

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων, άζωτο και φώσφορος στα
ιζήματα της λίμνης Κάρλα»**

Δημήτριος Β. Κοσμίδης

Βόλος 2012

«Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων, άζωτο και φώσφορος στη λίμνη Κάρλα»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

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

*Στους γονείς μου
και στην υπομονή μου.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε από τον κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα Λέκτορα 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, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κ. Νικόλαο Νεοφύτου, Λέκτορα του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ευχαριστίες οφείλονται επίσης, στην Υποψήφια Διδάκτορα του Τμήματος Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης κα. Μάρθα Καρυώτη για την απλόχερη και αμέριστη βοήθεια της στην περάτωση της παρούσας εργασίας, στη βοήθεια δημιουργίας των χαρτών σε πλατφόρμα G.I.S., και στη συνολική παρουσία της τα τελευταία πέντε χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου Λένα και τον πατέρα μου Βασίλη για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου παρέχουν σε κάθε μου επιλογή, αλλά και την οικονομική βοήθεια καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου και μη σταδιοδρομία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση της συγκέντρωσης των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό της λίμνης Κάρλα, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την πιθανή ρύπανση της περιοχής μελέτης, καθώς και την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων. Επίσης, ένας ακόμη στόχος ήταν ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας των ιόντων, αλλά και οι πιθανές επιπτώσεις τους στους υδρόβιους οργανισμούς.

Επιλέχθηκαν δεκαέξι σταθμοί δειγματοληψίας και συλλέχθηκαν εικοσιτέσσερα δείγματα ύδατος και δεκαέξι δείγματα ιζήματος. Η επιλογή των θέσεων έγινε με τη χάραξη έξι διαδρομών, που ξεκινούσαν από το βαθύτερο σημείο της λίμνης και κατέληγαν στα σημεία επιφανειακής εισροής νερού περιμετρικά της. Τα συλλεχθέντα δείγματα νερού και ιζήματος 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} και οι συγκεντρώσεις του Αζώτου (N) και του Φωσφόρου (P), αντίστοιχα, στα δείγματα του ιζήματος.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ιόντων K^+ , Na^+ πραγματοποιήθηκε με φλογοφωτόμετρο. Τα ιόντα του Ca^{+2} και Mg^{+2} αναλύθηκαν με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης και 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 αναλύσεων των δειγμάτων νερού, το εύρος τιμών για τη θερμοκρασία, την αγωγιμότητα, το pH και το TDS, ήταν 13,9 –

17,5 °C, 4140 - 5290 $\mu\text{S} / \text{cm}$, 8,34 – 8,91 και 2528 – 3385,6 ppm αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις σε κύρια και βασικά ιόντα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο επικρατών τύπος νερού στη λίμνη είναι ο Na-Mg-Cl-SO₄. 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. Επίσης, σύμφωνα με τα διεθνώς πιστοποιημένα κριτήρια, το νερό της λίμνης κρίθηκε ακατάλληλο για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν σε ύδατα σαλμονιδών ή κυπρινιδών, ως προς τη συγκέντρωση που παρουσιάζει σε φωσφορικά ιόντα, ακατάλληλο για πόση ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας, του TDS, της ολικής σκληρότητας και των συγκεντρώσεων σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου και θειικά, όξινα ανθρακικά και χλωριόιόντα, καθώς και ακατάλληλο για άρδευση ως προς την τιμή της αγωγιμότητας. Ως πηγές προέλευσης των κύριων και βασικών ιόντων των υδάτων της λίμνης, χαρακτηρίστηκαν τα πετρώματα και ορυκτά που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων ιζήματος, τα ιζήματα χαρακτηρίστηκαν στην πλειοψηφία τους αργιλώδη ως προς τη μηχανική τους σύσταση. Επίσης, το εύρος τιμών για τις συγκεντρώσεις σε άζωτο, φώσφορο και οργανική ουσία ήταν 2350-5200 $\mu\text{g/g}$, 23,51–75,07 $\mu\text{g/g}$ και 0,68–4,93 %, αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα διεθνώς πιστοποιημένα κριτήρια, τα ιζήματα της λίμνης Κάρλα δεν αναμένεται να έχουν δυσμενείς επιδράσεις σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς, ως προς τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου. Αντιθέτως, κρίνονται από οριακά έως πολύ ρυπασμένα ως προς τις συγκεντρώσεις του αζώτου και της οργανικής ουσίας. Η συγκριτική παρουσίαση των τιμών για τα δείγματα ιζήματος με άλλες λίμνες του

ελλαδικού και διεθνούς χώρου, δείχνει υψηλότερες τιμές αζώτου και χαμηλότερες τιμές φωσφόρου. Οι υψηλές τιμές ολικού αζώτου που θα μπορούσαν να έχουν δυσμενείς επιδράσεις στο οικοσύστημα της λίμνης, πιθανότατα οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως λίπανση, απόβλητα κ.α..

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

Λέξεις κλειδιά: Κύρια και βασικά ιόντα, Λίμνη Κάρλα, Άζωτο, Φώσφορος, Λιμναία ιζήματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία	3
1.2.1 Περιοχή μελέτης	3
1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης	7
1.2.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική ανασκόπηση της ευρύτερης περιοχής μελέτης	8
1.2.4 Υδρολογία της περιοχής μελέτης	12
1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης	12
1.2.6 Εδαφολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης	12
1.3 Αβιοτικοί παράγοντες των λιμναίων οικοσυστημάτων	13
1.3.1 Χημικές αναλύσεις και ποιότητα λιμναίων υδάτων	13
1.3.2 Μηχανική σύσταση των λιμναίων ιζημάτων	14
1.3.3 Οργανική ουσία στα λιμναία ιζήματα	14
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	18
2.1 Προγραμματισμός της έρευνας	18
2.2 Δειγματοληψία	18
2.2.1 Συλλογή και αποθήκευση δειγμάτων νερού	19
2.3 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος	26
2.3.1 pH	26
2.3.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	27
2.3.3 Ιόντα Νατρίου	27

2.4.4	Ιόντα Καλίου.....	28
2.4.5	Ιόντα Ασβεστίου και Μαγνησίου.....	29
2.4.6	Ιόντα Χλωρίου.....	30
2.4.7	Υπολογισμός Αλκαλικότητας (CO_3^{-2} , HCO_3^{-}).....	31
2.4.8	Θειικά Ιόντα.....	32
2.4.9	Φωσφορικά Ιόντα.....	32
2.4.10	Σκληρότητα.....	32
2.4.11	Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου - [Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)]	33
2.5	Μηχανική Σύσταση Ιζήματος.....	34
2.6	Ολικός οργανικός άνθρακας – Ολικός άνθρακας – Οργανική ουσία.....	35
2.7	Διαθέσιμος Φώσφορος.....	36
2.8	Ολικό Άζωτο.....	38
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	41
3.1	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων.....	41
3.2	Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων για τα δείγματα νερού.....	50
3.2.1	Παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων.....	51
3.2.1.1	Σκληρότητα.....	51
3.2.1.2	Διάγραμμα Piper.....	53
3.2.1.3	Ολικά διαλυμένα στερεά [Total Dissolved Solid – (TDS)].....	58
3.2.1.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)].....	59
3.2.1.5	Θερμοκρασία.....	60

3.2.1.6 pH	61
3.2.1.7 Ασβέστιο (Ca^{+2})	62
3.2.1.8 Μαγνήσιο (Mg^{+2})	64
3.2.1.9 Κάλιο (K^{+}).....	65
3.2.1.10 Νάτριο (Na^{+})	67
3.2.1.11 Χλώριο (Cl^{-}).....	69
3.2.1.12 Θειικά (SO_4^{-2}).....	70
3.2.1.13 Φωσφορικά (PO_4^{-3})	73
3.2.1.14 Νιτρικά (NO_3^{-})	74
3.3 Ιζήματα.....	75
3.3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων ιζήματος	75
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81
6. ABSTRACT	85

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το νερό αντιμετωπίζεται τόσο ως φυσικός πόρος, όσο και ως οικονομικό και κοινωνικό αγαθό, αλλά και ως περιβαλλοντικό στοιχείο βασικό και αναντικατάστατο, απαραίτητο όχι μόνο για την ανάπτυξη, αλλά και για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών οργανισμών (Olien 2005, De Villiers 2000).

Το *γλυκό* νερό των ηπείρων αποτελεί βασικό φυσικό πόρο, απαραίτητο για την ανάπτυξη του ανθρώπου. Η επάρκειά του αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη αγροτικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Η ύδρευση μεγάλων πόλεων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού πολύ καλής ποιότητας. Έχει στατιστικά υπολογιστεί ότι η κατανάλωση ενός ανθρώπου που ζει στην πόλη κυμαίνεται από 150 έως 400 lt ημερησίως (Mahindru 2004, Parsons *et al.* 2006).

Στην Ελλάδα, η ποσότητα του νερού που προορίζεται κυρίως για γεωργική χρήση, ανάλογα με τις ανά έτος επικρατούσες κλιματικές συνθήκες προσεγγίζει το 83 – 87 % της κατανάλωσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων της χώρας (Υπ. Γεωργίας 2002).

Η διαχείριση των υδατικών πόρων, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Στόχος των ανεπτυγμένων χωρών αποτελεί η ποσοτική και ποιοτική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκονται σε εξέλιξη διαδικασίες για την εναρμόνιση των εθνικών νομοθεσιών των κρατών μελών με την Οδηγία 2000/60 ΕΚ η οποία θέσπισε «το πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων».

Η διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα διέπεται από τις διατάξεις του Ν. 1739/87. Η οργάνωση της διαχείρισης σύμφωνα με τον παραπάνω νόμο βασίζεται στη

διαίρεση της χώρας σε 14 υδατικά διαμερίσματα (Εικ. 1). Οι δραστηριότητες διαχείρισης των υδατικών πόρων διακρίνονται σε αυτές της στρατηγικής και λειτουργικής διαχείρισης. Η *στρατηγική* περιλαμβάνει τη γενική φιλοσοφία, τις αρχές και το γενικό σχεδιασμό που διέπουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η *λειτουργική* περιλαμβάνει το σύνολο των μέτρων και δράσεων με τα οποία εφαρμόζεται η διαχείριση των υδατικών πόρων (Σούλιος 2004).

Στο *Υδατικό Διαμέρισμα* της Θεσσαλίας συναντάμε αρκετές υδατοσυλλογές επιφανειακού νερού (π.χ. ποτάμια, λίμνες). Τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια της στρατηγικής και λειτουργικής διαχείρισης των υδατικών πόρων και λόγω της έντονης δραστηριότητας προς την κατεύθυνση της διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας σε σχέση με τους υδάτινους πόρους παρατηρείται μια συντονισμένη προσπάθεια παρακολούθησης της υπό ανασύσταση λίμνης Κάρλας, όπου λαμβάνει χώρα επαναπλημμυρισμός της περιοχής μέσω του πυκνού φυσικού υδρογραφικού δικτύου που την περιβάλλει (Σούλιος 2006).



Εικόνα 1. Χάρτης με τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (πηγή: <http> 1)

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο 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», αποτελεί ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και της κατανομή των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό της λίμνης Κάρλα, καθώς επίσης και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου, του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα αυτής, όπως, επίσης και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ολικού άνθρακα, του ολικού οργανικού άνθρακα, της μηχανικής σύστασης του ιζήματος και της οργανικής ουσίας, προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, τόσο για την πιθανή προέλευση των ιόντων των χημικών στοιχείων (φυσική ή ανθρωπογενής), όσο και για την πιθανή επιβάρυνση – ρύπανση της περιοχής μελέτης από αυτά. Στόχος είναι επίσης, ο προσδιορισμός της πιθανής επίπτωσης της συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων στους υδρόβιους οργανισμούς.

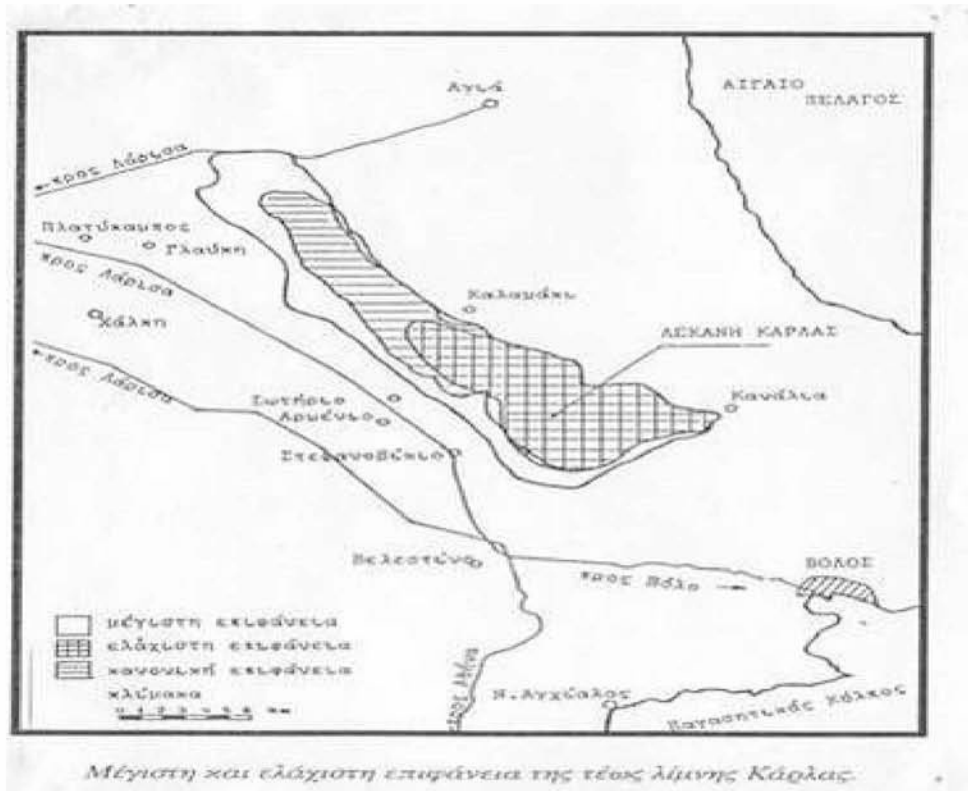
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

1.2.1 Περιοχή μελέτης

Η λίμνη Βοιβής (παλαιότερα) (Εικ.1.1) ή Κάρλα (σήμερα) έπειτα από μια ιστορική πορεία αιώνων, αποστραγγίστηκε το 1962 με απόφαση της τότε πολιτείας με σκοπό την εξασφάλιση καλλιεργήσιμων εκτάσεων που θα πρόεκυπταν από την αποστράγγιση του υδάτινου όγκου της (<http> 2).

Η αποξήρανση της λίμνης Κάρλα αναδεικνύει ένα τμήμα της «τεχνικής» κληρονομιάς σ' ότι αφορά τα αποξηραντικά έργα. Επέφερε ωστόσο, ριζικές οικολογικές

και κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές στους παραλίμνιους οικισμούς, προσδίδοντας μια παθητική προσαρμογή των ανθρώπων με έντονη αλιευτική παράδοση στο "νέο" περιβάλλον με μεταβολή των παραγωγικών δραστηριοτήτων και παράλληλη εμφάνιση οικονομικού μαρασμού καθιστώντας ένα αυξημένο κύμα αστυφιλίας.

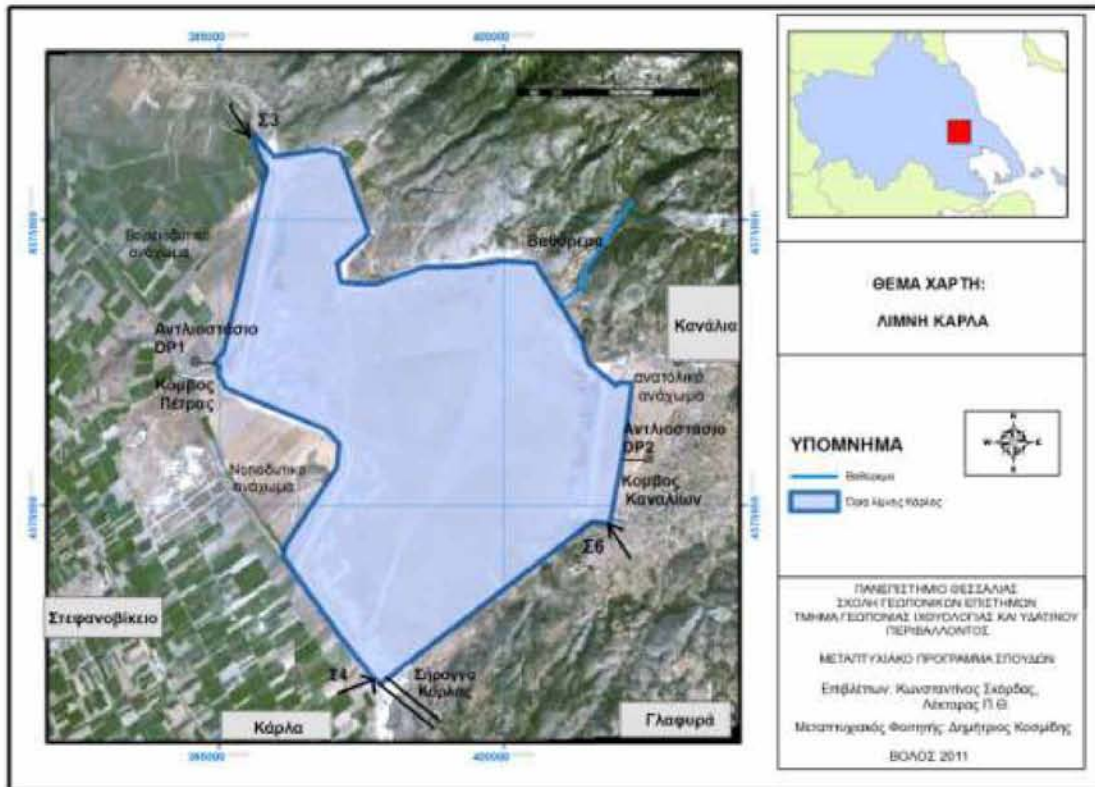


Εικόνα 1.1 Η λίμνη Κάρλα πριν από την αποστράγγιση (πηγή: [http 3](http://3))

Τα αποτελέσματα που προκλήθηκαν σε περιβαλλοντικό επίπεδο ήταν η ραγδαία πτώση της υπόγειας υδροφορίας, η απώλεια της παραλίμνιας χλωρίδας και πανίδας και οι κλιματολογικές μεταβολές που επηρέασαν το σύνολο του Θεσσαλικού χώρου.

Η ανασυσταθείσα λίμνη Κάρλα αποτελεί μία φραγματογενή λίμνη. Καταλαμβάνει έκταση 38000 στρεμμάτων περίπου. Οριοθετήθηκε στο χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλα σε κοντινή απόσταση από το χωριό Κανάλια.

Διαμορφώνεται από το ανατολικό και δυτικό ανάχωμα, το οποίο χωρίζεται σε δύο τμήματα, το Βόρειο και το Νότιο (Εικ. 1.2).



Εικόνα 1.2. Περιοχή μελέτης.

Η λίμνη τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τις εισροές νερού από τον Πηνειό ποταμό μέσω του ρέματος Ασμάκι. Το Ασμάκι αποτελεί αποστραγγιστική τάφρο με δύο κλάδους. Ο πρώτος κλάδος ξεκινά από την περιοχή του Ομορφοχωρίου και εμπλουτίζεται από τον Πηνειό ποταμό. Ο δεύτερος κλάδος ξεκινά από την περιοχή Χασάμπαλη, έχει πηγαίο νερό και ενώνεται με τον πρώτο κλάδο. Τη χειμερινή περίοδο ενισχύεται από τον Άμυρο (Ντερέ) ποταμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Ασμάκι δέχεται απόβλητα είτε άμεσα είτε έμμεσα από βιομηχανικές – βιοτεχνικές μονάδες της περιοχής (Εικ. 1.2).

Επίσης, σημαντικός όγκος νερού εισέρχεται στη λίμνη Κάρλα από φυσική επιφανειακή απορροή μέσω των συλλεκτήρων Σ_3 , Σ_4 , Σ_6 και των αντλιοστασίων DP_1 και DP_2 (Εικ. 1.2).

Ο συλλεκτήρας Σ_3 έχει μήκος 32,5 km και αποτελεί αντιπλημμυρικό έργο με σκοπό να συλλέγει τα νερά των λεκανών απορροής τα οποία προέρχονται από τις ορεινές και ημιορεινές περιοχές της ανατολικής και βορειοανατολικής πλευράς της πεδιάδας πλησίον της λίμνης Κάρλα. Επίσης, ο συλλεκτήρας Σ_3 δέχεται νερά από την τάφρο 9T αλλά και από φυσικά ρέματα, με το σπουδαιότερο από αυτά τον Άμυρο (Εικ. 1.2).

Ο συλλεκτήρας Σ_4 αποτελεί εξίσου έργο αντιπλημμυρικής προστασίας με μήκος 13,8 km και τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα με τα νερά του Πηνειού ποταμού. Συλλέγει τα νερά της επιφανειακής απορροής που εκτείνονται από τη νότια και νοτιοδυτική πλευρά της πεδιάδας της λίμνης Κάρλα με συνολική έκταση 184 km². Επίσης, συλλέγει τα νερά της τάφρου 2T.

Ο συλλεκτήρας Σ_6 είναι χαραγμένος στις παρυφές του λοφώδους συγκροτήματος της περιοχής Κερασιάς και συνδέεται στα ανάντη με το χείμαρρο Κερασιώτη. Το μήκος του συλλεκτήρα Σ_6 είναι 4,55 km ενώ η έκταση της λεκάνης απορροής του είναι 56 km².

Το αντλιοστάσιο DP_1 , είναι κατασκευασμένο στο βόρειο τμήμα του δυτικού αναχώματος και ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά πλημμυρών της τάφρου 1T που δεν μπορεί να απομακρύνει η σήραγγα της λίμνης.

Το αντλιοστάσιο DP_2 είναι κατασκευασμένο έξω από το ανατολικό ανάχωμα και ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά της χαμηλής ζώνης της περιοχής Καναλιών – Κερασιάς.

Σημαντικός όγκος νερού προέρχεται από τα ρέματα της περιοχής τα οποία εκβάλλουν απευθείας στον ταμιευτήρα. Ένα από τα ρέματα αυτά είναι το Βαθύρεμα, το οποίο βρίσκεται ανατολικά της περιοχής μελέτης, στην πλευρά του Μαυροβουνίου, και εκβάλλει απευθείας στη λίμνη (Εικ. 1.2).

1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης

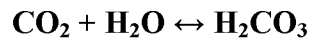
Η υπό ανασύσταση λίμνη Κάρλα αποτελεί τμήμα της παλαιότερης λίμνης πριν από την αποξήρανσή της. Καλύπτει το νότιο-ανατολικό τμήμα (άκρο) του Θεσσαλικού τεκτονικού βυθίσματος (Ananiadis 1956).

Ο ταμιευτήρας της λίμνης περιβάλλεται από έντονο ορεινό ανάγλυφο με τους ορεινούς όγκους (Μαυροβούνι Δυτικό Πήλιο) που την περιβάλλουν να αγγίζουν το υψόμετρο των 1978 m. Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει έντονη γεωμορφολογία με τα υψόμετρα να κυμαίνονται από 100 m μέχρι 300 m (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

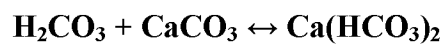
Η γεωμορφολογία της λεκάνης διαμορφώνεται κυρίως από τη διαβρωτική δράση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Παρατηρείται η παρουσία χειμάρρων περιστασιακής ροής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία καρστικού ανάγλυφου, ενώ και η καρστική διάβρωση της περιοχής κρίνεται προχωρημένη. Στην περιοχή υπάρχουν εκτεταμένα καρστικά έγκοιλα (Τσιραμπίδης 2002).

Τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής μελέτης και κυρίως οι ασβεστόλιθοι (CaCO_3) υπόκεινται στην καρστική διάβρωση. Οι ασβεστόλιθοι της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι θαλάσσια ιζήματα ανθρακικού ασβεστίου που δεν έχουν υποστεί μεταμόρφωση. Η χημική σύσταση των ασβεστόλιθων παρουσιάζει

διαφοροποιήσεις ως προς τις προσμίξεις. Ο ασβεστόλιθος είναι λίγο διαλυτός στο καθαρό νερό και η διαλυτική του δράση αυξάνεται με τον εμπλουτισμό του νερού σε CO₂ (Τσιραμπίδης 2002). Η αντίδραση διάλυσης του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό είναι:



Το όξινο ανθρακικό διάλυμα που εισέρχεται στην ανθρακική μάζα μεταβάλλει το ανθρακικό ασβέστιο σε διανθρακικό ασβέστιο διαλυτό στο νερό και πολύ ασταθές.

