



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

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία στα ιζήματα  
της λίμνης Κάρλα»**

**Δημητριάδης Γεώργιος**

**ΒΟΛΟΣ 2012**

**«Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία  
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 Ασπονδύλων και άμεση - έμμεση χρησιμότητά τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

**3) Νικόλαος Νεοφύτου,** Λέκτορας, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

*Στους γονείς μου*  
*Ιορδάνη και Ρωξάνη*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πραγματικές ευχαριστίες θέλω να εκφράσω σε όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας. Προς τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα, Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, εκφράζω τις θερμότερες ευχαριστίες μου για την πραγματική βοήθεια, τις εύστοχες υποδείξεις του, τη συνεχή καθοδήγηση και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη πραγματοποίηση των πειραμάτων στο εργαστήριο όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τους κ. Δημήτριο Βαφεΐδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κ. Νικόλαο Νεοφύτου, Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, για τις χρήσιμες συμβουλές τους, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους σχετικά με την έκθεση και την καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια αποπεράτωσης της εργασίας.

Δεν θα πρέπει να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στην Λουκία Γιαννακοπούλου, Υποψήφια Διδάκτορα, Ιχθυολόγο Τ.Ε και στην Ανθή Τζούνη, Msc Δασολόγο – Περιβαλλοντολόγο, για την άμεση βοήθεια και συμπαράστασή τους στον τομέα των εργαστηριακών αναλύσεων – και όχι μόνο. Ευχαριστίες επίσης στον Δημήτρη Κοσμίδη, Msc Γεωλόγο – Περιβαλλοντολόγο για τη βοήθεια και συνδρομή του στο εργαστήριο Γεωχημείας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λίμνη Κάρλα, ή λίμνη Βοιβηίδα (παλαιότερα) και κατά την αρχαιότητα Βοιβής, ήταν λίμνη η οποία αποξηράνθηκε το 1962. Βρισκόταν νοτιοανατολικά της Λάρισας, κοντά στις βόρειες πλαγιές του Πηλίου, στα όρια των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας. Σήμερα γίνεται προσπάθεια επαναδημιουργίας της λίμνης, που θα έχει έκταση 38.000 στρέμματα. Η αρχική λίμνη είχε έκταση 180- 195.000 στρέμματα.

Στόχος της έρευνας ήταν ο προσδιορισμός, το περιεχόμενο και η κατανομή των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα της λίμνης έτσι ώστε μ' αυτό τον τρόπο να εξαχθούν όσο το δυνατόν ασφαλή συμπεράσματα για την επιβάρυνση της λίμνης, αλλά και η πιθανή τους προέλευση τους (ανθρωπογενής ή φυσική). Έγινε προσπάθεια επίσης, να διαπιστωθούν, μέσω βιβλιογραφικών δεδομένων, πιθανές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς.

Για τις ανάγκες της έρευνας έγιναν τρεις δειγματοληψίες. Αυτή η εργασία αποτελεί τη δεύτερη εποχιακή δειγματοληψία, τον Νοέμβριο του 2010. Συνολικά συλλέχθηκαν 16 δείγματα ιζήματος (από το σημείο R<sub>1</sub> έως το σημείο R<sub>16</sub>) σε βάθη από 40 έως 200 cm από την επιφάνεια του νερού. Η επιλογή των θέσεων προσαρμόστηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να συμπίπτουν με την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαραχτηκαν έξι διαδρομές, που η καθεμία ξεκινούσε από το βαθύτερο σημείο της λίμνης και είχε σαν κατάληξη ένα σημείο υπέργειας εισροής υδάτων περιμετρικά της λίμνης.

Τα συλλεχθέντα δείγματα του ιζήματος αναλύθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί το περιεχόμενο των χημικών στοιχείων Co, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μετάλλων έγινε μετά από διαλυτοποίηση των δειγμάτων με την επίδραση πυκνών οξέων, HNO<sub>3</sub> και HCl, με τη βοήθεια του συστήματος Multiwave

3000 και ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων ανθρωπογενούς προέλευσης έγινε με τη μέθοδο «0,5 N HCl». Οι αναλύσεις των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωχημείας του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS).

Η αξιολόγηση του περιεχομένου των βαρέων μετάλλων Cr, Cu, Ni, Pb και Zn με τη μέθοδο της μερικής διαλυτοποίησης των ιχνοστοιχείων, με βάση τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ERM-ERL, PEL-TEL και SEL-LEL ταξινομεί τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σε :

- μη επιβαρυμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και δεν αναμένεται η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων στους βενθικούς οργανισμούς.
- μη επιβαρυμένα έως μέτρια επιβαρυμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και αναμένεται να εμφανιστούν, σπάνια ή περιστασιακά, δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- μέτρια επιβαρυμένα ως προς το μόλυβδο (Pb) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- επιβαρυμένα έως πολύ επιβαρυμένα ως προς το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.

Το προσδιοριζόμενο με τη μέθοδο «0,5N HCl» περιεχόμενο των ιχνοστοιχείων Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn ανθρωπογενούς προέλευσης, με βάση τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων ERM-ERL, PEL-TEL και SEL-LEL ταξινομεί τα ιζήματα της περιοχής έρευνας στις παρακάτω κατηγορίες:

- μη επιβαρυνμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και το μόλυβδο (Pb) και δεν αναμένονται δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- μη επιβαρυνμένα έως μέτρια επιβαρυνμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και το χρώμιο (Cr) και οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν σπάνια ή περιστασιακά.
- μέτρια επιβαρυνμένα ως επιβαρυνμένα για το νικέλιο (Ni) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά έως συχνά δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Η σύγκριση των τιμών του περιεχομένου των χημικών στοιχείων στα ιζήματα της περιοχής έρευνας με αντίστοιχα περιεχόμενα ιζημάτων λιμνών του Ελλαδικού χώρου, έδειξε ότι το περιεχόμενο των Co, Cr, και Ni είναι στα ίδια επίπεδα με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις της λίμνης Βεγορίτιδας.

Τα βαρέα μέταλλα φαίνεται να μην είναι ακινητοποιημένα στα ιζήματα του βυθού της λίμνης. Θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω και όσο το δυνατόν πιο διεξοδικά οι επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον και τον ανθρώπινο πληθυσμό. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να περιλαμβάνουν επίσης το αρσενικό (As) και το κάδμιο (Cd).

**Λέξεις κλειδιά:** Κάρλα, Βαρέα μέταλλα, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, Θεσσαλία.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά	1
1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία	3
1.2.1 Περιγραφή της περιοχής	3
1.2.2 Επιφανειακή Υδρολογία και Κλίμα της Λεκάνης Κάρλας	6
1.2.3 Γεωλογία και Τοπογραφία της περιοχής	6
1.2.4 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	9
1.3 Ιχνοστοιχεία στα υδάτινα οικοσυστήματα	10
1.3.1 Ορισμός και Τοξικότητα ιχνοστοιχείων	10
1.3.2 Ιχνοστοιχεία στο υδάτινο περιβάλλον	11
1.3.3 Ιχνοστοιχεία στα ιζήματα	13
1.3.4 Ρύπανση ιζημάτων από βαρέα μέταλλα	14
1.3.5 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων	17
<b>2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	<b>18</b>
2.1 Προγραμματισμός έρευνας	18
2.2 Δειγματοληψία	18
2.3 Προετοιμασία δειγμάτων	21
2.4 Διαλυτοποίηση δειγμάτων	24
2.4.1 Μερική διαλυτοποίηση	25
2.4.2 Εκχύλιση «0,5 N HCl»	26
2.5 Αναλυτική μέθοδος	28
2.5.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης	28
2.5.2 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων με φασματοσκοπία ατομικής	

απορρόφησης-----	29
2.6 Κριτήρια προσδιορισμού περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων -----	30
2.6.1 Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων-----	31
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ-----</b>	<b>33</b>
3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων-----	33
3.1.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης-----	33
3.1.2 Αποτελέσματα εκχύλισης «0,5 N HCl»-----	34
3.2 Γεωχημικοί χάρτες-----	37
3.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης-----	38
3.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου « 0,5 N HCl » -----	50
3.2.3 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδων μερικής διαλυτοποίησης και « 0,5 N HCl » -----	62
3.3. Σχολιασμός περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων λίμνης Κάρλας-----	75
3.3.1 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης-----	75
3.3.2 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου «0,5 N HCl »-----	87
3.4 Συσχέτιση δεδομένων μεθόδων «0,5 N HCl » και μερικής διαλυτοποίησης---	96
<b>4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-----</b>	<b>99</b>
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-----</b>	<b>102</b>
<b>6. ABSTRACT-----</b>	<b>110</b>
<b>7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-----</b>	<b>113</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Σημείο συνάντησης του ανθρώπου με το υγρό στοιχείο αποτελεί διαχρονικά η λίμνη Κάρλα, διαμορφώνοντας ένα πολιτιστικό τοπίο σε διαλεκτική σχέση με το φυσικό περιβάλλον. Σημαντικότερες είναι οι αλλαγές που υπέστη τόσο η λίμνη Κάρλα όσο και οι πολύπαθοι κάτοικοι της περιοχής της. Ο κάρλιος πολιτισμός, που ήκμασε στα νερά της, χάθηκε το 1962 και οι πρώην ψαράδες προσπαθούν, σαράντα χρόνια τώρα, να επιβιώσουν ως αγρότες και κτηνοτρόφοι. Το 2000, άρχισαν τα έργα επαναπλημμυρισμού της λίμνης, στα όρια του Ν. Μαγνησίας.

Ενδιαφέρον προκαλούν τα στοιχεία, του Κέντρου για τη μελέτη και προστασία του περιβάλλοντος και της πολιτιστικής κληρονομιάς στη Λίμνη Βοιβηίδα - Κάρλα (KEMEBO) -Μουσείο Λιμναίου Πολιτισμού Κάρλας, που αναφέρονται από το σχηματισμό της έως την αποξήρανσή της.

Για αιώνες αναπτύχθηκε στα νερά της ένας λιμναίος πολιτισμός, ιδιόμορφος. Οι άνδρες των παρακάρλιων χωριών για εννέα μήνες έμεναν σε καλύβες από λούρα και ραγάζια μέσα στη λίμνη. Ψάρευαν με δίχτυα ή κατίκια και πουλούσαν την ψαριά τους στους εμπόρους, ενώ πλήρωναν 25% επί των αλιευμάτων φόρο στο Δημόσιο, αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό έσοδο για το κράτος.

Από το Πάσχα έως το Δεκαπενταύγουστο, το διάστημα της λεγόμενης απεργίας, έμεναν στα χωριά τους δίνοντας στη φύση τον απαιτούμενο χρόνο για ν' αναπτυχθεί ο γόνος και στους εαυτούς τους το περιθώριο να συντηρήσουν τα καράβια τους, τις λεγόμενες πλατσίδες, αλλά και να χαρούν τις οικογένειές τους. Τότε, ζωντάνευαν και τα χωριά της λίμνης, που τον υπόλοιπο χρόνο ήταν γυναικοκρατούμενα.

Η Κάρλα του «χθες» υπήρξε σημαντικότερος υδροβιότοπος, όχι μόνο για την Ελλάδα, αλλά και για τα Βαλκάνια. Η ορνιθοπανίδα και η ιχθυοπανίδα της ήταν πολύ πλούσιες. Πάπιες, πελαργοί, τσικνιάδες, κορμοράνοι, πελεκάνοι, φοινικόπτερα, γριβάδια, πλατίτσες, γωβιοί και χέλια ήταν ο «θησαυρός» της Βοιβηίδας που έθρεψε τον παρακάρλιο, και όχι μόνο, πληθυσμό.

Το 1962-2000, η Κάρλα έγινε πεδιάδα. Με κρατική απόφαση, η λίμνη αποξηραίνεται με την κατασκευή σήραγγας που διοχέτευσε τα νερά της στον Παγασητικό κόλπο. Με την αποστράγγιση των νερών της, το οικοσύστημα και το μικροκλίμα της περιοχής άλλαξαν. Τα ψάρια και τα πουλιά της χάθηκαν, η υπόγεια υδροφορία πέφτει. Ο βάλτος γίνεται κάμπος και οι ψαράδες αγρότες και κτηνοτρόφοι.

Στο ίδιο χρονικό διάστημα, έχουμε το αίτημα των κατοίκων των παρακάρλιων περιοχών για αγροτική αποκατάσταση στις εκτάσεις που αποκαλύφθηκαν (Μπαμπατζιμόπουλος και συν. 1990, Εξαρχόπουλος 1999).

Σήμερα για την επανασύστασή της εφαρμόζεται επαναπλημμυρισμός της περιοχής με τη δημιουργία πολλών μικρών ταμιευτήρων. Η αποκατάσταση του πρώην υγροτόπου είναι επιτακτική λόγω των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν στα υπάρχοντα αποθέματα νερού από την κατασπατάληση τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου νερού, καθώς και από την εκτεταμένη ρύπανση των υδάτων από τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στην ευρύτερη περιοχή (Koutseris 1987, Koutseris 1989, Zalidis et al. 1999, Zalidis et al. 2005).

Στόχος της έρευνας ήταν ο προσδιορισμός του περιεχομένου και η κατανομή των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας προκειμένου να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, τόσο για την πιθανή επιβάρυνση – ρύπανση της περιοχής από αυτά, όσο και για την πιθανή προέλευση των χημικών στοιχείων, φυσική ή ανθρωπογενής.

Στόχος είναι επίσης ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων αλλά και οι πιθανές επιπτώσεις τους στους υδρόβιους οργανισμούς.

## 1.2 Βιβλιογραφικά στοιχεία

### 1.2.1 Περιγραφή της περιοχής

Η λίμνη Κάρλα, ή λίμνη Βοιβηίδα (παλαιότερα) και κατά την αρχαιότητα Βοιβής, ή Βοιβιάς, ή Βοίβη, ή λίμνη της Πελασγιώτιδος, ήταν λίμνη η οποία αποξηράνθηκε το 1962, επειδή την εποχή εκείνη προκαλούσε πλημμύρες στις γύρω γεωργικές καλλιέργειες, ενώ ορισμένες βαλτώδεις εκτάσεις γύρω της προκαλούσαν την έντονη παρουσία εντόμων. Βρισκόταν νοτιοανατολικά της Λάρισας, κοντά στις βόρειες πλαγιές του Πηλίου, στα όρια των Νομών Λαρίσης και Μαγνησίας.

Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι οι επιπτώσεις στο οικοσύστημα της περιοχής ήταν μεγαλύτερες από το όφελος που προσέφερε η αποξήρανσή της. Έτσι, σήμερα γίνεται προσπάθεια για αναδημιουργίας της λίμνης, που θα έχει έκταση 38.000 στρέμματα. Η αρχική λίμνη είχε έκταση 180- 195 χιλιάδες στρέμματα και το βάθος της έφτανε τα 4-6 μ. Το Δεκέμβριο του 2010 άρχισε η άντληση νερού από τον ποταμό Πηνειό, ενώ όταν τεθούν σε πλήρη λειτουργία τα πέντε αντλιοστάσια του Πηνειού θα τροφοδοτούν τη λίμνη με 14 κυβικά μέτρα νερού το δευτερόλεπτο.

Η σημερινή λίμνη ορίζεται από το ανατολικό ανάχωμα και το δυτικό ανάχωμα, που χωρίζεται σε δυο τμήματα, το βόρειο και το νότιο (Σχ. 1.1-1.2: Παράρτημα Α). Στον Πίνακα 1.1 αναγράφονται στοιχεία για τη στάθμη, την επιφάνεια και τον όγκο του ταμιευτήρα, για διάφορες στάθμες του νερού.

**Πίνακας 1.1:** Στοιχεία στάθμης νερού, επιφάνειας και χωρητικότητας του ταμιευτήρα της Κάρλας (ΥΠΕΧΩΔΕ 2001).

Στάθμη ταμιευτήρα μ.υ.θ	Επιφάνεια $10^6 \text{m}^2$	Όγκος $10^6 \text{m}^3$
43,50	0,000	0,000
44,00	1,400	0,230
45,00	25,000	13,430
45,35	28,300	22,760
46,00	34,500	43,180
46,40	34,650	57,010
48,00	35,200	112,880
48,80	35,450	141,140
50,00	35,800	183,880
52,00	37,900	257,580

μ.υ.θ.: μέσο υψόμετρο θέσης

Η τροφοδοσία γίνεται κατά κύριο λόγο από εισροές γλυκού νερού, που προέρχονται από τον ποταμό Πηνειό μέσω του ρέματος Ασμάκι (Σχ.1.3: Παράρτημα Α). Ένας μεγάλος όγκος νερού προέρχεται επίσης από τις επιφανειακές απορροές μέσω των συλλεκτήρων  $\Sigma_3$ ,  $\Sigma_4$ ,  $\Sigma_6$ , και των αντλιοστασίων  $DP_1$  και  $DP_2$ .

Ο συλλεκτήρας  $\Sigma_3$  με μήκος 32,5 km είναι έργο αντιπλημμυρικής προστασίας με κύριο αντικείμενο την συλλογή των νερών των λεκανών απορροής ορεινών και ημιορεινών περιοχών της ανατολικής και βορειοανατολικής πλευράς της πεδιάδας της Κάρλας, έκτασης 368 km<sup>2</sup>. Ο συλλεκτήρας δέχεται νερά τόσο από την τάφρο 9T όσο και από άλλα φυσικά ρέματα, με σπουδαιότερο τον Άμυρο, ενώ δέχεται επίσης και τα νερά του έλους Καλοχωρίου (Σχ.1.4 : Παράρτημα Α).

Ο συλλεκτήρας  $\Sigma_4$  με μήκος 13,8 km είναι αντιπλημμυρικό έργο και τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα και με νερά του ποταμού Πηνειού. Έργο του είναι κυρίως η συλλογή των νερών ορεινών και ημιορεινών περιοχών που εκτείνονται προς την νότια και νοτιοδυτική πλευρά της πεδιάδας της Κάρλας, συνολικής έκτασης 184 km<sup>2</sup>, καθώς και

τα νερά της τάφρου 2T (νερά χαμηλών περιοχών συνολικής έκτασης 187 km<sup>2</sup>)(Σχ.1.5: Παράρτημα Α).

Ο συλλεκτήρας Σ<sub>6</sub> έχει μήκος 4,55 km, είναι και αυτός αντιπλημμυρικό έργο, βρίσκεται στις παρυφές του λοφώδους συγκροτήματος της περιοχής Κερασιάς και στα ανάντη του συνδέεται με το χείμαρρο Κερασιώτη. Η έκταση της λεκάνης απορροής του Σ<sub>6</sub> είναι 56 km<sup>2</sup> (Σχ.1.6: Παράρτημα Α).

Στο βόρειο τμήμα του δυτικού αναχώματος βρίσκεται το αντλιοστάσιο DP1, και ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά πλημμυρών της τάφρου 1T που δεν μπορεί να απομακρύνει η σήραγγα Κάρλας (Σχ.1.7: Παράρτημα Α).

Στο ανατολικό ανάχωμα - και έξω απ' αυτό - είναι κατασκευασμένο το αντλιοστάσιο DP<sub>2</sub>, το οποίο ανυψώνει στον ταμιευτήρα τα νερά της χαμηλής ζώνης της περιοχής Καναλιών –Κερασιάς.

Καθοριστική επίσης είναι η συμβολή των ρεμάτων, περιστασιακή και συνεχούς ροής που εκβάλλουν απευθείας στον ταμιευτήρα, με ένα σημαντικό όγκο νερού που προέρχεται από αυτά. Ανατολικά της περιοχής μελέτης βρίσκεται το ρέμα «Βαθύρεμα», στην πλευρά του Μαυροβουνίου, και είναι ένα απ' αυτά που εκβάλλει απευθείας στη λίμνη (Τζούνη 2011).

Το έργο προσδοκά να συμβάλει μεταξύ άλλων στην αντιπλημμυρική προστασία, την αποκατάσταση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, την άρδευση 100.000 στρεμμάτων, την ενίσχυση της ύδρευσης της πόλης του Βόλου με 15 εκατ. κυβικά μέτρα νερού ετησίως - το 50% των αναγκών της πόλης.

### 1.2.2 Επιφανειακή Υδρολογία - Υδρογραφία και Κλίμα της Λεκάνης Κάρλας

Σύμφωνα με τον Ν.1739/87 η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στο υπ' αριθμόν 08 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας (Σχ.1.11: Παράρτημα Α) με έκταση 13.377 km<sup>2</sup> (ypan.gr).

Η λεκάνη απορροής της Κάρλας έχει συνολική έκταση 1.050 km<sup>2</sup> (Σχ.1.12: Παράρτημα Α). Αποτελείται από τις λεκάνες απορροής των υψηλών περιοχών (λεκάνες απορροής των συλλεκτήρων Σ<sub>3</sub>, Σ<sub>4</sub>, Σ<sub>6</sub>, Σ<sub>7</sub> έκτασης 727 km<sup>2</sup>, καθώς και τη λεκάνη απορροής 47 km<sup>2</sup> των περιοχών που απορρέουν απευθείας στον ταμιευτήρα) και τις λεκάνες απορροής των χαμηλών περιοχών έκτασης 276 km<sup>2</sup> (ΥΠΕΧΩΔΕ 2005, Παπανίκος 2008).

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό ηπειρωτικού τύπου με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες (hnms.gr) (Πιν.1.2: Παράρτημα Γ).

### 1.2.3 Γεωλογία και Τοπογραφία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κάρλας ανήκει από γεωτεκτονικής άποψης στη ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων και συγκεκριμένα στην Πελαγονική ζώνη. Ο όρος Πελαγονική ζώνη καθιερώθηκε από τους Brunn (1956) και Aubouin (1959) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες. Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημι-μεταμορφωμένα Περμιο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα (Μουντράκης 1985).



Η περιοχή της λίμνης Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα, που έγινε την πρώτη περίοδο του Τεταρτογενούς, στο οποίο εναποτέθηκαν τα πρώτα λιμναία ιζήματα. Ακολούθησε η πλήρωση του βυθίσματος με προϊόντα διάβρωσης των γύρω περιοχών, που μεταφέρθηκαν από τον Πηνειό, χείμαρρους και άλλα ποτάμια μικρότερης σημασίας. Τα όρια της περιοχής (Σχ.1.8: Παράρτημα Α) ορίζονται στα ανατολικά και βορειοανατολικά από τον ορεινό όγκο του Μαυροβουνίου, στα νότια από το όρος Μεγαβούνι και στα νοτιοδυτικά από το όρος Χαλκοδόνιο. Στα δυτικά η περιοχή οριοθετείται από λοφώδεις περιοχές (Φυλλήιον όρος), ενώ στα βόρεια τα όρια της δεν ήταν σαφώς καθορισμένα, αφενός γιατί αυτή η πλευρά της λίμνης εκτείνονταν εντός καλλιεργήσιμων και πεδινών εκτάσεων και αφετέρου γιατί η στάθμη της παρουσίαζε μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις, που μεταφράζονταν σε πολλά τετραγωνικά χιλιόμετρα τα οποία, που το ένα έτος ήταν καλυμμένα με νερό και το άλλο ήταν στεγνά (Ananiadis 1956, Λουκάς και συν. 2006).

Η λίμνη Κάρλα καταλάμβανε το χαμηλότερο και νοτιότερο άκρο της υδρολογικής λεκάνης της Θεσσαλίας και υπήρχε από τη νεολιθική εποχή, μέχρι το 1962 που αποξηράνθηκε (Σχ.1.9: Παράρτημα Α). Η έκτασή της ήταν μεταβαλλόμενη από έτος σε έτος, ανάλογα με τις αυξομειώσεις του όγκου του εισερχόμενου νερού και έφτανε από 65.000 μέχρι 180.000 στρέμματα (1920-1921). Ήταν αβαθής (2 ως 6 μέτρα) με πλούσια υδρόβια βλάστηση (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

Με την κατασκευή των αναχωμάτων στον Πηνειό τη δεκαετία 1930-1940 περιορίστηκαν οι πλημμύρες, καθώς και ο όγκος του νερού που κατέληγε στη λίμνη με αποτέλεσμα τη μείωση της έκτασής της (Ananiadis 1956, Εξαρχόπουλος 1999, Ρούσκας 2001).

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (φύλλα Αγιάς, Πλατυκάμπου, Βόλου, Φαρσάλων, Βελεστίνου και Λάρισας) κλίμακας 1:50.000 στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εμφανίζονται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί:

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

**Νεοπαλαιοζωικοί – κάτω μεσο Τριαδικοί σχηματισμοί:** σύστημα πολυφασικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων ορθο-και παρα-προέλευσης που καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του Μαυροβουνίου με πάχος που υπερβαίνει τα 800μ. Υπέρκειται επικλυσιγενώς του παλαιοζωικού κρυσταλλικού υποβάθρου και αποτελούνται από ποικιλία μεταμορφωμένων πετρωμάτων ιζηματογενούς προέλευσης (σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και μεταβασίτες). Στα ανώτερα μέλη τους απαντούν κατά θέσεις ενστρώσεις αδροκρυσταλλικών μαρμάρων και σιπολινών.

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

**Γνευσιοσχιστόλιθοι - σχιστόλιθοι του ανώτερου Ιουρασικού:** υπέρκειται επικλυσιγενώς των μεσοανωτριασικών - ανωιουρασικών μαρμάρων και το πάχος τους κατά θέσεις υπερβαίνει τα 200μ. Αποτελούνται από μαρμαρυγίες, χαλαζία και άστριους

και σε μικρότερη αναλογία απαντούν αμφίβολοι, χλωρίτης, επίδοτα και σερικήτης. Κατά θέσεις μέσα στα πετρώματα αυτά απαντούν ενστρώσεις κιτρινόφαιων και κατά θέσεις λευκών μαρμάρων μικρού πάχους.

**Προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό κάλυμμα):** πρόκειται για ένα σύμπλεγμα πολυφασικά μεταμορφωμένων οφειολιθικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Προανωκρητιδικού τεκτονικού καλύμματος και αποτελούνται από σερπεντινίτες, μεταμορφωμένα βασικά οφειολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες, πρασινίτες) και μεταμορφωμένα πετρώματα ιζηματογενούς προέλευσης (μαρμαρυγικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί-χλωριτικοί-μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι).

**Αλουβιακές αποθέσεις:** αποτελούνται από ανοικτότεφρα μέχρι καστανότεφρα υλικά από ιλύ, άργιλο, άμμο και κροκαλολατύπες, που αποτέθηκαν στην λεκάνη της Κάρλας σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και σε κοιλάδες ανοικτές προς τη θάλασσα.

**Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα :** ασύνδετες λατύπες ποικίλου μεγέθους και λιθολογικής σύστασης, με λεπτομερές υλικό ανάμεσά τους (Σχ.1.10: Παράρτημα Α).

#### 1.2.4 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Τα εδάφη της περιοχής δημιουργήθηκαν από τα φερτά υλικά του ποταμού Πηνειού και άλλων μικρότερης σημασίας ποταμών και χειμάρρων της περιοχής και προέρχονται κυρίως από αλλουβιακά, λιμναία και ελώδη αποθέματα ποικίλης μηχανικής σύστασης (Σχ. 1.13: Παράρτημα Α) (ΥΠΕΧΩΔΕ 1999, ΥΠΕΧΩΔΕ 2005).

### 1.3. Ιχνοστοιχεία στα υδάτινα οικοσυστήματα

#### 1.3.1 . Ορισμός και Τοξικότητα ιχνοστοιχείων

Από τα 90 περίπου στοιχεία που συναντώνται, στον στερεό φλοιό της Γης εννέα (Al,Ca,Fe,Mg,O,Na,K,Si,Ti) αντιπροσωπεύουν περίπου το 99% του βάρους του. Τα υπόλοιπα στοιχεία πολλά από τα οποία είναι, μέταλλα, αποτελούν λιγότερο από το 1% του φλοιού και είναι γνωστά ως ιχνοστοιχεία. Συναντώνται σε χαμηλά περιεχόμενα -της τάξης του μέρους στο εκατομμύριο (ppm ή mg/Kg) στα γεωλογικά και στα βιολογικά δείγματα αλλά οι επιπτώσεις τους στη ζωή των οργανισμών είναι δυσανάλογες με την χαμηλή τους αφθονία. Τα ιχνοστοιχεία διακρίνονται ανάλογα με τις επιπτώσεις τους στη ζωή, σε απαραίτητα και μη απαραίτητα (Καλογερόπουλος 1994).

Τοξικά θεωρούνται, τα ιχνοστοιχεία που έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς ακόμα και σε πολύ μικρό περιεχόμενο. Η επιβλαβής δράση των τοξικών ιχνοστοιχείων οφείλεται στο ότι προκαλούν (α) απενεργοποίηση των λειτουργικών ομάδων διαφόρων βιομορίων (β) αντικατάσταση των απαραίτητων ιχνοστοιχείων στα βιομόρια και (γ) διαφοροποίηση της ενεργής διαμόρφωσης των βιομορίων με αποτέλεσμα την αναστολή της δράσης τους. Η διάκριση μεταξύ απαραίτητων και τοξικών ιχνοστοιχείων δεν είναι πάντοτε εύκολη αφού τοξικότητα εμφανίζουν ακόμα και τα απαραίτητα ιχνοστοιχεία αν το περιεχόμενό τους υπερβεί θεσπισμένα ανώτατα όρια. Στα υδατικά οικοσυστήματα η τοξικότητα ενός ιχνοστοιχείου επηρεάζεται και από μια σειρά παραγόντων (Bryan 1976): (α) τη μορφή στην οποία βρίσκεται το ιχνοστοιχείο (ανόργανη ή οργανική, διαλυτή ή σωματιδιακή καθώς και το αν βρίσκεται υπό μορφή ιόντος, συμπλόκου, αν είναι προσροφημένο ή ενσωματωμένο στα ιζήματα), (β) την ταυτόχρονη παρουσία άλλων μετάλλων ή τοξικών ουσιών με συνεργό ή ανταγωνιστική δράση, (γ) παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσιολογία των οργανισμών

η/και τις φυσικοχημικές μορφές των μετάλλων (θερμοκρασία, αλατότητα, φως, PH, PE) και (δ) την κατάσταση του οργανισμού (φάση της ζωής του. ηλικία, μέγεθος, φύλο, διατροφή κ.λπ.) ( Καλογερόπουλος 1994).

### 1.3.2.Ιχνοστοιχεία στο υδάτινο περιβάλλον. Πηγές εισόδου.

#### 1.3.2.α. Φυσικές πηγές

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές των ιχνοστοιχείων και η είσοδός τους στο υδάτινο περιβάλλον είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων. Άλλη πηγή είναι η ατμόσφαιρα μέσω των υγρών και των ξηρών ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (fallout). Τα μέταλλα που μεταφέρονται μέσω της ατμόσφαιρας προέρχονται από ηφαιστειακή δραστηριότητα, καπνούς, δασικές πυρκαγιές, σωματίδια και διάφορα αεροζόλια από την επιφάνεια των θαλασσών. Τέλος πηγή εισόδου αποτελεί και η αποικοδόμηση της ζωικής και φυτικής οργανικής ύλης.

Σύμφωνα με τον Bryan (1976), τα ιχνοστοιχεία μπορούν να εισέλθουν στο θαλάσσιο περιβάλλον με : (α) παράκτια μεταφορά από τα ποτάμια και από την διάβρωση που προκαλούν τα κύματα και οι παγετώνες, (β) είσοδο από τον πυθμένα, που προκαλείται από την υποθαλάσσια ηφαιστειακότητα και από την απελευθέρωση μετάλλων από τα ιζήματα, (γ) μεταφορά ιχνοστοιχείων μέσω της ατμόσφαιρας.

