στο [http://www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation\\_water\\_quality.pdf](http://www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation_water_quality.pdf)

**Τσακίρης Γ. (2010)** Υδραυλικά Έργα-Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος Ι): Αστικά Υδραυλικά Έργα. Κεφ.5: Ποιότητα Νερού για Ανθρώπινη Κατανάλωση (του Τσακίρη Γ.,Αλεξάκη Δ.)175-244. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

**Τσέζος Μ., Χατζηκιοσεγιάν Α.(2012)** Τεχνολογία Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων, Βοηθητικές Σημειώσεις, σελ.1- 98 Διαθέσιμο στο

[http://www.metal.ntua.gr/uploads/1588/Wastewater\\_Treatment\\_Engineering.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/1588/Wastewater_Treatment_Engineering.pdf)

**ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Ahl R. and Oden S. (1971)** Preliminary report on the transport of presumptive pollutant to the Baltic sea from Sweden. River discharges of total nitrogen, total phosphorus and organic matter . In: Soviet-Swed. Symp. on the Poll. of the Baltic, Stockholm

**Ako Ako, A., Shimada, J., Hosono, T., Ichiyanagi, K., Nkeng, G.E., Fantog, W.Y., Eyong, G.E.T. and Roger, N.N. (2011).** Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking, domestic, and agricultural uses in the Banana Plain (Mbanga, Njombe, Penja) of the Cameroon Volcanic Line. Environ Geochem Health, Springer Science+Business Media B.V. 2011.

**Alexandridis T.K., Panagopoulos A., Galanis G., Alexiou I., Cherif Y., Chemin Y., Stavrinos E., Bilas G. and Zalidis G.C. (2014)** Combining remotely sensed surface energy fluxes and GIS analysis of groundwater parameters for irrigation system assessment. Journal of Irrigation Science 321:27-140

**Aubouin, J. (1957)** Un profil tectonique d'ensemble de la Grece septentrionale moyenne. France. BULL. SOC. GEOL. France, 7, 1135 – 1155

**Bellos d., Sawidis.,T.,Tsekos, I., (2004)** Nutrient chemistry of River Pinios (Thessalia Greece). Environ Intermat 30:105-11

**Bellos d., Sawidis.,T., (2005)** Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia Greece). Journal of Environmental Management 76:282-292

**Brunn, J. (1956)** Contribution a l'étude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale. Ann. Geol. Pays Hell., 7:1-358.

**Cooke GD, Welch EB, Peterson SA & Nichols SA (2005).** Restoration and management of lakes and reservoirs. Third Edition. Taylor & Francis.

**Cox B. A. (2003)** A review of dissolved oxygen modeling techniques for lowland rivers. *Science Total Environment* 314/316 : 303-334.

**DIRECTIVE 2006/44/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL** of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life (codified version) (Text with EEA relevance):  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:264:0020:0031EN:PDF>

**Dovriki, E., Kokkora, M., Gourgoulianis, K., Hadjichristodoulou, Ch., Petinaki, E., Gerogianni, I., Rigas, G., Dinouli D., Papaioannou A.,** Assessment and Modelling River Quality data by Environmetric Methodos.

**Durfor, C.N. and Becker, E. (1964)** Public water supply of the 100 largest cities in US. US Geological Survey Water Supply Paper 1812, 364.

**Engwall R. (1971)** Preliminary report on the transport of presumptive pollutant to the Baltic sea from Sweden. River discharges of total nitrogen, total phosphorus and organic matter. 1. Municipal and industrial discharges in the coastal land area (1970). In: SovietSwed. Symp. on the poll. of the Baltic, Stockholm,

**Esener A. A., Roels J. A. and Kossen N. W. F. (1981)** The influence of temperature on the maximum specific growth rate of *Klebsiella pneumoniae*. *Biotechnol. Bioengng* XXIII: 1401 – 1405.

**Friedrich H. (1965).** *Meeresbiologie*. Gebruder Borntraeger. Berlin.

**Garbrecht, G. (2003).** The Sadd-el-Kafara, the world's oldest dam. In: Fahlbusch H., ed.: *Historical Dams. Foundations of the Future Re sts on the Achievements of the Past.* 580 pp.

**Gjessing, E., Huang, X., Sillanpaa, M., Peraniemis, S. and Vogt, R. (2011)** River research and applications, Vol.27, Issue I, pp.113–121. John Wiley and sons, Ltd 2009.



**Gleick, P. H., (1996)** Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

**Graham A.L. (1995)** The Code of good agricultural practice for the protection of water with particular reference to farm waste management plans. *Croatian Waters* 3:309-312.

**Gray N.F.(1994)** Drinking Water Quality Problems & Solutions. John Wiley & Sons, New York.

**Hayashi M.(2004)** Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental Monitoring and Assessment* 96:119–128

**Quvauviller P.(2002)** Quality Assurance for Water Analysis, John Wiley and Sons West Sussex, ISBN0-471-89962-3

**Mahindru S.N. (2004)** Potable water. APH Publishing Corporation, New Delhi, pp5-48

**Maki A.W., Parcilla B.D., Wenett H.r.. (1984)** The impact of detergent phosphorus Bans on receiving water quality. *Water Res*, 18:893-903.

**Masters M. Gilbert,(1998)** Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall, 1998, pp. 184, 278-285

**Mayo A. W. and Noike T. (1994)** Effects of glucose loading on growth behavior of *Chlorella vulgaris* and heterotrophic bacteria in mixed culture. *Water. Research.* 28: 1001 – 1008.

**Mayo A. W. and Noike T. (1996)** Effects of temperature and pH on the growth of heterotrophic bacteria in waste stabilization ponds. *Water. Research.* 30:447 – 445.

**Migiros G. Stournaras G. Stamatis N. Evelpidou C. Botsialas V. Antoniou E. Vassilakis (2008)** Geological and tectonic study of the fissured rocks of the Hellenides

and their hydrogeological pattern. 8th International Hydrogeological Congress of Greece - 3rd MEM Workshop on Fissured Rocks Hydrology, V1,p. 67-94, Athens

**Moustaka – Gouni M. and Nikolaidis G. (1994)** Phytoplankton and nutrients of the River Nestos, Greece. *Fresenius Envir. Bull.* 3: 152 - 157.

**Moustaka – Gouni M., Nikolaidis G. and Allias H. (1992)** Nutrients, chlorophyll–A and phytoplankton composition of Axios River, Macedonia, Greece. *Fresenius Envir. Bull.* 1:244 – 249.

**Panagopoulos A., Arampatzis G., Kuhr P., Kunkel R., Tziritis E. and Wendland F. (2015)** Area-differentiated modeling of water balance in Pinios River basin, Central Greece, *Global NEST Journal*, 17(2), 221-235.

**Parsons S., Jefferson B. (2006)** Introduction to potable water treatment process. Blackwell Publishing Ltd, U.K., pp 1-14

**Pott R. (1986)** Die Vegetationsanfolgen unterschiedlicher Gewässertypen Nordwestdeutschlands und ihre Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt des Wassers. *Westfälische Geographische Studien*, 42: 173-189.

**Rawlins B. G., Ferguson A. J., Chilton P.J., Arthurton R. S., Grees J. (1998)** *Marine Pollution Bulletin*, 36: 658 – 668.

**US Salinity Laboratory Staff (1954)** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Department of Agriculture, Washington D.C.,USA.60:1-60

**Skordas K., Neofitou N, Karapanagiotidis I, and Neofitou C. (2007)** Hydrogeochemistry of the major ions and quality of groundwater of the hydrological basin of Amyros river, Larisa region, Thessaly-Greece. *Mineral Wealth*, 147/2008, pp. 45-56.

- Smart C.C. (1992)** Temperature compensation of electrical conductivity in glacial melt waters. *Journal of Glaciology* 38(128):9–12
- Stambuk-Giljanovic N. (2006)** The pollution load by nitrogen and phosphorus in the Jadro River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123:13-30
- Tricca A., Stille P., Steinmann M., Kiefel B., Samuel J., Eikenberg J., (1999)** Rare earth elements and Sr and Nd isotopic compositions of dissolved and suspended loads from small river systems in the Vosges mountains France, the river Rhine and groundwater. *Chemical Geology* 160:139–158
- Tryfon H., Moustaka – Gouni M. and Nikolaidis G. (1996)** Phytoplankton and Nutrients in the River Strymon, Greece. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.* 81: 281 – 292
- Tyler G., Miller J. (1999)** *Living in the environment.* Nelson Education Ltd
- U.N.E.R. (1994)** Regional overview of land-based sources of pollution in the wider Caribbean region. Caribbean Environment Programme Technical Report 33. UNER, Kingston.
- U.N.E.P. (2000)** *Lakes and Reservoirs Similarities, Differences and Importance, Short Series on Planning and Management of Lakes and Reservoirs, volume 1*
- Young R. A., Morse G. K., Scrimshaw M. D., Kinniburgh J. H., Mac-Leod C. L. and Lester J. N. (1999)** The relation between phosphorus and eutrophication in the Thames catchment, U.K. *Sci Total Environ.* 228: 157-183.
- Young G., Dooge J.C.I., Rodda J.C. (1994)** *Global Water Resources Issues,* Cambridge University Press, Cambridge, ISBN0-521-46153-7.
- Wilcox L., (1948)** The quality of water for irrigation use. Technical Bull. 962, U.S.D.A., Washington.

**Ηλεκτρονική βιβλιογραφία**

[www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)

[ypan.gr](http://ypan.gr)

## ABSTRACT

This thesis is a hydro geochemical study of Kalamaki reservoir (Thessaly). The purpose of this study was the identification and assessment of the concentration of the main and essential ions in the water reservoir of Kalamaki for the hydrochemical characterization of water and, in order to draw valuable conclusions on the possible pollution of the study area as well as the possible origin of the chemical elements.

There were chosen six (6) sample points, five from the internal of the reservoir and one (1) from outside the trench T1. In total there were collected twenty eight samples. The selection of sites was done by drawing concentric circles from the center of the reservoir to the water inlet of the reservoir of trench T1.

The collected water samples were analyzed in order to determine the concentrations of the ions of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $PO_4^{-3}$ ,  $SO_4^{-2}$ . The determination of the concentration of the ions of  $K^+$ ,  $Na^+$ , was carried by flame photometry. The ions of  $Ca^{+2}$  and  $Mg^{+2}$  were analyzed by the method of atomic absorption and flame technique. The determination of ions of  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  and  $CO_3^{-2}$  was carried volumetrically, whereas concentrations of the ions of  $PO_4^{-3}$  and  $SO_4^{-2}$  were determined computationally. The analyzes of the chemical elements were made in the laboratory of the Department of Ichthyology and Aquatic Environment of the Faculty of Agricultural Sciences, of the University of Thessaly.

According to the results of chemical analysis of the water samples, the ranges for the temperature, conductivity and ph was 16,45 - 22,39 °C, 255 - 3413,33 mS /cm, and 8.22 - 8.51 respectively. The concentrations of the major and essential ions led to the conclusion that the predominant water types of the reservoir are:

Na-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl, Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> και Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>. The representation of these concentrations in a Piper diagram showed that the waters are within the areas boundaries of salt to brackish waters. According to the values of hardness, the waters are classified as hard water. The waters of the reservoir are probably judged as unsuitable for drinking, for the present sampling as to the value of conductivity and concentrations of magnesium ions, sodium and sulfate ions and chloride ions in accordance with Directive 98/83/E.E. They can also be classified in the category of marginal unfit for living fish that are developed or may be developed either into salmonid waters or cyprinid waters because concentrations of nitrate.

But they may be considered appropriate with regard to the concentrations of pH and dissolved oxygen. They are judged as 'inappropriate' for irrigation regarding the conductivity prices (EC). They do not pose risks regarding SAR.

The assessment of the concentrations of the analyzed chemical elements and compounds was based on the international and domestic literature.

**Keywords:** Primary and basic ions, reservoir Kalamaki

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**A: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

**RADIAL - STIF**

**B: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ AQUACHEM 3.6**

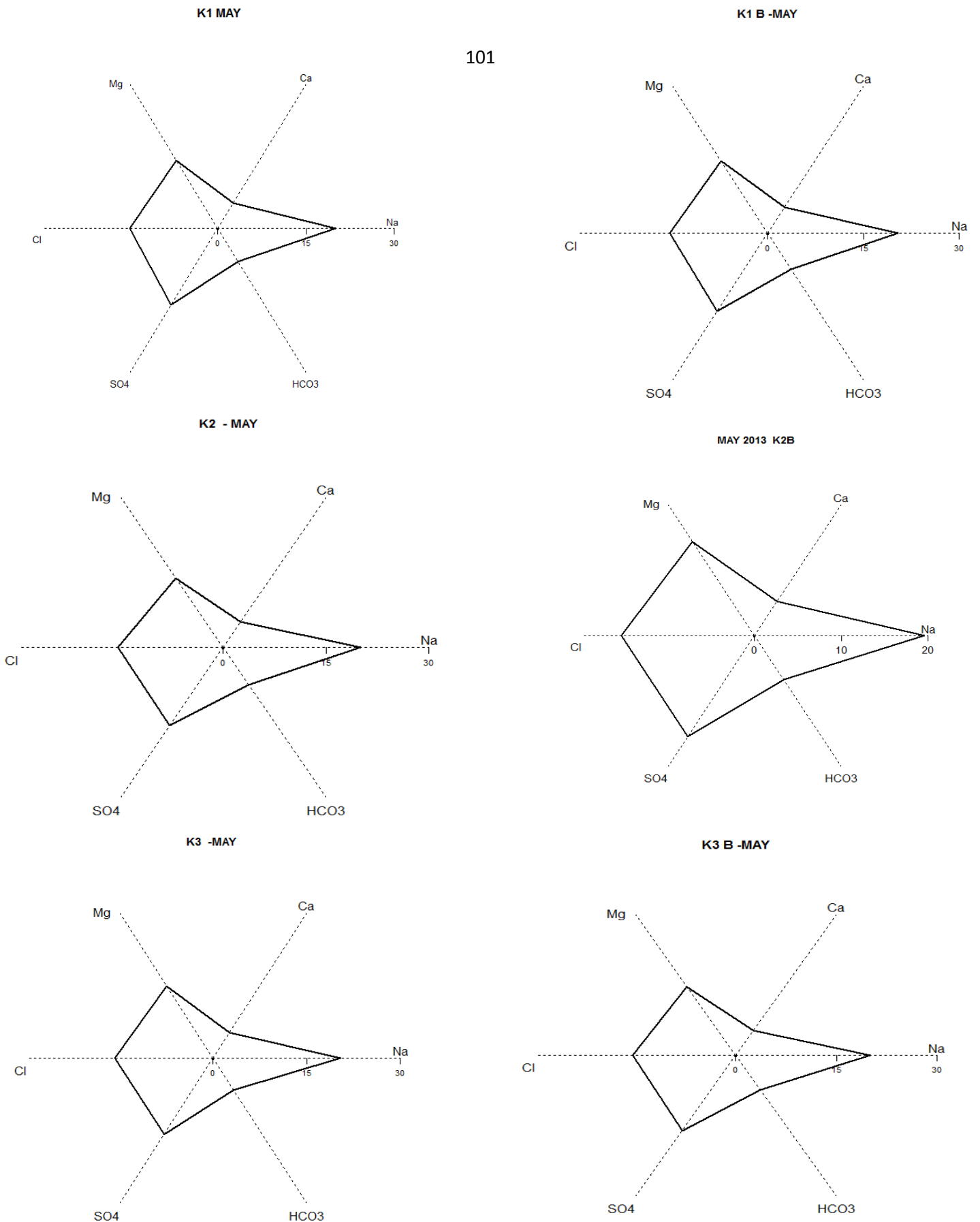
**Γ: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