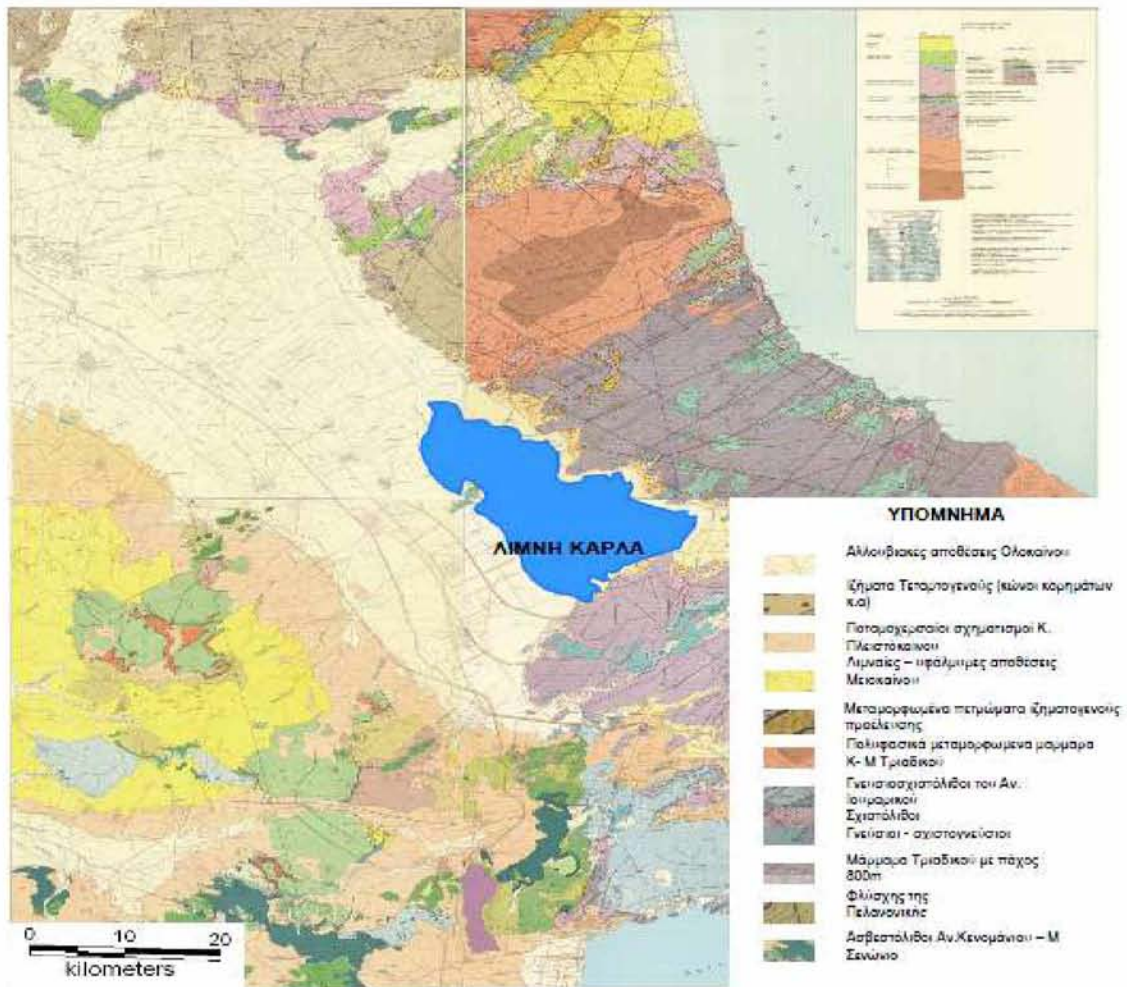


1.2.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική ανασκόπηση της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης κατατάσσεται γεωτεκτονικά στις Εσωτερικές Ελληνίδες και πιο συγκεκριμένα ανήκει στην Πελαγονική ζώνη (Μουντράκης 1985). Η Πελαγονική ζώνη καθορίστηκε από τον Kosmat (1924) με την ονομασία «Πελαγονική μάζα και το κάλυμμά της». Ο όρος «Πελαγονική ζώνη» καθιερώθηκε από τους Brunh (1956) και Aubouin (1957) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες (Εικ. 1.3).

Στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί (Εικ. 1.4).

- **Παλαιοζωικό (Προλιθανθρακοφόρο) κρυσταλλικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης:** Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση του Μαυροβουνίου με ορατό πάχος μεγαλύτερο των 600 m. Αποτελείται από γνεύσιους ως επί το πλείστον διμαρμαρυγικούς και γνευσιοσχιστόλιθους με παρεμβολές αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και αμφιβολιτών.



Εικόνα 1.3: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Ανατολικής Θεσσαλίας (πηγή: Γεωλογικοί χάρτες φύλλα Αγιά, Πλατύκαμπος, Βόλος, Βελεστίνο, Φάρσαλα, Λάρισα κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε.)

- **Νεοπαλαιοζωικοί – κάτω μεσο Τριαδικοί σχηματισμοί:** Σύστημα πολυφασικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων ορθο-και παρα-προέλευσης που καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του Μαυροβουνίου με πάχος που υπερβαίνει τα 800 m. Υπέγκεινται επικλυσιγενώς του παλαιοζωικού κρυσταλλικού υποβάθρου και αποτελούνται από ποικιλία μεταμορφωμένων πετρωμάτων ιζηματογενούς προέλευσης

(σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και μεταβασίτες). Στα ανώτερα μέλη τους απαντούν κατά θέσεις ενστρώσεις αδροκρυσταλλικών μαρμάρων και σιπολινών.

- **Μάρμαρα του μεσο– ανωτ Τριαδικού– ανώτερου Ιουρασικού:**

Καταλαμβάνουν ολόκληρο το νότιο τμήμα του Μαυροβουνίου και το πάχος τους κατά θέσεις υπερβαίνει τα 800 m. Είναι μεσοστρωματώδη έντονα καρστικά, κυανότεφρα έως μελανότεφρα με παρεμβολές δολομιτικών μάρμαρων και κρυσταλλικών δολομιτών στα κατώτερα μέλη τους. Στο ανώτερο τμήμα των μαρμάρων της περιοχής του Μαυροβουνίου απαντούν βοξιτικά κοιτάσματα μικρών διαστάσεων, που ανήκουν στον πρώτο γνωστό βοξιτικό ορίζοντα μεταξύ του Μέσου και Ανώτερου Ιουρασικού.

- **Γνευσιοσχιστόλιθοι - σχιστόλιθοι του ανώτερου Ιουρασικού:**

Υπέγκεινται επικλυσιογενώς των μεσοανωτριασικών - ανωιουρασικών μαρμάρων και το πάχος τους κατά θέσεις υπερβαίνει τα 200 μ. Αποτελούνται από μαρμαρυγίες, χαλαζία και άστριους και σε μικρότερη αναλογία απαντούν αμφίβολοι, χλωρίτης, επίδοτα και σερικίτης. Κατά θέσεις μέσα στα πετρώματα αυτά απαντούν ενστρώσεις κιτρινόφαιων και κατά θέσεις λευκών μαρμάρων μικρού πάχους.

- **Προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό κάλυμμα):**

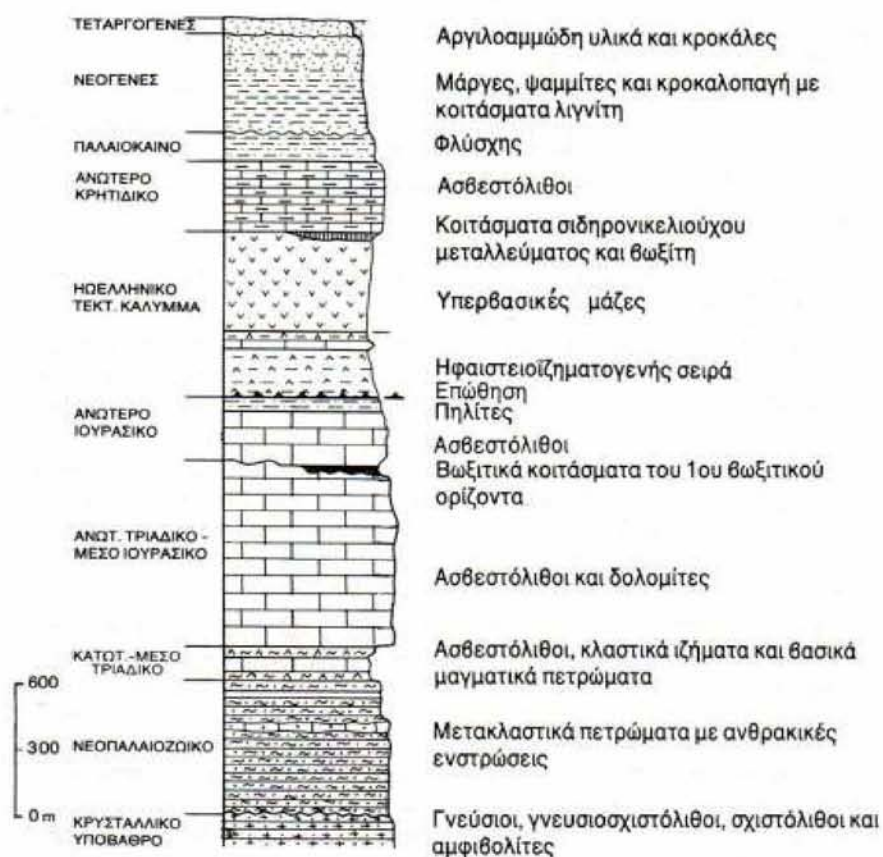
Πρόκειται για ένα σύμπλεγμα πολυφασικά μεταμορφωμένων οφειολιθικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και αποτελούνται από σερπεντινίτες, μεταμορφωμένα βασικά οφειολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες, πρασινίτες) και μεταμορφωμένα πετρώματα ιζηματογενούς προέλευσης (μαρμαρυγιοκοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζιοκοί-χλωριτικοί-μαρμαρυγιοκοί σχιστόλιθοι).

- **Αλουβιακές αποθέσεις:**

Αποτελούνται από ανοικτότεφρα μέχρι καστανότεφρα υλικά από ήλυ, άργιλο, άμμο και κροκαλολατύπες, που αποτέθηκαν στην

λεκάνη της Κάρλας σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και σε κοιλάδες ανοικτές προς τη θάλασσα.

• **Κώνιοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα :** Ασύνδρες λατύπες ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης, με λεπτομερές υλικό ανάμεσά τους.



Εικόνα 1.4 Λιθοστρωματογραφική τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης μη μεταμορφωμένων σχηματισμών (πηγή: Γ.Χ. Κατσικάτσος)

Η εξέλιξη της περιοχής μελέτης έχει αποτυπωθεί τόσο στα πετρώματα του αλπικού υποβάθρου, όσο και στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, όπου έδωσε γεωμορφές που συσχετίζονται κυρίως με τη νεότερη νεογενή και τεταρτογενή γεωλογική εξέλιξη αυτής.

Η μορφολογία του βορείου περιθωρίου της λεκάνης είναι ομαλή και γενικά χαμηλή. Η ένωση των ιζημάτων που πληρούν τη λεκάνη αυτή, με αυτά που έχουν αποθεθεί στο νότιο περιθώριο του μεγάλου Θεσσαλικού κάμπου υποδηλώνει ότι υπήρχε επικοινωνία με το νότιο – ανατολικό περιθώριο της μεγάλης λεκάνης της Θεσσαλίας.

1.2.4 Υδρολογία της περιοχής μελέτης

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης είναι περιορισμένο. Η Όθρυς διαρρέεται από μικρούς ποταμούς, οι οποίοι αποχετεύουν συγχρόνως στην πεδιάδα του Αλμυρού μέσω των χείμαρρων Πλατανόρεμα, Κοκάριος, Χολόρεμα. Τα νερά του Πηλίου αποχετεύονται κατευθείαν στο Αιγαίο. Η κατείδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μικρή (5-10 %), δηλαδή δεν ξεπερνά τα 50 mm, ενώ τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα τροφοδοτούνται με μόλις 50 μ³ νερού / στρ. έναντι 500 μ³ που αντλούνται και δεν αναπληρώνονται (http 4, ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ. 2005, Παπανίκος 2008).

1.2.5 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις στις κατά τόπους περιοχές, γενικά όμως είναι εύκρατο, διότι η περιοχή δέχεται την ευεργετική επίδραση της θάλασσας. Ο Βόλος έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 16,9°C με μέση Ιανουαρίου 7,6°C και Ιουλίου 26,6°C (http 5).

1.2.6 Εδαφολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Η εδαφολογία της περιοχής μελέτης παρουσιάζει σχετική ποικιλομορφία. Τα εδάφη της λίμνης Κάρλας έχουν αλλουβιακή προέλευση και ποικίλη μηχανική

σύσταση. Προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα φερτά υλικά του Πηνειού ποταμού, του υπόλοιπου υδρογραφικού δικτύου που την τροφοδοτεί αλλά και σε μικρότερο μέσω της επιφανειακής απορροής. Οι αποθέσεις της λίμνης χαρακτηρίζονται κυρίως από λεπτόκοκκα υλικά (ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ. 1999, ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ. 2005).

1.3 Αβιοτικοί παράγοντες των λιμναίων οικοσυστημάτων

1.3.1 Χημικές αναλύσεις και ποιότητα λιμναίων υδάτων

Για τον πλήρη καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, απαιτείται προσδιορισμός των βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων. Αυτοί περιλαμβάνουν αναλύσεις για τον προσδιορισμό φυσικών ιδιοτήτων του νερού, αλλά μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις επίσης. Στις χημικές αναλύσεις περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, όπως οργανικές ενώσεις, διαλυμένα άλατα, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα (Βαλαβανίδης κ.ά. 2008, Skordas *et al.* 2005).

Στην περιοχή μελέτης έγιναν προσπάθειες ποιοτικού ελέγχου του επιφανειακού νερού της λίμνης. Οι χημικές αναλύσεις των υδάτων της λίμνης Κάρλα έχουν ως στόχο τη σύγκριση της παρούσας κατάστασης του υδάτινου όγκου της σε σχέση με αντίστοιχες λίμνες του Διεθνή και Ελληνικού χώρου.

Η παρούσα εργασία στοχεύει στον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων όπως των ολικών αλάτων, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH, των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου και των ανιόντων θειικών, χλωριούχων, διττανθρακικών, νιτρικών και ανθρακικών. Η σκληρότητα των υδάτων προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα

είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} και διακρίνεται σε: α) *Παροδική ή ανθρακική*, β) *Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική*, γ) *Ολική σκληρότητα*.

Ως προς τη σκληρότητα σε $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ (ppm), τα νερά χαρακτηρίζονται μαλακά, μετρίως σκληρά, σκληρά και πολύ σκληρά.

1.3.2 Μηχανική σύσταση των λιμναίων ιζημάτων

Η *μηχανική ανάλυση του ιζήματος* είναι η διαδικασία με την οποία προσδιορίζεται η εκατοστιαία αναλογία των μηχανικών κλασμάτων (άμμος, ιλύς, άργιλος). Ο χαρακτηρισμός που προκύπτει λέγεται *κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων*. Σε λιμναία οικοσυστήματα η ιλύς και η άργιλος αποτελούν το αποθηκευτικό μέσο συγκράτησης και προσρόφησης διαφόρων χημικών στοιχείων (Bouyoucos 1962).

1.3.3 Οργανική ουσία στα λιμναία ιζήματα

Όλες οι οργανικές ουσίες, περιέχουν εξ ορισμού άνθρακα. Η οργανική ουσία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο του άνθρακα. Η οργανική ουσία των ιζημάτων ενισχύει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και λειτουργεί σαν δεξαμενή θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη των οργανισμών (π.χ. ιχθύες). Η ενσωμάτωση του οργανικού υλικού βελτιώνει τον αερισμό του ιζήματος, τη στράγγιση και την ικανότητα συγκράτησης νερού (Gaskell *et al.* 2000).

Η οργανική ουσία επηρεάζει πολλές από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ιζημάτων. Με το σκοτεινό της χρώμα, κάνει πιο σκούρο το επιφανειακό στρώμα του ιζήματος, πράγμα που επιτρέπει τη γρήγορη θέρμανση του την άνοιξη και έχει ως αποτέλεσμα την πρόωμη καλλιέργεια. Εξαιτίας του γεγονότος ότι έχει μεγαλύτερη πλαστικότητα και συνοχή από την άργιλο, η οργανική ουσία στα αργιλώδη εδάφη,

μετριάξει τα χαρακτηριστικά αυτά και σε συνδυασμό με τη συμβολή της στη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων προάγει τον καλύτερο αερισμό και στράγγιση των ιζημάτων αυτών.

1.3.4 Το Άζωτο των λιμναίων οικοσυστημάτων

Το άζωτο είναι ένα από τα κυριότερα συστατικά του ζωντανού πρωτοπλάσματος (αποτελεί το 1-10 % του βάρους των φυτών και περισσότερο από 20-30 % του βάρους των ζώων) και επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα των υδατικών οικοσυστημάτων. Το άζωτο υπάρχει στο νερό ως διαλυμένο αέριο άζωτο, δεσμευμένο άζωτο σε οργανικές ενώσεις, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα κ.ά., αμμωνία, κυρίως ως αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+ και NH_4OH), νιτρώδη ιόντα, νιτρικά ιόντα (Abrol *et al.* 2003).

Αρκετές είναι οι ενώσεις του αζώτου που συμπεριλαμβάνονται στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού. Τα άλατα του αζώτου προέρχονται συνήθως από το ίζημα και απελευθερώνονται ως αμμωνία σε ανοξικές συνθήκες και ως νιτρικά στις περιόδους κυκλοφορίας του νερού, όπου το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία. Μερικά είδη κυανοφυκών - κυανοβακτηρίων μπορούν να δεσμεύουν το διαλυμένο στο νερό ατμοσφαιρικό άζωτο ($\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$) (Smith 1982).

1.3.5 Φώσφορος στα λιμναία ιζήματα

Ο φώσφορος αποτελεί ένα από τα πιο αναγκαία στοιχεία για την ανάπτυξη και διατήρηση της υδρόβιας ζωής. Είναι το λιγότερο άφθονο και απλούστερο στοιχείο. Ένα μέρος των φωσφορικών αλάτων που υπάρχουν δεν είναι άμεσα αφομοιώσιμο. Τα ζωντανά κύτταρα (φυτικά και ζωικά) έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν, να

συσσωρεύουν και να αποβάλλουν το φωσφόρο στο περιβάλλον στο οποίο ζουν. Μια από τις δυσκολίες προσέγγισης του φωσφόρου που υπάρχει μέσα σε μια μάζα νερού, είναι ότι μόνο ένα μέρος αυτού βρίσκεται σε κατάσταση ιόντων (άρα διαλυμένο). Ξέρουμε ότι στην πραγματικότητα ορισμένα σύνθετα φωσφορούχα βρίσκονται σε κολλοειδή κατάσταση (οργανικός διαλυμένος φώσφορος) και άλλα είναι οργανικά σύνθετα που υπάρχουν σε ιδιαίτερη κατάσταση μέσα στα νερά. Επιπλέον, η σχέση P οργανικός διαλυτός / P ολικός θα είναι σταθερή στις λίμνες από 25 ως 32 %. Η χρησιμοποίηση *σημαδεμένου* φωσφόρου δείχνει ότι το ίζημα παίζει ρόλο τροφοδότη του φωσφόρου και μπορεί να χρησιμεύει σαν αποθήκη των αφομοιώσιμων φωσφορικών αλάτων. Αυτό σημαίνει ότι η απουσία διαλυτού φωσφόρου στο νερό δεν έχει σημασία, παρά μόνο στο μέτρο όπου ο φωσφόρος δε βρίσκεται κάτω από μια μορφή κυρίως δεσμευμένη στον πυθμένα (Broyan 1981, Βουδούρης 2006).

Η σημασία του φωσφόρου στα λιμναία ιζήματα είναι μεγάλη. Στα λιμναία οικοσυστήματα η μεγαλύτερη ποσότητα του φωσφόρου συγκεντρώνεται στον πυθμένα. Μία από τις βασικότερες πηγές φωσφόρου θεωρούνται τα ιζήματα των λιμνών. Η απελευθέρωση του φωσφόρου από το ίζημα οφείλεται σε διάφορους φυσικοχημικούς και βιολογικούς παράγοντες και διεργασίες. Συγκεκριμένα στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, διαλυτοποίησης της οργανικής ύλης, προσρόφησης, διαλυτότητας ανόργανης φάσης, στο διαλυμένο οξυγόνο, στο pH, στην αλατότητα, στα νιτρικά ιόντα, στα θειικά ιόντα και στη θερμοκρασία. Ο φώσφορος εντοπίζεται στα ιζήματα είτε ως χαλαρά δεσμευμένος, είτε ως οργανικός (Μπέλλος 2004, Vanek 2004).

Ο φώσφορος και ο ευτροφισμός είναι άρρηκτα συνδεδεμένες έννοιες. Όπως δηλώνει και η ετυμολογία της λέξης πρόκειται για ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται σε λίμνες και κλειστούς αβαθείς κόλπους ή ακόμα και σε ποτάμια χαμηλής σχετικά

ταχύτητας ροής κάτω από υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, κυρίως ενώσεων N και P. Χαρακτηρίζεται από υπέρμετρη αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας, από υπέρμετρη δηλαδή αύξηση της φυτικής βιομάζας (φυτοπλαγκτόν, υδρόβια, υδροχαρής βλάστηση) μιας υδάτινης μάζας (Andersen *et al.* 2004).

Ο ευτροφισμός των υδάτων οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, κλιματολογικά, μορφομετρικά, υδροδυναμικά και άλλα χαρακτηριστικά των υδάτινων σωμάτων) όσο και σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά λύματα, κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα, αποπλύσεις καλλιεργούμενων εκτάσεων), το οποίο είναι και το συνηθέστερο. Συνέπεια του ευτροφισμού είναι η αλλοίωση των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού. Προκαλείται μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα υδάτινα στρώματα λόγω της χρησιμοποίησής του από τα βακτήρια που αποικοδομούν τις οργανικές ουσίες δημιουργώντας ανοξικές συνθήκες. Τα βακτήρια και τα άλγη πληθαίνουν και σχηματίζουν κρούστα στις υδατικές επιφάνειες, προκαλώντας σκίαση στα νερά κάτω από αυτή την επιφάνεια. Με την απουσία του φωτός, τα φύκια και τα βακτήρια του πυθμένα θανατώνονται προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε άλλα βακτήρια που συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Η κατανάλωση του οξυγόνου αυξάνεται δραστικά με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η διαθεσιμότητά του για τα ψάρια, προκαλώντας το θάνατό τους και τη γενικότερη διαταραχή του οικοσυστήματος, που καθίσταται νεκρό ύστερα από το θάνατο των βακτηρίων. Αποτέλεσμα του ευτροφισμού είναι η μείωση της ποιότητας του νερού, η μεταβολή της χλωρίδας και της πανίδας του, η μείωση της αισθητικής αξίας καθώς και οι περιορισμένες δυνατότητες για αναψυχή (Correll 1998, Sondergaard 1988).

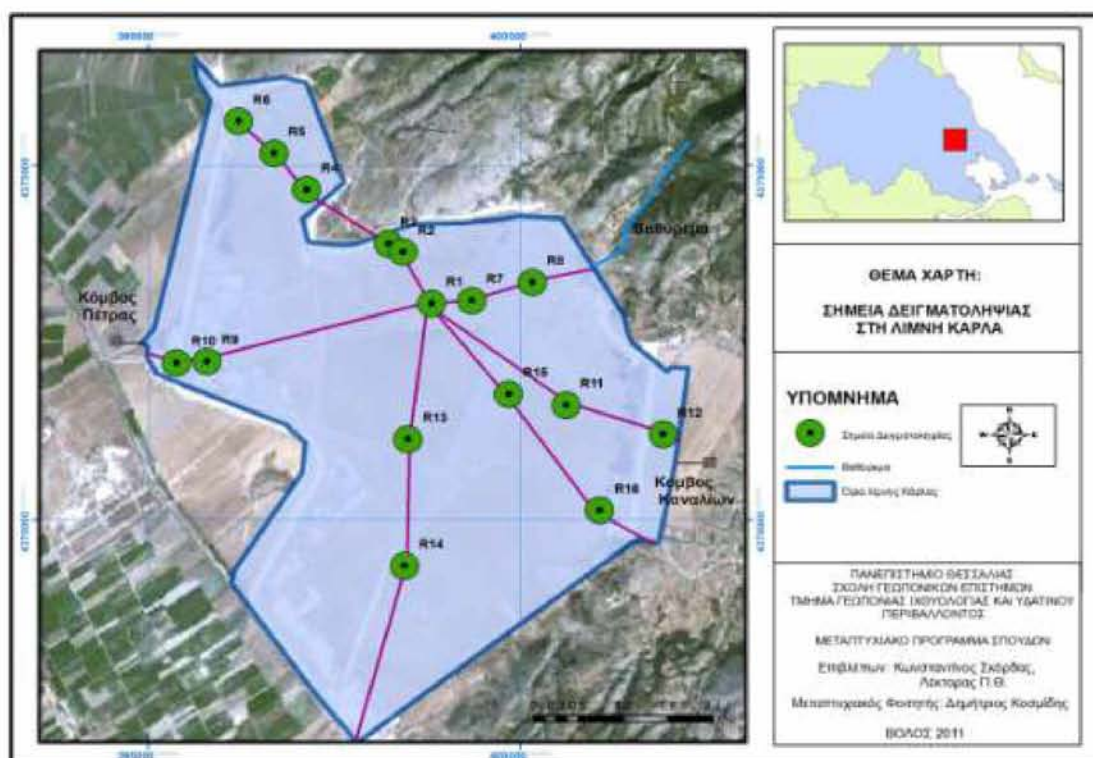
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Προγραμματισμός της έρευνας

Ο προγραμματισμός της έρευνας αποτέλεσε το αρχικό στάδιο της μελέτης. Το στάδιο αυτό περιλάμβανε συλλογή στοιχείων σχετικά με 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. Το δεύτερο στάδιο προγραμματισμού της έρευνας περιλάμβανε τον καθορισμό των σημείων δειγματοληψίας και τις μεθόδους ανάλυσης των δειγμάτων.

2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Νοεμβρίου του έτους 2010, στην περιοχή της λίμνης Κάρλα, με τη βοήθεια πλωτού μέσου (βάρκα).



Εικόνα 2.1: Σημεία δειγματοληψίας και χαραχθείσες διαδρομές.

Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας έγινε με γνώμονα την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη κάλυψη του εύρους της λίμνης. Χαράχτηκαν 6 διαφορετικές διαδρομές με κοινή αφετηρία το βαθύτερο σημείο της λίμνης. Επιλέχθηκαν 16 σημεία δειγματοληψίας (R1 – R16) κατά μήκος των 6 διαδρομών (Εικ. 2.1). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων αυτών φαίνονται στον Πινάκα 2.1.

Πίνακας 2.1: Γεωγραφικές συντεταγμένες σταθμών δειγματοληψίας.

