

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων στα ύδατα, αζώτου και
φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα»**

Τζαμουράνης Νικόλαος

Βόλος 2014

**«Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων στα ύδατα, αζώτου και φωσφόρου στα
ιζήματα της λίμνης 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 την αδελφή μου.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα για την πολύτιμη βοήθεια του και τη διαρκή υποστήριξη του τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους καθηγητές κ.κ. Δημήτριο Βαφείδη, και Νικόλαο Νεοφύτου, για τις συμβουλές και καθοδήγηση τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθεια τους όλους όσους με βοήθησαν για τη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής και ιδιαίτερα τους κ.κ. Δημήτριο Κοσμίδη και Δημήτριο Θανασάκη για τη συμπαράσταση και καθοδήγηση τους.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση της συγκέντρωσης και της κατανομής των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό της λίμνης Κάρλα, ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου και του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα αυτής, καθώς 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. Ακόμη στόχος ήταν, ο προσδιορισμός της πιθανής επίπτωσης της συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων 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 Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3^- , Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{-3} καθώς και οι συγκεντρώσεις του του Φωσφόρου (P) και Αζώτου (N), αντίστοιχα, στα δείγματα του ιζήματος.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ , K^+ πραγματοποιήθηκε με φλογοφωτόμετρο. Τα ιόντα των Ca^{+2} και Mg^{+2} προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης και την τεχνική της φλόγας. Τα ιόντα των Cl^- , HCO_3^- και CO_3^{2-} προσδιορίστηκαν ογκομετρικά, ενώ υπολογιστικός ήταν ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των ιόντων PO_4^{-3} και SO_4^{2-} . Τα χημικά στοιχεία αναλήθηκαν 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 14,3 – 19,9 °C, 1260 - 3232 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 8,5 – 8,9 και 2411,2 – 3372,8 ppm αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις των κύριων και βασικών ιόντων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο επικρατών τύπος νερού στη λίμνη είναι ο Na-Mg-Cl-SO₄. Με την αποτύπωση των συγκεντρώσεων σε διάγραμμα Piper, παρατηρήθηκε ότι τα νερά βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής των αλμυρών έως υφάλμυρων υδάτων. Με βάση τις τιμές της σκληρότητας τα νερά χαρακτηρίζονται ως σκληρά. Ακόμη, με βάση τα διεθνή κριτήρια ποιότητας, το νερό της λίμνης όσο αφορά τη διαβίωση ιχθύων (σαλμονιδών και κυπρινιδών) που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν σε ύδατα κρίθηκε οριακά κατάλληλο, ως προς τις συγκεντρώσεις σε φωσφορικά ιόντα, ακατάλληλο για πόση ως προς τις τιμές αγωγιμότητας, TDS, ολικής σκληρότητας και συγκεντρώσεων σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου και θειικά και χλωροϊόντα και ως ακατάλληλο για αρδευτικούς σκοπούς λόγω της υψηλής έως πολύ υψηλής τιμής αγωγιμότητας. Πηγές προέλευσης των κύριων και βασικών ιόντων των υδάτων της λίμνης, χαρακτηρίστηκαν τα ορυκτά και τα πετρώματα που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων ιζήματος, η μηχανική σύσταση των ιζημάτων χαρακτηρίζεται σε ποσοστό 50% ως αμμοαργιλώδης (R1, R8, R10, R12, R13, R14, R15, R16), 37% ως αργιλώδη (R3, R4, R5, R6, R7, R11), 6,25% ως αργιλοαμμώδες (R9) και τέλος 6,25% ως αμμοαργιλοπηλώδες (R2). Σχετικά με το εύρος τιμών των συγκεντρώσεων σε άζωτο, φώσφορο και οργανική ουσία, η διακύμανση των τιμών ήταν 2480-5154 $\mu\text{g}/\text{g}$, 23,45–72,24 $\mu\text{g}/\text{g}$ και 1,78–4,71 %, αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα διεθνώς πιστοποιημένα κριτήρια, ως προς τις συγκεντρώσεις φωσφόρου, τα ιζήματα της λίμνης Κάρλα δεν

αναμένεται να έχουν δυσμενείς επιδράσεις σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς, εν αντιθέσει με τις συγκεντρώσεις αζώτου και οργανικής ουσίας, που κρίνονται από οριακά έως πολύ ρυπασμένα. Συγκριτική παρουσίαση των τιμών των δειγμάτων 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, είναι πολύ πιθανό να οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως απόβλητα, λίπανση κ.α..

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία	4
1.2.1 Περιοχή μελέτης	4
1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης	7
1.2.3 Υδρολογία της περιοχής μελέτης	11
1.2.4 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης	12
1.3 Αβιοτικοί παράγοντες των λιμναίων οικοσυστημάτων	12
1.3.1 Χημικές αναλύσεις και ποιότητα λιμναίων υδάτων	12
1.3.2 Μηχανική σύσταση των λιμναίων ιζημάτων	13
1.3.3 Οργανική ουσία στα λιμναία ιζήματα	13
1.3.4 Το Άζωτο των λιμναίων οικοσυστημάτων	14
1.3.5 Φώσφορος στα λιμναία ιζήματα	14
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	17
2.1 Προγραμματισμός έρευνας	17
2.2 Δειγματοληψία	17
2.3 Συλλογή και αποθήκευση δειγμάτων νερού	19
2.4 Συλλογή δειγμάτων ιζήματος	21
2.5 Προετοιμασία δειγμάτων	23
2.6 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος	25
2.6.1 pH	25
2.6.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	26
2.6.3 Μηχανική σύσταση ιζήματος	26
2.6.4 Ιόντα Νατρίου	28

2.6.5	Ιόντα Καλίου	29
2.6.6	Ιόντα Ασβεστίου και Μαγνησίου	30
2.6.7	Ιόντα Χλωρίου	31
2.6.8	Υπολογισμός Αλκαλικότητας (CO_3^{-2} , HCO_3^-)	32
2.6.9	Θειικά Ιόντα	32
2.6.10	Φωσφορικά Ιόντα	32
2.6.11	Σκληρότητα	33
2.6.12	Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου – [Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)]	34
2.6.13	Ολικός οργανικός άνθρακας – Ολικός άνθρακας – Οργανική ουσία	34
2.6.14	Διαθέσιμος Φώσφορος	36
2.6.15	Ολικό Άζωτο	37
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΥΤΗΣΗ	40
3.1	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων	40
3.2	Καταλληλότητα για διαβίωση ιχθύων	43
3.3	Καταλληλότητα για πόση	44
3.4	Καταλληλότητα για άρδευση	45
3.5	Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των φυσικοχημικών παραμέτρων δειγμάτων νερού	48
3.6	Παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων	49
3.6.1	Σκληρότητα	49
3.6.2	Διάγραμμα Piper	52
3.6.3	Ολικά διαλυμένα στερεά [Total Dissolved Solid – (TDS)]	56
3.6.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)]	57

3.6.5 Θερμοκρασία	58
3.6.6 pH	59
3.6.7 Ασβέστιο (Ca^{+2})	59
3.6.8 Μαγνήσιο (Mg^{+2})	60
3.6.9 Κάλιο (K^{+})	61
3.6.10 Νάτριο (Na^{+})	62
3.6.11 Χλώριο (Cl^{-})	64
3.6.12 Θειικά (SO_4^{-2})	65
3.6.13 Φωσφορικά (PO_4^{-3})	67
3.6.14 Νιτρικά (NO_3^{-})	68
3.6.15 Ιζήματα	68
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76
6. ABSTRACT	81

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Ως περιβάλλον ορίζεται το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων που επηρεάζουν κάθε οργανισμό. Ως αβιοτικοί ορίζονται ένα πλήθος παραγόντων στους οποίους περιλαμβάνεται η σύσταση του νερού, τα θρεπτικά συστατικά, η θερμοκρασία, το φως, η υγρασία, το έδαφος, τα άλατα και το pH. Οι βιοτικοί παράγοντες αποτελούνται από τους ζωντανούς οργανισμούς του εκάστοτε περιβάλλοντος (Λυκάκης, 1996).

Το νερό είναι ένας φυσικός πόρος, ο οποίος αντιμετωπίζεται ταυτόχρονα ως αγαθό τόσο οικονομικό όσο και κοινωνικό, καθώς και ως περιβαλλοντικό στοιχείο βασικό, όχι μόνο για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών οργανισμών, αλλά και για την οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη (Olien, 2005, De Villiers, 2000).

Το γλυκό (πόσιμο) νερό των ηπείρων, είναι ένας φυσικός πόρος απαραίτητος για την ανθρώπινη ανάπτυξη, του οποίου η επάρκεια κρίνεται απαραίτητη για την ανάπτυξη γεωργικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Η ύδρευση μεγάλων πόλεων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, καθώς έχει στατιστικά υπολογιστεί ότι η κατανάλωση ενός ανθρώπου που ζει στην πόλη μπορεί να φτάσει έως 400 lt ημερησίως (Mahindru 2004, Parsons et al. 2006).

Αξιοσημείωτο είναι ότι στην Ελλάδα, η προοριζόμενη για γεωργική χρήση ποσότητα του νερού σύμφωνα με το υπουργείο γεωργίας (2002), προσεγγίζει το 83 – 87 % της κατανάλωσης των υδατικών πόρων της χώρας (επιφανειακών και υπογείων).

Τα εσωτερικά ύδατα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα λιμναία και τα ρέοντα οικοσυστήματα (Λυκάκης, 1992).

Στα λιμναία οικοσυστήματα, η παραγωγική διαδικασία της τροφικής τους αλυσίδας επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό προσφοράς των θρεπτικών συστατικών τους. Η αύξηση των συγκεντρώσεων τους ανατρέπει τη ροή και δομή της τροφικής αλυσίδας και μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού, φαινόμενο αρκετά σύνηθες σε λίμνες που είναι αποδέκτες αστικών λυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων και εκπτώσεων των λεκανών απορροής (Κοϋιμτζής, 2004).

Επειδή η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σε παγκόσμια κλίμακα, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί με την οδηγία 2000/60 ΕΚ, διαδικασίες εναρμόνισης των διαφόρων εθνικών νομοθεσιών, με στόχο τη διαχείριση των υδατικών πόρων θέτει ως στόχο τη ποσοτική και ποιοτική διαχείριση των υδατικών πόρων. 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 λειτουργικής και στρατηγικής διαχείρισης. Η λειτουργική περιλαμβάνει το σύνολο των μέτρων και δράσεων με τα οποία εφαρμόζεται η διαχείριση των υδατικών πόρων, ενώ η στρατηγική περιλαμβάνει τη γενική φιλοσοφία, τις αρχές και το γενικό σχεδιασμό που διέπουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Σούλιος, 2004).

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



Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας παρουσιάζει αρκετές συγκεντρώσεις επιφανειακού νερού ποτάμια, λίμνες κ.α. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείτε μια συντονισμένη προσπάθεια ανασύστασης της λίμνης Κάρλα, σχεδιασμός που σχετίζεται με τη στρατηγική διαχείρισης των υδατικών πόρων και τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας σε σχέση με τους υδάτινους πόρους, όπου λαμβάνει χώρα επαναπλήρωση της περιοχής μέσω του πυκνού φυσικού υδρογραφικού δικτύου που την περιβάλλει (Σούλιος 2006).

Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και της κατανομής των κύριων και βασικών ιόντων στο νερό της λίμνης Κάρλα, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου και του

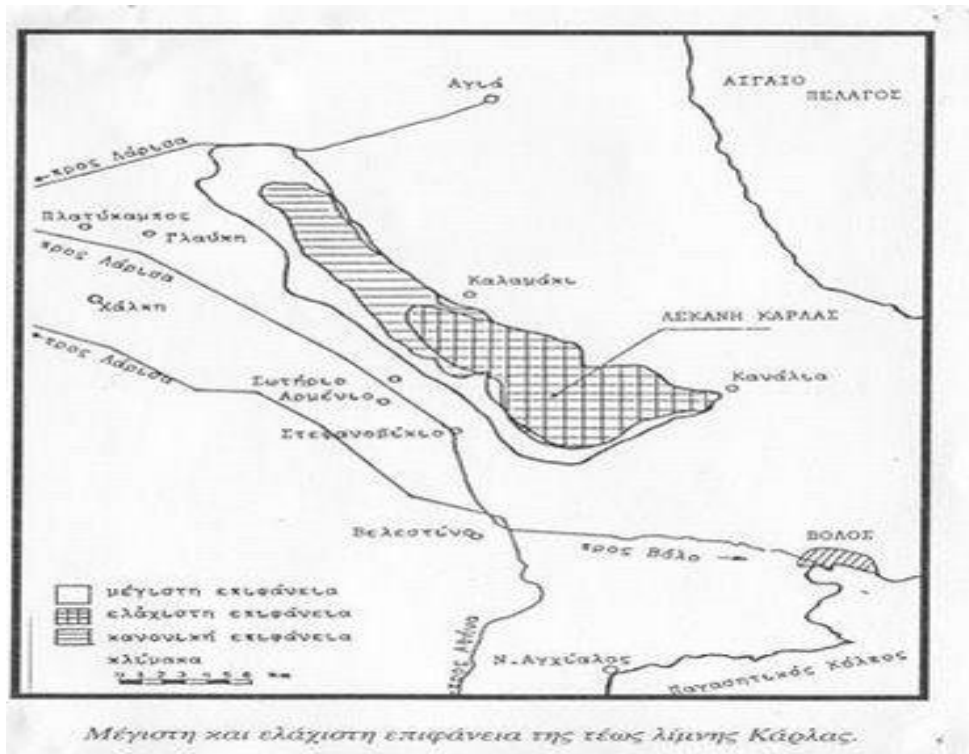
διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα αυτής, όπως, επίσης και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ολικού άνθρακα, του ολικού οργανικού άνθρακα, της μηχανικής σύστασης του ιζήματος και της οργανικής ουσίας, προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, τόσο για την πιθανή προέλευση των ιόντων των χημικών στοιχείων (φυσική ή ανθρωπογενής), όσο και για την πιθανή επιβάρυνση – ρύπανση της περιοχής μελέτης από αυτά. Ακόμη στόχος είναι, ο προσδιορισμός της πιθανής επίπτωσης της συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων στους υδρόβιους οργανισμούς.

1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

1.2.1 Περιοχή μελέτης

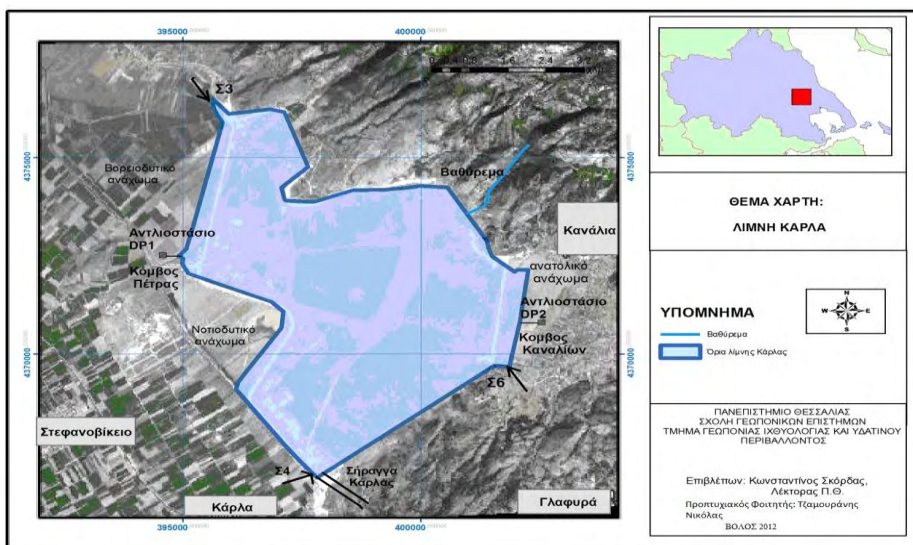
Η λίμνη Κάρλα αποστραγγίστηκε το 1962 με απόφαση της τότε πολιτείας με σκοπό την εξασφάλιση καλλιεργήσιμων εκτάσεων που θα πρόεκυπταν από την αποστράγγιση του υδάτινου όγκου της. Ωστόσο, η αποστράγγιση της είχε ως αποτέλεσμα σε περιβαλλοντικό επίπεδο τη ραγδαία πτώση της υπόγειας υδροφορίας, την απώλεια της παραλίμνιας χλωρίδας και πανίδας και κλιματολογικές μεταβολές που επηρέασαν το σύνολο του Θεσσαλικού χώρου. Παράλληλα, σε κοινωνικό – οικονομικό επίπεδο, προκλήθηκαν και σημαντικές αλλαγές στους παραλίμνιους οικισμούς, με μεταβολή των παραγωγικών δραστηριοτήτων και παράλληλα την έντονη εμφάνιση ενός αυξημένου κύματος αστυφιλίας και οικονομικού μαρασμού της περιοχής.

Εικόνα 1.1: Έκταση λίμνης Κάρλα πριν την αποστράγγιση (http 3)



Η ανασυσταθείσα λίμνη Κάρλα αποτελεί μία φραγματογενή λίμνη, έκτασης περίπου 38000 στρεμμάτων και είναι οριοθετημένη στο χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλα σε κοντινή απόσταση από το χωριό Κανάλια.

Εικόνα 1.2. Περιοχή μελέτης.



Η λίμνη τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τις εισροές νερού από τον Πηνειό ποταμό μέσω του ρέματος Ασμάκι, το οποίο είναι μια αποστραγγιστική τάφρος δύο κλάδων. Ο πρώτος κλάδος ξεκινά από την περιοχή του Ομορφοχωρίου και εμπλουτίζεται από τον Πηνειό ποταμό, ενώ 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. Σημαντικός όγκος νερού εισέρχεται από φυσική επιφανειακή απορροή μέσω των συλλεκτήρων Σ_3 , Σ_4 , Σ_6 και των αντλιοστασίων DP_1 και DP_2 (Εικ 1.2).