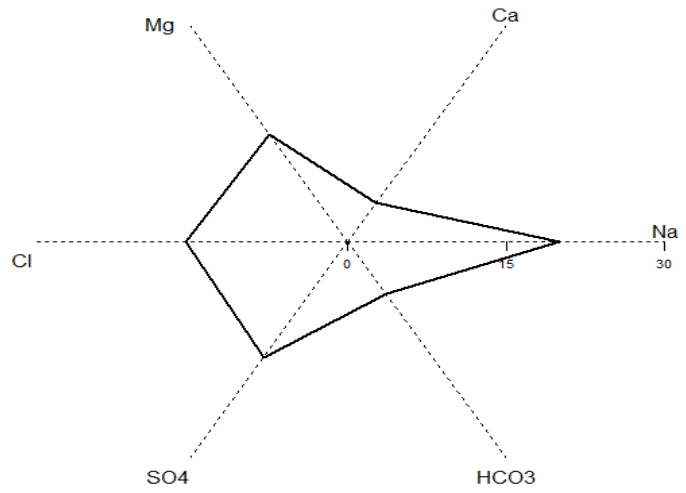
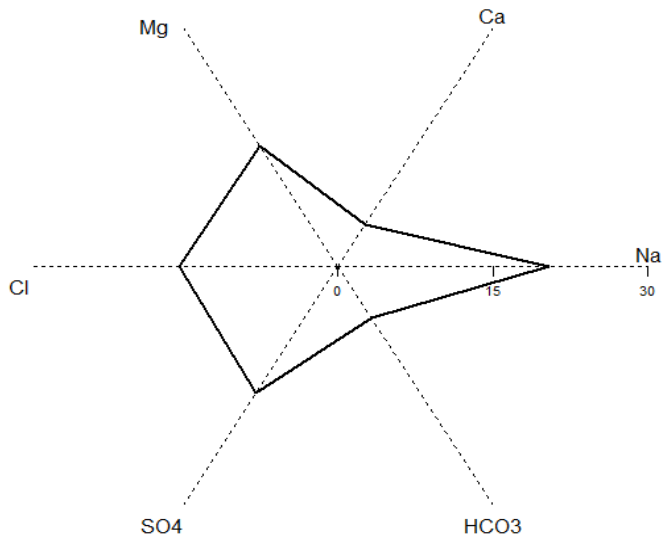
**RADIAL-STIFF**



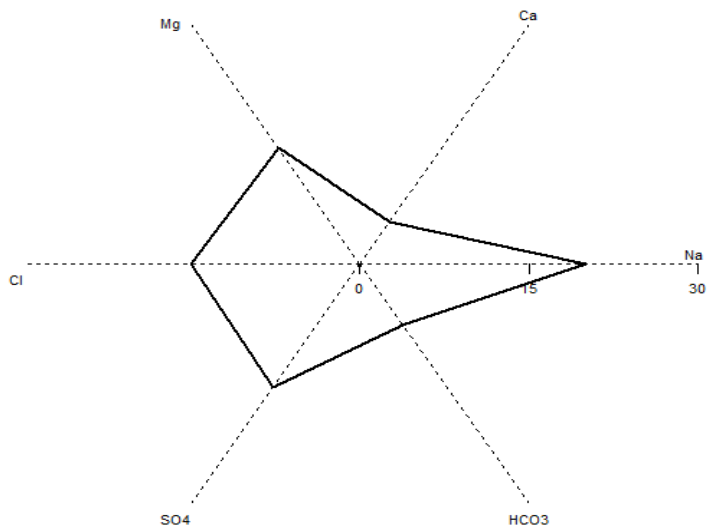


**Σχήμα 1 :** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Radial (Δειγματοληψία Μαΐου 2013)

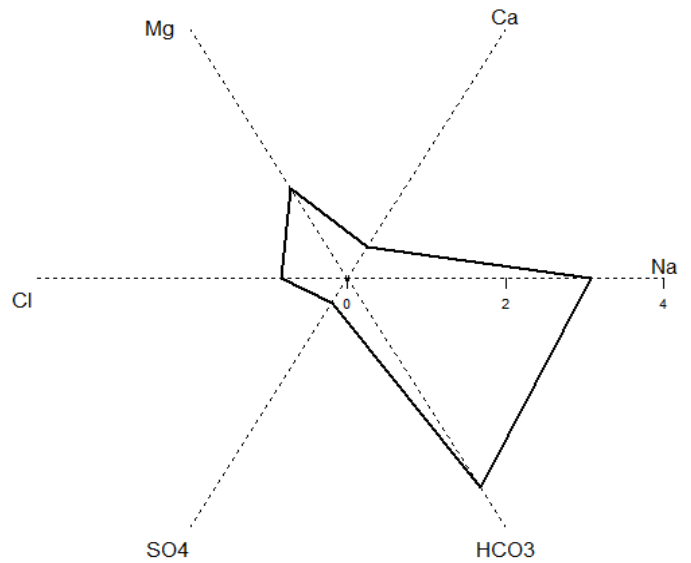
K 4 - MAY



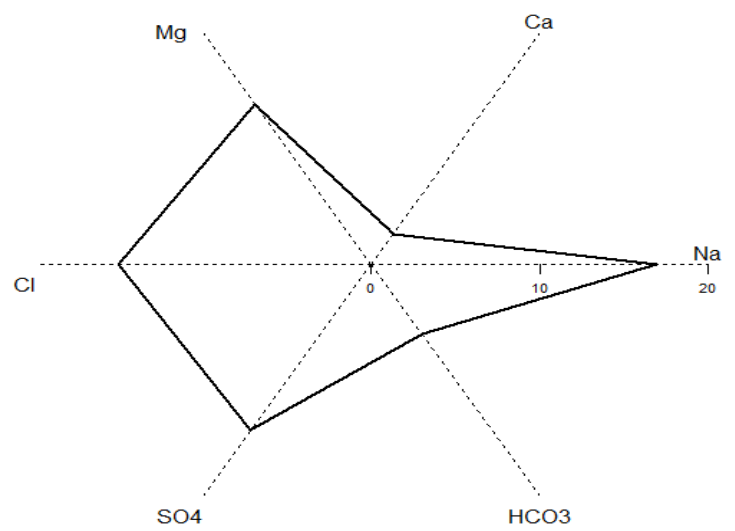
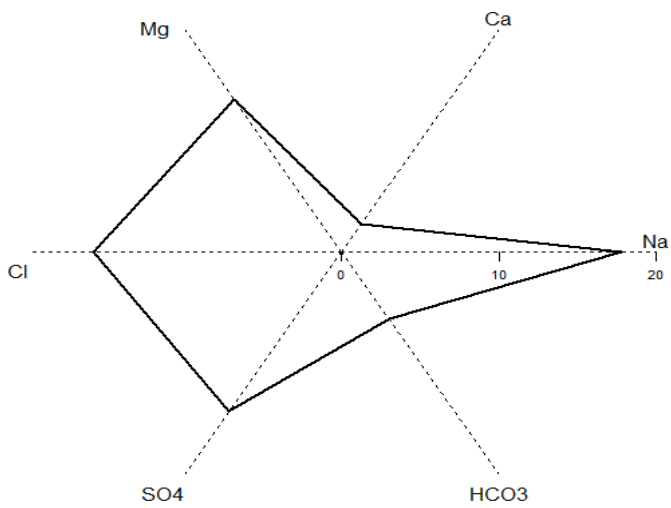
K5 - MAY 2013



K6 (T1) -MAY

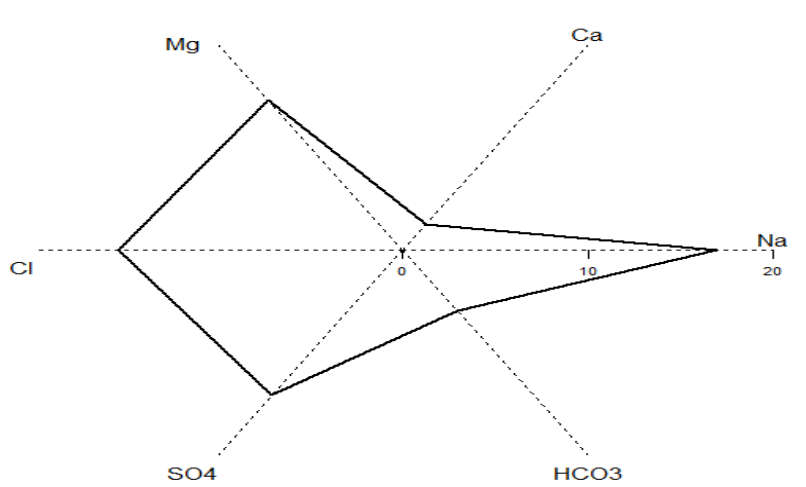
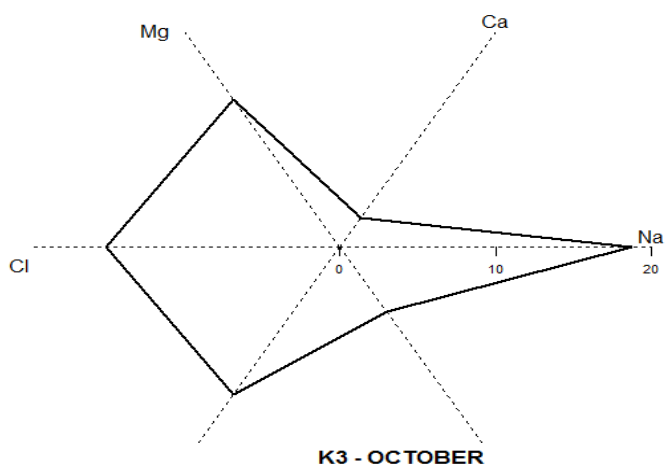


**Σχήμα 2 :** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Radial (Δειγματοληψία Μαΐου 2013)



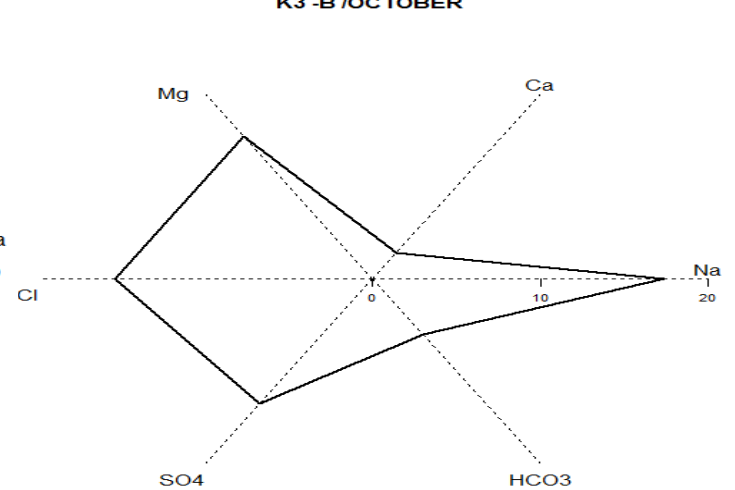
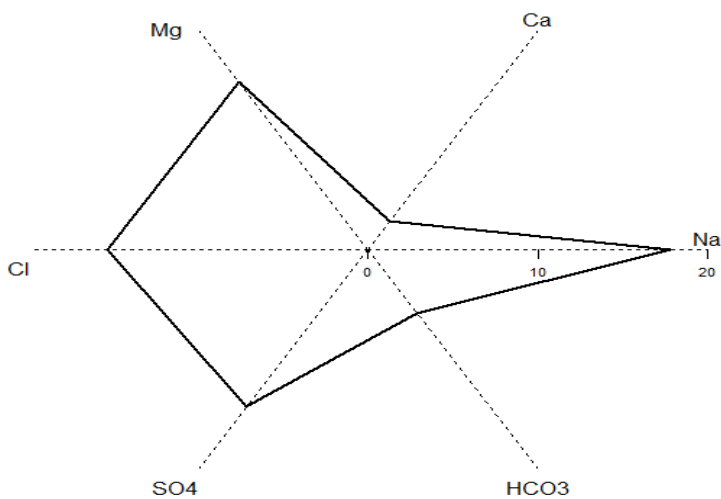
K2 - OCTOBER 2013

