



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική εργασία

ΚΟΥΡΗΣ Α. ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Καταγραφή και Αξιολόγηση
ποιότητας νερού υδατορευμάτων:
Η περίπτωση του ρέματος Ραφήνας,
Αττικής

Επιβλέπων: Ναλμπάντης Ιωάννης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2011



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
LABORATORY OF RECLAMATION WORKS AND WATER
RESOURCES MANAGEMENT

Thesis

KOURIS A. NIKOLAOS

Assessment and Evaluation
of water quality of watercourses:
The case of the Rafina torrent,
Attica

Supervisor: NALBANTIS IOANNIS, Asst Professor, NTUA

ATHENS
JUNE 2011

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	14
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ	17
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ.....	18
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	20
2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	22
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	22
2.2.1 Γενικά	22
2.2.2 Φυσικοί παράγοντες.....	23
2.2.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες	29
2.3 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ.....	33
2.3.1 Οι κυριότερες παράμετροι που χρησιμοποιούνται στα κριτήρια καταλληλότητας	35
2.3.2 Συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού.....	37
2.4 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	42
3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	46
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ.....	46
3.1.1 Τύποι μεταβλητών	46
3.1.2 Ποσοτικές μεταβλητές	47
3.1.3 Διερευνητική ανάλυση δεδομένων	52
3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	54
3.2.1 Ιστόγραμμα.....	54
3.2.2 Έλεγχοι καλής προσαρμογής στατιστικών κατανομών	55
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	59
3.3.1 Συντελεστής συσχέτισης του Pearson.....	60
3.3.2 Συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman	61
3.3.3 Διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης	61
3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	64
3.4.1 Το ορθογώνιο μοντέλο	65

4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	70
4.1	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	70
4.2	ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	70
4.2.1	Μέγεθος λεκάνης απορροής	70
4.2.2	Σχήμα της λεκάνης απορροής	70
4.2.3	Χαρακτηριστικά υψόμετρα της λεκάνης απορροής	72
4.2.4	Ανάγλυφο και κλίσεις της λεκάνης απορροής	73
4.3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	74
4.3.1	Εισαγωγή	74
4.3.2	Στρωματογραφία	74
4.4	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΙ ΑΣΚΟΥΜΕΝΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	80
5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	85
5.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	85
5.1.1	Συλλογή δειγμάτων νερού	86
5.1.2	Επιτόπιος (in situ) προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων	87
5.1.3	Προσδιορισμός της παροχής	87
5.2	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	89
5.2.1	Προετοιμασία υποδειγμάτων προς ανάλυση	90
5.2.2	Μέθοδοι προσδιορισμού των χημικών παραμέτρων	91
5.2.3	Έλεγχος των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων	97
5.3	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ	98
5.3.1	Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους	98
5.3.2	Δημιουργία ψηφιακού γεωλογικού χάρτη	105
5.3.3	Χρήσεις γης	107
5.3.4	Έργα υποδομής	108
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	109
6.1	ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	109
6.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	112
6.3	ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	115
6.3.1	Κύρια ιόντα	115
6.3.2	Ιχνοστοιχεία	152
6.3.3	Υδροχημικές και φυσικές παράμετροι	185
6.4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	187
6.4.1	Ανάλυση συχέτισης	187
6.4.2	Παραγοντική ανάλυση	189
6.5	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	198
6.6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΠΠΠ ΤΗΣ ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103	206

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	209
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	212
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	216
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ TSS, NO ₃ ⁻ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑΣ	219
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	221
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	223
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ	224
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	230
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	235
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: ΧΑΡΤΕΣ	245

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εργασία αυτή, ολοκληρώνεται ένας πολυετής κύκλος ακαδημαϊκών σπουδών, που ξεκίνησε κάπου το 1995 με την εισαγωγή μου στο τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, ακολούθησαν οι σπουδές μου στο ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», και περατώνεται, ελπίζω, με την απόκτηση του διπλώματος του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού.

Αν και ο προσωπικός αγώνας είναι επιβεβλημένος για την επίτευξη των στόχων μας, δεν θα οδηγούσε πουθενά χωρίς την στήριξη ορισμένων σημαντικών ανθρώπων οι οποίοι, είτε άμεσα, είτε έμμεσα γίνονται αρωγοί στις προσπάθειές μας.

Τον Επίκουρο Καθηγητή, Ιωάννη Ναλμπάντη, ευχαριστώ πολύ για την εισήγηση του θέματος και τις σημαντικές επιστημονικές υποδείξεις του στα διάφορα στάδια αυτής της εργασίας. Η προσφορά του, όμως, δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό το επίπεδο, αφού η οργανωτική του ικανότητα και οι λεπτομερείς επισημάνσεις του, κατά την συγγραφή της εργασίας, συνέβαλαν σημαντικά στον σωστό τρόπο παρουσίασης του κειμένου. Εκτός βέβαια την παραπάνω ουσιαστική συνεισφορά του, οφείλω να αναγνωρίσω την μεγάλη υπομονή και κατανόηση που έδειχνε, όταν οι επαγγελματικές μου υποχρεώσεις με ανάγκαζαν να διακόπτω ανά διαστήματα την ροή της παρούσας διπλωματικής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Δημήτρη Αλεξάκη, Δρ. Γεωλόγο - Γεωχημικό και συνεργάτη του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ο οποίος ανέλαβε το μεγάλο φορτίο να με διδάξει τεχνικές δειγματοληψίας και λήψης μετρήσεων, χημικών και φυσικών παραμέτρων, στην ύπαιθρο. Ακόμα η συμβολή του ήταν καθοριστική σε θέματα στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων (ιστογράμματα, παραγοντική ανάλυση). Επίσης οργάνωσε την διεξαγωγή των εργαστηριακών αναλύσεων, όταν αυτές έπρεπε να πραγματοποιηθούν σε άλλο εργαστήριο εντός ΕΜΠ, με εκπαίδευσε σε κλασσικές χημικές τεχνικές, ενώ ως κύριος αναλυτής προσδιόρισε τα κύρια ιόντα με την μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας.

Φυσικά δεν πρέπει να παραλείψω το προσωπικό του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, που ανήκει στην Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, που βοήθησαν να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις των ιχνοστοιχείων με ICP-MS. Επίσης ευχαριστώ την

Ελευθερία Σαφιολέα από το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για την παραχώρηση δεδομένων παροχών, καθώς και τον Γ. Πανόπουλο από το Εργαστήριο Χαρτογραφίας για την παράχωρηση των δεδομένων χρήσεων γης σε ψηφιακούς χάρτες Corine.

Όμως στην διαδρομή πολλές φορές κουραζόμαστε και απογοητευόμαστε με αποτέλεσμα να φαίνεται δύσκολη η ολοκλήρωση μιας προσπάθειας. Στις στιγμές αυτές η συμπαράσταση των φίλων μου ήταν σημαντική και για τον λόγο αυτό τους ευχαριστώ θερμά. Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου και στον αδελφό μου που πάντα με στηρίζουν και μου δίνουν δύναμη να συνεχίζω και φυσικά το λιγότερο που μπορώ να κάνω είναι να τους αφιερώσω την εργασία αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η ποιοτική κατάσταση των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Ραφήνας Νομού Αττικής. Για τον σκοπό αυτό, ορίστηκε ένα δίκτυο 20 σταθμών δειγματοληψίας, λήφθηκαν δείγματα επιφανειακού νερού, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής, προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο παράμετροι ποιότητας νερού, συλλέχθηκε όλη η απαραίτητη χωρική πληροφορία και έγινε η εισαγωγή της σε περιβάλλον GIS, ενώ στην συνέχεια ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Οι εργασίες υπαίθρου περιελάμβαναν τα εξής: (1) εντοπισμός σημείων με ευκολία πρόσβασης για την μεταφορά του εξοπλισμού, (2) καταγραφή των συντεταγμένων της κάθε θέσης με GPS ακρίβειας λίγων μέτρων, (3) επί τόπου μέτρηση της παροχής με μιλίσκο ή την μέθοδο του πλωτήρα ανάλογα με τις συνθήκες, (4) μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διατομής για τον προσδιορισμό της βρεχόμενης επιφάνειας, και (5) προσδιορισμό των χημικών παραμέτρων (pH, αγωγιμότητα, αλατότητα, TDS, θερμοκρασίας) με την χρήση πολύμετρου.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων επιφανειακού νερού, περιελάμβαναν τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων (SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{2-} , F^- , Br^- , NH_4^+ , NO_2^- , Cl^- , Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), ορισμένων ιχνοστοιχείων (Cr_t , Cr_s , Co_t , Co_s , Ni_t , Ni_s , Zn_t , Zn_s , Cu_t , Cu_s , Mn_t , Mn_s , Cd_t , Cd_s , Pb_t , Pb_s), των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και της αλκαλικότητας (μορφές HCO_3^- , CO_3^{2-}). Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα Εργαστήρια της Διασχολικής Σύμπραξης του ΕΜΠ. Πιο συγκεκριμένα:

α) Στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, που ανήκει στην Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των κυρίων ιόντων με την χρήση ιοντικής χρωματογραφίας (DIONEX: ICS 3000) και ο προσδιορισμός της αλκαλικότητας με τιτλοδότηση (μέθοδος HACH)

β) Στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, που ανήκει στην Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των ιχνοστοιχείων με ICP-MS (AGILENT: MassHunter 7700)

γ) Στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, που ανήκει στην Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών με βαρυμετρική μέθοδο και των νιτρικών ιόντων με την χρήση φασματοφωτόμετρου (HACH: DR2800)

Η επεξεργασία και ανάλυση των χωρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGIS v.9.3 που διατίθεται στο Κέντρο Γεωπληροφορικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν τα εξής:

- Ψηφιακά γεωγραφικά δεδομένα (ισουψείς, ακτογραμμή, γνωστά σημεία υψομέτρων, ρέματα) τα οποία παραχωρήθηκαν από το κέντρο Γεωπληροφορικής (δεδομένα της εταιρείας Geospatial Enabling Technologies, GET, και της DigitaGlobe)
- Τοπογραφικοί χάρτες 1:50 000 της Γεωγραφικής υπηρεσίας Στρατού – ΓΥΣ. Οι χάρτες σαρώθηκαν στον σαρωτή Colortrac SmartLF Gx+ 42 που είναι εγκατεστημένος στο Κέντρο Γεωπληροφορικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ
- Γεωλογικοί χάρτες του ΙΓΜΕ 1:50 000 οι οποίοι επίσης σαρώθηκαν στον σαρωτή Colortrac SmartLF Gx+ 42
- Για τις χρήσεις γης χρησιμοποιήθηκε πληροφορία CORINE σε ανάλυση 1:100 000 του 2000. Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από το εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ

Από την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων δημιουργήθηκαν:

- το ψηφιακό μοντέλο εδάφους
- ο ψηφιακός γεωλογικός χάρτης
- ο χάρτης χρήσεων γης
- ο χάρτης κλίσεων εδάφους
- όλοι οι απαραίτητοι θεματικοί χάρτες για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Μετά την συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων ακολούθησε η ανάλυση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αυτή περιελάμβανε:

- Τον προσδιορισμό της παροχής των υδατορευμάτων για την κάθε θέση δειγματοληψίας
- Για την κάθε χημική παράμετρο πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση που περιελάμβανε τον προσδιορισμό των περιγραφικών στατιστικών, τον έλεγχο της κατανομής των τιμών του δείγματος, ενώ, όπου ήταν αναγκαίο δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες για την απεικόνιση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων ώστε να διευκολύνουν την ερμηνεία των παρατηρούμενων διαφοροποιήσεων
- Ανάλυση συσχέτισης για το σύνολο των μετρηθέντων χημικών παραμέτρων
- Εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης
- Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κατάταξης του νερού που προτείνει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ραφήνας για αρδευτική χρήση
- Αξιολόγηση της ποιότητας του νερού των υδατορευμάτων με βάση τα ΠΠΠ της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας συνοψίζονται παρακάτω:

1. Η υδρολογική λεκάνη της Ραφήνας είναι περισσότερο κυκλική παρά επιμήκης με μέσο υψόμετρο 220 m και μέγιστο υψόμετρο 950 m
2. Ο φυσικός υδροκρίτης της λεκάνης έχει επηρεαστεί από σημαντικά τεχνικά έργα (αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος», έργα εκτροπής της πλημμυρικής παροχής της γειτονικής λεκάνης του ρέματος Ποδονίφτη)
3. Στν υδρολογική λεκάνη του ρέματος Ραφήνας αναπτύσσεται μεγάλη ποικιλία χρήσεων γης, οι οποίες περιλαμβάνουν κυρίως την οικιστική και αγροτική δραστηριότητα
4. Με βάση τους ελέγχους κατανομής προέκυψε ότι η κανονική και η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορούν να υιοθετηθούν για την περίπτωση των

χημικών παραμέτρων, αν και το μικρό μέγεθος του δείγματος (20 θέσεις) δεν επιτρέπει την ικανοποιητική απεικόνιση των ιστογραμμάτων

5. Η ανάλυση συσχέτισης κατέδειξε ένα μεγάλο αριθμό συσχετίσεων, στατιστικά αποδεκτών, μεταξύ των παραμέτρων που μετρήθηκαν. Η ανά δύο όμως συσχέτιση των παραγόντων οδήγησε σε δυσκολία ερμηνείας και εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων και για τον λόγο αυτό αποτέλεσε ουσιαστικά ένα αρχικό βήμα για την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης
6. Η παραγοντική ανάλυση για το νερό των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Ραφήνας, που εξηγεί το 85.4% της συνολικής διακύμανσης, έδειξε την παρουσία τριών ομάδων συσχετιζόμενων ποιοτικών παραμέτρων. Ο πρώτος παράγοντας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό 50.1% της συνολικής διακύμανσης και συνδέεται με την λιθολογία της περιοχής. Ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 20.7% της συνολικής διακύμανσης συνδέεται με τα βελτιωτικά εδάφους (λιπάσματα) που χρησιμοποιούνται στην γεωργία. Ο τρίτος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 14.5% της συνολικής διακύμανσης εκφράζει την επίδραση των διαφορετικών λιθολογικών σχηματισμών στην ποιότητα των επιφανειακών νερών της περιοχής
7. Με βάση το σύστημα κατάταξης το οποίο έχει παρουσιάσει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) συμπεραίνεται ότι, το επιφανειακό νερό των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Ραφήνας, παρουσιάζει ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια που ενώ είναι κατάλληλο για αρδευτική χρήση, μετά από συνεχή χρήση θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στις καλλιέργειες
8. Η αξιολόγηση ως προς τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103 προέκυψε ότι σε καμιά θέση δειγματοληψίας δεν παρουσιάστηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τα τεθέντα ΠΠΠ

ABSTRACT

The qualitative state of the streams of the Rafina hydrological basin in Attica was studied. For this purpose, a network of 20 sampling stations was designated and samples of surface water were collected, measurements of discharge were conducted and qualitative parameters of water samples were defined at the laborator. Also collected all spatial data and were entered in a GIS platform. Followed statistical analysis and evaluation of the results.

Fieldwork included the following: (1) The designation of sampling sites with easy access in order to transport the equipment, (2) registration of each site's coordinates using GIS with a measurement accuracy of a few meters (3) in situ measurement of the discharge using a small current meter or the float method, depending on the situation, (4) measurements of the geometrical characteristics of the stream cross-section in order to determine the wet surface, and (5) determination of the chemical parameters (pH, conductivity, salinity, TDS, temperature) with the use of a multiparameter.

Laboratory analyses of surface water samples included the determination of major ions (SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{2-} , F^- , Br^- , NH_4^+ , NO_2^- , Cl^- , Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), of some trace elements (Cr_t , Cr_s , Co_t , Co_s , Ni_t , Ni_s , Zn_t , Zn_s , Cu_t , Cu_s , Mn_t , Mn_s , Cd_t , Cd_s , Pb_t , Pb_s), of total suspended solids (TSS) and of alkalinity (in the form of HCO_3^- , CO_3^{2-}). Chemical analyses were conducted at the intradepartmental laboratories of the National and Technical University of Athens. More specifically:

a) The determination of major ions was conducted in the Land Reclamation and Water Resources Management Laboratory of the School of Rural and Surveying Engineering of the NTUA, using ion chromatography (DIONEX: ICS 3000) and the determination of the alkalinity was done using titration method (HACH method).

b) The analysis of trace elements was materialized at the Inorganic and Analytical Chemistry Laboratory of the School of Chemical Engineers NTUA, using the ICP-MS method (AGILENT: MassHunter 7700).

c) The analyses of the total suspended solids were conducted at the Sanitary Engineering Laboratory of the School of Civil Engineers NTUA, using the barometric method, while nitric ions were measured using a spectrophotometer (HACH: DR2800).

The processing and analysis of spatial data was conducted using the ArcGIS v.9.3 software package, available at the Geoinformatics Center of the School of Rural and Surveying Engineering of the NTUA. The data that were gathered are as follows:

- Digital geographical data (contour lines, shoreline, known altimetry points, streams), which were made available from the Geoinformatics Center (data of the Geospatial Enabling Technologies company, GET, and of DigitaGlobe)
- Surveying maps 1:50 000 from the Hellenic Military Geographical Service - MGS. The maps were scanned using a Colortrac SmartLF Gx+ 42 scanner installed at the the Geoinformatics Center of the School of Rural and Surveying Engineering of the NTUA
- Geologic maps 1:50 000 from IGME, which also were scanned using the Colortrac SmartLF Gx+ 42 scanner
- Regarding land usage, the CORINE information of the year 2000 was used at a scale of 1:100 000. The data were made available by the Cartography lab of the School of Rural and Surveying Engineering of the NTUA

The processing of the digital data led to the creation of:

- a digital elevation model
- a digital geologic map
- a land usage map
- a slope map
- all the needed thematic maps regarding the presentation of the results.

The gathering of all relevant data was followed by analysis and evaluation. These included:

- the determination of stream discharge in every sampling site.
- the statistical analysis of each chemical parameter which included the determination of descriptive statistics, the evaluation of the distribution of sample values, and, where needed, the creation of thematic maps that

display the spatial distribution of element concentrations and facilitate the explanation of the observed differentiations.

- the correlation analysis of the sum of measured chemical parameters.
- the application of factorial analysis.
- the implementation of the water categorization system sponsored by the Food and Agriculture Organization (FAO) for the evaluation of the suitability of the water sampled from the stream of the Rafina water basin for irrigation.
- the evaluation of water quality of the streams based on the Environmental Quality Protocols of the Joint Ministerial Decision No. 51354/2641/E103.

Key conclusions reached during the implementation of the current study are presented briefly as follows:

1. The Rafina hydrologic basin is more cyclical than elliptical and has a mean altitude of 220 m and a maximum altitude of 950 m.
2. The natural watershed of the basin has been affected from major engineering projects (Eleftherios Venizelos airport, flood discharge diversion works in the neighboring Podoniftis basin).
3. The Rafina hydrologic basin displays a significant variety of land usage with major proportions belonging to housing and agricultural activities.
4. Based on sample distribution controls, the normal or log-normal distribution can be utilized for the chemical parameters, although the small sample size (20 sites) does not allow for a satisfactory histogram presentation.
5. The correlation analysis revealed a large number of correlations, statistically significant, across the studied parameters. On the other hand, the correlation of parameters in groups of two had difficulties in reaching an interpretation and useful conclusions, so it was only a first step in implementing the factorial analysis.
6. The factorial analysis of the stream water samples of the Rafina hydrologic basin which explains 85.4% of the total variance, has demonstrated the presence of three groups of correlated qualitative factors. The first factor represents the largest percentage (50.1%) of the total variance and is connected to the lithology of the

area. The second factor represents the 20.7% of the total variance and is connected to the fertilizers used in agriculture. The third factor represents the remaining 14.5% of total variance and indicates the effect of the various lithological formations on the quality of the area's surface water.

7. Based on the categorization system of the Food and Agriculture Organization (FAO) the conclusion is that the surface water of the Rafina hydrologic basin displays such qualitative characteristics that make it suitable for irrigation on the provision that it is not used for long periods, in order to avoid possible adverse effects on the crops.
8. The evaluation with regard to the Environmental Quality Protocols of the JMD 51354/2641/E103 concludes that in none of the sampling sites are there concentration levels above those set by the Environmental Quality Protocols.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

x_i	Τιμές τυχαίας μεταβλητής
$\hat{\mu}$	Δειγματικός μέσος όρος
N	Πλήθος τιμών μια μεταβλητής
δ ή \bar{x}	Διάμεσος
m	Φυσικός αριθμός
R	Δειγματικό εύρος
X	Τυχαία μεταβλητή
$\hat{\sigma}^2$	Διασπορά
σ	Τυπική απόκλιση
CV	Συντελεστής μεταβλητότητας
a	Εκατοστιαία σημεία
\hat{g}	Συντελεστής ασυμμετρίας
k	Συντελεστής κύρτωσης
Q_1 & Q_3	Εκατοστιαίο σημείο 25% και 75% αντίστοιχα
I	Ενδοτεταρτομοριακό εύρος
κ	Κλάσεις διαστημάτων
$f(x)$	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
f_κ	Συχνότητα ομάδας κ
p_κ	Σχετική συχνότητα (ποσοστό) ομάδας κ
F_κ	Αθροιστική συχνότητα ομάδας κ
P_κ	Σχετική αθροιστική συχνότητα ομάδας κ
H_0	Μηδενική υπόθεση
p -value	p τιμή

$F(x)$	Αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας
F_0	Συνάρτηση κατανομής
χ^2	Έλεγχος κατανομής
O_i	παρατηρούμενες συχνότητες
E_i	Αναμενόμενες συχνότητες
p	Αριθμός παραμέτρων κατανομής
K-S	Έλεγχος Kolmogorov-Smirnov
D	Στατιστική συνάρτηση στον έλεγχο K-S
D_{cr}	Τιμές στατιστικής συνάρτησης που λαμβάνονται από πίνακα (έλεγχος K-S)
H_0	Μηδενική υπόθεση
$E[]$	Συμβολισμός του μέσου όρου
r	Συντελεστής συσχέτισης δείγματος
r_s	Συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman
ρ	Συντελεστής συσχέτισης πληθυσμού
t	Κατανομή t - Student
q	Αριθμός Παραγόντων
X	Διάνυσμα των αρχικών μεταβλητών μεγέθους $P \times 1$,
μ	Διάνυσμα των μέσων μεγέθους $P \times 1$,
L	$P \times q$ πίνακας των επιβαρύνσεων L_{ij}
L_{ij}	Επιβάρυνση του παράγοντα F_j στην μεταβλητή X_i
F	$q \times 1$ πίνακας των παραγόντων
ε	Σφάλμα ή μοναδικός παράγοντας.
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin στατιστικό
r_{ij}	Δειγματικοί συντελεστές συσχέτισης
α_{ij}	Δειγματικοί συντελεστές μερικής συσχέτισης

G	Ορθογώνιος πίνακας
K_c	Δείκτης συγκέντρωσης
R_c	Δείκτης Miller
z_m :	Μέσο υψόμετρο της λεκάνης,
z_i :	Μέσο υψόμετρο κάθε υποπεριοχής
A_i :	Εμβαδόν της κάθε υποπεριοχής
n	Στροφές έλικα ανά δευτερόλεπτο
\bar{U}	Ταχύτητα ροής ($m s^{-1}$)
U	Μέση ταχύτητα ροής ($m s^{-1}$)
A	Επιφάνεια διατομής ρέματος
P	Αριθμός Μεταβλητών
α	Επίπεδο σημαντικότητας (probability level)
b	Τιμή πλαισίου
t	Κατώφλι

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Ελληνικές

ΠΠΠ	Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος
ΜΕΣ	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση
ΕΜΣ	Ετήσια Μέση Συγκέντρωση

Αγγλικές

EC	Electric Conductivity
TDS	Total Dissolved Solids
TSS	Total Suspended Solids
ES	Effective Salinity
PS	Sodium Percentage
SAR	Sodium Absorption Ratio
RSC	Residual Sodium Carbonate
ESP	Exchangeable Sodium Percentage
CEC	Cation Exchange Capacity
CAS	Chemical Abstracts Service
P-P plot	Probability – Probability plot
Q-Q plot	Quantile – Quantile plot
Te	Trace element
Te _t	Total content of Trace element
Te _s	Soluble content of Trace element

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ

Τις τελευταίες δεκαετίες, το ενδιαφέρον για πρόσβαση σε καλής ποιότητας και επαρκούς ποσότητας υδατικούς πόρους συνεχώς εντείνεται. Η προστασία και διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί αντικείμενο για το οποίο έχουν γίνει μακρόχρονες συζητήσεις και διαπραγματεύσεις μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και υλοποιείται σήμερα με την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Το πεδίο είναι αρκετά ευρύ με πολλές παραμέτρους και με την διπλωματική αυτή εργασία έγινε προσπάθεια να προσεγγισθεί ένα τμήμα του, που αφορά στην ποιότητα του νερού των υδατορευμάτων.

Αν και σε εθνικό επίπεδο έχουν πραγματοποιηθεί προσπάθειες καταγραφής της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης ορισμένων υδατορευμάτων στον νομό Αττικής, παρά το γεγονός ότι αυτός διαθέτει μεγάλα και σημαντικά ρέματα δεν έχουν γίνει ανάλογες προσπάθειες. Με βάση τα παραπάνω αποφασίσθηκε ότι θα ήταν ενδιαφέρον να επιλεγεί και να μελετηθεί μια από τις υδρολογικές λεκάνες του νομού Αττικής.

Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε η υδρολογική λεκάνη της Ραφήνας, γιατί χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό αστικοποίησης, διαθέτει αγροτική δραστηριότητα ενώ συγχρόνως σε σημαντική έκτασή της, οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι περιορισμένες. Δηλαδή πρόκειται για ένα σύστημα που παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση ως προς τις ανθρώπινες επεμβάσεις οι οποίες αναπτύσσονται σε ένα επίσης πολύπλοκο γεωλογικό και γεωμορφολογικό περιβάλλον.

Με την επιλογή της υδρολογικής λεκάνης αρχικός στόχος ήταν η ίδρυση ενός δικτύου παρακολούθησης στο οποίο θα πραγματοποιούνταν οι δειγματοληψίες και θα λαμβάνονταν οι μετρήσεις υπαίθρου. Οι θέσεις αυτές θα έπρεπε να χαρακτηρίζονται από ευκολία πρόσβασης και να είναι χωρικά διάσπαρτες εντός της υδρολογικής λεκάνης.

Ένα δεύτερο αρκετά σημαντικό τμήμα της εργασίας αυτής ήταν η συλλογή των δειγμάτων και η πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων. Η ποικιλία των χημικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν να αναλυθούν, αν και σε ένα σημαντικό ποσοστό πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων που ανήκει στην Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, απαίτησε την συνδρομή και των

άλλων εργαστηρίων της Διασχολικής Σύμπραξης του ΕΜΠ, δηλαδή του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας που ανήκει στην Σχολή των Χημικών Μηχανικών και του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας που ανήκει στην Σχολή των Πολιτικών Μηχανικών.

Ένα ακόμα σημαντικό τμήμα και στόχος της εργασίας αυτής ήταν να συλλεχθούν ή και να δημιουργηθούν εξ αρχής όλα τα απαιτούμενα ψηφιακά δεδομένα που αφορούσαν στην πλήρη περιγραφή της υδρολογικής λεκάνης. Έτσι δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο της περιοχής έρευνας, ο ψηφιακός γεωλογικός χάρτης, ο χάρτης χρήσεων γης. Επίσης η ψηφιακή πληροφορία χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή και άλλων χρήσιμων χαρτών όπως αυτός των κλίσεων του εδάφους.

Πέρα από την συλλογή των δεδομένων ένας βασικός στόχος της εργασίας αποτέλεσε η στατιστική επεξεργασία των ποιοτικών παραμέτρων που μετρήθηκαν και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαμόρφωση της σημερινής ποιοτικής κατάστασης. Για τον λόγο αυτό επιστρατεύτηκαν ορισμένα σημαντικά εργαλεία της στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται κυρίως σε τέτοιες μελέτες όπως αυτά της περιγραφικής στατιστικής, ο έλεγχος των κατανομών και η ανάλυση συσχέτισης. Λόγω όμως της πληθώρας των παραμέτρων κρίθηκε σημαντικό να εφαρμοσθεί, έστω και με τις εγγενείς δυσκολίες που παρουσίασε, η παραγοντική ανάλυση, καθόσον η ανάλυση συσχέτισης δημιουργούσε ένα πολύπλοκο σύστημα συσχετίσεων με δυσκολία ερμηνείας και εξαγωγής γενικευμένων χρήσιμων συμπερασμάτων.

Αν και η μελέτη των παραγόντων που διαμορφώνουν την ποιοτική κατάσταση των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Ραφήνας αποτέλεσε τον κύριο όγκο της εργασίας, δεν ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί χωρίς να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης του νερού των υδατορευμάτων στην άρδευση, στοιχείο που εντάσσεται στο πλαίσιο της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πιο πρόσφατο και ευρύτατα χρησιμοποιούμενο σύστημα ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού που έχει αναπτυχθεί από τους Ayers και Westcot (1985) στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO).

Ένας επιπλέον στόχος που δεν είχε τεθεί εξ αρχής, αλλά προέκυψε κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο οι τιμές ορισμένων παραμέτρων που μετρήθηκαν ξεπερνούν ή όχι τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) τα οποία τέθηκαν με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Αριθμός Η.Π. 51354/2641/Ε103, 24/11/2010) η

οποία τέθηκε σε ισχύ από τις 8 Δεκεμβρίου 2010 και με την οποία η Ελληνική Νομοθεσία έχει εναρμονισθεί πλέον με τις οδηγίες 2000/60/ΕΚ και 2008/105/ΕΚ.

Αν και οι επιμέρους στόχοι της εργασίας αυτής είναι πολλοί και διαφορετικοί μεταξύ τους συνθέτουν τελικά ένα κυρίως αντικείμενο που αποτελεί την καταγραφή και την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού των υδατορευμάτων. Στο πλαίσιο μιας διπλωματικής εργασίας δεν ήταν δυνατόν να διερευνηθούν σε βάθος οι διεργασίες και να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα μιας και αυτό απαιτεί μια μεγάλη σειρά επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και συλλογή δεδομένων αρκετών ετών. Ελπίζω ωστόσο να αποτελέσει την βάση πάνω στην οποία θα στηριχθούν μελλοντικές εργασίες για περαιτέρω μελέτη και παρακολούθηση της ποιότητας των νερών των υδατορευμάτων του νομού Αττικής.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια εκτός από την παρούσα εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην ποιότητα του νερού των υδατορευμάτων. Για την καλύτερη παρουσίαση και κατανόηση των πηγών ρύπανσης γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων. Στο ίδιο κεφάλαιο, αναφέρονται τα κυριότερα στοιχεία που αφορούν στην καταλληλότητα του νερού για αρδευτική χρήση καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την προστασία των υδατορευμάτων.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των στοιχείων της στατιστικής ανάλυσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Περιλαμβάνει στοιχεία της περιγραφικής στατιστικής, του ελέγχου καλής προσαρμογής των κατανομών και της ανάλυσης συσχέτισης. Ολοκληρώνεται με την θεωρία της παραγοντικής ανάλυσης για την οποία όμως έγινε προσπάθεια να παραμείνει σε περιγραφικό επίπεδο κυρίως, επειδή η μαθηματική παρουσίαση της μεθόδου θα ξέφευγε αρκετά από το πλαίσιο της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας. Δίνονται τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, παρουσιάζεται η γεωλογία και η στρωματογραφία ενώ περιγράφεται πως οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις έχουν διαμορφώσει στην σημερινή του μορφή το υδρογραφικό δίκτυο και την υδρολογική λεκάνη.

Στο κεφάλαιο 5 δίνονται αναλυτικά οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την συλλογή των δεδομένων. Περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των δειγμάτων στην ύπαιθρο, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των επί τόπου ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων, οι μεθοδολογίες και ο εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων στα εργαστήρια. Επίσης στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης της χωρικής πληροφορίας σε περιβάλλον GIS.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται αναλυτικά και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν στη εργασία αυτή. Αρχικά, εφαρμόζονται τα κυριότερα στατιστικά εργαλεία ανά χημική παράμετρο, και με την βοήθεια θεματικών χαρτών παρουσιάζεται και ερμηνεύεται, όπου είναι εφικτό, η διαφοροποίησή τους στον χώρο. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης ενώ ακολουθεί η εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή. Στις τελευταίες δύο ενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την διερεύνηση της καταλληλότητας του νερού για αρδευτική χρήση καθώς και αξιολόγηση του νερού των υδατορευμάτων με βάση το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει σήμερα.

Τέλος στο κεφάλαιο 7 συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Ακόμη, στο τέλος της έκθεσης παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, ο αναλυτικός προσδιορισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών, της αλκαλικότητας και των νιτρικών ιόντων, τα αποτελέσματα της μέτρησης της παροχής, ο έλεγχος της αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων, αναλυτικοί πίνακες με τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης καθώς και η παρουσίαση των θέσεων δειγματοληψίας.

2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, εκτός από την μελέτη των φυσικών διεργασιών που αφορούν τις ποσοτικές μεταβολές στα συστήματα επιφανειακών υδάτων, παρατηρείται σημαντικό ενδιαφέρον για την ανάλυση και έρευνα των ποιοτικών μεταβολών τους. Ο όρος «ποιότητα του νερού» έχει έννοια πάντα σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις νερού και, επομένως, υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές (Αντωνόπουλος, 2003). Μόνο μία λεπτομερής ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών απαιτήσεων των διαφορετικών χρήσεων του νερού μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

2.2.1 Γενικά

Η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων μεταβάλλεται τόσο από φυσικούς όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες (Αντωνόπουλος, 2003).

Οι κυριότερες φυσικές πρωτογενείς πηγές χημικών ουσιών είναι:

- η χημική αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων και σχηματισμών
- οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις φυσικής προέλευσης
- η αποστράγγιση των οργανικών εδαφών

ενώ σημαντική είναι η συμβολή, στην τελική ποιοτική κατάσταση ενός υδατορεύματος:

- της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων νερών, όταν αυτά τροφοδοτούν τα υδατορεύματα και
- του υδρολογικού καθεστώτος των υδατορευμάτων

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα της σύστασης των υδατορευμάτων μεταβλήθηκε σημαντικά εξ αιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Η βιομηχανική ανάπτυξη στα μέσα του εικοστού αιώνα δημιούργησε, στα μεγάλα ποτάμια της Ευρώπης και Β. Αμερικής, το πρόβλημα της σημαντικής εποχιακής μείωσης του διαλυμένου οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτιση των ποταμών με

βιοαποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους. Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα, διαφορετικής μορφής έκτασης και έντασης, ποιοτικά προβλήματα όπως είναι το φαινόμενο του ευτροφισμού που οφείλεται στις εισροές κυρίως φωσφόρου και αζώτου, η βαθμιαία αύξηση των βαρέων μετάλλων καθώς και άλλων συνθετικών ουσιών (κυρίως, από την δεκαετία του '70 και μετά) στα ιζήματα και στο νερό των ποταμών και των λιμνών. Άλλα προβλήματα που εμφανίστηκαν αυτή την περίοδο είναι η ατμοσφαιρική μεταφορά αερίων ρύπων από την καύση ορυκτών καυσίμων, καθώς και η οξίνιση των λιμνών και των ποταμών. Η εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και στερεών αποβλήτων στην γεωργία αύξησε τη συγκέντρωση των νιτρικών στα υπόγεια και επιφανειακά νερά με αποτέλεσμα, σε πολλές περιπτώσεις, αυτή να υπερβαίνει κατά πολύ τα συνιστώμενα όρια (Αντωνόπουλος, 2003).

Ειδικότερα, τα ανθρωπογενή αίτια υποβάθμισης της ποιότητας των νερών των υδατορευμάτων είναι:

- η διάθεση υγρών αποβλήτων
- η διάθεση στερεών αποβλήτων
- οι παρεμβάσεις στην μορφολογία, στο έδαφος και στις χρήσεις γης
- η εκπομπή αέριων ρύπων

Οι παράγοντες αυτοί οδηγούν, ανάλογα με τις συνθήκες, σε μικρότερη ή μεγαλύτερη υποβάθμιση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού. Οι κυριότερες μεταβολές που παρατηρούνται είναι η αλλαγή των φυσικών χαρακτηριστικών του νερού (θερμοκρασία, θολότητα, διαλυμένο οξυγόνο και συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών), των χημικών χαρακτηριστικών του νερού (αύξηση αλατότητας, οξίνιση, και γενικότερη ρύπανση από βαρέα μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες), μόλυνση και μεταβολές οργανικού φορτίου, καθώς και την εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων.

2.2.2 Φυσικοί παράγοντες

Η ποιότητα των νερών των υδατορευμάτων εξαρτάται από τους ακόλουθους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Meybeck et al., 1989):

2.2.2.1 Χημική αποσάθρωση επιφανειακών πετρωμάτων

Η χημική αποσάθρωση είναι αποτέλεσμα κυρίως της συνδυασμένης επίδρασης του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα επί των ορυκτών η οποία οδηγεί στην χημική εξαλλοίωσή τους. Με τον τρόπο αυτό, προκύπτουν τα κύρια κατιόντα (ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο) καθώς και τα διαλυτά πυριτικά άλατα και η ανθρακική ρίζα.

1) Προέλευση κατιόντων

Νάτριο (Na^+)

Το νάτριο περιέχεται στην σύσταση πολλών ορυκτών και πετρωμάτων. Οι αργιλικόι σχιστόλιθοι και τα αργιλικά ορυκτά (ομάδα μοντμοριλονίτη), συνήθως, αποτελούν πηγές σημαντικών ποσοτήτων νατρίου στα επιφανειακά νερά. Επίσης, το νάτριο εμφανίζεται στην ομάδα των πλαγιοκλάστων (κυρίως αλβίτη) ενώ συμμετέχει και στη σύσταση του νεφελίνη, των νάτριο-ασβεστούχων και αλκαλικών αμφιβόλων και των ζεόλιθων. Πολύ σπάνια συμμετέχει στη σύσταση των μαρμαρυγιών και βρίσκεται επίσης σε μικρές ποσότητες στα ανθρακικά πετρώματα.

Κάλιο (K^+)

Το κάλιο είναι κύρια συνδεδεμένο με πετρώματα που περιέχουν ορθόκλαστο και συχνά απαντάται σε ιζηματογενείς σχιστόλιθους, ειδικότερα σε αυτούς που περιέχουν ιλλίτη.

Ασβέστιο (Ca^{2+})

Σε ιζηματογενή πετρώματα, το ασβέστιο εμφανίζεται με την μορφή ανθρακικών, (ασβεστίτης, αραγονίτης και δολομίτης) και θεικών (γύψος και ανυδρίτης). Πηγή του ασβεστίου αποτελούν πυριτικά ορυκτά, πυρόξενοι, αμφίβολοι, άστριοι και πυριτικά ορυκτά που προήλθαν από μεταμόρφωση. Επειδή η διαλυτότητα αυτών των ορυκτών είναι πολύ χαμηλή, το νερό που βρίσκεται σε επαφή με ηφαιστειακά ή μεταμορφωμένα πετρώματα συνήθως έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε ασβέστιο καθώς και σε ολικά διαλυμένα στερεά.

Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Τα περισσότερα υπόγεια νερά περιέχουν σχετικά μικρές ποσότητες μαγνησίου, εκτός αν το νερό έρχεται σε επαφή είτε με δολομίτες [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], όπου το νερό περιέχει σχεδόν ίσες ποσότητες ασβεστίου και μαγνησίου, είτε με εβαπορίτες πλούσιους σε μαγνήσιο, που τότε το μαγνήσιο γίνεται το κυρίαρχο κατιόν του νερού. Στα ιζηματογενή πετρώματα, το μαγνήσιο βρίσκεται ως μαγνησίτης (MgCO_3) και άλλα ανθρακικά ορυκτά. Ακόμη, απαντά

και με την μορφή Mg^{2+} προσροφημένο στο πλέγμα των αργιλικών ορυκτών. Στα υπόγεια νερά (τα οποία, στην συνέχεια, μπορεί να τροφοδοτούν υδατορεύματα), εφόσον έρχονται σε επαφή με ηφαιστειακά πετρώματα, κυρίως το μαγνήσιο προέρχεται από τα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά (ολιβίνης, πυρόξενι, αμφίβολοι και σκουρόχρωμοι μαρμαρυγίες). Για τα μεταμορφωμένα πετρώματα, το μαγνήσιο βρίσκεται σε ορυκτά όπως ο χλωρίτης, ο μοντμοριλονίτης και ο σερπεντίνης. Τέλος, το μαγνήσιο μπορεί να προέρχεται και από το νερό της βροχής κοντά στην θαλάσσια ακτή (Κελεπερτζής, 1993).

2) Προέλευση ανιόντων

Χλώριο (Cl^-)

Πηγή προέλευσης ενός σημαντικού ποσοστού ιόντων χλωρίου στα επιφανειακά νερά είναι οι βροχοπτώσεις με τις οποίες μεταφέρονται άλατα των θαλασσών στο εσωτερικό της χέρσου με την βοήθεια των ανέμων (Apello & Postma, 1993), καθώς και συστατικά της ατμόσφαιρας η οποία έχει ρυπανθεί από βιομηχανίες. Επίσης, η προέλευση των ιόντων χλωρίου είναι δυνατό να οφείλεται στα αργιλικά πετρώματα θαλάσσιας γένεσης, τα οποία κατακρατούν θαλάσσιο νερό ή χλωριούχα άλατα από την εποχή της απόθεσής τους. Αυτό το χλώριο ξεπλένεται βαθμιαία από τις αργιλικές αποθέσεις εμπλουτίζοντας σε χλωριόντα τα υδατορεύματα είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω των υπόγειων νερών. Τέλος, σημαντική πηγή χλωριόντων είναι τα εβαποριτικά ορυκτά.

Θειική ρίζα (SO_4^{2-})

Τα ιόντα αυτά προέρχονται από τη διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη. Το $CaSO_4$ είναι λίγο διαλυτό στο καθαρό νερό, αλλά η διαλυτότητά του αυξάνει υπό ορισμένες φυσικοχημικές συνθήκες. Επίσης, προέρχονται από την οξείδωση των πυριτών που εμφανίζονται σε αργιλικά και άλλα πετρώματα με μορφή διάσπαρτων κόκκων. Αυτή η αντίδραση προκαλεί θειικά σιδηρούχα άλατα που μπορούν να οξειδωθούν σε υδροξείδιο του σιδήρου και H_2SO_4 . Με την παρουσία $CaCO_3$ και $MgCO_3$, το H_2SO_4 σχηματίζει $CaSO_4$ και $MgSO_4$. Η δράση του H_2SO_4 στα ανθρακικά άλατα ελευθερώνει CO_2 που είναι έτσι διαθέσιμο για περισσότερη διάλυση ανθρακικών ορυκτών. Η συγκέντρωση των θειικών στα υπόγεια νερά παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση και αυτό οφείλεται στις διαδικασίες οξείδωσης, αναγωγής, διάλυσης και καθίζησης κατά την κίνησή τους μέσα στα πετρώματα.

Νιτρικά (NO_3^-) - νιτρώδη (NO_2^-)

Αν και τα ηφαιστειακά πετρώματα περιέχουν άζωτο, η μεγαλύτερη ποσότητα αυτού στα νερά προέρχεται πιθανότατα από την βιόσφαιρα (από αζωτούχες ενώσεις). Τα νιτρώδη αποτελούν ένα ενδιάμεσο προϊόν και βρίσκονται στα νερά σε πολύ μικρότερες ποσότητες, ενώ προσδίδουν τοξικότητα στο νερό που χρησιμοποιείται ως πόσιμο από ανθρώπους και ζώα.

3) Υδροχημικές παράμετροι

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) διαλύματος εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η αγωγιμότητα είναι το ρεύμα προς την διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται σε δυο ηλεκτρόδια μέσα σε ένα διάλυμα (είναι δηλαδή το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης) (Χαβρεδάκη, 1994). Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιξώδες του διαλύματος, καθώς και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, με την οποία γίνεται η μέτρηση. Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο υγρό. Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν διίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα. Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το Siemens cm^{-1} (S cm^{-1}) ή mhos cm^{-1} ($1 \text{ S cm}^{-1} = 1 \text{ mhos cm}^{-1}$), με υποδιαίρέσεις το mS cm^{-1} και το $\mu\text{S cm}^{-1}$. Επειδή η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία συνήθως αυτό που χρησιμοποιείται είναι η ειδική αγωγιμότητα διαλύματος (specific EC) η οποία είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ανηγμένη στους 25°C .

Ολικά διαλυμένα στερεά

Τα διαλυμένα στερεά οφείλονται στην παρουσία κυρίως ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων όπως χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά κ.λπ. Η προέλευσή τους είναι είτε φυσική, είτε οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα ολικά διαλυμένα στερεά συνδέονται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και προσδιορίζονται βαρυμετρικά μετά από διήθηση του δείγματος από φίλτρα $0.45 \mu\text{m}$ και ξήρανση του διηθήματος σε φούρνο στους

180°C (ΑΡΗΑ, 2005). Τα ολικά διαλυμένα στερεά εκφράζονται σε mg L^{-1} και τυπική σχέση που χρησιμοποιείται για την σχέση TDS και EC είναι:

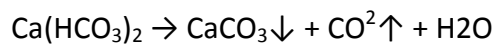
$$\text{TDS (mg L}^{-1}\text{)} = 640 \text{ EC (mS cm}^{-1}\text{)} \quad (2.1)$$

η οποία, όμως, διαφοροποιείται ανάλογα με την συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών και την αναλογία με την οποία αυτά συμμετέχουν.

4) Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού αποτελεί την παράμετρο προσδιορισμού της συγκέντρωσης κυρίως των αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου και είναι συνάρτηση της φύσης και της σύστασης των γεωλογικών σχηματισμών με τους οποίους έχει έρθει σε επαφή το νερό κατά την κίνησή του. Ανάλογα με τη μορφή στην οποία βρίσκονται τα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, η σκληρότητα του νερού διακρίνεται σε παροδική και μόνιμη (Κατάκης, 1991).

Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στην παρουσία ευδιάλυτων ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου και αίρεται με το βρασμό του νερού, αφού κατά τη διεργασία αυτή, τα διαλυμένα όξινα ανθρακικά άλατα των δύο μετάλλων καταβυθίζονται ως αδιάλυτα ανθρακικά άλατα, με παράλληλη αποδέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, κατά τις αντιδράσεις:



Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται στην παρουσία χλωριούχων και θεικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου και δεν απομακρύνεται με το βρασμό, αφού κατά τη διεργασία αυτή δεν είναι δυνατόν να καταβυθισθούν τα αντίστοιχα άλατα των δύο μετάλλων.

Το σύνολο της παροδικής και μόνιμης σκληρότητας αποτελεί την ολική σκληρότητα του νερού. Η τιμή της σκληρότητας εκφράζεται σε:

- ισοδύναμη ποσότητα CaCO_3 , δηλαδή σε $\text{mg(CaCO}_3\text{) L}^{-1}$ νερού, που προκύπτει με την μετατροπή της περιεχόμενης ποσότητας Ca^{+2} και Mg^{+2} σε όρους CaCO_3 ,
- ειδικές μονάδες μέτρησης που καλούνται σκληρομετρικοί βαθμοί που ορίζονται ως εξής:

- γερμανικός βαθμός σκληρότητας (1 D°): αντιπροσωπεύει 1 mg(CaO)/100ml νερού,
- γαλλικός βαθμός σκληρότητας (1 F°): αντιπροσωπεύει 1 mg(CaCO₃)/100ml νερού. Όπως γίνεται φανερό από τους παραπάνω ορισμούς η διαφοροποίηση μεταξύ των μονάδων έγκειται στο είδος του άλατος το οποίο επιλέγεται. Έτσι προκύπτει ότι $1 F^{\circ} = 0.56 D^{\circ}$ με βάση την αναλογία των μοριακών βαρών μεταξύ των αλάτων.

5) Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλουν σημαντικά στην διακίνηση των διαλυμένων συστατικών και ρυπαντικών φορτίων, καθώς βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία με το νερό και την βιομάζα. Οι κύριες κατηγορίες σωματιδιακού φορτίου είναι:

- Η σωματιδιακή οργανική ύλη που αφορά στην προσροφημένη διαλυτή οργανική ουσία στα ορυκτά σωματίδια, όσο και τα οργανικής φύσης τεμάχια εξωτερικής ή αυτόχθονης προέλευσης. Η οργανική ύλη κατά ένα μεγάλο ποσοστό προέρχεται από την αποδόμηση των φυτικών ιστών και δευτερευόντως των ζωικών.
- Τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται προσροφημένα στην επιφάνεια των ορυκτών σωματιδίων (N,P). Τα προσροφημένα θρεπτικά στοιχεία αποτελούν, μερικές φορές, σημαντική πηγή εμπλουτισμού των υδάτων, δημιουργώντας προϋποθέσεις εκδήλωσης ευτροφισμού.
- Οι τοξικοί ανόργανοι ρύποι, όπως τα προσροφημένα βαρέα μέταλλα, τα οποία ανακυκλώνονται μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης ανάλογα με το pH.
- Οι τοξικοί οργανικοί μικρορύποι που συνδέονται με την σωματιδιακή ύλη μέσω διεργασιών που σχετίζονται με υδρόφιλες - υδρόφοβες καταστάσεις.

Οι κύριες φυσικές πηγές προέλευσης των αιωρούμενων τεμαχιδίων στα ποτάμια είναι (Αστεριάδης, 2000):

- Η μηχανική και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων
- Η διάβρωση του εδάφους

- Το αυτόχθονο σωματιδιακό υλικό που σχηματίζεται στο υδάτινο σώμα που συνήθως είναι αποτέλεσμα της παραγωγής διαφόρων αλγών και της κατακρήμνισης διαφόρων ορυκτών

2.2.2.2 Υδρολογικό καθεστώς των υδατορευμάτων

Οι διακυμάνσεις της παροχής ενός υδατορεύματος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην χημική σύσταση των υδάτων. Οι κύριες πηγές τροφοδοσίας είναι η επιφανειακή απορροή, που εξαρτάται από την ένταση και την διάρκεια της βροχής, την υδροπερατότητα του εδάφους και τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής καθώς και το κλάσμα του υπόγειου νερού που τροφοδοτεί τα υδατορεύματα σε κατάλληλο υδρογεωλογικό καθεστώς. Κατά την διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων, η ποιότητα του νερού εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις λόγω της διαφορετικής προέλευσης αυτού: επιφανειακή, υπεδάφια απορροή καθώς ροή υπόγειου νερού. Τα νερά της επιφανειακής απορροής παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές θολότητας και μεταφέρουν μεγάλα ποσοστά ολικών αιωρούμενων στερεών ανόργανης και οργανικής σύστασης. Με την υπεδάφια απορροή στραγγίζεται διαλυτή οργανική ουσία και θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φωσφόρος) από τα εδάφη, ενώ τα υπόγεια νερά αποτελούν πηγή για τα περισσότερα στοιχεία που προέρχονται από την εξαλλοίωση των πετρωμάτων. Σε περιόδους μικρών παροχών, η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στα υδατορεύματα αυξάνει και μπορεί να καταστεί επιζήμια σε διάφορους χρήστες του νερού, ιδιαίτερα όταν περιλαμβάνονται χημικές ουσίες τοξικές για τα έμβια όντα.

2.2.2.3 Αποστράγγιση των οργανικών εδαφών

Με την διαδικασία αυτή πραγματοποιείται εμπλουτισμός των επιφανειακών υδάτων σε νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα καθώς και σε διαλυτή οργανική ύλη.

2.2.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα των υδατορευμάτων και προκαλούν άμεσες ή έμμεσες μεταβολές της φυσικής ποιότητας του νερού. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να είναι (Αντωνόπουλος, 1995):

- Μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο. Η μεταβολή αυτή, με την σειρά της, επηρεάζει την ικανότητα αραίωσης και ανάμιξης του νερού των υδατικών συστημάτων. Αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν τέτοιες μεταβολές είναι, για παράδειγμα, οι

πυρκαγιές, η κατασκευή και λειτουργία φράγματος, και η εκτροπή του νερού από μία υδρολογική λεκάνη σε μία άλλη (με μεταβολή της αλατότητας ή και μεταφορά ρύπων).

- Προαγωγή ή μείωση των φυσικών βιογεωχημικών κύκλων, όπως της αποσάθρωσης, και της μηχανικής διάβρωσης. Επεμβάσεις που προκαλούν τέτοιες μεταβολές είναι οι πυρκαγιές και η υλοτόμηση των δασών, η κατασκευή δρόμων, η επέκταση της γεωργίας και η έκλυση αστικών οργανικών λυμάτων.
- Άμεση ή έμμεση απόρριψη ουσιών στα υδατορεύματα. Ένα μεγάλο πλήθος δραστηριοτήτων συνδέονται με αυτή την κατηγορία, όπως είναι η λειτουργία βιομηχανιών και βιοτεχνιών, οι καύσεις άνθρακα και πετρελαίου, η λίπανση με άζωτο, φωσφόρο και κάλιο κ. α.
- Άμεση ή έμμεση έκλυση συνθετικών οργανικών και ανόργανων ουσιών. Αυτή η δραστηριότητα περιλαμβάνει την παραγωγή και χρήση πλαστικών υλικών, τετρααιθυλιούχο μόλυβδο, ραδιενεργά απόβλητα κτλ.

2.2.3.1 Πηγές ρύπανσης και τύποι αποβλήτων

1) Αστικές πηγές και ανάπτυξη ανθρωπογενούς περιβάλλοντος

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται (Αντωνόπουλος, 1995):

Τα υγρά απόβλητα των αστικών περιοχών που φθάνουν στα υδατικά συστήματα είτε μέσω των υπονόμων, είτε με την ελεύθερη επιφανειακή απορροή. Η σύνθεση των αστικών λυμάτων εξαρτάται από παράγοντες όπως η λειτουργία χωριστικού ή παντοροϊκού συστήματος υπονόμων, η εισροή ή όχι βιομηχανικών αποβλήτων, η γεωγραφική θέση του οικισμού και η οικονομία και ο τρόπος ζωής των κατοίκων. Αποτελέσματα από την διάθεση υγρών αποβλήτων είναι η βιολογική μόλυνση, αλλαγές των φυσικών ιδιοτήτων του επιφανειακού νερού (κυρίως της θολότητας, της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου), η παρουσία οργανικού υλικού, η αύξηση της αλατότητας των υδάτων και η οξίνιση των υδάτων (έμμεσες εισροές μέσω όξινων ατμοσφαιρικών κατακρηνισμάτων, κυρίως με την μορφή νιτρικών και θειικών ιόντων που προέρχονται από τις εκπομπές αυτοκινήτων και την καύση πετρελαίου) καθώς και η παρουσία οργανικών μικρορύπων (συνθετικά χημικά, οργανικοί διαλύτες και φυτοφάρμακα).

Τα στερεά απόβλητα τα οποία διατίθενται είτε σε χώρους υγειονομικής ταφής, είτε ανεξέλεγκτα, κυρίως σε μικρούς οικισμούς και γεωργικές περιοχές (Δημαράς & Μαστρογιάννης, 2010). Στην περίπτωση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, η κύρια μορφή είναι αυτή της διάθεσης υγρών αποβλήτων σε υδατορεύματα από την επεξεργασία των στραγγισμάτων που παράγονται. Η ανεξέλεγκτη διάθεση στερεών αποβλήτων, παρά το γεγονός ότι είναι παράνομη, παρατηρείται ακόμα και σήμερα, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, και δημιουργεί συνθήκες διασποράς σκόνης και μικροσωματιδίων από διάφορα υλικά, ευδιάλυτα ή δυσδιάλυτα στο νερό (μέταλλα, ξύλο, πλαστικό, οργανικά στερεά). Στην περίπτωση των ευδιάλυτων ουσιών, προκύπτουν επιπτώσεις ανάλογες με τα υγρά απόβλητα, ενώ για τις δυσδιάλυτες ουσίες, διαμορφώνονται δυσμενείς οικολογικές συνθήκες στο νερό, γεγονός το οποίο αντανακλάται στην οικολογική ποιότητα των υδάτων, αλλά και στις φυσικές τους ιδιότητες (υψηλή περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών, χαμηλό διαλυμένο οξυγόνο, εμφράξεις του πυθμένα των ποταμών συνοδευόμενες από καταστροφή της βενθικής χλωρίδας και πανίδας – κυρίως για μεγάλους ποταμούς, τοξικότητα των υδάτων για ορισμένα είδη πανίδας εξαιτίας της διασποράς μικροσωματιδίων τοξικών ουσιών όπως είναι πολλές κατηγορίες πλαστικών.

Οι διάφορες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στις κοίτες των ρεμάτων και των συνθηκών ροής του νερού. Τα αίτια είναι ποικίλα και συνδέονται με έργα υποδομής, επεκτάσεις οικισμών και άλλα έργα που συνδέονται με το ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι επεμβάσεις που συνήθως γίνονται περιλαμβάνουν:

- Διευθέτηση κοίτης ποταμού
- Επένδυση κοίτης ποταμού
- Διακοπή συνέχειας κοίτης ποταμού (π.χ., με κατασκευή φράγματος)
- Εκτροπή ποταμού
- Δανειοληψία υλικών από ποτάμια
- Επίχωση όχθης ποταμού
- Εκβάθυνση κοίτης ποταμού

Οι συνήθεις επιπτώσεις είναι:

- Η μεταβολή της ταχύτητας και της τύρβης κατά θέσεις

- Η αύξηση της διαβρωτικότητας του νερού
- Αλλαγή της πορείας της κοίτης
- Μεταβολές στις στερεοπαροχές
- Μεταβολή της εκπομπής στερεών προς το νερό του ποταμού

2) Βιομηχανικές πηγές - Ορυχεία

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται απόβλητα από τις δραστηριότητες των βιομηχανιών και άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων (Αντωνόπουλος, 1995). Τα απόβλητα αυτά προέρχονται:

Από τις δραστηριότητες της υγιεινής των εργαζομένων (πλύσιμο, πόση), την ψύξη, τις διαδικασίες παραγωγής (πλύσιμο προϊόντων, βαφές, απομάκρυνση υποπροϊόντων και αποβλήτων) και καθάρισμα (πλύσιμο και καθάρισμα των συσκευών και των χώρων της βιομηχανίας).

Από την λειτουργία ορυχείων. Τα απόβλητα των ορυχείων σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ιόντων όπως είναι ιόντα χλωρίου και νατρίου στην περίπτωση εξόρυξης αλατούχων ορυκτών, και θεικών ριζών από την εξόρυξη σιδήρου και άνθρακα. Επίσης, τα απόβλητα ορυχείων είναι όξινα ($\text{pH} < 3$) και είτε έχουν επίπτωση στις μεταβολές του pH των υδάτων, είτε εντείνουν την χημική αποσάθρωση των ορυκτών και των πετρωμάτων.

3) Γεωργικές πηγές

Η γεωργική δραστηριότητα συμβάλλει σημαντικά στην ρύπανση των υδατορευμάτων εξαιτίας της χρήσης χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (παρασιτοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, νηματοδοκτόνα, μυκητοκτόνα, ακαρεοκτόνα, αποξηραντικά και αποφυλλωτικά). Τα χημικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και τα στερεά απόβλητα των ζώων που εφαρμόζονται στο έδαφος παρασύρονται από τα απορρέοντα νερά των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων προς τα στραγγιστικά δίκτυα και από εκεί, στα υδατορεύματα. Επίσης, το νερό που κινείται μέσα από το έδαφος συμπαρασύρει χημικές ουσίες προς το στραγγιστικό δίκτυο. Από τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία το άζωτο κινείται ταχύτερα με το νερό στράγγισης ενώ ο φωσφόρος και τα φυτοφάρμακα δεσμεύονται από το έδαφος και τροφοδοτούν τα υδατορεύματα με την διεργασία της διάβρωσης.

Λιπάσματα: Η χρήση λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει αύξηση των αλάτων στα επιφανειακά νερά, αφού τα εμπορικά παρασκευάσματα που χρησιμοποιούνται περιέχουν χλωριούχα, θειικά, νιτρικά και φωσφορικά ιόντα καθώς και κάλιο, μαγνήσιο, αμμώνιο και νάτριο σε μεγάλες ποσότητες. Τα φωσφορικά λιπάσματα συχνά περιέχουν και βαρέα μέταλλα όπως Cu, Zn, B και Mo, που θεωρούνται απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών, καθώς επίσης και As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, U και V που μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση του περιβάλλοντος.

2.3 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων αποδεκτής ποιότητας για την κάλυψη των διαφόρων αναγκών (πόση, άρδευση, βιομηχανική χρήση) οδηγεί, σε πολλές περιπτώσεις, στην κατασκευή έργων συλλογής και ταμίευσης νερού των υδατορευμάτων. Οι απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα του νερού διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την χρήση του και, για τον σκοπό αυτό, θεσπίζονται κριτήρια καταλληλότητας και παραμετρικές τιμές που καθορίζουν πλήρως τις φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους του. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης του νερού το οποίο προορίζεται για αρδευτική χρήση (Παναγούλια και Δήμου, 2000).

Το νερό που χρησιμοποιείται στην άρδευση, ανεξάρτητα την προέλευσή του, περιέχει διαλυμένα ιόντα και χημικές ουσίες, καθώς και αιωρούμενα στερεά. Ανάλογα με την πρακτική άρδευσης και στράγγισης των εδαφών και την περιεκτικότητα του νερού της άρδευσης παρατηρείται συσσώρευση μέρους των υλικών αυτών στο έδαφος. Η ποσότητα και η φύση αυτών των υλικών με δεδομένες περιβαλλοντικές, κλιματικές συνθήκες και δεδομένες καλλιέργειες καθορίζουν την ποιότητα και συνεπώς και την χρησιμότητα του διατιθέμενου νερού.

Αποδεκτοί δείκτες, που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του νερού, είναι:

- η ολική περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα η οποία εξαρτάται από την λιθολογία, τις κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες και επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών
- η περιεκτικότητα σε ορισμένα συστατικά
- η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών που εξαρτάται από την λιθολογία και τις αιτίες διάβρωσης (π.χ., έντονες βροχοπτώσεις) και επηρεάζει την επιλογή της

τεχνικής μεταφοράς και εφαρμογής του νερού (διάβρωση και εναπόθεση στο δίκτυο μεταφοράς, μείωση του ωφέλιμου όγκου σε δεξαμενές και ταμιευτήρες, αρνητικές συνέπειες σε ορισμένες τεχνικές άρδευσης όπως για παράδειγμα στην μέθοδο με σταγόνες)

- η ποσότητα των ρύπων από πηγές ανθρώπινης δραστηριότητας (παρουσία αγροχημικών ουσιών όπως τα ανόργανα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, καθώς και απόβλητα βιομηχανικών και αστικών περιοχών)

Εκτός βέβαια από την ποιότητα, η καταλληλότητα ή όχι του διατιθέμενου νερού για άρδευση επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες. Τέτοιοι είναι:

- η αντοχή των φυτών
- οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους
- το βιολογικό ισοζύγιο στο έδαφος (που επηρεάζεται και από την παρουσία των αγροχημικών υπολειμμάτων)
- η υπάρχουσα τεχνολογία των αρδεύσεων (επιλογή μεθόδου εφαρμογής)
- η δυνατότητα για στράγγιση

Τα προβλήματα που πιο συχνά χρησιμοποιούνται ως βάση για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού (Αντωνόπουλος, 2006) έχουν σχέση με την αλατότητα που προκαλείται στο έδαφος και επηρεάζει την παραγωγή των φυτών¹, με την διηθητικότητα του εδάφους, με την τοξικότητα ορισμένων στοιχείων στα φυτά (σημαντική παρουσία ιόντων χλωρίου, νατρίου, βορίου) και με ορισμένα ειδικά προβλήματα που έχουν σχέση με την ανάπτυξη των φυτών (όπως είναι η υπερβολική ανάπτυξη των καλλιεργειών, η καθυστέρηση της ωρίμανσης ως αποτέλεσμα της παρουσίας αζώτου στο νερό), την δημόσια υγεία (όταν οι διατιθέμενοι υδατικοί πόροι για άρδευση ρυπαίνονται από αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα ή επιλέγεται επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων) και το περιβάλλον.

¹ Τα συμπτώματα αλατότητας στα φυτά είναι η εμφάνιση μείωσης του φυλλώματος και περιορισμός των ριζών, μικρών βαθυπράσινων φύλλων και εύκολης μάρανσης των φυτών, περιφερειακών εγκαυμάτων στα φύλλα, αποφύλλωσης και νέκρωσης νεαρών βλαστών και λευκού επανθίσματος στην επιφάνεια του εδάφους.

2.3.1 Οι κυριότερες παράμετροι που χρησιμοποιούνται στα κριτήρια καταλληλότητας

2.3.1.1 Η αλατότητα

Η καταγραφή της αλατότητας μπορεί να γίνει είτε με την μέτρηση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS εκφρασμένα σε mg L^{-1} ή ppm), τον προσδιορισμό της ολικής αλατότητας (εκφρασμένη σε me L^{-1} , την ενεργό αλατότητα (ES εκφρασμένη σε me L^{-1} και προσδιορίζεται από την σχέση $ES = \text{Cl}^- + 1/2 \text{SO}_4^{2-}$) και, τέλος, είτε με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC εκφρασμένη ως mmhos cm^{-1} ή dS m^{-1} στους 25°C).

2.3.1.2 Η περιεκτικότητα σε νάτριο

Η περιεκτικότητα σε νάτριο εκφράζεται:

- ως ποσοστό (%) των ολικών κατιόντων και δίνεται από την σχέση:

$$PS(\%Na^+) = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad (2.2)$$

- με την αναλογία προσροφημένου νατρίου που δίνεται από την σχέση:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (2.3)$$

όπου οι συγκεντρώσεις Na^+ , K^+ , Ca^{+2} και Mg^{+2} αναφέρονται σε meq L^{-1} .

Το νάτριο είναι σημαντική πηγή κινδύνου στο νερό άρδευσης. Ωστόσο δεν βλάπτει την απομύζηση του νερού από τις καλλιέργειες αλλά συμβάλλει στην αποκροκίδωση και μείωση της περατότητας του εδάφους (Παναγούλια και Δήμου, 2000) ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που το ασβέστιο και το μαγνήσιο συμμετέχουν σε σημαντικό βαθμό. Η μείωση αυτή στην διήθηση γενικά αποδίδεται στη διάχυση (διασπορά) και κίνηση σωματιδίων αργίλου στους πόρους του εδάφους, στην δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια και στην διόγκωση των διασταλτών σωματιδίων αργίλου. Πιο συγκεκριμένα, υψηλές συγκεντρώσεις ανταλλάξιμου νατρίου στο νερό άρδευσης και στα εδάφη είναι ενδεχόμενο να προκαλέσουν επιδείνωση της δομής του εδάφους με αποτέλεσμα την μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας. Όταν το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι τα επικρατούντα κατιόντα που καταλαμβάνουν τις περιοχές ανταλλαγής εδάφους, το έδαφος τείνει να έχει κοκκώδη δομή που είναι εύκολα διαπερατή τόσο από αέρα, όσο και από το νερό. Καθώς αυξάνει η συγκέντρωση του ανταλλάξιμου νατρίου στο έδαφος, ο λόγος ιόντων νατρίου προς ασβέστιο και μαγνήσιο αυξάνει και ο αριθμός των θέσεων ανταλλαγής

που κατελάμβαναν το ασβέστιο ή το μαγνήσιο μειώνεται. Αυτό προκαλεί διάσπαση των ανόργανων σωματιδίων του εδάφους και μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας

2.3.1.3 Η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) έχουν την τάση να σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις με τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} με αποτέλεσμα την σχετική αύξηση της συγκεντρώσεως του Na^+ . Η επίδραση των ανθρακικών ιόντων στην ποιότητα του αρδευτικού νερού εκφράζεται ως υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC) και δίνεται από την σχέση:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) + (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) \quad (2.4)$$

Η τιμή του υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου δείχνει τον κίνδυνο νατρίου λόγω της μείωσης των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το νερό με τις αντιδράσεις τους με τα όξινα ανθρακικά και ανθρακικά ιόντα. Στην παραπάνω σχέση οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε me L^{-1} .

2.3.1.4 Ανταλλάξιμο νάτριο

Το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) εκφράζει το βαθμό κορεσμού των ιοντοανταλλάξιμων θέσεων του πορώδους μέσου με νάτριο. Η μαθηματική έκφραση έχει ως εξής:

$$\text{ESP} = [\text{ανταλλάξιμο νάτριο (meq/100 g εδάφους)}/[\text{CEC(meq/100g εδάφους)}] \quad (2.5)$$

όπου CEC είναι η ικανότητα εναλλαγής κατιόντων του εδάφους (meq/100g εδάφους).

