

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

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

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

**Γρηγόριος Λιάπης**

**ΒΟΛΟΣ 2011**

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

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :**

- 1) **Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Λέκτορας, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) **Δημήτριος Βαφείδης**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπόνδυλων και άμεση – έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**,
- 3) **Ιφιγένεια Κάγκαλου**, Επίκουρη Καθηγήτρια, Υδρολογία, Λιμνολογία και Ποταμολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

*Στους γονείς μου*

*και την αδερφή μου.*



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα, Λέκτορα, για την πολύτιμη βοήθεια και τη διαρκή υποστήριξη του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς επίσης και τα άλλα δυο μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής, κ. Δημήτριο Βαφείδη, Αναπληρωτή Καθηγητή και κα Ιφιγένεια Κάγκαλου, Επίκουρη Καθηγήτρια, για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κυρίους Γεώργιο Στεργίου και Θεόδωρο Μπαρά για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά τους κατά τη διάρκεια του πειράματος και της συγγραφής της εργασίας αντίστοιχα, τον κ. Γρηγόριο Λιάπη για τη συμπαράσταση του καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών καθώς και την κα Αικατερίνη Μόλλα, για την σημαντική συνεισφορά της στη διεξαγωγή του πειράματος και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

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

Η υπό ανασύσταση λίμνη Κάρλα βρίσκεται κοντά στο χωριό Κανάλια, της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας, της Περιφέρειας Θεσσαλίας και έχει εμβαδόν περίπου 38.000 στρέμματα, καταλαμβάνοντας το χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλα. Η λεκάνη απορροής της συνιστά υπολεκάνη της ευρύτερης λεκάνης της ανατολικής Θεσσαλίας, καλύπτοντας το νοτιοανατολικό άκρο αυτής.

Η λίμνη Κάρλα αποτελώντας ένα λιμναίο οικοσύστημα, δέχεται σημαντικές επιδράσεις στην παραγωγική διαδικασία της τροφικής αλυσίδας από διάφορους παράγοντες όπως η προσφορά σε θρεπτικά συστατικά (ενώσεις P,C,N,S και Si), τα οποία λαμβάνουν μέρος στις λειτουργικές διαδικασίες των ζώντων οργανισμών. Ιδιαίτερος ο φώσφορος και το άζωτο, τα οποία εμφανίζονται στα ιζήματα και τα νερά σε μικρές συγκεντρώσεις (αποτελώντας περιοριστικούς παράγοντες), μπορούν μέσω της αύξησης των συγκεντρώσεών τους να ανατρέψουν τη φυσιολογική ροή της τροφικής αλυσίδας ενός οικοσυστήματος, προκαλώντας αλυσιδωτές αντιδράσεις. Αυτές δύναται να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η ρύπανση, η περιβαλλοντική υποβάθμιση και ο ευτροφισμός.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός και η κατανομή των σημαντικών αβιοτικών παραμέτρων της λίμνης, με βασικότερες τις συγκεντρώσεις των κύριων και βασικών ιόντων των υδάτων και του ολικού αζώτου, διαθέσιμου φωσφόρου, ολικού οργανικού άνθρακα, ολικού άνθρακα, οργανικής ουσίας και μηχανικής σύστασης του ιζήματος της λίμνης. Σκοπός επίσης είναι ο προσδιορισμός των πηγών προέλευσης των παραπάνω παραμέτρων και των επιπέδων ρύπανσης, αλλά και οι πιθανές προτάσεις και λύσεις στην κατεύθυνση της βελτίωσης του πιθανώς υποβαθμισμένου οικοσυστήματος της λίμνης.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το δεύτερο μισό του μήνα Ιουνίου του 2010. Χαράχθηκαν έξι διαδρομές με σημεία εκκίνησης έξι σημεία εισροής υδάτων περιμετρικά της λίμνης και κοινό σημείο κατάληξης το βαθύτερο σημείο της λίμνης. Κατά μήκος των διαδρομών αυτών και με γνώμονα το βάθος αλλά και την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη δειγματοληψία, επιλέχθηκαν δέκα έξι σταθμοί δειγματοληψίας (P1-P16). Χρησιμοποιήθηκε πλωτό μέσο (βάρκα) και με τη βοήθεια φορητών συσκευών μετρήθηκε η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα, το pH και το TDS. Με την ολοκλήρωση του σταδίου της δειγματοληψίας ακολούθησε το εργαστηριακό στάδιο το οποίο αφορούσε τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωχημείας, 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 18,4-21,2 °C, 3100-3910  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 7,6-8,5 και 1924-2000 ppm, αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις σε κύρια και βασικά ιόντα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ο επικρατών τύπος νερού της λίμνης είναι ο Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>. Η αποτύπωση των συγκεντρώσεων αυτών σε διάγραμμα Piper, έδειξε ότι τα νερά βρίσκονται εντός των ορίων της περιοχής των αλμυρών υδάτων. Σύμφωνα με τις τιμές της σκληρότητας τα νερά κατατάσσονται στην κατηγορία των σκληρών νερών. Επίσης, σύμφωνα με τα διεθνώς πιστοποιημένα κριτήρια, το νερό της λίμνης κρίθηκε ακατάλληλο για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν σε ύδατα σαλμονιδών ή κυπρινιδών ως προς τη συγκέντρωση που παρουσιάζει σε φωσφορικά ιόντα, ακατάλληλο για πόση ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας, του TDS, της ολικής σκληρότητας και των συγκεντρώσεων σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου και θειικά, όξινα ανθρακικά και χλωροϊόντα, καθώς και ακατάλληλο για άρδευση ως προς την τιμή της

αγωγιμότητας, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Ως πηγές προέλευσης των κύριων και βασικών ιόντων των υδάτων της λίμνης, χαρακτηρίστηκαν τα πετρώματα και ορυκτά που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή αυτής, καθώς επίσης και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η εισχώρηση του θαλάσσιου ύδατος στην ενδοχώρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων ιζήματος, τα ιζήματα χαρακτηρίστηκαν στην πλειοψηφία τους αργιλώδη ως προς τη μηχανική τους σύσταση. Επίσης, το εύρος τιμών για τις συγκεντρώσεις σε άζωτο, φώσφορο, ολικό οργανικό άνθρακα, ολικό άνθρακα και οργανική ουσία ήταν 2300-6000 μg/g, 16,3-87,7 μg/g, 0,27-2,09 %, 0,35-2,71 % και 0,6-4,7 %, αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα διεθνώς πιστοποιημένα κριτήρια, τα ιζήματα της λίμνης Κάρλα δεν αναμένεται να έχουν δυσμενείς επιδράσεις σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς, ως προς τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου. Αντιθέτως, κρίνονται από οριακά έως πολύ ρυπασμένα ως προς τις συγκεντρώσεις του αζώτου, του ολικού οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας. Η συγκριτική παρουσίαση των τιμών για τα δείγματα ιζήματος με άλλες λίμνες του ελλαδικού και διεθνούς χώρου, δείχνει υψηλότερες τιμές αζώτου και χαμηλότερες τιμές φωσφόρου. Οι υψηλές τιμές ολικού αζώτου που θα μπορούσαν να έχουν δυσμενείς επιδράσεις στο οικοσύστημα της λίμνης, πιθανότατα οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως λίπανση, απόβλητα κ.α..

Η εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης όλων των παραγόντων και παραμέτρων κρίνεται απαραίτητη για την αειφορική διαχείριση της λίμνης Κάρλα.

**Λέξεις κλειδιά:** Κύρια και βασικά ιόντα, άζωτο, φώσφορος, ρύπανση, Κάρλα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	iv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία .....	3
1.2.1 Περιοχή μελέτης.....	3
1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής .....	4
1.2.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική θέση της περιοχής.....	5
1.2.4 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής .....	5
1.2.5 Υδρολογία και υδρογραφία της περιοχής .....	6
1.2.6 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	7
1.3 Αβιοτικοί παράγοντες λιμναίων οικοσυστημάτων.....	7
1.3.1 Χημική ανάλυση και ποιότητα υδάτων λιμναίων οικοσυστημάτων .....	7
1.3.2 Μηχανική σύσταση ιζημάτων λιμναίων οικοσυστημάτων .....	8
1.3.3 Οργανική ουσία ιζημάτων λιμναίων οικοσυστημάτων.....	8
1.3.4 Άζωτο στα λιμναία οικοσυστήματα .....	9
1.3.5 Φόσφορος στα λιμναία οικοσυστήματα .....	10
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	13
2.1 Προγραμματισμός έρευνας .....	13
2.2 Δειγματοληψία .....	13
2.2.1 Συλλογή δειγμάτων νερού.....	14
2.2.2 Συλλογή δειγμάτων ιζήματος.....	17
2.3 Προετοιμασία δειγμάτων .....	18
2.4 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης δειγμάτων ύδατος.....	19
2.4.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	19
2.4.2 pH.....	19

2.4.3	Ιόντα νατρίου .....	20
2.4.4	Ιόντα καλίου .....	21
2.4.5	Ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου .....	22
2.4.6	Χλωροϊόντα.....	23
2.4.7	Αλκαλικότητα ( $\text{CO}_3^{-2}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) .....	24
2.4.8	Θειικά ιόντα .....	25
2.4.9	Φωσφορικά ιόντα.....	25
2.4.10	Ολική σκληρότητα .....	27
2.4.11	Κίνδυνος νατρίου (S.A.R.).....	28
2.5	Μηχανική σύσταση .....	28
2.6	Ολικός οργανικός άνθρακας-Ολικός άνθρακας-Οργανική ουσία.....	29
2.7	Ολικό άζωτο.....	30
2.8	Διαθέσιμος φώσφορος.....	32
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
3.1	Υδατα.....	34
3.1.1	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων .....	34
3.1.2	Καταλληλότητα.....	43
3.1.2.1	Καταλληλότητα για διαβίωση ιχθύων.....	43
3.1.2.2	Καταλληλότητα για πόση.....	45
3.1.2.3	Καταλληλότητα για άρδευση .....	48
3.1.3	Ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	50
3.2	Ιζήματα.....	51
3.2.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων ιζήματος .....	51
3.2.2	Χάρτες κατανομής φωσφόρου, αζώτου, οργανικής ουσίας και μηχανικής σύστασης....	58
3.2.3	Σύγκριση με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων .....	74
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	78
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	80

6. ABSTRACT.....	89
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	1

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Ως περιβάλλον λογίζεται το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν κάθε οργανισμό. Παράγοντες όπως η σύσταση του νερού, τα θρεπτικά συστατικά, η θερμοκρασία, το φως, η υγρασία, το έδαφος, τα άλατα και το pH, είναι κάποιοι μόνο από το πλήθος των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος που καλούνται αβιοτικοί. Οι ζωντανοί οργανισμοί που συνυπάρχουν σε έναν βιότοπο αποτελούν τους βιοτικούς παράγοντες του συγκεκριμένου περιβάλλοντος (Λυκάκης Σ. 1996).

Η έννοια του οικοσυστήματος περιλαμβάνει όλους τους πληθυσμούς ενός βιοτόπου καθώς και τους αβιοτικούς παράγοντες αυτού. Τα εσωτερικά υδάτινα οικοσυστήματα μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες με πολλές μεταβατικές καταστάσεις. Τα λιμναία οικοσυστήματα με ήρεμα νερά και αυτά των ρεόντων υδάτων που είναι οι ποταμοί και τα ποικιλόμορφα ύδατα (Λυκάκης Σ. 1992). Η παραγωγική διαδικασία της τροφικής αλυσίδας ενός λιμναίου οικοσυστήματος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την προσφορά θρεπτικών συστατικών (ενώσεις P, C, N, S και Si) που παίρνουν μέρος στις λειτουργικές διαδικασίες των ζώντων οργανισμών. Ιδιαίτερως τα P, N εμφανίζονται στα ιζήματα, εδάφη και νερά, σε μικρές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες (έτσι καθορίζουν κατά πολύ την πληθυσμιακή αύξηση των φυτοπλακτονικών οργανισμών). Η αύξηση των συγκεντρώσεων τους ανατρέπει την φυσιολογική ροή της τροφικής αλυσίδας προκαλώντας μεγάλη αύξηση χλωροφυκών, κυανοφυκών και διατόμων που με τη σειρά τους οδηγούν σε φαινόμενα ρύπανσης, υποβάθμισης, δυσοσμίων και ανοξικών συνθηκών. Τελικό συνεπακόλουθο όλων αυτών μπορεί να είναι η εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού. Το φαινόμενο



αυτό είναι αρκετά συχνό σε λίμνες οι οποίες είναι αποδέκτες αστικών λυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων και εκπλύσεων των λεκανών απορροής (λιπάσματα κ.α.) (Κοϋμτζής Θ. 2004).

Στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, έλαβαν χώρα οι πρώτες αποξηράνσεις λιμνών στην Ελλάδα, με πληθώρα αποστραγγιστικών έργων. Βασικοί λόγοι που οδήγησαν στα έργα αυτά ήταν τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, οι καταστροφές στις καλλιέργειες, η ανάγκη για απόκτηση γεωργικών εκτάσεων, η αποκατάσταση μεγάλου αριθμού προσφύγων και η ραγδαία διάδοση της ελονοσίας. Μια από τις λίμνες που αποξηράνθηκαν ήταν και η Κάρλα, το 1962 (Μπαμπατζιμόπουλος και συν. 1990).

Τα τελευταία χρόνια, προωθούνται από διεθνείς οργανισμούς, από οργανώσεις και από την παγκόσμια κοινότητα, έργα επανίδρυσης και αποκατάστασης των οικοσυστημάτων αυτών λόγω των σημαντικών προβλημάτων που προέκυψαν με τις αποξηράνσεις (κατασπατάληση υδάτων επιφανειακών και υπόγειων υδροφορέων, εκτεταμένη ρύπανση νερών και εδαφών λόγω χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, απώλεια ειδών χλωρίδας και πανίδας, καταστροφή ενδιαιτημάτων, ερήμωση οικισμών, αστυφιλία) (Zalidis et al. 1995). Σήμερα, ένα τέτοιο έργο βρίσκεται σε εξέλιξη. Πρόκειται για την περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλα, όπου λαμβάνει χώρα επαναπλημμυρισμός της περιοχής μέσω του Πηνειού ποταμού, συλλεκτήρων και φυσικού υδρογραφικού δικτύου (Koutseris E. 1989).

### **Σκοπός της μελέτης**

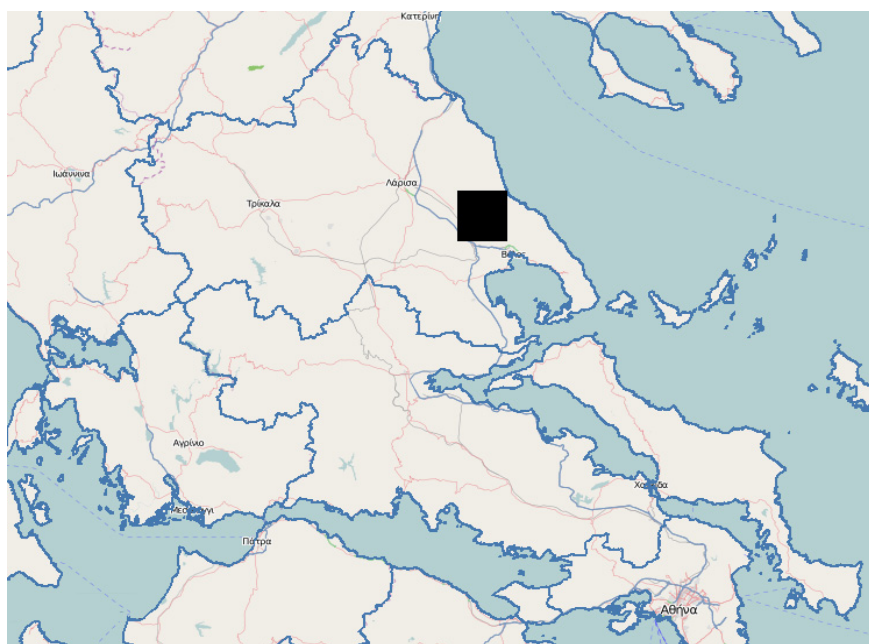
Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός και η κατανομή των σημαντικών αβιοτικών παραμέτρων της λίμνης, με βασικότερες τις συγκεντρώσεις των κύριων και βασικών ιόντων των υδάτων και του ολικού αζώτου, διαθέσιμου φωσφόρου, ολικού οργανικού άνθρακα, ολικού άνθρακα, οργανικής ουσίας και μηχανικής σύστασης του ιζήματος της λίμνης. Σκοπός επίσης είναι ο προσδιορισμός των πηγών προέλευσης

των παραπάνω παραμέτρων και των επιπέδων ρύπανσης, αλλά και οι πιθανές προτάσεις και λύσεις στην κατεύθυνση της βελτίωσης του πιθανώς υποβαθμισμένου οικοσυστήματος της λίμνης.

## 1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

### 1.2.1 Περιοχή μελέτης

Η υπό ανασύσταση λίμνη Κάρλα έχει εμβαδόν περίπου 38.000 στρέμματα και καταλαμβάνει το χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλας. Καταλαμβάνει εδάφη του δημοσίου και βρίσκεται πλησίον του χωριού Κανάλια, της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας, της Περιφέρειας Θεσσαλίας.



**Εικόνα 1.1:** Περιοχή μελέτης.

Η τροφοδοσία της γίνεται κυρίως με τις εισροές γλυκού νερού από τον ποταμό Πηνειό, μέσω του ρέματος Ασμάκι (Παράρτημα Ι, Σχ.1.1). Επίσης, σημαντικές ποσότητες νερού προέρχονται από διάφορα ρέματα της περιοχής που εκβάλλουν απευθείας στον ταμιευτήρα, όπως το Βαθύρεμα στα ανατολικά της λίμνης. Τέλος, μεγάλο ποσοστό της

τροφοδοσίας γίνεται μέσω των επιφανειακών απορροών με τη βοήθεια των συλλεκτήρων  $\Sigma_3$  (συλλέγει τα ύδατα των λεκανών απορροής της ανατολικής και βορειοανατολικής πλευράς της πεδιάδας της Κάρλας και έχει μήκος 32,5 km),  $\Sigma_4$  (συλλέγει ύδατα της νότιας και νοτιοδυτικής πλευράς της πεδιάδας καθώς και του Πηνειού και έχει μήκος 13,8 km),  $\Sigma_6$  (συνδέεται στα ανάντη του με το χείμαρρο Κερασιώτη, συναντάται στις παρυφές της περιοχής Κερασιάς και έχει μήκος 4,55 km) και των αντλιοστασίων  $DP_1$  και  $DP_6$  που χρησιμεύουν στην ανύψωση των νερών των πλημμυρών της τάφρου 1T και της χαμηλής ζώνης των περιοχών Κανάλια και Κερασιά, αντίστοιχα.

### 1.2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής

Σύμφωνα με τη Μούμου (2007), η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας συνιστά υπολεκάνη της ευρύτερης λεκάνης της Ανατολικής Θεσσαλίας, καλύπτοντας το νοτιοανατολικό άκρο αυτής. Περιμετρικά οριοθετείται από ορεινές περιοχές, με υψόμετρα μέχρι και 1978 m ενώ οι λοφώδεις όγκοι δεν ξεπερνούν τα 300 m. Βορειοανατολικά συναντούμε τους ορεινούς όγκους της Όσσας, ανατολικά τον όγκο του Μαυροβουνίου, νότια το Μεγαβούνι και νοτιοδυτικά το Χαλκοδόνιο. Λοφώδεις περιοχές συναντούμε μόνο νοτιοδυτικά και δυτικά της λεκάνης (Παράρτημα I, Σχ.1.2). Στο εσωτερικό της, παρατηρούμε την παρουσία πεδινού τμήματος με επιμήκη ανάπτυξη και ομαλό ανάγλυφο, με εξαίρεση κάποιες μικρές εμφανίσεις ασβεστολιθικού υποβάθρου. Στο βαθύτερο μέρος του τμήματος αυτού, νοτιοανατολικά της λεκάνης, έχουμε την παρουσία της λίμνης Κάρλας. Ο καρστικός χαρακτήρας της λίμνης καθώς και η παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων στην λεκάνη απορροής της, την εντάσσουν στην κατηγορία των ημιπόλγεων (πόλγη με την μία πλευρά ανοιχτή), με βασικό χαρακτηριστικό την έλλειψη φυσικού επιφανειακού συστήματος εκροής των υδάτων της από το χώρο της λεκάνης απορροής της (Μούμου X. 2007). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, μόνο η ύπαρξη καταβοθρών και

υπόγειας αποστράγγισης, στη νοτιοανατολική πλευρά, εξυπηρετούσε την εκφόρτιση νερού προς την θάλασσα.

### **1.2.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική θέση της περιοχής**

Ο Μουντράκης (1985), κατατάσσει την λεκάνη της Κάρλας από γεωτεκτονικής άποψης, στην ομάδα των Εσωτερικών Ελληνίδων και πιο συγκεκριμένα στην Πελαγονική ζώνη. Η λεκάνη της Κάρλας, σχηματίστηκε από ένα τεκτονικό βύθισμα που συνέβη κατά το Πλειόκαινο, στην περιοχή μεταξύ Λάρισας και Βελεστίνου (Μπεζές Κ. 2004). Ακολούθησε πλήρωσή του με υλικά που μετέφερε ο Πηνειός και οι γύρω από αυτόν χείμαρροι, από τις λεκάνες απορροής τους. Το κεντρικό τμήμα, ως επί το πλείστον, συγκροτείται από λεπτόκοκκες νεογενείς αποθέσεις με μεγάλο πάχος, σε αντίθεση με τα περιμετρικά τμήματα όπου επικρατούν στρώσεις με μικρότερο πάχος και αδρομερέστερα ποταμοχειμμάρια υλικά. Στους ορεινούς όγκους βορειοανατολικά της πεδιάδας, συναντούμε κρυσταλλικά πετρώματα ταλκικών σχιστολίθων και χλωριτικών γνευσίων, τα οποία εμφανίζονται μέχρι την περιοχή του Καλαμακίου και στη συνέχεια καρστικοποιημένα μάρμαρα. Βόρεια και νότια του χωριού Κανάλια, παρατηρούνται σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων, οι οποίοι συνεχίζουν και νοτιοανατολικά. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της πεδιάδας, παρουσιάζεται κάλυψη από αργιλικές αποθέσεις του Πλειόκαινου (Ζαλίδης και συν. 1995). Η πεδιάδα έχει υψόμετρο από 44 έως 65m περίπου και η εναπόθεση μαρμάρων επάνω στους σχιστόλιθους, στο υπόβαθρο της λεκάνης, την καθιστά σχεδόν απομονωμένη από τη θάλασσα του Παγασητικού κόλπου ή του Αιγαίου Πελάγους (Μπεζές Κ. 2004).

### **1.2.4 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής**

Τα εδάφη της περιοχής προέρχονται από λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις αλλουβιακής προελεύσεως και ποικίλης μηχανικής σύστασης. Προέρχονται δηλαδή από τα

φερτά υλικά του ποταμού Πηνειού και των άλλων μικρότερων ποταμών και χειμάρρων της περιοχής. Διακρίνονται σε αλλούβια, κολλούβια και αυτόχθονα (Μαυρονικολάου-Καρκάς και συν. 2006). Τα αλλούβια κυριαρχούν, είναι λεπτόκοκκα, με μεγάλο βάθος και καλύπτουν όλη τη χαμηλή περιοχή της πεδιάδας της Κάρλας. Τα κολλούβια εμφανίζονται στα ανατολικά όρια, στους πρόποδες του Μαυροβουνίου και του Πηλίου (Καλαμάκι, Κανάλια). Έχουν μεγάλο βάθος, μέση μηχανική σύσταση και περιέχουν χαλίκια διαφόρων διαμετρημάτων. Τα αυτόχθονα αναπτύσσονται στη δυτική παρυφή του έργου, έχουν βάθος από 0,5 έως 2 m, είναι μέσης κοκκομετρικής σύστασης και επικάθονται σε ασβεστολιθικά και σχιστολιθικά πετρώματα, από τα οποία και προέρχονται (Μαχαίρας και συν. 1999). (Παράρτημα I, Σχ. 1.4).

### **1.2.5 Υδρολογία και υδρογραφία της περιοχής**

Αρχικά, η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλα συμπεριελάμβανε τον ποταμό Πηνειό, το ρέμα Ασμάκι, τη λίμνη Νεσωνίδα και τη λίμνη Κάρλα. Η επικοινωνία με τον Πηνειό γινόταν μέσω του ρέματος Ασμάκι και της λίμνης Νεσωνίδας. Ο ποταμός Πηνειός, με τις πλημμυρικές παροχές του, ήταν ο σημαντικότερος τροφοδότης της λίμνης. Η κατασκευή όμως των αναχωμάτων, είχε ως αποτέλεσμα την παύση των πλημμυρών και τη μείωση της στάθμης της λίμνης. Μετά την αποξήρανση και τα διάφορα αποστραγγιστικά έργα που κατασκευάστηκαν, είχαμε τον σημαντικό περιορισμό της υδρολογικής λεκάνης. Μεγάλα ρέματα όπως ο Μπεγλεριώτης των Νέων Καρυών και ο Κουσμπασανιώτης της Νέας Λεύκης, οδηγήθηκαν στον Πηνειό (Παπανίκος Ν. 2008).

Τα διάφορα ρέματα της περιοχής δεν αναπτύσσονται ομοιόμορφα γύρω από τη λίμνη. Στην ανατολική πλευρά, παρατηρείται λιγότερο ανεπτυγμένο επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο ρεμάτων λόγω της παρουσίας υδροπερατών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι κ.α.), σε αντίθεση με τη δυτική πλευρά όπου λόγω της ύπαρξης των

ιζημάτων του Τριτογενούς, το δίκτυο ρεμάτων είναι πιο ανεπτυγμένο. Κάποια από τα ρέματα της περιοχής είναι το Μπεγιάτικο και το Βαγιόρεμα στα βορειοανατολικά, το Βαθύρεμα και ο Ξηριάς στα νοτιοανατολικά καθώς και το Μαυρόρεμα στα δυτικά. Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής της λίμνης ανέρχεται στα 1050 km<sup>2</sup> (Παπανίκος Ν. 2008) (Παράρτημα Ι, Σχ.1.3).

### **1.2.6 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής**

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από κλίμα εύκρατο, Μεσογειακού τύπου. Χαρακτηριστικό του κλίματος αυτού είναι το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ο ήπιος, βροχερός χειμώνας. Η αποξήρανση της λίμνης επέδρασε στο μικροκλίμα της περιοχής και το μετέβαλλε σε κλίμα ηπειρωτικότερου χαρακτήρα (Μούμου Χ. 2007).

## **1.3 Αβιοτικοί παράγοντες λιμναίων οικοσυστημάτων**

### **1.3.1 Χημική ανάλυση και ποιότητα υδάτων λιμναίων οικοσυστημάτων**

Η βασική χημική ανάλυση των νερών βασίζεται στον προσδιορισμό των ολικών αλάτων, της ηλεκτρικής αγωγιμότητα, του pH, των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου και των ανιόντων θειικών, χλωριούχων, διττανθρακικών, νιτρικών και ανθρακικών (Gjessing et al. 2011). Όσον αφορά το pH, τιμές μεταξύ του 6 και 7 αποδίδονται στο ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα, τιμές μικρότερες του 6 και μέχρι 5 αποδίδονται σε διάφορα οξίνως υδρολυόμενα άλατα και τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 5 οφείλονται στην ύπαρξη ανόργανων οξέων όπως τα θειικά και τα νιτρικά. Η σκληρότητα των νερών διακρίνεται σε ολική (σύνολο αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου), παροδική (σύνολο διττανθρακικών ενώσεων ασβεστίου και μαγνησίου), μόνιμη (σύνολο αλάτων θειικών, χλωριούχων και νιτρικών ασβεστίου και μαγνησίου), σκληρότητα ασβεστίου (σύνολο αλάτων ασβεστίου, διττανθρακικά, θειικά, χλωριούχα και νιτρικά) και σκληρότητα μαγνησίου (σύνολο αλάτων μαγνησίου, διττανθρακικά, θειικά, χλωριούχα και

νιτρικά). Ως προς τη σκληρότητα σε mg CaCO<sub>3</sub>/l (ppm), τα νερά χαρακτηρίζονται μαλακά (<75), μετρίως σκληρά (75-150), σκληρά (150-300) και πολύ σκληρά (>300) (Durfor and Becker 1964).

Τα χημικά χαρακτηριστικά των υδάτων επηρεάζονται άμεσα από παράγοντες όπως οι τοπικές κλιματικές-περιβαλλοντικές πιέσεις και η λιθολογία των μητρικών πετρωμάτων μιας περιοχής. Ακόμη, η γεωργία, οι διάφορες εσωτερικές επιδράσεις και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες επιδρούν στην ποιότητα των υδάτων. Ένα παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των (Gjessing et al. 2011), τα συμπεράσματα της οποίας κάνουν λόγο για ύδατα με μεγάλες περιεκτικότητες σε διαλυμένα συστατικά, οι οποίες οφείλονται σε χαρακτηριστικά της περιοχής όπως η διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων (εβαπορίτες), η αποστράγγιση υδάτων πλούσιων σε κατιόντα Na και Mg καθώς και σε θειϊκά και χλωριούχα ανιόντα.