Αναφορικά με τους συλλεκτήρες, ο συλλεκτήρας Σ_3 αποτελεί αντιπλημμυρικό έργο, μήκους 32,5km, με στόχο τη συλλογή νερών των λεκανών απορροής, που προέρχονται από ορεινές και ημιορεινές περιοχές της ανατολικής και βορειοανατολικής πλευράς της πεδιάδας κοντά στη λίμνη Κάρλα. Παράλληλα, δέχεται νερά από την τάφρο 9T και από φυσικά ρέματα, με σπουδαιότερο το ρέμα Άμυρο (Εικ. 1.2).

Ο συλλεκτήρας Σ_4 αποτελεί και αυτός αντιπλημμυρικό έργο μήκους 13,8km και τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα με νερά από τον Πηνειό ποταμό. Τα νερά που συλλέγονται από τον ταμιευτήρα, προέρχονται από τη επιφανειακή λεκάνη απορροής στη νότια και νοτιοδυτική πλευρά της πεδιάδας της λίμνης Κάρλα, συνολικής έκτασης 184 km², ενώ συλλέγει και τα νερά της τάφρου 2T (Εικ. 1.2).

Ο συλλεκτήρας Σ_6 βρίσκεται στις παρυφές του λοφώδους συγκροτήματος της περιοχής Κερασιάς και συνδέεται στα ανάντη με το χείμαρρο Κερασιώτη. Το μήκος του είναι 4,55km, με την έκταση της λεκάνης απορροής του να είναι 56km² (Εικ. 1.2).

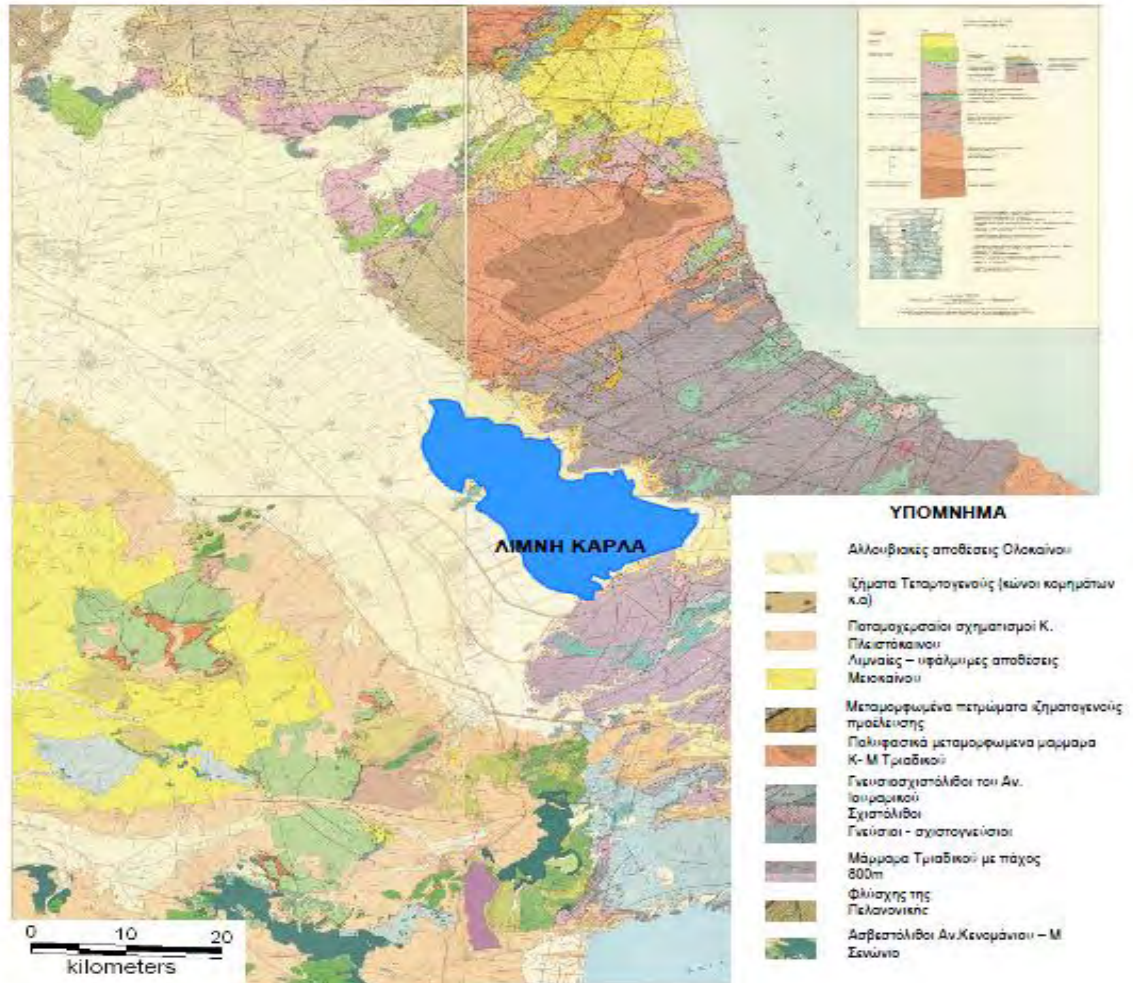
1.2.2 Γεωμορφολογία και γεωλογία της περιοχής μελέτης

Η υπό ανασύσταση λίμνη Κάρλα αποτελεί τμήμα της παλαιότερης λίμνης προτού αποξηρανθεί και βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό τμήμα (άκρο) του Θεσσαλικού τεκτονικού βυθίσματος, με την περιοχή να παρουσιάζει έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο, με το υψόμετρο της να κυμαίνεται από 100m έως 330m (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

Η γεωμορφολογία της λεκάνης διαμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαβρωτική δράση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Παρατηρείται η παρουσία χειμάρρων περιστασιακής ροής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με χαρακτηριστική την παρουσία καρστικού ανάγλυφου, ενώ η καρστική διάβρωση της περιοχής κρίνεται προχωρημένη. Στην περιοχή υπάρχουν εκτεταμένα καρστικά έγκοιλα, ενώ τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής μελέτης – ειδικότερα τα ασβεστολιθικά - υπόκεινται σε καρστική διάβρωση. Παράλληλα, τα ασβεστολιθικά πετρώματα της περιοχής παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις αναφορικά με τις προσμίξεις τους. (Τσιραμπίδης 2002).

Αναφορικά με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης, γεωτεκτονικά κατατάσσεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες και ειδικότερα στην Πελαγονική ζώνη (Μουντράκης 1985) (Εικ. 1.3).

Εικόνα 1.3: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Ανατολικής Θεσσαλίας



Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης είναι οι εξής (Εικ. 1.4):

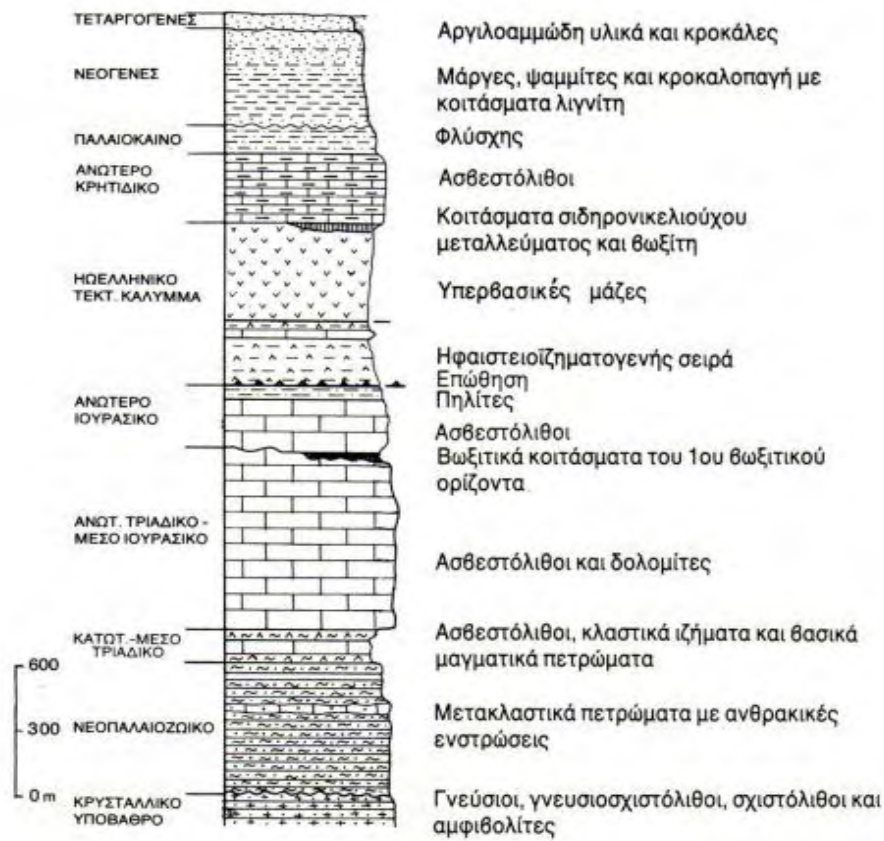
1. **Παλαιοζωικό (Προλιθανθρακοφόρο) κρυσταλλικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης:** Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση του Μαυροβουνίου με πάχος μεγαλύτερο των 600 m. Αποτελείται από γενεύσιους (κυρίως διμαρμαρυγιακούς και γενευσιοσχιστόλιθους) με παρεμβολές αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και αμφιβολιτών,
2. **Νεοπαλαιοζωικοί – κάτω μεσο Τριαδικοί σχηματισμοί:** Πρόκειται για μεταμορφωμένα πετρώματα (πολυφασικά), με πάχος που μεγαλύτερο των

800m. Αποτελούνται από ποικιλία μεταμορφωμένων πετρωμάτων (σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και μεταβασίτες) ιζηματογενούς προέλευσης και είναι υπερκείμενοι του παλαιοζωικού υποβάθρου

3. **Μάρμαρα του μεσο– ανωτ Τριαδικού- ανώτερου Ιουρασικού:** Πρόκειται για πετρώματα με πάχος που σε ορισμένα σημεία υπερβαίνει τα 800m. Είναι μεσοστρωματώδη έντονα καρστικά, κυανότεφρα έως μελανότεφρα με παρεμβολές δολομιτικών μάρμαρων και κρυσταλλικών δολομιτών στα κατώτερα μέλη τους.
4. **Γνευσιοσχιστόλιθοι - σχιστόλιθοι του ανώτερου Ιουρασικού:** Υπέρκεινται των μεσοανωτριασικών - ανωιουρασικών μαρμάρων, με το πάχος τους να υπερβαίνει τα 200m σε ορισμένα σημεία. Τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από μαρμαρυγίες, άστριους και χαλαζία, ενώ σε μικρότερες αναλογίες συναντούνται και αμφίβολοι, χλωρίτης, επίδοτα και σερικήτης. Σε ορισμένα σημεία μέσα στα πετρώματα αυτής της κατηγορίας περιέχονται ενστρώσεις κιτρινόφαιων και λευκών μαρμάρων μικρού πάχους.
5. **Αλουβιακές αποθέσεις:** Αποθέσεις πετρωμάτων που αποτελούνται από ανοικτότεφρα μέχρι καστανότεφρα υλικά ιλύος, αργίλου, άμμου και κροκαλολατύπων, αποθεθειμένες στην λεκάνη της Κάρλας σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και σε κοιλάδες, ανοικτές προς τη θάλασσα.

6. **Κώνιοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα :** Πρόκειται για ασύνδετες λατύπες ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης, με λεπτομερές υλικό ανάμεσά τους.
7. **Προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό κάλυμμα):** Πρόκειται για σύμπλεγμα πολυφασικά μεταμορφωμένων οφειολιθικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων, τα οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και αποτελούνται από σερπεντινίτες, μεταμορφωμένα βασικά οφειολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες, πρασινίτες) και μεταμορφωμένα πετρώματα ιζηματογενούς προέλευσης (μαρμαρυγικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί-χλωριτικοί-μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι).

Εικόνα 1.4: Λιθοστρωματογραφική τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης.



1.2.3 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. Αντίθετα τα νερά του Πηλίου αποχετεύονται κατευθείαν στο Αιγαίο. Η κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μικρή, ενώ τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα που αντλούνται και δεν αναπληρώνονται (http 2, ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ. 2005, Παπανίκος 2008).

1.2.4 Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής είναι εύκρατο, καθώς 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 3](#)).

1.3 Αβιοτικοί παράγοντες των λιμναίων οικοσυστημάτων

1.3.1 Χημικές αναλύσεις και ποιότητα λιμναίων υδάτων

Για να επιτευχθεί ο πλήρης καθορισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, απαιτείται προσδιορισμός τόσο των βιοτικών όσο και αβιοτικών παραμέτρων. Σε αυτούς περιλαμβάνονται αναλύσεις με στόχο τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του νερού, καθώς και μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις. Όσο αφορά τις χημικές αναλύσεις, σε αυτές περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός ενός αριθμού παραμέτρων, όπως οργανικές ενώσεις, διαλυμένα άλατα, ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα (Βαλαβανίδης κ.ά. 2008, Skordas *et al.* 2005).

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

Η παρούσα εργασία στοχεύει στον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων όπως των ολικών αλάτων, του pH, χλωριούχων, των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου και των ανιόντων θεικών, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, νιτρικών και ανθρακικών. Η σκληρότητα των υδάτων προέρχεται από διακρίνεται σε Παροδική ή ανθρακική, Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική και Ολική σκληρότητα.

Ως προς τη σκληρότητα σε mg CaCO₃/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 αναλογία των μηχανικών κλασμάτων (άμμος, ιλύς, άργιλος) και ο χαρακτηρισμός που προκύπτει ονομάζεται κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων. Στα λιμναία οικοσυστήματα η άργιλος και η ιλύς 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 είναι πολύ σημαντική στο ισοζύγιο του άνθρακα, καθώς η οργανική ουσία που περιέχεται στα ιζήματα ενισχύει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως δεξαμενή των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των οργανισμών (π.χ. ιχθύες) (Gaskell *et al.* 2000).

Η οργανική ουσία επηρεάζει σημαντικά πολλές από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ιζημάτων. Λόγω της μεγαλύτερης πλαστικότητας και συνοχής που παρουσιάζει σε σύγκριση με την άργιλο, η οργανική ουσία στα αργιλώδη εδάφη, μειώνει τα χαρακτηριστικά των αργιλωδών εδαφών, συμβάλλοντας στη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων που βοηθούν στον καλύτερο αερισμό και στράγγιση των ιζημάτων.

1.3.4 Το Άζωτο των λιμναίων οικοσυστημάτων

Το άζωτο αποτελεί 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), επηρεάζοντας σημαντικά την παραγωγικότητα των υδατικών οικοσυστημάτων. Το άζωτο υπάρχει στο νερό με τη μορφή διαλυμένου αερίου, δεσμευμένου αζώτου σε οργανικές ενώσεις, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα κ.ά. και αμμωνία (Abrol *et al.* 2003).

Αρκετές ενώσεις του αζώτου περιλαμβάνονται στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού. Τα άλατα του αζώτου προέρχονται συνήθως ως νιτρικά στις περιόδους κυκλοφορίας του νερού, όταν το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία και από το ίζημα από όπου απελευθερώνονται ως αμμωνία σε ανοξικές συνθήκες. Μερικά είδη κυανοφυκών - κυανοβακτηρίων έχουν τη δυνατότητα δέσμευσης του ατμοσφαιρικού αζώτου που είναι διαλυμένο στο νερό (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, ενώ ταυτόχρονα είναι το λιγότερο άφθονο και απλούστερο στοιχείο. Τα ζωντανά κύτταρα (φυτικά και ζωικά) έχουν τη δυνατότητα απορρόφησης, συσσώρευσης και αποβολής του φωσφόρου στο περιβάλλον στο οποίο ζουν. Μια από τις δυσκολίες προσέγγισης του φωσφόρου σε μια μάζα νερού, έγκειται στο γεγονός πως ένα μόνο μέρος αυτού βρίσκεται σε κατάσταση ιόντων και επομένως διαλυμένο. 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 είναι σταθερή και κυμαίνεται στις λίμνες από 25 ως 32 %. (Brogan 1981, Βουδούρης 2006).

Ο φώσφορος βρίσκεται στα νερά είτε ως διαλυτές ενώσεις (κυρίως αλκαλίων) και ως αδιάλυτες ενώσεις αλάτων ασβεστίου που υπάρχουν στα αιωρούμενα στερεά σωματίδια. Τα ποτάμια και λιμναία ιζήματα αποτελούν τις κύριες πηγές του φωσφόρου, ενώ ποσοστό του ανόργανου φωσφόρου των ιζημάτων (επιφανειακός) βρίσκεται σε ισορροπία με το υπερκείμενο νερό (Κουϊμτζής *et al.*, 2004).

Το γεγονός πως η μεγαλύτερη ποσότητα του φωσφόρου των λιμναίων οικοσυστημάτων συγκεντρώνεται στον πυθμένα, έχει ως αποτέλεσμα μία από τις βασικότερες πηγές φωσφόρου να θεωρούνται τα ιζήματα των λιμνών. Η απελευθέρωση του από το ίζημα οφείλεται σε διάφορους φυσικοχημικούς και βιολογικούς παράγοντες (αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, διαλυτοποίησης της οργανικής ύλης, προσρόφησης, διαλυτότητας κ.α.). Ο φώσφορος εντοπίζεται στα ιζήματα είτε ως χαλαρά δεσμευμένος, είτε ως οργανικός (Μπέλλος 2004, Vanek 1993).

Φώσφορος και ευτροφισμός είναι δύο έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους, καθώς πρόκειται για ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται σε λίμνες και κλειστούς αβαθείς κόλπους ή ακόμα και σε ποτάμια χαμηλής σχετικά ταχύτητας ροής. Εμφανίζεται κάτω από υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, με τις ενώσεις N και P να είναι τα κυριότερα συμβαλλόμενα θρεπτικά συστατικά (Κουϊμτζής *et al.* 2004).