Το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου μπορεί να υπολογιστεί από την αναλογία προσροφημένου νατρίου (SAR) από την σχέση:

$$\text{ESP} = \frac{1.47\text{SAR} - 1.26}{(0.0147\text{SAR}) + 0.99} \quad (2.6)$$

Γενικώς υψηλότερα επίπεδα ESP μπορούν να είναι ανεκτά για χονδρόκοκκης σύστασης εδάφη παρά για λεπτόκοκκης σύστασης εδάφη.

2.3.1.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά

Στα αρδευτικά δίκτυα καταιονισμού τα μεταφερόμενα υλικά μπορούν να προξενήσουν βιολογική διαταραχή με την συγκέντρωσή τους στα φύλλα των καλλιεργειών, ενώ στα συστήματα αρδεύσεως με σταγόνες υπάρχει κίνδυνος εμφράξεως των σταλλακτών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού. Επίσης, στις μεθόδους επιφανειακής αρδεύσεως, νερό με σημαντική

περιεκτικότητα σε στερεά, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διαπερατότητας των εδαφών. Το πρόβλημα της διαπερατότητας γίνεται εντονότερο όταν τα αρδευόμενα εδάφη είναι λεπτόκοκκα. Σαν αποτέλεσμα δημιουργείται κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους με σταδιακή έμφραξη των πόρων του εδάφους που εκτός της μείωσης της διηθητικότητας δημιουργεί προβλήματα στο φύτευμα των σπόρων.

2.3.1.6 Περιεκτικότητα σε βιοκτόνα

Τα βιοκτόνα είναι ισχυρά δηλητήρια που χρησιμοποιούνται στη γεωργία για την προστασία της παραγωγής από ανεπιθύμητα φυτά (ζιζάνια), διάφορους μικροοργανισμούς και ασθένειες. Τα βιοκτόνα είναι επικίνδυνα κυρίως για τον μεγάλο χρόνο βιοαποδομήσεώς τους με αποτέλεσμα την βιολογική μεγέθυνση στους διάφορους οργανισμούς και, τελικά, στον άνθρωπο.

2.3.2 Συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού

Από την δεκαετία του 1930 έχουν γίνει προσπάθειες για να βρεθούν μέθοδοι για την ποιοτική κατάταξη του νερού άρδευσης. Οι κυριότερες είναι οι εξής:

- Ο Scofield (1935) πρότεινε ένα σύστημα κατάταξης που περιλαμβάνει τους εξείς δείκτες: αλατότητα, νάτριο, χλώριο, και θειικά.
- Το σύστημα των Wilcox και Magistad (1943) οι οποίοι πρότειναν μία ταξινόμηση χρησιμοποιώντας ως δείκτες την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, το περιεχόμενο νάτριο (%), και τη συγκέντρωση του χλωρίου και του βορίου. Μια παραλλαγή του συστήματος αυτού προτάθηκε από τον Wilcox (1948) ο οποίος χρησιμοποίησε ως δείκτες την αλατότητα και το νάτριο ως εκατοστιαίο ποσοστό των κατιόντων. Τέλος, μια περισσότερο βελτιωμένη πρόταση για την ταξινόμηση των νερών για άρδευση έγινε από τον Wilcox (1958).
- Το Εργαστήριο Αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.D.A. 1954) παρουσίασε ένα ευρύτερα αποδεκτό σύστημα κατάταξης των νερών με βάση την περιεκτικότητά τους σε άλατα και νάτριο. Το σύστημα αυτό στηρίζεται στον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σε mhos cm^{-1}) και την περιεκτικότητα του νερού σε νάτριο, ασβέστιο και μαγνήσιο (σε me L^{-1}) και στον προσδιορισμό του δείκτη SAR. Ο δείκτης SAR εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με κατιόντα όπως ασβέστιο και μαγνήσιο

που έχουν προσροφηθεί από τα κολλοειδή του εδάφους. Με βάση τις τιμές αυτών των παραμέτρων το νερό μπορεί να καταταγεί σε μια από τις τέσσερις κατηγορίες αγωγιμότητας που λέγονται και περιπτώσεις κινδύνου αλάτωσης (C_1, C_2, C_3, C_4) και σε μια από τις τέσσερις κατηγορίες νατρίου που λέγονται και περιπτώσεις κινδύνου νατρίου ή αλκαλίωσης (S_1, S_2, S_3, S_4). Η καλύτερη κατηγορία αποδίδεται ως $C_1 S_1$ και η χειρότερη $C_4 S_4$.

- Ο Doneen το 1958 παρουσίασε ένα σύστημα ποιοτικής κατάταξης του νερού άρδευσης που περιλαμβάνει την διαλυτότητα των αλάτων και τις αντιδράσεις που δημιουργούνται στο εδαφικό διάλυμα από την ανταλλαγή των κατιόντων. Το σύστημα αυτό βασίζεται στον προσδιορισμό της ενεργού αλατότητας ES και διακρίνει τρεις κατηγορίες ως προς τον κίνδυνο δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της ενεργού αλατότητας και τις συνθήκες στράγγισης του εδάφους.
- Αν και έχει δημοσιευθεί πλήθος ποιοτικών κατατάξεων του νερού άρδευσης σε γενικές γραμμές δεν μπορούν αυτές να εφαρμοσθούν σε όλες τις περιπτώσεις. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) έχει παρουσιάσει ένα ευρύτατα αποδεκτό σύστημα κατάταξης το οποίο έχει στηριχθεί στην πρώτη έκδοση του συστήματος που είχε δημοσιευθεί από τους Ayers και Westcot (1976). Αυτοί ανέπτυξαν ένα σύστημα ποιοτικής κατάταξης που βασίζεται στον έλεγχο του νερού ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης μίας από τις τέσσερις ομάδες πιθανών προβλημάτων (αλάτωσης, διηθητικότητας, τοξικότητας, και ειδικών προβλημάτων) με τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων του νερού με τις οποίες συνδέονται τα προβλήματα αυτά. Για κάθε ομάδα πιθανών προβλημάτων, διακρίνονται τρεις διαβαθμίσεις του κινδύνου να εμφανιστούν τα προβλήματα αυτά. Οι διαβαθμίσεις αυτές είναι α) καλή ποιότητα – χωρίς προβλήματα (η χρήση του νερού αυτού δεν δημιουργεί προβλήματα στα φυτά και στο έδαφος), β) αύξηση του κινδύνου προβλημάτων από την συνεχή χρήση νερού, γ) ακατάλληλη ποιότητα – σοβαρά προβλήματα (νερό της κατηγορίας αυτής επιφέρει σημαντικά προβλήματα στις καλλιέργειες και στο έδαφος).

Πίνακας 2.1: Κατάταξη του νερού άρδευσης ως προς την ποιότητά του και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων (Ayers & Westcot, 1985)

Προβλήματα και σχετική ποιοτική παράμετρος		Μονάδες	Διαβαθμίσεις κινδύνου			
			(1) Καλή ποιότητα	(2) Αυξανόμενα προβλήματα	(3) Ακατάλληλη ποιότητα	
Αλατότητα						
ECw		mS cm ⁻¹	<0.7	0.7-3.0	>3.0	
ή TDS		mg L ⁻¹	<450	450-2000	>2000	
Διηθητικότητα						
SAR	=0-3	ECw	=	>0.7	0.7-0.2	<0.2
	=3-6		=	>1.2	1.2-0.3	<0.3
	=6-12		=	>1.9	1.9-0.5	<0.5
	=12-20		=	>2.9	2.9-1.3	<1.3
	=20-40		=	>5.0	5.0-2.9	<2.9
Τοξικότητα ιόντων						
Προσφρόφηση από τις ρίζες	Νάτριο	me L ⁻¹	<3.0	3.0-9.0	>9.0	
		mg L ⁻¹	<69	69-207	>207	
	Χλώριο	me L ⁻¹	<4.0	4.0-10.0	>10.0	
		mg L ⁻¹	<142	142-355	>355	
	Βόριο	me L ⁻¹	<0.7	0.7-3.0	>3.0	
		mg L ⁻¹	<0.7	0.7-3.0	>3.0	
Προσρόφηση από τα φύλλα κατά τον ψεκασμό	Νάτριο	me L ⁻¹	<3.0	>3.0	--	
		mg L ⁻¹	<69	>69	--	
	Χλώριο	me L ⁻¹	<3.0	>3.0	--	
		mg L ⁻¹	<106	>106	--	
Ειδικά προβλήματα						
Για ευαίσθητες καλλιέργειες	NO ₃ -N	mg L ⁻¹	<5	5-30	>30	
	NH ₄ -N	mg L ⁻¹	<5	5-30	>30	
Μόνο για ψεκασμό	HCO ₃ ⁻	me L ⁻¹	<1.5	1.5-8.5	>8.5	
		mg L ⁻¹	<90	90-520	>520	
	pH		Κανονικά επίπεδα 6.5-8.4			

Ο καθορισμός των ορίων για την διάκριση αυτή στηρίζεται στις παρακάτω υποθέσεις (Ayers & Westcot, 1985):

- Όταν το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία (1) τότε αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμό στην επιλογή των καλλιεργειών και χωρίς να χρειάζεται ειδικές πρακτικές άρδευσης. Αν το νερό δεν ανήκει στην κατηγορία (1) τότε μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί στις καλλιέργειες που θα επιλεγθούν ή να χρειασθεί να εφαρμοσθεί κάποια ειδική τεχνική.
- Το εδαφικό υλικό κυμαίνεται από αμμώδες-πηλώδες ως αργιλοπηλώδες με καλή εσωτερική στράγγιση. Το κλίμα είναι ημίξηρο ως ξηρό με λίγες βροχοπτώσεις. Στην περίπτωση που οι βροχοπτώσεις είναι σημαντικές και συνυπολογίζονται στο νερό άρδευσης, τότε, τα όρια που έχουν τεθεί στο

σύστημα αυτό θεωρούνται αρκετά αυστηρά, αφού το νερό της βροχής υποβοηθά την καλή στράγγιση και έκπλυση του εδάφους.

- Χρησιμοποιείται οι συνήθεις μέθοδοι επιφανειακής άρδευσης και άρδευσης με σταγόνες. Το νερό εφαρμόζεται όταν απαιτείται και χρησιμοποιείται από τα φυτά ποσοστό μεγαλύτερο από 50% πριν την επόμενη άρδευση. Για ειδικές μεθόδους άρδευσης τα όρια του συστήματος αυτού θεωρούνται αρκετά αυστηρά.
- Τα όρια που έχουν τεθεί δεν είναι αυστηρά με την έννοια ότι θεωρούνται λίγο αυθαίρετα και υπέρβαση μια κατηγορίας κατά 10 - 20% θα πρέπει να αξιολογούνται για κάθε περίπτωση ξεχωριστά με βάση τις τοπικές συνθήκες.

Λόγω των σημειακών και μη σημειακών πηγών ρύπανσης των υδατορευμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω ενδέχεται να παρουσιάζονται αυξημένες συγκεντρώσεις σε ορισμένα ιχνοστοιχεία. Επίσης το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται στην άρδευση νερό που προέρχεται από επεξεργασμένα ή μη αστικά λύματα (Αντωνόπουλος, 2006). Παρόλο που οι συγκεντρώσεις τους είναι μικρές, η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Στο παρακάτω πίνακα δίνονται οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις 20 ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό για την χωρίς προβλήματα μακροχρόνια χρήση του στην γεωργική παραγωγή (Ayers & Westcot, 1985). Οι Anzacc & Armcanz (2000) έχουν συμπεριλάβει και όριο για τον Hg το οποίο έχει προστεθεί επίσης στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2: Συνιστώμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό που προορίζεται για αρδευτική χρήση (Ayers & Westcot, 1985)

ΧΗΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (mg L ⁻¹)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Al	5.0	Σε όξινα εδάφη (pH<5.5) μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγωγής, αλλά σε αλκαλικά εδάφη (pH>7.0) κατακρημνίζεται οπότε δεν δρα πλέον τοξικά.
As	0.10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει σημαντικά, και κυμαίνεται από 12 mg L ⁻¹ για γρασίδι Sudan, μέχρι 0.05 mg L ⁻¹ για παραγωγή όρυζας.
Be	0.10	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει αρκετά, και κυμαίνεται από 5 mg L ⁻¹ για παραγωγή λάχανου μέχρι 0.5 για πράσινα φασολάκια.
Cd	0.01	Τοξικό για την παραγωγή φασολιών (beans), παντζαριών (beets) και κράμβης (turnips) σε συγκεντρώσεις της τάξης του 0.1 mg L ⁻¹ σε φυσικά διαλύματα. Προτείνονται συντηρητικά όρια εξαιτίας της πιθανής συσσώρευσης του στα φυτά και στα εδάφη σε συγκεντρώσεις επικίνδυνες για τον άνθρωπο.
Co	0.05	Είναι τοξικό για την παραγωγή τομάτας σε συγκέντρωση 0.1 mg L ⁻¹ . Σχετικά αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Cr	0.10	Δεν είναι γνωστή η τοξική του δράση στα φυτά και για τον λόγο αυτό συνιστώνται συντηρητικά όρια.
Cu	0.20	Τοξικό για πληθώρα φυτών σε συγκεντρώσεις 0.1 ως 1.0 mg L ⁻¹ στα φυσικά διαλύματα.
F	1.0	Αδρανοποιείται σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη.
Fe	5.0	Σε εδάφη με καλή κυκλοφορία αέρα δεν δρα τοξικά ο σίδηρος αλλά μπορεί να συνεισφέρει στην οξίνιση των εδαφών με αποτέλεσμα να χάνεται η βιοδιαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδαινίου. Κατά την άρδευση με ψεκάσμο δημιουργεί αποθέσεις στα φυτά και στον εξοπλισμό.
Li	2.5	Δρα τοξικά στα εσπεριδοειδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις (<0.075 mg L ⁻¹).
Mn	0.20	Δρα τοξικά σε πληθώρα καλλιεργειών αλλά κυρίως σε όξινα εδάφη.
Ni	0.20	Είναι τοξικό για ένα αριθμό φυτών σε συγκεντρώσεις 0.5-1 mg L ⁻¹ με μειούμενη τοξική δράση στα ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Pb	5.0	Σε υψηλές συγκεντρώσεις αναστέλλει την ανάπτυξη των φυτικών κυττάρων.
Se	0.02	Τοξικό τα φυτά σε συγκεντρώσεις 0.025 mg L ⁻¹ και επίσης για την κτηνοτροφία όταν η τροφή ζώων.
Ti	--	
Sn	--	
W	--	
V	0.10	Σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι σχετικά τοξικό για πολλές κατηγορίες φυτών.
Zn	2.0	Σε εδάφη με pH>6.0 μειώνεται η τοξικότητα του.
Hg	0.002	

2.4 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση της διατήρησης και βελτίωσης του υδάτινου περιβάλλοντος που αφορά στα επιφανειακά, στα υπόγεια νερά καθώς και τις προστατευόμενες περιοχές. Η οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (23 Οκτωβρίου 2000) δημοσιεύτηκε στην επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας στις 22 Δεκεμβρίου 2000 και θεωρείται μια από τις σημαντικότερες νομοθετικές πράξεις για την διαχείριση των υδατικών πόρων. Ο τελικός στόχος της Οδηγίας, είναι η επίτευξη καλής ποιότητας υδάτων για όλα τα υδάτινα σώματα της Ε.Ε. μέχρι το 2015 επιτυγχάνεται σε ενδιάμεσες φάσεις σύμφωνα με ένα αναλυτικό χρονοδιάγραμμα υλοποίησης της Οδηγίας.

Συνοπτικά, οι στόχοι της Οδηγίας, όπως διαφαίνονται από το πρώτο άρθρο της είναι:

- να επεκτείνει την προστασία των υδάτων από τα θεσμικά όργανα της Ε.Ε. σε όλα τα ύδατα του φυσικού περιβάλλοντος – επιφανειακά και υπόγεια.
- να εμποδίσει κάθε περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων και να προστατεύσει και να βελτιώσει την κατάσταση των υδατικών οικοσυστημάτων αλλά και των χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων αναφορικά με τις ανάγκες τους σε νερό (άρθρο 1α).
- να προωθήσει τη βιώσιμη χρήση του νερού που βασίζεται στην μακροπρόθεσμη προστασία των υδατικών πόρων (άρθρο 1β).
- Να υποβοηθείται η βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος μέσω εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων για τη σταδιακή μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας και την εξάλειψη της απόρριψης επικίνδυνων ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας (άρθρο 1γ).
- Να εξασφαλίζεται η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω ρύπανσή τους (άρθρο 1δ).
- Να συμβάλει στην μείωση των επιπτώσεων από τις πλημμύρες και τις ξηρασίες (άρθρο 1ε).
- να ληφθούν μέτρα μέσω των οποίων θα επιτευχθεί Καλή Οικολογική Κατάσταση για όλα τα ύδατα της Ε.Ε. εντός συγκεκριμένων προθεσμιών.

Η Οδηγία προήλθε από την ανάγκη να οργανωθεί μια ενιαία βάση για την διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων των χωρών μελών της Κοινότητας. Το πρώτο βήμα της εφαρμογής της Οδηγίας από κάθε κράτος μέλος είναι η εναρμόνιση και η μεταφορά της στο εθνικό δίκαιο (η ενσωμάτωση για την Ελλάδα πραγματοποιήθηκε με το Νόμο 3199/2003). Η φάση αυτή διαφέρει ανάλογα με την ωριμότητα των θεσμικών υποδομών κάθε κράτους μέλους, την πιθανή ύπαρξη αντίστοιχης νομοθεσίας, εμπειρίας κ.λπ.

Με βάση την παραπάνω οδηγία, στις 24 Δεκεμβρίου 2008 τέθηκε σε ισχύ (με δημοσίευσή της στην επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης) η οδηγία 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 που σχετίζεται με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος² (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Πιο συγκεκριμένα (άρθρο 1: αντικείμενο), η οδηγία αυτή καθορίζει Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους, όπως προβλέπεται στο άρθρο 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, με στόχο την επίτευξη καλής χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων.

Με Κοινή Υπουργική Απόφαση (Αριθμός Η.Π. 51354/2641/Ε103, 24/11/2010) η οποία τέθηκε σε ισχύ από τις 8 Δεκεμβρίου 2010 η Ελληνική Νομοθεσία έχει εναρμονισθεί με τις παραπάνω οδηγίες. Η ΚΥΑ αυτή αφορά στον Καθορισμό Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα και περιλαμβάνει σε παράρτημα πίνακες όπου ορίζονται ακριβώς οι ονομασίες των ουσιών και των μέσων ετήσιων και των μέγιστων επιτρεπόμενων συγκεντρώσεών τους για την περίπτωση των εσωτερικών επιφανειακών υδάτων καθώς και για τα λοιπά επιφανειακά ύδατα.

Στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 2.3 και Πίνακας 2.4) παρουσιάζονται τα παραπάνω όρια για το πλήθος μόνο των χημικών ουσιών που αναλύθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας.

² Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ ως Ποιοτικό Περιβαλλοντικό Πρότυπο ορίζεται η συγκέντρωση στο νερό, το ίζημα ή το βιόκοσμο, συγκεκριμένου ρύπου ή ομάδας ρύπων της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση, ώστε να προστατεύεται η υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον.

Πίνακας 2.3: Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) ουσιών προτεραιότητας και ορισμένων άλλων ρύπων (οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε $\mu\text{g L}^{-1}$)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΟΥΣΙΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ CAS	ΕΜΣ-ΠΠΠ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ	ΕΜΣ-ΠΠΠ ΛΟΙΠΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ	ΜΕΣ-ΠΠΠ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ	ΜΕΣ-ΠΠΠ ΛΟΙΠΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ
Κάδμιο και ενώσεις του (Ανάλογα με τις κατηγορίες σκληρότητας ύδατος)	7440-43-9	≤ 0.08 (κατηγορία 1)	0.2	≤ 0.45 (κατηγορία 1)	≤ 0.45 (κατηγορία 1)
		0.08 (κατηγορία 2)		0.45 (κατηγορία 2)	0.45 (κατηγορία 2)
		0.09 (κατηγορία 3)		0.60 (κατηγορία 3)	0.60 (κατηγορία 3)
		0.15 (κατηγορία 4)		0.90 (κατηγορία 4)	0.90 (κατηγορία 4)
		0.25 (κατηγορία 5)		1.50 (κατηγορία 5)	1.50 (κατηγορία 5)
Μόλυβδος και ενώσεις του	7439-92-1	7.2	7.2	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται
Νικέλιο και ενώσεις του	7440-02-0	20	20	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται

ΕΜΣ: Ετήσια μέση συγκέντρωση

ΜΕΣ: Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση

Τα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα καλύπτουν τους ποταμούς και τις λίμνες και τα συναφή τεχνητά ή ιδιαίτερος τροποποιημένα υδατικά συστήματα.

Στις περιπτώσεις που για το ΜΕΣ-ΠΠΠ σημειώνεται «δεν εφαρμόζεται», οι τιμές ΕΜΣ-ΠΠΠ θεωρούνται ότι προστατεύουν έναντι βραχυπρόθεσμων αιχμών ρύπανσης σε συνεχείς απορρίψεις, καθώς είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν με βάση την οξεία τοξικότητα.

Για το κάδμιο και τις ενώσεις του οι τιμές ΠΠΠ κυμαίνονται ανάλογα με την σκληρότητα του ύδατος όπως ορίζεται στις πέντε κατηγορίες κατάταξης (Κατηγορία 1: $<40 \text{ mg (CaCO}_3\text{) L}^{-1}$, Κατηγορία 2: $40 \text{ ως } <50 \text{ mg (CaCO}_3\text{) L}^{-1}$, Κατηγορία 3: $50 \text{ ως } <100 \text{ mg (CaCO}_3\text{) L}^{-1}$, Κατηγορία 4: $100 \text{ ως } <200 \text{ mg (CaCO}_3\text{) L}^{-1}$, Κατηγορία 5: $\geq 200 \text{ mg (CaCO}_3\text{) L}^{-1}$).

Πίνακας 2.4: Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) ειδικών ρύπων για την υποβοήθηση του προσδιορισμού της οικολογικής κατάστασης συστημάτων εσωτερικών επιφανειακών υδάτων (οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε $\mu\text{g L}^{-1}$)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΟΥΣΙΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ CAS	ΕΜΣ-ΠΠΠ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ
Κοβάλτιο	7440-48-4	20
Χαλκός	7440-50-8	3 ($<40 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		6 ($<40-50 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		9 ($50-100 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		17 ($100-200 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
Χρώμιο ολικό	7440-47-3	26 ($>200 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		23 ($<40 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		42 ($<40-50 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
Ψευδάργυρος	7440-66-6	50 ($>50 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		8 ($<50 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		50 ($50-100 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		75 ($100-200 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)
		125 ($>200 \text{ mg CaCO}_3\text{/l}$)

Για την εφαρμογή των ΠΠΠ που ορίζονται στο παράρτημα 1 της ΚΥΑ, μικρό τμήμα του οποίου παρατέθηκε στους παραπάνω δύο πίνακες, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα έξης:

- Για κάθε δεδομένη επιφάνεια υδάτινης μάζας, η εφαρμογή του ΕΜΣ-ΠΠΠ σημαίνει ότι, για οποιοδήποτε αντιπροσωπευτικό σημείο παρακολούθησης εντός της υδάτινης μάζας, ο αριθμητικός μέσος των μετρούμενων συγκεντρώσεων σε διάφορους χρόνους κατά την διάρκεια του έτους δεν υπερβαίνει το πρότυπο.
- Με εξαίρεση το κάδμιο, το μόλυβδο, τον υδράργυρο και το νικέλιο, τα ΠΠΠ που ορίζονται στην ΚΥΑ, εκφράζονται ως ολικές συγκεντρώσεις στο συνολικό δείγμα ύδατος. Στην περίπτωση του καδμίου, του μολύβδου, του υδραργύρου και του νικελίου, το ΠΠΠ αναφέρεται στην εν διαλύσει συγκέντρωση, δηλαδή την εν διαλύσει φάση του δείγματος ύδατος που λαμβάνεται με διήθηση μέσω ηθμού 0.45μm ή κάθε ισοδύναμη προεπεξεργασία.
- Κατά την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης σε σχέση με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος θα λαμβάνονται υπόψη οι φυσικές συγκεντρώσεις μετάλλων σε αδιατάρακτο περιβάλλον και οι ενώσεις τους, εάν εμποδίζουν τη συμμόρφωση με τα σχετικά ΠΠΠ και η σκληρότητα, το pH ή άλλες παράμετροι ποιότητας ύδατος που επηρεάζουν την βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων.

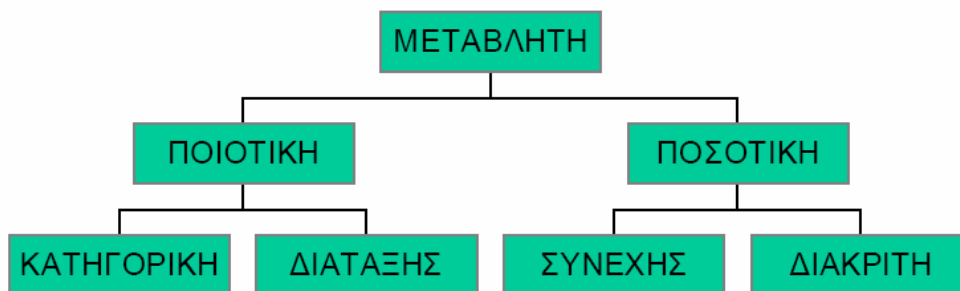
3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

Η Περιγραφική Στατιστική είναι η ανάπτυξη μεθόδων για τη συνοπτική και αποτελεσματική παρουσίαση των δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων αρχικών στατιστικών συμπερασμάτων. Το πεδίο της περιγραφικής στατιστικής είναι αρκετά ευρύ, αλλά, στην παράγραφο αυτή, εξετάζεται μόνον ένα τμήμα της το οποίο και εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα.

3.1.1 Τύποι μεταβλητών

Ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο, διαφοροποιούνται σημαντικά και οι τύποι των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Οι κυριότεροι τύποι μεταβλητών παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Παρουσίαση των κυριότερων τύπων μεταβλητών.

Οι τύποι αυτοί είναι:

- Κατηγορική (nominal): η μόνη προσδιορισμένη σχέση μεταξύ των κατηγοριών είναι απλά η ύπαρξη διαφοράς. Το σύνολο των τιμών τέτοιων μεταβλητών δεν έχει καμία ιδιότητα. Σημασία έχουν μόνον οι διαφορετικές τιμές που μπορεί να πάρει μια μεταβλητή
- Διάταξης (ordinal): Η διάταξη εξασφαλίζει μόνο το προσδιορισμό της
- Συνεχής (continuous): Το σύνολο των δυνατών τιμών είναι ένα συνεχές υποσύνολο των πραγματικών αριθμών

- Διακριτή (discrete): Το σύνολο των δυνατών τιμών είναι ένα υποσύνολο των φυσικών αριθμών

Στην περίπτωση των ποιοτικών μεταβλητών (διατεταγμένων ή μη) δεν υπάρχει δυνατότητα μαθηματικών πράξεων. Είναι δυνατή μόνο η καταμέτρηση των συχνοτήτων κάθε κατηγορίας και η δημιουργία του πίνακα συχνοτήτων με παρουσίαση μέσω γραφικών μεθόδων (τομεογράμματα ή ραβδογράμματα).

Στις ποσοτικές μεταβλητές, εκτός των γραφημάτων, είναι δυνατή η εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων παρουσίασης των δεδομένων. Η κατασκευή του πίνακα συχνοτήτων είναι χρήσιμη, αλλά, στην περίπτωση αυτή, είναι αναγκαία η ομαδοποίηση των δεδομένων για την κατασκευή του. Η συνηθέστερη γραφική μέθοδος στις ποσοτικές μεταβλητές είναι τα ιστογράμματα.

Στην παρούσα εργασία, οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των φαινομένων ανήκουν στην κατηγορία των συνεχών ποσοτικών μεταβλητών.

3.1.2 Ποσοτικές μεταβλητές

Στην περίπτωση των ποσοτικών μεταβλητών είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μέτρων θέσης και μεταβλητότητας του δείγματος (Spiegel, 1977):

3.1.2.1 Μέτρα θέσης

Ως μέτρα θέσης εννοούνται κυρίως τα μέτρα κεντρικής τάσης που προσδιορίζουν ένα κεντρικό σημείο γύρω από το οποίο τείνουν να συγκεντρώνονται τα δεδομένα. Τα κυριότερα μέτρα κεντρικής τάσης είναι:

- 1) Η δειγματική μέση τιμή (sample mean value) ή αριθμητικός μέσος (arithmetic mean), ή μέσος όρος (average)

Συνήθως η μέση τιμή ως όρος αναφέρεται στον πληθυσμό ενώ για το δείγμα χρησιμοποιούνται περισσότερο οι όροι του αριθμητικού μέσου ή μέσος όρος. Αν x_1, x_2, \dots, x_N οι τιμές της μεταβλητής ενός δείγματος μεγέθους N , τότε ο μέσος όρος ($\hat{\mu}$) προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\hat{\mu} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.1)$$

Από τον ορισμό της δειγματικής μέσης τιμής φαίνεται ότι επιδιώκεται αυτή να ορισθεί ως ένας «τυπικός εκπρόσωπος» των παρατηρήσεων ή, με άλλα λόγια, αποτελεί το κέντρο

ισορροπίας των δεδομένων. Το γεγονός, όμως, ότι στον υπολογισμό της συμμετέχει το άθροισμα όλων των παρατηρήσεων, την καθιστά ευαίσθητη σε ακραίες - έκτροπες (outliers) παρατηρήσεις. Κατά συνέπεια, η μέση τιμή αποκρύπτει τις έκτροπες παρατηρήσεις.

2) Η δειγματική διάμεσος

Η διάμεσος του δείγματος συμβολίζεται συνήθως με \tilde{x} . Είναι το σημείο της κατανομής των παρατηρήσεων κάτω από το οποίο βρίσκεται το 50% των παρατηρήσεων και πάνω από αυτό το υπόλοιπο 50%. Εκφράζει την κεντρική θέση της κατανομής των παρατηρήσεων ενός δείγματος, οι οποίες έχουν διαταχθεί κατά αύξουσα τάξη. Πρακτικά, είναι η μεσαία από τις διατεταγμένες παρατηρήσεις εάν το πλήθος N των παρατηρήσεων είναι περιττό ή ο μέσος όρος των δύο μεσαίων παρατηρήσεων εάν το πλήθος N είναι άρτιο:

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(N+1)/2} & , N=2m+1 \\ \frac{x_{N/2} + x_{N/2+1}}{2} & , N=2m \end{cases} \quad (3.2)$$

όπου x οι τιμές της μεταβλητής ενός δείγματος και m οποιοσδήποτε φυσικός αριθμός.

3) Η δειγματική επικρατούσα τιμή (ή πιθανότερη τιμή)

Είναι η τιμή που έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβεί. Στην περίπτωση των ομαδοποιημένων συνεχών μεταβλητών αναφέρεται στην κεντρική τιμή της ομάδας (κλάσης) με την μεγαλύτερη συχνότητα. Αν αυτό συμβαίνει για μία τιμή τότε αναφέρεται ως μονοκόρυφη κατανομή. Μερικές φορές, όμως, αυτό συμβαίνει για περισσότερες τιμές οπότε στην περίπτωση αυτή γίνεται αναφορά σε πολυκόρυφες κατανομές.

3.1.2.2 Μέτρα μεταβλητότητας

Εκτός από την κεντρική τάση ενδιαφέρει επίσης και η μεταβλητότητα ή διασπορά των παρατηρήσεων. Όταν τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα γύρω από μια κεντρική τιμή, δηλαδή η διασπορά των δεδομένων είναι μικρή, τότε η κεντρική τιμή αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά τα δεδομένα. Από την άλλη, όταν τα δεδομένα είναι πολύ σκορπισμένα, τα μέτρα κεντρικής τιμής δε δίνουν καλή περιληπτική περιγραφή των δεδομένων. Επίσης, διαφορετικά δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό μπορεί να έχουν το ίδιο μέτρο κεντρικής τάσης αλλά να διαφέρουν κατά κάποιο σημαντικό τρόπο ως προς τη διασπορά των παρατηρήσεων. Τα κυριότερα μέτρα διασποράς είναι:

1) Το δειγματικό εύρος

Το δειγματικό εύρος (R) υπολογίζεται εύκολα αλλά δεν είναι ανθεκτικό μέτρο μεταβλητότητας. Εξαρτάται μόνο από τις δύο ακραίες παρατηρήσεις, την μέγιστη και την ελάχιστη, και αγνοεί τις υπόλοιπες παρατηρήσεις. Γι' αυτό, μπορεί να αλλάζει σημαντικά από δείγμα σε δείγμα (ίδιου πλήθους, και από τον ίδιο πληθυσμό). Γενικά, το εύρος αυξάνει όταν μεγαλώνει το δείγμα καθώς αναμένεται να συμπεριληφθούν πιο ακραίες τιμές. Ορίζεται ως η διαφορά της μικρότερης (x_{\min}) από τη μεγαλύτερη παρατήρηση (x_{\max}) του δείγματος και αποτελεί το πιο απλό μέτρο διασποράς:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3.3)$$

2) Η διασπορά $\hat{\sigma}^2$

Η διασπορά ή διακύμανση μετράει τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή και ορίζεται από την σχέση:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{\mu})^2 \quad (3.4)$$

Τυπική απόκλιση σ (Standard Deviation) είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς. Δηλαδή

$$\sigma = \sqrt{\hat{\sigma}^2} \quad (3.5)$$

Η διασπορά $\hat{\sigma}^2$ προκύπτει από τα τετράγωνα των παρατηρήσεων και συχνά είναι δύσκολο να ερμηνευθεί ως πραγματικό φυσικό μέγεθος. Γι αυτό χρησιμοποιείται δειγματική τυπική απόκλιση (σ), που είναι απλά η θετική ρίζα της δειγματικής διασποράς ($\hat{\sigma}^2$). Η τυπική απόκλιση μετριέται με τη μονάδα μέτρησης της τυχαίας μεταβλητής X και εκφράζει (όπως δηλώνει η ονομασία της) την τυπική απόκλιση των δεδομένων από τη δειγματική μέση τιμή, δηλαδή μέχρι πόσο περίπου αναμένεται μια τυπική τιμή της X να απέχει από τη μέση τιμή. Η τυπική απόκλιση έχει ευρύτερη χρήση διότι εκφράζεται με την ίδια μονάδα που εκφράζονται και οι παρατηρήσεις.

Είναι φανερό ότι η τυπική απόκλιση απαντά στο ερώτημα: πόσο μακριά από τη μέση τιμή τους βρίσκονται οι παρατηρήσεις; Έτσι, όταν οι παρατηρήσεις δε διαφέρουν πολύ από τη μέση τιμή τους, η τυπική απόκλιση είναι μικρή, ενώ αντίθετα, η τυπική απόκλιση μεγαλώνει, όσο περισσότερο «διασκορπίζονται» οι παρατηρήσεις γύρω από τη μέση τιμή τους. Δηλαδή, η τυπική απόκλιση δίνει ένα μέτρο της μέσης απόστασης-απόκλισης των παρατηρήσεων από τη μέση τιμή τους. Συνεπώς, έχει νόημα να χρησιμοποιείται, μόνο σε

συνδυασμό με τη μέση τιμή. Είναι, επομένως, λογικό να αναζητάτε ένα μέτρο το οποίο να εκφράζει την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων ως ποσοστό της τιμής τους. Δηλαδή, ένα μέτρο σχετικής μεταβλητότητας. Ένα τέτοιο μέτρο, είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας CV (coefficient of variation):

$$CV = \frac{\sigma}{\hat{\mu}} \quad (3.6)$$

3.1.2.3 Εκατοστιαία σημεία

Συχνά βολεύει να διαιρείται το εμβαδό μεταξύ μια καμπύλης πυκνότητας και του οριζόντιου άξονα με τετμημένες, έτσι ώστε το αριστερά μια τετμημένης εμβαδό να είναι ένα μέρος του όλου εμβαδού. Το μέρος a του εμβαδού καλείται ποσοστό και η αντίστοιχη τετμημένη a -ποσοστιαίο σημείο ή 100 a -στό εκατοστιαίο σημείο

3.1.2.4 Ασυμμετρία

Όταν μια καμπύλη συχνοτήτων (κατανομή ενός πληθυσμού) είναι συμμετρική ως προς τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από την κορυφή της κατανομής τότε η κατανομή είναι συμμετρική. Τα δύο άκρα της καμπύλης λέγονται ουρές της κατανομής και πλησιάζουν ασυμπτωτικά τον άξονα των τιμών. Προφανώς, σε μια συμμετρική κατανομή, δεξιά και αριστερά του άξονα συμμετρίας βρίσκεται το ίδιο ποσοστό παρατηρήσεων (50%).

Όταν η καμπύλη συχνοτήτων δεν είναι συμμετρική, δηλαδή, όταν δεξιά και αριστερά του κατακόρυφου άξονα που περνάει από την κορυφή δε βρίσκεται το ίδιο ποσοστό παρατηρήσεων, τότε η κατανομή είναι ασύμμετρη. Υπάρχουν δύο είδη ασυμμετρίας (Skewness): η θετική και η αρνητική.

Μια καμπύλη συχνοτήτων παρουσιάζει θετική ασυμμετρία όταν οι περισσότερες παρατηρήσεις, η διάμεσος και η μέση τιμή βρίσκονται δεξιά της κορυφής, ενώ, παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία όταν οι περισσότερες παρατηρήσεις, η διάμεσος και η μέση τιμή βρίσκονται αριστερά της κορυφής (Σχήμα 3.2).

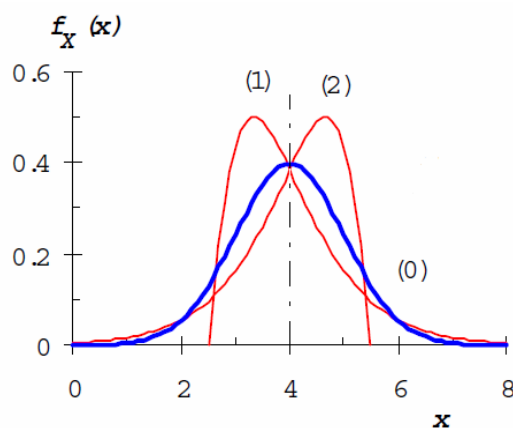


Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση ασυμμετρίας. Αριστερά: θετική Ασυμμετρία, Δεξιά: αρνητική ασυμμετρία.

Συνήθως για την περιγραφή της ασυμμετρίας χρησιμοποιείται η τρίτη κεντρική ροπή. Μηδενική τιμή της τρίτης κεντρικής ροπής δείχνει συμμετρική κατανομή. Αν η κεντρική ροπή είναι μεγαλύτερη από το μηδέν τότε η κατανομή λέγεται ότι είναι θετικά ασύμμετρη ενώ αν είναι μικρότερη από το μηδέν τότε λέγεται αρνητικά ασύμμετρη. Στην περίπτωση μονοκόρυφης κατανομής θετικά ασύμμετρης ισχύει ότι η συχνότερη τιμή (ή κλάση για συνεχή δεδομένα) είναι μικρότερη από την διάμεσο και αυτή μικρότερη από τον μέσο όρο. Στην αρνητικά ασύμμετρη κατανομή ισχύει το αντίθετο. Αποτελεσματικό μέτρο ασυμμετρίας είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας \hat{g} . Επίσης λέγεται και συντελεστής λοξότητας. Προσδιορίζεται με βάση τις ροπές ως:

$$\hat{g} = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \hat{\mu})^3}{(\hat{\sigma}^2)^{3/2}} \quad (3.7)$$

Η επίδραση του συντελεστή ασυμμετρίας φαίνεται στο Σχήμα 3.3.



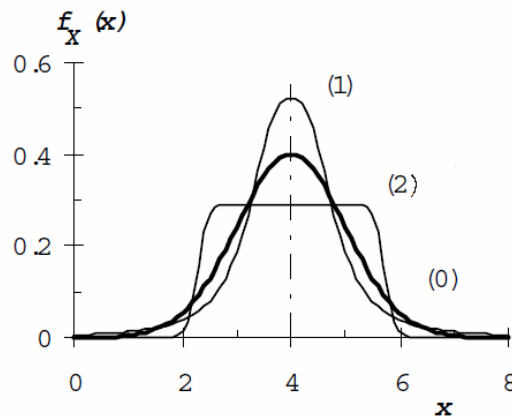
Σχήμα 3.3 Επίδραση του συντελεστή ασυμμετρίας. Οι καμπύλες (0),(1),(2) έχουν αντίστοιχα συντελεστές ασυμμετρίας 0, +1.33, -1.33, ενώ και οι τρεις έχουν μέση τιμή 4 και τυπική απόκλιση 1 (Κουτσογιάννης, 1997).

3.1.2.5 Κύρτωση

Η κύρτωση (kurtosis) σχετίζεται με τον βαθμό συγκέντρωσης των τιμών γύρω από το μέσο όρο. Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και επομένως μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο λέγεται λεπτόκυρτη, ενώ αν η μέγιστη συχνότητά της είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη. Κατανομές που προσεγγίζονται από την κανονική κατανομή λέγονται μεσόκυρτες. Ένα μέτρο που εκφράζει το βαθμό κυρτότητας είναι η τέταρτη κεντρική ροπή (ή αδιάστατος συντελεστής κύρτωσης (k):

$$k = \frac{\mu^4}{\sigma^4} \quad (3.8)$$

Επειδή για κανονικές κατανομές ο συντελεστής κύρτωσης λαμβάνει την τιμή 3 συνηθίζεται να μετράται η κυρτότητα με την διαφορά $k - 3$, η οποία για λεπτόκυρτες κατανομές παίρνει θετικές τιμές (θετική κύρτωση) ενώ για πλατύκυρτες κατανομές γίνεται αρνητική (αρνητική κύρτωση). Η επίδραση του συντελεστή κύρτωσης φαίνεται στο Σχήμα 3.4:



Σχήμα 3.4 Επίδραση του συντελεστή κύρτωσης. Οι καμπύλες (0),(1) και (2) έχουν συντελεστή κύρτωσης 3, 5 και 2, αντίστοιχα, ενώ και οι τρεις έχουν μέση τιμή 4, τυπική απόκλιση 1 και συντελεστή ασυμμετρίας 0 (Κουτσογιάννης, 1997).

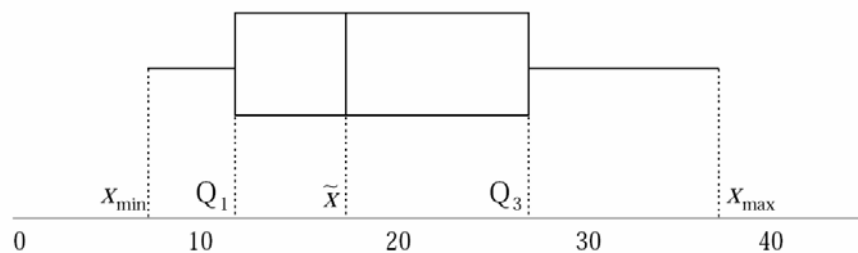
3.1.3 Διερευνητική ανάλυση δεδομένων

Η Διερευνητική ανάλυση δεδομένων (Exploratory Data Analysis) είναι μια τεχνική που βοηθάει να παρουσιάζονται τα κυριότερα μέτρα θέσης με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνεται πολύ η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατανομή. Το διάγραμμα πλαισίου (boxplot ή διάγραμμα box-and-whisker) προσφέρεται ιδιαίτερως για την ανίχνευση ακραίων τιμών και για την αναγνώριση της συμμετρίας ή του είδους της ασυμμετρίας της κατανομής. Για την κατασκευή του (Σχήμα 3.5), αρχικά προσδιορίζονται από τα δεδομένα το εκατοστιαίο σημείο 25% (πρώτα τεταρτομόριο) Q_1 , και το εκατοστιαίο σημείο 75% (τρίτο τεταρτομόριο) Q_3 , και η διάμεσος δ . Μετά, κατασκευάζεται ένα ορθογώνιο με κάτω βάση στο Q_1 και άνω βάση στο Q_3 . Η διαφορά $I = Q_3 - Q_1$ λέγεται ενδοτεταρτομοριακό εύρος και δίνει το εύρος που καλύπτουν τα μισά από τα δεδομένα που είναι πιο κοντά στην κεντρική τιμή (διάμεσο). Το ενδοτεταρτομοριακό εύρος I είναι ένα άλλο μέτρο διασποράς των δεδομένων που δεν ορίζεται ως προς την δειγματική μέση τιμή και, επομένως, δεν επηρεάζεται από αυτή και επίσης, είναι πιο ανθεκτικό μέτρο από το εύρος R . Το μήκος των

βάσεων του ορθογωνίου λαμβάνεται αυθαίρετα. Η διάμεσος παριστάνεται σαν ένα ευθύγραμμο τμήμα μέσα στο ορθογώνιο παράλληλα προς τις βάσεις.

Στην συνέχεια, εκτείνονται γραμμές από τα κέντρα των βάσεων μέχρι τις οριακές τιμές που λέγονται whiskers και που προκύπτουν ως εξής: Ως άνω οριακή τιμή ορίζεται η μεγαλύτερη παρατήρηση, η οποία είναι μικρότερη ή ίση από το $Q_3 + 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$, ενώ η κάτω τιμή ορίζεται σαν η μικρότερη παρατήρηση, η οποία είναι μεγαλύτερη ή ίση από το $Q_1 - 1.5 \times (Q_3 - Q_1)$.

Αν υπάρχουν παρατηρήσεις που βρίσκονται έξω από το εύρος των δύο οριακών τιμών, τότε αυτές καλούνται εξωτερικές τιμές και παριστάνονται με κάποιο σύμβολο (συνήθως αστερίσκο). Οι εξωτερικές τιμές δεν είναι οπωσδήποτε έκτροπες τιμές (ανώμαλες τιμές) αλλά αρκετές φορές οδηγούν στην αναζήτηση των έκτροπων τιμών.



Σχήμα 3.5 Σχηματική παρουσίαση οριζόντιου διαγράμματος πλαισίου.

Αν το ευθύγραμμο τμήμα που αναπαριστά τη διάμεσο βρίσκεται στο μέσο του ορθογωνίου, η κατανομή είναι συμμετρική, αν βρίσκεται προς την κάτω πλευρά του ορθογωνίου, η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και, τέλος, αν βρίσκεται προς την πάνω πλευρά του ορθογωνίου, η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία. Επίσης, τα διαγράμματα πλαισίου είναι εξαιρετικά χρήσιμα για τη σύγκριση των κατανομών δύο ή περισσότερων δειγμάτων (σχετική εφαρμογή παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία).

Διάγραμμα πλαισίου και κανονική κατανομή

Το διάγραμμα πλαισίου, όπως και το ιστόγραμμα, επιτρέπει να ελεγχθεί αν είναι κανονική ή όχι η κατανομή της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής που παρατηρείται. Για να γίνει αυτή η παραδοχή θα πρέπει :

- η διάμεσος να μην αποκλίνει σημαντικά προς το πρώτο ή το τρίτο τεταρτομόριο, δηλαδή η γραμμή που αντιστοιχεί στη διάμεσο να μην πλησιάζει σε κάποιο από τα

δύο άκρα του κουτιού (γιατί αλλιώς αυτό θα σήμαινε πως η κατανομή δεν είναι συμμετρική),

- το εύρος των τιμών στα δύο ακραία τεταρτομόρια να μη διαφέρει σημαντικά, δηλαδή τα μήκη των δύο whiskers να είναι συγκρίσιμα (για τη διατήρηση της συμμετρίας).
- να μην υπάρχουν ακραίες τιμές, δηλαδή να μην υπάρχουν σημεία μακριά από τα δύο whiskers (η ύπαρξη ακραίων σημείων δηλώνει πως οι ουρές της κατανομής είναι «παχιές» που δε συμφωνεί με την κανονική κατανομή).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με λίγα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να τηρούνται αυστηρά οι παραπάνω προϋποθέσεις για το διάγραμμα πλαισίου, ακόμα και αν τα δεδομένα προέρχονται πράγματι από κανονική κατανομή.

3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Οποιοδήποτε φαινόμενο και αν ερευνάται, υφίστανται τυχαίοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις τιμές του φαινομένου εισάγοντας αβεβαιότητα στις τιμές του. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η αβεβαιότητα, ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές επιστήμες είναι οι θεωρητικές κατανομές πιθανότητας.

Μία κατανομή πιθανότητας ή, ισοδύναμα, συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι μια μαθηματική σχέση ή ένας πίνακας ή ένα γράφημα το οποίο περιγράφει τις τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής και τις πιθανότητες οι οποίες αναλογούν στις τιμές αυτές. Ανάλογα με την τυχαία μεταβλητή η οποία μπορεί να είναι διακριτή ή συνεχής, ορίζονται δύο είδη κατανομών πιθανοτήτων:

- διακριτή κατανομή πιθανότητας και
- συνεχής κατανομή πιθανότητας.

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής που αφορά μετρήσεις φυσικών και χημικών παραμέτρων, αυτές θεωρούνται συνεχείς τυχαίες μεταβλητές και περιγράφονται από συνεχείς κατανομές πιθανότητας.

3.2.1 Ιστόγραμμα

Το ιστόγραμμα έχει την μορφή ραβδογράμματος χωρίς να υπάρχουν κενά μεταξύ των ράβδων. Για την κατασκευή του, αρχικά τα αριθμητικά δεδομένα (είτε πρόκειται για μεγάλο

αριθμό διακεκριμένων τιμών της τυχαίας μεταβλητής X , είτε για συνεχή μεταβλητή όπου οι τιμές ανήκουν σε ένα διάστημα τιμών) χωρίζονται σε k ομάδες (ή κλάσεις διαστημάτων) και, στην συνέχεια, αντιστοιχίζεται ο αριθμός των παρατηρήσεων κάθε κλάσης δημιουργώντας τους πίνακες συχνοτήτων. Στον κάθετο άξονα του ιστογράμματος μπορεί να είναι η συχνότητα f_k , η σχετική συχνότητα (ποσοστό) p_k , η αθροιστική συχνότητα F_k ή ακόμα η σχετική αθροιστική συχνότητα P_k για την κάθε ομάδα k . Το ιστόγραμμα σχετικής συχνότητας δίνει μια εκτίμηση του γραφήματος της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$ της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής X και, επομένως, χρησιμοποιείται ως αρχικός οπτικός έλεγχος για το αν μια τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κάποια γνωστή κατανομή.

3.2.2 Έλεγχοι καλής προσαρμογής στατιστικών κατανομών

Ένα σημαντικό πρόβλημα στην στατιστική είναι η εξεύρεση πληροφορίας σχετικά με την μορφή της κατανομής από την οποία προέρχεται ένα τυχαίο δείγμα. Είναι, για παράδειγμα, γνωστό ότι οι περισσότεροι έλεγχοι γίνονται με την προϋπόθεση ότι (μηδενική υπόθεση, H_0) το τυχαίο δείγμα προέρχεται από μια συγκεκριμένη κατανομή. Μια τέτοια περίπτωση είναι τα t-tests τα οποία, ιδιαίτερα για μικρά δείγματα, προϋποθέτουν ότι το δείγμα προέρχεται από κανονικό πληθυσμό (μηδενική υπόθεση, H_0). Εάν το τυχαίο δείγμα δεν προέρχεται από την κατανομή κάτω από την οποία έχει κατασκευασθεί κάποιος έλεγχος τότε προφανώς το αντίστοιχο p -value που λαμβάνεται δεν είναι ακριβές (και επομένως η πιθανότητα σφάλματος τύπου I δεν είναι ακριβώς α). Συνεπώς, είναι αρκετά χρήσιμη η δυνατότητα να ελέγχεται αν κάποια δεδομένα προέρχονται από μια συγκεκριμένη κατανομή ή όχι. Έλεγχοι αυτής της μορφής καλούνται «έλεγχοι καλής προσαρμογής» των δεδομένων σε μια συγκεκριμένη κατανομή και έχουν προταθεί αρκετοί. Σε αυτήν την ενότητα αρχικά θα εξεταστούν κάποιοι «εμπειρικοί» έλεγχοι οι οποίοι γίνονται μέσω γραφημάτων (P-P και Q-Q plots) ώστε να ληφθεί μια πρώτη εποπτική εικόνα για τα δεδομένα, ενώ, στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο σημαντικοί έλεγχοι καλής προσαρμογής: ο έλεγχος χ^2 και ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (Τσακίρης, 1995).

3.2.2.1 Τα γραφήματα P-P Plot και Q-Q Plot

Τα γραφήματα P-P plot και Q-Q plot (probability-probability plot και Quantile-Quantile plot) είναι δύο γραφήματα τα οποία βοηθούν στον έλεγχο για το αν κάποια δεδομένα προέρχονται από κάποια συγκεκριμένη κατανομή (π.χ., κανονική).

Ο έλεγχος μέσω αυτών των γραφημάτων δεν μπορεί να είναι αξιόπιστος διότι δεν βασίζεται σε κάποιο στατιστικό κριτήριο που να οδηγεί σε σωστή απόφαση π.χ., στο $(1-\alpha)\%$ των περιπτώσεων. Συνήθως, γίνεται για να ληφθεί μια πρώτη εποπτική εικόνα και για να γίνει έλεγχος αν υπάρχουν κάποιες έκτροπες παρατηρήσεις, σε σχέση με τις αναμενόμενες από την συνάρτηση κατανομής F_0 που έχει υιοθετηθεί.

Και στα δύο γραφήματα, αν τα σημεία βρίσκονται «κοντά» στη διαγώνιο (και «τυχαία» γύρω από αυτήν) τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι τα δεδομένα προέρχονται από την υιοθετημένη συνάρτηση πιθανότητας F_0 . Τα εμπειρικά αυτά τεστ είναι ισοδύναμα και, επομένως, αναμένεται να παρατηρηθούν τα ίδια αποτελέσματα. Όταν τα σημεία του επιπέδου δεν «απέχουν» πολύ από την διαγώνιο τότε δεν υπάρχει επαρκής λόγος ώστε απορριφθεί η κατανομή που έχει υποτεθεί αρχικά.

3.2.2.2 Έλεγχος χ^2 καλής προσαρμογής

Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί αν ένα τυχαίο δείγμα ενός πληθυσμού προέρχονται από μια συγκεκριμένη κατανομή με συνάρτηση κατανομής F_0 . Η εφαρμογή του αφορά την πολυωνυμική κατανομή αλλά, εκτός από αυτή, ο έλεγχος χ^2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί πόσο καλά άλλες θεωρητικές κατανομές (κανονική, Poisson, κτλ.) προσαρμόζονται σε πειραματικά δεδομένα.

Ο έλεγχος χ^2 , τις περισσότερες φορές, δεν είναι ο καλύτερος έλεγχος καλής προσαρμογής για συνεχή δεδομένα διότι προϋποθέτει ομαδοποίηση των δεδομένων (διαμερίζεται το πεδίο τιμών των παρατηρήσεων σε k σύνολα - κλάσεις) με συνέπεια την απώλεια πληροφορίας (επίσης, η διαμέριση είναι τις περισσότερες φορές αυθαίρετη). Στην περίπτωση κατηγορικών δεδομένων (που παίρνουν τιμές σε ένα πεπερασμένο σύνολο) ο έλεγχος αυτός εφαρμόζεται με πολύ καλά αποτελέσματα.

Για τον προσδιορισμό των κλάσεων προτείνονται διάφορες εξισώσεις. Μια εμπειρική εξίσωση είναι η

$$k = 1 + \log N \quad (3.9)$$

όπου k είναι ο αριθμός των κλάσεων και N ο αριθμός των παρατηρήσεων μιας τυχαίας μεταβλητής.

Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε διαστήματα ίσης πιθανότητας ή ίσου μεγέθους. Συνήθως, η πρώτη προσέγγιση είναι περισσότερο αποδεκτή, κυρίως για το γεγονός ότι χειρίζεται

καλύτερα ακραίες τιμές του δείγματος. Κάθε κλάση θα πρέπει να περιλαμβάνει περισσότερα από τρεις παρατηρήσεις (σύμφωνα με άλλες πηγές, 5) επειδή ο έλεγχος χ^2 είναι ευαίσθητος στις μικρές συχνότητες. Στην περίπτωση που δεν συμβαίνει αυτό, προτείνεται να συμπυκνώνονται οι κλάσεις.

Η στατιστική συνάρτηση καθορίζεται από την σχέση

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.10)$$

όπου O_i οι παρατηρούμενες συχνότητες και E_i οι αναμενόμενες συχνότητες με

$$E_i = F(x_2) - F(x_1) \quad (3.11)$$

Όπου $F(x)$ είναι η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας.

Έλεγχος υπόθεσης για την αποδοχή μιας κατανομής.

Η δοκιμή χ^2 στηρίζεται στην σύγκριση της θεωρητικής συνάρτησης κατανομής με την κλασική εμπειρική συνάρτηση κατανομής. Η σύγκριση γίνεται σε ένα πεπερασμένο σύνολο επιλεγμένων σημείων x_j και όχι σε κάθε παρατηρημένη τιμή x_i του δείγματος (Κουτσογιάννης, 1997). Στην περίπτωση του ελέγχου αυτού η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα δεδομένα ακολουθούν την καθορισμένη κατανομή, ενώ η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι τα δεδομένα δεν ακολουθούν την καθορισμένη κατανομή.

Εάν, σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, η τιμή της χ^2 που υπολογίζεται από την στατιστική συνάρτηση είναι μεγαλύτερη από κάποια κρίσιμη (που υπολογίζεται από την κατανομή χ^2 με $k-p-1$ βαθμούς ελευθερίας όπου p ο αριθμός των παραμέτρων της θεωρητικής κατανομής που εκτιμώνται από τα δεδομένα) για επίπεδο σημαντικότητας 0.05, τότε, συμπεραίνεται ότι οι παρατηρούμενες συχνότητες διαφέρουν σημαντικά από τις αναμενόμενες και ότι πρέπει η μηδενική υπόθεση να απορριφθεί στο αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας. Αλλιώς, αυτή δεν απορρίπτεται. Η μέθοδος αυτή καλείται έλεγχος χ^2 της υποθέσεως ή της σημαντικότητας.

Ο έλεγχος χ^2 στα πλαίσια της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό «Υδρογνώμων» έκδοσης 4.0.1. Ο «Υδρογνώμων» είναι ένα λογισμικό που αναπτύσσεται εντός του Ε.Μ.Π. από την ερευνητική ομάδα ΙΤΙΑ (Σχολή Πολιτικών Μηχανικών) εδώ και μία δεκαετία για να καλύψει διάφορες ερευνητικές ανάγκες σχετικές με την επεξεργασία υδρολογικών κατά βάση δεδομένων (χρονοσειρών).

3.2.2.3 Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (K-S)

Στην περίπτωση που διατίθενται δεδομένα συνεχούς κατανομής, ορισμένες φορές προτιμάται ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (K-S) ο οποίος βασίζεται στην εμπειρική συνάρτηση κατανομής του δείγματος και δεν προϋποθέτει ομαδοποίηση των δεδομένων. Ο έλεγχος K-S χρησιμοποιείται και αυτός για το έλεγχο καλής προσαρμογής ενός τυχαίου δείγματος σε μία δεδομένη συνεχή κατανομή. Η μέθοδος K-S μέθοδος βασίζεται στην εμπειρική συνάρτηση κατανομής η οποία προσδιορίζεται από την σχέση:

$$F_N(x) = \frac{1}{N} [\text{αριθμός παρατηρήσεων} \leq x_i] \quad (3.12)$$

όπου N είναι διατεταγμένο σύνολο παρατηρήσεων, ενώ η έκφραση στην αγκύλη αντιστοιχεί στον αριθμό των παρατηρήσεων που είναι μικρότερες από την παρατήρηση x_i . Η στατιστική συνάρτηση η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ότι τα δεδομένα ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή ορίζεται ως:

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} (F(x_i) - \frac{i-1}{N}, \frac{i}{N} - F(x_i)) \quad (3.13)$$

όπου η $F(x_i)$ είναι η θεωρητική αθροιστική συνάρτηση κατανομής η οποία ελέγχεται (η οποία, όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να είναι συνεχής κατανομή πλήρως καθορισμένη).

Για να είναι αποδεκτή μια υποκείμενη σε έλεγχο κατανομή (αποδοχή μηδενικής υπόθεσης) θα πρέπει η στατιστική συνάρτηση D είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή D_{cr} η οποία λαμβάνεται από πίνακα. Αν, για το επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, η στατιστική συνάρτηση D είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κρίσιμη τιμή, τότε, απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση.

Ένα χαρακτηριστικό του ελέγχου αυτού είναι ότι η στατιστική συνάρτηση δεν εξαρτάται από την υποκείμενη σε έλεγχο αθροιστική συνάρτηση κατανομής. Ένα επίσης πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιεί τις ίδιες τις παρατηρήσεις και επομένως δεν απαιτεί μεγάλο πλήθος δεδομένων όπως συμβαίνει με τον έλεγχο χ^2 που απαιτεί ομαδοποίηση των δεδομένων. Παρόλα αυτά, ο έλεγχος αυτός έχει πολλούς σημαντικούς περιορισμούς. Έτσι:

- εφαρμόζεται μόνο σε συνεχείς κατανομές,
- έχει την τάση να παρουσιάζει ευαισθησία γύρω από το κέντρο της κατανομής παρά στις ουρές τις κατανομής,

- επίσης θα πρέπει η κατανομή να είναι πλήρως καθορισμένη (θέση, κλίμακα, και παράμετροι της μορφής της, να μην καθορίζονται από τα δεδομένα γιατί τότε ο έλεγχος δεν θεωρείται έγκυρος). Συνήθως ο καθορισμός της κατανομής εξάγεται με προσομοίωση.

3.2.2.4 Ο έλεγχος της ασυμμετρίας

Εκτός των ελέγχων που αναλύθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους, ένας επιπλέον έλεγχος που χρησιμοποιείται είναι αυτός της ασυμμετρίας (Harris et al.,1987). Αυτός στηρίζεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίζεται από μια σειρά τιμών μια μεταβλητής (που ακολουθεί την κανονική κατανομή) είναι μηδενικός. Στην περίπτωση ενός πληθυσμού κανονικής κατανομής, ο συντελεστής ασυμμετρίας ακολουθεί μια ασυμπτωτικά κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση $6/N$ (Snedecor και Cochran, 1967). Ο έλεγχος αυτός είναι αξιόπιστος για πλήθος $N > 150$. Για μικρότερα δείγματα τιμών οι Snedecor και Cochran προτείνουν να μην χρησιμοποιούνται να διαστήματα εμπιστοσύνης που προκύπτουν από την παραπάνω κατανομή, αλλά να συγκρίνουν τον συντελεστή συσχέτισης που προκύπτει για το δείγμα με συγκεκριμένες τιμές οι οποίες λαμβάνονται από πίνακα και σχετίζονται με το μέγεθος του δείγματος και με το επίπεδο εμπιστοσύνης που ενδιαφέρει (Πίνακας 3.1)

Πίνακας 3.1 Πίνακας του ελέγχου ασυμμετρίας για την κανονική κατανομή για μέγεθος δείγματος μικρότερο από 150 (Snedecor και Cochran, 1967)

N	α 0.02	α 0.10	N	α 0.02	α 0.10
25	1.061	0.711	70	0.673	0.459
30	0.986	0.662	80	0.631	0.432
35	0.923	0.621	90	0.596	0.409
40	0.870	0.587	100	0.567	0.389
45	0.825	0.558	125	0.508	0.350
50	0.787	0.534	150	0.464	0.321
60	0.723	0.492	175	0.430	0.298

3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Η ανάλυση συσχέτισης αποτελεί στατιστική μέθοδο μέτρησης της σχέσης που έχουν μεταξύ τους δύο μεταβλητές. Αυτό που ενδιαφέρει στην περίπτωση που επιλέγεται αυτή η μέθοδος είναι να καθοριστεί κατά πόσο δύο μεταβλητές μέτρησης μεταβάλλονται μαζί, δηλαδή, κατά πόσο μεγάλες τιμές της μιας μεταβλητής σχετίζονται με μεγάλες τιμές της άλλης (θετική συσχέτιση), κατά πόσο μικρές τιμές της μιας μεταβλητής σχετίζονται με

μεγάλες τιμές της άλλης (αρνητική συσχέτιση) ή κατά πόσο οι τιμές και των δύο μεταβλητών είναι άσχετες μεταξύ τους (σχεδόν μηδενική συσχέτιση). Στην περίπτωση που δύο μεταβλητές παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση, μπορεί αυτή η σχέση να αποτελέσει εργαλείο πρόβλεψης για τις τιμές της μίας μεταβλητής γνωρίζοντας τις τιμές της άλλης. Παρ' όλα αυτά, με την ανάλυση συσχέτισης, δεν μπορεί να υποτεθεί ότι η μία μεταβλητή είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της άλλης. Στην περίπτωση αυτή η αντίστοιχη ανάλυση είναι γνωστή ως ανάλυση παλινδρόμησης (η οποία συνδέει μια εξαρτημένη και μια ανεξάρτητη μεταβλητή).

Το είδος και το μέγεθος της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο ποσοτικών μεταβλητών που ακολουθούν την κανονική κατανομή εκτιμάται με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson (ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή), ενώ όταν έστω και μία από τις δύο ποσοτικές μεταβλητές δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή, τότε χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman. Επιπλέον, ο τελευταίος χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που η μία ή και οι δύο μεταβλητές είναι σε διατεταγμένη κλίμακα.

3.3.1 Συντελεστής συσχέτισης του Pearson

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson συμβολίζεται με ρ όταν αφορά σε ολόκληρο τον πληθυσμό και με r όταν υπολογίζεται για ένα συγκεκριμένο δείγμα πληθυσμού (αποτελώντας έτσι εκτίμηση για τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχεται το δείγμα). Προσδιορίζεται από τον λόγο της συνδιασποράς (ή συμμεταβλητότητας) δύο μεταβλητών προς το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων των μεταβλητών, δηλαδή

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \hat{\mu}_X)(Y - \hat{\mu}_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3.14)$$

όπου X, Y είναι δύο τυχαίες μεταβλητές, ενώ στους μέσους όρους και τυπικές αποκλίσεις που προσδιορίζονται για τις μεταβλητές αυτές έχει συμπεριληφθεί η μεταβλητή ως δείκτης ώστε να είναι ξεκάθαρο σε ποια μεταβλητή αναφέρεται το κάθε μέτρο θέσης και διασποράς. επίσης, στην παραπάνω σχέση με $E[.]$ συμβολίζεται ο μέσος όρος. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson δεν έχει μονάδες μέτρησης και λαμβάνει τιμές από -1 έως +1. Εάν το μέγεθος της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται όπως αυξάνεται το μέγεθος και της άλλης μεταβλητής, τότε υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και ο συντελεστής συσχέτισης είναι > 0 . Αντίθετα, εάν το μέγεθος της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται όπως ελαττώνεται το μέγεθος της άλλης μεταβλητής, τότε

υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και ο συντελεστής συσχέτισης είναι < 0 . Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης υπάρχει η παρακάτω διάκριση:

+0.75 ως +1: πολύ καλή θετική συσχέτιση,

+0.50 ως +0.75 καλή θετική συσχέτιση,

+0.30 ως +0.50 μέτρια θετική συσχέτιση,

-0.75 ως -1: πολύ καλή αρνητική συσχέτιση,

-0.50 ως -0.75 καλή αρνητική συσχέτιση,

-0.30 ως -0.50 μέτρια αρνητική συσχέτιση.

Οι τιμές -1 έως $+1$ συμβαίνουν όταν υπάρχει μια τέλεια (αρνητική ή θετική, αντίστοιχα) γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, αλλά δεν αποκλείεται η ύπαρξη μιας άλλης μη γραμμικής σχέσης. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, καθώς: (α) ποσοτικοποιεί τη σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών μόνο στην περίπτωση κατά την οποία η σχέση αυτή είναι γραμμική, (β) είναι πολύ ευαίσθητος σε ακραίες τιμές και η ύπαρξή τους σε αρκετές περιπτώσεις οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα, (γ) η εκτιμηθείσα συσχέτιση δεν μπορεί να επεκταθεί πέρα από το παρατηρούμενο εύρος των μεταβλητών.

3.3.2 Συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman

Ο συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman όταν υπολογίζεται σε δείγματα συμβολίζεται με r_s και λαμβάνει τιμές από -1 έως $+1$, με την ερμηνεία να είναι ίδια με εκείνη στην περίπτωση του συντελεστή συσχέτισης του Pearson. Ο συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητος σε ακραίες τιμές από το συντελεστή συσχέτισης του Pearson και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η μία ή και οι δύο μεταβλητές είναι σε διατεταγμένη κλίμακα, αλλά επειδή, ως μη παραμετρική μέθοδος χρησιμοποιεί τις διατάξεις και όχι τις παρατηρούμενες τιμές, δεν λαμβάνει υπόψη όλη την πληροφορία που είναι γνωστή για μια κατανομή.