K2- B/ OCTOBER 2013



K3 - OCTOBER

K3- B/ OCTOBER

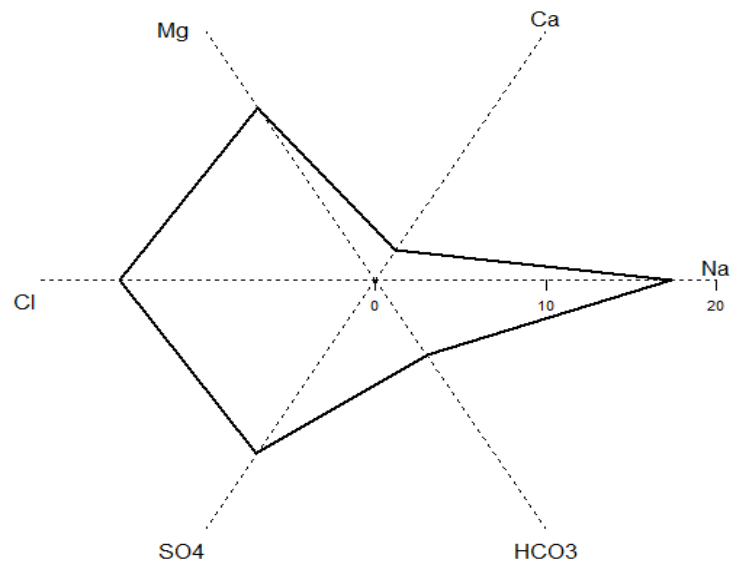
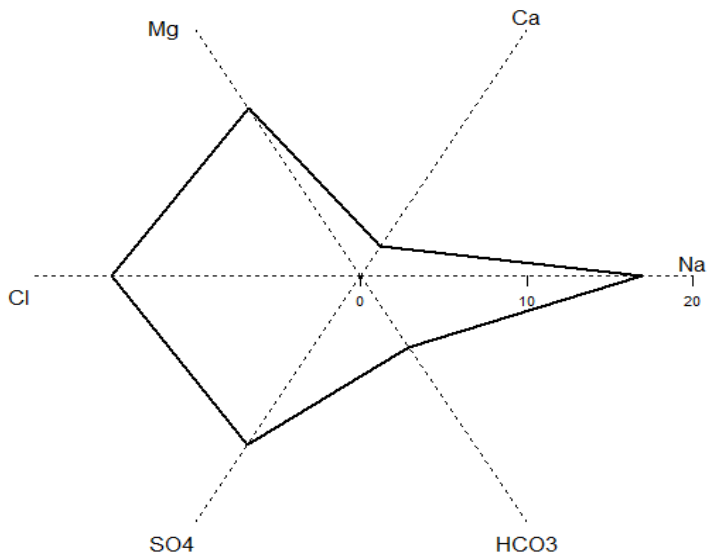


**Σχήμα 3 :** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων με τα διαγράμματα Radial (Οκτώβριος 2013)

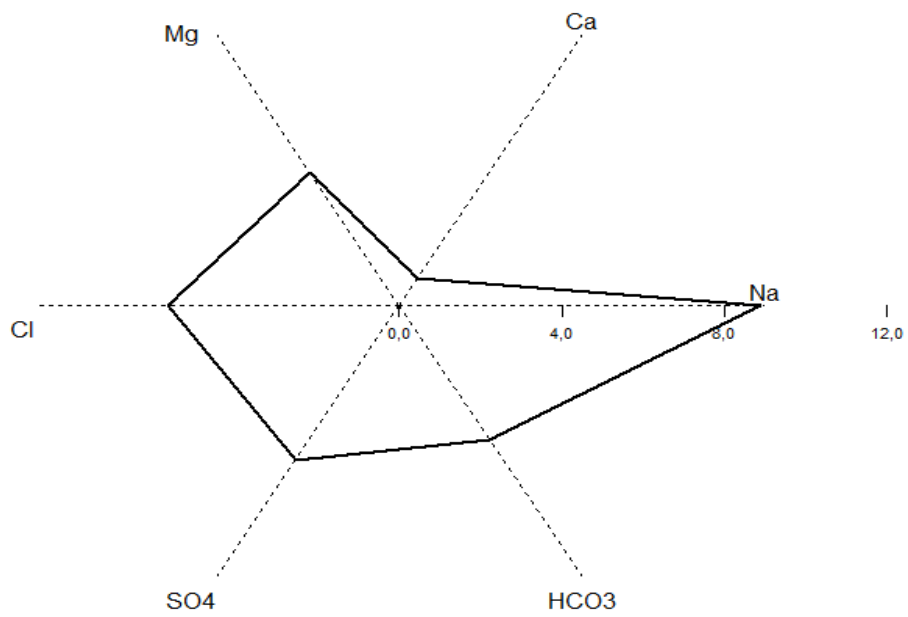
K 4- OCTOBER

K4 -B /OCTOBER

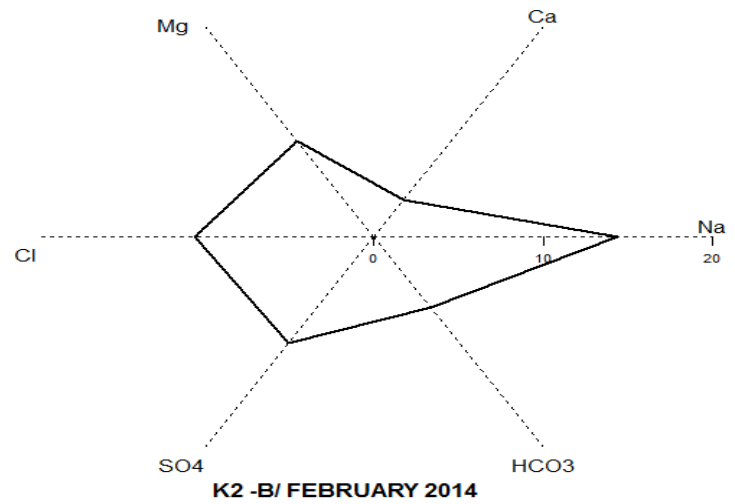
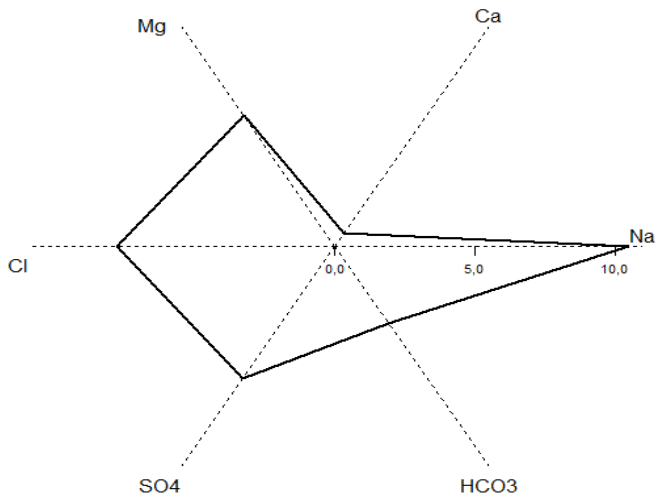
104



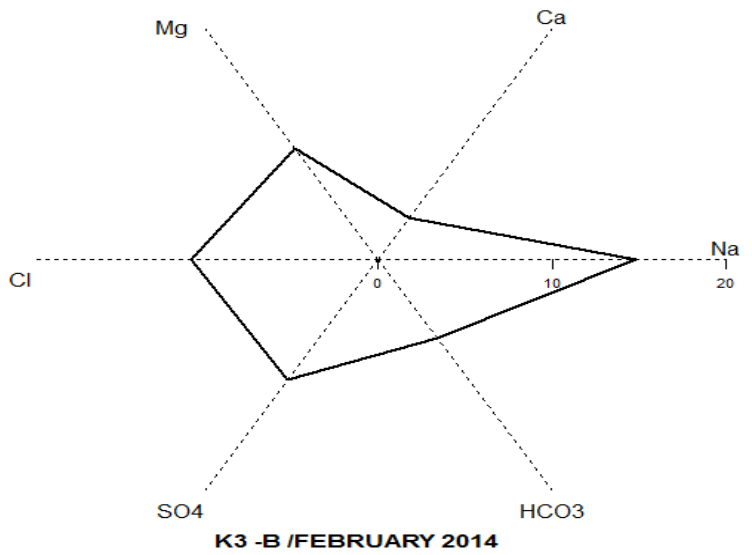
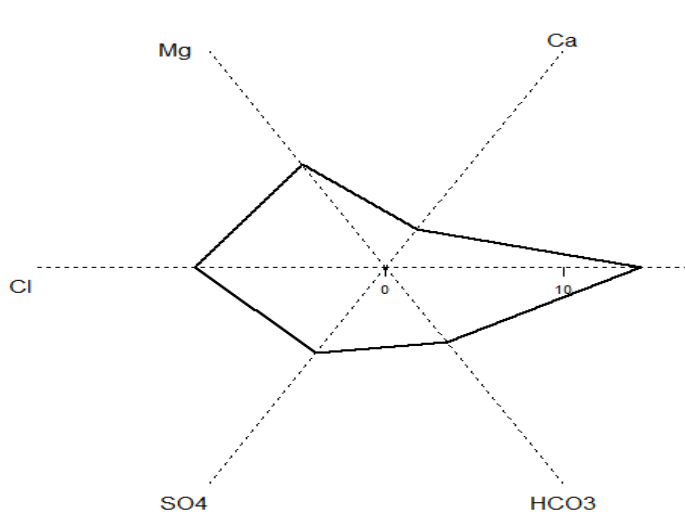
K6 -T1/OCTOBER



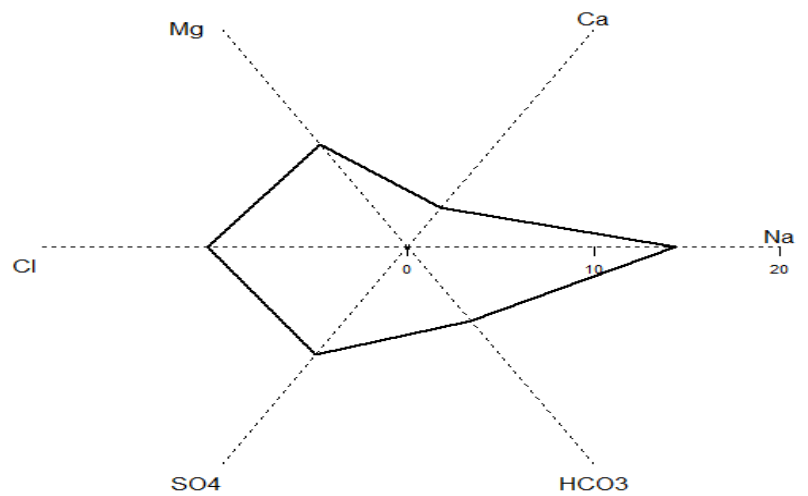
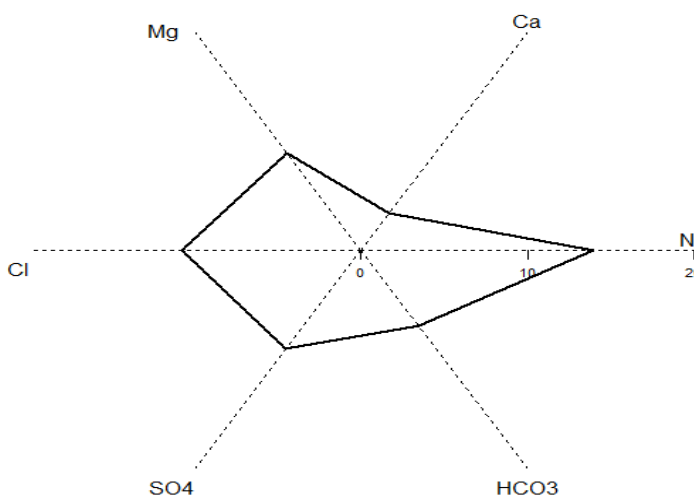
**Σχήμα 4:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Radial (Δειγματοληψία Οκτώβριου 2013)



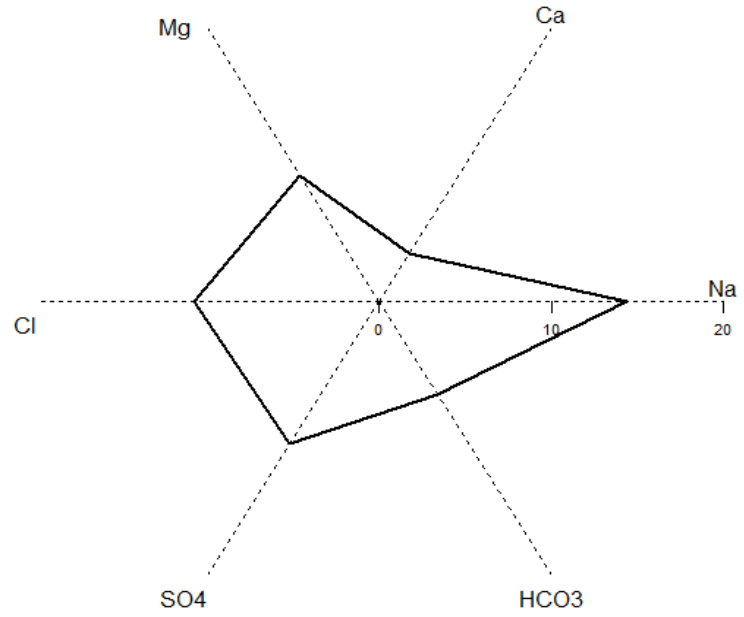
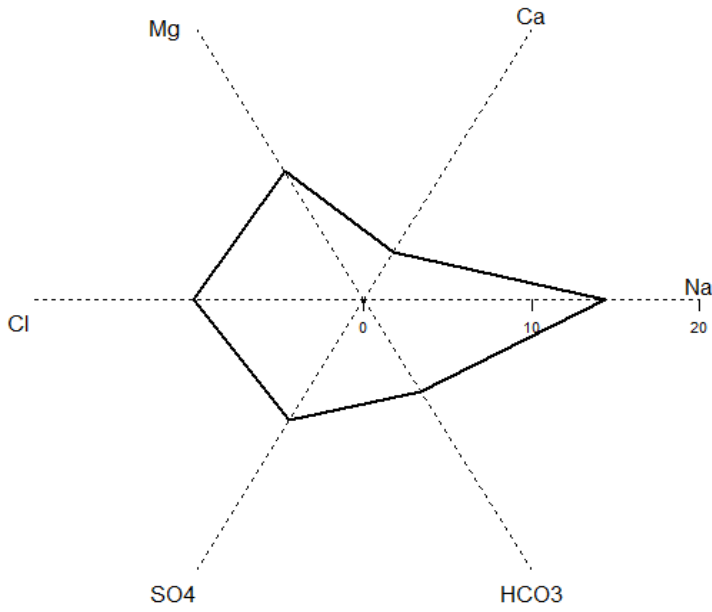
K2 - FEBRUARY 2014