Ο ευτροφισμός των υδάτων οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (γεωγραφικά, γεωμορφολογικά κ.α.) όσο και σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (π.χ. αστικά λύματα, κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα), που είναι και το

συνηθέστερο. Συνέπεια του ευτροφισμού είναι η αλλοίωση των φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του νερού. Κατά τον ευτροφισμό προκαλείται μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα υδάτινα στρώματα λόγω της αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών - από βακτήρια τα οποία καταναλώνουν οξυγόνο – με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανοξικών συνθηκών. Τα βακτήρια και τα άλγη πολλαπλασιάζονται και σχηματίζουν κρούστα στις υδατικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα την πρόκληση σκίασης 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, με αποτέλεσμα την ελάττωση της διαθεσιμότητάς του για τα ψάρια, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο 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

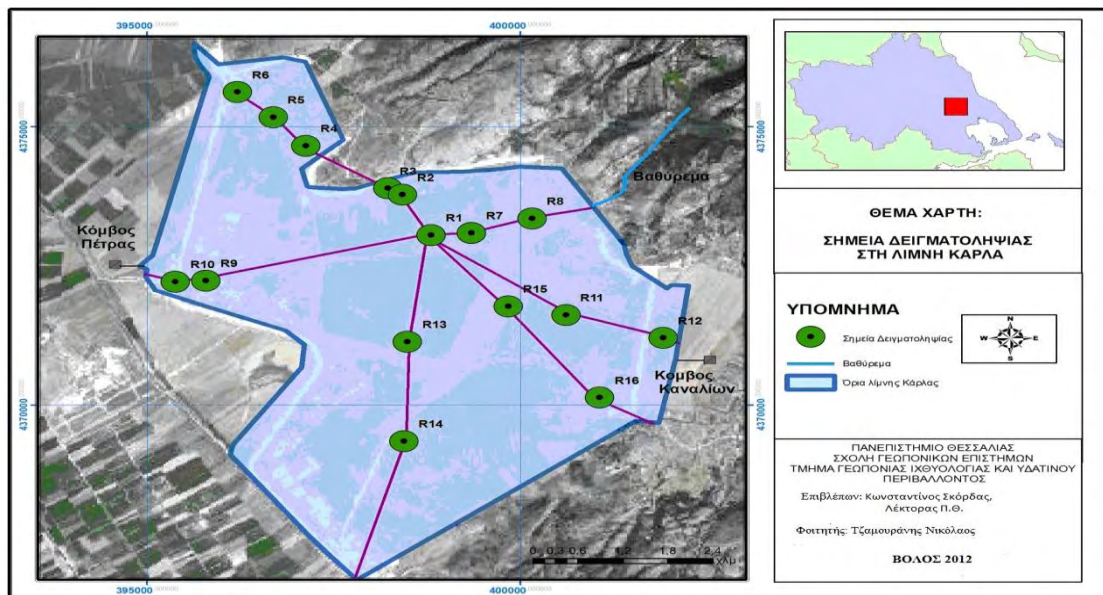
2.1 Προγραμματισμός έρευνας

Ο προγραμματισμός της έρευνας αποτέλεσε το πρώτο στάδιο της μελέτης και περιελάμβανε τη συγκέντρωση στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με την περιοχή μελέτης. Συλλέχθηκαν στοιχεία που αφορούσαν το ιστορικό της περιοχής, θεματικοί χάρτες (τοπογραφικοί και γεωλογικοί), όπως επίσης, εργασίες, μελέτες, διδακτορικές διατριβές. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο καθορισμός των επομένων βημάτων της έρευνας που περιλάμβανε τον καθορισμό των σημείων δειγματοληψίας και τις μεθόδους ανάλυσης των δειγμάτων.

2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου του 2011, στην περιοχή της λίμνης Κάρλα, με τη χρήση πλωτού μέσου (βάρκα).

Η επιλογή των σημείων που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία έγινε με στόχο την αντιπροσωπευτικότερη κάλυψη του εύρους της λίμνης. Χαρακτήθηκαν 6 διαδρομές και είχαν ως κοινή αφετηρία το βαθύτερο σημείο της και ως τερματικά σημεία τα σημεία επιφανειακής εισροής των υδάτων στη λίμνη. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν 16 σημεία δειγματοληψίας (R1 – R16) κατά μήκος των 6 διαδρομών (Εικ. 1), με βάση την προοδευτική μείωση του βάθους. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων αυτών φαίνονται στον Πινάκα 1.



Εικόνα 1: Σημεία δειγματοληψίας και χαραχθείσες διαδρομές.

Πίνακας 1: Γεωγραφικές συντεταγμένες σταθμών δειγματοληψίας.

Σημεία δειγματοληψίας	Χ	Ψ
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

2.3 Συλλογή και αποθήκευση δειγμάτων νερού

Από τους 16 σταθμούς δειγματοληψίας συλλέχθηκαν 24 δείγματα νερού. Σε σημεία όπου το βάθος της λίμνης ξεπερνούσε το 1 m συλλέχθηκαν 2 δείγματα νερού (0,5m κάτω από την επιφάνεια και 0,5m πάνω από τον πυθμένα), ενώ αντίθετα σε σημεία με μικρότερο του 1 m βάθος συλλέχθηκε μόνο ένα δείγμα (0,5 m κάτω από την επιφάνεια). Συνολικά συλλέχθηκαν 24 δείγματα, 16 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)



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).

Μετά το τέλος της συλλογής των δειγμάτων, ακολούθησε η αποθήκευση τους σε πλαστικά αριθμημένα μπουκάλια χωρητικότητας 500ml και η μεταφορά τους σε δροσερό και σκιερό χώρο στο Εργαστήριο Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μέχρι την πραγματοποίηση της ανάλυσής τους.

2.4 Συλλογή δειγμάτων ιζήματος

Συνολικά συλλέχθηκαν 16 δείγματα ιζήματος από 16 σημεία δειγματοληψίας σε βάθος κυμαινόμενο από 45-130 cm με τη χρήση δειγματολήπτη βένθους ECKMAN (Εικ. 2.5). 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 με τη χρήση βαριδίου, το οποίο με την απελευθέρωση του κινείται κατά μήκος του σχοινιού της συσκευής, προσκρούει στο ελατήριο που είναι τοποθετημένο στο σημείο σύζευξης των δύο σιαγόνων, με αποτέλεσμα οι σιαγόνες να κλείνουν αιφνίδια και ερμητικά και να εγκλωβίζουν το ίζημα (Εικ. 2.6).

Μετά τη συλλογή του το δείγμα τοποθετήθηκε σε αριθμημένες πλαστικές διαφανείς σακούλες και αποθηκεύτηκε σε φορητό ψυγείο, με στόχο την αποφυγή τυχόν αλλοιώσεων και επιμολύνσεων. Εν συνεχεία μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε στους αποθηκευτικούς καταψύκτες του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικ. 2.7).



Εικόνα 2.5: Δειγματολήπτης νερού τύπου ECKMAN.



Εικόνα 2.6: Ανοιχτές σαγόνες δειγματολήπτη ECKMAN.



Εικόνα 2.7: Συλλογή ιζήματος.

2.5 Προετοιμασία δειγμάτων

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν προετοιμάστηκαν στο εργαστήριο, έτσι ώστε να μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω. Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε στο Εργαστήριο Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονία Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αρχικά πραγματοποιήθηκε απόψυξη των δειγμάτων ιζήματος τα οποία τοποθετήθηκαν σε ταψάκια αλουμινίου επενδυμένα με ριζόχαρτο (Εικ. 2.8).



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

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 48h και σε θερμοκρασία 35 – 40 °C, ενώ στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε γουδί πορσελάνης όπου και διενεργήθηκε αποσβόλωση τους, για να προετοιμαστούν για το κοσκίνισμα

Έπειτα διενεργήθηκε κοσκίνισμα του ιζήματος σε κόσκινο 2mm (Εικ. 2.9). Η ποσότητα που διήλθε κατά τη διάρκεια του κοσκινίσματος συλλέχθηκε για περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 2.9: Κοσκίνισμα ιζήματος.

2.6 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος

2.6.1 pH

Για την μέτρηση του pH των δειγμάτων ύδατος πραγματοποιήθηκε 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 και εν συνεχεία σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 100 ml τοποθετήθηκαν περίπου 100 ml δείγματος νερού. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το ηλεκτρόδιο στο δείγμα και το δείγμα αναδεύτηκε για πέντε λεπτά. Η ανάδευση σταμάτησε κατά τη μέτρηση του pH, ενώ παράλληλα υπολογίστηκε με το ίδιο όργανο η θερμοκρασία του δείγματος. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε με άλλη ποσότητα δείγματος έως ότου η διαφορά των δύο τιμών να μην είναι μεγαλύτερη από 0,1 μονάδες. Το αποτέλεσμα των μετρήσεων pH και θερμοκρασίας εκφράστηκε με ένα δεκαδικό ψηφίο.

2.6.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα υπολογίστηκε αφού πρώτα είχε βαθμονομηθεί η κυψελίδα της συσκευής σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως των 100 ml, προστέθηκαν 80 ml δείγματος και εν συνεχεία τοποθετήθηκε η κυψελίδα έως ότου καλύφθηκε εξ ολοκλήρου. Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε με τη σταθεροποίηση της ένδειξης του οργάνου. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το διάλυμα εσωτερικού ελέγχου, με μόνη διαφορά τη προσθήκη 80 ml διαλύματος εσωτερικού ελέγχου στη θέση του δείγματος. Με το πέρας της μέτρησης 20 δειγμάτων επαναλήφθηκε η παραπάνω διαδικασία. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λήφθηκαν, εκφράστηκαν σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ (στους 25°C), με ταυτόχρονο υπολογισμό της θερμοκρασίας του δείγματος.

2.6.3 Μηχανική σύσταση ιζήματος

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του ιζήματος χρησιμοποιήθηκε η τεχνική Βουγιούκο. Ζυγίστηκαν 50g ιζήματος, τα οποία τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 250ml και στα οποία προστέθηκαν 50ml διασπορικού διαλύματος μεταφωσφορικού νατρίου. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε ανάδευση του δείγματος με ράβδο, ώστε να επιτευχθεί καλύτερος διαποτισμός του και στη συνέχεια αφέθηκε για ένα χρονικό διάστημα 12 ωρών, με σκοπό την επίτευξη του πλήρη διαχωρισμού των κόκκων του. Με το πέρας των 12 ωρών, το δείγμα μεταφέρθηκε - έπειτα από επανειλημμένες πλύσεις με αποσταγμένο νερό- από το ποτήρι ζέσεως στο μίξερ, όπου και υπέστη ανάδευση για 15 λεπτά. Στη συνέχεια μεταφέρθηκε με επανειλημμένες πλύσεις σε ογκομετρικό κύλινδρο 1000ml και αφού τοποθετήθηκε το πυκνόμετρο, πληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 1130ml.

Η μεθοδολογία της διαδικασίας μετρήσεων που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Για κάθε πρώτη μέτρηση το πυκνόμετρο αφαιρέθηκε, ώστε να επιτραπεί η ανάδευση με αναδευτήρα χειρός (20 αναδεύσεις), έπειτα αφού τοποθετήθηκαν χωρίς καθυστέρηση το πυκνόμετρο και το θερμομέτρο, χρονομετρήθηκαν για 40sec και μετρήθηκαν οι ενδείξεις τους. Μετά το πέρας 2 ωρών λήφθηκαν εκ νέου μετρήσεις, χωρίς ωστόσο να έχουν προηγηθεί αναδεύσεις (Πίνακας 2).

Ο υπολογισμός της μηχανικής σύστασης προέκυψε από τους υπολογισμούς του 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.

Ο υπολογισμός του 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.

Ο υπολογισμός του ποσοστού της ιλύος έγινε από τον τύπο $Si \% = 100 - (S \% + C \%)$

Πίνακας θερμοκρασίας - πυκνότητας							
a/a	Ώρα 1ης μέτρ.	αρχ. Θερμ	αρχ. Πυκν	Ώρα 2ης μέτρ.	τελ. Θερμ	τελ. Πυκν	
R1	9:30	18	39	11:30	20	26	
R2	10:00	18	40	12:00	19	28	
R3	10:45	19,5	44	12:45	20	27	
R4	10:45	20	39	12:45	20,5	25	
R5	9:50	20	31	11:50	23	13	
R6	10:05	21	34	12:05	24	23	
R7	9:42	20,5	32	11:42	20,8	10	
R8	9:45	20,2	36	11:45	20,8	24	
R9	10:00	26	41	12:00	27	25	
R10	10:15	26	39	12:15	21	24	
R11	10:40	25	35	12:40	22	15	
R12	9:50	20,5	34	11:50	21	21	
R13	10:05	21	38	12:05	17	17	
R14	10:28	23	33	12:28	21	19	
R15	9:21	21	33	11:20	21	16	
R16	9:30	20	32	11:30	21	13	

Πίνακας 2: Μετρήσεις υπολογισμού θερμοκρασίας και πυκνότητας, καθώς και οι ώρες πραγματοποίησής τους, με τη χρήση της τεχνικής Βουγιούκο.

2.6.4 Ιόντα Νατρίου

Με στόχο τον προσδιορισμό των ιόντων νατρίου για το κάθε δείγμα ακολουθήθηκε η τεχνική νεφελοποίησης σε φλόγα βουτανίου (αέριο) με αποτέλεσμα να σχηματιστούν άτομα νατρίου τα οποία εκπέμπαν ακτινοβολία με ταυτοποιημένο μήκος 589,0 nm. Για τον προσδιορισμό των ιόντων νατρίων οι μετρήσεις έγιναν με φλογοφωτομέτρου.

Το φλογοφωτόμετρο βαθμονομήθηκε με τη χρήση *standards* 0 – 5 – 10 – 15 – 20 - 25 ml διαλύματος *stock I* (2,542gr NaCl ξηράθηκαν στους 140°C επί 24 ώρες και στη συνέχεια 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). Με το πέρας της βαθμονόμησης τα δείγματα εισήχθησαν και σημειώθηκε η ένδειξη του οργάνου. Η καμπύλη που σχηματίστηκε κατά τη βαθμονόμηση αποτέλεσε τη βάση για την αντιστοιχία της ένδειξης του οργάνου για κάθε δείγμα σε ppm. Η συγκέντρωση του [Na⁺], σε meq Na⁺/lt δίνεται από τον τύπο: $[Na^+](meq Na^+/l) = A/22,9898$.

Όπου:

A = Η συγκέντρωση του δείγματος σε ppm.

Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood).

2.6.5 Ιόντα Καλίου

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου για το κάθε δείγμα ακολουθήθηκε η τεχνική νεφελοποίησης σε φλόγα βουτανίου (αέριου). Εξατμιζόμενες οι ενώσεις του καλίου ατομοποιήθηκαν με αποτέλεσμα τα άτομα του καλίου που σχηματίστηκαν να εκπέμπουν ακτινοβολία μετρήσιμου μήκους κύματος 766,5 nm.

Το φλογοφωτόμετρο βαθμονομήθηκε με *standards* 0, 5, 10, 15, 20 και 25 ml από το διάλυμα νατρίου *Stock II*, σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml, συμπληρωμένες έως όγκο, με απεσταγμένο νερό.

Η ρύθμιση του μηδέν στην κλίμακα του οργάνου έγινε με το blank και του 25 της κλίμακας με το πυκνότερο standard (25 ppm). Τα υπόλοιπα standards μετρήθηκαν

αρχίζοντας από το αραιότερο και κατασκευάστηκε η καμπύλη συγκέντρωσης-ένδειξης οργάνου, η οποία όσο γινόταν περισσότερο έπρεπε να προσεγγίζει την ευθεία. Εισήχθηκε στη συνέχεια το άγνωστο δείγμα και σημειώθηκε η ένδειξη του οργάνου (το δείγμα αραιωνόταν εάν αυτή ήταν εκτός κλίμακας). Η ένδειξη με τη συγκέντρωση αντιστοιχίστηκε με βάση την καμπύλη.

Από τον τύπο $[K^+] \text{ (meq Na}^+ / l) = A/22,9898$, (όπου A η συγκέντρωση του δείγματος σε ppm), υπολογίστηκε η συγκέντρωση του K^+ . Το φλογοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood).

2.6.6 Ιόντα Ασβεστίου και Μαγνησίου

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

Τα θολά δείγματα πριν την ανάλυση διηθήθηκαν με φίλτρο μεγέθους πόρου 0,45 μm . Με σιφόνιο πλήρωσης *Class A*, μεταφέρθηκαν 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. Αμέσως τιτλοδοτήθηκε κατά την ανάδευση με προχοΐδα που περιείχε EDTA 0,01 mol/l. Στην αρχή έγινε γρήγορα η τιτλοδότηση και όταν το χρώμα άλλαξε ξεκάθαρα σε μπλε τελείωσε. Στη συνέχεια καταγράφηκε ο όγκος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε και η κατανάλωση DTA. Από τον τύπο: $p_{Ca} = 1000 * A * c_1 V_3 / V_0$, (όπου p_{Ca} η συγκέντρωση του ασβεστίου σε mg/l, c_1 η πραγματική συγκέντρωση του EDTA σε mol/l, V_3 ο όγκος σε ml του EDTA που καταναλώθηκε για το δείγμα, V_0 ο όγκος του δείγματος σε ml και A το πραγματικό ατομικό βάρος του ασβεστίου) υπολογίστηκε η συγκέντρωση του

ασβεστίου στο δείγμα σε ml/l. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία.

2.6.7 Ιόντα Χλωρίου

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου έγινε ογκομετρικά. Κατά τη διάρκεια της ογκομέτρησης του αγνώστου δείγματος τοποθετήθηκαν με σιφόνιο πλήρωσης *Class A* 100 ml δείγματος. Η προστιθέμενη ποσότητα επιλέχθηκε ώστε το ανθρακικό ίζημα να παραμείνει και μετά την ογκομέτρηση. Έπειτα προστέθηκε 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου συγκέντρωσης 100 g/l. Στη συνέχεια το διάλυμα ογκομετρήθηκε προσθέτοντας διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,02 mol/l και αναδεύτηκε μέχρι να παρουσιαστεί χρωματική αλλαγή και το δείγμα να γίνει φαιοκόκκινο. Με τη προσθήκη μιας σταγόνας διαλύματος χλωριούχου νατρίου 0,02 mol/l το χρώμα όπως αναμενόταν εξαφανίστηκε. Τα ογκομετρημένα δείγματα που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν ως συγκριτικά μέσα στις επόμενες τιτλοδοτήσεις, ενώ πραγματοποιήθηκε καταγραφή της κατανάλωσης του AgNO_3 και χρησιμοποιημένου όγκου του δείγματος και προσδιορίστηκε το τυφλό δείγμα. Η συγκέντρωση των χλωροϊόντων σε mg/l υπολογίστηκε από τον τύπο: $P_{\text{Cl}} = (V_s - V_b) * c * f / V_a$.