#### 1.3.2.β. Ανθρωπογενείς πηγές.

Τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία αστική και βιομηχανική ανάπτυξη δημιούργησε μια ακόμη καθόλου ευκαταφρόνητη πηγή ιχνοστοιχείων. Οι ποσότητες πολλών ιχνοστοιχείων που ελευθερώνονται στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν γίνει συγκρίσιμες και σε μερικές περιπτώσεις έχουν υπερβεί σε τοπική κλίμακα τις ποσότητες που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες (Bruland et al 1974, Bryan

1976, Conell and Miller 1984) ενώ για ορισμένα στοιχεία (Pb, V) αυτό συμβαίνει πλέον σε παγκόσμιο επίπεδο (Wood and Goldberg 1977, Andreae et al 1984). Οι κυρίες ανθρωπογενείς πηγές ιχνοστοιχείων είναι οι ακόλουθες: α. Βιομηχανική δραστηριότητα. β. Εργασίες εξόρυξης. γ. Γεωργικές δραστηριότητες. δ. Αστικές περιοχές (Καλογερόπουλος 1994).

### 1.3.2.γ. Μεταφορά και κατάληξη των ιχνοστοιχείων στο υδάτινο περιβάλλον

Η μεταφορά και οι μετασχηματισμοί των ιχνοστοιχείων και των ενώσεων τους στο φυσικό περιβάλλον σχηματίζουν τους λεγόμενους βιογεωχημικούς κύκλους. Η συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων στο υδάτινο περιβάλλον, καθορίζεται από μία σειρά δυναμικών φυσικοχημικών ισορροπιών και αλληλεπιδράσεων. Ο Krauskopf (1956), έδειξε ότι οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στο θαλάσσιο νερό είναι πολύ χαμηλότερες από τις αναμενόμενες βάσει των γινομένων διαλυτότητας των λιγότερο διαλυτών ενώσεων τους (με  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν μηχανισμοί που απομακρύνουν τα ιχνοστοιχεία από το διάλυμα. Ο Seibold (1964) αναφέρει ότι αν δεν υπήρχαν τέτοιοι μηχανισμοί, οι συγκεντρώσεις των μετάλλων θα είχαν αυξηθεί διά μέσου των αιώνων σε αρκετές εκατοντάδες  $\text{mg/l}$  (δηλαδή 3 με 4 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες των παρατηρουμένων). Η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης ενός ιχνοστοιχείου από την υδάτινη στήλη εκφράζεται ποσοτικά με τον χρόνο παραμονής (residence time) ο οποίος ισούται με το πηλίκο της ποσότητας του ιχνοστοιχείου που είναι σε διαλυτή και σωματιδιακή μορφή σε μια υδάτινη μάζα προς την ποσότητα που εισήλθε στην υδάτινη μάζα σε ορισμένο χρόνο. Πολλά ιχνοστοιχεία απομακρύνονται σχετικά γρήγορα από το διάλυμα π.χ. λόγω υδρόλυσης των ιόντων τους και έχουν χρόνους παραμονής της τάξης των 10-100 χρόνων, ενώ άλλα όπως τα Na, Cl, Mg που αποτελούν κύρια συστατικά του νερού

τείνουν να παραμείνουν στο διάλυμα και, έχουν χρόνους παραμονής της τάξης των  $10^7$ - $10^8$  χρόνων (Καλογερόπουλος 1994).

Τα μέταλλα μπορεί να διακινούνται υπό διαφορές μορφές στα υδάτινα συστήματα; ελευθέρα ιόντα, ανόργανα ιονικά ζεύγη, ανόργανα ή οργανικά σύμπλοκα, ενωμένα με μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις» υπό κολλοειδή μορφή, προσροφημένα σε κολλοειδή σωματίδια, ενσωματωμένα στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών και των προϊόντων αποσύνθεσης τους κ.ά.

Ανεξάρτητα από τις μορφές τους τα ιχνοστοιχεία καταλήγουν αργά η γρήγορα στα ιζήματα όπου κατά τεκμήριο συναντώνται και οι ψηλότερες συγκεντρώσεις τους. Η αιωρούμενη ύλη διαδραματίζει όπως θα δούμε σημαντικότερο ρόλο στην ενσωμάτωση των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα (Καλογερόπουλος 1994).

### 1.3.3 Ιχνοστοιχεία στα ιζήματα

Ο βυθός των θαλασσών και των λιμνών καλύπτεται από ένα στρώμα ασύνδετων ιζημάτων που σχηματίστηκαν μέσω της πορείας της ιζηματογένεσης (αποσάθρωση-διάβρωση-μεταφορά-απόθεση). Τα ιζήματα κατατάσσονται, βάσει διαφόρων χαρακτηριστικών τους όπως μέγεθος κόκκων, περιβάλλον απόθεσης, χημική σύσταση κλπ. Ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης τα ιζήματα διακρίνονται σε παράκτια, δελταϊκά, νηριτικής ζώνης (100—200m), βαθυπελαγικής ζώνης (200-1000m) και αβυσσαϊκής ζώνης (1000-5000m).

Τα παράκτια ιζήματα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών λόγω των έντονων διακυμάνσεων στις φυσικοχημικές συνθήκες, τη βιολογική δραστηριότητα και την επίδραση των φερτών χερσαίων υλών που συνήθως παρατηρούνται στα παράκτια νερά. Αντίθετα τα πελαγικά ιζήματα αποτελούνται συνήθως από πολύ λεπτομερές υλικό και παρουσιάζουν ομοιομορφία σε μεγάλες εκτάσεις του πυθμένα.

Τα ιχνοστοιχεία ενσωματώνονται στα ιζήματα με διάφορους μηχανισμούς (Forstner and Wittmann 1983) : (α). Μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. σωματιδίων που προέρχονται από την αποσάθρωση του στερεού φλοιού της Γης, (β). Με ποοσρόφηση-ιοντοανταλλαγή πάνω στην επιφάνεια λεπτόκκοκων ή κολλοειδών υλικών με μεγάλη ειδική επιφάνεια, (γ). Με συγκαταβύθιση, (δ). Με αληθή καθίζηση, (ε). Μετά από συμπλοκοποίηση με οργανική ύλη, (στ). Με πρόσληψη από οργανισμούς.

Οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή καθορίζουν το ποιός ή ποιοί από τους μηχανισμούς είναι οι σημαντικότεροι για την ενσωμάτωση των μετάλλων στα ιζήματα. Συνήθως σε παράκτια ρυπασμένα συστήματα οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι οι (β), (γ) και (ε) (Forstner & Wittmann 1983, Καλογερόπουλος 1994).

#### 1.3.4 Ρύπανση ιζημάτων από βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να εισέλθουν στα υδάτινα οικοσυστήματα διαμέσου ποικίλων φυσικών ή ανθρωπογενών πηγών, στις οποίες περιλαμβάνονται και τα βιομηχανικά απόβλητα, τα οικιακά λύματα, οι βροχοπτώσεις, η απόπλυση του εδάφους και ιδιαίτερα των καλλιεργούμενων εκτάσεων, η ναυσιπλοΐα, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κ.ά. (Thomson et al. 1984). Η ύπαρξη απορρυπαντικών στα αστικά λύματα προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στους φυσικούς αποδέκτες, εξαιτίας των ποσοτήτων των μετάλλων που έχουν τα ένζυμα που περιέχονται στα απορρυπαντικά (Μπομπόρη 1996).

Οι πηγές προέλευσης των μετάλλων που αποτέλεσαν αντικείμενο της παρούσας έρευνας, καθώς και ορισμένα στοιχεία που αφορούν στις κυριότερες χρήσεις τους και στη σημασία τους στους οργανισμούς, δίνονται στη συνέχεια:

**Χρώμιο (Cr) :** Το χρώμιο είναι απαραίτητο για τις βιολογικές λειτουργίες στοιχείο, αλλά σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από ιχνοποσότητες, μπορεί να γίνει πολύ τοξικό



για τα ψάρια. Δε θεωρείται συσσωρευτικό στοιχείο εφόσον αποβάλλεται πολύ γρήγορα. Απαντάται ως ορυκτό με τη μορφή του χρωμίτη ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία (επιμεταλλώσεις), στην παρασκευή κραμάτων, ως συντηρητικό ξυλείας, στην παρασκευή μη θερμαγωγών τούβλων κ.ά. (Μπόμπορη 1996, Skordas & Kelepertsis 2005).

**Χαλκός (Cu) :** Ο πηγές προέλευσης του χαλκού είναι τα μεταλλεία, οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές βιομηχανίες, τα άλατα του χαλκού που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση των φυκών, η διάβρωση των χάλκινων σωλήνων κ.ά. Ο χαλκός είναι ένα απαραίτητο μέταλλο, αλλά μπορεί να γίνει αρκετά τοξικό στους υδρόβιους οργανισμούς. Συμμετέχει στο μεταβολισμό των φαινολικών ενώσεων, στο σχηματισμό χρωστικών, απαντάται στις οξειδάσες του ασκορβικού οξέος και των πολυφαινόλων, στην πλαστοκυανίνη, ως μεταφορέας οξυγόνου κ.ά. (Μπόμπορη 1996).

**Μόλυβδος (Pb)** Ο μόλυβδος είναι μη απαραίτητο μέταλλο, και εξαιρετικά τοξικό. Επηρεάζει περισσότερο το νευρικό σύστημα και μπορεί να συσσωρεύεται στα κόκκαλα. Περιέχεται σε διάφορα ορυκτά όπως γαληνίτης ( $\text{PbS}$ ), λιθάργυρος ( $\text{PbO}$ ), ψιμμυθίτης ( $\text{PbCO}_3$ ), αγγλεαζίτης ( $\text{PbSO}_4$ ). Η ρύπανση του περιβάλλοντος από μόλυβδο προέρχεται κύρια από τα αέρια απόβλητα καύσης της βενζίνης στην οποία περιέχεται ως αντικροτικό, από τις χρωστικές που έχουν ως βάση τους τον Pb, από τα κυνηγητικά φυσίγγια που πέφτουν μέσα στα υδάτινα οικοσυστήματα κ.ά. Ο Pb χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή σωλήνων φωταερίου, για την επένδυση ηλεκτρικών αγωγών, για την κατασκευή παιχνιδιών, συσσωρευτών, τυπογραφικών στοιχείων, στην κεραμική και υαλουργία για τη στίλβωση σκευών, καθώς και σε πολλά εντομοκτόνα (Μπόμπορη 1996).

**Ψευδάργυρος (Zn) :** Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητο μέταλλο, όμως μπορεί να γίνει πολύ τοξικός για την υδρόβια ζωή και ιδιαίτερα για τα ψάρια. Βρίσκεται σε περισσότερα από 20 ένζυμα (υδρογενάση, αλκαλική φωσφατάση, ανυδράση καρβονικού οξέος κ.ά.). Συμμετέχει στην πρόσληψη του σαλικυλικού οξέος, στον μεταβολισμό των νουκλεϊνικών οξέων και στην κυτταρική διαίρεση. Απαντάται σε διάφορα ορυκτά, τα κυριότερα από τα οποία είναι ο σφαλερίτης (ZnS), ο σμισθονίτης (ZnCO<sub>3</sub>) και ο ζυγκίτης (ZnO). Έχει ποικίλες χρήσεις και εφαρμογές στη βιομηχανία π.χ. στη μεταλλουργία, στις επιμεταλλώσεις (γαλβανισμός), στις μπαταρίες, στην κατασκευή κραμάτων, στα φαρμακευτικά, στην παραγωγή χαρτιού κ.ά. Απαντάται επίσης σε σημαντικές ποσότητες στα απόβλητα βιομηχανιών συνθετικών ινών και στα φωσφορικά λιπάσματα (Μπόμπορη 1996).

**Νικέλιο (Ni) :** Το νικέλιο είναι ένα μέταλλο ευκίνητο κατά την αποσάθρωση και συνκαθίζανει με οξειδία σιδήρου και μαγγανίου. Τα δισθενή κατιόντα, του νικελίου είναι σχετικά σταθερά σε υδάτινα διαλύματα και ικανά να μεταναστεύουν σε μεγάλες αποστάσεις. Στους επιφανειακούς εδαφικούς ορίζοντες το νικέλιο εμφανίζεται κυρίως σε οργανικές μορφές μέρος των οποίων είναι οι ευδιάλυτες χηλικές ενώσεις. Γενικά η διαλυτότητα του νικελίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του pH. Η κατανομή του στο εδαφικό προφίλ εξαρτάται είτε από οργανικό υλικό ή από τα άμορφα οξείδια και τα αργιλικά ορυκτά (Skordas & Kelepertsis 2005).

**Κοβάλτιο (Co) :** Απαντάται κυρίως σε διάφορα ορυκτά του σιδήρου αλλά η κατανομή του στο εδαφικό προφίλ καθορίζεται από το σχηματισμό οξειδίων του Mn. Εμφανίζεται στη φύση με δύο σθένη, δισθενές και τρισθενές. Είναι σχετικά ευκίνητο σε οξειδωτικά όξινα περιβάλλοντα αλλά λόγω της μεγάλης του απορρόφησης από τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου δεν μεταναστεύει σε διαλυτή φάση. Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης

στην συμπεριφορά του κοβαλτίου τα αργιλικά ορυκτά και το οργανικό υλικό (Skordas & Kelepertsis 2005).

### 1.3.5 Τοξικότητα των βαρέων μετάλλων

Τοξικά θεωρούνται τα στοιχεία που έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς, ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ανεξάρτητα από το αν είναι απαραίτητα ή όχι για τη ζωή. Για την κατάταξη των στοιχείων ανάλογα με την τοξικότητά τους χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήρια τόσο η τοξικότητα όσο και η βιοδιαθεσιμότητα τους (Wood 1974, Wood & Goldberg 1977), ενώ σύμφωνα με τους Nieboer & Richardson (1980), που στην κατάταξή τους περιλαμβάνουν και τα ιόντα των στοιχείων, διακρίνονται τρεις κατηγορίες ιόντων.

**A.** πολύ τοξικά :  $\text{Au}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Tl}^+$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Pd}^{+2}$ ,  $\text{Pt}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+4}$ ,  $\text{Bi}^{+3}$

**B.** ενδιάμεσης τοξικότητας :  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Sn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+2}$ ,  $\text{Ti}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{V}^{+2}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sn}^{+4}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Ga}^{+3}$

**Γ.** χαμηλής τοξικότητας :  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Sc}^{+3}$ , σπάνιες γαίες.

Τα βαρέα μέταλλα ανήκουν σήμερα στους πλέον τοξικούς ρύπους του περιβάλλοντος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε αντίθεση με πολλούς οργανικούς ρύπους, δεν αποικοδομούνται με μικροβιακή δραστηριότητα. Αντίθετα, έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται στους οργανισμούς μέσω των τροφών, του πόσιμου νερού και του αέρα και ανάλογα με το είδος δέσμευσης να μετατρέπονται σε περισσότερο τοξικές ενώσεις (Förstner & Wittman 1983, Κουϊμτζής και συν. 1998).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Προγραμματισμός έρευνας

Αφού καθορίστηκε η περιοχή μελέτης, σε αυτό το στάδιο προγραμματισμού της έρευνας έγινε συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων και πιο συγκεκριμένα:

1. Σχεδιασμός που αφορά τον καθορισμό των στόχων της έρευνας, ιστορικό της περιοχής.
2. Χάρτες της περιοχής και κυρίως τοπογραφικοί, γεωλογικοί και άλλοι.
3. Όλες οι εργασίες, μελέτες, διδακτορικές διατριβές και δημοσιεύσεις από διάφορους Έλληνες και ξένους ερευνητές.

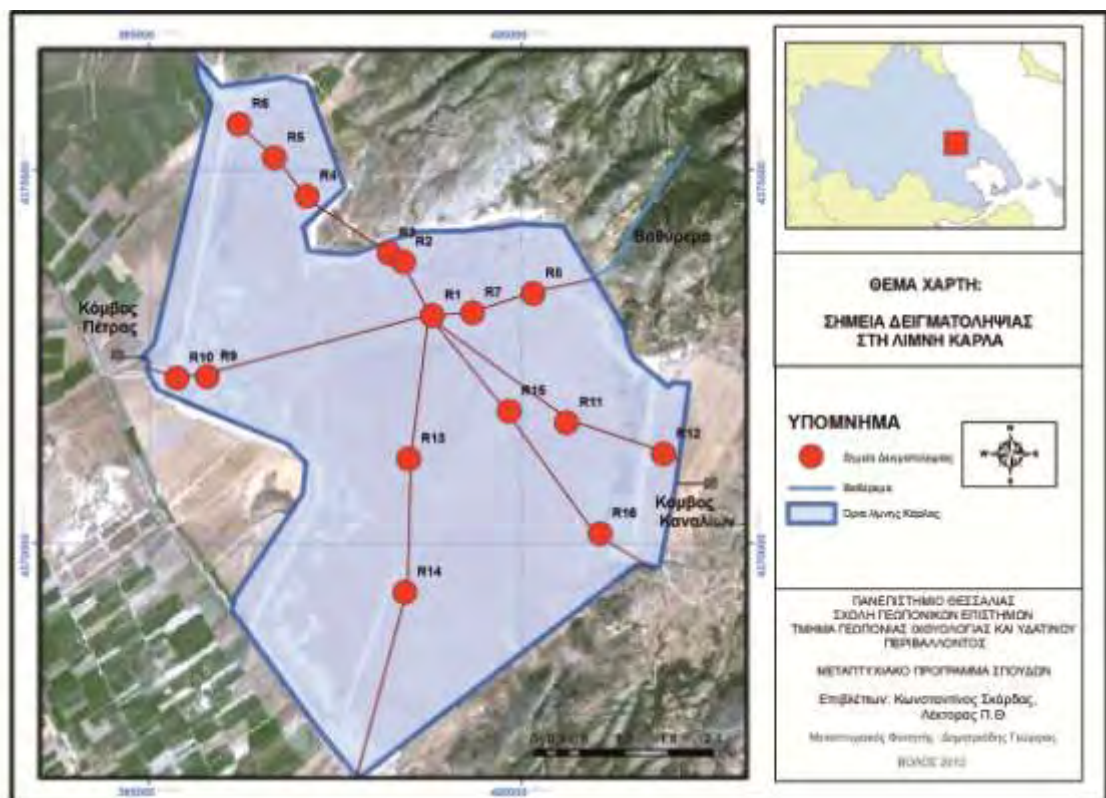
### 2.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε στη λίμνη Κάρλα το πρώτο δεκαπενθήμερο του Νοεμβρίου του 2010 με τη βοήθεια μηχανοκίνητου πλωτού μέσου (βάρκα) και τη χρήση του δειγματολήπτη βένθους τύπου Van Veen (Hydro-Bios Apparatebau G.m.b.H Kiel) (Εικ.2.1).



**Εικόνα 2.1:** Δειγματολήπτης ιζήματος

Έγιναν τρεις δειγματοληψίες. Αυτή η εργασία αποτελεί τη δεύτερη εποχιακή δειγματοληψία, τον Νοέμβριο του 2010. Συνολικά συλλέχθηκαν 16 δείγματα ιζήματος (από το σημείο R<sub>1</sub> έως το σημείο R<sub>16</sub>) σε βάθη από 40 έως 200 cm από την επιφάνεια του νερού. Η επιλογή των θέσεων προσαρμόστηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να συμπίπτουν με την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαράχτηκαν έξι διαδρομές, που η καθεμία ξεκινούσε από το βαθύτερο σημείο της λίμνης και είχε σαν κατάληξη ένα σημείο υπέργειας εισροής υδάτων περιμετρικά της λίμνης (Σχ. 2.1).



**Σχήμα 2.1:** Σημεία Δειγματοληψίας στη λίμνη Κάρλα

Χρησιμοποιήθηκε φορητό δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) τύπου MAGELLAN για τον προσδιορισμό των θέσεων δειγματοληψίας και οι

γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα

2.1.

Σημεία δειγματοληψίας	x	y
R1	398766	4373042
R2	398396	4373750
R3	398237	4373888
R4	397068	4374636
R5	396682	4375150
R6	396214	4375662
R7	399383	4373133
R8	400131	4373293
R9	395769	4372292
R10	395405	4372238
R11	400635	4371710
R12	401892	4371136
R13	398542	4371122
R14	398378	4369388
R15	399840	4371608
R16	401033	4370125

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

Με τη βοήθεια σχοινιού βυθίστηκε ο δειγματολήπτης μέχρι το βυθό και λόγω του βαριδίου που φέρει εισήλθε στη μάζα του ιζήματος. Στη συνέχεια με τον ειδικό μηχανισμό έκλεισαν τα δύο άκρα του δειγματολήπτη εγκλωβίζοντας το δείγμα. Με την βοήθεια του σχοινιού, ανασύρθηκε στην βάρκα χωρίς να υπάρχουν σημαντικές απώλειες. Κάθε δείγμα του ιζήματος που ανασύρθηκε, τοποθετήθηκε σε πλαστική σακούλα που η κάθε μια έφερε την αντίστοιχη αρίθμηση και μεταφέρθηκαν με την βοήθεια φορητού ψυγείου στο εργαστήριο, έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε αλλοίωση, όπου και τοποθετήθηκαν σε καταψύκτες και σε θερμοκρασία  $-20^{\circ}\text{C}$  (Εικ.2.3).



(I)



(II)



(III)



(IV)

**Εικόνα 2.3:** I-IV. Χρήση του δειγματολήπτη βένθους για την συλλογή ιζήματος στη λίμνη Κάρλα και τοποθέτηση του σε πλαστική σακούλα.

### 2.3 Προετοιμασία δειγμάτων

Μετά το τέλος της δειγματοληψίας ακολούθησε η προετοιμασία των δειγμάτων στο εργαστήριο. Τα δείγματα του φυσικού υλικού σχεδόν πάντα χρειάζονται κάποιο είδος προπαρασκευής ώστε να ετοιμαστούν για χημική ανάλυση. Σκοπός της προετοιμασίας είναι α) να τεθεί το δείγμα σε μια μορφή που μπορεί να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, β) να ομογενοποιηθεί και γ) να γίνει προκαταρκτικός διαχωρισμός των συστατικών στοιχείων σύμφωνα με την εμφάνισή τους στα διάφορα είδη σωματιδίων. Αυτή η διαδικασία πρέπει να σχεδιαστεί με τον πιο κατάλληλο τρόπο, έτσι ώστε να

υπάρξει αποφυγή της επιμόλυνσης των δειγμάτων και ο χρόνος προετοιμασίας να ελαχιστοποιηθεί, ειδικά όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός δειγμάτων (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

Η προετοιμασία των δειγμάτων περιλαμβάνει τα στάδια της ξήρανσης, της κονιορτοποίησης και κοσκίνισματος των δειγμάτων και το στάδιο της μείωσης της μάζας των δειγμάτων (Αργυράκη 2007).

• **Ξήρανση δειγμάτων:** το νερό πρέπει να απομακρύνεται από τα δείγματα πριν την εκτέλεση της χημικής ανάλυσης ως μη αναγκαίο συστατικό των κλαστικών ή οργανικών υλικών. Επιπλέον, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην περαιτέρω επεξεργασία των δειγμάτων. Το υγρό κλαστικό υλικό δεν κονιορτοποιείται και δεν κοσκινίζεται εύκολα. Επιπλέον, τα αναλυτικά αποτελέσματα λαμβάνονται επί ξηράς βάσης, έτσι ώστε το δείγμα πρέπει να ξηρανθεί πριν το ζύγισμα (Αργυράκη 2007).

• **Κονιορτοποίηση δειγμάτων:** η κονιορτοποίηση των γεωλογικών ή βιολογικών δειγμάτων χρειάζεται για να αυξήσει την επιφάνεια του δείγματος που εκτίθεται σε χημική προσβολή, αλλά και για να ομογενοποιήσει το δείγμα (Αργυράκη 2007).

• **Κοσκίνισμα δειγμάτων:** το κοσκίνισμα έχει δύο σκοπούς: α) την απομάκρυνση μεγάλων κομματιών χαλαζία, οργανικού υλικού και άλλων υλικών σχετικά φτωχών σε ιχνο-μέταλλα και β) την παραγωγή ενός λεπτόκοκκου ομογενοποιημένου προϊόντος από το οποίο μπορούν να ληφθούν εύκολα αντιπροσωπευτικά υπό-δείγματα (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

• **Μείωση μάζας δειγμάτων:** Όταν αποσπώνται μικρά τμήματα του κονιορτοποιημένου πετρώματος, εδάφους ή ιζήματος, από ένα μεγαλύτερο όγκο για περαιτέρω επεξεργασία ή ανάλυση, πρέπει να ληφθεί φροντίδα ώστε τα δείγματα αυτά να είναι αντιπροσωπευτικά. Η ελάττωση της μάζας του χονδρόκοκκου δείγματος γίνεται είτε με



τη μέθοδο των τεταρτημορίων είτε με χρήση μηχανικών μέσων (Κελεπερτζής 2000, Αργυράκη 2007).

Η προεργασία των δειγμάτων μας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά έγινε απόψυξη των δειγμάτων και τοποθέτησή τους σε ταψάκι αλουμινίου, όπου στρώθηκε ριζόχαρτο για αποφυγή επιμολύνσεων και στην συνέχεια τα δείγματα ξηράνθηκαν σε φούρνο με χαμηλή θερμοκρασία (35 °C) για 48 h (Εικ.2.4). Σε δεύτερο στάδιο μέσα σε πορσελάνινο γουδί έγινε αποσβόλωσή τους όπου κρίθηκε απαραίτητο, για να γίνει πιο εύκολο το κοσκίνισμά τους. Χρησιμοποιήθηκε κόσκινο των 2mm και έγινε κοσκίνισμα των δειγμάτων. Ότι υλικό συγκρατήθηκε από το κόσκινο, απομακρύνθηκε, ενώ αυτό που διήλθε από το κόσκινο των 2mm, το συλλέξαμε για πρόσθετη κονιορτοποίηση και κοσκίνισμα από κόσκινο των 63μm, ώστε το δείγμα να είναι κατάλληλο για ανάλυση (Εικ. 2.5).



(α)



(β)

**Εικόνα 2.4 :** Δείγμα ιζήματος **α)** πριν την ξήρανση και **β)** μετά την ξήρανση



**Εικόνα 2.5:** (α) κονιορτοποίηση δειγμάτων και (β) κοσκίνισμα δειγμάτων

#### 2.4 Διαλυτοποίηση δειγμάτων

Οι υγρές αναλυτικές τεχνικές απαιτούν την διαλυτοποίηση των στερεών δειγμάτων με χρήση ισχυρών οξέων. Η ακριβής διαδικασία που ακολουθείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το είδος του δείγματος, τα χημικά στοιχεία που θα προσδιοριστούν και τα επίπεδα της συγκέντρωσής τους. Ανάλογα με το στόχο της χημικής ανάλυσης και τη σύσταση των δειγμάτων, η διαλυτοποίηση των γεωλογικών υλικών (πετρώματα, εδάφη, ιζήματα) μπορεί να είναι εκλεκτική - μερική, ή ολική (Αργυράκη 2007).

Η ολική χημική ανάλυση του δείγματος στοχεύει στον προσδιορισμό του συνόλου των στοιχείων που απαντώνται στο δείγμα. Η μερική ανάλυση στοχεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό του κλάσματος των στοιχείων του δείγματος (Odegard, 1997). Ο τελευταίος τρόπος ανάλυσης έχει ιδιαίτερη σημασία για τις γεωεπιστήμες και εφαρμόζεται κυρίως σε περιβαλλοντικές έρευνες και σε γεωχημικές διασκοπήσεις έρευνας ορυκτών και μεταλλευμάτων (Αργυράκη 2007).

#### 2.4.1 Μερική διαλυτοποίηση

Η μέθοδος μερικής διαλυτοποίησης που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δειγμάτων στην παρούσα εργασία είναι η μέθοδος της υγρής χώνευσης με τη βοήθεια φούρνου μικροκυμάτων σε κλειστά δοχεία με τη χρήση πυκνών οξέων, όπως το  $\text{HNO}_3$  και  $\text{HCl}$ , σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3051A της Επιτροπής Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής (Environmental Protection Agency USA).

Η πέψη με μικροκύματα σε κλειστά δοχεία είναι μία από τις πιο σύγχρονες μεθόδους. Η διαλυτοποίηση οργανικών και μη οργανικών δειγμάτων επιτυγχάνεται με χρήση πυκνών οξέων, όπως  $\text{HCl}$  και  $\text{HNO}_3$ , σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των  $180^\circ\text{C}$  και σε πιέσεις 60 με 180 bar. Τα μικροκύματα θερμαίνουν μόνο το υγρό διάλυμα των δοχείων, ενώ οι ατμοί που δημιουργούνται βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το υγρό διάλυμα και συμπυκνώνονται στα τοιχώματα των δοχείων. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί ότι είναι η πλέον κατάλληλη για την πέψη ιζημάτων και εδαφών, αφού η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη μείωση του χρόνου πέψης, μειώνει τον κίνδυνο εξωτερικής επιμόλυνσης, απαιτεί μικρές ποσότητες οξέων, βελτιώνοντας έτσι τα όρια ανίχνευσης και τη συνολική ακρίβεια της μεθόδου (Bettinelli et al. 2000).

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσσεις με τη μέθοδο 3051 EPA σε δεκαέξι (16) αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής και μετρήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) το περιεχόμενο των χημικών στοιχείων, κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn).

Η υγρή πέψη πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη βοήθεια του συστήματος Multiwave 3000, Sample

Preparation System, Anton Paar, Microwave System Perkin Elmer (Εικ. 2.6)

σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Ζυγίστηκε 0,5 gr δείγματος με ακρίβεια χιλιοστού και το τοποθετήθηκε μέσα σε κλειστά δοχεία (vessels). Στη συνέχεια προστέθηκε 9 ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  (65%) και 3 ml  $\text{HCl}$  (37%), και πραγματοποιήθηκε η πέψη. Το δείγμα μεταφέρθηκε σε καθαρό φιαλίδιο όπου και προστέθηκε αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 50ml. Κατόπιν έγινε διήθηση του δείγματος με φίλτρο των 0,45  $\mu\text{m}$  για την απομάκρυνση στερεών υπολειμμάτων και το διάλυμα ήταν έτοιμο για μέτρηση στην ατομική απορρόφηση. Τέλος έγινε αποθήκευση των διαλυμάτων σε πλαστικά φιαλίδια των 50ml (falcon) και διατήρησή τους στο ψυγείο στους  $4^\circ\text{C}$  μέχρι την μέτρησή τους.



Εικόνα 2.6: Συσκευή Microwave 3000

#### 2.4.2 Μέθοδος εκχύλισης « 0,5 N $\text{HCl}$ »

Με τη μέθοδο εκχύλισης «0,5 N  $\text{HCl}$ » γίνεται κατεργασία των δειγμάτων του ιζήματος για τον προσδιορισμό των μετάλλων που έχουν ανθρωπογενή προέλευση.

Σε περιβαλλοντικές μελέτες γίνεται ευρεία χρήση της μεθόδου αυτής, μια και επιτυγχάνει να αναγνωρίζει τη διαφορά ανάμεσα σε «ανώμαλες» συγκεντρώσεις και συγκεντρώσεις υποβάθρου. Για το λόγο αυτό θεωρείται ένα χρήσιμο εργαλείο για τη

διαφοροποίηση των ανθρωπογενών από τα φυσικά επίπεδα διαφόρων ρύπων (Loring 1976a, Loring 1976b, Chester & Voutsinou 1981, Angelidis et al. 1987, Αλούπη 1999, Zabetoglou et al. 2002, Skordas 2005). Το διάλυμα αυτό έχει την ικανότητα να εκχυλίζει αποτελεσματικά από τα ιζήματα τις αυθιγενείς μορφές των μετάλλων (προσροφημένα, συνδεδεμένα με οξείδια σιδήρου και μαγγανίου, ανθρακικά ορυκτά, σουλφίδια και οργανικά σύμπλοκα), ενώ παράλληλα αφήνει ικανοποιητικά ανεπηρέαστους τους αργίλλοπυριτικούς κρυστάλλους (Agemian & Chau 1976). Τα μέταλλα που εξάγονται αντιπροσωπεύουν το βιολογικά διαθέσιμο κλάσμα (Luoma & Bryan 1981) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της ανθρωπογενούς ρύπανσης των ιζημάτων (Chester & Voutsinou 1981).