Σημεία δειγματοληψίας	X	Y
R1	398805	4373051
R2	398427	4373771
R3	398220	4373871
R4	397130	4374550
R5	396702	4375153
R6	396208	4375642
R7	399356	4373085
R8	400155	4373335
R9	395781	4372226
R10	395405	4372210
R11	400607	4371588
R12	401907	4371192
R13	398492	4371121
R14	398430	4369326
R15	399848	4371752
R16	401075	4370129

2.2.1 Συλλογή και αποθήκευση δειγμάτων νερού

Από τους 16 σταθμούς δειγματοληψίας συλλέχτηκαν 24 δείγματα νερού. Στα σημεία όπου το βάθος της λίμνης ξεπερνούσε το 1 m, συλλέχθηκαν 2 δείγματα νερού (επιφάνεια και πυθμένα). Αντίθετα στα σημεία όπου το βάθος ήταν μικρότερο από 1 m συλλέχθηκε μόνο ένα δείγμα (επιφάνεια). Συγκεκριμένα στο σύνολο τους συλλέχτηκαν 24 δείγματα, εκ των οποίων 16 δείγματα επιφάνειας και 8 πυθμένα.

Η συλλογή των δειγμάτων νερού πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του δειγματολήπτη νερού Limnos Rossincatu 2 E 17 20380 Turku Finland (Εικ. 2.2). Στα δείγματα νερού τόσο στο πεδίο, όσο και στο εργαστήριο μετρήθηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι: το pH, το TDS, και η E.C. με τη βοήθεια ειδικών οργάνων. Συγκεκριμένα το pH με τη βοήθεια του οργάνου Consort C531 (Εικ. 2.3) ενώ το TDS και 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)

Μετά τη συλλογή ακολούθησε η αποθήκευση των δειγμάτων σε πλαστικά αριθμημένα μπουκάλια χωρητικότητας 500 και 1000 ml και μεταφορά τους σε δροσερό και σκοτεινό χώρο στο Εργαστήριο Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μέχρι την ανάλυσή τους.



Εικόνα 2.3: Ειδικό όργανο μέτρησης pH και B.O.D. (Consort C 531).



Εικόνα 2.4: Ειδικό όργανο μέτρησης TDS και E.C. (Combo by Hanna).

2.2.2 Συλλογή δειγμάτων ιζήματος

Συνολικά συλλέχτηκαν 16 δείγματα ιζήματος από 16 σημεία δειγματοληψίας σε βάθος από 45 – 130 cm με τη βοήθεια δειγματολήπτη βένθους τύπου ECKMAN (Εικ. 2.5).



Εικόνα 2.5: Δειγματολήπτης νερού τύπου ECKMAN.

Ο συγκεκριμένος δειγματολήπτης αποτελείται από δύο μεταλλικές σιαγόνες οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους με συρματόσχοινο. Οι σιαγόνες έχουν τη δυνατότητα να ανοίγουν και να κλείνουν στη βάση του μηχανισμού (Εικ. 2.6). Ο μηχανισμός τίθεται σε λειτουργία εφόσον απελευθερωθεί το βαρίδιο κατά μήκος του σχοινιού της συσκευής και στη συνέχεια προσκρούσει στο ελατήριο το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το σημείο σύζευξης των δύο σιαγόνων. Με τον τρόπο αυτό οι σιαγόνες κλείνουν αιφνίδια και ερμητικά και συνεπώς εγκλωβίζεται το ίζημα. Κατόπιν το ίζημα συλλέχθηκε σε αριθμημένες διαφανείς πλαστικές σακούλες και αποθηκεύτηκε σε

φορητό ψυγείου για την αποφυγή αλλοιώσεων και επιμολύνσεων. Κατόπιν μεταφέρθηκε σε αποθηκευτικούς καταψύκτες του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικ. 2.7).



Εικόνα 2.6: Ανοιχτές σιαγόνες δειγματολήπτη ECKMAN.



Εικόνα 2.7: Συλλογή ιζήματος.

2.3 Προετοιμασία των δειγμάτων

Τα συλλεχθέντα δείγματα του ιζήματος προπαρασκευάστηκαν στο εργαστήριο, με σκοπό να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους για περαιτέρω ανάλυση. Η προετοιμασία των δειγμάτων αποτελείται από διάφορες διεργασίες οι οποίες εκτελέστηκαν στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονία Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά έλαβε χώρα η απόψυξη των κατεψυγμένων δειγμάτων ιζήματος. Συγκεκριμένα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ταψάκια αλουμινίου επενδυμένα με ριζόχαρτο (Εικ. 2.8).



Εικόνα 2.8: Τοποθέτηση δειγμάτων ιζήματος σε ταψάκι αλουμινίου επενδυμένο με ριζόχαρτο.

Κατόπιν τα δείγματα ξηράθηκαν σε φούρνο, σε θερμοκρασία 35 – 40 °C, για 48 ώρες και εν συνεχεία αποσβολώθηκαν σε γουδί πορσελάνης ώστε να προετοιμαστούν για κοσκίνισμα (Εικ. 2.9).



Εικόνα 2.9: Κονιορτοποίηση ιζήματος σε γουδί πορσελάνης.

Κατόπιν ακολούθησε το κοσκίνισμα του ιζήματος σε κόσκινο 2mm και επιπλέον κονιορτοποίηση του ιζήματος που δεν διήλθε από το άνοιγμα του πλέγματος (40 μm) κατά το αρχικό κοσκίνισμα (Εικ. 2.10). Η ποσότητα του δείγματος που διήλθε από το παραπάνω κόσκινο συλλέχθηκε για ανάλυση.



Εικόνα 2.10: Κοσκίνισμα ιζήματος.

2.4 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος

2.4.1 pH

Για την μέτρηση του pH των δειγμάτων ύδατος έλαβε χώρα η βαθμονόμηση του πεχαμέτρου με τη βοήθεια έτοιμων προ βαθμονομημένων διαλυμάτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή με τιμές 4,01 / 7,00 / 9,26.

Αρχικά ξεπλύθηκε το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου με απιονισμένο νερό χωρίς έπειτα να σκουπιστεί και εν συνεχεία σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 100 ml τοποθετήθηκαν περίπου 100 ml δείγματος νερού. Στη συνέχεια το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου βυθίστηκε στο δείγμα και ξεκίνησε η ανάδευση του δείγματος για πέντε λεπτά. Η ανάδευση του δείγματος σταμάτησε κατά τη μέτρηση του pH. 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.

2.4.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αρχικά βαθμονομήθηκε η κυψελίδα της συσκευής σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και έπειτα ακολούθησε ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας. Σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 100 ml, προστέθηκαν 80 ml δείγματος. Έπειτα τοποθετήθηκε μέσα στο δείγμα η κυψελίδα έως ότου καλυφθεί εξ ολοκλήρου. Μόλις σταθεροποιήθηκε η ένδειξη του οργάνου, έγινε καταγραφή. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για το διάλυμα εσωτερικού ελέγχου [$c(\text{KCl}) = 0,05 \text{ mol/l}$, $6700 \mu\text{S/cm}$], με μόνη διαφορά στη θέση του δείγματος προστέθηκε ποσότητα 80ml του διαλύματος εσωτερικού ελέγχου. Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε έπειτα από μέτρηση 20 δειγμάτων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν σε $\mu\text{S/cm}$ (στους 25°C), με ταυτόχρονο υπολογισμό της θερμοκρασίας του δείγματος.

2.4.3 Ιόντα Νατρίου

Για τον προσδιορισμό των ιόντων νατρίου το κάθε δείγμα νεφελοποιήθηκε σε φλόγα αερίου βουτανίου και κατά την εξάτμιση του οι ενώσεις του νατρίου ατομοποιήθηκαν με αποτέλεσμα τα άτομα νατρίου που σχηματίστηκαν να εκπέμπουν ακτινοβολία με ταυτοποιημένο μήκος κύματος $589,0 \text{ nm}$. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου έγινε με τη χρήση φλογοφωτομέτρου. Αρχικά

βαθμονομήθηκε το φλογοφωτόμετρο με τη βοήθεια *standards* 0 – 5 – 10 – 15 – 20 - 25 ml από διάλυμα *stock I* (διαλύθηκαν 2,542gr ξηραθέντος NaCl στους 140°C επί 24 ώρες και αραιώθηκαν μέχρι τα 1000 ml με απεσταγμένο νερό) και *stock II* (αραιώθηκαν 10 ml από το *stock I* μέχρι τα 100 ml με απεσταγμένο νερό). Μετά τη βαθμονόμηση εισήχθησαν τα δείγματα και σημειώθηκε η ένδειξη του οργάνου. Με βάση την καμπύλη που κατασκευάστηκε κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου αντιστοιχίστηκε η ένδειξη του οργάνου για κάθε δείγμα σε ppm. Η συγκέντρωση του $[\text{Na}^+]$, σε meq Na^+/lt δίνεται από τον τύπο: $[\text{Na}^+](\text{meq Na}^+/\text{lt}) = A/22,9898$. Όπου: A = Η συγκέντρωση του δείγματος σε ppm. Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood).

2.4.4 Ιόντα Καλίου

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου το κάθε αναλυθέν δείγμα νεφελοποιήθηκε σε φλόγα αερίου βουτανίου και εξατμιζόμενο οι ενώσεις του καλίου ατομοποιήθηκαν και είχαν ως αποτέλεσμα τα άτομα του καλίου που σχηματίστηκαν να εκπέμπουν ακτινοβολία μετρήσιμου μήκους κύματος 766,5 nm.

Η βαθμονόμηση του φλογοφωτόμετρου έγινε με *standards* 0, 5, 10, 15, 20 και 25 ml από το διάλυμα νατρίου *Stock II* [όπου αραιώθηκαν 10 ml από το *Stock I* (διαλύθηκαν 2,542 g ξηραθέντος NaCl στους 140°C επί 24 ώρες και αραιώθηκαν μέχρις όγκου 1000 ml με απεσταγμένο νερό μέχρις όγκου 100 ml)], μέσα σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml και συμπληρώθηκαν έως όγκο, με απεσταγμένο νερό.

Αρχικά έγινε η ρύθμιση του μηδέν στην κλίμακα του οργάνου με το *blank* και στη συνέχεια του 25 της κλίμακας με το πυκνότερο standard (25 ppm). Μετρήθηκαν τα υπόλοιπα standards αρχίζοντας από το αραιότερο και κατασκευάστηκε η καμπύλη

συγκέντρωσης-ένδειξης οργάνου, η οποία έπρεπε να προσεγγίζει όσο περισσότερο γινόταν την ευθεία. Στη συνέχεια, εισήχθη το άγνωστο δείγμα και σημειώθηκε η ένδειξη του οργάνου (εάν αυτή ήταν εκτός κλίμακας τότε το δείγμα αραιώνονταν). Με βάση την καμπύλη, αντιστοιχίστηκε η ένδειξη με τη συγκέντρωση. Η συγκέντρωση του K^+ υπολογίστηκε από τον τύπο: $[K^+] \text{ (meq Na}^+ / l) = A/22,9898$, όπου A ήταν η συγκέντρωση του δείγματος σε ppm. Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood).

2.4.5 Ιόντα Ασβεστίου και Μαγνησίου

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια αναγνωρισμένης αναλυτικής καθαρότητας όπως επίσης, απεσταγμένο νερό.

Πριν την ανάλυση τα θολά δείγματα διηθήθηκαν με φίλτρο μεγέθους πόρου 0,45 μm . Μεταφέρθηκαν με σιφώνιο πλήρωσης *Class A*, 50 ml δείγματος σε κωνική φιάλη των 250 ml και προστέθηκαν με 2 ml από το διάλυμα NaOH 2 mol/l και περίπου 0,2 g από το δείκτη calcon-καρβοξυλικό οξύ. Κατά την ανάδευση, τιτλοδοτήθηκε αμέσως με προχοΐδα που περιείχε EDTA 0,01 mol/l. Η τιτλοδότηση έγινε γρήγορα στην αρχή και τελείωσε όταν το χρώμα άλλαξε ξεκάθαρα σε μπλε. Έπειτα, καταγράφηκε ο όγκος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε και η κατανάλωση του EDTA. Η συγκέντρωση του ασβεστίου στο δείγμα, σε mg/l υπολογίστηκε από τον τύπο: $p_{Ca} = 1000 \cdot A \cdot c_1 V_3 / V_0$, όπου p_{Ca} ήταν η συγκέντρωση του ασβεστίου σε mg/l, c_1 ήταν η πραγματική συγκέντρωση του EDTA σε mol/l, V_3 ήταν ο όγκος σε ml του EDTA που καταναλώθηκε για το δείγμα, V_0 ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml και A ήταν το

πραγματικό ατομικό βάρος του ασβεστίου. Η ίδια μεθοδολογία ακολουθήθηκε και για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου.

2.4.6 Ιόντα Χλωρίου

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου κατά την ογκομέτρηση του αγνώστου δείγματος τοποθετήθηκαν με σιφώνιο πλήρωσης *Class A*, 100 ml δείγματος που βρισκόταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε κωνική φιάλη των 250 ml η οποία είχε λευκό 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_3 γιατί έτσι θα ρυθμιζόταν και η ρυθμιστική ικανότητα του δείγματος). Η προστιθέμενη ποσότητα επιλέχθηκε έτσι ώστε το ανθρακικό ίζημα να παρέμενε και μετά την ογκομέτρηση. Στη συνέχεια, προστέθηκε 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου συγκέντρωσης 100 g/l. Το διάλυμα ογκομετρήθηκε με τη βοήθεια προχοϊδας, προσθέτοντας διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,02 mol/l και αναδεύοντας μέχρι το χρώμα του διαλύματος να αλλάξει σε φαιο-κόκκινο. Μετά από την προσθήκη μιας σταγόνας διαλύματος χλωριούχου νατρίου 0,02 mol/l, το χρώμα εξαφανίστηκε (όπως αναμενόταν). Τα ογκομετρημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση στις επόμενες τιτλοδοτήσεις. Έγινε καταγραφή της κατανάλωσης του AgNO_3 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: $P_{Cl} = (V_s - V_b) \cdot c \cdot f / V_a$, όπου c ήταν η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος νιτρικού αργύρου εκφρασμένη σε mol/l, f ήταν ο συντελεστής μετατροπής (35,453 mg/mol), V_s ήταν η κατανάλωση του

νιτρικού αργύρου για το δείγμα σε ml, V_b ήταν η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το τυφλό δείγμα σε ml και V_a ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml.

2.4.7 Υπολογισμός Αλκαλικότητας (CO_3^{-2} , HCO_3^-)

Η αλκαλικότητα αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας του νερού να εξουδετερώνει ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{-2} και HCO_3^- . Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων κυρίως υδάτων. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

Για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας των δειγμάτων μεταφέραμε 50ml δείγματος σε κωνική φιάλη των 250 ml και προσθέσαμε τρεις σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Η εμφάνιση ρόδινης χροιάς αποτέλεσε ένδειξη παρουσίας ανθρακικών ιόντων, τα οποία προσδιορίστηκαν ογκομετρικά με διάλυμα H_2SO_4 0,05 N με την βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα, μέχρις ότου το διάλυμα αποχρωματίστηκε (pH=8,3). Ο υπολογισμός της αλκαλικότητας προέκυψε από τον τύπο $[\text{CO}_3^-] \text{ (meq/l)} = 50 \times A / \text{ml δείγματος} * f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, δεδομένου ότι 1 ml H_2SO_4 0,05 N ισοδυναμεί με 0,05 meq ανθρακικών ιόντων. Όπου A = Κατανάλωση H_2SO_4 0,05 N σε ml και $f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = συντελεστής διόρθωσης του τιτλοδότη.

2.4.8 Θειικά Ιόντα

Η συγκέντρωση των SO_4^{-2} , $[\text{SO}_4^{-2}]$, εκφράστηκε σε $\text{meq SO}_4^{-2}/\text{l}$ δείγματος και προσδιορίστηκε υπολογιστικά δεδομένου ότι ισχύει η σχέση:
 $[\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{CO}_3^{--}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{--}]$.

2.4.9 Φωσφορικά Ιόντα

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων πραγματοποιήθηκε με ανάπτυξη χρώματος μολυβδαινικού-φωσφορικού συμπλόκου. Σε θειικό διάλυμα ορθοφωσφορικά ιόντα αντέδρασαν με ιόντα μολυβδαινίου για το σχηματισμό μολυβδοφωσφορικού οξέος. Το ασκορβικό οξύ το ανάγαγε σε κυανό φωσφομολυβδαινικό σύμπλοκο, το οποίο προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά. Η ευαισθησία της μεθόδου για τα φωσφορικά ιόντα είναι 0,03 mg/l. Η μέθοδος είναι ανάλογη της EPA 365,2+3, US Standard Methods 4500-P E, ISO 6878/1 και EN 1189.

2.4.10 Σκληρότητα

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία διασθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca_2^+ και το Mg_2^+ . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα. Η σκληρότητα διακρίνεται σε α) *Παροδική ή ανθρακική*, β) *Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική* και γ) *Ολική σκληρότητα*.

Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας εφαρμόστηκε ογκομετρική μέθοδος βασισμένη στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από τη χημική ένωση E.D.T.A, σε αλκαλικό περιβάλλον ($\text{pH} = 10 \pm 0,1$), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος E.D.T.A.

Συγκεκριμένα σε μια κωνική φιάλη των 250 ml μεταφέρθηκαν 25 ml δείγματος νερού με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου, προστέθηκε 1 ταμπλέτα σκληρότητας και με τη βοήθεια του σιφωνίου 1ml διαλύματος αμμωνίας NH₃ (το pH γίνεται 10), όπου και το διάλυμα χρωματίζεται μπορντό. Αφού διαλύθηκε ολοκληρωτικά η ταμπλέτα με τη βοήθεια της κυκλικής ανάδευσης του χεριού, ξεκίνησε η ογκομέτρηση του δείγματος με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01 M. Πρωτίστως, σημειώθηκε η αρχική ένδειξη του διαλύματος στην προχοίδα. Έπειτα, ακολούθησε γρήγορη και έντονη ανάδευση, ογκομετρήθηκε το διάλυμα, προστέθηκε αργά σε σταγόνες το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01 M, έως ότου το δείγμα από μπορντό πήρε ένα έντονο κυπαρισσί χρώμα. Σημειώθηκε, τότε, η τελική τιμή της ποσότητας του E.D.T.A 0,01M στην προχοίδα. Η αρχική τιμή αφαιρέθηκε από την τελική τιμή και έτσι υπολογίστηκε η ποσότητα E.D.T.A 0,01M που είχε καταναλωθεί. Η ολική σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου υπολογίστηκε από τον τύπο $\text{mgCaCO}_3 = (V_1 * 1.000) / V_2$. Όπου V₁ = ml πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01M που καταναλώθηκε, V₂ = ml δείγματος νερού. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα αρχικά διηθήθηκαν σε φίλτρα μεγέθους πόρων 0,45 μm λόγω της αρχικής θολότητας.

2.4.11 Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου - [Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)]

Ο S.A.R. χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες, τον κίνδυνο αλκαλίωσης, τον κίνδυνο αλατότητας.

Η αύξηση της σχετικής περιεκτικότητας σε Na⁺ του εδάφους έχει ως συνέπεια τη μείωση της περατότητας και την αύξηση της σκληρότητάς του, διότι συμπιέζεται πιο

εύκολα. Αυτό είναι αποτέλεσμα αντικατάστασης των ιόντων Ca^{+2} , Mg^{+2} από ιόντα Na^{+} στο πλέγμα των αργίλων. Η έκταση της αντικατάστασης αυτής μπορεί να προσδιοριστεί από το δείκτη προσρόφησης Νατρίου $\text{S.A.R.} = \sqrt{[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]/2}$. Οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l (Μυριούνης 2004).

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

2.5 Μηχανική Σύσταση Ιζήματος

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του ιζήματος μας επιτρέπει την κατάταξη των ιζημάτων με βάση την επί τις εκατό ποσοστιαία αναλογία μεταξύ της άμμου, της αργίλου και της ιλύος.

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης ζυγίστηκαν 50 g ιζήματος και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 250 ml και προστέθηκαν 50 ml διαλύματος μεταφωσφορικού νατρίου, το οποίο παρασκευάστηκε σαν διασπορικό. Έγινε ανάδευση με ράβδο για καλύτερο διαποτισμό του δείγματος και αφέθηκε τόσο χρονικό διάστημα ώστε να γίνει πλήρης διαχωρισμός των κόκκων (περίπου 12 ώρες). Το δείγμα έπειτα μεταφέρθηκε από επανειλημμένες πλύσεις με αποσταγμένο νερό στο μίξερ, όπου και αφέθηκε για 15 λεπτά της ώρας. Κατόπιν μεταφέρθηκε και αδειάστηκε με επανειλημμένες πλύσεις με αποσταγμένο νερό στον ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 ml, και πληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 1130 ml, αφού τοποθετήθηκε μέσα το πυκνόμετρο. Για την πρώτη μέτρηση αφαιρέθηκε το πυκνόμετρο και αναδεύτηκε με τον αναδευτήρα χειρός και μετά τοποθετήθηκε χωρίς καθυστέρηση

το θερμόμετρο και το πυκνόμετρο, χρονομετρήθηκαν 40 sec και πάρθηκε η ένδειξη του πυκνόμετρου και του θερμόμετρου. Μετά από 2 ώρες πάρθηκε ξανά μέτρηση, χωρίς ανάδευση όπως την πρώτη φορά. Ο υπολογισμός της μηχανικής σύστασης προέκυψε από τους υπολογισμούς του επί τις 100 ποσοστού της άμμου από τον τύπο $S \% = 100 - 2 * (A + \Sigma\theta_1)$ όπου A = η πρώτη μέτρηση του πυκνόμετρου, $\Sigma\theta_1$ = συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας της πρώτης μέτρησης του θερμομέτρου, που δίνεται από πίνακα. Ο υπολογισμός του επί τις 100 ποσοστού της αργίλου έγινε από τον τύπο $C \% = 2 * (B + \Sigma\theta_2)$ όπου B = η δεύτερη μέτρηση του πυκνόμετρου, $\Sigma\theta_2$ = συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας της δεύτερης μέτρησης του θερμομέτρου, που δίνεται από τον σχετικό πίνακα. Ο υπολογισμός του επί τις 100 ποσοστού της ιλύος έγινε από τον τύπο $Si \% = 100 - (S \% + C \%)$

2.6 Ολικός οργανικός άνθρακας – Ολικός άνθρακας – Οργανική ουσία

Για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας εφαρμόστηκε η μέθοδος Walkley – Black. Ζυγίστηκε 1 g ιζήματος και μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500 ml. Προστέθηκαν 10 ml διχρωμικού καλίου 1 N (ζυγίστηκαν 49,036 g $K_2Cr_2O_7$ και διαλύθηκαν σε 1 λίτρο απεσταγμένου νερού) με ογκομετρικό κύλινδρο και περιστράφηκε ελαφρά η φιάλη ώστε να διαποτιστεί όλο το δείγμα. Έπειτα, προστέθηκαν 20 ml πυκνού θειικού οξέος με ογκομετρικό κύλινδρο. Αναδεύτηκαν ελαφρά και προσεκτικά έτσι ώστε να μην κολλήσουν κόκκοι δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης και αφέθηκε το δείγμα για 30 - 60 λεπτά έτσι ώστε να οξειδωθεί ο άνθρακας της οργανικής ουσίας. Οι διαδικασίες μέχρι αυτό το στάδιο έγιναν σε απαγωγό καθώς οι αντιδράσεις ήταν εξώθερμες. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 200 ml απεσταγμένου νερού, 10ml πυκνού φωσφορικού οξέος

και 0,2 g NaF και αφέθηκε η φιάλη να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου. Αργότερα, προστέθηκαν 4 - 5 σταγόνες διφαινυλαμίνης (ζυγίστηκαν 0,6 g δείκτη και διαλύθηκαν σε μίγμα 20 ml απεσταγμένου νερού και 100 ml H₂SO₄) και το δείγμα ογκομετρήθηκε με 0,5 N FeSO₄·7H₂O (ζυγίστηκαν 139,02 g θειικού σιδήρου και διαλύθηκαν σε 1 lt απεσταγμένου νερού και 20 ml H₂SO₄) ως ότου το χρώμα αλλάξει από σκούρο μπλε - ιώδες σε βαθύ πράσινο. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και χωρίς την προσθήκη δείγματος (λευκός προσδιορισμός) για τον έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων (Allison 1960, Bremner *et al.* 1960, Walkley *et al.* 1934).

Για τον υπολογισμό του οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας, ακολουθήθηκαν οι υπολογισμοί όπου T₁= τα ml του θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του δείγματος, T₂= τα ml του θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του λευκού προσδιορισμού, B = το βάρος του δείγματος και N = η κανονικότητα του θειικού σιδήρου, τότε:

$$\text{οργανικός άνθρακας C(κ.β.) \%} = (T_2 - T_1) * N * 0,3 / B,$$

$$\text{ολικός άνθρακας C(κ.β.) \%} = (T_2 - T_1) * N * 0,39 / B$$

$$\text{οργανική ουσία (κ.β.) \%} = (T_2 - T_1) * N * 0,67 / B$$

2.7 Διαθέσιμος Φώσφορος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τη μέθοδο Olsen. Αρχικά έγινε εκχύλιση με διάλυμα 0,5 N NaHCO₃ και έπειτα προσδιορισμός της συγκέντρωσης στο εκχύλισμα. Αρχικά ζυγίστηκαν 5 g ιζήματος, σε κωνική φιάλη 250 ml. Μετά προστέθηκαν 100 ml όξινου ανθρακικού νατρίου με ογκομετρικό κύλινδρο και ένα κουταλάκι «γλυκού» κοφτό ενεργό άνθρακα και ανακινήθηκαν με συσκευή ανακίνησης για 30 λεπτά της ώρας. Μετά το πέρας του

χρόνου ανακίνησης το περιεχόμενο της φιάλης διηθήθηκε με την βοήθεια διηθητικού χωνιού και του ηθμού σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Το αρχικά συλλεγμένο διήθημα απορρίφθηκε. Από το καθαρό διαυγές διήθημα πάρθηκαν 10 ml με σιφόνιο και μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml. Προστέθηκαν 10 ml μολυβδαινικού αμμώνιου με την προχοίδα και ξεπλύθηκαν τα εσωτερικά τοιχώματα της ογκομετρικής φιάλης με την βοήθεια του υδροβολέα περίπου μέχρι τα 40 ml της φιάλης για να αποφευχθεί η απ' ευθείας επαφή του χλωριούχου κασσίτερου με το μολυβδαινικό αμμώνιο. Στη συνέχεια προστέθηκαν 5 σταγόνες χλωριούχου κασσίτερου και συμπληρώθηκε η ογκομετρική φιάλη μέχρι τη χαραγή – ανακινώντας καλά και μετά από 15 λεπτά παραμονής για την ανάπτυξη του χρώματος μετρήθηκε με το φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 660 nm. Για τη βαθμονόμηση του οργάνου παρασκευάστηκαν Standard διαλύματα των 0,0 / 0,1 / 0,2 / 0,5 και 1 ppm φωσφόρου. Από το *Stock* διάλυμα φωσφόρου των 50 ppm πήραμε 10 ml σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml και προστέθηκε αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Με αυτόν τον τρόπο παρασκευάστηκε διάλυμα 5 ppm. Απ' αυτό το διάλυμα πάρθηκαν 0, 1, 2, 5, 10 ml και τα ρίχθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml.