Όπου c η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος νιτρικού αργύρου

εκφρασμένη σε mol/l,

f ο συντελεστής μετατροπής (35,453 mg/mol),

V_s η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το δείγμα σε ml,

V_b η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το τυφλό δείγμα σε ml και

V_a ο όγκος του δείγματος σε ml.

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

Η αλκαλικότητα των δειγμάτων υπολογίστηκε με τη μεταφορά 50ml δείγματος σε κωνική φιάλη των 250 ml και την προσθήκη τριών σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Η εμφάνιση ρόδινης χροιάς αποτέλεσε την ένδειξη της παρουσίας ανθρακικών ιόντων, τα οποία προσδιορίστηκαν ογκομετρικά με χρήση διαλύματος H_2SO_4 0,05 N και τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα, μέχρι τον αποχρωματισμό του ($\text{pH}=8,3$). Ο υπολογισμός της αλκαλικότητας προέκυψε από τον τύπο $[\text{CO}_3^{2-}]$ (meq/l) = $50 \times A / \text{ml δείγματος} \times f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, λαμβάνοντας υπόψη 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.

2.6.9 Θειικά Ιόντα

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

2.6.10 Φωσφορικά Ιόντα

Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων προσδιορίστηκε με ανάπτυξη χρώματος μολυβδαινικού-φωσφορικού συμπλόκου. Σε θεικό διάλυμα τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντέδρασαν με ιόντα μολυβδαινίου, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μολυβδοφωσφορικού οξέος. Το ασκορβικό οξύ το ανάγαγε σε κυανό φωσφομολυβδαινικό σύμπλοκο, το οποίο στη συνέχεια προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά. Η ευαισθησία της μεθόδου για τα φωσφορικά ιόντα είναι 0,03

mg/l. Η μέθοδος είναι ανάλογη με τις EPA 365,2+3, US Standard Methods 4500-P E, ISO 6878/1 και EN 1189.

2.6.11 Σκληρότητα

Η ογκομετρική μέθοδος, η οποία εφαρμόστηκε, για τον προσδιορισμό της σκληρότητας, είναι βασισμένη στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από τη χημική ένωση E.D.T.A., σε αλκαλικό περιβάλλον (pH= 10 +/- 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). Τα δείγματα αρχικά διηθήθηκαν σε φίλτρα μεγέθους πόρων 0,45 μm λόγω της αρχικής θολότητας.

2.6.12 Συντελεστής Προσρόφησης του Νατρίου – [Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)]

Για τον χαρακτηρισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση χρησιμοποιείται ο S.A.R. (Sodium Absorption Ratio). Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες, τον κίνδυνο αλκαλίωσης και τον κίνδυνο αλατότητας.

Η μείωση της περατότητας και η αύξηση της σκληρότητάς του, οφείλεται στην αύξηση της περιεκτικότητας σε Na^+ του εδάφους, διότι συμπιέζεται πιο εύκολα. Αυτό είναι απόρροια αντικατάστασης των ιόντων Ca^{+2} , Mg^{+2} από ιόντα Na^+ στο πλέγμα των αργίλων. Η αντικατάσταση 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.

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

2.6.13 Ολικός οργανικός άνθρακας – Ολικός άνθρακας – Οργανική ουσία

Εφαρμόστηκε η μέθοδος Walkley – Black για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας. Ζυγίστηκε 1 g ιζήματος και μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500 ml. Προστέθηκαν 10 ml διχρωμικού καλίου 1 N (ζυγίστηκαν 49,036 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ και διαλύθηκαν σε 1 λίτρο απεσταγμένου νερού) με ογκομετρικό κύλινδρο και περιστράφηκε ελαφρά η φιάλη ώστε να διαποτιστεί όλο το δείγμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20 ml πυκνού θειϊκού

οξέος με ογκομετρικό κύλινδρο. Προκειμένου να μην κολλήσουν κόκκοι δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης αναδεύτηκαν ελαφρά και προσεκτικά και αφέθηκε το δείγμα για 30 – 60 λεπτά έτσι ώστε να οξειδωθεί ο άνθρακας της οργανικής ουσίας. Μέχρι και αυτό το στάδιο οι διαδικασίες έγιναν σε απαγωγό επειδή οι αντιδράσεις ήταν εξώθερμες. Προστέθηκαν στη συνέχεια 200 ml απεσταγμένου νερού, 10 ml πυκνού φωσφορικού οξέος και 0,2 g NaF και αφέθηκε η φιάλη να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα, 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, έως ότου να επιτευχθεί αλλαγή του χρώματος από σκούρο μπλε-ιώδες σε βαθύ πράσινο. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε χωρίς την προσθήκη δείγματος για τον έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων.

Για τον υπολογισμό του οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί βάση των τύπων

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

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

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

όπου:

- T₁: τα ml του θεϊκού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του δείγματος,
- T₂= τα ml του θεϊκού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του λευκού προσδιορισμού,
- B = το βάρος του δείγματος και
- N = η κανονικότητα του θεϊκού σιδήρου.

2.6.14 Διαθέσιμος Φώσφορος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου Olsen. Αρχικά έγινε εκχύλιση με διάλυμα 0,5 N NaHCO₃ ώστε να πραγματοποιηθεί προσδιορισμός της συγκέντρωσης στο εκχύλισμα. Έπειτα ζυγίστηκαν 5 g ιζήματος, σε κωνική φιάλη 250 ml, προστέθηκαν 100 ml όξινου ανθρακικού νατρίου με ογκομετρικό κύλινδρο και ένα κουταλάκι «γλυκού» κοφτό ενεργός άνθρακας, τα οποία ανακινήθηκαν στη συνέχεια με συσκευή ανακίνησης για 30 λεπτά της ώρας. Με το πέρας του χρόνου ανακίνησης εφαρμόστηκε διήθηση στο περιεχόμενο της φιάλης - 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, τα οποία μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml. Στη συνέχεια προστέθηκαν 10 ml μολυβδαινικού αμμώνιου με τη χρήση προχοϊδας και ξεπλύθηκαν τα εσωτερικά τοιχώματα της ογκομετρικής φιάλης με την βοήθεια του υδροβολέα περίπου μέχρι τα 40 ml της φιάλης, ώστε να αποφευχθεί η απ' ευθείας επαφή του χλωριούχου κασσίτερου με το μολυβδαινικό αμμώνιο. Κατόπιν προστέθηκαν 5 σταγόνες χλωριούχου κασσίτερου για να συμπληρωθεί η ογκομετρική φιάλη μέχρι τη χαραγή. Ανακινώντας καλά το δείγμα και μετά από 15 λεπτά αναμονής 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. Έτσι παρασκευάστηκε διάλυμα των 5 ppm. Απ' αυτό το διάλυμα πάρθηκαν 0, 1, 2, 5, 10 ml και τα οποία τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml.

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

Κατόπιν με το πέρας 15 λεπτών, έγινε μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο και από τις ενδείξεις του οργάνου που πάρθηκαν κατασκευάστηκε η καμπύλη αναφοράς, όπου 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 αναφέρθηκε σε όγκο αναφοράς των 50 ml.

2.6.15 Ολικό Άζωτο

Για τον προσδιορισμό του ολικού 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, με στόχο την απελευθέρωση της αμμωνίας, που απομακρύνεται και τη δέσμευση της 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.

Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε υγρή καύση στη φιάλη Kjeldahl όπου είχαν μεταφερθεί διαδοχικά 12 g K_2SO_4 , 1 g ένυδρου $CuSO_4$, 0,2 g ιζήματος από το δείγμα και 20 ml πυκνού H_2SO_4 , το οποίο προστέθηκε τελευταίο ώστε να απομακρύνει από τα τοιχώματα της φιάλης μικροποσότητες των 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 που εφαρμόστηκε αρχικά ήταν ήπια, έτσι ώστε να αποφευχθεί έντονος αφρισμός. Στη συνέχεια, όταν το περιεχόμενο της φιάλης σταμάτησε να αφρίζει και στο εσωτερικό της παρατηρήθηκαν πυκνοί λευκοί ατμοί, η θέρμανση έγινε εντονότερη σε τέτοιο βαθμό που οι ατμοί του H_2SO_4 συμπυκνώθηκαν στα $\frac{3}{4}$ του ύψους της. Η θέρμανση σε αυτές συνθήκες συνεχίστηκε μέχρις ότου στα τοιχώματα της φιάλης δεν παρατηρήθηκαν πλέον απανθρακωμένα σωματίδια, ενώ το μίγμα καύσης διαύγασε και απέκτησε ένα ασθενώς κίτρινο έως κυανοπράσινο χρώμα. Η θέρμανση συνεχίστηκε για $1\frac{1}{2}$ ώρα ακόμη και έπειτα η φιάλη - με το περιεχόμενό της - ψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εν συνεχεία στη φιάλη Kjeldahl προστέθηκαν αρχικώς 285 ml αποσταγμένου νερού, με τρόπο ώστε να καταστεί δυνατή η έκπλυση των εσωτερικών τοιχωμάτων της, και προστέθηκαν 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 περιεχόμενό της φιάλης, μετά από μια καλή ανάμιξη, θερμάνθηκε προκειμένου να αποστάξει πλήρως την αμμωνία. Η θέρμανση αρχικά ήταν ήπια – αποφυγή έντονου αφρισμού. Μετά 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. Έπειτα εκπλύθηκε το άκρο του ψυκτήρα με αποσταγμένο νερό εντός της κωνικής φιάλης με το

απόσταγμα και στη συνέχεια η περίσσεια του θειικού οξέος ογκομετρήθηκε με διάλυμα αλκάλειως, 0,5 mol/L. 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:

$$\text{Άζωτο \% (w/w)} = 1,4008 \times (2V_1M_1 - V_2M_2) / \beta$$

Όπου

V_1 : ο όγκος διαλύματος θειικού οξέος,

M_1 : η μοριακότητα του διαλύματος θειικού οξέος στο οποίο δεσμεύεται η αμμωνία,

V_2 : ο όγκος του διαλύματος καυστικού νατρίου,

M_2 : η μοριακότητα του διαλύματος καυστικού νατρίου που καταναλώθηκε κατά τον προσδιορισμό της περισσειας του θειικού οξέος και

β : το βάρος του δείγματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΥΓΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των υδάτων

Συνολικά αναλύθηκαν 24 δείγματα, εκ των οποίων τα 16 αντιστοιχούν σε επιφανειακά δείγματα (0,5m κάτω από την επιφάνεια), τα οποία διαχωρίζονται με την επισήμανση s (surface) από τα υπόλοιπα 8 που συλλέχθηκαν 0,5m πάνω από τον πυθμένα και διακρίνονται από την επισήμανση B (bottom).

Όσον αφορά τα δείγματα νερού της λίμνης Κάρλα, οι τιμές του pH κυμαίνονται από 8,5 έως 8,9 με μέσο όρο 8,7. Οι τιμές θερμοκρασίας κυμάνθηκαν από 14,3 έως 19,9 °C με μέση τιμή 16,7 °C. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 1260 έως 3232 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέση τιμή 2498,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τα ολικά διαλυμένα στερεά εμφάνισαν ένα εύρος τιμών μεταξύ 2411,2 και 3372,8 ppm και μέση τιμή 2850,4 ppm. Οι τιμές των ιόντων ασβεστίου παρουσίασαν διακύμανση από 40 έως 57 mg/l με μέση τιμή διακύμανσης 47 mg/l. Οι τιμές των ιόντων μαγνησίου κυμάνθηκαν από 134 έως 287 mg/l με μέσο όρο 163,2 mg/l. Οι τιμές των ιόντων καλίου κυμάνθηκαν από 8,8 έως 28 mg/l με μέσο όρο 11,6 mg/l και οι τιμές των ιόντων νατρίου κυμάνθηκαν από 380 έως 740 mg/l με μέσο όρο 439,17 mg/l. Οι τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων κυμάνθηκαν από 4,07 έως 6,59 mmol/l με μέσο όρο 4,84 mmol/l και οι τιμές των ανθρακικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,08 έως 0,59 mmol/l με μέσο όρο 0,267 mmol/l. Οι τιμές των χλωριόντων κυμάνθηκαν από 491 έως 987 mg/l με μέσο όρο 555,2 mg/l και οι τιμές των θεικών ιόντων κυμάνθηκαν από 582 έως 1163 mg/l με μέσο όρο 692,79 mg/l. Οι τιμές φωσφορικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,10 έως 0,23 mg/l με μέσο όρο 0,16 mg/l, ενώ οι τιμές των νιτρικών ιόντων κυμάνθηκαν από 0,0 έως 0,7 mg/l με μέσο όρο 0,2 mg/l. Οι τιμές ολικής σκληρότητας κυμάνθηκαν από 668 έως 1315 mg CaCO_3/l με μέσο όρο 787 mg CaCO_3/l . Τέλος οι τιμές του

συντελεστή προσρόφησης νατρίου κυμάνθηκαν από 6,1 έως 8,8, με μέσο όρο 6,8. Στον πίνακα 3.1 φαίνεται ο μέσος όρος και το εύρος διακύμανσης των τιμών των δειγμάτων νερού της λίμνης Κάρλα

Πίνακας 3.1: Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης των τιμών των δειγμάτων νερού της λίμνης Κάρλα.

Στοιχεία	Μέσος όρος (εύρος τιμών)
pH ($0 \leq 7 \leq 14$)	8,7 (8,5 – 8,9)
Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	16,7 (14,3 – 19,9)
E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2498,9 (1260 - 3232)
S.A.R.	6,8 (6,1 – 8,8)
TDS (ppm)	2850,4 (2411,2 – 3372,8)
Ολική Σκληρότητα ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	787 (668 – 1315)
Παροδική Σκληρότητα ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	242,25 (204 – 330)
Μόνιμη Σκληρότητα ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	545 (427 – 985)
Ca^{+2} (mg/l)	47 (40 - 57)
Mg^{+2} (mg/l)	163,2 (134 - 287)
K^{+} (mg/l)	11,06 (8,8 - 28)
Na^{+} (mg/l)	439,17 (380 - 740)
HCO_3^{-} (mmol/l)	4,84 (4,07 – 6,59)
CO_3^{-2} (mmol/l)	0,267 (0,08 – 0,59)
Cl^{-} (mg/l)	555,2 (491 - 987)
SO_4^{-2} (mg/l)	692,7 (582 – 1163)
PO_4^{-3} (mg/l)	0,16 (0,10 – 0,23)
NO_3^{-} (mg/l)	0,2 (0,0 – 0,7)

Στον Πίνακα 3.2 παραθέτονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μεθοδολογίες ανάλυσης.

Δείγμα	pH (μονάδες pH)		Θερμοκρασία (°C)		EC (μS/cm)		TDS (ppm)	Ca	Mg	K	Na	HCO	CO	Cl	SO	PO	Σκληρότητα (mgCaCO/l)			S.A.R.	NO3
	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)
sR1	8,8	8,8	20,8	17	2870	2612	2411,2	40	161	9,8	420	4,65	0,27	539	682	0,16	763	233	530	6,6	0,2
BR1	8,7	8,6	20,6	15	3180	3115	2834	54	168	9,8	420	5,27	0,24	539	682	0,1	827	264	563	6,4	0,4
sR2	8,8	8,8	21,5	17	3250	3232	2974,4	46,3	164,4	9,8	430	5,01	0,27	545	683	0,19	792	251	541	6,6	0,2
BR2	8,9	8,8	20,7	16	2390	2135	2851,2	50	185	11	440	4,7	0,24	590	774	0,19	887	235	652	6,4	0,4
sR3	8,8	8,7	21,4	18	3220	2213	2980,8	43	163	9,8	430	4,99	0,3	545	704	0,12	776	250	526	6,7	0,4
sR4	8,9	8,8	19,4	17	2780	3215	2880,8	45,9	157,8	11	450	4,48	0,35	559	708	0,16	764	224	540	7,1	0
sR5	8,9	8,77	19,7	17,5	3110	2960	2707,2	46	151	28	420	5,15	0,5	532	664	0,1	734	258	476	6,8	0
BR5	8,5	8,54	19,8	15	2940	2250	2803,6	44	153	9,9	440	4,66	0,08	539	677	0,17	741	233	508	7	0
sR6	8,9	8,72	19,3	16	2940	2860	2712,8	46	149	10	440	4,51	0,34	532	675	0,2	729	226	503	7,1	0
sR7	8,8	8,7	21,5	17	2840	2761	2608	41	161	9,9	430	4,73	0,23	539	684	0,15	765	235	528	6,8	0,4
BR7	8,9	8,9	20,9	16	2440	2200	2894	44	169	10	460	4,73	0,25	552	707	0,19	804	237	567	7,1	0,4
sR8	8,8	8,7	21,6	17,5	3250	3186	2870,4	40	161	9,9	430	4,77	0,26	539	705	0,1	762	239	523	6,8	0,4
sR9	8,8	8,74	19,8	19,9	2220	2140	3085,6	52	163	12	450	4,9	0,28	566	705	0,16	798	245	553	6,9	0
BR9	8,6	8,6	19,6	14,5	2440	1260	3372,8	48	154	10	430	4,78	0,12	552	690	0,21	755	239	516	6,8	0
sR10	8,8	8,77	19,9	18	3170	2760	3260	52	145	9,2	400	4,89	0,29	511	624	0,14	727	245	482	6,5	0,1
sR11	8,8	8,67	21,5	17	2090	1868	2599,6	44	170	9,9	440	4,07	0,22	545	705	0,19	809	204	605	6,7	0,4
BR11	8,8	8,78	20,8	15	2820	2110	2704,4	57	151	9,4	410	4,75	0,19	505	619	0,18	763	238	525	6,4	0,7
sR12	8,9	8,76	21,5	18	2540	2436	2632,8	41	150	9,4	400	4,66	0,24	511	630	0,1	718	233	485	6,4	0,4
sR13	8,8	8,74	19,2	17	2920	2520	2932,2	48	158	11	440	4,97	0,33	545	669	0,18	770	249	521	6,8	0
BR13	8,4	8,53	19,7	16	2670	2640	2932,4	45	156	10	440	4,56	0,08	545	675	0,17	751	228	523	6,9	0
sR14	8,7	8,73	19,8	17	2440	3000	2836	47	134	9,3	390	4,89	0,26	491	598	0,2	668	241	427	6,6	0
sR15	8,9	8,84	20,9	18	2680	2300	2701,4	45	149	8,8	380	4,74	0,27	505	582	0,23	723	237	486	6,1	0,4
BR15	8,8	8,48	21	14,3	2940	2620	2846,8	55	287	18	740	6,59	0,59	987	1163	0,16	1315	330	985	8,8	0,44
sR16	8,8	8,79	20,8	17,8	2380	1580	2977,2	45	156	9,6	410	4,79	0,23	511	622	0,16	754	240	514	6,5	0,4

Πίνακας 3.2: Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μεθοδολογίες ανάλυσης.