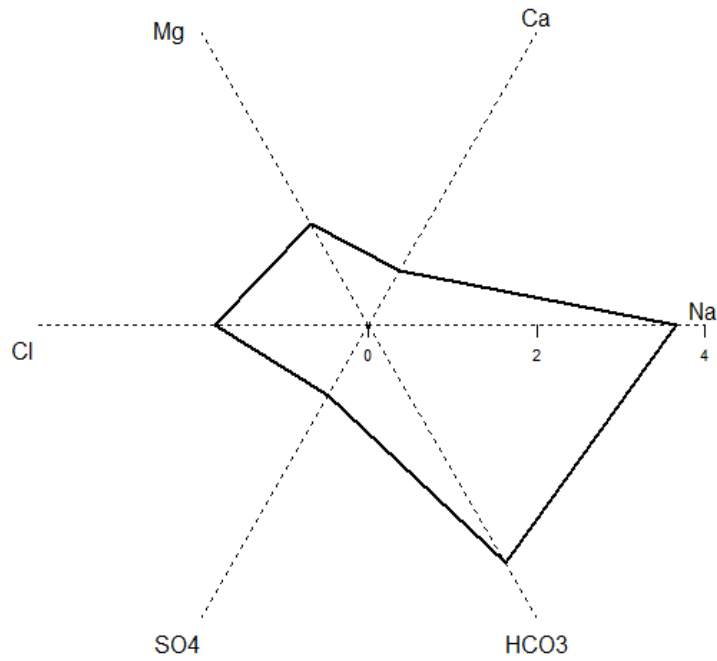
K3 - FEBRUARY 2014



**Σχήμα 5:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα Radial (Δεγματοληψία Φεβρουαρίου 2014)

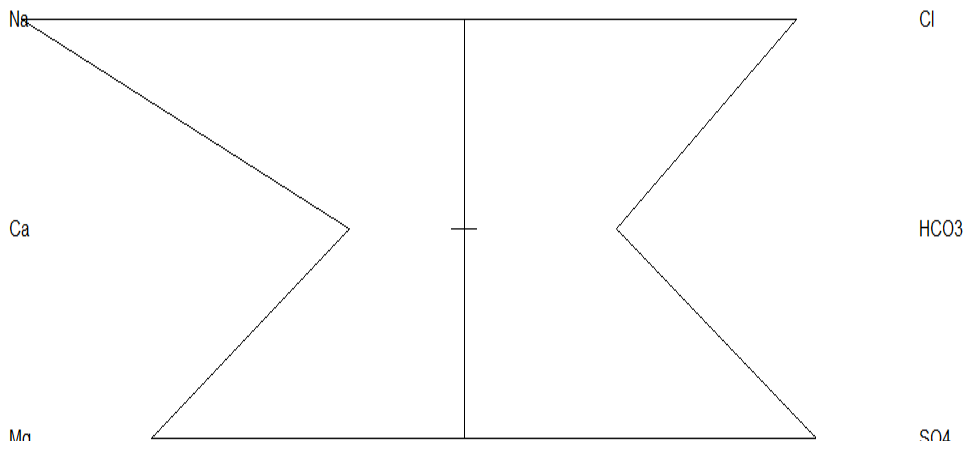


K6 T1 /FEBRUARY 2014

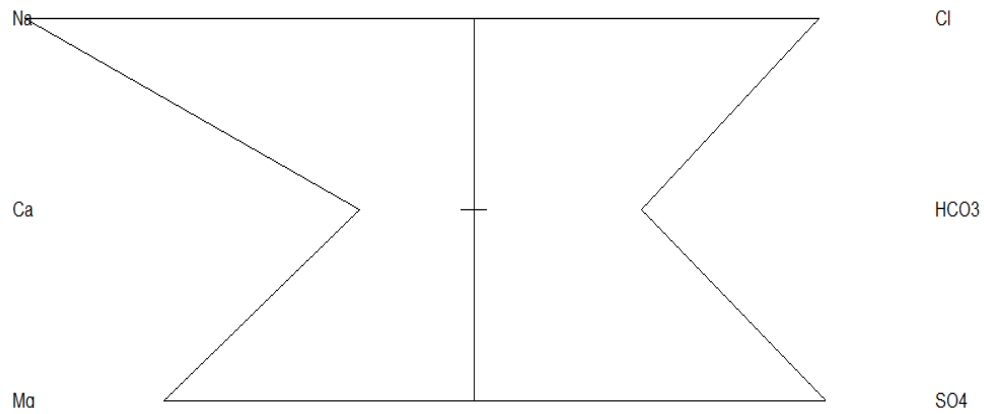


**Σχήμα 6:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Radial (Δειγματοληψία Φεβρουαρίου 2014)

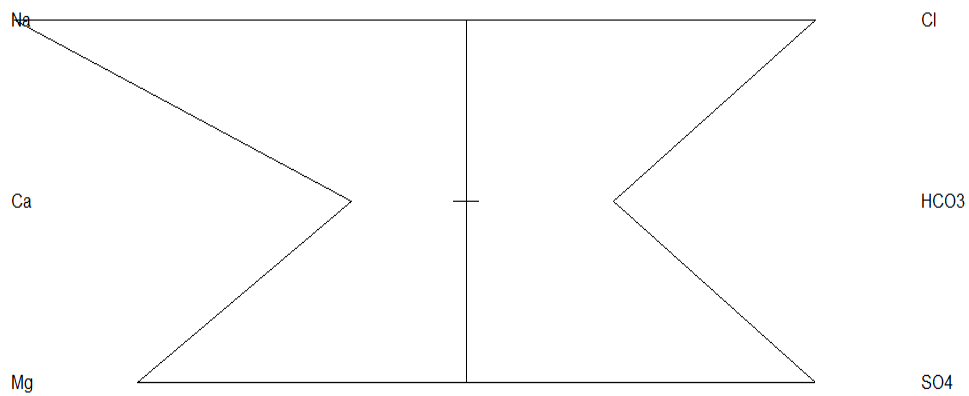
K1 - MAY



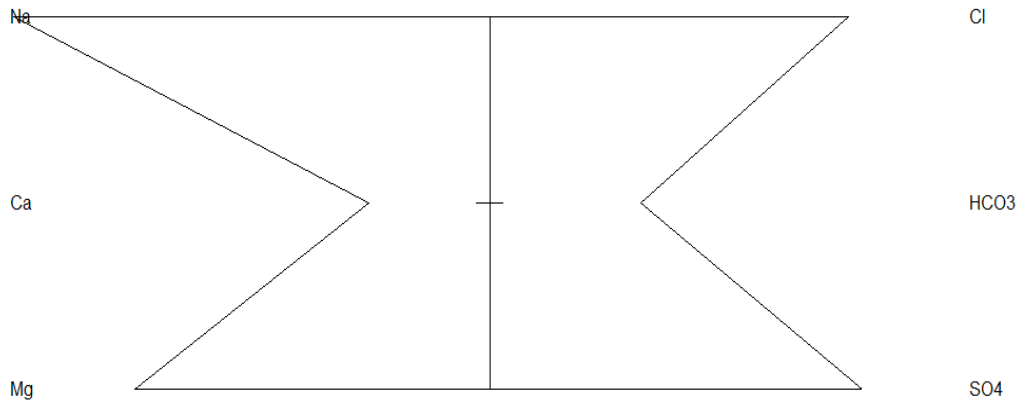
K2 - MAY



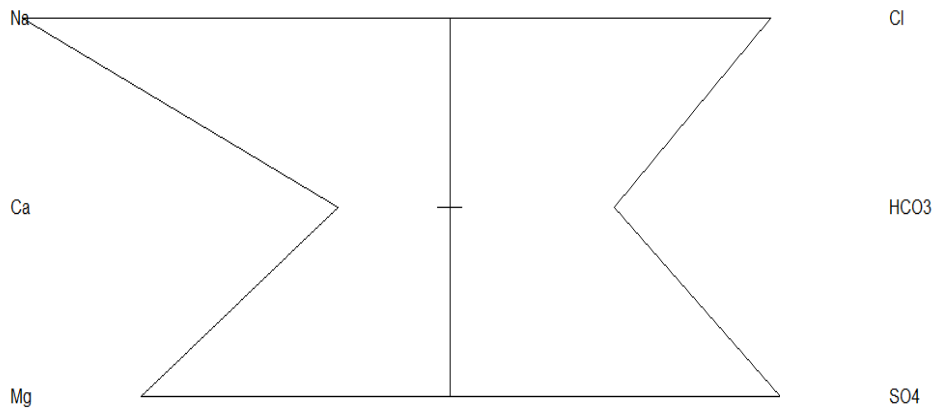
K3 - MAY



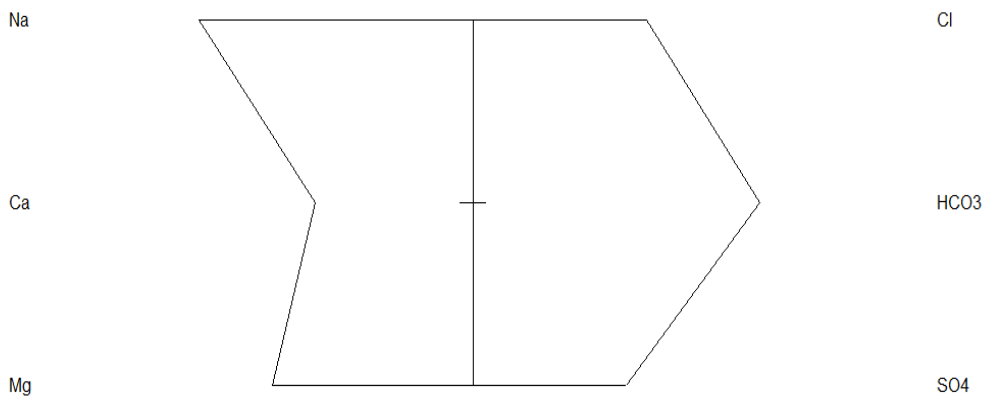
**Σχήμα 7:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Μαΐου 2013)



K5 - MAY



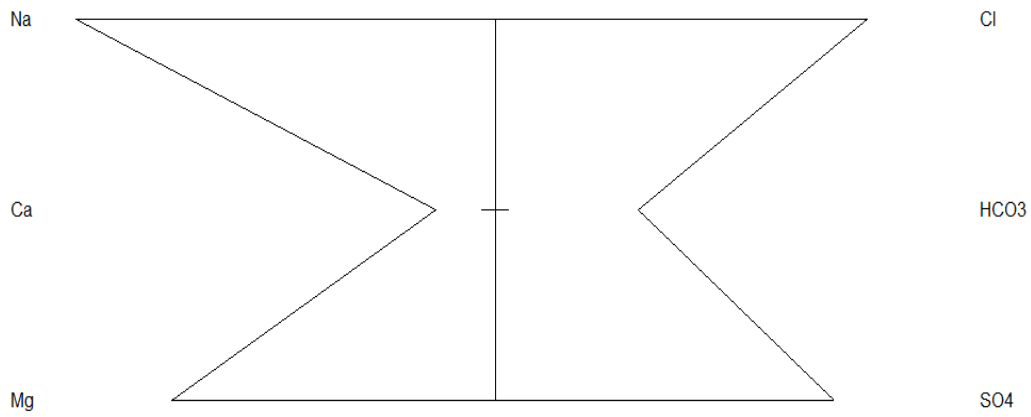
K6 - MAY



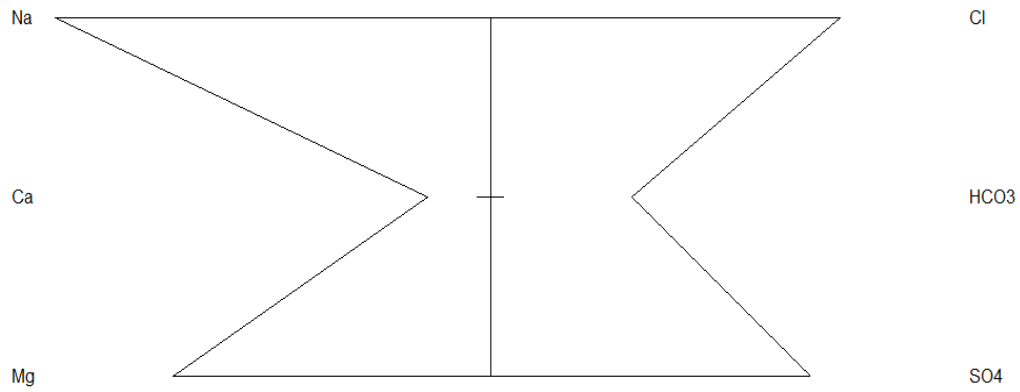
**Σχήμα 8:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Μαΐου 2013)