Στη συνέχεια σε κάθε ογκομετρική φιάλη προστέθηκαν 10 ml μολυβδαινικού αμμώνιου, ξεπλύθηκαν τα εσωτερικά τοιχώματα της φιάλης με αποσταγμένο νερό, προστέθηκε 1 ml χλωριούχο κασσίτερο και συμπληρώθηκε με απεστεγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Με αυτόν τον τρόπο παρασκευάστηκαν αντίστοιχα διαλύματα *Standard* 0,0 / 0,1 / 0,2 / 0,5 και 1 ppm φωσφόρου.

Μετά από 15 λεπτά έγινε μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο και από τις ενδείξεις του οργάνου που πάρθηκαν κατασκευάστηκε η καμπύλη αναφοράς. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε ppm φωσφόρου (mg P/1000 g ιζήματος).

Από την καμπύλη αναφοράς των γνωστών συγκεντρώσεων φωσφόρου βρέθηκε πόσα ppm φωσφόρου περιέχει το προς μέτρηση διάλυμα, που προήλθε από την εκχύλιση των 5 g δείγματος ιζήματος και αναγέρθηκε σε όγκο αναφοράς των 50 ml.

2. 8 Ολικό Άζωτο

Για τον προσδιορισμό του αζώτου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl. Κατάλληλη ποσότητα του προετοιμασμένου δείγματος υποβλήθηκε σε υγρή καύση με πυκνό θειικό οξύ παρουσία θειικού καλίου και θειικού χαλκού. Το οργανικά δεσμευμένο άζωτο μετατράπηκε σε αμμωνία η οποία δεσμεύτηκε από την περίσσεια του οξέος. Έπειτα το μίγμα ψήχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ακολούθως προστέθηκε σε αυτό επαρκής ποσότητα πυκνού διαλύματος καυστικού νατρίου, ώστε να ελευθερωθεί η αμμωνία, που απομακρύνεται και δεσμεύεται σε καθορισμένο όγκο προτύπου διαλύματος οξέος. Η περίσσεια του οξέος προσδιορίστηκε αλκαλιμετρικώς και από την ποσότητα της αμμωνίας υπολογίστηκε η εκατοστιαία περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικό άζωτο.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε υγρή καύση στη φιάλη Kjeldahl όπου μεταφέρθηκαν διαδοχικά 12 g K_2SO_4 , 1 g ένυδρου $CuSO_4$, κατάλληλη ποσότητα δείγματος (0,2 g ιζήματος) και 20 ml πυκνού H_2SO_4 , το οποίο προστέθηκε τελευταίο προκειμένου να συμπαρασύρει από τα τοιχώματα της φιάλης μικροποσότητες του K_2SO_4 , $CuSO_4$ και του δείγματος. Η φιάλη ανακινήθηκε προσεκτικά προκειμένου να αναμιχθούν τα αντιδραστήρια με το δείγμα και τοποθετήθηκε στη συνέχεια στη συσκευή καύσης Kjeldahl. Η θέρμανση αρχικά ήταν ήπια ώστε να αποφευχθεί ο έντονος αφρισμός. Όταν το περιεχόμενο της φιάλης σταμάτησε να αφρίζει και στο εσωτερικό της παρατηρηθήκαν πυκνοί λευκοί ατμοί, η θέρμανση έγινε εντονότερη σε βαθμό που οι

ατμοί του H_2SO_4 να συμπυκνώθηκαν στα $\frac{3}{4}$ του ύψους της. Η θέρμανση στις συνθήκες αυτές συνεχίστηκε μέχρις ότου στα τοιχώματα της φιάλης δεν παρατηρήθηκαν πλέον απανθρακωμένα σωματίδια και το μίγμα καύσης διαύγασε και απέκτησε ένα ασθενώς κίτρινο έως κυανοπράσινο χρώμα. Η θέρμανση συνεχίστηκε προσεκτικά για $1\frac{1}{2}$ ώρα ακόμη και ακολούθως η φιάλη με το περιεχόμενό της ψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εν συνεχεία στη φιάλη Kjeldahl προστέθηκαν αρχικώς 285 ml αποσταγμένου νερού, με τρόπο που κατέστη δυνατή η έκπλυση των εσωτερικών τοιχωμάτων της, και στη συνέχεια 85 ml διαλύματος καυστικού νατρίου, 40 % w/w. Η φιάλη Kjeldahl προσαρμόστηκε αμέσως μετά την προσθήκη του αλκάλειου στη συσκευή απόσταξης Kjeldahl ώστε να αποφευχθούν απώλειες σε αμμωνία. Το κάτω άκρο του ψυκτήρα της συσκευής αυτής ήταν βυθισμένο εντός μίγματος που αποτελείται από 25 ml διαλύματος θειικού οξέος, 0,25 mol/l και 0,2 ml αιθανολικού διαλύματος ερυθρού του μεθυλίου, 0,3 % w/v, το οποίο τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη. Το περιεχόμενό της φιάλης, μετά από μια καλή ανάμιξη, θερμάνθηκε προκειμένου να αποστάξει πλήρως την αμμωνία. Η θέρμανση αρχικώς ήταν ήπια ώστε να αποφευχθεί ένας έντονος αφρισμός. Μετά από τη συλλογή 150 ml αποστάγματος (ο συνολικός όγκος του υγρού στην κωνική φιάλη πρέπει να γίνει 175 ml) διακόπτεται η θέρμανση και απομακρύνεται η φιάλη Kjeldahl από τη συσκευή. Στη συνέχεια εκπλύθηκε το άκρο του ψυκτήρα με αποσταγμένο νερό εντός της κωνικής φιάλης με το απόσταγμα. Η περίσσεια του θειικού οξέος ογκομετρήθηκε με διάλυμα αλκάλειου, 0,5 mol/L, και από την κατανάλωση υπολογίστηκε εμμέσως η αμμωνία που έχει δεσμευθεί από το διάλυμα θειικού οξέος, 0,25 mol/L. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικά δεσμευμένο άζωτο υπολογίστηκε, με ακρίβεια **τριών δεκαδικών ψηφίων**, από τη σχέση: **Άζωτο % (w/w) = $1,4008 \times (2V_1M_1 - V_2M_2) / \beta$** , όπου, V_1 και M_1 ο όγκος και η μοριακότητα του

διαλύματος θεικού οξέος στο οποίο δεσμεύεται η αμμωνία, V_2 και M_2 ο όγκος και η μοριακότητα του διαλύματος καυστικού νατρίου που καταναλώθηκε κατά τον προσδιορισμό της περισσειας του θεικού οξέος, και β το βάρος του δείγματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων

Τα αναλυτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθοδολογιών ανάλυσης φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Από τα 24 δείγματα 16 αντιστοιχούν σε επιφανειακά δείγματα (< 1 m) και φέρουν την επισήμανση *s* (surface) και τα υπόλοιπα 8 αντιστοιχούν σε βενθικά και φέρουν την επισήμανση *B* (bottom).

Στον Πίνακα 3.2 φαίνεται ο μέσος όρος και το εύρος διακύμανσης των τιμών των δειγμάτων νερού της λίμνης Κάρλα.

Πίνακας 3.2: Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών στα δείγματα υδάτων της λίμνης Κάρλα.

Στοιχεία	Μέσος όρος (εύρος τιμών)
pH ($0 \leq 7 \leq 14$)	8,6 (8,34 – 8,91)
Θερμοκρασία (°C)	15,9 (13,9 – 17,5)
E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4782 (4140 - 5290)
S.A.R.	8,8 (8,2 – 9,2)
TDS (ppm)	2960,1 (2528 – 3385,6)
Ολική Σκληρότητα (mg CaCO ₃ /l)	1252,8 (1084 – 1386)
Παροδική Σκληρότητα (mg CaCO ₃ /l)	336,25 (321 – 362)
Μόνιμη Σκληρότητα (mg CaCO ₃ /l)	916,55 (717 – 1051)
Ca ²⁺ (mg/l)	67,39 (52 - 76)
Mg ²⁺ (mg/l)	259,3 (220 - 297)
K ⁺ (mg/l)	32,4 (14 - 28)
Na ⁺ (mg/l)	706,3 (620 - 790)
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	6,82 (6,42 – 7,24)

CO ₃ ⁻² (mmol/l)	0,345 (0,14 – 0,73)
Cl ⁻ (mg/l)	1071,5 (859 - 1280)
SO ₄ ⁻² (mg/l)	1133,9 (988 – 1257)
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0,16 (0,07 – 0,25)
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,058 (0,0 – 0,5)
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,1 (0,0 – 0,44)
B.O.D. (mg/l)	8,31 (7,14 – 9,26)

Οι τιμές του pH για τα δείγματα του νερού της λίμνης Κάρλα κυμάνθηκαν από 8,34 έως 8,91 με μέσο όρο 8,6. Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμάνθηκαν από 13,9 έως 17,5 °C με μέσο όρο 15,9 °C. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει εύρος τιμών από 4140 – 5290 μS/cm με μέσο όρο 4782 μS/cm. Οι τιμές του συντελεστή προσρόφησης του νατρίου κυμάνθηκαν από 8,2 έως 9,2 με μέσο όρο 8,8. Το εύρος διακύμανσης των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών είναι μεταξύ 2528 και 3385,6 ppm με μέσο όρο 2960,1 ppm. Οι τιμές της ολικής σκληρότητας κυμάνθηκαν από 1084 έως 1386 mg CaCO₃/l με μέσο όρο 1252,8 mg CaCO₃/l, ενώ των ιόντων ασβεστίου κυμάνθηκαν από 52 έως 76 mg/l με μέσο όρο 67,39 mg/l. Οι τιμές των ιόντων μαγνησίου κυμάνθηκαν από 220 έως 297 mg/l με μέσο όρο 259,3 mg/l. Οι τιμές των ιόντων καλίου κυμάνθηκαν από 14 έως 28 mg/l με μέσο όρο 32,4 mg/l και οι τιμές των ιόντων νατρίου κυμάνθηκαν από 620 έως 790 mg/l με μέσο όρο 706,3 mg/l. Οι τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων κυμάνθηκαν από 6,42 έως 7,24 mmol/l με μέσο όρο 6,82 mmol/l και οι τιμές των ανθρακικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,14 έως 0,73 mmol/l με μέσο όρο 0,345 mmol/l. Οι τιμές των χλωριόντων κυμάνθηκαν από 859 έως 1280 mg/l με μέσο όρο 1071,5 mg/l και οι τιμές των θειικών ιόντων κυμάνθηκαν από 988 έως 1257 mg/l με μέσο όρο 1133,9 mg/l.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων της λίμνης Κάρλα.

Δείγμα	pH (μονάδες pH)		Θερμοκρασία (°C)		EC (µS/cm)		TDS (ppm)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	Σκληρότητα (mgCaCO/l)			S.A.R.	B.O.D	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	εργαστήριο	πεδίο	εργαστήριο	πεδίο	εργαστήριο	πεδίο	πεδίο	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mmol/l)	(mmol/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	Ολική	Παροδική	Μόνιμη		mg/l	(mg/l)	(mg/l)
sR1	8,8	8,46	21	15,3	4560	4080	2611,2	70	253	18	710	6,58	0,71	959	1125	0,1	1214	329	885	8,8	9,05	0,1	0,4
BR1	8,8	8,34	20,9	15,2	5210	4600	2944	72	261	17	710	6,59	0,57	959	1117	0,16	1250	330	920	8,7	9,26	0,1	0,4
sR2	9	8,91	18,9	14,7	5400	4960	3174,4	59	278	23	720	6,77	0,66	1050	1155	0,22	1290	339	951	8,7	8,21	0	0
BR2	9	8,86	18,9	15,9	5490	5080	3251,2	57	263	19	730	6,77	0,68	1100	1130	0,2	1225	339	886	9,1	8,09	0	0
sR3	8,9	8,84	19,1	16,3	5380	4970	3180,8	59,8	288,3	18	710	6,68	0,65	1050	1147	0,1	1335	334	1001	8,5	7,19	0	0
sR4	8,6	8,51	19,5	15,7	4790	4470	2860,8	67	228	14	630	7,24	0,14	886	997	0,18	1106	362	744	8,3	7,14	0	0
sR5	8,5	8,7	19,2	15,2	4730	4230	2707,2	65	220	15	620	6,99	0,45	1020	994	0,08	1067	350	717	8,3	8,45	0	0
BR5	8,8	8,74	19,2	15,4	4890	4240	2713,6	66,3	223,3	14	630	6,77	0,54	873	988	0,17	1084	339	745	8,3	7,99	0	0
sR6	8,8	8,82	18,9	14,76	4980	4270	2732,8	66	232	15	630	7,06	0,47	859	1004	0,2	1118	353	765	8,2	8,35	0	0
sR7	8,8	8,57	19,1	16,1	5020	3950	2528	76	267	18	740	6,58	0,6	1000	1148	0,13	1288	329	959	8,9	8,69	0,036	0,44
BR7	8,8	8,41	20,9	16,9	4910	4600	2944	65	253	18	730	6,77	0,48	987	1163	0,22	1201	339	862	9,1	8,4	0,032	0,44
sR8	8,8	8,7	20,9	16,2	5060	4610	2950,4	56,8	282,7	18	750	6,74	0,67	1010	1184	0,08	1304	337	967	9	8,82	0,055	0
sR9	8,8	8,89	19,1	16,2	5810	5290	3385,6	70	286	21	780	6,8	0,34	1280	1257	0,18	1352	340	1012	9,2	9,13	0	0
BR9	8,8	8,66	19,2	17,5	5800	5270	3372,8	65	288	21	770	6,67	0,39	1150	1256	0,2	1347	334	1013	9,1	8,73	0	0
sR10	8,7	8,76	18,9	14,82	5850	5250	3360	67	297	21	790	6,7	0,31	1150	1236	0,13	1386	335	1051	9,2	8,07	0	0
sR11	8,8	8,34	21	14,4	5140	4140	2649,6	66	277	29	740	6,76	0,59	1030	1171	0,09	1305	338	967	8,9	8,25	0,2	0,4
BR11	8,8	8,44	21	14,3	5220	4210	2694,4	75	273	18	750	6,53	0,63	1030	1176	0,08	1308	327	981	9	8,74	0,3	0,4
sR12	8,7	8,57	20,8	13,9	5090	4270	2732,8	68	269	18	760	7,1	0,4	1010	1180	0,07	1275	355	920	9,2	8,74	0,5	0
sR13	8,9	8,54	18,7	14,29	5420	4880	3132,2	55	272	19	730	6,45	0,69	859	1145	0,2	1257	323	934	8,9	8,15	0	0
BR13	9	8,55	18,9	14,24	5450	4910	3142,4	52	266	18	680	6,42	0,65	1040	1131	0,19	1222	321	901	8,5	8,26	0	0
sR14	9	8,75	19,3	14,25	5460	4900	3136	55	290	28	720	6,46	0,73	1020	1147	0,21	1332	323	1009	8,6	7,95	0	0
sR15	8,9	8,36	20,9	14,4	5220	4210	2694,4	58	267	18	750	6,55	0,67	1010	1174	0,25	1241	328	913	9,2	8,25	0,042	0
BR15	8,8	8,48	21	14,3	5200	4620	2956,8	55	287	18	740	6,59	0,59	987	1163	0,12	1315	330	985	8,8	8,91	0,048	0,44
sR16	8,9	8,57	19,3	14,32	5470	4980	3187,2	59	267	19	730	6,72	0,31	995	1139	0,17	1247	336	911	9	8,13	0	0

Οι τιμές φωσφορικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,07 έως 0,25 mg/l με μέσο όρο 0,16 mg/l, ενώ οι τιμές της αμμωνίας κυμάνθηκαν από 0,0 έως 0,44 mg/l με μέσο όρο 0,058 mg/l. Οι τιμές των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,0 έως 0,44 mg/l με μέσο όρο 0,1 mg/l και τέλος οι τιμές του B.O.D. κυμάνθηκαν από 7,14 έως 9,26 mg/l με μέσο όρο 8,31 mg/l.

I. Καταλληλότητα για διαβίωση ιχθύων

Σύμφωνα με την οδηγία 78/659/ΕΟΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία αφορά την απαιτούμενη ποιότητα των γλυκών υδάτων, όπου αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν ιχθύες, όπως αυτή εναρμονίστηκε από την Ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ και πραγματοποιήθηκε το 1986 με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86 φαίνεται στον Πίνακα 3.3 η σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων ύδατος της λίμνης Κάρλα σε σχέση με το επιθυμητό και το ανώτατο όριο που καθορίζεται με την παραπάνω Οδηγία.

Πίνακας 3.3: Μέσοι όροι και εύρη διακύμανσης σε αντιπαράθεση με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ.

Φυσικοχημικές Παράμετροι	Κατηγορίες νερών				
	Νερά λίμνης Κάρλα	Νερά σαλμονιδών		Νερά κυπρινιδών	
	Μ.Ο. (εύρος) μετρήσεων	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο
Θερμοκρασία (°C)	15,9(13,9–7,5)	(0,1)	21,5 ^(0,1)	25 ^(0,1)	28 ^(0,1)
pH	8,6(8,34- 8,91)	6,5 – 8,5 ⁽²⁾	6 – 9 ^(0,2)	5,5– 8,5 ^(0,2)	6 – 9 ^(0,2)

PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,16(0,07-0,25)	0,2	-	0,2	-
--------------------------------------	-----------------	-----	---	-----	---

(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.

Από τον Πίνακα 3.3 φαίνεται ότι η θερμοκρασία της λίμνης Κάρλα δεν υπερβαίνει τόσο τα επιθυμητά όσο και τα ανώτατα όρια και για τις δύο κατηγορίες υδάτων. Οι τιμές του pH ξεπερνούν οριακά το επιθυμητό όριο και βρίσκονται εντός των ανώτατων ορίων τόσο για τα νερά των σαλμονιδών όσο και για αυτά των κυπρινιδών. Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων βρίσκεται εντός των επιθυμητών ορίων και για τις δύο κατηγορίες νερού.

II. Καταλληλότητα για πόση

Μία από τις πιο σημαντικές χρήσεις των επιφανειακών υδάτων είναι η χρήση του ως πόσιμο νερό. Αυτό δεν συνεπάγεται αναγκαστικά ότι τα κριτήρια ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για πόση είναι και τα αυστηρότερα, αλλά ότι τα κριτήρια αυτά έχουν την αμεσότερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) αναγνωρίζοντας την σημασία ενός κοινού καθορισμού των ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για την παραγωγή πόσιμου νερού για όλα τα κράτη μέλη εξέδωσε την Οδηγία 80/778 της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία εκδόθηκε τον Ιούλιο του 1980. Η Ελληνική Νομοθεσία εναρμονίστηκε με αυτή την οδηγία το 1986 βάσει της υπ' αριθμόν Α5/288 Υγειονομικής Διάταξης. Η νέα οδηγία που σχετίζεται με την ποιότητα του πόσιμου νερού (98/83/ΕΕ) εκδόθηκε τον Νοέμβριο του 1998. Η Ελληνική

Νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Οδηγία το 2001 βάσει της υπ' αριθμόν Υ2/2600/2001 η οποία βρίσκεται σε ισχύ από τις 25-12-2003.

Η οδηγία 98/83/ΕΕ όπως και η 80/778/ΕΟΚ που αφορά το πόσιμο νερό, ανεξάρτητα από το αν έχει υποστεί επεξεργασία ή όχι καθώς και την προέλευσή του, ενώ εξαιρούνται τα φυσικά μεταλλικά νερά και τα φαρμακευτικά ιδιοκατασκευάσματα.. Επιπλέον στη νέα οδηγία περιλαμβάνεται το πόσιμο νερό ανεξάρτητα από το αν προέρχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, φυάλες ή δοχεία, ενώ νερό που έχει υποστεί κατεργασία αποσκλήρυνσης δεν αντιμετωπίζεται πλέον χωριστά.

Λαμβάνοντας υπόψη την αμφιλεγόμενη έννοια δύο παράλληλων ορίων (ενδεικτικών – επιτακτικών), η νέα οδηγία περιορίζεται σε μία μόνο τιμή (παραμετρική). Επιπρόσθετα κατατάσσει τις παραμέτρους σε τρεις επιμέρους κατηγορίες (Παράρτημα Ι της Οδηγίας): μικροβιολογικές, χημικές και ενδεικτικές (Πίνακας 3.4). Οι παραμετρικές τιμές των χημικών παραμέτρων έχουν επιτακτικό χαρακτήρα, υπό την έννοια ότι οι τιμές αυτές αποτελούν και τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις και δεν θα πρέπει να παραβιάζονται. Σε ότι αφορά τις ενδεικτικές παραμέτρους, οι τιμές καθορίζονται μόνο για λόγους παρακολούθησης, ενώ τα κράτη μέλη εξετάζουν το κατά πόσον αυτή η μη τήρηση δημιουργεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Πίνακας 3.4: Παράμετροι και παραμετρικές τιμές της οδηγίας 98/83/ΕΕC

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μέσος όρος λίμνης Κάρλα	Μονάδες
pH	6,5 – 9,5	8,6	-
E.C.	400*	4782	μS/cm
TDS	-	2960,1	mg/l

Ca ⁺²	100*	67,39	mg/l
Mg ⁺²	50	259,3	mg/l
K ⁺	12*	32,4	mg/l
Na ⁺	200	706,3	mg/l
HCO ₃ ⁻	-	6,82	mg/l
SO ₄ ⁻	250	1133,9	mg/l
Cl ⁻	250	1071,5	mg/l

* Οδηγία 80/778/EEC.

Από τον Πίνακα 3,4 φαίνεται ότι οι τιμές της λίμνης Κάρλα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ιόντα μαγνησίου, καλίου, νατρίου, θεικών και χλωρίου υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή που ορίζεται από τις Οδηγίες 98/83/EE και 80/778/EOK σε αντίθεση με τις τιμές του pH και των ιόντων ασβεστίου.

III. 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. Με βάση τα κριτήρια αυτά ο Richards το 1954 κατέταξε το νερό της άρδευσης σε 4 κατηγορίες: **Χαμηλή**, EC ≤ 250 μS/cm, SAR < 10, **Μεσαία**, EC = 250 - 750 μS/cm, SAR = 10 - 18, **Υψηλή**, EC = 750 - 2250 μS/cm, SAR = 18 - 26 και **Πολύ υψηλή**, EC = 2250 - 5000 μS/cm, SAR > 26.

Στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί γίνεται κατάταξη των μετρήσεων των δειγμάτων της λίμνης Κάρλα σε σχέση με τις παραπάνω κατηγορίες.

Πίνακας 3.5: Κατάταξη δειγμάτων σύμφωνα με την καταλληλότητά τους προς άρδευση κατά Richards.

Δείγμα	Τιμή EC $\mu\text{S}/\text{cm}$ λίμνης Κάρλα	Χαρακτηρισμός με βάση την EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Τιμή SAR λίμνης Κάρλα	Χαρακτηρισμός με βάση τον SAR
sR1	4080	Πολύ υψηλή	8,8	Χαμηλή
BR1	4600	Πολύ υψηλή	8,7	Χαμηλή
sR2	4960	Πολύ υψηλή	8,7	Χαμηλή
BR2	5080	Πολύ υψηλή	9,1	Χαμηλή
sR3	4970	Πολύ υψηλή	8,5	Χαμηλή
sR4	4470	Πολύ υψηλή	8,3	Χαμηλή
sR5	4230	Πολύ υψηλή	8,3	Χαμηλή
BR5	4240	Πολύ υψηλή	8,3	Χαμηλή
sR6	4270	Πολύ υψηλή	8,2	Χαμηλή
sR7	3950	Πολύ υψηλή	8,9	Χαμηλή
BR7	4600	Πολύ υψηλή	9,1	Χαμηλή
sR8	4610	Πολύ υψηλή	9	Χαμηλή
sR9	5290	Πολύ υψηλή	9,2	Χαμηλή
BR9	5270	Πολύ υψηλή	9,1	Χαμηλή
sR10	5250	Πολύ υψηλή	9,2	Χαμηλή
sR11	4140	Πολύ υψηλή	8,9	Χαμηλή
BR11	4210	Πολύ υψηλή	9	Χαμηλή
sR12	4270	Πολύ υψηλή	9,2	Χαμηλή
sR13	4880	Πολύ υψηλή	8,9	Χαμηλή
BR13	4910	Πολύ υψηλή	8,5	Χαμηλή
sR14	4900	Πολύ υψηλή	8,6	Χαμηλή
sR15	4210	Πολύ υψηλή	9,2	Χαμηλή
BR15	4620	Πολύ υψηλή	8,8	Χαμηλή
sR16	4980	Πολύ υψηλή	9	Χαμηλή

Από τον Πίνακα 3.5 φαίνεται ότι σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων έχουμε πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε 4 δείγματα [BR2, sR9, BR9, sR10 (16,6 % των δειγμάτων)] η τιμή της ξεπερνά το όριο των 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που έχει ορίσει ο Richards. Στον αντίποδα ο συντελεστής προσρόφησης του νατρίου (SAR) εμφανίζεται χαμηλός με βάση την κατάταξη του Richards για όλα τα δείγματα.

3.2 Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων για τα δείγματα νερού

Στον Πίνακα 3.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παραμετρικές τιμές της παρούσας έρευνας σε σύγκριση με αντίστοιχες έρευνες του ελληνικού και διεθνή χώρου.

Πίνακας 3.6: Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της λίμνης Κάρλα με άλλες λίμνες του ελληνικού και διεθνή χώρου.