### **1.3.2 Μηχανική σύσταση ιζημάτων λιμναίων οικοσυστημάτων**

Με τον όρο μηχανική σύσταση των ιζημάτων αναφερόμαστε στις σχετικές αναλογίες των συστατικών τους (άμμος, ιλύς, άργιλος). Η ιλύς και η άργιλος αποτελούν την αποθήκη του ιζήματος και κατ' επέκταση του λιμναίου οικοσυστήματος λόγω της ιδιότητας και δυνατότητας συγκράτησης και προσρόφησης των χημικών στοιχείων (Siegel F.R. 2002).

### **1.3.3 Οργανική ουσία ιζημάτων λιμναίων οικοσυστημάτων**

Η οργανική ουσία συνιστά ένα ελάχιστο αλλά πολύ σημαντικό κλάσμα των λιμναίων ιζημάτων. Προέρχεται από το σύνθετο μείγμα των λιπιδίων, των υδρογονανθράκων, των πρωτεϊνών και άλλων συστατικών της οργανικής ουσίας, που προέρχονται από κατάλοιπα οργανισμών οι οποίοι έζησαν είτε μέσα είτε γύρω από τη λίμνη. Σύμφωνα με τους Last and Smol (2001), η αρχική πηγή οργανικής ουσίας για τα

λιμναία ιζήματα είναι τα φυτά μέσα και γύρω από τη λίμνη. Παρόλο το γεγονός του γενικά χαμηλού ποσοστού επιβίωσης των περισσότερων αρχικών οργανικών συστατικών, διάφορα συστατικά της οργανικής ουσίας των λιμναίων ιζημάτων, διατηρούν πληροφορίες προέλευσης και έτσι συνιστούν σημαντικά τμήματα παλαιολιμνολογικών και παλαιοκλιματικών αρχείων. Προοδευτικός ευτροφισμός λιμναίων συστημάτων, αλλαγές στην επιφανειακή χλωρίδα και έλευση της γεωργίας είναι κάποια από τα παλαιοπεριβαλλοντικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα γεωχημικά χαρακτηριστικά της ιζηματογενούς οργανικής ουσίας. Γενικά, η περιεκτικότητα των λιμναίων ιζημάτων σε οργανική ουσία, ως μια συσσώρευση "γεωχημικών απολιθωμάτων", παρέχει σημαντικότερες πληροφορίες για την ερμηνεία ανθρωπογενών αλλά και φυσικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα σε τοπικά οικοσυστήματα.

#### **1.3.4 Άζωτο στα λιμναία οικοσυστήματα**

Το άζωτο παίζει πρωταρχικό ρόλο στο μεταβολισμό όλων των οργανισμών και η ανακύκλωση του είναι η σπουδαιότερη διαδικασία στη βιόσφαιρα, μετά από εκείνη του άνθρακα. Εκφράζει το 1-10 % του βάρους των φυτών και πάνω από το 20 ή 30 % του βάρους των ζώων, αποτελώντας απαραίτητο συστατικό όλων των κυττάρων (Μαρκαντωνάτος 1984). Σημαντικότερη πηγή του στα υδάτινα οικοσυστήματα αποτελεί το μοριακό άζωτο της ατμόσφαιρας, με μια πολύ μικρή προσθήκη από την ενέργεια των ηφαιστειών (Hutchinson E. 1975). Η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου γίνεται ηλεκτρικά ή φωτοχημικά, αλλά σπουδαιότερη είναι η βιολογική-βακτηριακή δέσμευση του. Στους ζωντανούς οργανισμούς το άζωτο συνιστά μέρος του μορίου των πρωτεϊνών ή άλλων οργανικών ουσιών. Αυτοί μέσω των απεκκρίσεων τους ή με τον θάνατό τους, προκαλούν απελευθέρωση μεγάλης ποικιλίας χημικών ενώσεων, με σημαντικότερη την αμμωνία. Η αμμωνία, μέσω της νιτροποίησης, μετατρέπεται αρχικά σε νιτρώδη και



ακολουθώς σε νιτρικά ιόντα, με τη βοήθεια συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Πρόκειται δηλαδή για μια βιοχημική διεργασία ανοργανοποίησης του οργανικού αζώτου. Η μεγάλη ποσότητα νιτρικών μπορεί να αποτελέσει παράγοντα ρύπανσης με βλαβερές συνέπειες και να συντελέσει στο φαινόμενο του ευτροφισμού μέσω της πρόκλησης υπέρμετρης αύξησης των φυτών. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της νιτροποίησης είναι το pH, η παρουσία οξυγόνου, η αναγωγή των νιτρικών καθώς και η επίδραση της εποχικής-θερμοκρασίας του ύδατος. Η διαδικασία της νιτροποίησης λαμβάνει χώρα σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα και οι ποσότητες των νιτρικών και νιτρικών ιόντων, υποδηλώνουν την παρουσία καθώς και την ποσότητα αζωτούχων οργανικών ενώσεων (Κάγκαλου Ι. 1990). Στα λιμναία οικοσυστήματα πιο συγκεκριμένα, αυτού του είδους οι αζωτούχες ενώσεις πιθανώς προέρχονται από παντός τύπου απόβλητα τα οποία εισέρχονται στη λίμνη καθώς και από εκβολές υπόγειων ρευμάτων, από κατακρήμνιση αζωτούχων ενώσεων στην επιφάνεια της λίμνης και από απόδοσή τους μέσω του πυθμένα (Hutchinson E. 1975).

### **1.3.5 Φώσφορος στα λιμναία οικοσυστήματα**

Σύμφωνα με τον Hutchinson (1957), ο φώσφορος, με εξαίρεση το νερό, ίσως είναι το σημαντικότερο οικολογικό στοιχείο λόγω του ότι βρίσκεται σε έλλειψη και έχει τη δυνατότητα να περιορίσει την παραγωγικότητα κάθε περιοχής στην επιφάνεια της γης, σε σύγκριση με την έλλειψη οποιουδήποτε άλλου στοιχείου. Ο φώσφορος απαντάται στη φύση σε διάφορες μορφές. Διακρίνεται σε οργανικό ή ανόργανο και διαλυμένο ή σωματιδιακό (Κάγκαλου Ι. 1990).

### **Φώσφορος στο υδάτινο περιβάλλον**

Ο φώσφορος αλλάζει συνεχώς μορφές μέσα στο υδάτινο περιβάλλον λόγω των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Οι πηγές του

σωματιδιακού οργανικού φωσφόρου στο υδάτινο περιβάλλον είναι τα υπολείμματα της χρήσης του φυτοπλανκτού από το ζωοπλανκτόν, ο φυσικός θάνατος του ζωοπλανκτού και η χρήση του από τους ανωτέρους οργανισμούς, ενώ απώλειες του συνιστούν η καθίζηση του και μετατροπή του σε διαλυμένο οργανικό. Οι πηγές του διαλυμένου οργανικού φωσφόρου είναι ο θάνατος και η αναπνοή του φυτοπλανκτού και η μετατροπή του οργανικού σωματιδιακού φωσφόρου σε οργανικό διαλυμένο ενώ οι απώλειες του συνίστανται στη μετατροπή του σε ανόργανο διαλυμένο μέσω μηχανισμών ενζυμικής υδρόλυσης. Ο ανόργανος διαλυμένος φώσφορος, ο οποίος χρησιμοποιείται από τα άλγη, πηγάζει από τη μετατροπή του οργανικού διαλυμένου σε ανόργανο και από την αναπνοή του ζωοπλανκτού ενώ χάνεται μέσω της χρήσης του από το φυτοπλανκτόν. Εξωτερικές πηγές φωσφόρου αποτελούν οι επιφανειακές απορροές, τα λιπάσματα, τα κοιτάσματα φωσφάτων, οι εκροές των εργοστασίων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις και τα βιομηχανικά απόβλητα και απόβλητα ζώων (Κάγκαλου Ι. 1990). Τέλος, σημαντική πηγή φωσφόρου για τα ύδατα είναι και η τροφοδοσία από τον πυθμένα (εσωτερική τροφοδοσία) (Hutchinson E. 1975).

### **Φώσφορος στα ιζήματα**

Στα λιμναία οικοσυστήματα, η μεγαλύτερη ποσότητα φωσφόρου είναι συγκεντρωμένη στα κατώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης. Τα ιζήματα των λιμνών αποτελούν βασικές πηγές του φωσφόρου, αν και σημαντικό ποσοστό του ανόργανου φωσφόρου στην επιφάνεια των ιζημάτων βρίσκεται σε ισορροπία με το υπερκείμενο νερό. Ο ανακυκλωμένος φώσφορος συνεισφέρει σημαντικά στη συνολική συγκέντρωση του στις λίμνες (και σε αερόβιες συνθήκες). Το ποσοστό του ευδιάλυτου φωσφόρου (το οποίο προκύπτει από περιβαλλοντικές συνθήκες όπως χαμηλό ή υψηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής) το οποίο είναι αποθηκευμένο στην επιφάνεια του ιζήματος αλλά και

διεργασίες μεταφοράς όπως κυρίως η διάχυση, βοηθούν στην εξακρίβωση του κύκλου του φωσφόρου στις λίμνες. Η συνεισφορά των ιζημάτων εξαρτάται από την τάση τους να απελευθερώνουν φώσφορο. Έτσι η γνώση της συμπεριφοράς των ιζημάτων καθίσταται πολύ σημαντική. Οι παράγοντες που συντελούν στην απελευθέρωση φωσφόρου από τα ιζήματα είναι οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, η διαλυτοποίηση της οργανικής ύλης, η προσρόφιση, η διαλυτότητα ανόργανης φάσης αλλά και το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η αλατότητα, τα νιτρικά και θειικά και η θερμοκρασία (Κουϊμτζής Θ. 2004). Ο φώσφορος κατανέμεται στα ιζήματα είτε ως χαλαρά δεσμευμένος, είτε ως ανηγμένος, είτε δεσμευμένος με οξείδια μετάλλων ή ασβέστιο, είτε ως οργανικός (Κουϊμτζής Θ. 2004). Ο δεσμευμένος με ασβέστιο φώσφορος πιθανώς να συνδέεται με τα γεωλογικά-γεωχημικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής ενώ ο δεσμευμένος με οξείδια μετάλλων πιθανώς να υποδηλώνει βιομηχανική και ανθρωπογενή ρύπανση. Επίσης, ο οργανικός φώσφορος συνδέεται με φαινόμενα ευτροφισμού τα οποία προκλήθηκαν λόγω βιομηχανικής ρύπανσης και έκπλυσης βεβαρημένων γεωργικών εκτάσεων (Zhang L.-Y. et al. 2010).

### **Φώσφορος και ευτροφισμός**

Τα επίπεδα του φωσφόρου αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους δείκτες για το φαινόμενο του ευτροφισμού στις λίμνες (Huang et al. 2011). Μία λίμνη, σαν ένα βιολογικό σύστημα που αποτελεί, χαρακτηρίζεται εύτροφη όταν μεγάλη ποσότητα θρεπτικών αλάτων (κυρίως φωσφόρου αλλά και αζώτου) εισέρχεται σε αυτή και προκαλεί μεγάλα επίπεδα οργανικής παραγωγής, με συνεπακόλουθα αποτελέσματα την αλλαγή στη σύνθεση και εποχικότητα των ειδών, τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα κατώτερα κυρίως στρώματα (κυρίως το καλοκαίρι) και τη δημιουργία ανοξικών συνθηκών και δυσοσμιών (Bachmann 1980, Lund 1980, Round 1981).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Προγραμματισμός έρευνας

Αποτέλεσε το αρχικό στάδιο της έρευνας και περιελάμβανε αρχικά τη συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων που αφορούν την περιοχή μελέτης, όπως στοιχεία για το ιστορικό της περιοχής, τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες της περιοχής καθώς και εργασίες, μελέτες, διδακτορικές διατριβές και δημοσιεύσεις εκπονημένες από Έλληνες και ξένους ερευνητές. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε ο καθορισμός των επομένων βημάτων της έρευνας (δειγματοληψία, μέθοδοι ανάλυσης κ.α.).

### 2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μήνα Ιουνίου του 2010, στη λίμνη Κάρλα, με τη χρήση πλωτού μέσου (βάρκα). Ύστερα από μελέτη της περιοχής της λίμνης και με γνώμονα την όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη δειγματοληψία και κάλυψη του μεγαλύτερου ποσοστού της επιφάνειας της λίμνης, χαραχτήκαν 6 διαδρομές, με κοινό σημείο το βαθύτερο σημείο της λίμνης. Κάθε διαδρομή είχε ως αρχή ένα σημείο εισροής υδάτων περιμετρικά της λίμνης. Συνολικά επιλέχθηκαν 16 σταθμοί δειγματοληψίας (P1-P16) κατά μήκος αυτών των διαδρομών. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

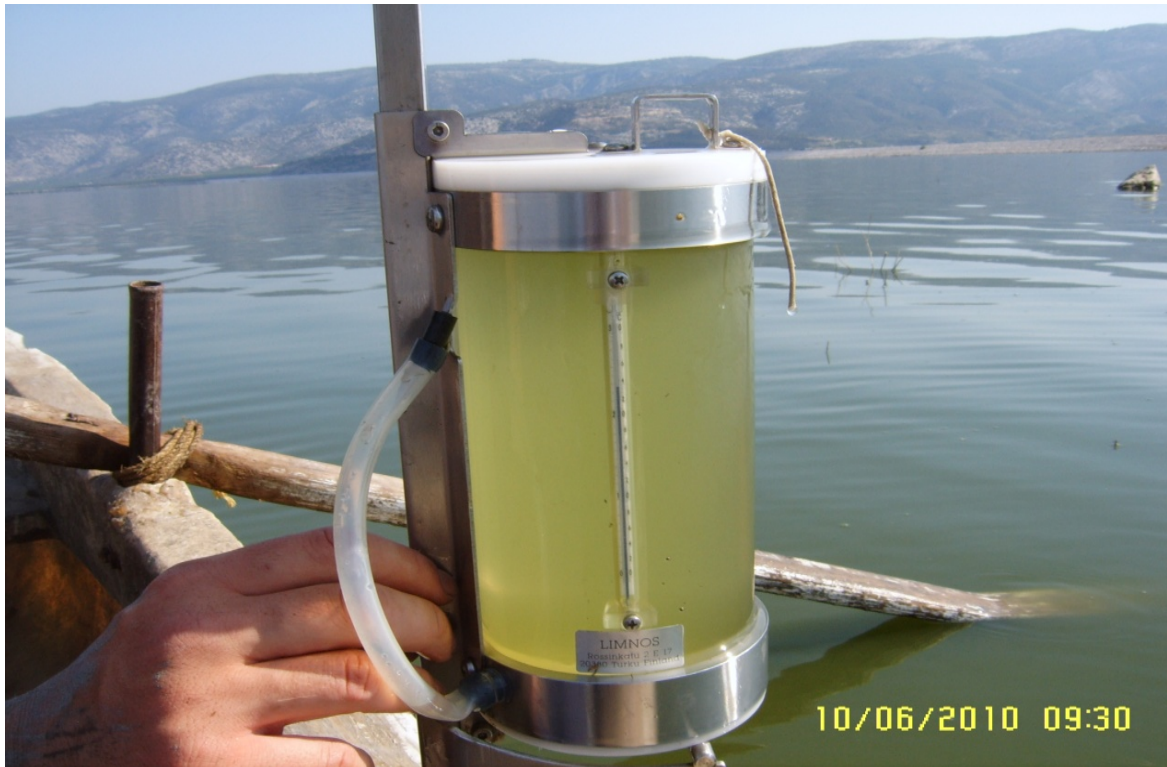
**Πίνακας 2.1:** Γεωγραφικές συντεταγμένες σταθμών δειγματοληψίας.

Σημεία δειγματοληψίας	X	Y
P1	398805	4373051
P2	398427	4373771
P3	398220	4373871
P4	397130	4374550
P5	396702	4375153
P6	396208	4375642
P7	399356	4373085

P8	400155	4373335
P9	395781	4372226
P10	395405	4372210
P11	400607	4371588
P12	401907	4371192
P13	398492	4371121
P14	398430	4369326
P15	399848	4371752
P16	401075	4370129

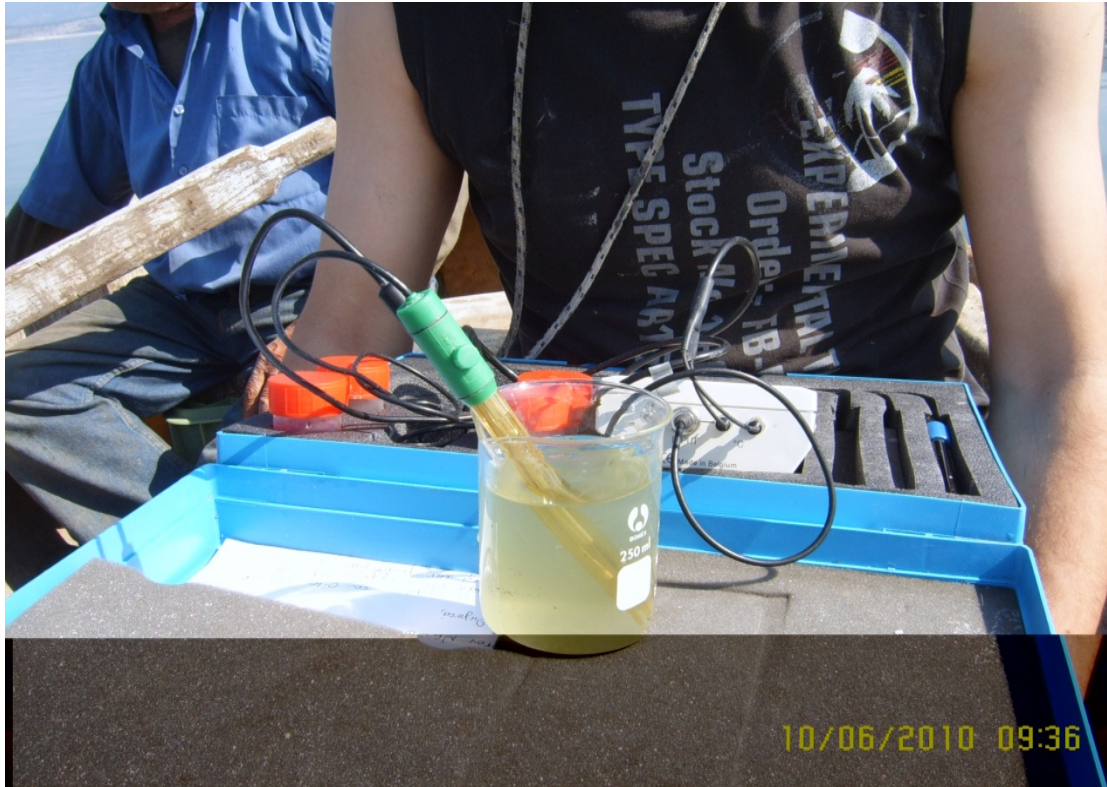
### 2.2.1 Συλλογή δειγμάτων νερού

Συνολικά συλλέχθηκαν 24 δείγματα νερού. Στους σταθμούς δειγματοληψίας όπου το βάθος υπερέβαινε το 1 μέτρο, συλλέχθηκαν 2 δείγματα νερού (ένα επιφανειακό και ένα κοντά στον πυθμένα), ενώ σε αυτούς με μικρότερο βάθος, συλλέχθηκε 1 επιφανειακό δείγμα (50 cm). Η δειγματοληψία έγινε με το δειγματολήπτη νερού Limnos Rossincatu 2 E 17 20380 Turku Finland (Εικ. 2.1 και 2.2). Μετρήθηκε το pH, το TDS και η αγωγιμότητά των δειγμάτων σε συνθήκες πεδίου με την βοήθεια ειδικών οργάνων [Consort C531 για pH (Εικ. 2.3) και Combo by Hanna για TDS και αγωγιμότητα (Εικ. 2.4)]. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά, αριθμημένα μπουκάλια και μεταφέρθηκαν σε δροσερό και σκοτεινό μέρος, στο εργαστήριο Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέχρι να αναλυθούν.



**Εικόνες 2.1 και 2.2:** Δειγματολήπτης νερού (Limnos Rossincatu 2 E 17 20380 Turku Finland).





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



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

### 2.2.2 Συλλογή δειγμάτων ιζήματος

Συνολικά λήφθηκαν 16 δείγματα ιζήματος, σε βάθη 50-140 cm, με τη βοήθεια και χρήση δειγματολήπτη βένθους τύπου ECKMAN (Εικ. 2.5 και 2.6). Η χρήση του συνίσταται σε μια απλή διαδικασία. Με τη βοήθεια ενός σχοινιού το οποίο φέρει, ο δειγματολήπτης βυθίζεται μέχρι τον πυθμένα και εισέρχεται στη μάζα του ιζήματος. Στη συνέχεια, ένα βαρίδιο το οποίο φέρεται στο σχοινί αφήνεται να προσκρούσει στο δειγματολήπτη, ενεργοποιώντας με αυτόν τον τρόπο έναν ειδικό μηχανισμό ο οποίος κλείνει τα δύο άκρα του δειγματολήπτη, εγκλωβίζοντας το δείγμα του ιζήματος και αποτρέποντας έτσι τυχόν απώλειες δείγματος κατά την άνοδο του οργάνου. Μετά τη συλλογή τους, τα δείγματα αποθηκεύτηκαν άμεσα σε πλαστικές αριθμημένες σακούλες και μεταφέρθηκαν με τη βοήθεια φορητών ψυγείων (για την αποφυγή τυχόν αλλοιώσεων) σε καταψύκτες του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.







**Εικόνες 2.5 και 2.6:** Δειγματολήπτης βένθους (Van Veen, Hydro-Bios Apparatebau G.m.b.H Kiel).

### **2.3 Προετοιμασία δειγμάτων**

Τα δείγματα ιζήματος μετά τη συλλογή τους (Παράρτημα I, Εικ. 2.7), προπαρασκευάστηκαν στο εργαστήριο, εις τρόπον ώστε να καταστούν κατάλληλα για χημικές αναλύσεις (ομογενοποιημένα, εύκολα στη μεταφορά και αποθήκευση, απαλλαγμένα από επιμολύνσεις). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την προπαρασκευή ήταν η ξήρανση των δειγμάτων, η κονιορτοποίηση και το κοσκίνισμά τους, με αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας τους. Στη συγκεκριμένη έρευνα, η προπαρασκευή των δειγμάτων έγινε στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Γεωχημείας, του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Τα δείγματα αποψύχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ταψάκια αλουμινίου, στρωμένα με ριζόχαρτα (Παράρτημα I, Εικ. 2.8). Ξηράθηκαν σε φούρνο, σε θερμοκρασία 35-40<sup>0</sup>C,

για 2 ημέρες και εν συνεχεία αποσβολώθηκαν σε γουδί πορσελάνης ώστε να ετοιμαστούν για κοσκίνισμα (Παράρτημα I, Εικ. 2.9). Ακολούθησε το κοσκίνισμα σε κόσκινο 2 mm (και περαιτέρω κονιορτοποίηση του υλικού που διήλθε από κόσκινο με άνοιγμα πλέγματος 0,075 mm) ώστε να καταστούν τα δείγματα έτοιμα για τις χημικές αναλύσεις (Παράρτημα I, Εικ. 2.10).

## **2.4 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης δειγμάτων ύδατος**

### **2.4.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα**

Αφού ρυθμίστηκε η κυψελίδα σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης της συσκευής, ακολούθησε ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας. Σε ποτήρια ζέσεως των 100 ml, προστέθηκαν 80 ml του δείγματος προς μέτρηση. Βυθίστηκε η κυψελίδα στο δείγμα, ώστε να καλύπτεται πλήρως και μόλις σταθεροποιήθηκε η ένδειξη, καταγράφηκε. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το διάλυμα εσωτερικού ελέγχου ( $c(\text{KCl})=0,05 \text{ mol/l}$ ,  $6700 \mu\text{S/cm}$ ), με τη διαφορά ότι αντί για δείγμα προστέθηκε διάλυμα εσωτερικού ελέγχου. Αυτό πρέπει να μετριέται μια φορά για κάθε 20 δείγματα και μετά να ακολουθεί επανάληψη σε ένα από τα άγνωστα δείγματα. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε  $\mu\text{S/cm}$ , δηλαδή ως ηλεκτρική αγωγιμότητα στους  $25^\circ\text{C}$ , με ταυτόχρονη αναγραφή της θερμοκρασίας του δείγματος.

### **2.4.2 pH**

Αρχικά, το πεχάμετρο βαθμονομήθηκε με την βοήθεια των buffers (έτοιμα διαλύματα βαθμονόμησης του εμπορίου, με τιμές pH, 4,01-7,00-9,26, τα οποία διαθέτουν πιστοποιητικό με πίνακα διόρθωσης της τιμής του pH με τη θερμοκρασία).

Ξεπλύθηκε το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου με νερό χωρίς να σκουπιστεί και σε ένα καθαρό γυάλινο ποτήρι ζέσεως των 100 ml τοποθετήθηκαν περίπου 100 ml δείγματος. Στη συνέχεια, βυθίστηκε το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου στο δείγμα και ξεκίνησε ανάδευση με

τέτοιο ρυθμό στον οποίο μόλις η δίνη δεν ήταν αντιληπτή. Τη στιγμή της μέτρησης του pH σταμάτησε η ανάδευση. Μετρήθηκε και καταγράφηκε η θερμοκρασία του δείγματος καθώς και η ένδειξη του πεχαμέτρου. Ακολούθησε επανάληψη της μέτρησης με νέα ποσότητα δείγματος, μέχρι τη στιγμή που η διαφορά τιμών έγινε μικρότερη από 0,1 μονάδες pH (2 έως 3 μετρήσεις είναι συνήθως αρκετές). Μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων, το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου ξεπλύθηκε με νερό και αφέθηκε να στραγγίξει χωρίς να σκουπιστεί. Αν κάποια σταγόνα νερού παρέμενε, απομακρύνθηκε με απορροφητικό χαρτί χωρίς να αναπτυχθεί τριβή με το ηλεκτρόδιο. Τέλος, το αποτέλεσμα για το pH εκφράστηκε με ένα δεκαδικό ψηφίο, όπως και η θερμοκρασία του δείγματος στην οποία έγινε η μέτρηση.

#### **2.4.3 Ιόντα νατρίου**

Το κάθε δείγμα νεφελοποιήθηκε σε φλόγα αέρα-βουτανίου οπότε εξαμιζόμενο οι ενώσεις του νατρίου ατομοποιήθηκαν με αποτέλεσμα τα άτομα νατρίου που σχηματίστηκαν να εκπέμπουν ακτινοβολία, της οποίας η ένταση να μετριέται σε μήκος κύματος 589.0 nm.

Στη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood). Η βαθμονόμηση του φλογοφωτόμετρου έγινε με standards. Μεταφέρθηκαν 0, 5, 10, 15, 20 και 25 ml από το διάλυμα νατρίου Stock II [για το οποίο αραιώθηκαν 10 ml από το Stock I (διαλύθηκαν 2,542 g ξηραθέντος NaCl στους 140°C επί 24 ώρες και αραιώθηκαν μέχρις όγκου 1000 ml με απεσταγμένο νερό μέχρις όγκου 100 ml)], μέσα σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml και συμπληρώθηκαν έως όγκο, με απεσταγμένο νερό. Τα διαλύματα που προέκυψαν είχαν συγκεντρώσεις 0, 5, 10, 5, 20 και 25 ppm αντίστοιχα.

Έγινε πρώτα η ρύθμιση του μηδενός της κλίμακας του οργάνου με το blank και στη συνέχεια του 25 της κλίμακας με το πυκνότερο standard (25 ppm). Μετρήθηκαν τα

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

#### 2.4.4 Ιόντα καλίου

Το κάθε δείγμα νεφελοποιήθηκε σε φλόγα αέρα-βουτανίου οπότε εξαμιζόμενο οι ενώσεις του καλίου ατομοποιήθηκαν με αποτέλεσμα τα άτομα καλίου που σχηματίστηκαν να εκπέμπουν ακτινοβολία, της οποίας η ένταση μπορούσε να μετρηθεί σε μήκος κύματος 766,5 nm.

Στη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο τύπου Flame Photometer 410 (Sherwood). Η βαθμονόμηση του φλογοφωτόμετρου έγινε με standards. Για τη δημιουργία τους μεταφέρθηκαν 0, 2, 5, 7 και 10 ml από το διάλυμα καλίου Stock II [μεταφέρθηκαν 10 ml από το Stock I (διαλύθηκαν 1,907 g άνυδρου KCl σε απεσταγμένο νερό και αραιώθηκαν μέχρις όγκου 1000 ml) σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml και αραιώθηκαν μέχρις όγκου], μέσα σε ογκομετρικές φιάλες των 100 ml και συμπληρώθηκαν έως όγκο, με απεσταγμένο νερό. Τα διαλύματα που προέκυψαν είχαν συγκεντρώσεις 0, 2, 5, 7 και 10 ppm αντίστοιχα. Έγινε πρώτα η ρύθμιση του μηδενός της κλίμακας του οργάνου με το blank και στη συνέχεια του 10 της κλίμακας με το πυκνότερο standard (10 ppm). Μετρήθηκαν τα υπόλοιπα standards αρχίζοντας από το αραιότερο και κατασκευάστηκε η καμπύλη συγκέντρωσης-ένδειξης οργάνου, η οποία έπρεπε να προσεγγίζει όσο περισσότερο γινόταν την ευθεία. Στη συνέχεια, εισήχθηκε το άγνωστο

δείγμα και σημειώθηκε η ένδειξη του οργάνου (εάν αυτή ήταν εκτός κλίμακας τότε το δείγμα αραιώνονταν). Με βάση την καμπύλη, αντιστοιχίστηκε η ένδειξη με τη συγκέντρωση. Η συγκέντρωση του  $K^+$  υπολογίστηκε από τον τύπο:  $[K^+] (meq K^+/l) = A/39,102$ , όπου A ήταν η συγκέντρωση του δείγματος σε ppm.