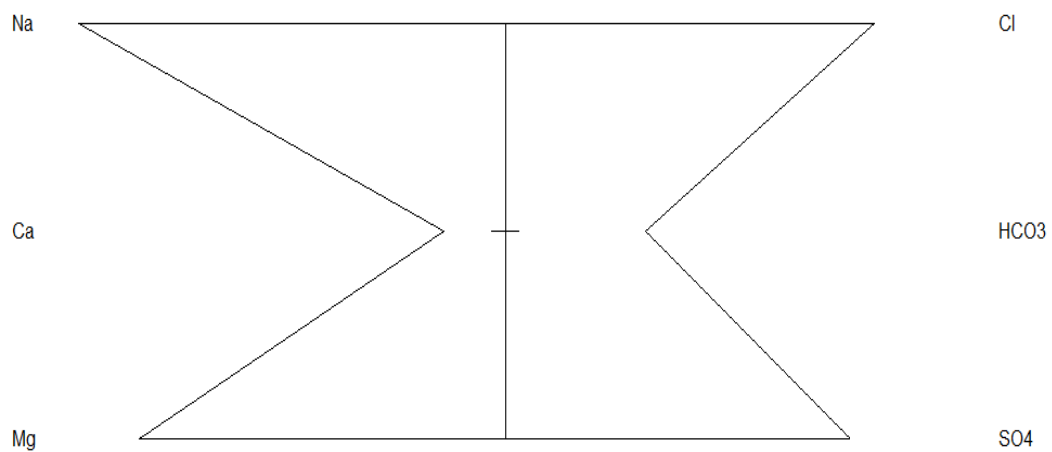
## K1 - OCTOBER



## K2 - OCTOBER

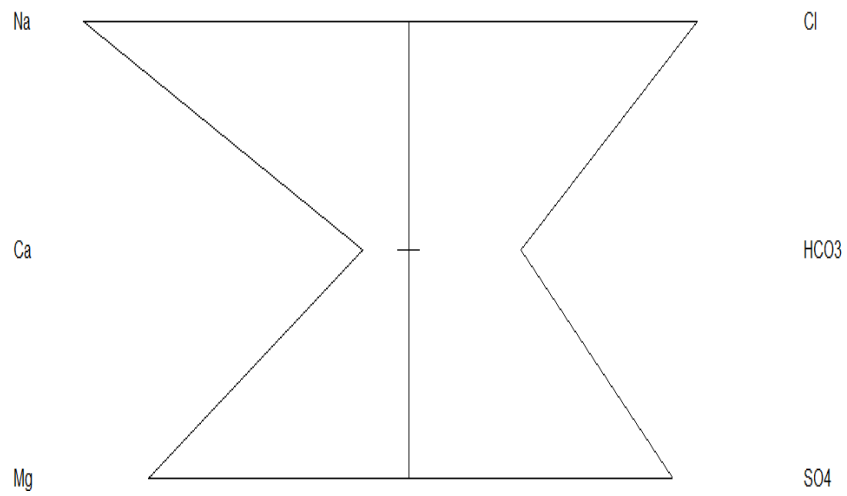


## K3 - OCTOBER

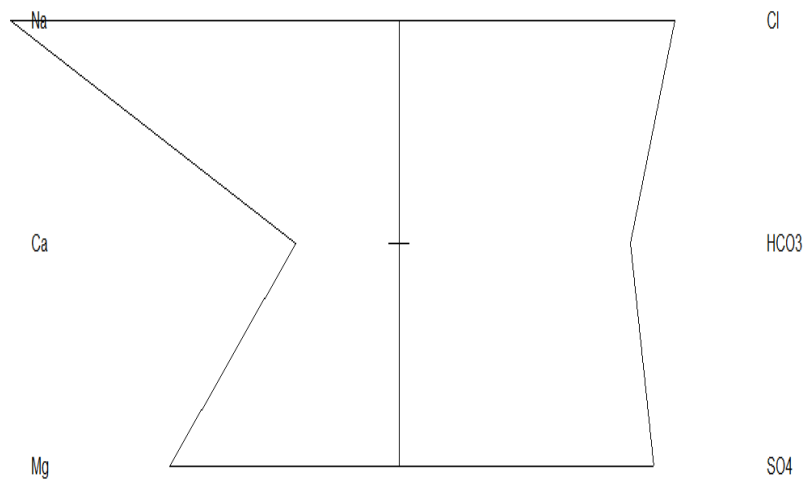


**Σχήμα 9:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Οκτωβρίου 2013)

K4 - OCTOBER

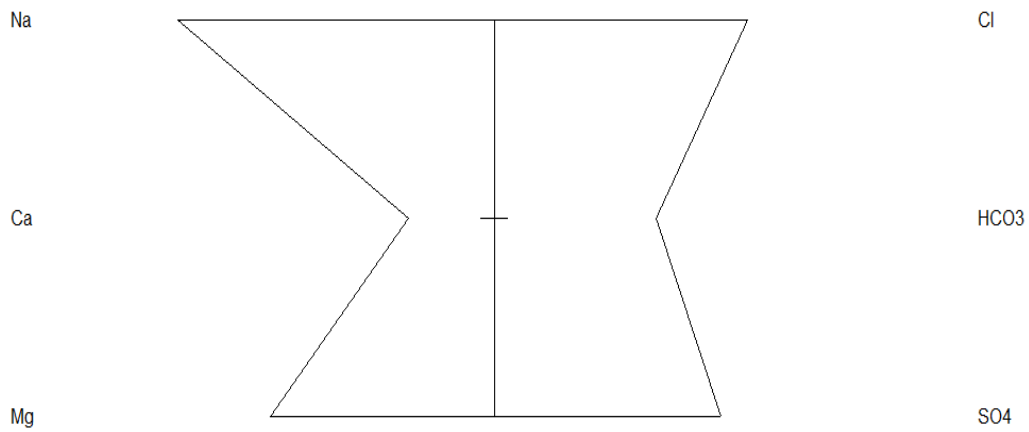


K6 - T1 / OCTOBER

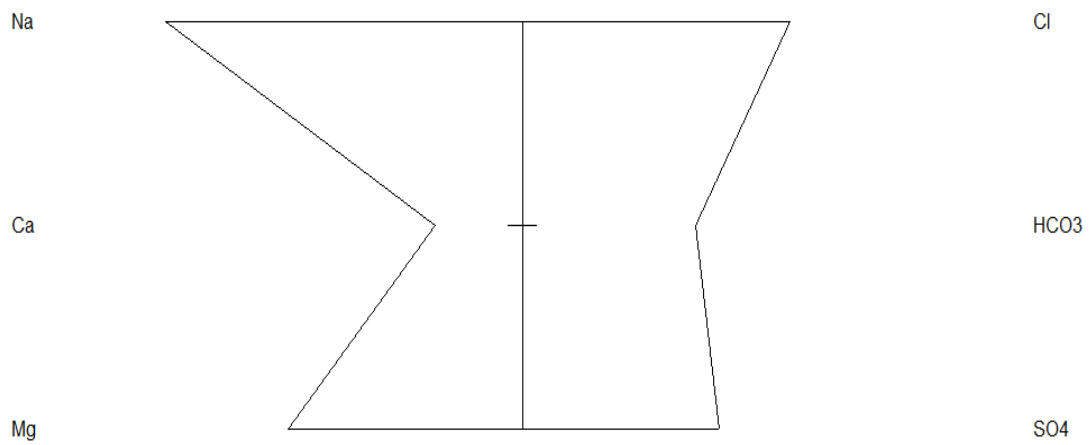


**Σχήμα 10:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Οκτωβρίου 2013)

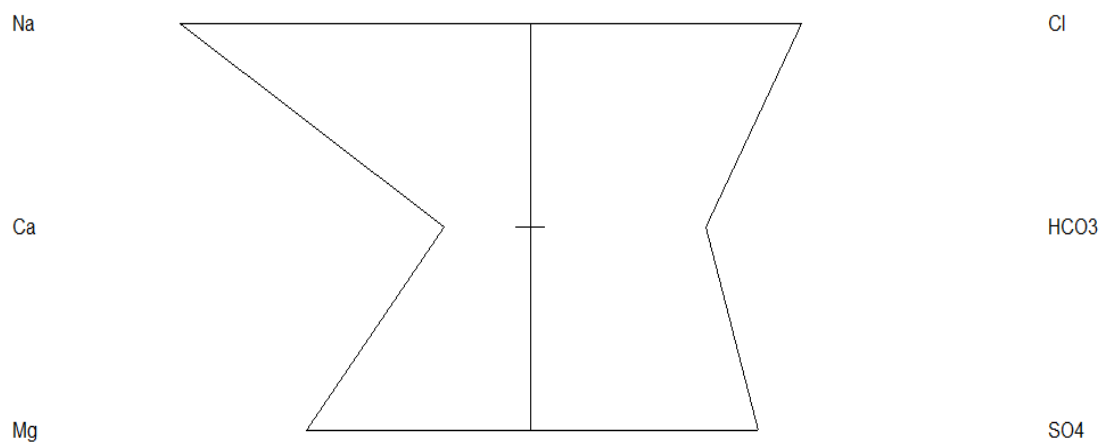
## K1 - FEBRUARY



## K2 - FEBRUARY

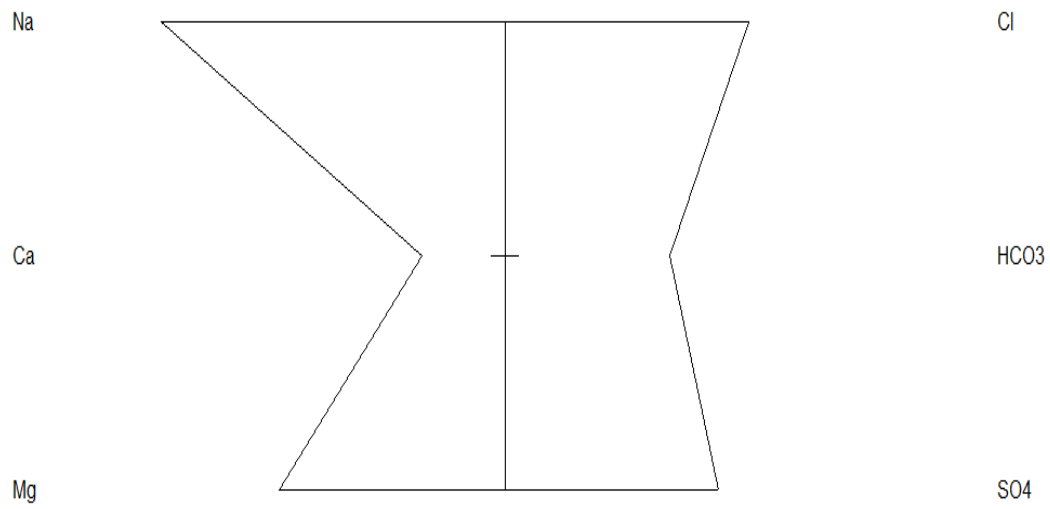


## K3 - FEBRUARY

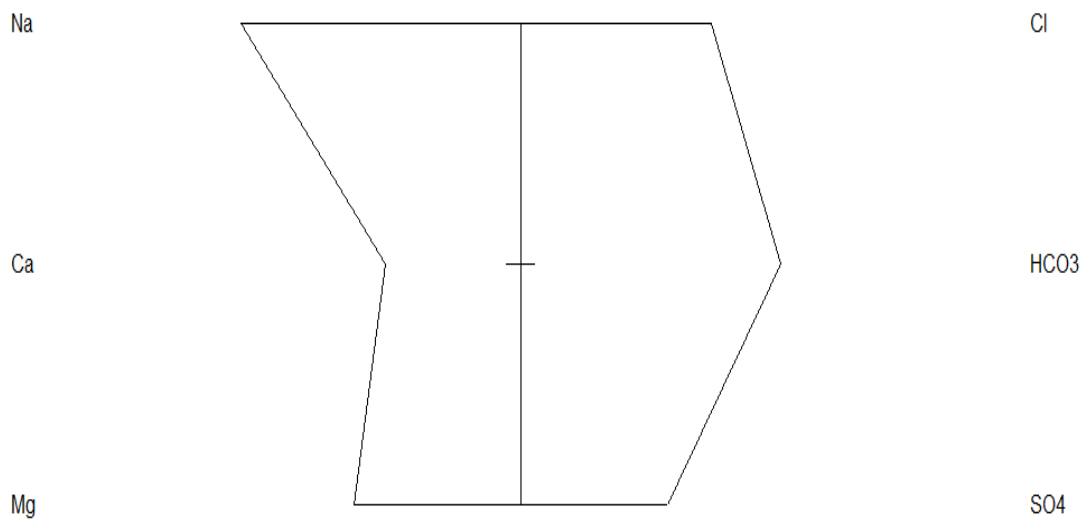


**Σχήμα 11:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Φεβρουαρίου 2014)

## K4 - FEBRUARY



## K6 - T1 /FEBRUARY



**Σχήμα 12:** Παρουσίαση χημικών αποτελεσμάτων των βασικών κυρίων ιόντων με τα διαγράμματα Stiff (Δειγματοληψία Φεβρουαρίου 2014)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ AQUACHEM 3.6**

SampleID : **K1**  
 Location :  
 Site : **MAY**  
 Sampling Date : **MAY 2013**  
 Geology :  
**Watertype** : **Na-Mg-SO4-Cl**

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22  
 Formation temperature (°C) 23  
 Sampling depth (m) 0.5m  
 Sum of Anions (meq/l) : 37,77  
 Sum of Cations (meq/l) : 39,63  
 Balance: : 2,4%