Στα δεκαέξι (16) αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής έρευνας μας πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσσεις με τη μέθοδο "0,5 N HCl" και μετρήθηκαν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr), του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni), του κοβαλτίου (Co), του μολύβδου (Pb) και του ψευδαργύρου (Zn).

Αφού ζυγίστηκε με ακρίβεια ποσότητα δείγματος 2 gr περίπου και τοποθετήθηκε σε πλαστικά φιαλίδια των 100ml, προστέθηκαν στη συνέχεια 50 ml HCl 0,5N. Τοποθετήθηκε το δείγμα σε συσκευή μηχανικής ανάδευσης για διάστημα 16 ωρών (Εικ.2.7). Στη συνέχεια έγινε διήθηση του δείγματος με φίλτρα των 0,45  $\mu\text{m}$  και το διήθημα ήταν έτοιμο προς μέτρηση με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (Σκούλλος & Δασενάκης 1992). Αποθηκεύθηκε το διάλυμα σε πλαστικά φιαλίδια 50ml (falcon) και διατηρήθηκαν στο ψυγείο στους 4  $^{\circ}\text{C}$  μέχρι την μέτρηση του διαλύματος.



**Εικόνα 2.7 :** Συσκευή μηχανικής ανάδευσης δειγμάτων

## 2.5 Αναλυτική μέθοδος

### 2.5.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

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

Ο Walsh και οι συνεργάτες του εισήγαγαν την φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) στην Αυστραλία το 1955 και βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος από τα άτομα των στοιχείων του δείγματος. Ως τεχνική είναι εύκολη στην χρήση της για τον προσδιορισμό στοιχείων σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και μεγάλη ποικιλία δειγμάτων. Εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς όπως στον έλεγχο τροφίμων στη γεωλογία, στην

πετροχημεία, στη μεταλλουργία, στην περιβαλλοντική χημική ανάλυση, στην ανάλυση βιομηχανικών προϊόντων (Λιοδάκης 2003).

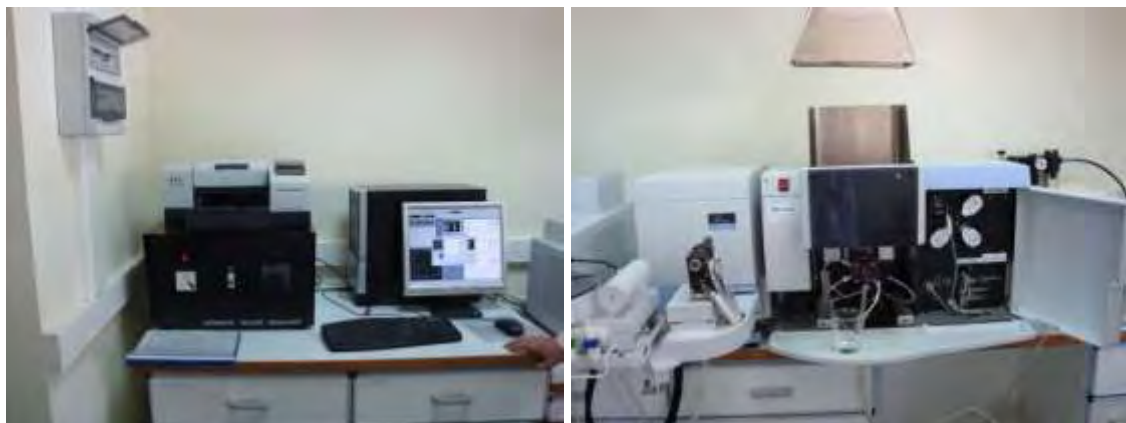
Το φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από το μηχανικό τμήμα παραγωγής ατόμων από το δείγμα και το οπτικό τμήμα όπου γίνεται η ατομική απορρόφηση της εξωτερικής πηγής ακτινοβολίας. Αρχικά το προς ανάλυση δείγμα υποβάλλεται σε ατομοποίηση, παίρνει δηλαδή τη μορφή ατόμων. Για να γίνει αυτό, το υγρό δείγμα αναρροφάται στον εκνεφωτή και μετατρέπεται σε λεπτότητες σταγόνες. Τα σταγονίδια αυτά μετά από μια σειρά εμποδίων και απωλειών εισέρχονται στη φλόγα. Τα άτομα που σχηματίζονται στη φλόγα, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση, διαπερνούν την οπτική δέσμη της πηγής ακτινοβολίας και διεγείρονται. Η απορρόφησή τους καταγράφεται με τη βοήθεια ενός συστήματος μονοχρώματα και ανιχνευτή. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου που προσδιορίζουμε. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ατομοποίησης είναι η ατομοποίηση με φλόγα για συγκεντρώσεις της τάξεως των mg/l (ppm). Η θερμοκρασία της φλόγας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και του οξειδωτικού που χρησιμοποιείται και ο συνηθέστερος συνδυασμός είναι ακετυλένιο και αέρας, ώστε να επιτυγχάνεται θερμοκρασία μέχρι  $2550^{\circ}\text{C}$ . Θεμελιώδης απαίτηση είναι η εισαγωγή του δείγματος στη φλόγα με σταθερό και ομοιόμορφο τρόπο (Λιοδάκης 2003, Αργυράκη 2007).

#### 2.5.2 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Η ατομική απορρόφηση χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των μετάλλων χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), κοβάλτιο (Co), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn). Η πρότυπη καμπύλη χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των διαλυμένων δειγμάτων, μετά την βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπα γνωστής

συγκέντρωσης και με τυφλό δείγμα. Ο φασματογράφος προγραμματίστηκε έτσι ώστε να λαμβάνει 3 μετρήσεις απορρόφησης για κάθε δείγμα, δίνοντας μας το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mg/l με τη χρήση της καμπύλης βαθμονόμησης και στη συνέχεια γίνεται αναγωγή των αποτελεσμάτων στα αρχικά (στερεά) δείγματα σε mg/Kg .

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωχημείας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τη βοήθεια φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης του οίκου Perkin Elmer τύπου AAnalyst 400 (Εικ.2.8 ).



**Εικόνα 2.8:** Φασματόμετρο Perkin Elmer 400

## 2.6 Κριτήρια προσδιορισμού περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας από τις συγκεντρώσεις των αναλυθέντων στοιχείων, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς (Long & Morgan 1991, Persaud et al. 1993, Long et al. 1995, MacDonald et al 1996, Smith et al. 1996, MacDonald et al. 2000).



### 2.6.1 Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs )

Τα κριτήρια ποιότητας που ισχύουν για τα ιζήματα, έχουν δημιουργηθεί για όλα τα διαβαθμισμένα περιβαλλοντικά μέταλλα και τοξικές οργανικές ενώσεις με βάση τα συμπεράσματα από τοξικολογικές μελέτες σε συγκρίσιμες χημικές και βιολογικές συνθήκες (MacDonald et al. 2000).

Τα σύνολα - ομάδες κριτηρίων ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα: ERM-ERL κατά Long & Morgan (1991), PEL-TEL κατά Smith et al. (1996) και SEL-LEL κατά Persaud et al. (1993) .

Σύμφωνα με τον Long & Morgan (1991) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

**ERM (effect range median-μέσο επίπεδο επίδρασης):** Αντιπροσωπεύει τη χημική συγκέντρωση των μετάλλων πάνω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς θα εμφανίζονται συχνά.

**ERL (effect range low-χαμηλό επίπεδο επίδραση):** Αντιπροσωπεύει τη χημική συγκέντρωση των μετάλλων κάτω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς θα παρατηρούνται σπάνια.

Τα ιζήματα κρίνονται ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση στους βενθικούς οργανισμούς όταν οι τιμές των συγκεντρώσεων του είναι μεγαλύτερες των τιμών των δύο κριτηρίων. Όταν η συγκέντρωση του μετάλλου είναι μεγαλύτερη μόνο του χαμηλότερου κριτηρίου, τότε το ίζημα κρίνεται μέτρια ρυπασμένο.

Σύμφωνα με τον Smith et al. (1996) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

**PEL (probable effect level-πιθανό επίπεδο επίδρασης):** Αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση των μετάλλων πάνω από την οποία οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.

**TEL (threshold effect level-κατώτατο όριο επίδρασης):** Αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση των μετάλλων κάτω από την οποία οι δυσμενείς τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν μόνο σπάνια.

Τα ιζήματα κρίνονται ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση στους οργανισμούς των ιζημάτων, εάν οι τιμές του υπερβαίνουν τις τιμές των δυο κριτηρίων, ενώ το ίζημα κρίνεται μέτρια ρυπασμένο όταν οι τιμές της συγκέντρωσης του μετάλλου υπερβαίνουν μόνο το χαμηλότερο κριτήριο.

Τέλος σύμφωνα με τον Persaud et al. (1993) τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων με βάση την τοξικότητά τους στις βιοκοινωνίες των ιζημάτων είναι τα παρακάτω:

**SEL (Severe effect level-οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης):** Δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν στην πλειοψηφία των οργανισμών του ιζήματος όταν η συγκέντρωση των στοιχείων ξεπεράσει το όριο αυτό και τα ιζήματα θεωρούνται βαριά ρυπασμένα.

**LEL (Lowest effect level-οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης):** Κάτω από το όριο αυτό δεν αναμένεται καμιά τοξική επίδραση στην πλειοψηφία των οργανισμών που ζουν στο ίζημα και το ίζημα θεωρείται μη ρυπασμένο.

Τα ιζήματα κρίνονται πολύ ρυπασμένα ως προς κάποιο μέταλλο και υπάρχει τοξική δράση, εάν ξεπερνιούνται και τα δυο κριτήρια, ρυπασμένα αν ξεπερνιέται κάθε ένα κριτήριο, μέτρια ρυπασμένα, αν ξεπερνιέται το χαμηλότερο κριτήριο και μη ρυπασμένα, αν δεν ξεπερνιέται κανένα κριτήριο (Persaud et al. 1993).

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

##### 3.1.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης.

Το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) που προσδιορίστηκε στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται μεταξύ 127 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> έως 392 ppm στο δείγμα R<sub>13</sub> με μέση τιμή τα 290 ppm ενώ το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) κυμαίνεται από 20 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως 44 ppm στο δείγμα R<sub>6</sub> με μέση τιμή τα 38 ppm. Για το νικέλιο (Ni) το περιεχόμενο κυμαίνεται από τα 132 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως τα 212 ppm στο δείγμα R<sub>5</sub> με μέση τιμή τα 192 ppm ενώ, για το κοβάλτιο (Co) το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 11 ppm στο δείγμα R<sub>9</sub> έως 36 ppm στο δείγμα R<sub>4</sub> με μέση τιμή τα 25 ppm. Για το μόλυβδο (Pb) το περιεχόμενο προσδιορίστηκε μεταξύ των 17 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> και 58 ppm στα δείγματα R<sub>15</sub> και R<sub>16</sub> με μέση τιμή τα 39 ppm. Τέλος, για τον ψευδάργυρο (Zn) προσδιορίστηκε περιεχόμενο που κυμαίνεται από τα 13 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως τα 22 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> με μέση τιμή τα 18 ppm.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας. Ο προσδιορισμός των περιεχομένων (σε ppm) έγινε με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).

**Πίνακας 3.1 :** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Στοιχεία Σημεία Δειγματοληψίας		Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	R1	330	42	209	35	28	20
2	R2	373	40	208	35	21	18
3	R3	359	43	209	34	53	18
4	R4	336	42	210	36	23	19
5	R5	317	42	212	34	25	21
6	R6	203	44	211	28	18	20
7	R7	255	37	208	26	17	22
8	R8	169	38	208	15	26	19
9	R9	179	23	146	11	43	14
10	R10	196	20	132	16	47	13
11	R11	127	28	148	15	55	15
12	R12	351	41	193	22	47	18
13	R13	392	38	185	22	52	18
14	R14	387	44	202	21	52	19
15	R15	315	41	191	23	58	19
16	R16	348	41	200	22	58	20

### 3.1.2 Αποτελέσματα εκχύλισης «0,5 N HCl»

Για το χρώμιο (Cr) το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 32 ppm στα δείγματα R<sub>9</sub> και R<sub>10</sub> έως 61 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> με μέση τιμή τα 48 ppm ενώ το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) κυμαίνεται από 9 ppm στο δείγμα R<sub>9</sub> έως 21 ppm στο δείγμα R<sub>1</sub> με μέση τιμή τα 16 ppm. Για το νικέλιο (Ni) το περιεχόμενο κυμαίνεται από τα 30 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> έως τα 54 ppm στο δείγμα R<sub>1</sub> με μέση τιμή τα 43 ppm ενώ, για το κοβάλτιο (Co) το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 7 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> έως 12 ppm στα δείγματα R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>12</sub> με μέση τιμή τα 10 ppm. Αντίστοιχα για το μόλυβδο (Pb) το περιεχόμενο στα δείγματα της περιοχής έρευνας προσδιορίστηκε μεταξύ των 7 ppm στο

δείγμα R<sub>7</sub> και 17 ppm στα δείγματα R<sub>3</sub> και R<sub>12</sub> με μέση τιμή τα 13 ppm. Τέλος, για τον ψευδάργυρο (Zn) προσδιορίστηκε περιεχόμενο που κυμαίνεται από τα 3 ppm στα δείγματα R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>15</sub> έως τα 6 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> με μέση τιμή τα 4 ppm.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με το περιεχόμενο των χημικών στοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας που αναλύθηκαν με τη μέθοδο «0,5N HCl».

Ο προσδιορισμός του περιεχόμενου (σε ppm) έγινε με τη μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS).

**Πίνακας 3.2:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5 N HCl » στα Ιζήματα της λίμνης Κάρλας

Στοιχεία Σημεία Δειγματοληψίας		Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	R1	59	21	54	12	16	5
2	R2	57	20	51	12	15	5
3	R3	55	17	50	11	17	4
4	R4	46	16	45	11	15	4
5	R5	53	18	49	11	15	5
6	R6	55	19	49	11	14	5
7	R7	37	11	30	7	7	3
8	R8	44	14	43	10	13	4
9	R9	32	10	34	9	11	3
10	R10	32	9	30	8	11	3
11	R11	61	20	49	11	16	6
12	R12	59	20	52	12	17	5
13	R13	43	15	40	9	12	4
14	R14	49	16	39	9	12	5
15	R15	35	12	32	8	9	3
16	R16	51	16	39	10	11	5

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης και της μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας και στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται το εύρος διακύμανσης και η μέση τιμή

περιεχόμενου των αναλυθέντων χημικών στοιχείων (σε ppm) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

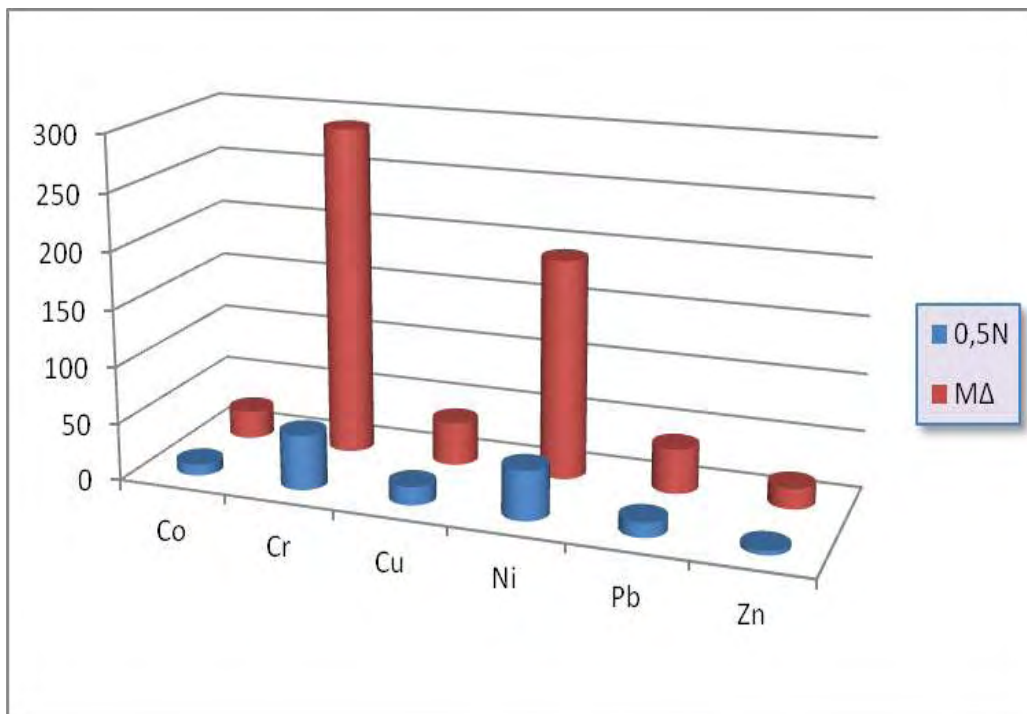
**Πίνακας 3.3 :** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης και της μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Στοιχεία Σημεία δειγματοληψίας		Co(ppm)		Cr(ppm)		Cu(ppm)		Ni(ppm)		Pb(ppm)		Zn(ppm)	
		ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N	ΜΑ	0,5N
1	R1	35	12	330	59	42	21	209	54	28	16	20	5
2	R2	35	12	373	57	40	20	208	51	21	15	18	5
3	R3	34	11	359	55	43	17	209	50	53	17	18	4
4	R4	36	11	336	46	42	16	210	45	23	15	19	4
5	R5	34	11	317	53	42	18	212	49	25	15	21	5
6	R6	28	11	203	55	44	19	211	49	18	14	20	5
7	R7	26	7	255	37	37	11	208	30	17	7	22	3
8	R8	15	10	169	44	38	14	208	43	26	13	19	4
9	R9	11	9	179	32	23	10	146	34	43	11	14	3
10	R10	16	8	196	32	20	9	132	30	47	11	13	3
11	R11	15	11	127	61	28	20	148	49	55	16	15	6
12	R12	22	12	351	59	41	20	193	52	47	17	18	5
13	R13	22	9	392	43	38	15	185	40	52	12	18	4
14	R14	21	9	387	49	44	16	202	39	52	12	19	5
15	R15	23	8	315	35	41	12	191	32	58	9	19	3
16	R16	22	10	348	51	41	16	200	39	58	11	20	5

**Πίνακας 3.4:** Εύρος διακύμανσης και μέση τιμή περιεχόμενου των αναλυθέντων χημικών στοιχείων (σε ppm) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

Εύρος διακύμανσης και μέση τιμή περιεχομένου αναλυθέντων χημικών στοιχείων		
Στοιχεία	Περιεχόμενο στοιχείων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης	Περιεχόμενο στοιχείων με τη μεθόδου «0,5 N HCl»
Cr	290 (127-392)	48 (32-61)
Cu	38 (20-44)	16 (9-21)
Ni	192 (132-212)	43 (30-54)
Co	25 (11-36)	10 (7-12)
Pb	39 (17-58)	13 (7-17)
Zn	18 (13-22)	4 (3-6)

Έχοντας λοιπόν το μέσο περιεχόμενο των χημικών στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα των ιζημάτων της περιοχής έρευνας προχωρήσαμε στην δημιουργία του διαγράμματος μέσου περιεχομένου του σχήματος 3.1.



**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα μέσου περιεχομένου (σε ppm) των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

### 3.2 Γεωχημικοί χάρτες

Αφού προσδιορίσαμε με αναλυτικές εργασίες τις τιμές περιεχομένου των αναλυθέντων χημικών στοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας, προχωρήσαμε στην αποτύπωση τους σε ανάλογους γεωχημικούς χάρτες για το κάθε στοιχείο με βοήθεια του προγράμματος AutoCAD Map 3D 2010 (AutoDesk Inc.)

Για την κατασκευή των χαρτών προσδιορίστηκε ο αριθμός των κλάσεων για κάθε ιχνοστοιχείο. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήθηκαν 5 κλάσεις για την αναπαράσταση της κατανομής του περιεχομένου των στοιχείων και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Βρίσκουμε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του περιεχόμενου του χημικού στοιχείου.
- Υπολογίζουμε το εύρος του δείγματος, αφαιρώντας την ελάχιστη από τη μέγιστη τιμή.
- Διαιρούμε το εύρος με τον αριθμό των κλάσεων που θέλουμε να δημιουργήσουμε και το αποτέλεσμα είναι το βήμα με το οποίο φτιάχνουμε τις κλάσεις.
- Για κάθε στοιχείο προσδιορίστηκαν επίσης η μέση τιμή, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή, το εύρος καθώς και το πλήθος των δειγμάτων.

### 3.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης

#### **Κοβάλτιο (Co)**

Στον Πίνακα 3.5 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το κοβάλτιο (Co).

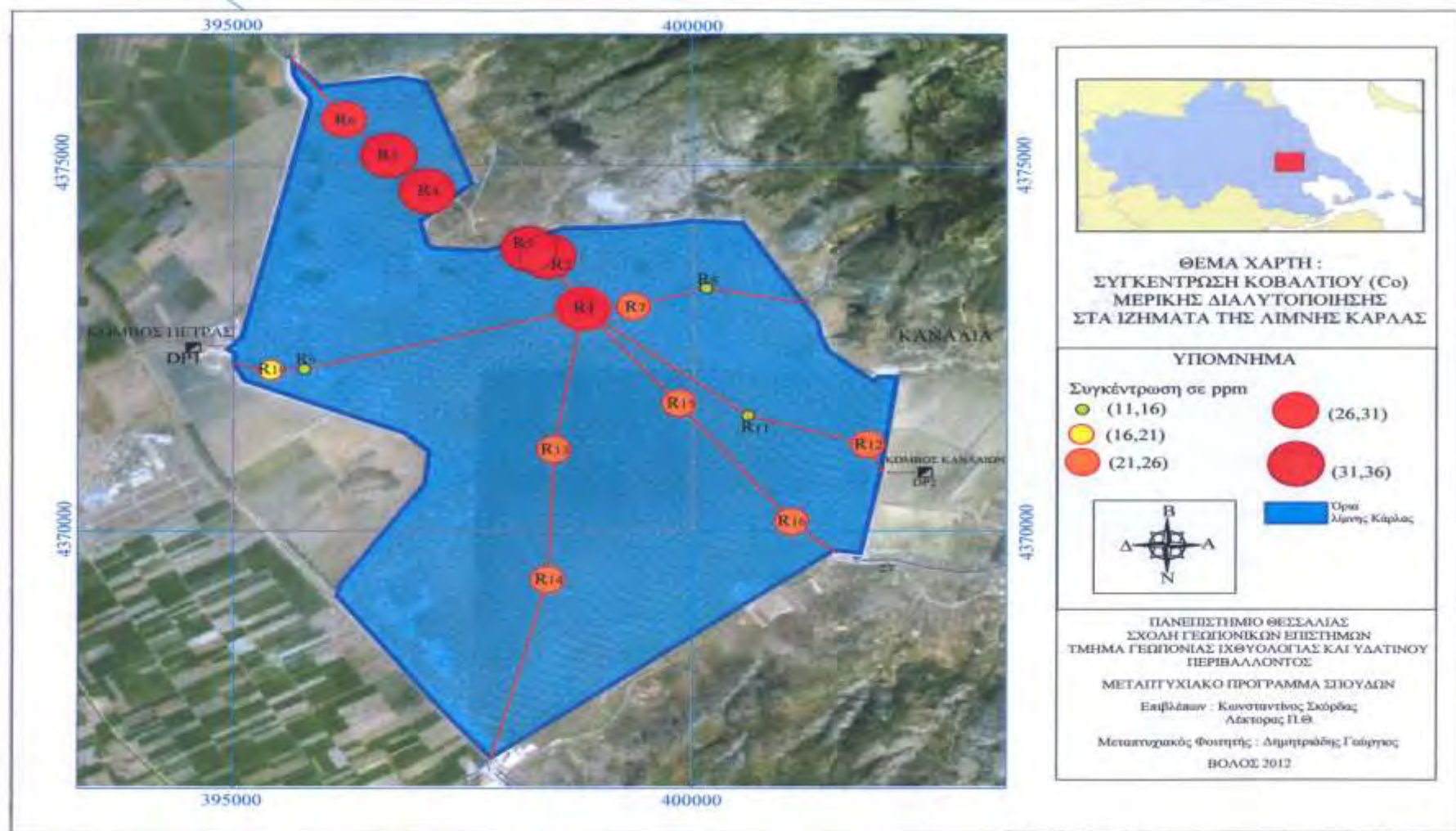
**Πίνακας 3.5:** Στατιστικά στοιχεία Co

<b>Παράμετροι</b>	<b>Co</b>
Μέση τιμή	25
Ελάχιστη τιμή	11
Μέγιστη τιμή	36
Εύρος	25
Πλήθος τιμών	16

Τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις για να κατασκευάσουμε τον χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του κοβαλτίου (Co) (Σχ.3.2) τις εξής : 11-16 ppm, 16-21 ppm, 21-26 ppm, 26-31 ppm και 31-36 ppm με βήμα κλάσης 5. Στο χάρτη σημειώνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) παρατηρείται στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> και R<sub>5</sub> στο βόρειο και



βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής και ακολουθεί το σημείο δειγματοληψίας  $R_6$  στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.2:** Χάρτης κατανομής περιεχομένου κοβαλτίου (Co) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

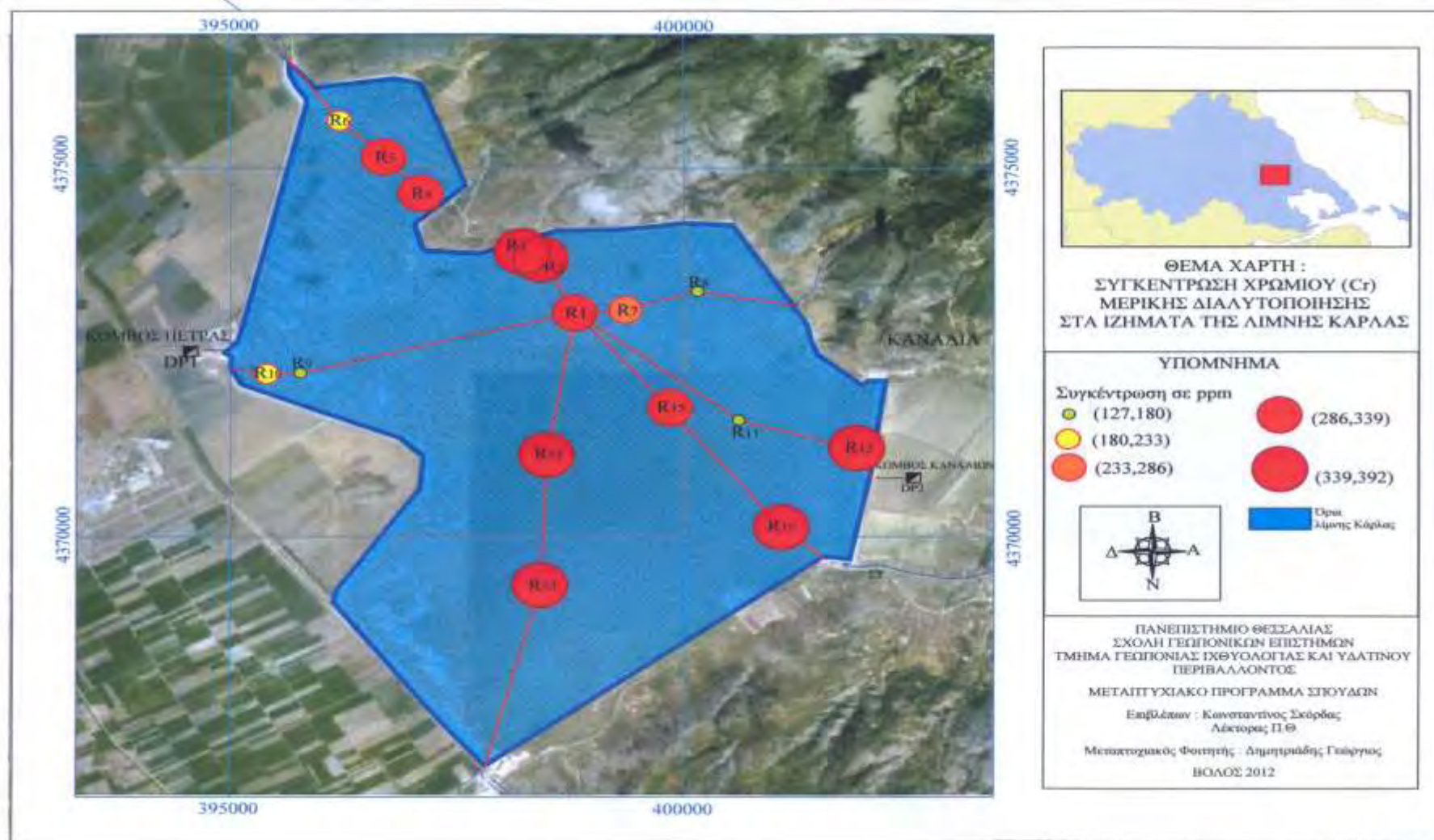
### Χρώμιο (Cr)

Στον Πίνακα 3.6 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χρώμιο (Cr).

**Πίνακας 3.6:** Στατιστικά στοιχεία Cr

Παράμετροι	Cr
Μέση τιμή	290
Ελάχιστη τιμή	127
Μέγιστη τιμή	392
Εύρος	265
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του χρωμίου (Cr) (Σχ.3.3) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 127-180 ppm, 180-233 ppm, 233-286 ppm, 286-339 ppm, 339-392 ppm με βήμα κλάσης 53. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του χρωμίου. Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στο βόρειο και νότιο - νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>16</sub>, ενώ το μικρότερο περιεχόμενο παρατηρείται στα σημεία R<sub>8</sub>, R<sub>9</sub> και R<sub>11</sub>.



**Σχήμα 3.3:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χρωμίου (Cr) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

**Χαλκός (Cu)**

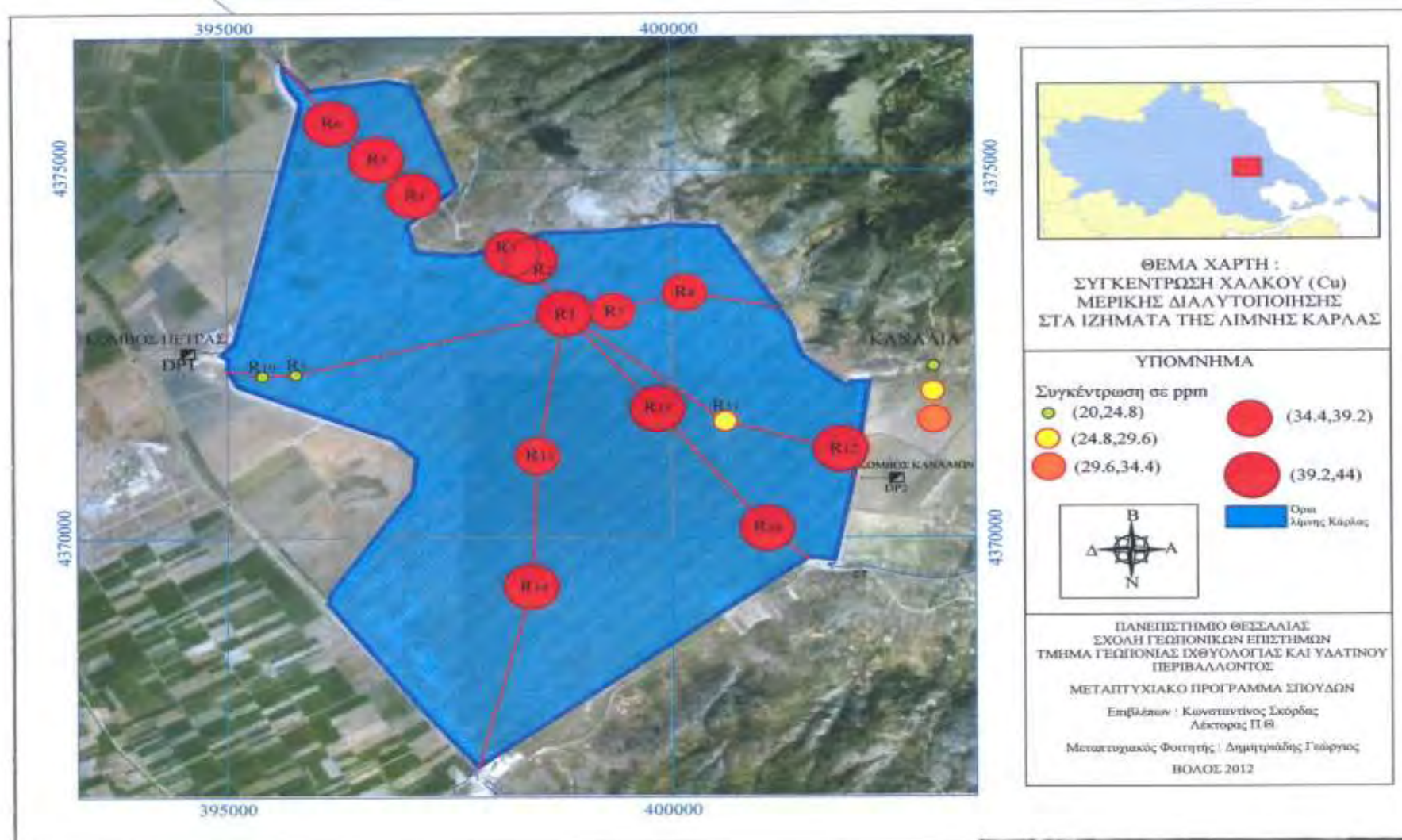
Στον Πίνακα 3.7 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χαλκό (Cu).