#### **2.4.5 Ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου**

Χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια αναγνωρισμένης αναλυτικής καθαρότητας και αποσταγμένο νερό.

Πριν την ανάλυση τα θολά δείγματα διηθήθηκαν με φίλτρο μεγέθους πόρου 0,45 μm. Μεταφέρθηκαν με διακριβωμένο σιφώνιο μιας χαραγής Class A, 50 ml δείγματος σε κωνική φιάλη των 250 ml και προστέθηκαν με dispenser 2 ml από το διάλυμα  $NaOH_2$  mol/l και περίπου 0,2 g από το δείκτη calcon-καρβοξυλικό οξύ. Ενώ αναδεύονταν, τιτλοδοτήθηκε αμέσως με προχοΐδα που περιείχε EDTA 0,01 mol/l. Η τιτλοδότηση έγινε γρήγορα στην αρχή και αργά στο τέλος και τελείωσε όταν το χρώμα άλλαξε ξεκάθαρα σε μπλε (αν καταναλωνόταν περισσότερα από 20ml διαλύματος EDTA, επαναλαμβανόταν ο προσδιορισμός με μικρότερη ποσότητα υποδείγματος και αραιώση με νερό μέχρι τα 50ml). Ακολούθως, καταγράφηκε ο όγκος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε και η κατανάλωση του EDTA. Η συγκέντρωση του ασβεστίου στο δείγμα, σε mg/l υπολογίστηκε από τον τύπο:  $p_{Ca} = 1000 \cdot A \cdot c_1 \cdot V_3 / V_0$ , όπου  $p_{Ca}$  ήταν η συγκέντρωση του ασβεστίου σε mg/l,  $c_1$  ήταν η πραγματική συγκέντρωση του EDTA σε mol/l,  $V_3$  ήταν ο όγκος σε ml του EDTA που καταναλώθηκε για το δείγμα,  $V_0$  ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml και A ήταν το πραγματικό ατομικό βάρος του ασβεστίου (40,08).

Η ίδια μεθοδολογία ακολουθήθηκε και για τον προσδιορισμό των ιόντων του μαγνησίου.

#### 2.4.6 Χλωροϊόντα

Για την ογκομέτρηση του αγνώστου δείγματος τοποθετήθηκαν με σιφόνιο μιας χαραγής Class A, 100 ml δείγματος που βρισκόταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (ή μικρότερος όγκος με σιφόνιο Class A, αραιωμένος ως τα 100 ml), μέσα σε κωνική φιάλη των 250 ml η οποία είχε άσπρο φόντο (αν το pH των δειγμάτων ήταν έξω από την περιοχή 5 έως 9,5, ρυθμιζόταν το pH με τη χρήση αντιστοίχως υδροξειδίου του νατρίου ή διαλύματος νιτρικού οξέος και σημειωνόταν ο όγκος που απαιτούνταν, ενώ αν ήταν μικρότερο του 5, τότε ήταν προτιμότερη η ρύθμιση του με  $\text{NaHCO}_3$  γιατί έτσι θα ρυθμιζόταν και η ρυθμιστική ικανότητα του δείγματος). Η προστιθέμενη ποσότητα έπρεπε να επιλεγεί έτσι ώστε το ανθρακικό ίζημα να παρέμενε και μετά την ογκομέτρηση. Στη συνέχεια, προστέθηκε 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου συγκέντρωσης 100 g/l. Ογκομετρήθηκε με τη βοήθεια προχοϊδας το διάλυμα, προσθέτοντας διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,02 mol/l και αναδεύοντας μέχρι το χρώμα του διαλύματος να αλλάξει σε φαιοκόκκινο. Μετά από προσθήκη μιας σταγόνας διαλύματος χλωριούχου νατρίου 0,02 mol/l, το χρώμα εξαφανίστηκε (όπως αναμενόταν). Τα ογκομετρημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση στις επόμενες τιτλοδοτήσεις. Έγινε καταγραφή της κατανάλωσης του  $\text{AgNO}_3$  και του όγκου του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του τυφλού δείγματος. Η συγκέντρωση των χλωροϊόντων σε mg/l υπολογίστηκε τελικά από τον τύπο:  $P_{\text{Cl}} = (V_s - V_b) \cdot c \cdot f / V_a$ , όπου c ήταν η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος νιτρικού αργύρου εκφρασμένη σε mol/l, f ήταν ο συντελεστής μετατροπής (35,453 mg/mol),  $V_s$  ήταν η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το δείγμα σε ml,  $V_b$  ήταν η κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το τυφλό δείγμα σε ml και  $V_a$  ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml.

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

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

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

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

#### 2.4.8 Θειϊκά ιόντα

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

#### 2.4.9 Φωσφορικά ιόντα

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

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου A, 12 g  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  διαλύθηκαν σε 250 ml αποσταγμένο νερό (θέρμανση) και 0,2908 g  $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  σε 100 ml αποσταγμένο νερό. Τα παραπάνω διαλύματα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 2000 ml που περιείχαν 1000 ml διαλύματος  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5N, αναμείχθηκαν καλά και προστέθηκαν μέχρις όγκου 2000 ml. Το διάλυμα διατηρήθηκε σε σκοτεινό και ψυχρό μέρος.



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

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

Για το Stock διάλυμα P (1000 mg P/l), ζυγίστηκαν 1,099 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( $105^\circ\text{C}$ , 1 ώρα) και διαλύθηκαν σε 1000 ml αποσταγμένο νερό. Για το πρότυπο διάλυμα P (10 mg P/ml), αραιώθηκε 1 ml από το Stock διάλυμα μέχρι όγκου 100 ml. Στη συνέχεια, σε 5 ογκομετρικές φιάλες των 50 ml παρασκευάστηκαν τα πρότυπα διαλύματα. Σε κάθε φιάλη τοποθετήθηκαν αντίστοιχα 0,5, 1,5, 2,5 και 5 ml από το πρότυπο διάλυμα. Έτσι, δημιουργήθηκαν πρότυπα διαλύματα με συγκεντρώσεις 0,1, 3, 5 και 10 ppm, αντίστοιχα. Μετά από 1 ώρα, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 870 nm, με κυψελίδα 1 cm. Πρώτα μετρήθηκε η απορρόφηση των πέντε προτύπων διαλυμάτων για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης. Το όργανο μηδενίστηκε με το τυφλό πρότυπο και στη συνέχεια μετρήθηκαν τα υπόλοιπα τέσσερα με τη σειρά περιεκτικότητας σε πρότυπο διάλυμα P. Ακολούθησε η μέτρηση της απορρόφησης στα δείγματα νερού. Κατασκευάστηκε η πρότυπη καμπύλη με την περιεκτικότητα σε P των πέντε προτύπων διαλυμάτων στον άξονα των X και την αντίστοιχη απορρόφηση στο άξονα των Y. Με βάση την εξίσωση που προέκυψε, οι τιμές της απορρόφησης των δειγμάτων νερού μετατράπηκαν στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε P (Murphy and Riley 1962).

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

#### 2.4.10 Ολική σκληρότητα

Για τον προσδιορισμό της ολικής σκληρότητας και πριν την ανάλυση, τα δείγματα που ήταν θολά, διηθήθηκαν με φίλτρο μεγέθους πόρων 0,45 μm. Στη συνέχεια, ακολούθησαν δύο τιτλοδοτήσεις. Για την πρώτη, μεταφέρθηκαν 50 ml δείγματος, σε κωνική φιάλη των 250 ml μέσω σιφωνίου μιας χαραγής Class A. Ακολούθως, προστέθηκαν με dispenser, 4 ml ρυθμιστικού διαλύματος και 3 σταγόνες δείκτη Eriochrome Black T οπότε το χρώμα του διαλύματος έγινε βαθύ κόκκινο ή βιολετί. Αναδεύοντας, το διάλυμα τιτλοδοτήθηκε αμέσως με προχοΐδα που περιείχε EDTA (γρήγορα στην αρχή και αργά στο τέλος). Συνεχίστηκε η προσθήκη EDTA 0,01 mol/l όταν το χρώμα άλλαζε από βαθύ κόκκινο ή βιολετί σε μπλε. Η τιτλοδότηση τελείωσε όταν εξαφανίστηκε οποιαδήποτε κόκκινη χροιά και το χρώμα άλλαξε ξεκάθαρα σε μπλε (το χρώμα δεν έπρεπε να αλλάξει περισσότερο με την προσθήκη άλλης σταγόνας διαλύματος EDTA). Η δεύτερη τιτλοδότηση πραγματοποιήθηκε σε άλλο δείγμα. Μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη των 250 ml τόσα ml δείγματος όσα χρησιμοποιήθηκαν και στην πρώτη τιτλοδότηση και προστέθηκε ποσότητα EDTA κατά 0,5 ml μικρότερη. Ακόμα, προστέθηκαν με dispenser 4 ml ρυθμιστικού διαλύματος και 3 σταγόνες δείκτη Eriochrome Black T. Ακολούθησε τιτλοδότηση με την προσθήκη EDTA σταγόνα-σταγόνα, ως το τελικό σημείο (αν το αποτέλεσμα διέφερε περισσότερο από 0,2 ml από το αποτέλεσμα της πρώτης τιτλοδοτήσεως, έπρεπε να τιτλοδοτηθεί και τρίτο δείγμα). Η συγκέντρωση του συνόλου του ασβεστίου και μαγνησίου στο δείγμα, σε mmol/l, υπολογίστηκε από τον τύπο  $c_{Ca+Mg}=1000*c_1*V_3/V_0$ , όπου  $c_1$  ήταν η πραγματική συγκέντρωση του διαλύματος EDTA σε mol/l,  $V_3$  ήταν ο όγκος του EDTA σε ml, που καταναλώθηκαν για το δείγμα και  $V_0$  ήταν ο όγκος του δείγματος σε ml. Η ολική

σκληρότητα εκφρασμένη σε mg CaCO<sub>3</sub>/l υπολογίστηκε από τον τύπο  $H_T=100 \cdot c_{Ca+Mg}$  (Μόνιμη σκληρότητα = Ολική σκληρότητα – Παροδική σκληρότητα).

#### 2.4.11 Κίνδυνος νατρίου (S.A.R.)

Η υπάρχουσα σχέση μεταξύ του διαλυτού νατρίου και των άλλων διαλυτών κατιόντων, κυρίως Ca<sup>+2</sup> και Mg<sup>+2</sup>, χαρακτηρίζεται σαν κίνδυνος νατρίου ή S.A.R. (Sodium Absorption Ratio) και η τιμή της υπολογίστηκε από τον τύπο:  $S.A.R.=\sqrt{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}/2$ , όπου [Ca<sup>+2</sup>] και [Mg<sup>+2</sup>] ήταν οι συγκεντρώσεις των κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου, αντίστοιχα.

### 2.5 Μηχανική σύσταση

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης ακολουθήθηκε η μέθοδος Βουγιούκου και τα δείγματα κοσκινίστηκαν σε κόσκινο με άνοιγμα πλέγματος 2 mm. Κατόπιν ζυγίστηκαν 50 gr ξηρού ιζήματος σε ποτήρι βρασμού των 600 ml και προστέθηκαν 50 ml διασπορικού διαλύματος (διάλυμα 50 gr έξι-μεταφωσφορικού νατρίου και 7 gr ανθρακικού νατρίου σε 1 λίτρο αποσταγμένο νερό). Μετά από 2 ώρες, συμπληρώθηκε αποσταγμένο νερό μέχρι τα 500 ml και ακολούθησε ανάδευση με ράβδο και παραμονή για 24 ώρες σε σταθερές συνθήκες, για την ολοκλήρωση της διασποράς. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκε το δείγμα στο μηχανικό αναδευτήρα για ακόμα καλύτερη διασπορά (15 λεπτά για ελαφριάς έως μέτριας σύστασης εδάφη και 30 λεπτά για βαριά αργιλώδη εδάφη). Από εκεί μεταφέρθηκαν στο γυάλινο κύλινδρο, στον οποίο είχε ήδη προστεθεί μικρή ποσότητα ύδατος. Κατόπιν, τοποθετήθηκε το πυκνόμετρο και ο κύλινδρος συμπληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 1130 ml. Το περιεχόμενο αναδευτήκε χειροκίνητα μέχρι την ομογενοποίηση του. Ακολούθησε η πρώτη μέτρηση του πυκνομέτρου και του θερμομέτρου. Το αιώρημα αφέθηκε να ηρεμήσει και λήφθηκε δεύτερη μέτρηση ύστερα από 2 ώρες.

Αν Α ήταν η πρώτη ένδειξη μετά από 40 δευτερόλεπτα και Β η δεύτερη ένδειξη μετά από 2 ώρες τότε:  $A=(\text{Ιλύς}+\text{Άργιλος})$  (%),  $B=\text{Άργιλος}$  (%),  $A-B=\text{Ιλύς}$  (%) και  $100-A=\text{Άμμος}$  (%).

- (%) Άμμου (S) $=100-2*(A\pm\Delta_1)$ , όπου Α ήταν η πρώτη ανάγνωση του πυκνομέτρου και  $\Delta_1$  ο συντελεστής διόρθωσης της πρώτης ανάγνωσης του πυκνομέτρου, που αντιστοιχούσε στη θερμοκρασία της πρώτης θερμομέτρησης και λήφθηκε από ειδικό πίνακα.
- (%) Αργίλου $=2*(B\pm\Delta_2)$ , όπου Β ήταν η δεύτερη ανάγνωση του πυκνομέτρου και  $\Delta_2$  ο συντελεστής διόρθωσης της δεύτερης ανάγνωσης του πυκνομέτρου, που αντιστοιχούσε στη θερμοκρασία της δεύτερης θερμομέτρησης και λήφθηκε από ειδικό πίνακα.
- (%) Ιλύος =  $100 - [\text{Άμμος} (\%) + \text{Άργιλος} (\%)]$ .

## 2.6 Ολικός οργανικός άνθρακας - Ολικός άνθρακας - Οργανική ουσία

Για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα, του ολικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας του ιζήματος ακολουθήθηκε η μέθοδος Walkley-Black. Ζυγίστηκε 1 gr ιζήματος (<2 mm) και μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη των 500ml. Προστέθηκαν 10 ml διχρωμικό κάλιο 1N (ζυγίστηκαν 49,036 gr  $K_2Cr_2O_7$  και διαλύθηκαν σε 1 λίτρο αποσταγμένου νερού) με ογκομετρικό κύλινδρο ή αυτόματη πιπέτα και περιστράφηκε ελαφρά η φιάλη ώστε να διαβραχεί όλο το δείγμα. Ακολούθως, προστέθηκαν 20 ml π. θειικού οξέος με ογκομετρικό κύλινδρο ή διανεμητή όγκου. Αναδεύτηκαν ελαφρά και προσεκτικά έτσι ώστε να μην κολλήσουν κόκκοι δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης και αφέθηκε το δείγμα για 30-60 λεπτά έτσι ώστε να οξειδωθεί ο άνθρακας της οργανικής ουσίας (περιοδικά περιστρεφόταν η φιάλη). Οι διαδικασίες μέχρι αυτό το στάδιο γινόταν σε απαγωγό γιατί οι αντιδράσεις είναι εξώθερμες. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 200 ml απεσταγμένου νερού, 10 ml π. φωσφορικού οξέος και 0,2 gr NaF και αφέθηκε η φιάλη να

κρυώσει. Αφού συνέβη αυτό, προστέθηκαν 4-5 σταγόνες διφαινυλαμίνης (ζυγίστηκαν 0,6 gr δείκτη και διαλύθηκαν σε μίγμα 20 ml απεσταγμένου νερού και 100 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και ογκομετρήθηκε το δείγμα με 0,5N FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (ζυγίστηκαν 139,02 gr θειικού σιδήρου και διαλύθηκαν σε 1 λίτρο απεσταγμένου νερού και 20 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ωστόσο το χρώμα να αλλάξει από σκούρο μπλέ ιώδες σε βαθύ πράσινο. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και χωρίς την προσθήκη δείγματος (λευκός προσδιορισμός) για τον έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων.

Για τον υπολογισμό οργανικού άνθρακα, ολικού άνθρακα και οργανικής ουσίας, ακολουθήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί :

Αν T<sub>1</sub>= τα ml του θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του δείγματος, T<sub>2</sub>= τα ml του θειικού σιδήρου που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση του λευκού προσδιορισμού, B = το βάρος του δείγματος και N = η κανονικότητα του θειικού σιδήρου, τότε:

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

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

(επειδή με τη συγκεκριμένη μέθοδο οξειδώνεται μόνο το 77% του ολικού άνθρακα) και

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

(επειδή ο άνθρακας αποτελεί το 58% της οργανικής ουσίας).

## 2.7 Ολικό άζωτο

Για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαδικασία της υγρής καύσης-πέψης του αζώτου του ιζήματος και τη μετατροπή του σε αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) με την κατεργασία πυκνού H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγόμενη NH<sub>3</sub> με απόσταξη προσδιορίζεται με τιτλοδότηση HCl μετά τη δέσμευση της με βορικό οξύ.

Δείγμα ιζήματος 0,3 gr (<2 mm) τοποθετήθηκε στον ειδικό σωλήνα πέψης (Kjeldahl) της υγρής καύσης μαζί με μια ταμπλέτα σεληνίου. Προστέθηκαν 7 ml π. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και ακολούθησε προσεκτική ανάδευση. Οι σωλήνες πέψης τοποθετήθηκαν στο σύστημα απαγωγής και ακολούθησε έντονη καύση με μέγιστη ροή αέρα. Το σύστημα απαγωγής μεταφέρθηκε μαζί με τους σωλήνες στην προθερμασμένη συσκευή. Ύστερα από 3-4 λεπτά πέψης με τη μέγιστη ροή απαγωγής, ελέγχθηκε η καύση με τη ρύθμιση της απαγωγής με τρόπο ώστε να περιέχονται ελάχιστοι καπνοί από την καύση του δείγματος. Μετά από άλλα 20-45 λεπτά υγρής καύσης, αφαιρέθηκε το σύστημα απαγωγής και οι σωλήνες ψύχθηκαν σε ειδική βάση κοντά στη συσκευή πέψης. Αφού ψύχθηκαν, προστέθηκαν 75ml χλιαρό αποσταγμένο νερό και αναδεύτηκε το περιεχόμενο.

Αφού προστέθηκαν 25 ml βορικού οξέος (διαλύθηκαν με βρασμό 40 gr βορικού οξέος σε 1000 ml αποσταγμένου ύδατος), ρυθμίστηκε η συσκευή απόσταξης. Η συσκευή ήταν εφοδιασμένη με NaOH 40% και αποσταγμένο νερό, που διοχετεύονταν με ειδικές μαγνητικές αντλίες. Το πρόγραμμα που περιείχε, ρύθμιζε τις ποσότητες τους καθώς και το χρόνο απόσταξης και ατμού. Η ίδια διαδικασία ακολούθηθηκε και για το τυφλό (λευκό) δείγμα.

Το απόσταγμα τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα HCl 0,1 M στη συσκευή τιτλοδότησης. Ξεκίνησε η ογκομέτρηση η οποία άρχισε με το τυφλό δείγμα και ακολούθησε η ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα.

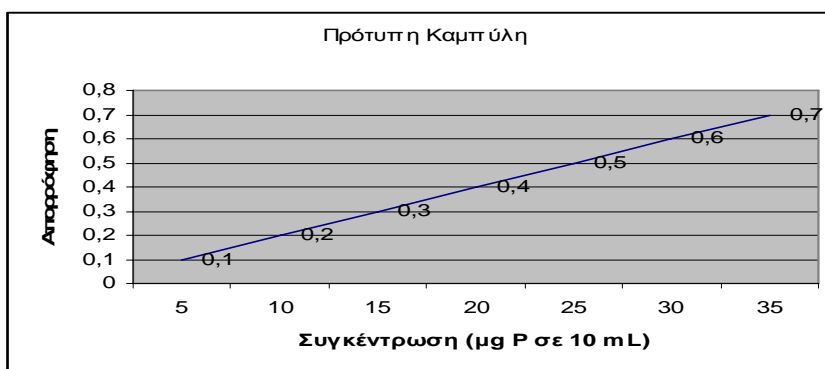
Η ποσότητα του ολικού αζώτου (%) υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:  $N = [(14,01 \times \text{ml HCl για την ογκομέτρηση του δείγματος}) - (0,1 \times \text{ml HCl για την ογκομέτρηση του τυφλού})] / (\text{gr δείγματος} \times 10)$  (Page A., Miller R. and Keeney R.).

## 2.8 Διαθέσιμος φώσφορος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου έγινε με τη μέθοδο Olsen και ακολούθησε δύο φάσεις. Η πρώτη αφορούσε την εκχύλιση με διάλυμα 0,5N NaHCO<sub>3</sub> και η δεύτερη τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο εκχύλισμα.

Αρχικά λήφθηκαν 10 ml από το εκχυλιστικό διάλυμα NaHCO<sub>3</sub> 0,5N (pH=8,5) σε ποτήρι ζέσεως των 50 ml. Προστέθηκε μια σταγόνα δείκτη p-νιτροφαινόλη και το διάλυμα απέκτησε κίτρινο χρώμα. Ακολούθως, προστέθηκε με προχοΐδα διάλυμα H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N και ταυτοχρόνως μετρήθηκε το pH του διαλύματος. Συνεχίστηκε η προσθήκη του οξέος μέχρι το pH να πάρει τιμή ίση με 5 και να παρατηρηθεί αποχρωματισμός του διαλύματος. Στη συνέχεια σημειώθηκαν τα ml του οξέος που καταναλώθηκαν για την οξίνιση του διαλύματος. Ακολούθησε η μεταφορά με σιφόνιο 10 ml από το εκχυλιστικό διάλυμα και αντίστοιχα 0,5,10,15,20 και 30 ml διαλύματος σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 50 ml.

Ταυτοχρόνως με την κατασκευή της καμπύλης (Σχ.2.1) πραγματοποιήθηκε και η διαδικασία της εκχύλισης. Ζυγίστηκαν 5 gr ιζήματος, ξηραθέντος στον αέρα και τοποθετήθηκαν σε φιάλη ανακίνησης για 30 λεπτά, μαζί με 100 ml διαλύματος NaHCO<sub>3</sub> 0,5N (pH=8,5). Το εκχύλισμα διηθήθηκε με ηθμό Whatman No40 (αν το διήθημα δεν ήταν διαυγές, προσθέτονταν 1 gr ενεργού άνθρακα και επαναδιηθούνταν μετά από άμεση ανακίνηση).



Σχήμα 2.1: Πρότυπη καμπύλη υπολογισμού συγκεντρώσεων P.

Εν συνεχεία, λήφθηκαν 10ml διηθήματος σε ογκομετρική φιάλη των 50ml και προστέθηκε απιονισμένο νερό. Μετά στη φιάλη προστέθηκε διάλυμα  $H_2SO_4$  5N σε ποσότητα ίση με αυτή που υπολογίστηκε παραπάνω και το διάλυμα αφέθηκε για 30 λεπτά. Ακόμη, προστέθηκαν 8 ml αντιδραστήριο B [διαλύθηκαν 0,528 gr ασκορβικό οξύ σε 100 ml διαλύματος A (διαλύθηκαν 6 gr  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$  σε 125 ml αποσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 500 ml, καθώς και 0,145 gr  $KSbO \cdot C_4H_4O_6$  με 50 ml αποσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως 200 ml και μεταφέρθηκαν τα παραπάνω διαλύματα σε ογκομετρική φιάλη των 1000 ml, προστέθηκαν 500 ml διαλύματος  $H_2SO_4$  5N και συμπληρώθηκε με νερό μέχρι τα 1000 ml)], συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με νερό, τοποθετήθηκε πώμα και ανακινήθηκε. Μετά από παραμονή 45 λεπτών, μετρήθηκε η απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο στα 880 nm με κυψελίδα 1 cm. Οι μετρήσεις της απορρόφησης μέσω της καμπύλης που κατασκευάστηκε έδωσαν τις τιμές συγκέντρωσης φωσφόρου. Αυτή πολλαπλασιάστηκε με το 200 (συντελεστής αραιώσης) και λήφθηκε η τελική τιμή του φωσφόρου (P) κατά Olsen σε  $\mu g/g$  ιζήματος (Page A., Miller R. and Keeney R.).



### **3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

#### **3.1 Ύδατα**

##### **3.1.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων**

Στον Πίνακα 3.1 φαίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, τα οποία αντιστοιχούν στους 24 σταθμούς δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν στην παρούσα έρευνα. Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται οι συντεταγμένες των σταθμών αυτών και τα βάθη δειγματοληψίας. Σε 8 από αυτούς τους σταθμούς (όπου το βάθος ήταν τουλάχιστον 1 μέτρο) συλλέχθηκαν 2 δείγματα νερού. Ένα στην επιφάνεια (Surface) και ένα στον πυθμένα (Bottom).

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

A/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	P1B	P1S	P2B	P2S	P3	P4	P5B	P5S	P6	P7B	P7S	P8	P9B	P9S	P10	P11B	P11S	P12	P13B	P13S	P14	P15B	P15S	P16
pH (εργαστ.) (0-7-14)	7,9	7,9	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	7,9	7,6	8	8	7,7	7,6	7,7	7,7	8,2	8,4	8,3	7,7	7,7	7,8	8,5	8,5	8,2
pH (πεδίου) (0-7-14)	8,05	8,71	8,83	8,65	8,78	8,79	8,7	8,79	8,52	8,42	8,52	8,81	8,33	8,41	8,45	8,23	8,53	8,63	8,26	8,57	8,7	8,65	8,66	8,44
Θερμοκρασία (εργαστ.) (°C)	19,5	18,8	18,8	18,8	19,1	19,4	19,6	18,7	18,8	18,9	19,7	18,4	18,7	18,4	19,7	20,5	21	21,2	19,3	19,1	19,4	20,8	21	20,5
Θερμοκρασία (πεδίου) (°C)	22,5	22,5	23,2	25,1	24,4	24,6	24,2	24,6	24,7	22,8	23,6	27,4	25,1	25,4	25,7	23,5	24,1	24,3	22,6	23,6	27,6	24,8	24,6	24,2
Ca (mg/l)	72	60	58	64	58	49	53	53	66	67	68	64	53	60	56	53	52	51	76	71	55	55	60	70
Mg (mg/l)	192	187	190	187	179	180	188	170	183	181	192	186	159	159	171	162	170	168	191	189	180	160	167	170
K (mg/l)	12	12	13	13	13	11	12	12	14	12	12	13	11	12	9,9	14	15	14	10	13	13	19	15	15
Na (mg/l)	490	480	470	480	490	480	500	510	460	480	480	480	430	440	430	510	520	520	510	470	490	520	510	530
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	222,2	199,7	199,7	205,2	194	199,7	205,2	188,7	183,2	216,7	205,2	194,2	227,7	222,2	216,7	210,7	210,7	216,7	233,2	222,2	222,2	238,7	216,7	266,2
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,4	0	0	0	0	10,8	2,7	0
Cl (mg/l)	742	742	750	735	742	668	682	682	758	742	735	742	651	545	552	758	773	780	742	992	661	765	758	803
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	610	520	540	590	550	640	680	640	550	570	520	620	540	620	630	450	460	490	630	305	640	480	440	465
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	1	0,8	0	0,7	1	0,9	0,6	0,5	0,7	1,2	0,7	0,7	1,3	1,3	0,9	1	0,7	1
Ολική Σκληρότητα	969	919	926	929	881	863	905	831	917	911	959	925	786	804	843	798	829	818	975	954	877	795	836	874
Παροδική Σκληρότητα	202	182	182	187	177	182	187	172	167	197	187	177	207	202	197	192	192	197	212	202	202	217	197	242
Μόνιμη Σκληρότητα	767	737	744	742	704	681	718	659	750	714	772	748	579	602	646	606	637	621	763	752	675	578	639	632
S.A.R.	6,9	6,9	6,8	6,8	7,2	7	7,2	7,6	6,6	7	6,7	6,9	6,6	6,7	6,4	7,9	7,8	7,9	7,1	6,7	7,2	7,9	7,7	7,7
EC (εργαστ.) (μS/cm)	3750	3720	3640	3600	3690	3560	3780	3250	3590	3780	3730	3790	3100	3780	3240	3680	3720	3760	3550	3700	3660	3750	3670	3910
EC (πεδίου) (μS/cm)	3400	3440	3456	3451	3520	3383	3545	3547	3565	3477	3488	3479	3092	3080	3071	3525	3500	3532	3460	3444	3457	3477	3530	3636
TDS (ppm)	1948	1965	1969	1964	1989	1924	>2000	>2000	>2000	1983	1984	1992	1764	1755	1757	>2000	>2000	1996	1970	1975	1964	1976	>2000	>2000

**Πίνακας 3.2:** Συντεταγμένες και βάθη των σημείων δειγματοληψίας.

Δείγμα	Συντεταγμένες (x,y)		Βάθος συλλογής (m)
P1B	398805	4373051	1,0
P1S	398805	4373051	0,5
P2B	398427	4373771	1,0
P2S	398427	4373771	0,5
P3	398220	4373871	0,5
P4	397130	4374550	0,5
P5B	396702	4375153	1,0
P5S	396702	4375153	0,5
P6	396208	4375642	0,5
P7B	399356	4373085	1,0
P7S	399356	4373085	0,5
P8	400155	4373335	0,5
P9B	395781	4373226	1,0
P9S	395781	4373226	0,5
P10	395405	4372210	0,5
P11B	400607	4371588	1,0
P11S	400607	4371588	0,5
P12	401907	4371192	0,5
P13B	398492	4371121	1,0
P13S	398492	4371121	0,5
P14	398430	4369326	0,5
P15B	399848	4371752	1,0
P15S	399848	4371752	0,5
P16	401075	4370129	0,5

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3, όπου φαίνεται ο μέσος όρος και το εύρος διακύμανσης των τιμών των υδατικών δειγμάτων, προκύπτει ότι το pH κυμαίνεται από 7,6 (στα δείγματα P2B,P2S,P6 και P9B) έως 8,5 (στα δείγματα P15B και P15S), με μέση τιμή το 7,9. Για τη θερμοκρασία οι αντίστοιχες τιμές είναι 18,4<sup>0</sup>C (στα δείγματα P8 και P9S), 21,2<sup>0</sup>C (στο δείγμα P12) και μέση τιμή 19,5<sup>0</sup>C. Η αγωγιμότητα παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 3100  $\mu\text{S/cm}$  (στο δείγμα P9B) και μέγιστη τιμή 3910  $\mu\text{S/cm}$  (στο P16), με μέση τιμή τα 3641  $\mu\text{S/cm}$ . Όσον αφορά τη συγκέντρωση σε ιόντα

ασβεστίου (mg/l), αυτή παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 49 (στο δείγμα P4), μέγιστη 72 (στο P13B) και μέση τιμή 60. Η συγκέντρωση σε ιόντα μαγνησίου (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 159 (στα δείγματα P9B και P9S), μέγιστη 192 (στα P1B και P7S) και μέση τιμή 177,5. Η συγκέντρωση σε ιόντα καλίου (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 9,9 (στο δείγμα P10), μέγιστη 19 (στο P15B) και μέση τιμή 12,9. Επίσης, συγκέντρωση σε ιόντα νατρίου (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 430 (στα δείγματα P9B και P10), μέγιστη 530 (στο P16) και μέση τιμή 486,7. Η συγκέντρωση σε χλωροϊόντα (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 545 (στο δείγμα P9S), μέγιστη 992 (στο P13S) και μέση τιμή 729. Η συγκέντρωση σε θειικά ιόντα (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 305 (στο δείγμα P13S), μέγιστη 680 (στο P5B) και μέση τιμή 549,2. Η συγκέντρωση σε φωσφορικά ιόντα (mg/l), παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 0,5 (στο δείγμα P6), μέγιστη 1,3 (στα P13B και P13S) και μέση τιμή 0,8. Ακόμη, οι αντίστοιχες ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές (mg/l), είναι για τα όξινα ανθρακικά ιόντα, 183,2 (στο P6), 266,2 (στο P16) και 213,23 και για τα ανθρακικά ιόντα, 0 (στην πλειοψηφία των δειγμάτων), 10,8 (στο P15) και 0,79. Όσον αφορά τη σκληρότητα (mg CaCO<sub>3</sub>/l), οι αντίστοιχες τιμές για την ολική είναι 786 (στο P9B), 975 (στο P13B) και 880, για την παροδική, 167 (στο P6), 242 (στο P16) και 194 και για τη μόνιμη, 578 (στο P15B), 772 (στο P7S) και 686. Τέλος, οι τιμές για τον κίνδυνο νατρίου (S.A.R.) κυμαίνονται από 6,4 (στο δείγμα P10) έως 7,9 (στα δείγματα P15B, P11B και P12), με τη μέση τους τιμή να ανέρχεται στα 7,1.