3.2. Καταλληλότητα για διαβίωση ιχθύων

Στον Πίνακα 3.3 φαίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων ύδατος της λίμνης Κάρλα σε σχέση με το επιθυμητό και το ανώτατο όριο που καθορίζεται σύμφωνα με την οδηγία 78/659/ΕΟΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που αφορά την απαιτούμενη ποιότητα των γλυκών υδάτων στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν ιχθύες (σαλμονοειδή και κυπρινοειδή), 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.

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

Φυσικοχημικές Παράμετροι	Κατηγορίες νερών				
	Νερά λίμνης Κάρλα	Νερά σαλμονοειδών		Νερά κυπρινοειδών	
	Μ.Ο. (εύρος) μετρήσεων	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο όριο
Θερμοκρασία (°C)	16,7 (14,3–19,9)	^(0,1)	21,5 ^(0,1)	25 ^(0,1)	28 ^(0,1)
pH	8,7 (8,5- 8,9)	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 (0,10-0,23)	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 τα επιθυμητά όρια και για τις δύο κατηγορίες υδάτων (σαλμονιδών και κυπρινιδών). 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 οριακά εντός των επιθυμητών ορίων και για τις δύο κατηγορίες νερού.

3.3. Καταλληλότητα για πόση

Σύμφωνα με τις Οδηγίες 98/83/ΕΕ και 80/778/ΕΟΚ, στον Πίνακα 3.4 φαίνεται ότι οι τιμές της λίμνης Κάρλα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ιόντα μαγνησίου, νατρίου, θεικών και χλωρίου υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή που ορίζεται. Ως εκ τούτου το νερό της λίμνης Κάρλα είναι ακατάλληλα για πόση.

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

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μέσος όρος λίμνης Κάρλα	Μονάδες
pH	6,5 – 9,5	8,7	-
E.C.	400*	2498,9	μS/cm
TDS	-	2850,4	mg/l
Ca ⁺²	100*	47	mg/l
Mg ⁺²	50	163,2	mg/l
K ⁺	12*	11,06	mg/l
Na ⁺	200	439,17	mg/l
HCO ₃ ⁻	-	4,84	mmol/l
SO ₄ ⁻	250	692,7	mg/l
Cl ⁻	250	555,2	mg/l

* Οδηγία 80/778/EEC.

3.4. Καταλληλότητα για άρδευση

Η καταλληλότητα των υδάτων προς άρδευση καθορίζεται σημαντικά από τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου. Με βάση τα κριτήρια αυτά ο Richards το 1954 κατέταξε το νερό της άρδευσης σε 4 κατηγορίες:

- **Χαμηλή**, $EC \leq 250 \mu\text{S/cm}$, $SAR < 10$,
- **Μεσαία**, $EC = 250 - 750 \mu\text{S/cm}$, $SAR = 10 - 18$,
- **Υψηλή**, $EC = 750 - 2250 \mu\text{S/cm}$, $SAR = 18 - 26$ και
- **Πολύ υψηλή**, $EC = 2250 - 5000 \mu\text{S/cm}$, $SAR > 26$.

Στον Πίνακα 3.5 γίνεται η κατάταξη και ο χαρακτηρισμός της καταλληλότητας για άρδευση των υδάτων της λίμνης Κάρλα από την οποία προκύπτει ότι σε ποσοστό 66,7% επί των δειγμάτων έχουμε πολύ υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, ενώ σε ποσοστό 33,3% τα δείγματα παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στον αντίποδα ο συντελεστής προσρόφησης του νατρίου (SAR) εμφανίζεται χαμηλός σε ποσοστό 100% επί των δειγμάτων με βάση την κατάταξη του Richards. Με βάση όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι τα νερά είναι κατάλληλα όσον αφορά τις τιμές SAR, αλλά ακατάλληλα ως προς τις τιμές τις αγωγιμότητας (EC) και σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για άρδευση είναι πιθανόν να οδηγήσουν στο σχηματισμό αλατούχων εδαφών (Burger & Čelková, 2003) ([http 4](#)) ([http 5](#)).

Πίνακας 3.5: Κατάταξη δειγμάτων βάσει της καταλληλότητάς 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	2612	Πολύ υψηλή	6,6	Χαμηλή
BR1	3115	Πολύ υψηλή	6,4	Χαμηλή
sR2	3232	Πολύ υψηλή	6,6	Χαμηλή
BR2	2135	Υψηλή	6,4	Χαμηλή
sR3	2213	Υψηλή	6,7	Χαμηλή
sR4	3215	Πολύ υψηλή	7,1	Χαμηλή
sR5	2960	Πολύ υψηλή	6,8	Χαμηλή
BR5	2250	Πολύ υψηλή	7	Χαμηλή
sR6	2860	Πολύ υψηλή	7,1	Χαμηλή
sR7	2761	Πολύ υψηλή	6,8	Χαμηλή
BR7	2200	Υψηλή	7,1	Χαμηλή
sR8	3186	Πολύ υψηλή	6,8	Χαμηλή
sR9	2140	Υψηλή	6,9	Χαμηλή
BR9	1260	Υψηλή	6,8	Χαμηλή
sR10	2760	Πολύ υψηλή	6,5	Χαμηλή
sR11	1868	Υψηλή	6,7	Χαμηλή
BR11	2110	Υψηλή	6,4	Χαμηλή
sR12	2436	Πολύ υψηλή	6,4	Χαμηλή
sR13	2520	Πολύ υψηλή	6,8	Χαμηλή
BR13	2640	Πολύ υψηλή	6,9	Χαμηλή
sR14	2612	Πολύ υψηλή	6,6	Χαμηλή
sR15	3115	Πολύ υψηλή	6,1	Χαμηλή
BR15	3232	Πολύ υψηλή	8,8	Χαμηλή
sR16	2135	Υψηλή	6,5	Χαμηλή

3.5 Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των φυσικοχημικών παραμέτρων δειγμάτων νερού

Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι παραμετρικές τιμές της παρούσας έρευνας σε σύγκριση με αντίστοιχες έρευνες στον ελληνικό και διεθνή χώρο.

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

Λίμνες	pH	T (C) ^ο	EC μS/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	8,7	16,7	3232	2932,2	47	163,2	11,06	439,17	555,2	692,79	0,16	0,2
Κάρλα ¹	7,9	19,09	3641,7	1933,8	60,2	177,54	12,9	486,67	729,17	549,17	0,82	-
Κάρλα ²	8,52	15,9	4782	2960,1	67,39	259,3	32,4	706,3	1071,5	1133,9	0,16	0,1
Maurepas ³ (USA)	-	-	-	-	19,2	31,7	2,3	23,4	-	-	-	-
Greifen ⁴ (USA)	-	-	-	-	-	-	-	-	69,8	-	-	-
Τριγωνίδα ⁵	8,1	15	247	-	-	-	-	-	246,15	7,69	-	65705,13
Μικρή Πρέσπα ⁵	8,3	21	266	-	-	-	-	-	3,37	7,69	-	52243,59
Βιστονίδα ⁵	7,8	-	1200	-	-	-	-	-	155,77	36,86	-	-
Μεγάλη Πρέσπα ⁵	8,3	16	219	-	-	-	-	-	2,88	1,6	-	625
Καστοριά ⁵	8,2	15	239	-	-	-	-	-	5,77	2,08	-	560,9
Παμβώτιδα ⁵	8,4	17	308	-	-	-	-	-	21,63	5,13	-	3076,92
Δοϊράνη ⁵	8,1	-	408	-	-	-	-	-	6,73	8,97	-	-
Αμβρακία ⁵	8,3	9,2	550	-	-	-	-	-	23,08	118,59	-	-
Miquelon ⁶ (CAN)	9,41	-	8800	5963,8	8,08	196	103	1845	168	-	-	-
Maggiore ⁷ (ITA)	7,2	-	136	-	21	3,8	1,5	2,1	1,7	29	-	3,7
Lonar ⁸ (IND)	9,25	-	133,5	365	3,42	31,61	16,58	3165	2550	111,5	0,405	16,55
Pandoh ⁹ (IND)	7,35	-	71,6	53200	7,99	1,17	1,91	3,87	1,53	-	1,19	-

1: Λιάπης Γ. (2011), 2: Κοσμίδης Δ. (2012), 3: Ferrell *et al.* (1970), 4: Xue *et al.* (1993), 5: Τζινευράκης Σ. (2005), 6: Swanson *et al.* (2006), 7: Boari *et al.* (1997), 8: Mohamed *et al.* (2005), 9: Ashumali *et al.* (2007).

Οι τιμές των περισσότερων λιμνών που παρατίθενται παραπάνω στον Πίνακα 3.5 αφορούν πλήρη προγράμματα δειγματοληψιών, εν αντιθέσει με την παρούσα μελέτη που αφορά μια δειγματοληψία, καθιστώντας έτσι δύσκολη την οποιαδήποτε σύγκριση μεταξύ τους. Ενδιαφέρουσα πληροφορία ωστόσο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η

σταδιακή αύξηση των τιμών pH της λίμνης Κάρλα, που πλέον ξεπερνούν τις τιμές pH των υπολοίπων ελληνικών λιμνών. Ακόμη ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που ωστόσο παραμένει αρκετά υψηλότερη των τιμών σε άλλες ελληνικές λίμνες. Επιπλέον οι τιμές των ιόντων ασβεστίου, καλίου, νατρίου και μαγνησίου που παραμένουν υψηλότερες από αυτές των υπολοίπων ελληνικών και των περισσότερων διεθνών λιμνών, χρήζουν αναλυτικότερης επιστημονικής μελέτης.

3.6 Παρουσίαση των φυσικοχημικών παραμέτρων

3.6.1 Σκληρότητα

Η ταξινόμηση του νερού έγινε βάσει των ορίων σκληρότητας που φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: 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

Για τη λίμνη Κάρλα οι τιμές της ολικής, μόνιμης και παροδικής σκληρότητας δίνονται στον Πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Τιμές της σκληρότητας για τη λίμνη Κάρλα (ολική, παροδική, μόνιμη).

Δείγμα	Σκληρότητα (mgCaCO/l)		
	Ολική	Παροδική	Μόνιμη
sR1	763	233	530
BR1	827	264	563
sR2	792	251	541
BR2	887	235	652
sR3	776	250	526
sR4	764	224	540
sR5	734	258	476
BR5	741	233	508
sR6	729	226	503
sR7	765	235	528
BR7	804	237	567
sR8	762	239	523
sR9	798	245	553
BR9	755	239	516
sR10	727	245	482
sR11	809	204	605
BR11	763	238	525
sR12	718	233	485
sR13	770	249	521
BR13	751	228	523
sR14	668	241	427
sR15	723	237	486
BR15	1315	330	985
sR16	754	240	514

Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζεται ο χαρακτηρισμός των υδάτων της λίμνης Κάρλα με βάση τη σκληρότητά τους.

Πίνακας 3.9: Χαρακτηρισμός των υδάτων της λίμνης Κάρλα με βάση την ολική σκληρότητα.

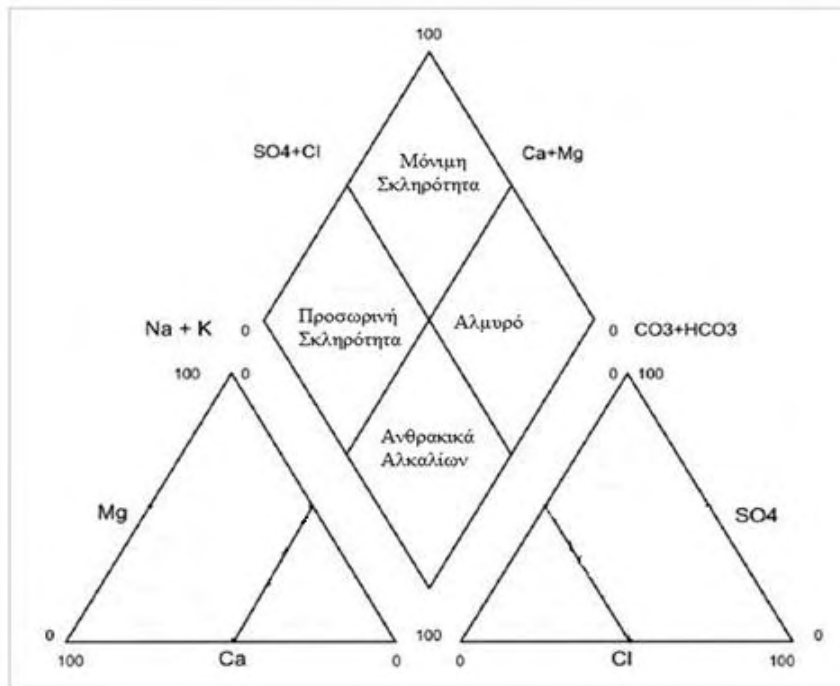
Δείγμα	Ολική Σκληρότητα (mg CaCO/l) λίμνης Κάρλα	Χαρακτηρισμός του νερού			
		Μαλακό	Μέτρια Σκληρό	Σκληρό	Πολύ Σκληρό
sR1	763				√
BR1	827				√
sR2	792				√
BR2	887				√
sR3	776				√
sR4	764				√
sR5	734				√
BR5	741				√
sR6	729				√
sR7	765				√
BR7	804				√
sR8	762				√
sR9	798				√
BR9	755				√
sR10	727				√
sR11	809				√
BR11	763				√
sR12	718				√
sR13	770				√
BR13	751				√
sR14	668				√
sR15	723				√
BR15	1315				√
sR16	754				√

Όπως προκύπτει παραπάνω από τους Πίνακες 3.7 και 3.9, το νερό της λίμνης Κάρλα χαρακτηρίζεται ως πολύ σκληρό σε ποσοστό 100% επί των δειγμάτων που αναλύθηκαν.

3.6.2 Διάγραμμα Piper

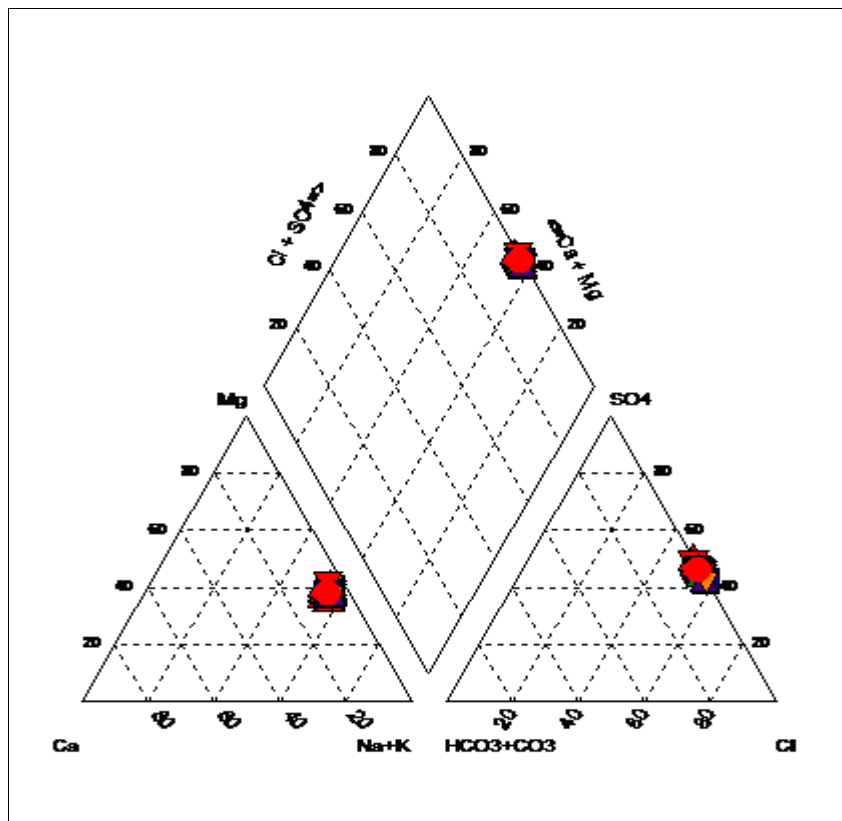
Στην Εικόνα 3.1 παρατίθεται το πρότυπο διάγραμμα Piper βάση του οποίου πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση των υδάτων μιας περιοχής.