**Πίνακας 3.7:** Στατιστικά στοιχεία Cu

Παράμετροι	Cu
Μέση τιμή	38
Ελάχιστη τιμή	20
Μέγιστη τιμή	44
Εύρος	24
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του χαλκού (Cu) (Σχ.3.4) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 20-24,8 ppm, 24,8-29,6 ppm, 29,6-34,4 ppm, 34,4-39,2 ppm, 39,2-44 ppm με βήμα κλάσης 4,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμεν του χαλκού. Το μεγαλύτερο περιεχόμενο χαλκού (Cu) παρατηρείται στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και ακολουθούν τα σημεία R<sub>12</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub>, και R<sub>16</sub> στο νότιο-νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής.





**Σχήμα 3.4:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χαλκού (Cu) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

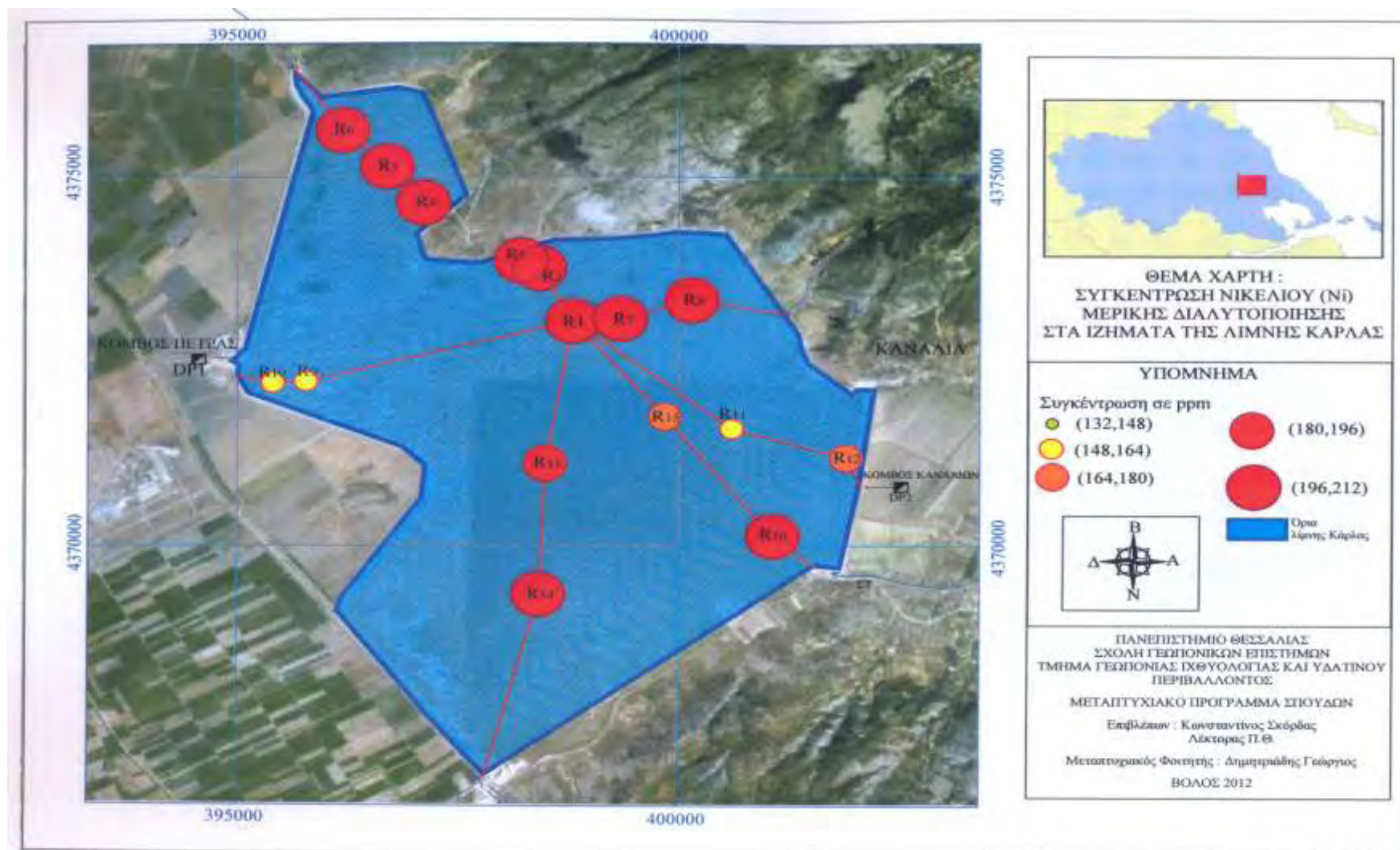
**Νικέλιο (Ni)**

Στον Πίνακα 3.8 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το νικέλιο (Ni).

**Πίνακας 3.8:** Στατιστικά στοιχεία Ni

<b>Παράμετροι</b>	<b>Ni</b>
Μέση τιμή	192
Ελάχιστη τιμή	132
Μέγιστη τιμή	212
Εύρος	80
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του νικελίου (Ni) (Σχ.3.5) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 132-148 ppm, 148-164 ppm, 164-180 ppm, 180-196 ppm, 196-212 ppm με βήμα κλάσης 16. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του νικελίου (Ni). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο του νικελίου (Ni) παρατηρείται στο βόρειο και νότιο-νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub>, και έπονται τα σημεία R<sub>14</sub> και R<sub>16</sub>.



**Σχήμα 3.5:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου νικελίου (Ni) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.



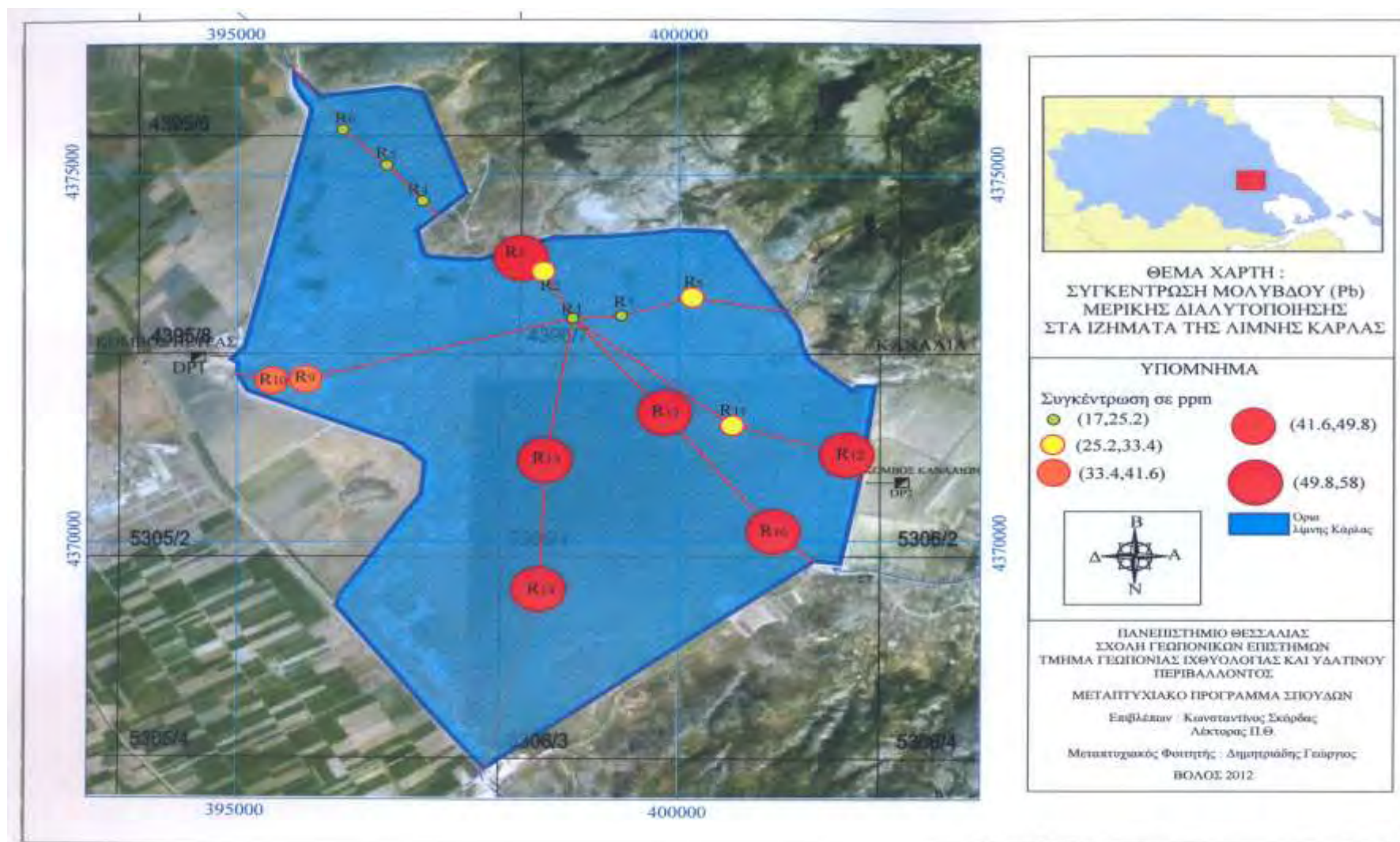
### Μόλυβδος (Pb)

Στον Πίνακα 3.9 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το μόλυβδο (Pb).

**Πίνακας 3.9:** Στατιστικά στοιχεία Pb

Παράμετροι	Pb
Μέση τιμή	39
Ελάχιστη τιμή	17
Μέγιστη τιμή	58
Εύρος	41
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του μολύβδου (Pb) (Σχ.3.6) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 17-25,2 ppm, 25,2-33,4 ppm, 33,4-41,6 ppm, 41,6-49,8 ppm, 49,9-58 ppm με βήμα κλάσης 8,2. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του μολύβδου (Pb). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στο νότιο-νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης στα σημεία R<sub>3</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub>, και R<sub>16</sub> της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.6:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου μολύβδου (Pb) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

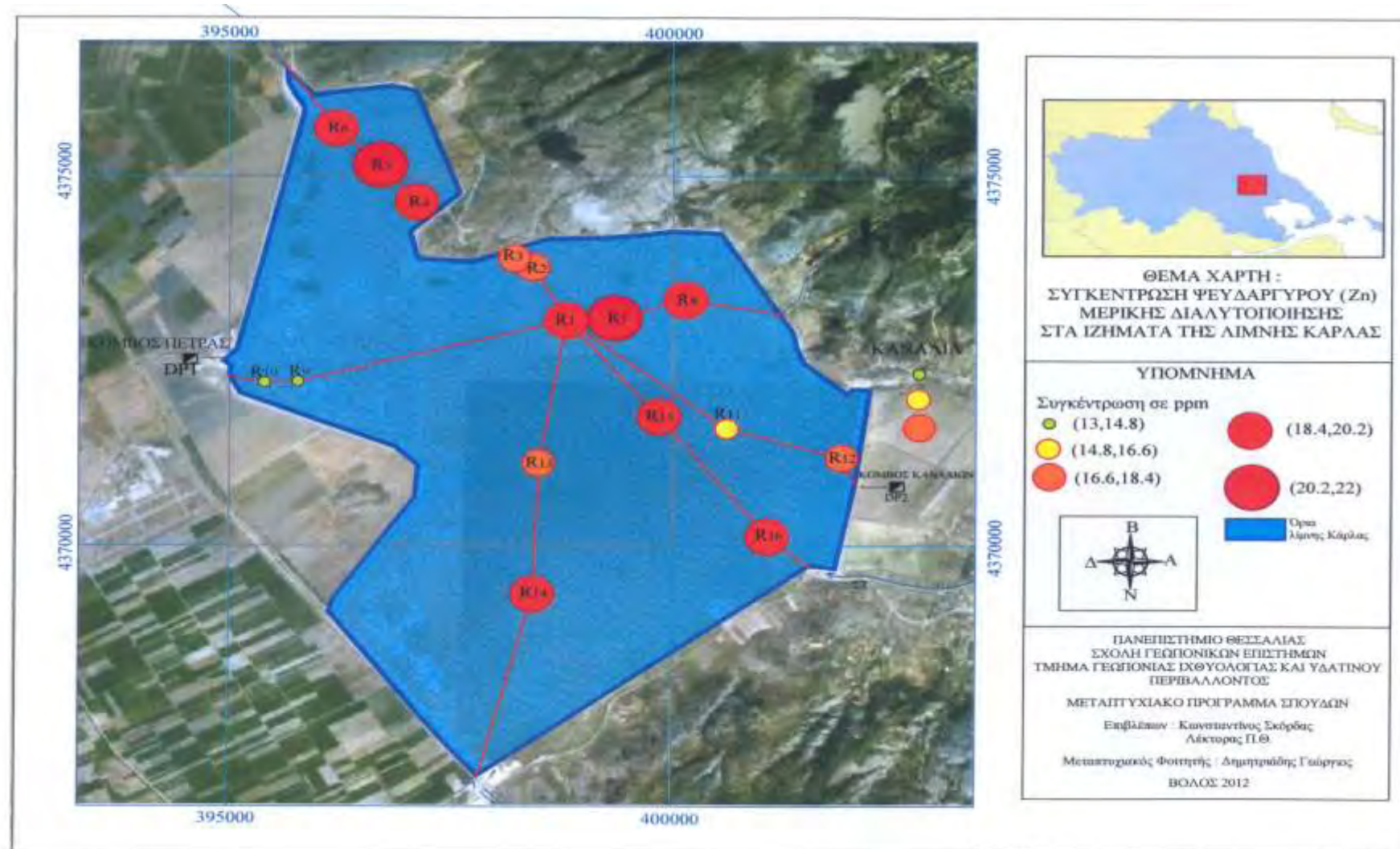
### Ψευδάργυρος (Zn)

Στον Πίνακα 3.10 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ψευδάργυρο (Zn).

**Πίνακας 3.10:** Στατιστικά στοιχεία Zn

Παράμετροι	Zn
Μέση τιμή	18
Ελάχιστη τιμή	13
Μέγιστη τιμή	22
Εύρος	9
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του ψευδαργύρου (Zn) (Σχ.3.7) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 13-14,8 ppm, 14,8-16,6 ppm, 16,6-18,4 ppm, 18,4-20,2 ppm, 20,2-22 ppm με βήμα κλάσης 1,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn). Ειδικότερα το μεγαλύτερο περιεχόμενο ψευδαργύρου παρατηρείται στο βόρειο-βορειοδυτικό και δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>9</sub>. Μικρότερο περιεχόμενο παρατηρείτε στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>10</sub> και R<sub>11</sub> στα βόρεια και νοτιοανατολικά της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.7:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου ψευδαργύρου (Zn) μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας



### 3.2.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων μεθόδου « 0,5 N HCl »

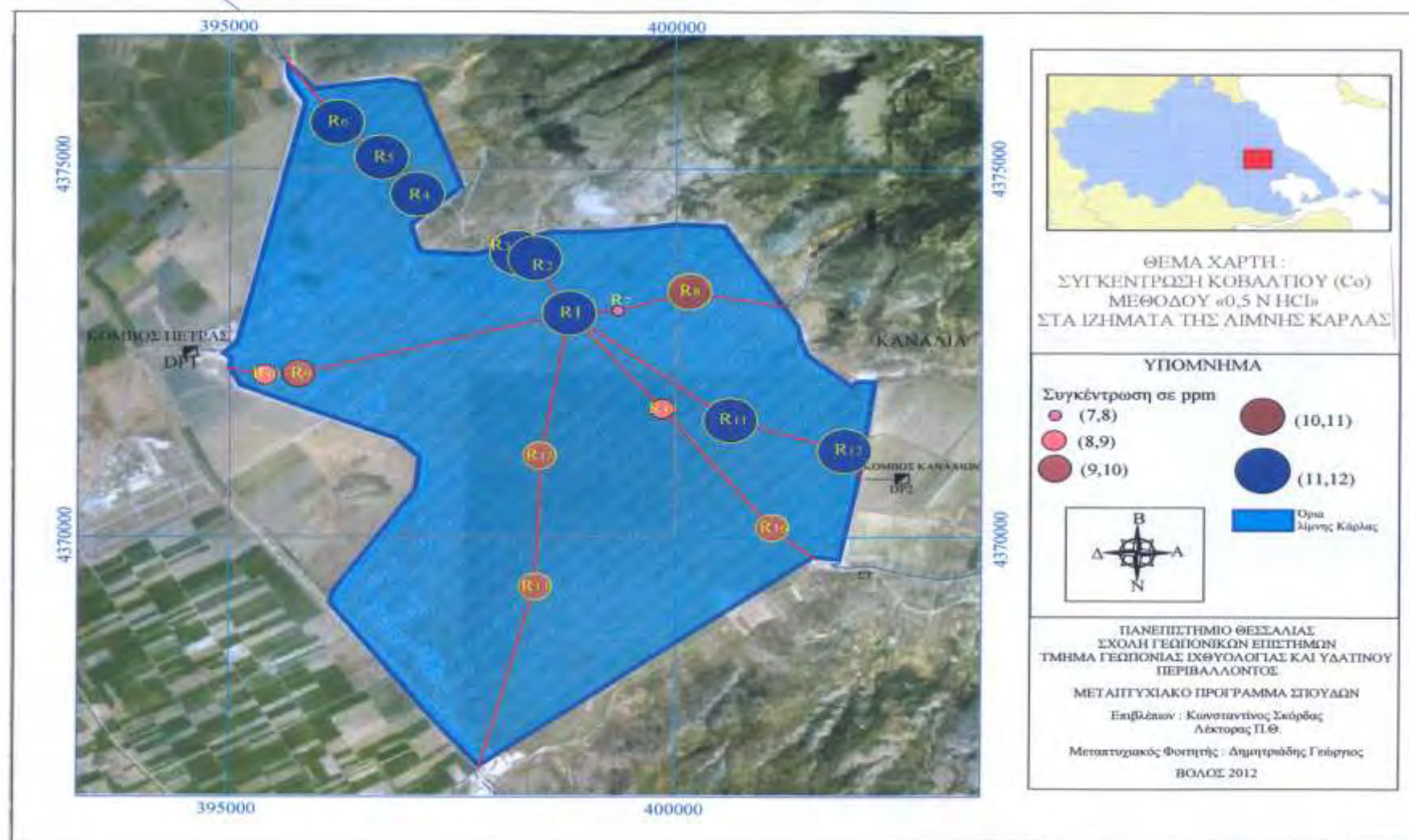
#### **Κοβάλτιο (Co)**

Στον πίνακα 3.11 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το κοβάλτιο (Co) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.11:** Στατιστικά στοιχεία Co

<b>Παράμετροι</b>	<b>Co</b>
Μέση τιμή	10
Ελάχιστη τιμή	7
Μέγιστη τιμή	12
Εύρος	5
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του κοβαλτίου (Co) (Σχ.3.8) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 7-8 ppm, 8-9 ppm, 9-10 ppm, 10-11 ppm, 11-12 ppm με βήμα κλάσης 1. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, και στα σημεία R<sub>11</sub>, R<sub>12</sub>, που βρίσκονται κοντά στο αντλιοστάσιο DP<sub>2</sub> στο ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας. Μικρότερο περιεχόμενο κοβαλτίου (Co) παρατηρείτε στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>7</sub> και στο σημείο R<sub>10</sub>, κοντά στο αντλιοστάσιο DP<sub>2</sub> στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.8:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου κοβαλτίου (Co) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

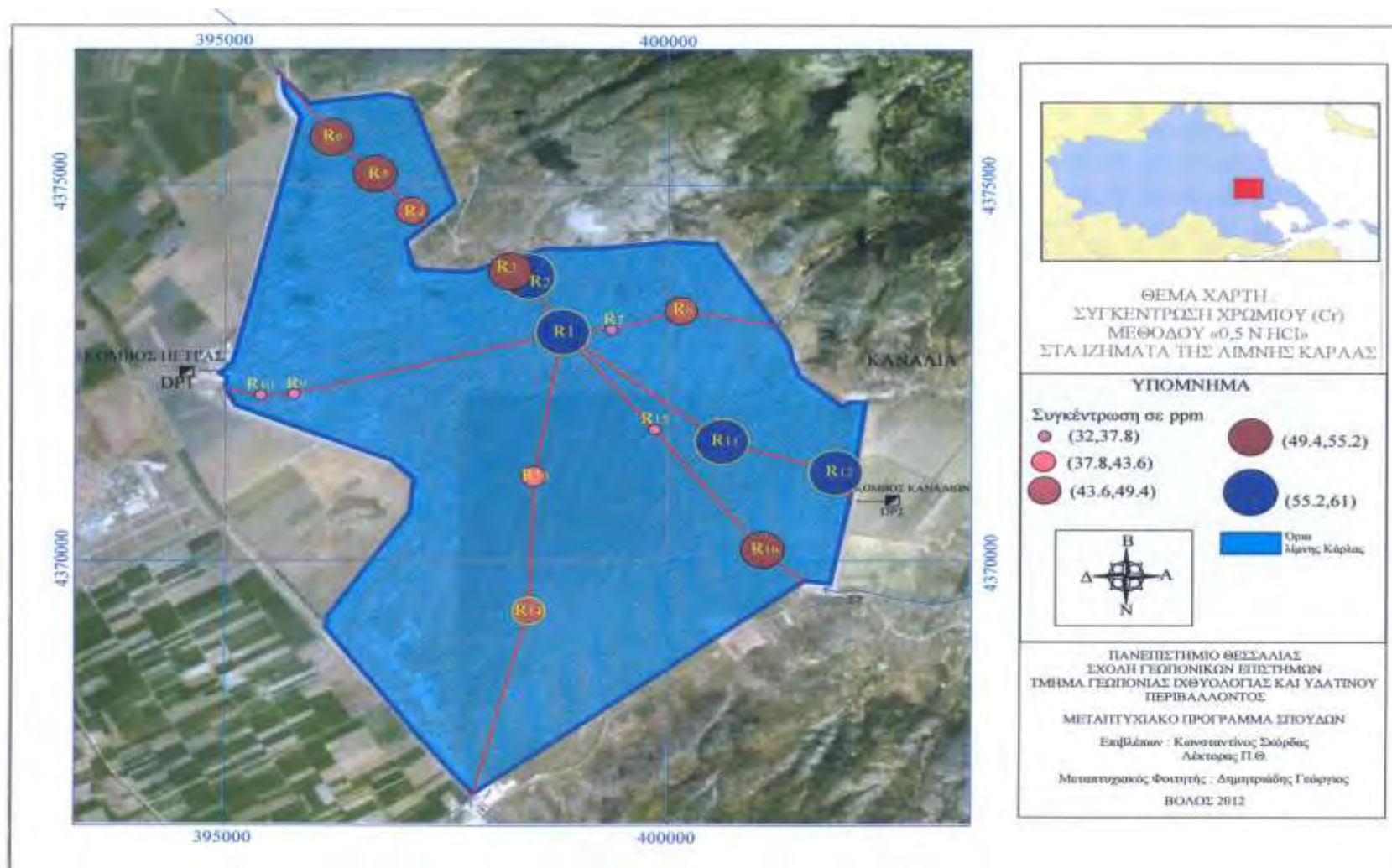
### Χρώμιο (Cr)

Στον πίνακα 3.12 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χρώμιο (Cr) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.12:** Στατιστικά στοιχεία Cr

Παράμετροι	Cr (ppm)
Μέση τιμή	48
Ελάχιστη τιμή	32
Μέγιστη τιμή	61
Εύρος	29
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του χρωμίου (Cr) (Σχ.3.9) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl » χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 32-37,8 ppm, 37,8-43,6 ppm, 43,6-49,4 ppm, 49,4-55,2 ppm, 55,2-61 ppm με βήμα κλάσης 5,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του χρωμίου (Cr). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στο βόρειο-βορειοδυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>11</sub>, και R<sub>12</sub> και το μικρότερο περιεχόμενο στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>7</sub>, και R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> στο δυτικό τμήμα και R<sub>15</sub> στο ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.8:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χρωμίου (Cr) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.



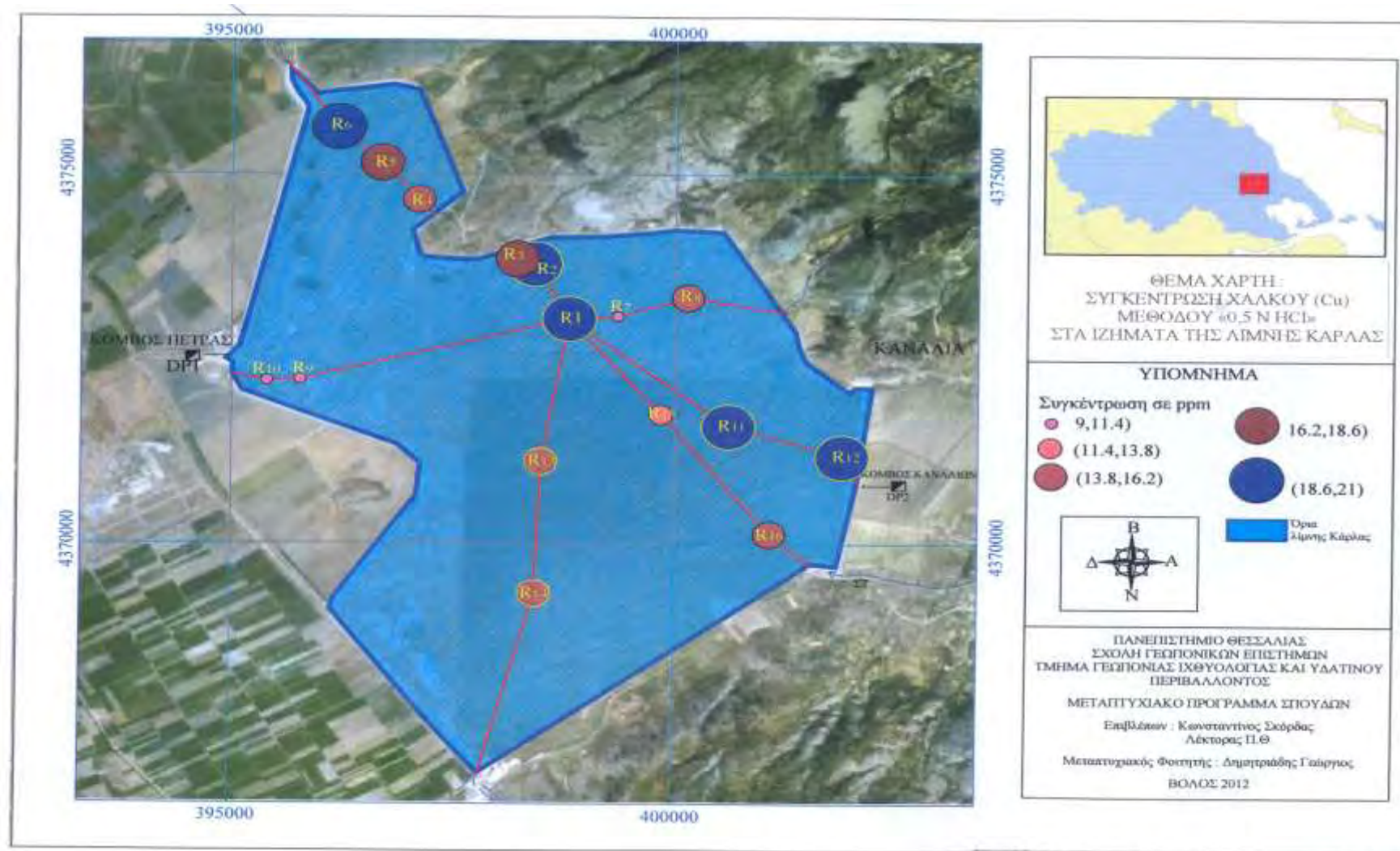
**Χαλκός (Cu)**

Στον πίνακα 3.13 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το χαλκό (Cu) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.13:** Στατιστικά στοιχεία Cu

Παράμετροι	Cu
Μέση τιμή	16
Ελάχιστη τιμή	9
Μέγιστη τιμή	21
Εύρος	12
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του χαλκού (Cu) (Σχ.3.10) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 9-11,4 ppm, 11,4-13,8 ppm, 13,8-16,2 ppm, 16,2-18,6 ppm, 18,6-21 ppm με βήμα κλάσης 1,8. Το μεγαλύτερο περιεχόμενο χαλκού παρατηρείται στο βόρειο - βορειοδυτικό και νότιο - νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας και πιο συγκεκριμένα στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub> και R<sub>16</sub>. Μικρότερο περιεχόμενο χαλκού (Cu) παρατηρείται στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> που βρίσκονται κοντά στο αντλιοστάσιο DP<sub>1</sub> στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.10:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χαλκού (Cu) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

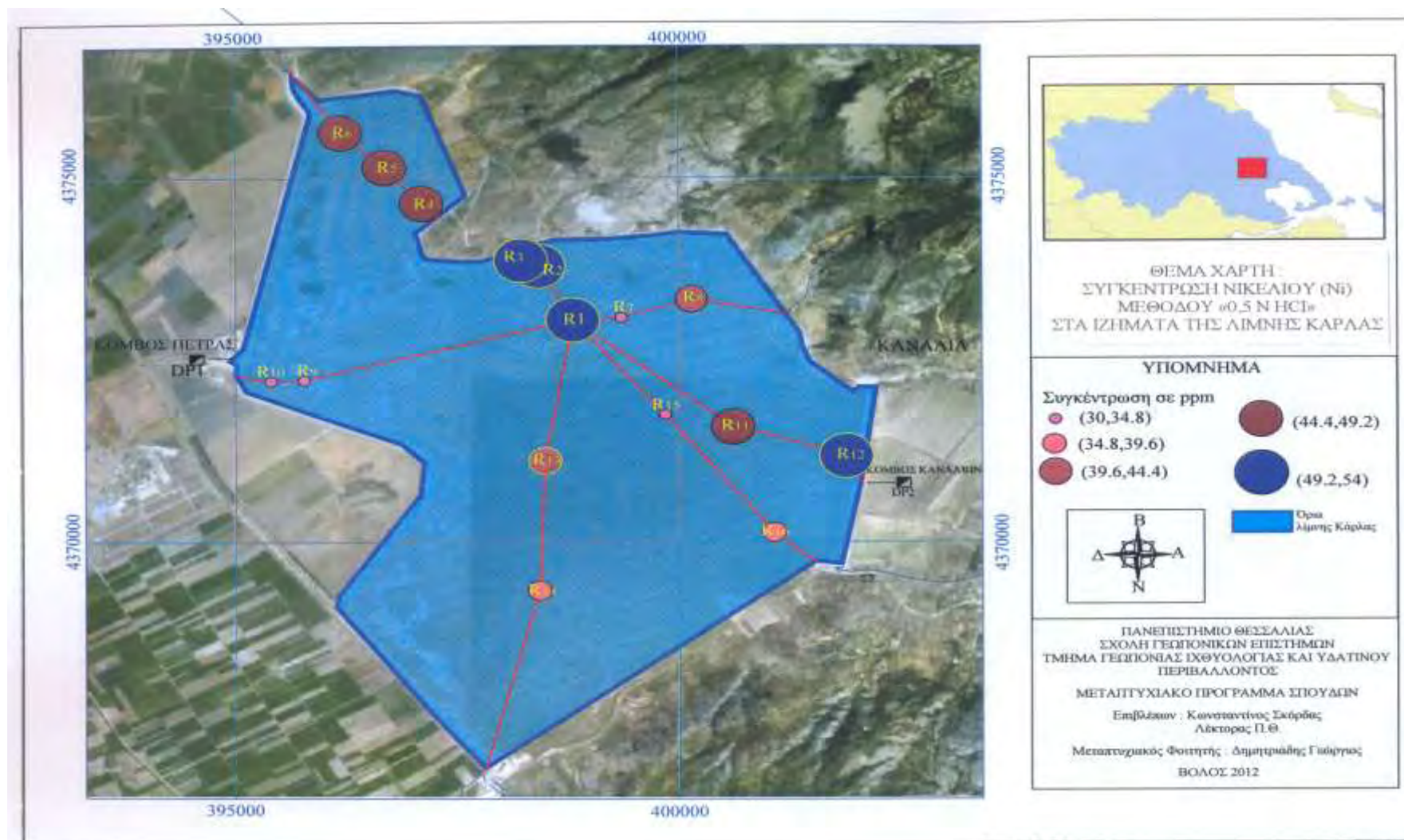
**Νικέλιο (Ni)**

Στον πίνακα 3.14 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το νικέλιο (Ni) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.14:** Στατιστικά στοιχεία Ni

<b>Παράμετροι</b>	<b>Ni</b>
Μέση τιμή	43
Ελάχιστη τιμή	30
Μέγιστη τιμή	54
Εύρος	24
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του νικελίου (Ni) (Σχ.3.11) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 30-34,8 ppm, 34,8-39,6 ppm, 39,6-44,4 ppm, 44,4-49,2 ppm, 49,2-54 ppm με βήμα κλάσης 4,8. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του νικελίου (Ni). Ειδικότερα το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στα σημεία  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας και στο σημείο  $R_{12}$  στο ανατολικό τμήμα της περιοχής. Μικρότερο περιεχόμενο νικελίου (Ni) παρατηρείται στο σημείο δειγματοληψίας  $R_7$  που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα και  $R_9$ ,  $R_{10}$  που βρίσκονται κοντά στο αντλιοστάσιο  $DP_1$  στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.11:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου νικελίου (Ni) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.