**Πίνακας 3.3:** Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών στα δείγματα υδάτων της λίμνης Κάρλα.

<b>Στοιχεία</b>	<b>Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών</b>
pH (0-7-14)	7,9 (7,6-8,5)
Θερμοκρασία (°C)	19,09 (18,4-21,2)
EC (μS/cm)	3641,7 (3100- 3910)
S.A.R.	7,13 (6,4-7,9)
TDS (ppm)	1933,82 (1755–2000)
Ολική Σκληρότητα (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	880 (786–975)
Παροδική Σκληρότητα (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	194,08 (167–242)
Μόνιμη Σκληρότητα (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	686,08 (578–772)
Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	60,17 (49–72)
Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	177,54 (159–192)
K <sup>+</sup> (mg/l)	12,9125 (9,9-19)
Na <sup>+</sup> (mg/l)	486,67 (430-530)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	213,23 (183,2-266,2)
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	0,79 (0-10,8)
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	729,17 (545-992)
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	549,17 (305-680)
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	0,82 (0,5-1,3)

Στον Πίνακα 3.4, φαίνεται η σύνθεση των επικρατούντων ιόντων στα δείγματα νερού, στα οποία επικρατούν τα ιόντα νατρίου, μαγνησίου και χλωρίου καθώς και τα θειικά ιόντα. Ο επικρατών τύπος νερού στα δείγματα της παρούσας έρευνας είναι ο Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> ο οποίος προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα Aquachem (Παράρτημα Ι). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα P11S όπου ο επικρατών τύπος είναι ο Na-Mg-Cl.

**Πίνακας 3.4:** Σύνθεση επικρατούντων ιόντων στα υδατικά δείγματα.

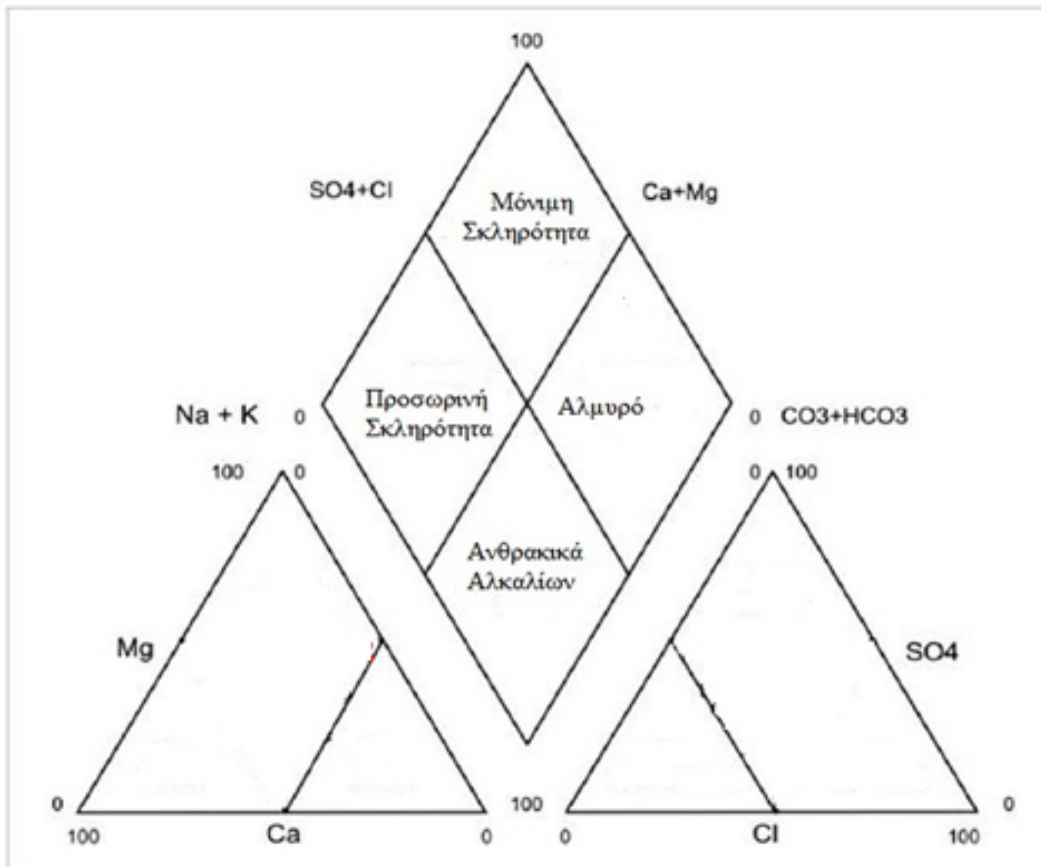
<b>Δείγμα</b>	<b>Τύπος νερού</b>
P1B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P1S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P2B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P2S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P3	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P4	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P5B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P5S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P6	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P7B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P7S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P8	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P9B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P9S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P10	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P11B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P11S	Na-Mg-Cl
P12	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P13B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P13S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P14	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P15B	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P15S	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
P16	Na-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα Piper (Σχ. 3.1 και 3.2) τα οποία είναι συνδυασμός τριγώνων κατιόντων και ανιόντων που βρίσκονται σε μια κοινή βασική γραμμή. Οι γειτονικές πλευρές των τριγώνων βρίσκονται χωριστά κατά  $60^{\circ}$ . Μεταξύ τους, ένα σχήμα διαμαντιού χρησιμοποιείται για τον επανασχεδιασμό των αναλύσεων ως κύκλων, οι επιφάνειες των οποίων είναι ανάλογες των ολικών διαλυμένων στερεών τους. Η θέση μιας ανάλυσης σε ένα διάγραμμα Piper δύναται να χρησιμοποιηθεί ως μια δοκιμαστική εικόνα της προέλευσης του νερού που αντιπροσωπεύεται από την ανάλυση.

Σε ένα διάγραμμα Piper, το μέρος του διαμαντιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό διάφορων τύπων νερού. Σύμφωνα με τον Piper, τα νερά διαιρούνται σε τέσσερις βασικούς τύπους, αναλόγως την απόστασή τους από τις τέσσερις γωνίες του διαμαντιού. Οι τύποι αυτοί αφορούν νερά πλούσια σε  $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$  και  $\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{-2}$  που οδηγούνται σε κατάσταση μόνιμης σκληρότητας (κορυφή διαμαντιού), νερά πλούσια σε  $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$  και  $\text{HCO}_3^{-}$ , με προσωρινή σκληρότητα (αριστερή γωνία διαμαντιού), νερά πλούσια σε  $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$  και  $\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{-2}$ , αποτελούμενα από ανθρακικά αλκαλίων (χαμηλότερη γωνία διαμαντιού) και νερά πλούσια σε  $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$  και  $\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{-2}$ , τα οποία θεωρούνται αλμυρά (κοντά στη δεξιά πλευρά του διαμαντιού) (Piper 1944). Από τα διαγράμματα Piper των Σχημάτων 3.1 και 3.2 προκύπτει ότι τα δείγματα νερού της παρούσας έρευνας βρίσκονται στην περιοχή των υφάλμυρων υδάτων.

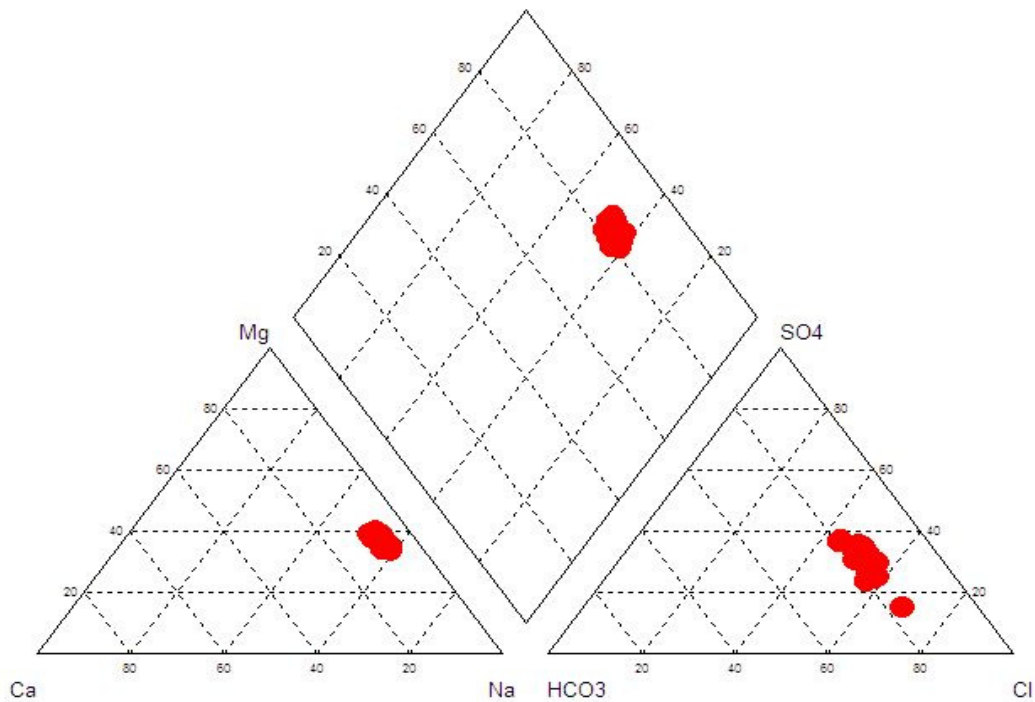
Από το διάγραμμα Piper του Σχήματος 3.1 το οποίο αντιπροσωπεύει τα δείγματα νερού της παρούσας έρευνας, διαπιστώνεται ότι ο τύπος νερού βρίσκεται στα όρια του αλμυρού και ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με τα αντίστοιχα διαγράμματα

αργιλικών ιζημάτων και θαλασσίου νερού (για την κατασκευή του διαγράμματος Piper έγινε χρήση του προγράμματος Aquachem).



**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα Piper.





**Σχήμα 3.2:** Διάγραμμα Piper για τα δείγματα της έρευνας.

Οι βασικότεροι μηχανισμοί που καθορίζουν τη συγκέντρωση των ιόντων των επιφανειακών υδάτων σχετίζονται με τη γεωλογία της περιοχής (επικρατούντα πετρώματα), τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις και τη διαδικασία της εξάτμισης-κατακρήμνισης (Gibbs 1970, 1992, Feth 1971, Kilham 1975, 1990, Stallard 1980, Stallard and Edmond 1981, Meybeck and Helmer 1989, Eilers et al. 1992, Gibson et al. 1995). Στην πρώτη περίπτωση, όπου τα πετρώματα έχουν τον κυρίαρχο ρόλο, τα ύδατα είναι πλούσια σε ασβέστιο και διττανθρακικά ιόντα και παραμένουν σε ισορροπία προς τα υλικά της λεκάνης απορροής και εξαρτώνται από το κλίμα, το ανάγλυφο της λεκάνης και ιδιαίτερος από τη σύσταση του πετρώματος στον πυθμένα της λίμνης.

Η περίπτωση της λίμνης Κάρλα, δεδομένων των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των κύριων ιόντων, όπου επικρατούν τα ιόντα νατρίου και χλωρίου,

επηρεάζεται πρωτίστως από τα διαλυμένα άλατα των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων που προέρχονται από το Αιγαίο Πέλαγος αλλά και από την εισχώρηση του θαλασσίου ύδατος στην ενδοχώρα, εισερχόμενο από το δευτερογενές πορώδες των ασβεστολίθων που χωρίζουν την περιοχή της λίμνης Κάρλα με το Αιγαίο Πέλαγος. Πιθανή είναι και η προέλευση από τη διαδικασία της εξάτμισης. Επίσης, σημαντικό ρόλο ως πηγή προέλευσης διαδραματίζει και η αποσάθρωση των πετρωμάτων της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης.

### **3.1.2 Καταλληλότητα**

#### **3.1.2.1 Καταλληλότητα για διαβίωση ιχθύων**

Για τη διερεύνηση της καταλληλότητας των υδάτων για τη διαβίωση ιχθύων, ελήφθη υπ' όψιν η Οδηγία 78/659/ΕΟΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία εκδόθηκε μετά την αναγνώριση της σημασίας ενός κοινού καθορισμού των ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για την προστασία των γλυκών υδάτων στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν ιχθύες. Η Οδηγία αφορά στην απαιτούμενη ποιότητα των γλυκών υδάτων στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε εγχώρια είδη ιχθύων είτε είδη ιχθύων των οποίων η παρουσία κρίνεται επιθυμητή από τα κράτη μέλη.

Η εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, έγινε το 1986 με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/4352/86.

Στα πλαίσια της Οδηγίας, θεωρούνται ως ύδατα σαλμονιδών, τα ύδατα εντός των οποίων αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν οι ιχθύες που ανήκουν σε είδη όπως οι σολωμοί, οι πέστροφες, οι σκιαθίδες και τα *Coregomes*, ενώ ως ύδατα κυπρινιδών, τα ύδατα εντός των οποίων αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν οι ιχθύες που ανήκουν στα κυπρινοειδή ή σε άλλα είδη όπως οι λάβρακες, οι πέρκες και οι έγχελεις.

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα επιθυμητά και ανώτατα επιτρεπόμενα όρια κάποιων παραμέτρων των δύο προαναφερθέντων κατηγοριών νερού, σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, καθώς και οι μέσοι όροι και τα εύρη των μετρήσεων των συγκεκριμένων παραμέτρων, της παρούσης έρευνας.

**Πίνακας 3.5:** Μέσοι όροι και εύρη διακύμανσης σε αντιπαράθεση με όρια δύο κατηγοριών νερού (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ).

Παράμετροι	Κατηγορίες νερών				
	Νερά λίμνης Κάρλα	Νερά σαλμονιδών		Νερά κυπρινιδών	
	Μ.Ο.(εύρος) μετρήσεων	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπόμενο όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπόμενο όριο
Θερμοκρασία ( <sup>0</sup> C)	19,5 (18.4–21.2)	(0,1)	21.5 <sup>(0,1)</sup>	25 <sup>(0,1)</sup>	28 <sup>(0,1)</sup>
ρΗ (μονάδες)	7.9 (7.6–8.5)	6.5–8.5 <sup>(2)</sup>	6–9 <sup>(0,2)</sup>	5.5–8.5 <sup>(0,2)</sup>	6–9 <sup>(0,2)</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	0.8 (0–1.3)	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  $\pm 0,5$  μονάδες pH, με την προϋπόθεση ότι δεν αυξάνεται αισθητά η δραστηριότητα άλλων ουσιών που περιέχονται στο νερό του αποδέκτη.

Από τον Πίνακα 3.5, προκύπτει ότι όσον αφορά τη θερμοκρασία, οι τιμές για τα δείγματα της παρούσης έρευνας δεν ξεπερνάνε τα θεσπισμένα από την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ όρια. Επομένως μπορούν τα συγκεκριμένα νερά, ως προς την παράμετρο αυτή, να χαρακτηριστούν κατάλληλα για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε σε ύδατα σαλμονιδών είτε σε ύδατα κυπρινιδών. Παρομοίως, τα ίδια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και από τις αντίστοιχες τιμές για το pH των υδάτων. Αντιθέτως, δεν ισχύει το ίδιο για τις συγκεντρώσεις σε φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), αφού η πλειοψηφία των δειγμάτων ξεπερνά την επιθυμητή επιτρεπόμενη τιμή των 0,2 mg/l, η οποία έχει θεσπιστεί από την ίδια οδηγία.

### **3.1.2.2 Καταλληλότητα για πόση**

Η διερεύνηση της καταλληλότητας των υδάτων για πόση, έγινε με τη χρήση των κριτηρίων αποτίμησης ρίσκου του πόσιμου νερού της Οδηγίας 98/83/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, των βασικών (Maximum Contamination Level) και δευτερευόντων (Secondary Contamination Level) κριτηρίων της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (USEPA), καθώς και των κριτηρίων του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO 2004).

Στον Πίνακα 3.6 φαίνονται οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές σημαντικών χημικών παραμέτρων, που υπολογίστηκαν για τα δείγματα της παρούσης έρευνας, τα κριτήρια αποτίμησης ρίσκου του πόσιμου νερού που προαναφέρθηκαν, καθώς και τα ποσοστά των δειγμάτων που υπερβαίνουν αυτά τα κριτήρια, για κάθε παράμετρο.

**Πίνακας 3.6:** Σύγκριση των τιμών των αναλυθέντων παραμέτρων με τα κριτήρια αποτίμησης ρίσκου πόσιμου νερού.

Παράμετροι	Παρούσα έρευνα			Κριτήρια αποτίμησης ρίσκου πόσιμου νερού				Ποσοστό (%) των δειγμάτων που υπερβαίνει τα κριτήρια			
	Μέσες τιμές	Ελάχιστες τιμές	Μέγιστες τιμές	Παραμετρικές τιμές (EC <sup>a</sup> )	MCL (USEPA <sup>b</sup> )	SMCL (USEPA <sup>b</sup> )	WHO (2004)	EC	MCL (USEPA <sup>b</sup> )	SMCL (USEPA <sup>b</sup> )	WHO (2004)
pH (-)	7,9	7,6	8,5	6,5-9,5	Κανένα	6,5-8,5	6,5-8,5	0	NA	0	0
Ec (μS/cm)	3641,7	3100	3910	400*	Κανένα	Κανένα	750	100	NA	NA	100
TDS (mg/l)	1933,82	1924	2000	Κανένα	Κανένα	500	500	NA	NA	100	100
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	60	49	76	100*	Κανένα	Κανένα	75	0	NA	NA	4
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	177,5	159	192	50	Κανένα	Κανένα	30	100	NA	NA	100
K <sup>+</sup> (mg/l)	12,9	9,9	19	12*	Κανένα	Κανένα	100	54	NA	NA	Κανένα
Na <sup>+</sup> (mg/l)	486	430	530	200	Κανένα	Κανένα	200	100	NA	NA	100
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	213,23	183,15	266,2	Κανένα	Κανένα	Κανένα	200	NA	NA	NA	70
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	549	305	680	250	Κανένα	250	250	100	NA	100	100
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	729	545	992	250	Κανένα	250	250	100	NA	100	100

NA : Μη εφαρμόσιμο

<sup>a</sup> Η EC (Οδηγία 98/83 ) δεν έχει καθιερώσει ακόμα κριτήρια αποτίμησης ρίσκου του πόσιμου νερού για TDS,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

<sup>b</sup> Η USEPA δεν έχει καθιερώσει ακόμα δευτεροβάθμια κριτήρια και κριτήρια αποτίμησης ρίσκου του πόσιμου νερού για TDS, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

\*Οδηγία 80/ 778/EEC.

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Πίνακα 3.6 και όσον αφορά το pH, κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει τα κριτήρια EC, SMCL και WHO. Όσον αφορά την αγωγιμότητα, όλα τα δείγματα υπερβαίνουν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια EC και WHO. Για το TDS, όλα τα δείγματα υπερβαίνουν κατά πολύ τα κριτήρια SMCL και WHO. Καμία από τις συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου δεν υπερβαίνει τα κριτήρια EC ενώ μόλις ένα υπερβαίνει τα κριτήρια WHO. Όσον αφορά τώρα τις συγκεντρώσεις σε ιόντα μαγνησίου, όλα τα δείγματα υπερβαίνουν σε μεγάλο βαθμό τα κριτήρια EC και WHO. Επίσης, το 50 % των συγκεντρώσεων των δειγμάτων σε ιόντα καλίου υπερβαίνουν τα κριτήρια EC ενώ κανένα τα WHO. Ακόμη, όλες οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων σε ιόντα νατρίου υπερβαίνουν κατά πολύ τα κριτήρια EC και WHO. Όσον αφορά τα όξινα ανθρακικά ιόντα, 17 από τα 24 δείγματα υπερβαίνουν τα κριτήρια WHO ενώ στα θειικά και χλωροϊόντα, όλα τα δείγματα υπερβαίνουν τα κριτήρια EC, SMCL, WHO και SMCL, WHO, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τη σκληρότητα τα νερά μπορούν να καταταχθούν σύμφωνα με την ολική τους σκληρότητα σε τέσσερις κατηγορίες (Durfur and Becker 1964). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα νερά με ολική σκληρότητα που κυμαίνεται μεταξύ 0–75 mg CaCO<sub>3</sub>/l και τα οποία χαρακτηρίζονται ως μαλακά. Στη δεύτερη αντιστοίχως ανήκουν νερά με σκληρότητα μεταξύ 75–150 (μετρίως σκληρά). Η τρίτη κατηγορία αφορά νερά με τιμές σκληρότητας μεταξύ 150–300 (σκληρά). Τέλος, νερά με σκληρότητα μεγαλύτερη των 300 mg CaCO<sub>3</sub>/l, κατατάσσονται στην τέταρτη κατηγορία (πολύ σκληρά).

Στην παρούσα έρευνα, η διακύμανση τιμών για τα δείγματα υδάτων ήταν μεταξύ 786–975 mg CaCO<sub>3</sub>/l, με μέση τιμή τα 880. Φαίνεται λοιπόν ότι τα δείγματα της παρούσης έρευνας μπορούν να καταταχθούν στην κατηγορία των πολύ σκληρών νερών. Παρ'ότι δεν έχει αποδειχθεί σύνδεση της σκληρότητας με δυσμενείς επιδράσεις

στην υγεία των ανθρώπων (μόνο μειονεκτήματα από αισθητικής απόψεως λόγω της γεύσης), υπάρχουν υποψίες για σύνδεση των υπερβολικά υψηλών τιμών σκληρότητας υδάτων με φαινόμενα ουρολιθίασης, θνησιμότητας, μορφών καρκίνου και καρδιαγγειακών παθήσεων (Durvey et al. 1991). Τέλος, όσον αφορά την ολική σκληρότητα, το σύνολο των δειγμάτων της παρούσας έρευνας ξεπερνά κατά πολύ το όριο των 100 mg CaCO<sub>3</sub>/l (WHO 2004).

Μετά την αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει ότι τα νερά της λίμνης Κάρλα είναι ακατάλληλα για πόση.

### **3.1.2.3 Καταλληλότητα για άρδευση**

Οι τιμές της αγωγιμότητας (EC) καθώς και των συγκεντρώσεων σε νάτριο, διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στην κατάταξη των νερών που προορίζονται για άρδευση (Ako Ako et al. 2010). Σύμφωνα με τον Richards (1954), βασιζόμενοι στις τιμές του SAR και της αγωγιμότητας (EC), το νερό άρδευσης μπορεί να καταταχθεί σε 4 κατηγορίες: χαμηλή (EC≤250 μS/cm, SAR<10), μεσαία (EC=250–750 μS/cm, SAR=10–18), υψηλή (EC=750–2250 μS/cm, SAR=18–26) και πολύ υψηλή (EC=2250–5000 μS/cm, SAR>26). Μεγάλες συγκεντρώσεις σε άλατα (EC), μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό αλατούχων εδαφών, την ώρα που υψηλές συγκεντρώσεις σε νάτριο έχουν ως επακόλουθο το σχηματισμό αλκαλικών εδαφών (Ako Ako et al. 2010).

Στον Πίνακα 3.7 κατατάσσονται τα δείγματα της παρούσης έρευνας σε κατηγορίες σύμφωνα με τον Richards (1954), όπου φαίνεται ότι όλα τα δείγματα μπορούν να καταταχθούν στις κατηγορίες πολύ υψηλής αγωγιμότητας και χαμηλού SAR. Πρόκειται δηλαδή για νερά τα οποία δεν εγκυμονούν κινδύνους όσον αφορά το SAR, αλλά κρίνονται ακατάλληλα ως προς τις τιμές της αγωγιμότητας (EC) και τα

οποία δύναται να οδηγήσουν στο σχηματισμό αλατούχων εδαφών, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς.

**Πίνακας 3.7:** Κατάταξη δειγμάτων σε κατηγορίες σύμφωνα με την καταλληλότητα τους για άρδευση.

Δείγμα	Ec, αγωγιμότητα (μS/cm)				SAR (Sodium Absorption Ratio)			
	Χαμηλή ≤ 250	Μεσαία 250–750	Υψηλή 750–2250	Πολύ Υψηλή 2250–5000	Χαμηλή < 10	Μεσαία 10–18	Υψηλή 18–26	Πολύ Υψηλή >26
P1B				√	√			
P1S				√	√			
P2B				√	√			
P2S				√	√			
P3				√	√			
P4				√	√			
P5B				√	√			
P5S				√	√			
P6				√	√			
P7B				√	√			
P7S				√	√			
P8				√	√			
P9B				√	√			
P9S				√	√			
P10				√	√			
P11B				√	√			
P11S				√	√			
P12				√	√			
P13B				√	√			
P13S				√	√			
P14				√	√			
P15B				√	√			
P15S				√	√			
P16				√	√			



### 3.1.3 Ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 3.8 παρατίθενται ενδεικτικά τιμές λιμνών του ελλαδικού χώρου αλλά και της αλλοδαπής, για τις παραμέτρους που υπολογίστηκαν στην παρούσα έρευνα.