Total dissolved solids : 77,4 meq/l 2461,5 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 19,34	96,70	54,15	967,0
Permanent hardness	: 12,48	62,40	34,95	624,0
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	25,839
K +	11,0	0,281	0,281	0,0
Ca++	104,0	2,595	5,19	6,46
Mg++	172,0	7,075	14,151	18,087
Cl-	532,0	15,006	15,006	19,379
SO4--	764,0	7,954	15,907	19,379
HCO3-	418,5	6,86	6,86	7,752

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,605	0,367	0.319	0.194
Ca/SO4	0,136	0,326	0.152	0.364
Na/Cl	0,865	1,333	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
<b>Halite (NaCl)</b>	<b>: 24,761</b>	<b>0,4233</b>
<b>Anhydrite (CaSO4)</b>	<b>: 1083,293</b>	<b>7,954</b>

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	22	< 12	< 25
Na	460	< 20	< 200
K	11	< 10	< 12
Mg	172	< 30	
Ca	104	< 100	
Cl	532	< 25	
SO4	764	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,43  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,03  
 Magnesium hazard (MH) : 73,17

SampleID : **K1B**  
 Location : KAAAMAKI  
 Site : **MAY**  
**Sampling Date** : **MAY 2013**  
 Geology :  
**Watertype** : **Na-Mg-SO4-Cl**

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 23  
 Formation temperature (°C) 23  
 Sampling depth (m) 2.8m

Sum of Anions (meq/l) : 38,67  
 Sum of Cations (meq/l) : 40,71  
 Balance: : 2,6%

Total dissolved solids : 79,4 meq/l 2524,7 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 19,98	99,91	55,95	999,1
Permanent hardness	: 12,61	63,07	35,32	630,7
Temporary hardness	: 7,37	36,84	20,63	368,4
Alkalinity	: 7,37	36,84	20,63	368,4

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	470,0	20,444	20,444	25,197
K +	11,0	0,281	0,281	0,0
Ca++	105,0	2,62	5,24	6,299
Mg++	179,2	7,371	14,743	17,638
Cl-	545,0	15,372	15,372	18,897
SO4--	765,0	7,964	15,928	18,897
HCO3-	449,5	7,368	7,368	8,819

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,586	0,355	0.319	0.194
Ca/SO4	0,137	0,329	0.152	0.364
Na/Cl	0,862	1,33	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 1084,711	7,964

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	23	< 12	< 25
Na	470	< 20	< 200
K	11	< 10	< 12
Mg	179,2	< 30	
Ca	105	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	765	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,47  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,02  
 Magnesium hazard (MH) : 73,78

**SampleID** : K2  
 Location : KALAMAKI  
 Site : MAY 2013  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2

Sum of Anions (meq/l) : 38,52  
 Sum of Cations (meq/l) : 39,15  
 Balance: : 0,8%

**Total dissolved solids** : 77,7 meq/l 2492,4 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 18,91	94,56	52,95	945,6
Permanent hardness	: 11,45	57,23	32,05	572,3
Temporary hardness	: 7,47	37,33	20,91	373,3
Alkalinity	: 7,47	37,33	20,91	373,3

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	25,752
K +	8,9	0,228	0,228	0,0
Ca++	102,0	2,545	5,09	6,438
Mg++	168,0	6,911	13,821	16,739
Cl-	545,0	15,372	15,372	19,314
SO4--	753,0	7,839	15,678	19,314
HCO3-	455,5	7,466	7,466	9,013

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,607	0,368	0.319	0.194
Ca/SO4	0,135	0,325	0.152	0.364
Na/Cl	0,844	1,302	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	23	< 12	< 25
Na	470	< 20	< 200
K	11	< 10	< 12
Mg	179,2	< 30	
Ca	105	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	765	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,47  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,02  
 Magnesium hazard (MH) : 73,78



**SampleID** K2 B  
**Site** MAY 2013  
**Location** KALAMAKI  
**Date** 2013

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2,3

**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Sum of Anions (meq/l) : 37,60  
 Sum of Cations (meq/l) : 39,39  
 Balance: : 2,3%

**Total dissolved solids** : 77,0 meq/l 2440,3 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 19,5	97,52	54,61	975,2
Permanent hardness	: 12,75	63,73	35,69	637,3
Temporary hardness	: 6,76	33,79	18,92	337,9
Alkalinity	: 6,76	33,79	18,92	337,9

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

**Major ion composition**

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	450,0	19,574	19,574	24,68
K +	12,0	0,307	0,307	0,0
Ca++	104,0	2,595	5,19	6,495
Mg++	174,0	7,158	14,315	18,185
Cl-	545,0	15,372	15,372	19,484
SO4--	743,0	7,735	15,47	19,484
HCO3-	412,3	6,758	6,758	7,794

**Ratios**

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,598	0,363	0.319	0.194
Ca/SO4	0,14	0,335	0.152	0.364
Na/Cl	0,826	1,273	0.556	0.858

**Dissolved Minerals:**

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 1053,517	7,735

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	22	< 12	< 25
Na	450	< 20	< 200
K	12	< 10	< 12
Mg	174	< 30	
Ca	104	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	743	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,27  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,00  
 Magnesium hazard (MH) : 73,39

**SampleID** : K3  
 Location : KAAAMAKI  
 Site : MAY  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Ph : 8.2  
 Sample temperature (°C) : 22

Sum of Anions (meq/l) : 38,20  
 Sum of Cations (meq/l) : 40,70  
 Balance: : 3,2%

**Total dissolved solids** : 78,9 meq/l                      2484,7 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 20,08	100,40	56,23	1004,0
Permanent hardness	: 13,43	67,13	37,59	671,3
Temporary hardness	: 6,65	33,27	18,63	332,7
<b>Alkalinity</b>	: 6,65	33,27	18,63	332,7

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

## Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	470,0	20,444	20,444	25,348
K +	6,7	0,171	0,171	0,0
Ca++	104,0	2,595	5,19	6,337
Mg++	181,0	7,445	14,891	17,744
Cl-	559,0	15,767	15,767	19,011
SO4--	758,0	7,891	15,782	19,011
HCO3-	406,0	6,655	6,655	7,605

## Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,575	0,349	0.319	0.194
Ca/SO4	0,137	0,329	0.152	0.364
Na/Cl	0,841	1,297	0.556	0.858

**Dissolved Minerals:**

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 26,017	0,4447
Anhydrite (CaSO4)	: 1074,786	7,891

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22	< 12	< 25
Na	470	< 20	< 200
Mg	181	< 30	
Ca	104	< 100	
Cl	559	< 25	
SO4	758	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,45  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,02  
 Magnesium hazard (MH) : 74,16

SampleID : **K3 B**  
 Location : KAAAMAKI  
 Site : MAY  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype : Na-Mg-SO4-Cl**

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2

Sum of Anions (meq/l) : 38,75  
 Sum of Cations (meq/l) : 40,09  
 Balance: : 1,7%

**Total dissolved solids** : 78,8 meq/l 2516,6 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 19,8	99,01	55,44	990,1
Permanent hardness	: 12,43	62,16	34,81	621,6
Temporary hardness	: 7,37	36,85	20,63	368,5
Alkalinity	: 7,37	36,85	20,63	368,5

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

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	25,366
K +	11,0	0,281	0,281	0,0
Ca++	105,0	2,62	5,24	6,342
Mg++	177,0	7,281	14,562	17,756
Cl-	545,0	15,372	15,372	19,025
SO4--	769,0	8,006	16,011	20,293
HCO3-	449,57	7,369	7,369	8,878

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,593	0,36	0.319	0.194
Ca/SO4	0,137	0,327	0.152	0.364
Na/Cl	0,844	1,302	0.556	0.858

**Dissolved Minerals:** mg/l mmol/l

Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 1090,383	8,006

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22	< 12	< 25
Na	460	< 20	< 200
K	11	< 10	< 12
Mg	177	< 30	
Ca	105	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	769	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,36  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,01  
 Magnesium hazard (MH) : 73,54

**SampleID** : K4  
 Location : KAAAMAKI  
 Site : MAY  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Ph : 8.2  
 Sample temperature (°C) : 23

Sum of Anions (meq/l) : 37,78  
 Sum of Cations (meq/l) : 41,01  
 Balance: : 4,1%

**Total dissolved solids** : 78,8 meq/l                      2470,1 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 20,41	102,05	57,15	1020,5
Permanent hardness	: 13,95	69,76	39,06	697,6
Temporary hardness	: 6,46	32,29	18,08	322,9
Alkalinity	: 6,46	32,29	18,08	322,9

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

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	470,0	20,444	20,444	25,384
K +	6,1	0,156	0,156	0,0
Ca++	104,0	2,595	5,19	6,346
Mg++	185,0	7,61	15,22	19,038
Cl-	545,0	15,372	15,372	19,038
SO4--	766,0	7,975	15,949	19,038
HCO3-	394,0	6,458	6,458	7,615

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,562	0,341	0.319	0.194
Ca/SO4	0,136	0,325	0.152	0.364
Na/Cl	0,862	1,33	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 1086,129	7,975

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	23	< 12	< 25
Na	470	< 20	< 200
Mg	185	< 30	
Ca	104	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	766	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,40  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,00  
 Magnesium hazard (MH) : 74,57

**SampleID** : K4 B  
**Location** : KAAAMAKI  
 Site : MAY  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22.2

Sum of Anions (meq/l) : 38,67  
 Sum of Cations (meq/l) : 40,49  
 Balance: : 2,3%

**Total dissolved solids** : 79,2 meq/l 2516,5 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 20,23	101,15	56,64	1011,5
Permanent hardness	: 12,96	64,80	36,29	648,0
Temporary hardness	: 7,27	36,35	20,35	363,5
<b>Alkalinity</b>	: 7,27	36,35	20,35	363,5

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

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	25,262
K +	10,0	0,256	0,256	0,0
Ca++	107,0	2,67	5,339	6,316
Mg++	181,0	7,445	14,891	17,684
Cl-	545,0	15,372	15,372	18,947
SO4--	770,0	8,016	16,032	20,21
HCO3-	443,5	7,27	7,27	8,842

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,591	0,359	0.319	0.194
Ca/SO4	0,139	0,333	0.152	0.364
Na/Cl	0,844	1,302	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 1091,801	8,016

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22,2	< 12	< 25
Na	460	< 20	< 200
K	10	< 10	< 12
Mg	181	< 30	
Ca	107	< 100	
Cl	545	< 25	
SO4	770	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,29  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 0,99  
 Magnesium hazard (MH) : 73,61

**SampleID** : K5  
**Location** : ΚΑΛΑΜΑΚΙ  
**Site** :  
**Sampling Date** : ΜΑΙΟΣ 2013  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-SO4-Cl

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22

Sum of Anions (meq/l) : 38,14  
 Sum of Cations (meq/l) : 40,21  
 Balance: : 2,6%

**Total dissolved solids** : 78,4 meq/l 2502,8 mg/l

**Hardness** : meq/l °f °g mg/l CaCO3  
 Total hardness : 19,72 98,60 55,21 986,0  
 Permanent hardness : 12,05 60,26 33,74 602,6  
 Temporary hardness : 7,67 38,34 21,47 383,4  
 Alkalinity : 7,67 38,34 21,47 383,4  
 (1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	460,0	20,009	20,009	25,524
K +	19,0	0,486	0,486	0,0
Ca++	105,0	2,62	5,24	6,381
Mg++	176,0	7,24	14,48	17,867
Cl-	532,0	15,006	15,006	19,143
SO4--	743,0	7,735	15,47	19,143
HCO3-	467,8	7,668	7,668	8,933

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,597	0,362	0.319	0.194
Ca/SO4	0,141	0,339	0.152	0.364
Na/Cl	0,865	1,333	0.556	0.858

**Dissolved Minerals:** mg/l mmol/l  
 -----  
 Halite (NaCl) : 24,761 0,4233  
 Anhydrite (CaSO4) : 1053,517 7,735

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22	< 12	< 25
Na	460	< 20	< 200
K	19	< 10	< 12
Mg	176	< 30	
Ca	105	< 100	
Cl	532	< 25	
SO4	743	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,37  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,01  
 Magnesium hazard (MH) : 73,43

SampleID : K6  
 Location : ΚΑΛΑΜΑΚΙ (ΤΑΦΡΟΣ T1)  
 Site : MAY  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : **Na-Mg-Ca-HCO3-Cl-SO4**

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22.4  
 Sampling depth (m) 1,8m

Sum of Anions (meq/l) : 13,59  
 Sum of Cations (meq/l) : 14,28  
 Balance: : 2,5%

**Total dissolved solids** : 27,9 meq/l 961, mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 7,94	39,68	22,22	396,8
Permanent hardness	: 1,58	7,88	4,41	78,8
Temporary hardness	: 6,36	31,80	17,81	318,0
Alkalinity	: 6,36	31,80	17,81	318,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	140,0	6,09	6,09	21,528
K +	10,0	0,256	0,256	0,0
Ca++	70,0	1,747	3,493	10,764
Mg++	54,0	2,221	4,443	14,352
Cl-	136,0	3,836	3,836	10,764
SO4--	163,0	1,697	3,394	10,764
HCO3-	388,0	6,36	6,36	21,528

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,296	0,786
Ca/SO4	0,429	1,029
Na/Cl	1,029	1,587

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 6,33	0,1082
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 408,943	2,221
Anhydrite (CaSO4)	: 231,121	1,697

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22,5	< 12	< 25
Na	140	< 20	< 200
K	10	< 10	< 12
Mg	54	< 30	
Cl	136	< 25	
SO4	163	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 3,06  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 0,77  
 Magnesium hazard (MH) : 55,98

**2<sup>η</sup> δειγματοληψία**

**SampleID** : K1  
 Location : ΚΑΛΑΜΑΚΙ  
 Site : OCTOBER  
 Sampling Date : OCTOBER  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.6  
 Sample temperature (°C) 21  
 Formation temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2

Sum of Anions (meq/l) : 36,19  
 Sum of Cations (meq/l) : 34,42  
 Balance: : 2,5%