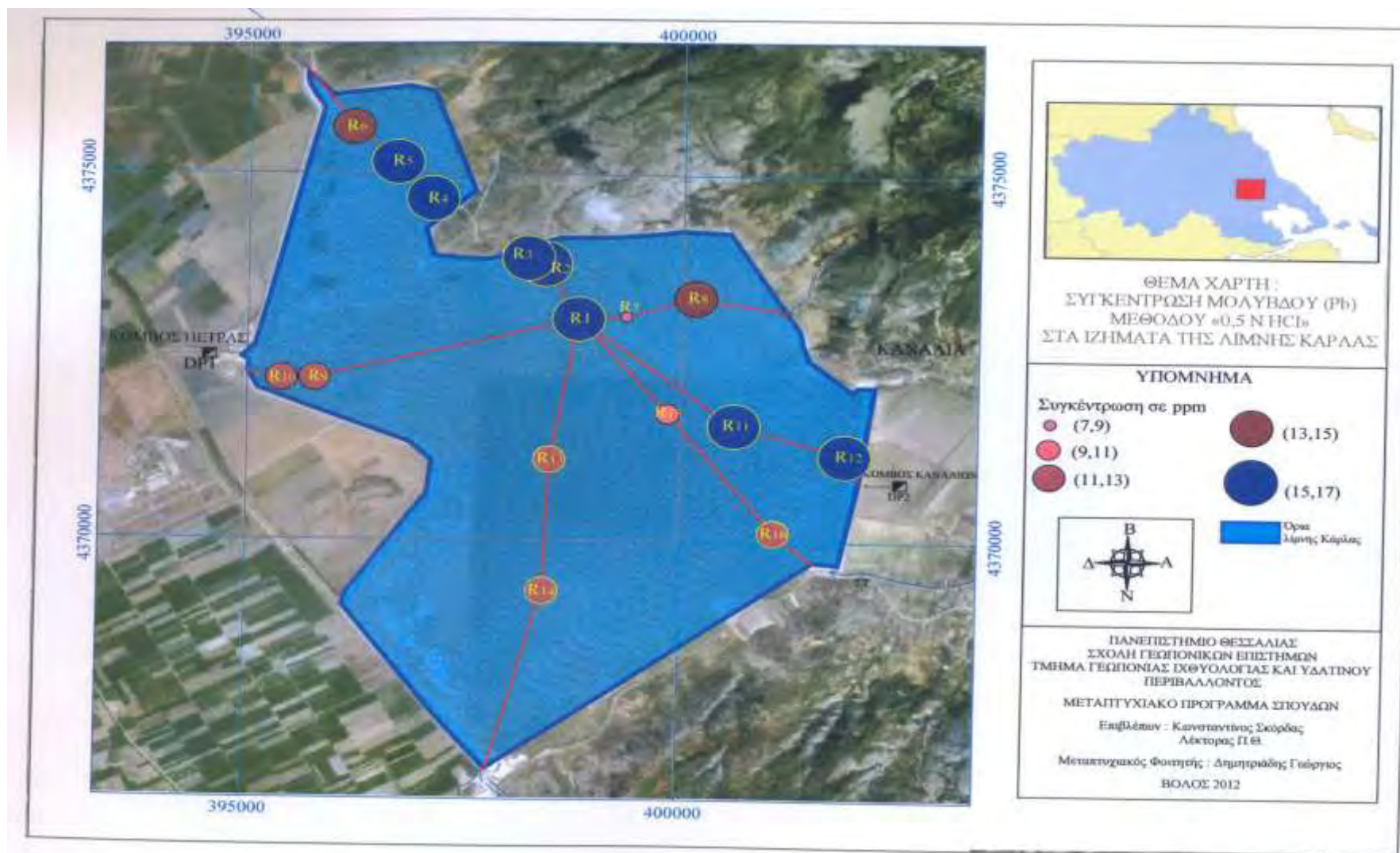
**Μόλυβδος (Pb)**

Στον πίνακα 3.15 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για το μόλυβδο (Pb) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.15:** Στατιστικά στοιχεία Pb

Παράμετροι	Pb
Μέση τιμή	13
Ελάχιστη τιμή	7
Μέγιστη τιμή	17
Εύρος	2
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του μολύβδου (Pb) (Σχ.3.12) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 7-9 ppm, 9-11 ppm, 11-13 ppm, 13-15 ppm, 15-17 ppm με βήμα κλάσης 1,4. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του μολύβδου (Pb). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στο βόρειο-βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στα σημεία R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>11</sub>, και R<sub>12</sub> και το μικρότερο περιεχόμενο στο σημείο δειγματοληψίας R<sub>7</sub> στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.12:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου μολύβδου (Pb) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

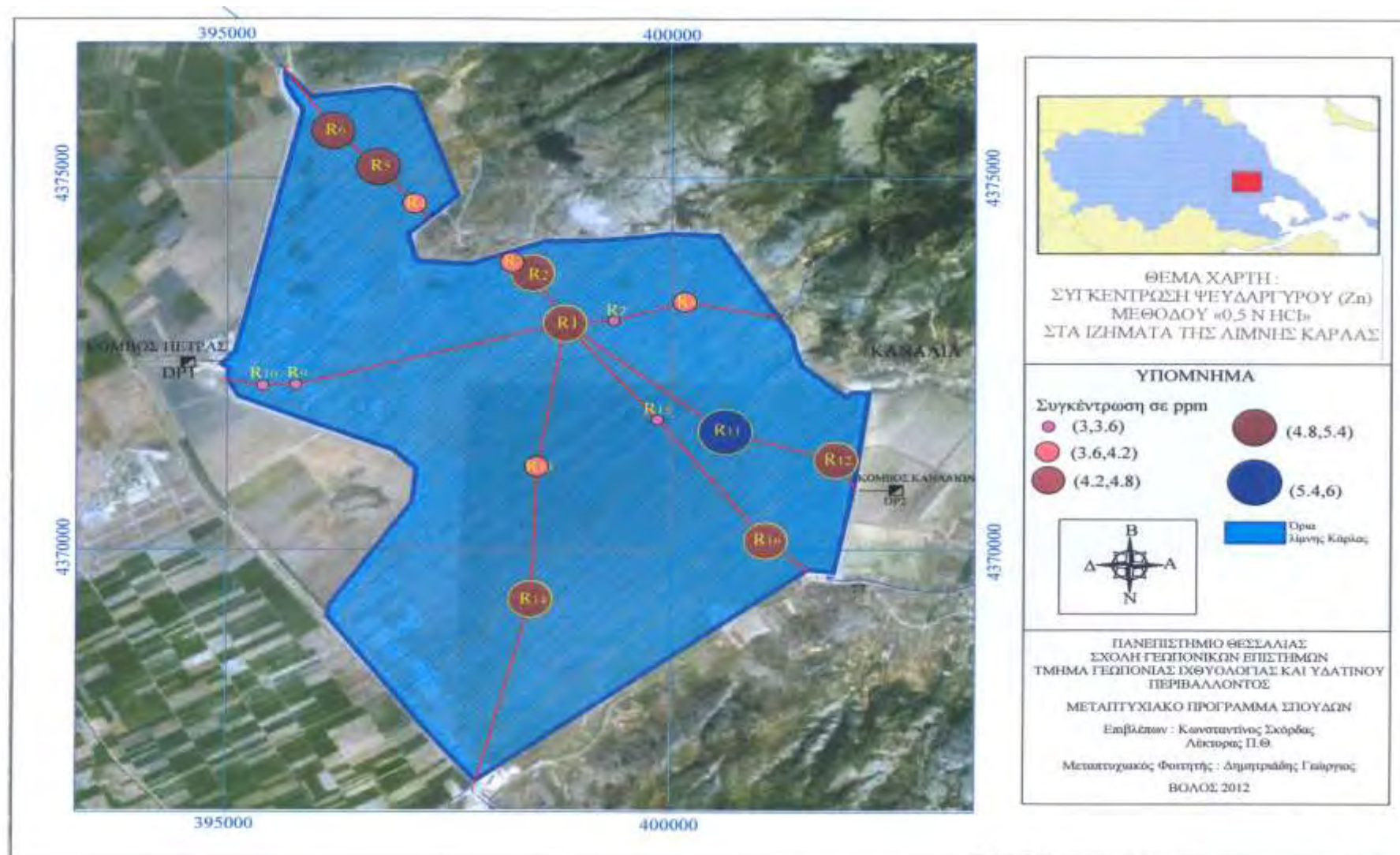
**Ψευδάργυρος (Zn)**

Στον πίνακα 3.16 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων για τον ψευδάργυρο (Zn) με τη μέθοδο « 0,5 N HCl ».

**Πίνακας 3.16:** Στατιστικά στοιχεία Zn

Παράμετροι	Zn
Μέση τιμή	4
Ελάχιστη τιμή	3
Μέγιστη τιμή	6
Εύρος	3
Πλήθος τιμών	16

Για την κατασκευή του χάρτη κατανομής του περιεχόμενου του ψευδαργύρου (Zn) (Σχ.3.13) τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων της μεθόδου «0,5N HCl» χωρίστηκαν σε 5 κλάσεις: 3-3,6 ppm, 3,6-4,2 ppm, 4,2-4,8 ppm, 4,8-5,4 ppm, 5,4-6 ppm με βήμα κλάσης 0,6. Στο χάρτη διακρίνονται τα σημεία της περιοχής έρευνας όπου παρατηρείται αυξημένο περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn). Το μεγαλύτερο περιεχόμενο παρατηρείται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας στο σημείο R<sub>11</sub>. Μικρότερο περιεχόμενο ψευδαργύρου (Zn) παρατηρείται στο σημείο δειγματοληψίας R<sub>7</sub> που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα, στα σημεία R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> που βρίσκονται κοντά στο αντλιοστάσιο DP<sub>1</sub> στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και στο σημείο R<sub>15</sub> που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα.



**Σχήμα 3.13:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου ψευδαργύρου (Zn) μεθόδου «0,5N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.



3.2.3. Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης και της μεθόδου « 0,5 N HCl ».

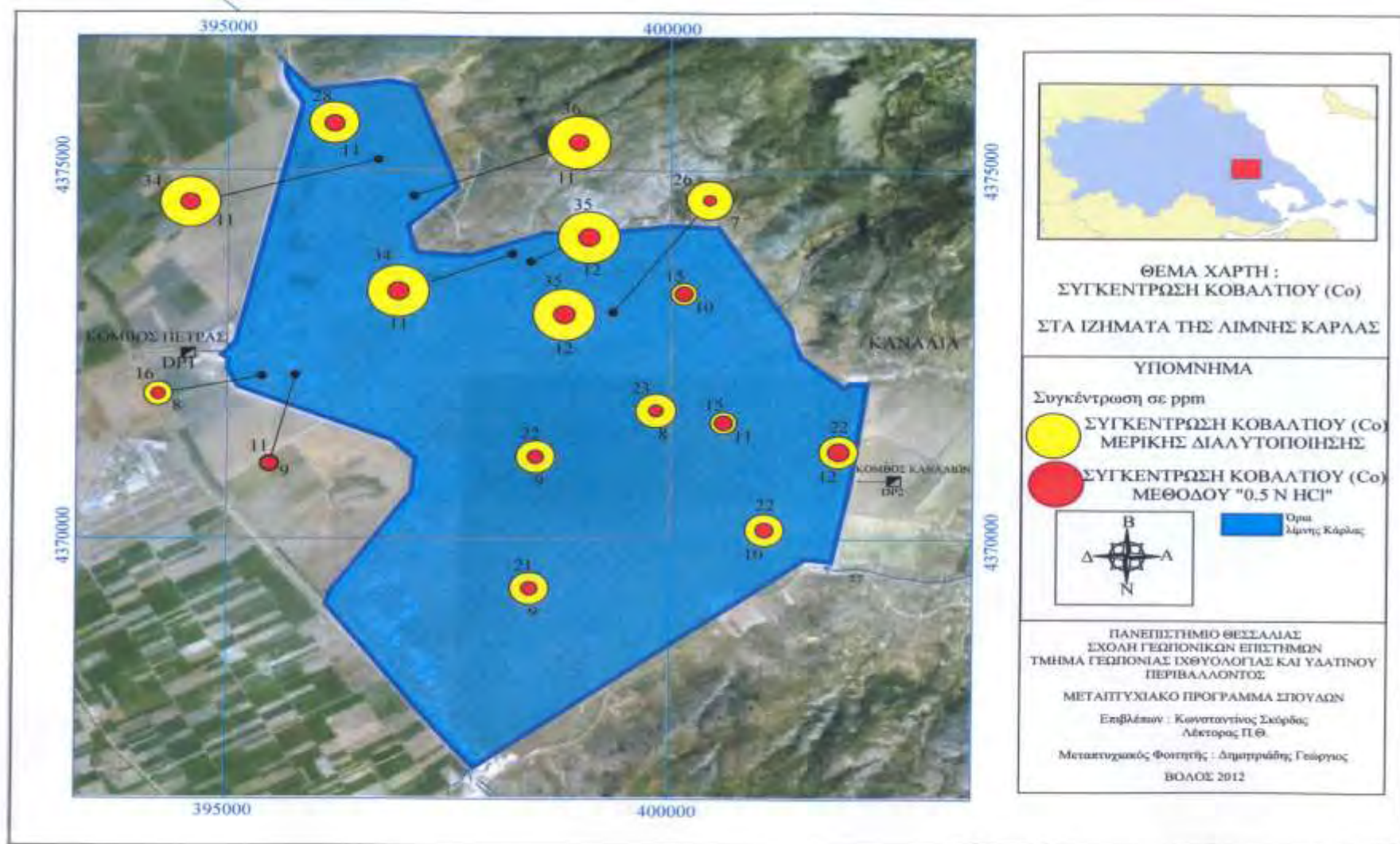
Η χωρική κατανομή περιεχόμενου των χημικών στοιχείων από τις αναλύσεις με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης και τη μέθοδο « 0,5 N HCl » στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας παρουσιάζεται στα σχήματα 3.14 έως 3.19.

### **Κοβάλτιο (Co)**

Το περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από 11 ppm στο δείγμα R<sub>9</sub> έως 36 ppm στο δείγμα R<sub>4</sub> με μέση τιμή τα 25 ppm, ενώ το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από 7 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> έως 12 ppm στα δείγματα R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>12</sub>, με μέση τιμή τα 10 ppm. Στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>1</sub>-R<sub>5</sub> και R<sub>6</sub>, τα οποία βρίσκονται στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο περιεχομένων, ενώ στα σημεία R<sub>8</sub>, R<sub>9</sub> και R<sub>11</sub> πλησιάζουν πολύ κοντά μεταξύ τους.

Σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) και Skordas & Kelepertsis (2005), το περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) στα υπερβασικά πετρώματα κυμαίνεται από 100-200 ppm και στα βασικά από 35-50 ppm οπότε η φυσική προέλευση του στα ιζήματα της λίμνης πολύ πιθανόν να προέρχεται από την αποσάθρωση των οφειολιθικών πετρωμάτων της περιοχής. Όπως επίσης καταγράφουν οι Kabata-Pendias & Pendias (2001) το κοβάλτιο βρίσκεται στα λύματα σε περιεχόμενο που κυμαίνεται από 2-260 ppm και στα λιπάσματα, από 1-12 ppm στα φωσφορικά και 5-12 ppm στα αζωτούχα, επομένως όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση, πιθανόν το κοβάλτιο να προέρχεται από τη χρήση φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων και από τα λύματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ). Πολύ πιθανό επίσης να προέρχεται από την χρήση του σε

διάφορες δραστηριότητες όπως κεραμική και χρώματα (Siegel 2002) (Πιν. 3.17 Παράρτημα Γ).



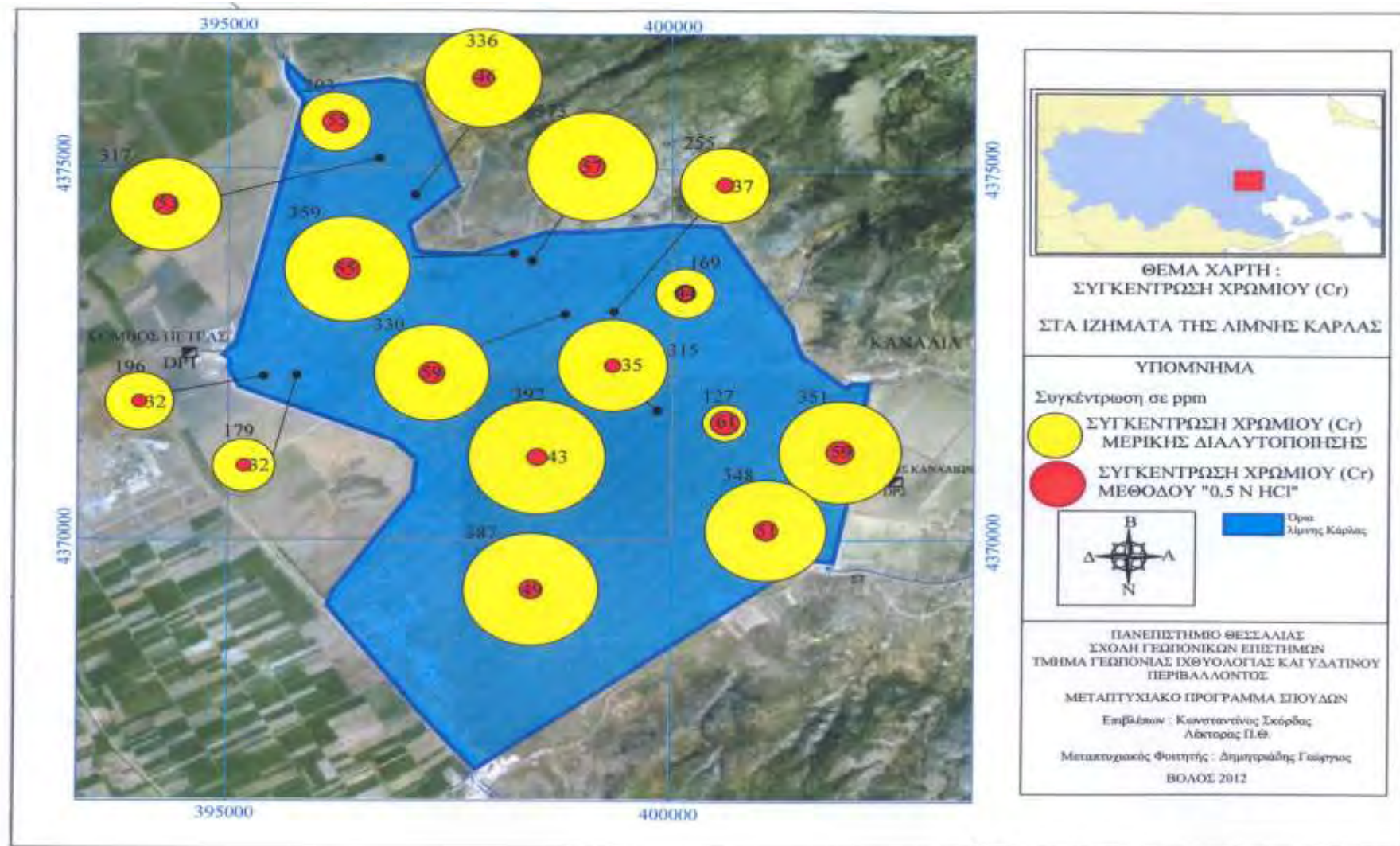
**Σχήμα 3.14:** Χάρτης κατανομής περιεχομένου κοβαλτίου (Co) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

### Χρώμιο (Cr)

Το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται μεταξύ των 127 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> έως 392 ppm στο δείγμα R<sub>13</sub> με μέση τιμή τα 290 ppm, ενώ το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 32 ppm στα δείγματα R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> έως τα 61 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> με μέση τιμή τα 48 ppm. Αυξημένο περιεχόμενο χρωμίου παρατηρούμε σε όλα τα δείγματα της περιοχής έρευνας.

Οι Kabata-Pendias & Pendias (2001), και Skordas & Kelepertsis (2005), αναφέρουν ότι το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) στα υπερβασικά πετρώματα κυμαίνεται μεταξύ των 1600-3400 ppm και μεταξύ των 170-200 ppm στα βασικά. Τα υπερβασικά και τα βασικά πετρώματα είναι πλούσια σε χρώμιο. Έτσι λόγω της αποσάθρωσης των υπερβασικών (δουνίτες, περιδοδίτες, πυρόξενοι) και βασικών (βασάλτες, γάββροι) πετρωμάτων της περιοχής πολύ πιθανό να οφείλεται αυτή η φυσική προέλευση του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας σε σχέση με την ανθρωπογενή του προέλευση πιθανολογούμε ότι οφείλεται στη χρήση του σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες όπως παραγωγή χαρτοπολτού και λιπάσματα, μεταλλουργία, βυρσοδεψία (Siegel 2002) (Πιν.3.17: Παράρτημα Γ). Οι Kabata-Pendias & Pendias (2001) επίσης αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) κυμαίνονται μεταξύ 66-245 ppm στα φωσφορικά λιπάσματα και 20-40600 ppm στα λύματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



**Σχήμα 3.15:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χρωμίου (Cr) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

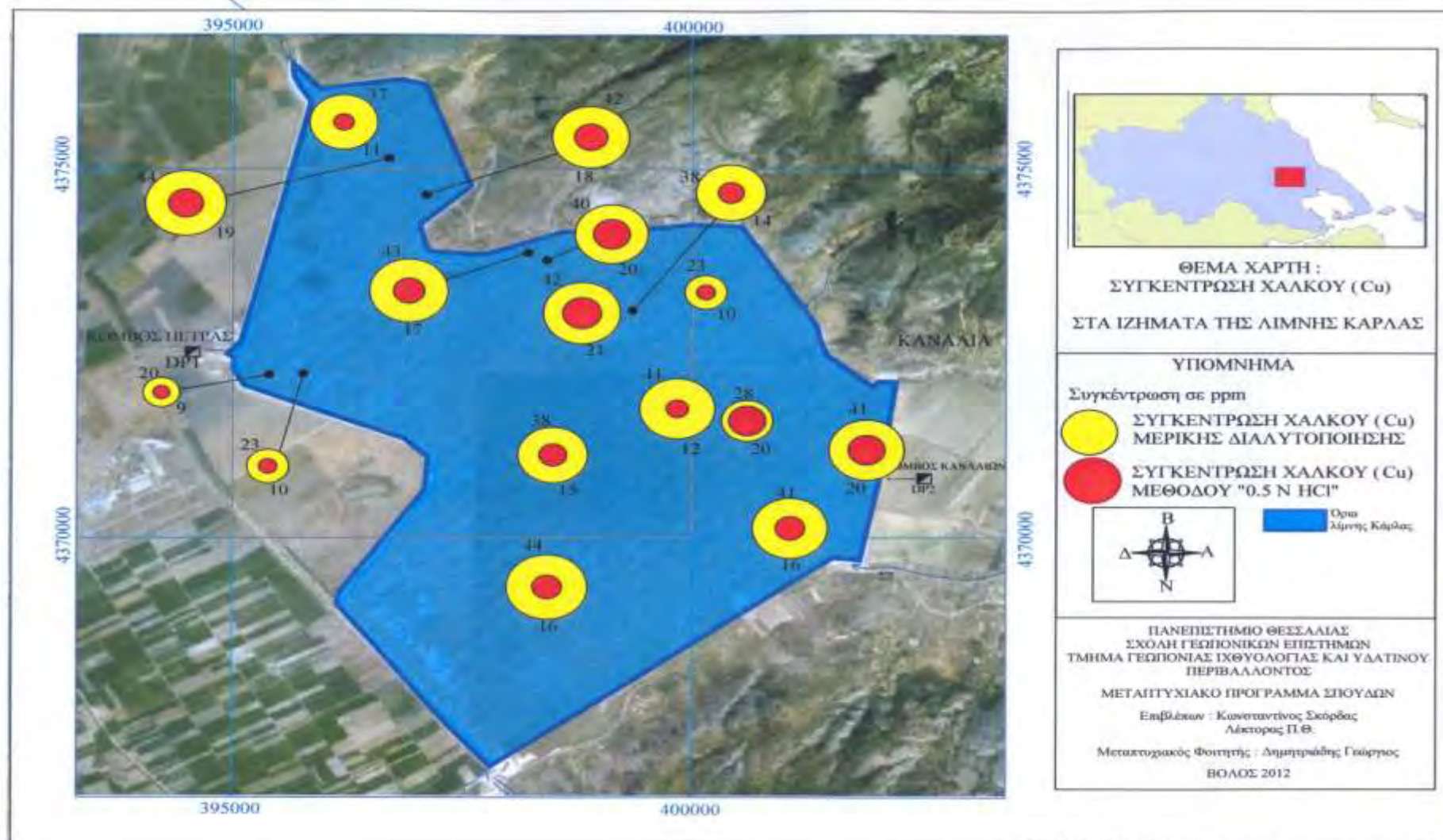


### Χαλκός (Cu)

Το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα δείγματα της λίμνης κυμαίνεται από 20 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως 44 ppm στο δείγμα R<sub>6</sub> με μέση τιμή τα 38 ppm, ενώ το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 9 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως τα 21 ppm στο δείγμα R<sub>1</sub> με μέση τιμή τα 16 ppm. Στα σημεία δειγματοληψίας R<sub>5</sub>, R<sub>7</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>14</sub> και R<sub>15</sub> στο βόρειο, δυτικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ του περιεχόμενου του χαλκού (Cu), ενώ στα σημεία R<sub>8</sub>, R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub>, και R<sub>11</sub> στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας παρατηρούνται μικρότερες διαφορές.

Οι Kabata-Pendias & Pendias (2001) αναφέρουν ότι οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) κυμαίνονται από 60-120 ppm στα βασικά και 10-40 ppm στα υπερβασικά πετρώματα, αλλά και σε θειούχες συγκεντρώσεις. Η φυσική προέλευση του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής, καθώς επίσης και από την αποσάθρωση των πετρωμάτων που περιέχουν θειούχες ενώσεις.

Λόγω της χρήσης του χαλκού (Cu) σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες της περιοχής όπως παραγωγή χαρτοπολτού και λιπασμάτων, μεταλλουργία, βυρσοδεψία (Siegel 2002) (Πιν.3.17: Παράρτημα Γ) καθώς επίσης, και την ύπαρξη λυμάτων και φωσφορικών λιπασμάτων στην περιοχή, που περιέχουν χαλκό σε περιεχόμενο που κυμαίνεται μεταξύ 50-3300 ppm και 1-300 ppm αντίστοιχα (Kabata-Pendias & Pendias 2001) (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ), πολύ πιθανό να είναι τα αίτια για το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του.



**Σχήμα 3.16 :** Χάρτης κατανομής περιεχόμενου χαλκού (Cu) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

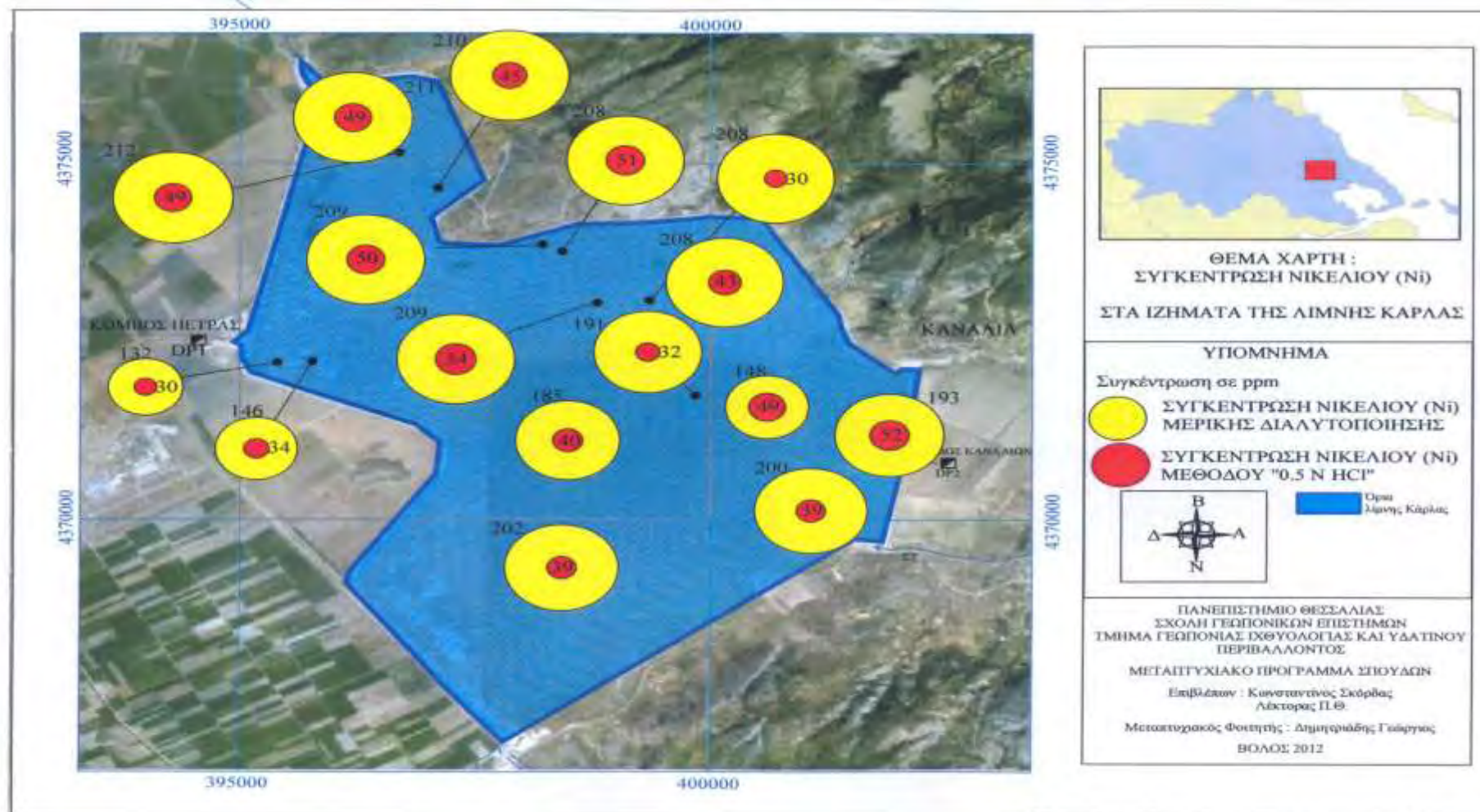
### Νικέλιο (Ni)

Για το νικέλιο (Ni) το περιεχόμενο στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από τα 132 ppm στα δείγματα R<sub>10</sub> έως τα 212 ppm στο δείγμα R<sub>5</sub> με μέση τιμή τα 192 ppm και το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 30 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> έως τα 57 ppm στο δείγμα R<sub>1</sub> με μέση τιμή τα 43 ppm. Το περιεχόμενο του νικελίου κυμαίνεται σε υψηλά ποσοστά.

Σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), και Skordas & Kelepertsis (2005), το περιεχόμενο του νικελίου (Ni) κυμαίνεται από 1400-2000 ppm στα υπερβασικά πετρώματα (δουνίτες, περιδοτίτες, πυρόξεντοι) και από 130-160 ppm στα βασικά (βασάλτης και γάβρος). Επομένως η φυσική προέλευση του στα ιζήματα της λίμνης πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής.

Επίσης σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), τα λύματα περιέχουν νικέλιο σε περιεχόμενο από 16-5300 ppm (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ) αλλά και λόγω της χρήσης του σε διάφορες δραστηριότητες όπως κεραμική, παραγωγή χαρτοπολτού, μεταλλουργία (Siegel 2002) (Πιν. 3.17 Παράρτημα Γ) πολύ πιθανόν να οφείλεται σε αυτούς τους παράγοντες το παρατηρούμενο περιεχόμενο του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης όσον αφορά την ανθρωπογενή του προέλευση.





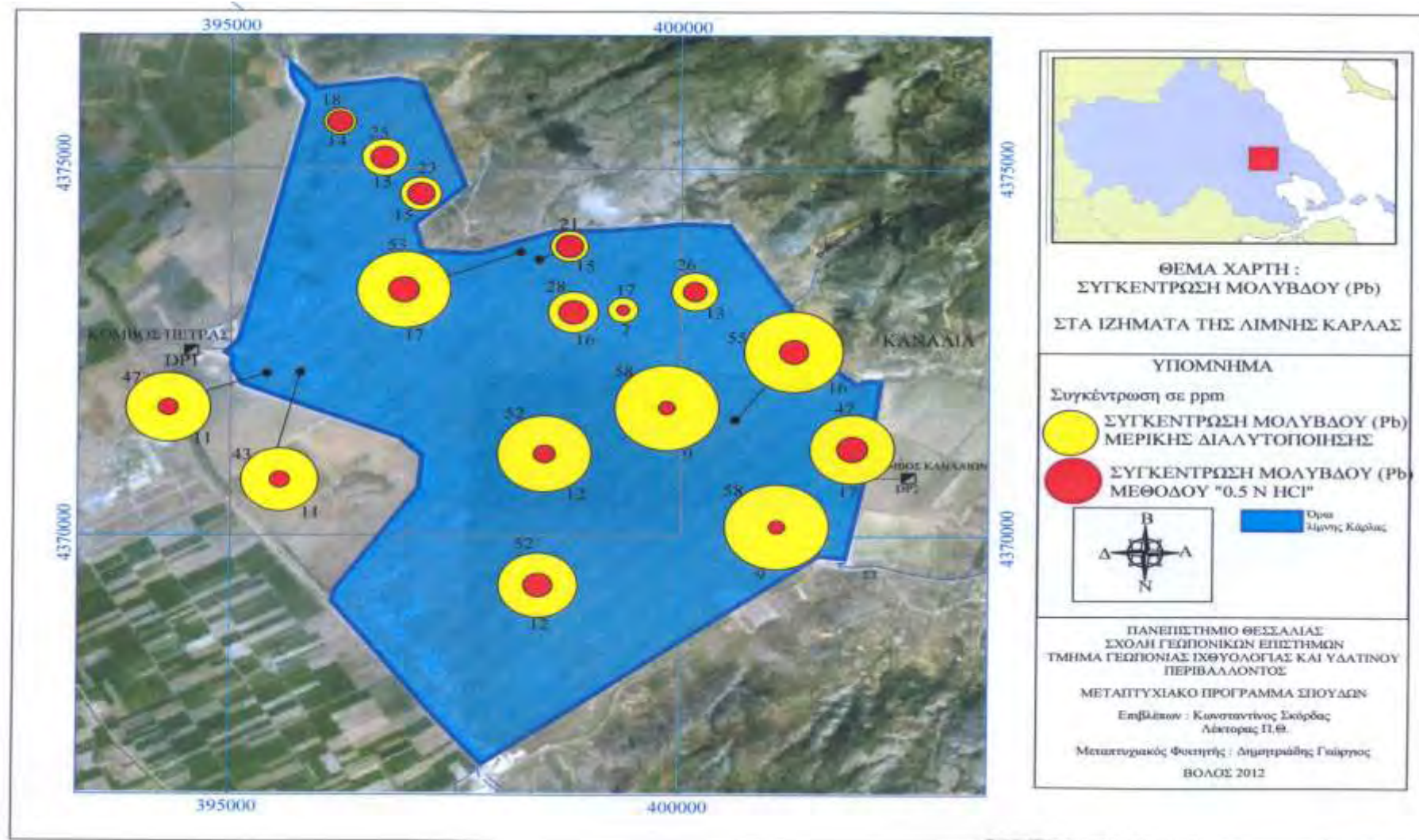
**Σχήμα 3.17:** Χάρτης κατανομής περιεχόμενο νικελίου (Ni) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

### Μόλυβδος (Pb)

Το περιεχόμενο του μολύβδου (Pb) κυμαίνεται μεταξύ των 17 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> και 58 ppm στα δείγματα R<sub>15</sub>, R<sub>16</sub> με μέση τιμή τα 39 ppm, ενώ το περιεχόμενο που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο «0,5 N HCl» κυμαίνεται από τα 7 ppm στο δείγμα R<sub>7</sub> έως τα 17 ppm στα δείγματα R<sub>3</sub>, R<sub>12</sub> με μέση τιμή τα 13 ppm. Για τον μόλυβδο παρατηρούμε ότι τα σημεία R<sub>1</sub> έως R<sub>8</sub> εκτός του R<sub>3</sub> παρουσιάζουν τις μικρότερες διαφορές μεταξύ των δυο περιεχομένων, ενώ τα σημεία R<sub>9</sub> έως R<sub>11</sub> και R<sub>13</sub> έως R<sub>16</sub> τις μεγαλύτερες διαφορές.

Η φυσική προέλευση του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της λίμνης φαίνεται ότι πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής όπως οι γρανίτες, γνεύσιοι και ιζηματογενή πετρώματα που σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) στα πετρώματα αυτά παρατηρείται περιεχόμενο μολύβδου που κυμαίνεται από 15-24 ppm στους γρανίτες και τους γνεύσιους, 20-40 ppm στα αργιλικά ιζήματα και 18-25 ppm στους σχιστόλιθους.

Όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του μολύβδου (Pb) αυτή πιθανόν να προέρχεται από τη χρήση του σε γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες όπως κεραμική, μεταλλουργία, λιπάσματα (Siegel 2002) (Πιν. 3.17: Παράρτημα Γ). Μια άλλη πηγή επίσης, μπορεί να είναι τα λύματα και τα λιπάσματα, όπου σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001) ο μόλυβδος (Pb) βρίσκεται σε περιεχόμενο που κυμαίνεται από 50-3000 ppm στα λύματα, 7-225 ppm στα φωσφορικά και 2-1450 ppm στα αζωτούχα λιπάσματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ).



**Σχήμα 3.18:** Χάρτης κατανομής περιεχομένου μολύβδου (Pb) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

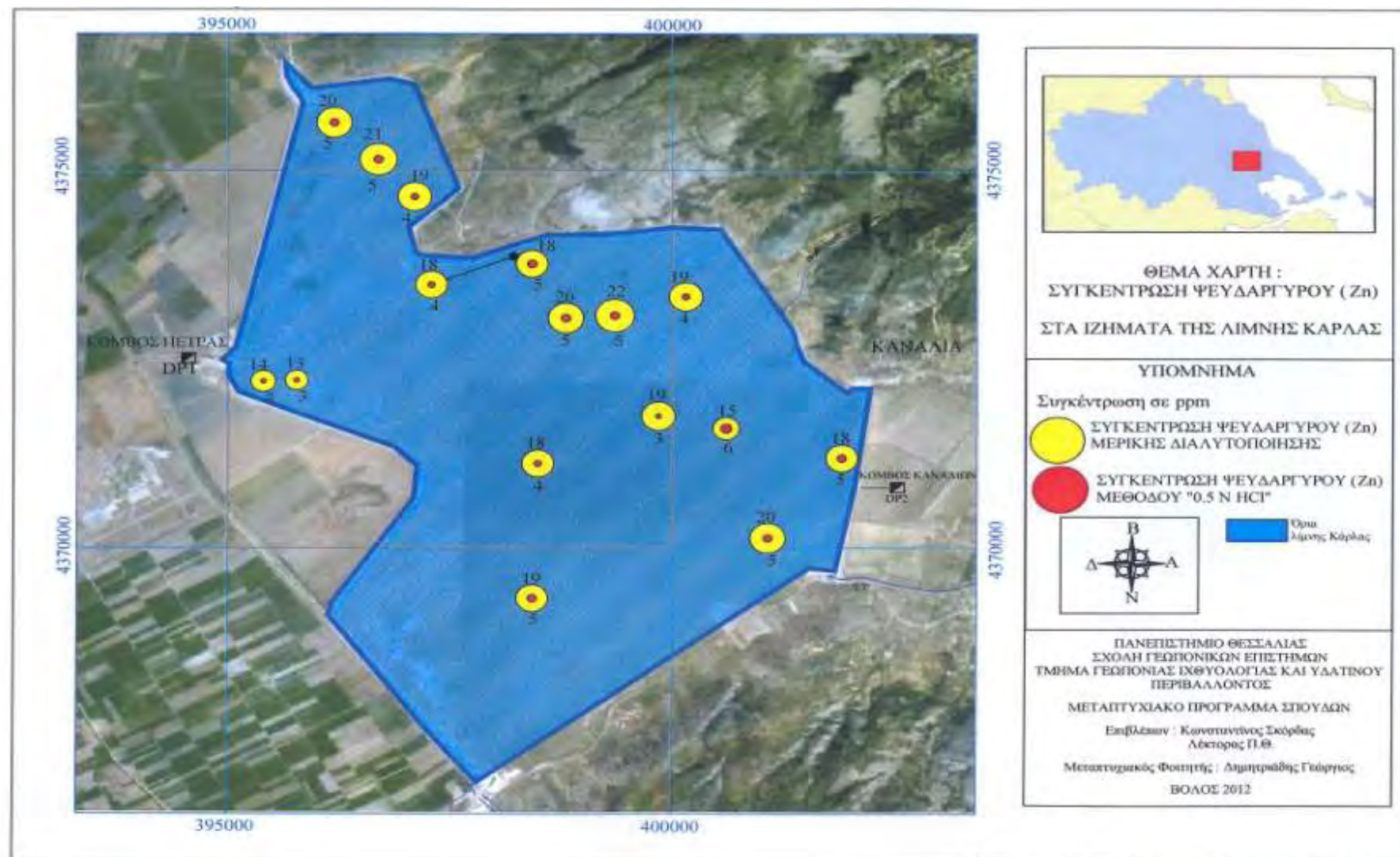
### Ψευδάργυρος (Zn)

Τέλος, το περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της λίμνης κυμαίνεται από τα 13 ppm στο δείγμα R<sub>10</sub> έως τα 22 ppm στο δείγμα R<sub>6</sub> με μέση τιμή τα 18 ppm και το προσδιοριζόμενο με τη μέθοδο «0,5 N HCl» περιεχόμενο κυμαίνεται μεταξύ των 3 ppm στα δείγματα R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> και R<sub>15</sub> και 6 ppm στο δείγμα R<sub>11</sub> με μέση τιμή τα 16 ppm. Οι διαφορές μεταξύ των δυο το περιεχομένων στον ψευδάργυρο είναι μεγάλες σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας.

Η φυσική προέλευση του ψευδαργύρου πιθανόν να οφείλεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής όπως τα βασικά και υπερβασικά. Τα πετρώματα αυτά σύμφωνα με τους Kabata-Pendias & Pendias (2001), περιέχουν ψευδάργυρο σε περιεχόμενο που κυμαίνεται από 80-120 ppm στα βασικά και 40-60 ppm στα υπερβασικά. Επίσης στα ιζηματογενή πετρώματα το περιεχόμενο του ψευδαργύρου κυμαίνεται μεταξύ 80-120 ppm (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

Τα φωσφορικά λιπάσματα και λύματα που όπως αναφέρουν οι Kabata-Pendias & Pendias (2001), περιέχουν ψευδάργυρο σε περιεχόμενο που κυμαίνεται από 50-1450 ppm στα φωσφορικά λιπάσματα. και από 700-4900 ppm στα λύματα (Πιν.3.18: Παράρτημα Γ) και η χρήση του σε διάφορες δραστηριότητες και εφαρμογές όπως μεταλλουργία, κεραμική (Siegel 2002) (Πιν. 3.17: Παράρτημα Γ), είναι τα πιθανότερα αίτια για την συγκέντρωσή του στα ιζήματα της λίμνης όσον αφορά την ανθρωπογενή προέλευση του ψευδαργύρου (Zn) στην περιοχή έρευνας.





**Σχήμα 3.19:** Χάρτης κατανομής περιεχομένου ψευδαργύρου (Zn) μερικής διαλυτοποίησης και μεθόδου «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας

### 3.3. Σχολιασμός περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ιζημάτων της λίμνης Κάρλας.

#### 3.3.1 Σχολιασμός περιεχομένων με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων μερικής διαλυτοποίησης στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας παρατηρούμε ότι τα στοιχεία με το υψηλότερο περιεχόμενο σε όλα τα δείγματα είναι το νικέλιο (Ni) και το χρώμιο (Cr). Το περιεχόμενο τους κυμαίνεται από 132-212 ppm με μέση τιμή 192 ppm αντίστοιχα για το νικέλιο (Ni) και από 127-392 ppm με μέση τιμή 290 ppm για το χρώμιο (Cr). Ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu) και το κοβάλτιο (Co), και ενώ το στοιχείο με το χαμηλότερο περιεχόμενο είναι ο ψευδάργυρος (Zn). Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται τα μέταλλα στα ιζήματα της Κάρλας είναι η ακόλουθη:  $Cr > Ni > Pb > Cu > Co > Zn$ .

Ο αριθμός και τα ποσοστά των δειγμάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τα όρια των κριτηρίων ποιότητας (Sediment Quality Guidelines \_ SQGs) για τα ιχνοστοιχεία κοβάλτιο (Co), χρώμιο (Cr), χαλκό (Cu), νικέλιο (Ni), μόλυβδο (Pb), και ψευδάργυρο (Zn) σε σχέση με την τοξικολογική τους δράση κατά Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al. (1993) παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.19. Χρήσιμες πληροφορίες από τη βιβλιογραφία αναφορικά με το περιεχόμενο των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα διαφόρων λιμνών της Ελλάδος αλλά και άλλων χωρών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.20. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται επίσης και το περιεχόμενο των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας.

**Πίνακας 3.19:** Αριθμός δειγμάτων των επιφανειακών ιζημάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τις τιμές των ERM-ERL , PEL-LEL και SEL- TEL

ιχνοστοιχεία	μέσος όρος και εύρος τιμών Κάρλας	ERM <sup>1</sup>	ERL <sup>2</sup>	PEL <sup>3</sup>	TEL <sup>4</sup>	SEL <sup>5</sup>	LEL <sup>6</sup>	αριθμός δειγμάτων >ERM	% δείγματα >ERM	αριθμός δειγμάτων >ERL	% δείγματα >ERL	αριθμός δειγμάτων >PEL	% δείγματα >PEL	αριθμός δειγμάτων >TEL	% δείγματα >TEL	αριθμός δειγμάτων >SEL	% δείγματα >SEL	αριθμός δειγμάτων >LEL	% δείγματα >LEL
Cr	290 (127-392)	145	80	90	37,3	110	26	15	94	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100
Cu	38 (20-40)	390	70	197	35,7	110	16	0	0	0	0	0	0	13	81	0	0	16	100
Ni	192 (132-212)	50	30	36	18	75	16	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100	16	100
Co	25 (11-36)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	39 (17-58)	110	35	91,3	35	250	31	0	0	9	56	0	0	9	56	0	0	9	56
Zn	18 (13-22)	270	120	315	123	820	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 ERM (Effect Range Median - Μέσο επίπεδο επίδρασης ) (Long and Morgan 1991)

2 ERL (Effect Range low – Χαμηλό επίπεδο επίδρασης ) (Long and Morgan 1991)

3 PEL (Probable Effect Level – Πιθανό επίπεδο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

4 TEL (Threshold Effect Level - Κατώτατο όριο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

5 SEL (Severe Effect Level- Οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης ) (Persaud et al. 1993)

6 LEL (Loewest Effect Level - Οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης )(Persaud et al. 1993)

**Πίνακας 3.20:** Συγκριτικός πίνακας περιεχομένου ιχνοστοιχείων σε ιζήματα της λίμνης Κάρλας με άλλες περιοχές.

Στοιχεία Λίμνες-Ταμιευτήρες		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	Κάρλα <sup>1</sup>	19 (13-26)	285 (141-355)	35 (18-49)	158 (101-194)	35 (28-43)	57 (44-66)
2	Κάρλα <sup>2</sup>	25 (11-36)	290 (127-392)	38 (20-44)	192 (132-212)	39 (17-58)	18 (13-22)
3	Βόλβη <sup>3</sup>	-	23 (21-25)	15 (14-16)	-	12 (11-14)	54 (48-59)
4	Κορώνη <sup>4</sup>	-	32 (27-37)	17 (15-19)	-	20 (16-25)	86 (72-100)
5	Βεγορίτιδα <sup>5</sup>	25 (13-34)	266 (62-706)	37 (16-48)	215 (38-322)	26 (12-40)	88 (50-112)
6	Κουμουνδούρου <sup>6</sup>	-	58 (29-186)	21 (10-46)	28 (16-84)	53 (44-108)	83 (57-176)
7	Τριχωνίδα <sup>7</sup>	-	-	18,9	-	-	47,8
8	Μικρή Πρέσπα <sup>8</sup> (kg/g)	-	-	0,4	2,5	0,2	1,2
9	Βιστωνίδα <sup>9</sup>	-	38,9	43,2	-	58,5	83,7
10	Καστοριά <sup>10</sup>	-	-	19,4	-	31,1	81,2
11	Παμβώτιδα <sup>11</sup>	-	189,26	41,86	121,75	28,22	101,32
12	Lochnagar UK <sup>12</sup>	-	-	139	67	1886	974
13	Jose Antonio Alzate (Reservoir), Mexico, <sup>16</sup>	-	85 (150-145)	35 (15-43)	-	26 (12-76)	145 (92-233)
14	Respomuso Central Pyrenees <sup>11</sup>	15 (7-27)	32 (19-40)	14 (0,08-51)	23 (13-49)	37 (10-152)	82 (48-183)
15	Manchar Pakistan <sup>9</sup>	5 (3-7)	20 (15-28)	21 (16-30)	20 (16-29)	19 (15-22)	96 (54-154)

1: Tzouni 2011, 2: Παρούσα μελέτη, 3-4: Fytianos & Lourantou 2004, 5: Skoulikidis et al. 2008, 6: Karageorgis, Katsanevakis, Kaberi, 2009, 7: Grimanis and others 1964, 8: Grimanis and others 1964, Fytianos and others 1985, 9: Fytianos and others 1985, 10: Fytianos and others 1985, 11: Μπομπονά 2010, 12: Abraham 1998 13: Avila-Perez et al. 1999 14: Zaharescu et al. 2009, 15: Handong Yang & Neil Rose 2004



### **Χρώμιο (Cr)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines–SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL- LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χρώμιο (Cr) διαπιστώνουμε τα εξής:

- 15 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 94%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο του κριτηρίου ERM (145 ppm) και του κριτηρίου ERL (80 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται επιβαρυμένα και αναμένεται να εμφανιστούν συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο του κριτηρίου PEL(90 ppm) και του κριτηρίου TEL(37,5 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται επιβαρυμένα και αναμένεται να εμφανιστούν συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο του κριτηρίου SEL (110 ppm) και του κριτηρίου LEL (26 ppm) Τα ιζήματα θεωρούνται πολύ επιβαρυμένα και αναμένονται τοξικές επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Σύμφωνα λοιπόν με τους Persaud et al.(1993) θεωρούνται πολύ επιβαρυμένα ενώ σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996) τα ιζήματα θεωρούνται επιβαρυμένα, ως προς το χρώμιο (Cr).

Σε σύγκριση του περιεχόμενου του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Από τη σύγκριση του περιεχόμενου του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων άλλων λιμνών της Ελλάδας (Πίν.3.20), διαπιστώνουμε ότι το περιεχόμενο του βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008). ενώ βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών Βόλβης και Κορώνειας (Fytianos & Lourantou 2004), της λίμνης Κουμουνδούρου (Karageorgis, Katsanevakis, Kaberi, 2009), της λίμνης Τριχωνίδας (Grimanis and others 1964), της λίμνης Βιστωνίδας, της λίμνης της Καστοριάς (Fytianos and others 1985), και της λίμνης Παμβώτιδας (Mpromprona 2010). Επειδή εισρέουν ύδατα και στις δύο αυτές λίμνες που αποσαθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα (μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζήματα και μεταμορφωμένα ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα), αυτό το γεγονός εξηγεί γιατί στα ιζήματα της Κάρλας και της Βεγορίτιδας το χρώμιο βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα. Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σύγκριση με αντίστοιχα ιζήματα λιμνών εκτός του ελλαδικού χώρου (Πίν.3.20), παρατηρούμε ότι το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της Κάρλας βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των άλλων λιμνών και ταμιευτήρων (Abraham J. 1998, Avila-Perez et al. 1999, Handong Yang & Neil Rose 2004, Zaharescu et al. 2009).

### **Χαλκός (Cu )**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993)(Πίν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χαλκό (Cu) διαπιστώνουμε τα εξής:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (390 ppm) και του κριτηρίου ERL (70 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυμένα και σπάνια θα αναμένουμε δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 13 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 81%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου PEL (197 ppm) αλλά υψηλότερο του κριτηρίου TEL (35,7 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου SEL (110ppm) και υψηλότερο του κριτηρίου LEL (16ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα και αναμένονται περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Επομένως, τα ιζήματα της περιοχής έρευνας θεωρούνται σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) μη επιβαρυμένα, ενώ σύμφωνα με τους Smith et al.(1996) και Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα ως προς το χαλκό (Cu).

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Σε σύγκριση με το αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου, το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας (Πιν.3.20), βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτά της λίμνης Βιστωνίδας, και της

λίμνης Παμβώτιδας (Mprompona 2010), στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008), ενώ αντίθετα βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στις λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004), της λίμνης Κουμουνδούρου (Karageorgis, Katsanevakis, Kaberi, 2009), της λίμνης Τριχωνίδας (Grimanis and others 1964), και της Λίμνης της Καστοριάς (Fytianos and others 1985)

Σε σχέση με αντίστοιχα ιζήματα λιμνών άλλων χωρών, παρατηρούμε ότι το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της Κάρλας βρίσκεται στα ίδια ή υψηλότερα επίπεδα με αυτά των λιμνών Manchar (Arain et al. 2008), Respomuso (Zaharescu et al. 2009) και του ταμιευτήρα Jose Antonio Alzate (Avila-Perez et al. 1999). Βρίσκεται όμως σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

### **Νικέλιο (Ni)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το νικέλιο (Ni) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο από τα κριτήρια ERM (50ppm) και ERL (30ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται επιβαρυνμένα και επομένως αναμένονται συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο από τα κριτήρια PEL (36 ppm) και TEL (18 ppm). Τα

ιζήματα θεωρούνται επιβαρυνμένα και επομένως αναμένονται συχνά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο από τα κριτήρια SEL (75 ppm) και LEL (16 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται πολύ επιβαρυνμένα και οι δυσμενείς επιδράσεις αναμένεται να εμφανιστούν στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Συμπερασματικά, διαπιστώνουμε ότι τα ιζήματα της περιοχής έρευνας θεωρούνται επιβαρυνμένα ως προς το νικέλιο (Ni) σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996), ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al. (1993) θεωρούνται πολύ επιβαρυνμένα.

Σε σύγκριση του περιεχόμενου του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Το περιεχόμενο του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων άλλων λιμνών της Ελλάδας (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι βρίσκεται σε παρόμοια επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008). Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται από το ότι και στις δυο λίμνες εισρέουν ύδατα που αποσαθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα (μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζήματα και μεταμορφωμένα, ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα). Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σχέση με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι το νικέλιο βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των άλλων

λιμνών και ταμιευτήρων (Abraham J. 1998, Avila-Perez et al. 1999, Handong Yang & Neil Rose 2004, Zaharescu et al. 2009).

### **Κοβάλτιο (Co)**

Τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL- LEL (Persaud et al 1993) δεν περιλαμβάνουν το κοβάλτιο (Co) ως περιβαλλοντικά διαβαθμισμένο μέταλλο.

Το περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι το περιεχόμενο του κοβαλτίου βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulidakis et al. 2008). Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με το ότι και στις δύο λίμνες εισρέουν ύδατα που αποσαθρώνουν γεωλογικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην ίδια γεωλογική ενότητα (μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα, μεταϊζήματα και μεταμορφωμένα, ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα). Τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες και σχιστόλιθους.

Σε σχέση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι το κοβάλτιο (Co) παρουσιάζει υψηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες Respomuso (Zaharescu et al. 2009) και Manchar (Arain et al. 2008).

### Μόλυβδος (Pb)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το μόλυβδο (Pb) διαπιστώνουμε ότι:

- 9 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 56%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (110 ppm), αλλά υψηλότερο του κριτηρίου ERL (35 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα και αναμένονται περιστασιακά τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 9 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 56%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου PEL (91,3 ppm), αλλά υψηλότερο του κριτηρίου TEL (35 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα και αναμένονται περιστασιακά τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
- 13 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 81 %) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου SEL (250 ppm) και υψηλότερο του κριτηρίου LEL (31 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα και αναμένονται τοξικές επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.

Τα ιζήματα επομένως σύμφωνα με τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα ως προς το μόλυβδο (Pb).

Το περιεχόμενο του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.



Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του μολύβδου στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων άλλων ελληνικών λιμνών (Πιν.3.20), διαπιστώνουμε ότι ο μολύβδος (Pb) βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτά της λίμνης Κουμουνδούρου (Karageorgis, Katsanevakis, Kaberi, 2009) και της λίμνης Βιστωνίδας (Fytianos and others 1985), στα ίδια περίπου επίπεδα με αυτά της λίμνης της Καστοριάς (Fytianos and others 1985), ενώ αντίθετα βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στις λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Laurantou 2004), της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008) και της λίμνης Παμβώτιδας (Mprompona 2010), Σε σχέση με αντίστοιχο περιεχόμενο ιζημάτων λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι ο μολύβδος (Pb) εμφανίζεται με υψηλότερο ή παρόμοιο περιεχόμενο, εκτός από την λίμνη Lochnagar (Handong Yang & Neil Rose 2004).

### **Ψευδάργυρος (Zn)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.19) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τον ψευδάργυρο (Zn) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (270 ppm), του κριτηρίου ERL (120 ppm), του κριτηρίου PEL (315 ppm), του κριτηρίου TEL (123 ppm), του κριτηρίου SEL (820 ppm) και του κριτηρίου LEL (120 ppm). Τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυνμένα και δεν αναμένονται τοξικές επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη επιβαρυσμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn).

Το περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.20), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό.

Από τη σύγκριση του περιεχόμενου του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχα ευρήματα άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πίν. 3.20), διαπιστώνουμε ότι το περιεχόμενο του βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά της λίμνης Βεγορίτιδας (Skoulikidis et al. 2008), των λιμνών Βόλβης και Κορώνειας (Fytianos & Lourantou 2004), της λίμνης Κουμουνδούρου (Karageorgis, Katsanevakis, Kaberi, 2009), της λίμνης Τριχωνίδας (Grimanis and others 1964), της λίμνης Βιστωνίδας, της λίμνης της Καστοριάς (Fytianos and others 1985), και της λίμνης Παμβώτιδας (Mprompona 2010).

Σε σχέση με τα ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.20), παρατηρούμε ότι ο ψευδάργυρος (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας εμφανίζεται με χαμηλότερα επίπεδα περιεχόμενου από αυτά των άλλων λιμνών και ταμιευτήρων (Abraham J. 1998, Avila-Perez et al. 1999, Handong Yang & Neil Rose 2004, Zaharescu et al. 2009).

### 3.3.2 Σχολιασμός συγκεντρώσεων μεθόδου «0,5 N HCl»

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μέθοδο «0,5 N HCl» στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας προκύπτει ότι το χρώμιο (Cr) είναι το στοιχείο με το υψηλότερο περιεχόμενο, που κυμαίνεται από 32-61 ppm με μέση τιμή τα 48 ppm. Ακολουθούν

κατά φθίνουσα σειρά το νικέλιο (Ni), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), το κοβάλτιο (Co) και ο ψευδάργυρος (Zn). Τα περισσότερα στοιχεία δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις τιμών μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Αποκλίσεις παρατηρούμε σχετικά με το περιεχόμενο του χρωμίου μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται τα μέταλλα στα ιζήματα της Κάρλας είναι η ακόλουθη:  $Cr > Ni > Pb > Cu > Co > Zn$ .

Στον Πίνακα 3.21 παρουσιάζεται ο αριθμός και τα ποσοστά των δειγμάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τα όρια των κριτηρίων ποιότητας (Sediment Quality Guidelines – SQGs) για τα ιχνοστοιχεία Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn σε σχέση με την τοξικολογική τους δράση κατά Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al. (1993) και στον Πίνακα 3.22 παρουσιάζεται το περιεχόμενο των ιχνοστοιχείων που έχουν ανθρωπογενή προέλευση στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας καθώς και διαφόρων λιμνών άλλων περιοχών.