Λίμνες	pH	T (C) ^o	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	TDS mg/l	Ca ⁺ mg/l	Mg ⁺² mg/l	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l
Κάρλα	8,52	15,9	4782	2960,1	67,39	259,3	32,4	706,3	1071,5	1133,9	0,16	0,1
Κάρλα ¹	7,9	19,09	3641,7	1933,8	60,2	177,54	12,9	486,67	729,17	549,17	0,82	-
Maurepas ² (USA)	-	-	-	-	19,2	31,7	2,3	23,4	-	-	-	-
Greifen ³ (USA)	-	-	-	-	-	-	-	-	69,8	-	-	-
Τριγωνίδα ⁴	8,1	15	247	-	-	-	-	-	246,15	7,69	-	65705,13
Βόλβη ⁴	7,9	6,8	980	-	-	-	-	-	53,85	7,69	-	16025,64
Μικρή Πρέσπα ⁴	8,3	21	266	-	-	-	-	-	3,37	7,69	-	52243,59
Κορωνίδα ⁴	8,1	-	1170	-	-	-	-	-	70,19	19,87	-	-
Βιστονίδα ⁴	7,8	-	1200	-	-	-	-	-	155,77	36,86	-	-
Μεγάλη	8,3	16	219	-	-	-	-	-	2,88	1,6	-	625

Πρέσπα ⁴												
Καστοριά ⁴	8,2	15	239	-	-	-	-	-	5,77	2,08	-	560,9
Παμβώτιδα ⁴	8,4	17	308	-	-	-	-	-	21,63	5,13	-	3076,92
Δοϊράνη ⁴	8,1	-	408	-	-	-	-	-	6,73	8,97	-	-
Αμβρακιά ⁴	8,3	9,2	550	-	-	-	-	-	23,08	118,59	-	-
Miquelon ⁵ (CAN)	9,41	-	8800	5963,8	8,08	196	103	1845	168	-	-	-
Maggiore ⁶ (ITA)	7,2	-	136		21	3,8	1,5	2,1	1,7	29	-	3,7
Lonar ⁷ (IND)	9,25	-	133,5	365	3,42	31,61	16,58	3165	2550	111,5	0,405	16,55
Qarun ⁷ (EGY)	-	-	-	-	692,57	2033	425,57	35,67	-	-	-	-
Pandoh ⁸ (IND)	7,35	-	71,6	53200	7,99	1,17	1,91	3,87	1,53	-	1,19	-

1: Λιάπης Γ. (2011), 2: Ferrell *et al.* (1970), 3: Xue *et al.* (1993), 4: Τζινευράκης Σ. (2005), 5:

Swanson *et al.* (2006), 6: Boari *et al.* (1997), 7: Mohamed *et al.* (2005), 8: Ashumali *et al.*

(2007).

3.2.1 Παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων

3.2.1.1 Σκληρότητα

Για τη λίμνη Κάρλα οι τιμές της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας δίνονται στον Πίνακα 3.7 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.7: Τιμές της σκληρότητας για τη λίμνη Κάρλα (ολική, παροδική, μόνιμη).

Δείγμα	Σκληρότητα (mgCaCO/l)		
	Ολική	Παροδική	Μόνιμη
sR1	1214	329	885
BR1	1250	330	920
sR2	1290	339	951
BR2	1225	339	886
sR3	1335	334	1001
sR4	1106	362	744
sR5	1067	350	717

BR5	1084	339	745
sR6	1118	353	765
sR7	1288	329	959
BR7	1201	339	862
sR8	1304	337	967
sR9	1352	340	1012
BR9	1347	334	1013
sR10	1386	335	1051
sR11	1305	338	967
BR11	1308	327	981
sR12	1275	355	920
sR13	1257	323	934
BR13	1222	321	901
sR14	1332	323	1009
sR15	1241	328	913
BR15	1315	330	985
sR16	1247	336	911

Στον Πίνακα 3.8 γίνεται ο χαρακτηρισμός των υδάτων της λίμνης Κάρλα όπου φαίνεται η πολύ υψηλή σκληρότητά τους.

Πίνακας 3.8: Χαρακτηρισμός των υδάτων της λίμνης Κάρλα με βάση την ολική σκληρότητα.

Δείγμα	Ολική Σκληρότητα (mg CaCO/l) λίμνης Κάρλα	Χαρακτηρισμός του νερού			
		Μαλακό	Μέτρια Σκληρό	Σκληρό	Πολύ Σκληρό
sR1	1214				√
BR1	1250				√
sR2	1290				√
BR2	1225				√
sR3	1335				√
sR4	1106				√
sR5	1067				√
BR5	1084				√
sR6	1118				√
sR7	1288				√
BR7	1201				√

sR8	1304				√
sR9	1352				√
BR9	1347				√
sR10	1386				√
sR11	1305				√
BR11	1308				√
sR12	1275				√
sR13	1257				√
BR13	1222				√
sR14	1332				√
sR15	1241				√
BR15	1315				√
sR16	1247				√

Η ταξινόμηση του νερού που φαίνεται στον Πίνακα 3.8 έγινε βάσει των ορίων σκληρότητας, όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 3.9.

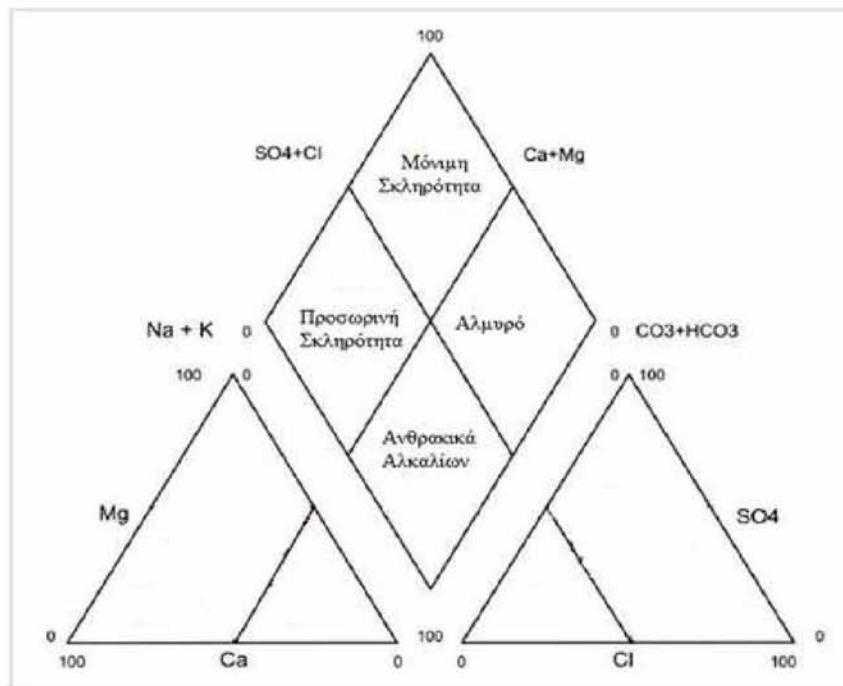
Πίνακας 3.9: Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

<i>Ισοδύναμο CaCO₃ (mg/L)</i>	<i>Γαλλικοί βαθμοί</i>	<i>Χαρακτηρισμός του νερού</i>
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες 3.8 και 3.9 το νερό της λίμνης Κάρλα χαρακτηρίζεται ως πολύ σκληρό σε ποσοστό 100% επί των δειγμάτων που αναλύθηκαν.

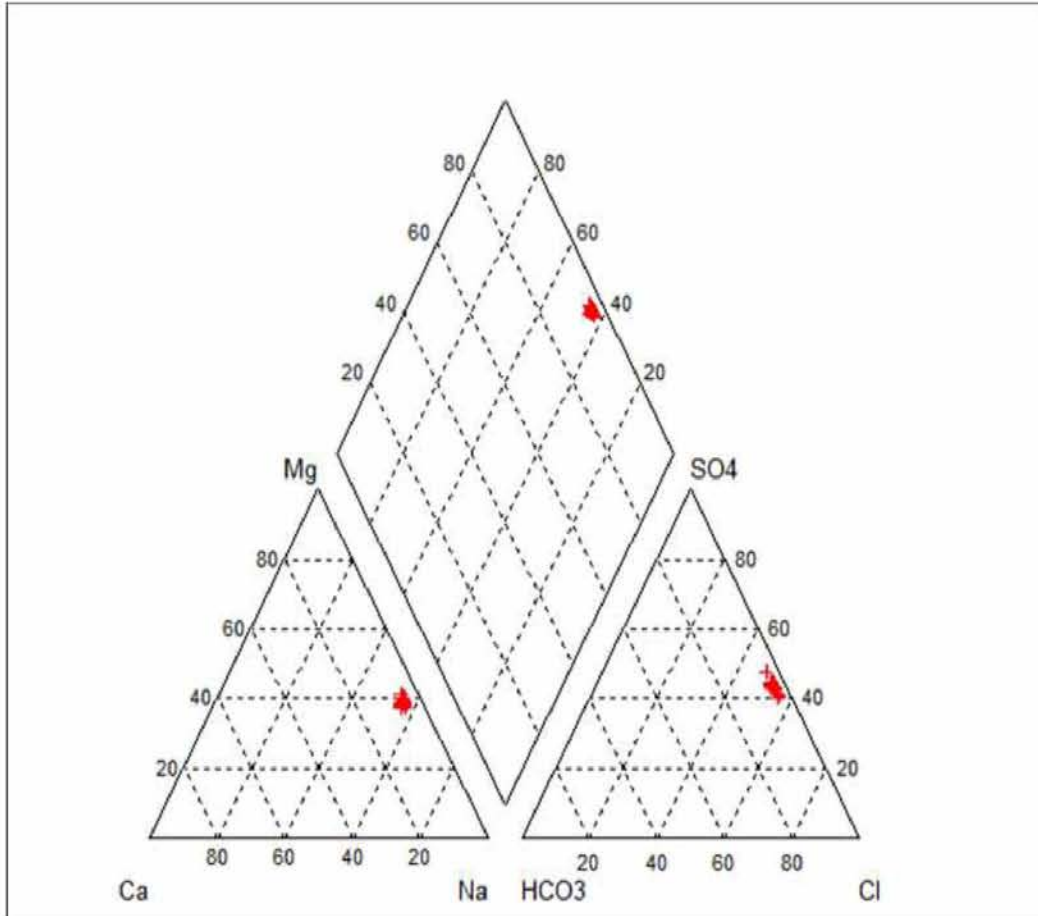
3.2.1.2 Διάγραμμα Piper

Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται το πρότυπο διάγραμμα Piper βάση του οποίου γίνεται ο χαρακτηρισμός των υδάτων μιας περιοχής.



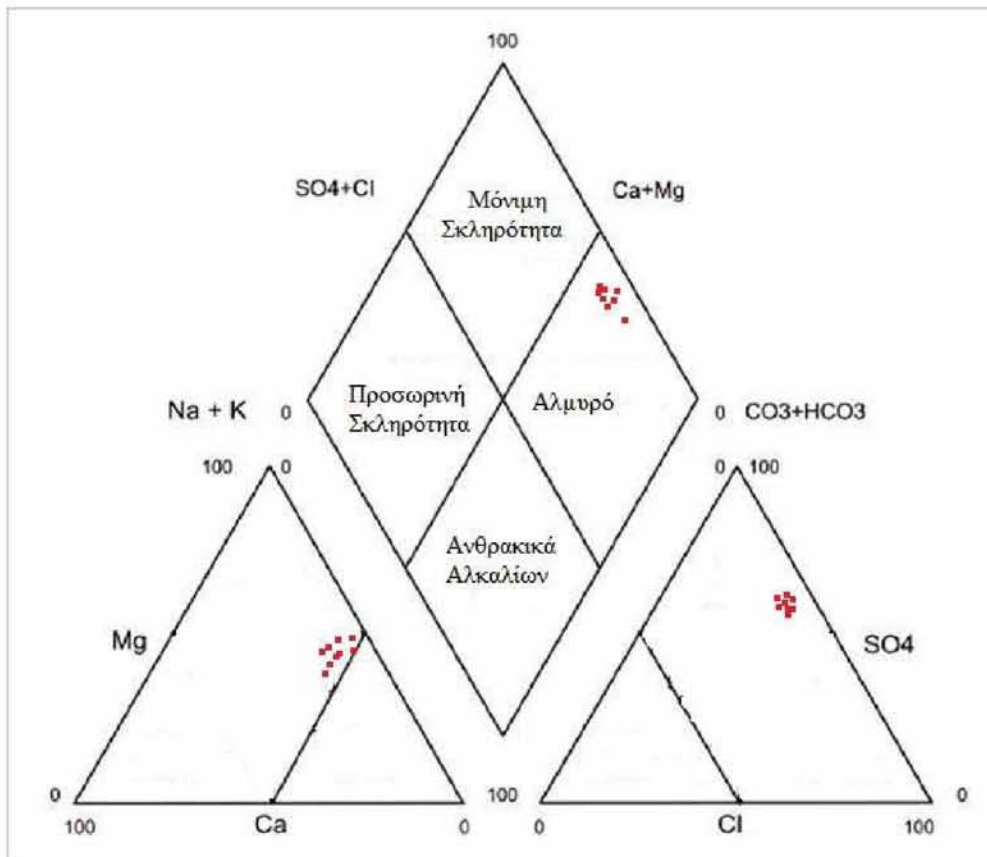
Εικόνα 3.1: Τυπικό διάγραμμα Piper.

Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται η κατάταξη των υδάτων της λίμνης Κάρλα σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, χλωρίου, θεικών, ανθρακικών και όξινων ανθρακικών.



Εικόνα 3.2: Ταξινόμηση των υδάτων της λίμνης Κάρλα σε διάγραμμα Piper.

Μπορούμε να πούμε ότι το νερό της λίμνης Κάρλα με βάση το τριγωνικό διάγραμμα Piper κατατάσσεται στην υφάλμυρη έως αλμυρή περιοχή (Εικ. 3.3). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για το διάγραμμα Piper έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem.



Εικόνα 3.3: Κατάταξη των νερών της λίμνης Κάρλα στο διάγραμμα Piper.

Στον Πίνακα 3.10 φαίνεται η σύνθεση των ιόντων που επικρατούν στα δείγματα νερού της παρούσας έρευνας. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα ιόντα νατρίου, μαγνησίου και χλωρίου, όπως επίσης και αυτά των θεικών. Ο τύπος νερού που επικρατεί στα δείγματα της λίμνης Κάρλα σε ποσοστό 100 % επί του συνόλου των δειγμάτων είναι ο Na-Mg-Cl-SO₄. Ο τύπος νερού προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα Aquachem (Εικ. 3.4)

Πίνακας 3.10: Τύπος νερού για τα νερά της λίμνης Κάρλα.

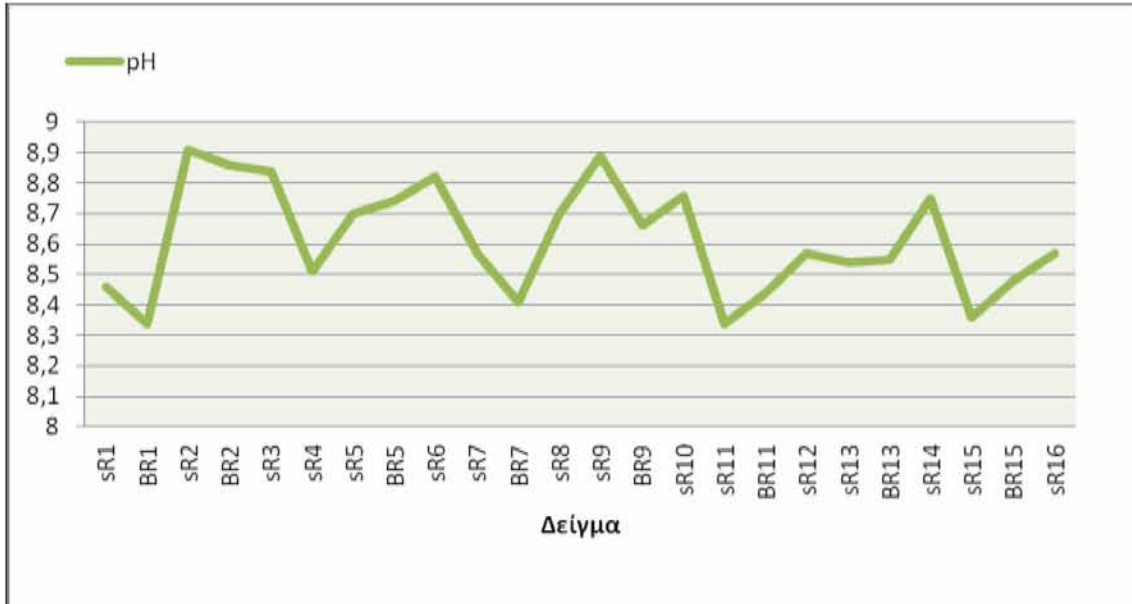
Δείγμα	Τύπος νερού
sR1	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR1	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR2	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR2	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR3	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR4	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR5	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR5	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR6	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR7	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR7	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR8	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR9	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR9	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR10	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR11	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR11	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR12	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR13	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR13	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR14	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR15	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR15	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR16	Na-Mg-Cl-SO ₄

Measured values	Modeled values	Calculated values			
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4				
Sum of Anions (meq/l)	56,96				
Sum of Cations (meq/l)	56,72				
Balance	-0,2%				
Calculated TDS (mg/l)	3327,6				
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3	
Total hardness	24,48	122,41	68,55	1224,1	
Permanent hardness	22,08	110,40	61,83	1104,0	
Temporary hardness	2,4	12,00	6,72	120,0	
Alkalinity	2,4	12,00	6,72	120,0	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%	
Na+	730,0	31,753	31,753	27,27	
K+	19,0	0,486	0,486	0,0	
Ca++	57,0	1,422	2,844	1,759	
Mg++	263,0	10,819	21,637	18,474	
Cl-	1100,0	31,027	31,027	27,27	
SO4--	1130,0	11,764	23,528	20,233	
HCO3-	121,58	1,993	1,993	0,88	
Ratios			Comp. to Seawater		

Εικόνα 3.4: Προέλευση χημικών στοιχείων με βάση το χημικό τύπο νερού.

3.2.1.3 Ολικά διαλυμένα στερεά [Total Dissolved Solid – (TDS)]

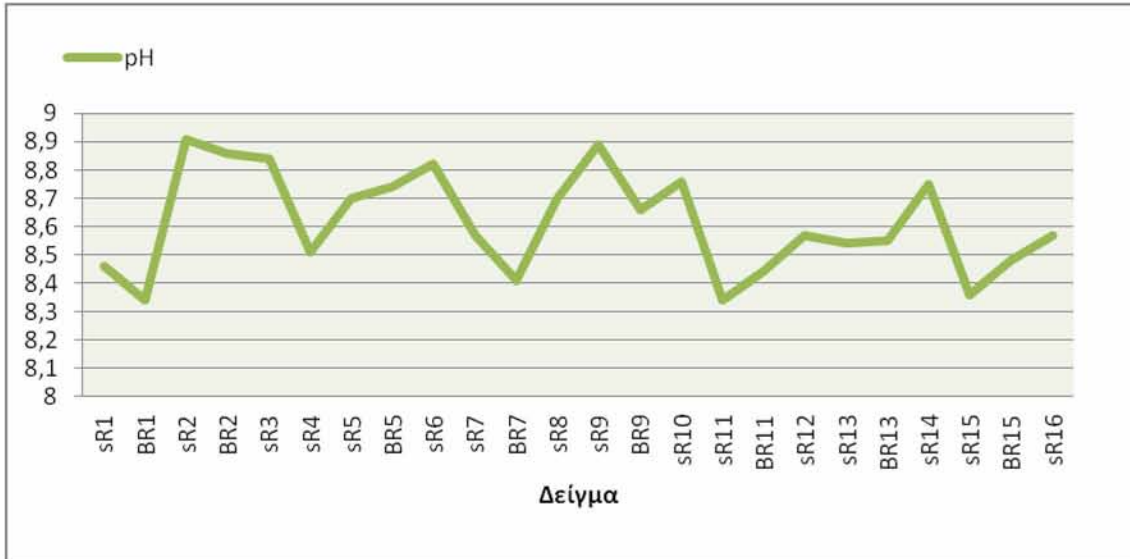
Στο παρακάτω Διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του TDS. Η τιμή TDS για τη λίμνη Κάρλα κυμαίνεται από 2528 έως 3385,6 ppm με μέσο όρο 2960,1 ppm. Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις λίμνες Pandoh και Miquelon, ενώ σε σχέση με τη λίμνη Lonar κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα (Πιν. 3.6). Η σύγκριση της συγκέντρωσης των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται εμφανώς αυξημένη. Η αύξηση αυτή που παρατηρήθηκε οφείλεται στην άμεση σχέση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών η οποία εκφράζεται από τον τύπο: $TDS (mg/L) = 0.66 * EC (\mu S/cm)$ αφού όπως φαίνεται η τιμή TDS είναι ανάλογη της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Darfor *et al.* 1972, Fuhriman *et al.* 1981, Sowby *et al.* 1999).



Διάγραμμα 3.1: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών TDS.

3.2.1.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)]

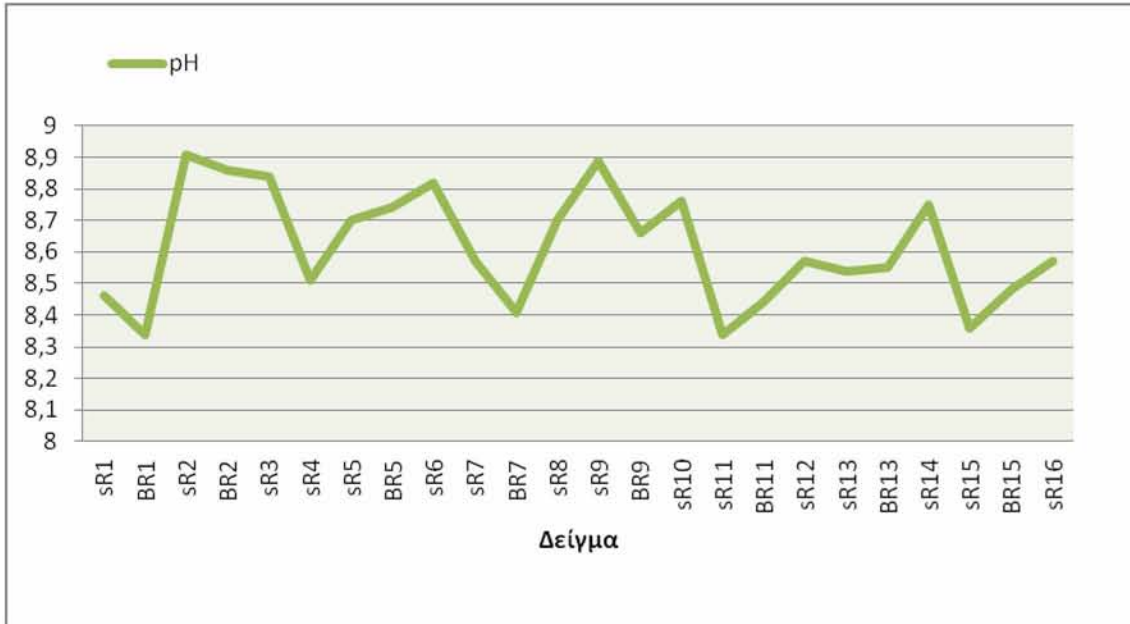
Στο Διάγραμμα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται το εύρος διακύμανσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υδάτων της λίμνης Κάρλα εμφανίζει ελάχιστη και μέγιστη τιμή 4140 και 5290 $\mu\text{S/cm}$ αντίστοιχα. Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τη λίμνη Κάρλα ξεπερνά κατά πολύ τις αντίστοιχες τιμές για τις λίμνες Τριχωνίδα, Βόλβη, Μικρή Πρέσπα, Κορωνίδα, Βιστονίδα, Μεγάλη Πρέσπα, Καστοριάς, Παμβώτιδα, Δοϊράνη, Αμβρακία, Maggiore, Lonar και Pandoh. Μικρότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζει σε σχέση με τη λίμνη Miquelon (Πιν. 3.6). Τέλος με βάση την Οδηγία 98/83/EE (Πιν. 3.4) οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ξεπερνούν σε ποσοστό έως 800 % περίπου το ανώτατο όριο (Smart 1992, Hayash 2004). Η σύγκριση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την παρούσα μελέτη (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται αυξημένη.



Διάγραμμα 3.2: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

3.2.1.5 Θερμοκρασία

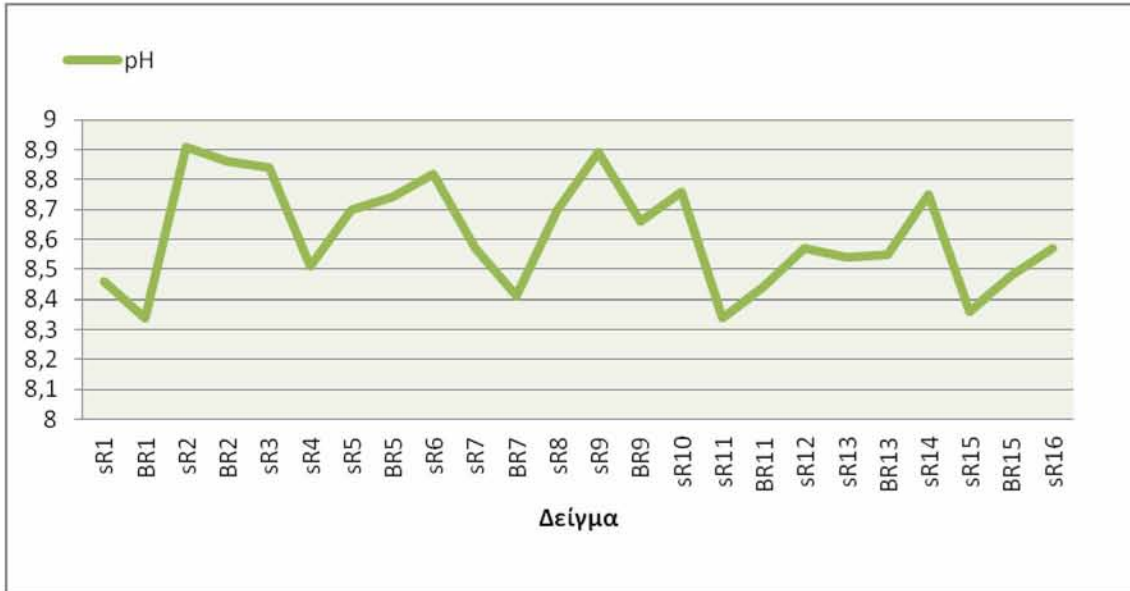
Η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας για τη λίμνη Κάρλα φαίνεται στο διάγραμμα 3.3 που ακολουθεί. Η θερμοκρασία του νερού στη λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται χαμηλότερη σε σχέση με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις λίμνες Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα, Παμβώτιδα και μεγαλύτερη από τις λίμνες Τριγωνίδα, Βόλβη, Καστοριάς και Αμβρακία (Πιν. 3.6). Η σύγκριση της τιμής της θερμοκρασίας για την παρούσα μελέτη (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα φαίνεται μειωμένη. Το παράδοξο της παρατήρησης αυτής εξηγείτε από την παρατεταμένη διάρκεια της έντονης ηλιοφάνειας και συνεπώς της υψηλής θερμοκρασίας για τα δεδομένα της εποχής που πραγματοποιήθηκε η δεύτερη δειγματοληψία.