3.3.3 Διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης

Στην περίπτωση των ποσοτικών μεταβλητών απαιτείται καταρχήν η διεξαγωγή ελέγχου κανονικότητας (στην πλειονότητα των περιπτώσεων με βάση τον έλεγχο Kolmogorov-

Smirnov). Επίσης, ο έλεγχος χ^2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά είναι περισσότερο ευαίσθητος από τον προηγούμενο.

Βέβαια, ο προσδιορισμός του συντελεστή συσχέτισης δεν αποτελεί από μόνος του ισχυρή απόδειξη ότι υπάρχει σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό, πέραν από τον προσδιορισμό του συντελεστή συσχέτισης, είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί τόσο το διάγραμμα διασποράς όσο και να προσδιορισθεί η αντίστοιχη τιμή p -value η οποία είναι το αποτέλεσμα του ελέγχου στατιστικής σημαντικότητας. Έτσι, με συναξιόλογηση όλων των παραπάνω δεδομένων είναι δυνατό να εξαχθεί ένα πιο ασφαλές συμπέρασμα για το αν πραγματικά δύο μεταβλητές σχετίζονται ή όχι μεταξύ τους.

3.3.3.1 Δημιουργία διαγράμματος διασποράς.

Το διάγραμμα διασποράς είναι το διάγραμμα που προκύπτει από την προβολή ζευγών σημείων των δύο μεταβλητών πάνω σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Η διασπορά αυτή δίνει μια αρχική εικόνα για το αν ο συντελεστής συσχέτισης που προσδιορίζεται μπορεί να έχει έννοια ή όχι.

3.3.3.2 Έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας

Τα τεστ σημαντικότητας εκτελούνται για να φανεί αν η αρχική υπόθεση H_0 (η μηδενική υπόθεση δέχεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών) μπορεί να απορριφθεί. Αν η αρχική υπόθεση απορριφθεί, τότε το φαινόμενο που παρατηρείται από τις τιμές του δειγματικού χώρου είναι στατιστικά σημαντικό. Αντίθετα, αν η αρχική υπόθεση δεν απορριφθεί, τότε το φαινόμενο δεν είναι στατιστικά σημαντικό. Κατά την εκτέλεση του τεστ, εκλέγεται ένα επίπεδο σημαντικότητας με βάση το οποίο εξετάζεται η απόρριψη ή μη της αρχικής πρότασης.

Στην περίπτωση του συντελεστή συσχέτισης, ενδιαφέρει να εκτιμηθεί ο συντελεστής συσχέτισης του πληθυσμού ρ από τον συντελεστή συσχέτισης του δείγματος r ώστε να βγει συμπέρασμα για το αν ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης του πληθυσμού είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το μηδέν για συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας. Για κάτι τέτοιο χρειάζεται η δειγματοληπτική κατανομή του r . Για $\rho = 0$, η κατανομή αυτή είναι συμμετρική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια στατιστική συνάρτηση που έχει κατανομή του Student. Στην πράξη, ελέγχεται η μηδενική υπόθεση και είτε απορρίπτεται είτε όχι. Η μηδενική υπόθεση αντιστοιχεί στο γεγονός ότι δεν υπάρχει καμιά σχέση μεταξύ των

μελετώμενων μεταβλητών ($\rho = 0$). Ο έλεγχος γίνεται χρησιμοποιώντας την στατιστική συνάρτηση που έχει κατανομή του Student με $N-2$ βαθμούς ελευθερίας και υπολογίζεται η τιμή t με βάση την τιμή του r του δείγματος και του μεγέθους N του δείγματος. Στην συνέχεια, με βάση τον μονόπλευρο έλεγχο με την κατανομή του Student στο επίπεδο σημαντικότητας που ενδιαφέρει απορρίπτεται ή όχι η μηδενική υπόθεση. Ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποιούν δίπλευρο έλεγχο.

Τα στατιστικά προγράμματα προσδιορίζουν την τιμή p (p - value) η οποία ορίζεται ως η πιθανότητα, με την προϋπόθεση ότι η μηδενική υπόθεση είναι αληθής, η απόλυτη τιμή της στατιστικής συνάρτησης να είναι ίση ή να υπερβαίνει την παρατηρούμενη τιμή της στατιστικής συνάρτησης. Προσδιορίζεται υπολογίζοντας την τιμή της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας για την t με $N-2$ βαθμούς ελευθερίας και το αποτέλεσμα αυτό αφαιρείται από την μονάδα. Το προκαθορισμένο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας προσδιορίζεται αυθαίρετα ανάλογα με τον ερευνητή και συνήθως λαμβάνει τιμές 0.05 ή 0.01 και σπανιότερα 0.1. Μικρή τιμή της p αποτελεί στοιχείο ότι η μηδενική υπόθεση δεν ισχύει και ότι οι μεταβλητές στην πραγματικότητα συνδέονται μεταξύ τους.

Παρατηρήσεις:

- Η τιμή p δεν είναι η πιθανότητα ότι η μηδενική υπόθεση είναι αληθής. Η τιμή p υπολογίζεται με την προϋπόθεση ότι η μηδενική υπόθεση είναι αληθής
- Όπως προαναφέρθηκε, για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης συγκρίνεται η τιμή p με την τιμή α , η οποία είναι αυθαίρετη και καθορίζεται από τον ερευνητή. Εάν η τιμή p που προκύπτει από τα δεδομένα μιας μελέτης, είναι μικρότερη από την τιμή α , τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, ενώ αν η τιμή p είναι μεγαλύτερη από την τιμή α , τότε, δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, αλλά και ούτε επιβεβαιώνεται. Εάν η τιμή α καθοριστεί ως 0.05, τότε οποιαδήποτε τιμή p η οποία είναι <0.05 οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης.
- Μολονότι πολλοί χρησιμοποιούν τους ελέγχους της στατιστικής σημαντικότητας και τις τιμές p για την εξαγωγή συμπερασμάτων, είναι φανερό ότι οι τιμές p αποτελούν απλά ένα συνεχές μέτρο της συμβατότητας μεταξύ της μηδενικής υπόθεσης και των δεδομένων μιας μελέτης. Αυθαίρετο κριτήριο της συμβατότητας αυτής αποτελεί η τιμή α που καθορίζεται από τον ερευνητή. Έτσι, αν η τιμή α καθοριστεί ως 0.05, τότε

οποιαδήποτε τιμή $p < 0,05$ υποδηλώνει μικρή συμβατότητα της μηδενικής υπόθεσης με τα δεδομένα μιας μελέτης. Όσο μικρότερη δηλαδή είναι η τιμή p τόσο μικρότερη είναι η συμβατότητα μεταξύ της μηδενικής υπόθεσης και των δεδομένων μιας μελέτης. Συμπερασματικά, η χρήση της τιμής p που προκύπτει σε μια μελέτη δεν πρέπει να αποτελεί κριτήριο για το αν μια μηδενική υπόθεση είναι αληθής ή όχι, καθώς απαιτείται η διεξαγωγή πολλών μελετών και η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

- Βέβαια, η μη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης δεν σημαίνει ότι είναι αληθής, αλλά ότι τα δεδομένα μιας μελέτης δεν προσφέρουν αρκετή απόδειξη για την απόρριψή της.
- Η τιμή p παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, καθώς δεν εκφράζει το μέγεθος της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών.

3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η παραγοντική ανάλυση είναι μια στατιστική μέθοδος πολυμεταβλητής ανάλυσης δεδομένων, που έχει ως στόχο να εντοπίσει την ύπαρξη παραγόντων κοινών ανάμεσα σε μια ομάδα μεταβλητών. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εξήγηση της δομής και της μεταβλητότητας – διασποράς που παρατηρείται μεταξύ των αρχικών μεταβλητών (εξαρτημένες μεταβλητές) και την δημιουργία νέων μεταβλητών που ονομάζονται παράγοντες.

Εκφράζοντας αυτούς τους παράγοντες είναι δυνατόν:

- Να μειωθούν οι διαστάσεις του προβλήματος αφού οι παράγοντες διατηρούν όσο γίνεται την πληροφορία που υπήρχε στις αρχικές μεταβλητές
- Να εξηγηθούν οι συσχετίσεις που υπάρχουν στα δεδομένα, για τις οποίες έχουν υποτεθεί ότι οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων που δημιούργησαν τα δεδομένα

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι:

- Στηρίζεται σε ένα πλήθος υποθέσεων οι οποίες δεν είναι απαραίτητα ρεαλιστικές για πραγματικά προβλήματα και συνήθως δεν μπορούν να ελεγχθούν εύκολα από τον ερευνητή

- Βασιζόμενοι στα ίδια δεδομένα διαφορετικοί επιστήμονες μπορούν να καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα, το οποίο εξαρτάται και από διάφορα άλλα στοιχεία
- Οι παράγοντες που προκύπτουν μπορούν να δεχτούν διαφορετικές ερμηνείες οι οποίες μπορεί να έρχονται σε αντιπαράθεση
- Ο αριθμός των παραγόντων που χρειάζονται ώστε να εξαχθούν χρήσιμα αποτελέσματα δεν είναι προφανής και εξαρτάται από την μέθοδο εκτίμησης που θα χρησιμοποιηθεί

Η κύρια υπόθεση στην οποία στηρίζεται η παραγοντική ανάλυση είναι ότι οι όποιες συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών μεταβλητών οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων οι οποίοι όμως δεν είναι γνωστοί και στόχος είναι να εκτιμηθούν. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παραγοντική ανάλυση μπορεί να είναι είναι ορθογώνιο το οποίο βασίζεται στην υπόθεση πως οι παράγοντες είναι ορθογώνιοι (ανεξάρτητοι) μεταξύ τους, αλλά πολλές φορές μια τέτοια υπόθεση μπορεί να μην είναι καθόλου ρεαλιστική και θα πρέπει να επιτρέπεται στους παράγοντες να συσχετίζονται μεταξύ τους.

3.4.1 Το ορθογώνιο μοντέλο

Σύμφωνα με το ορθογωνικό μοντέλο γίνεται η υπόθεση ότι αν διατίθενται P μεταβλητές, αυτές μπορούν να γραφούν ως γραμμικός συνδυασμός q παραγόντων, δηλαδή:

$$X - \mu = LF + \varepsilon \quad (3.15)$$

όπου

X είναι το διάνυσμα των αρχικών μεταβλητών μεγέθους $P \times 1$,

μ είναι το διάνυσμα των μέσων μεγέθους $P \times 1$,

L είναι ένας πίνακας $P \times q$ όπου το L_{ij} είναι η επιβάρυνση (loading) του παράγοντα F_j στην μεταβλητή X_i ,

F είναι ένας $q \times 1$ πίνακας των παραγόντων, και

ε είναι το σφάλμα ή μοναδικός παράγοντας. Το σφάλμα ε_i είναι ο μοναδικός παράγοντας της i μεταβλητής και είναι το μέρος της μεταβλητής το οποίο δεν μπορεί να εξηγηθεί από τους παράγοντες.

Είναι δυνατό από την κάθε μεταβλητή να αφαιρεθεί η μέση της τιμή οπότε να υποτεθεί ότι όλες οι μεταβλητές έχουν μέσο όρο 0, οπότε το διάνυσμα μ μπορεί να αφαιρεθεί από το παραπάνω μοντέλο. Επίσης, ο αριθμός των παραγόντων πρέπει να είναι μικρότερος από τον αριθμό των μεταβλητών ώστε η παραγοντική ανάλυση να έχει νόημα. Επομένως, η κάθε μεταβλητή μπορεί να γραφεί στην παρακάτω μορφή:

$$\begin{aligned} X_1 &= L_{11}F_1 + L_{12}F_2 + \dots + L_{1q}F_q + \varepsilon_1 \\ X_2 &= L_{21}F_1 + L_{22}F_2 + \dots + L_{2q}F_q + \varepsilon_2 \\ &\dots \\ X_p &= L_{p1}F_1 + L_{p2}F_2 + \dots + L_{pq}F_q + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (3.16)$$

Παρατηρήσεις:

- Το παραπάνω μοντέλο μοιάζει με γραμμικό μοντέλο αλλά παρουσιάζει διαφορές από αυτό καθώς τα X_i δεν είναι παρατηρήσεις αλλά μεταβλητές και το δεξί μέλος της εξίσωσης δεν είναι παρατηρήσιμο αλλά πρέπει να εκτιμηθεί.
- Οι παράγοντες F_j μπορούν να γραφούν και αυτοί ως γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών. Όμως στην περίπτωση αυτή οι συντελεστές διαφέρουν από τις επιβαρύνσεις L_{ij} . Στην περίπτωση που εκφράζονται ο κάθε παράγοντας ως γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών τότε οι αντίστοιχοι συντελεστές καλούνται συντελεστές των σκορ (factor scores coefficients).

3.4.1.1 Υποθέσεις του Ορθογώνιου μοντέλου

Ένα πολύ βασικό στοιχείο του Ορθογώνιου παραγοντικού μοντέλου είναι οι υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται. Αυτές είναι:

1. Οι παράγοντες έχουν μηδενικές μέσες τιμές:

$$E[\mathbf{F}] = \mathbf{0} \quad (3.17)$$

2. Οι μοναδικοί παράγοντες έχουν μηδενικές μέσες τιμές:

$$E[\boldsymbol{\varepsilon}] = \mathbf{0} \quad (3.18)$$

3. Οι παράγοντες είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους δηλαδή είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους:

$$\text{Cov}(\mathbf{F}) = \mathbf{I} \quad (3.19)$$

4. Οι μοναδικοί παράγοντες είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους:

$$\text{Cov}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \boldsymbol{\Psi} \quad (3.20)$$

όπου $\boldsymbol{\Psi}$ είναι ένα διαγώνιο πίνακας μεγέθους $P \times P$.

5. Οι μοναδικοί παράγοντες και οι κοινοί παράγοντες είναι ασυσχέτιστοι:

$$\text{Cov}(\boldsymbol{\varepsilon}_i, \mathbf{F}_j) = 0 \text{ για κάθε } i \neq j \quad (3.21)$$

Με βάση την υπόθεση (3) φαίνεται πως οι διακυμάνσεις των παραγόντων είναι ίσες με την μονάδα που σημαίνει ότι όλοι οι παράγοντες έχουν την ίδια διακύμανση. Σκοπός της παραγοντικής ανάλυσης είναι να αναπαρασταθεί ο πίνακας διακύμανσης του πληθυσμού. Πρακτικά αυτό σημαίνει να προσδιοριστούν οι πίνακες \mathbf{L} και $\boldsymbol{\Psi}$.

3.4.1.2 Διαδικασία εφαρμογής της παραγοντικής ανάλυσης

Τα βήματα τα οποία ακολουθούνται είναι:

Έλεγχος για το αν υπάρχουν ικανοποιητικές συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων. Για την παραγοντική ανάλυση είναι σημαντικό να υπάρχουν συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές καθώς αυτές τις συσχετίσεις είναι εκείνες που γίνεται προσπάθεια να εξηγηθούν. Όταν τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα τότε δεν υπάρχει λόγος να εφαρμοσθεί η παραγοντική ανάλυση. Αυτό που ενδιαφέρει είναι να υπάρχουν μεγάλες συσχετίσεις (>0.40) σε μεγάλο ποσοστό του πίνακα συσχετίσεων. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόζεται η διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Όμως ο απλός συντελεστής συσχέτισης υπολογίζει την συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών αγνοώντας τις υπόλοιπες. Έτσι, κάποιες μεταβλητές μπορεί να εμφανίζονται συσχετισμένες επειδή κάποιες άλλες έχουν μεγάλη συσχέτιση με αυτές και, όταν ακυρωθεί η επίδρασή τους, οι αρχικές μεταβλητές να μην εμφανίζουν πια καμιά συσχέτιση. Για τον λόγο αυτό είναι χρήσιμος ένας συντελεστής συσχέτισης ο οποίος θα υπολογίζει την συσχέτιση αφού αφαιρεθεί η συσχέτιση των υπολοίπων μεταβλητών. Αυτός είναι ο συντελεστής μερικής συσχέτισης. Έτσι, για να προχωρήσει η παραγοντική ανάλυση είναι σημαντικό οι συντελεστές μερικής συσχέτισης να είναι μικροί. Ένα μέτρο για να συγκριθεί το σχετικό μέγεθος των συντελεστών συσχέτισης σχετικά με τους συντελεστές μερικής συσχέτισης είναι το στατιστικό κριτήριο Kaiser-Meyer-Olkin που υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{KMO} = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \quad (3.22)$$

όπου r_{ij} και α_{ij} είναι οι δειγματικοί συντελεστές συσχέτισης και μερικής συσχέτισης αντίστοιχα. Αν η τιμή του KMO είναι μεγάλη τότε τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για παραγοντική ανάλυση. Τιμές κάτω από 0.5 θεωρούνται τιμές που καθιστούν την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης μη αποδεκτή. Στην πράξη τιμές της τάξης του 0.8 θεωρούνται αρκετά καλές (Καρλής, 2001).

Εύρεση του αριθμού των παραγόντων και εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου. Για την εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως είναι με βάση (α) τις τιμές των ιδιοτιμών του πίνακα διακύμανσης – συνδιακύμανσης, (β) τιμές που εξηγούν κάποιο ποσοστό της διακύμανσης ή (γ) το scree plot (το γράφημα των ιδιοτιμών ως προς τον αύξοντα αριθμό τους). Για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου συνήθως στην πράξη χρησιμοποιείται η μέθοδος των κύριων συνιστωσών και η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Άλλες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, η γενικευμένη μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων και η μέθοδος των κύριων αξόνων.

Η μέθοδος των κύριων συνιστωσών από μαθηματικής πλευράς είναι η εύρεση των ιδιοτιμών (eigenvalues) και των υπολογισμό των ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors) του πίνακα των διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων των δεδομένων. Οι ιδιοτιμές και κυρίως τα ιδιοδιανύσματα δίνουν μια σαφή εικόνα της δομής του πίνακα συσχετίσεων ή του πίνακα διακυμάνσεων συνδιακυμάνσεων. Αφού υπολογιστούν οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα στην συνέχεια γίνεται ομαλοποίηση των ιδιοδιανυσμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ιδιοδιανύσματα σχετίζονται με τις λύσεις ενός συστήματος ομογενών εξισώσεων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός πιθανών λύσεων που ικανοποιούν τις εξισώσεις δηλαδή υπάρχει ένας άπειρος αριθμός ιδιοδιανυσμάτων. Η ομαλοποίηση συνίσταται στην επιλογή της τιμής της σταθεράς που εισάγεται κατά την επίλυση των εξισώσεων για τον προσδιορισμό των ιδιοδιανυσμάτων έτσι ώστε το μήκος του αντίστοιχου ιδιοδιανύσματος να είναι ίσο με την μονάδα.

Περιστροφή του μοντέλου με σκοπό την αύξηση της ερμηνευτικής ικανότητάς του. Η περιστροφή των παραγόντων εφαρμόζεται ώστε να τους καταστήσει περισσότερο ερμηνεύσιμους. Με την περιστροφή δεν αλλάζουν κάποια από τα χαρακτηριστικά του μοντέλου όπως η καλή προσαρμοστικότητα και το ποσό της διακύμανσης – συνδιακύμανσης που ερμηνεύει το μοντέλο παρά μόνον οι τιμές των επιβαρύνσεων. Η περιστροφή πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός ορθογωνίου πίνακα \mathbf{G} ο οποίος ορίζει

ένα ορθογώνιο μετασχηματισμό. Αυτό που επιδιώκεται με την περιστροφή είναι οι επιβαρύνσεις κάποιων παραγόντων να είναι μεγάλες σε απόλυτη κλίμακα μόνο για κάποιες από τις μεταβλητές οπότε να μπορεί να φανεί ποιες μεταβλητές συνδέονται με ποιους παράγοντες ώστε να είναι δυνατή η ερμηνεία των παραγόντων. Οι βασικές μέθοδοι περιστροφής είναι η Varimax (η οποία στόχο έχει να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των μεταβλητών που έχουν μεγάλες επιβαρύνσεις για κάθε παράγοντα), η Quartimax (στόχο έχει να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των παραγόντων που εξηγούν μια μεταβλητή), η Equimax (που είναι συνδυασμός των Varimax και Quartimax), και η Oblique (που αφορά σε μη ορθογώνια περιστροφή με αποτέλεσμα οι παράγοντες που προκύπτουν τελικά να μην είναι ανεξάρτητοι

Εκτίμηση των σκορ των παραγόντων για περαιτέρω στατιστική χρήση. Ένα τελευταίο βήμα μετά την εκτίμηση ενός παραγοντικού μοντέλου (εκτίμηση των L και Ψ) είναι να βρεθούν οι τιμές των καινούργιων μεταβλητών για κάθε μεταβλητή (factor scores). Για τον προσδιορισμό αυτών χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Αυτές που χρησιμοποιούν τα στατιστικά πακέτα (όπως το SPSS) είναι η μεθοδος της Παλινδρόμησης, η μεθοδος Bartlett και η μεθοδος του Anderson. Σύμφωνα με τις υποθέσεις του μοντέλου οι νέες μεταβλητές που προκύπτουν από την διαδικασία αυτή θα έχουν μέση τιμή 0 και θα είναι ασυσχέτιστες. Οι τιμές των μεταβλητών μετασχηματίζονται κάθε φορά σύμφωνα με τα στοιχεία της κάθε κύριας συνιστώσας ώστε να προκύψουν οι τιμές (scores). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- τον υπολογισμό της γεωγραφικής έκφρασης της κάθε κύριας συνιστώσας, στοιχείο που εκφράζει την ιδιαίτερη σπουδαιότητα του τελευταίου σταδίου στις γεωεπιστήμες.
- Οι τιμές (scores) των κύριων συνιστωσών να παρουσιάζουν ποσοστά διακύμανσης όμοια με τα ποσοστά των κύριων συνιστωσών βάσει των οποίων υπολογίστηκαν και όχι με αυτά των αρχικών μεταβλητών.

4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών $37^{\circ}55'$, $38^{\circ}06'$ και γεωγραφικών μηκών $23^{\circ}48'$, $24^{\circ}02'$ και καλύπτει επιφάνεια περίπου 134 km^2 . Σύμφωνα με το πρόγραμμα «Καλλικράτης», εντάσσεται στην περιφέρεια Αττικής και περιλαμβάνει τους δήμους Ραφήνας – Πικερμίου, Παλλήνης, το ανατολικό τμήμα του δήμου Πεντέλης, το βόρειο τμήμα του δήμου Παιανίας και το βορειοδυτικό τμήμα του δήμου Σπάτων – Αρτέμιδος. Στο εσωτερικό της υδρολογικής λεκάνης αναπτύσσονται οι πόλεις της Ραφήνας, Πικερμίου, Σπάτων, Παλλήνης, Ανθούσας, Πεντέλης, Γέρακα και Γλυκών Νερών.

4.2 ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

4.2.1 Μέγεθος λεκάνης απορροής

Για να προσδιορισθεί το μέγεθος της λεκάνης απορροής απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός του υδροκρίτη. Επειδή, όμως, η απορροή του υδατορεύματος δεν δημιουργείται μόνον από την επιφανειακή απορροή αλλά και από την υπεδάφια/υπόγεια απορροή, πολλές φορές και ανάλογα το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής, το μέγεθος της λεκάνης δεν συμπίπτει με αυτό που εξάγεται από τον προσδιορισμό του επιφανειακού υδροκρίτη. Όσον αφορά τον επιφανειακό υδροκρίτη, αυτός χαράχθηκε με βάση τις ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 20 μέτρων. Λόγω των μικρών σχετικά κλίσεων στο νότιο τμήμα της λεκάνης, και επειδή δεν υπήρχε η δυνατότητα χρήσης πιο πυκνής υψομετρικής πληροφορίας (για παράδειγμα, χάρτες 1:5 000), ο καθορισμός του υδροκρίτη στηρίχθηκε στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους και διορθώθηκε με βάση τις αρχές χάραξης του όπου απαιτήθηκε.

Με βάση τα παραπάνω το μέγεθος της υδρολογικής λεκάνης προσδιορίζεται περίπου σε 134 km^2 .

4.2.2 Σχήμα της λεκάνης απορροής

Το σχήμα της λεκάνης απορροής ενδιαφέρει πολύ την υδρολογία γιατί επηρεάζει το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και, επομένως, το μέγεθος της παροχής που παρατηρείται στο στόμιο της λεκάνης (Τσακίρης, 1995). Έτσι, επιμήκεις λεκάνες απορροής έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης και παρουσιάζουν μικρότερες παροχές στην έξοδο σε σχέση με

ριπιδοειδείς ή κυκλικές κάτω από τις ίδιες συνθήκες βροχόπτωσης. Παρά την σπουδαιότητα του σχήματος, εφόσον αυτό σχετίζεται με το μέγεθος της παροχής προσδιορίζεται δύσκολα και για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες. Για την υπό μελέτη λεκάνη προσδιορίστηκαν οι έξι δείκτες:

Ο Cravelius (Horton, 1932) χρησιμοποίησε τον δείκτη συγκέντρωσης (K_c) για να εκφράσει το σχήμα της λεκάνης. Ο δείκτης αυτός δίνεται από την εξίσωση:

$$K_c = \frac{\text{περίμετρος λεκάνης με εμβαδό } A}{\text{περίμετρος κύκλου με ίσο εμβαδό } A} \quad (4.1)$$

Για την υπό εξέταση υδρολογική λεκάνη τα αντίστοιχα μεγέθη που προσδιορίστηκαν είναι:

- Εμβαδό υδρολογικής λεκάνης: 134 270 500 m²
- Περίμετρος υδρολογικής λεκάνης: 56 135 m
- Περίμετρος κύκλου 41 077 m,

Ο δείκτης K_c που προέκυψε με βάση τις παραπάνω μετρήσεις είναι 1.37. Η τιμή που λαμβάνει ο δείκτης αυτός είναι αρκετά κοντά στην τιμή 1 (Alexandre Marco da Silva, 2006) που σημαίνει ότι η υδρολογική λεκάνη πλησιάζει αρκετά κυκλικού τύπου λεκάνη παρά επιμηκυσμένη.

Για την κυκλικότητα της λεκάνης ο Miller χρησιμοποίησε τον δείκτη R_c που δίνεται από την σχέση (Tauert W. & Humborg, 1992):

$$R_c = \frac{\text{Εμβαδό της λεκάνης } A}{\text{Εμβαδό κύκλου } A_c \text{ με την ίδια περίμετρο}} \quad (4.2)$$

Για την υπό εξέταση υδρολογική λεκάνη τα αντίστοιχα μεγέθη που προσδιορίστηκαν είναι:

- Εμβαδό υδρολογικής λεκάνης: 134 270 500 m².
- Εμβαδό κύκλου A_c με την ίδια περίμετρο: 250 759 612 m².

Ο δείκτης R_c που προέκυψε με βάση τις τιμές αυτές είναι 0.53.

Για την επιμήκυνση της λεκάνης ο Sctiumm χρησιμοποίησε τον δείκτη R_L που ισούται με την διάμετρο κύκλου, με εμβαδόν ίσο με εκείνο της λεκάνης προς το μήκος της λεκάνης (παράλληλα με το κύριο ρέμα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία μαιάνδρων):

Για την υπό εξέταση υδρολογική λεκάνη τα αντίστοιχα μεγέθη που προσδιορίστηκαν είναι:

- Διάμετρος κύκλου: 13 075 m
- Μήκος λεκάνης: 24 806 m

$$R_L = \frac{\text{Εμβαδό λεκάνης } A}{\text{Μήκος της λεκάνης } L} \quad (4.3)$$

Ο δείκτης R_L που προέκυψε με βάση τις τιμές αυτές είναι 0.53.

4.2.3 Χαρακτηριστικά υψόμετρα της λεκάνης απορροής

Από τα διάφορα υψόμετρα της λεκάνης αυτά που συνήθως ενδιαφέρουν και θεωρούνται σημαντικά είναι το μέσο υψόμετρο, η διάμεση τιμή, το μέγιστο και το ελάχιστο.

Το ελάχιστο και το μέγιστο προσδιορίζονται συνήθως με την χρήση τοπογραφικών χαρτών ή με απευθείας μετρήσεις.

Για τον προσδιορισμό της διάμεσης τιμής είναι αναγκαία η χάραξη της υψομετρικής καμπύλης της λεκάνης η οποία απεικονίζει τη σχέση υψομέτρου και ποσοστού της επιφάνειας της λεκάνης με υψόμετρο πάνω από το εξεταζόμενο. Η διάμεση τιμή του υψομέτρου λαμβάνεται από την καμπύλη αυτή και είναι εκείνη η τιμή για την οποία το 50% της έκτασης της λεκάνης απορροής βρίσκεται πάνω από αυτό το υψόμετρο.

Για τον προσδιορισμό του μέσου υψομέτρου της λεκάνης απαιτείται η διαίρεση της λεκάνης σε υποπεριοχές και ο υπολογισμός του μέσου υψομέτρου κάθε μιας από αυτές. Στην συνέχεια το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$z_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^N A_i} \sum_{i=1}^N z_i A_i \quad (4.4)$$

όπου,

z_m : είναι το μέσο υψόμετρο της λεκάνης,

z_i : είναι το μέσο υψόμετρο κάθε υποπεριοχής,

A_i : το εμβαδόν της κάθε υποπεριοχής.

Για τον προσδιορισμό του μέσου υψομέτρου της λεκάνης ως υποπεριοχές χρησιμοποιήθηκαν ζώνες μεταξύ χωροσταθμικών καμπυλών (ανά 100 μέτρα) και ως μέσο υψόμετρο της κάθε υποπεριοχής λήφθηκε ο μέσος όρος του υψομέτρου των

χωροσταθμικών καμπυλών ανά δύο. Οι σχετικοί υπολογισμοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1: Υπολογισμός μέσου υψομέτρου

A/A	Αριθμός rixel	Αντίστοιχο εμβαδόν* ¹	Εύρος	Μέσο υψόμετρο επιμέρους εμβαδόν	Σύνολο (Ai * Zi)
1	22 831	27 781 600	0-100	50	1 389 080 000
2	317 456	48 134 600	100-200	150	7 220 190 000
3	494 098	27 878 300	200-300	250	6 969 575 000
4	442 710	13 668 900	300-400	350	4 784 115 000
5	349 398	7 623 800	400-500	450	3 430 710 000
6	218 995	4 539 400	500-600	550	2 496 670 000
7	132 310	3 075 400	600-700	650	1 999 010 000
8	129 153	1 079 700	700-800	750	809 775 000
9	174 821	462 500	800-900	850	393 125 000
10	121 092	26 300	900-1000	950	24 985 000
Αθροιστικές επιφάνειες		134 270 500			29 517 235 000
Μέσο υψόμετρο λεκάνης					220 μέτρα

*¹Στην κλίμακα του χάρτη είναι 10m× 10m

Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης είναι:

- Σχήμα της λεκάνης: απιοειδές
- Εμβαδό υδρολογικής λεκάνης: 134 270 500 m²
- Περίμετρος υδρολογικής λεκάνης: 56 135 m
- Μέσο υψόμετρο υδρολογικής λεκάνης: 220 m
- Ελάχιστο υψόμετρο υδρολογικής λεκάνης: στάθμη θάλασσας
- Μέγιστο υψόμετρο υδρολογικής λεκάνης: 942 m
- Μέση κλίση υδρολογικής λεκάνης: 11%
- Ελάχιστη κλίση υδρολογικής λεκάνης: 0%, και
- Μέγιστη κλίση υδρολογικής λεκάνης: 129%

4.2.4 Ανάγλυφο και κλίσεις της λεκάνης απορροής

Για την παρουσίαση της κατανομής του αναγλύφου και των κλίσεων της επιφάνειας της λεκάνης κατασκευάστηκε χάρτης κλίσεων. Ο χάρτης αυτός κατασκευάζεται σε περιβάλλον GIS, αφού πρώτα δημιουργηθεί το τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο (TIN). Στο παράρτημα 8 παρουσιάζεται ο χάρτης κλίσεων. Η διαδικασία δημιουργίας του χάρτη αυτού παρουσιάζεται στην παράγραφο 5.3.1.4. Στην συνέχεια, από το μοντέλο αυτό και την

βοήθεια του 3D Analyst δημιουργείται μια ψηφιδωτή (κανναβική) επιφάνεια (Raster) με τις κλίσεις του εδάφους. Με βάση την επιφάνεια αυτή επιλέγονται οι κατηγορίες κλίσεων που ενδιαφέρουν και, στην συνέχεια, το κανναβικό αυτό αρχείο των κλίσεων μετατρέπεται σε διανυσματικό πολυγωνικό επίπεδο.

4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.3.1 Εισαγωγή

Από την μελέτη των γεωλογικών χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (φύλλο χάρτη Κηφισιά 1:50 000, Κορωπί-Πλάκα 1:50 000 και Ραφήνα 1:50 000) προκύπτει ότι το αλπικό υπόβαθρο εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο (νότια Πεντέλη) και στο δυτικό (βόρειες παρυφές Υμηττού) τμήμα της μελετούμενης υδρολογικής λεκάνης, ενώ η υπόλοιπη έκταση καλύπτεται από μεταλπικούς σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα, γενικεύοντας τις επιμέρους στρωματογραφικές στήλες, αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι στην βάση η αυτόχθονη ενότητα Αλμυροπόταμου-Αττικής πάνω στην οποία, τεκτονικά, έχουν τοποθετηθεί οι αλπικοί σχηματισμοί του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος και της ενότητας Αφιδνών – Τουρκοβουνίων με τους μεταλπικούς σχηματισμούς στην οροφή να καλύπτουν όλο το παραπάνω σύμπλεγμα από τις παρυφές της Πεντέλης και του Υμηττού μέχρι την Ραφήνα.

4.3.2 Στρωματογραφία

4.3.2.1 Αυτόχθονη ενότητα Αλμυροπόταμου – Αττικής

Πρόκειται για τη μεγάλη ενότητα σχηματισμών, που εμφανίζεται στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών με μορφή τεκτονικών παραθύρων, η οποία ανήκει στην τεράστια πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Αποτελείται από μια σειρά μεσοζωικών μέχρι και μεσοηκαινικών μαρμάρων, μεγάλου πάχους, που συνοδεύεται από σχηματισμούς μεταφλύσχη και από μεταμορφωμένους κάτω-μεσοτριάδικούς και πιθανώς από νέο-παλαιοζωικούς σχηματισμούς, που αποτελούν το υπόβαθρό της. Σχηματισμοί της ενότητας αυτής απαντώνται, εκτός από την Αττική (Σειρά Αττικής), και στην νότια Εύβοια (Σειρά Αλμυροπόταμου). Από πάνω προς τα κάτω, ηλικιακά διακρίνονται οι σχηματισμοί μεταφλύσχη με ενστρώσεις μαρμάρων, τα Μάρμαρα Βορειοανατολικής Αττικής που φιλοξενούν κοιτάσματα σιδηρομεταλλεύματος, ενώ, στην συνέχεια, ακολουθούν οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί Βορειοανατολικής Αττικής με ενστρώσεις μαρμάρων και σερπεντινιτών. Στην βάση της στρωματογραφικής στήλης εμφανίζονται τα Μάρμαρα

Πεντέλης. Στην περιοχή του Υμηττού παρά το γεγονός ότι για τις ανάγκες της εργασίας αυτής έχει γίνει αντιστοίχιση σχηματισμών και εμφανίζονται ενοποιημένοι με αυτούς της Πεντέλης, στην πραγματικότητα, υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Έτσι για τον Υμηττό η στρωματογραφική στήλη παραμένει περίπου όπως την καθόρισε ο Lepsius (1893) με τα εξής στρώματα: (α) Σχιστόλιθοι της Βάρης στην βάση, (β) Δολομίτες Πιρναρής (Ts-Ji.d) , (γ) Κατώτερο Μάρμαρο, (δ) Σχιστόλιθοι Καισαριανής , (ε) Ανώτερο Μάρμαρο.

Αναλυτικότερα (σύμφωνα με το φύλλο χάρτη Κηφισιά) οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι:

Σχηματισμοί Μεταφλύσχη (m-f): Απαντώνται στην βόρεια παρυφή του Υμηττού, στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη του Κυνηγού, και αποτελούν την προς τα πάνω κανονική και βαθμιαία μετάβαση των στρωμάτων του Ανώτερου Μαρμάρου (Lepsius, 1893). Είναι κυρίως ασβεστίτικοί και μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι με πολλές, συνήθως μικρούς πάχους, ενστρώσεις μαρμάρων (mr) κατά κανόνα κλαστικών. Σχηματισμοί μεταφλύσχη απαντώνται και στην περιοχή της δυτικής παρυφής του Πεντελικού. Αυτοί θεωρούνται σχηματισμοί μεταφλύσχη, λόγω της στρωματογραφικής τους θέσης και της ομοιότητας με τους γνωστούς σχηματισμούς μεταφλύσχη της περιοχής του φύλλου Αλιβέρι. Πιθανή ηλικία το Μέσο Ηώκαινο. Το ορατό πάχος είναι 80 m.

Μάρμαρα ΒΑ Αττικής (Ανώτερο Μάρμαρο) (Ki.mr): Είναι υπόλευκα, ανοικτότεφρα έως σκοτεινότεφρα και κατά θέσεις υποκύανα, κυρίως μεσοστρωματώδη και κατά θέσεις παχυστρωματώδη ως άστρωτα, κατά κανόνα χονδροκρυσταλλικά και συχνά με βολβούς, διαστρώσεις πυριτολίθων και αμφιβολίτες κατά τόπους. Συχνές είναι οι παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστολίθων. Είναι έντονα πτυχωμένα, με συχνή την παρουσία μεγαπτυχών, με αποτέλεσμα οι εν συμφωνία υποκείμενοι σχιστολιθικοί σχηματισμοί να βρίσκονται, μερικές φορές, πάνω στα εν λόγω μάρμαρα (όπως έχει παρατηρηθεί στις περιοχές Βρανά και Γραμματικού). Τα συστήματα ρωγμών τους παρουσιάζουν διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, ενώ παρουσιάζουν υψηλό βαθμό καρστικοποίησης και καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις των περιοχών Μαραθώνα, Γραμματικού, Καλεντζίου, Αγίου Πέτρου – Νέας Μάκρης, του Υμηττού και των παρυφών του Πεντελικού. Το πάχος τους είναι περίπου 500 μέτρα και η ηλικία τους μεσοζωική έως και μεσοηκαινική με βάση την συμφωνία με τους υποκείμενους κατωτριάδικους ως μεσοτριάδικους σχιστόλιθους.

Σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ Αττικής (J.sch): Έχουν μεγάλη εξάπλωση στην ΒΑ Αττική. Μεγάλες εμφανίσεις τους απαντώνται στον ορεινό όγκο της Πεντέλης και στις περιοχές Διονύσου-Σταματάς, Καλεντζίου και Γραμματικού-Μαραθώνα. Είναι κυρίως μοσχοβιτικοί, επιδοτικοί, χλωριτικοί, αλβιτικοί, χαλαζιακοί και ανθρακικοί σχιστόλιθοι. Επίσης, απαντώνται επιδοτικοί αμφιβολίτες, καθώς και ενστρώσεις μαρμάρων (J.mr) ποικίλου πάχους, χρώματος και υφής, όπως λευκών κρυσταλλικών μαρμάρων με βολβούς και διαστρώσεις πυριτολίθων, λατυποπαγών μαρμάρων, και σιπολινομαρμάρων. Στο ανώτερο τμήμα τους, απαντώνται, κατά κανόνα, και σε μεγάλη έκταση, παρεμβολές βασικών μεταφαιστειακών πετρωμάτων και μικρών μαζών σερπεντινιτών (λόγω παρουσίας έντονης υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας η οποία, γενικά, παρατηρείται κατά το Κατώτερο - Μέσο Τριαδικό σε όλες σχεδόν τις γεωτεκτονικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου). Λόγω της παραπάνω στρωματογραφικής εικόνας η ηλικία, για το ανώτερο τουλάχιστον τμήμα, εκτιμάται να είναι Ανώτερο Τριαδικό.

Μάρμαρα Πεντέλης (Κατώτερο Μάρμαρο) (Ti.mr): Δεν εμφανίζονται επιφανειακά στην περιοχή μελέτης, υπόκεινται των σχιστολιθικών σχηματισμών, αναδυόμενα με τη μορφή μεγάλης νησίδας βορειότερά της (όπου και έχουν υποστεί εκτεταμένη εξόρυξη) ενώ επίσης απαντώνται και νοτιοδυτικά της μελετώμενης υδρολογικής λεκάνης στον Υμηττό. Συγκροτούν το κέντρο του Πεντελικού και έχουν κλίσεις N, NΔ, ΝΑ της τάξης των 30 μοιρών. Πρόκειται για λευκό παχυπλακώδη σχηματισμό με πολλαπλές διαρρήξεις και διακλάσεις, εξαιτίας των οποίων παρατηρείται ανεπτυγμένο καρστ. Είναι λεπτό ως χονδροκρυσταλλικά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και, μερικές φορές, άστρωτα, κατά θέσεις δολομιτικά ή σιπολινικά. Στα ανώτερα μέλη τους κυρίως, παρεμβάλλονται μικρού πάχους ενστρώσεις σχιστολίθων και πρασινιτών. Έχουν ορατό πάχος 250 μέτρα και ηλικία στο Κατώτερο-Μέσο Τριαδικό και πιθανώς παλαιότερη στα βαθύτερα μέλη.

4.3.2.2 Αλπικοί σχηματισμοί μεταξύ αυτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής και Πελαγονικής ζώνης

Στο μεταξύ της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής και της Πελαγονικής ζώνης περιοχή απαντάται ένα σύνολο σχηματισμών που ανήκουν στις εξωτερικές ζώνες και διακρίνονται σε δύο μεγάλα σύνολα: την Κατώτερη Τεκτονική ενότητα και την ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος. Οι σχηματισμοί της δεύτερης είναι μεταμορφωμένοι σε συνθήκες υψηλών πιέσεων – χαμηλών θερμοκρασιών (HP-LT).

Κατώτερη Τεκτονική ενότητα: Η ενότητα αυτή αποτελείται από ασβεστόλιθους ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού (Κενομάνιο) (K7.k) καθώς και από σχιστόλιθους (Ki.sch) με πιθανή ηλικία Κατώτερου Κρητιδικού. Όσον αφορά τους ασβεστόλιθους, τα ανώτερα μέλη τους είναι πολύχρωμοι, ανακρυσταλλωμένοι, πλακώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτολίθους. Τα μεσαία μέλη είναι λευκοί έως τεφροί κιτρινόχρωμοι ως καστανόχρωμοι, κρυπτοκρυσταλλικοί ή κρυσταλλικοί, αγκεριτωμένοι ασβεστόλιθοι που κατά θέσεις περιέχουν διαστρώσεις ή κονδύλους πυριτολίθων (Αλεποβούνι). Τα κατώτερα μέλη αποτελούνται από μαργαϊκούς λεπτοστρωματώδεις ασβεστολίθους καθώς και σχιστοποιημένες μάργες.

Οι σχιστόλιθοι είναι τεφροί ως τεφρόμαυροι, φαιοί, μαρμαρυγιακοί και ασβεστιτικοί, στους οποίους παρεμβάλλονται τεφρόλευκοι κλαστικοί, πλακώδεις έντονα ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι (Ki.k) πάχους 1-15 μέτρων. Στα κατώτερα μέλη απαντούν ασβεστιτικοί λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες και χαλαζίτες. Το ορατό πάχος είναι περίπου 50 μέτρα. Μέσα στους τεκτονισμένους σχιστόλιθους και στην βάση των ασβεστολίθων βρίσκονται ακανόνιστα και, συνήθως έντονα τεκτονισμένα, σώματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, κυρίως σερπεντινιτών (O) .

Ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος: Σχηματισμοί της ενότητας αυτής απαντώνται στις περιοχές Βαρνάβα - Λίμνης Μαραθώνα - Αγίου Στεφάνου και Υμηττού, σε μικρές, γενικά, εμφανίσεις, επειδή ο κύριος όγκος αυτών καλύπτεται από μεταλλικές αποθέσεις. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται στις δυτικές παρυφές της σε μικρή έκταση ενώ εμφανίζονται νοτιότερα της υδρολογικής λεκάνης στα νότια του δήμου Σπάτων – Αρτέμιδος. Είναι επωθημένοι πάνω στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροπόταμου – Αττικής και αποτελούν τμήμα του μεγάλου Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Νότιας Εύβοιας και σημαντικό τμήμα της Νότιας Αττικής.

Από τις περιοχές Βαρνάβα - Λίμνης Μαραθώνα - Αγίου Στεφάνου - Υμηττού αναλύεται η περιοχή Υμηττού: Στην βόρεια απόληξη του Υμηττού (περιοχή Σταυρού) καθώς και σε ολόκληρη την δυτική παρυφή του βουνού αυτού εμφανίζονται σχηματισμοί του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος. Πρόκειται για τα «Στρώματα Καρά» και τους «Ασβεστολίθους Αλεποβουνίου», της «Κατώτερης Ασβεστολιθικής Βαθμίδας» του R. Lepsius που παλαιότερα ταυτίστηκαν με τους σχηματισμούς της «Ενότητας Κοτρώνι» της

περιοχής Αφιδνών (Katsikatsos, 1977). Ως σύνολο, οι σχηματισμοί αυτοί είναι επωθημένοι πάνω στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής ενώ, πάνω σε αυτούς, είναι επωθημένοι οι Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι και οι υπερκείμενοι σε αυτούς σχηματισμοί της πόλης των Αθηνών. Το Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα στην περιοχή του Υμηττού (Σταυρού) αποτελείται κυρίως από μοσχοβιτικούς και ασβεστιτικούς σχιστολίθους (sch), φυλλίτες, χαλαζίτες και βασικά μεταφαιστειακά πετρώματα, με μικρού πάχους ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων (mgsp), κατά κανόνα αγγεριτωμένων, καθώς και με παρεμβολές σερπεντινιτών, μικρών συνήθως διαστάσεων. Ανατολικά του αερολιμένα Ελευθέριου Βενιζέλου των σχηματισμών αυτών υπέρκεινται πλακώδεις ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι (ksch) με διαστρώσεις πυριτολίθων.

4.3.2.3 Μεταλικοί σχηματισμοί

Μετά την τελική φάση των Αλπικών πτυχώσεων, αποτέθηκαν στον ελληνικό χώρο τα μεταλικά ιζήματα είτε ως ηπειρωτικά, είτε ως θαλάσσια. Τα ιζήματα αυτά πληρούν κατά κανόνα χώρους νεοτεκτονικών λεκανών, που έχουν δημιουργηθεί από τη νεοτεκτονική δραστηριότητα που εκδηλώνεται κυρίως ως ρηξιγενής τεκτονική και σχηματίζει τεκτονικές τάφρους και τεκτονικά κέρατα. Δύο κατηγορίες μεταλικών ιζημάτων διακρίνονται στον Ελληνικό χώρο: (α) Τα μολασσικά ιζήματα Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής ηλικίας και (β) Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Η διάκριση των δύο αυτών κατηγοριών, εκτός από την ηλικία, στηρίζεται κυρίως στη σχέση τους με τις προϋπάρχουσες Αλπικές δομές. Τα μολασσικά ιζήματα αποτίθενται σε μεγάλες αύλακες, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της παροξυσμικής ορογενετικής κίνησης στο χώρο πίσω από το μέτωπο της ορογένεσης και παράλληλα σ' αυτό. Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα αποτίθενται σε τάφρους, που αναπτύσσονται πολύ πίσω από το μέτωπο της ορογένεσης, και δεν συνδέονται με τη διαδικασία της ορογένεσης, αφού αποτίθενται αργότερα.

Τα ηπειρωτικά ιζήματα της περιοχής αποτελούνται από λιμναίες αποθέσεις (μάργες, αργίλους, τραβερτίνες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους κ.λ.π.). Οι θαλάσσιες αποθέσεις είναι ιζήματα ρηχής θάλασσας.

4.3.2.4 Νεογενές

Οι σχηματισμοί του Ανωτέρου Μειοκαινίου είναι λιμναίας φάσης, συνοδευόμενοι, κατά κανόνα από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις. Οι σχηματισμοί αυτοί

υπέγκεινται ασύμφωνα του σχιστολιθικού συστήματος, έχουν μέση κλίση 25° προς βορρά. Καταλαμβάνουν, σχεδόν εξ ολοκλήρου, το βόρειο ήμισυ του Λεκανοπεδίου των Αθηνών και συνεχίζονται, τόσο προς τα βόρεια, προς τους Ανωμειοκαινικούς σχηματισμούς της μεγάλης λιμναίας λεκάνης Θηβών – Τανάγρας – Ωρωπού, όσο και προς ανατολικά προς τους ανωμειοκαινικούς λιμναίους σχηματισμούς της περιοχής Μεσογείων. Περιλαμβάνουν τρεις βαθμίδες, με κυμαινόμενα πάχη για την κάθε μία:

Η ανώτερη βαθμίδα (στρώματα Πικερμίου) (Ms.c,l,m) αποτελείται από πολύ συνεκτικά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Περιλαμβάνει σχηματισμούς ριπιδίων και κώνων κορημάτων. Είναι κροκαλολατυποπαγείς στις περιοχές που γειτνιάζουν με τον ορεινό όγκο του Πεντελικού, με κυμαινόμενη συμμετοχή κροκαλών ασβεστολιθικής και σχιστολιθικής προέλευσης, ενώ το συνδετικό υλικό είναι κατά κανόνα αργιλικό και κατά θέσεις γίνεται πιο αδρόκοκκο προς αμμώδες. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν είναι ενιαίοι, αλλά αποσφηνώνονται πλευρικά και εναλλάσσονται με λεπτομερέστερους σχηματισμούς της μεσαίας βαθμίδας (μάργες, άργιλοι) στις απομακρυσμένες από τον ορεινό όγκο περιοχές. Το συνολικό πάχος τους φθάνει και τα 250 μέτρα.

Η δεύτερη (μεσαία) βαθμίδα (Ms.m,c) αποτελείται από τους λιμναίους σχηματισμούς Καλογρέζας - Πικερμίου. Είναι κυρίως μάργες, αμιγείς ή αμμούχες, άργιλοι και καστανέρυθροι πηλοί με παρεμβολές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Επίσης, συχνά απαντώνται ενστρώσεις μαργαϊκών – τραβερτινοειδών ασβεστολίθων (Ms.mk.tv). Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν τμήμα της λιμναίας λεκάνης των Μεσογείων καθώς και προς τα ανατολικά προέκταση των λιμναίων σχηματισμών της περιοχής Καλογρέζας. Μεταξύ μαργών και κροκαλοπαγών υπάρχει μια μεταβατική ζώνη από κροκαλοπαγή με μαργαϊκό συνδετικό υλικό. Το πάχος των μαργών τοπικά φθάνει τα 150 μέτρα.

Η τρίτη και κατώτερη βαθμίδα αποτελείται από τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι εναλλάσσονται με τους σχηματισμούς της μεσαίας βαθμίδας.

4.3.2.5 Πλειστόκαινο

Καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις (Pt) που αποτελούνται από συνεκτικούς αργιλοπηλούς, ποικίλης λιθολογικής σύστασης, με διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες προερχόμενες, κυρίως από την αποσάθρωση των νεογενών σχηματισμών και συνεκτικά κροκαλοπαγή από αλπικά πετρώματα. Στην περιοχή του Αγίου Ανδρέα το

Ανώτερο Πλειόκαινο – Κατώτερο Πειστόκαινο χαρακτηρίζεται από ποταμοθαλάσσιους σχηματισμούς (PI-Pt) από συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή με παρεμβολές αργιλοαμμούχων υλικών και καστανέρυθρων πηλών, που βαθμιαία μεταβαίνουν προς τους θαλάσσιους σχηματισμούς της Ραφήνας, με την πλούσια μακροπανίδα (φάση Αστίου).

4.3.2.6 Αλλουβιακές αποθέσεις (al)

Πρόκειται για χαλαρές αποθέσεις που αποτελούνται από άμμους, χαλίκια, κροκάλες, πηλούς και διακρίνονται σε:

α) ερυθρογή που χαρακτηρίζεται από καστανέρυθρα λεπτομερή υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπες,

β) υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων μικρού ύψους,

γ) ασύνδετα υλικά από άμμους και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων και δ) παράκτιοι σχηματισμοί (H.cd) από άμμους, κροκάλες και συνεκτικούς ψαμμίτες.

4.4 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΙ ΑΣΚΟΥΜΕΝΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

Η περιοχή του ρέματος Ραφήνας όπως προαναφέρθηκε, περιλαμβάνει όλη τη νότια Πεντέλη, το βορειοανατολικό τμήμα Υμηττού και τα βόρεια Μεσόγεια μέχρι το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος με τον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής στην περιοχή αυτή να διαμορφώνεται τεχνητά, καθώς αυτός συμπίπτει με τα όρια του αεροδρομίου. Τα ρέματα της υδρολογικής αυτής λεκάνης είναι μεγάλα και διέρχονται από αναπτυσσόμενες, αλλά και ραγδαία αναπτυσσόμενες περιοχές (Γέρακας, Ανθούσα, Πικέρμι, Γλυκά Νερά, Ραφήνα, Παιανία, Σπάτα). Στο τμήμα της πεδιάδας των Σπάτων συμβάλλουν πολλά μεγάλα ρέματα, τόσο από τις πλαγιές της Πεντέλης και του Υμηττού (π.χ., ρέμα Βαλανάρη), όσο και από τη λοφώδη και πεδινή περιοχή των Σπάτων (ρέμα Παναγίτσας, ρέμα Ραφήνας). Τα ρέματα αυτά, στα ανάντη (ορεινά) έχουν σαφή και βαθειά κοίτη, ενώ, στα κατόντη κατά τμήματα, λόγω της άναρχης οικοδομική δραστηριότητας, η φυσική κοίτη περιορίζεται με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται πλημμυρικά φαινόμενα στις γύρω εκτάσεις.

Η Αττική Οδός (συνυπολογίζοντας την λεωφόρο Περιφερειακής Υμηττού) είναι ένα από τα έργα που έχει επηρεάσει σημαντικά το δυτικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ραφήνας (Σχήμα 4.3). Στο πλαίσιο κατασκευής του έργου, ήταν αναγκαία η ολοκλήρωση μιας σειράς έργων αντιπλημμυρικής προστασίας ώστε να αποτραπεί η εισροή ομβρίων

στην αρτηρία της Αττικής Οδού η οποία είναι ταπεινωμένη και λειτουργεί σαν μια μεγάλη τάφρος στην περιοχή αυτή (Λαζαρίδης & Ναλμπάντης, 2004). Έτσι, έχουν γίνει στα ανάντη έργα διευθέτησης του ρέματος Παναγίτσας (που αποτελεί τον άνω ρου του ρέματος Ραφήνας στις περιοχές Παλλήνης, Γέρακα και Πεντέλης). Οι συλλεκτήρες της ανάντη περιοχής Γαργηττού διέρχονται με υπόγειο τεχνικό έργο υπό την σημαντικά ταπεινωμένη αρτηρία της Αττικής οδού και επανεμφανίζονται στη ζώνη πρασίνου που προβλέπεται στο ρυμοτομικό σχέδιο του Δήμου Γέρακα για την διέλευση του ρέματος Παναγίτσας μέχρι τη Λεωφόρο Μαραθώνος. Η διευθέτηση έγινε με ανοικτή ορθογωνική διατομή ενταγμένη στα έργα ανάπλασης της παραρεμάτιας ζώνης που έχουν γίνει από το Δήμο Γέρακα ή και με κλειστή κιβωτοειδή σε διασταύρωση δρόμων, σχολικά συγκροτήματα και αθλητικά κέντρα. Στη Λεωφόρο Μαραθώνος η διευθετημένη κλειστή διατομή περιλαμβάνει τον συλλεκτήρα της Λ. Μαραθώνος (περιοχή Σταυρού και υπογειοποιημένο τμήμα Αττικής οδού) που έχει γίνει με έργο συμβολής. Κατάντη της Λ. Μαραθώνος στο Δήμο Γλυκών Νερών η φυσική κοίτη του ρέματος διερχόταν σε προαύλιους χώρους κατοικιών ή μεταξύ περιτοιχίσεων ιδιοκτησιών χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη του ρυμοτομικού σχεδίου για διέλευση του ρέματος με φυσική απορροή ή, έστω, και τεχνητή κοίτη. Η κατάσταση αυτή επέβαλλε τη διέλευση του αντιπλημμυρικού έργου κάτω από την Λεωφόρο Σπάτων και την οδό Θεοτοκοπούλου μέχρι και τη Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Υμηττού με κλειστή ορθογωνική διατομή (Σχήμα 4.1). Το τμήμα αυτό αποτελεί τη μοναδική απομάκρυνση της διευθέτησης του ρέματος Παναγίτσας από τη φυσική κοίτη. Στην συνέχεια, από την λεωφόρο Λαυρίου ως την περιοχή της Παλλήνης, το ρέμα Παναγίτσας είναι διευθετημένο με ανοικτή διατομή (ορθογωνική με σκυρόδεμα³).

Η μεγάλη ελικτότητα της χάραξης που κινείται στην ανεπαρκέστατη φυσική κοίτη επέβαλλε την κατασκευή εσωτερικών διαχωριστικών τοιχωμάτων τριχοτόμησης της ροής στις καμπύλες με μικρές ακτίνες. Η κατασκευή παράπλευρου οδικού δικτύου επιτήρησης και οι πολλαπλές γεφυρώσεις έχουν εντάξει το έργο στην πολεοδομία της αυξανόμενης οικιστικής μεταβολής της περιοχής.

Επιπλέον, στα πλαίσια των αντιπλημμυρικών έργων της λεκάνης του Κηφισού, ένα τμήμα των πλημμυρικών παροχών της λεκάνης του ρέματος Ποδονίφτη (που ανήκει υδρολογικά

³ Η αρχικά προβλεπόμενη διατομή με συρματοκιβώτια δεν επέτρεπε την διέλευση της πρόσθετης παροχεταιυτικότητας της εκτροπής Ποδονίφτη στο εύρος της αρχικής απαλλοτρίωσης που λόγω έλλειψης χώρου ή χρόνου? δεν αυξήθηκε.

στην λεκάνη του Κηφισού) έχει εκτραπεί προς το ρέμα Ραφήνας με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται, κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, η έκταση της υφιστάμενης υδρολογικής λεκάνης με αλλαγή στην παροχή του ρέματος Ραφήνας (αύξηση της παροχής).



Σχήμα 4.1: Τμήμα της απομάκρυνσης του ρέματος Παναγίτσας από την φυσική κοίτη. Νότια της λεωφόρου Περιφερειακής Υμηττού η διευθετημένη κοίτη εμφανίζεται στην επιφάνεια. Αριστερά: στην εικόνα αυτή σημειώνεται η οδός Θεοδοκοπούλου κάτω από την οποία διέρχεται η κλειστή ορθογωνική διατομή του αντιπλημμυρικού έργου. Με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σημειώνεται η ίδια θέση με την δεξιά φωτογραφία. Νότια της Λεωφόρου Περιφερειακής Υμηττού το διευθετημένο υδατόρευμα εμφανίζεται πλέον στην επιφάνεια.

Επιπλέον έργα έχουν γίνει κατά θέσεις εντός κατοικημένων περιοχών όπως είναι η διευθέτηση διατομής με συρματοκιβώτια, είτε απλά με εγκυβωτισμό της διατομής. Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η χρήση συρματοκιβωτίων στην θέση Αγίου Νικολάου Παλλήνης.

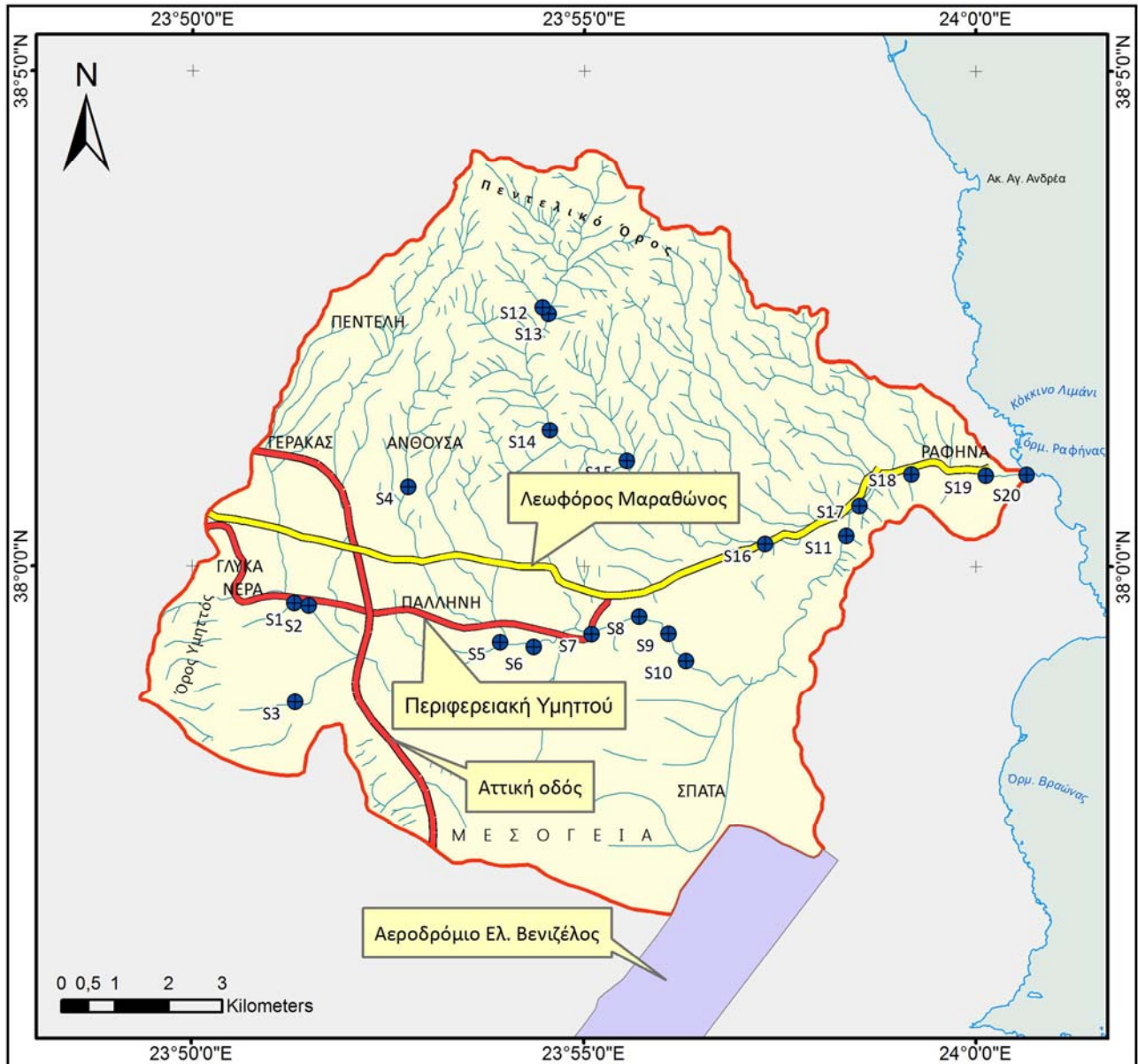




Σχήμα 4.2: Διευθέτηση κοίτης με χρήση συρματοκιβωτίων στην θέση Αγίου Νικολάου Παλλήνης.

Επίσης, το αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος» έχει επηρεάσει το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο και ο υδροκρίτης διαμορφώνεται πλέον τεχνητά στα όρια του αεροδρομίου. Η τελική οριζοντιογραφική και υψομετρική διαμόρφωση στην περίμετρο του αεροδρομίου καθορίζει τον υδροκρίτη στο ίχνος του φυσικού αυχένα με απορροή σε δύο τμήματα: το βόρειο (μικρότερο σε έκταση) με απορροή προς το ρέμα Ραφήνας και το νότιο (μεγαλύτερο σε έκταση) με απορροή σε δεξαμενή αναρρύθμισης και τελικό αποδέκτη το κατάντη τμήμα του βόρειου κλάδου του Ερασίνου. Λόγω σημαντικών προβλημάτων απορροής του βόρειου εσωτερικού τμήματος προς το ρέμα Ραφήνας, έγινε μελέτη για την αντιμετώπιση του συνολικού προβλήματος απορροής του αεροδρομίου, δηλαδή διοχέτευση και της απορροής του βορείου εσωτερικού τμήματος προς τον Ερασίνο.

Πέρα όμως από τα έργα αυτά που σαφώς έχουν επηρεάσει την υδρολογική λεκάνη, η έντονη αστικοποίηση και η άναρχη κατασκευή έργων υποδομής, η έλλειψη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διάθεσης υγρών και στερεών αποβλήτων (τα έργα των χώρων υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων και των βιολογικών καθαρισμών που θα εξυπηρετούν την ευρύτερη περιοχή ή δεν έχουν ξεκινήσει ή βρίσκονται υπό κατασκευή) αποτελούν αιτίες πιθανής ρύπανσης των νερών των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης.

Επίσης, η περιοχή μελέτης έχει, κατά ένα μεγάλο τμήμα, διατηρήσει την αγροτική δραστηριότητα που, με την σειρά της, αποτελεί σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας του νερού των υδατορευμάτων, όπως προαναφέρθηκε, κυρίως με την προσθήκη ποσοτήτων αζώτου, αλλά και με την τροφοδοσία με φωσφόρο από τα λιπάσματα ιδιαίτερα την περίοδο των αυξημένων βροχοπτώσεων.



<p>ΥΠΟΜΝΗΜΑ</p> <p>● Σημείο Δειγματοληψίας</p> <p>— Υδατόρευμα</p>	 <p>ΕΛΛΙΠΣΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: WGS84 ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΕΓΣΑ 87</p>	 <p>ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ</p> <p>ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ</p>
		<p>ΧΑΡΤΗΣ</p> <p>ΚΥΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ</p> <p>ΝΟΜΟΣ</p> <p>ΑΤΤΙΚΗ</p> <p>ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ</p> <p>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ</p> <p>ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ</p> <p>ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ</p> <p>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ</p> <p>ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ</p>
		<p>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011</p>

Σχήμα 4.3 Χωρική απεικόνιση των κύριων οδικών αξόνων και του αεροδρομίου Ελευθέριου Βενιζέλου.

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Η διαδικασία της δειγματοληψίας αποτελεί το πρωταρχικό και θεμελιώδες στάδιο της χημικής ανάλυσης. Ο σωστός σχεδιασμός της δειγματοληψίας υπαίθρου, συντήρησης των δειγμάτων και προετοιμασίας τους στο εργαστήριο, σε συνάρτηση με τους στόχους της έρευνας, συνδέεται άμεσα με την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από τις χημικές αναλύσεις.

Οι κύριες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται για μια σωστή δειγματοληψία είναι οι παρακάτω (APHA-AWWA-WEF, 2005):

- α) Το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικής κατάστασης του περιβάλλοντος.
- β) Να μην αλλοιώνεται η σύσταση του δείγματος κατά την δειγματοληψία, είτε λόγω επιμόλυνσης του δείγματος, είτε λόγω μεταβολής της σύστασης, ως αποτέλεσμα φυσικοχημικών ή βιολογικών διαδικασιών που μπορούν να λάβουν μέρος εντός του περιέκτη (δοχείου) δειγματοληψίας.
- γ) Να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την συντήρηση του δείγματος για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- δ) Να είναι όσο το δυνατό απλή και φθηνή.

Ο καθορισμός των θέσεων δειγματοληψίας είναι επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος και θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από :

- α) Την χωρική διασπορά των θέσεων ώστε να είναι όσο το δυνατό αντιπροσωπευτικότερη η μελέτη του υδάτινου σώματος που ενδιαφέρει την έρευνα. Στο πλαίσιο αυτό, θα πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε οι θέσεις να απέχουν μεταξύ τους όσο είναι δυνατόν ώστε να μην επηρεάζονται άμεσα τα μετρούμενα μεγέθη από τη μία θέση στην άλλη.
- β) Τον προσδιορισμό της γεωγραφικής τους θέσης (συντεταγμένες φ, λ).
- γ) Προσβασιμότητα η οποία συνδέεται τόσο με την εφαρμογή της ορθής πρακτικής δειγματοληψίας και της ασφάλειας του προσωπικού που διενεργεί τις δειγματοληψίες, όσο και με την παρεχόμενη δυνατότητα μελλοντικών δειγματοληψιών από την ίδια θέση για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνας.

5.1.1 Συλλογή δειγμάτων νερού

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν το τελευταίο δεκαήμερο του Απριλίου 2010. Συλλέχθηκαν, συνολικά, 20 δείγματα επιφανειακού νερού, κατά μήκος του ρέματος από διάφορους κλάδους. Η ακριβής θέση των σημείων δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 Αναλυτική περιγραφή των θέσεων δειγματοληψίας.