**Πίνακας 3.8:** Ενδεικτική παρουσίαση αποτελεσμάτων λιμνών του ελλαδικού χώρου και της αλλοδαπής.

A/A	ΛΙΜΝΕΣ	pH	EC μS/cm	TDS	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/l
1	Κάρλα	7.9	3641.7	1933.8	60.2	177.54	12.9	486.67	729.17	549.17	0.82
2	Κορώνεια <sup>1</sup>	8.8–9.1	476–932							517–965	0.31–3.14
3	Βόλβη <sup>1</sup>	8.4–8.7	914–1150							66–134	0.11–0.81
4	Παμβώτιδα <sup>2</sup>	7.92	359.4						0.073		1.46
5	Manchar <sup>3</sup> (PAK)	8.4	2310		70.7	56.2	17.6	521.5	431.6		0.02
6	Pandoh <sup>4</sup> (IND)	7.35	71.6	53200	7.99	1.17	1.91	3.87	1.53		1.19
7	Watland of Wadi Gaza <sup>5</sup> (IND)	7.6	4200		136	89		678	924	236	49
8	Beysehir <sup>6</sup> (TUR)	8	350								
9	Laduviken <sup>6</sup> (SWE)	7.9	98800								
10	Rackstori <sup>6</sup> (SWE)	7.72	52400								
11	Judarn <sup>6</sup> (SWE)	7.46	38700								
12	Kyrksjon <sup>6</sup> (SWE)	7.98	65500								
13	Flaten <sup>6</sup> (SWE)	7.82	37900								
14	Altasjon <sup>6</sup> (SWE)	8.04	44500								
15	Trekanten <sup>6</sup> (SWE)	7.86	48300								
16	Langsjon <sup>6</sup> (SWE)	7.5	40500								
17	Gommaren <sup>6</sup> (SWE)	6.58	7200								
18	Mortsjon <sup>6</sup> (SWE)	7.02	8800								
19	Wielkie <sup>7</sup> (POL)	7.7			82	15.9	6.9			67	0.23
20	Boszkowo <sup>7</sup> (POL)	7.7			108	15.1	7.2			68	0.48
21	Dominickie <sup>7</sup> (POL)	7.6			51	16.3	2.9			46	0.50

1: Gantidis et al. (2007), 2: Κάγκαλου Ι. (1989), 3: Mastoi et al. (2008), 4: Anshumali and Ramanathan (2007), 5: Shomar et al. (2005), 6: Altindag and Yigit (2005), 7: Szymanowska et al. (1999).

Το γεγονός ότι οι τιμές των λιμνών οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 3.8 αναφέρονται σε πλήρη προγράμματα δειγματοληψιών, καθιστούν δύσκολη την σύγκρισή τους με τις τιμές που υπολογίστηκαν στην παρούσα έρευνα (αφορούν μια μόνο δειγματοληψία).

Παρ'όλα αυτά, κάποιες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για μελλοντικά αναλυτικότερα ερευνητικά προγράμματα. Έτσι, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ενδιαφέρουσα η καταγραφή χαμηλότερων τιμών pH στη λίμνη Κάρλα σε σχέση με τις λίμνες του ελλαδικού χώρου. Ακόμη, πιθανώς να παρουσιάζουν ερευνητικό ενδιαφέρον και οι αρκετά υψηλότερες και χαμηλότερες τιμές αγωγιμότητας στη λίμνη Κάρλα, σε σχέση με αυτές του ελλαδικού χώρου και της αλλοδαπής, αντίστοιχα. Όσον αφορά τα ιόντα, οι αρκετά υψηλότερες τιμές για τα ιόντα μαγνησίου που υπολογίστηκαν για τη λίμνη Κάρλα, σε σύγκριση με αυτές των λιμνών της αλλοδαπής, ίσως χρήζουν ιδιαίτερης έρευνας και αναλυτικότερης επιστημονικής προσέγγισης.

## **3.2 Ιζήματα**

### **3.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων ιζήματος**

Στον Πίνακα 3.9 φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων ιζήματος, τα οποία αντιστοιχούν στους 16 σταθμούς δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν στην παρούσα έρευνα. Τα αποτελέσματα αφορούν τις συγκεντρώσεις σε διαθέσιμο φώσφορο (P), ολικό άζωτο (N), ολικό οργανικό άνθρακα, ολικό άνθρακα και οργανική ουσία (C) καθώς και την (%) σύσταση σε άμμο, άργιλο και ιλύ (μηχανική σύσταση). Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2 της παρούσης έρευνας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 16,26 ppm στο δείγμα P4 έως 87,68

ppm στο δείγμα P8 και η μέση τιμή της ανέρχεται στα 50 ppm. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών από 2300 ppm στο δείγμα P4 έως 6000 ppm στο δείγμα P6 και η μέση τιμή τους είναι τα 4003 ppm. Όσον αφορά την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ολικό οργανικό άνθρακα, ολικό άνθρακα και οργανική ουσία, τα αποτελέσματα κυμαίνονται από 0,27 % στο δείγμα P11 έως 2,09 % στο δείγμα P12, με μέση τιμή το 1,14 % (ολικός οργανικός άνθρακας), από 0,35 % στο δείγμα P11 έως 2,71 % στο δείγμα P12, με μέση τιμή το 1,49 % (ολικός άνθρακας) και από 0,61 % στο δείγμα P11 έως 4,68 % στο δείγμα P12, με μέση τιμή το 2,56 % (οργανική ουσία).

Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μηχανική σύσταση των δειγμάτων παρουσιάζουν για την περιεκτικότητα (%) σε άμμο, ελάχιστη τιμή 0 % στο δείγμα P8, μέγιστη τιμή 40,4 % στο δείγμα P11 και μέση τιμή 12,43 %. Για την άργιλο, τα αντίστοιχα αποτελέσματα είναι 35,6 % στο δείγμα P11, 85,44 % στο P3 και μέση τιμή ίση με 68,48 % και για την ιλύ, 2,36 % στο δείγμα P7, 31,66 % στο δείγμα P12 και μέση τιμή ίση με 19,08 %. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων ως προς τη μηχανική τους σύσταση είναι αργιλώδες, πλην του P11 το οποίο χαρακτηρίζεται ως αργιλοπηλώδες.

**Πίνακας 3.9:** Αποτελέσματα αναλύσεων ιζήματος των 16 σημείων δειγματοληψίας.

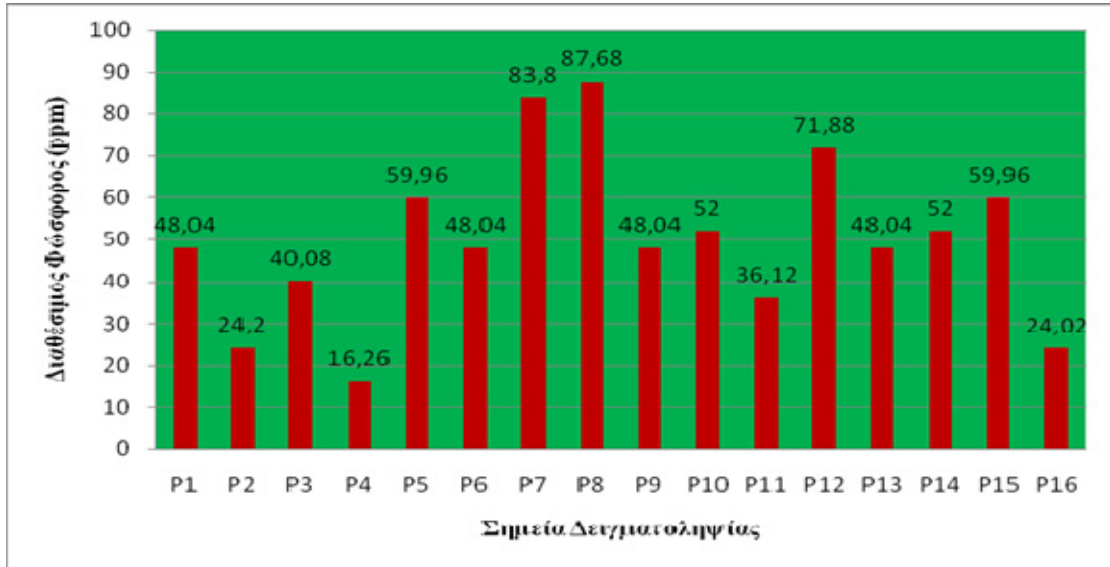
		Διαθέσιμος Φόσφορος ( P ) ppm(μg/g)	Ολικό Αζωτο ( N ) ppm(μg/g)	Οργανική ουσία %	Ολικός Άνθρακας %	Οργανικός Άνθρακας %	Μηχανική σύσταση			Χαρακτηρισμός
							Άμμος (%)	Αργίλος (%)	Ίλύς (%)	
1	P1	48,04	4800	3,46	2,01	1,54	5,84	78,16	16	Αργιλώδες
2	P2	24,2	3400	2,46	1,43	1,10	0,4	77,96	21,64	Αργιλώδες
3	P3	40,08	2800	1,12	0,65	0,50	0,56	85,44	14	Αργιλώδες
4	P4	16,26	2300	0,78	0,45	0,35	6,4	79,6	14	Αργιλώδες
5	P5	59,96	4900	2,01	1,17	0,90	10,4	73,6	16	Αργιλώδες
6	P6	48,04	6000	4,35	2,52	1,94	11,12	67,24	21,64	Αργιλώδες
7	P7	83,8	4400	1,9	1,10	0,85	16,56	81,08	2,36	Αργιλώδες
8	P8	87,68	3700	2,23	1,29	1,00	0	80,16	19,84	Αργιλώδες
9	P9	48,04	4400	2,68	1,55	1,20	5,12	75,24	19,64	Αργιλώδες
10	P10	52	3800	3,11	1,80	1,39	12,4	67,96	19,64	Αργιλώδες
11	P11	36,12	2850	0,61	0,35	0,27	40,4	35,6	24	Αργιλοπηλώδες
12	P12	71,88	4300	4,68	2,71	2,09	18,56	49,8	31,66	Αργιλώδες
13	P13	48,04	2800	3,01	1,75	1,34	19,12	67,6	13,28	Αργιλώδες
14	P14	52	4800	2,9	1,68	1,29	31,12	47,6	21,28	Αργιλώδες
15	P15	59,96	4400	2,81	1,63	1,25	8,04	69,6	22,36	Αργιλώδες
16	P16	24,02	4400	2,9	1,68	1,29	12,92	59,08	28	Αργιλώδες

Στον Πίνακα 3.10 φαίνεται ο μέσος όρος και το εύρος διακύμανσης των τιμών των παραμέτρων που αναλύθηκαν, για τα σημεία δειγματοληψίας της έρευνας.

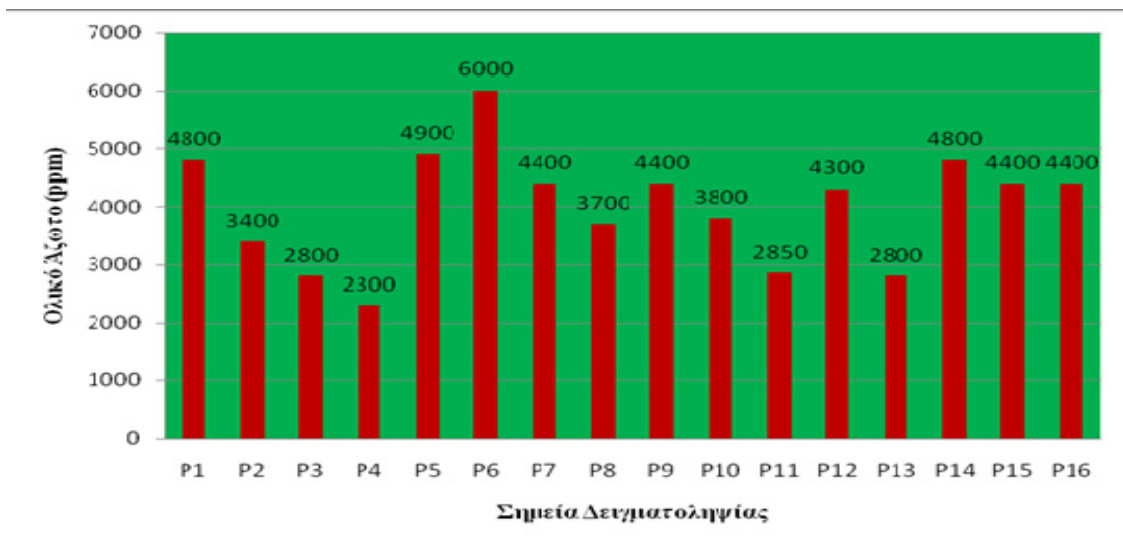
**Πίνακας 3.10:** Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών (P,TN,TOC,TC,C).

<b>Στοιχεία</b>	<b>Μέσος όρος και εύρος διακύμανσης τιμών λίμνης Κάρλα</b>
Διαθέσιμος φώσφορος (P) ppm	50 (16,26 – 87,68)
Ολικό άζωτο (TN) ppm	4003,1 (2300 - 6000)
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) (%)	1,14 (0,27 - 2,09)
Ολικός άνθρακας TC (%)	1,49 (0,35 - 2,71)
Οργανική ουσία C (%)	2,6 (0,61 – 4,68)

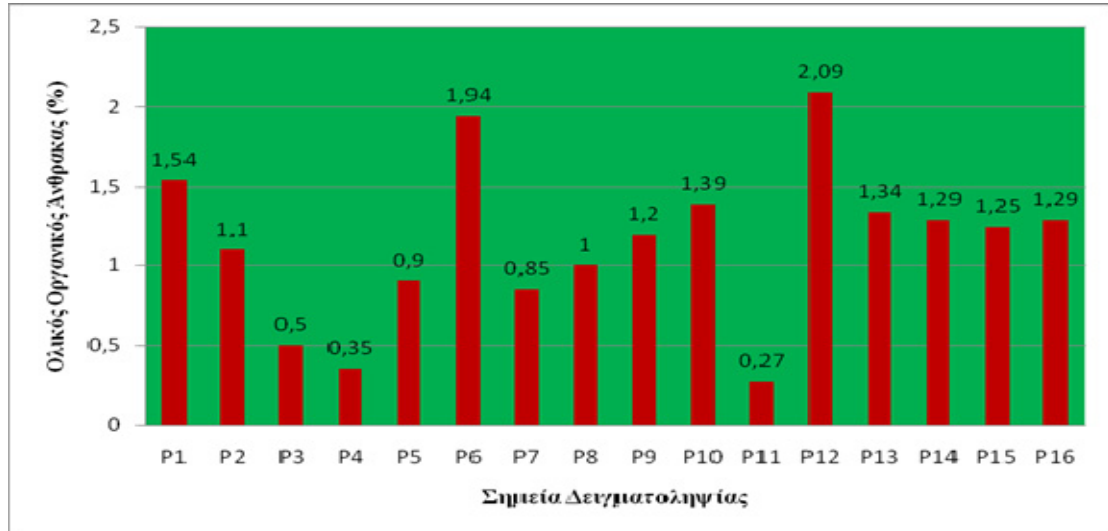
Με βάση τις συγκεντρώσεις σε φώσφορο, ολικό άζωτο, οργανική ουσία, ολικό οργανικό και ολικό άνθρακα καθώς και τη μηχανική σύσταση των δειγμάτων ιζήματος της περιοχής έρευνας, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα των Σχημάτων 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 και 3.7, όπου παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών. Στο Σχήμα 3.8 κατατάσσονται τα ιζήματα της έρευνας σε κατηγορίες ως προς τη μηχανική τους σύσταση, με τη χρήση του τριγώνου μηχανικής σύστασης.



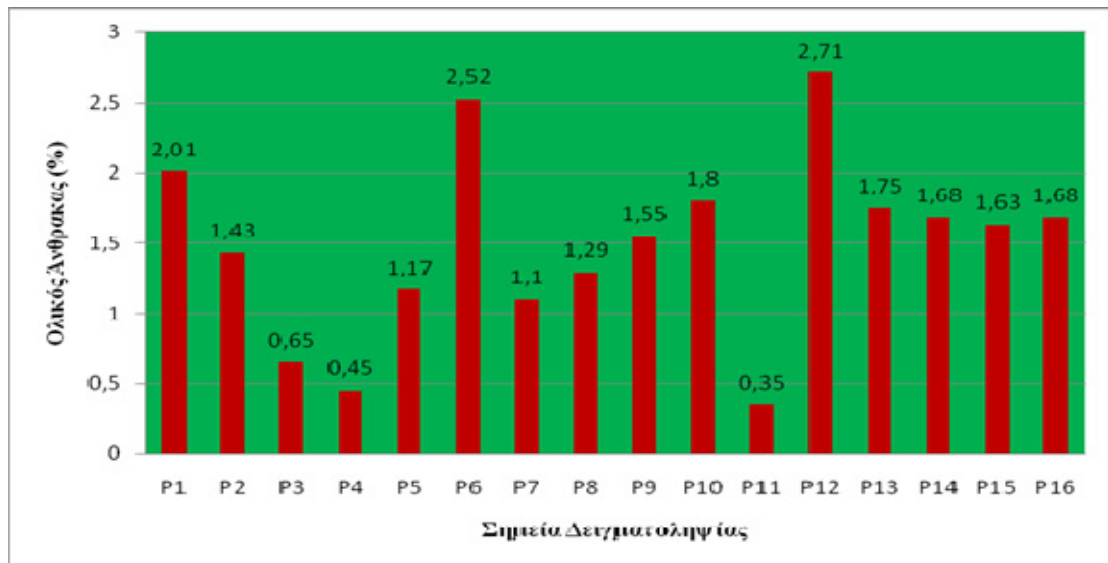
**Σχήμα 3.3:** Διάγραμμα συγκέντρωσης (σε ppm) του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα.



**Σχήμα 3.4:** Διάγραμμα συγκέντρωσης (σε ppm) του ολικού αζώτου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα.



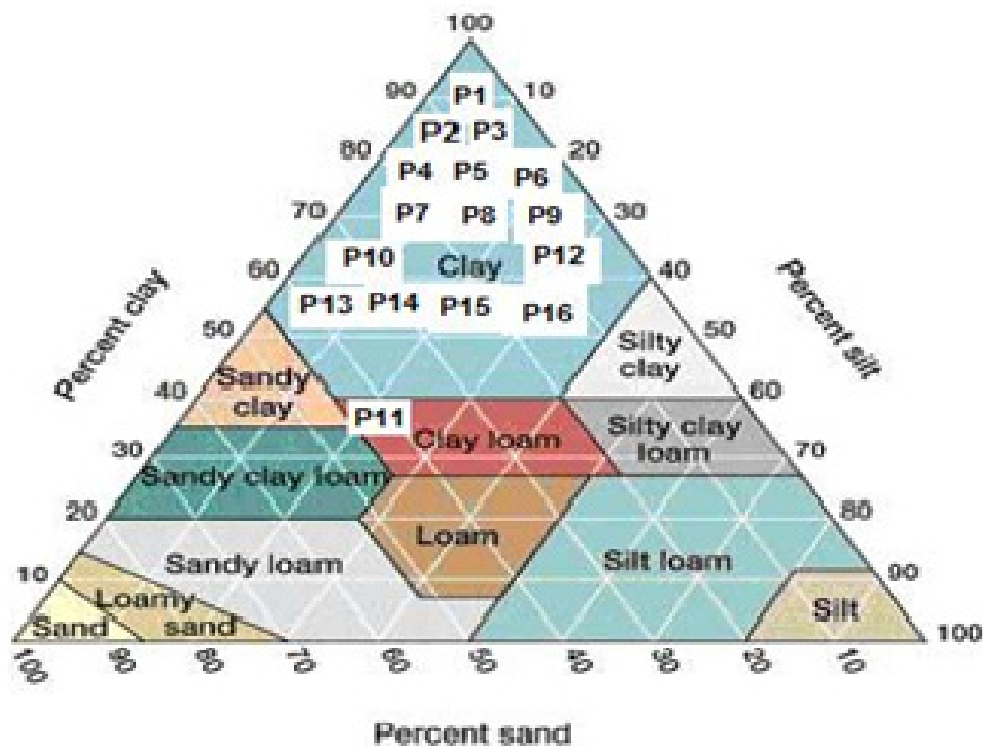
**Σχήμα 3.5:** Διάγραμμα ποσοστού (%) του ολικού οργανικού άνθρακα στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα.



**Σχήμα 3.6:** Διάγραμμα ποσοστού (%) του ολικού άνθρακα στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα.



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα ποσοστού (%) της οργανικής ουσίας στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα.



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα μηχανικής σύστασης των σημείων δειγματοληψίας του ιζήματος.



### **3.2.2 Χάρτες κατανομής διαθέσιμου φωσφόρου, αζώτου, οργανικής ουσίας, ολικού οργανικού άνθρακα, ολικού άνθρακα και μηχανικής σύστασης**

Οι τιμές συγκέντρωσης των αναλυθέντων παραμέτρων που προσδιορίστηκαν από τις αναλυτικές εργασίες αποτυπώθηκαν σε αντίστοιχους χάρτες για την κάθε παράμετρο με βοήθεια του προγράμματος Arc GIS 9-Version 9.3 (ArcMap, ArcCatalog).

Για την κατασκευή των χαρτών προσδιορίστηκε ο αριθμός των κλάσεων για κάθε παράμετρο. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήθηκαν 5 κλάσεις για την αναπαράσταση της κατανομής των συγκεντρώσεων των παραμέτρων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Βρέθηκε η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης της παραμέτρου.
- Υπολογίστηκε το εύρος του δείγματος αφαιρώντας την ελάχιστη από τη μέγιστη τιμή.
- Διαιρέθηκε το εύρος με τον αριθμό των κλάσεων που θέλαμε να δημιουργήσουμε και το αποτέλεσμα ήταν το βήμα με το οποίο φτιάχτηκαν οι κλάσεις.

Για κάθε παράμετρο προσδιορίστηκαν επίσης η μέση τιμή, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, το εύρος καθώς και το πλήθος των δειγμάτων.

### Διαθέσιμος φώσφορος ( P )

Στον Πίνακα 3.11 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το φώσφορο.

**Πίνακας 3.11:** Στατιστικά στοιχεία για φώσφορο.

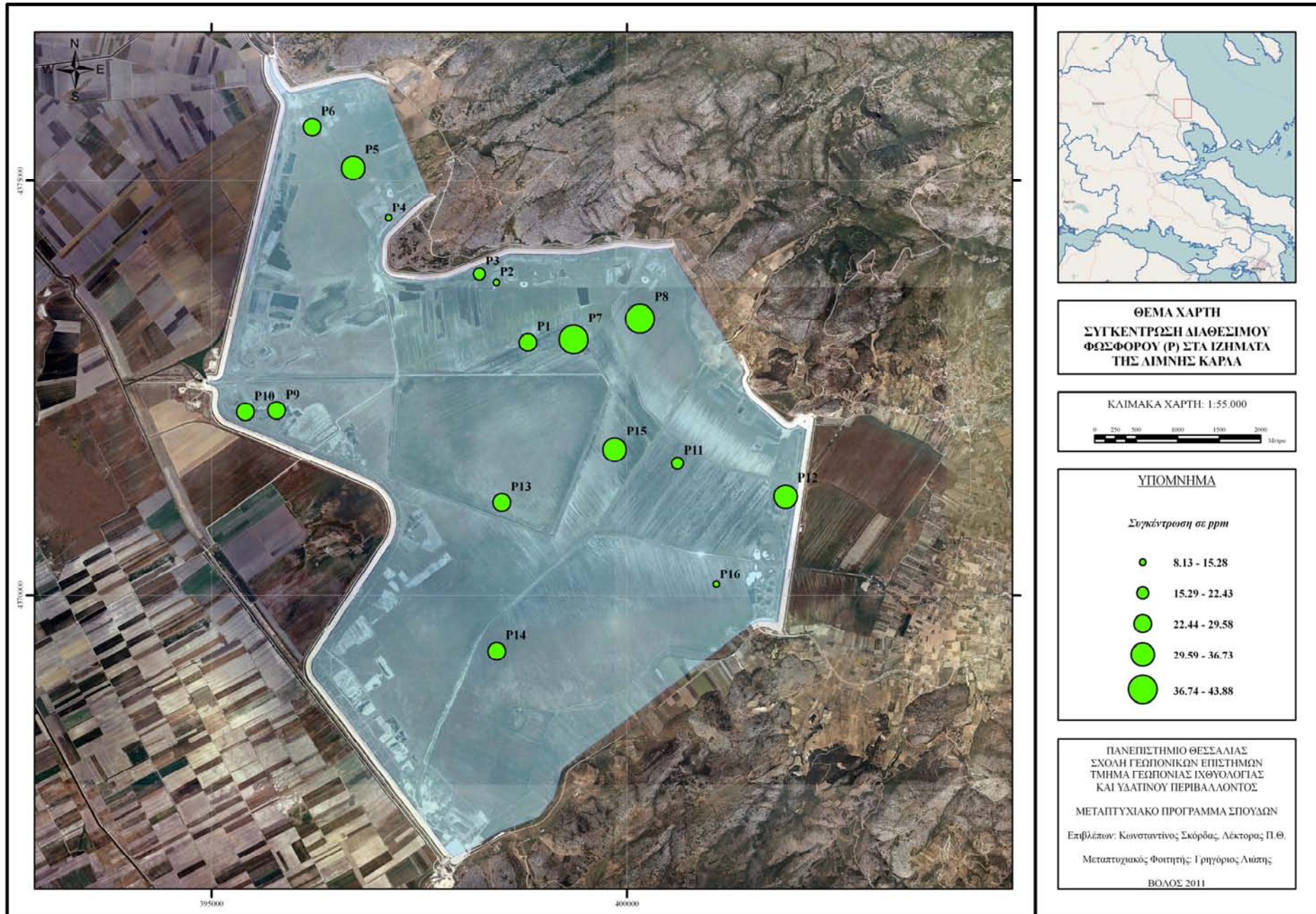
	<b>Στατιστικά στοιχεία P</b>
<b>Παράμετροι</b>	<b>P</b>
Μέση τιμή	25,00
Ελάχιστη τιμή	8,13
Μέγιστη τιμή	43,88
Εύρος	35,75
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης (Εικ. 3.1), τα δεδομένα του φωσφόρου (P) χωρίστηκαν σε πέντε κλάσεις: 8,13–15,28 ppm, 15,28–22,43 ppm, 22,43–29,58 ppm, 29,58–36,73 ppm και 36,73–3,88 ppm με βήμα κλάσης 7,15. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφόρου. Ειδικότερα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του φωσφόρου (P) παρατηρούνται στα σημεία P7 και P8 στο ΒΑ τμήμα της περιοχής και ακολουθούν τα σημεία δειγματοληψίας P5 στο ΒΔ τμήμα και P12 και P15 στο ΝΑ τμήμα της περιοχής έρευνας.

Η ανταλλαγή φωσφόρου μεταξύ του ιζήματος και των υπερκείμενων υδάτων είναι μια κύρια συνιστώσα του φωσφορικού κύκλου στα φυσικά ύδατα. Η αποτελεσματικότητα της αμιγούς εναπόθεσης φωσφόρου στο ίζημα και η ταχύτητα διεργασίας της εκ νέου αναγέννησης του φωσφόρου στο νερό εξαρτώνται από μια

σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων. Ως σημαντικοί παράγοντες θεωρούνται η ικανότητα του ιζήματος να συγκρατεί το φώσφορο, οι συνθήκες των υπερκείμενων υδάτων και οι οργανισμοί εντός του ιζήματος που τροποποιούν την ισορροπία ανταλλαγής και επηρεάζουν την αντίστροφη μεταφορά του φωσφόρου στα νερά (Wetzel 2010). Τα ιζήματα των λιμνών περιέχουν πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφόρου έναντι του νερού (Olsen 1958, Holden 1961, Hephher 1966, Holden et al. 1977, Bostrom et al. 1982). Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα, με τις συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων των υπερκείμενων υδάτων, φαίνεται ότι δε συντρέχουν στη συγκεκριμένη περίοδο οι συνθήκες ώστε ο φώσφορος να μετακινηθεί στα υπερκείμενα ύδατα, με αποτέλεσμα να παραμένει προσροφημένος στα ιζήματα. Τέλος, οι πιθανές πηγές του φωσφόρου μπορεί και να είναι οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (Newman 1995), τα υπόγεια ύδατα και οι επιφανειακές απορροές με έκπλυση εδαφών και αποσάθρωση πετρωμάτων της λεκάνης απορροής. Πιθανές πηγές προέλευσης επίσης του φωσφόρου είναι δυνατόν να αποτελούν η χρήση χημικών λιπασμάτων, τα αστικά λύματα αλλά και οι βιοχημικές διεργασίες στο λιμναίο οικοσύστημα (Παράρτημα I, Εικ. 3.5, 3.6, 3.7).

**Εικόνα 3.1:** Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων φωσφόρου.



### Ολικό άζωτο (TN)

Στον Πίνακα 3.12 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το άζωτο.

**Πίνακας 3.12:** Στατιστικά στοιχεία για άζωτο.

	Στατιστικά στοιχεία TN
<b>Παράμετροι</b>	TN
Μέση τιμή	4003,1
Ελάχιστη τιμή	2300
Μέγιστη τιμή	6000
Εύρος	3700
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης (Εικ. 3.2), τα δεδομένα του αζώτου (N) χωρίστηκαν σε πέντε κλάσεις: 2300–3040 ppm, 3040–3780 ppm, 3780–4520 ppm, 4520–5260 ppm και 5260–6000 ppm με βήμα κλάσης 740. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου. Ειδικότερα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αζώτου (N) παρατηρούνται στο σημείο P6 στο ΒΔ τμήμα της περιοχής έρευνας και στα σημεία P1, P5 και P14, τα οποία βρίσκονται στο Β, ΒΔ και Ν τμήμα της περιοχής έρευνας, αντίστοιχα.