Διάγραμμα 3.3: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας.

3.2.1.6 pH

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του pH. Το pH της λίμνης Κάρλα κυμαίνεται μεταξύ 8,34 – 8,91 βαθμών και έχει μέσο όρο 8,52 βαθμούς και χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο (Rose 1986, WHO 1986). Η τιμή του pH για τη λίμνη Κάρλα εμφανίζεται μικρότερη σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για τις λίμνες Miquelon, Lonar και μεγαλύτερη από τις λίμνες Μεγάλη και Μικρή Πρέσπα, Τριγωνίδα, Βόλβη, Κορωνίδα, Βιστονίδα, Καστοριάς, Παμβώτιδας, Δοϊράνη, Αμβρακία, Maggiore και Pandoh (Πιν. 3.6). Η σύγκριση των τιμών του pH της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται αυξημένη.

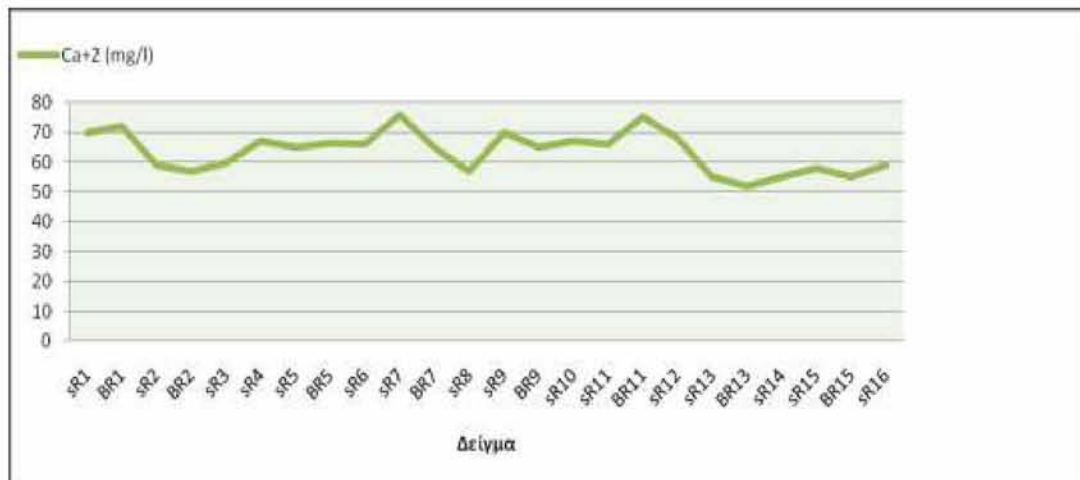


Διάγραμμα 3.3: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών του pH.

3.2.1.7 Ασβέστιο (Ca^{+2})

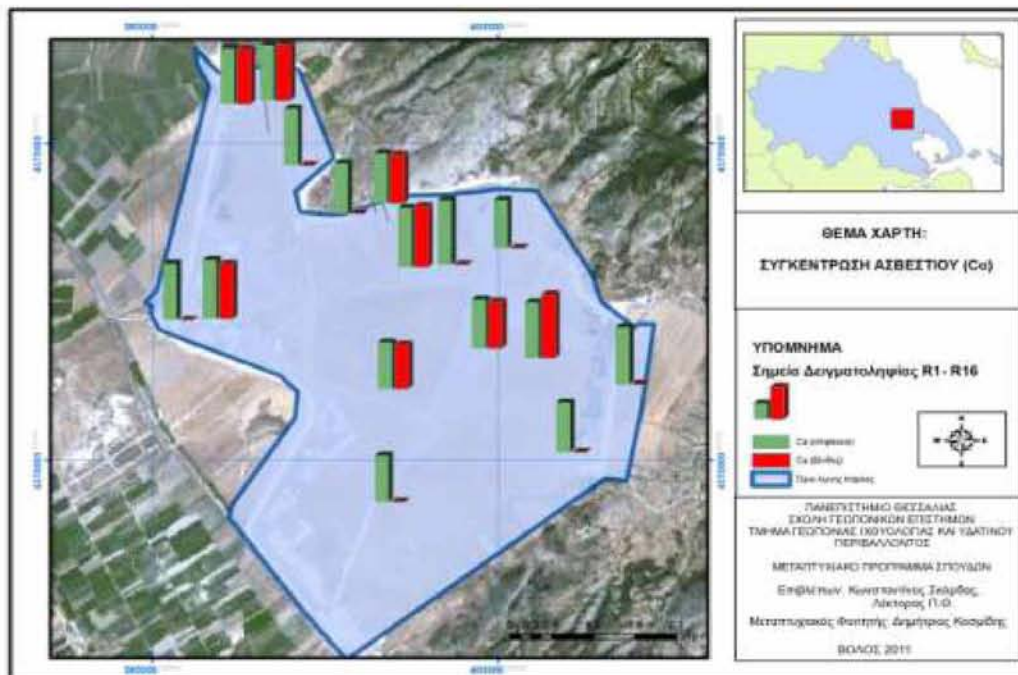
Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 52 έως 76 mg/l με μέση τιμή 67,39 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών του ασβεστίου, ενώ παρατηρείται σχετική αύξηση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει αρκετά μικρότερη συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου από τη λίμνη Qarun και υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης από τις λίμνες Pandoh, Miquelon, Lonar, Maurepas και Maggiore. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου παρουσιάζεται χαμηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει μικρή αύξηση αυτής. Η προέλευση των ιόντων ασβεστίου πιθανότατα οφείλεται στις εντονότερες διεργασίες αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών Ασβεστίτη (CaCO_3) και Δολομίτη

[CaMg(CO₃)₂] των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής που διενεργείτε κατά τη χειμερινή περίοδο λόγω των κατακρημνισμάτων (WHO 2009, Roche 1975). Οι τιμές των συγκεντρώσεων του ασβεστίου αποδόθηκαν στο Διάγραμμα 3.4 και Εικ. 3.5 που ακολουθούν.



Διάγραμμα 3.4: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου για κάθε δείγμα.

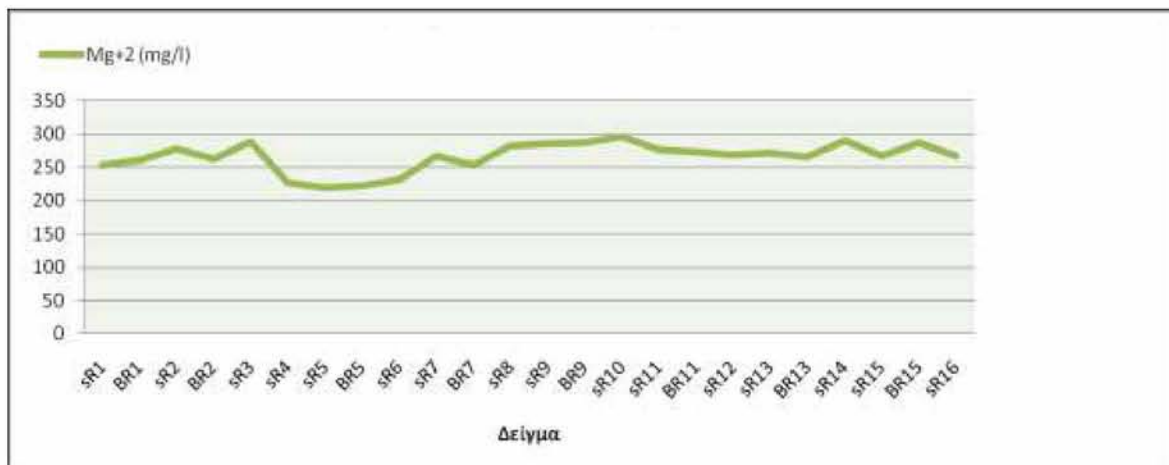
Η κατανομή του ασβεστίου της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.1.



Εικόνα 3.5: Κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου.

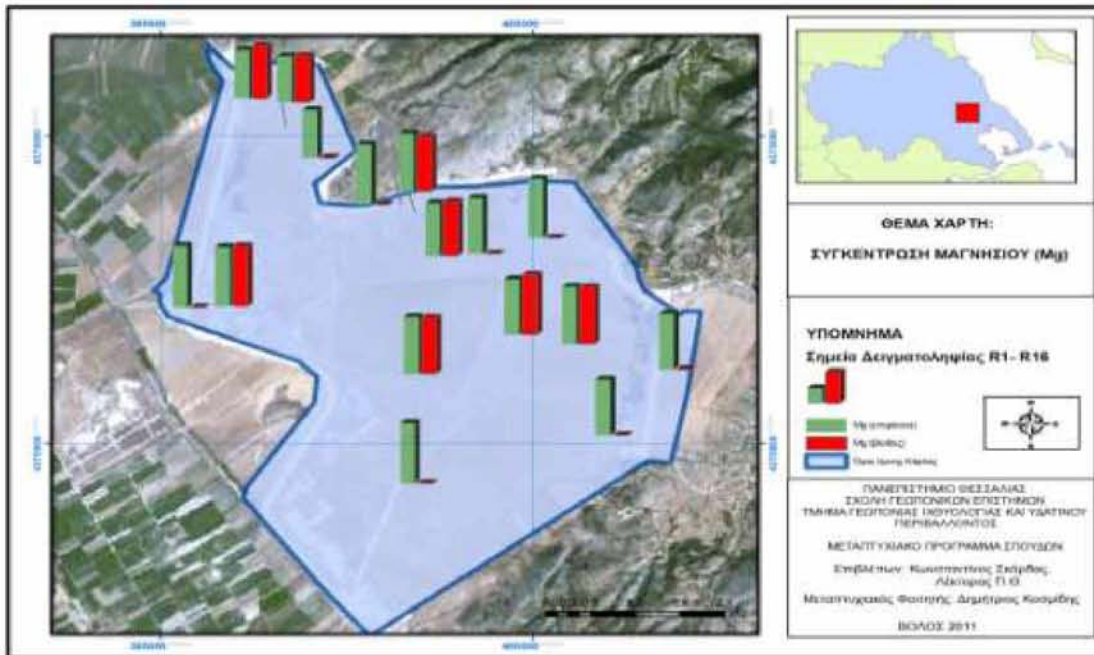
3.2.1.8 Μαγνήσιο (Mg^{+2})

Η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 220 έως 297 mg/l με μέση τιμή 259,3 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών του μαγνησίου, ενώ δεν παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις από τις λίμνες Pandoh, Lonar, Maggiore, Miquelon και Maugerpas ενώ παρουσιάζει μικρότερη συγκέντρωση από τη λίμνη Qarun. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/EE η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου παρουσιάζεται υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει σχετική αύξηση αυτής. 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 (Swanson *et al.* 2006, Parinet *et al.* 2004). Οι τιμές των συγκεντρώσεων του ασβεστίου αποδόθηκαν στο διάγραμμα 3.5 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.5: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου για κάθε δείγμα.

Η κατανομή του μαγνησίου της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.6.

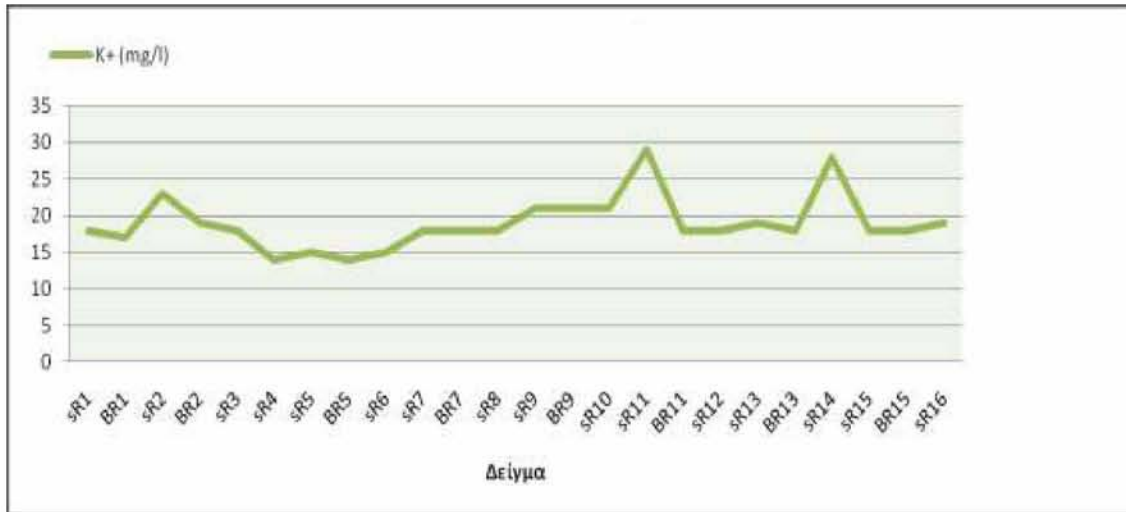


Εικόνα 3.6: Κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου.

3.2.1.9 Κάλιο (K^+)

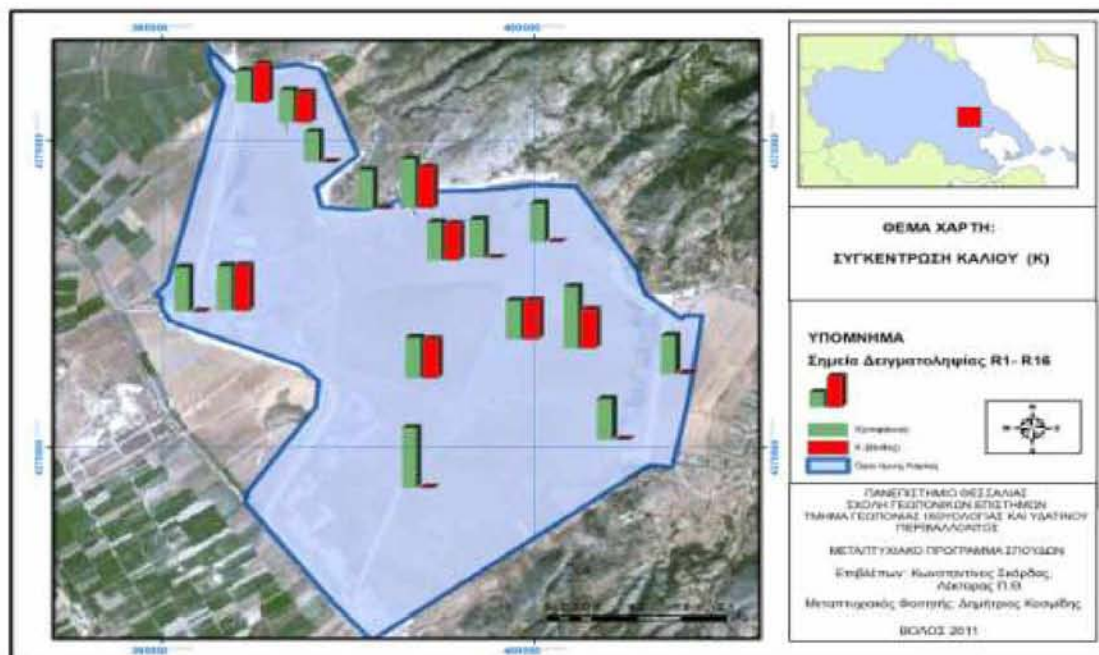
Η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 14 έως 28 mg/l με μέση τιμή 32,4 mg/l. Γενικά δεν παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του καλίου, ενώ παράλληλα δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από την αντιπαραβολή των τιμών του Πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις λίμνες Miquelon και Qarun ενώ αντίθετα παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Maurepas, Maggiore, Lonar και Pandoh. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/EE η συγκέντρωση των ιόντων καλίου παρουσιάζεται αρκετά υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα

παρουσιάζει αύξηση αυτής. Η παρουσία των ιόντων καλίου οφείλεται στη πιθανή διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Συλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO_4) των γεολογικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης (Clifford *et al.* 2001, Ferrell *et al.* 1970). Οι τιμές των συγκεντρώσεων του ασβεστίου αποδόθηκαν στο διάγραμμα 3.6 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.6: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των ιόντων καλίου για κάθε δείγμα.

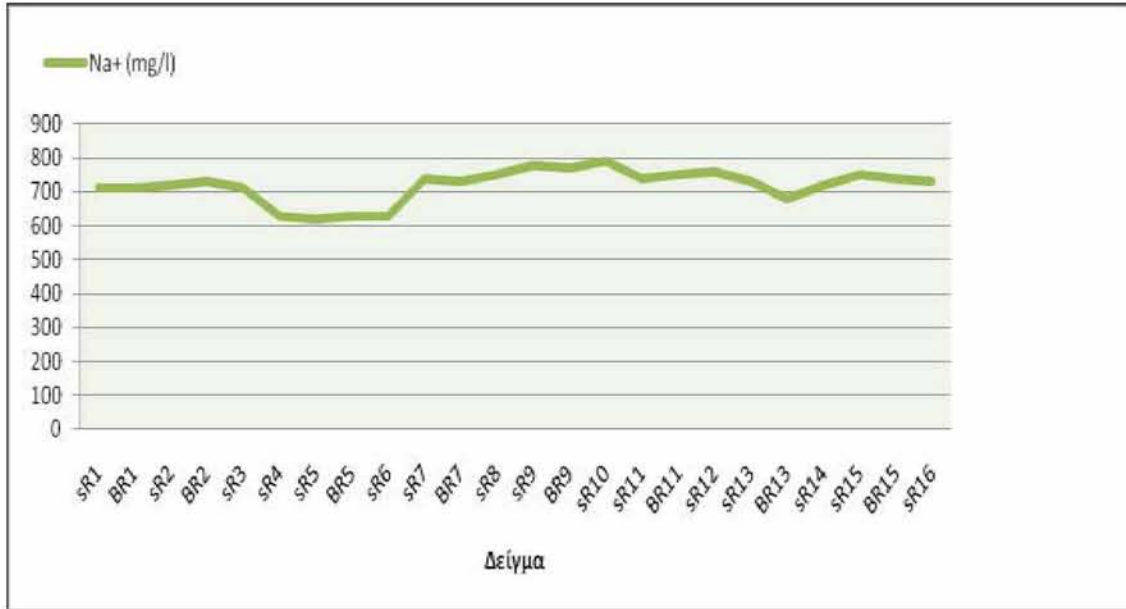
Η κατανομή του καλίου της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.7.



Εικόνα 3.7: Κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου.

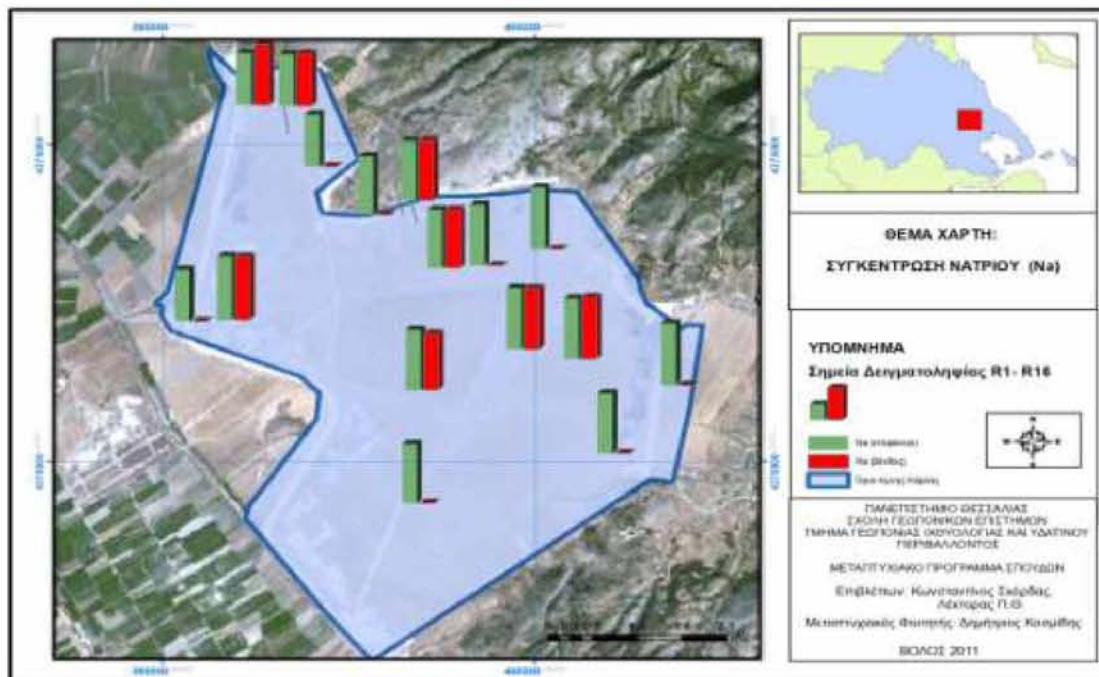
3.2.1.10 Νάτριο (Na^+)

Η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 620 έως 790 mg/l με μέση τιμή 706,3 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών του νατρίου, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του Πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις λίμνες Miquelon και Lonar ενώ αντίθετα παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Mauerpas, Maggiore, Qarun και Pandoh. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/EE η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται αρκετά αυξημένη. Η έντονη παρουσία των ιόντων νατρίου οφείλεται πιθανόν στην εκτεταμένη διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Συλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO_4) όπως, επίσης και στα διαλυμένα άλατα των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων που προέρχονται από το Αιγαίο Πέλαγος αλλά και από την εισχώρηση του θαλασσίου ύδατος στην ενδοχώρα, εισερχόμενα από το δευτερογενές πορώδες των ασβεστολίθων που χωρίζουν την περιοχή της λίμνης Κάρλα με το Αιγαίο Πέλαγος. Σε μικρότερο βαθμό η παρουσία ιόντων νατρίου πιθανόν να οφείλεται και σε οικιακά απόβλητα (π.χ. αεροζόλ) τα οποία φτάνουν στη λίμνη μέσω της απορροής των επιφανειακών υδάτων (Swanson *et al.* 2006, Mohamed *et al.* 2005). Οι τιμές των συγκεντρώσεων του ασβεστίου αποδόθηκαν στο Διάγραμμα 3.7 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.7: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου για κάθε δείγμα.

Η κατανομή του νατρίου της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.8 που ακολουθεί.



Εικόνα 3.8: Κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου.

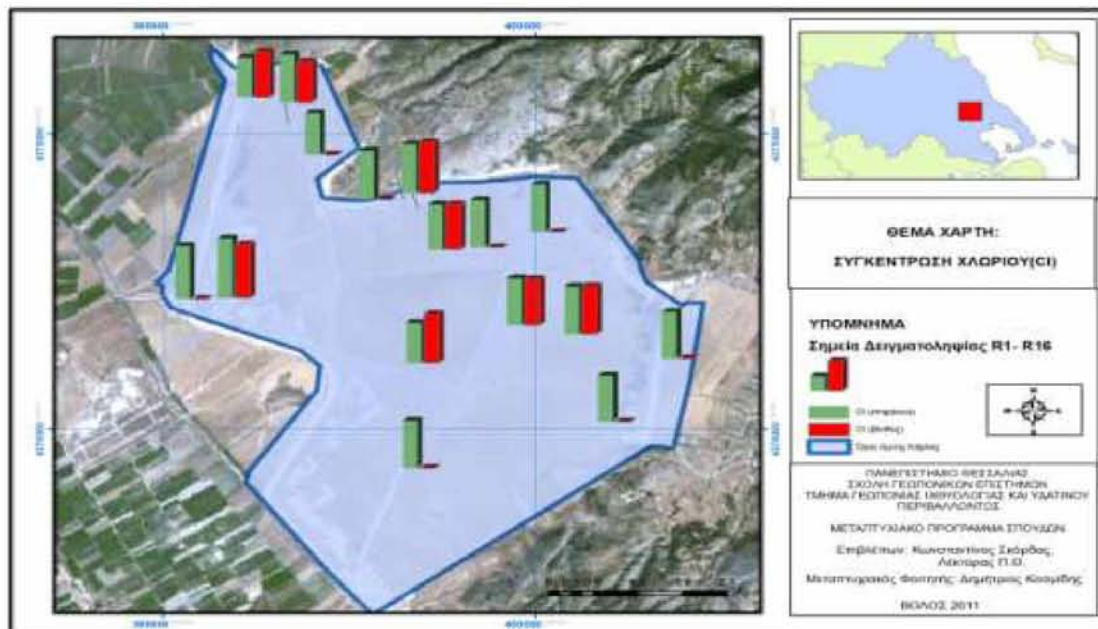
3.2.1.11 Χλώριο (Cl)

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 859 έως 1280 mg/l με μέση τιμή 1071,5 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών των ιόντων χλωρίου, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αυξομείωση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Παμβώτιδα, Τριχονίδα, Βόλβη, Μικρή Πρέσπα, Κορωνίδα, Βιστονίδα, Μεγάλη Πρέσπα, Καστοριάς, Δοϊράνη, Αμβρακία, Greifen, Miquelon, Maggiore και Pandoh ενώ παρουσιάζει μικρότερη συγκέντρωση από τη λίμνη Lonar. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/ΕΕ η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει αύξηση. Η παρουσία των ιόντων χλωρίου οφείλεται στη πιθανή διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Συλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO₄) όπως, επίσης και στα διαλυμένα άλατα των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων που προέρχονται από το Αιγαίο Πέλαγος αλλά και από την εισχώρηση του θαλασσίου ύδατος στην ενδοχώρα, εισερχόμενα από το δευτερογενές πορώδες των ασβεστολίθων που χωρίζουν την περιοχή της λίμνης Κάρλα με το Αιγαίο Πέλαγος. Σε μικρότερο βαθμό η παρουσία ιόντων χλωρίου πιθανόν να οφείλεται και σε οικιακά απόβλητα (π.χ. αεροζόλ) τα οποία φτάνουν στη λίμνη μέσω της απορροής των επιφανειακών υδάτων (Xue 2003, Boagi 1997). Οι τιμές των συγκεντρώσεων του χλωρίου αποδόθηκαν στο Διάγραμμα 3.8 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.8: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των χλωριόντων για κάθε δείγμα.