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (WGS 84)			ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)	
			φ (° ' '')	λ (° ' '')	X (m)	Y (m)	
27/4/2010	16:43	S1	37 59 47.2	23 51 24.6	487 280.873	4 205 142.646	
24/4/2010	17:49	S2	37 59 45.6	23 51 35.7	487 551.522	4 205 092.922	
		S3	37 58 46.9	23 51 25.2	487 292.652	4 203 284.169	
		S4	38 00 57.6	23 52 51.6	489 405.531	4 207 309.401	
24/4/2010	14:22	S5	37 59 23.5	23 54 2.20	491 123.872	4 204 407.200	
24/4/2010	15:07	S6	37 59 20.7	23 54 27.9	491 750.651	4 204 320.258	
24/4/2010	16:54	S7	37 59 28.5	23 55 12.0	492 826.540	4 204 559.660	
24/4/2010	16:06	S8	37 59 39.1	23 55 48.4	493 714.624	4 204 885.639	
21/4/2010	16:05	S9	37 59 28.8	23 56 11.1	494 268.064	4 204 567.794	
21/4/2010	17:04	S10	37 59 12.3	23 56 24.4	494 592.139	4 204 059.047	
		S11	38 00 28.1	23 58 27.1	497 585.766	4 206 393.838	
24/4/2010	10:56	S12	38 02 46.2	23 54 34.5	491 917.793	4 210 653.667	
24/4/2010	10:30	S13	38 02 42.4	23 54 38.9	492 024.922	4 210 536.446	
21/4/2010	11:05	S14	38 01 31.9	23 54 40.1	492 052.093	4 208 363.582	
21/4/2010	10:23	S15	38 01 13.3	23 55 38.9	493 485.180	4 207 789.081	
21/4/2010	18:13	S16	38 00 23.1	23 57 25.0	496 071.344	4 206 240.297	
21/4/2010	15:08	S17	38 00 46.1	23 58 37.1	497 829.760	4 206 948.538	
21/4/2010	14:24	S18	38 01 5.30	23 59 17.0	498 802.758	4 207 540.104	
21/4/2010	13:51	S19	38 01 4.40	24 00 14.0	500 192.548	4 207 512.306	
21/4/2010	13:15	S20	38 01 4.90	24 00 45.0	500 948.399	4 207 527.782	

Για κάθε δείγμα επιφανειακού νερού, χρησιμοποιήθηκε δοχείο πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 500 mL με πώμα από το ίδιο υλικό. Πριν την δειγματοληψία, τα δοχεία ξεπλένονταν με το νερό που επρόκειτο να συλλεχθεί.

Λόγω της χρονικής περιόδου της δειγματοληψίας, σε κάποιες θέσεις η στάθμη ήταν αρκετά μικρή, της τάξης των 15 - 20 cm. Για τον λόγο αυτό, δόθηκε μεγάλη προσοχή ώστε να μην προκληθεί επαναιώρηση από τον πυθμένα. Η συλλογή του δείγματος νερού, γινόταν πάντα από τα κατάντη προς τα ανάντη της θέσης και με την χρήση βοηθητικού εξοπλισμού δειγματοληψίας, όπου η απευθείας λήψη με τον περιέκτη δεν ήταν δυνατή (πχ στις θέσεις S8, S19) .

Σε κάθε θέση δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν επί τόπου μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, αγωγιμότητας, θερμοκρασίας, TDS), μετρήσεις ταχύτητας και στάθμης, καθώς και εντοπισμός της θέσης με χρήση GPS χειρός υπαίθρου Garmin 60 CSx (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Για την καταγραφή των θέσεων δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε GPS χειρός Garmin 60CSx.

5.1.2 Επιτόπιος (in situ) προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι παράμετροι μετρήθηκαν επί τόπου με την χρήση πολύμετρου YSI Professional Plus (Σχήμα 5.2). Σε κάθε θέση, καταγράφηκε η θερμοκρασία, η ειδική αγωγιμότητα, η αγωγιμότητα, τα TDS και η αλατότητα.



Σχήμα 5.2: Το πολύμετρο YSI Professional Plus.

5.1.3 Προσδιορισμός της παροχής

Παράλληλα με την λήψη των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ώστε να εκτιμηθεί η παροχή του ρέματος στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας. Για τον σκοπό αυτό,

πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχύτητας του ρέματος, καθώς και μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διατομής σε κάθε θέση δειγματοληψίας.

Η κατανομή της ταχύτητας σε κάθε διατομή υδατορεύματος εξαρτάται από το υλικό των πρανών και του πυθμένα καθώς και από το σχήμα της διατομής. Από συστηματικές μετρήσεις προκύπτει ότι η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια, ενώ η μέση ταχύτητα που τελικά ενδιαφέρει εντοπίζεται στο 0.6 περίπου του βάθους σε κάθε κατακόρυφο της διατομής (French, 1985).

Λόγω της περιόδου που διενεργήθηκε η δειγματοληψία οι ταχύτητες και τα βάθη ροής ήταν σχετικά μικρά και κυμαίνονταν κυρίως από 20-30 cm κατά μέσο όρο. Ανάλογα με την θέση εφαρμόσθηκε η μέθοδος του πλωτήρα ή και η μέτρηση της ταχύτητας με την βοήθεια μιλίσκου.

Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού της μέσης ταχύτητας σε υδατόρευμα είναι η μέθοδος του πλωτήρα (Τσακίρης, 1995). Η μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να διανυθεί γνωστή απόσταση, επιτρέπει τον προσδιορισμό της ταχύτητας ροής στην επιφάνεια του υδατορεύματος. Στην περίπτωση αυτή η μέση ταχύτητα προκύπτει με την χρήση διορθωτικού συντελεστή με συνήθεις τιμές 0.7, για βάθος νερού από 1 m ως 6 m, και 0.8 για βάθη μεγαλύτερα από 6 m. Η μέθοδος αυτή είναι χαμηλής ακρίβειας και χρησιμοποιείται για αδρομερή εκτίμηση της ταχύτητας ροής. Ήταν, όμως, η μόνη δυνατή μέθοδος μέτρησης σε πολλές θέσεις λόγω των χαμηλών παροχών. Επίσης, παρά το γεγονός ότι το βάθος ήταν μικρό, υιοθετήθηκε ο διορθωτικός συντελεστής 0.7.

Ο μιλίσκος είναι το συνηθέστερο όργανο μέτρησης της ταχύτητας ροής. Το όργανο αυτό αποτελείται, στο εμπρόσθιο τμήμα του, από περιστρεφόμενη έλικα συνδεδεμένη με οριζόντια άτρακτο, που στο πίσω μέρος της φέρει πτερύγιο εξισορρόπησης. Η συσκευή μπορεί να βυθιστεί σε διαφορετικά βάθη με την βοήθεια αναρτημένου έρματος. Το όργανο είναι συνδεδεμένο με καταγραφικό δέκτη στροφών, ενώ η αναγωγή των στροφών ανά δευτερόλεπτο, n , σε ταχύτητα ροής U ($m s^{-1}$) γίνεται με βάση την γραμμική εξίσωση:

$$U = a \times n + b \quad (5.1)$$

Οι συντελεστές a και b προκύπτουν μετά από βαθμονόμηση του οργάνου σε ελεγχόμενες συνθήκες (Thiel, 1989).

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής, χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακού τύπου μιλίσκος (ΟΤΤ C2) (Σχήμα 5.3) ο οποίος έχει τη δυνατότητα μέτρησης ταχύτητας ροής σε μικρά ποτάμια ρέματα, κανάλια κλπ. Το ελάχιστο βάθος ροής για τον μιλίσκο αυτόν είναι περίπου τα 4 cm γεγονός που βοήθησε αρκετά στην συγκεκριμένη εργασία λόγω του ότι τα βάθη ροής ήταν μικρά. Οι συντελεστές βαθμονόμησης για το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι $\alpha=0,2529$ και $b=0.007$.



Σχήμα 5.3: Ο μιλίσκος ΟΤΤ C2 που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Για τον υπολογισμό της παροχής σχεδιάστηκαν, με βάση τις μετρήσεις υπαίθρου, οι διατομές στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad από το οποίο προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες επιφάνειες υγρής διατομής. Στην συνέχεια, η παροχή προσδιορίστηκε από την σχέση:

$$Q = \bar{U} \times A \quad (5.2)$$

όπου \bar{U} είναι η μέση ταχύτητα διατομής, Q η παροχή και A η βρεχόμενη επιφάνεια.

5.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Για κάθε θέση δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν τα κύρια ιόντα (SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{2-} , F^- , Br^- , NH_4^+ , NO_2^- , Cl^- , Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), ορισμένα ιχνοστοιχεία (Cr_t , Cr_s , Co_t , Co_s , Ni_t , Ni_s , Zn_t , Zn_s , Cu_t , Cu_s , Mn_t , Mn_s , Cd_t , Cd_s , Pb_t , Pb_s), τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και η αλκαλικότητα (μορφές HCO_3^- , CO_3^{2-}). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα χημικά εργαστήρια της Διασχολικής Σύμπραξης του ΕΜΠ. Πιο συγκεκριμένα:

α) Στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις των κυρίων ιόντων με την χρήση ιοντικής χρωματογραφίας (DIONEX: ICS 3000) και ο προσδιορισμός της αλκαλικότητας με τιτλοδότηση (μέθοδος HACH).

β) Στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των ιχνοστοιχείων με ICP-MS (AGILENT: MassHunter 7700).

γ) Στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών με βαρυμετρική μέθοδο και των νιτρικών ιόντων με την χρήση φασματοφωτόμετρου (HACH: DR2800).

5.2.1 Προετοιμασία υποδειγμάτων προς ανάλυση

Το κάθε δείγμα με την μεταφορά του στο εργαστήριο διαχωρίστηκε σε υποδείγματα ανάλογα με τις ανάγκες και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε χημικής παραμέτρου. Αναλυτικότερα:

α) Ένα τμήμα δείγματος, περίπου 50 mL διηθήθηκε από φίλτρο μεμβράνης 0.45 μm και αποθηκεύτηκε σε συνθήκες ψύξης. Το υποδείγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό κυρίων ιόντων.

β) Ένα τμήμα δείγματος, περίπου 50 mL διηθήθηκε από φίλτρο μεμβράνης 0.45 μm και σε αυτό προστέθηκε πυκνό HNO₃ (69%) ώστε να διατηρηθεί το pH περίπου στο 2. Η οξύνιση ανακόπτει την ανάπτυξη βακτηριδίων, εμποδίζει να λάβουν χώρα αντιδράσεις οξειδωσης και εμποδίζει την προσρόφηση ή την καθίζηση των κατιόντων. Το υποδείγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του διαλυτού κλάσματος των ιχνοστοιχείων.

γ) Ένα τρίτο τμήμα δείγματος των 50 mL που μετρήθηκε με ογκομετρική φιάλη τοποθετήθηκε σε κωνικές φιάλες και σε αυτές προστέθηκαν 5 mL πυκνού HNO₃ (69%). Στην συνέχεια, οι φιάλες τοποθετήθηκαν σε θερμαντική πλάκα καλύφθηκαν με υάλους ωρολογίου και θερμάνθηκαν στου 95°C. Η διαδικασία της χώνευσης διήρκεσε 2 ώρες και στην συνέχεια, αφού τα διαλύματα επανήλθαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, διηθήθηκαν από μεμβράνη 0.45 μm. Το διήθημα, στην συνέχεια, τοποθετήθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL και προστέθηκε υπερκάθαρο νερό μέχρι την χαραγή. Το υπόδειγμα αυτό, στην συνέχεια, μεταφέρθηκε σε φιάλες πολυαιθυλενίου και αποθηκεύτηκε σε συνθήκες ψύξης.

δ) Τέλος, ένα τμήμα του δείγματος αποθηκεύτηκε για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών.

5.2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των χημικών παραμέτρων

5.2.2.1 Ιοντική χρωματογραφία

Χρησιμοποιείται εναλλάκτης ιόντων χαμηλής ικανότητας ως στατική φάση και συνήθως υδατικά διαλύματα αλάτων ασθενών μονοβασικών και διβασικών οξέων ως κινητές φάσεις (διάλυμα έκλουσης). Στη συγκεκριμένη μέθοδο, το διάλυμα έκλουσης που χρησιμοποιείται έχει σύσταση 4.5 mM Na₂CO₃ και 0.8 mM NaHCO₃. Η ανίχνευση πραγματοποιείται με έναν αγωγιμομετρικό ανιχνευτή (ο πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενος), ο οποίος μπορεί να συνδυαστεί με μια διάταξη καταστολής της αγωγιμότητας (suppressor) που μειώνει την αγωγιμότητα του διαλύματος έκλουσης και μετατρέπει τα διαχωριζόμενα ανιόντα στα αντίστοιχα με αυτά οξέα. Ένας τέτοιος συνδυασμός υπάρχει στη συσκευή χρωματογραφικής ιοντοεναλλαγής της DIONEX ICS-3000 που χρησιμοποιήθηκε (Σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.4: Συσκευή χρωματογραφικής ιοντοεναλλαγής της DIONEX ICS-3000.

Τα ιόντα προσδιορίζονται με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης (retention times) με εκείνους των μεικτών προτύπων διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης (ποιοτικός προσδιορισμός). Σημειώνεται ότι κατά την ανάλυση μιας σειράς δειγμάτων (batch), η απόκλιση των χρόνων κατακράτησης για κάθε ένα από τα ιόντα, δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $\pm 10\%$. Λαμβάνεται πάντως, υπόψη το γεγονός ότι οι χρόνοι κατακράτησης μπορεί να εξαρτώνται από τη συγκέντρωση και τη γενική σύσταση του δείγματος. Το εμβαδόν της κορυφής που λαμβάνεται από τα χρωματογραφήματα είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του ανιόντος (ποσοτικός προσδιορισμός).

5.2.2.2 Φασματομετρική ανάλυση

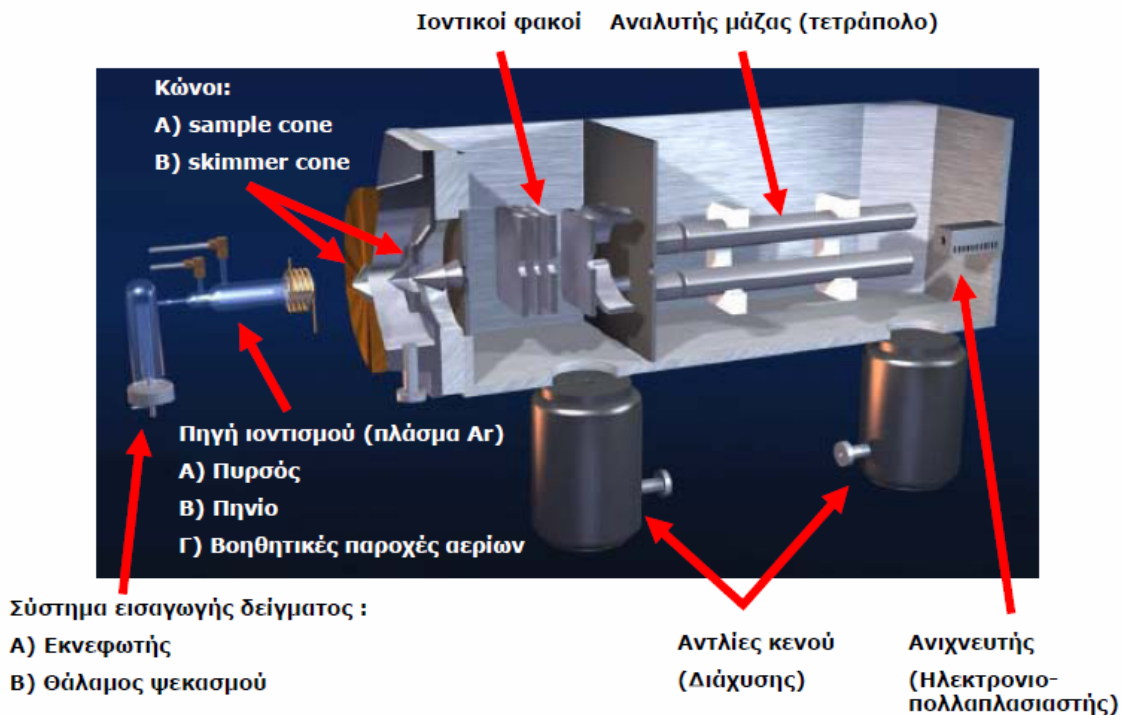
Ο αναλυτικός προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων πραγματοποιήθηκε με φασματομετρία ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5: Συσκευή ICP-MS της AGILENT - MassHunter 7700.

Η λειτουργία της τεχνικής ICP-MS διαχωρίζεται στα εξής βήματα (Σχήμα 5.6):

- Εισαγωγή του υγρού ή στερεού δείγματος στο σύστημα του πλάσματος και ιοντισμός, μέσω ρεύματος αερίου αργού για τη μεταφορά.
- Διαχωρισμός των παραγόμενων ιόντων με βάση το λόγο (μάζα/φορτίο) σε αναλυτή μαζών.
- Μέτρηση της σχετικής έντασης που αντιστοιχεί σε κάθε λόγο m/z σε ηλεκτρονικό πολλαπλασιαστή/ανιχνευτή.



Σχήμα 5.6: Παρουσίαση της αρχής λειτουργίας του ICP MS.

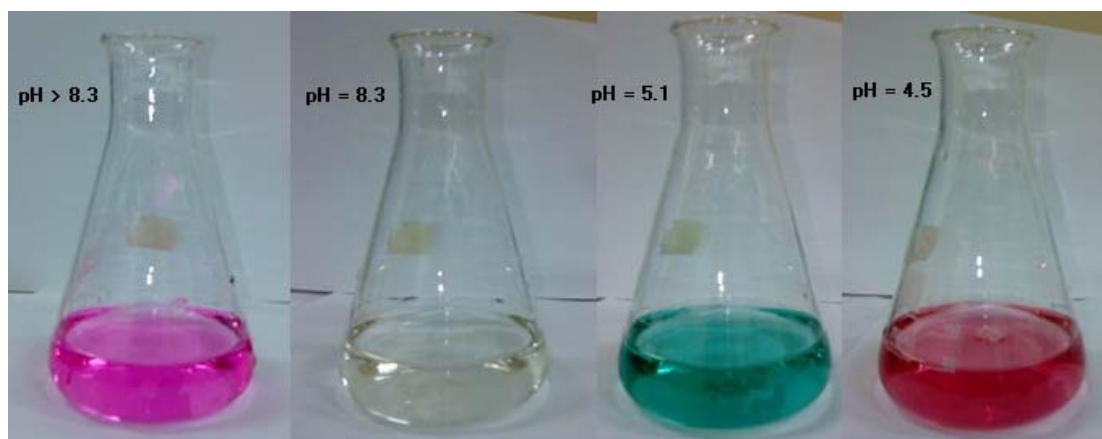
5.2.2.3 Φασματοφωτομετρία

Η παρουσία των όξινων ανθρακικών σε σημαντικές συγκεντρώσεις, προκαλεί παρεμβολές στον χρωματογραφικό προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων. Για τον λόγο αυτό, εκτός από την μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των νιτρικών με την μέθοδο της HACH LCK339 (0.23 – 13.50 mg/L NO₃-N / 1 – 60 mg/L NO₃). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, τα νιτρικά ανιόντα αντιδρούν με 2,6-διμεθυλφαινόλη προς σχηματισμό 4-νίτρο-2,6-διμεθυλφαινόλη, με παρουσία θειικού και φωσφορικού οξέως.

5.2.2.4 Ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση)

Η ογκομετρική ανάλυση είναι μια κοινή εργαστηριακή χημική τεχνική για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ορισμένων χημικών ουσιών με βάση την προσθήκη γνωστής ποσότητας μιας άλλης ένωσης γνωστής συγκέντρωσης. Γενικά, οι τιτλοδοτήσεις μπορεί να είναι τιτλοδοτήσεις οξέος-βάσεως, οξειδοαναγωγικές τιτλοδοτήσεις, καθώς και τιτλοδοτήσεις συμπλοκοποίησης. Η αλκαλικότητα αντιπροσωπεύει την ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα και, για τον προσδιορισμό της, εφαρμόζεται συνήθως η μέθοδος της ογκομετρικής ανάλυσης. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η τυποποιημένη μέθοδος της HACH (8203 – μέθοδος φαινολοφθαλείνης και ολικής αλκαλικότητας) που εφαρμόζεται για εύρος συγκεντρώσεων 10-4000 mg L⁻¹ ως CaCO₃.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, ανάλογα με την αναμενόμενη συγκέντρωση αλκαλικότητας (που προσδιορίζεται με δοκιμαστική ογκομέτρηση για το κάθε δείγμα ξεχωριστά) λαμβάνεται ένας συγκεκριμένος όγκος δείγματος και επιλέγεται η αντίστοιχη στήλη H_2SO_4 γνωστής κανονικότητας από ένα τυποποιημένο πίνακα όγκων δείγματος και αντίστοιχων συγκεντρώσεων οξέος. Στην συνέχεια, ο όγκος αυτός του δείγματος τοποθετείται σε κωνική φιάλη των 250 mL και συμπληρώνεται με υπερκάθαρο νερό σε τελικό όγκο 100 mL. Έπειτα, προστίθεται δείκτης φαινολοφθαλείνης (δείκτης $\text{pH} = 8.3$) και στην περίπτωση που το δείγμα λάβει ροζέ χρώμα, γίνεται τιτλοδότηση με θειικό οξύ μέχρι το δείγμα να αποχρωματιστεί (επίτευξη πρώτου ισοδυναμίου σημείου). Καταγράφεται ο όγκος θειικού οξέος που προστέθηκε και, με βάση τον όγκο αυτόν, υπολογίζεται η αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης (P). Στην συνέχεια, προστίθεται δείκτης ερυθρό του μεθυλίου – πράσινη βρωμοκρεσόλη και το δείγμα τιτλοδοτείται με θειικό οξύ μέχρι το δεύτερο ισοδύναμο σημείο στο οποίο το διάλυμα λαμβάνει πρασινωπό γκρίζο-μπλε χρώμα ($\text{pH} = 5.1$). Συνεχίζεται η τιτλοδότηση και το διάλυμα λαμβάνει ερυθρωπό-ροζέ χρώμα ($\text{pH} = 4.5$) όπου θεωρείται ότι και ολοκληρώνεται η μέτρηση (Σχήμα 5.7). Καταγράφεται ο συνολικός όγκος θειικού οξέος και, από αυτόν, υπολογίζεται η ολική αλκαλικότητα (T).



Σχήμα 5.7 Στάδια ογκομετρικής ανάλυσης. Από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται η μεταβολή στο χρώμα με την μεταβολή του pH .

Ως ολική αλκαλικότητα θεωρείται συνήθως (γιατί για το θαλασσινό νερό και το υπόγειο νερό συμμετέχουν σημαντικά και άλλες ενώσεις) το άθροισμα των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-), των ανθρακικών ριζών (CO_3^{2-}) και των υδροξυλιόντων (OH^-). Για τον διαχωρισμό της αλκαλικότητας που οφείλεται σε κάθε μια από τις παραπάνω ενώσεις χρησιμοποιείται ο Πίνακας 5.2.

Πίνακας 5.2 Διαδικασία διαχωρισμού και προσδιορισμού των τριών ειδών αλκαλικότητας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΙΤΛΟΔΟΤΗΣΗΣ	ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ (OH ⁻) mg L ⁻¹ ως CaCO ₃	ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ (CO ₃ ²⁻) mg L ⁻¹ ως CaCO ₃	ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ (HCO ₃ ⁻) mg L ⁻¹ ως CaCO ₃
P=0	0	0	T
P=T	T	0	0
P < ½ T	0	2*P	T-2*P
P < ½ T	0	T	0
P > ½ T	2*P-T	2*(T-P)	0

Έχοντας προσδιορίσει τις συγκεντρώσεις των επιμέρους μορφών της αλκαλικότητας (mg L⁻¹ ως CaCO₃) μπορεί στην συνέχεια να προσδιορισθούν οι πραγματικές συγκεντρώσεις των μορφών αυτών, λαμβάνοντας υπόψη ότι :

- τα συνολικά greq CaCO₃ είναι ίσα με τα συνολικά greq HCO₃⁻. Το 1 greq CaCO₃ είναι ίσο με ½ mol CaCO₃ ενώ το 1 greq HCO₃⁻ είναι ίσο με 1 mol HCO₃⁻. Οπότε τα mol HCO₃⁻ είναι ίσα με 2× mol CaCO₃.
- τα συνολικά greq CaCO₃ είναι ίσα με τα συνολικά greq CO₃²⁻. Το 1 greq CaCO₃ είναι ίσο με ½ mol CaCO₃ ενώ το 1 greq CO₃²⁻ είναι ίσο με ½ mol CO₃²⁻. Οπότε τα mol CO₃²⁻ είναι ίσα με τα mol CaCO₃. Στο παράρτημα 2 δίνονται αναλυτικά οι υπολογισμοί αυτοί για τα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας.

Πιο αναλυτικά μπορούν να γραφούν τα παρακάτω:

Μετατροπή αλκαλικότητας ανθρακικών ιόντων από mg L⁻¹ ως CaCO₃ σε mg L⁻¹ CO₃²⁻: Για την μετατροπή αυτή λαμβάνεται υπόψη ότι το μοριακό βάρος (MB) του CaCO₃ είναι 100 g mol⁻¹ και των CO₃²⁻ είναι 60 g mol⁻¹. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κάθε mg CaCO₃ περιέχει 60/100=0.6 mg CO₃²⁻. Έτσι η ζητούμενη μετατροπή γίνεται ως εξής: Αλκαλικότητα ανθρακικών ως CO₃²⁻ (mg L⁻¹) = 0.6 × Αλκαλικότητα ανθρακικών ως CaCO₃ (mg L⁻¹).

Μετατροπή αλκαλικότητας όξινων ανθρακικών ιόντων από mg L⁻¹ ως CaCO₃ σε mg L⁻¹ HCO₃⁻. Για να δειχθεί η ισοδυναμία μεταξύ του CaCO₃ και των HCO₃⁻ μπορεί να γραφεί η αντίδραση: CaCO₃ + H₂O + CO₂ → Ca(HCO₃)₂. Το MB των HCO₃⁻ είναι 61. Έτσι 1 mol Ca(HCO₃)₂ αντιστοιχεί σε 1 mol CaCO₃ (100gr) και περιέχει 2×61gr =122gr όξινων ανθρακικών. Έτσι η ζητούμενη μετατροπή γίνεται ως εξής: Αλκαλικότητα όξινων ανθρακικών ως HCO₃⁻ (mg L⁻¹)=1.22 × Αλκαλικότητα ανθρακικών ως CaCO₃ (mg L⁻¹).

Μετατροπή αλκαλικότητας υδροξυλιόντων από mg L⁻¹ ως CaCO₃ σε mg L⁻¹ OH⁻. Για την μετατροπή αυτή θεωρούνται οι αντιδράσεις:



Σε όρους κατανάλωσης πρωτονίων, 2 mol ιόντων υδροξυλίου είναι ισοδύναμα με ένα mol (100g) CaCO_3 . Επειδή το MB OH^- είναι 17 g mol^{-1} η μετατροπή γίνεται ως εξής:

- αλκαλικότητα υδροξυλιόντων ως OH^- (mg L^{-1}) = $2 \times 17/100 \times$ αλκαλικότητα υδροξυλιόντων ως CaCO_3 (mg L^{-1}) ή
- αλκαλικότητα υδροξυλιόντων ως OH^- (mg L^{-1}) = $0.34 \times$ αλκαλικότητα υδροξυλιόντων ως CaCO_3 (mg L^{-1}).

5.2.2.5 Προσδιορισμός ολικών αιωρούμενων στερεών

Η ανάλυση των ολικών αιωρούμενων στερεών διενεργήθηκε με βάση την μέθοδο που περιλαμβάνεται στις μεθόδους γνωστές ως «Standard Methods for the examination of Waters and Wastewaters 2005: 2540 D (Total Suspended Solids)» (με ξήρανση στους $103-105^\circ\text{C}$).

Καλά αναμεμιγμένος όγκος δείγματος διηθείται μέσω φίλτρου (φίλτρα διήθησης Whatman GF/C διαμέτρου 47 mm), συγκεκριμένου βάρους, και το υπόλειμμα στο φίλτρο ξηραίνεται στους $103-105^\circ\text{C}$ (φούρνος καύσης στερεών BINDER DIN 12880 της σειράς ED 53/E2) έως σταθερού βάρους (αναλυτικός ηλεκτρονικός ζυγός METTLER TOLEDO AB204-S με ακρίβεια ζύγισης $0,0001 \text{ g}$). Η αύξηση του βάρους του φίλτρου εκπροσωπεί τα ολικά αιωρούμενα στερεά.



Σχήμα 5.8 Εργαστηριακός εξοπλισμός για την μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών. Αριστερά: αναλυτικός ηλεκτρονικός ζυγός, κέντρο: συσκευή διήθησης, δεξιά: φούρνος καύσης στερεών.

5.2.3 Έλεγχος των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων

Στην αναλυτική χημεία πολύ σημαντικό στοιχείο αποτελεί η δυνατότητα ελέγχου των μεθόδων ανάλυσης. Ειδικότερα όταν στην διαδικασία είναι δυνατόν να εισαχθούν σφάλματα λόγω προεργασίας του δείγματος (π.χ. χώνευση υποδείγματος για τον προσδιορισμό ιχνοστοιχείων) η τήρηση του ελέγχου ποιότητας είναι επιτακτική ανάγκη. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι ο έλεγχος της ορθότητας με την χρήση δειγμάτων γνωστής συγκέντρωσης (CRM – Certified Reference Material ή SRM – Standard Reference material), ο έλεγχος της επαναληψιμότητας της μεθόδου με την χρήση δύο υποδειγμάτων (ή τριών αν χρειάζεται) από το ίδιο αρχικό δείγμα καθώς και έλεγχος της τήρησης όλων των μέτρων καθαριότητας για την αποφυγή επιμολύνσεων (δηλαδή να εμφανιστεί πλασματική συγκέντρωση σε κάποιο χημικό στοιχείο) με την χρήση δειγμάτων τα οποία παρασκευάζονται στο εργαστήριο και τα οποία περιέχουν όλα τα υλικά με τα οποία έγινε προεπεξεργασία του δείγματος (π.χ. υπερκάθαρο νερό, αντιδραστήρια που τυχόν χρησιμοποιούνται στην προεργασία κ.α.) και έχουν περάσει από όλες τις διαδικασίες από τις οποίες πέρασε και το προς ανάλυση δείγμα (πχ χώνευση, διήθηση κλπ).

Το πιστοποιημένο διάλυμα που ήταν διαθέσιμο και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας είναι το CRM BCR – 714 (Community Bureau of Reference – BCR) που αφορά χημικό υπόβαθρο αποβλήτων (δηλαδή ένα αρκετά πολύπλοκης χημικής σύστασης). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.3), δίνονται τα αποτελέσματα για τα ιχνοστοιχεία που προσδιορίστηκαν με το όργανο ICP – MS ενώ παράλληλα παρατίθενται οι πιστοποιημένες τιμές και οι αντίστοιχες αβεβαιότητές τους.

Πίνακας 5.3 Σύγκριση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν για το πιστοποιημένο δείγμα με το ICP-MS με τις αντίστοιχες τιμές που λαμβάνονται από το πιστοποιητικό αναλύσεων.

ΧΗΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ $\mu\text{g L}^{-1}$	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ $\mu\text{g L}^{-1}$	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ $\mu\text{g L}^{-1}$	ΑΝΑΚΤΗΣΗ %
Cd	19.7	19.9	1.6	99
Cr	117	123	10	95
Mn	98	103	10	95
Ni	103	108	15	95
Pb	146	145	11	101
Cu	314	309	23	102
Zn	1.05	1.00	0.10	105

Επίσης μαζί με την προεπεξεργασία των δειγμάτων παρασκευάστηκε ένα διάλυμα από απιονισμένο νερό τύπου Ι (αγωγιμότητα $<10 \mu\text{S cm}^{-1}$) (blank) για το οποίο ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία προεπεξεργασίας με αυτή των δειγμάτων (χώνευση με νιτρικό οξύ και διήθηση για τα ιχνοστοιχεία και διήθηση για τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.4) δίνονται τα όρια ανίχνευσης (DL) και όρια ποσοτικοποίησης (συνήθως $QL \approx 3*DL$) καθώς και οι τιμές που προσδιορίστηκαν για τα ιχνοστοιχεία για το διάλυμα αυτό. Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται πως η επιρροή των διαδικασιών προεπεξεργασίας του δείγματος στην τελική συγκέντρωση είναι ανιχνεύσιμες αλλά δεν ποσοτικοποιούνται. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού οι τιμές που προσδιορίστηκαν για τα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας θεωρούνται αποδεκτές και χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση της προεπεξεργασίας.

Πίνακας 5.4 Όρια ανίχνευσης της μεθόδου ICP-MS για τα προσδιορισμένα ιχνοστοιχεία.

ΟΡΙΑ	Cr $\mu\text{g L}^{-1}$	Co $\mu\text{g L}^{-1}$	Ni $\mu\text{g L}^{-1}$	Cu $\mu\text{g L}^{-1}$	Zn $\mu\text{g L}^{-1}$	Mn $\mu\text{g L}^{-1}$	Cd $\mu\text{g L}^{-1}$	Pb $\mu\text{g L}^{-1}$
DL (ΟΡΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ)	0.015	0.0055	0.0027	0.024	0.035	0.0099	0.0035	0.035
QL (ΟΡΙΑ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ)	0.045	0.0165	0.0081	0.072	0.105	0.0297	0.0105	0.105
ΤΙΜΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	0.028	0.0099	0.0047	0.043	0.058	0.0127	0.0049	0.057

5.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

5.3.1 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Για την αναπαράσταση του ανάγλυφου επιλέχθηκε η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Το μοντέλο αυτό ορίζεται ως ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών σημείων της επιφάνειας του εδάφους που αποθηκεύεται στον Η/Υ και με την βοήθεια ενός κατάλληλου αλγόριθμου γίνεται παρεμβολή των τιμών των υψομέτρων (ή, άλλων χαρακτηριστικών μεγεθών του αναγλύφου όπως η κλίση, ο προσανατολισμός, κλπ) σε κάθε σημείο γνωστής θέσης. Η ποιότητα ενός Ψ.Μ.Ε. εξαρτάται από την ποιότητα των αρχικών δεδομένων, την πυκνότητα και την κατανομή των αρχικών δεδομένων, την χωρική διακύμανση των δεδομένων, το μοντέλο και τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, και την ανάλυση-μέγεθος φατνίου (για την περίπτωση των κανονικοποιημένων ΨΜΕ). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για να δημιουργηθεί το μοντέλο αυτό συνοψίζονται παρακάτω:

- Ψηφιακά γεωγραφικά δεδομένα (ισουψείς, ακτογραμμή, γνωστά σημεία υψομέτρων, ρέματα) τα οποία παραχωρήθηκαν από το κέντρο Γεωπληροφορικής (δεδομένα της εταιρείας Geospatial Enabling Technologies (GET) και της DigitaGlobe).
- Τοπογραφικοί χάρτες 1:50 000 της Γεωγραφικής υπηρεσίας Στρατού - ΓΥΣ (φύλλα Κηφισιάς (1988), Αθήνας – Κορωπί (1975), Ραφήνας (1976) και Πλάκας(1976)).

Οι τοπογραφικοί χάρτες της ΓΥΣ σαρώθηκαν στον σαρωτή Colortrac SmartLF Gx+ 42 που είναι εγκατεστημένος στο Κέντρο Γεωπληροφορικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, με ανάλυση 300 dpi και, στην συνέχεια, έγινε εισαγωγή τους στο πρόγραμμα ArcInfo, όπου έγινε και η γεωγραφική τους αναφορά. Τα στοιχεία της γεωγραφικής αναφοράς παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.5). Για την μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων του ΓΥΣ (ED50) σε συντεταγμένες προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ 87 χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COORD_GR v1.6.0 (Ιανουάριος 2002). Ο λόγος που ακολουθήθηκε η διαδικασία αυτή εφόσον υπήρχαν τα ψηφιακά δεδομένα (που στηρίζονται σε πιο σύγχρονη πληροφορία από δορυφορικές εικόνες), είναι ότι σε κάθε περίπτωση, θα έπρεπε να γίνει σύγκριση της υψομετρικής πληροφορίας (συμφωνία ισοϋψών) ή/και να συμπληρωθούν και δεδομένα που θα ήταν χρήσιμα για την περαιτέρω ανάλυση (δεδομένου ότι και οι γεωλογικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν στηριχθεί στους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ).

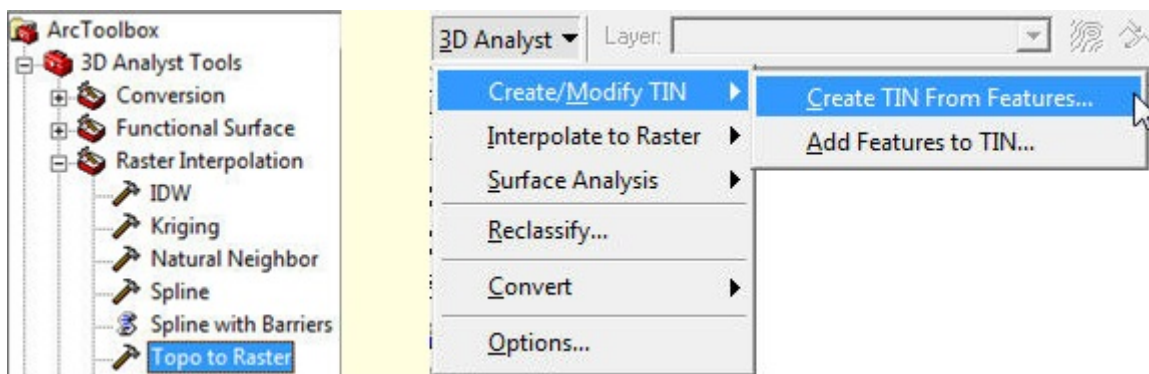
Επίσης ένα άλλο τμήμα στο οποίο έγιναν πολλές διορθώσεις στα αρχικά ψηφιακά δεδομένα ήταν στην μορφή και στην φορά των ρεμάτων ώστε αυτά να αναπαριστούν ασυνέχειες της κλίσης της επιφάνειας και να ορίζονται από τα ανάντη προς τα κατόντη (δηλαδή, κατά την φορά ροής του νερού στο ρέμα). Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για την ορθή εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Στην συνέχεια, με δεδομένα τα αρχεία των ψηφιοποιημένων υψομετρικών καμπυλών, των μεμονωμένων υψομέτρων, των ρεμάτων και της ακτογραμμής δημιουργήθηκε το ΨΜΕ, τόσο με την μέθοδο του δικτύου ακανόνιστων τριγώνων - TIN (κυρίως για τις ανάγκες παρουσίασης του μοντέλου σε χάρτη και την εξαγωγή των κλίσεων εδάφους) όσο και με την μέθοδο του κανάβου (Grid).

Πίνακας 5.5 Στοιχεία γεωαναφοράς για τα φύλλα χάρτη της ΓΥΣ.

	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ED 50)		ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)	
	φ (°)	λ (°)	X (m)	Y (m)
ΦΥΛΛΟ ΚΗΦΙΣΙΑ				
	38.10	23.50	485 197.066	4 223 924.860
	38.10	23.55	492 497.227	4 223 915.019
	38.05	23.50	485 180.462	4 214 678.428
	38.05	23.55	492 488.925	4 214 668.594
ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑ - ΚΟΡΩΠΗ				
	37.55	23.500	485 147.347	4 196 185.963
	37.55	23.55	492 472.368	4 196 176.143
	37.50	23.50	485 130.836	4 186 939.929
	37.50	23.55	492 464.112	4 186 930.116
ΦΥΛΛΟ ΡΑΦΗΝΑ				
	38.10	24.05	507 097.542	4 223 915.019
	38.10	24.10	514 397.703	4 223 924.860
	38.05	24.05	507 105.844	4 214 668.594
	38.05	24.10	514 414.307	4 214 678.428
ΦΥΛΛΟ ΠΛΑΚΑ				
	37.55	24.05	507 122.402	4 196 176.143
	37.55	24.10	514 447.423	4 196 185.963
	37.50	24.05	507 130.657	4 186 930.116
	37.55	24.05	507 122.402	4 196 176.143

Οι αντίστοιχες εντολές όπως υλοποιούνται στο ARCGIS v9.2 παρουσιάζονται στον παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9 Οι εντολές δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου εδάφους στο περιβάλλον του ARCGIS v9.2. Αριστερά: εντολή για την δημιουργία κανονικοποιημένου μοντέλου, δεξιά: εντολή για την δημιουργία TIN.

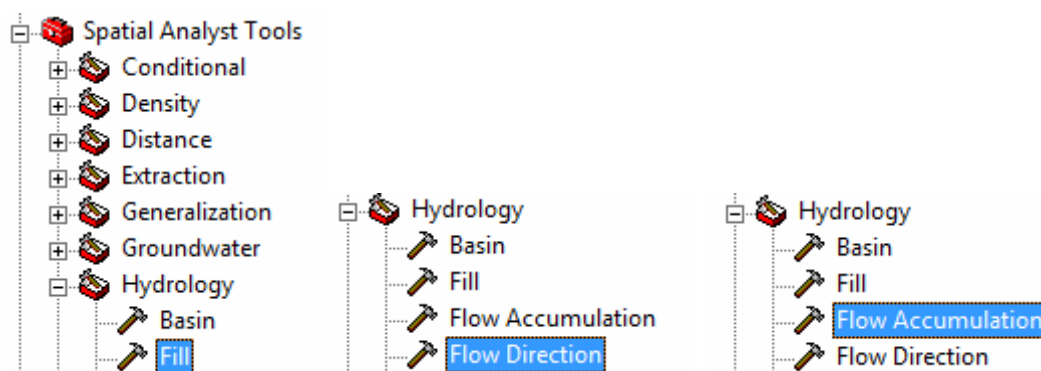
Το τελευταίο (μοντέλο Raster) χρησιμοποιήθηκε για την γεωμετρική ανάλυση της υδρολογικής λεκάνης η οποία περιλαμβάνει:

- Εξάλειψη βυθισμάτων λόγω ατελειών του ΨΜΕ.

- Επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και προσδιορισμού, με ψηφιακές μεθόδους, του υδροκρίτη της υδρολογικής λεκάνης.

Το νερό είναι η κύρια διαβρωτική δύναμη που προσδιορίζει τη μορφολογία ενός τοπίου. Τα περισσότερα τοπία έχουν πολλά υβώματα και λίγα βυθίσματα, που συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός ενωμένου υδρογραφικού δικτύου. Η διαδικασία «Τopo to Raster» χρησιμοποιεί αυτή τη γνώση για τις επιφάνειες και επιβάλλει περιορισμούς στη διαδικασία της παρεμβολής, που έχουν σαν αποτέλεσμα μια δομή ενιαίου υδρογραφικού δικτύου και μια σωστή αναπαράσταση των υδατορευμάτων και των κορυφογραμμών.

Στο παραγόμενο ψηφιακό μοντέλο εδάφους υπάρχουν κάποια βυθίσματα (sinks) ή ανυψώσεις τυχαίες (δηλαδή σε επίπεδο φατνίου), δηλαδή κάποιες «ανωμαλίες υψομέτρου», που εμποδίζουν τη σωστή ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, αφού το παραγόμενο από το ψηφιακό μοντέλο υδρογραφικό δίκτυο θα τερματίζει σε αυτές. Με στόχο το γέμισμα των βυθισμάτων για την παραγωγή σωστού υδρογραφικού δικτύου, εφαρμόζεται η εντολή «Fill» (Σχήμα 5.10), ώστε να γεμίσει κάθε βύθισμα μέχρι το ελάχιστο υψόμετρο των ορίων του.

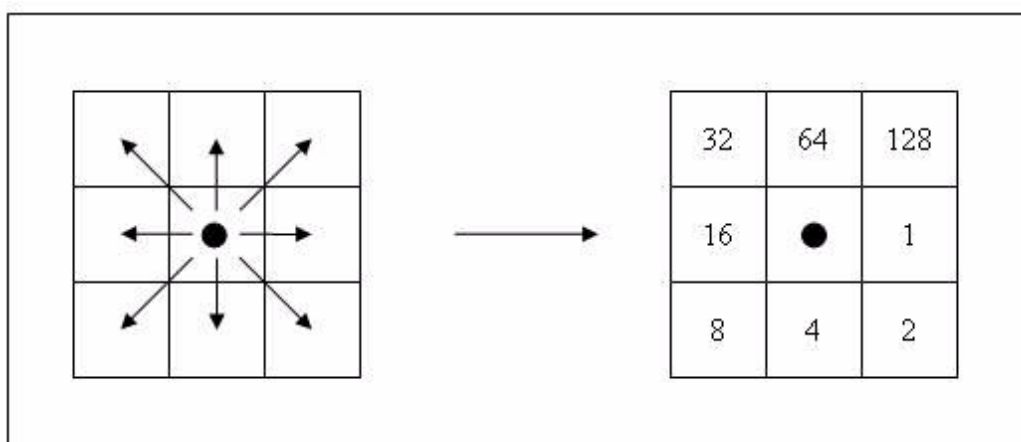


Σχήμα 5.10 Παρουσίαση ενεργοποίησης των κυριότερων εντολών που συζητούνται σε αυτές τις παραγράφους στο περιβάλλον ARCGIS v9.2. Αριστερά: η ενεργοποίηση της εντολής Fill, κέντρο: η ενεργοποίηση της εντολής Flow Direction, δεξιά: η ενεργοποίηση της εντολής Flow Accumulation.

5.3.1.1 Προσδιορισμός της διεύθυνσης ροής

Ακολούθησε ο προσδιορισμός της διεύθυνσης ροής σε κάθε φατνίο της λεκάνης. Η εντολή «Flowdirection» λαμβάνει σαν εισαγόμενο δεδομένο το διορθωμένο Raster, μετά το γέμισμα των βυθισμάτων, ψηφιακό μοντέλο εδάφους και παράγει ένα Raster μοντέλο, για το οποίο είναι γνωστή, σε κάθε φατνίο, η διεύθυνση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους.

Γύρω από ένα τυχαίο φατνίο υπάρχουν 8 γειτονικά φατνία. Το πρόγραμμα υπολογίζει όλες τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ του κεντρικού φατνίου και των γειτονικών του και επιλέγει εκείνο το γειτονικό φατνίο, στο οποίο υπάρχει η μέγιστη υψομετρική διαφορά, δηλαδή η μέγιστη κλίση. Η διεύθυνση ροής του φατνίου προσδιορίζεται από την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, στην οποία αντιστοιχεί ένας συγκεκριμένος κωδικός. Για παράδειγμα στο Σχήμα 5.11, παρουσιάζεται η επεξεργασία για ένα φατνίο. Αν διεύθυνση μέγιστης κλίσης (που προσδιορίζεται από την τιμή υψομέτρου του φατνίου και την απόσταση μεταξύ των κέντρων των φατνίων) είναι προς νότο, τότε στο παραγόμενο Raster των διευθύνσεων ροής, σημειώνεται για το εξεταζόμενο φατνίο η τιμή του φατνίου της μέγιστης κλίσης, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 4. Υπάρχουν 8 δυνατές τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν στις 8 δυνατές διευθύνσεις ροής και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Επόμενος αν η διεύθυνση είναι ξεκάθαρη τότε το τελικό προϊόν θα περιλαμβάνει φατνία με τιμές 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. Αν προς δύο διευθύνσεις η κλίση είναι ίδια τότε λαμβάνει τιμές αθροίζοντας τα αντίστοιχα φατνία. Τελικά δηλαδή οι αναμενόμενες τιμές είναι φατνία με ακέραιους αριθμούς από 1 έως 255.

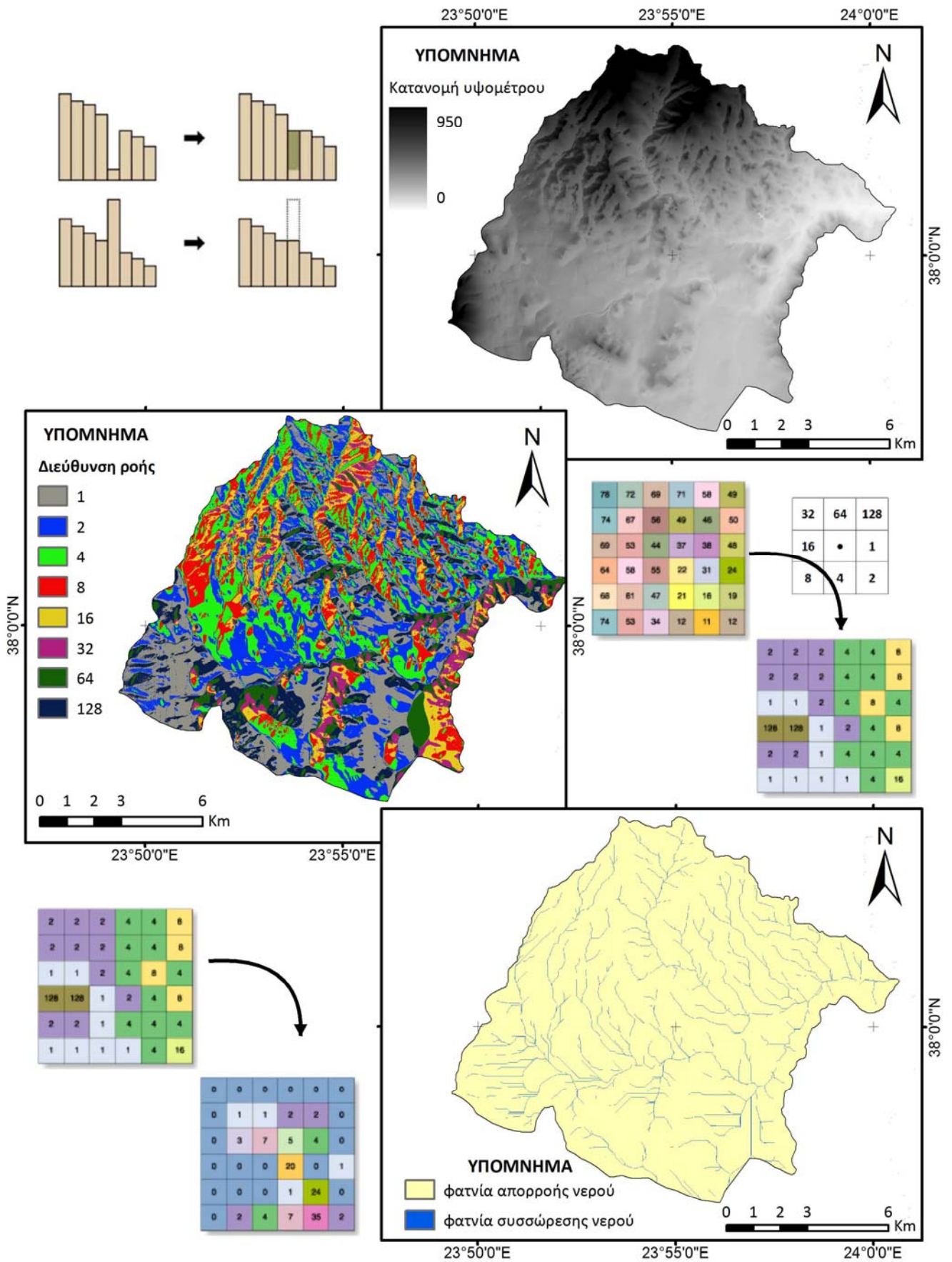


Σχήμα 5.11 Διευθύνσεις ροής.

5.3.1.2 Προσδιορισμός καναβικού μοντέλου συγκεντρωτικής ροής

Το Raster συγκεντρωτικής ροής υπολογίστηκε με την εκτέλεση μιας διαδικασίας συσσώρευσης, (εντολή «Flowaccumulation») βασιζόμενη στο Raster μοντέλο διευθύνσεων ροής. Ανάλογα με τις διευθύνσεις ροής, καθορίζεται, για κάθε φατνίο της λεκάνης, ένα μοναδικό μονοπάτι, το οποίο ακολουθεί η σταγόνα της βροχής από το τυχαίο φατνίο μέχρι την έξοδο της λεκάνης. Ο αριθμός των ανάντη φατνίων που καταλήγουν σε ένα τυχαίο φατνίο αθροίζεται και, έτσι, προκύπτει το ζητούμενο Raster, το οποίο είναι

προαπαιτούμενο για τον προσδιορισμό του υδρογραφικού δικτύου και των υδροκριτών. Στο Σχήμα 5.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται εποπτικά οι διαδικασίες που το πρόγραμμα πραγματοποιεί σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα που λαμβάνεται για την υδρολογική λεκάνη της Ραφήνας για τις διαδικασίες Fill, Flowdirection και Flowaccumulation που παρουσιάστηκαν παραπάνω.



Σχήμα 5.12 Διαδικασία επεξεργασίας των ψηφιακών δεδομένων για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου. Πάνω: η εντολή Fill, κέντρο: η διαδικασία Flowdirection, κάτω: η διαδικασία Flowaccumulation.

5.3.1.3 Διαδικασία προσδιορισμού υδατορευμάτων και υδροκρίτη

Για να προσδιοριστεί το υδατόρευμα με ψηφιακές μεθόδους χρησιμοποιείται το μοντέλο συγκεντρωτικής ροής αφού εφαρμοσθεί στα φατνία αυτού ένα κατώφλιο (με την χρήση του Raster υπολογιστή και την εφαρμογή της πράξης: con ([όνομα_μοντέλου_συγκεντρωτικής ροής]>τιμή, 1) ώστε να διαχωριστούν τα φατνία με υψηλές τιμές συγκέντρωσης ροής από τα υπόλοιπα. Με την παραπάνω πράξη όλα τα κελιά που έχουν μεγαλύτερη τιμή από την τιμή που ορίστηκε θα λάβουν την τιμή 1 ενώ όλα τα υπόλοιπα θα λάβουν την τιμή NoData. Με τον τρόπο αυτό καθορίζονται τα φατνία που ανήκουν στο υδατόρευμα. Με την βοήθεια του μοντέλου αυτού που παράγεται είναι δυνατό να οριστεί το φατνίο εκείνο το οποίο βρίσκεται στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης που ανήκει στο υδατόρευμα. Με βάση το φατνίο αυτό δημιουργείται ένα κανονικοποιημένο αρχείο το οποίο περιλαμβάνει μόνο αυτό. Με βάση αυτό το αρχείο και το κανονικοποιημένο μοντέλο διεύθυνσης ροής τα οποία εισάγονται στην εντολή «Watershed» χαράσσεται ψηφιακά ο υδροκρίτης της λεκάνης.

5.3.1.4 Προσδιορισμός μοντέλου κλίσεων

Η κλίση αναπαριστά το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του υψομέτρου μεταξύ κάθε φατνίου και των γειτονικών του. Στο παραγόμενο κανονικοποιημένο μοντέλο, κάθε φατνίο έχει μια τιμή κλίσης, η οποία, όσο μικρότερη είναι, τόσο πιο επίπεδη είναι η έκταση. Οι παραγόμενες τιμές μπορεί να είναι ποσοστό % ή μοίρες. αφού πρώτα δημιουργηθεί το τριγωνικό δίκτυο TIN στην συνέχεια, από το μοντέλο αυτό και την βοήθεια του 3D Analyst δημιουργείται μια ψηφιδωτή (κανναβική) επιφάνεια (Raster) με τις κλίσεις του εδάφους. Με βάση την επιφάνεια αυτή επιλέγονται οι κατηγορίες κλίσεων που ενδιαφέρουν και, στην συνέχεια, το κανναβικό αυτό αρχείο των κλίσεων μετατρέπεται σε διανυσματικό πολυγωνικό επίπεδο. Στο παράρτημα 7 δίνεται ο χάρτης κλίσεων που προέκυψε για την υδρολογική λεκάνη της ραφήνας.

5.3.2 Δημιουργία ψηφιακού γεωλογικού χάρτη

Για τον προσδιορισμό της χωρικής κατανομής των γεωλογικών σχηματισμών δημιουργήθηκε, σε περιβάλλον ΣΓΠ, ο γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης.

Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες του ΙΓΜΕ των φύλλων «Κηφισιά», «Κορωπί» και «Ραφήνας».

Τρία σημαντικά προβλήματα ανέκυψαν κατά την διαδικασία δημιουργίας του ψηφιακού γεωλογικού χάρτη. Το πρώτο σχετίζεται με την αδυναμία εύρεσης ικανού αριθμού σημείων γνωστών συντεταγμένων ώστε να γίνει η γεωγραφική αναφορά. Έτσι, αυτό που εφαρμόσθηκε ήταν η χρήση, ως βάση αναφοράς, των ήδη γεωαναφερμένων τοπογραφικών χαρτών χρησιμοποιώντας αντίστοιχα σημεία. Η μείωση της ακρίβειας με την μέθοδο αυτή δεν δημιούργησε πρόβλημα στο τελικό ψηφιακό προϊόν, λόγω της εγγενούς έλλειψης ακρίβειας που έχουν γενικά οι γεωλογικοί χάρτες.

Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την ερμηνεία των γεωλογικών σχηματισμών και γενικότερα της ασάφειας που υπάρχει στην ανάπτυξη των στρωματογραφικών στηλών στην περιοχή έρευνας. Για το λόγο αυτό, αφού μελετήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες, στην συνέχεια, έγινε προσπάθεια να ενοποιηθούν κάποιες εμφανίσεις με βάση την λιθολογική τους σύσταση (που ενδιέφερε και περισσότερο την παρούσα εργασία). Έτσι, ο τελικός χάρτης που δημιουργήθηκε δεν ανταποκρίνεται ακριβώς στην γεωλογική εξέλιξη της περιοχής και, γι' αυτό τον λόγο, θεωρείται και χαρακτηρίζεται στην συγκεκριμένη εργασία ως τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης.

Το τρίτο πρόβλημα σχετίζεται με το δεύτερο αλλά αφορά στην ένωση των τριών γεωλογικών χαρτών. Επειδή οι γεωλογικοί επαφές δεν συνέπιπταν μεταξύ των τριών χαρτών και μάλιστα η απόκλιση ήταν σημαντική μεταξύ τους σε κάποια σημεία, έγιναν διορθώσεις με βάση την εμπειρία και τις αρχές της γεωλογίας.

Για την δημιουργία του γεωλογικού χάρτη, αρχικά, έγινε σάρωση των αναλογικών χαρτών και, στη συνέχεια, ακολούθησε η γεωγραφική τους αναφορά. Δημιουργήθηκαν δύο επίπεδα πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή. Το ένα ήταν ένα γραμμικό επίπεδο στο οποίο αποθηκεύτηκε όλη η πληροφορία που αφορούσε επαφές γεωλογικών σχηματισμών και τεκτονικές επαφές (ρήγματα, επωθήσεις, εφιπτεύσεις). Στο άλλο επίπεδο, αποθηκεύτηκε σημειακή πληροφορία με το όνομα του κάθε σχηματισμού. Τα σημεία αυτά λαμβάνονταν σε τυχαία θέση μέσα σε κάθε ένα γεωλογικό σχηματισμό και αποδιδόταν σε αυτά το αντίστοιχο όνομα. Μετά την δημιουργία αυτών των δύο επιπέδων εφαρμόσθηκε η δημιουργία πολυγώνων με βάση το γραμμικό και το σημειακό επίπεδο. Το αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθεί ένα καινούριο επίπεδο επιφανειακής πληροφορίας που αντιστοιχούσε στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Για την παρουσίαση του τελικού προϊόντος λήφθηκαν δείγματα ψηφιακών εικόνων από τους γεωλογικούς χάρτες ώστε να

χρησιμοποιηθούν ως βάση για τον οπτικό διαχωρισμό των σχηματισμών. Στην συνέχεια οι εικόνες αυτές εισήχθησαν με κατάλληλη κλίμακα στο περιβάλλον GIS. Στο παράρτημα 8 παρουσιάζεται ο τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης όπως προέκυψε στην μελέτη αυτή.

5.3.3 Χρήσεις γης

Το πρόγραμμα χαρτογράφησης Corine LandCover, παρήγαγε στις αρχές της δεκαετίας του 90, χάρτες κάλυψης γης για ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ήπειρο. Με βάση την ερμηνεία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών, οι χάρτες κάλυψης γης Corine αποτελούν μια ικανοποιητική εικόνα για την υφιστάμενη κάλυψη γης και, κατ' επέκταση, τις χρήσεις γης σε μια περιοχή. Υπάρχει αρκετά μεγάλη διάκριση στις ευρύτερες κατηγορίες της γεωργικής γης και της φυσικής βλάστησης. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χαρτογράφηση αυτή είναι:

- Ακριβέστερη γεωγραφικά περιγραφή των χρήσεων ανά υδάτινο σώμα
- Ακριβέστερη περιγραφή των διάφορων κλάσεων της κάλυψης γης
- Πιο αντιπροσωπευτική από τις απογραφές ΕΣΥΕ

Το πλεονέκτημα αυτό είναι σημαντικό στην μελέτη των λεκανών των υδάτινων σωμάτων, αφού ενδιαφέρει η ακριβής θέση και έκταση των κλάσεων χρήσης γης (π.χ., καλλιεργειών).

Τέλος, επειδή πρόκειται για καταγραφή μέσω δορυφορικής τηλεπισκόπησης, θεωρείται ότι είναι αντικειμενικότερη από τις απογραφές, οι οποίες προκύπτουν από ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις.

Το βασικότερο μειονέκτημα, πέρα από τα πιθανά σφάλματα της φωτοερμηνείας – τηλεπισκόπησης στη διάκριση τύπων χρήσεων γης, είναι ότι αποτελεί μια εικόνα των χρήσεων γης την εποχή που έγινε το πρόγραμμα. Η καταγραφή αυτή θα γίνει πολύ πιο χρήσιμη μετά από επικαιροποίησή της, μέσω της οποίας αφενός θα δοθεί μια περισσότερο πρόσφατη εικόνα της κάλυψης γης, θα διορθωθούν πιθανά λάθη αλλά θα φανούν και οι τάσεις. Σε γενικές γραμμές, η προσέγγιση αυτή, μας δίνει μια γενική εικόνα της κατάστασης γρήγορα και με μικρό κόστος.

Για τις χρήσεις γης χρησιμοποιήθηκε πληροφορία CORINE σε ανάλυση 1:100 000. Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από το εργαστήριο Χαρτογραφίας. Από τα δεδομένα αυτά απομονώθηκαν οι χρήσεις γης που υφίστανται εντός της υδρολογικής λεκάνης της

Ραφήνας. Για την διατήρηση του συμβολισμού των χρήσεων γης όπως αυτός υπάρχει σε επίσημο υπόμνημα έγινε δειγματοληψία χρωμάτων με πρόγραμμα επεξεργασίας φωτογραφιών (Paint των Windows 7) και στην συνέχεια έγινε εισαγωγή της πληροφορίας RGB για την κάθε χρήση γης στο περιβάλλον ARCGIS. Στο παράρτημα 8 δίνεται η τελική μορφή του χάρτη χρήσεων γης όπως προέκυψε για την υδρολογική λεκάνης της Ραφήνας. Στον Πίνακα 5.6 που ακολουθεί δίνονται οι χρήσεις γης της περιοχής και τα αντίστοιχο ποσοστό που καλύπτει η κάθε μία.

Πίνακας 5.6 Οι χρήσεις γης και τα αντίστοιχα ποσοστα που καλύπτουν για την περιοχή μελέτης.

Χρήσεις Γης	Επιφάνεια (m ²)	Ποσοστό (%)
Ασυνεχής αστικός ιστός	13 041 325	9.7
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	3 295 801	2.5
Χώροι οικοδόμησης	11 301 600	8.5
Αμπελώνες	19 121 042	14
Σύνθετες καλλιέργειες	42 284 235	32
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	7 625 136	5.7
Δάσος κωνοφόρων	3 044 624	2.3
Φυσιικοί Βοσκότοποι	81 823	0.1
Σκληροφυλλική βλάστηση	5 687 977	4.2
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	28 510 759	21

5.3.4 Έργα υποδομής

Τα σημαντικότερα έργα οδικά – υδραυλικά - αεροδρόμιο που υπάρχουν στην περιοχή δημιουργήθηκαν ως γραμμικά επίπεδα στο περιβάλλον ArcInfo με την βοήθεια της υπηρεσίας GoogleEarth. Έτσι, ξεκινώντας από την υπηρεσία αυτή, έγινε η λήψη ενός σημαντικού αριθμού κορυφών με γνωστές συντεταγμένες (WGS84). Στην συνέχεια, αυτές μετατράπηκαν σε ΕΓΣΑ '87 με βάση την Βιβλιοθήκη γεωδαιτικών μετατροπών συντεταγμένων (icoordstrans) (Κοζάνης, 2006) και έγινε η εισαγωγή των δεδομένων αυτών ως σημειακά επίπεδα στο ArcInfo. Στο Σχήμα 4.3 απεικονίζονται σε χάρτη τα παραπάνω έργα.

Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGIS v.9.3 που διατίθεται στο Κέντρο Γεωπληροφορικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ.

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Κατά την διενέργεια των δειγματοληψιών εκτός από τις επί τόπου φυσικοχημικές μετρήσεις, έγιναν μετρήσεις ταχυτήτων και προσεγγιστικά των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διατομών με σκοπό να εκτιμηθεί η παροχή στις αντίστοιχες θέσεις. Στις θέσεις S3, S8, S9, S10, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20 η μέτρηση της ταχύτητας πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο του πλωτήρα, στις θέσεις S2, S5, S6, S7 χρησιμοποιήθηκε μιλίσκος ενώ στην θέση S13 έγινε μέτρηση της ταχύτητας και με τις δύο μεθόδους (πλωτήρα και μιλίσκου) για να ελεγχθεί η απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων (στον παρακάτω πίνακα δίνονται ξεχωριστά οι δύο τιμές). Στις θέσεις S1, S4, S11 δεν ήταν εφικτή η μέτρηση της παροχής εξαιτίας των επί τόπου δυσκολιών πρόσβασης και διενέργειας μετρήσεων ταχύτητας. Οι τελικές τιμές παροχής παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 6.1)

Πίνακας 6.1 Παροχή υδατορευμάτων στις θέσεις δειγματοληψίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Q (μέθοδος πλωτήρα) $m^3 s^{-1}$	Q (μέθοδος μιλίσκου) $m^3 s^{-1}$
S15	0.033	--
S14	0.028	--
S20	0.590	--
S19	0.145	--
S18	0.200	--
S17	0.263	--
S11	*	*
S9	0.202	--
S10	0.137	--
S16	0.062	--
S13	0.012	0.0093
S12	0.012	--
S4	*	*
S5	--	0.076
S6	---	0.109
S8	0.099	--
S7	--	0.195
S3	0.003	--
S1	*	*
S2	--	0.041

* Δεν ήταν δυνατή η μέτρηση για τεχνικούς λόγους

Με βάση τις επί τόπου μετρήσεις (πλάτος και επί μέρους μετρήσεις βάθους κατά πλάτος) έγινε προσπάθεια να προσεγγισθεί η διαβρεχόμενη επιφάνεια της υγρής διατομής των υδατορευμάτων προβάλλοντας τις μετρήσεις αυτές σε σχεδιαστικό πρόγραμμα. Οι

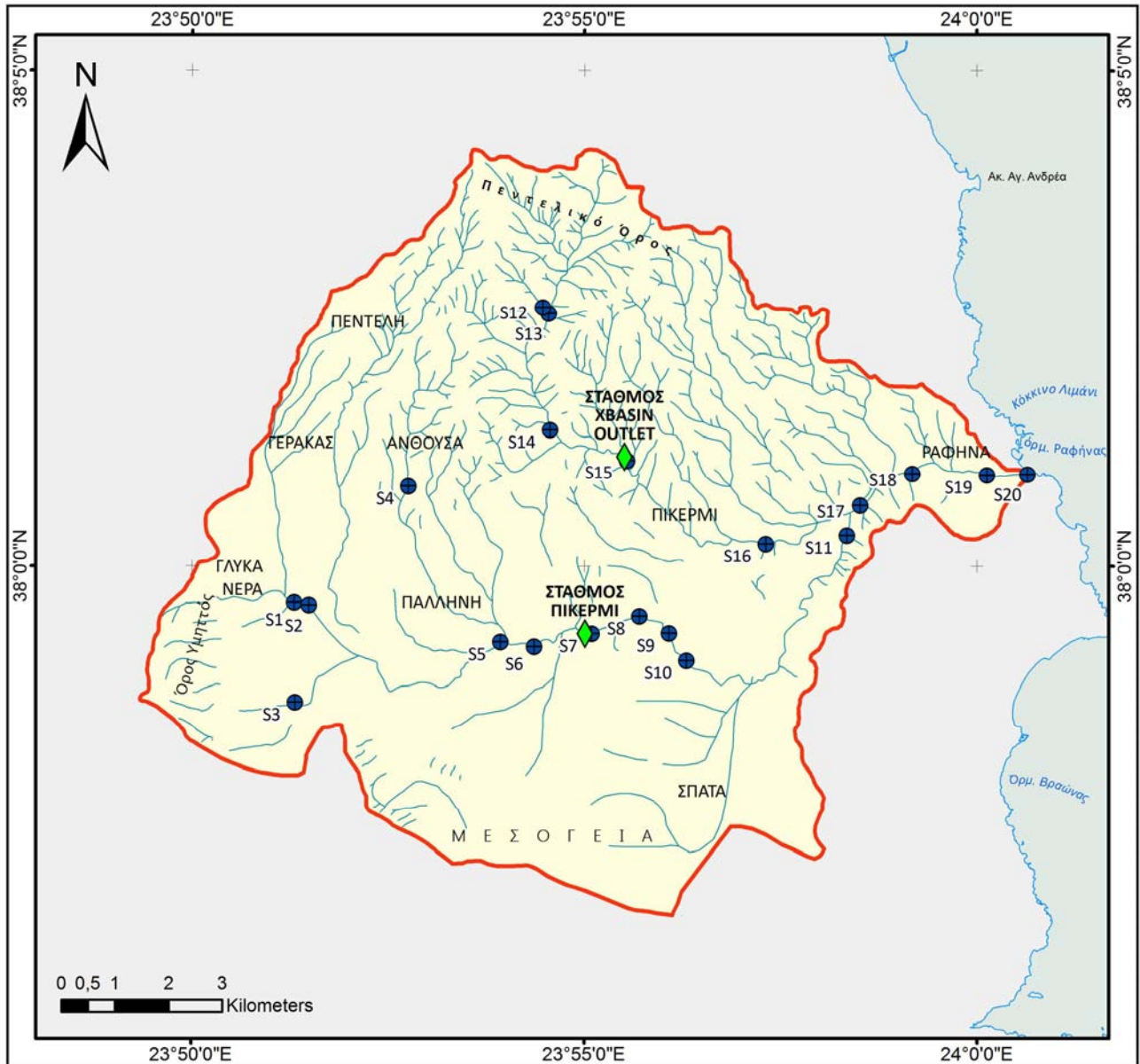
διατομές που προέκυψαν και οι αντίστοιχες επιφάνειες παρουσιάζονται στο παράρτημα 3. Στο ίδιο παράρτημα δίνεται αναλυτικά ο προσδιορισμός των ταχυτήτων. Με βάση τις μετρήσεις αυτές προσδιορίζονται οι αντίστοιχες τιμές παροχών ($m^3 sec^{-1}$) για την κάθε θέση δειγματοληψίας. Επειδή ουσιαστικά έγινε προσπάθεια εκτίμησης των παροχών και δεν πραγματοποιήθηκε διαδικασία ακριβούς μέτρησης αυτών, για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αναζητήθηκαν υδρομετρικοί σταθμοί στην περιοχή.