**Πίνακας 3.21:** Αριθμός δειγμάτων των επιφανειακών ιζημάτων της λίμνης Κάρλας που υπερβαίνουν τις τιμές των ERM -ERL, PEL-LEL και SEL- TEL

ιχθυοστοιχεία	μέσος όρος και έυρος τιμών Κάρλας	ERM <sup>1</sup>	ERL <sup>2</sup>	PEL <sup>3</sup>	TEL <sup>4</sup>	SEL <sup>5</sup>	LEL <sup>6</sup>	αριθμός δειγμάτων >ERM	% δειγμάτων >ERM	αριθμός δειγμάτων >ERL	% δειγμάτων >ERL	αριθμός δειγμάτων >PEL	% δειγμάτων >PEL	αριθμός δειγμάτων >TEL	% δειγμάτων >TEL	αριθμός δειγμάτων >SEL	% δειγμάτων >SEL	αριθμός δειγμάτων >LEL	% δειγμάτων >LEL
Cr	48 (32-61)	145	80	90	37,3	110	26	0	0	0	0	0	0	12	75	0	0	16	100
Cu	16 (9-21)	390	70	197	35,7	110	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	63
Ni	43 (30-54)	50	30	36	18	75	16	4	25	16	100	12	75	16	100	0	0	16	100
Co	10 (7-12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	13 (7-17)	110	35	91,3	35	250	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	4 (3-6)	270	120	315	123	820	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 ERM (Effect Range Median - Μέσο επίπεδο επίδρασης ) (Long and Morgan 1991)

2 ERL (Effect Range low – Χαμηλό επίπεδο επίδρασης ) (Long and Morgan 1991)

3 PEL (Probable Effect Level – Πιθανό επίπεδο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

4 TEL (Threshold Effect Level - Κατώτατο όριο επίδρασης) (Smith et al. 1996)

5 SEL (Severe Effect Level- Οριακό επίπεδο πολλαπλής επίδρασης) (Persaud et al. 1993)

6 LEL (Loewest Effect Level - Οριακό επίπεδο ελάχιστης επίδρασης )(Persaud et al. 1993)

**Πίνακας 3.22:** Συγκριτικός πίνακας περιεχόμενου ιχνοστοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης σε ιζήματα της λίμνης Κάρλας με άλλες περιοχές.

Στοιχεία Λίμνες- Ταμιευτήρες		Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	Κάρλα <sup>1</sup>	28 (11-40)	14 (11-19)	22 (17-26)	49 (42-57)	20 (16-23)	16 (12-20)
2	Κάρλα <sup>2</sup>	10 (7-12)	48 (32-61)	16 (9-21)	43 (30-54)	13 (7-17)	4 (3-6)
3	Βόλβη <sup>3</sup>		13 (13-14)	47 (45-49)		46 (41-51)	38 (35-41)
4	Κορώνια <sup>4</sup>		21 (18-23)	41 (37-45)		55 (50-60)	43 (38-48)
5	Baringo Kenya <sup>5</sup>	1	3	18	35	20	188
6	Bogoria Kenya <sup>6</sup>	0,5	2	3	21	30	183
7	Lochnagar UK <sup>7</sup>			54	30	1348	399
8	Loch Chon UK <sup>8</sup>			542	324	4191	3512
9	Burnmoor Tarn UK <sup>9</sup>			175	139	762	1746
10	Llyn Llagi UK <sup>10</sup>			463	412	2982	3325

1: Tzouni 2011, 2: Παρούσα μελέτη, 3-4: Fytianos & Lourantou 2004, 5-6: Ochienget al.2007, 7-10: Handong Yang & Neil Rose 2004

### Χρώμιο (Cr)

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-SEL (Persaud et al 1993) (Πιν.3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τις τιμές του χρωμίου (Cr) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο των κριτηρίων ERM (145 ppm) και ERL (80 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη επιβαρυσμένα.

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο των κριτηρίων PEL (90 ppm) αλλά υψηλότερο από το κριτήριο TEL(37,3 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μέτρια επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου SEL (110 ppm) αλλά υψηλότερο από το κριτήριο LEL (26ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μέτρια επιβαρυμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) θεωρούνται μη επιβαρυμένα, ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al.(1993) θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα ως προς χρώμιο (Cr).

Το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.22), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Από τη σύγκριση του περιεχομένου του χρωμίου (Cr) στα ιζήματα της Κάρλας με τα δεδομένα του Πίνακα 3.22, διαπιστώνουμε ότι το περιεχόμενο του χρωμίου (Cr) βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τη λίμνη Κορώνεια και με αυτά της λίμνης Βόλβης (Fytianos & Laurantou 2004). Σε σχέση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών, παρατηρούμε ότι τα ιζήματα της Κάρλας εμφανίζουν περιεχόμενο χρωμίου (Cr) σε υψηλότερα επίπεδα από τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007).

### **Χαλκός (Cu)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-

SEL(Persaud et al 1993) (Πιν.3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το χαλκό (Cu) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (390 ppm) και του κριτηρίου ERL (70 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου PEL (197 ppm) και του κριτηρίου TEL (35,7 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου SEL (110 ppm) αλλά υψηλότερο από το κριτήριο LEL (16 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991) και Smith et al. (1996) θεωρούνται μη επιβαρυμένα ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al.(1993) θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα ως προς το χαλκό (Cu).

Το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.22), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του χαλκού (Cu) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας με αντίστοιχα περιεχόμενα ιζημάτων άλλων λιμνών του ελλαδικού χώρου (Πιν. 3.22), διαπιστώνουμε ότι ο χαλκός (Cu) εμφανίζει περιεχόμενο σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004).

Σε σχέση με αντίστοιχα ευρήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν.3.22) παρατηρούμε ότι τα ιζήματα της Κάρλας εμφανίζουν περιεχόμενο χαλκού (Cu) σε υψηλότερα επίπεδα από



αυτά των λιμνών της Κένυας (Ochieng et al.,2007), αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

### **Νικέλιο (Ni)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM- ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL (Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για το νικέλιο (Ni) διαπιστώνουμε ότι:

- 4 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 25 %) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο των κριτηρίων ERM (50 ppm) και ERL (30 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο υψηλότερο από τα κριτήρια PEL (36ppm) και TEL (18 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται επιβαρυμένα.
- 12 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 75%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου SEL (75 ppm) αλλά υψηλότερο του κριτηρίου τοξικότητας LEL (16 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) θεωρούνται επιβαρυμένα ενώ σύμφωνα με τους Persaud et al. (1993) θεωρούνται μέτρια επιβαρυμένα ως προς το νικέλιο (Ni).

Το περιεχόμενο του νικελίου (Ni) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.22), που πραγματοποιήθηκε

τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του νικελίου στα ιζήματα της Κάρλας με αντίστοιχα περιεχόμενα ιζημάτων άλλων λιμνών εκτός του ελλαδικού χώρου (Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι το νικέλιο (Ni) εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα περιεχόμενου σε σχέση με τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007), αλλά χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

### **Κοβάλτιο (Co)**

Τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL-SEL (Persaud et al 1993) δεν περιλαμβάνουν το κοβάλτιο ως περιβαλλοντικά διαβαθμισμένο μέταλλο.

Το περιεχόμενο του κοβαλτίου (Co) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πιν.3.22), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του κοβαλτίου στα ιζήματα της Κάρλας με αντίστοιχες περιεχόμενα ιζημάτων άλλων λιμνών, διαπιστώνουμε ότι το κοβάλτιο (Co) παρουσιάζει συγκεντρώσεις σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά των λιμνών της Κένυας (Πιν. 3.22).

### **Μόλυβδος (Pb)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και SEL-LEL

(Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τις τιμές του μολύβδου διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (110 ppm) και του κριτηρίου ERL (35 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυνμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου PEL (91.3 ppm) και του κριτηρίου TEL (35 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυνμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου LEL (31 ppm) και του κριτηρίου SEL (250 ppm) και τα ιζήματα θεωρούνται μη επιβαρυνμένα.

Επομένως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη επιβαρυνμένα ως προς το μόλυβδο (Pb).

Το περιεχόμενο του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.22), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του μολύβδου (Pb) στα ιζήματα της Κάρλας με ιζήματα άλλων ελληνικών λιμνών (Πιν. 3.22), διαπιστώνουμε ότι ο μόλυβδος παρουσιάζει περιεχόμεν σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004) και σε σύγκριση με ιζήματα λιμνών άλλων χωρών (Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι ο μόλυβδος (Pb) εμφανίζεται με παρόμοια επίπεδα περιεχόμενου με

τις λίμνες της Κένυας (Ochieng et al. 2007), αλλά με χαμηλότερα επίπεδα περιεχόμενου από ότι οι λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004).

### **Ψευδάργυρος (Zn)**

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines –SQGs) ERM-ERL (Long & Morgan 1991), PEL-TEL (Smith et al. 1996) και LEL- SEL (Persaud et al 1993) (Πιν. 3.21) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας για τον ψευδάργυρο (Zn) διαπιστώνουμε ότι:

- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου ERM (270 ppm) και του κριτηρίου ERL (120 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου PEL (315 ppm) και του κριτηρίου TEL(123 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη επιβαρυμένα.
- 16 από τα 16 δείγματα της περιοχής έρευνας (ποσοστό 100%) παρουσιάζουν περιεχόμενο χαμηλότερο του κριτηρίου τοξικότητας LEL (120 ppm) καθώς και του κριτηρίου SEL (820 ppm) και τα ιζήματα κρίνονται ως μη επιβαρυμένα.

Επομένως, τα ιζήματα της περιοχής έρευνας σύμφωνα τους Long & Morgan (1991), Smith et al. (1996) και Persaud et al.(1993) θεωρούνται μη επιβαρυμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn).

Το περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συγκρινόμενο με το αντίστοιχο περιεχόμενο της πρώτης δειγματοληψίας (Πίν.3.22), που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2010 (Tzouni 2011), παρατηρούμε ότι βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό.

Συγκρίνοντας το περιεχόμενο του ψευδαργύρου (Zn) στα ιζήματα της περιοχής έρευνας με αντίστοιχα περιεχόμενα ιζημάτων διαφόρων άλλων λιμνών (Πιν. 3.22), παρατηρούμε ότι ο ψευδάργυρος (Zn) παρουσιάζει χαμηλότερα επίπεδα περιεχόμενου από ότι οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (Fytianos & Lourantou 2004) και σε σχέση με τις λίμνες άλλων χωρών βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα περιεχόμενου από τις λίμνες της Αγγλίας (Handong Yang & Neil Rose 2004) και της Κένυας (Ochieng et al. 2007).

#### 3.4 Συσχέτιση δεδομένων των μεθόδων «0,5N HCl» και μερικής διαλυτοποίησης.

Τα δεδομένα της μεθόδου « 0,5 N HCl » για τα χημικά στοιχεία Co, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα δεδομένα της μερικής διαλυτοποίησης. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ποσοστού επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που κατανέμονται στα ιζήματα της περιοχής έρευνας σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές», δηλαδή σε θέσεις ιοντοανταλλαγής (προσροφημένα) και συνδεδεμένα με διάφορες φάσεις. Στον Πίνακα 3.23 παρουσιάζονται τα ποσοστά επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που βρίσκονται σε θέσεις ιοντοανταλλαγής με τη μέθοδο « 0,5 N HCl » από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

**Πίνακας 3.23:** Ποσοστό επί τοις εκατό ( %) των μετάλλων που βρίσκονται σε θέσεις ιοντοανταλλαγής από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Ιχνοστοιχεία Δείγματα		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	R1	34	18	50	26	57	25
2	R2	34	15	50	24	71	28
3	R3	32	15	40	24	32	22
4	R4	30	14	38	21	51	21
5	R5	32	17	43	23	51	24
6	R6	39	27	43	23	78	25
7	R7	27	14	30	14	41	14
8	R8	67	26	37	21	50	21
9	R9	82	18	43	23	26	21
10	R10	50	16	45	23	23	23
11	R11	73	48	71	33	29	40
12	R12	55	17	49	27	36	28
13	R13	41	11	39	22	23	22
14	R14	43	13	36	19	23	26
15	R15	35	11	29	17	15	16
16	R16	45	15	39	19	19	25
Μέσος όρος		45	18	43	22	39	24

Στον Πίνακα 3.24 παρουσιάζονται συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για το ποσοστό επί τοις εκατό % των μετάλλων που κατανέμεται σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές» στα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

**Πίνακας 3.24** Στατιστικά στοιχεία του ποσοστού επί τοις εκατό (%) των μετάλλων που βρίσκονται σε θέσεις ιοντοανταλλαγής από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας.

Ιχνοστοιχεία	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Co	45	27	82
Cu	43	29	71
Pb	39	15	78
Zn	24	14	40
Ni	22	14	27
Cr	18	11	48

Από τον Πίνακα 3.23 διαπιστώνουμε τα ακόλουθα:

- Για το κοβάλτιο (Co) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας είναι μέτρια και κυμαίνονται από 27% έως 82% με μέση τιμή 45%.
- Για το χρώμιο (Cr) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 11% και 48% με μέση τιμή τα 18%.
- Για τον χαλκό (Cu) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται από 29% έως 71% με μέση τιμή 43%.
- Για το νικέλιο (Ni) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 14% και 27% με μέση τιμή τα 22%.
- Για τον μόλυβδο (Pb) τα δείγματα εμφανίζουν μέτρια ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαινόμενα μεταξύ 15% και 78% με μέση τιμή τα 39%.
- Για τον ψευδάργυρο (Zn) τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 14% και 40% με μέση τιμή τα 24%.

Η σειρά βιοδιαθεσιμότητας των αναλυθέντων στοιχείων στην περιοχή έρευνας είναι η εξής:  $\text{Co} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr}$ .

Τα ιζήματα της περιοχής έρευνας έχουν χαμηλά σχετικά περιεχόμενα στα χημικά στοιχεία κοβάλτιο (Co), χαλκός (Cu) και μόλυβδος (Pb). Τα ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας τους όμως είναι τα υψηλότερα (κοβάλτιο 45%, χαλκός 43% και μόλυβδος 39%) σε σχέση με τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία της έρευνας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ποσότητα των ιχνοστοιχείων αυτών είναι δεσμευμένη στα ιζήματα με τρόπο που επιτρέπει την απελευθέρωσή τους στο υδάτινο περιβάλλον ή τους οργανισμούς, αν δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες. Αντίθετα, τα ιχνοστοιχεία ψευδάργυρος (Zn) και νικέλιο (Ni) που εμφανίζονται με υψηλά περιεχόμενα στα ιζήματα παρουσιάζουν μικρά ποσοστά βιοδιαθεσιμότητας.



#### 4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από την ερμηνεία και αξιολόγηση των περιεχόμενων των ιχνοστοιχείων στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας συμπεραίνουμε τα ακόλουθα.

1. Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία απαντώνται τα ιχνοστοιχεία στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας, σύμφωνα με τη μέση τιμή των περιεχόμενων ιχνοστοιχείων της μεθόδου μερικής διαλυτοποίησης είναι η ακόλουθη:  
 $Cr > Ni > Pb > Cu > Co > Zn$ .
2. Η σειρά σχετικής αφθονίας με την οποία τα ιχνοστοιχεία απαντώνται στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας, σύμφωνα με τη μέση τιμή των περιεχόμενων ιχνοστοιχείων ανθρωπογενούς προέλευσης, είναι:  
 $Cr > Ni > Cu > Pb > Co > Zn$ .
3. Τα ιχνοστοιχεία χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni) παρουσιάζουν αυξημένες τιμές περιεχόμενων.
4. Διαπιστώνεται μια χωρική κατανομή των περιεχόμενων του κοβαλτίου (Co), του χρωμίου (Cr), του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni), του μολύβδου (Pb) και του ψευδαργύρου (Zn) στην περιοχή έρευνας που παρουσιάζεται στους γεωχημικούς χάρτες και εξαρτάται από την εισροή των υδάτων και την γεωλογία της περιοχής.
5. Σύμφωνα με τη μέθοδο μερικής διαλυτοποίησης, τα προσδιοριζόμενα περιεχόμενα των ιχνοστοιχείων Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn ταξινομούν τα ιζήματα της περιοχής έρευνας στις παρακάτω κατηγορίες:
  - Μη επιβαρυνμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και δεν αναμένεται η εμφάνιση δυσμενών επιδράσεων στους βενθικούς οργανισμούς.

- Μη επιβαρυμένα έως μέτρια επιβαρυμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και αναμένεται να εμφανιστούν, σπάνια ή περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
  - Μέτρια επιβαρυμένα ως προς το μόλυβδο (Pb) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
  - Επιβαρυμένα έως πολύ επιβαρυμένα ως προς το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni) και οι δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών αναμένεται να εμφανιστούν συχνά.
6. Τα προσδιοριζόμενα με τη μέθοδο «0,5N HCl» περιεχόμενα των ιχνοστοιχείων Cu, Co, Cr, Ni, Pb και Zn ταξινομούν τα ιζήματα της περιοχής έρευνας στις παρακάτω κατηγορίες:
- Μη επιβαρυμένα ως προς τον ψευδάργυρο (Zn) και το μόλυβδο (Pb) και δεν αναμένονται δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς.
  - Μη επιβαρυμένα έως μέτρια επιβαρυμένα ως προς τον χαλκό (Cu) και το χρώμιο (Cr) και οι δυσμενείς επιδράσεις στους βενθικούς οργανισμούς αναμένεται να εμφανιστούν σπάνια ή περιστασιακά.
  - Μέτρια επιβαρυμένα ως επιβαρυμένα για το νικέλιο (Ni) και αναμένεται να εμφανιστούν περιστασιακά έως συχνά δυσμενείς επιδράσεις στην πλειοψηφία των βενθικών οργανισμών.
7. Το ποσοστό των ιχνοστοιχείων που κατανέμονται σε θέσεις περιβαλλοντικά «ενεργές» στα ιζήματα της περιοχής έρευνας προσδιορίστηκε για το Co σε 45%, για το Cu σε 43%, για το Pb σε 39%, για τον Zn σε 24%, για το Ni σε 22%, και για το Cr σε 18% .

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Η συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων και χημικών στοιχείων που υποβαθμίζουν και προκαλούν επιβάρυνση – ρύπανση στη λίμνη Κάρλα, ώστε να έχουμε μια χρονοσειρά δεδομένων εις τρόπον ώστε να μπορέσουμε με ασφαλή τρόπο να προσδιορίσουμε τις πηγές (φυσικές – ανθρωπογενείς) επιβάρυνσης – ρύπανσης για την προστασία του οικοσυστήματος.
2. Να ερευνηθούν οι μέχρι τώρα επιδράσεις στους υδρόβιους οργανισμούς της λίμνης Κάρλα από τα τοξικά χημικά στοιχεία για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε κατά πόσο τα στοιχεία που βρίσκονται σε «ενεργές περιβαλλοντικές θέσεις» εισέρχονται στους οργανισμούς.
3. Για την προστασία του οικοσυστήματος χρειάζεται συνεργασία με άλλους επιστημονικούς κλάδους που θα οδηγήσει στην κατανόηση των επιβαρυντικών παραγόντων και την πιθανή αποκατάσταση αυτού.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξένη βιβλιογραφία

- Abraham J. (1998) Spatial distribution of major and trace elements in shallow reservoir sediments: an example from Lake Waco Texas. *Environmental Geology*, 36 :3–4
- Adriano D.C. (1986) Trace elements in the terrestrial environment, Springer-Verlag, New York, p. 533
- Agemian H., Chau Y.S.A.(1976) Evaluation of Extraction Techniques for the Determination of Metals in Aquatic Systems. *The Analyst*, 101:761-767
- Ananiadis C.I.(1956) Limnological study of lake Karla. *Bulletin de l' Institut Oceanographique* 1083: 1-19
- Andreae M.O., Asami T., Bertine K.K., Buat-Menard P., Duce R.A., Filip Z., Forstner U., Goldberg E.D., Heinrichs H., Jernelof A.B., Pacyna J.M., Thornton I., Tobschall H.J. and Zoller Z.H. (1984) Changing Biogeochemical Cycles. In : *Changing Metal Cycles and Human Health*, Nriagu J.O. (Ed), Springer-Verlag, Berlin, p. 359-373.
- Angelidis M., Grimanis A.P. (1987) Arsenic geochemistry in sediments near the Athens Sewage Outfall, *Marine Pollution Bulletin*, 18:297-298
- Arain M.B., Kazi T.G., Jamali M.K., Jalbani N., Afridi H.I., Shah A. (2008) Total dissolved and bioavailable elements in water and sediment samples and their accumulation in *Oreochromis mossambicus* of polluted Manchar Lake *Chemosphere*, 70:1845-1856
- Aubouin J. (1959) Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale les confins de l' Epire et de la Thessalie. *Ann. geol. Pays Hellen.*, 10 : 1-525
- Avila-Pérez P., Balcázar M., Zarazúa-Ortega G. Barceló-Quintal I., Díaz-Delgado C. (1999) Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a Mexican reservoir *The Science of The Total Environment*, 234:185-196
- Bettinelli M., Beone G.M., Spezia S., Baffi C.(2000) Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis *Analytica Chimica Acta*, 424:289-296
- Bruland K.W., Bertine K., Koide M. and Goldberg E.D. (1974) History of metal pollution in Southern California coastal zone. *Environ. Sci. Technol.*, 9: 756-761
- Brunn J.(1956) Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macedoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hellen.* 7: 1-358
- Bryan G.W.(1976) Heavy metal concentration in the sea. in: *Marine Pollution*, Johnston R (ed.), Academic Press, London and N.Y. p. 185-302
- Burgess M.R., Scott K.J. (1992) The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: processes and effects .In *Burton G.A. (Ed), Sediment Toxicity Assessement*, Lewis Publishers London p. 221-240
- Burton G.A. Jr (2002) Sediment quality criteria in use around the world *Limnology* 3:65–75
- Cambell P.G.C., Lewis A.G., Chapman P.M., Crowder A.A., Flether W.K., Imber B., Luoma S.N., Stokes P. M., Winfrey M.(1988) Biologically Available Metals in Sediments National Research Council of Canada, Publ., NRCC 27694, Ottawa
- Chester R., Voutsinou G.F. (1981) The Initial Assessment of Trace Metal Pollution in Coastal Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 12:84-91

- Connell W. and Miller G.J. (1984) *Chemistry and Ecotoxicology of pollution*. John Wiley & Sons, N. York.
- Cotton F.A., Wilkinson G. (1983) *Advanced Inorganic Chemistry*, 4<sup>th</sup> ed. J Wiley & Sons, New York.
- Cui Y.J., Zhu Y.G., Zhai R.H., Chen D.Y., Huang Y.Z., Qiu Y., Liang J.Z. (2004) Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China, *Environment International*, 30: 785-791
- Cui Y.J., Zhai R.H., Huang Y.Z., Qu Y., Liang J.Z. (2005) Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning China. *Environment International*, 31: 784-790.
- Filippidis A., Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A., Misaelides P., Yiakkoupis P., Broussoulis J. (1996) Trace element contents in composite samples of three lignite seams from the central part of the Drama lignite deposit, Macedonia, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 29: 219-234
- Forstner U., Wittmann G.T.W. (1983) *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin
- Förstner U., Salomons W. (1984) Trace elements speciation in surface waters: interactions with particulate matter. Leppard G. (ed). *National Water Research institute*, Burlington, Canada, p. 245
- Forstner U., Heise, S. (2006) Assessing and managing contaminated sediments: requirements in data quality from molecular to river basin scale. *Croatica Chemica Acta*, 79:5–14
- Fytianos K., Samanidou B., Aggelidis T. (1985) Pollution of the major rivers and lakes in northern Greece by heavy metals. In: *Union of Greek Chemists (ed) Proc 10th Panhellenic Chemical Conference*. Athens, p. 389–393
- Fytianos K., Lourantou A. (2004) Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, N.Greece. *Environment International*, 30:11–17.
- Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Iordanidis A., Fernández-Turiel J.L., Llorens J.F. and Gimeno D. (2002a) Environmentally important elements in fly ashes and their leachates of the power stations of Greece. *Energy Sources*, 24: 83-91
- Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Fernández-Turiel J.L., Llorens J.F. and Mousty F. (2002b) Leachability of major and trace elements of fly ash from Ptolemais power station, Northern Greece. *Energy Sources*, 24: 103-113.
- Grimanis A., Pantazis G., Papadopoulou C., Tsanos N. (1964) Determination of trace elements in the Greek lakes by neutron-activation analysis. In: *Proc of the 3rd United Nations Conf. on peaceful uses of atomic energy*, 15:412–419
- Handong Yang, Neil Rose (2004) Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environment International* 31: 63-75
- Hestberg D. (1998) Biochemical cycles and processes leading to changes in mobility of chemicals in soils. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 67: 121-133
- Hou A, DeLaune R.D., Tan M., Reams M. Laws E (2009) *Toxic Elements in Aquatic Sediments: Distinguishing Natural Variability from Anthropogenic Effects*. Water, Air, and Soil Pollution, 203:179-191
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*, 3<sup>rd</sup>. CRC Press LLC, Poland, pp 411.

- Karadede H., Unlu E. (2000) Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41 :1371–1376.
- Karageorgis AP., Katsanevakis S., Kaberi H., (2009) Use of enrichment factors for the assessment of heavy metal contamination in the sediments of Koumoundourou Lake, Greece. *Water, Air and Soil Pollution* 204: 243–258
- Kolovos N., Georgakopoulos A., Filippidis A., Kavouridis C. (2002) Environmental effects of lignite and intermediate steriles coexcavation in the Southern lignite field mine of Ptolemais, Northern Greece. *Energy Sources*, 24: 561-573
- Koutseris E. (1987) Soil study of 350 ha of Karla. Greek Centre for Productivity, Volos Office, pp 22.
- Koutseris E. (1989) Land reclamation, crop production, rural sociological problems and environmental quality in the Karla area. Prefecture of Magnesia, Volos, Greece, pp15 .
- Krauskopf K.B. (1956) Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 9: 1-32B
- Levinson A.A. (1974) Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing, Co, Calgary pp 612.
- Long E.R., Morgan L.G. (1991) The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, pp 175, 1 appendix
- Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81–97
- Loring D.H. (1976a) The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay Fjord, Canadian Journal of Earth Sciences, 13:960-971
- Loring D.H. (1976b) Distribution and partitioning of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Saguenay Fjord, Canadian Journal of Earth Sciences, 13:1706-1718
- Luoma S.N., Bryan G.W. (1981) A statistical assessment of the trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *Total Environment*, 17:165-196
- MacDonald D.D., Carr R.S., Calder F.D., Long E.R., Ingersoll C.G. (1996) Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5:253–278
- MacDonald D.D., Dipinto L.M., Field J., Ingersoll C.G., Long E.R., Swartz R.C. (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls (PCBs). *Environmental Toxicology & Chemistry*, 19:1403-1413
- MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. (2000) Development and Evaluation of Consensus Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 20–31
- Mason C.F. (1991) Biology of freshwater pollution, 2<sup>nd</sup> ed., J Wiley & Sons, New York
- New York State Department of Environmental Conservation (January 1999). Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments, pp. 39
- Nguyen H.L., Leermakers M., Elskens M., De Ridder F., Doan T.H., Baeyens W. (2005) Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between

- different compartments of Lake Balaton. *Science of The Total Environment*, 341: 211–226
- Nguyen H.L., Leermakers M., Osán J., Torok S., Baeyens W. (2005) Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota. *Science of The Total Environment*, 340: 213–230
- Nieboer E., Richardson D.H.S. (1980) The replacement of the nondescript term “heavy metals” by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environmental Pollution Ser B*, 1: 3-10.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water, and soils by trace metals. *Nature*, 333: 134-139.
- Ochieng E.Z., Lalah J.O., Wandiga S.O. (2007) Analysis of Heavy Metals in Water and Surface Sediment in Five Rift Valley Lakes in Kenya for Assessment of Recent Increase in Anthropogenic Activities *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79:570-576
- Odegard, M (1997) Chemical analysis of rocks and soils in Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments, O.M. Saether & P. de Caritat (eds), Balkema, Rotterdam.
- Ozmen H., Kulahci F., Çukurovali A., Dogru M. (2004) Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazig, Turkey). *Chemosphere*, 55:401–408.
- 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
- Pertsemli E., Voutsas D. (2007) Distribution of heavy metals in Lakes Doirani and Kerkini, Northern Greece. *Journal of Hazardous Materials*, 148:529-537
- Piskunov L.I. and Gushchyn V.M. (1981) Uptake of radionuclides by freshwater plants under natural conditions. *Radiobiol.(USSR)*, 21: 730-736.
- Sachanidis Ch., Georgakopoulos A., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A., Iordanidis A., Kantiranis N. (2000) Environmental aspects of trace elements in Ptolemais-Amynteon lignites, Northern Greece, 5<sup>th</sup> International Conference on Environmental Pollution (Thessaloniki) Proceedings p 541-548.
- Salomons W., Forstner U. (1984) *Metals in the Hydrocycle*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 349
- Scheinberg I.H., 1991. Copper. In: Merian E. (ed), *Metals and their compounds in the environment*, Verlag Chemie, Weinheim, p. 893-908.
- Siegel Frederic R. (2002) *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 216
- Scoullou M., Dassenakis M. (1983) Trace metals in a tidal Mediterranean embayment. *Marine Pollution Bulletin*, 14:24-29
- Skordas K., Kelepertzis A., (2005) Soil contamination by toxic metals in the cultivated region of Agia, Thessaly, Greece. Identification of sources or contamination. *Environmental Geology*, 48:615-624
- Skoulikidis N., Kaberi H., Sakellariou D. (2008) Patterns, origin and possible effects of sediment pollution in a Mediterranean lake. *Hydrobiologia*, 613:71-83
- Smith S.L., MacDonald D.D., Keenleyside K.A., Ingersoll C.G., Field J. (1996) A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal Great Lakes Research*, 22:624–638



- Tessier A., Campbell, P.G.C. & Bisson, M.(1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical chemistry*, 51: 844-851
- Thomson E.A., Luoma S.N., Johansson C.E., Cain D.J.(1984) Comparison of sediments and organisms in identifying sources of biologically available trace metal contamination . *Water Research*, 18:755-765
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (2002) A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems. Volume I, II, III, IV. EPA 05-B02-001-B.
- Wood J.M.(1974) Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment. *Science*,183:1049-1052
- Wood J.M. Goldberg E.D., (1977) Impact of metals on the biosphere, in *Global Chemical Cycles and their Alterations by Man*. Edited by Stumm W. Dahlem Konferenzen, Berlin, p. 137-153
- Youn-Joo An , Kampbell Donald. H. (2003) Total, dissolved, and bioavailable metals at Lake Texoma marinas. *Environmental Pollution*, 122 : 253–259
- Zabetoglou K., Voutsas D., Samara K. (2002) Toxicity and heavy metal Contamination of Surficial Sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece. *Chemosphere*, 49: 17-26
- Zaharescu D.G., Hooda P.S., P. Soler A., Fernandez J., Burghilea C.I. (2009) Trace metals and their source in the catchment of the high altitude Lake Respomuso, Central Pyrenees. *Science of the Total Environment*, 407: 3546-3553
- Zalidis G.C., Gerakis A., Apostolakis A., Katsavouni S. (1999) Sustainable restoration of Lake Karla based on the design of wetland functions. p. 54-69. In: N. Kontos, V. Takavakoglou, S. Chatzigiannakis (editors). *Restoring wetland functions*. Technical Bulletin. A MedWet publication. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY). Thermi, Greece
- Zalidis, G.C., Takavakoglou V., Panoras A., Bilas G., Katsavouni S., (2005) Reestablishing a sustainable wetland at former Lake Karla, using Ramsar restoration guidelines. *Environmental Management*, 34: 875-886.