Η κατανομή του χλωρίου της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.9.

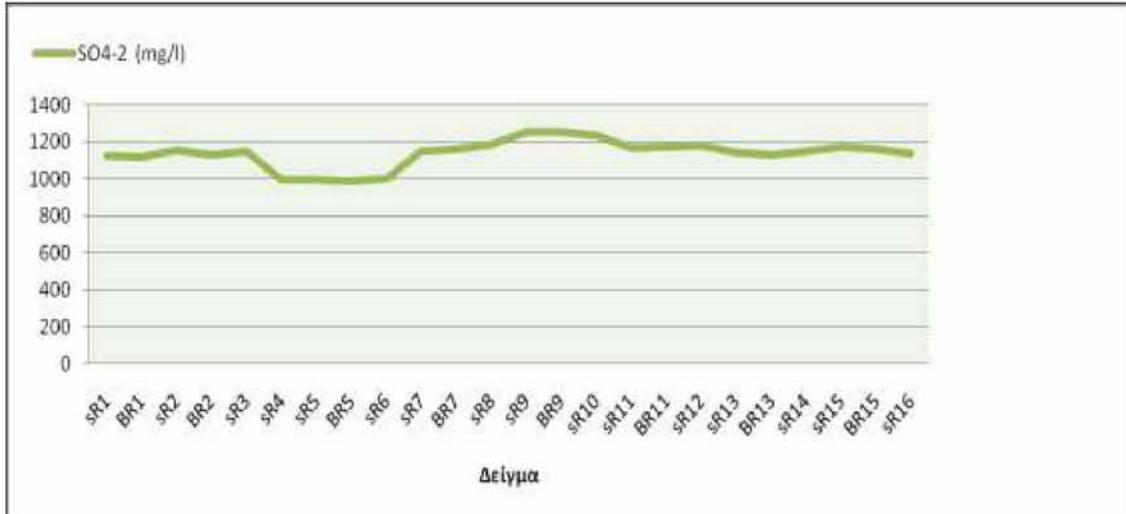


Εικόνα 3.9: Κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου.

3.2.1.12 Θειικά (SO_4^{-2})

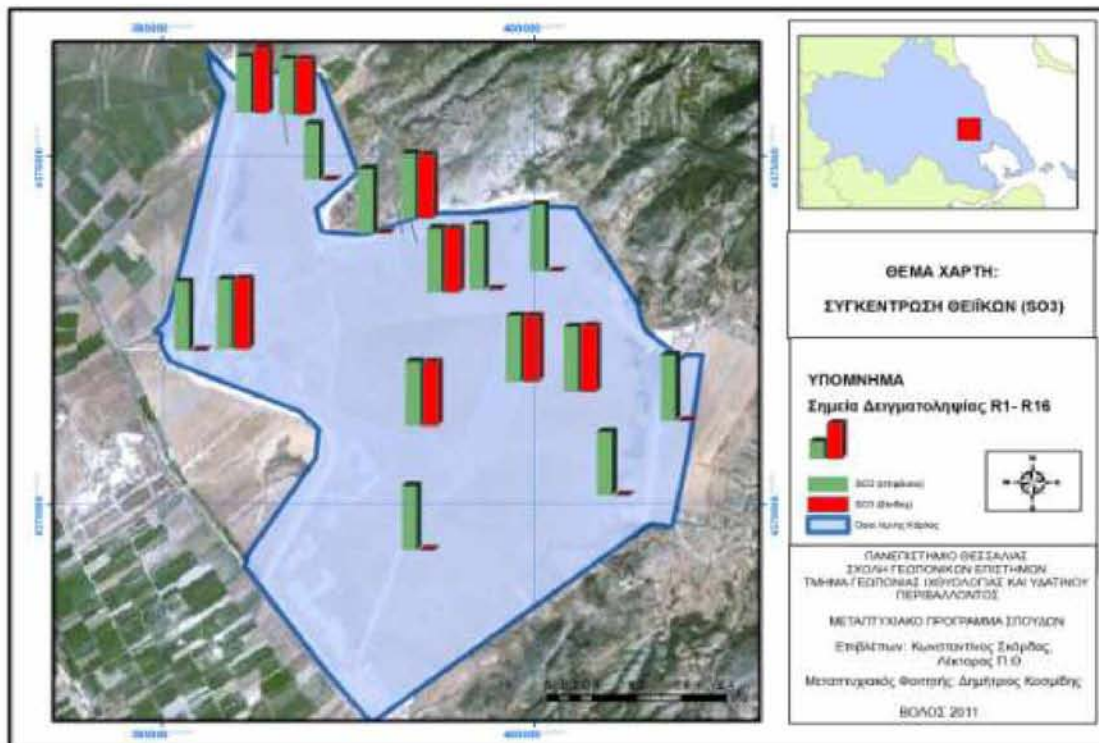
Η συγκέντρωση των θεικών στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 988 έως 1257 mg/l με μέση τιμή 1133,9 mg/l. Γενικά παρατηρείται μικρή διακύμανση των

τιμών των θεικών, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αυξομείωση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του Πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις για τα θειικά ιόντα σε σχέση με τις λίμνες Lonar, Maggiore, Αμβρακία, Δοϊράνη, Παμβώτιδα, Καστοριάς, Μεγάλη Πρέσπα, Βιστονίδα, Κορωνίδα, Μικρή Πρέσπα, Βόλβη και Τριχωνίδα. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/ΕΕ η συγκέντρωση των θεικών παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των θεικών ιόντων της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει υπερδιπλασιασμό αυτής. Η παρουσία των θεικών ιόντων οφείλεται πιθανόν στην εκτεταμένη διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Σουλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO₄), γενικά η παρουσία θεικών ιόντων στα φυσικά νερά, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο έλεγχος των θεικών ιόντων στο νερό έχει μεγάλη σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρτική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, γι' αυτό και το ανώτερο επιτρεπτό όριο θεικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/l. Επίσης, η προέλευση των θεικών ιόντων πιθανόν να οφείλεται στις αγροτικές αρδεύσεις και τα γεωργικά λιπάσματα πλούσια σε θεικές ενώσεις (Swanson *et al.* 2006, Boari 1997). Οι τιμές των συγκεντρώσεων των θεικών αποδόθηκαν στο Διάγραμμα 3.9.



Διάγραμμα 3.9: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των θεικών για κάθε δείγμα.

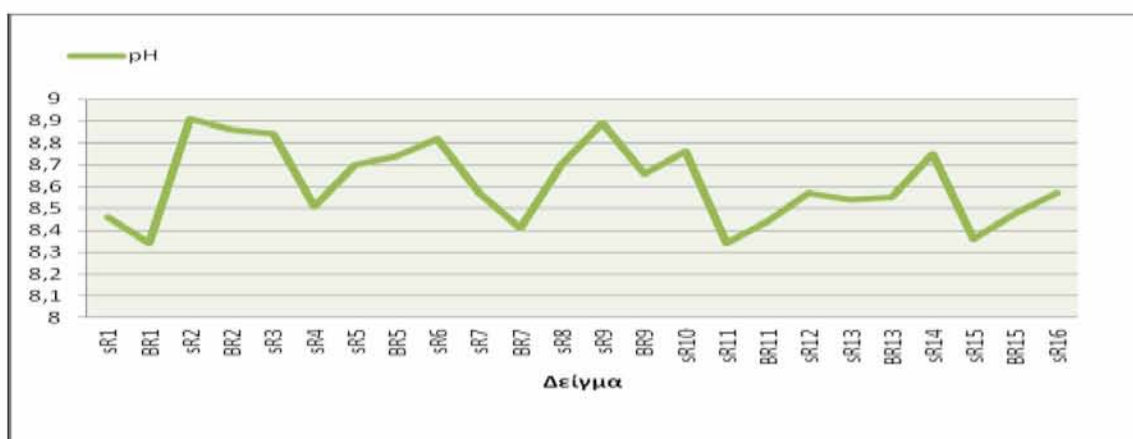
Η κατανομή των θεικών της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ. 3.10.



Εικόνα 3.10: Κατανομή της συγκέντρωσης των θεικών ιόντων.

3.2.1.13 Φωσφορικά (PO_4^{3-})

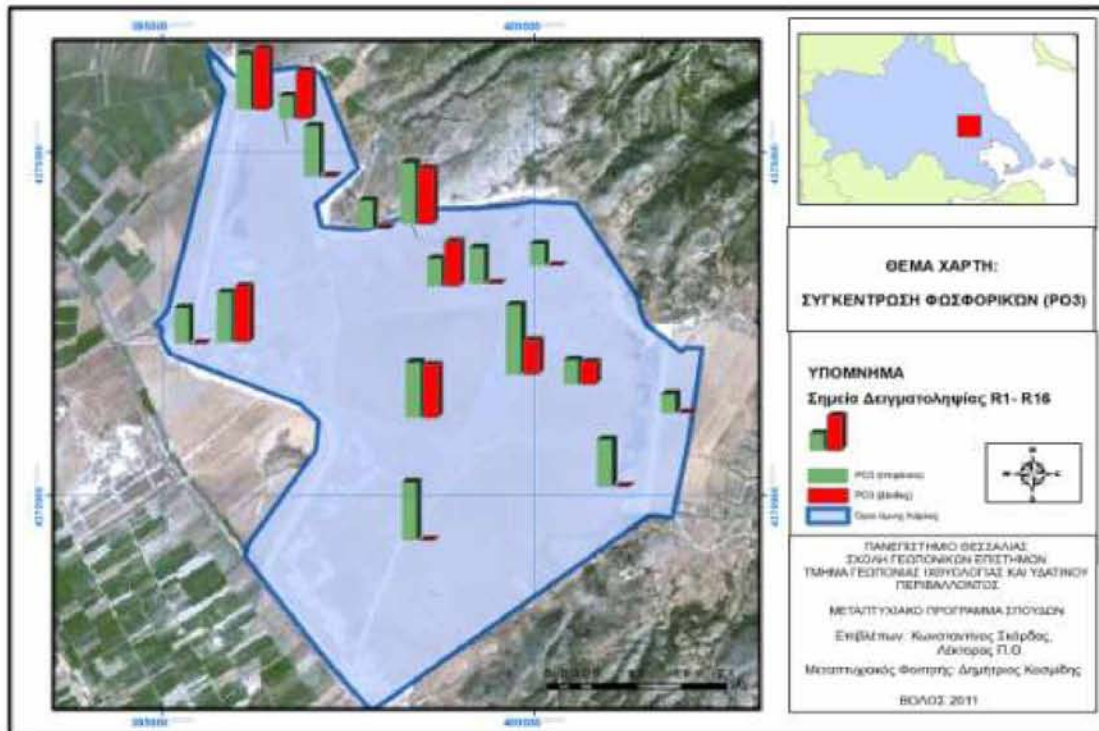
Η συγκέντρωση των φωσφορικών στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 0.07 έως 0,25 mg/l με μέση τιμή 0,16 mg/l. Γενικά παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών των φωσφορικών, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αυξομείωση των συγκεντρώσεων με το βάθος. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Pandoh και Lonar. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων της παρούσας μελέτης (Νοέμβριος 2011) σε σχέση με έρευνα προηγούμενης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται εμφανώς μειωμένη. Η μείωση αυτή της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας οφείλεται πιθανόν στη δραστική μείωση της χρήσης γεωργικών λιπασμάτων πλούσια σε φωσφορικές ενώσεις. Η προέλευση των φωσφορικών ιόντων οφείλεται πιθανόν στη μη-σημειακή ρύπανση από λιπάσματα πλούσια σε φωσφορικά άλατα και σε φυτοφάρμακα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών στα επιφανειακά νερά (Smith 1982, Lerman *et al.* 1975). Οι τιμές των συγκεντρώσεων των φωσφορικών αποδόθηκαν στο διάγραμμα 3.10 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3.10: Ιστόγραμμα συγκέντρωσης των φωσφορικών για κάθε δείγμα.

Η κατανομή των φωσφορικών της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στην Εικ.

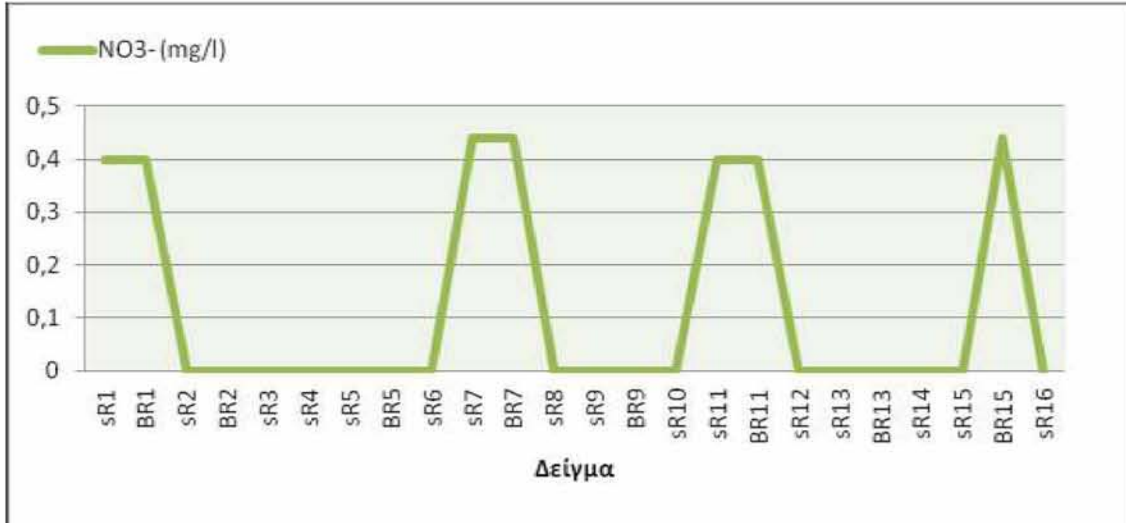
3.11.



Εικόνα 3.11: Κατανομή της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων.

3.2.1.14 Νιτρικά (NO₃⁻)

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων για τη λίμνη Κάρλα κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0,0 έως 0,44 mg/l με μέσο όρο 0,1 mg/l. Οι τιμές αυτές των συγκεντρώσεων δεν θεωρούνται υψηλές με βάση τη βιβλιογραφία. Η τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων της λίμνης Κάρλα είναι μικρότερη από τις αντίστοιχες τιμές των λιμνών Τριχωνίδα, Βόλβη, Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα Καστοριάς, Παμβώτιδα, Maggiore και Lonar. Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων φαίνεται ότι ο υδάτινος όγκος της λίμνης Κάρλα δεν εμφάνισε για την παρούσα έρευνα φαινόμενα νιτρορύπανσης (Μυριούνης 2002, Κοσμίδης 2008). Στο διάγραμμα 3.11 που ακολουθεί φαίνεται η διακύμανση των τιμών των νιτρικών ιόντων για τη λίμνη Κάρλα.



Διάγραμμα 3.11: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών των νιτρικών ιόντων.

3.3 Ιζήματα

3.3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων ιζήματος

Τα συλλεχθέντα δείγματα ιζήματος αντιστοιχούν σε 16 σημεία δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν για την παρούσα έρευνα. Οι χημικές αναλύσεις των ιζημάτων περιελάμβαναν τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του διαθέσιμου φώσφορου, του ολικού αζώτου, του ολικού οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα, της οργανικής ουσίας και τέλος τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του ιζήματος.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 23,51 έως 75,07 ppm, ενώ οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου παρουσιάζουν εύρος από 2350 έως 5200 ppm. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε οργανική ουσία κυμαίνεται σε ποσοστά 0,68 – 4,93 %.

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης για τα συλλεχθέντα ιζήματα της περιοχής έρευνας δηλώνει ότι το 50 % των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως

αμμοαργιλώδη, το 37,5 % αργιλώδη, το 6,25 % αμμοαργιλοπηλώδη και το υπόλοιπο 6,25 % αργιλοαμμώδη.

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα αναλύσεων ιζήματος των 16 σημείων δειγματοληψίας.

a/a	Δείγμα	Διαθέσιμος Φώσφορος (P) ppm(μg/g)	Ολικό Άζωτο (N) ppm(μg/g)	Οργανική ουσία %	Ολικός Ανθρακας %	Οργανικός Ανθρακας %	Μηχανική σύσταση			Χαρακτηρισμός
							Άμμος (%)	Άργιλος (%)	ΐλύς (%)	
1	R1	37,56	4570	3,71	2,15	1,65	43,44	48,92	7,64	Αμμοαργιλώδες
2	R2	33,68	3830	2,71	1,57	1,2	53,36	36,32	10,32	Αμμοαργιλοπηλώδες
3	R3	24,64	3600	1,37	0,79	0,62	42,96	42,4	14,7	Αργιλώδες
4	R4	23,51	3120	1,06	0,6	0,47	19,76	53,4	26,84	Αργιλώδες
5	R5	57,42	4160	2,23	1,31	1,08	25,76	45,68	28,76	Αργιλώδες
6	R6	38,54	4850	4,16	2,67	2,05	23,76	53,84	22,4	Αργιλώδες
7	R7	63,04	3970	2,51	1,42	1,09	40,44	42,48	17,08	Αργιλώδες
8	R8	75,07	3250	2,84	1,48	1,26	46,88	38,48	14,64	Αμμοαργιλώδες
9	R9	49,85	2350	2,39	1,25	1,13	47,6	49,76	2,64	Αργιλοαμμώδες
10	R10	48,12	2840	3,63	1,94	1,49	54,24	39,92	5,84	Αμμοαργιλώδες
11	R11	35,67	4490	0,68	0,35	0,27	33,76	53,44	12,8	Αργιλώδες
12	R12	63,15	4160	4,93	2,71	2,19	45,76	47,56	6,68	Αμμοαργιλώδες
13	R13	43,68	4440	3,62	1,85	1,41	46,4	46,56	7,04	Αμμοαργιλώδες
14	R14	47	3670	3,51	1,68	1,39	49,68	49,04	1,28	Αμμοαργιλώδες
15	R15	51,2	5200	3,6	1,54	1,32	53,68	45,04	1,28	Αμμοαργιλώδες
16	R16	28,6	4430	3,51	1,81	1,69	44,68	46,92	8,4	Αμμοαργιλώδες

3.3.2 Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων

Οι τιμές του διαθέσιμου φωσφόρου των ιζημάτων της λίμνης Κάρλα παρουσιάζονται χαμηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με τα κριτήρια ποιότητας SEL και

LEL (Πιν. 3.12). Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου δείχνει το μέρος του φωσφόρου που μπορεί άμεσα και κάτω συγκεκριμένες συνθήκες να περάσει από τη φάση του ιζήματος στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη. Δείχνει επίσης, την πιθανή χαμηλή παρουσία του φωσφόρου στα ιζήματα η οποία μπορεί να οφείλεται τόσο στην χαμηλή συγκέντρωση του φωσφόρου στα εισρέοντα ύδατα όσο και στην επί σειρά ετών ανυπαρξία βιοχημικής δραστηριότητας λόγω της μη ύπαρξης του λιμναίου οικοσυστήματος (Walkley 1934).

Οι τιμές του ολικού αζώτου (TN) και στα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες των κριτηρίων ποιότητας LEL (Πιν. 3.12). Τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα έως οριακά ρυπασμένα και το επίπεδο της ρύπανσης είναι ανεκτό από την πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών. Το 1 από τα 16 δείγματα παρουσιάζει συγκεντρώσεις υψηλότερες των κριτηρίων ποιότητας SEL (Πιν. 3.12). Αναμένεται επιβλαβής επίδραση στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών και τα ιζήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως βαριά μολυσμένα στο σημείο αυτό (Bordovskiy 1965, Hedges 1988).

Όσο τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) στα 15 από τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου LEL και χαμηλότερες του SEL. Τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα έως οριακά ρυπασμένα και το επίπεδο της ρύπανσης είναι ανεκτό από την πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών (Siepak 1999, Thurman 1986).

Πίνακας 3.14: Επίπεδα επίδρασης σύμφωνα με τις οδηγίες PSQGs

	Λίμνη Κάρλα	No Effect Level	Lowest Effect Level	Severe Effect Level
TOC (%) ⁽³⁾	1,27 (0,27- 2,19	– ⁽²⁾	1 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾
TN ⁽³⁾	3933,1 (2350– 5200)	–	550 ⁽¹⁾	4800 ⁽¹⁾
AP ⁽³⁾	45,04 (23,51- 75,07)	–	600 ⁽¹⁾	2000 ⁽¹⁾

(1) Τιμές σε μg/g (ppm) ξηρού βάρους.

(2) Ανεπαρκή δεδομένα.

(3) TOC– Ολικός Οργανικός Άνθρακας, TN– Ολικό Άζωτο (Kjeldahl), AP– Διαθέσιμος Φόσφορος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία και αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των κύριων και βασικών ιόντων στα ύδατα, όπως, επίσης και του αζώτου και φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας είναι τα ακόλουθα.

1. Ο υδάτινος όγκος της λίμνης Κάρλα δεν κρίνεται ακατάλληλος και επιβαρημένος ως προς τις συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν τα φωσφορικά ιόντα βάσει των ανώτατων και επιθυμητών ορίων της Οδηγίας 78/659/ΕΟΚ για τη διαβίωση των ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν.

2. Ως προς την καταλληλότητα για πόση τα ύδατα της λίμνης Κάρλα χαρακτηρίζονται ακατάλληλα όσον αφορά την τιμή του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και τις συγκεντρώσεις σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου, καλίου, χλωρίου και θειικά. Επίσης, παρουσιάζουν ακαταλληλότητα ως προς την ολική σκληρότητα, των ολικών διαλυμένων στερεών και της αλκαλικότητας.

3. Τα ύδατα της λίμνης Κάρλα κρίνονται ακατάλληλα για άρδευση, λόγω των πολύ υψηλών τιμών αγωγιμότητας.

4. Σε σύγκριση με προηγούμενη έρευνα για τη λίμνη Κάρλα (Λιάπης, 2011) για τα ιζήματα της λίμνης και την ποιότητα τους, αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν οριακά ως πολύ ρυπασμένα σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις τους σε άζωτο και ολικό οργανικό άνθρακα, με αναμενόμενες βλαβερές επιδράσεις σε ψάρια, βενθικούς οργανισμούς, τροφική αλυσίδα και ποιότητα του νερού.