Στα πλαίσια του προγράμματος FLADAR (που διεξάγεται από την Σχολή Πολιτικών Μηχανικών – Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων) που κύριο στόχος του είναι να εφαρμόσει τα βήματα της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος της Ραφήνας, έχει εγκατασταθεί υδρομετρικός σταθμός με την ονομασία «σταθμός Πικέρμι» από το 2008. Επίσης από το ίδιο Εργαστήριο διατίθενται (ήταν δωρεάν μέχρι το 2010 στο site του Xbasin) δεδομένα για τον σταθμό με την ονομασία «Xbasin outlet» που βρίσκεται εγκατεστημένος στην περιοχή. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.2) δίνονται τα χαρακτηριστικά και οι θέσεις των δύο αυτών σταθμών. Στον παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας καθώς και οι θέσεις των παραπάνω υδρομετρικών σταθμών.

Πίνακας 6.2 Τα χαρακτηριστικά των υδρομετρικών σταθμών που διατίθενται από το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων.

Ονομασία	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Όργανα - Αισθητήρες	Τρόπος αναμετάδοσης
Σταθμός Πικέρμι	492 697.200	4 204 564.000	Αυτόματος υδρομετρικός σταθμός (Ultrasonic Doppler – OTT RLS level sensor)	Τηλεμετρικό σύστημα μέσω κινητού τηλεφώνου (Radio modem GSM/GPRS)
Xbasin Outlet	493 432.843	4 207 866.507	Μέτρηση στάθμης (Geokon)	Τηλεμετρικό σύστημα μέσω κινητού τηλεφώνου

Από τα δεδομένα του σταθμού «Πικέρμι» φαίνεται ότι το μήνα Απρίλιο του 2010 (1/4/2010-26/4/2010) ο μέσος όρος της παροχής που καταγράφηκε προσδιορίζεται σε $0.150 m^3 s^{-1}$ οι οποίες είναι αρκετά κοντά σε αυτές που προσδιορίστηκαν από τις επί τόπου μετρήσεις σε γειτονικές θέσεις στα πλαίσια της εργασίας αυτής (S5, S6, S7). Για τον σταθμό «Xbasin outlet» προσδιορίστηκαν οι μέσοι όροι των παροχών για τον μήνα Απρίλιο για τα έτη 2004 – 2009 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 6.3).



<p>ΥΠΟΜΝΗΜΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Υδρομετρικός Σταθμός ● Σημείο Δειγματοληψίας — Υδροκρίτης — Υδατόρευμα 	<p>ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ</p>										
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>ΧΑΡΤΗΣ</td> <td>ΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ</td> </tr> <tr> <td>ΝΟΜΟΣ</td> <td>ΑΤΤΙΚΗ</td> </tr> <tr> <td>ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ</td> <td>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ</td> </tr> <tr> <td>ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ</td> <td>ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ</td> </tr> <tr> <td>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ</td> <td>ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ</td> </tr> </table>	ΧΑΡΤΗΣ	ΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ	ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ	ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
	ΧΑΡΤΗΣ	ΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ									
	ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ									
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ										
ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ	ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ										
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ										
<p>ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: WGS84 ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΕΓΣΑ 87</p>	<p>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011</p>										

Σχήμα 6.1 Χάρτης απεικόνισης των σημείων δειγματοληψίας και των υδρομετρικών σταθμών

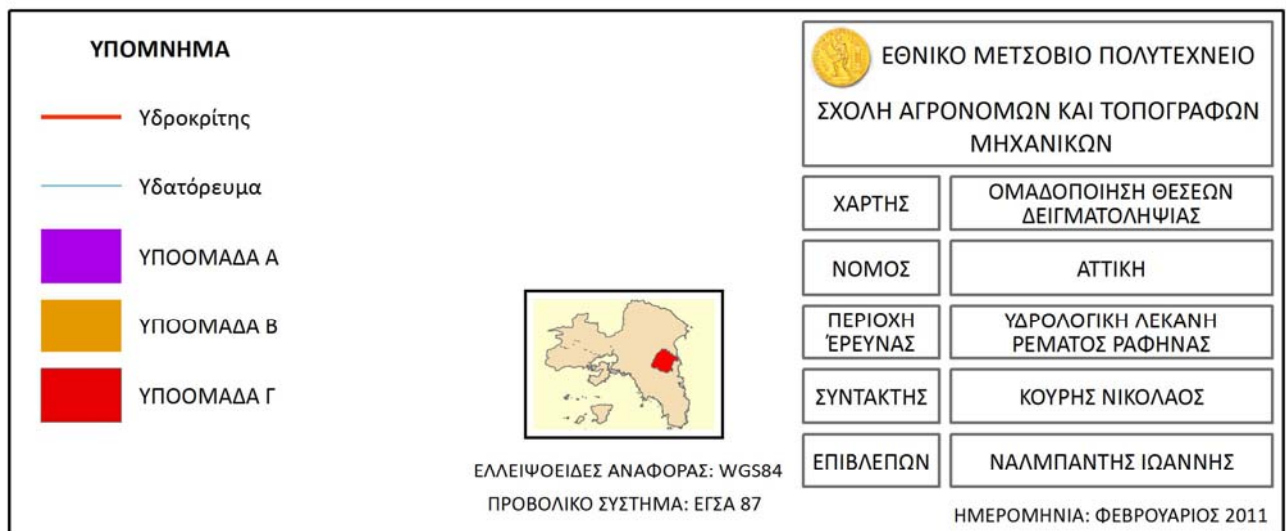
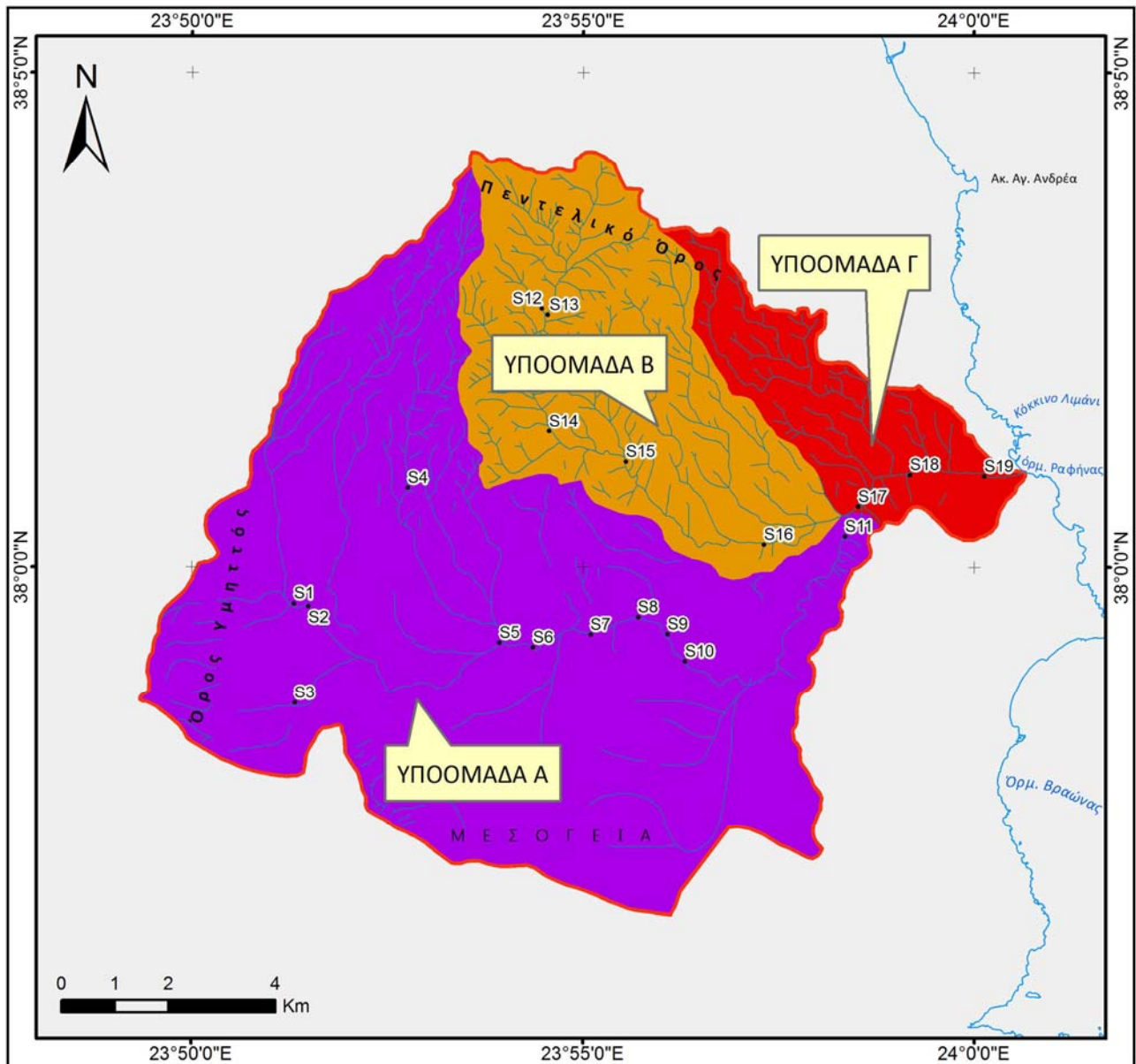
Πίνακας 6.3 Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για τις παροχές Απριλίου για το διάστημα 2004-2009 (οι μονάδες της παροχής είναι σε $L s^{-1}$)

Διάστημα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Απρίλιος 2004	0.070	0.012
Απρίλιος 2005	0.074	0.013
Απρίλιος 2006	0.090	0.017
Απρίλιος 2007	0.024	0.008
Απρίλιος 2008	0.025	0.008
Απρίλιος 2009	0.033	0.062

Όπως φαίνεται η βασική απορροή παρουσιάζει μια τάση μείωσης και μετά το 2007 η απορροή κυμαίνεται περίπου στα $30 L s^{-1}$. Οι αντίστοιχες παροχές που προσδιορίστηκαν κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών στις θέσεις S14 και S15 που είναι κοντά στον παραπάνω υδρομετρικό σταθμό είναι $28 L s^{-1}$ και $33 L s^{-1}$ αντίστοιχα.

6.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

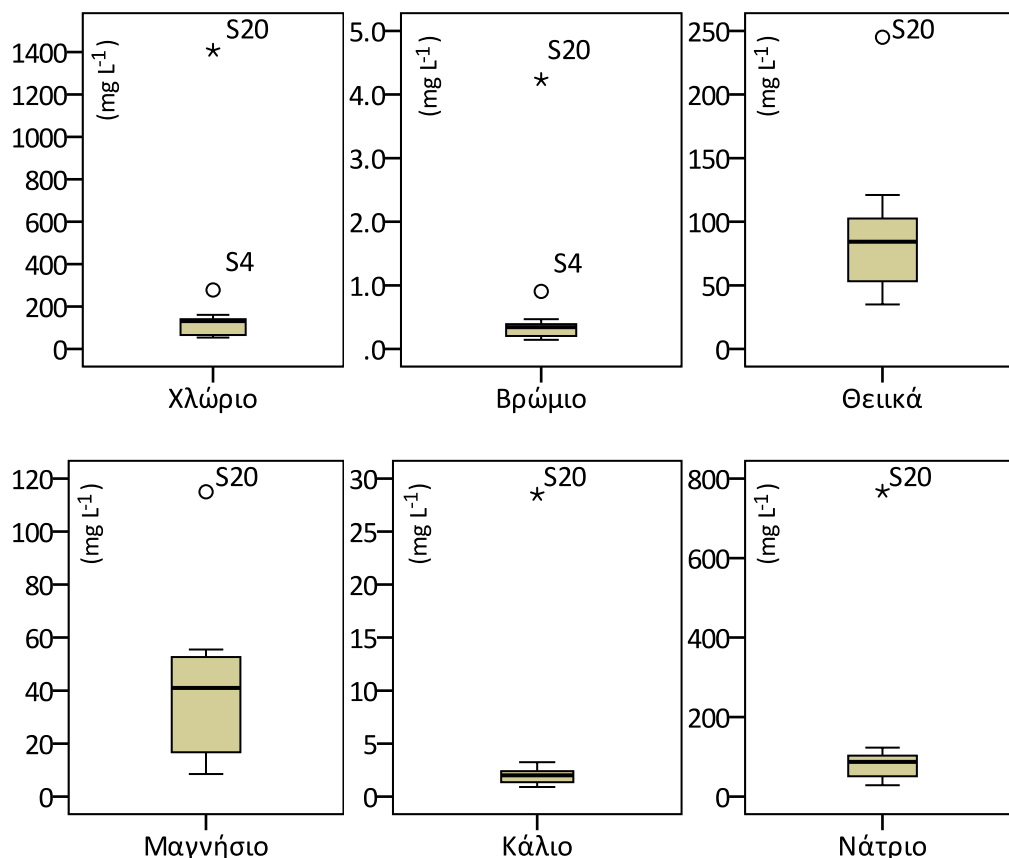
Για την παρουσίαση και στατιστική ανάλυση των επιμέρους παραμέτρων που μετρήθηκαν, καταρχάς έγινε διάκριση του ρέματος σε επιμέρους κλάδους. Η διάκριση αυτή έγινε με σκοπό να εντοπιστούν τυχόν διαφοροποιήσεις στις ποιότητα νερού λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές που είναι δυνατόν να υπάρχουν στην γεωλογία, στην μορφολογία και στις χρήσεις γης της περιοχής έρευνας. Ο βόρειος κλάδος περιλαμβάνει το ρέμα Βαλανάρη και γειτονικούς κλάδους και τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τον κλάδο αυτό κατατάσσονται στην ομάδα Β. Ο νότιος κλάδος ξεκινάει από τις παρυφές τις Πεντέλης κατευθύνεται νότια Βορειοανατολικά του Υμηττού και στην συνέχεια αλλάζει διεύθυνση προς τα ανατολικά για να συναντήσει τον βόρειο κλάδο νοτιοανατολικά της Καλλιτεχνούπολης. Τα δείγματα από τον κλάδο αυτό κατατάσσονται στην ομάδα Α. Από την ένωση των δύο αυτών κλάδων και μετά, τα δείγματα κατατάσσονται στην ομάδα Γ. Τέλος, η ομάδα Δ περιλαμβάνει το σύνολο των δειγμάτων που συλλέχθηκαν για την περιοχή έρευνας. Στον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 6.2) παρουσιάζεται η διαμέριση αυτή της υδρολογικής λεκάνης.



Σχήμα 6.2 Χάρτης παρουσίασης της διαμέρισης της υδρολογικής λεκάνης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται με την βοήθεια των διαγραμμάτων πλαισίου η κατανομή των επιμέρους παραμέτρων. Επίσης, γίνεται έλεγχος της κατανομής τους με την χρήση ιστογραμμάτων και των ελέγχων καλής κατανομής Kolmogorov-Smirnov και χ^2 . Αναλύεται η χωρική κατανομή τους με την βοήθεια θεματικών χαρτών, ενώ, στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες συσχετίσεις που προέκυψαν με την εφαρμογή της ανάλυσης συσχετίσεως.

Πριν από οποιαδήποτε στατιστική ανάλυση, είναι σημαντικό να ελεγχθεί η εμφάνιση έκτροπων παρατηρήσεων. Η διερευνητική ανάλυση δεδομένων παρέχει τέτοια εργαλεία ελέγχου, όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, με την χρήση διαγραμμάτων πλαισίου. Επειδή η θέση S20 ήταν στις εκβολές του ρέματος προς την θάλασσα αναμενόταν να παρουσιάζει υψηλές τιμές σε όλα σχεδόν τα κύρια ιόντα. Η συμπεριφορά αυτή μελετήθηκε και με την κατασκευή των αντίστοιχων διαγραμμάτων πλαισίου που δίνονται παρακάτω (Σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3: Παρουσίαση διαγραμμάτων πλαισίου για το σύνολο των παρατηρήσεων για τα κυριότερα ιόντα.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν για το δείγμα S20 εμφανίζονται ως έκτροπη παρατήρηση για τα περισσότερα κύρια ιόντα. Για τον παραπάνω λόγο το δείγμα αυτό εξαιρέθηκε από όλη την παρακάτω στατιστική ανάλυση.

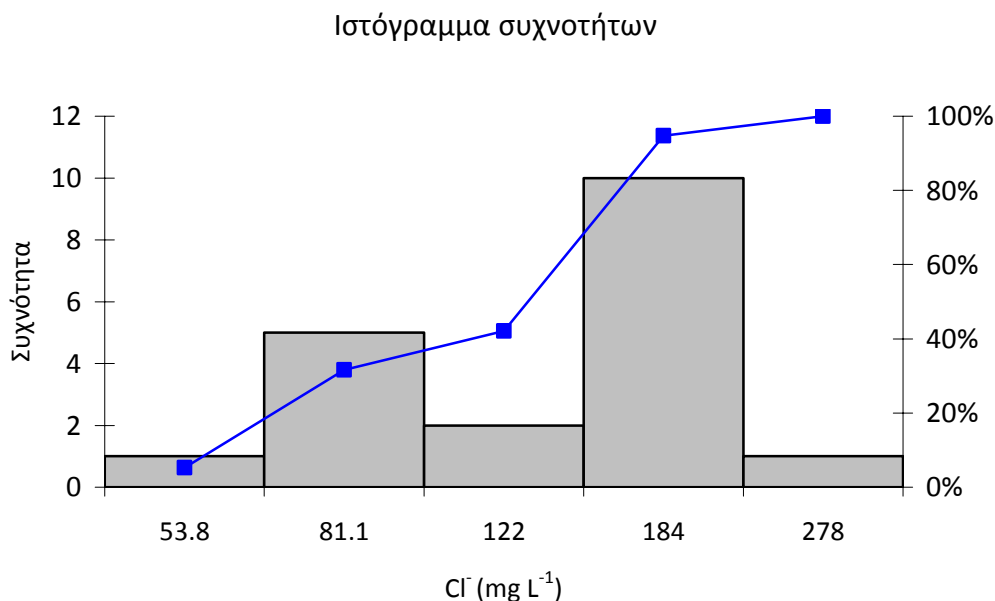
6.3 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

6.3.1 Κύρια ιόντα

6.3.1.1 Χλώριο (Cl⁻)

Η συγκέντρωση του χλωρίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 53.8 έως 278 mg L⁻¹. Ο μέσος όρος είναι 116 mg L⁻¹ και η διάμεσος 128 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 54.2 mg L⁻¹ (CV = 47%). Η κατανομή των ιόντων χλωρίου παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.246$), ενώ χαρακτηρίζεται λεπτόκυρτη ($k = 3.310$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας για το στατιστικό αυτό δείγμα είναι 1.246 (> 1.061 για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.02$ και πλήθος $N = 25$ που προϋποθέτει ως πάνω όριο ο έλεγχος της κανονικότητας με την χρήση του συντελεστή ασυμμετρίας). Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή $g = -0.13$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και $< 0,711$ για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τον έλεγχο της ασυμμετρίας. Επίσης για το ίδιο δείγμα (με ή χωρίς την λογαρίθμηση των τιμών των συγκεντρώσεων) ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.17$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.19$). Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5% και 10%) ήταν ανεπιτυχής γεγονός που αποδίδεται στον μικρό αριθμό των δεδομένων σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του τελευταίου αυτού ελέγχου. Στο Σχήμα 6.4 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών του χλωρίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

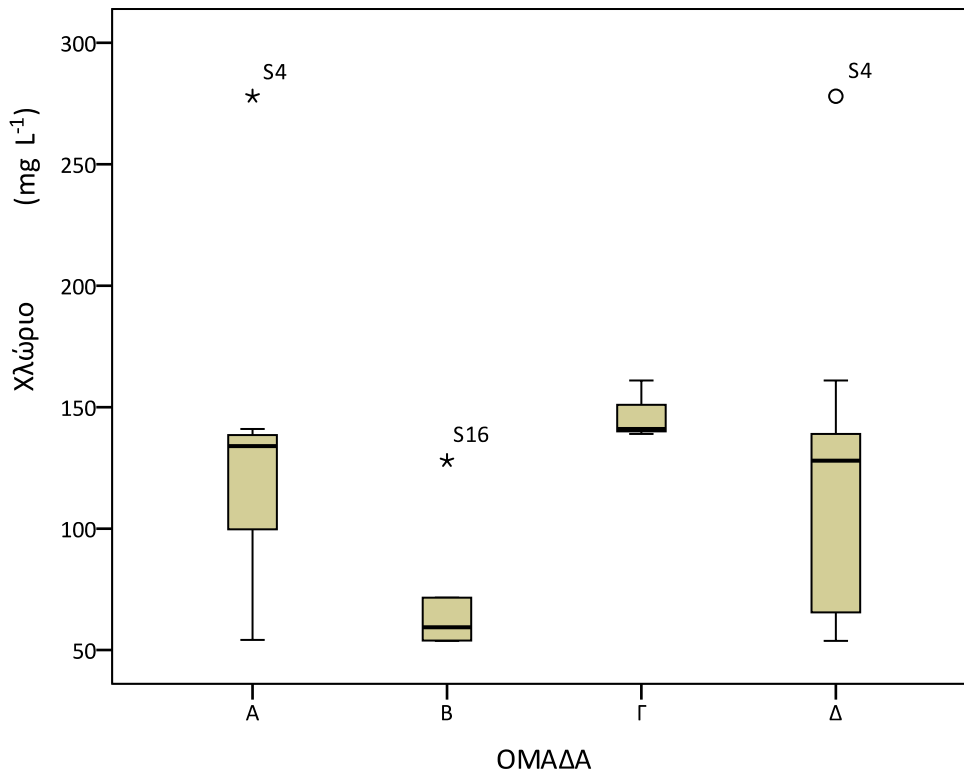


Σχήμα 6.4 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών χλωρίου στα υδατορεύματα της περιοχής έρευνας με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Πίνακας 6.4: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του χλωρίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.4

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
53.8	1	5.26%
81.1	5	31.58%
122	2	42.11%
184	10	94.74%
278	1	100.00%

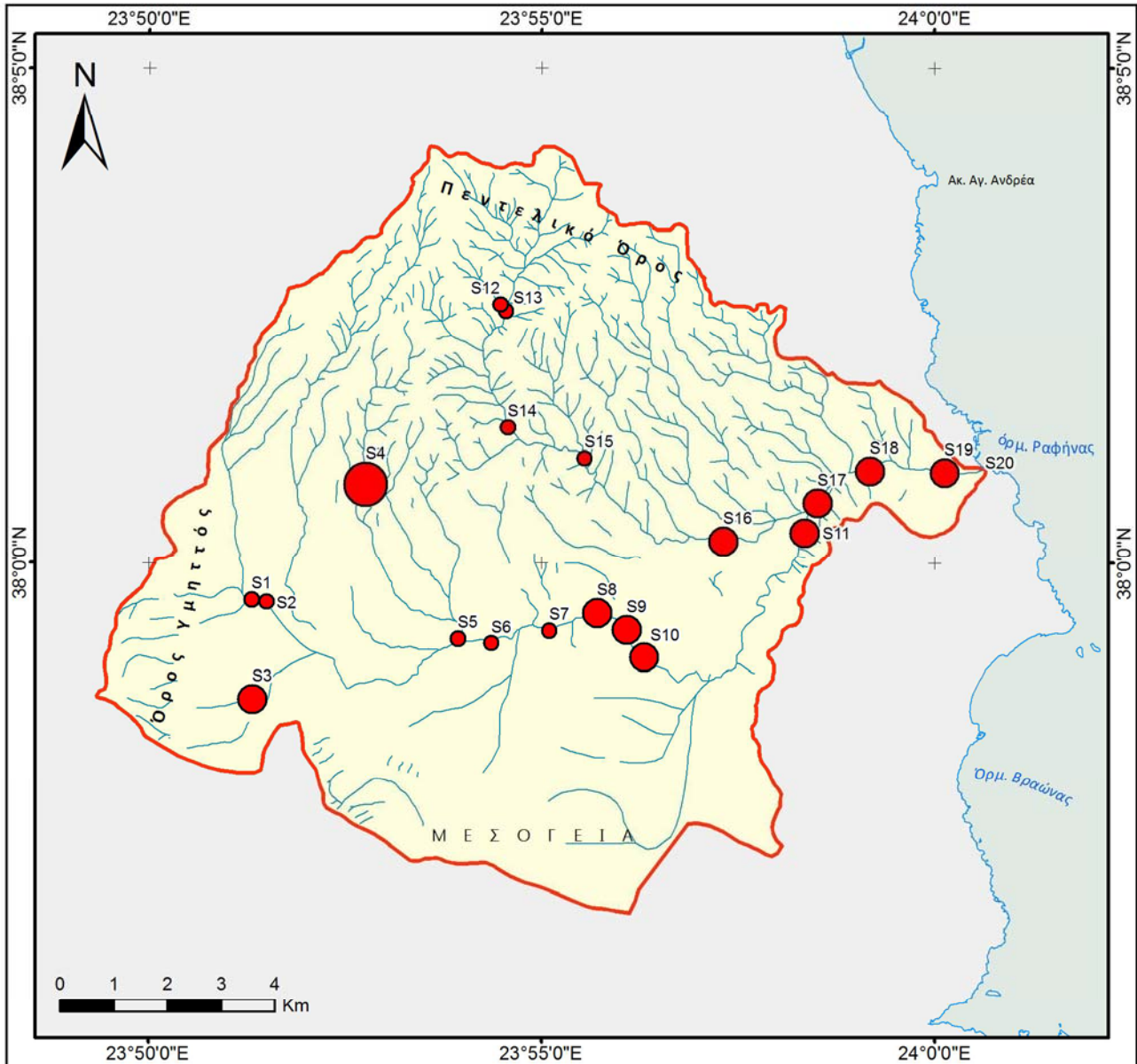
Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας και τον χωρισμό της υδρολογικής λεκάνης σε τρεις υπολεκάνες εξάγεται ότι η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο 127 mg L^{-1} ενώ η διάμεσος είναι 134 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 59.4 mg L^{-1} ($CV = 47\%$). Στην ομάδα Β, ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε 73.3 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 59.4 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 31.4 mg L^{-1} ($CV = 43\%$). Στην ομάδα Γ, ο μέσος όρος είναι 147 mg L^{-1} και η διάμεσος 141 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση 12.2 mg L^{-1} ($CV = 8.3\%$). Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα πλαισίου.





Σχήμα 6.5 Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα χλωρίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

Στον χάρτη που ακολουθεί (Σχήμα 6.6) παρουσιάζεται η διασπορά της συγκέντρωσης του χλωρίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Η διάκριση σε τρεις κλάσεις πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας σε δι-λογαριθμικό χαρτί και στην συνέχεια τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων, δηλαδή της τιμής πλαισίου (b) και του κατωφλίου (t).

Η παρουσία του χλωρίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας εν μέρει έχει φυσική προέλευση, όμως η χωρική διαφοροποίηση που παρατηρείται, φαίνεται να συνδέεται σε σημαντικό βαθμό και με ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι χαμηλότερες τιμές σημειώνονται σε ανάντη θέσεις δειγματοληψίας και είναι της τάξης των 50 έως 60 mg L⁻¹. Η παρουσία εβαποριτικών ορυκτών (NaCl) στα Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα και η εγγύτητα της περιοχής με την θάλασσα (μεταφορά αλάτων με τον άνεμο) μπορούν να θεωρηθούν οι κυριότερες φυσικές πηγές. Προς τα κατάντη οι συγκεντρώσεις που καταγράφονται είναι αυξημένες και παρατηρείται σημαντικός εμπλουτισμός σε χλώριο με διπλασιασμό των παραπάνω συγκεντρώσεων γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε ανθρωπογενή αίτια.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ		 ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	
— (red line)	Υδροκρίτης	ΧΑΡΤΗΣ	ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ (ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΟΝΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΥ)
— (blue line)	Υδατόρευμα	ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
Παράμετρος ποιότητας νερού: Ιόντα χλωρίου (mg L^{-1})		ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
● (small red)	53.8 - 125	ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ	ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
● (medium red)	125 - 175	ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
● (large red)	175 - 278	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011	
 ΕΛΛΙΠΣΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: WGS84 ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΕΓΣΑ 87			

Σχήμα 6.6 Χάρτης κατανομής ιόντων χλωρίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

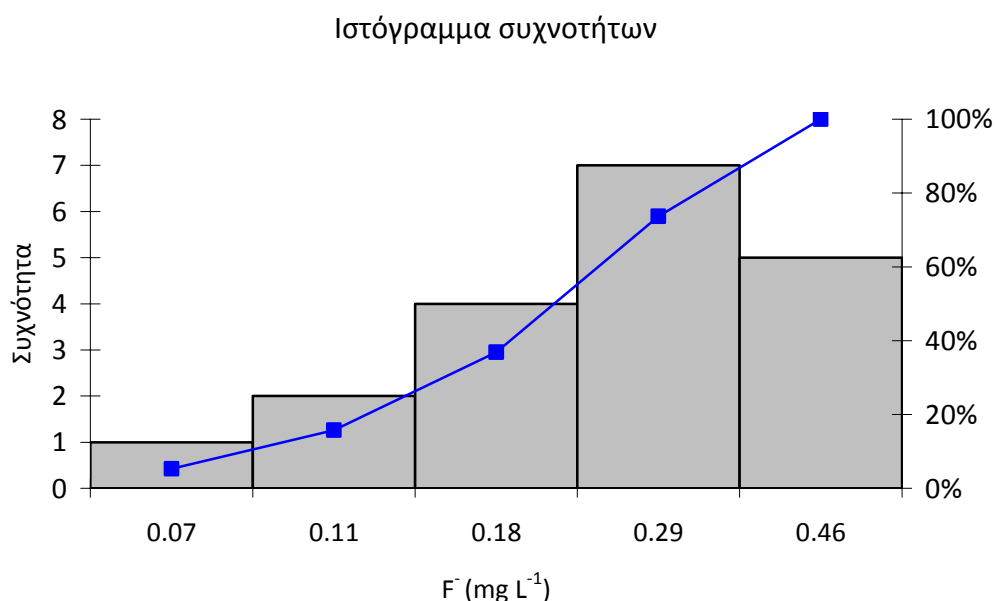
Εξαίρεση της παραπάνω εικόνας αποτελεί η θέση S4 στην οποία το χλώριο που προσδιορίστηκε ήταν σημαντικά υψηλό (παρουσιάζεται στο διάγραμμα πλαισίου ως ανώμαλη τιμή) αν και βρίσκεται σε ανάντη τμήμα της υδρολογικής λεκάνης. Δεδομένου ότι δεν διατίθενται άλλες μετρήσεις σε κοντινή απόσταση οποιαδήποτε υπόθεση είναι επισφαλής. Πάντως αν ληφθεί υπόψη ότι η ανάντη λεκάνη που εκφορτίζει το σημείο αυτό είναι μικρής έκτασης (~ 3 Km²) φαίνεται η θέση αυτή να επηρεάζεται σημαντικά από τις δραστηριότητες στην γύρω έκταση. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται στην θέση S3 η οποία βρίσκεται επίσης πλησίον σε κατοικημένη περιοχή.

6.3.1.2 Φθόριο (F⁻)

Η συγκέντρωση του φθορίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.07 έως 0.46 mg L⁻¹. Ο μέσος όρος είναι 0.22 mg L⁻¹ και η διάμεσος 0.20 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 0.11 mg L⁻¹ (CV = 51%). Η κατανομή του φθορίου παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 0.733$) και είναι πλατύκυρτη με συντελεστή κύρτωσης $k = -0.101$.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων των ιόντων φθορίου, ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι αποδεκτός για επίπεδο σημαντικότητας 2% ($g < 1.061$) αλλά δεν ισχύει το ίδιο για επίπεδο σημαντικότητας 10% ($g > 0.711$). Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0.337$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και < 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας για την κανονικότητα. Επίσης για το ίδιο δείγμα (με ή χωρίς την λογαρίθμηση των τιμών των συγκεντρώσεων) ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.15$). Ο έλεγχος χ^2 στην περίπτωση των αρχικών τιμών ήταν επιτυχής σε επίπεδο σημαντικότητας 1% ενώ ανεπιτυχής για τα επίπεδα σημαντικότητας 5 και 10%. Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 ήταν επιτυχής και στα τρία επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) για την περίπτωση των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων. Στο Σχήμα 6.7 απεικονίζεται το

ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων του φθορίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

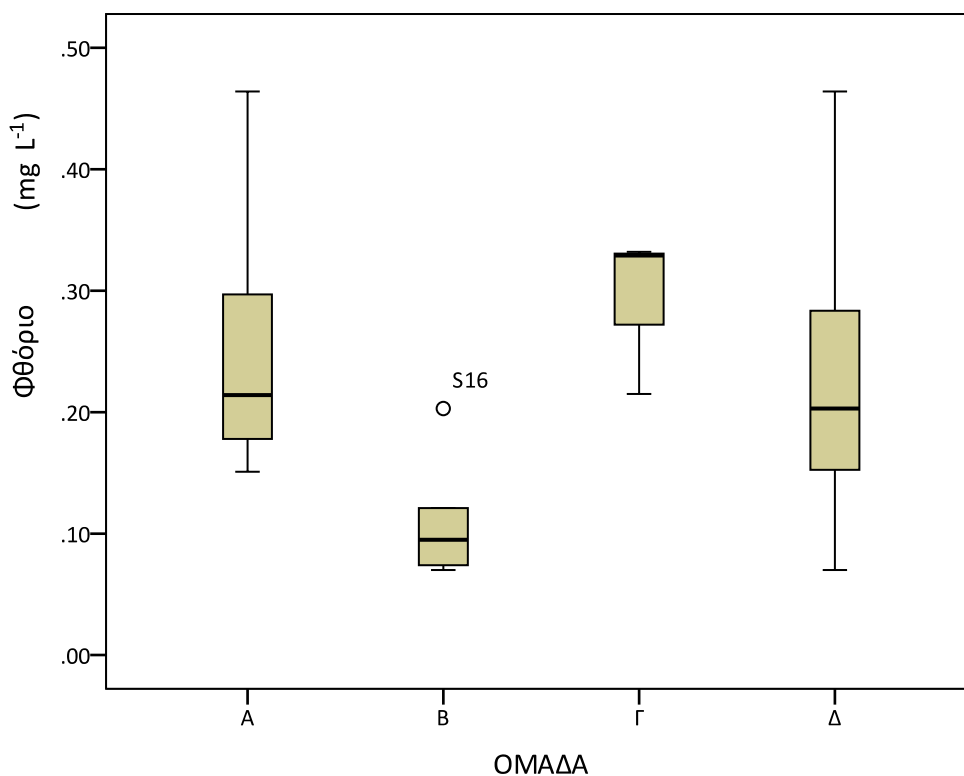


Σχήμα 6.7 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών φθορίου στα υδατορεύματα της περιοχής έρευνας με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Πίνακας 6.5: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του φθορίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.7

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
0.07	1	5.26%
0.11	2	15.79%
0.18	4	36.84%
0.29	7	73.68%
0.46	5	100.00%

Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας και τον χωρισμό της υδρολογικής λεκάνης σε τρεις υπολεκάνες εξάγεται ότι για το φθόριο και αναφερόμενοι στην ομάδα Α ο μέσος όρος είναι 0.25 mg L^{-1} και η διάμεσος 0.21 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.11 mg L^{-1} ($CV = 44\%$). Η ομάδα Β παρουσιάζει χαμηλότερο μέσο όρο ο οποίος είναι 0.11 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 0.09 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.05 mg L^{-1} ($CV = 45\%$). Ο μέσος όρος για την ομάδα Γ είναι 0.29 mg L^{-1} και η διάμεσος 0.33 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.07 mg L^{-1} ($CV = 24\%$). Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα πλαισίου.



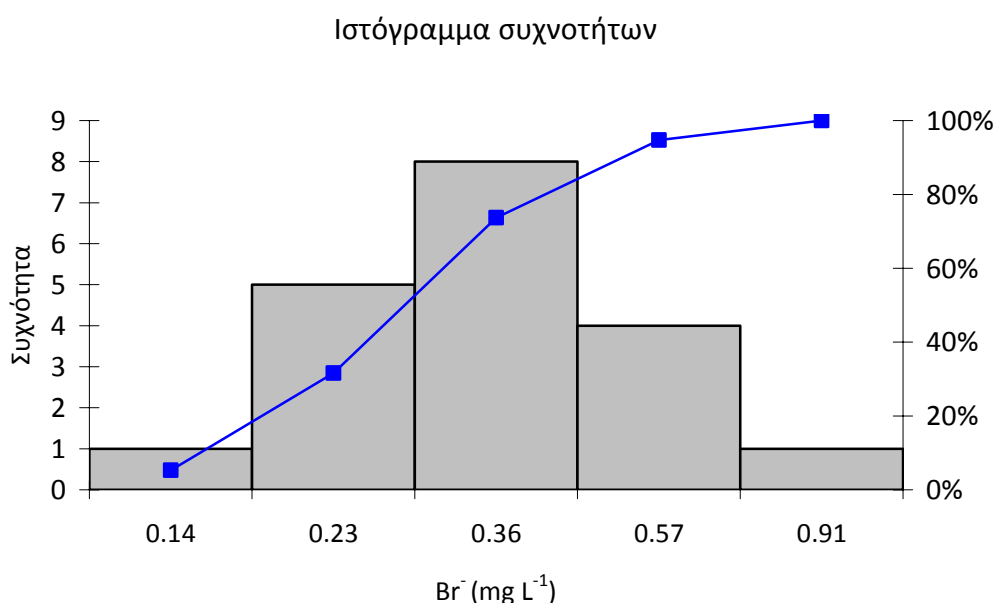
Σχήμα 6.8: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα φθορίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.3 Βρώμιο (Br⁻)

Η συγκέντρωση για τα ιόντα βρωμίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.14 έως 0.91 mg L⁻¹. Ο μέσος όρος είναι 0.33 mg L⁻¹ και η διάμεσος 0.34 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 0.17 mg L⁻¹ (CV = 51%). Η κατανομή του βρωμίου παρουσιάζει έντονη θετική ασυμμετρία ($g = 2.185$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 7.259$).

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων των ιόντων βρωμίου, ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τον αποδεκτό συντελεστή ($g > 1.061$ για επίπεδο σημαντικότητας 2%). Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = 0.263$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και < 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας για την κανονικότητα.

Επίσης για το ίδιο δείγμα (με ή χωρίς την λογαρίθμηση των τιμών των συγκεντρώσεων) ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.20$). Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) ήταν ανεπιτυχής γεγονός που αποδίδεται στον μικρό αριθμό των δεδομένων σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του τελευταίου αυτού ελέγχου. Στο Σχήμα 6.9 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων του βρωμίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



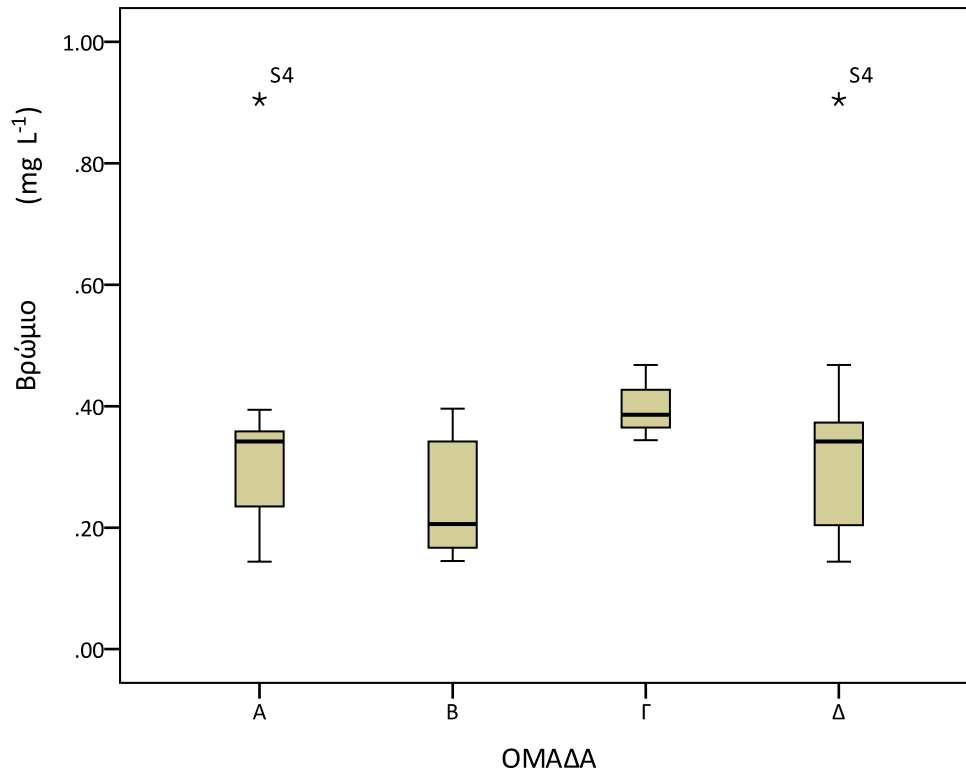
Σχήμα 6.9 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών βρωμίου στα υδατορεύματα της περιοχής έρευνας με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Πίνακας 6.6: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του βρωμίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.9 Σχήμα 6.7

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
0.14	1	5.26%
0.23	5	31.58%
0.36	8	73.68%
0,57	4	94.74%
0.91	1	100.00%

Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας και τον χωρισμό της υδρολογικής λεκάνης σε τρεις υπολεκάνες εξάγεται (Σχήμα 6.10) ότι τόσο στο Br^- όσο και στο Cl^- το δείγμα S4 εμφανίζεται να παρουσιάζει τιμή συγκέντρωσης αρκετά ανώμαλη.

Για την παράμετρο Br^- και για την ομάδα Α ο μέσος όρος 0.35 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 0.34 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση για το δείγμα αυτό είναι 0.20 mg L^{-1} ($\text{CV} = 57\%$). Η ομάδα Β παρουσιάζει μέσο όρο 0.25 mg L^{-1} και διάμεσο 0.21 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.11 mg L^{-1} ($\text{CV} = 44\%$). Ο μέσος όρος για την Γ ομάδα είναι 0.40 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 0.39 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.06 mg L^{-1} ($\text{CV} = 15\%$).



Σχήμα 6.10: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα βρωμίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

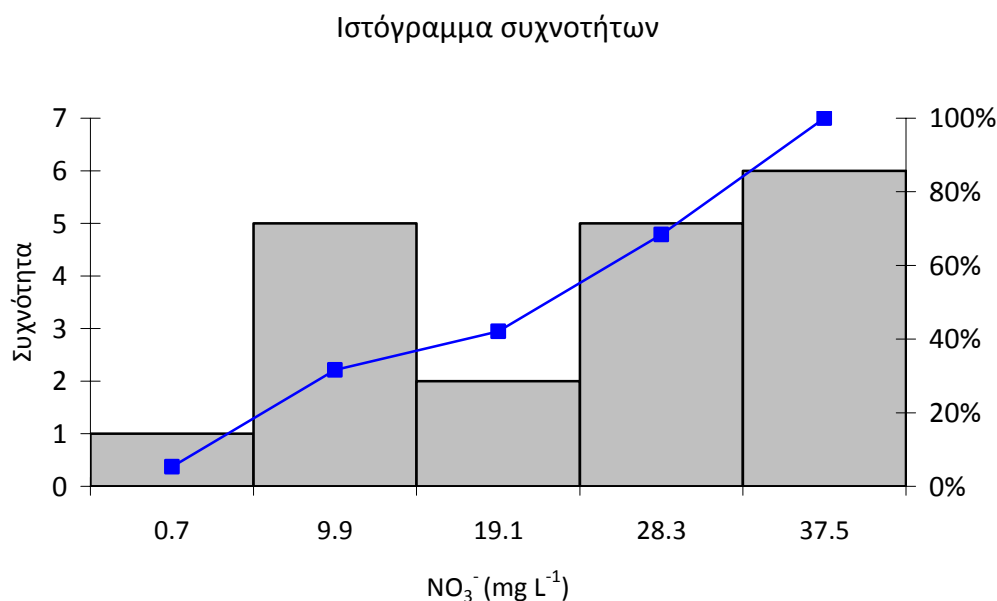
6.3.1.4 Νιτρικά (NO_3^-)

Για τα νιτρικά ιόντα η συγκέντρωση που προσδιορίστηκε κυμαίνεται από 0.70 έως 37.5 mg L^{-1} . Ο μέσος όρος είναι 20.4 mg L^{-1} και η διάμεσος 22.4 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 13.3 mg L^{-1} ($\text{CV} = 65\%$). Η κατανομή των νιτρικών ιόντων παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.137$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -1.499$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων, ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι $g = -0.137$ που κατ απόλυτη τιμή είναι μικρότερος από τον αποδεκτό συντελεστή ασυμμετρίας για επίπεδα σημαντικότητας 2% και 10%. Επίσης

υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -1.264$ (> 1.061 για $\alpha = 0.02$ και > 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας για την κανονικότητα. Επίσης για το ίδιο δείγμα (με ή χωρίς την λογαρίθμηση των τιμών των συγκεντρώσεων) ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.14$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.26$). Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) ήταν επιτυχής για την περίπτωση των μετρημένων συγκεντρώσεων ενώ στην περίπτωση των λογαριθμημένων τιμών αυτών, ο έλεγχος αυτός ήταν επιτυχής μόνο σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Δηλαδή ενώ οι αρχικές τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών είναι δυνατόν να προσεγγισθούν με κανονική κατανομή δεν συμβαίνει το ίδιο για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων. Στο Σχήμα 6.11 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των τιμών των νιτρικών ιόντων με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας (Σχήμα 6.14) η ομάδα Α για την παράμετρο των νιτρικών ιόντων παρουσιάζει μέσο όρο 28.3 mg L^{-1} και διάμεσο 29.8 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 9.86 mg L^{-1} ($CV = 35\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι 3.35 mg L^{-1} , η διάμεσος είναι 2.58 mg L^{-1} και η τυπική απόκλιση του δείγματος αυτού είναι αρκετά μεγάλη και προσδιορίζεται στο 3.70 mg L^{-1} ($CV = 110\%$) και παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση με τον συντελεστή μεταβλητότητας της Α ομάδας που έχει μεγαλύτερο μέσο όρο. Για την ομάδα Γ ο μέσος όρος είναι 20.0 mg L^{-1} , η διάμεσος 19.4 mg L^{-1} και η τυπική απόκλιση 2.16 mg L^{-1} ($CV = 11\%$).



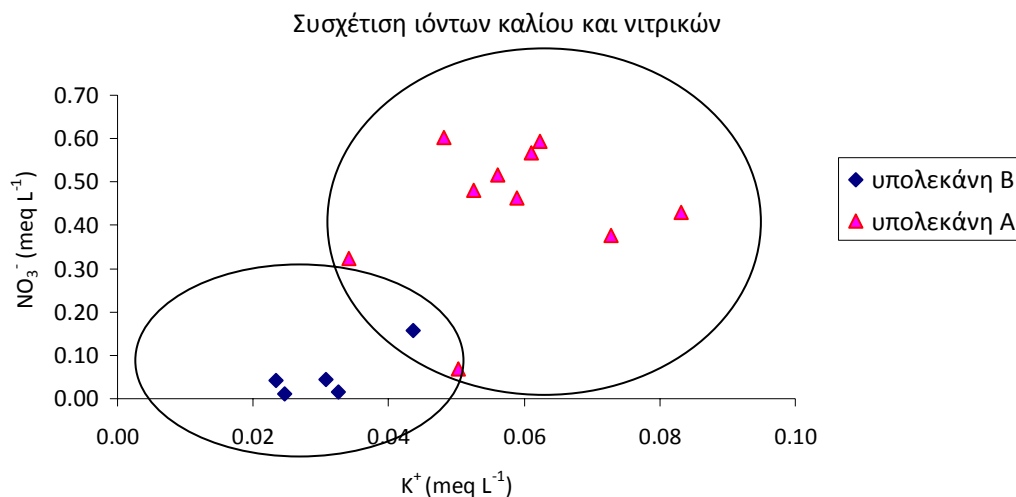
Σχήμα 6.11 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών των νιτρικών ιόντων στα υδατορεύματα της περιοχής έρευνας με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Πίνακας 6.7: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο των νιτρικών οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.11

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
0.7	1	5.26%
9.9	5	31.58%
19.1	1	36.84%
28.3	5	63.16%
37.5	7	100.00%

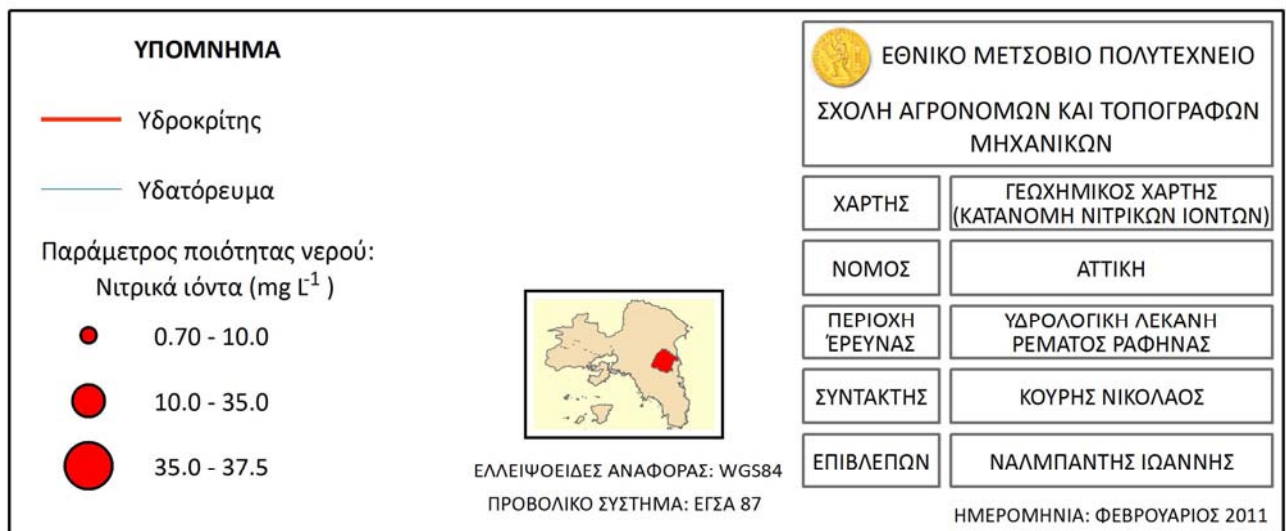
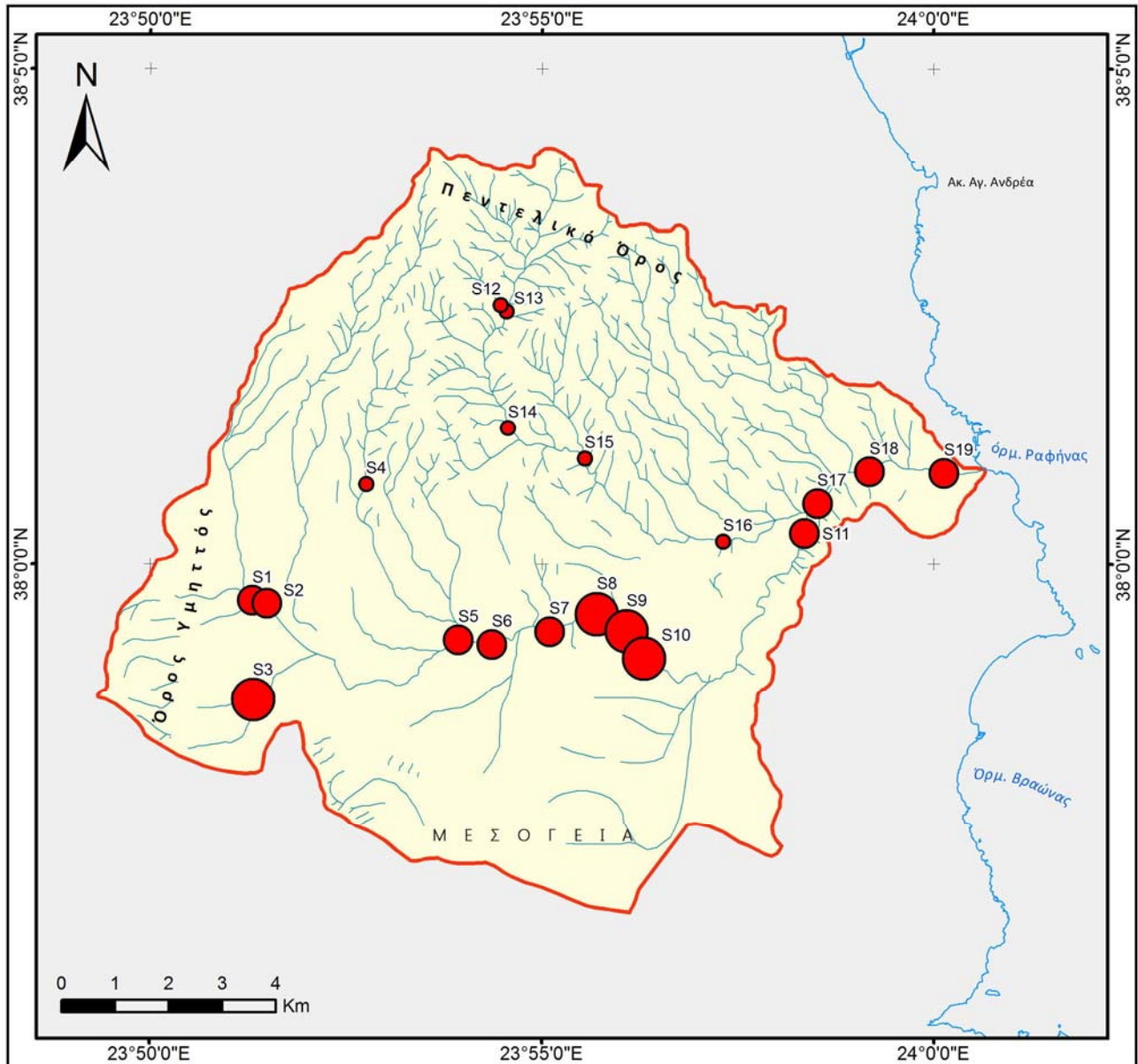
Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.13) παρουσιάζεται η διασπορά της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Η παρουσία των νιτρικών ιόντων, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, συνδέεται κυρίως με την αγροτική δραστηριότητα (χρήση λιπασμάτων). Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σχετικά με τις χρήσεις γης αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι η υπολεκάνη Α σε ποσοστό 64.4% χαρακτηρίζεται από αγροτική δραστηριότητα (αμπελώνες (17%), σύνθετες καλλιέργειες (42%) και γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης (5.4%)), ενώ οι αντίστοιχες δραστηριότητες στην υπολεκάνη Β καταλαμβάνουν ποσοστό 17.4% (αμπελώνες (10%), σύνθετες καλλιέργειες (3.3%) και γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης (4.1%)). Η διαφοροποίηση αυτή, στις δύο υπολεκάνες, αντικατοπτρίζεται στον χάρτη κατανομής των νιτρικών ιόντων. Δηλαδή ενώ στην υπολεκάνη Α σε γενικές γραμμές

επικρατούν μέσες και υψηλές συγκεντρώσεις με την διάμεση τιμή να προσδιορίζεται σε 30.5 mg L^{-1} , δεν συμβαίνει το ίδιο και για την υπολεκάνη Β όπου οι συγκεντρώσεις είναι πολύ χαμηλότερες με την διάμεση τιμή να είναι στα επίπεδα του 2.58 mg L^{-1} . Οι παραπάνω παρατηρήσεις διερευνήθηκαν με βάση της συσχέτιση των ιόντων. Το KNO_3 αποτελεί μία μορφή επιφανειακού λιπάσματος που χρησιμοποιείται στην γεωργία. Επομένως σε περίπτωση που τα νιτρικά ιόντα είναι αυξημένα αναμένεται μια αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 6.12) δίνεται η συσχέτιση μεταξύ των ιόντων καλίου και των νιτρικών. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι σε γενικές γραμμές στις θέσεις που παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές νιτρικών προσδιορίστηκαν και υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης καλίου ενώ αντίθετα στις θέσεις όπου οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ήταν χαμηλότερες αντίστοιχα χαμηλότερες ήταν και οι τιμές των ιόντων καλίου.

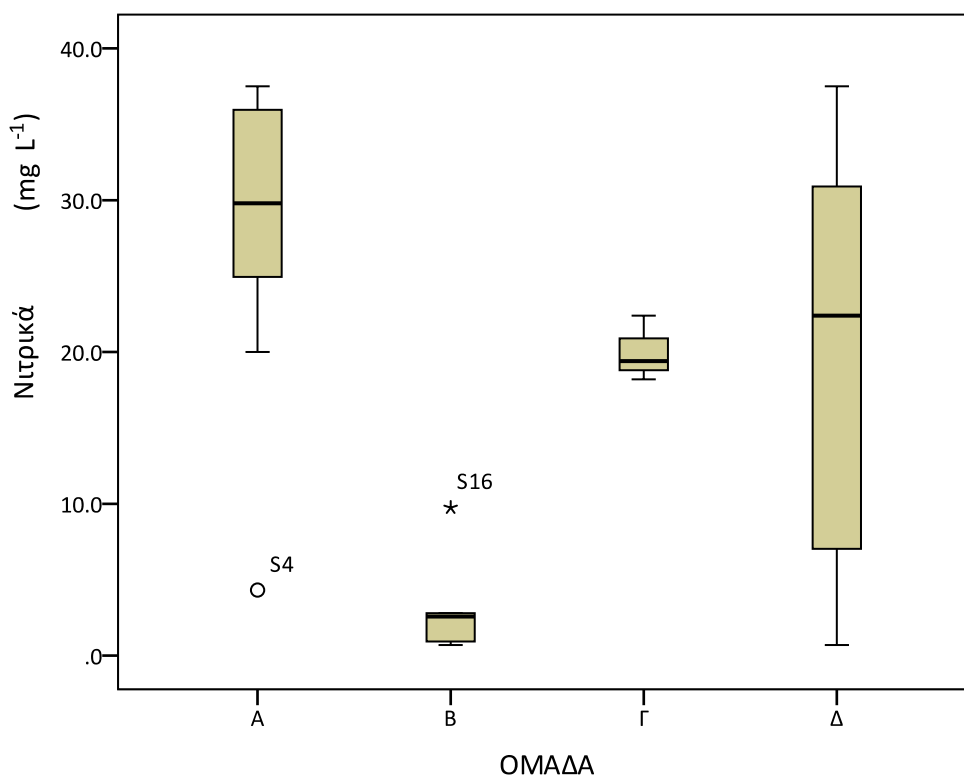


Σχήμα 6.12: Διάγραμμα συσχέτισης των μετρούμενων συγκεντρώσεων των ιόντων καλίου και νιτρικών για τις θέσεις δειγματοληψίας που βρίσκονται εντός των υπολεκανών Α και Β.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η αγροτική δραστηριότητα αποτελεί μια μορφή πίεσης του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής έρευνας, που έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του επιφανειακού νερού των υδατορευμάτων.



Σχήμα 6.13 Χάρτης κατανομής νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.14: Διάγραμμα πλαισίου για τα νιτρικά ιόντα που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

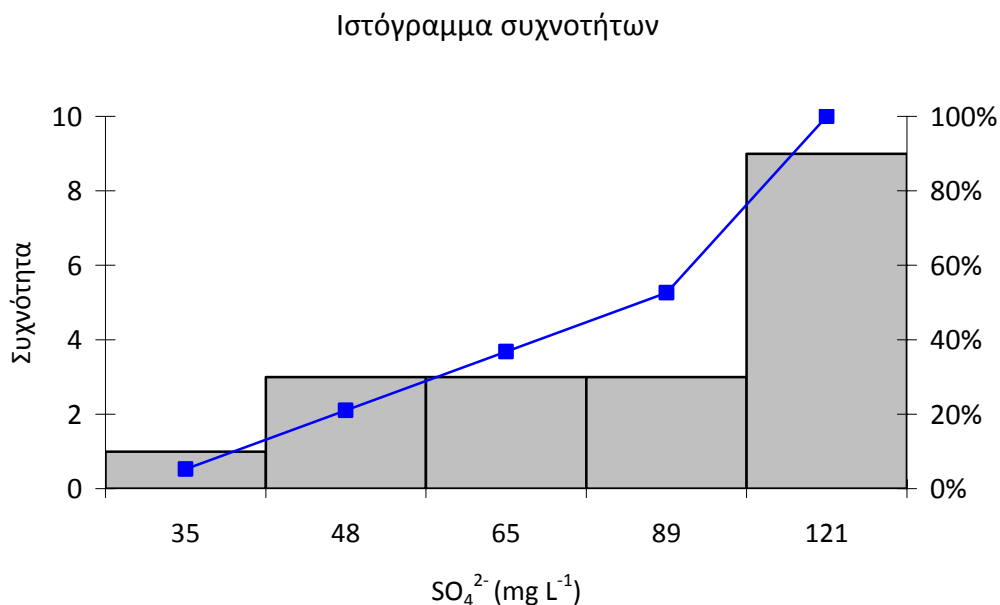
6.3.1.5 Θειικά (SO_4^{2-})

Η συγκέντρωση των θειικών κυμαίνεται από 35.0 έως 121 mg L^{-1} . Ο μέσος όρος είναι 77.0 mg L^{-1} και η διάμεσος 78.7 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 27.9 mg L^{-1} (CV = 36%). Η κατανομή των θειικών ιόντων παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.216$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -1.356$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων των θειικών ιόντων, ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι $g = -0.216$ που κατ απόλυτη τιμή είναι μικρότερος από τον αποδεκτό συντελεστή ασυμμετρίας για επίπεδα σημαντικότητας 2% και 10%. Επίσης υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0.59$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και $< 0,711$ για $\alpha = 0,10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων

ακολουθούν επίσης την κανονική κατανομή αλλά με πιο έντονη ασυμμετρία, σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας για την κανονικότητα. Επίσης για το ίδιο δείγμα (με ή χωρίς την λογαρίθμηση των τιμών των συγκεντρώσεων) ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.14$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.16$). Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) ήταν επιτυχής για την περίπτωση των μετρημένων συγκεντρώσεων ενώ στην περίπτωση των λογαριθμημένων τιμών ο έλεγχος αυτός ήταν επιτυχής μόνο σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Το μικρό μέγεθος του δείγματος δεν οδηγεί όπως και για τα υπόλοιπα ιόντα σε ασφαλή συμπεράσματα, αλλά ο έλεγχος αυτός παρέχει τις απαραίτητες ενδείξεις ώστε να μπορεί να υποθεθεί κανονικότητα του δείγματος για περαιτέρω στατιστική ανάλυση. Στο Σχήμα 6.15 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών των θειικών ιόντων με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο συγκέντρωσης θειικών ιόντων 84.9 mg L^{-1} ενώ η διάμεσος είναι 89.9 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 20.8 mg L^{-1} (CV=25%). Στην ομάδα Β ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε 42.1 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 38.8 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 10.1 mg L^{-1} (CV=24%). Στην ομάδα Γ ο μέσος όρος είναι 106 mg L^{-1} και η διάμεσος 105 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση 4.58 mg L^{-1} (CV=4.3%). Στο Σχήμα 6.16 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα πλαισίου για την παράμετρο αυτή.