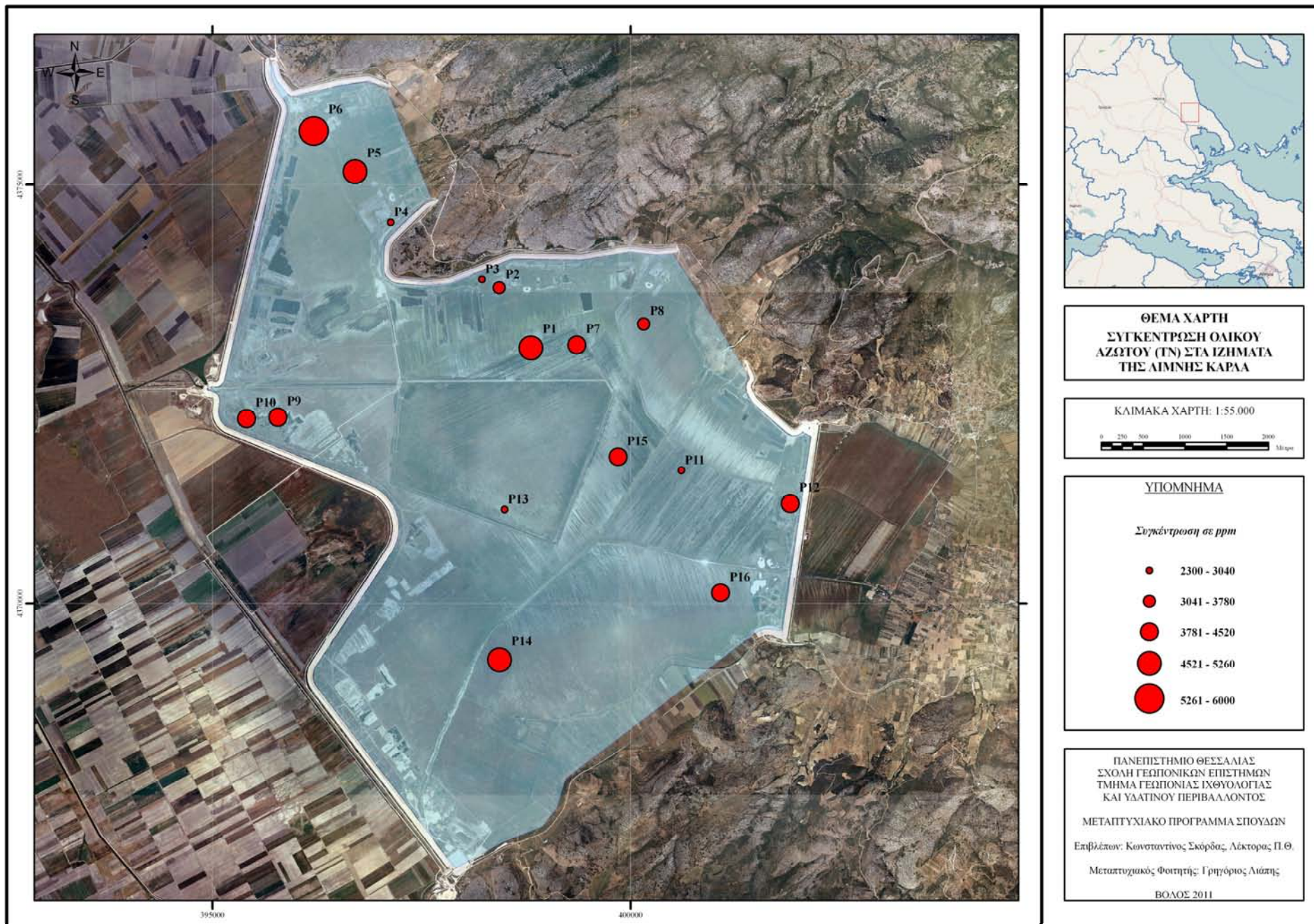
Η δυναμική του αζώτου είναι ανεπαρκώς κατανοητή. Τα ιζήματα των λιμνών συνήθως περιέχουν άζωτο της τάξεως των 50–200 kg ανά εκτάριο μέχρι ενός βάθους ιζήματος 10 cm, μεγάλο μέρος του οποίου είναι ακινητοποιημένο και προσροφημένο

επί ανοργάνων σωματιδίων (Keeney 1973). Το ενδοψαμμιτικό νερό του ιζήματος συνήθως έχει μια πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών ενώσεων αζώτου, κυρίως ως  $\text{NH}_4\text{-N}$  και οργανικό N, εν συγκρίσει προς εκείνη του υπερκείμενου ύδατος. Η ταχύτητα διάχυσης είναι υπερβολικά αργή, αλλά πραγματοποιείται κάποια ανάμιξη των επιφανειακών ιζημάτων ακόμη και όταν η λίμνη παρουσιάζει έντονη διαστρωμάτωση ως αποτέλεσμα των κινήσεων στα βαθιά νερά, των δραστηριοτήτων των βενθικών οργανισμών και της απώλειας αερίων υπό μορφή φυσαλίδων από τα ιζήματα.

Η καταγραφή των υψηλότερων συγκεντρώσεων στα σημεία δειγματοληψίας που βρίσκονται πλησιέστερα στην περίμετρο της λίμνης και ειδικότερα στα σημεία όπου παρατηρείται έντονη γεωργοκτηνοτροφική δραστηριότητα, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι βασικές πηγές προέλευσης του αζώτου πιθανώς να είναι η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και τα διάφορα είδη αποβλήτων και λυμάτων που προκύπτουν από τις εκμεταλλεύσεις αυτές καθώς και από τη μεταφορά υδάτων από το επιφανειακό δίκτυο (Παράρτημα I, Εικ. 3.5, 3.6, 3.7).



Εικόνα 3.2: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης αζώτου.



### Ολικός άνθρακας (TC) – Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) – Οργανική ουσία (C)

Στον Πίνακα 3.13, φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ολικό άνθρακα.

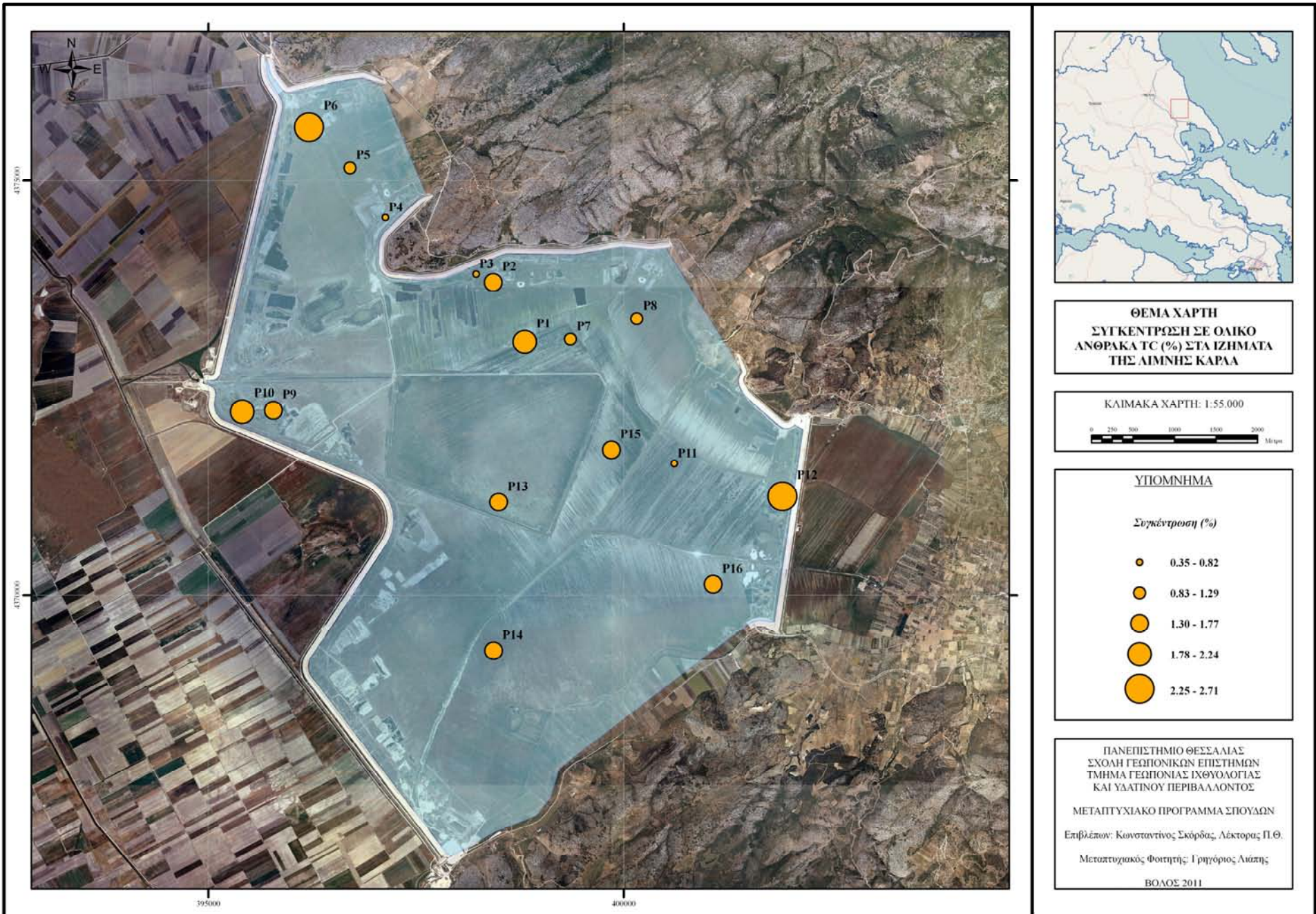
**Πίνακας 3.13:** Στατιστικά στοιχεία για ολικό άνθρακα.

	<b>Στατιστικά στοιχεία TC</b>
<b>Παράμετροι</b>	<b>TC</b>
Μέση τιμή	1,49 %
Ελάχιστη τιμή	0,35 %
Μέγιστη τιμή	2,71 %
Εύρος	2,36
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης (Εικ. 3.3), τα δεδομένα του ολικού άνθρακα (TC) χωρίστηκαν σε πέντε κλάσεις: 0,35–0,822 %, 0,822–1,294 %, 1,294–1,766 %, 1,766–2,238 % και 2,238–2,71 % με βήμα κλάσης 0,472. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ολικού άνθρακα.



**Εικόνα 3.3:** Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης ολικού άνθρακα.



Στον Πίνακα 3.14, φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ολικό οργανικό άνθρακα.

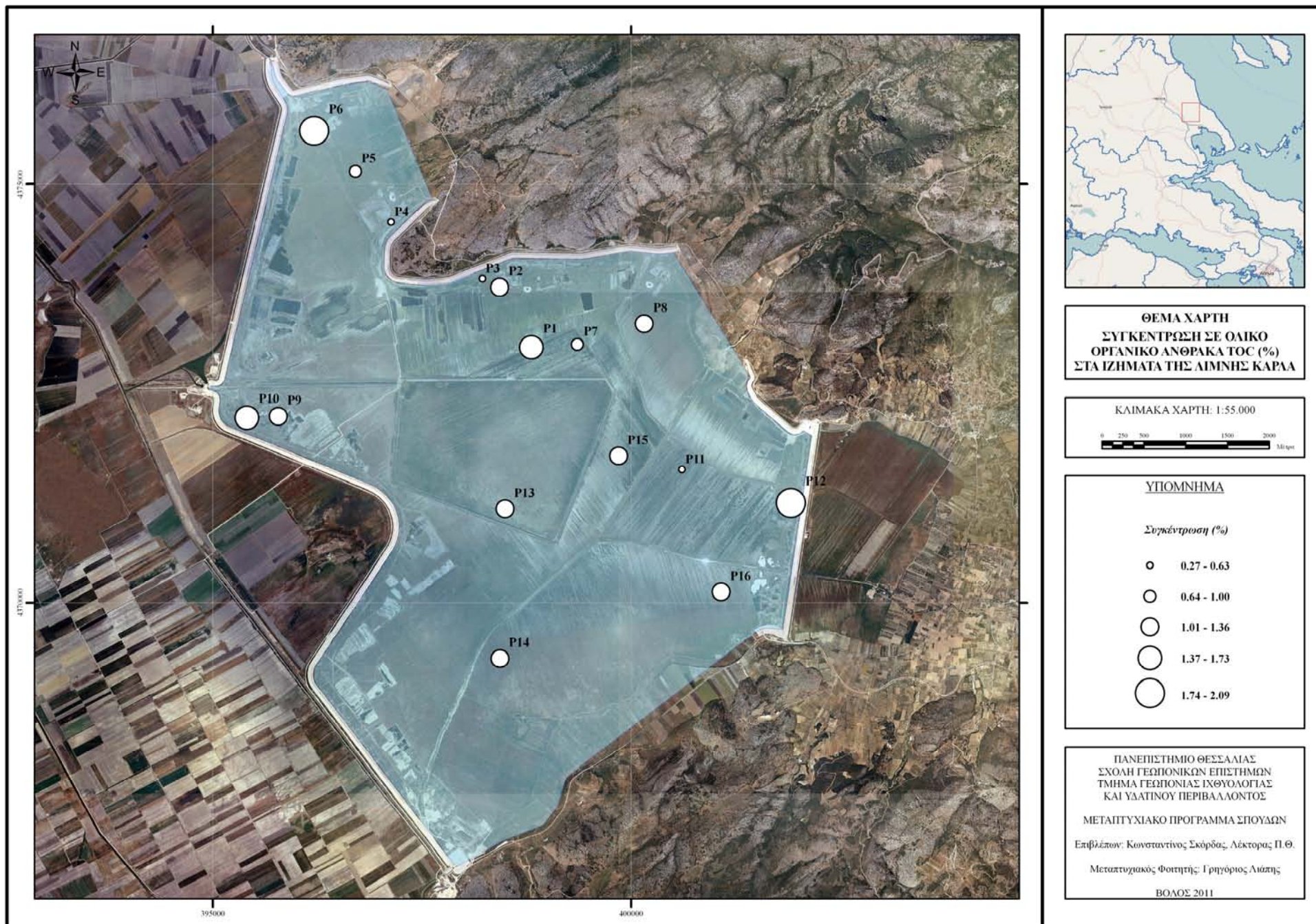
**Πίνακας 3.14:** Στατιστικά στοιχεία για ολικό οργανικό άνθρακα.

	<b>Στατιστικά στοιχεία TOC</b>
<b>Παράμετροι</b>	<b>TOC</b>
Μέση τιμή	1,14 %
Ελάχιστη τιμή	0,27 %
Μέγιστη τιμή	2,09 %
Εύρος	1,82
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης (Εικ. 3.4), τα δεδομένα του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) χωρίστηκαν σε πέντε κλάσεις: 0,27–0,634 %, 0,634–0,998 %, 0,998–1,362 %, 1,362–1,726 % και 1,726–2,09 % με βήμα κλάσης 0,364. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ολικού οργανικού άνθρακα.



Εικόνα 3.4: Χάρτης κατανομής συγκέντρωσης ολικού οργανικού άνθρακα.



Στον Πίνακα 3.13, φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για την οργανική ουσία.

**Πίνακας 3.13:** Στατιστικά στοιχεία για οργανική ουσία.

	<b>Στατιστικά στοιχεία C</b>
<b>Παράμετροι</b>	<b>C</b>
Μέση τιμή	2,60
Ελάχιστη τιμή	0,61
Μέγιστη τιμή	4,68
Εύρος	4,07
Πλήθος τιμών	16

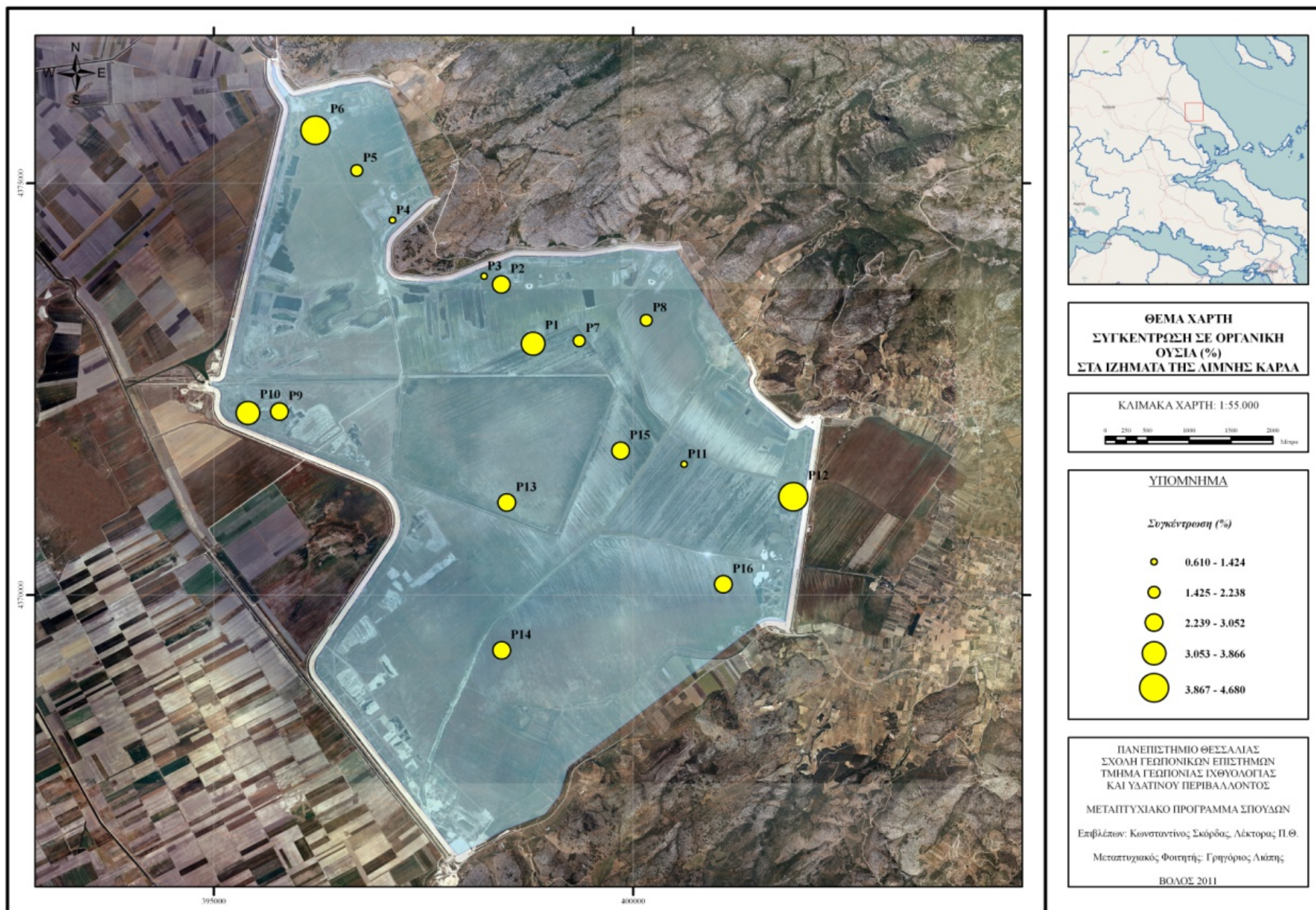
Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της συγκέντρωσης (Εικ. 3.5), τα δεδομένα της οργανικής ουσίας χωρίστηκαν σε πέντε κλάσεις: 0,61–1,424 %, 1,424–2,238 %, 2,238–3,052 %, 3,052–3,866 % και 3,866–4,68 % με βήμα κλάσης 0,814. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις σε οργανική ουσία. Ειδικότερα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας παρατηρούνται στα σημεία P6 και P12 τα οποία βρίσκονται στο ΒΔ και ΝΑ τμήμα της περιοχής έρευνας αντίστοιχα, ακολουθούν τα σημεία P1 και P10 που βρίσκονται στο Β και Δ τμήμα αντίστοιχα καθώς και το σημείο P13 στο κέντρο της περιοχής έρευνας.

Παρόμοια με το άζωτο συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν και για την οργανική ουσία αφού οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται περιμετρικά της λίμνης και ειδικότερα στα σημεία εισροής υδάτων, έντονης γεωργικής εκμετάλλευσης

καθώς και σε αυτά που βρίσκονται πλησίον σε σημεία όπου ασκείται έντονη βόσκηση από ζώα (αποσύνθεση περιττωμάτων). Επίσης, σημαντική κρίνεται και η πριν της ανασύστασης χρήση της λίμνης, όπου η ευρύτερη περιοχή χρησιμοποιούνταν από κτηνοτροφικές υπαίθριες μονάδες.



Εικόνα 3.5: Χάρτης κατανομής συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας.

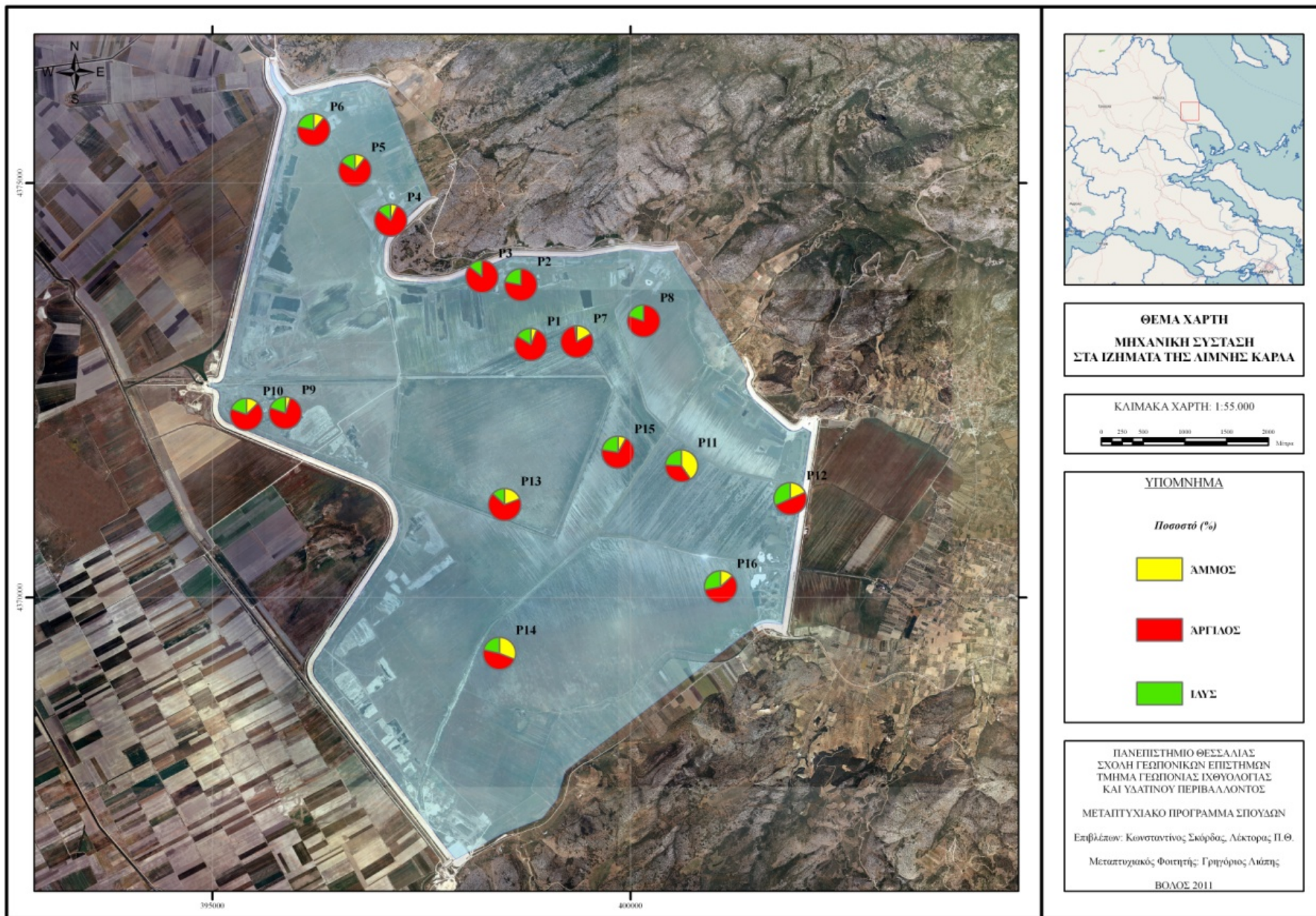


### **Μηχανική σύσταση**

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής της μηχανικής σύστασης (Εικ. 3.6) χρησιμοποιήθηκαν τα ποσοστά άμμου, αργίλου και ιλύος που υπολογίστηκαν. Σύμφωνα με αυτά, όλα τα σημεία δειγματοληψίας της περιοχής έρευνας, εκτός από το σημείο P11, παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά σε άργιλο και σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης χαρακτηρίζονται ως αργιλώδη. Το σημείο P11 χαρακτηρίζεται με τον ίδιο τρόπο ως αργιλοπηλώδες. Τέλος, άξια αναφοράς είναι η παντελής απουσία ποσοστού άμμου στο σημείο δειγματοληψίας P8.



Εικόνα 3.6: Χάρτης κατανομής μηχανικής σύστασης.





### 3.2.3 Σύγκριση με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων

Για να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα από τις συγκεντρώσεις των αναλυθέντων παραμέτρων, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς (Persuad et al. 1993). Ο στόχος των κριτηρίων αυτών, που εμπεριέχονται στις οδηγίες PSQGs (Provincial Sediment Quality Guidelines), είναι η προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος μέσω της θέσπισης ασφαλών επιπέδων συγκέντρωσης, για μέταλλα, θρεπτικά συστατικά (υπεύθυνα για την αύξηση των αλγών) και οργανικά μείγματα.

Τα κριτήρια αφορούν τρία επίπεδα επίδρασης. Το επίπεδο μηδενικής επίδρασης (No Effect Level), το οποίο αφορά τιμές συγκεντρώσεων τόσο μικρές ώστε δεν αναμένεται διείσδυση σημαντικών ποσοτήτων ρυπαντών στην τροφική αλυσίδα και επίδραση σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς, καθώς και τα οριακά επίπεδα ελάχιστης και πολλαπλής επίδρασης (Lowest Effect Level, Severe Effect Level), τα οποία αφορούν πιθανές μακροπρόθεσμες επιδράσεις των ρυπαντών στους οργανισμούς που διαβιούν στα ιζήματα. Πιο συγκεκριμένα, το οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης (LEL), υποδηλώνει ένα επίπεδο ρύπανσης το οποίο είναι δυνατόν να ανεχτεί η πλειοψηφία των οργανισμών που διαβιεί στα ιζήματα, σε αντίθεση με το οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης (SEL), το οποίο υποδεικνύει ένα επίπεδο ρύπανσης το οποίο αναμένεται να είναι επιζήμιο στην πλειοψηφία των οργανισμών που διαβιούν στα ιζήματα (ιζήματα που ξεπερνούν αυτό το επίπεδο ρύπανσης θεωρούνται βαριά ρυπασμένα) (Fletcher et al. 2008).

Στον Πίνακα 3.14, παρουσιάζονται οι τιμές οι οποίες ορίζουν τα τρία αυτά επίπεδα, όσον αφορά τις παραμέτρους που ερευνούνται για τα ιζήματα, στην παρούσα έρευνα.

**Πίνακας 3.14:** Επίπεδα επίδρασης σύμφωνα με τις οδηγίες PSQGs.

	Λίμνη Κάρλα Μ.Ο.(Εύρος)	No Effect Level <sup>(2)</sup>	Lowest Effect Level	Severe Effect Level
TOC <sup>(3)</sup> (%)	1,14 (0,27- 2,09)	–	1 <sup>(1)</sup>	10 <sup>(1)</sup>
TN <sup>(3)</sup>	4003,1 (2300-6000)	–	550 <sup>(1)</sup>	4800 <sup>(1)</sup>
TP <sup>(3)</sup>	–	–	600 <sup>(1)</sup>	2000 <sup>(1)</sup>
P <sup>(4)</sup>	50 (16,26- 87,68)	–	–	–

(1) Τιμές σε μg/g (ppm) ξηρού βάρους.

(2) Ανεπαρκή δεδομένα.

(3) TOC–Ολικός Οργανικός Άνθρακας, TKN–Ολικό Άζωτο (Kjeldahl), TP–Ολικός Φώσφορος.

(4) P–Διαθέσιμος φώσφορος.

Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας και σύμφωνα με τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα ως προς τις επιμέρους συγκεντρώσεις:

#### **P (Available phosphorus, Διαθέσιμος Φώσφορος)**

Η μέση τιμή του διαθέσιμου φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλα είναι της τάξεως των 50 μg/g. Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου δείχνει το μέρος του φωσφόρου που μπορεί μέσα από πολυάριθμες διεργασίες, να κινητοποιηθεί από τα σωματιδιακά αποθέματα στη διαλυμένη φάση του ενδοψαμμιτικού νερού των ιζημάτων

και στη συνέχεια να μεταφερθεί μέσω της διάφρασης ιζήματος-ύδατος, στα υπερκείμενα υδάτινα στρώματα.

Οι παραπάνω τιμές του διαθέσιμου φωσφόρου των ιζημάτων, συγκρινόμενες με τις τιμές των συγκεντρώσεων της φωσφορικής ρίζας στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη, δείχνουν ότι δεν υφίστανται ανταλλαγές στη διάφραση ίζημα-ύδωρ. Τέτοιοι μηχανισμοί ανταλλαγής είναι οι διεργασίες ρόφησης, ιδιαιτέρως η ανταλλαγή ιόντων, το οξυγόνο κ.α.

Είναι σημαντικό επίσης να ερευνηθεί η δυναμική του φωσφόρου στα ιζήματα της λίμνης ώστε με αυτό τον τρόπο να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες.

#### **TN (Total Nitrogen, Ολικό Άζωτο)**

Τα 12 από τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του LEL και χαμηλότερες του SEL. Τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα έως οριακά ρυπασμένα και το επίπεδο της ρύπανσης είναι ανεκτό από την πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Τα 4 από τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του SEL. Αναμένεται επιζήμια επίδραση στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών και τα ιζήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως βαριά ρυπασμένα.