5. Η λίμνη Κάρλα αποτελώντας ένα σημαντικό οικοσύστημα το οποίο φιλοξενεί και σημαντικό αριθμό ειδών, χρήζει ευαισθητοποιημένης περιβαλλοντικής προσέγγισης

και όχι ενεργειών που συντελούν στην υποβάθμισή της. Στα πλαίσια μιας τέτοιας προσέγγισης, η εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης (monitoring) και αποκατάστασης με διεπιστημονική συνεργασία, θα μπορούσε να οδηγήσει στην προστασία και βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης της λίμνης.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Προτείνεται μια λεπτομερέστερη έρευνα της λίμνης σε συνεργασία με άλλους επιστημονικούς κλάδους,
2. Διαρκής παρακολούθηση (monitoring) και καταγραφή των παραμέτρων και στοιχείων που υποβαθμίζουν και προκαλούν ρύπανση στη λίμνη Κάρλα σε συνεργασία με την Τοπική Αυτοδιοίκηση,
3. Έλεγχος για τις επιδράσεις στους οργανισμούς,
4. Ένταξη της ευρύτερης περιοχής σε καθεστώς περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Βαλαβανίδης Α., Βλαχογιάννη Θ. (2008) Περιβαλλοντική χημεία & οικοτοξικολογία, διαχείριση οικοσυστημάτων εκτίμηση οικολογικού κινδύνου. Εκδόσεις σύγχρονα θέματα, Αθήνα, σελ 133-141
- Βουδούρης Κ. (2006) Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος Χ.Υ.Τ.Α., Θέματα Υδρολογίας Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη
- Εξαρχόπουλος Μ. (1999) Λίμνη Κάρλα η αρχαία Βοιβής, η αποκατάσταση ενός υγροτόπου στην Ελλάδα από τους σημαντικότερους της Ευρώπης. Βόλος ΤΕΕ Μαγνησίας, σελ 191
- Κοσμίδης Δ. (2008) Υδροχημική και Γεωφυσική Έρευνα για το Σύστημα Υδροφόρων Στρωμάτων της Περιοχής Αλμυρού, Ανατολικής-Κεντρικής Ελλάδας, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 38-45
- Λιάπης Γ. (2011) Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων, άζωτο και φώσφορος στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος.
- Μουντράκης Δ. (1985) Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ 98-108
- Μουντράκης Δ. (1988) Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου. Τμήμα εκδόσεων 2005-2006 Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ 20-42, 66-88
- Μπελλος Δ. (2004) Συγκέντρωση Θρεπτικών Στοιχείων – Βαρέων Μετάλλων και Ραδιοκαισίου στο Νερό – Ίζημα και Υδρόβια Φυτά του Ποταμού Πηνεϊού, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής, Θεσσαλονίκη.
- Μυριούνης Χ. (2002) Μελέτη της ποιότητας και της στάθμης των υπογείων υδάτων της περιοχής Βελεστίνου, Στεφανοβικείου και Ριζομύλου. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Παπανίκος Ν. (2008) Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα. Μεταπτυχιακή ,ιατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλία, σελ. 248
- Ρούσκας Γ. (2001) Η επιστροφή της λίμνης Κάρλας. Αθήνα σελ 182
- Σούλιος Γ. (2004) Γενική υδρογεωλογία, Τρίτος τόμος, ΣΤ. Αποθέματα και διαχείριση του υπογείου νερού. Εκδοτικός οίκος αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-249
- Τσιραμπής Α. (2002) Πετρολογία ιζηματογενών πετρωμάτων. Δεύτερη έκδοση. Πανεπιστημιακές εκδόσεις, Θεσσαλονίκη, σελ. 71-160
- Τζινευράκης Σ. (2005) Ετήσια μεταβολή φυσικοχημικών παραμέτρων των νερών της λίμνης Κούρνα. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων

- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.(1999) Μελέτη Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες. Περιβαλλοντική –Τεχνική Έκθεση, Αθήνα
- ΥΠΕΧΩ.ΔΕ (2005) Μελέτη Συμπληρωματικών Αντιπλημμυρικών Έργων και Έργων Ορεινής Υδρονομίας στη Λεκάνη της Λίμνης Κάρλας. Προμελέτη δασοτεχνικών Έργων – Τεχνική έκθεση, Αθήνα

Ξένη βιβλιογραφία

- Abrol Y.P., Altaf A. (2003) Sulphur in plants. Kluwer Academic Publishers. U.S.A. pp 22-59
- Allison L.E. (1960) Wet-combustion apparatus and procedure for organic and inorganic carbon in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:36-40.
- Ananiadis C.I. (1956) Limnological study of Lake Karla. *Bulletin de l' Institut Oceanographique* 1083: 1-19
- Andersen, J. M., Boutrup, S., Svendsen, L. M., Bøgestrand, J., Grant, R., Jensen, J. P., Ellermann, T., Ærtebjerg, G., Jørgensen, L. F. & Pedersen, M. W. (2004) Aquatic environment 2004. NERI-report 517
- Ashumali, G.S. and Ramanathan, A.L. (2007) Seasonal variation in the major ion chemistry of Pandoh lake, Mandi districts Himachal Pradesh, India. *Applied Geochemistry*, 22, pp 1736–1747
- Boari G., Mancini I.M., Trulli E. (1997) Technologies for water and wastewater treatment. *Options Méditerranéennes, Sér. A /n037, 1997 Séminaires Méditerranéens. Università degli Studi della Basilicata Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell 'Ambiente Potenza, Italy*
- Bordovskiy O.K. (1965) Accumulation of organic matter in bottom sediments: *Marine Geology* 3, 33-82
- Bouyoucos G.J. (1962) Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy J.* 54, 464-465
- Bremner, J.M., Jenkinson D.S. (1960) Determination of organic carbon in soil. I. Oxidation by dichromate of organic matter in soil and plant materials. *J. Soil Sci.* 11:394-402.
- Brogan J.C. (1981) Nitrogen losses and surface run-off from landspeading of manures. *Proceedings of a Workshop in the EEC Programme of Coordination of Research on Effluents from Livestock, held at the Agricultural Institute, Johnstown Castle Research Centre, Wexford, Ireland, May 20-22,1980. MARTINUS NIJHOFF/DR.W.JUNK PUBLISHERS*
- Clifford W., Callinan P.E. (2001) *Water Quality Study of the Finger Lakes. DEC. New York. pp 72-148*
- Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life as amended by Council Directive 91/692/EEC (further amended by Council Regulation 1882/2003/EC), and Council Regulation 807/2003/EC
- Council Directive 80/778/EEC of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption as amended by Council Directives 81/858/EEC and 91/692/EEC (further amended by Council Regulation 1882/2003/EC)

- Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption *Official Journal L 330, 05/12/1998 P. 0032 - 0054*
- Correll D.L. (1998) The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *J. Environ. Qual.* 27:261-266.
- De Villiers M. (2000) Water, the fate of our most precious resource. Jacobus Communications Corporation, New York, pp 6-42
- Ferrell R.E., Brooks R.A. (1970) The selective adsorption of sodium by clay minerals in lakes Pontchartrain and Maurepas, Louisiana. *Clays and Clay Minerals*, 1971, Vol. 19, pp. 75-81. Pergamon Press. Printed in Great Britain
- Hayashi M. (2004) Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental Monitoring and Assessment* 96:119–128
- Hedges J.I., Clark W.A., Cowie G.L. (1988) Organic matter sources to the water column and surficial sediments of marine bay: *Limnology and Oceanography*, 33, 1116-1136
- Gaskell, G., Allum, N., Bauer, M., Durant, J., Allansdottir, A., Bonfadelli, H., Boy, D., de Cheveigne, S., Fjaestad, B., Gutteling, J. M., Hampel, J., Jelsoe, E., Jesuino, J. C., Kohring, M., Kronberger, N., Midden, C., Nielsen, T. H., Przesalski, A., Rusanen, T., Sakellaris, G., Torgersen, H., Twardowski, T., and Wagner, W. (2000) Biotechnology and the European public. *Nature Biotechnology*, 18(9), 935-938
- Lerman, A., Mackenzie F. T., Garrels R. M. (1975) Modeling geochemical cycles: Phosphorus as an example. *Geol. Soc. Am. Mem.* 142: 205-218.
- Mahindru S.N. (2004) Potable water. APH Publishing Corporation, New Delhi, pp 5-48
- Mohamed H.H.A., Mohamed R.A.F. (2005) Accumulation of trace metals in some benthic invertebrate and fish species relevant to their concentration in water and sediment of Lake Qarun. *EGYPTIAN JOURNAL OF AQUATIC RESEARCH* 1110-0354 VOL. 31, NO.1 2005. Egypt
- Olien R. (2005) What is water. Capstone Press, U.S.A., pp 4-6
- Parinet B., Lhote A., Legube B. (2004) Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system. *Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'Environnement, UMR CNRS 6008, ESIP; 40 Avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers, France* b *Laboratoire de Chimie de l'Eau INP-HB, BP 1093 Yamoussoukro, C^ote d'Ivoire. Ecological Modelling* 178 (2004) 295–311. France
- Parsons S., Jefferson B. (2006) Introduction to potable water treatment process. Blackwell Publishing Ltd, U.K., pp 1-14
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture
- Roche M.A. (1975) Geochemistry and natural ionic and isotopic tracing; two complementary ways to study the natural salinity regime of the hydrological system of Lake Chad. *Journal of Hydrology*, 26(1975)153—171 O Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Printed in the Netherlands
- Rose P. (1986) Alkaline pH and health: a review prepared for the Water Research Centre. Medmenham, Water Research Centre, (Water Research Centre Report No. LR 1178-M)

- Siepak J. (1999) Total organic carbon (TOC) as sum parameter of water pollution in selected polish rivers (vistula, odra and Warta). *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 27, 282
- Skordas K., Kelepertzis A. (2005) Soil contamination by toxic metals in the cultivated region of Agia, Thessaly, Greece. Identification of sources or contamination. *Environmental Geology*, 48:615-624
- Smart C.C. (1992) Temperature compensation of electrical conductivity in glacial melt waters. *Journal of Glaciology* 38(128):9–12
- Smith V. H. (1982) The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnol. Oceanogr.* 27:1101-1112. 1983
- Søndergaard M. (1988) Seasonal variations in the loosely sorbed phosphorus fraction of the sediment of a shallow and hypereutrophic lake. *Environ. Geol. Water Sci.* vol. 11, No. 1: 115-121
- Swanson H., Zurawell R. (2006) Miquelon Lake Water Quality Monitoring Report - Provincial Parks Lake Monitoring Program. Environmental Monitoring and Evaluation Branch Environmental Assurance Division Alberta Environment. U.S.A.
- Thurman E.M. (1986) *Organic Geochemistry of natural water*. Martinus Nijhoff/Dr w. Junk, Boston
- Vanek V. (1993) Transport of groundwater-borne phosphorus to lake Byson, south Sweden. *Hydrobiologia*. Vol: 251, pp 211–216
- Walkley A., Black I.A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263
- World Health Organization Working Group (2009) Calcium and Magnesium in drinking-water. WHO press. Switzerland. pp 82-152
- World Health Organization Working Group (1986) Health impact of acidic deposition. *Science of the total environment*, 52:157-187
- Xue H., Sigg L. (1993) Free cupric ion concentration and Cu(II) speciation in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 38(6), 1993, 1200-1213 © 1993, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

http2: <http://www.geo.auth.gr/763/ch9.htm> (17/6/2011, 14:32)

http2: <http://www.boebes-karla.gr/sites/03.html> (24/08/2011, 12:46)

http3: http://egpaid.blogspot.com/2009/01/blog-post_1903.html (2/9/11, 12:03)

http4: <http://www.ypan.gr> (05/05/2011, 18:56)

http5: www.hnms.gr/hnms/greek/index_html (08/10/2010, 13:32)

6. ABSTRACT

The present postgraduate work constitutes an environmental research in water and sediment of seabed Lake Karla (Thessaly). Aim of work was the determination and the evaluation of concentration of the main and basic ions in water of lake so that are exported precious conclusions on the likely pollution of study region, as well as the likely origin of chemical elements. Also, one more objective was the determination of ions availability, but also their likely repercussions in the aquatic organisms.

Sixteen stations of sampling were selected. From these sixteen stations, twenty samples of water and sixteen of sediment were collected. The choice of these places became with mapping out six corridors that began from the deeper point of lake and led to the points of surface surge of water of perimetrically lake. The collected samples of water and sediment were analyzed so that the determined concentrations of ions K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , PO_4^{-3} , the SO_4^{-2} and stockings of Nitrogen (N) and Phosphor (P) respectively in the samples of sediment be calculated.

The determination of concentration of ions K^+ , Na^+ were realized with flame photometry. The ions of Ca^{+2} and Mg^{+2} were analyzed with the method of individual absorption and the technique of flame. The determination of ions of Cl^- , HCO_3^- and CO_3^{-2} became volumetric, while the concentrations of ions PO_4^{-3} and SO_4^{-2} were determined calculatingly. The analyses of chemical elements were realized in the laboratory of Department of Ichthyology & Aquatic Environment of Agronomic Sciences Faculty of University of Thessaly. According to the results of samples of water analyses, breadth of prices for the temperature, the conductivity, the pH and TDS, was 13.9 - 17.5 °C, 4140 - 5290 $\mu S/cm$, 8.34 - 8.91 and 2528 - 3385.6 ppm, respectively. The concentrations in main and basic ions led to the conclusion that the prevailing type

of water of lake is Na-Mg-Cl-SO₄. The imprinting of these concentrations in diagram Piper showed that the waters are found inside the limits of region of salty foods until brackish waters. According to the prices of water hardness are classified in the category of hard waters. Also, according to the internationally certified criteria, the water of Lake Karla was judged inadequate for the existence of fishes that is developed or is able they are developed as for the concentration that it presents in phosphoric ions, inadequate for how many as for the prices of conductivity, TDS, total hardness and concentrations in ions of magnesium, sodium and sulphurous, acidic carbonic and chloride ions as well as inadequate for irrigation as for the price of conductivity. As sources of origin the main and basic ions of waters of lake, were characterized the rocks and mining that are met in the wider region of this.

According to the results of analyses of samples of sediment, the sediments were characterized in the majority argillaceous as for their mechanic constitution. Also, the breadth of prices for the concentrations in nitrogen, phosphor and organic substance was 2350 - 5200 $\mu\text{g/g}$, 23.51 - 75.07 $\mu\text{g/g}$ and 0.68 - 4.93 %, respectively. Compared to the internationally certified criteria, the sediments of Lake Karla are not expected to have unfavorable effects in fishes and benthic organisms, as for the stockings of phosphorus. On the contrary, they are judged from marginal until very polluted as for the stockings of nitrogen and organic substance. The comparative presentation of prices for the samples of sediment with other lakes the Hellenic and international space shows higher prices of nitrogen and lower prices of phosphorus. The high prices of total nitrogen that could have unfavorable effects in the ecosystem of lake, very probably are owed in anthropogenic activities as fertilization, waste etc.

The evaluation of collections for the analyzed chemical elements and unions became with base the international and domestic bibliography.

Key Words: Main and basic ions, Lake Karla, Nitrogen, Phosphor, Lacustrine sediments.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑ

**Κοσμίδης Δ., Λιάπης Γ., Σκόρδας Κ*, Τζιάντζιου Λ., Νεοφύτου Ν., Νεοφύτου Χ.,
Βαφείδης Δ.**

Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Βόλος, Ελλάδα.

*Σκόρδας Κωνσταντίνος (kskord@apae.uth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων της λίμνης Κάρλας, η οποία αποτελεί μέρος της γενικότερης οικολογικής μελέτης της λίμνης. Την περίοδο του Ιουλίου και Νοεμβρίου 2010, συλλέχθηκαν δείγματα νερού από 16 σταθμούς δειγματοληψίας. Τα δείγματα νερού αναλύθηκαν για τα ιόντα K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , με τη μέθοδο της φλογοφωτομετρίας. Στο πεδίο μετρήθηκαν οι τιμές T° , pH, B.O.D. και E.C. με φορητούς καταγραφείς. Οι τιμές των ιόντων κυμάνθηκαν σε σχετικά επιτρεπτά όρια με το σύνολο των δειγμάτων να έχει μηδενικές τιμές σε νιτρικά ιόντα, ενώ σ' όλα τα δείγματα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βρίσκονταν σε πολύ υψηλά επίπεδα (3.100 - 5.850 $\mu S/cm$). Οι τιμές των υπολοίπων φυσικών παραμέτρων κυμάνθηκαν με τη T° (13.9-27.6 $^\circ C$), το pH (8.05-8.91) και το B.O.D. (7.14-9.26mg/l) να κυμαίνονται σε αντίστοιχα επίπεδα. Η προέλευση των στοιχείων που αναλύθηκαν είναι από τα ευδιάλυτα ορυκτά ασβεστίτη ($CaCO_3$), δολομίτη [$CaMg(CO_3)_2$], γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) και ανυδρίτη ($CaSO_4$) των παρακείμενων γεωλογικών σχηματισμών.

Λέξεις κλειδιά: Επιφανειακά ύδατα, κύρια ιόντα, υδρογεωχημεία, Λίμνη Κάρλα, Θεσσαλία.

QUALITY OF SURFACE WATERS OF LAKE KARLA

Kosmidis D., Liapis G., Skordas K., * Tziantziou L., Neofitou N., Neofitou C., Vafidis D.

*Skordas Konstantinos (kskord@apae.uth.gr)

ABSTRACT

Object of present work was the study of surface waters of lake Karla, which constitutes part of more general ecological study of lake. The periods of July and November 2010, water samples from 16 stations were collected. The samples of water were analyzed for the ions of K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} with the method of Flammenphotometrie. In the field were measured the prices of T° , pH, B.O.D. and E.C. with portable recorders. The prices of ions oscillated in relative permissible limits with the total of samples to have null honors in nitric ions, while in all the samples the prices of electric conductivity had very high levels. The prices of the rest parameters oscillated with (13.9-27.6 $^\circ C$), pH (8.05-8.91) and the B.O.D. (7.14-9.26mg/l) in corresponding levels. The origin of elements that was analyzed are from mining lime ($CaCO_3$), dolomite [$CaMg (CO_3)_2$], plaster ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) and anhydride ($CaSO_4$) the adjacent geological shapings.

Words keys: Surface waters, main ions, hydrochemistry, Lake Karla, Thessaly.

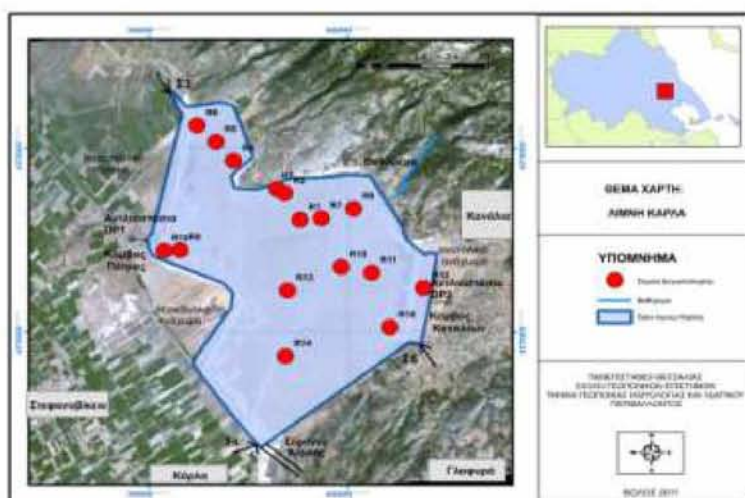
1. Εισαγωγή

Η ποιότητα του επιφανειακών υδάτων επηρεάζεται κυρίως από την ορυκτολογική και κατ' επέκταση χημική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών της κάθε υδρολογικής λεκάνης. (Κελεπερτζής, Α. 2000, Siegel, R.F. 2002) Η διαδικασία της διάβρωσης των πετρωμάτων δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη διάλυση των ορυκτών, η οποία οδηγεί στον εμπλουτισμό των επιφανειακών υδάτων με χημικά στοιχεία υπό μορφή ιόντων, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα τοξικότητας στο περιβάλλον. (Alexakis et al, 1998, Smith et al 1996, Keleperstsis et al 2006, Robinson et al, 2006, Negrel 2006.). Φυσικοχημικοί και βιολογικοί παράμετροι, αλλά και άλλες γεωχημικές διαδικασίες, επηρεάζουν σημαντικά

την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων (Κελεπερτζής, 2000, Siegel, 2002), καθώς επίσης και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Shivkumar et al, 1997, Kelepertsis et al 2006). Η υπό ανασύσταση λίμνη τροφοδοτείται κυρίως από τις εισροές υδάτων του ποταμού Πηνειού. Σημαντικές επίσης, ποσότητες υδάτων προέρχονται από το υδρογραφικό δίκτυο συνεχούς ή περιστασιακής ροής, το οποίο εκβάλλει απευθείας στον ταμιευτήρα, ενώ μεγάλο ποσοστό της τροφοδοσίας γίνεται και μέσω των επιφανειακών απορροών με τη βοήθεια των συλλεκτήρων Σ3, Σ4, Σ6 και των αντλιοστασίων DP1 και DP6 (εικ.1). Η γενικότερη εικόνα που παρουσιάζει η λίμνη Κάρλα, σε σχέση με έρευνες που έχουν γίνει σε άλλες λίμνες του ελλαδικού χώρου (Κηρύκου, 2006, Skoulidikis et al 2008) είναι η ποιοτική υποβάθμιση των υδάτων. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός των τιμών των φυσικών παραμέτρων και συγκεντρώσεων των βασικών ιόντων καθώς και η αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων λίμνης Κάρλα σε σύγκριση με τα κριτήρια ποιότητας των επιφανειακών εσωτερικών υδάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο και Νοέμβριο του 2010, από 16 σταθμούς δειγματοληψίας (R1-R16) σε βάθος από 0,5 έως 1.5m με δειγματολήπτη νερού (*Limnos Rossinkatu 2E 17*) (εικ.1). Συλλέχθηκαν 24 δείγματα (16 από 0,5m και 8 από 1,5m), ενώ στο πεδίο μετρήθηκαν η θερμοκρασία, το pH με φορητή συσκευή (*Combo* by Hanna) το διαλυμένο οξύγονο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα με φορητή συσκευή (*Oxi 330*). Μια ποσότητα περίπου 400 ml δείγματος μεταφέρθηκε στο εργαστήριο και συντηρήθηκε σε θερμοκρασία 0-4°C η οποία προοριζόταν για την ανάλυση των βασικών ιόντων, η οποία έγινε σε διάστημα 24 ωρών από την δειγματοληψία. Τα χημικά στοιχεία K^+ και Na^+ μετρήθηκαν με φλογοφωτόμετρο (304-002 PFP7, Jencons). Τα χημικά στοιχεία Ca και Mg αναλύθηκαν με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης και την τεχνική φλόγας. Ο προσδιορισμός των Cl^- , HCO_3^- και CO_3^{2-} έγινε ογκομετρικά, ενώ οι συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} και PO_4^{3-} προσδιορίστηκαν υπολογιστικά. Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



Εικόνα 1. Σημεία δειγματοληψίας τις περιοχής μελέτης.

3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι μέσες τιμές καθώς και το εύρος των τιμών τόσο των φυσικών παραμέτρων όσο και των συγκεντρώσεων των βασικών ιόντων των επιφανειακών υδάτων της λίμνης Κάρλα και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, καθώς επίσης και οι τιμές των κριτηρίων ποιότητας της οδηγίας 2000/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι τιμές της θερμοκρασίας του Ιουλίου κυμαίνονται από 23.2 έως 27.6 °C και το ποσοστό των δειγμάτων που υπερβαίνει τα κριτήρια ποιότητας είναι 29.17%. Το Νοέμβριο οι τιμές (13.9-17.5 °C) βρίσκονται κάτω των τιμών των κριτηρίων ποιότητας και εξηγεί την εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας. Οι τιμές του pH και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα των κριτηρίων ποιότητας λόγω της παρουσίας HCO_3^- , CO_3^{2-} , τα οποία προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών και ασβεστιτικών πετρωμάτων. Οι τιμές του B.O.D. το Νοέμβριο (7.14-9.26 mg/l) παρουσιάστηκαν υψηλές στο 100% των δειγμάτων. Οι τιμές της E.C. και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα λόγω της παρουσίας των ανθρακικών, θεικών και δολομιτικών πετρωμάτων της περιοχής. Με βάση τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τα νερά της λίμνης Κάρλα χαρακτηρίζονται υφάλμυρα. Οι τιμές των ιόντων Ca^{+2} (51-72 mg/l), Mg^{+2} (160-192 mg/l), HCO_3^- (3.33-4.84 mmol/l), CO_3^{2-} (0-0.2 mmol/l), του Ιουλίου έχουν χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τη περίοδο Νοεμβρίου όπου βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα λόγω των έντονων διεργασιών αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών Ασβεστίτη (CaCO_3) και Δολομίτη [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Οι τιμές των ιόντων Na^+ (340-530mg/l), K^+ (9.9-19, 14-28 mg/l), Cl^- (545-803, 859-1280 mg/l), SO_4^{2-} (305-680, 988-1133.9 mg/l), είναι υψηλές στο 100% των δειγμάτων και στις δύο περιόδους, με εξαίρεση το Na^+ (620-790 mg/l) που εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις μόνο το Νοέμβριο. Η προέλευση των παραπάνω χημικών στοιχείων εξηγεί την διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Σουλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO_4). Τέλος, οι τιμές των ιόντων του PO_4^{3-} (0.5-1.3, 0.07-0.25 mg/l) θεωρούνται χαμηλές.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές και εύρος τιμών των φυσικών παραμέτρων και βασικών ιόντων των επιφανειακών υδάτων της λίμνης.

	Περίοδος δειγματοληψίας Ιούλιος 2010	Περίοδος δειγματοληψίας Νοέμβριος 2010
T (C°)	25.75 (23.2 - 27.6)	15.9 (13.9 - 17.5)
pH 0<7<14	8.46 (8.05 - 8.83)	8.52 (8.34 - 8.91)
E.C. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	3376.5 (3071 - 3636)	4782 (4140 - 5290)
B.O.D. (mg/l)	-	8.31 (7.14 - 9.26)
Ca^{+2} (mg/l)	62.5 (51 - 72)	67.39 (52 - 76)
Mg^{+2} (mg/l)	178.5 (160 - 192)	259.3 (220 - 297)
K^+ (mg/l)	14.42 (9.9 - 19)	32.4 (14 - 28)
Na^+ (mg/l)	446 (340 - 530)	706.3 (620 - 790)
Cl^- (mg/l)	695 (545 - 803)	1071.5 (859 - 1280)
HCO_3^- (mmol/l)	4.335 (3.33 - 4.84)	6.82 (6.42 - 7.24)
CO_3^{2-} (mmol/l)	0.009 (0.0 - 0.2)	0.345 (0.14 - 0.73)
PO_4^{3-} (mg/l)	0.85 (0.5 - 1.3)	0.16 (0.07 - 0.25)
SO_4^{2-} (mg/l)	515 (305 - 680)	1133.9 (988 - 1257)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αναλυθέντα δείγματα της λίμνης Κάρλα, δείχνουν σχετικά αυξημένες έως πολύ αυξημένες τιμές για τα περισσότερα ιόντα και

τους δείκτες φυσικοχημικούς δείκτες σε σχέση με άλλες λίμνες και ποτάμια του Ελληνικού και διεθνή χώρου(Κηρύκου, 2006, Skoulikidis et al 2008). Η μεγαλύτερη παρέκκλιση τιμών εντοπίζεται στην Ε.Σ.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexakis, D. and Kelepertsis, A.,(1998). The relationship between the chemical composition-quality of groundwaters and the geological environment in the East Attiki area, Greece. *Mineral Wealth*, Vol.109, pp. 9-20.
- Κελεπερτζής, Α. 2000: Εφαρμοσμένη Γεωχημεία, Μακεδονικές Εκδόσεις, Αθήνα, Ελλάδα.
- Kelepertsis, A., Alexakis, D. and Skordas, K. (2006). Arsenic, antimony and other toxic elements in drinking water of Eastern Thessaly – Greece and its possible effects on human health. *Environ Geol.* 50 : 76-84.
- Κηρύκου, Σ. (2006), Ποιοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης Κούρνα, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας.
- Negrel, P. 2006; Water-granite interaction: Clues from strontium, neodymium and rare earth elements in soil and water. *Applied Geochem* 21:1432-1454
- Robinson Jr,G.R. and Ayotte, J.D. 2006: The influence of geology and land use on arsenic in stream sediments and ground waters in New England,U.S.A. *Applied geochem* 21:1482-1497.
- Siegel R.F. 2002: *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Skoulikidis N., Kaberi H., Sakellariou D. (2008). Patterns, origin and possible effects of sediment pollution in a Mediterranean lake. *Hydrobiologia*, 613:71-83
- Smith S.L, MacDonald D.D, Keenleyside K.A., Ingersoll C.G., Field J. (1996). A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal Great Lakes Research*, 22:624–638
- Shivkumar, K., Paude, A.K., Biksham, G. (1997). Toxic trace element pollution in ground waters around Patancheru and Bolaraun industrial areas, Andhra Pradesh, India: a graphical approach. *Environmental Monitoring and Assessment* 45: 57-80