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξάκης Δ. (2009) Η Συμβολή της Γεωμορφολογίας με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης στη χαρτογράφηση αρχαιολογικών θέσεων. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., σελ 446
- Αλούπη Μ.(1999). Μελέτη της επίδρασης αστικών απορροών στη Γεωχημεία των βαρέων μετάλλων στην παράκτια περιοχή της Μυτιλήνης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου σελ 259
- Αρβανίτης Λ.(2006). Γεωχημική μελέτη σε επιφανειακά ιζήματα του επιβατικού τμήματος του Λιμένα Πειραιώς. Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πάτρας σελ 163
- Αργυράκη Α. (2007). Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία, Αθήνα ΕΚΠΑ
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1964) . Φύλλο Λάρισα, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1976-1977). Φύλλο Βόλος, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1977-1978). Φύλλο Πλατύκαμπος, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1977-1978) . Φύλλο Βελεστίνο, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1978-1979). Φύλλο Αγιά - Παναγιά Αγιάς, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας (1980-1982). Φύλλο Φάρσαλα, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Εξαρχόπουλος Μ. (1999). Λίμνη Κάρλα η αρχαία Βοιβής, η αποκατάσταση ενός υδροτόπου στην Ελλάδα από τους σημαντικότερους της Ευρώπης, Βόλος ΤΕΕ Μαγνησίας, σελ 191
- Ζωτιάδης Β.(2004). Γεωχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών θαλάσσιων ιζημάτων της Νοτιοανατολικής Αττικής, Κέας και Μακρονήσου με έμφαση στην καταγραφή της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα ως αποτέλεσμα των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών δραστηριοτήτων της Λαυρεωτικής, Διδακτορική διατριβή, Ε.Κ.Π.Α. σελ.195
- Θεοδώρου Α. (2004). Ωκεανογραφία Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης Αθήνα σελ 712
- Καλογερόπουλος Ν. (1994). Μελέτη ρύπανσης υδάτινων αποδεκτών από ιχνοστοιχεία με νετρονική ενεργοποίηση. Στατιστική ανάλυση. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, σελ. 2-4
- Κελεπερτζής Α.Ε. (2000). Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Μακεδονικές Εκδόσεις, Αθήνα σελ. 304
- Κιλικίδης Σ. (1997). Οικολογία και προστασία περιβάλλοντος. Εκδόσεις Σύγχρονη παιδεία Θεσσαλονίκη σελ.416
- Κουμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., (1998). Χημεία περιβάλλοντος, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.182-188
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά Δ. (2004). Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος. University Studio Press Θεσσαλονίκη σελ.385
- Λιοδάκης Σ.(2003) Αναλυτική Χημεία θέματα και προβλήματα Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Αθήνα σελ. 416

- Λουκάς Α., Μυλόπουλος Ν., Μυλόπουλος Γ., Μουστάκα Ε., (2006). Προσομοίωση και Αποτίμηση της Λειτουργίας του Ταμιευτήρα της Κάρλας. 5<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με Βάση τη Λεκάνη Απορροής», Ξάνθη, σελ 267-274
- Μαντουζα Α. (2008). Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Πηνειού στα πλαίσια της οδηγίας 2000/60 με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., σελ 141
- Μουντράκης Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press Θεσσαλονίκη, σελ 98-108
- Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Αντωνόπουλος Β.(1990). Υδρολογικά στοιχεία της τέως λίμνης Κάρλας. Προστασία και διαχείριση των Ελληνικών υγροτόπων. Πρακτικά συνεδρίου Συνάντησης Εργασίας για τους Ελληνικούς Υγροτόπους. Θεσσαλονίκη σελ.467-502
- Μπόμπορη Δ. (1996). Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων στο οικοσύστημα της λίμνης Κορώνειας, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ, σελ 336
- Μπρομπανά Μ. (2010). Μελέτη περιβαλλοντικών παραμέτρων της λίμνης Παμβώτιδας – Ιωάννινα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 141
- Παπανίκος Ν. (2008) Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 248
- Ρούσκας, Γ.( 2001). Η επιστροφή της λίμνης Κάρλας, Αθήνα σελ 182
- Σαμανίδου Β.(1990) Μελέτη κατανομής και επαναδιάλυσης βαρέων μετάλλων σε νερά και ιζήματα ποταμών της Βόρειας Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. σελ 298
- Σκούλος Μ. Δασενάκης Μ. (1992) Εργαστηριακές ασκήσεις Χημικής Ωκεανογραφίας, ΕΚΠΑ
- Τζούνη Α. (2011) Βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 5-14
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.(1999). Μελέτη Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες. Περιβαλλοντική –Τεχνική Έκθεση, Αθήνα
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (2000). Μελέτη Επαναδημιουργία Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες, Μελέτη ειδικών Περιβαλλοντικών Έργων, Αθήνα
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2001). Μελέτη Επαναδημιουργίας Λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική – Τεχνική Έκθεση, Μελέτη Κόστους-Οφέλους και Υποστηρικτικές Μελέτες, Αθήνα
- ΥΠΕΧΩΔΕ (2005). Μελέτη Συμπληρωματικών Αντιπλημμυρικών Έργων και Έργων Ορεινής Υδρονομίας στη Λεκάνη της Λίμνης Κάρλας. Προμελέτη Δασοτεχνικών Έργων – Τεχνική έκθεση, Αθήνα
- Φερεντίνος Γ., Θεοδώρου Α., Παπαθεοδώρου Γ. (2003) Πλανήτης Γη-Υδρόσφαιρα Τόμος Β΄ Πάτρα Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. σελ 672
- Χατζηαποστόλου Α (2009). Γεωλογικές – Εδαφολογικές παράμετροι της αποξηραμένης Λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 369

**Ηλεκτρονική βιβλιογραφία**

<http://www.googleearth.com> (πρόσβαση: 14/11/2011)

<http://www.ypan.gr> (πρόσβαση: 15/11/2011)

<http://argo.ekt.gr> (πρόσβαση: 16/11/2011)

## 6. ABSTRACT

The following post graduate consists of environmental geochemical research in the sediments at the bottom of Lake Carla (Thessaly). The subject of the study was the designation and evaluation of the collection of heavy metals and other toxic traces in the sediments of the lake, in order to extract valuable conclusions for the possibility of pollution in the area, as well as the possibility of chemical traces, natural or man made. In addition, one more goal was the designation of bioavailability of metals, also the possible consequences in the aquatic organisms.

Sixteen stations were chosen for sample taking and sixteen samples of sediments were collected. The choice of the positions was made by the division of six ails that started from the deepest point of the lake and ended in the shallowest point of surficial flows on the perimetricaly of the lake. The collected samples of the sediments were analyzed in order to designate the collections ( whole and man made) of the chemical traces Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn.

The designation of the collection of metals was made from the dissolution of samples with the major toxics,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HCl}$  with the help of the system (Multiwave 3000) The designation of the collections of heavy man made metals was conducted by the “0.5 N  $\text{HCl}$ ” method. The analysis of the chemical traces was executed in the laboratory at the Agricultural Ichthyological and Water Environment department at the Agricultural Science school at the University of Thessaly with the method of Spectroscopic Atomic Absorption (AAS).

The evaluation of the traces of partial solubilization in the collections of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn based on the quality criteria of the traces ERM - ERL, PEL-TEL and SEL-LEL are classified as :

Non polluted from Zn where no adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

Non polluted to medium polluted from Cu where adverse effects are rarely expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

Medium polluted from Pb where adverse effects are often expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

and Polluted to extremely polluted with Cr and Ni where adverse effects on the majority of the sediment-dwelling organisms are usually expected to occur.

The evaluation of the traces in the man made collections of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn based on the quality criteria of the traces ERM - ERL, PEL-TEL and SEL-LEL are classified as:

Non polluted from Zn and Pb and no adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms.

Non polluted to medium polluted from Cu and Cr and adverse effects are expected to occur in the sediment-dwelling organisms rarely.

and Medium polluted to polluted from Ni where adverse effects are often and usually expected to occur on the majority of the sediment-dwelling organisms.

The collections of the particles Cr and Ni exceeded the values of the quality criteria in traces of 100% samples.

The contrast of values in the chemical collections of sediments in the area of the research matches the collections of sediments in lakes of other Greek areas showed that the collections of Co, Cr and Ni are the at the same level as matching collections of lake Vegoritida.

The results of the analysis with the method “0.5 N HCl” showed that the order of

bioavailability of heavy metals in the area researched is as follows Cr> Ni > Cu > Pb > Co> Zn.

**Key words:** Carla, Heavy metals, Environmental consequences, Thessaly.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α-Β-Γ**

**Α: ΣΧΗΜΑΤΑ**

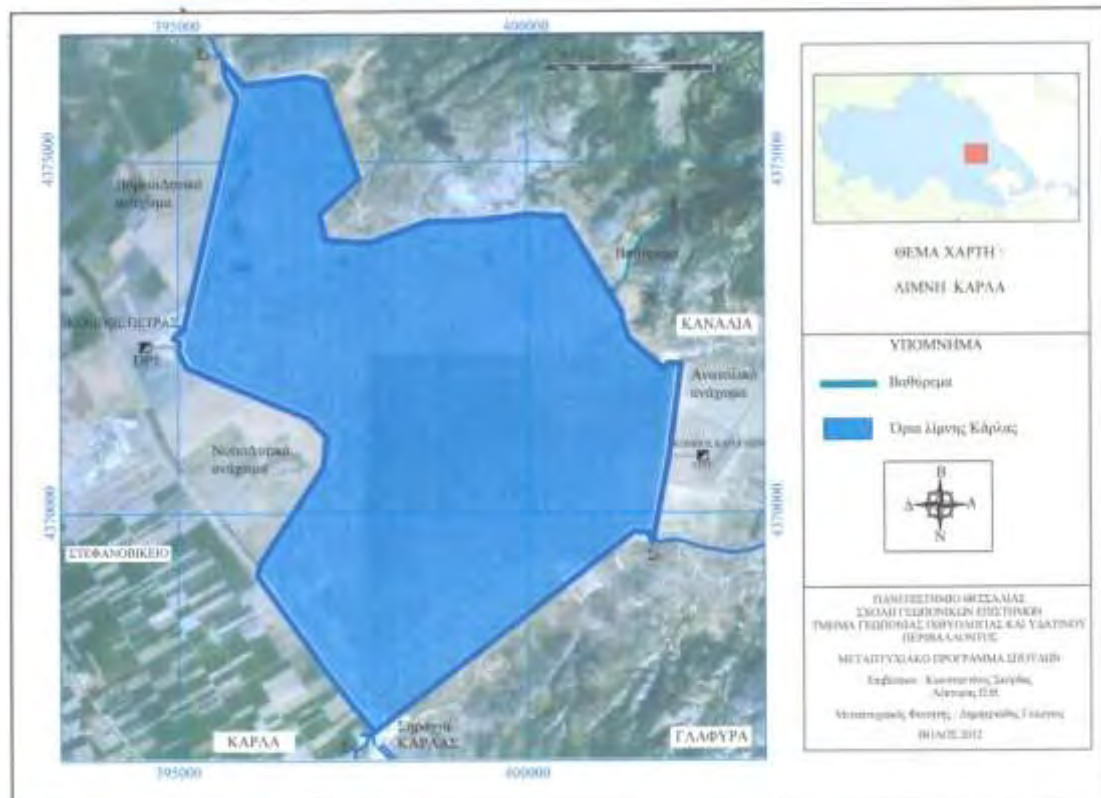
**Β: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**

**Γ: ΠΙΝΑΚΕΣ**

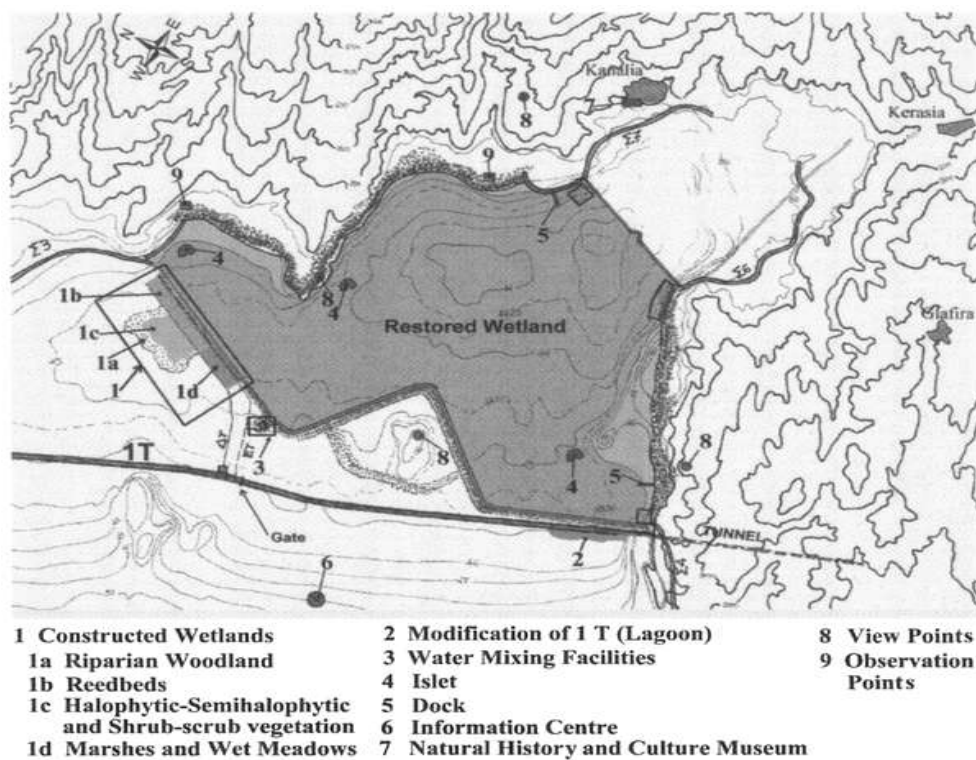


# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

## **ΣΧΗΜΑΤΑ**



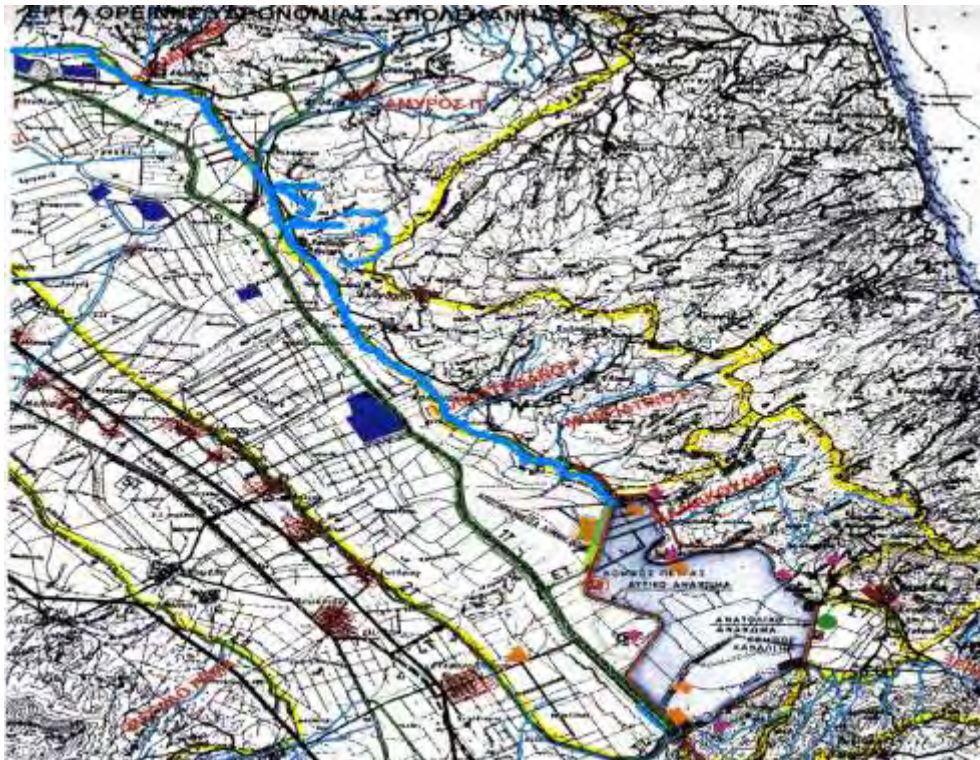
Σχήμα 1.1: Ταμιεντήρας Κάρλας



Σχήμα 1.2: Ταμιεντήρας Κάρλας (Zalidis et al. 2005)

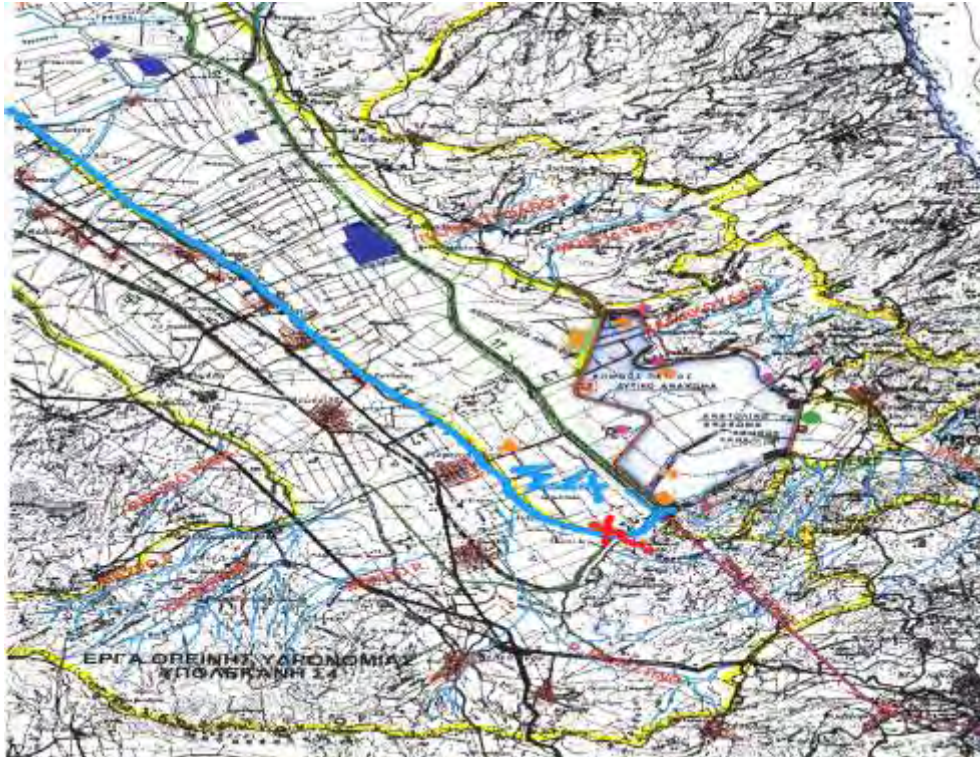


**Σχήμα 1.3:** Συλλεκτήρες εισόδου νερού στη λίμνη Κάρλα (Λουκάς και συν. 2006)

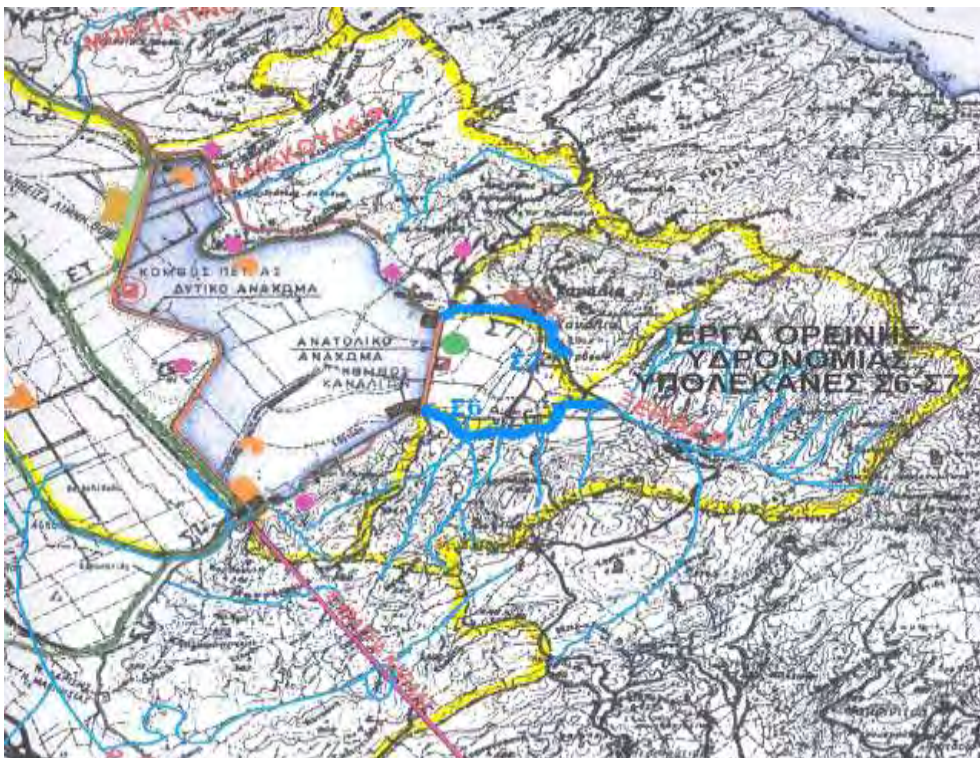


**Σχήμα 1.4:** Συλλεκτήρας  $\Sigma_3$  (Παπανίκος Ν. 2008)





**Σχήμα 1.5:** Συλλεκτήρας Σ<sub>4</sub> (Παπανίκος Ν. 2008)



**Σχήμα 1.6:** Συλλεκτήρας Σ<sub>6</sub> (Παπανίκος Ν. 2008)





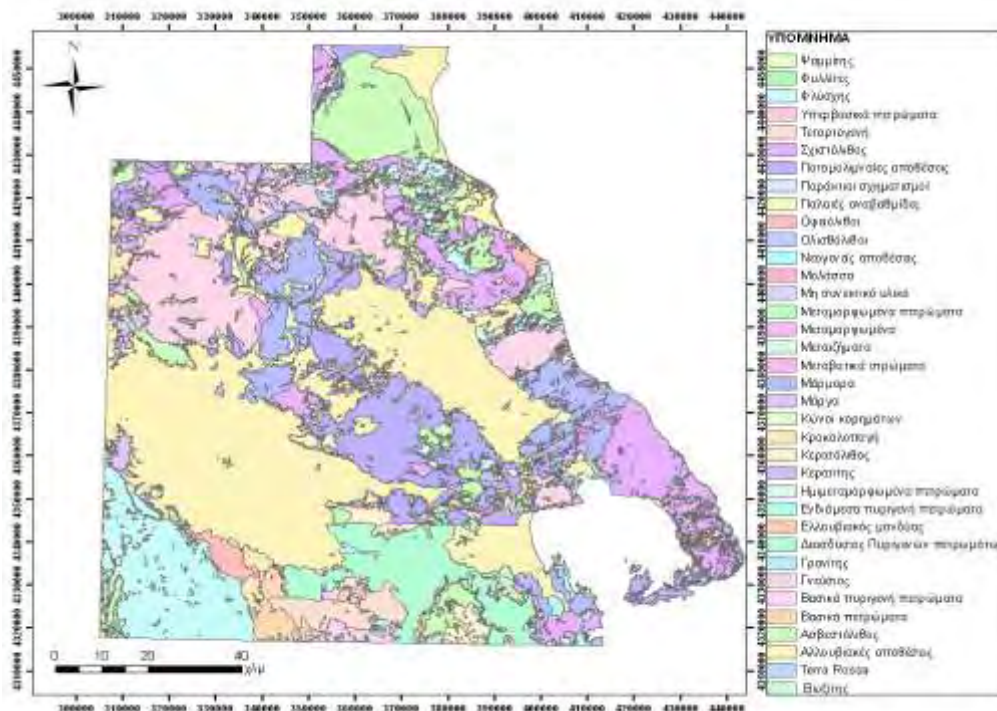
**Σχήμα 1.7:** Αντλιοστάσιο DP1



**Σχήμα 1.8:** Η περιοχή της λίμνης Κάρλας (Λουκάς και συν. 2006)



**Σχήμα 1.9:** Η Κάρλα το 19<sup>ο</sup> αιώνα (Ρούσκας Ι. 2001)



**Σχήμα 1.10:** Ψηφιοποιημένος απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Θεσσαλίας (Αλεξάκης Δ. 2009)

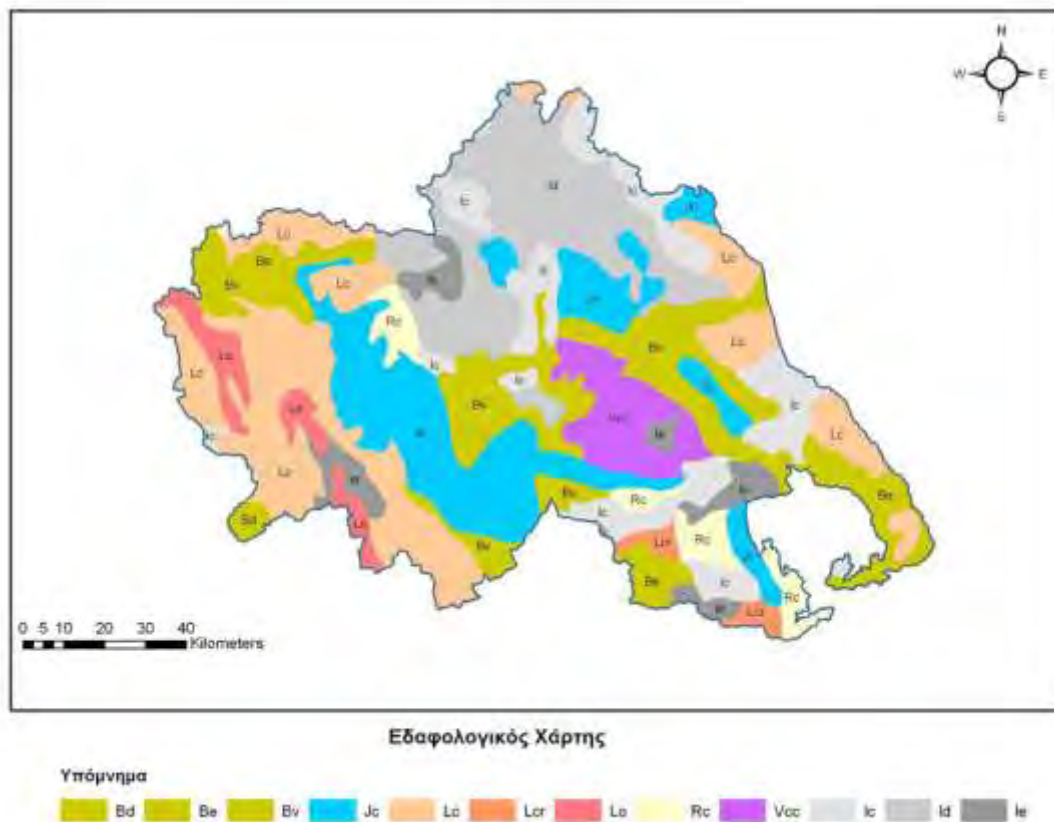




Σχήμα 1.11: Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας . (ypap.gr)



Σχήμα 1.12: Λεκάνες απορροής χαμηλών και υψηλών περιοχών (Παπανίκος Ν. 2008)



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

**Σχήμα 1.13:** Εδαφολογικός χάρτης Θεσσαλίας (Μαντουζά Α. 2007)



# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

## **ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ- ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**



φωτογραφία 1



φωτογραφία 2



φωτογραφία 3



φωτογραφία 4

**Εικόνα 1:** Φωτ.1-4. Η λίμνη Κάρλα



φωτογραφία 5



φωτογραφία 6

**Εικόνα 2:** Φωτ.5-6. Ψάρεμα στις όχθες της λίμνης Κάρλας





φωτογραφία 7



φωτογραφία 8



φωτογραφία 9



φωτογραφία 10



φωτογραφία 11

**Εικόνα 3:** Φωτ 7-11. Η λίμνη ως σταθμός ανάπαυσης αποδημητικών πουλιών



**Εικόνα 4:** Μετρητής στάθμης νερού



**Εικόνα 5:** Ελεύθερη βόσκηση στη λίμνη



φωτογραφία 12





φωτογραφία 13



φωτογραφία 14

**Εικόνα 6:** Φωτ.12-14. Απορρίμματα ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη λίμνη

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

## **ΠΙΝΑΚΕΣ**

**Πίνακας 1.2:** Μέσες τιμές κλιματολογικών στοιχείων περιοχής Λάρισας περιόδου 1955-1997 (ΕΜΥ)

Μήνες	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση μηνιαία θερμοκρασία °C	5,20	6,80	9,40	13,80	19,70	25,00	27,20	26,20	21,80	16,20	10,80	6,60
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία °C	9,80	12,00	14,70	19,60	25,70	31,00	33,10	32,60	28,40	22,20	15,80	11,10
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία °C	0,70	1,30	3,30	6,20	10,90	15,20	17,70	17,30	14,00	10,00	5,80	2,00
Μέση μηνιαία σχετική υγρασία %	79,60	75,00	73,40	68,70	61,60	49,20	46,60	50,00	58,90	70,00	79,50	82,20
Μέση μηνιαία βροχόπτωση mm	32,50	31,70	36,70	33,00	38,20	25,60	19,00	16,40	30,20	52,20	56,90	50,80
Συνολικές μέρες βροχής /μήνα	12,30	12,10	13,10	11,30	10,30	6,90	4,70	4,30	6,30	10,10	12,10	13,20
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων Kt	2,40	3,00	3,30	3,20	3,10	3,90	4,10	3,70	3,30	2,70	1,90	1,80
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια h	112,20	119,20	163,90	211,90	256,70	318,90	332,80	309,60	243,60	165,90	112,00	98,80
Μέση μηνιαία εξάτμιση mm	17,80	25,80	70,00	116,60	170,80	255,50	294,20	264,00	178,30	98,90	42,10	21,00

**Πίνακας. 3.17:** Κυριότερες βιομηχανικές χρήσεις βαρέων μετάλλων (Siegel F. 2002)

<b>Στοιχεία</b> <b>Χρήσεις</b>		<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
1	Κράματα	x	x	x	x	x	x	x
2	Μπαταρίες και ηλεκτροχημικές συσκευές				x	x	x	x
3	Φυτοφάρμακα (γεωργία)				x			
4	Κεραμική- υαλουργία	x				x	x	
5	Φαρμακευτική - οδοντιατρική		x	x			x	x
6	Συσκευές ηλεκτρικού εξοπλισμού			x				
7	Λιπάσματα		x	x	x	x	x	
8	Καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας						x	
9	Εξόρυξη- σύντηξη- μεταλλουργία		x	x	x	x	x	x
10	Πυρηνικοί αντιδραστήρες							
11	Χρώματα και χρωστικές	x	x	x	x	x	x	x
12	Διύλιση πετρελαίου	x	x	x		x	x	x
13	Σωλήνες – φύλλα - μηχανήματα			x			x	
14	Πλαστικά						x	x
15	Χαρτί- χαρτοπολτός		x	x		x	x	
16	Καουτσούκ							x
17	Αγωγοί- ιμιαγωγοί							
18	Βυρσοδεψία - κλωστοϋφαντουργία		x	x				
19	Συντηρητικά ξύλου		x		x			

**Πίνακας 3.18:** Γεωργικές πηγές ρύπανσης βαρέων μετάλλων(Kabata –Pendias & Pendias 2001)

Χρήσεις Στοιχεία		Λύματα ppm	Φωσφορικά Λιπάσματα ppm	Νιτρικά Λιπάσματα ppm	Κοπριά ppm	Φυτοφάρμακα %
1	As	2-26	2-1200	0.1-24	3-25	22-60
2	B	15-1000	5-115	10	0.3-0.6	-
3	Ba	15-4000	200	120-250	270	-
4	Be	4-13	-	1	-	-
5	Br	20-165	3-5	-	16-41	20-85
6	Cd	2-1500	0.1-170	0.04-0.1	0.3-0.8	-
7	Ce	20	20	12	-	-
8	Co	2-260	1-12	0.4-3	0.3-24	-
9	Cr	20-40600	66-245	10-15	5.2-55	-
10	Cu	50-3300	1-300	2-125	2-60	12-50
11	F	2-740	8500-38000	300	7	18-45
12	Ge	1-10	-	0.2	19	-
13	Hg	0.1-55	0.01-1.2	0.05	0.09-0.2	0.8-42
14	Mn	60-3900	40-2000	40-1200	30-550	-
15	Mo	1-40	0.1-60	0.1-15	0.05-3	-
16	Ni	16-5300	7-38	10-20	7.8-30	-
17	Pb	50-3000	7-225	20-1250	6.6-15	60
18	Rb	4-95	5	3	0.06	-
19	Sc	0.5-7	7-36	1	5	-
20	Se	2-9	0.5-25	0.08-0.1	2.4	-
21	Sn	40-700	3-19	0.5-4	3.8	-
22	Sr	40-360	25-500	610	80	-
13	Te	-	20-23	-	0.2	-
24	U	-	30-300	-	-	-
25	V	20-400	2-1600	20	-	45