**Total dissolved solids** : 70,6 meq/l 2258,7 mg/l  
 Hardness : meq/l °f °g mg/l CaCO3  
 Total hardness : 16,28 81,42 45,60 814,2  
 Permanent hardness : 10,22 51,12 28,63 511,2  
 Temporary hardness : 6,06 30,30 16,97 303,0  
 Alkalinity : 6,06 30,30 16,97 303,0  
 (1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

**Major ion composition**

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	410,0	17,834	17,834	24,073
K +	12,0	0,307	0,307	0,0
Ca++	51,0	1,272	2,545	2,832
Mg++	167,0	6,87	13,739	18,409
Cl-	559,0	15,767	15,767	21,241
SO4--	690,0	7,183	14,367	19,825
HCO3-	369,66	6,059	6,059	8,496

**Ratios**

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,305	0,185	0.319	0.194
Ca/SO4	0,074	0,177	0.152	0.364
Na/Cl	0,733	1,131	0.556	0.858

**Dissolved Minerals:**

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	26,017	0,4447
Anhydrite (CaSO4)	978,367	7,183

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
pH	8,6	6.5- 8.5	< 9.5
T (Wa)	21	< 12	< 25
Na	410	< 20	< 200
K	12	< 10	< 12
Mg	167	< 30	
Cl	559	< 25	
SO4	690	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,25  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,10  
 Magnesium hazard (MH) : 84,37



**SampleID** : K1B  
**Location** : KALAMAKI  
**Site** : OCTOBER 2013  
**Sampling Date** : OCTOBER  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.6  
 Sample temperature (°C) 21  
 Formation temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2.8

Sum of Anions (meq/l) : 35,43  
 Sum of Cations (meq/l) : 33,63  
 Balance: : 2,6%

**Total dissolved solids** : 69,1 meq/l 2210,7 mg/l

Hardness	meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	16,47	82,33	46,11	823,3
Permanent hardness	10,41	52,03	29,14	520,3
Temporary hardness	6,06	30,30	16,97	303,0
Alkalinity	6,06	30,30	16,97	303,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	390,0	16,964	16,964	23,166
K +	8,0	0,205	0,205	0,0
Ca++	53,0	1,322	2,645	2,896
Mg++	168,0	6,911	13,821	18,822
Cl-	532,0	15,006	15,006	21,718
SO4--	690,0	7,183	14,367	20,27
HCO3-	369,66	6,059	6,059	8,687

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,315	0,191
Ca/SO4	0,077	0,184
Na/Cl	0,733	1,13

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	24,761	0,4233
Anhydrite (CaSO4)	978,367	7,183

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
pH	8,6	6.5- 8.5	< 9.5
T (Wa)	21	< 12	< 25
Na	390	< 20	< 200
Mg	168	< 30	
Cl	532	< 25	
SO4	690	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,91  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,03  
 Magnesium hazard (MH) : 83,94

**SampleID** : K2  
**Location** : ΚΑΛΑΜΑΚΙ  
**Site** : OCTOBER 2013  
**Sampling Date** : OCTOBER  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.6  
 Sample temperature (°C) 21  
 Sampling depth (m) 0,5

Sum of Anions (meq/l) : 34,81  
 Sum of Cations (meq/l) : 35,23  
 Balance: : 0,6%

**Total dissolved solids** : 70,0 meq/l 2218,6 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 16,35	81,76	45,78	817,6
Permanent hardness	: 10,29	51,46	28,82	514,6
Temporary hardness	: 6,06	30,30	16,97	303,0
Alkalinity	: 6,06	30,30	16,97	303,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	430,0	18,704	18,704	25,7
K +	6,9	0,176	0,176	0,0
Ca++	54,0	1,347	2,695	2,856
Mg++	166,0	6,828	13,657	18,561
Cl-	532,0	15,006	15,006	21,417
SO4--	660,0	6,871	13,742	18,561
HCO3-	369,69	6,06	6,06	8,567

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,325	0,197	0.319	0.194
Ca/SO4	0,082	0,196	0.152	0.364
Na/Cl	0,808	1,246	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 24,761	0,4233
Anhydrite (CaSO4)	: 935,829	6,871

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
pH	8,6	6.5- 8.5	< 9.5
T(Wa)	21	< 12	< 25
Na	430	< 20	< 200
Mg	166	< 30	
Cl	532	< 25	
SO4	660	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,54  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,14  
 Magnesium hazard (MH) : 83,52

**SampleID** : K2 B  
**Location** : KAAAMAKI  
 Site : OCTOBER 2013  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.5  
 Sample temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2.3

Sum of Anions (meq/l) : 35,48  
 Sum of Cations (meq/l) : 34,43  
 Balance: : 1,5%

**Total dissolved solids** : 69,9 meq/l 2220, mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 17,11	85,53	47,90	855,3
Permanent hardness	: 11,16	55,78	31,24	557,8
Temporary hardness	: 5,95	29,75	16,66	297,5
Alkalinity	: 5,95	29,75	16,66	297,5

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

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	390,0	16,964	16,964	22,887
K +	14,0	0,358	0,358	0,0
Ca++	51,0	1,272	2,545	2,861
Mg++	177,0	7,281	14,562	20,026
Cl-	545,0	15,372	15,372	21,456
SO4--	680,0	7,079	14,158	20,026
HCO3-	363,0	5,95	5,95	7,152

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,288	0,175
Ca/SO4	0,075	0,18
Na/Cl	0,716	1,104

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
pH	8,5	6.5- 8.5	< 9.5
Na	390	< 20	< 200
K	14	< 10	< 12
Mg	177	< 30	
Cl	545	< 25	
SO4	680	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,80  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 0,99  
 Magnesium hazard (MH) : 85,12

**SampleID** : K3  
 Location : KALAMAKI  
 Site : OCTOBER  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph : 8.2  
 Sample temperature (°C) : 22

Sum of Anions (meq/l) : 35,57  
 Sum of Cations (meq/l) : 35,90  
 Balance: : 0,5%

**Total dissolved solids** : 71,5 meq/l                      2245,6 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 17,9	89,49	50,11	894,9
Permanent hardness	: 12,06	60,31	33,77	603,1
Temporary hardness	: 5,84	29,18	16,34	291,8
<b>Alkalinity</b>	: 5,84	29,18	16,34	291,8

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	410,0	17,834	17,834	23,785
K +	6,6	0,169	0,169	0,0
Ca++	52,0	1,297	2,595	2,798
Mg++	186,0	7,651	15,302	20,987
Cl-	545,0	15,372	15,372	20,987
SO4--	690,0	7,183	14,367	19,587
HCO3-	356,0	5,835	5,835	6,996

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,28	0,17	0.319	0.194
Ca/SO4	0,075	0,181	0.152	0.364
Na/Cl	0,752	1,16	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 978,367	7,183

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	22	< 12	< 25
Na	410	< 20	< 200
Mg	186	< 30	
Cl	545	< 25	
SO4	690	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,96  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,00  
 Magnesium hazard (MH) : 85,50

**SampleID** : K3 B  
**Location** : KAAAMAKI  
 Site : OCTOBER  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.5  
 Sample temperature (°C) 22  
 Sampling depth (m) 2

Sum of Anions (meq/l) : 34,97  
 Sum of Cations (meq/l) : 35,74  
 Balance: : 1,1%

**Total dissolved solids** : 70,7 meq/l 2214,2 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 18,18	90,90	50,90	909,0
Permanent hardness	: 12,12	60,60	33,93	606,0
Temporary hardness	: 6,06	30,30	16,97	303,0
<b>Alkalinity</b>	: 6,06	30,30	16,97	303,0

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

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	400,0	17,399	17,399	24,042
K +	6,5	0,166	0,166	0,0
Ca++	56,0	1,397	2,794	2,828
Mg++	187,0	7,692	15,385	21,213
Cl-	545,0	15,372	15,372	21,213
SO4--	650,0	6,767	13,534	18,385
HCO3-	369,69	6,06	6,06	8,485

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,299	0,182	0.319	0.194
Ca/SO4	0,086	0,206	0.152	0.364
Na/Cl	0,734	1,132	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 25,366	0,4336
Anhydrite (CaSO4)	: 921,65	6,767

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
pH	8,5	6.5- 8.5	< 9.5
T(Wa)	22	< 12	< 25
Na	400	< 20	< 200
Mg	187	< 30	
Cl	545	< 25	
SO4	650	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,77  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 0,96  
 Magnesium hazard (MH) : 84,63

**SampleID** : K4  
 Location : KALAMAKI  
 Site : OCTOBER  
 Sampling Date : 2013  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.4  
 Sample temperature (°C) 21

Sum of Anions (meq/l) : 34,58  
 Sum of Cations (meq/l) : 33,11  
 Balance: : 2,2%

**Total dissolved solids** : 67,7 meq/l 2157,9 mg/l

**Hardness** : meq/l °f °g mg/l CaCO3  
 Total hardness : 15,97 79,85 44,72 798,5  
 Permanent hardness : 10,13 50,67 28,38 506,7  
 Temporary hardness : 5,84 29,18 16,34 291,8  
 Alkalinity : 5,84 29,18 16,34 291,8  
 (1 °f = 10 mg/l CaCO3/1 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	390,0	16,964	16,964	23,636
K +	6,9	0,176	0,176	0,0
Ca++	48,0	1,198	2,395	2,955
Mg++	165,0	6,787	13,575	19,204
Cl-	532,0	15,006	15,006	22,159
SO4--	660,0	6,871	13,742	19,204
HCO3-	356,0	5,835	5,835	7,386

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,291	0,176	0.319	0.194
Ca/SO4	0,073	0,174	0.152	0.364
Na/Cl	0,733	1,13	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 24,761	0,4233
Anhydrite (CaSO4)	: 935,829	6,871

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	21	< 12	< 25
Na	390	< 20	< 200
Mg	165	< 30	
Cl	532	< 25	
SO4	660	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,00  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,06  
 Magnesium hazard (MH) : 85,00

**SampleID** : K4 B  
**Location** : KALAMAKI  
**Site** : OCTOBER  
**Sampling Date** : 2013  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4

Ph 8.2  
 Sample temperature (°C) 22.2

Sum of Anions (meq/l) : 35,02  
 Sum of Cations (meq/l) : 33,73  
 Balance: : 1,9%

**Total dissolved solids** : 68,7 meq/l 2193,2 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 16,17	80,83	45,27	808,3
Permanent hardness	: 10,11	50,54	28,30	505,4
Temporary hardness	: 6,06	30,30	16,97	303,0
Alkalinity	: 6,06	30,30	16,97	303,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	400,0	17,399	17,399	24,728
K +	6,5	0,166	0,166	0,0
Ca++	47,0	1,173	2,345	2,909
Mg++	168,0	6,911	13,821	18,91
Cl-	532,0	15,006	15,006	21,819
SO4--	670,0	6,975	13,95	18,91
HCO3-	369,66	6,059	6,059	8,728

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,28	0,17	0.319	0.194
Ca/SO4	0,07	0,168	0.152	0.364
Na/Cl	0,752	1,159	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 24,761	0,4233
Anhydrite (CaSO4)	: 950,008	6,975

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	22,2	< 12	< 25
Na	400	< 20	< 200
Mg	168	< 30	
Cl	532	< 25	
SO4	670	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 6,12  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,08  
 Magnesium hazard (MH) : 85,49

**SampleID** : K6 (ΤΑΦΡΟΣ T1)  
 Location : KALAMAKI  
 Site : OCTOBER 2013  
 Sampling Date : 8-10-13  
 Geology : T1

**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.1  
 Sample temperature (°C) 21.2

Sum of Anions (meq/l) : 21,28  
 Sum of Cations (meq/l) : 20,38  
 Balance: : 2,2%

**Total dissolved solids** : 41,7 meq/l 1402,7 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 9,31	46,56	26,07	465,6
Permanent hardness	: 2,85	14,27	7,99	142,7
Temporary hardness	: 6,46	32,29	18,08	322,9
Alkalinity	: 6,46	32,29	18,08	322,9

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

**Major ion composition**

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	250,0	10,874	10,874	24,003
K +	7,7	0,197	0,197	0,0
Ca++	58,0	1,447	2,894	4,801
Mg++	78,0	3,209	6,417	14,402
Cl-	273,0	7,7	7,7	16,802
SO4--	342,0	3,56	7,121	16,802
HCO3-	394,0	6,458	6,458	14,402

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,744	0,451	0.319	0.194
Ca/SO4	0,17	0,406	0.152	0.364
Na/Cl	0,916	1,412	0.556	0.858

<b>Dissolved Minerals:</b>	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 12,706	0,2172
Anhydrite (CaSO4)	: 484,93	3,56

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	21,2	< 12	< 25
Na	250	< 20	< 200
Mg	78	< 30	
Cl	273	< 25	
SO4	342	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,04  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,17  
 Magnesium hazard (MH) : 68,92



**3<sup>η</sup> δειγματοληψία**

**SampleID** : K1  
 Location : ΚΑΛΑΜΑΚΙ  
 Site : FEBRARY 2014  
 Sampling Date : 2014  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 15  
 Formation temperature (°C) 17  
 Sampling depth (m) 3

Sum of Anions (meq/l) : 27,25  
 Sum of Cations (meq/l) : 26,83  
 Balance: : 0,8%

Total dissolved solids : 54,1 meq/l 1767,7 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 13,19	65,93	36,92	659,3
Permanent hardness	: 6,33	31,63	17,71	316,3
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

**Major ion composition**

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	310,0	13,484	13,484	24,037
K +	6,2	0,159	0,159	0,0
Ca++	73,0	1,821	3,643	5,547
Mg++	116,0	4,772	9,543	16,641
Cl-	382,0	10,775	10,775	18,49
SO4--	462,0	4,81	9,619	16,641
HCO3-	418,5	6,86	6,86	11,094

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,629	0,382	0.319	0.194
Ca/SO4	0,158	0,379	0.152	0.364
Na/Cl	0,812	1,251	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 655,08	4,81