Εικόνα 3.1 Πρότυπο διάγραμμα Piper

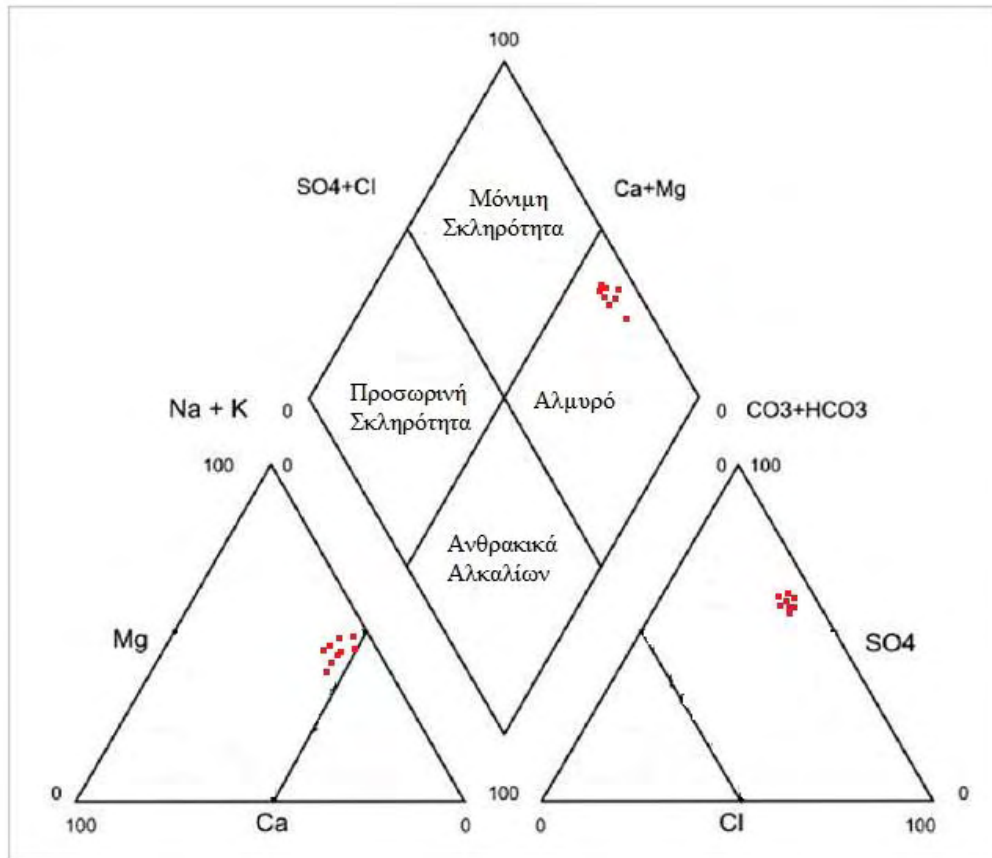


Στην Εικόνα 3.2 παρατίθεται η κατηγοριοποίηση των υδάτων της λίμνης Κάρλα με βάση τις συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου, θεικών, μαγνησίου, χλωρίου, ανθρακικών και όξινων ανθρακικών.

Εικόνα 3.2: Κατηγοριοποίηση των υδάτων της λίμνης Κάρλα.



Με βάση το διάγραμμα Piper, παρατηρούμε ότι τα ύδατα της λίμνης Κάρλα κατατάσσονται στην υφάλμυρη έως αλμυρή περιοχή (Εικ. 3.3). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για το διάγραμμα Piper έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem.



Στον Πίνακα 3.10 φαίνεται η σύνθεση των ιόντων που επικρατούν στα δείγματα νερού της παρούσας έρευνας. Σε αυτά επικρατούν 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.

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

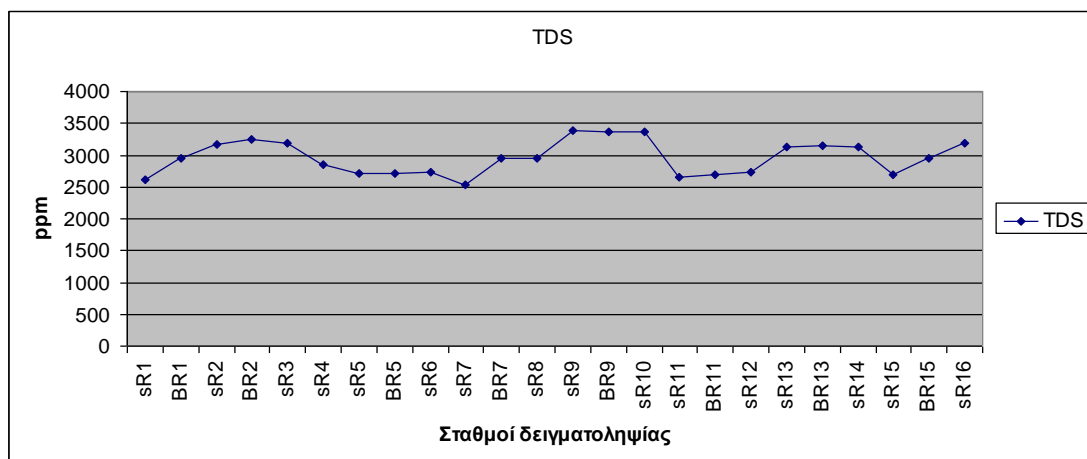
Δείγμα	Τύπος νερού
sR1	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR1	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR2	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR2	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR3	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR4	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR5	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR5	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR6	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR7	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR7	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR8	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR9	Na-Mg-Cl-SO ₄
BR9	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR10	Na-Mg-Cl-SO ₄
sR11	Na-Mg-Cl-SO 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

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

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Οι τιμές τους παρουσιάζουν διακύμανση που κυμαίνεται από 2411,2 ppm στο σημείο sR1 έως 3372,8 ppm στο σημείο BR9, με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο σημείο BR9 (3372,8 ppm).

Σε σύγκριση με τα επίπεδα τιμών των λιμνών Pandoh και Miquelon, οι τιμές των διαλυμένων στερεών στη λίμνη Κάρλα είναι πολύ χαμηλότερες, ενώ σε σχέση με τις τιμές στη λίμνη Lonar, κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα (Πιν. 3.6). Η σύγκριση της συγκέντρωσης των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με έρευνα άλλης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται αρκετά αυξημένη, ενώ σε σύγκριση με έρευνα άλλης περιόδου (Νοέμβριος 2011) παρουσιάζει μικρή ελάττωση. Οι διαφορές αυτές παρατηρήθηκε ότι οφείλεται στην άμεση σχέση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών με τη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Durfur & Becker. 1964, Fuhriman *et al.* 1981).

Διάγραμμα 3.1: Ιστόγραμμα διακύμανσης των τιμών TDS.

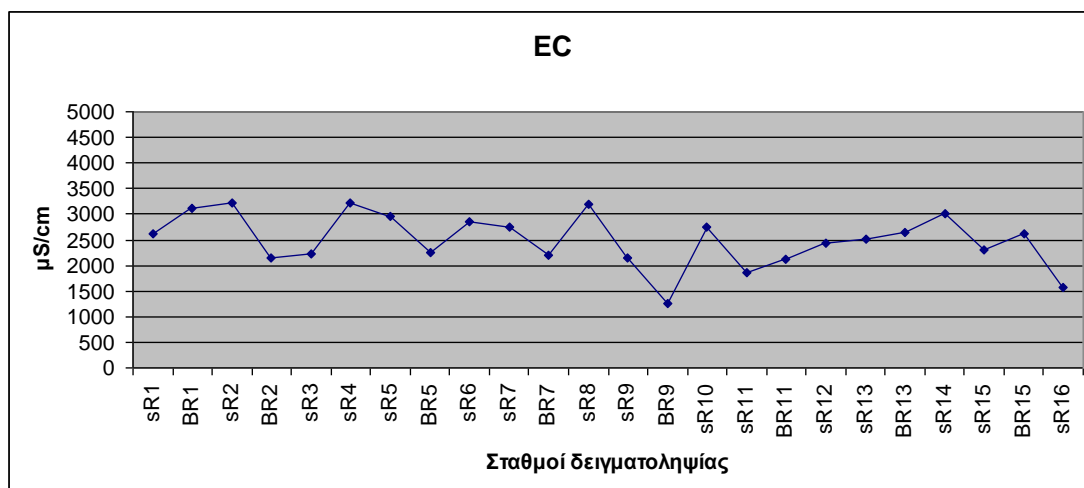


3.6.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα [Electrical Conductivity – (EC)]

Στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υδάτων της λίμνης Κάρλα. Η διακύμανση των τιμών κυμαίνεται από 1260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στον σταθμό BR9 έως 3232 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στον σταθμό sR2.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τη λίμνη Κάρλα είναι κατά πολύ υψηλότερη των αντίστοιχων τιμών στις λίμνες Τριχωνίδα, Μικρή Πρέσπα, Μεγάλη Πρέσπα, Καστοριάς, Αμβρακία, Maggiore, Lonar και Pandoh. Μικρότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζει σε σχέση με τη λίμνη Miquelon (Πιν. 3.6). Τέλος, βάση της οδηγίας 98/83/ΕΕ, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ξεπερνούν σε ποσοστό έως 800 % περίπου το ανώτατο όριο (Smart 1992, Hayashi 2004). Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την παρούσα μελέτη (Μάρτιος 2012) παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με παρόμοια έρευνα άλλης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα και αρκετά μειωμένη σε σχέση με μελέτη άλλης περιόδου (Νοέμβριος 2011).

Διάγραμμα 3.2: Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

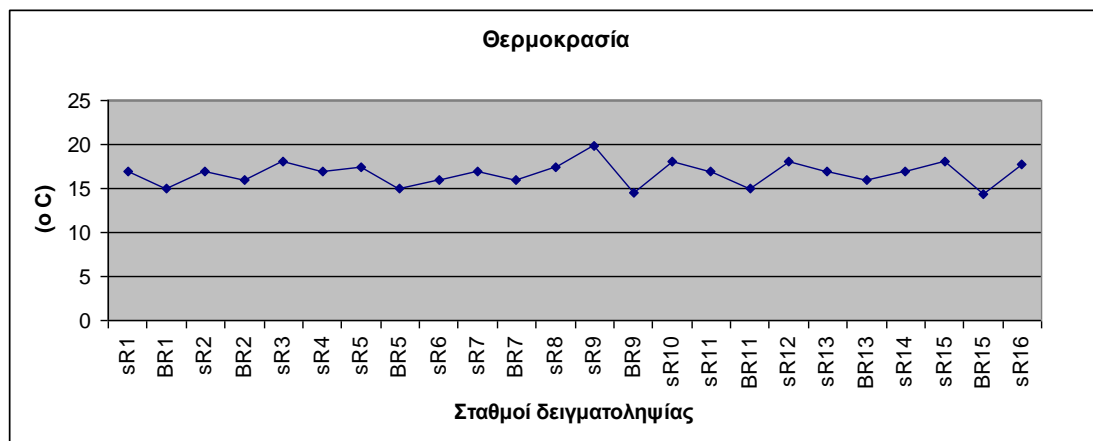


3.6.5 Θερμοκρασία

Η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας στους δειγματοληπτικούς σταθμούς στη λίμνη Κάρλα φαίνεται στο διάγραμμα 3.3. Η ελάχιστη τιμή της διακύμανσης ήταν 14,3 °C στον σταθμό BR15, με τη μέγιστη τιμή να είναι 19,9 °C στον σταθμό sR9.

Η θερμοκρασία του νερού στη λίμνη Κάρλα παρουσιάζεται χαμηλότερη σε σχέση με θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις λίμνες Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα, Παμβώτιδα και μεγαλύτερη από τις λίμνες Τριχωνίδα, Καστοριάς και Αμβρακία (Πιν. 3.6). Η σύγκριση της τιμής της θερμοκρασίας στην παρούσα μελέτη (Μάρτιος 2012) σε σχέση με παρόμοια έρευνα άλλης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα φαίνεται μειωμένη. Η διαφοροποίηση αυτή εξηγείται από την έντονη ηλιοφάνειας, η οποία ωστόσο ήταν λογική για τα δεδομένα της εποχής της άλλης έρευνας (Ιούλιος 2011), που είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη θερμοκρασία την περίοδο της δειγματοληψίας. Ακόμη σε σύγκριση με τα αποτελέσματα άλλης περιόδου (Νοέμβριος 2011) παρατηρείται πως οι τιμές είναι ελάχιστα υψηλότερες, με τη μικρή διαφορά να αποδίδεται στις χαμηλές τιμές θερμοκρασίας για την εποχή που επικρατούσαν στην περιοχή την περίοδο της δειγματοληψίας (Μάρτιος 2012).

Διάγραμμα 3.3: Διακύμανση θερμοκρασίας

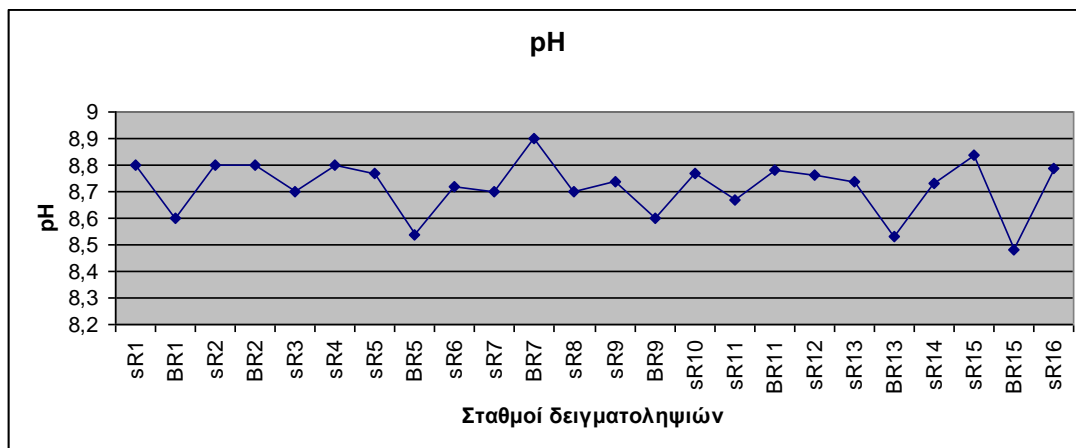


3.6.6 pH

Στο διάγραμμα 3.4 παρατίθεται η διακύμανση των τιμών του pH στους δειγματοληπτικούς σταθμούς της λίμνης Κάρλα. Η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή ήταν 8,9 στον σταθμό BR7, με την ελάχιστη να έχει καταγραφεί στον σταθμό BR15 (8,48).

Η σύγκριση των τιμών του pH της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με έρευνες άλλων περιόδων (Ιούλιος 2011) (Νοέμβριος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει μια μικρή αύξηση. Η τιμή του pH για τη λίμνη Κάρλα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τις λίμνες Μεγάλη και Μικρή Πρέσπα, Τριχονίδα, Κορωνίδα, Βιστονίδα, Καστοριάς, Παμβώτιδας, Δοϊράνη, Αμβρακία, Maggiore και Pandoh και μικρότερη σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για τις λίμνες Miquelon, Lonar (Πιν. 3.6).

Διάγραμμα 3.4: Διακύμανση τιμών του pH.

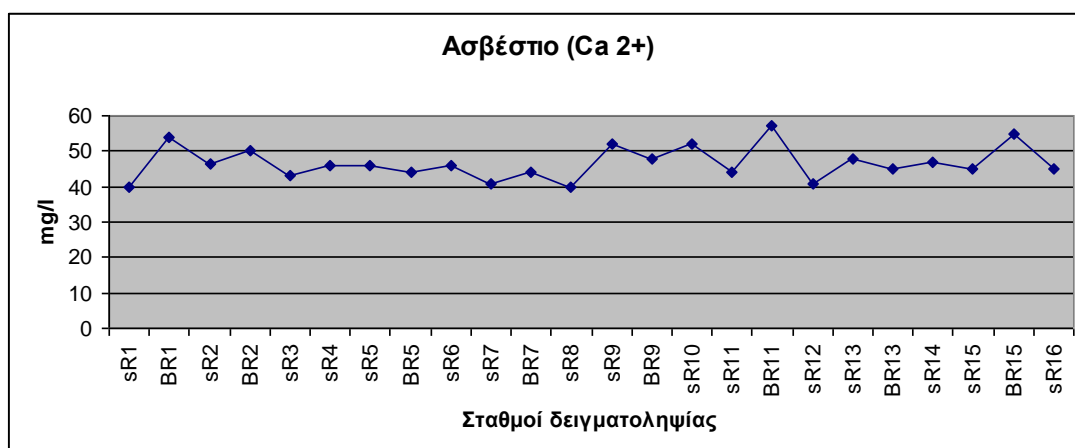


3.6.7 Ασβέστιο (Ca^{+2})

Στο διάγραμμα 3.5 παρουσιάζεται διαγραμματικά η διακύμανση των τιμών του Ca^{+2} . Η ανώτερη τιμή είναι 57 mg/l και εμφανίζεται στον σταθμό BR11, με την κατώτερη να είναι 40 mg/l στον σταθμό sR8 και sR1.

Παρατηρείται μια σχετικά μεγάλη διακύμανση των τιμών ασβεστίου. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6, προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει και υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης από τις λίμνες Pandoh, Miquelon, Lonar, Maurepas και Maggiore. Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου είναι πολύ χαμηλότερη (ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων) σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με έρευνες άλλων περιόδων (Νοέμβριος 2011, Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει πτώση αυτής. Η προέλευση των ιόντων ασβεστίου πιθανότατα οφείλεται στις έντονες διεργασίες αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών Ασβεστίτη (CaCO_3) και Δολομίτη [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής που διενεργούνται κατά τη χειμερινή περίοδο λόγω των κατακρημνισμάτων (WHO 2009, Roche 1975).

Διάγραμμα 3.5: Παρουσίαση διαγραμματικά της διακύμανσης των τιμών Ca^{+2} .

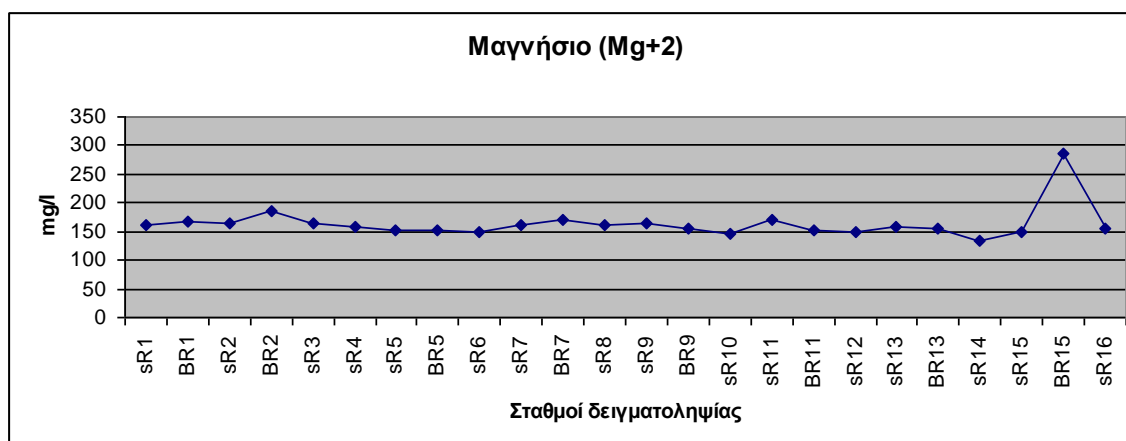


3.6.8 Μαγνήσιο (Mg^{+2})

Στο διάγραμμα 3.6 παρουσιάζεται η διαγραμματική διακύμανση των τιμών του μαγνησίου (Mg^{+2}). Η ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή είναι 134 mg/l στο σταθμό sR14 και η μέγιστη 287 mg/l στον σταθμό BR15.