#### **TOC (%) (Total Organic Carbon, Ολικός Οργανικός Άνθρακας)**

Τα 11 από τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις υψηλότερες του κριτηρίου LEL και χαμηλότερες του SEL. Τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα έως οριακά ρυπασμένα και το επίπεδο της ρύπανσης είναι ανεκτό από την πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Τα 5 από τα 16 δείγματα παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του κριτηρίου LEL. Τα ιζήματα αυτά θεωρούνται μη ρυπασμένα, οι συγκεντρώσεις δεν

επιδρούν σε ψάρια και βενθικούς οργανισμούς και παρατηρείται αμελητέα επίδραση στην τροφική αλυσίδα και στην ποιότητα του νερού.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με διεθνώς αναγνωρισμένες οδηγίες και κριτήρια ποιότητας.

Έτσι, όσον αφορά τα ύδατα της λίμνης, αυτά πιθανώς να μπορούν να καταταγούν στην κατηγορία των οριακά ακατάλληλων (σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ) για τη διαβίωση ιχθύων που αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε σε ύδατα σαλμονιδών είτε σε ύδατα κυπρινιδών, ως προς τις συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν σε φωσφορικά ιόντα. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί το γεγονός ότι ο διαθέσιμος φώσφορος του οποίου οι τιμές στα ιζήματα είναι της τάξεως των 50 ppm (M.O.), μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες να μετακινηθεί (μέσω διάχυσης) στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη καταστρώντας τα περισσότερο επιβαρυμένα για την παραπάνω χρήση.

Επίσης, όσον αφορά την καταλληλότητά τους για πόση, για τη συγκεκριμένη δειγματοληψία, πιθανώς να μπορούν να καταταγούν στην κατηγορία των ακατάλληλων ως προς την τιμή της αγωγιμότητας και τις συγκεντρώσεις σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου, καλίου, θειικά ιόντα και χλωροϊόντα (σύμφωνα με τα θεσπισμένα κριτήρια της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος, USEPA) καθώς και ως προς την τιμή της αγωγιμότητας της ολικής σκληρότητας, του TDS και τις συγκεντρώσεις σε ιόντα μαγνησίου, νατρίου, όξινα ανθρακικά ιόντα, θειικά ιόντα και χλωροϊόντα (σύμφωνα με τα κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, WHO 2004).

Ακόμη, η κατάταξη των υδάτων ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, από τον Richards (1954), ενισχύει την πιθανότητα κατάταξης των υδάτων της λίμνης Κάρλα για τη συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας, στην κατηγορία των

ακατάλληλων, λόγω πολύ υψηλών τιμών αγωγιμότητας (πιθανός κίνδυνος σχηματισμού αλατούχων εδαφών).

Όσον αφορά τα ιζήματα της λίμνης και την ποιότητα τους, αυτά φαίνεται ότι μπορούν να χαρακτηριστούν οριακά ως βαριά ρυπασμένα σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις τους σε άζωτο και ολικό οργανικό άνθρακα, με αυξημένες πιθανότητες για αναμενόμενες επιζήμιες επιδράσεις σε ψάρια, βενθικούς οργανισμούς, τροφική αλυσίδα και ποιότητα του νερού (σύμφωνα με τις οδηγίες PSQGs). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε άζωτο και ολικό οργανικό άνθρακα αποτελούν σημαντικότερους δείκτες πιθανών ευτροφικών συνθηκών στη λίμνη. Αντιθέτως, οι συγκεντρώσεις τους σε διαθέσιμο φώσφορο δε δικαιολογούν τέτοιους χαρακτηρισμούς. Η πιθανή όμως μετακίνηση του στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη, μπορεί να προκαλέσει αλλαγή συνθηκών για διάφορες χρήσεις, όπως διαβίωση ιχθύων κ.α.

Η λίμνη Κάρλα αποτελώντας ένα σημαντικό οικοσύστημα το οποίο φιλοξενεί και σημαντικό αριθμό ειδών (Παράρτημα I, Εικ. 4.1, 4.2 και 4.3), χρήζει ευαισθητοποιημένης περιβαλλοντικής προσέγγισης και όχι ενεργειών που συντελούν στην υποβάθμισή της (Παράρτημα, Εικ. 4.4). Στα πλαίσια μιας τέτοιας προσέγγισης, η εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης και αποκατάστασης με διεπιστημονική συνεργασία, θα μπορούσε να οδηγήσει στην προστασία και βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης της λίμνης.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική βιβλιογραφία

**Ζαλίδης Χ., Δημητριάδης Ξ., Χατζηγιαννάκης Σ. (1995).** Ο ιδεότυπος της τέως Λίμνης Κάρλα. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (EKBY). Θεσσαλονίκη, σελ. 91.

**Κάγκαλου Ι. (1989).** Μελέτη των σχέσεων μεταξύ των φυσικοχημικών παραγόντων υγειονομικού ελέγχου και της ολικής μικροβιολογικής χλωρίδας υδάτινων οικοσυστημάτων. Εφαρμογή στη λίμνη Παμβώτιδα. Διδακτορική διατριβή, Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

**Κοΰιμτζής Θ. (2004).** Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ.227–228, 251–252.

**Κωτούλας Δ. (2001).** Υδρολογία και Υδραυλική Φυσικού Περιβάλλοντος. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.494.

**Λουκάς Α., Μυλόπουλος Ν., Μυλόπουλος Γ., Μουστάκα Ε. (2006).** Προσομοίωση και Αποτίμηση της Λειτουργίας του Ταμειυτήρα της Κάρλας. 5<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Βάση τη Λεκάνη Απορροής», Ξάνθη, σελ.267-274.

**Λυκάκης Σ. (1992).** Υδροβιολογία, θαλάσσια βιολογία και στοιχεία λιμνολογίας. Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα, σελ.380.

**Λυκάκης Σ. (1996).** Οικολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα, 3<sup>η</sup> Έκδοση, σελ.3.

**Μαντούζα Α. (2008).** Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Πηνειού στα πλαίσια της Οδηγίας 2000/60 με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., σελ.141.

**Μαρκαντωνάτος (1984).** Στοιχεία Υγιεινής Περιβάλλοντος και Υγειονομικής Μηχανικής, Αθήνα.

**Μαυρονικολάου Ν., Καρκάς Δ. και Συνεργάτες, Μανούσος Π., Ευθυμιάδης Στ. (2006).** Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων έργων μεταφοράς και διανομής νερού λίμνης Κάρλα. ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Γραμματεία Δημοσίων έργων, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων.

**Μαχαίρας Γ. και Συνεργάτες, Λαζαρίδης Α. και Συνεργάτες, Μαντζιάρας Θ. και Συνεργάτες (1999).** Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλα: Περιβαλλοντική Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους–Οφέλους. ΥΠΕΧΩΔΕ, Γεν. Γραμματεία Δημοσίων έργων, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων.

**Μήσιος Ι. (1999).** Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα, 2<sup>η</sup> Έκδοση, σελ.48–49.

**Μήτσιος Ι. (2004).** Γονιμότητα Εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά) και Βαρέα Μέταλλα. Μέθοδοι και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα, σελ.196–197.

**Μούμου Χ. (2007).** Η δράση των χειμάρρων της λεκάνης της Κάρλας σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 158.

**Μουντράκης Δ. (1985).** Γεωλογία της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη, σελ.98–108.

**Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Αντωνόπουλος Β. (1990).** Υδρολογικά στοιχεία της τέως λίμνης Κάρλα. Προστασία και διαχείριση των ελληνικών υδροτόπων. Πρακτικά συνεδρίου συνάντησης εργασίας για τους ελληνικούς υδροτόπους, Απρίλιος 1989,



σελ.467–502. WWF, Εργαστήριο Οικολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., IUCN. Θεσσαλονίκη.

**Μπεζές Κ. (2004).** Μελέτη έργων ενίσχυσης της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Βόλου –Υδρογεωλογική μελέτη. ΥΠΕΧΩΔΕ.

**Παπαμίχος Ν. (1996).** Δασικά εδάφη. Σχηματισμός, Ιδιότητες, Συμπεριφορά. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.44–45.

**Παπανίκος Ν. (2008).** Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.248.

**Τσιουρής Σ. (1999).** Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, σελ.73–75.

**Ξένη βιβλιογραφία**

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

**Altindag A. and Vigit S. (2005).** Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beysehir, Turkey. *Chemosphere*, 60, pp.552–556.

**Ashumali G.S. and Ramanathan A.L. (2007).** Seasonal variation in the major ion chemistry of Pandoh lake, Mandi districts Himachal Pradesh, India. *Applied Geochemistry*, 22, pp.1736–1747.

**Bachmann R.W. (1980).** The role of agricultural sediments and chemicals in eutrophication. *Journal WPCF*, 25, 10, pp.2425–2431.

**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.

**Eaton A., Clesceri L., Rice E., Greenberg A. (2005).** Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. American Public Health Association, Water Works Association, Water Environment Federation. Port City Press, Baltimore, Maryland.

**Eilers J.M., D.F. Brakke and A. Henriksen (1992).** The inapplicability of the Gibbs model of world water chemistry for dilute lake. *Limnol. Oceanogr.*, 37: 1335-1337.

**Feth, J.H. (1971).** Mechanisms controlling world water chemistry: Evaporation-crystallization process. *Science* 172:870.

- Gantidis N., Pervolarakis M. and Fytianos K. (2007).** Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of Northern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125, pp.175–181.
- Gibbs R.J. (1970).** Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* 170 : 1088-1090.
- Gibbs, R.J., (1992).** A reply to the comment of Eilers et al. *Limnol. Oceanogr.* 37 : 1338-1339.
- Gibson C.F., Y.Wu and D. Pirikerton (1995).** Substance budgets of an upland catchment : The significance of atmospheric phosphorus inputs. *Freshwat. Biol.*33 : 385-392.
- Gjessing E., Huang X., Sillanpaa, M. Peraniemis, S. and Vogt R. (2011).** River research and applications, Vol.27, Issue I, pp.113–121. John Wiley and sons, Ltd 2009.
- Gordon N., Adams J. and Garcia-Rodriguez F. (2011).** Water quality status and phytoplankton composition in Soetendalvlei, Voelvlei and Wasrkaalsvlei, three shallow wetlands of the Agulhas Plain, South Africa. Publisher Taylor & Francis, London, England, pp.30.
- Huang L., Du S., Fan L., Lin X., Wang H. and Zhang Y (2011).** *Journal of soils and sediments*, 11(1), pp.185–193.
- Hutchinson E. (1975).** A treatise on limnology, Vol. I,III. Wiley, N.Y.
- Jalali M. (2010).** Hydrogeochemistry of groundwater and its suitability for drinking and agricultural use in Nahavand, Western Iran. *Natural Resources Research*, Vol.20 No1.
- Kilham P. (1975).** Mechanisms controlling world water chemistry based on data from African lakes and rivers. *Proc.Int.Symp.Geochemistry of Natural Waters Burlington, Ontario*, 5pp.

**Kilham P. (1990).** Mechanisms controlling the chemical composition of lakes and rivers. Data from Africa, *Limnol.Oceanogr.* 35 : 80-83.

**Kotti M.E., Vlessidis A.G. and Evmiridis N.P. (2000).** Determination of phosphorus and nitrogen in the sediment of lake “pamvotis”(Greece), *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 78:3, pp.455–467. Taylor and Francis Publisher.

**Koutseris E. (1989).** Land reclamation, crop production, rural sociological problems and environmental quality in the Karla area. Prefecture of Magnesia, Volos, Greece, pp.15.

**Last W. and Smol J. (2001).** Tracking environmental change using lake sediments, Volume 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.239, 240, 263.

**Lund J.W.E. (1980).** Eutrophication in the United Kingdom. The soap and detergent industry association, pp.18.

**Malik R.N. and Nadeem M. (2011).** Spatial and temporal characterization of trace elements and nutrients in the Rawal Lake Reservoir, Pakistan using multivariate analysis techniques. *Environ Geochem Health*. Springer Science+Business Media B.V. 2011.

**Mastoi G.M., Shah S.G.S. and Khuhawar M.Y. (2008).** Assessment of water quality of Manchar lake in Sindh (Pakistan). *Environmental Monitoring Assessment*, 141, pp.287–296.

**Meybeck M. and R. Helmer (1989).** The quality of rivers : From pristine stage to global pollutions. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 75 : 283-309.

**Niemisto J. et al. (2008).** Interactions between sediments resuspension and sediment quality decrease the TN:TP ratio in a shallow lake. *Limnol. Oceanogr.* 53(6), 2008, pp.2407–2415. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

**Ozkundakci D., Hamilton D. and Trolle D. (2011).** Modelling the response of a highly eutrophic lake to reductions in external and internal nutrient loading. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 45(2), pp.165-185.

**Page A., Miller R. and Keeney R.** Methods of soil analysis. Part 2—Chemical and microbiological properties, Second Edition. Soil Science of America Publication Madison, Wisconsin, USA, pp. 403–430 (P), 595–622 (N).

**Persaud D., Jaagumagi R., Hayton A. (1993).** Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, pp.27.

**Piper A.M. (1944).** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses *American Geophysical Union Transcript*, 25, pp.914–923.

**Richards L.A. (1954).** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture.

**Rivas Z., De Medina H.L., Gutierrez J. and Gutierrez E. (1998).** Nitrogen and phosphorus levels in sediments from tropical Catatumbo River (Venezuela). *Water, Air and Soil Pollution*, 117:27–37. 2000 Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

**Round F.E. (1981).** The ecology of algae. Cambridge University Press, pp.653.

**Shomar B.H., Muller G. and Yaha A. (2005).** Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in Wadi Gaza, Gaza Strip. *Wetland Ecology and Management*, 13, 419–431.

**Siegel F.R. (2002).** Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

**Smart M., Rada R. and Donnermeyer G. (1983).** Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the

Kjeldahl procedure. Water Res. Vol.17, No. 9, pp.1207–1211. Printed in Great Britain, Pergamon Press Ltd.

**Stallard R.F. (1980).** Major element geochemistry of the Amazon River System. Ph.D. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology.

**Stallard R.F. (1980) and J.M. Edmond (1981).** Geochemistry of the Amazon. I. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. J. Geophys. Res. 86 : 9844-9858.

**Szymanowska A., Samecka-Cymerman K.R. and Kempers A.J. (1999).** Heavy metals in three lakes West Poland. Ecotoxicology and Environmental Safety, 43, pp.21–29.

**Trolle D., Hamilton D., Hendy C. and Pilditch C. (2008).** Sediment and nutrient accumulation rates in sediments of twelve New Zealand lakes: influence of lake morphology, catchment characteristics and trophic state. ISSN 1323–1650, Marine and Freshwater Research. Common Wealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australie, Vol.69, n° 12, pp.1067–1078.

**Trolle D. (2009).** The influence of sediment nutrient dynamics on the response of lake ecosystems to restoration and climate change. The University of Waikato, pp.59–61.

**USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1990).** Recommended protocols for measuring conventional water quality variables and metals in fresh water of the puget sound, 1200 6<sup>th</sup> avenue Seattle, WA 98101. Retrieved form [http://psat.wa.gov/Publications/protocols/protocol\\_pdfs/freshwater.pdf](http://psat.wa.gov/Publications/protocols/protocol_pdfs/freshwater.pdf).

**Wetzel R.G. (2010).** Λιμνολογία. Λιμναία και Ποτάμια οικοσυστήματα. Σελ. 1110, Εκδόσεις Κωσταράκη, Αθήνα 2010.

**Wilcox L.V. (1995).** Classification and use of irrigation. Waters: US Dept Agric Circ, pp.969.

**Yates A., Culp J. and Chambers P. (2011).** Estimating nutrient production from human activities in subcatchments of the Red River, Manitoba. Journal of Great Lakes Research.

**Zhang L-Y., Wang S-R., Chu Z-S., Yang S-W., Zin X-C., Bao L., Zhang F-L. and Ni Z-K. (2010).** Zhongguo Huanjing Kexue/China Environmental Science, 30 (11), pp.1529–1536.

**Zhou Q., Gibson C. and Zhu Y. (2001).** Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of three contrasting lakes in China and the UK. Elsevier Science Ltd. Chemosphere 42(2001), pp.221–225.

## 6. ABSTRACT

The re-established lake Karla is located near the village Kanalia, of Magnesia Regional Unity, of Thessaly Region. It has an area of about 38.000 acres, occupying the lowest part of the old lake Karla. Its drainage basin is a sub-basin of the wider basin of the eastern Thessaly and it covers its southeastern tip.

The lake Karla, forming a lakeside ecosystem, receives significant impacts on the production process of the food chain by several factors, such as the supply of nutrients (compounds P, C, N,S and Si), which take place in the functional processes of the living organisms. Especially, phosphorus and nitrogen, which occur in the sediments and waters in small concentrations (constituting limiting factors), can disrupt the normal flow of an ecosystem food chain and cause chain reactions through the increase of their concentrations. These may lead to undesirable phenomena such as pollution, environmental degradation and eutrophication.

The main intention of this research is the determination and allocation of the important abiotic parameters of the lake, such as the concentrations of the main and basic ions of water and the total nitrogen, available phosphorus, total carbon, total organic carbon, organic matter and granulometric constitution of the sediments. Also, another intention is the determination of the origins and the levels of pollution and the possible suggestions and solutions which target to the improvement of the possibly degraded ecosystem of the lake.

The sampling took place in the second half of June 2010. A small boat was used and parameters like temperature, conductivity, pH and TDS were determined with the help of portable devices. Six routes that had the same starting point were drawn, which was a point of input around the lake, and their finishing point was the deepest point of



the lake. Along these routes and based to the depth and the most representative sampling procedure, sixteen sampling stations were selected (P1-P16). The laboratory phase concerning the chemical analyses of the samples, followed the sampling phase. For this phase, the laboratory of Geochemistry, of the Department of Agriculture, Ichthyology and Aquatic Environment, of the Agricultural Science School of the University of Thessaly, was used.

According to the results of the analysis, the temperature of the lake ranges between 7,6-21,2. The results for conductivity, pH and TDS are 3100-3910  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , 7,6-8,5 and 1924-2000, respectively. The results for main and basic ions led to the conclusion that Na-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> is the prevalent type of water in the lake. Also, the mapping of these concentrations in a Piper diagram showed that waters of the research are brackish. As far as hardness is concerned, according to the results the waters are classified in the category of hard waters. According to the internationally certified criteria and the bi, the lake water is unfit for the living of fishes that are growing or may grow into salmonid and cyprinid waters because of the concentration of phosphate ions. The water of the lake is also undrinkable because of the conductivity, TDS, total hardness and concentrations of magnesium ions, sodium sulfate, bicarbonate and chlorine ions. Moreover, it is unfit for irrigation because of the value of the conductivity it shows. The rocks and the minerals of the wide region around lake Karla, the atmospheric phenomena and the intrusion of seawater in the hinterland, were characterized as the origin sources of the presence of main and basic ions.

According to the results for the sediments of the lake, as far as granulometric constitution is concerned, sediments were characterized as clay. The range of the prices for nitrogen, phosphorus, total organic carbon, total carbon and organic matter was

2300-6000  $\mu\text{g/g}$ , 16,3-87,7  $\mu\text{g/g}$ , 0,27-2,09 %, 0,35-2,71 % and 0,6-4,7 %, respectively. According to these values and the internationally certified criteria that were used for comparison, the sediment of the lake Karla can be described as pure, without effects on fishes and benthic organisms as far as the concentration of phosphorus is regarded. On the other side, it is judged from marginally to heavily polluted according to the concentrations of nitrogen, total organic carbon, total carbon and organic matter. The comparative presentation of the values for the sediment samples shows higher rates of nitrogen and lower rates of phosphorus than the vast majority of the lakes in comparison. High values of total nitrogen that could have undesirable results to the ecosystem of the lake, may be an effect of human actions like lubrication, sewage etc.

The implementation of monitoring programs for all factors and parameters is considered necessary for the sustainable management of lake Karla.

**Key words:** Major and basic ions, phosphorus, nitrogen, pollution, lake Karla.

## **7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

## Υπολογισμοί με το λογισμικό Aquachem.

**PIB**

Header		Physical Parameters				
SampleID	A1B	Ph	8.05			
Site		Eh (mv)				
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	22.5			
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)				
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1.4			
Lithology		Cond 20°C (µS)	3400			
		TDS (110 °C, mg/l)	1948			
		Density				
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	490	Cl-	742	As tot		2H (SMOW)
K +	12	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	192	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	72	SO4--	610	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	404	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)	40,25					
Sum of Cations (meq/l)	41,01					
Balance	0,9%					
Total dissolved solids	81,3 meq/l		2522, mg/l			
Hardness	meq/l	°f	°g		mg/l CaCO3	
Total hardness	19,39	96,94	54,29		969,4	
Permanent hardness	12,77	63,83	35,75		638,3	
Temporary hardness	6,62	33,11	18,54		331,1	
Alkalinity	6,62	33,11	18,54		331,1	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%		
Na+	490,0	21,314	21,314	25,843		
K +	12,0	0,307	0,307	0,0		
Ca++	72,0	1,796	3,593	3,692		
Mg++	192,0	7,898	15,796	18,459		
Cl-	742,0	20,929	20,929	24,612		
SO4--	610,0	6,35	12,701	14,767		
HCO3-	404,0	6,622	6,622	7,384		
Ratios			Comp. to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca++/Mg++	0,375	0,227	0,319	0,194		
Ca++/SO4--	0,118	0,283	0,152	0,364		
Na+/Cl-	0,66	1,018	0,556	0,858		
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)	34,535	0,5903				
Anhydrite (CaSO4)	864,933	6,35				

**P1S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	A1S	Ph	8.71
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	23.2
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3440
		TDS (110 °C, mg/l)	1965
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	479.9999	Cl-	742.0001	As tot		2H (SMOW)
K+	12	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	187	I-		H2SiO3		18O(SO4, Si)
Ca++	60	SO4--	520	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	363	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Ba++				H2S		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	37,71			
Sum of Cations (meq/l)	39,56			
Balance	2,4%			
Total dissolved solids	77,3 meq/l	2364, mg/l		
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	18,38	91,89	51,46	918,9
Permanent hardness	12,43	62,14	34,80	621,4
Temporary hardness	5,95	29,75	16,66	297,5
Alkalinity	5,95	29,75	16,66	297,5
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	480,0	20,879	20,879	25,883
K+	12,0	0,307	0,307	0,0
Ca++	60,0	1,497	2,994	2,588
Mg++	187,0	7,692	15,385	19,412
Cl-	742,0	20,929	20,929	25,883
SO4--	520,0	5,414	10,827	12,942
HCO3-	363,0	5,95	5,95	6,471
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,321	0,195	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,115	0,277	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,647	0,998	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	1221,4	20,8786		
Anhydrite (CaSO4)	737,32	5,414		

**P2B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	A2B	Ph	8.83
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	25.1
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (µS)	3456
		TDS (110 °C, mg/l)	1969
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	470	Cl-	750	As tot		2H (SMOW)
K +	13	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	190	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	58	SO4--	540	H3BO3		Trt (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	363	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype		Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)		38,35			
Sum of Cations (meq/l)		39,30			
Balance		1,2%			
Total dissolved solids		77,7 meq/l	2384, mg/l		
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3	
Total hardness		18,53	92,63	51,87	926,3
Permanent hardness		12,58	62,88	35,21	628,8
Temporary hardness		5,95	29,75	16,66	297,5
Alkalinity		5,95	29,75	16,66	297,5
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%	
Na+	470,0		20,444	20,444	25,757
K +	13,0		0,332	0,332	0,0
Ca++	58,0		1,447	2,894	2,576
Mg++	190,0		7,816	15,631	19,317
Cl-	750,0		21,155	21,155	27,044
SO4--	540,0		5,622	11,243	14,166
HCO3-	363,0		5,95	5,95	6,439
Ratios			Comp. to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l	
Ca++/Mg++		0,305	0,185	0,319	0,194
Ca++/SO4--		0,107	0,257	0,152	0,364
Na+/Cl-		0,627	0,966	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l				
Halite (NaCl)		1195,955	20,4437		
Anhydrite (CaSO4)		765,678	5,622		

**P2S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	A2S	Ph	8.65
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.4
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3451
		TDS (110 °C, mg/l)	1964
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	480	Cl-	735	As tot		2H (SMOW)
K +	13	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	187	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	64	SO4--	590	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	373	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype		Na-Mg-Cl-SO4	
Sum of Anions (meq/l)		39,13	
Sum of Cations (meq/l)		39,79	
Balance		0,8%	
Total dissolved solids		78,9 meq/l	2442, mg/l

Hardness	meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	18,58		92,89	52,02
Permanent hardness	12,46		62,32	34,90
Temporary hardness	6,11		30,57	17,12
Alkalinity	6,11		30,57	17,12

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	480,0	20,879	20,879	25,342
K +	13,0	0,332	0,332	0,0
Ca++	64,0	1,597	3,194	3,801
Mg++	187,0	7,692	15,385	19,007
Cl-	735,0	20,732	20,732	25,342
SO4--	590,0	6,142	12,285	15,205
HCO3-	373,0	6,114	6,114	7,603

Ratios	Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0.319	0.194
Ca++/SO4--	0.152	0.364
Na+/Cl-	0.556	0.858

Dissolved Minerals
Halite (NaCl)
Anhydrite (CaSO4)





**P4**

Header		Physical Parameters	
SampleID	A4S	Ph	8.79
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3383
		TDS (110 °C, mg/l)	1924
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	480	Cl-	668	As tot		2H (SMOW%)
K +	11	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	180	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	49	SO4--	640	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	363	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype		Na-Mg-Cl-SO4		
Sum of Anions (meq/l)		38,12		
Sum of Cations (meq/l)		38,41		
Balance		0,4%		
Total dissolved solids		76,5 meq/l	2391, mg/l	
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness		17,25	86,27	48,31
Permanent hardness		11,3	56,52	31,65
Temporary hardness		5,95	29,75	16,66
Alkalinity		5,95	29,75	16,66
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	480,0	20,879	20,879	26,133
K +	11,0	0,281	0,281	0,0
Ca++	49,0	1,223	2,445	2,613
Mg++	180,0	7,404	14,809	18,293
Cl-	668,0	18,842	18,842	23,52
SO4--	640,0	6,663	13,326	16,987
HCO3-	363,0	5,95	5,95	6,533
Ratios	mg/l	mmol/l	Comp. to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,272		0,165	0,319
Ca++/SO4--	0,077		0,152	0,364
Na+/Cl-	0,719		0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	31,09		0,5315	
Anhydrite (CaSO4)	907,471		6,663	

**P5B**

Header		Physical Parameters				
SampleID	A5B	Ph	8.7			
Site		Eh (mv)				
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.2			
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)				
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1			
Lithology		Cond 20°C (µS)	3545			
		TDS (110 °C, mg/l)	2000			
		Density				
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	500	Cl-	682	As tot		2H (SMOW)
K+	12	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	188	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	53	SO4--	680	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	373	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)	39,51					
Sum of Cations (meq/l)	40,17					
Balance	0,8%					
Total dissolved solids	79,7 meq/l		2488, mg/l			
Hardness	meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3		
Total hardness	18,11	90,56	50,71	905,6		
Permanent hardness	12,0	59,99	33,59	599,9		
Temporary hardness	6,11	30,57	17,12	305,7		
Alkalinity	6,11	30,57	17,12	305,7		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%		
Na+	500,0	21,749	21,749	26,357		
K+	12,0	0,307	0,307	0,0		
Ca++	53,0	1,322	2,645	2,51		
Mg++	188,0	7,733	15,467	18,826		
Cl-	682,0	19,237	19,237	23,847		
SO4--	680,0	7,079	14,158	17,571		
HCO3-	373,0	6,114	6,114	7,53		
Ratios			Comp. to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca++/Mg++	0,282	0,171	0,319	0,194		
Ca++/SO4--	0,078	0,187	0,152	0,364		
Na+/Cl-	0,733	1,131	0,556	0,858		
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)	31,742	0,5426				
Anhydrite (CaSO4)	964,188	7,079				

**P5S**

Header		Physical Parameters				
SampleID	A5S	Ph	8.79			
Site		Eh (mv)				
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.6			
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)				
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5			
Lithology		Cond 20°C (µS)	3547			
		TDS (110 °C, mg/l)	2000			
		Density				
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	510	Cl-	682	As tot		2H (SMOW)
K +	12	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	170	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	53	SO4--	640	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	343	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)		38,18				
Sum of Cations (meq/l)		39,12				
Balance		1,2%				
Total dissolved solids		77,3 meq/l		2410, mg/l		
Hardness	meq/l	*f	*g		mg/l CaCO3	
Total hardness		16,63	83,15		46,57	831,5
Permanent hardness		11,01	55,04		30,82	550,4
Temporary hardness		5,62	28,11		15,74	281,1
Alkalinity		5,62	28,11		15,74	281,1
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%		
Na+	510,0		22,184	22,184	28,458	
K +	12,0		0,307	0,307	0,0	
Ca++	53,0		1,322	2,645	2,587	
Mg++	170,0		6,993	13,986	16,816	
Cl-	682,0		19,237	19,237	24,578	
SO4--	640,0		6,663	13,326	16,816	
HCO3-	343,0		5,622	5,622	6,468	
Ratios				Comp. to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca++/Mg++		0,312	0,189	0,319	0,194	
Ca++/SO4--		0,083	0,198	0,152	0,364	
Na+/Cl-		0,748	1,153	0,556	0,858	
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)		31,742	0,5426			
Anhydrite (CaSO4)		907,471	6,663			