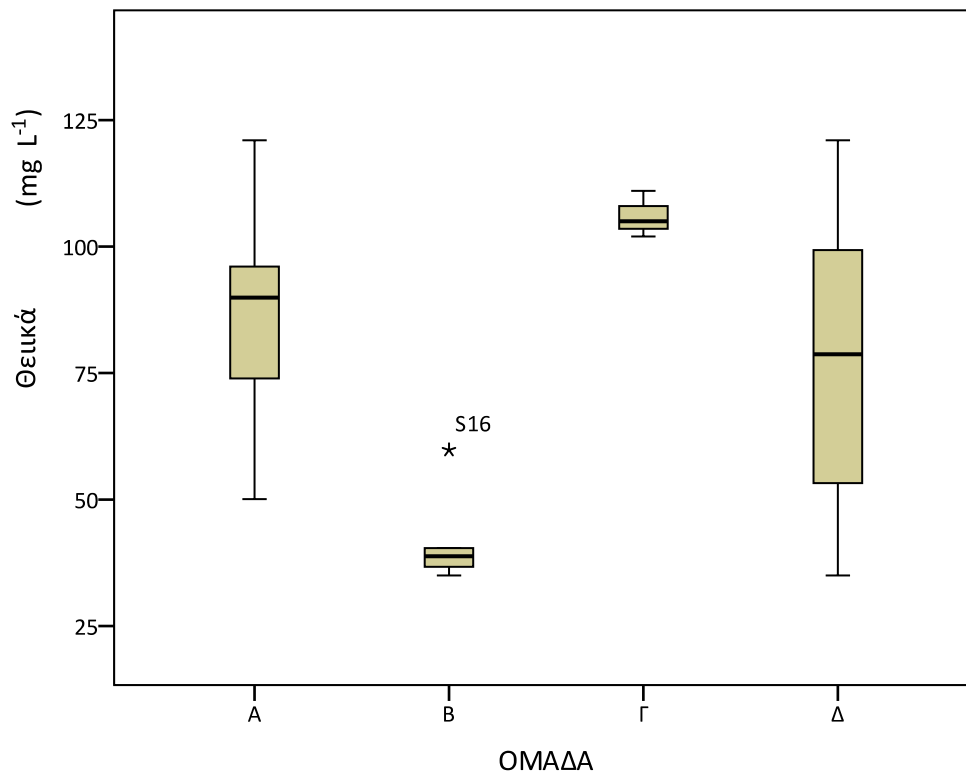
Σχήμα 6.15 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών των θειικών ιόντων με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Πίνακας 6.8: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο των θειικών οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.15 Σχήμα 6.7

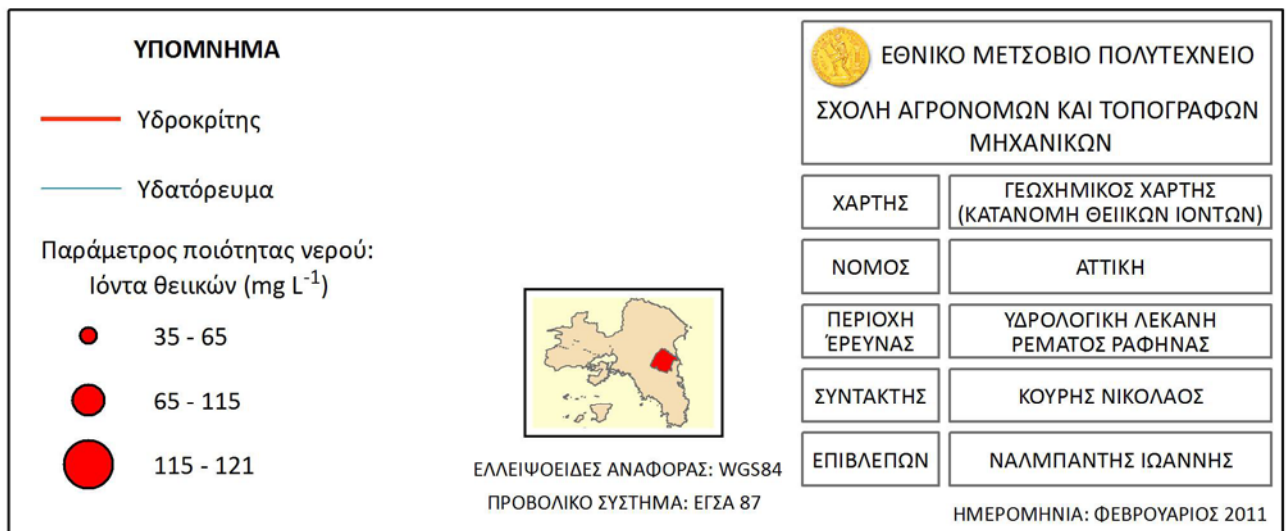
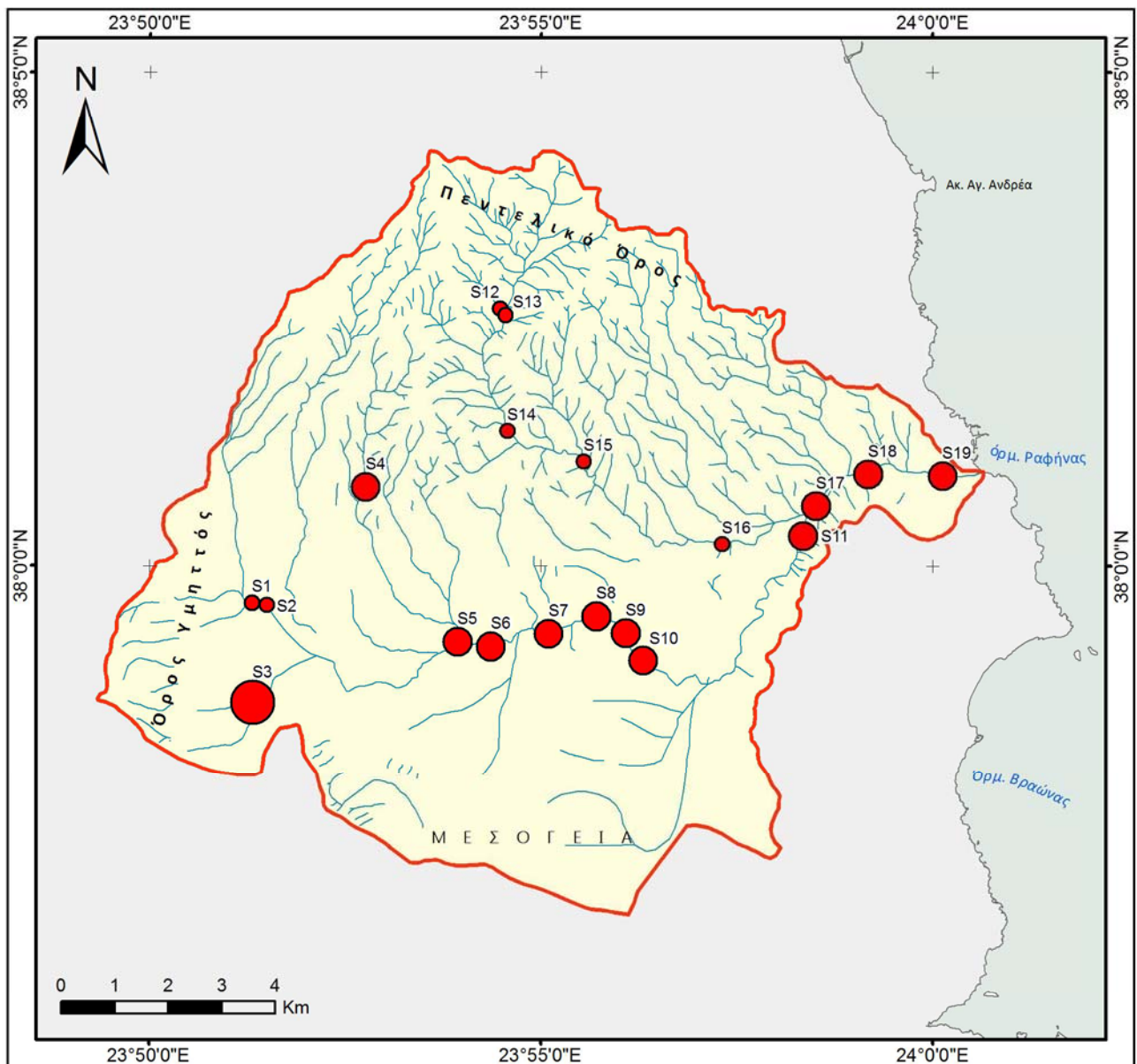
ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
35	1	5.26%
48	3	21.05%
65	3	36.84%
89	3	52.63%
121	9	100.00%

Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.17) παρουσιάζεται η διασπορά της συγκέντρωσης των θειικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Όπως γίνεται φανερό από τον χάρτη αυτό οι θέσεις δειγματοληψίας που ανήκουν στην υπολεκάνη Α εμφανίζονται αρκετά επιβαρυμένες με την διάμεσο των συγκεντρώσεων να κυμαίνεται στα επίπεδα 89.9 mg L⁻¹. Στην υπολεκάνη Β οι συγκεντρώσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες αλλά επίσης σημαντικές με την διάμεσο των συγκεντρώσεων να προσδιορίζεται σε 42.1 mg L⁻¹. Η προέλευση των θειικών ιόντων μπορεί να είναι είτε φυσική, είτε να συνδέεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η παρουσία των ιόντων αυτών σε αυτά τα επίπεδα συγκέντρωσης συνδέονται με την διάλυση ορυκτών που περιέχουν θειικές ρίζες (γύψος, ανυδρίτης) τα οποία εμφανίζονται στις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις και για τον λόγο αυτό τα

Θειικά εμφανίζονται αυξημένα στην υπολεκάνη A σε σχέση με την B υπολέκانه στην οποία εμφανίζεται το αλκικό υπόβαθρο.



Σχήμα 6.16: Διάγραμμα πλαισίου για τα θειικά ιόντα που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.17 Χάρτης κατανομής θεικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

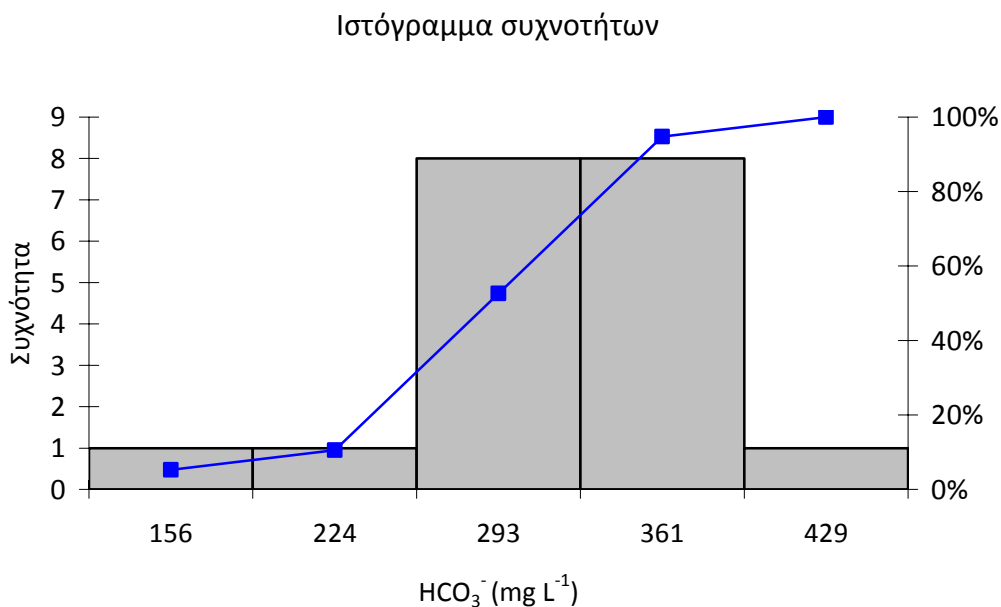
6.3.1.6 Όξινες ανθρακικές (HCO_3^-) και ανθρακικές ρίζες (CO_3^{2-})

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα όξινα ανθρακικά και οι ανθρακικές ρίζες. Όπως έχει προαναφερθεί στην παράγραφο προσδιορισμού της αλκαλικότητας η παρουσία των ανθρακικών ριζών εξαρτάται άμεσα από το pH. Επειδή επικρατεί η μορφή των όξινων ανθρακικών στην αλκαλικότητα επιλέχθηκε η μορφή αυτή για τον έλεγχο της κανονικότητας της κατανομής. Για τον προσδιορισμό των περιγραφικών στατιστικών των ανθρακικών ριζών συμπεριλαμβάνονται και οι θέσεις όπου δεν ανιχνεύτηκε η μορφή αυτή της αλκαλικότητας.

Η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 156 έως 429 mg L^{-1} . Ο μέσος όρος υπολογίζεται σε 290 mg L^{-1} , η διάμεσος 290 mg L^{-1} , η τυπική απόκλιση 62.4 mg L^{-1} (CV = 21%). Για τις ανθρακικές ρίζες η συγκέντρωση κυμαίνεται από μη ανιχνεύσιμες τιμές έως και 36 mg L^{-1} ενώ οι αντίστοιχες στατιστικές παράμετροι είναι 13 mg L^{-1} , 8.4 mg L^{-1} , 11 mg L^{-1} (CV = 85%). Η κατανομή των όξινων ανθρακικών παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 0.045$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 0.566$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής των όξινων ανθρακικών ιόντων πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων προκύπτει συντελεστής ασυμμετρίας $g = 0.045$ που από τον αποδεκτό συντελεστή ασυμμετρίας για τον έλεγχο κανονικότητας για επίπεδα σημαντικότητας 2% και 10%. Επίσης υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0.754$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ αλλά $> 0,711$ για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων με τον έλεγχο αυτό ακολουθούν την κανονική κατανομή για επίπεδο σημαντικότητας 2% ενώ ο έλεγχος αποτυγχάνει σε επίπεδο σημαντικότητας 10%. Παρά το γεγονός αυτό είναι επιτυχείς τόσο ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.09$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.19$) όσο και ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) για την περίπτωση των μετρημένων συγκεντρώσεων και των

λογαριθμημένων τιμών αυτών. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.18 και Σχήμα 6.19) απεικονίζονται τα αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών ιόντων για τις μετρημένες συγκεντρώσεις και τις λογαριθμημένες τιμές αυτών .



Σχήμα 6.18 Ιστόγραμμα κατανομής των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών ιόντων με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

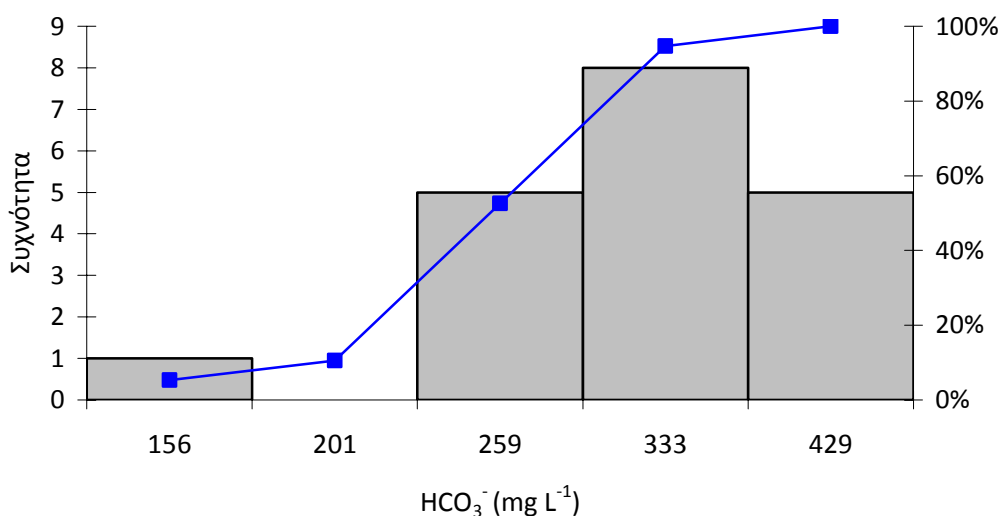
Πίνακας 6.9: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο των όξινων ανθρακικών οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.18

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
156	1	5.26%
224	1	10.53%
293	8	52,63%
361	8	94.74%
429	1	100.00%

Πίνακας 6.10: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο των όξινων ανθρακικών οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.19

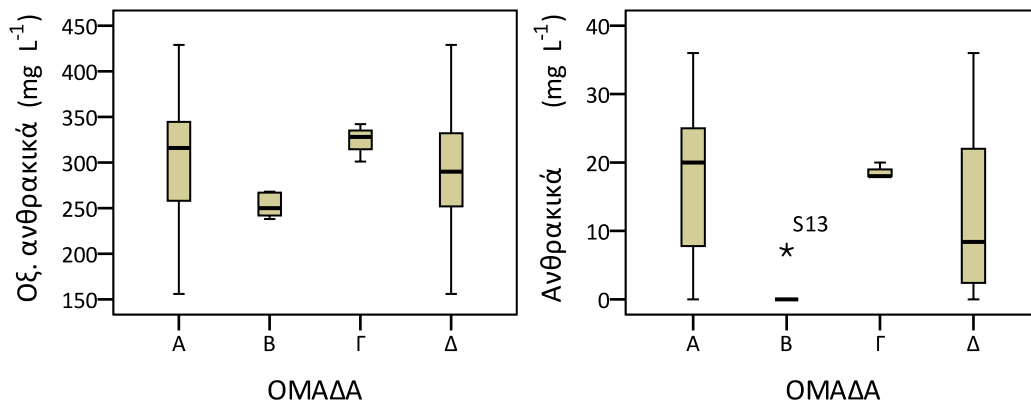
ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
156	1	5,26%
201	0	5,26%
259	5	31,58%
333	8	73,68%
429	5	100,00%

Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.19 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών ιόντων με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Με βάση την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας προκύπτει ότι για την ομάδα Α η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών είναι 298 mg L^{-1} και των ανθρακικών 17 mg L^{-1} , ενώ οι αντίστοιχοι διάμεσοι είναι 316 mg L^{-1} και 20 mg L^{-1} . Οι τυπικές αποκλίσεις των αντίστοιχων ιόντων είναι 75.8 mg L^{-1} (CV = 25%) και 11 mg L^{-1} (CV = 65%). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών είναι 253 mg L^{-1} και των ανθρακικών 1.4 mg L^{-1} . Για τα όξινα ανθρακικά η διάμεσος είναι 250 mg L^{-1} και η τυπική απόκλιση 13.9 mg L^{-1} (CV = 5.5%). Επειδή για την ομάδα Β μόνο σε μία θέση οι χημικές συνθήκες ήταν τέτοιες ώστε να υπάρχει η μορφή των ανθρακικών, δεν προσδιορίστηκαν τα υπόλοιπα στατιστικά μεγέθη για την υπολεκάνη αυτή. Για την ομάδα Γ, ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών είναι 324 mg L^{-1} και των ανθρακικών 19 mg L^{-1} . Οι διάμεσοι αντίστοιχα είναι 328 mg L^{-1} και 18 mg L^{-1} . Οι τυπικές αποκλίσεις και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταβλητότητας είναι 20.8 mg L^{-1} (CV = 6.4%) για τα όξινα ανθρακικά και 1.1 mg L^{-1} (CV = 5.6%) για τα ανθρακικά.



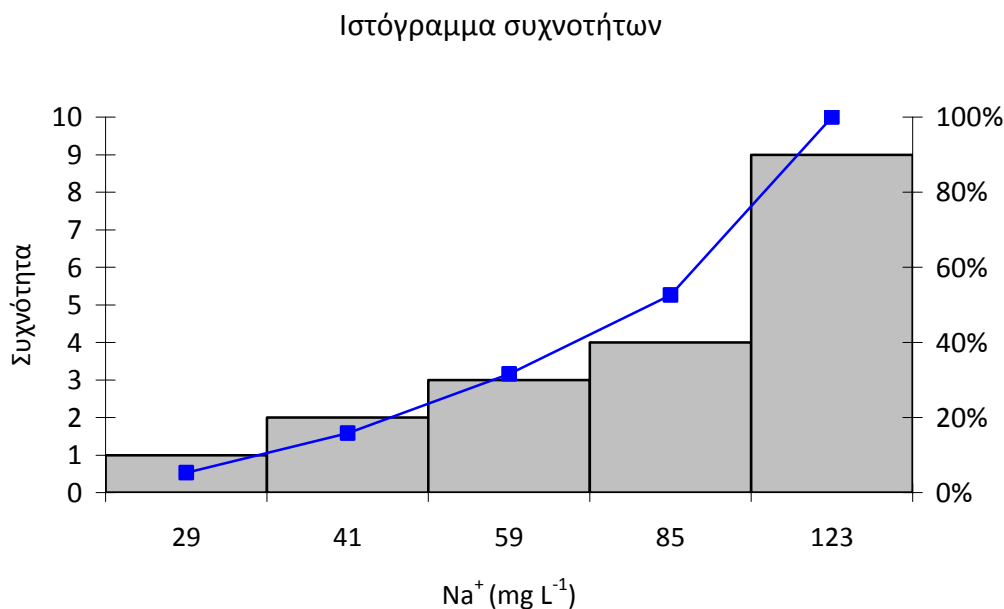
Σχήμα 6.20: Διάγραμμα πλαισίου για τα όξινα ανθρακικά και ανθρακικά ιόντα που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.7 Νάτριο (Na⁺)

Η συγκέντρωση του νατρίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 28.7 έως 123 mg L⁻¹. Ο μέσος όρος είναι 76.4 mg L⁻¹ και η διάμεσος 84.4 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 29.2 mg L⁻¹ (CV = 38%). Η κατανομή των ιόντων νατρίου παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.308$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -1.125$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Κολμογορον - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων προκύπτει συντελεστής ασυμμετρίας $g = -0.308$ που κατ απόλυτη τιμή είναι αποδεκτός συντελεστής ασυμμετρίας για τον έλεγχο κανονικότητας για επίπεδα σημαντικότητας 2% και 10%. Επίσης υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0.800$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ αλλά > 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων με τον έλεγχο αυτό ακολουθούν την κανονική κατανομή για επίπεδο σημαντικότητας 2% ενώ ο έλεγχος αποτυγχάνει σε επίπεδο σημαντικότητας 10%. Παρά το γεγονός αυτό είναι επιτυχείς τόσο ο έλεγχος Κολμογορον-Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.13$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.16$) όσο και ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) για την περίπτωση των μετρημένων συγκεντρώσεων και των λογαριθμημένων τιμών των

συγκεντρώσεων. Στο Σχήμα 6.21 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων των ιόντων νατρίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.21 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του νατρίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

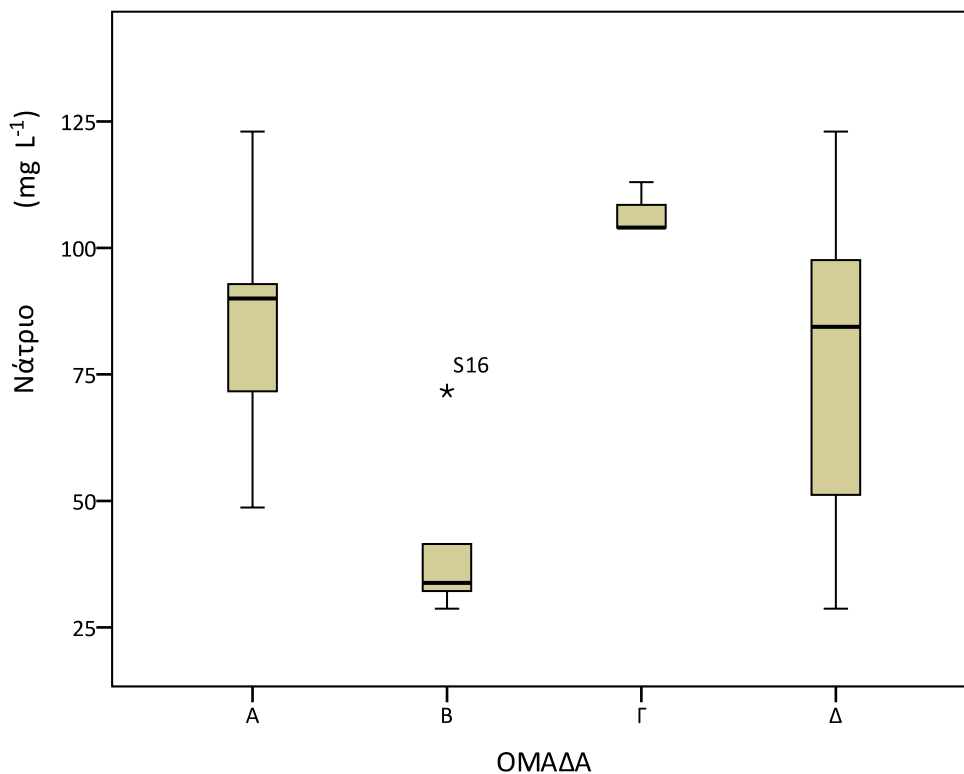
Πίνακας 6.11: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του νατρίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.21

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
29	1	5.26%
41	2	15.79%
59	3	31.58%
85	4	52.63%
123	9	100.00%

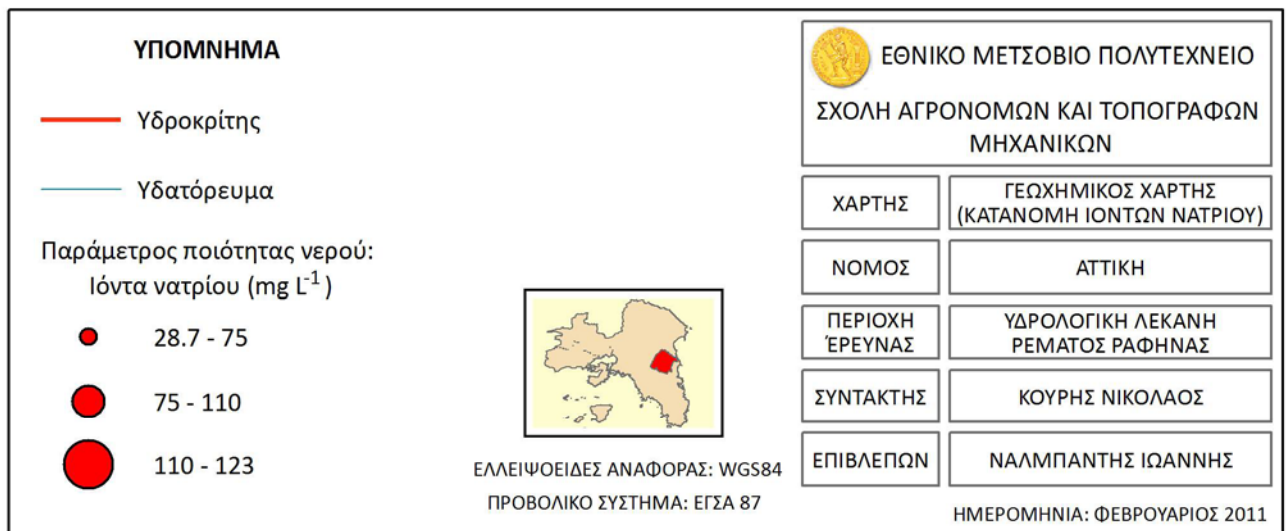
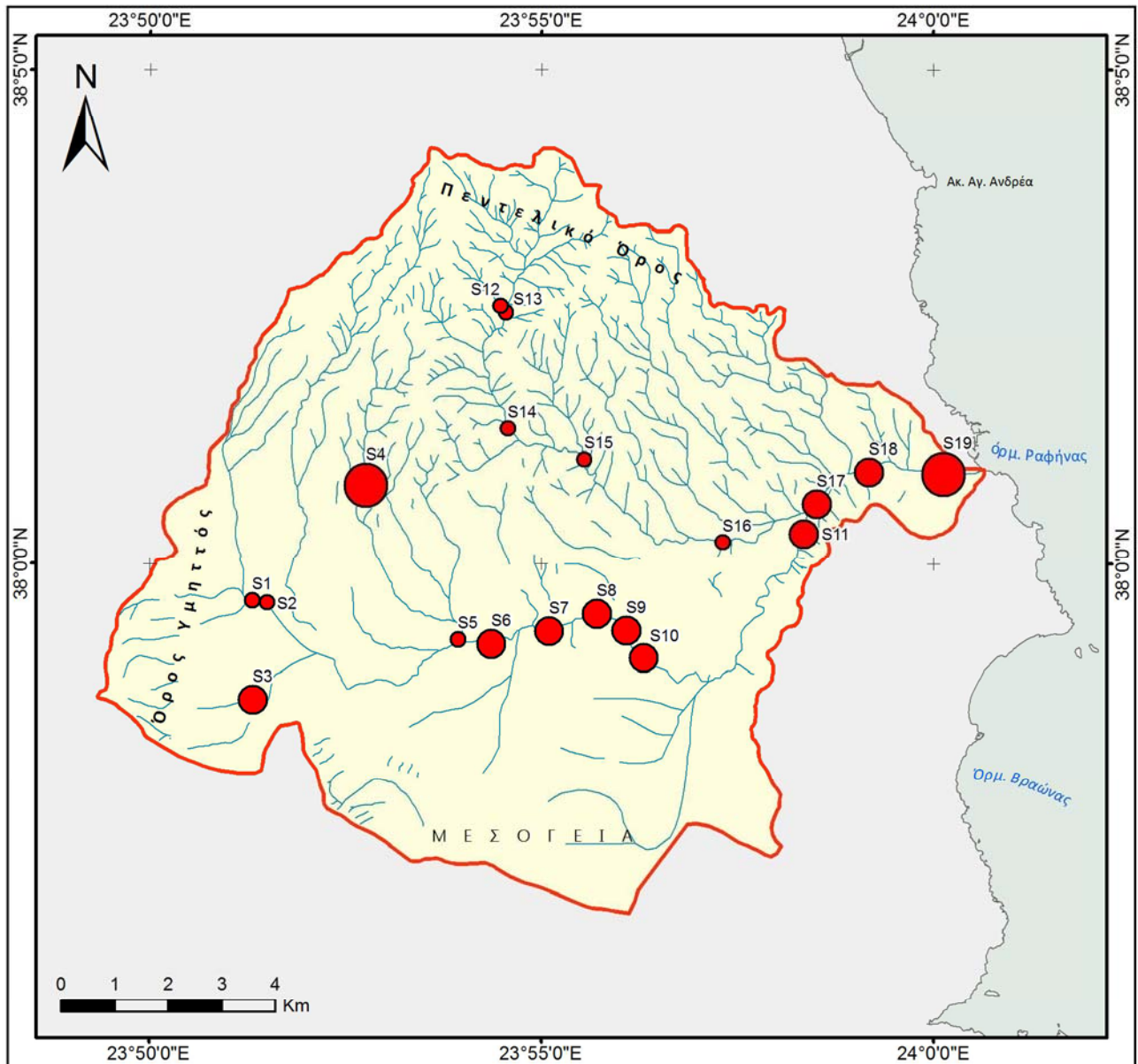
Λαμβάνοντας υπόψη τις διακριθείσες υπολεκάνες της περιοχής έρευνας προκύπτει για το νάτριο και αναφερόμενοι στην ομάδα Α ο μέσος όρος είναι 83.9 mg L⁻¹ και η διάμεσος 90.0 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 21.4 mg L⁻¹ (CV = 26%). Η ομάδα Β παρουσιάζει χαμηλότερο μέσο όρο ο οποίος είναι 41.6 mg L⁻¹ και η διάμεσος είναι 33.8 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 17.5 mg L⁻¹ (CV = 42%). Ο μέσος όρος για την ομάδα Γ είναι 107 mg L⁻¹ και η διάμεσος 104 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 5.20 mg L⁻¹ (CV = 4.8%).

Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.23) παρουσιάζεται η κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Για την περίπτωση του

νατρίου αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι γενικά οι συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας είναι υψηλές (η ελάχιστη συγκέντρωση που προσδιορίστηκε ήταν στην θέση S12 με τιμή 28.7 mg L^{-1}) και επίσης ότι υπάρχει διαφοροποίηση σημαντική μεταξύ των δύο υπολεκάνων Α και Β ανάλογη με αυτή που παρατηρήθηκε και σε ορισμένα ανιόντα. Στην υπολεκάνη Β η παρουσία του νατρίου είναι σημαντική ενώ αυξάνει προς την κατάντη θέση S16. Η σημαντική επιφανειακή εξάπλωση του σχιστολίθου στην ανάντη περιοχή της υπολεκάνης (καταλαμβάνει ποσοστό 43% αυτής) φαίνεται να συνδέεται στενά με τις σημαντικές συγκεντρώσεις νατρίου που προσδιορίστηκαν στις θέσεις S12-S15 ενώ η αυξημένη τιμή του στην θέση S16 είναι πιθανό να οφείλεται στον αναπτυσσόμενο αστικό περιβάλλον, γεγονός που παρατηρήθηκε επίσης για την περίπτωση των θειικών ιόντων για την ίδια θέση.



Σχήμα 6.22: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα νατρίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



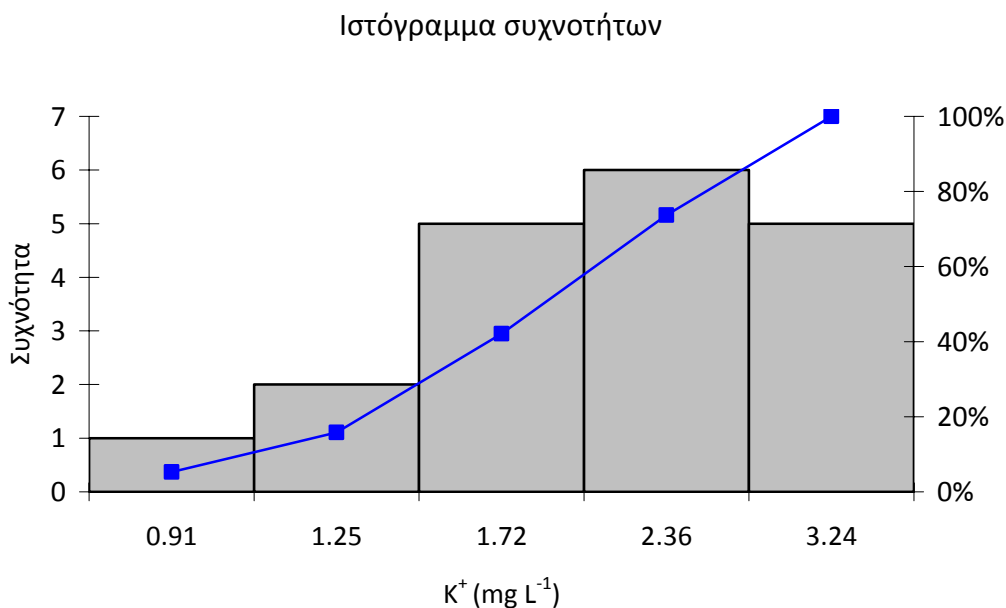
Σχήμα 6.23 Χάρτης κατανομής νατρίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.8 Κάλιο (K^+)

Η συγκέντρωση του καλίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.91 έως 3.24 $mg L^{-1}$. Ο μέσος όρος είναι 1.91 $mg L^{-1}$ και η διάμεσος 1.96 $mg L^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0,65 $mg L^{-1}$ ($CV = 34\%$). Η κατανομή του καλίου παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 0.192$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -0.711$) σε σχέση με την κανονική κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση το στατιστικό δείγμα των μετρημένων συγκεντρώσεων των ιόντων καλίου, ο συντελεστής ασυμμετρίας ($g = 0.192$) της κατανομής είναι αποδεκτός (< 1.061 για επίπεδο σημαντικότητας 2% και < 0.711 για επίπεδο σημαντικότητας 10%). Επίσης υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Στην περίπτωση αυτή η νέα κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0.387$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και < 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι οι λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας για την κανονικότητα. Επίσης για το ίδιο δείγμα ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov - Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{max} = 0.12$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{max} = 0.10$). Ο έλεγχος χ^2 για την κανονική κατανομή σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας (1%, 5%, 10%) ήταν επίσης επιτυχής. Στο Σχήμα 6.24 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών του καλίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Με βάση την χωρική διασπορά των θέσεων δειγματοληψίας προκύπτει ότι η ομάδα Α για το ιόν του καλίου παρουσιάζει μέσο όρο 2.26 $mg L^{-1}$ και η διάμεσος είναι 2.29 $mg L^{-1}$. Η τυπική απόκλιση του δείγματος αυτού προσδιορίζεται 0.50 $mg L^{-1}$ ($CV = 22\%$). Στην ομάδα Β ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε 1.21 $mg L^{-1}$ και η διάμεσος 1.20 $mg L^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.31 $mg L^{-1}$ ($CV = 26\%$). Τέλος ο μέσος όρος για την ομάδα Γ είναι 1.81 $mg L^{-1}$ και η διάμεσος 1.43 $mg L^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.69 $mg L^{-1}$ ($CV = 38\%$). Στο Σχήμα 6.25 παρουσιάζονται τα διαγράμματα πλαισίου για την παράμετρο του καλίου.

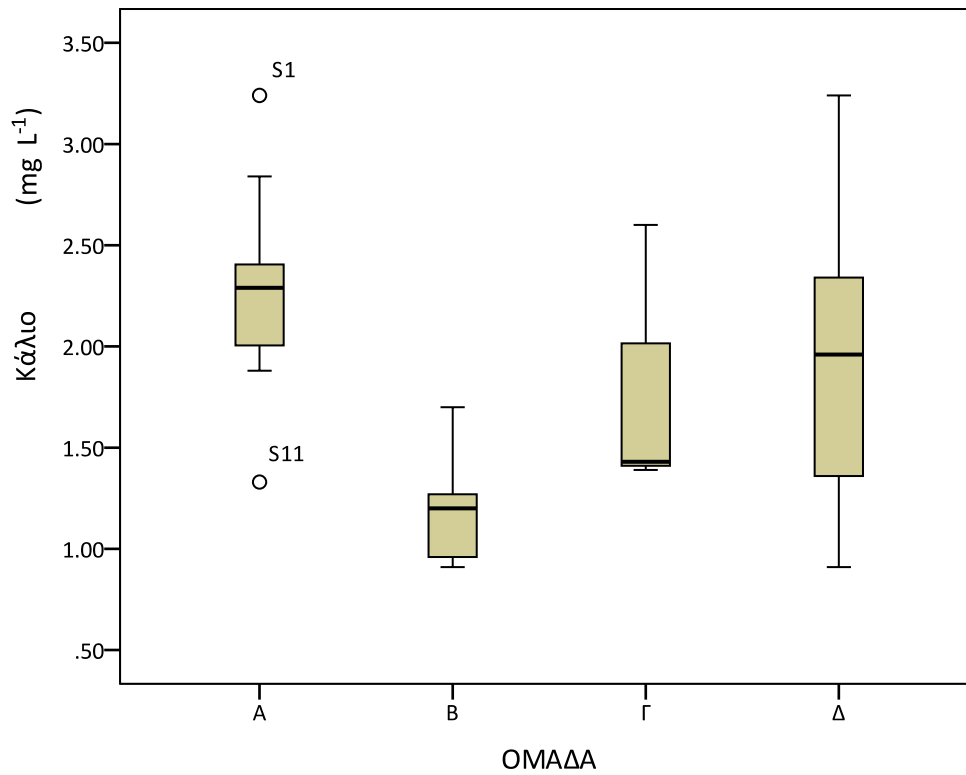


Σχήμα 6.24 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του καλίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

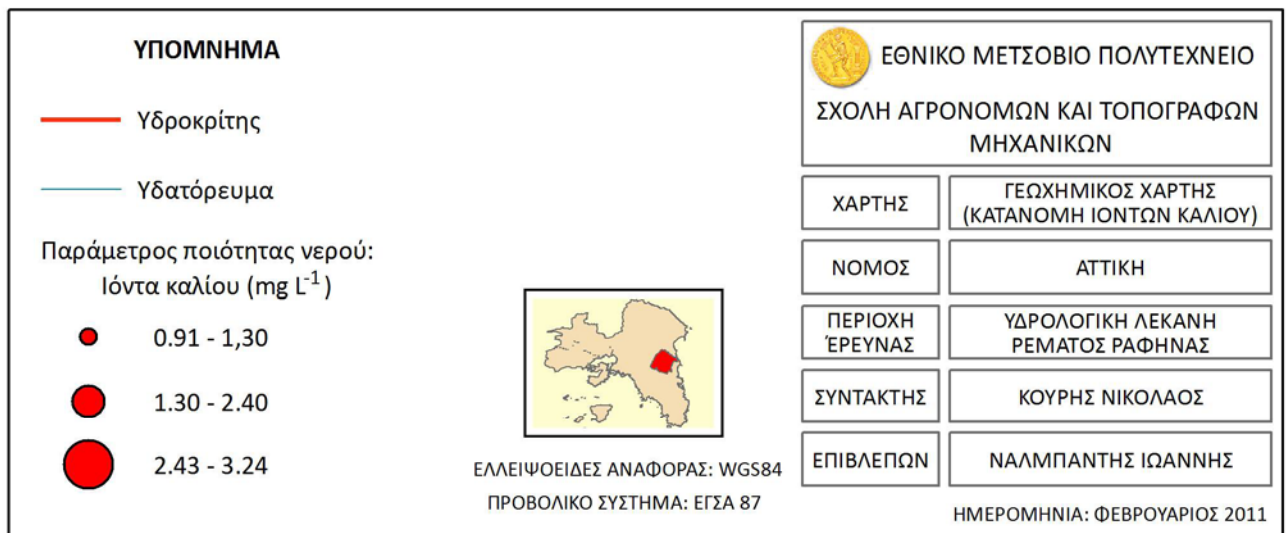
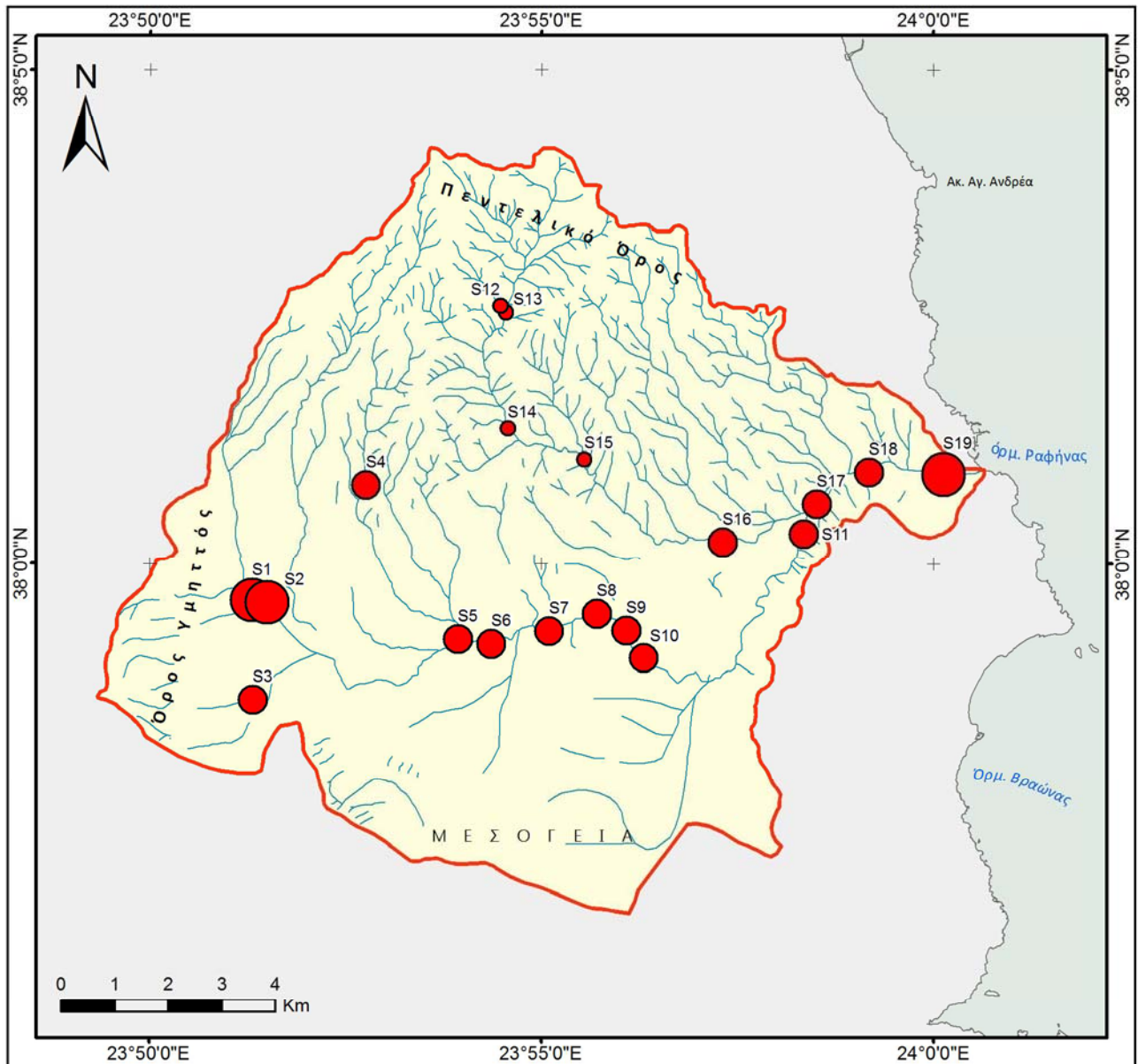
Πίνακας 6.12: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του καλίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.24

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
0.91	1	5.26%
1.25	2	15.79%
1.72	5	42.11%
2.36	6	73.68%
3.24	5	100.00%

Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.26) παρουσιάζεται η διασπορά της συγκέντρωσης των ιόντων καλίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Η εικόνα που παρατηρείται δεν μεταβάλλεται σημαντικά από αυτή που παρατηρήθηκε σε προηγούμενα ιόντα. Έτσι για τις θέσεις δειγματοληψίας της υπολεκάνης Α προσδιορίστηκαν μέτριες ως υψηλές συγκεντρώσεις καλίου που φαίνεται να συνδέονται κυρίως με την ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς το ρέμα διέρχεται από κατοικημένες περιοχές και περιοχές με αγροτική δραστηριότητα (σύμφωνα με τον χάρτη χρήσεων γης το παραπάνω ποσοστό ανέρχεται σε επίπεδα 85% της έκτασης της υπολεκάνης Α). Αντίθετα στην υπολεκάνη Β οι τιμές του καλίου είναι σημαντικά μικρότερες. Το αντίστοιχο ποσοστό που συνδέεται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες ανέρχεται στο 43% το οποίο δείχνει να επηρεάζει την θέση S16 όπως παρατηρήθηκε και για το ιόν του χλωρίου όσο και για τα νιτρικά ιόντα. Έτσι πιθανή αιτία της αύξησης αυτής μπορεί να είναι η χρήση αζωτούχων επιφανειακών λιπασμάτων.



Σχήμα 6.25 Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα καλίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



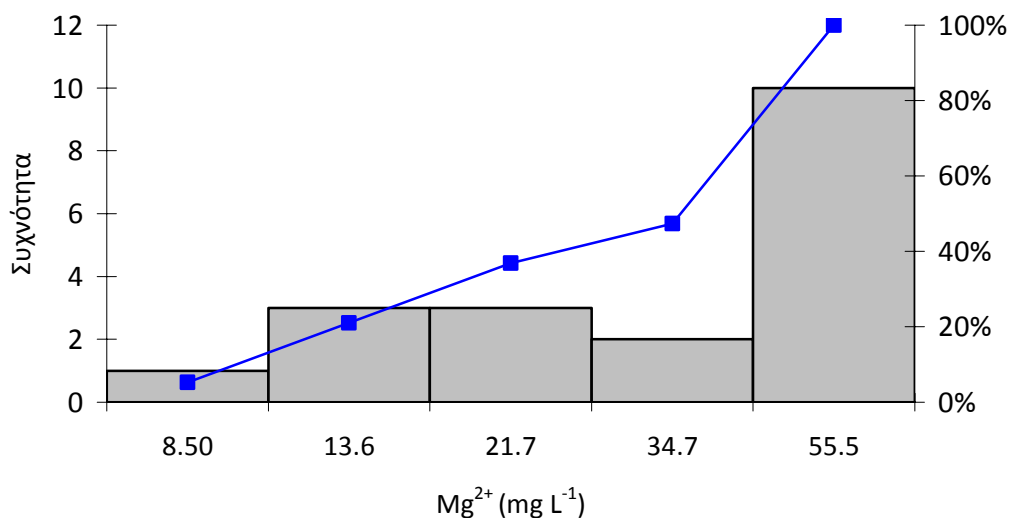
Σχήμα 6.26 Χάρτης κατανομής καλίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.9 Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Η συγκέντρωση του μαγνησίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 8.50 έως 55.5 $mg L^{-1}$. Ο μέσος όρος είναι 33.7 $mg L^{-1}$ και η διάμεσος 40.3 $mg L^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 18.3 $mg L^{-1}$ (CV = 54%). Με βάση τα περιγραφικά στατιστικά η κατανομή του μαγνησίου παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.184$) ενώ με βάση τον συντελεστή κύρτωσης ($k = -1.753$) συμπεραίνεται ότι πρόκειται για πλατύκυρτη κατανομή.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε κατ' απόλυτο τιμή είναι αποδεκτός (δηλαδή < 1.061 για επίπεδο σημαντικότητας 2% και < 0.711 για επίπεδο σημαντικότητας 10%) ώστε η υπόθεση της κανονικότητας να είναι αποδεκτή. Επίσης, υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Η νέα κατανομή που προκύπτει παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = -0,601$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και < 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι και για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων η υπόθεση της κανονικότητας είναι αποδεκτή. Επίσης για το ίδιο δείγμα ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5%, 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{max} = 0.16$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{max} = 0.20$). Ο έλεγχος χ^2 για την κανονική κατανομή ήταν επιτυχής σε επίπεδο μόνο 1% ενώ στην περίπτωση των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων η αποδοχή του ελέγχου ήταν σε επίπεδα σημαντικότητας 1% και 5%. Στο Σχήμα 6.27 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των λογαριθμημένων τιμών των ιόντων μαγνησίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.27 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του μαγνησίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

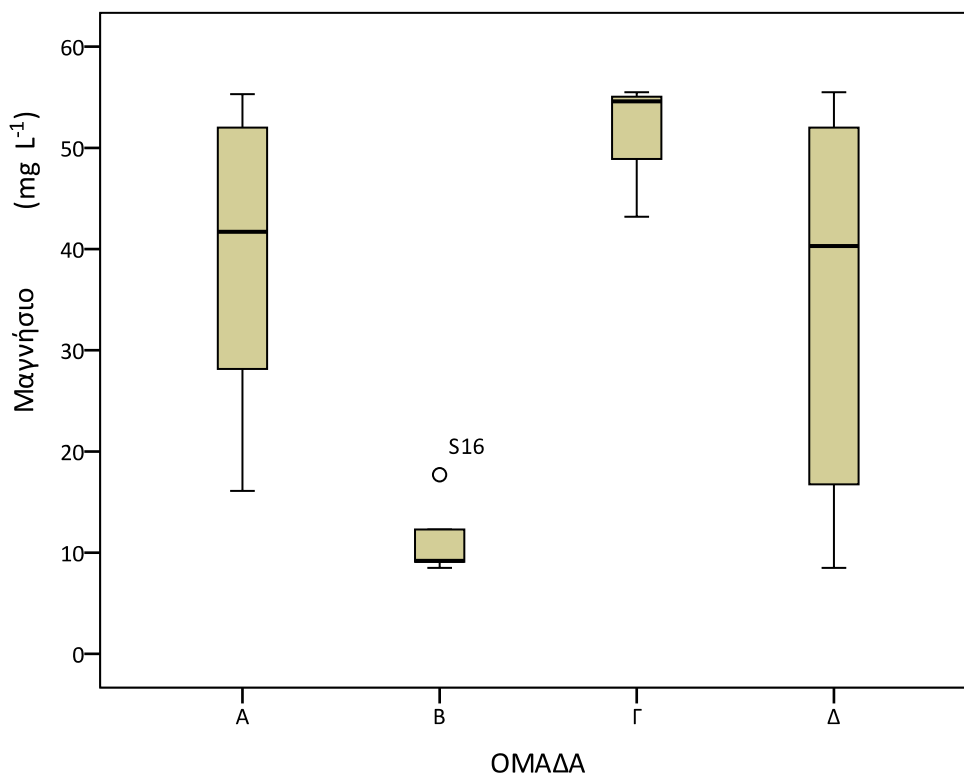
Πίνακας 6.13: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του μαγνησίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.27

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
8.50	1	5.26%
13.6	3	21.05%
21.7	3	36.84%
34.7	2	47.37%
55.5	10	100.00%

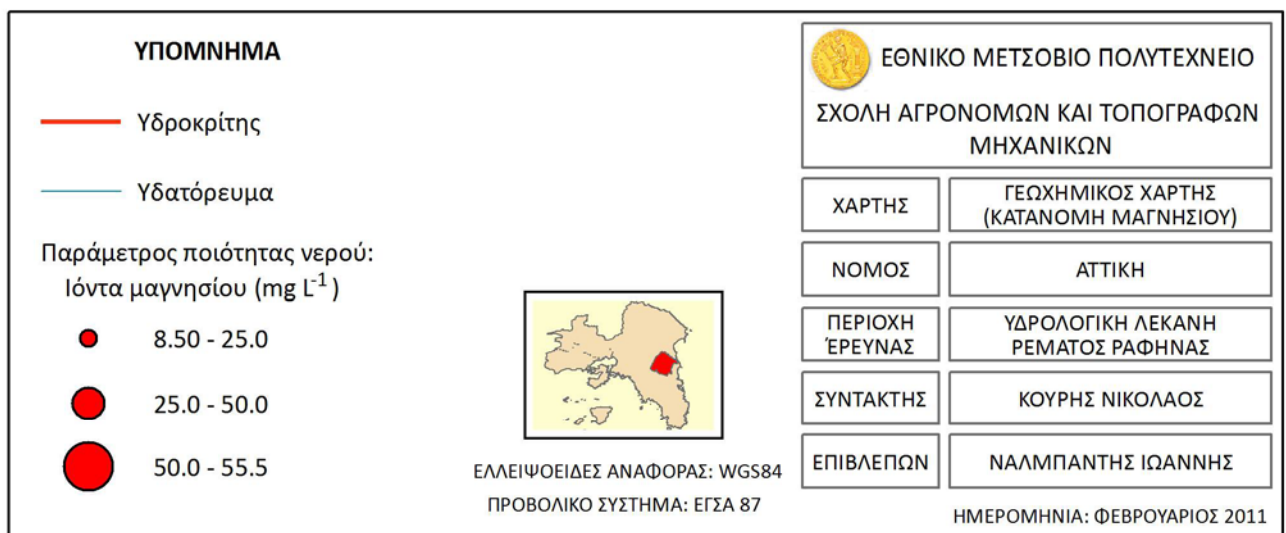
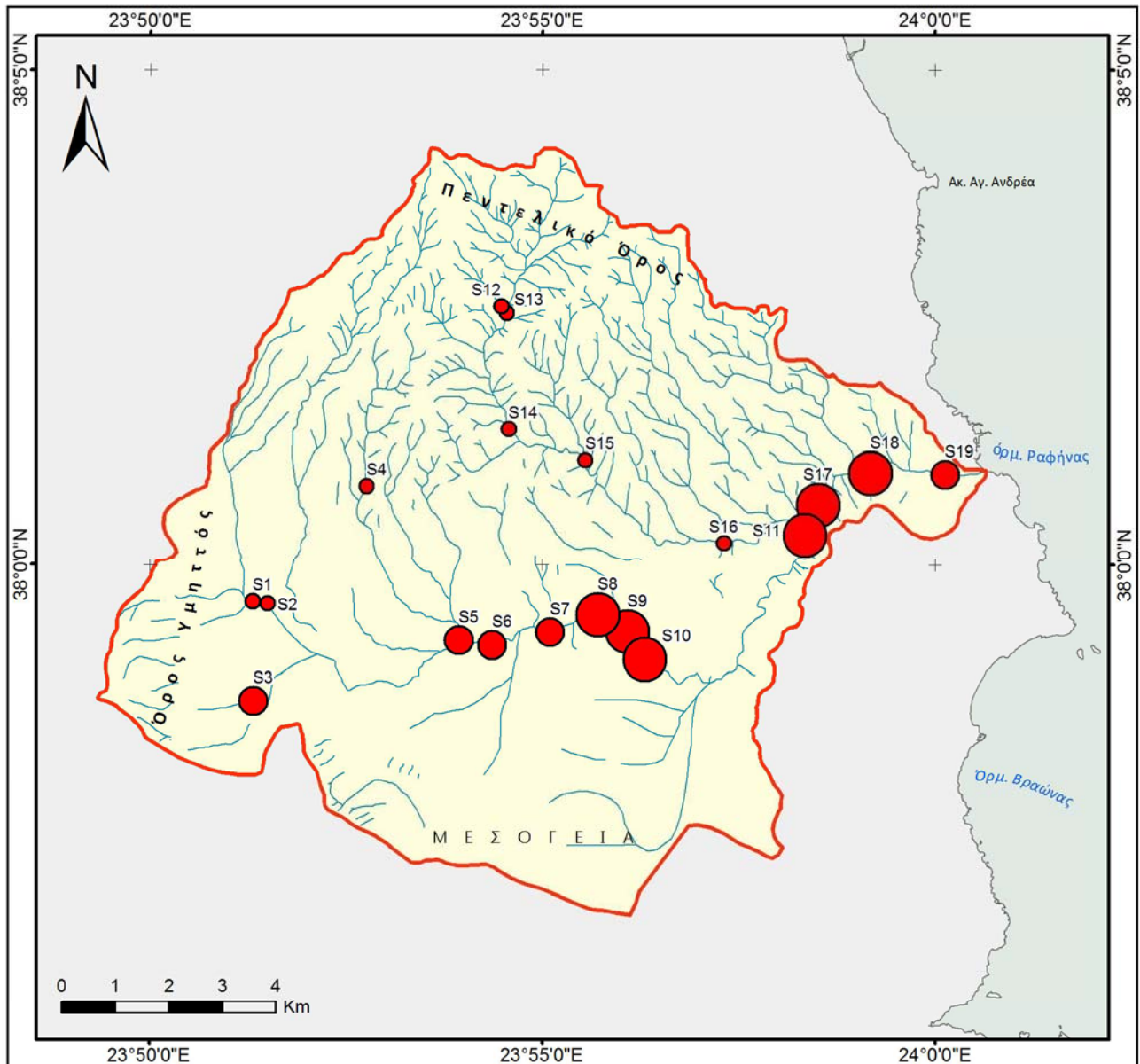
Με βάση την διαμέριση της περιοχής έρευνας σε επιμέρους υπολεκάνες προκύπτει (Σχήμα 6.28) ότι ο μέσος όρος για την ομάδα Α είναι 39.2 mg L⁻¹ και η διάμεσος 41.7 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 14.6 mg L⁻¹ (CV = 37%). Η ομάδα Β παρουσιάζει μέσο όρο 11.4 mg L⁻¹ και διάμεσο 9.20 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 3.84 mg L⁻¹ (CV = 34%). Ο μέσος όρος για την Γ ομάδα είναι 51.1 mg L⁻¹ και η διάμεσος είναι 54.6 mg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 6.86 mg L⁻¹ (CV = 13%).

Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.29) παρουσιάζεται η διασπορά της συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Με βάση το διάγραμμα πλαισίου και τον χάρτη αυτό, προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις που επικρατούν στην υπολεκάνη Α είναι μεγαλύτερες από αυτές που επικρατούν στην υπολεκάνη Β. Μελετώντας την γεωλογία της περιοχής γίνεται φανερό ότι το μαγνήσιο που περιέχεται στα δείγματα

επιφανειακού νερού της υπολεκάνης Β συνδέεται με την παρουσία δολομιτών και δολομιτικών ασβεστολίθων του Ανώτερου Μαρμάρου του Αλπικού υποβάθρου καθώς και των υλικών διάβρωσης που προέρχονται από τον παραπάνω σχηματισμό (Μειοκαινικές αποθέσεις). Στην υπολεκάνη Α αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι οι θέσεις δειγματοληψίας S1, S2, S4 που αποστραγγίζουν επίσης ρέματα των παρυφών του Πεντελικού όρους παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μαγνησίου ανάλογες με αυτές που παρατηρήθηκαν στην υπολεκάνη Β, ενώ αντίθετα στις θέσεις δειγματοληψίας οι οποίες επηρεάζονται λιθολογικά και από την περιοχή του Υμηττού (όπου εμφανίζονται βασικά και υπερβασικά πετρώματα των επωθημένων τεκτονικών ενοτήτων) υπάρχει μια αυξητική τάση των συγκεντρώσεων μαγνησίου. Συμπερασματικά η λιθολογία της περιοχής και η στρωματογραφική διαφοροποίηση εντός της υδρολογικής λεκάνης επηρεάζουν την παρουσία του μαγνησίου στα επιφανειακά νερά των υδατορευμάτων της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.28: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα μαγνησίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

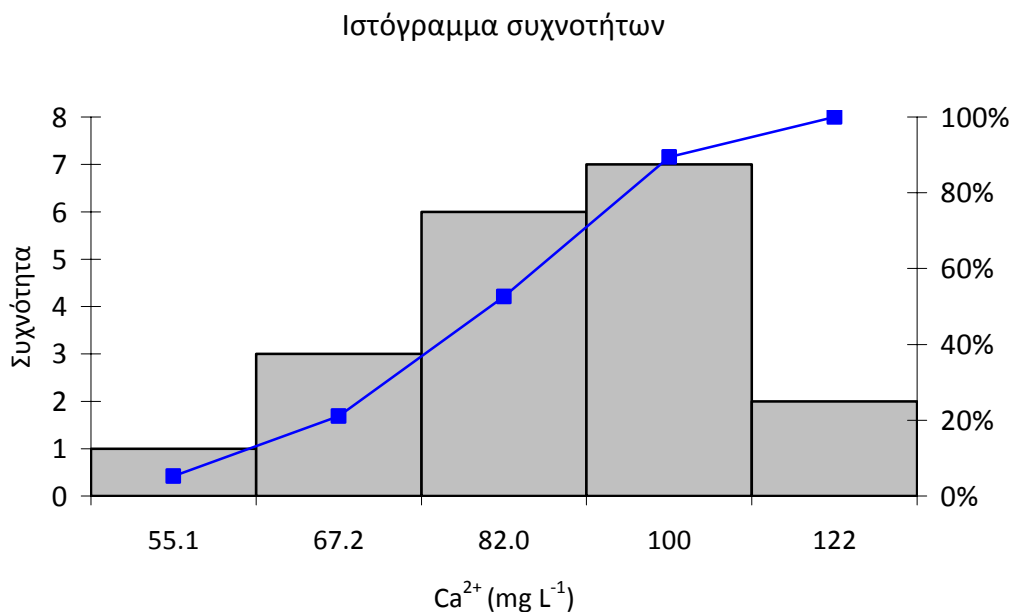


Σχήμα 6.29 Χάρτης κατανομής μαγνησίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.10 Ασβέστιο (Ca^{2+})

Η συγκέντρωση του ασβεστίου κυμαίνεται από 55.1 έως 122 mg L^{-1} . Ο μέσος όρος είναι 80.2 mg L^{-1} και η διάμεσος 80.7 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 15.0 mg L^{-1} ($\text{CV} = 19\%$). Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.078$) και είναι λεπτόκυρτη με συντελεστή κύρτωσης $k = 2.549$.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov - Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε ο έλεγχος κανονικότητας δεν είναι επιτυχής σε κανένα επίπεδο σημαντικότητας. Για τον σκοπό αυτό υπολογίστηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των μετρημένων συγκεντρώσεων και έγινε επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ασυμμετρίας. Η νέα κατανομή που προκύπτει παρουσιάζει θετική ασυμμετρία με τιμή του συντελεστή $g = 0.344$ (< 1.061 για $\alpha = 0.02$ και < 0.711 για $\alpha = 0.10$) που σημαίνει ότι για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων η υπόθεση της κανονικότητας είναι αποδεκτή. Επίσης για το ίδιο δείγμα ήταν επιτυχής ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.15$ και για τις λογαριθμημένες τιμές $D_{\max} = 0.12$). Ο έλεγχος χ^2 για την κανονική κατανομή ήταν επιτυχής σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Στο Σχήμα 6.30 απεικονίζεται το ιστόγραμμα των τιμών του ασβεστίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

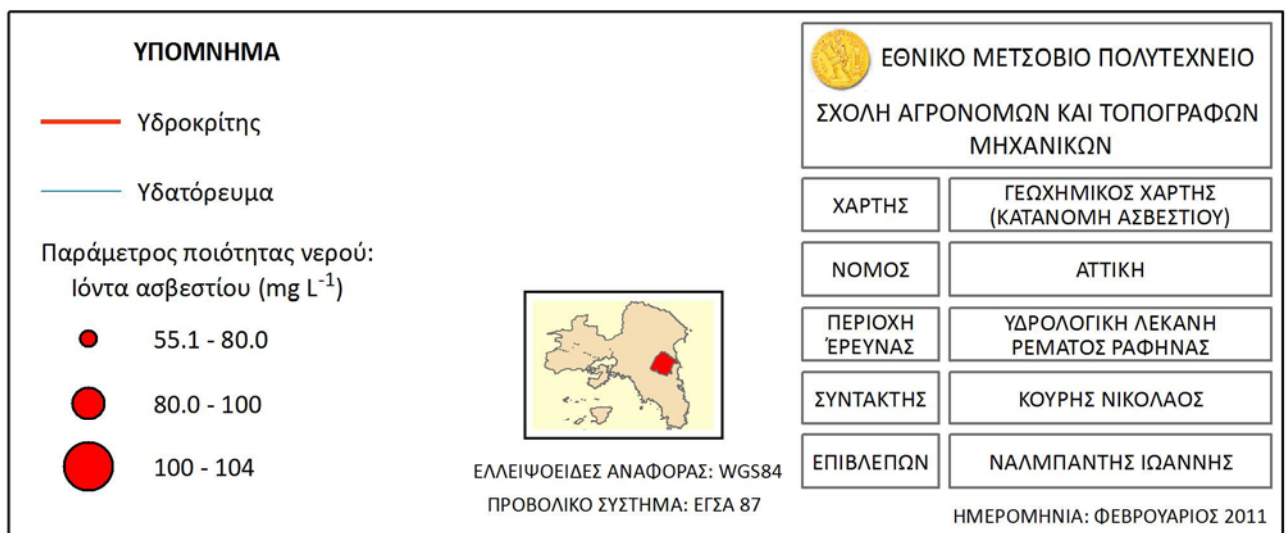
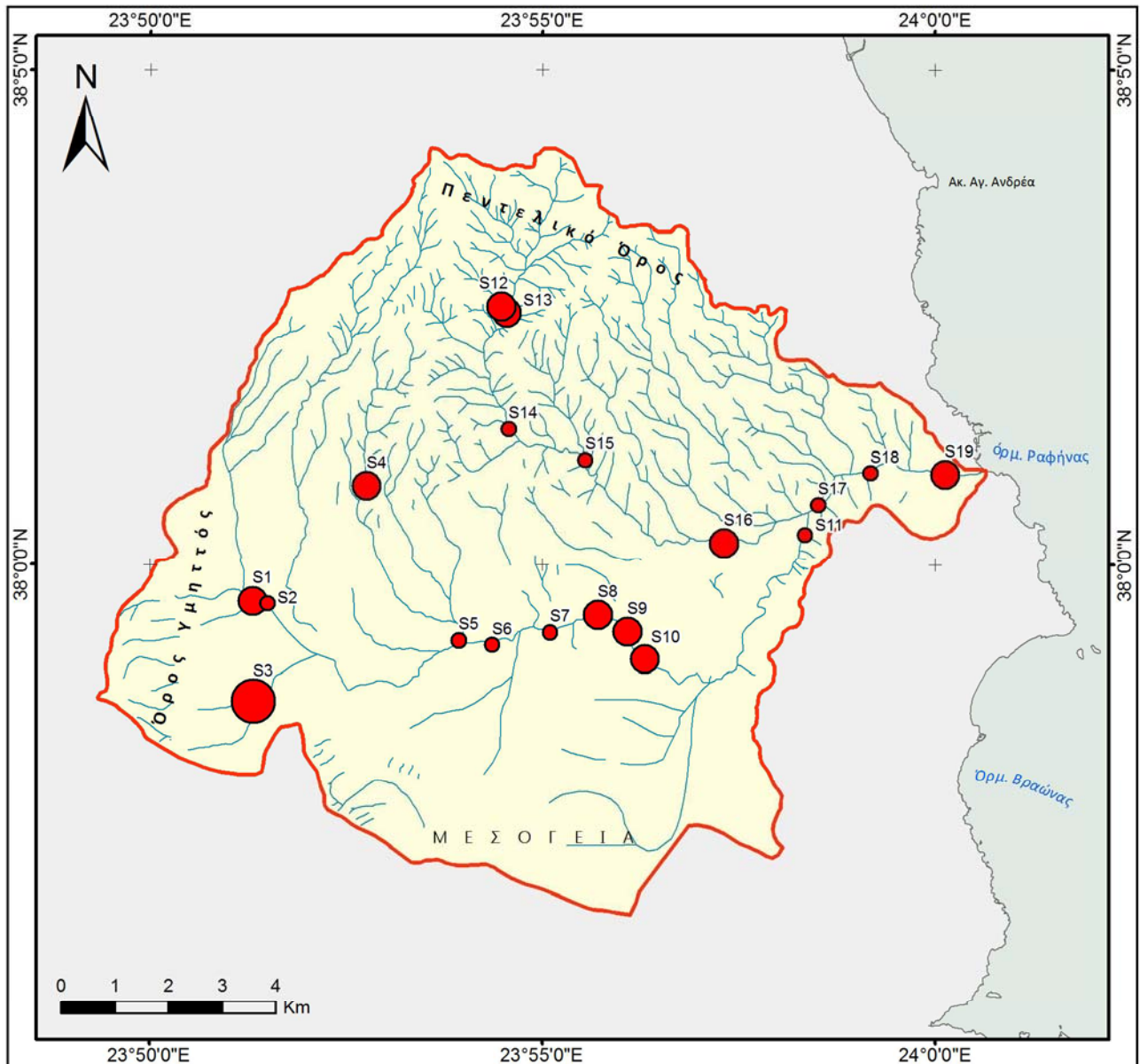


Σχήμα 6.30 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του ασβεστίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

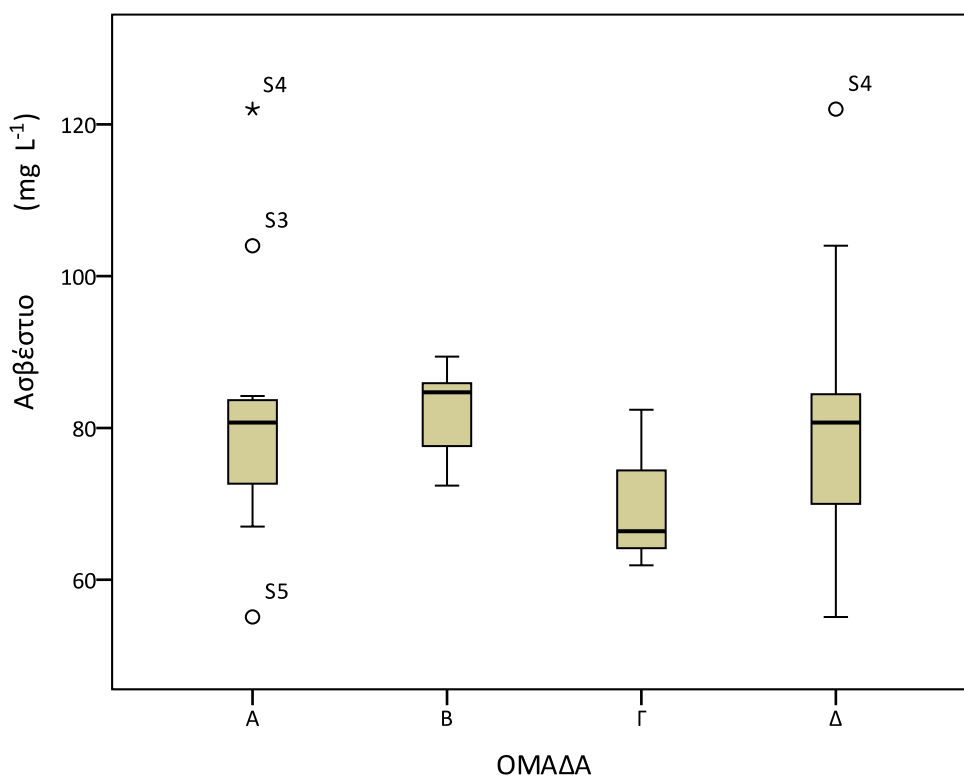
Πίνακας 6.14: Κλάσεις και αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης για την παράμετρο του ασβεστίου οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 6.30

ΚΛΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ %
55.1	1	5.26%
67.2	3	21.05%
82.0	6	52.63%
100	7	89.47%
122	2	100.00%

Με βάση την χωρική διασπορά των θέσεων δειγματοληψίας προκύπτει ότι για το ιόν του ασβεστίου, για την ομάδα Α, ο μέσος όρος είναι 82.1 mg L^{-1} , η διάμεσος 80.7 mg L^{-1} , η τυπική απόκλιση 18.1 mg L^{-1} ($CV = 22\%$). Για την ομάδα Β οι αντίστοιχες στατιστικές παράμετροι είναι 82.0 mg L^{-1} , 84.7 mg L^{-1} , 6.87 mg L^{-1} ($CV = 8.4\%$). Για την ομάδα Γ ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου είναι 70.2 mg L^{-1} , η διάμεσος 66.4 mg L^{-1} και η τυπική απόκλιση είναι 10.8 mg L^{-1} ($CV = 15\%$).