**Drinking Water Quality Regulations:**

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	15	< 12	< 25
Na	310	< 20	< 200
Mg	116	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	462	< 25	< 250

**Irrigation water:**

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,25  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,02  
 Magnesium hazard (MH) : 72,37

**SampleID** : K1-B  
**Location** : KALAMAKI  
**Site** : FEBRUARY 2014  
**Sampling Date** : 2014  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.5  
 Formation temperature (°C) 13  
 Sampling depth (m) 2.5

Sum of Anions (meq/l) : 27,48  
 Sum of Cations (meq/l) : 27,12  
 Balance: : 0,6%

**Total dissolved solids** : 54,6 meq/l 1791,1 mg/l

Hardness	meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	12,63	63,13	35,35	631,3
Permanent hardness	5,87	29,33	16,42	293,3
Temporary hardness	6,76	33,80	18,93	338,0
Alkalinity	6,76	33,80	18,93	338,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	330,0	14,354	14,354	25,64
K +	5,7	0,146	0,146	0,0
Ca++	70,0	1,747	3,493	5,494
Mg++	111,0	4,566	9,132	16,483
Cl-	375,0	10,577	10,577	18,315
SO4--	487,0	5,07	10,14	18,315
HCO3-	412,36	6,759	6,759	10,989

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,631	0,383
Ca/SO4	0,144	0,344
Na/Cl	0,88	1,357

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	17,453	0,2983
Anhydrite (CaSO4)	690,528	5,07

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	16,5	< 12	< 25
Na	330	< 20	< 200
Mg	111	< 30	
Cl	375	< 25	
SO4	487	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,71  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,14  
 Magnesium hazard (MH) : 72,33

**SampleID** : K2  
**Location** : KALAMAKI  
**Site** : FEBRARY 2014  
**Sampling Date** : 2014  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.3  
 Formation temperature (°C) 13  
 Sampling depth (m) 0.5

Sum of Anions (meq/l) : 25,65  
 Sum of Cations (meq/l) : 27,51  
 Balance: : 3,5%

**Total dissolved solids** : 53,2 meq/l 1708,5 mg/l

Hardness	meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 13,0	65,02	36,41	650,2
Permanent hardness	: 6,04	30,22	16,93	302,2
Temporary hardness	: 6,96	34,80	19,49	348,0
Alkalinity	: 6,96	34,80	19,49	348,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	330,0	14,354	14,354	26,338
K +	5,9	0,151	0,151	0,0
Ca++	71,0	1,771	3,543	5,644
Mg++	115,0	4,731	9,461	16,932
Cl-	382,0	10,775	10,775	18,813
SO4--	380,0	3,956	7,912	13,169
HCO3-	424,56	6,959	6,959	11,288

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,617	0,374
Ca/SO4	0,187	0,448
Na/Cl	0,864	1,332

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 538,811	3,956

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	16,3	< 12	< 25
Na	330	< 20	< 200
Mg	115	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	380	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,63  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,10  
 Magnesium hazard (MH) : 72,76

**SampleID** : K2 B  
 Location : KALAMAKI  
 Site : FEBRUARY 2014  
 Sampling Date : 2014  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.4  
 Formation temperature (°C) 13  
 Sampling depth (m) 2.3

Sum of Anions (meq/l) : 28,00  
 Sum of Cations (meq/l) : 28,14  
 Balance: : 0,2%

**Total dissolved solids** : 56,1 meq/l 1832,6 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 13,22	66,09	37,01	660,9
Permanent hardness	: 6,36	31,80	17,81	318,0
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	340,0	14,789	14,789	24,937
K +	5,1	0,13	0,13	0,0
Ca++	72,0	1,796	3,593	5,344
Mg++	117,0	4,813	9,626	16,031
Cl-	382,0	10,775	10,775	17,812
SO4--	498,0	5,184	10,369	17,812
HCO3-	418,46	6,859	6,859	10,687

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,615	0,373
Ca/SO4	0,145	0,346
Na/Cl	0,89	1,373

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 706,126	5,184

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	16,4	< 12	< 25
Na	340	< 20	< 200
Mg	117	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	498	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,75  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,12  
 Magnesium hazard (MH) : 72,82

**SampleID** : K3  
 Location : KALAMAKI  
 Site : FEBRUARY 2014  
 Sampling Date : 2014  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16  
 Formation temperature (°C) 13  
 Sampling depth (m) 0.5

Sum of Anions (meq/l) : 26,79  
 Sum of Cations (meq/l) : 26,40  
 Balance: : 0,7%

**Total dissolved solids** : 53,2 meq/l 1744,5 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 12,33	61,64	34,52	616,4
Permanent hardness	: 5,37	26,85	15,03	268,5
Temporary hardness	: 6,96	34,80	19,49	348,0
Alkalinity	: 6,96	34,80	19,49	348,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	320,0	13,919	13,919	24,441
K +	5,9	0,151	0,151	0,0
Ca++	69,0	1,722	3,443	5,64
Mg++	108,0	4,443	8,885	15,041
Cl-	382,0	10,775	10,775	18,801
SO4--	435,0	4,529	9,057	16,921
HCO3-	424,56	6,959	6,959	11,28

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,639	0,388	0.319	0.194
Ca/SO4	0,159	0,38	0.152	0.364
Na/Cl	0,838	1,292	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 616,796	4,529

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	16	< 12	< 25
Na	320	< 20	< 200
Mg	108	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	435	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,61  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,13  
 Magnesium hazard (MH) : 72,07

**SampleID** : K3 B  
**Location** : KALAMAKI  
**Site** : FEBRARY 2014  
**Sampling Date** : 2014  
**Geology** :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.4  
 Formation temperature (°C) 13  
 Sampling depth (m) 2

Sum of Anions (meq/l) : 27,50  
 Sum of Cations (meq/l) : 27,47  
 Balance: : 0,1%

**Total dissolved solids** : 55,0 meq/l 1796,2 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 12,97	64,86	36,32	648,6
Permanent hardness	: 6,11	30,56	17,12	305,6
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	330,0	14,354	14,354	25,466
K +	5,7	0,146	0,146	0,0
Ca++	72,0	1,796	3,593	5,457
Mg++	114,0	4,689	9,379	16,371
Cl-	382,0	10,775	10,775	18,19
SO4--	474,0	4,935	9,869	16,371
HCO3-	418,46	6,859	6,859	10,914

Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,632	0,383	0.319	0.194
Ca/SO4	0,152	0,364	0.152	0.364
Na/Cl	0,864	1,332	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 672,095	4,935

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	16,4	< 12	< 25
Na	330	< 20	< 200
Mg	114	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	474	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,64  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,11  
 Magnesium hazard (MH) : 72,30

**SampleID** : K4  
 Location : KALAMAKI  
 Site : FEBRUARY 2014  
 Sampling Date : 2014  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.4  
 Formation temperature (°C) 13

Sum of Anions (meq/l) : 25,93  
 Sum of Cations (meq/l) : 27,46  
 Balance: : 2,9%

**Total dissolved solids** : 53,4 meq/l 1727,3 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 12,95	64,77	36,27	647,7
Permanent hardness	: 6,1	30,48	17,07	304,8
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	330,0	14,354	14,354	26,223
K +	5,8	0,148	0,148	0,0
Ca++	70,0	1,747	3,493	5,619
Mg++	115,0	4,731	9,461	16,857
Cl-	361,0	10,182	10,182	18,731
SO4--	427,0	4,445	8,891	14,984
HCO3-	418,46	6,859	6,859	11,238

Ratios	mg/l		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,609	0,369	0.319	0.194
Ca/SO4	0,164	0,393	0.152	0.364
Na/Cl	0,914	1,41	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 16,802	0,2872
Anhydrite (CaSO4)	: 605,453	4,445

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	16,4	< 12	< 25
Na	330	< 20	< 200
Mg	115	< 30	
Cl	361	< 25	
SO4	427	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,64  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,11  
 Magnesium hazard (MH) : 73,04

**SampleID** : K4 B  
**Location** : KALAMAKI  
 Site : FEBRARY2014  
 Sampling Date : 2014  
 Geology :  
**Watertype** : Na-Mg-Cl-SO4-HCO3

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16.3  
 Formation temperature (°C) 14  
 Sampling depth (m) 2.4

Sum of Anions (meq/l) : 28,04  
 Sum of Cations (meq/l) : 27,26  
 Balance: : 1,4%

**Total dissolved solids** : 55,3 meq/l 1819,2 mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 12,76	63,79	35,72	637,9
Permanent hardness	: 5,9	29,49	16,51	294,9
Temporary hardness	: 6,86	34,30	19,21	343,0
Alkalinity	: 6,86	34,30	19,21	343,0

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	330,0	14,354	14,354	25,316
K +	5,7	0,146	0,146	0,0
Ca++	71,0	1,771	3,543	5,425
Mg++	112,0	4,607	9,214	16,274
Cl-	382,0	10,775	10,775	18,083
SO4--	500,0	5,205	10,411	18,083
HCO3-	418,46	6,859	6,859	10,85

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,634	0,385
Ca/SO4	0,142	0,34
Na/Cl	0,864	1,332

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 17,779	0,3039
Anhydrite (CaSO4)	: 708,961	5,205

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T (Wa)	16,3	< 12	< 25
Na	330	< 20	< 200
Mg	112	< 30	
Cl	382	< 25	
SO4	500	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 5,68  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 1,13  
 Magnesium hazard (MH) : 72,23



**SampleID** : K6 (ΤΑΦΡΟΣ T1)  
 Location : KALAMAKI  
 Site : FEBRUARY2014  
 Sampling Date : 2-2014  
 Geology : T1  
**Watertype** : Na-Mg-Ca-HCO3-Cl-SO4

Ph 8.3  
 Sample temperature (°C) 16

Sum of Anions (meq/l) : 12,04  
 Sum of Cations (meq/l) : 12,54  
 Balance: : 2,0%

**Total dissolved solids** : 24,6 meq/l 854, mg/l

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 6,12	30,59	17,13	305,9
Permanent hardness	: 0,87	4,36	2,44	43,6
Temporary hardness	: 5,25	26,23	14,69	262,3
Alkalinity	: 5,25	26,23	14,69	262,3

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

#### Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	130,0	5,655	5,655	20,344
K +	30,0	0,767	0,767	0,0
Ca++	55,0	1,372	2,745	8,138
Mg++	41,0	1,687	3,373	12,206
Cl-	136,0	3,836	3,836	12,206
SO4--	142,0	1,478	2,957	8,138
HCO3-	320,0	5,245	5,245	20,344

#### Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,341	0,814	0.319	0.194
Ca/SO4	0,387	0,928	0.152	0.364
Na/Cl	0,956	1,474	0.556	0.858

#### Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 6,33	0,1082
Anhydrite (CaSO4)	: 201,345	1,478

#### Drinking Water Quality Regulations:

Element	Measured	Recommended	Maximum
T(Wa)	16	< 12	< 25
Na	130	< 20	< 200
K	30	< 10	< 12
Mg	41	< 30	
Cl	136	< 25	
SO4	142	< 25	< 250

#### Irrigation water:

Sodium Adsorption Ratio (SAR) : 3,23  
 Exchangeable sodium ratio (ESR) : 0,92  
 Magnesium hazard (MH) : 55,14

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**  
**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**

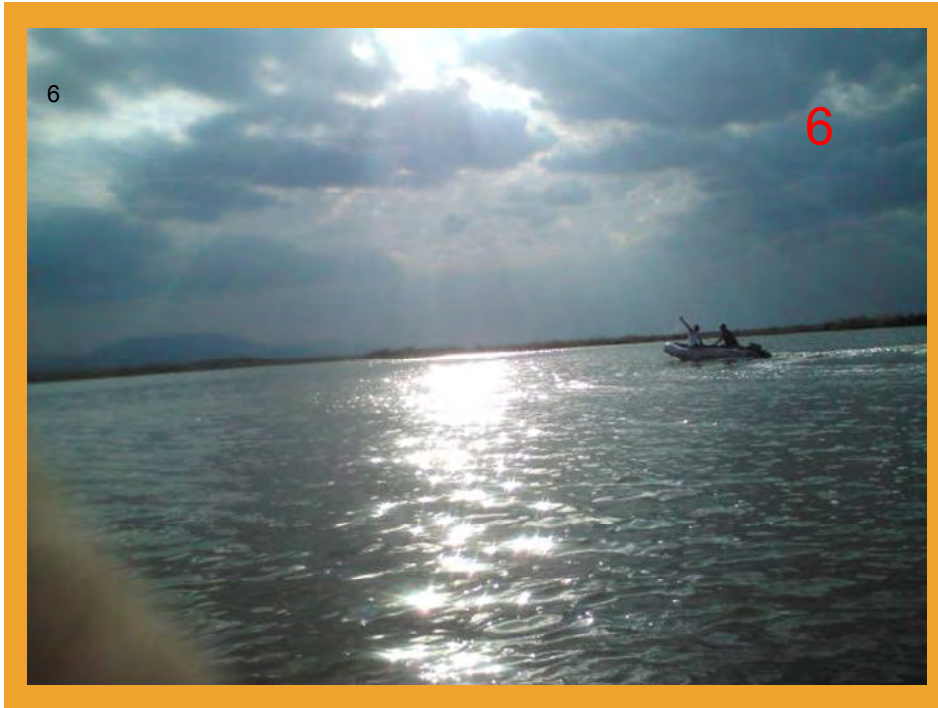


**Εικόνα 1,2,3:**Ταμιευτήρας Καλαμακίου



**Εικόνα 4,5:** Αντλιοστάσιο Ταμειυτήρα Καλαμακίου





**Εικόνα 6,7:** Διαδικασία συλλογής δειγμάτων



**Εικόνα 8, 9:** Λήψη δείγματος



**Εικόνα 10:** Όργανα δειγματοληψίας



**Εικόνα 11:** Ψάρεμα στον ταμειντήρα





**Εικόνα 12:** Ελεύθερη Βόσκηση στην περιοχή του ταμειυτήρα