P6

Header		Physical Parameters				
SampleID	A6S	Ph	8.52			
Site		Eh (mv)				
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.7			
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)				
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0.5			
Lithology		Cond 20°C (µS)	3565			
		TDS (110 °C, mg/l)	2000			
		Density				
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	460	Cl-	758	As tot		2H (SMOW <sup>3</sup> )
K+	14	Br-		P		34S (%CD)
Mg <sup>++</sup>	183	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca <sup>++</sup>	66	SO4 <sup>--</sup>	550	H3BO3		Trit (TU)
Sr <sup>++</sup>		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn <sup>++</sup>		NO2-		O2		#NEW
Fe <sup>++</sup>		HCO3-	333	N2		
NH4+		CO3 <sup>--</sup>	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)	38,29					
Sum of Cations (meq/l)	38,72					
Balance	0,6%					
Total dissolved solids	77,0 meq/l		2364, mg/l			
Hardness	meq/l	*f	*g		mg/l CaCO3	
Total hardness	18,35		91,74	51,38	917,4	
Permanent hardness	12,69		64,45	36,09	644,5	
Temporary hardness	5,46		27,29	15,28	272,9	
Alkalinity	5,46		27,29	15,28	272,9	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%		
Na+	460,0		20,009	20,009	25,972	
K+	14,0		0,358	0,358	0,0	
Ca <sup>++</sup>	66,0		1,647	3,293	3,896	
Mg <sup>++</sup>	183,0		7,528	15,056	19,479	
Cl-	758,0		21,38	21,38	27,271	
SO4 <sup>--</sup>	550,0		5,726	11,452	14,285	
HCO3-	333,0		5,458	5,458	6,493	
Ratios				Comp. to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>	0,361	0,219	0,319	0,194		
Ca <sup>++</sup> /SO4 <sup>--</sup>	0,12	0,288	0,152	0,364		
Na+/Cl-	0,607	0,936	0,556	0,858		
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)	1170,509	20,0087				
Anhydrite (CaSO4)	779,858	5,726				

**P7B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	B2B	Ph	8.42
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	22.8
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (µS)	3477
		TDS (110 °C, mg/l)	1983
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOVV)
Na+	480	Cl-	742	As tot		2H (SMOVV)
K+	12	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	181	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	67	SO4--	570	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	394	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)		39,26				
Sum of Cations (meq/l)		39,42				
Balance		0,2%				
Total dissolved solids		78,7 meq/l		2446, mg/l		
Hardness	meq/l		*f	*g		mg/l CaCO3
Total hardness		18,23		91,17		51,06
Permanent hardness		11,78		58,88		32,97
Temporary hardness		6,46		32,29		18,08
Alkalinity		6,46		32,29		18,08
Major ion composition	mg/l		mmol/l	meq/l		meq%
Na+	480,0		20,879	20,879		25,421
K+	12,0		0,307	0,307		0,0
Ca++	67,0		1,672	3,343		3,813
Mg++	181,0		7,445	14,891		17,795
Cl-	742,0		20,929	20,929		25,421
SO4--	570,0		5,934	11,868		13,982
HCO3-	394,0		6,458	6,458		7,626
Ratios				Comp. to Seawater		
	mg/l		mmol/l	mg/l		mmol/l
Ca++/Mg++		0,37		0,225		0,319
Ca++/SO4--		0,118		0,282		0,364
Na+/Cl-		0,647		0,998		0,858
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)		1221,401		20,8786		
Anhydrite (CaSO4)		808,216		5,934		



**P7S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	B2S	Ph	8.52
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	23.6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3488
		TDS (110 °C, mg/l)	1984
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	480	Cl-	735	As tot		2H (SMOW)
K+	12	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	192	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	68	SO4--	520	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	373	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)		37,67		
Sum of Cations (meq/l)		40,37		
Balance		3,5%		
Total dissolved solids		78,0 meq/l	2380, mg/l	
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness		19,19	95,95	53,73
Permanent hardness		13,08	65,38	36,61
Temporary hardness		6,11	30,57	17,12
Alkalinity		6,11	30,57	17,12
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	480,0		20,879	25,625
K+	12,0		0,307	0,0
Ca++	68,0		1,697	3,844
Mg++	192,0		7,898	19,219
Cl-	735,0		20,732	25,625
SO4--	520,0		5,414	12,813
HCO3-	373,0		6,114	7,688
Ratios	mg/l	mmol/l	Comp. to Seawater	
Ca++/Mg++	0,354	0,215	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,131	0,313	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,653	1,007	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	34,209	0,5848		
Anhydrite (CaSO4)	737,32	5,414		

**P8**

Header		Physical Parameters	
SampleID	B3S	Ph	8.81
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	27.4
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3479
		TDS (110 °C, mg/l)	1992
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	480	Cl-	742	As tot		2H (SMOW%)
K+	13	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	186	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	64	SO4--	620	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	353	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	39,62			
Sum of Cations (meq/l)	39,71			
Balance	0,1%			
Total dissolved solids	79,3 meq/l	2458, mg/l		
Hardness	meq/l	<sup>f</sup>	<sup>g</sup>	mg/l CaCO3
Total hardness	18,5	92,48	51,79	924,8
Permanent hardness	12,71	63,55	35,59	635,5
Temporary hardness	5,79	28,93	16,20	289,3
Alkalinity	5,79	28,93	16,20	289,3
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	480,0	20,879	20,879	25,211
K+	13,0	0,332	0,332	0,0
Ca++	64,0	1,597	3,194	3,782
Mg++	186,0	7,651	15,302	18,908
Cl-	742,0	20,929	20,929	25,211
SO4--	620,0	6,455	12,909	15,126
HCO3-	353,0	5,786	5,786	6,303
Ratios	mg/l	mmol/l	Comp. to Seawater	mg/l
Ca++/Mg++	0,344	0,209	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,103	0,247	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,647	0,998	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	1221,401	20,8786		
Anhydrite (CaSO4)	879,112	6,455		

**P9B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Γ2B	Ph	6.33
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	25.1
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (µS)	3092
		TDS (110 °C, mg/l)	1764
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	430	Cl-	651	As tot		2H (SMOW)
K +	11	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	159	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	53	SO4--	540	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	414	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype		Na-Mg-Cl-SO4	
Sum of Anions (meq/l)		36,39	
Sum of Cations (meq/l)		34,71	
Balance		2,4%	
Total dissolved solids		71,1 meq/l	2258, mg/l

Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	15,73		78,63	44,03
Permanent hardness	8,94		44,70	25,03
Temporary hardness	6,79		33,93	19,00
Alkalinity	6,79		33,93	19,00

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	430,0		18,704	18,704
K +	11,0		0,281	0,281
Ca++	53,0		1,322	2,645
Mg++	159,0		6,541	13,081
Cl-	651,0		18,362	18,362
SO4--	540,0		5,622	11,243
HCO3-	414,0		6,786	6,786

Ratios		Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l
Ca++/Mg++	0,333	0,202	0,319
Ca++/SO4--	0,098	0,235	0,152
Na+/Cl-	0,661	1,019	0,556

Dissolved Minerals	
	mg/l
Halite (NaCl)	30,299
Anhydrite (CaSO4)	765,678



**P9S**

Header				Physical Parameters			
SampleID		Γ2S		Ph		8,41	
Site				Eh (mv)			
Location		LAKE KARLA		Sample temperature (°C)		25,4	
Date		Juny 2010		Formation temperature (°C)			
Aquifer geology				Sampling depth (m)		0,5	
Lithology				Cond 20°C (µS)		3080	
				TDS (110 °C, mg/l)		1755	
				Density			
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia	
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)	
Na+	440	Cl-	545	As tot		2H (SMOW <sup>3</sup> )	
K+	12	Br-		P		34S (‰CD)	
Mg <sup>++</sup>	159	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)	
Ca <sup>++</sup>	60	SO4 <sup>--</sup>	620	H3BO3		Trit (TU)	
Sr <sup>++</sup>		NO3-		CO2		14C (‰mod)	
Mn <sup>++</sup>		NO2-		O2		#NEW	
Fe <sup>++</sup>		HCO3-	404	N2			
NH4+		CO3 <sup>--</sup>	0	CH4			
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4						
Sum of Anions (meq/l)			34,90				
Sum of Cations (meq/l)			35,52				
Balance			0,9%				
Total dissolved solids			70,4 meq/l	2240, mg/l			
Hardness	meq/l		<sup>*f</sup>	<sup>*g</sup>	mg/l CaCO3		
Total hardness		16,08		80,38	45,01	803,8	
Permanent hardness		9,45		47,26	26,47	472,6	
Temporary hardness		6,62		33,11	18,54	331,1	
Alkalinity		6,62		33,11	18,54	331,1	
Major ion composition	mg/l		mmol/l	meq/l	meq%		
Na+		440,0		19,139	19,139	26,979	
K+		12,0		0,307	0,307	0,0	
Ca <sup>++</sup>		60,0		1,497	2,994	2,84	
Mg <sup>++</sup>		159,0		6,541	13,081	18,46	
Cl-		545,0		15,372	15,372	21,299	
SO4 <sup>--</sup>		620,0		6,455	12,909	17,04	
HCO3-		404,0		6,622	6,622	8,52	
Ratios				Comp. to Seawater			
	mg/l		mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>		0,377		0,229	0,319	0,194	
Ca <sup>++</sup> /SO4 <sup>--</sup>		0,097		0,232	0,152	0,364	
Na <sup>+</sup> /Cl-		0,807		1,245	0,556	0,658	
Dissolved Minerals	mg/l						
Halite (NaCl)		25,366		0,4336			
Anhydrite (CaSO4)		879,112		6,455			

**P10**

Header				Physical Parameters			
SampleID		Γ3S		Ph		8.45	
Site				Eh (mv)			
Location		LAKE KARLA		Sample temperature (°C)		25.7	
Date		Juny 2010		Formation temperature (°C)			
Aquifer geology				Sampling depth (m)		0,5	
Lithology				Cond 20°C (µS)		3071	
				TDS (110 °C, mg/l)		1757	
				Density			
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia	
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW	
Na+	430	Cl-	552	As tot		2H (SMOW%)	
K+	9.9	Br-		P		34S (%CD)	
Mg++	171	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI	
Ca++	56	SO4--	630	H3BO3		Trit (TU)	
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)	
Mn++		NO2-		O2		#NEW	
Fe++		HCO3-	394	N2			
NH4+		CO3--	0	CH4			
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4						
Sum of Anions (meq/l)	35,15						
Sum of Cations (meq/l)	35,82						
Balance	1,0%						
Total dissolved solids	71,0 meq/l		2242,9 mg/l				
Hardness	meq/l		*f	*g	mg/l CaCO3		
Total hardness		16,86		84,31	47,22	843,1	
Permanent hardness		10,4		52,02	29,13	520,2	
Temporary hardness		6,46		32,29	18,08	322,9	
Alkalinity		6,46		32,29	18,08	322,9	
Major ion composition	mg/l		mmol/l		meq/l	meq%	
Na+		430,0		18,704	18,704	25,365	
K+		9,9		0,253	0,253	0,0	
Ca++		56,0		1,397	2,794	2,818	
Mg++		171,0		7,034	14,068	19,728	
Cl-		552,0		15,57	15,57	21,137	
SO4--		630,0		6,559	13,117	18,319	
HCO3-		394,0		6,458	6,458	8,455	
Ratios				Comp. to Seawater			
	mg/l		mmol/l		mg/l	mmol/l	
Ca++/Mg++		0,327		0,199	0,319	0,194	
Ca++/SO4--		0,089		0,213	0,152	0,364	
Na+/Cl-		0,779		1,201	0,556	0,858	
Dissolved Minerals	mg/l						
Halite (NaCl)		25,691		0,4392			
Anhydrite (CaSO4)		893,291		6,559			

**P11B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Z2B	Ph	8.23
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	23.5
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (µS)	3525
		TDS (110 °C, mg/l)	2000
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	510	Cl-	758	As tot		2H (SMOW‰)
K+	14	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	162	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	53	SO4--	450	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	383	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	37,03			
Sum of Cations (meq/l)	38,51			
Balance	2,0%			
Total dissolved solids	75,5 meq/l		2330, mg/l	
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	15,97	79,86	44,72	798,6
Permanent hardness	9,69	48,47	27,15	484,7
Temporary hardness	6,28	31,39	17,58	313,9
Alkalinity	6,28	31,39	17,58	313,9
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	510,0	22,184	22,184	29,123
K+	14,0	0,358	0,358	0,0
Ca++	53,0	1,322	2,645	2,648
Mg++	162,0	6,664	13,328	17,209
Cl-	758,0	21,38	21,38	27,799
SO4--	450,0	4,685	9,37	11,914
HCO3-	383,0	6,278	6,278	7,943
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,327	0,198	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,118	0,282	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,673	1,038	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	35,279	0,6031		
Anhydrite (CaSO4)	638,065	4,685		

**P11S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Z2S	Ph	8.53
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.1
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3500
		TDS (110 °C, mg/l)	2000
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	520	Cl-	773	As tot		2H (SMOW)
K +	15	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	170	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	52	SO4--	460	H3BO3		Trt (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	383	N2		
NH4+		CO3--	10	CH4		

Watertype		Na-Mg-Cl-SO4	
Sum of Anions (meq/l)		37,99	
Sum of Cations (meq/l)		39,58	
Balance		2,1%	
Total dissolved solids		77,6 meq/l	2383, mg/l

Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	16,58		82,90	46,43
Permanent hardness	9,97		49,85	27,92
Temporary hardness	6,61		33,06	18,51
Alkalinity	6,61		33,06	18,51

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	520,0	22,619	22,619	28,36
K +	15,0	0,384	0,384	0,0
Ca++	52,0	1,297	2,595	2,578
Mg++	170,0	6,993	13,986	16,758
Cl-	773,0	21,804	21,804	27,07
SO4--	460,0	4,789	9,578	11,602
HCO3-	383,0	6,278	6,278	7,734

Ratios		Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l
Ca++/Mg++	0,306	0,186	0,319
Ca++/SO4--	0,113	0,271	0,152
Na+/Cl-	0,673	1,037	0,556

Dissolved Minerals	
	mg/l
Halite (NaCl)	35,977
Anhydrite (CaSO4)	652,245

**P12**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Z3S	Ph	8.63
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.3
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3532
		TDS (110 °C, mg/l)	1996
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	520	Cl-	780	As tot		2H (SMOW%)
K+	14	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	168	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	51	SO4--	490	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	394	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	38,66			
Sum of Cations (meq/l)	39,34			
Balance	0,9%			
Total dissolved solids	78,0 meq/l	2417, mg/l		
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	16,37	81,83	45,83	818,3
Permanent hardness	9,91	49,54	27,74	495,4
Temporary hardness	6,46	32,29	18,08	322,9
Alkalinity	6,46	32,29	18,08	322,9
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	520,0	22,619	22,619	28,204
K+	14,0	0,358	0,358	0,0
Ca++	51,0	1,272	2,545	2,564
Mg++	168,0	6,911	13,821	16,666
Cl-	780,0	22,001	22,001	28,204
SO4--	490,0	5,101	10,202	12,82
HCO3-	394,0	6,458	6,458	7,692
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,304	0,184	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,104	0,249	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,667	1,028	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	36,303	0,6206		
Anhydrite (CaSO4)	694,782	5,101		



**P13B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Δ2B	Ph	8.26
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	22.6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (μS)	3460
		TDS (110 °C, mg/l)	1970
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		180 (SMOW)
Na+	510	Cl-	742	As tot		2H (SMOW <sup>9</sup> )
K +	10	Br-		P		34S (%CD)
Mg++	191	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	76	SO4--	630	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (%mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	424	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	41,00			
Sum of Cations (meq/l)	41,95			
Balance	1,1%			
Total dissolved solids	82,9 meq/l	2583, mg/l		
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	19,51	97,53	54,62	975,3
Permanent hardness	12,56	62,78	35,16	627,8
Temporary hardness	6,95	34,75	19,46	347,5
Alkalinity	6,95	34,75	19,46	347,5
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	510,0	22,184	22,184	26,525
K +	10,0	0,256	0,256	0,0
Ca++	76,0	1,896	3,792	3,617
Mg++	191,0	7,857	15,714	18,085
Cl-	742,0	20,929	20,929	24,113
SO4--	630,0	6,559	13,117	15,674
HCO3-	424,0	6,95	6,95	7,234
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,398	0,241	0,319	0,194
Ca++/SO4--	0,121	0,289	0,152	0,364
Na+/Cl-	0,687	1,06	0,556	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	34,535	0,5903		
Anhydrite (CaSO4)	893,291	6,559		

**P13S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Δ2S	Ph	8.57
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	23.6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3444
		TDS (110 °C, mg/l)	1975
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	470	Cl-	992	As tot		2H (SMOW)
K +	13	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	189	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	71	SO4--	305	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	404	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl				
Sum of Anions (meq/l)	40,95				
Sum of Cations (meq/l)	39,87				
Balance	1,3%				
Total dissolved solids	80,8 meq/l	2444, mg/l			
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3	
Total hardness	19,09	95,46	53,46	954,6	
Permanent hardness	12,47	62,35	34,92	623,5	
Temporary hardness	6,62	33,11	18,54	331,1	
Alkalinity	6,62	33,11	18,54	331,1	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%	
Na+	470,0	20,444	20,444	24,746	
K +	13,0	0,332	0,332	0,0	
Ca++	71,0	1,771	3,543	3,712	
Mg++	189,0	7,775	15,549	18,559	
Cl-	992,0	27,981	27,981	33,407	
SO4--	305,0	3,175	6,35	7,424	
HCO3-	404,0	6,622	6,622	7,424	
Ratios			Comp. to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l	
Ca++/Mg++	0,376	0,228	0,319	0,194	
Ca++/SO4--	0,233	0,558	0,152	0,364	
Na+/Cl-	0,474	0,731	0,556	0,858	
Dissolved Minerals	mg/l				
Halite (NaCl)	1195,955	20,4437			
Anhydrite (CaSO4)	432,466	3,175			

**P14**

Header		Physical Parameters	
SampleID	Δ3S	Ph	8.7
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	27.6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (μS)	3457
		TDS (110 °C, mg/l)	1964
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	490	Cl-	661	As tot		2H (SMOW)
K+	13	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	180	I-		H2SiO3		18O(SO4, S)
Ca++	55	SO4--	640	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	404	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	38,59			
Sum of Cations (meq/l)	39,20			
Balance	0,8%			
Total dissolved solids	77,8 meq/l		2443, mg/l	
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	17,55		87,77	49,15
Permanent hardness	10,93		54,66	546,6
Temporary hardness	6,62		33,11	331,1
Alkalinity	6,62		33,11	331,1
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	490,0		21,314	26,995
K+	13,0		0,332	0,0
Ca++	55,0		1,372	2,571
Mg++	180,0		7,404	17,997
Cl-	661,0		18,644	23,139
SO4--	640,0		6,663	16,711
HCO3-	404,0		6,622	7,713
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++		0,306	0,185	0,319
Ca++/SO4--		0,086	0,206	0,364
Na+/Cl-		0,741	1,143	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	30,765		0,5259	
Anhydrite (CaSO4)	907,471		6,663	



**P15B**

Header		Physical Parameters	
SampleID	E2B	Ph	8.65
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.8
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	1
Lithology		Cond 20°C (µS)	3477
		TDS (110 °C, mg/l)	1976
		Density	

Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	520	Cl-	765	As tot		2H (SMOW)
K +	19	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	160	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	55	SO4--	480	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	434	N2		
NH4+		CO3--	20	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	39,35			
Sum of Cations (meq/l)	39,01			
Balance	0,4%			
Total dissolved solids	78,4 meq/l	2453, mg/l		
Hardness	meq/l	**f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	15,91		79,54	44,54 795,4
Permanent hardness	8,13		40,64	22,76 406,4
Temporary hardness	7,78		38,90	21,79 389,0
Alkalinity	7,78		38,90	21,79 389,0
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	520,0		22,619	22,619 28,074
K +	19,0		0,486	0,486 0,0
Ca++	55,0		1,372	2,745 2,552
Mg++	160,0		6,582	13,163 16,589
Cl-	765,0		21,578	21,578 26,798
SO4--	480,0		4,997	9,994 11,485
HCO3-	434,0		7,114	7,114 8,933
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,344		0,208	0,319 0,194
Ca++/SO4--	0,115		0,275	0,152 0,364
Na+/Cl-	0,68		1,048	0,556 0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	35,605		0,6086	
Anhydrite (CaSO4)	680,603		4,997	

**P15S**

Header		Physical Parameters	
SampleID	E2S	Ph	8,66
Site		Eh (mv)	
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24,6
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)	
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5
Lithology		Cond 20°C (µS)	3530
		TDS (110 °C, mg/l)	2000
		Density	

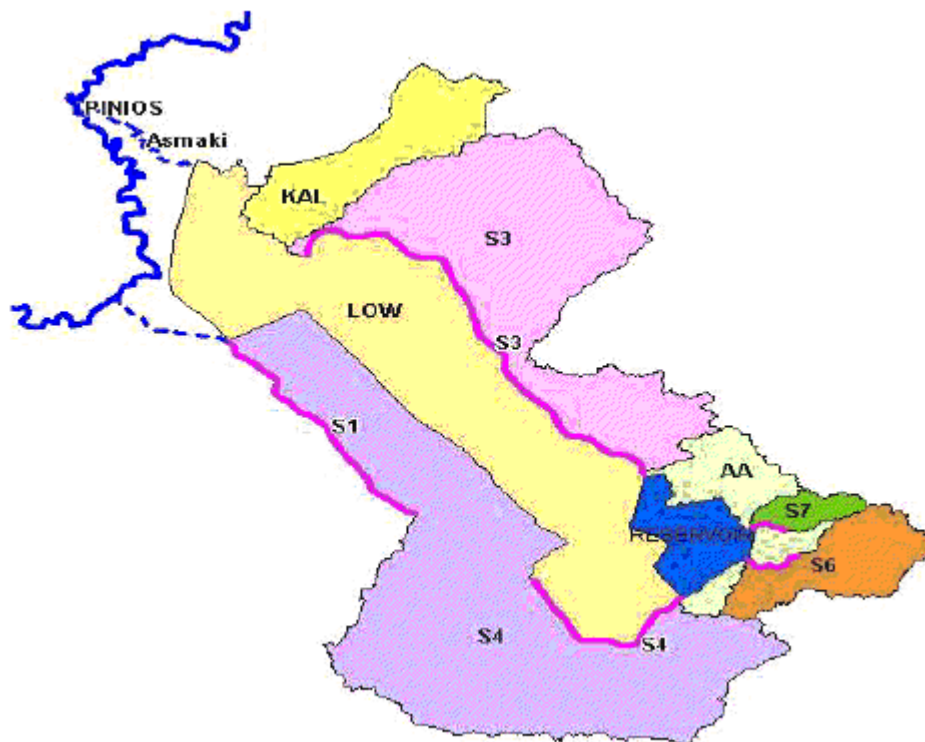
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	510	Cl-	758	As tot		2H (SMOW)
K+	15	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	167	I-		H2SiO3		18O(SO4, SI)
Ca++	60	SO4--	440	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEW
Fe++		HCO3-	394	N2		
NH4+		CO3--	5	CH4		

Watertype	Na-Mg-Cl-SO4			
Sum of Anions (meq/l)	37,17			
Sum of Cations (meq/l)	39,30			
Balance	2,8%			
Total dissolved solids	76,5 meq/l		2349, mg/l	
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3
Total hardness	16,73		83,67	46,85
Permanent hardness	10,11		50,54	28,30
Temporary hardness	6,62		33,12	18,55
Alkalinity	6,62		33,12	18,55
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	510,0	22,184	22,184	28,771
K+	15,0	0,384	0,384	0,0
Ca++	60,0	1,497	2,994	2,616
Mg++	167,0	6,87	13,739	17,001
Cl-	758,0	21,38	21,38	27,463
SO4--	440,0	4,581	9,161	11,77
HCO3-	394,0	6,458	6,458	7,847
Ratios			Comp. to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca++/Mg++	0,359		0,218	0,319
Ca++/SO4--	0,136		0,327	0,364
Na+/Cl-	0,673		1,038	0,858
Dissolved Minerals	mg/l			
Halite (NaCl)	35,279		0,6031	
Anhydrite (CaSO4)	623,886		4,581	

**P16**

Header		Physical Parameters				
SampleID	E3S	Ph	8.44			
Site		Eh (mv)				
Location	LAKE KARLA	Sample temperature (°C)	24.2			
Date	Juny 2010	Formation temperature (°C)				
Aquifer geology		Sampling depth (m)	0,5			
Lithology		Cond 20°C (µS)	3636			
		TDS (110 °C, mg/l)	2000			
		Density				
Cations	mg/l	Anions	mg/l	Uncharged C	mg/l	Varia
Li+		F-		Al tot		18O (SMOW)
Na+	530	Cl-	803	As tot		2H (SMOW)
K +	15	Br-		P		34S (‰CD)
Mg++	170	I-		H2SiO3		18O(SO4, Si)
Ca++	70	SO4--	465	H3BO3		Trit (TU)
Sr++		NO3-		CO2		14C (‰mod)
Mn++		NO2-		O2		#NEV
Fe++		HCO3-	484	N2		
NH4+		CO3--	0	CH4		
Watertype	Na-Mg-Cl-SO4					
Sum of Anions (meq/l)	40,26					
Sum of Cations (meq/l)	40,92					
Balance	0,8%					
Total dissolved solids	81,2 meq/l		2537, mg/l			
Hardness	meq/l	*f	*g	mg/l CaCO3		
Total hardness	17,48		87,40	48,94	874,0	
Permanent hardness	9,55		47,73	26,73	477,3	
Temporary hardness	7,93		39,67	22,21	396,7	
Alkalinity	7,93		39,67	22,21	396,7	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%		
Na+	530,0		23,054	23,054	28,332	
K +	15,0		0,384	0,384	0,0	
Ca++	70,0		1,747	3,493	3,695	
Mg++	170,0		6,993	13,986	16,014	
Cl-	803,0		22,65	22,65	27,1	
SO4--	465,0		4,841	9,682	11,086	
HCO3-	484,0		7,933	7,933	8,623	
Ratios				Comp. to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l		
Ca++/Mg++	0,412		0,25	0,319	0,194	
Ca++/SO4--	0,151		0,361	0,152	0,364	
Na+/Cl-	0,66		1,018	0,556	0,858	
Dissolved Minerals	mg/l					
Halite (NaCl)	37,374		0,6389			
Anhydrite (CaSO4)	659,334		4,841			



Σχήμα 1.1: Εισροές νερού.

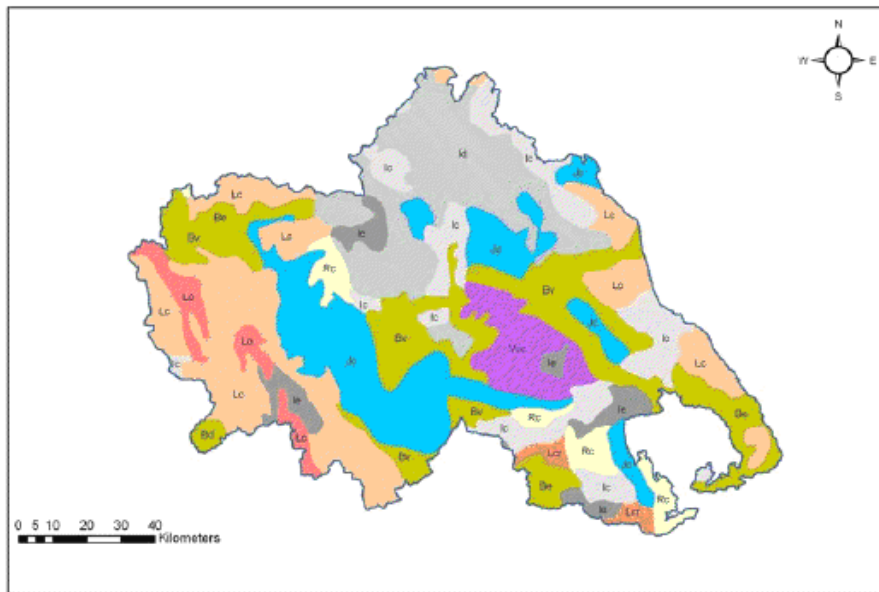


Σχήμα 1.2: Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης.





Σχήμα 1.3: Υδατικά διαμερίσματα Ελλάδας.



Εδαφολογικός Χάρτης

Υπόμνημα

Bd Be Bv Jc Lc Ler Lo Rc Vcc Id Ie

**Bd:** Dystric Cambisol **Be:** Eutric Cambisol **Bv:** Vertic Cambisol **Jc:** Calcariic Fluvisol  
**Lc:** Calcari-lithic leptosol **Ld:** Dystri-lithic Leptosol **Le:** Euri-lithic Leptosol **Lc:** Chromic  
 Luvisol **Lo:** Haplic Luvisol **Ler:** Rhodic Luvisol **Rc:** Calcariic Regosol **Vcc:** Calcari-chromic  
 Vertisol

Σχήμα 1.4: Εδαφολογία περιοχής μελέτης.



**Εικόνες 2.7α και 2.7β:** Συλλογή δειγμάτων.



**Εικόνα 2.8:** Τοποθέτηση δειγμάτων σε ταψάκια.



**Εικόνα 2.9:** Επεξεργασία δειγμάτων σε γουδί πορσελάνης.





**Εικόνα 2.10:** Επεξεργασία δειγμάτων σε κόσκινο.



**Εικόνα 4.1:** Καλλιέργειες πλησίον της λίμνης.





**Εικόνες 4.2 και 4.3:** Βοοειδή πλησίον της λίμνης..



**Εικόνες 4.4, 4.5 και 4.6:** Είδη που διαβιούν στο οικοσύστημα της λίμνης.





**Εικόνα 4.7:** Ανθρωπογενής υποβάθμιση της λίμνης.



**Εικόνα 4.8:** Σημάδια ύπαρξης στάβλων πριν τον επαναπλημμυρισμό της λίμνης.