Σχήμα 6.31 Χάρτης κατανομής ασβεστίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

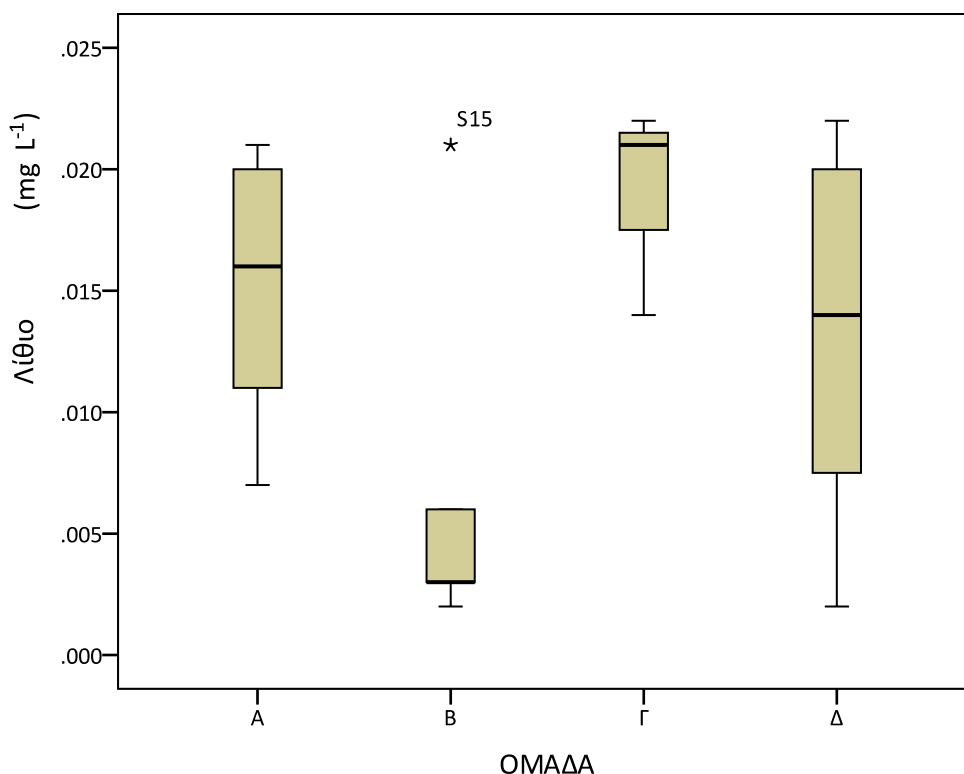


Σχήμα 6.32: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα ασβεστίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.1.11 Λίθιο (Li^+)

Η συγκέντρωση του λιθίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.002 έως 0.022 mg L^{-1} . Ο μέσος όρος είναι 0.013 mg L^{-1} και η διάμεσος 0.014 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.007 mg L^{-1} (CV = 54%).

Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης και αναφερόμενοι στην ομάδα A ο μέσος όρος είναι 0.015 mg L^{-1} και η διάμεσος 0.016 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.005 mg L^{-1} (CV = 33%). Ο μέσος όρος για την ομάδα B είναι 0.007 mg L^{-1} και η διάμεσος είναι 0,003 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0,008 mg L^{-1} (CV = 114%). Ο μέσος όρος για την ομάδα Γ είναι 0.019 mg L^{-1} και η διάμεσος 0.021 mg L^{-1} . Η τυπική απόκλιση είναι 0.004 mg L^{-1} (CV = 21%). Στο Σχήμα 6.33 παρουσιάζεται το διάγραμμα πλαισίου για την παράμετρο του λιθίου.



Σχήμα 6.33: Διάγραμμα πλαισίου για τα ιόντα λιθίου που απαντούν στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2 Ιχνοστοιχεία

Για την περίπτωση των ιχνοστοιχείων παρουσιάζονται το ολικό και το διαλυτό κλάσμα συγχρόνως σε κάθε παράγραφο. Για τα ιχνοστοιχεία περιγράφονται τα κυριότερα μέτρα θέσης και διασποράς ενώ έλεγχος κανονικής κατανομής πραγματοποιήθηκε σε χημικές παραμέτρους που παρουσίαζαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως προς τις συγκεντρώσεις τους.

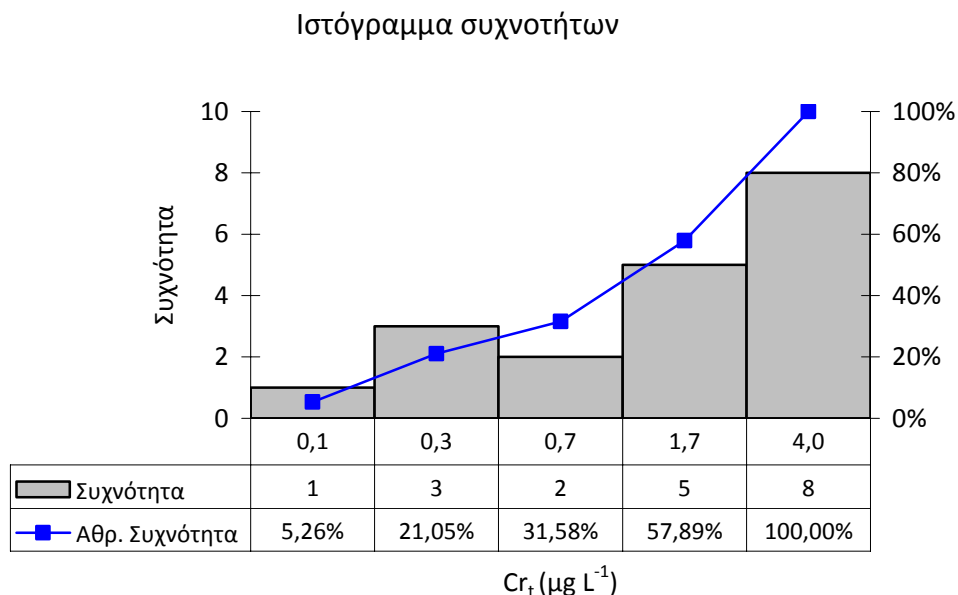
6.3.2.1 Χρώμιο (Cr)

Η συγκέντρωση του ολικού χρωμίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.13 έως 4.03 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 1.31 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 1.49 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0,99 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=76%). Η κατανομή του ολικού χρωμίου παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.040$) και είναι λεπτόκυρτη με συντελεστή κύρτωσης $k = 1.684$.

Ο έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο του συντελεστή ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov καθώς και με τον έλεγχο χ^2 . Ο έλεγχος της ασυμμετρίας είναι ανεπιτυχής για επίπεδο σημαντικότητας 2% και 10% γιατί ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε για το στατιστικό δείγμα είναι μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους συντελεστές ασυμμετρίας που προϋποθέτει ο έλεγχος υπόθεσης. Για

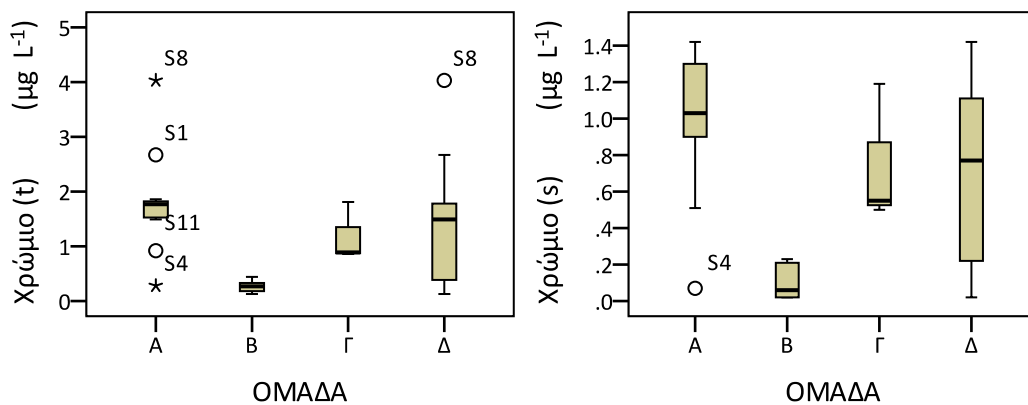
τον σκοπό αυτό υπολογίστηκαν οι λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου σε χρώμιο. Στην περίπτωση αυτή η κατανομή που προκύπτει έχει συντελεστή ασυμμετρίας $g = -0.615$ που κατ απόλυτη τιμή είναι αποδεκτή για την επιτυχία του ελέγχου της ασυμμετρίας. Επίσης για το ίδιο στατιστικό δείγμα ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov ήταν επιτυχής σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% (η μέγιστη διαφορά της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων είναι $D_{\max} = 0.14$). Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 στις μεν αρχικές τιμές των συγκεντρώσεων ήταν επιτυχής σε επίπεδο σημαντικότητας 1%, ενώ στις λογαριθμημένες τιμές ήταν επιτυχής σε επίπεδο σημαντικότητας 1% και 5%. Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις προκύπτει ότι μόνο για τις λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου σε χρώμιο είναι δυνατό να υποτεθεί κανονική κατανομή. Στο Σχήμα 6.34 απεικονίζονται τα ιστόγραμμα των τιμών του ολικού περιεχομένου σε χρώμιο με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0.02 έως 1.42 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 0.72 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.77 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.51 ($CV=71\%$). Η κατανομή του διαλυτού κλάσματος του χρωμίου παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.126$) και πλατύκυρτη μορφή ($k = -1.587$)



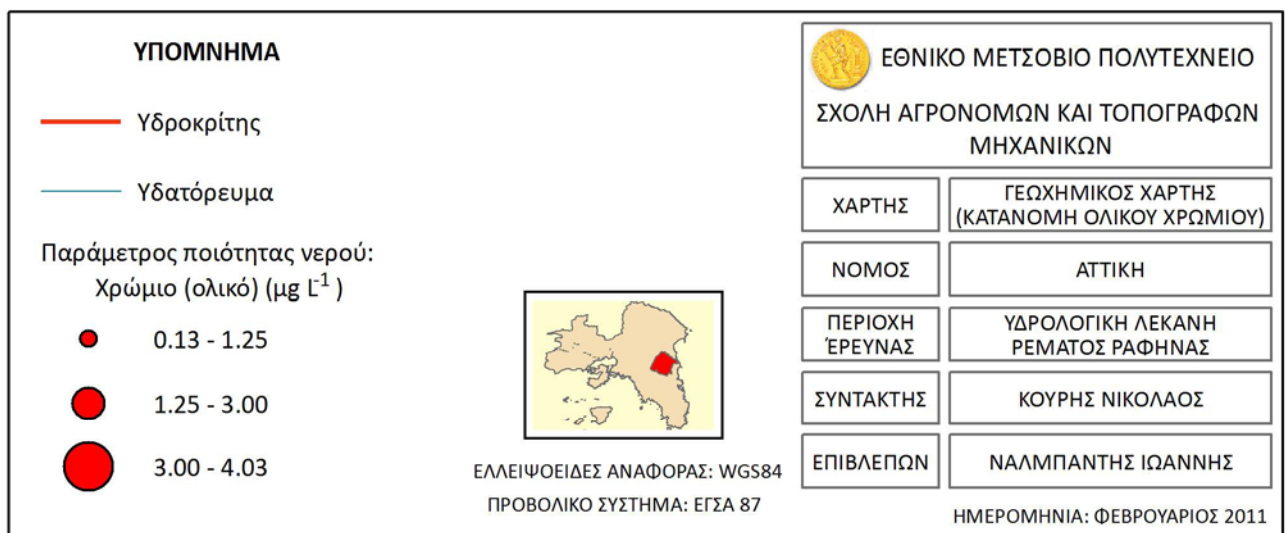
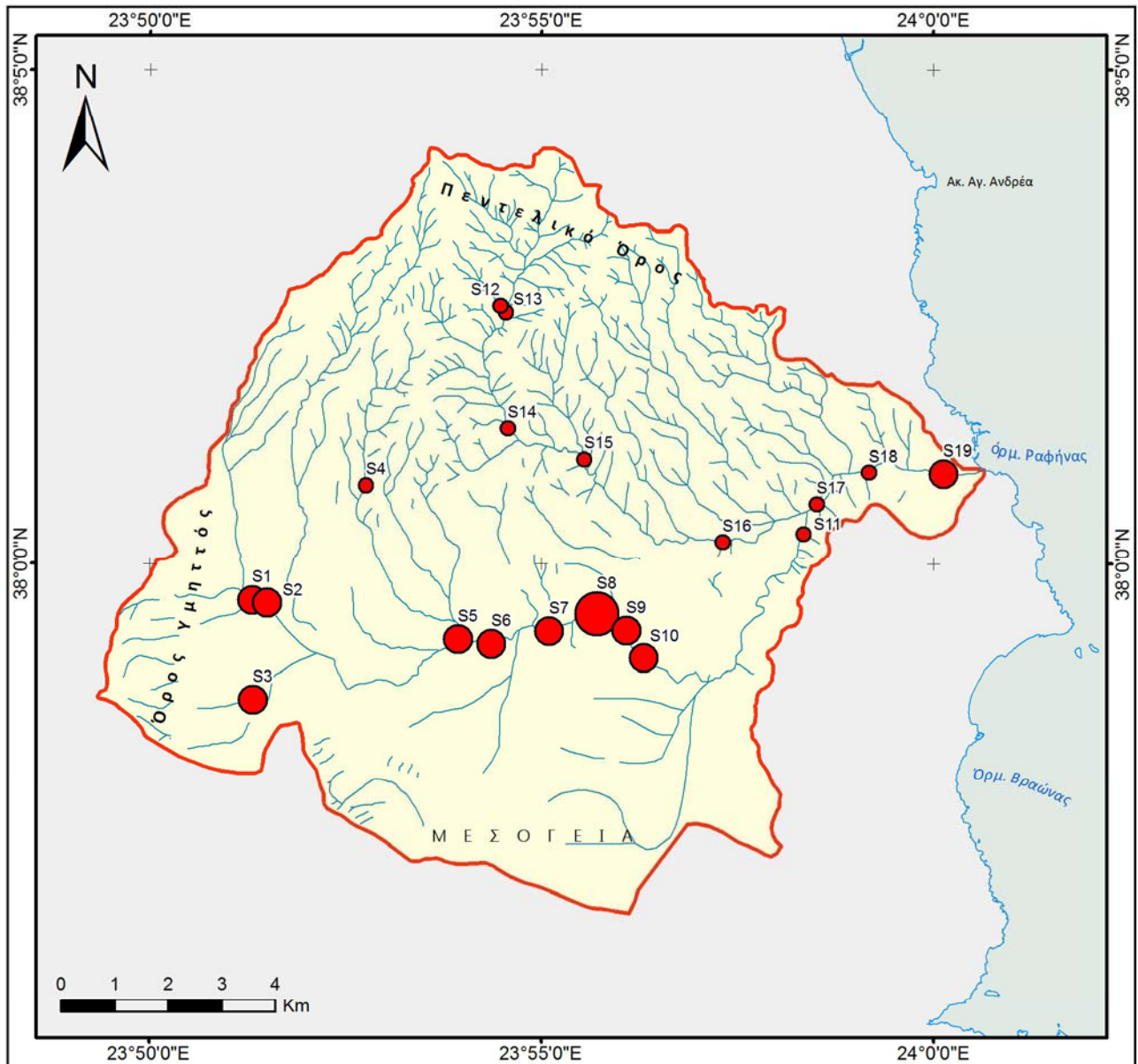
Σχήμα 6.34 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών λογαριθμημένων τιμών του ολικού χρωμίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης παρατηρείται ότι για το ολικό περιεχόμενο σε χρώμιο η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $1.81 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι $1.77 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.947 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 52 %). Στην ομάδα Β ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε $0.27 \mu\text{g/L}$ και η διάμεσος είναι $0.27 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.12 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 44%). Στην ομάδα Γ ο μέσος όρος είναι $1.19 \mu\text{g L}^{-1}$, ενώ η διάμεσος είναι $0.89 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.54 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 45%). Για το διαλυτό κλάσμα του χρωμίου προσδιορίστηκε ότι η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $0.98 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι $1.03 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.41 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 42%). Στην ομάδα Β ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε $0.11 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.06 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.10 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 91%). Στην ομάδα Γ ο μέσος όρος είναι $0.75 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι $0.55 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.38 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 51%) .

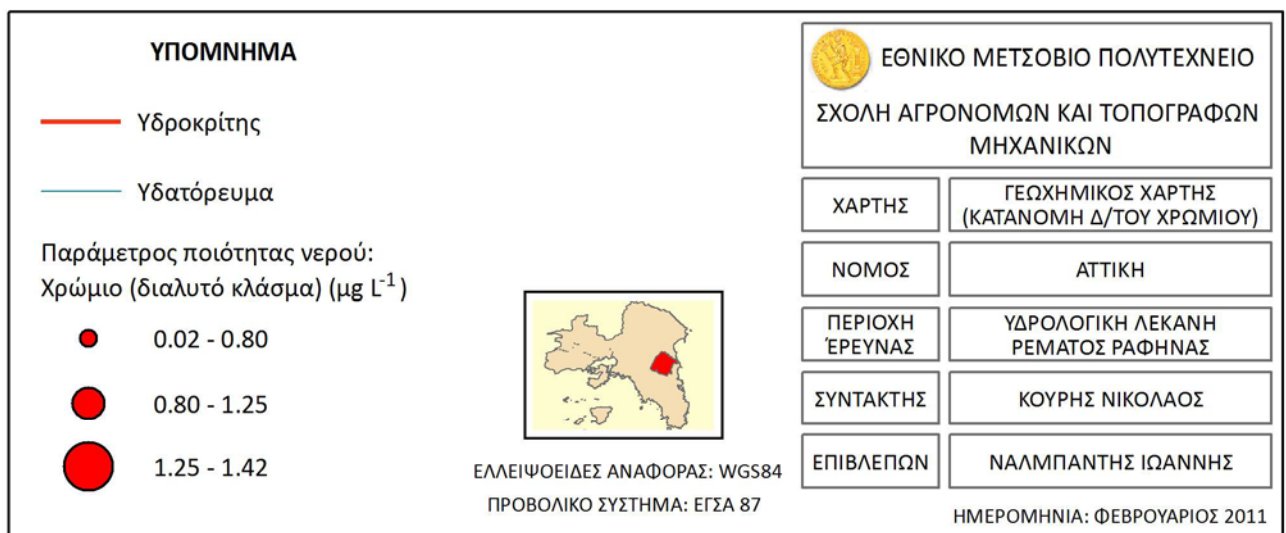
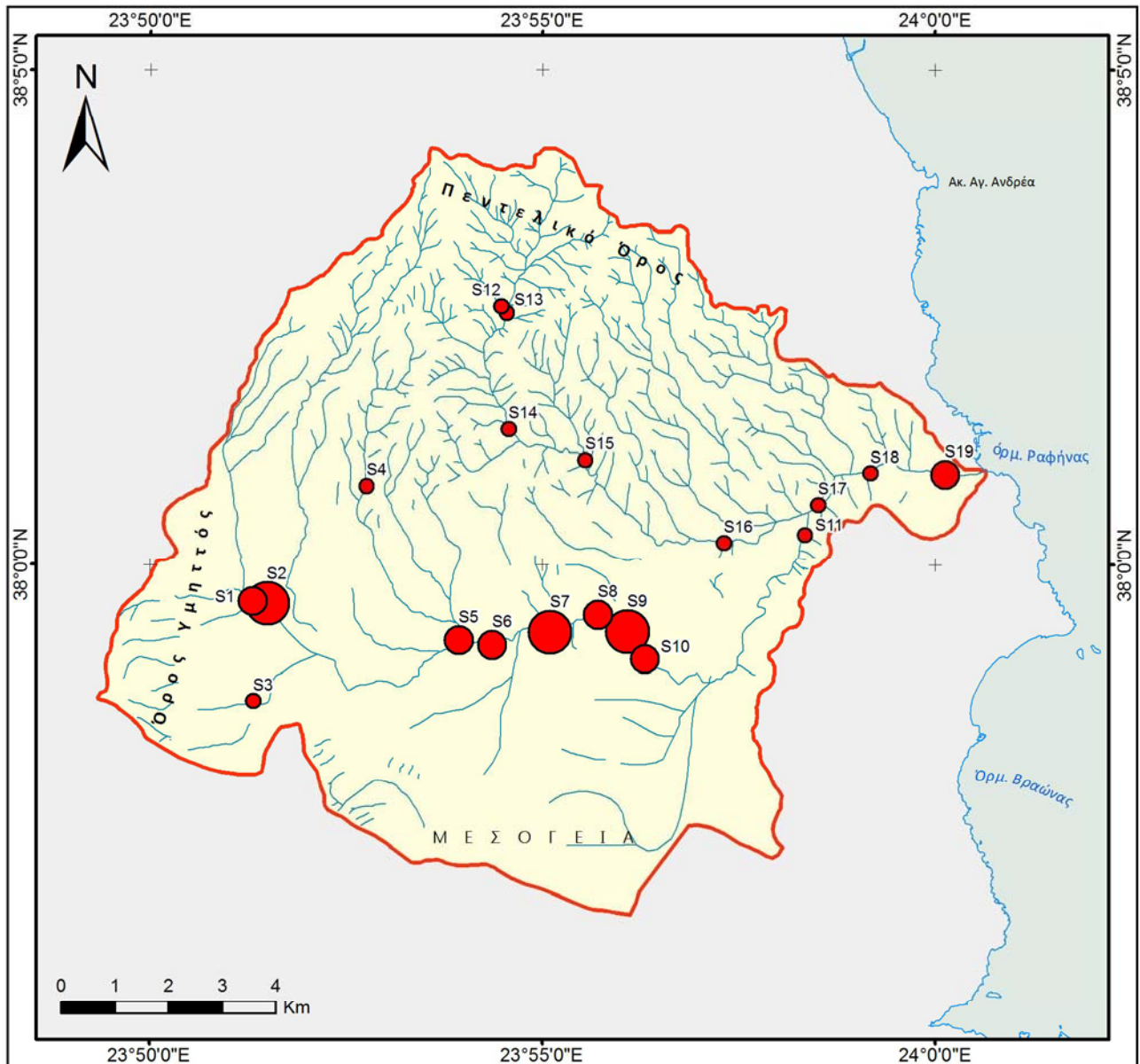


Σχήμα 6.35: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε χρώμιο.

Στους χάρτες που ακολουθούν (Σχήμα 6.36 και Σχήμα 6.37) δίνεται η χωρική κατανομή του ολικού και διαλυτού περιεχομένου σε χρώμιο. Αυτό που γίνεται εμφανές είναι ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης είναι χαμηλές, ενώ αντίθετα στο νότιο κλάδο ποσοτικοποιήθηκε ικανοποιητικά τόσο το ολικό, όσο και το διαλυτό κλάσμα χρωμίου. Η παρατήρηση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με την συγκέντρωση χρωμίου που έχει προσδιοριστεί σε ιζήματα του ρέματος Ραφήνας (Alexakis, 2008). Στην έρευνα αυτή αναφέρεται ότι σε δείγμα ιζήματος που είχε συλλεχθεί κοντά στις θέσεις S8, S9 προσδιορίστηκε χρωμίτης που συνδέεται με τους οφιολίθους που εμφανίζονται στην περιοχή ενώ η συγκέντρωση χρωμίου στο ίζημα ρέματος κυμαινόταν από 52 έως 1392 mg Kg^{-1} . Η παρουσία χρωμίτη στα ιζήματα της περιοχής έρευνας ερμηνεύει τις χαμηλές αλλά ποσοτικοποιήσιμες συγκεντρώσεις χρωμίου που προσδιορίστηκαν στο επιφανειακό νερό.



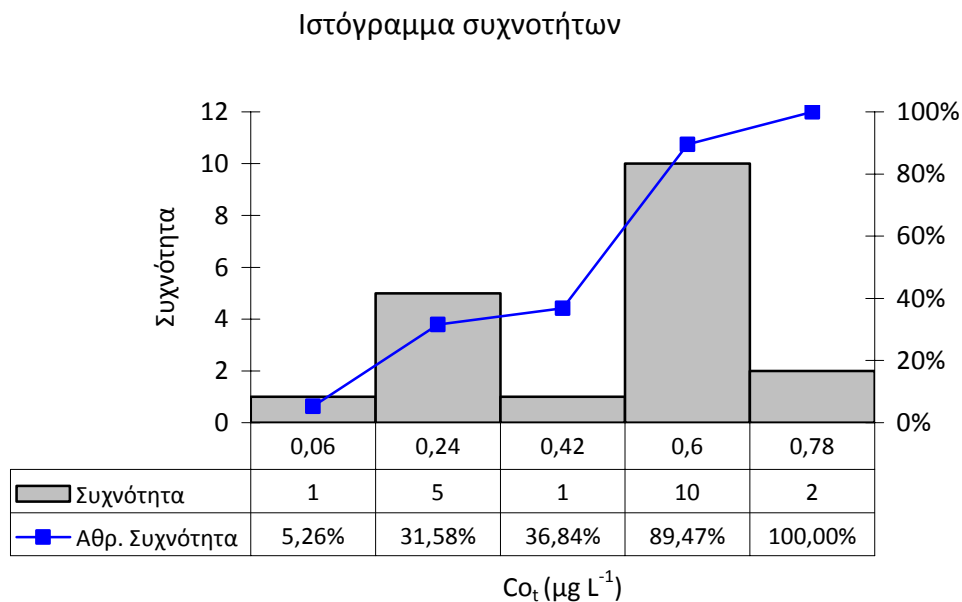
Σχήμα 6.36 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου χρωμίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.37 Χάρτης κατανομής του διαλυτού περιεχομένου χρωμίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2.2 Κοβάλτιο (Co)

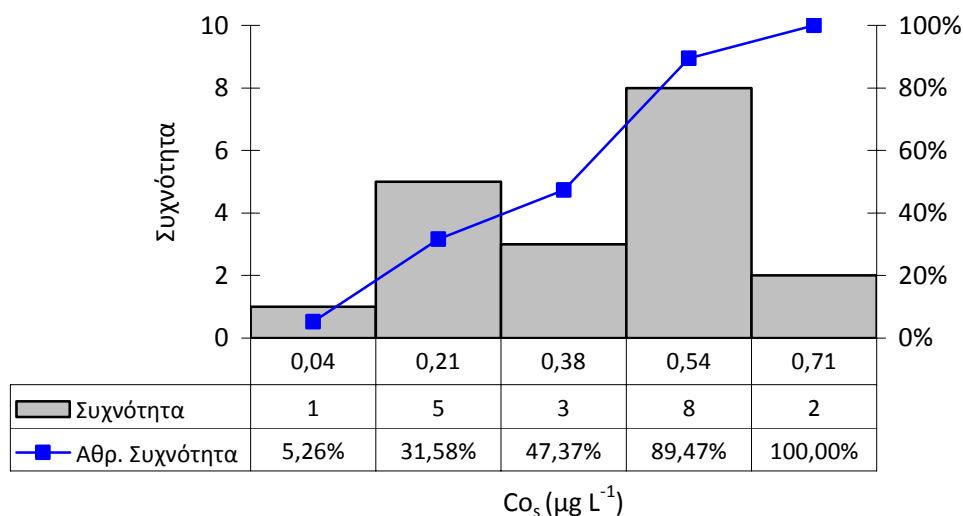
Η συγκέντρωση του ολικού κοβαλτίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.06 έως 0.78 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 0.41 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.49 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.23 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=56%). Η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.268$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -1.240$). Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0.04 έως 0.71 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 0.32 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.38 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.19 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=59%). Η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.019$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -0.747$). Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.38 και Σχήμα 6.39) απεικονίζονται τα ιστόγραμμα των τιμών του κοβαλτίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.38 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του ολικού κοβαλτίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

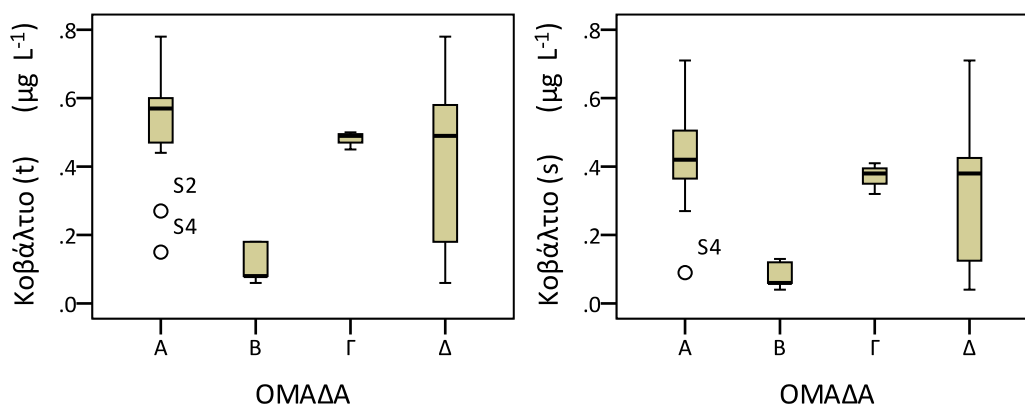
Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης η ομάδα Α παρουσιάζει ως προς το ολικό περιεχόμενο σε κοβάλτιο, μέσο όρο 0.52 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.57 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.18 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=35%).

Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.39 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού κλάσματος του κοβαλτίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.11 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.08 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.06 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 50$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο $0.48 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $0.49 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.03 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 6.2\%$). Ως προς το διαλυτό περιεχόμενο σε κοβάλτιο, η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $0.42 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $0.42 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.16 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV=38\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.08 \mu\text{g L}^{-1}$, ενώ η διάμεσος $0.06 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.04 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 50\%$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο $0,37 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος προσδιορίστηκε $0.38 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.05 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 14\%$).



Σχήμα 6.40: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε κοβάλτιο

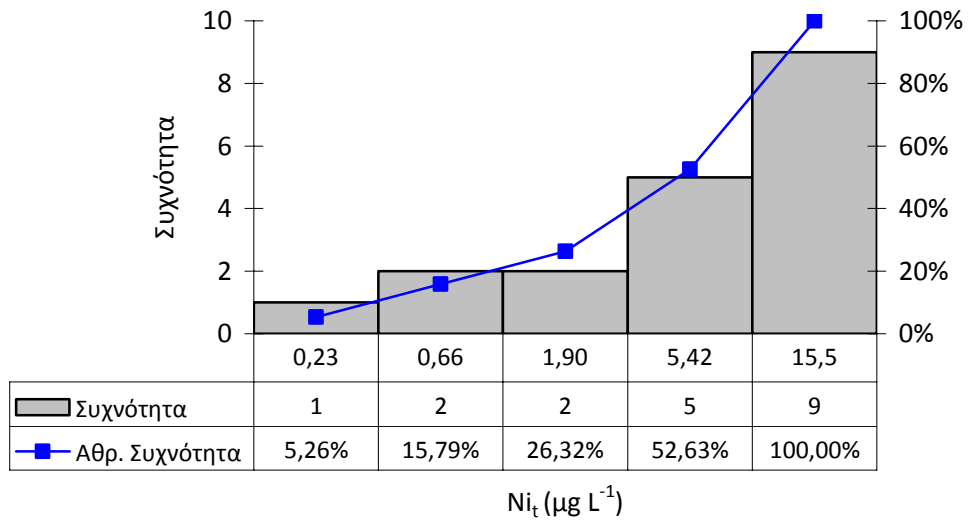
6.3.2.3 Νικέλιο (Ni)

Η συγκέντρωση του ολικού νικελίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 0.23 έως 15.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 5.02 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 5.31 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 3.94 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=78%). Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 0.881$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 1.326$). Για το διαλυτό κλάσμα, οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες έως 6.57 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 3.18 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 3.48 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 2.14 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=67%). Η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = -0.366$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -1.214$).

Για το ολικό περιεχόμενο σε νικέλιο πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας, με τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε για την παράμετρο του νικελίου είναι 0.88. Εφόσον η τιμή αυτή είναι μικρότερη από τον συντελεστή ασυμμετρίας 1.061, ο έλεγχος υπόθεσης για την κανονική κατανομή είναι επιτυχής σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Αντίθετα για επίπεδο σημαντικότητας 10% ο έλεγχος αυτός απορρίπτεται. Ο ίδιος έλεγχος πραγματοποιήθηκε στις λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου σε νικέλιο. Για την νέα αυτή κατανομή ο συντελεστής ασυμμετρίας προσδιορίζεται σε $g = -1.033$ δηλαδή πρόκειται για αρνητικά ασύμμετρα κατανομή για την οποία ο έλεγχος υπόθεσης κανονικότητας με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας είναι αποδεκτός σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Επίσης για το ίδιο στατιστικό δείγμα ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov ήταν επιτυχής σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% και η μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής για το αρχικό στατιστικό δείγμα των συγκεντρώσεων ήταν $D_{\max} = 0,11$. Αντίθετα ο έλεγχος χ^2 ήταν επιτυχής για επίπεδο σημαντικότητας 1% στην περίπτωση των αρχικών τιμών των συγκεντρώσεων ενώ στην περίπτωση των λογαριθμημένων τιμών των συγκεντρώσεων του ολικού περιεχομένου σε νικέλιο ο έλεγχος ήταν επιτυχής σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας.

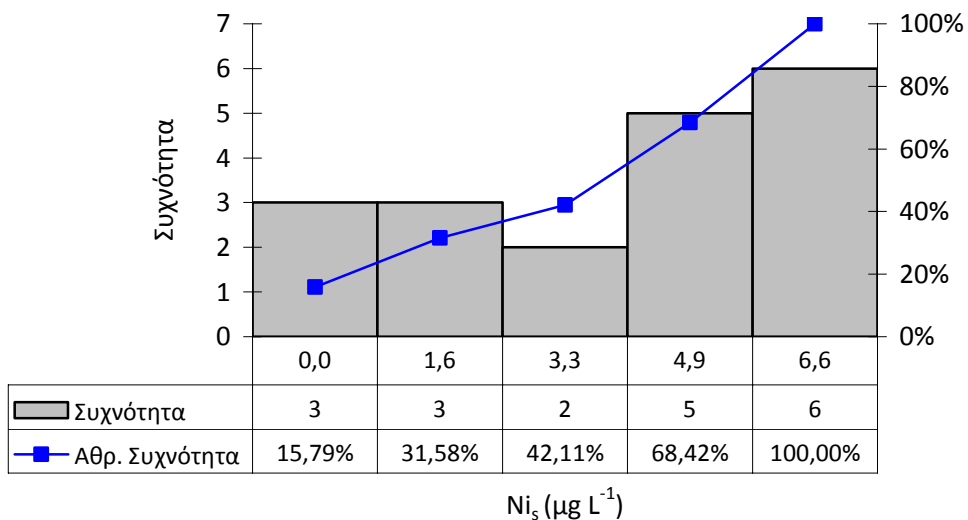
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.41 και Σχήμα 6.42) απεικονίζονται τα ιστόγραμμα των τιμών του νικελίου με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.41 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του ολικού περιεχομένου σε νικέλιο με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

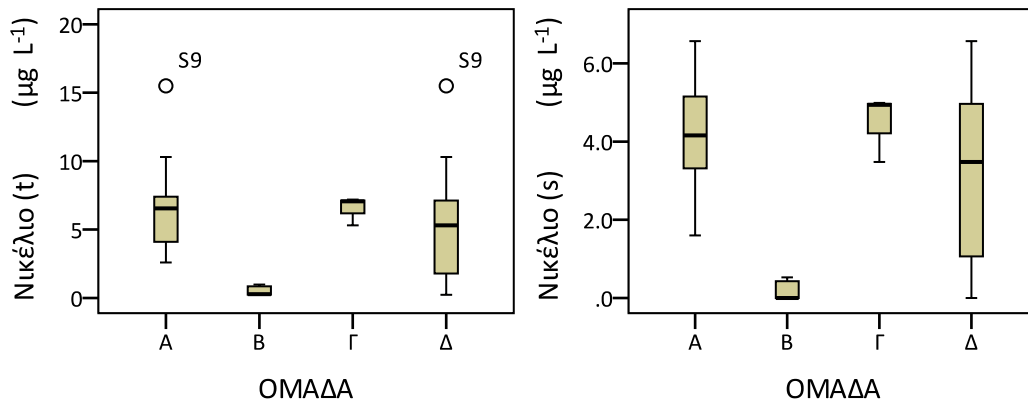
Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.42 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού κλάσματος του νικελίου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

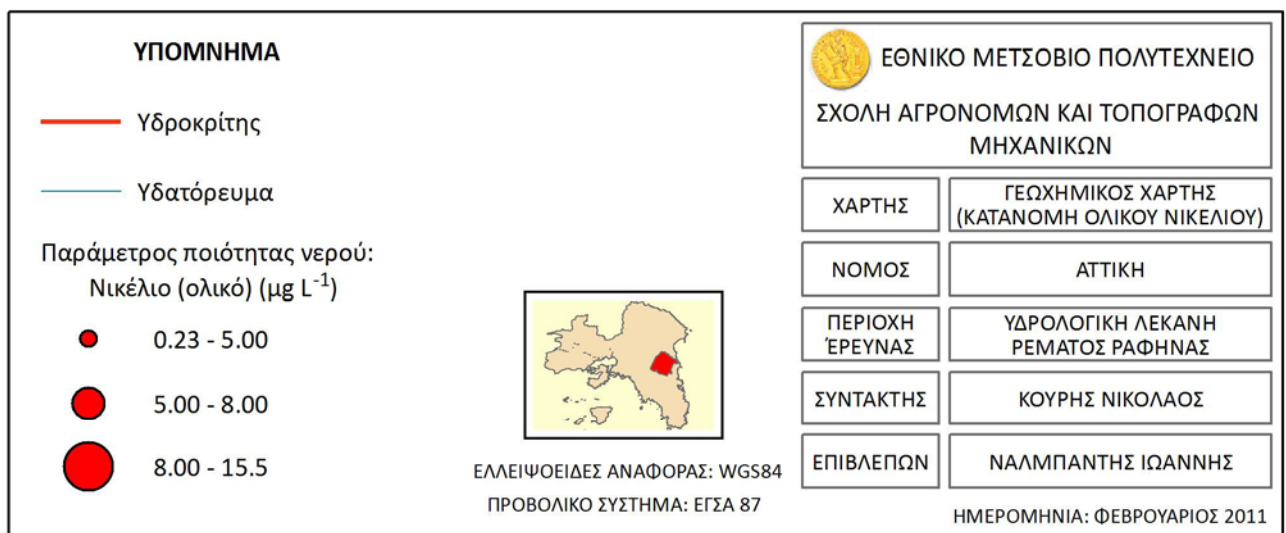
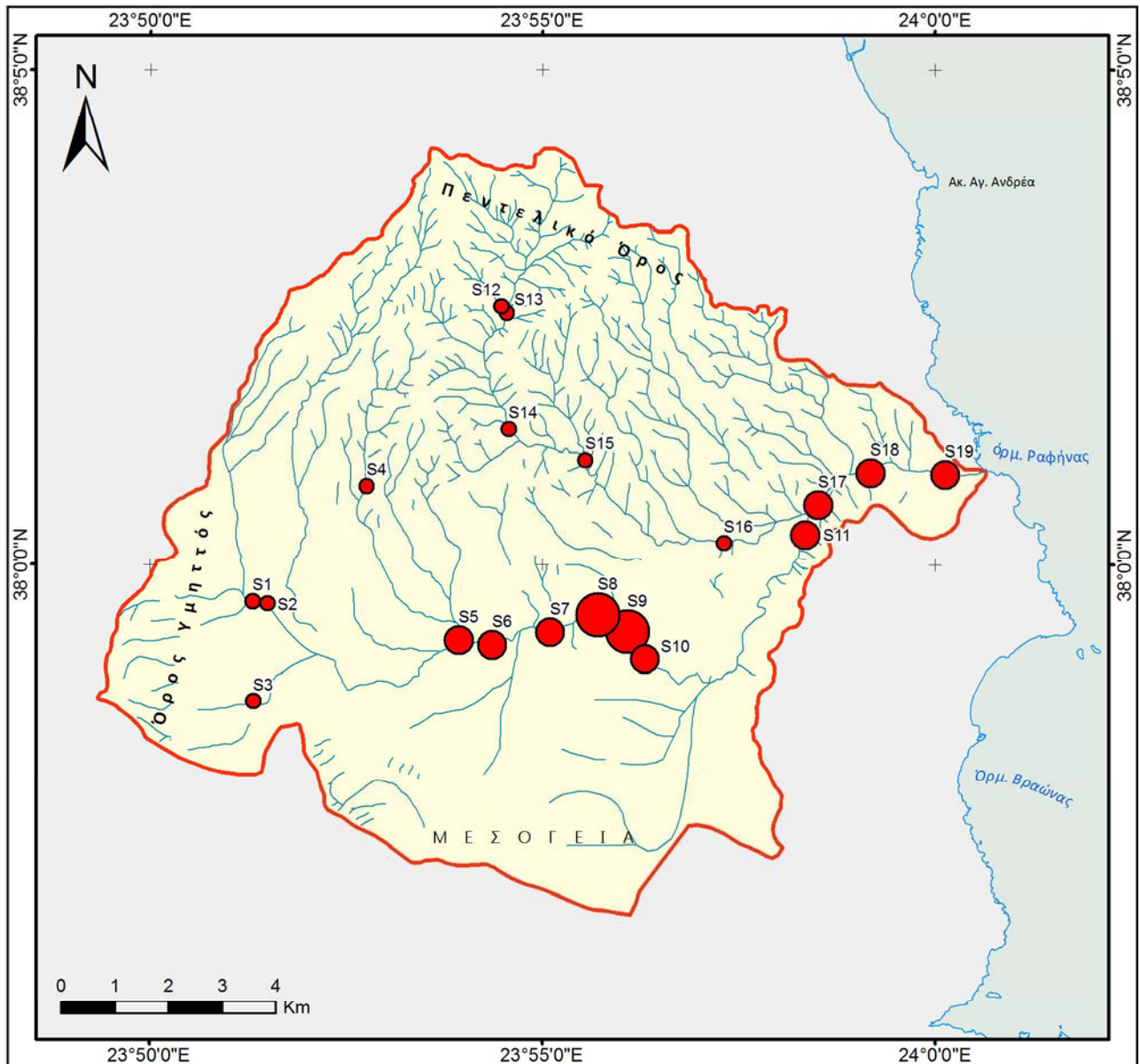
Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης προκύπτει ότι για το ολικό περιεχόμενο σε νικέλιο (Σχήμα 6.43), η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $6.65 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $6.55 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $3.72 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 56\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.52 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος $0.28 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.37 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 71\%$). Η ομάδα Γ

παρουσιάζει μέσο όρο $6.52 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $7.06 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $1.05 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV}=16\%$). Όσο αφορά το διαλυτό περιεχόμενο σε νικέλιο η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $4.18 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $4.16 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $1.41 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 34\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.19 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.26 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 137\%$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο $4.47 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος προσδιορίστηκε σε $4.94 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.86 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 19\%$).

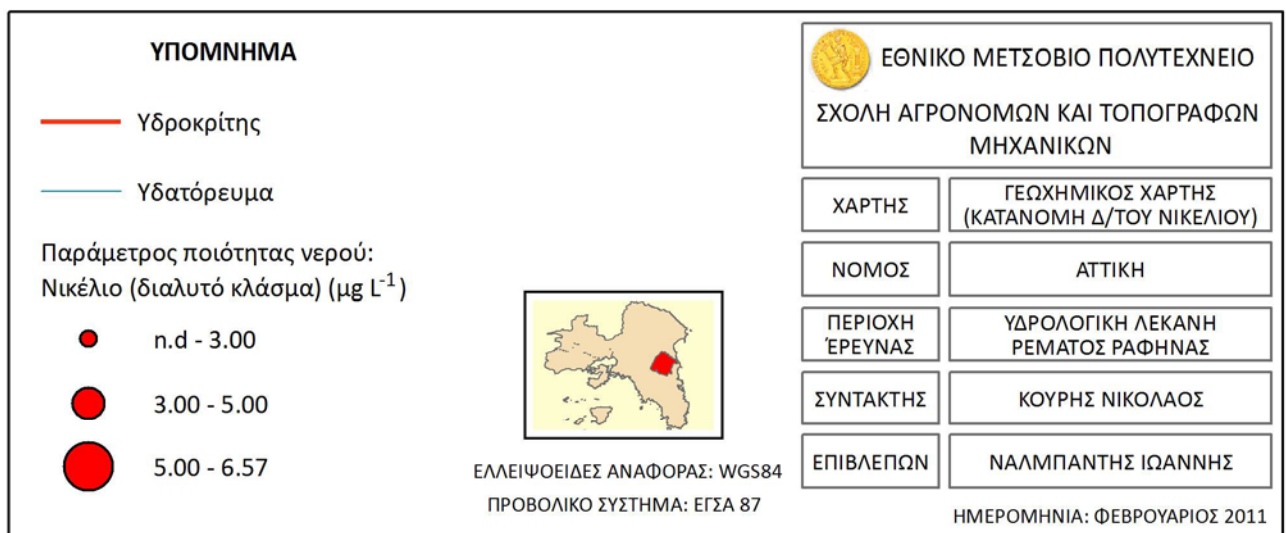
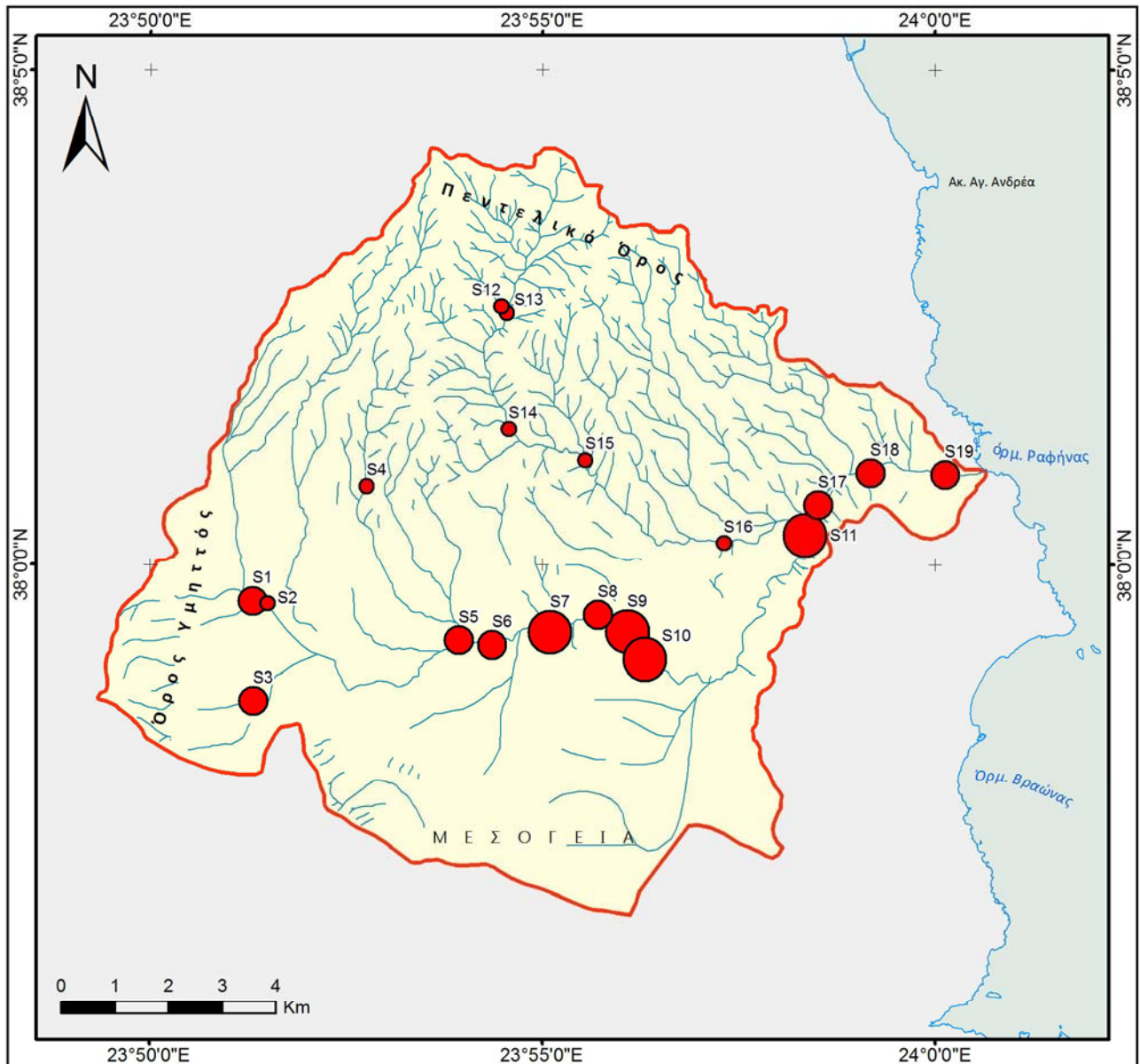


Σχήμα 6.43: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε νικέλιο.

Στους χάρτες που ακολουθούν (Σχήμα 6.44 και Σχήμα 6.45) δίνεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του ολικού και διαλυτού κλάσματος νικελίου που προσδιορίστηκε στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Στα σχήματα αυτά φαίνεται ότι εμφανίζονται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στις θέσεις S8 και S9 ενώ προς τα ανάντη του ρέματος της Ραφήνας οι συγκεντρώσεις νικελίου είναι σημαντικά χαμηλές. Το νικέλιο αποτελεί στοιχείο που απαντά στα υπερβασικά πετρώματα. Από έρευνα στα ιζήματα ρέματος που έχει διεξαχθεί στην περιοχή (Alexakis, 2008), προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις του νικελίου, όπως και αυτές του χρωμίου που προαναφέρθηκαν, συνδέονται κυρίως με την παρουσία προϊόντων εξαλλοίωσης υπερβασικών πετρωμάτων που περιέχονται στις Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις. Για τον λόγο αυτό οι συγκεντρώσεις του νικελίου τόσο του ολικού όσο και του διαλυτού κλάσματος παρουσιάζονται αυξημένες στις θέσεις S5-S10 καθώς σε κατάντη θέσεις δειγματοληψίας που συνδέονται με τον κλάδο αυτό.



Σχήμα 6.44 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου σε νικέλιο στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



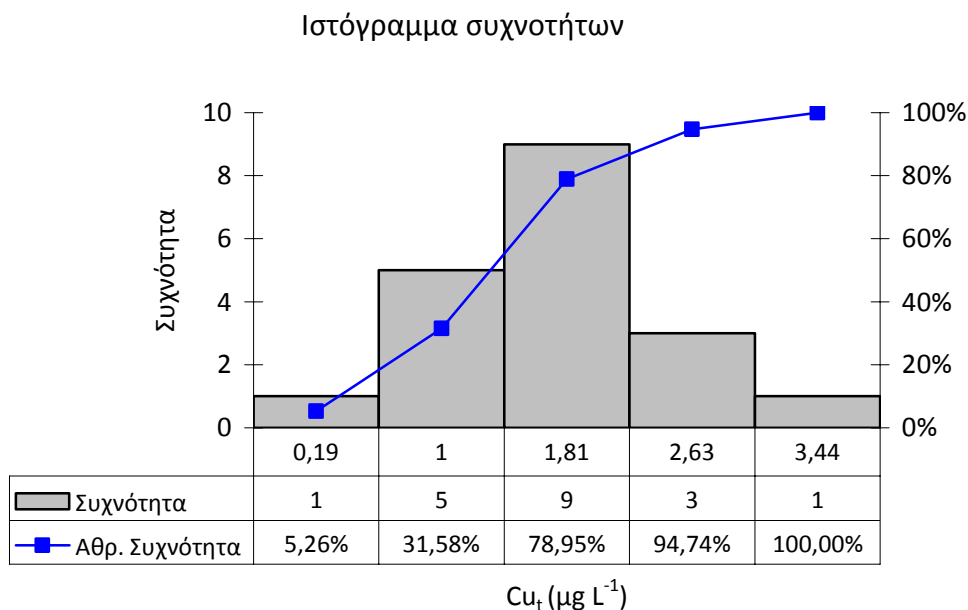
Σχήμα 6.45 Χάρτης κατανομής περιεχομένου διαλυτού κλάσματος νικελίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2.4 Χαλκός (Cu)

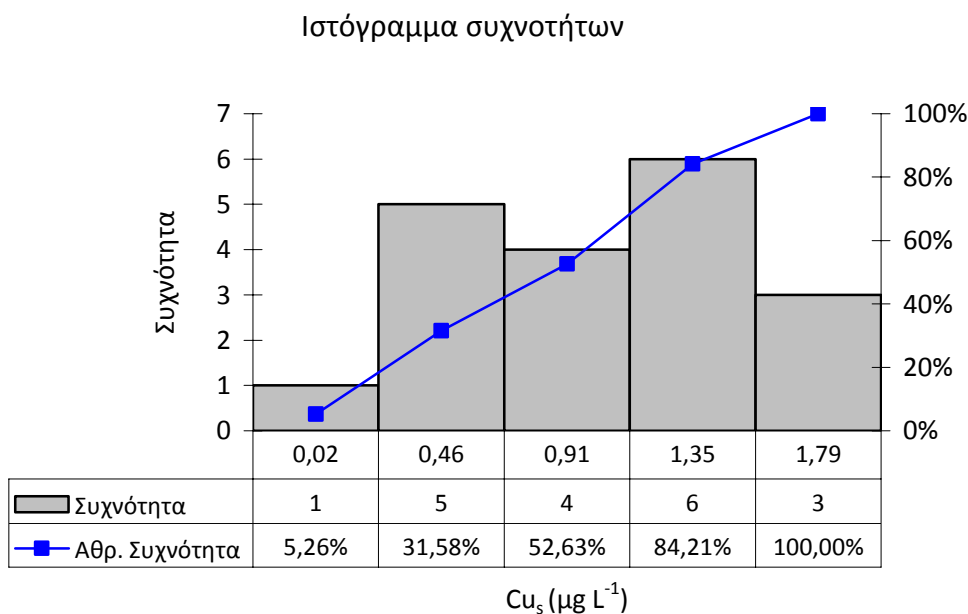
Το ολικό περιεχόμενο σε χαλκό στα δείγματα κυμαίνεται από 0.19 έως 3.44 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 1.28 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 1.30 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.76 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=59%). Η κατανομή του, παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.081$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 2.410$). Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από μη ποσοτικοποιημένες έως 1.79 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 0.80 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.85 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.49 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=61%). Η κατανομή του κλάσματος αυτού, παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία ($g = 0.134$) και είναι πλατύκυρτη ($k = -0.443$).

Για το ολικό περιεχόμενο σε χαλκό πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας, με τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε για την παράμετρο του χαλκού είναι 1.08. Εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από τον συντελεστή ασυμμετρίας 1.061, ο έλεγχος υπόθεσης για την κανονική κατανομή απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Ομοίως απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 10%. Ο ίδιος έλεγχος πραγματοποιήθηκε στις λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου σε νικέλιο. Για την νέα αυτή κατανομή ο συντελεστής ασυμμετρίας προσδιορίζεται σε $g = -0.930$ δηλαδή πρόκειται για αρνητικά ασύμμετρα κατανομή για την οποία ο έλεγχος υπόθεσης κανονικότητας με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας είναι αποδεκτός σε επίπεδο σημαντικότητας 2%, ενώ απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 10%. Επίσης για το στατιστικό δείγμα των αρχικών τιμών των συγκεντρώσεων ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov ήταν επιτυχής σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% και η μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ήταν $D_{\max} = 0.13$. Για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ο ίδιος έλεγχος ήταν επιτυχής σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας αλλά η μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής ήταν υψηλότερη ($D_{\max} = 0.24$). Επίσης ο έλεγχος χ^2 ήταν επιτυχής για επίπεδο σημαντικότητας 1%, 5% και 10% στις μη λογαριθμημένες και στις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων.

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.46 και Σχήμα 6.47) απεικονίζονται τα ιστόγραμμα των τιμών του χαλκού με την γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



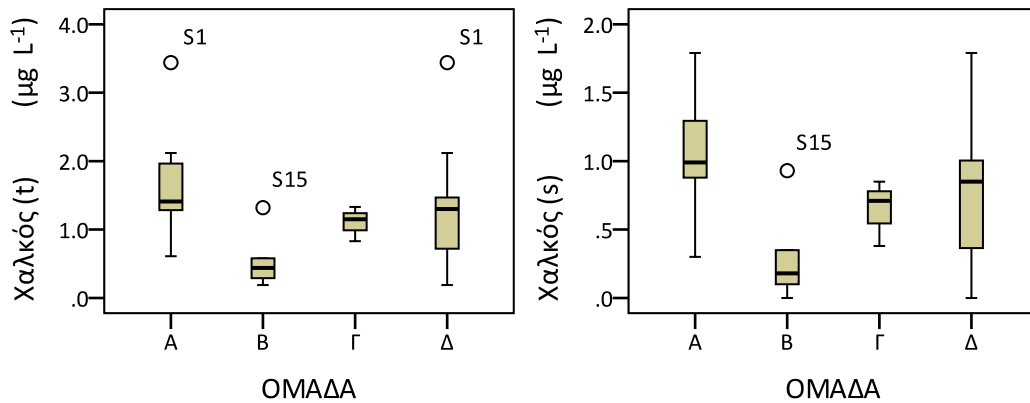
Σχήμα 6.46 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών ολικού περιεχομένου χαλκού με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.47 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού κλάσματος του χαλκού με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

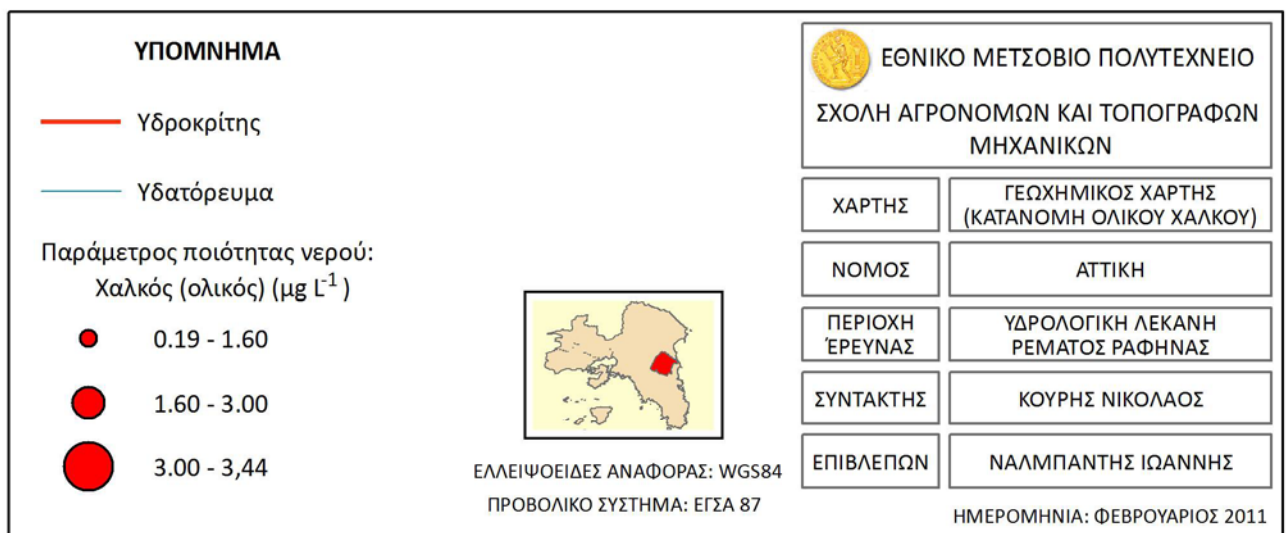
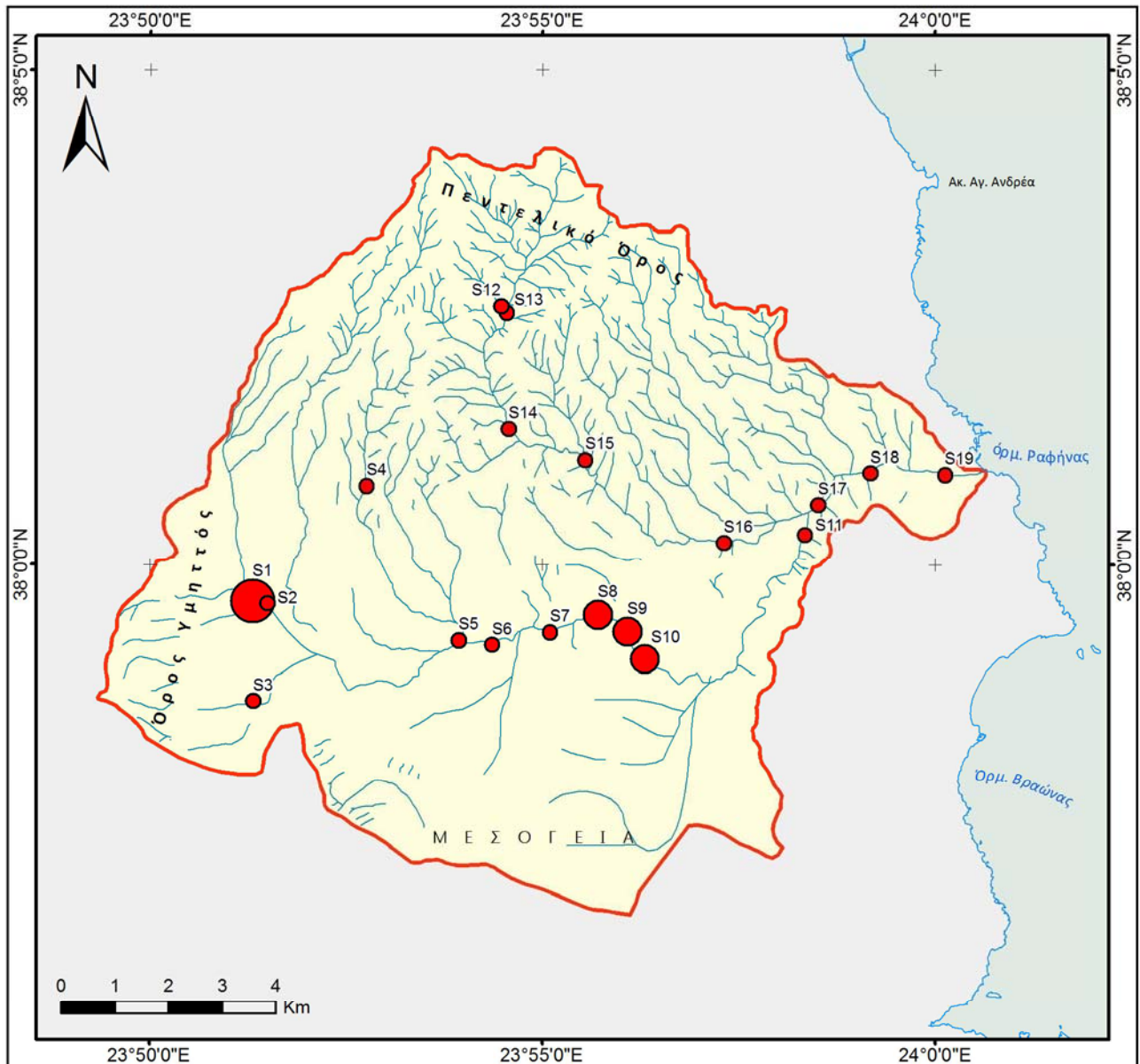
Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης προκύπτει ότι για το ολικό περιεχόμενο σε χαλκό, η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $1,66 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $1,41 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0,73 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 44\%$). Η ομάδα Β παρουσιάζει μέσο όρο $0,56 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $0,44 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0,45 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV=80\%$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει

μέσο όρο $1.10 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος είναι $1.15 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.25 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV=23%). Για το διαλυτό κλάσμα του χαλκού προκύπτει ότι η ομάδα A παρουσιάζει μέσο όρο $1.07 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος είναι $0.99 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.40 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 37%). Για την ομάδα B ο μέσος όρος είναι $0.31 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος $0.18 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.37 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 119%). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο $0.65 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι $0.71 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.24 \mu\text{g L}^{-1}$ (CV=37%).