Γενικά παρατηρείται μικρή σχετικά διακύμανση των τιμών του μαγνησίου. 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. Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου παρουσιάζεται υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων, σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/ΕΕ. Η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με παρόμοιες έρευνες άλλων περιόδων (Νοέμβριος 2011, Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει σχετική πτώση. Η παρουσία των ιόντων μαγνησίου οφείλεται στις διεργασίες αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών Ασβεστίτη (CaCO_3) και Δολομίτη [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής (Swanson & Zurawell, 2006).

Διάγραμμα 3.6: Διαγραμματική απεικόνιση διακύμανσης τιμών μαγνησίου (Mg^{+2}).

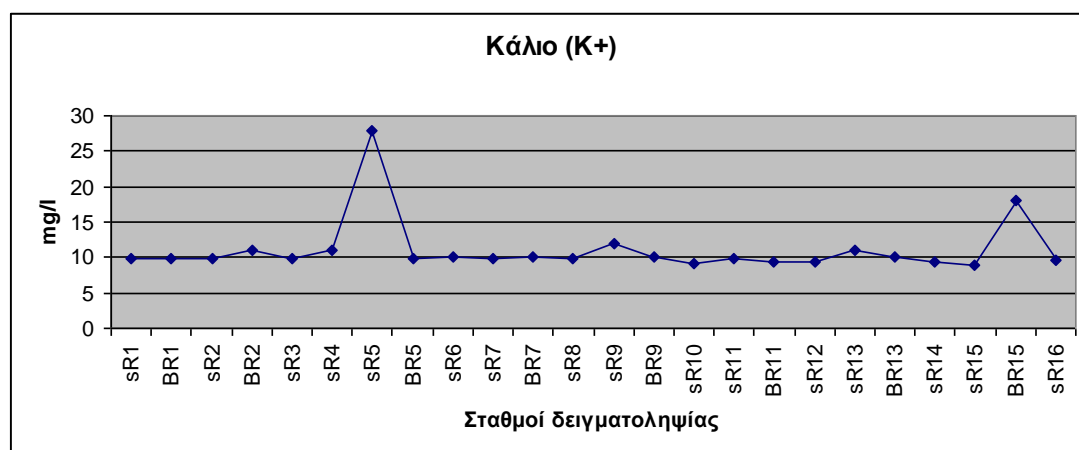


3.6.9 Κάλιο (K^+)

Στο διάγραμμα 3.7 απεικονίζεται η διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στον σταθμό sR5 (28 mg/l) και η χαμηλότερη στον σταθμό sR15 (8,8 mg/l).

Γενικά δεν παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του καλίου. Από την σύγκριση των τιμών του Πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με της λίμνης Miquelon, ενώ αντίθετα παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Maurepas, Maggiore και Pandoh. Όσο αφορά τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/ΕΕ, η συγκέντρωση των ιόντων καλίου παρουσιάζεται χαμηλότερες σε ποσοστό 99 % επί των δειγμάτων. Η συγκέντρωση των ιόντων καλίου της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με έρευνες άλλων περιόδων (Ιούλιος 2011, Νοέμβριος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει μείωση. Η παρουσία των ιόντων καλίου πιθανόν να οφείλεται στη διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Συλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO₄) των γεολογικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης (Clifford & Callinan, 2001, Ferrell & Brooks. 1970)

Διάγραμμα 3.7: Απεικόνιση διακύμανσης τιμών συγκέντρωσης ιόντων καλίου (K⁺)

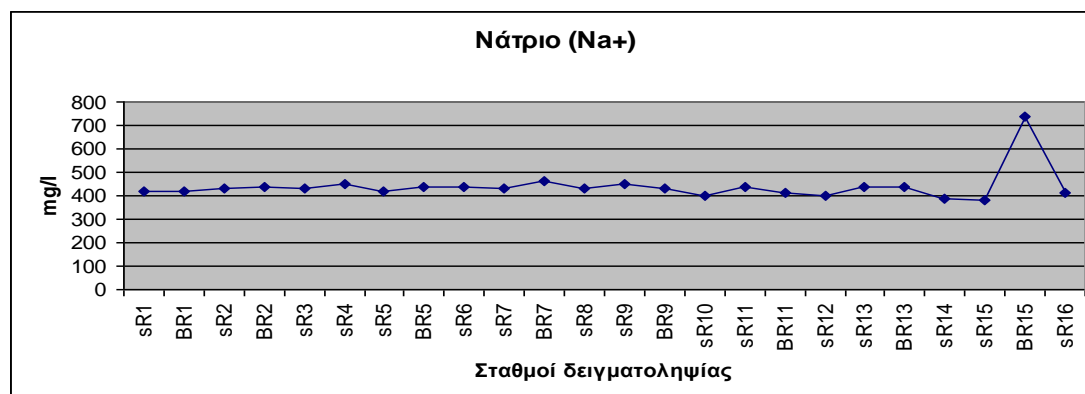


3.6.10 Νάτριο (Na⁺)

Στο διάγραμμα 3.8 απεικονίζεται η διακύμανση της κατανομής της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου, η οποία κυμαίνεται από 380 mg/l στον σταθμό sR15 έως 740 mg/l στον σταθμό BR15.

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 εμφανίζει αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις λίμνες Miquelon και Lonar ενώ αντίθετα παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Maurepas, Maggiore, και Pandoh. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με αποτελέσματα ερευνών άλλων περιόδων (Ιούλιος 2011, Νοέμβριος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει μια μείωση σε σχέση και με τις δύο, με την ανώτατη καταμετρηθήσα τιμή της παρούσας μελέτης να είναι αρκετά κοντά με την ανώτατη της μελέτης του Ιουλίου. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/ΕΕ, η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η έντονη παρουσία των ιόντων νατρίου οφείλεται πιθανόν στην εκτεταμένη 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 καθώς και από την εισχώρηση του θαλασσιού ύδατος στην ενδοχώρα. Σε μικρότερο βαθμό η παρουσία ιόντων νατρίου είναι πιθανόν να οφείλεται και σε οικιακά απόβλητα (π.χ. αεροζόλ) τα οποία φτάνουν στη λίμνη μέσω απορροής των επιφανειακών υδάτων (Swanson & Zurawell, 2006, Mohamed & Mohamed, 2005).

Διάγραμμα 3.8: Απεικόνιση της διακύμανσης της κατανομής της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου (Na^+).



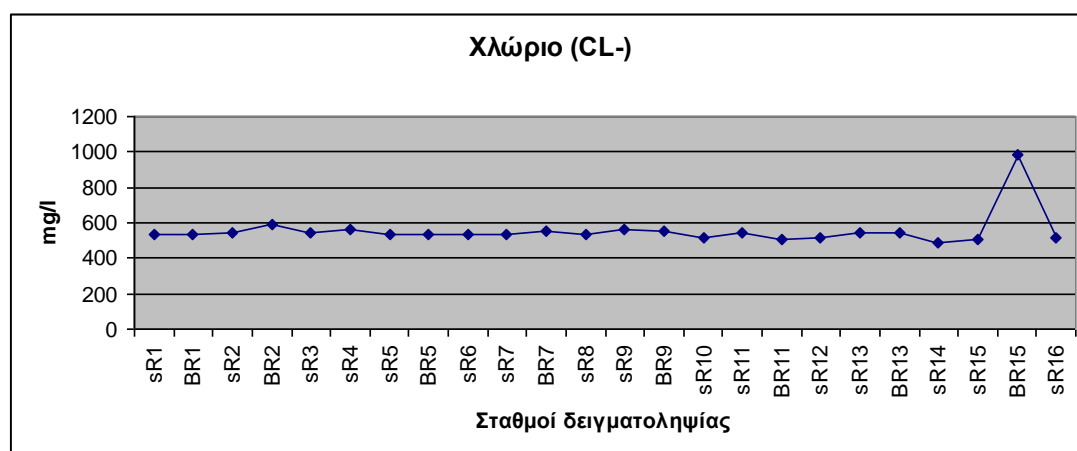
3.6.11 Χλώριο (Cl^-)

Στο διάγραμμα 3.9 απεικονίζεται η διακύμανση της κατανομής της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου. Η κατανομή κυμαίνεται από 491 mg/l στο σταθμό sR14 έως 987 mg/l στο σταθμό BR15.

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, Τριγωνίδα, Μικρή Πρέσπα, Βιστονίδα, Μεγάλη Πρέσπα, Καστοριάς, Δοϊράνη, Αμβρακία, Miquelon, Maggiore και Pandoh ενώ παρουσιάζει μικρότερη συγκέντρωση από τη λίμνη Lonar. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/EE η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η σύγκριση της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) σε σχέση με παρόμοιες έρευνες άλλων περιόδων (Ιούλιος 2011, Νοέμβριος 2011) για την λίμνη Κάρλα παρουσιάζει σημαντική μείωση. Η παρουσία των ιόντων χλωρίου οφείλεται τόσο στη πιθανή διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Συλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO_4) όπως, επίσης και σε διαλυμένα άλατα

ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων προερχόμενα από το Αιγαίο Πέλαγος όσο και από την εισχώρηση του θαλασσίου ύδατος στην ενδοχώρα. Η παρουσία ιόντων χλωρίου είναι πιθανό να οφείλεται σε μικρότερο βαθμό και σε οικιακά απόβλητα (π.χ. αεροζόλ) τα οποία φτάνουν στη λίμνη μέσω της απορροής των επιφανειακών υδάτων (Boari *et al.*, 1997).

Διάγραμμα 3.9: Απεικόνιση διακύμανσης της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου (Cl⁻).



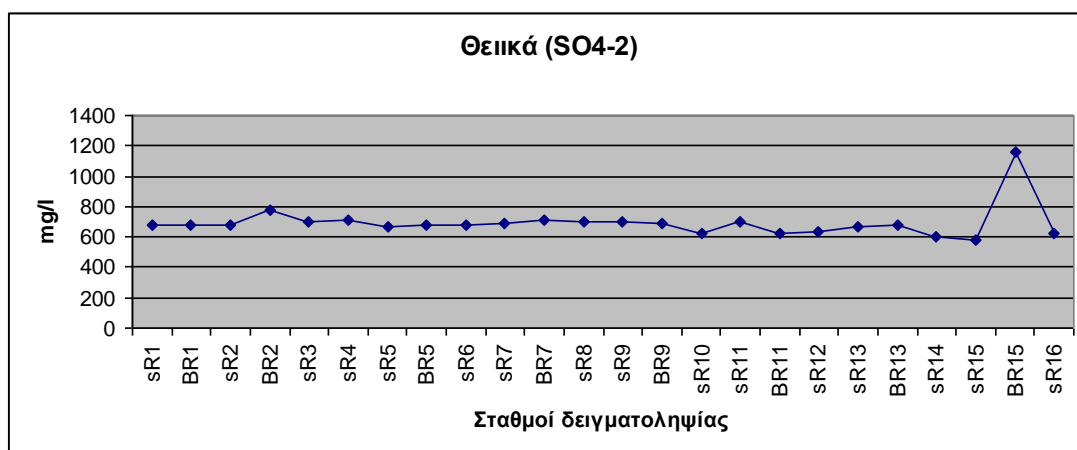
3.6.12 Θειικά (SO₄⁻²)

Στο διάγραμμα 3.10 παρουσιάζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης των θειικών ιόντων, η οποία κυμαίνεται από 582 mg/l στο σταθμό sR15, έως 1163 mg/l στο σταθμό BR15.

Γενικά παρατηρείται μικρή διακύμανση των τιμών των θειικών, 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, και Τριγωνίδα. Σε σχέση με τις παραμετρικές τιμές της Οδηγίας 98/83/EE η συγκέντρωση των θειικών παρουσιάζεται πολύ υψηλότερη σε

ποσοστό 100 % επί των δειγμάτων. Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων της παρούσας μελέτης (Μάρτιος 2012) είναι αυξημένη σε σχέση με έρευνα άλλης περιόδου (Ιούλιος 2011) και μειωμένη με έρευνα άλλης περιόδου (Νοέμβριος 2011) για την λίμνη Κάρλα, με τις τιμές τους να μην εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση. Η παρουσία θεικών ιόντων πιθανόν να οφείλεται στην εκτεταμένη διάλυση των ορυκτών Αλίτη (NaCl), Σουλβίνη (KCl) και Ανυδρίτη (CaSO₄). Γενικότερα, η προέλευση των θεικών ιόντων πιθανόν να οφείλεται στις αγροτικές αρδεύσεις και τα γεωργικά λιπάσματα πλούσια σε θεικές ενώσεις. Η παρουσία θεικών ιόντων στα φυσικά νερά εμφανίζει μεγάλες αυξομειώσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται, καθώς και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο έλεγχος τους στο νερό έχει μεγάλη σημασία γιατί διαπιστώθηκε πως τα θεικά άλατα (τόσο του ασβεστίου όσο και του μαγνησίου) έχουν καθαριστική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, για 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).

Διάγραμμα 3.10: Απεικόνιση διακύμανσης της συγκέντρωσης θεικών ιόντων (SO₄⁻²).

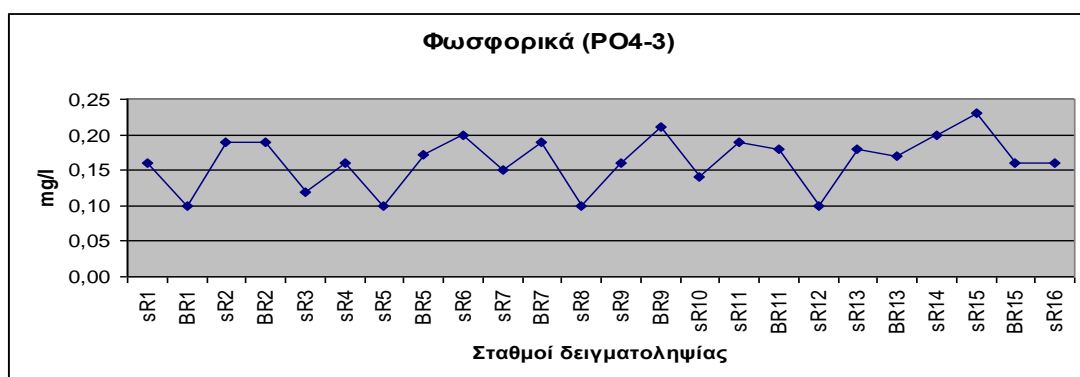


3.6.13 Φωσφορικά (PO_4^{-3})

Στο διάγραμμα 3.11 απεικονίζεται η διακύμανση που παρουσιάζει η συγκέντρωση των φωσφορικών στη λίμνη Κάρλα. Η κατώτερη τιμή της διακύμανσης είναι 0,10 mg/l και παρουσιάζεται στους σταθμούς BR1, sR5, sR8 και sR12, ενώ η ανώτερη τιμή είναι 0,23 mg/l στον σταθμό sR15.

Στο διάγραμμα παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των τιμών των φωσφορικών. Από τη σύγκριση των τιμών του πίνακα 3.6 προκύπτει για ότι η λίμνη Κάρλα εμφανίζει χαμηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις λίμνες Pandoh και Lonar. Ακόμη η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στην παρούσα μελέτη (Μάρτιος 2012) σε σχέση με έρευνα άλλης περιόδου (Ιούλιος 2011) για την λίμνη Κάρλα είναι αρκετά μειωμένη. Αντίθετα τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά στις τιμές με τα αποτελέσματα έρευνας άλλης περιόδου (Νοέμβριος 2011) στη λίμνη Κάρλα. Η μείωση αυτή πιθανόν να οφείλεται στη δραστική μείωση της χρήσης γεωργικών λιπασμάτων που είναι πλούσια σε φωσφορικές ενώσεις. Σύμφωνα με τους Smith (1982) και Legman *et al.* (1975), η προέλευση των φωσφορικών ιόντων είναι αρκετά πιθανόν να οφείλεται στη μη-σημειακή ρύπανση από λιπάσματα πλούσια σε φωσφορικά άλατα και σε φυτοφάρμακα, που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού στα επιφανειακά νερά.

Διάγραμμα 3.11: Απεικόνιση διακύμανσης τη συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων (PO_4^{-3}).

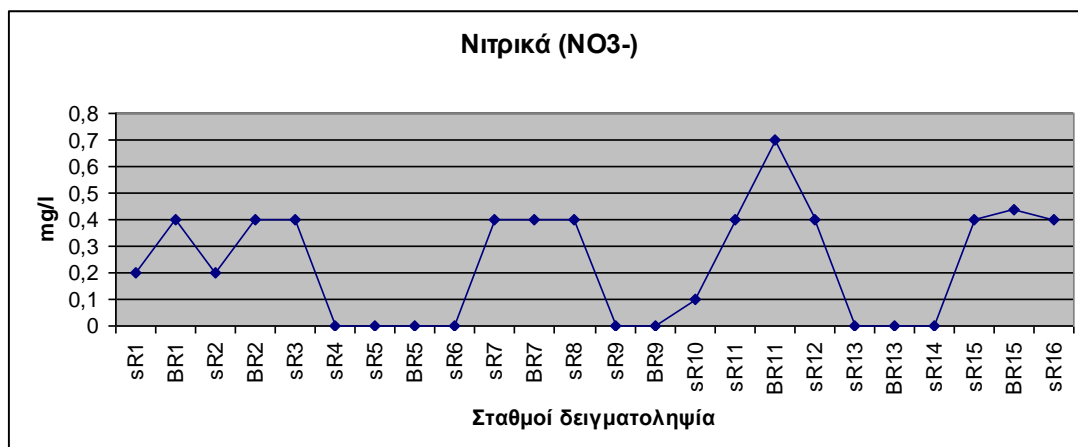


3.6.14 Νιτρικά (NO₃⁻)

Στο διάγραμμα 3.12 απεικονίζεται η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στη λίμνη Κάρλα, η οποία κυμαίνεται από 0 mg/l στους σταθμούς sR4, sR5, BR5, sR6, sR9, BR9, sR13, BR13 και sR14 έως 0,7 mg/l BR11.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων στη λίμνη Κάρλα είναι αρκετά μικρότερες των αντίστοιχων τιμών των λιμνών Τριχωνίδα, Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα, Καστοριάς, Maggiore και Lonar. Ακόμη από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, παρατηρείται ανυπαρξία φαινομένων νιτρορύπανσης στον υδάτινο όγκο της λίμνης Κάρλα (Μυριούνης 2002).

Διάγραμμα 3.12: Απεικόνιση συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO₃⁻) στη λίμνη Κάρλα.



3.6.15 Ιζήματα

Παρουσίαση αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων ιζήματος

Στον πίνακα 3.11 φαίνονται οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων ιζήματος της παρούσας έρευνας. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 24,55 έως 70,24 ppm, με τις συγκεντρώσεις ολικού αζώτου να παρουσιάζουν εύρος από 2480 έως 5154 ppm. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε οργανική ουσία κυμαίνεται σε ποσοστό από 1,78% στο δείγμα R11 έως

4,71% στο σημείο R1. Ακόμη, η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ολικό άνθρακα κυμαίνεται σε ποσοστό από 1,18% στο δείγμα R14 έως 2,79% στο δείγμα R3, ενώ του οργανικού άνθρακα κυμαίνεται από 0,27% στο δείγμα R11 έως 2,19% στο δείγμα R12.

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. Κατά τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης το χαμηλότερο ποσοστό άμμου ήταν 18,76% στο σημείο R4 με το υψηλότερο να είναι 53,36% στο σημείο R2. Το ποσοστό αργίλου κυμάνθηκε από 36,32% στο σημείο R2 έως 53,84% στο σημείο R6, αντίστοιχα το ποσοστό ιλύος κυμάνθηκε από 2,64% στο σημείο R9 έως 28,76% στο σημείο R5.

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα αναλύσεων ιζημάτων των 16 σημείων δειγματοληψίας.

Λίμνη Κάρλα		Διαθέσιμος Φώσφορος (P) ppm(μg/g)	Ολικό Άζωτο (N) ppm(μg/g)	Οργανική ουσία %	Ολικός Άνθρακας %	Οργανικός Άνθρακας %	Μηχανική σύσταση			Χαρακτηρισμός
a/a	Δείγμα						Άμμος (%)	Άργιλος (%)	Ιλύς (%)	
1	R1	35,56	4670	4,71	1,35	1,65	42,44	48,92	8,64	Αμμοαργιλώδες
2	R2	35,28	3760	3,71	1,77	1,2	53,36	36,32	10,32	Αμμοαργιλοπηλώδες
3	R3	25,54	3550	2,37	2,79	0,62	41,96	43,4	14,7	Αργιλώδες
4	R4	24,55	3230	2,06	1,6	0,47	18,76	53,4	27,84	Αργιλώδες
5	R5	56,42	4320	4,63	1,31	1,08	25,76	45,68	28,76	Αργιλώδες
6	R6	37,54	4460	3,66	1,77	2,05	23,76	53,84	22,4	Αργιλώδες
7	R7	60,04	3790	2,91	1,32	1,09	41,44	42,48	16,08	Αργιλώδες
8	R8	70,24	3590	2,42	1,98	1,26	45,88	38,48	15,64	Αμμοαργιλώδες
9	R9	48,75	2560	4,22	1,75	1,13	47,6	49,76	2,64	Αργιλοαμμώδες
10	R10	49,22	2480	3,93	1,24	1,49	52,24	39,92	7,84	Αμμοαργιλώδες
11	R11	36,67	4940	1,78	1,65	0,27	34,76	51,44	13,8	Αργιλώδες
12	R12	64,35	4590	3,73	2,41	2,19	45,76	47,56	6,68	Αμμοαργιλώδες
13	R13	44,58	4540	2,62	1,25	1,41	46,4	46,56	7,04	Αμμοαργιλώδες
14	R14	45,23	3670	3,11	1,18	1,39	48,68	48,04	3,28	Αμμοαργιλώδες
15	R15	50,25	5154	2,16	1,34	1,32	50,68	45,04	4,28	Αμμοαργιλώδες
16	R16	26,56	4424	4,41	2,21	1,69	43,68	45,92	10,4	Αμμοαργιλώδες

Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων

Οι τιμές του διαθέσιμου φωσφόρου των ιζημάτων της λίμνης Κάρλα που προσδιορίστηκαν κατά τη συγκεκριμένη μελέτη συγκρινόμενες με τη τιμή συγκέντρωσης του κριτηρίου ποιότητας SEL παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις τόσο από τα κριτήρια ποιότητας LEL και SEL (Πιν. 3.12).

Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου είναι ένας από τους σημαντικότερους (αν όχι ο σημαντικότερος) παράγοντες για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού στις λίμνες, καθώς υψηλές του συγκεντρώσεις μπορεί να

οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες ωστόσο, ο φώσφορος μπορεί να απελευθερωθεί από το ιζήμα και να μεταβεί στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη σε διαλυμένη μορφή, με τη βιολογική δομή της λίμνης να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο (Søndergaard *et al.*, 2003). Κύριες πηγές εισόδου του φωσφόρου στις λίμνες είναι οι εξωτερικές σημειακές - βιομηχανικά και αστικά απόβλητα - και μη σημειακές, όπως βροχοπτώσεις, εκπλύσεις εδάφους και απορροές, με τις μη σημειακές να αποτελούν πλέον την κύρια πηγή εισόδου φωσφόρου στις λίμνες. Εξίσου σημαντικό ωστόσο ρόλο διαδραματίζουν και οι εσωτερικές πηγές φωσφόρου από το ίδιο το οικοσύστημα (βιολογική δραστηριότητα) (Kaiserli *et al.*, 2002) (Carpenter 2005). Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως το χαμηλό ποσοστό περιεκτικότητας του φωσφόρου στα ιζήματα, είναι πιθανό να οφείλεται τόσο στη χαμηλή συγκέντρωσή του στα εισρέοντα ύδατα, όσο και στην πολύ μικρή (χρονικά) βιοχημική δραστηριότητα.

Μια άλλη πιθανή αιτία των χαμηλών συγκεντρώσεων φωσφόρου είναι ότι η πολύ υψηλή και παρατεταμένη πρωτογενής παραγωγή που χαρακτηρίζει τη λίμνη Κάρλα (π.χ. Papadimitriou *et al.* 2013), καταναλώνει τον διαθέσιμο φώσφορο μην επιτρέποντας την αύξηση της συγκέντρωσής του στην υδάτινη στήλη.

Διαπιστώνεται επίσης συγκρίνοντας τις τιμές του διαλυμένου φωσφόρου στα ύδατα της λίμνης Κάρλα με εκείνη των ιζημάτων, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του διαθέσιμου φωσφόρου βρίσκεται δεσμευμένο στα ιζήματα, λειτουργώντας με αυτό τον τρόπο ως «φυσική αποθήκη». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι δυσμενείς επιπτώσεις στο λιμναίο περιβάλλον. Η ιδιότητα αυτή του ιζήματος να λειτουργεί ως «φυσική αποθήκη» είναι πολύ σημαντική, αφού μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης ευτροφικών φαινομένων, καθώς ο φώσφορος αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες εμφάνισης του φαινομένου.

Αυτό όμως δεν μπορεί να συμβαίνει καθώς η λίμνη έχει χαρακτηριστεί ως υπερεύτροφη βάσει των συγκεντρώσεων θρεπτικών αλάτων και χλωροφύλλης (Papadimitriou *et al.* 2013) αλλά και της φυτοπλαγκτικής κοινότητας της λίμνης Κάρλας (Oikonomou *et al.* 2012, Nikouli *et al.* 2013)

Αναφορικά με τις τιμές του ολικού αζώτου (TN), και τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου ποιότητας LEL, ενώ δύο εκ των δειγμάτων εμφανίζουν τιμές υψηλότερες (το ένα οριακά) από τη μέγιστη τιμή που ορίζεται από το κριτήριο ποιότητας SEL (Πιν. 3.12). Τα 14 ιζήματα των οποίων οι τιμές δεν υπερβαίνουν την τιμή του κριτηρίου SEL, θεωρούνται από μη ρυπασμένα έως και οριακά ρυπασμένα με το επίπεδο της ρύπανσης τους να είναι ανεκτό από την πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών. Αντίθετα, σύμφωνα με τους Bordovskiy (1965) και Hedges *et al.*, (1988) αναμένεται επιβλαβής επίδραση στην πλειονότητα των βενθικών οργανισμών στα δύο δείγματα ιζήματος των οποίων οι τιμές υπερβαίνουν το όριο που θέτει το κριτήριο SEL και τα ιζήματα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύ μολυσμένα στα σημεία αυτά.

Τέλος, όσο αφορά τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) και στα 16 δείγματα παρουσιάζονται συγκεντρώσεις υψηλότερες (οριακά) του κριτηρίου LEL και αρκετά χαμηλότερες του κριτηρίου SEL. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα έως οριακά ρυπασμένα, με το επίπεδο της ρύπανσης τους ωστόσο να είναι ανεκτό από την πλειονότητα των βενθικών οργανισμών (Sierpak 1999, Thurman 1986).

Πίνακας 3.12: Επίπεδα επίδρασης σύμφωνα με τις οδηγίες PSQGs

	Λίμνη Κάρλα	No Effect Level	Lowest Effect Level (LEL)	Severe Effect Level (SEL)
TOC (%) ⁽³⁾	1,27 (0,27- 2,19	– ⁽²⁾	1 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾
TN ⁽³⁾	3964,5 (2480– 5154)	–	550 ⁽¹⁾	4800 ⁽¹⁾
AP ⁽³⁾	44,75 (24,55- 70,24)	–	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 αξιολόγηση των συγκεντρώσεων των κύριων και βασικών ιόντων στα ύδατα, καθώς και των φωσφόρου και αζώτου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας είναι τα εξής:

1. Τα ύδατα της λίμνης Κάρλα χαρακτηρίζονται από υφάλμυρα έως αλμυρά λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , EC, TDS και αξιολογούνται ως ακατάλληλα για πόση.
2. Τα ύδατα της λίμνης Κάρλα δεν κρίνονται επιβαρυνμένα ή ακατάλληλα ως προς τις συγκεντρώσεις των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων για τη διαβίωση των ιχθύων της λίμνης.
3. Τα ύδατα της λίμνης Κάρλα κρίνονται κατάλληλα ως προς τις τιμές SAR, ωστόσο δεν προτείνεται η χρήση τους για άρδευση, λόγω των υψηλών έως πολύ υψηλών τιμών της αγωγιμότητάς τους, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν το σχηματισμό αλατούχων εδαφών.
4. Οι υψηλές τιμές του ολικού αζώτου και του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα σε σχέση με τις χαμηλές τιμές των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων στην υδάτινη στήλη δείχνουν ότι το ίζημα λειτουργεί ως μια «φυσική αποθήκη» των παραπάνω ιόντων, δεσμεύοντας τα με αποτέλεσμα την αποτροπή εμφάνισης των ευτροφικών φαινομένων.
5. Τέλος, η λίμνη Κάρλα συγκριτικά με άλλες λίμνες του ελλαδικού χώρου εμφανίζεται περισσότερο επιβαρυνμένη στις παραμέτρους που αναλύθηκαν

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Προτείνεται η συνεχής παρακολούθηση των στοιχείων και παραμέτρων που προκαλούν υποβάθμιση και ρύπανση στη λίμνη Κάρλα,
2. πραγματοποίηση έρευνας της λίμνης σε συνεργασία με την τοπική αυτοδιοίκηση και άλλους επιστημονικούς κλάδους,
3. εφαρμογή περιβαλλοντικών προγραμμάτων με στόχο τη βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης της λίμνης.

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. (2012). Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων, άζωτο και φώσφορος στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος.
- Κουϊμτζής Θ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., Φυτιανός Κ., Βουτσά Δ. (2004). Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος. University studio press, 244-245.
- 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.
- Λυκάκης Σ. (1992). Υδροβιολογία, θαλάσσια βιολογία και στοιχεία λιμνολογίας. Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα, 380.
- Λυκάκης Σ. (1996). Οικολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα, 3 3.
- Μουντράκης Δ. (1985) Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ 98-108
- Μπελλος Δ. (2004) Συγκέντρωση Θρεπτικών Στοιχείων – Βαρέων Μετάλλων και Ραδιοκαϊσίου στο Νερό – Ίζημα και Υδρόβια Φυτά του Ποταμού Πηνειού, 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 διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 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, 199-249.
- Σούλιος, Γ., 2006. Γενική Υδρογεωλογία, Τέταρτος Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- 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.
- Τσιραμπής Α. (2002) Πετρολογία ιζηματογενών πετρωμάτων. Πανεπιστημιακές εκδόσεις, Θεσσαλονίκη, 2, 71-160.
- 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. 22-59.
- Ananiadis C.I. (1956) Limnological study of Lake Karla. Bulletin de l' Institut Oceanographique 1083: 1-19
- 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, 1736–1747
- Burger F.& Čelková A. (2003). Salinity and sodicity hazard in water flow processes in the soil. Plant, Soil and Environment 49 , (7): 314–320
- 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.
- 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.

Stephen R. Carpenter (2005) Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. PNAS 102, 10002–10005.

Clifford W., Callinan P.E. (2001) Water Quality Study of the Finger Lakes. DEC. New York. 72-148.

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, 6-42

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

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, 19, 75-81. Pergamon Press. Printed in Great Britain.

Fuhriman, D.K., L.B. Merritt, A.W. Miller, and H.S. Stock. 1981. Hydrology and water quality of Utah Lake. Great Basin naturalist Memoirs, No.5: Utah Lake Monograph. Provo, UT: Brigham Young University. 169.

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., Przystalski, A., Rusanen, T., Sakellaris, G., Torgersen, H., Twardowski, T., and Wagner, W. (2000) Biotechnology and the European public. Nature Biotechnology, 18(9), 935-938

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.

Kaiserli A., Voutsas D., Samara C. (2002). Phosphorus fractionation in lake sediments – Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Chemosphere. 46, (8), 1147–1155

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.
- Nikouli E, Kormas KA, Berillis P, Karayanni H, Moustaka-Gouni M (2013) Harmful and parasitic unicellular eukaryotes persist in a shallow lake under reconstruction (L. Karla, Greece). *Hydrobiologia* 718:73-83
- Oikonomou A, Katsiapi M, Karayanni H, Moustaka-Gouni M, Kormas KA (2012) Plankton microorganisms coinciding with two consecutive mass fish kills in a newly reconstructed lake. *TheScientificWorldJournal*, Article ID 504135, DOI:10.1100/2012/504135
- Olien R. (2005) What is water. Capstone Press, U.S.A., pp 4-6
- Papadimitriou Th, Katsiapi M, Kormas KA, Moustaka-Gouni M, Kagalou I (2013) Artificially-born "killer" lake: phytoplankton based water quality and microcystin affected fish in a reconstructed lake. *Sci. Tot. Environ.* 452-453:116-124
- Parsons S., Jefferson B. (2006). Introduction to potable water treatment process. Blackwell Publishing Ltd, U.K., 1-14.
- 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.
- 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.
- Søndergaard M. (1988) Seasonal variations in the loosely sorbed phosphorus fraction of the sediment of a shallow and hypereutrophic lake. *Environ. Geol. Water Sci.* 11, No. 1: 115-121

- Søndergaard M., Jensen J. P., Jeppesen E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506–509:135–145, Kluwer Academic Publishers.
- 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*. 251, 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. 82-152.
- 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

http1: <http://www.geo.auth.gr/763/ch9.htm>

http 2: <http://www.ypan.gr>

http 3: www.hnms.gr/hnms/greek/index_html

http 4: <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e07.htm>

http 5: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00506.html>

6. ABSTRACT

Distribution of the main and basic ions in colon water and N and P in sediments of lake Karla.

The aim of the present graduation thesis was the determination and the evaluation of concentration of the main and basic ions in water of lake Karla (Thessaly) so that are exported notably conclusions on the likely pollution of study region, as well as their likely origin. Also, one more objective was the determination of the ions availability and also their likely repercussions in the aquatic organisms.

For this study, a number of sixteen sampling stations were selected and twenty-four samples of water and sixteen of sediment were collected. The choice of the samplings stations sites was conducted by mapping out six corridors which started from the deepest point of the lake and ended up in surface water inflow points around the lake. The collected samples of water and sediment were analyzed for the determination and calculation of the concentrations of K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , PO_4^{-3} , the SO_4^{-2} ions and also the stockings of Nitrogen (N) and Phosphor (P) in the samples of water and sediment respectively.

The determination of concentration of ions K^+ , Na^+ was conducted 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 the Agricultural Sciences Faculty of University of Thessaly. According to the results of the water samples that were analyzed, the breadth of prices for the temperature, the conductivity, the pH and TDS, was 14,3 – 19,9 °C, 1260 - 3232 $\mu S/cm$, 8,5 – 8,9 και

2411,2 – 3372,8 ppm, respectively. The concentrations of 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. In accordance to the prices of water hardness, the water of the lake Karla is classified in the category of hard water. Furthermore, based on internationally certified criteria, the lake water as long as it regards the conditions of fish growing or may grow in salmonid waters and cyprinid was inappropriate as to their concentrations in phosphate, unsuitable to drink due to the prices of conductivity, TDS, total hardness and the concentrations of magnesium sodium and sulphates ions, bicarbonates and chloroionta, and also as unsuitable for irrigation due to the conductivity value. The origins of main and basic ions of waters of lake, were traced at the rocks and mining that are encountered in the wider region.

According to the results of the sediment samples analysis, the mechanical composition of the majority of sediment is classified as clayey. Also, the breadth of prices for the concentrations in nitrogen, phosphor and organic substance was 2480-5154 µg/g, 23,45–72,24 µg/g και 1,78–4,71 %, respectively. Compared to the internationally certified criteria, the sediments of Lake Karla are not expected to have any 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. Comparative presentation of prices of sediment samples with other lakes of Greece and internationally 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 owed to anthropogenic activities as fertilization, waste etc.

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

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