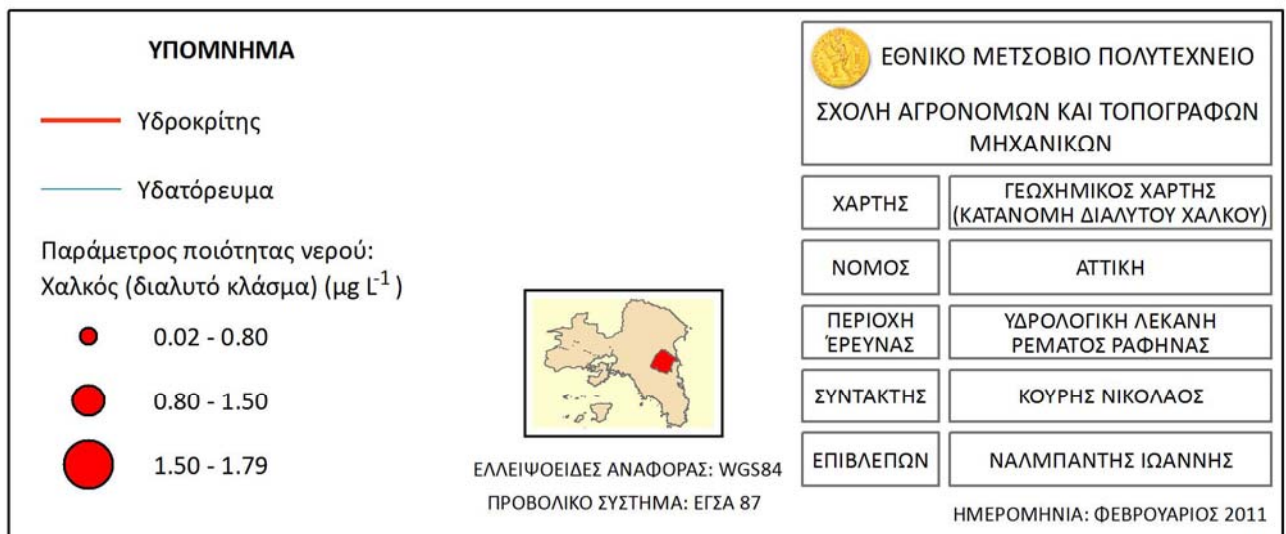
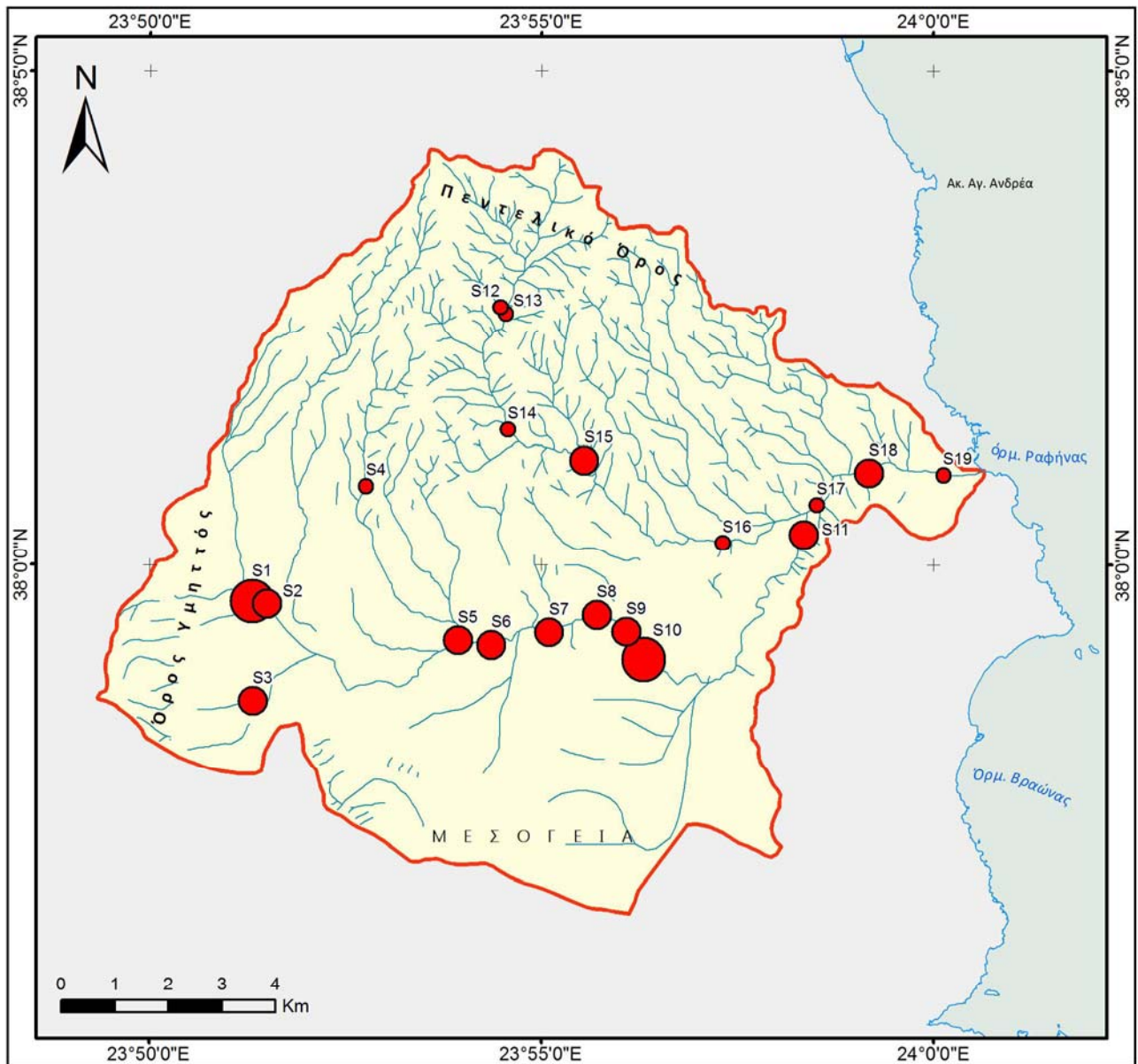


Σχήμα 6.48: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε χαλκό

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του ολικού και διαλυτού κλάσματος του χαλκού εμφανίζεται στους παρακάτω χάρτες (Σχήμα 6.49 και Σχήμα 6.50). Στην έρευνα του ο Alexakis (2008) προσδιόρισε χαμηλή ρύπανση σε χαλκό στα ιζήματα που συλλέχθηκαν τόσο στην περιοχή αυτή όσο και σε νοτιότερες υδρολογικές λεκάνες γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στις χαμηλές συγκεντρώσεις χαλκού στα επιφανειακά νερά των υδατορευμάτων της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.49 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου χαλκού στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



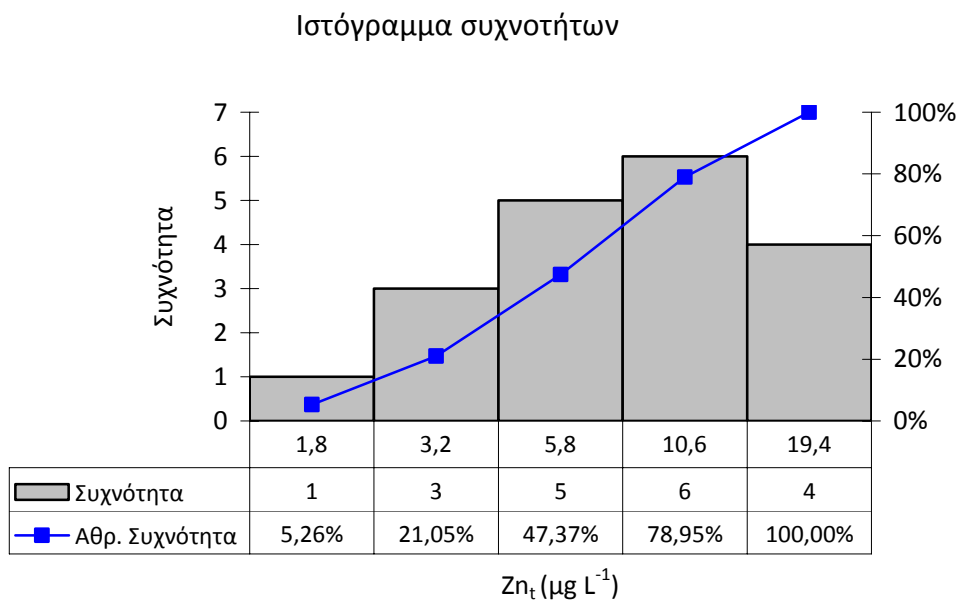
Σχήμα 6.50 Χάρτης κατανομής διαλυτού κλάσματος χαλκού στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2.5 Ψευδάργυρος (Zn)

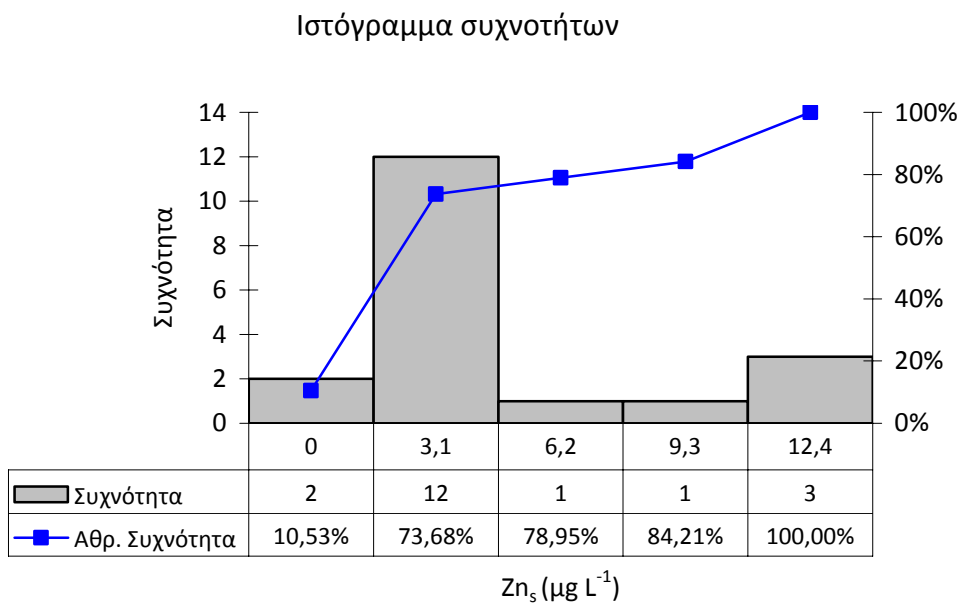
Η συγκέντρωση του ολικού ψευδαργύρου στα δείγματα κυμαίνεται από 1.75 έως 19.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 7.86 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 5.93 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 5.70 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=73%). Η κατανομή του παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.077$) και είναι ελαφρά λεπτόκυρτη ($k = 0.041$) σε σχέση με την κανονική κατανομή. Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από μη ποσοτικοποιήσιμες συγκεντρώσεις έως 12.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 3.18 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 1.61 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 4.06 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=128%). Πρόκειται για θετικά ασύμμετρα ($g = 1.486$) και λεπτόκυρτη κατανομή ($k = 1.038$).

Για το ολικό περιεχόμενο σε ψευδάργυρο πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας, με τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε για την παράμετρο του ψευδαργύρου είναι 1.077. Εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από τον συντελεστή ασυμμετρίας 1.061, ο έλεγχος υπόθεσης για την κανονική κατανομή απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Ομοίως απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 10%. Ο ίδιος έλεγχος πραγματοποιήθηκε στις λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου ψευδαργύρου. Για την νέα αυτή κατανομή ο συντελεστής ασυμμετρίας προσδιορίζεται σε $g = -0.003$ δηλαδή πρόκειται για αρνητικά ασύμμετρα κατανομή για την οποία ο έλεγχος υπόθεσης κανονικότητας με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας είναι αποδεκτός σε επίπεδο σημαντικότητας 2% και 10%. Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov ήταν επιτυχής σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου με μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής $D_{\max} = 0.16$. Για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων ο ίδιος έλεγχος ήταν επιτυχής σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας με μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής $D_{\max} = 0.10$. Επίσης ο έλεγχος χ^2 ήταν επιτυχής για επίπεδο σημαντικότητας 1%, 5% και 10% στις μη λογαριθμημένες και στις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων.

Το ιστόγραμμα συχνοτήτων για τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων του ολικού περιεχομένου σε ψευδάργυρο παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.51, ενώ στο Σχήμα 6.52 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων των μη λογαριθμημένων τιμών του διαλυτού κλάσματος του ψευδαργύρου στα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας.



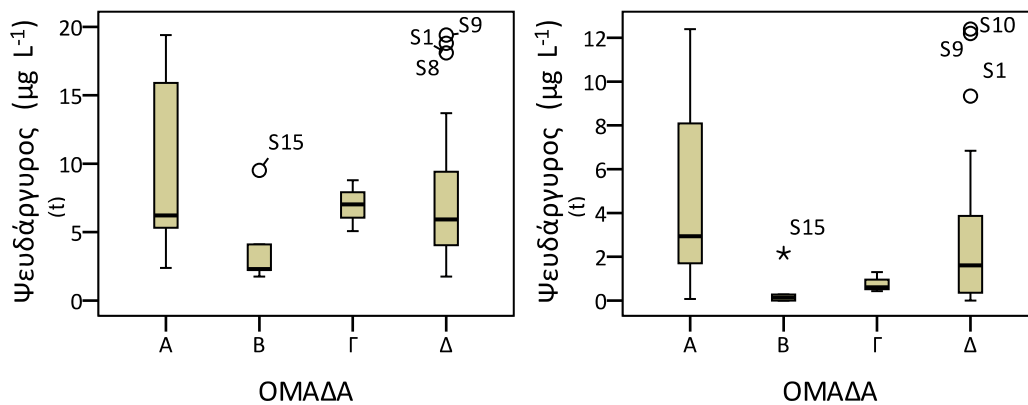
Σχήμα 6.51 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του ολικού ψευδαργύρου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.52 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού ψευδαργύρου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

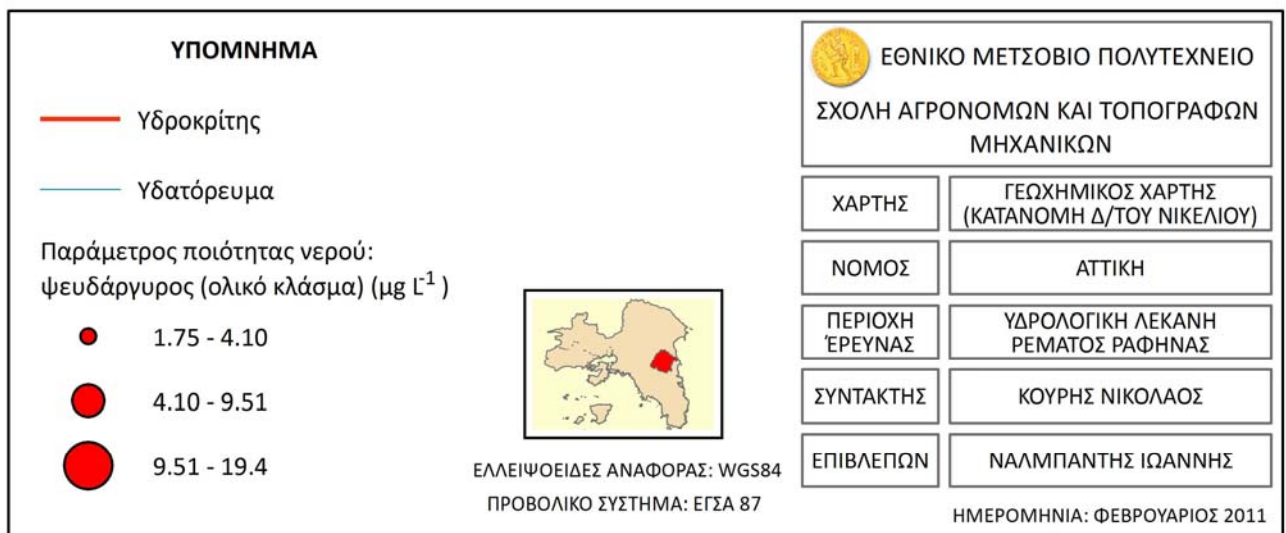
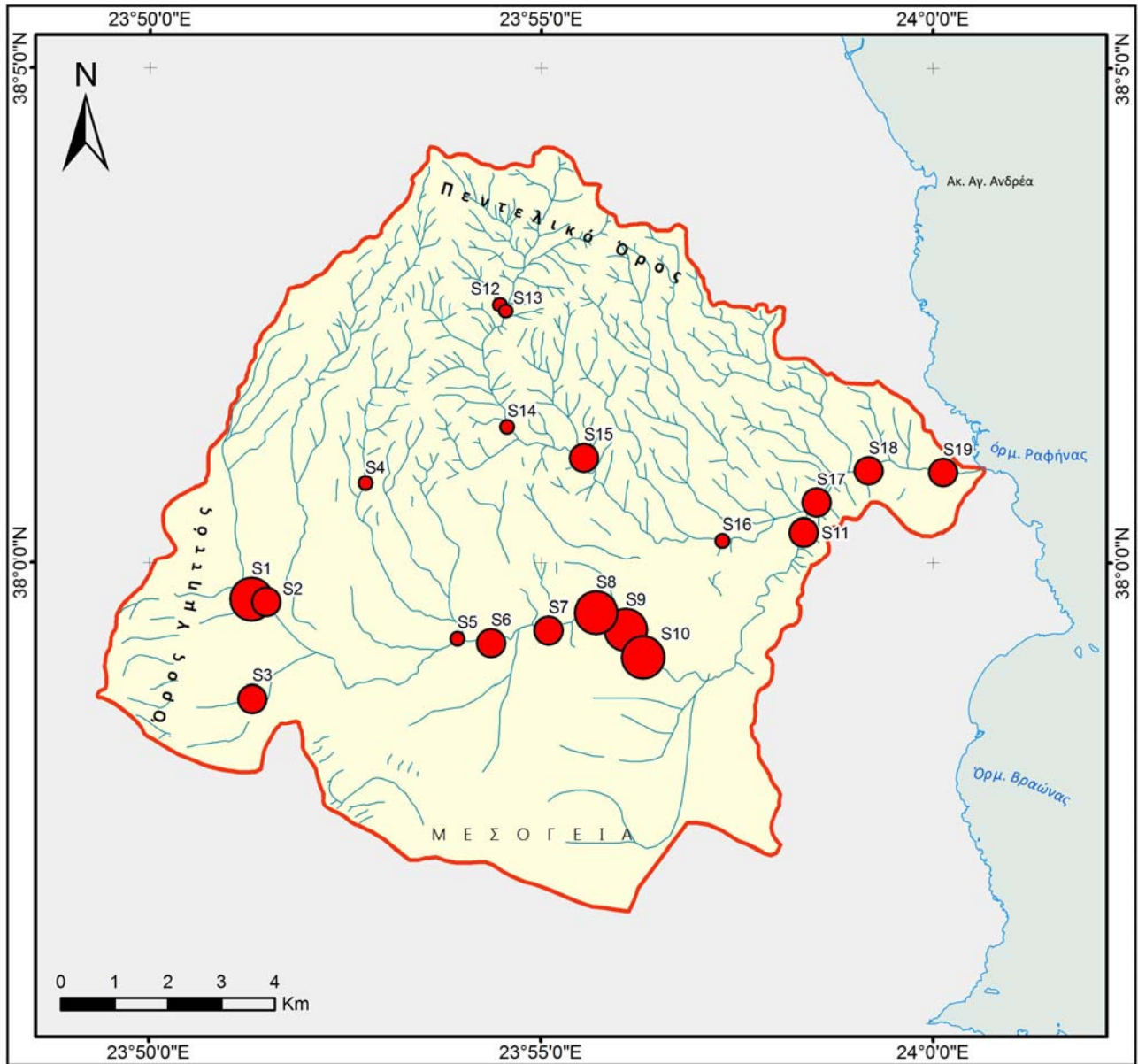
Με βάση της διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης στις τρεις υπολεκάνες (Σχήμα 6.53) προκύπτει ότι για την ομάδα Α το ολικό περιεχόμενο σε ψευδάργυρο παρουσιάζει μέσο όρο $9.86 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος είναι $6.22 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $6.44 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 65\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $3.98 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $2.30 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική

απόκλιση είναι $3.22 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 81\%$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο $6.97 \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι $7.03 \mu\text{g/L}$. Η τυπική απόκλιση $1.86 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 27\%$). Για το διαλυτό κλάσμα του ψευδαργύρου προκύπτει ότι για την ομάδα Α ο μέσος όρος είναι $5.04 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $2.94 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $4.49 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 89\%$). Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.52 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.14 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.93 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 179\%$). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο $0.78 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $0.61 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.46 \mu\text{g L}^{-1}$ ($\text{CV} = 59\%$).

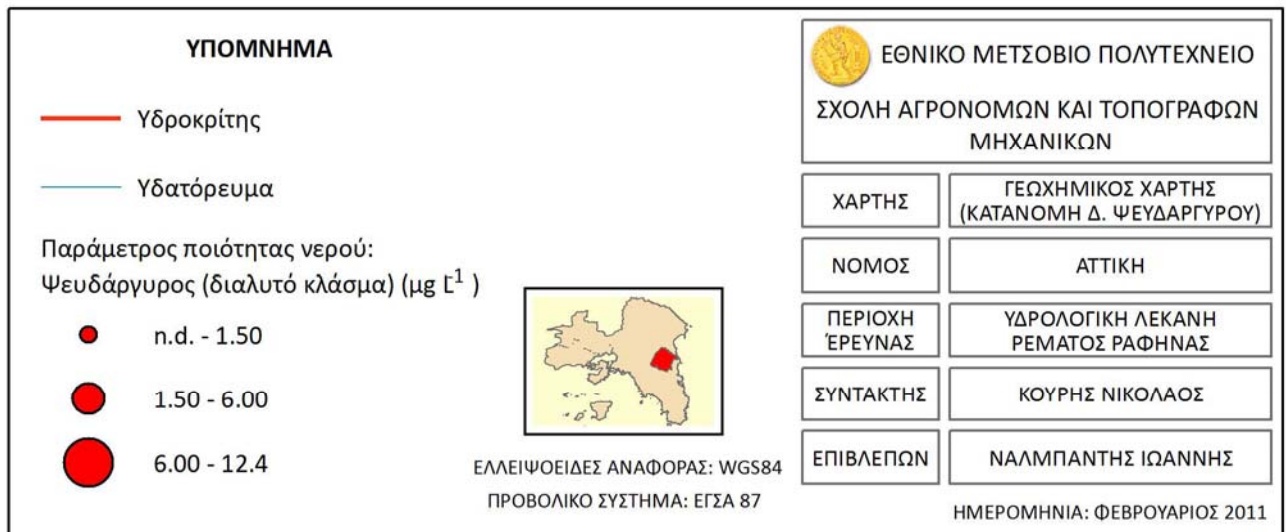
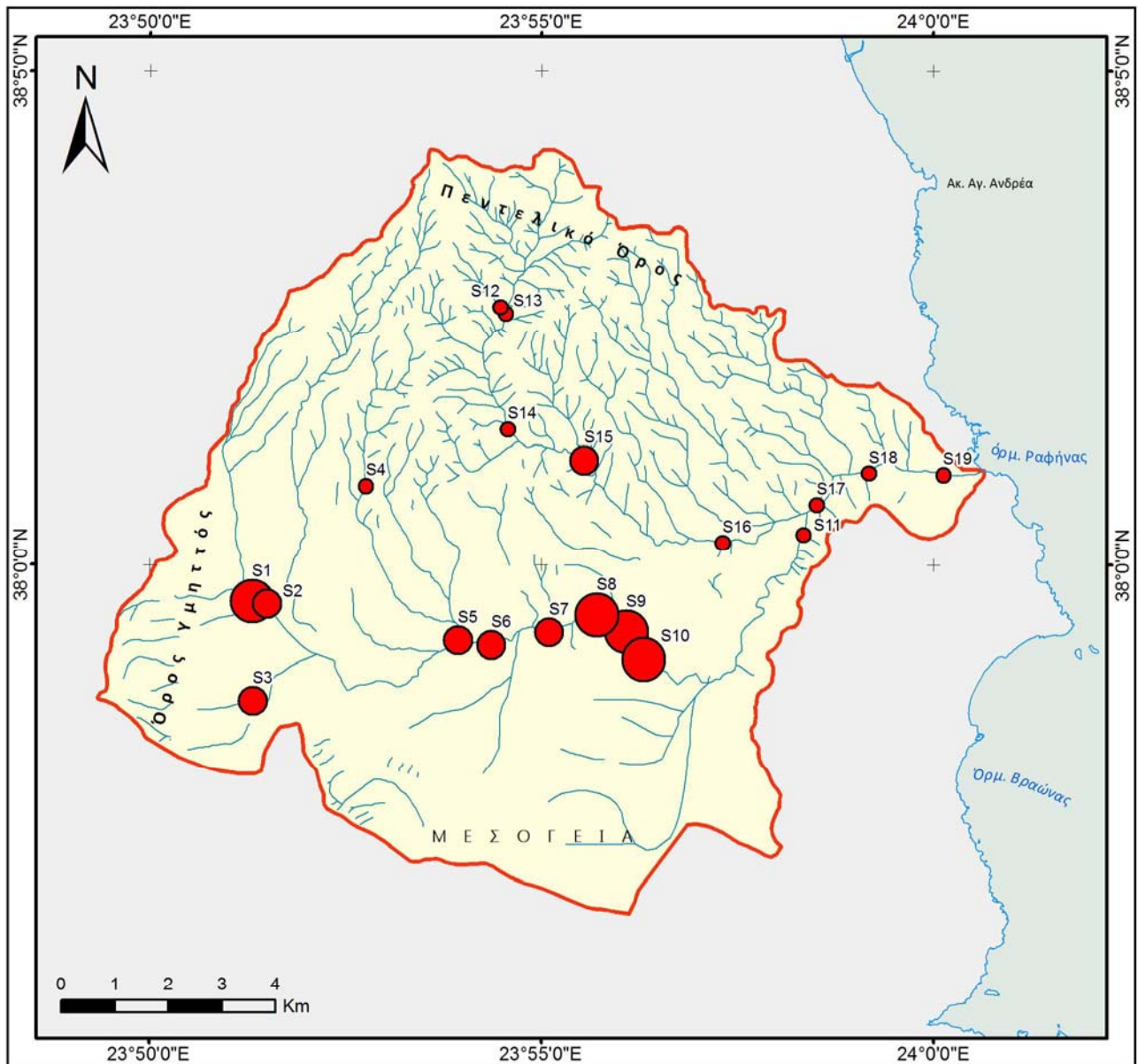


Σχήμα 6.53: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε ψευδάργυρο

Στους χάρτες που ακολουθούν (Σχήμα 6.54 και Σχήμα 6.55) παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του ολικού και διαλυτού κλάσματος ψευδαργύρου που προσδιορίστηκε στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Η διάκριση σε τρεις κλάσεις πραγματοποιήθηκε, όπως και στα υπόλοιπα χημικά στοιχεία με την κατασκευή της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας σε δι-λογαριθμικό χαρτί και στην συνέχεια τον προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων, δηλαδή της τιμής πλαισίου (b) και του κατωφλίου (t). Με βάση τους χάρτες αυτούς γίνεται φανερό η αύξηση του περιεχομένου του ψευδαργύρου στον νοτιότερο κλάδο της υδρολογικής λεκάνης με μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στις θέσεις S8 – S10.



Σχήμα 6.54 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου ψευδαργύρου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



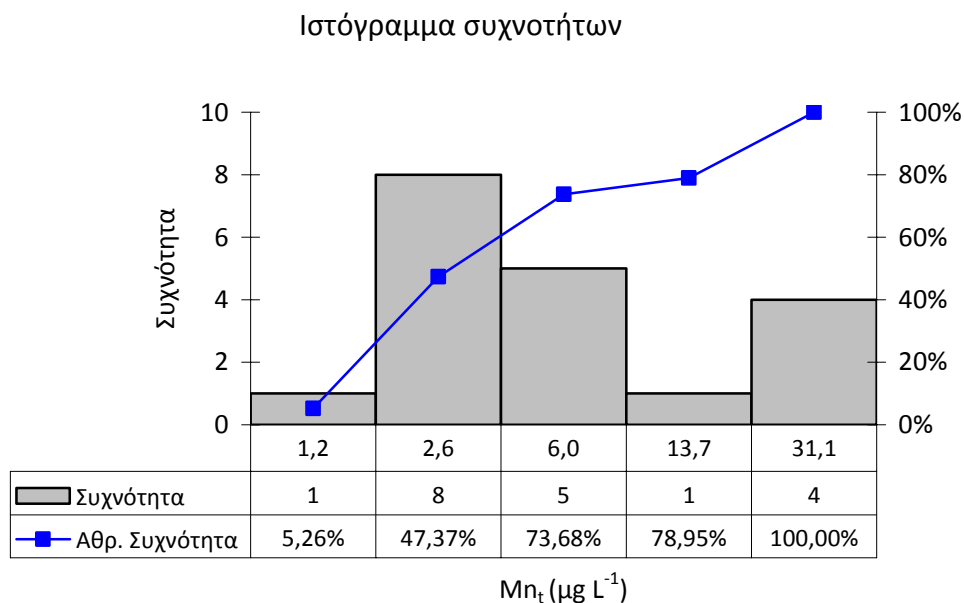
Σχήμα 6.55 Χάρτης κατανομής διαλυτού κλάσματος ψευδαργύρου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2.6 Μαγγάνιο (Mn)

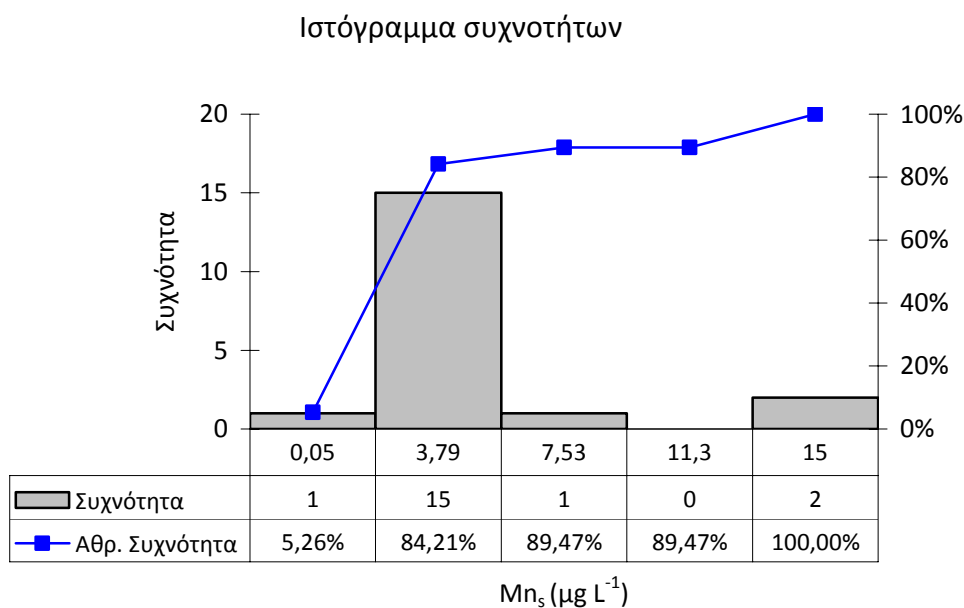
Η συγκέντρωση του ολικού κλάσματος του μαγγανίου στα δείγματα κυμαίνεται από 1.16 έως 31.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 6.73 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 3.05 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 8.51 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=126%). Η κατανομή του παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.812$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 2.674$). Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0.05 έως 15.0 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 1.98 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.14 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 4.25 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=215%). Πρόκειται για έντονα θετική ασύμμετρη κατανομή ($g = 2.513$) και είναι λεπόκυρτη ($k = 5.519$) με υψηλό συντελεστή κύρτωσης.

Για το ολικό περιεχόμενο σε μαγγάνιο πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας με, τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Με βάση τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων δεν ήταν δυνατή η αποδοχή του ελέγχου ασυμμετρίας (λόγω του υψηλού συντελεστή ασυμμετρίας) ενώ ο έλεγχος χ^2 απορρίφθηκε σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας. Επίσης ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov ήταν αποδεκτός σε επίπεδα σημαντικότητας 1% και 5 % ενώ απορρίφθηκε σε επίπεδο σημαντικότητας 10% με μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής $D_{\max} = 0.29$. Ο έλεγχος χ^2 απορρίφθηκε σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας. Στην περίπτωση των λογαριθμημένων συγκεντρώσεων η κατανομή τους παρουσιάζει θετική ασυμμετρία με συντελεστή ασυμμετρίας $g = 0.843$. Εφόσον η τιμή αυτή είναι μικρότερη από τον συντελεστή ασυμμετρίας 1.061, ο έλεγχος υπόθεσης για την κανονική κατανομή είναι αποδεκτός σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Αντίθετα απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 10% (που μέγιστη αποδεκτή τιμή συντελεστή ασυμμετρίας είναι η 0.711). Ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov επίσης δεν απορρίφθηκε σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας με μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής $D_{\max} = 0.17$. Τέλος ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας ήταν αποδεκτός.

Τα ιστογράμματα συχνοτήτων για τις λογαριθμημένες τιμές του ολικού περιεχομένου σε μαγγάνιο και των μη λογαριθμημένων τιμών για το διαλυτό κλάσμα σε μαγγάνιο στα δείγματα της περιοχής έρευνας απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.56 και Σχήμα 6.57).



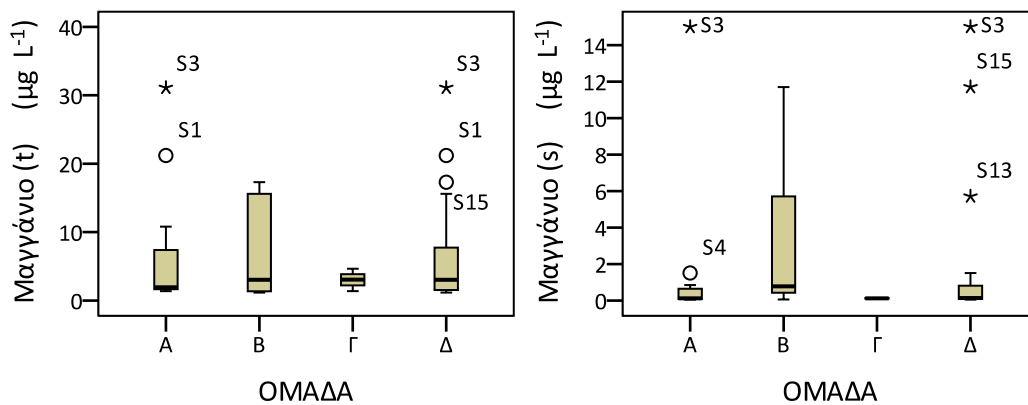
Σχήμα 6.56 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών του ολικού περιεχομένου σε μαγγάνιο με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.57 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού περιεχομένου σε μαγγάνιο με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

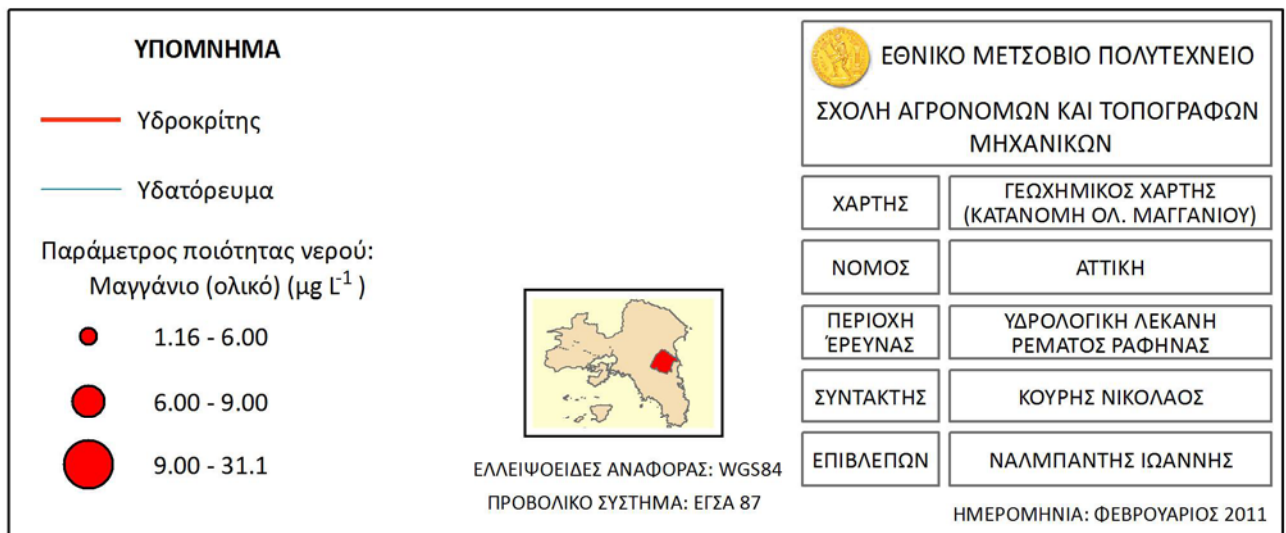
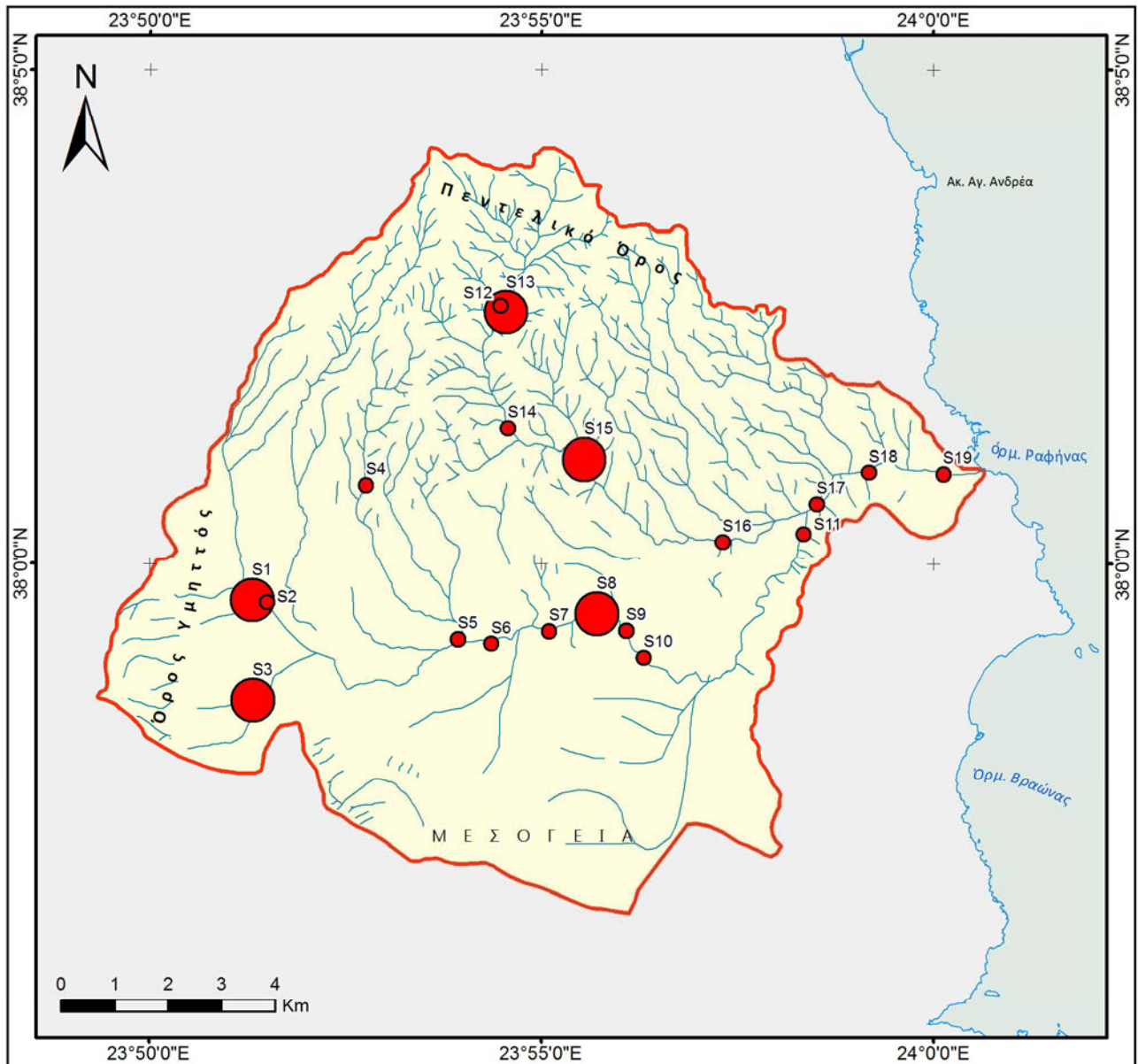
Με βάση την χωρική κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας και την διαμέριση της λεκάνης στις τρεις υπολεκάνες προκύπτει (Σχήμα 6.56) ότι για το ολικό περιεχόμενο σε μαγγάνιο η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $7.30 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος είναι $1.93 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $9.95 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 136\%$). Η ομάδα Β παρουσιάζει μέσο όρο $7.69 \mu\text{g L}^{-1}$ και

διάμεσο 3.05 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 8.05 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 105%). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο 3.03 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 3.06 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 1.64 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 54%). Για το διαλυτό περιεχόμενο σε μαγγάνιο προκύπτει για την ομάδα Α μέσος όρος 1.68 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσος 0.12 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 4.44 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 264%). Η ομάδα Β παρουσιάζει μέσο όρο 3.74 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.78 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση 5.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 134%). Η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο 0.12 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.12 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.02 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV = 17%).

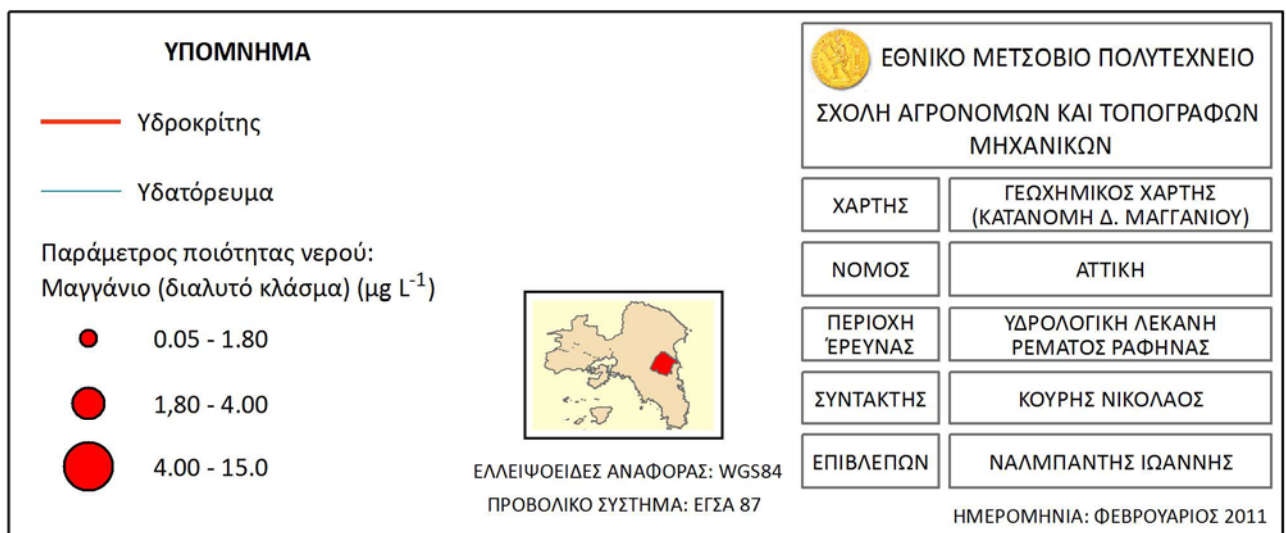
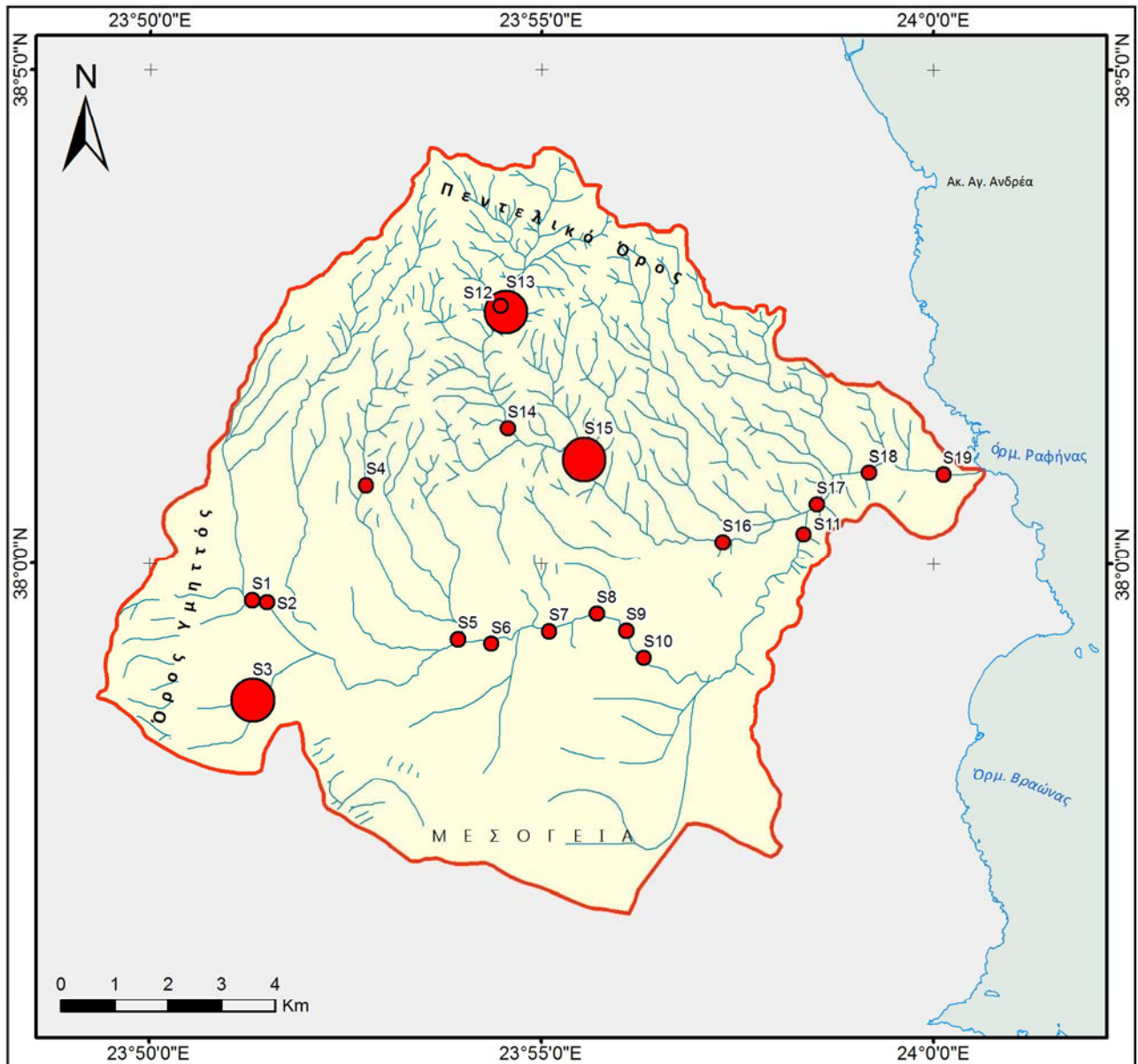


Σχήμα 6.58: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε μαγγάνιο

Στους χάρτες που ακολουθούν (Σχήμα 6.59 και Σχήμα 6.60) παρουσιάζεται η κατανομή της συγκέντρωσης του μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.59 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



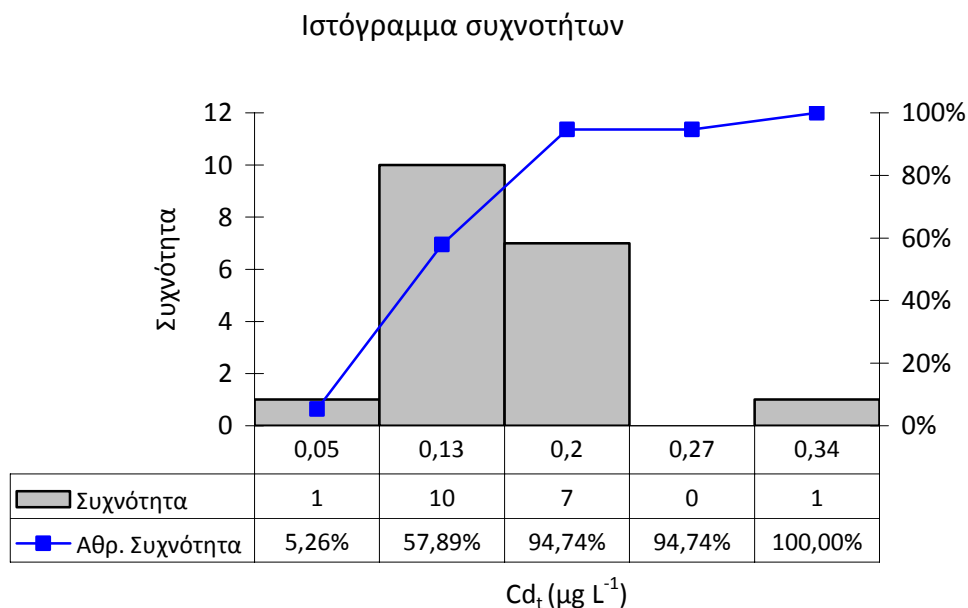
Σχήμα 6.60 Χάρτης κατανομής διαλυτού κλάσματος μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.2.7 Κάδμιο (Cd)

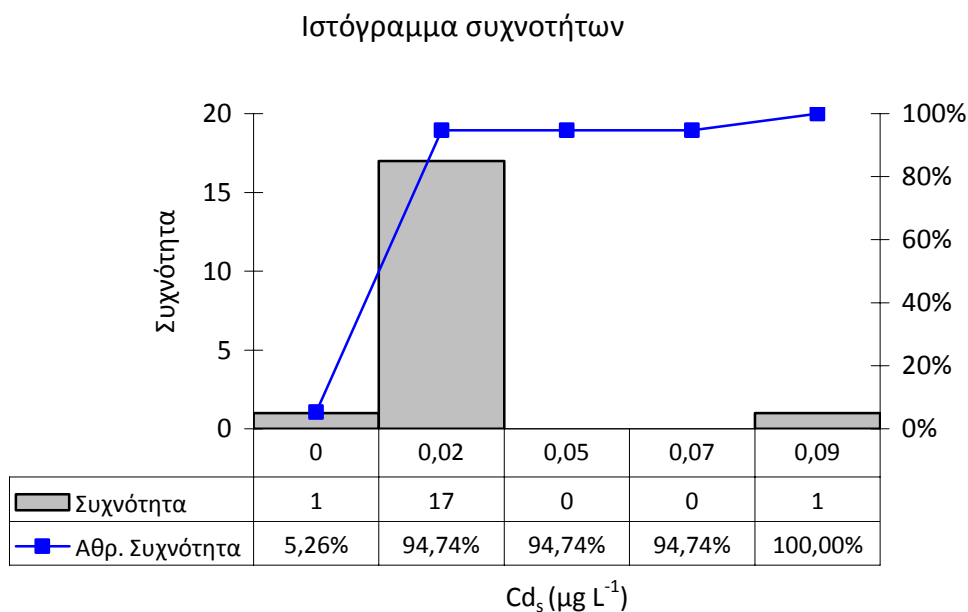
Η συγκέντρωση του ολικού κλάσματος του καδμίου στα δείγματα κυμαίνεται από 0.05 έως 0.34 $\mu\text{g L}^{-1}$ με μέσο όρο 0.13 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.12 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.06 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=50%). Η κατανομή του καδμίου είναι θετικά ασύμμετρη ($g = 1.985$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 5.870$). Για το διαλυτό κλάσμα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμο έως 0.02 $\mu\text{g L}^{-1}$, με μέσο όρο 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ (CV=82%).

Για το ολικό περιεχόμενο σε κάδμιο πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας, με τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Ο συντελεστής ασυμμετρίας που προσδιορίστηκε για την παράμετρο του καδμίου είναι 1.985. Εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από τον συντελεστή ασυμμετρίας 1.061, ο έλεγχος υπόθεσης για την κανονική κατανομή απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 2%. Ομοίως απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 10%. Ο ίδιος έλεγχος πραγματοποιήθηκε στις λογαριθμημένες τιμές της συγκέντρωσης του ολικού περιεχομένου καδμίου. Για την νέα αυτή κατανομή ο συντελεστής ασυμμετρίας προσδιορίζεται σε $g = 0.234$ δηλαδή πρόκειται για θετικά ασύμμετρη κατανομή για την οποία ο έλεγχος υπόθεσης κανονικότητας με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας είναι αποδεκτός σε επίπεδο σημαντικότητας 2% και 10%. Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov ήταν επιτυχής σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% για τις μη λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου με μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής $D_{\max} = 0,14$. Επίσης ο έλεγχος χ^2 ήταν επιτυχής για επίπεδο σημαντικότητας 1%, 5% στις μη λογαριθμημένες τιμές ενώ απορρίφθηκε σε επίπεδο σημαντικότητας 10%.

Το ιστόγραμμα συχνοτήτων για το ολικό περιεχόμενο σε κάδμιο απεικονίζεται στο Σχήμα 6.61 ενώ στο Σχήμα 6.62 απεικονίζεται η κατανομή του διαλυτού κλάσματος.



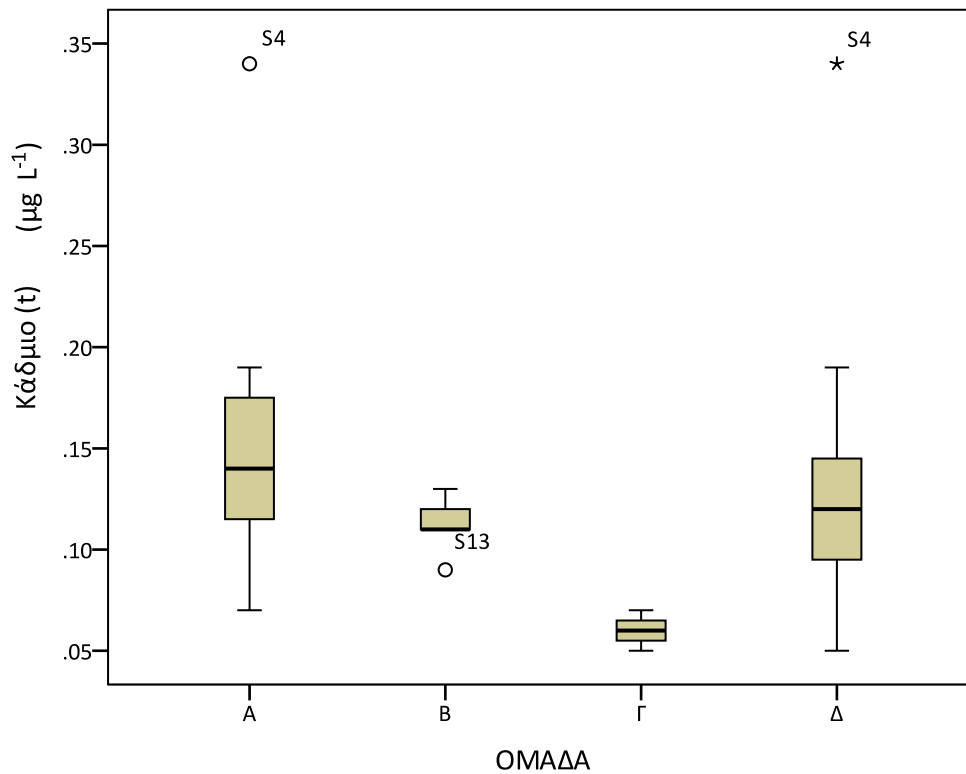
Σχήμα 6.61 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του ολικού περιεχομένου σε κάδμιο με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.62 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του διαλυτού περιεχομένου σε κάδμιο με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Με βάση την χωρική διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης προκύπτει (Σχήμα 6.63) ότι η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο $0.15 \mu\text{g L}^{-1}$ και διάμεσο $0.14 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.07 \mu\text{g L}^{-1}$. Για την ομάδα Β ο μέσος όρος είναι $0.11 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.11 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.01 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 9.1\%$). Τέλος η ομάδα Γ παρουσιάζει μέσο όρο 0.06

μg L⁻¹ και διάμεσο 0.06 μg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 0.01 μg L⁻¹(17%). Λόγω των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων του διαλυτού κλάσματος σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας δεν παρατίθενται στατιστικά στοιχεία.



Σχήμα 6.63: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό περιεχόμενο σε κάδμιο των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας.

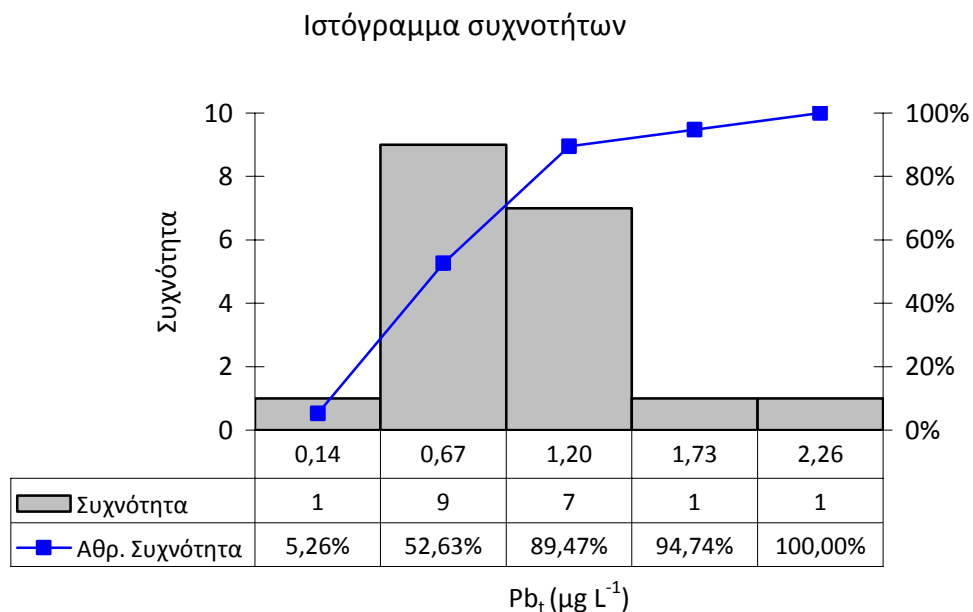
6.3.2.8 Μόλυβδος (Pb)

Η συγκέντρωση του ολικού κλάσματος του μολύβδου στα δείγματα κυμαίνεται από 0.14 έως 2.26 μg L⁻¹ με μέσο όρο 0.64 μg L⁻¹ και διάμεσο 0.48 μg L⁻¹. Η τυπική απόκλιση είναι 0.54 μg L⁻¹ (CV=84%). Η κατανομή του μολύβδου παρουσιάζει θετική ασυμμετρία ($g = 1.617$) και είναι λεπτόκυρτη ($k = 3.454$). Το διαλυτό κλάσμα δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα από τα ληφθέντα δείγματα (DL = 0.035 μg L⁻¹) οπότε και δεν πραγματοποιήθηκε καμία περαιτέρω ανάλυση για το κλάσμα αυτό.

Με βάση τον έλεγχο της ασυμμετρίας προκύπτει ότι η υπόθεση κανονικότητας απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 2% (γιατί ο συντελεστής ασυμμετρίας της κατανομής του στατιστικού δείγματος είναι μεγαλύτερο από 1.061) και σε επίπεδο σημαντικότητας 10% (γιατί ο συντελεστής ασυμμετρίας της κατανομής του στατιστικού δείγματος είναι μεγαλύτερο από 0.711). Αντίθετα ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov είναι

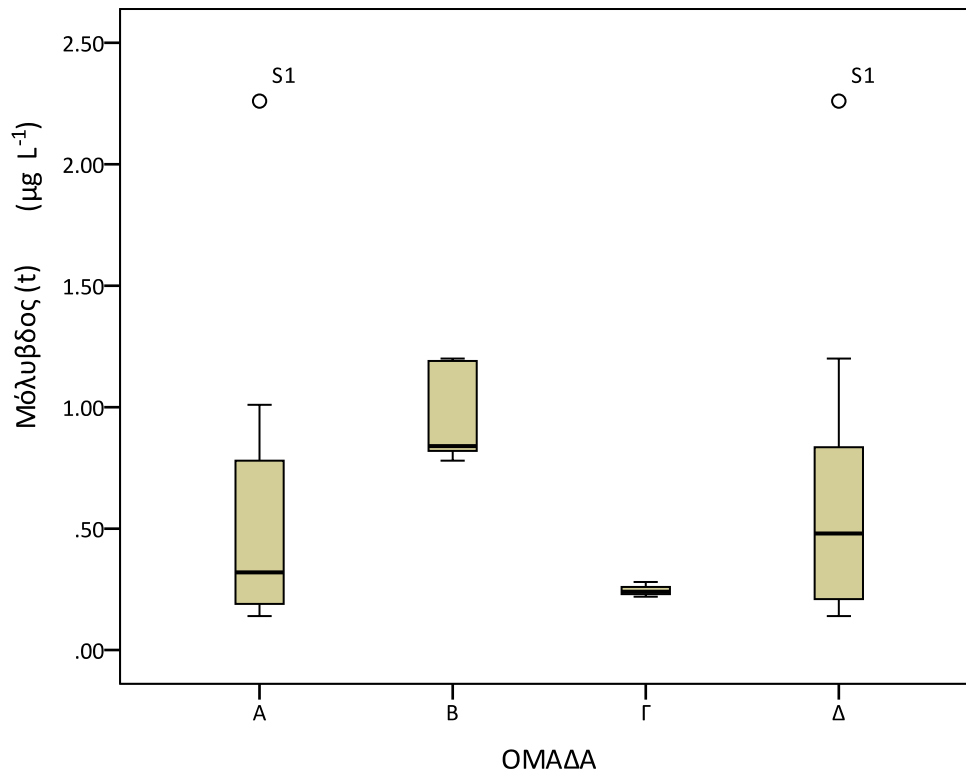
επιτυχείς σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% με μέγιστη διαφορά θεωρητικής και εμπειρικής κατανομής $D_{\max} = 0.17$. Τέλος ο έλεγχος υπόθεσης κανονικής κατανομής με βάση τον έλεγχο χ^2 επίσης δεν απορρίφθηκε σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10%. Αντίθετα με βάση τις λογαριθμημένες τιμές των συγκεντρώσεων του ολικού περιεχομένου σε μόλυβδο απορρίφθηκε τόσο ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov όσο και ο έλεγχος χ^2 .

Στο Σχήμα 6.64 απεικονίζεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων για το ολικό περιεχόμενο σε μόλυβδο για τα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας.



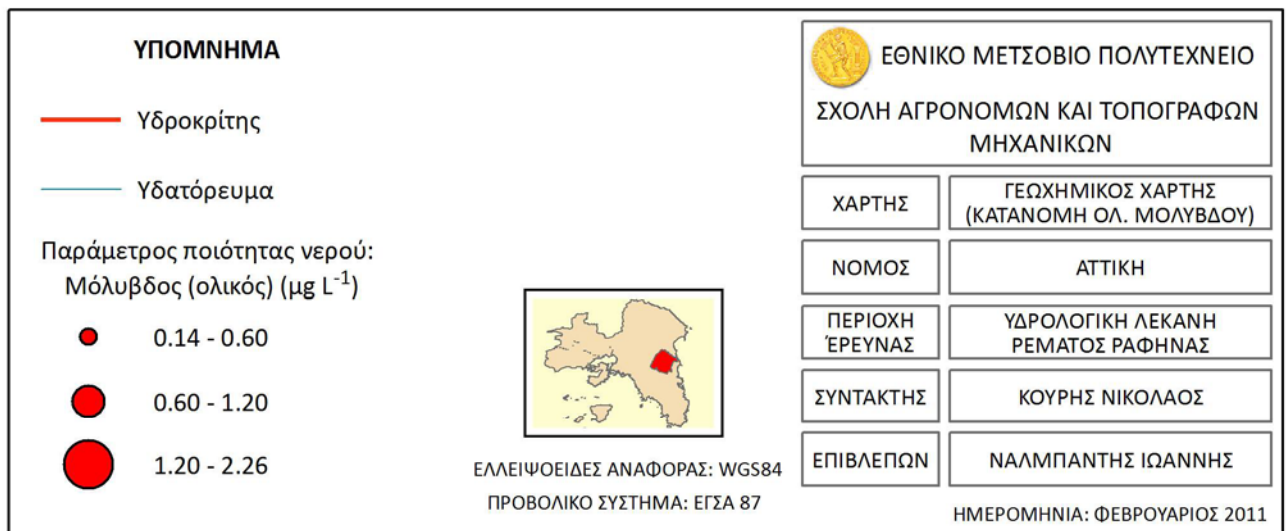
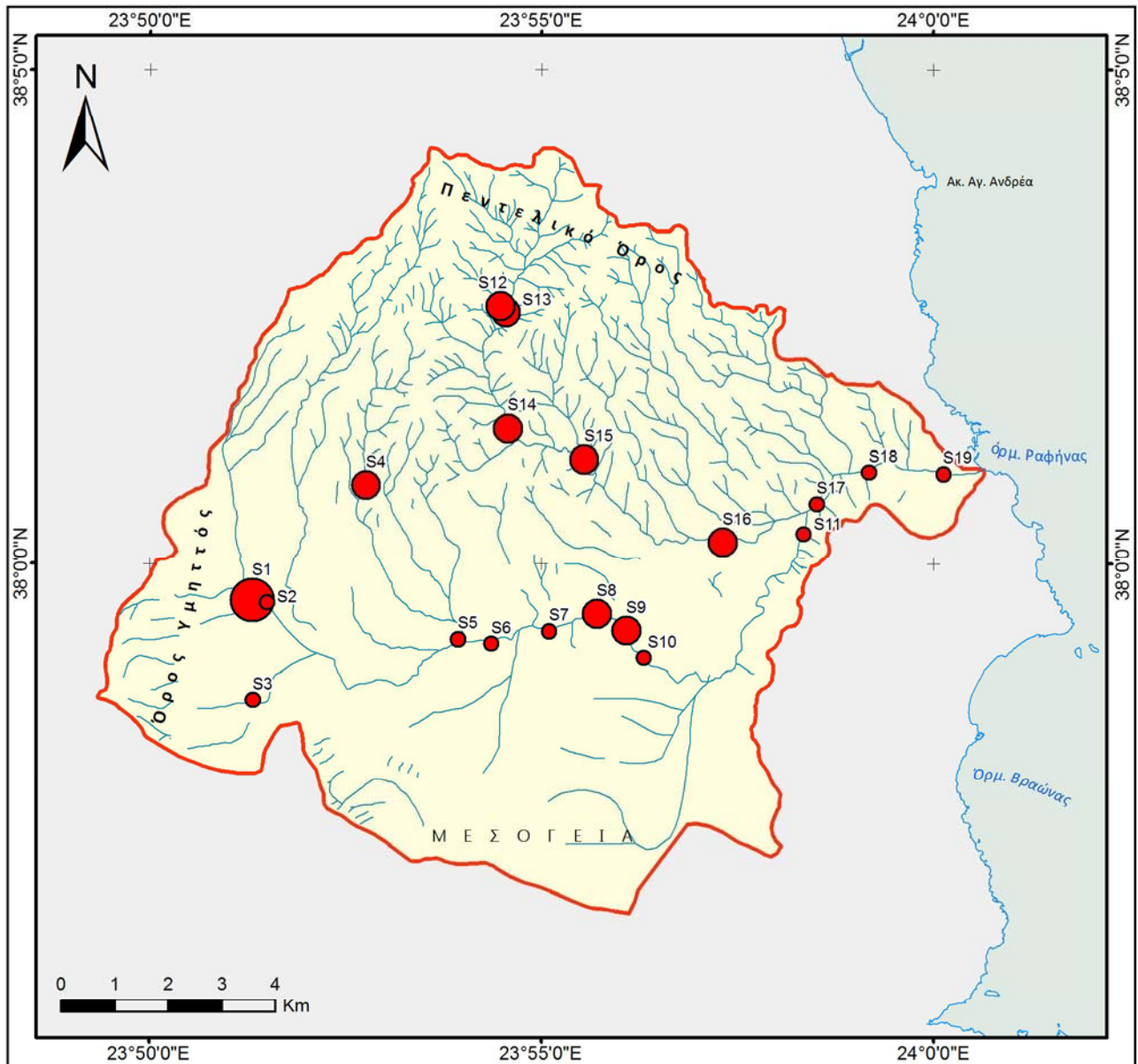
Σχήμα 6.64 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών του ολικού μολύβδου με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.

Με βάση την διαμέριση της υδρολογικής λεκάνης προκύπτει ότι για το ολικό περιεχόμενο σε μόλυβδο και αναφερόμενοι στην ομάδα Α ο μέσος όρος είναι $0.59 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.32 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.63 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 107\%$). Η ομάδα Β παρουσιάζει υψηλότερο μέσο όρο ο οποίος είναι $0.97 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος είναι $0.84 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.21 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 22\%$). Ο μέσος όρος για την ομάδα Γ είναι $0.25 \mu\text{g L}^{-1}$ και η διάμεσος $0.24 \mu\text{g L}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι $0.03 \mu\text{g L}^{-1}$ ($CV = 12\%$).



Σχήμα 6.65: Διάγραμμα πλαισίου για το ολικό και διαλυτό περιεχόμενο σε μόλυβδο των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας.

Στο Σχήμα 6.66 απεικονίζεται η χωρική κατανομή του ολικού περιεχομένου σε μόλυβδο στην περιοχή έρευνας. Το διαλυτό κλάσμα μολύβδου δεν ποσοτικοποιήθηκε σε καμιά θέση δειγματοληψίας



Σχήμα 6.66 Χάρτης κατανομής ολικού περιεχομένου μολύβδου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

6.3.3 Υδροχημικές και φυσικές παράμετροι

Από την κατηγορία αυτών των παραμέτρων αναλύεται μόνο η ειδική αγωγιμότητα αφού οι υπόλοιπες σχετίζονται γραμμικά με αυτή.

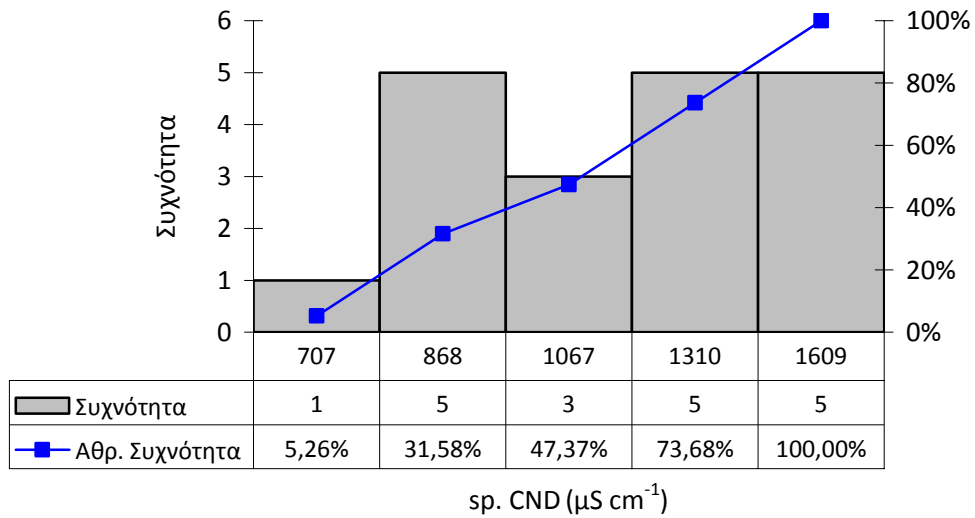
6.3.3.1 Ειδική αγωγιμότητα

Η ειδική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 707 έως 1609 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Ο μέσος όρος είναι 1100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και η διάμεσος 1168 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 280 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (CV = 25%). Η κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας εμφανίζεται συμμετρική ($g = 0.000$) και πλατύκυρτη με συντελεστή κύρτωσης $k = -1.26$.

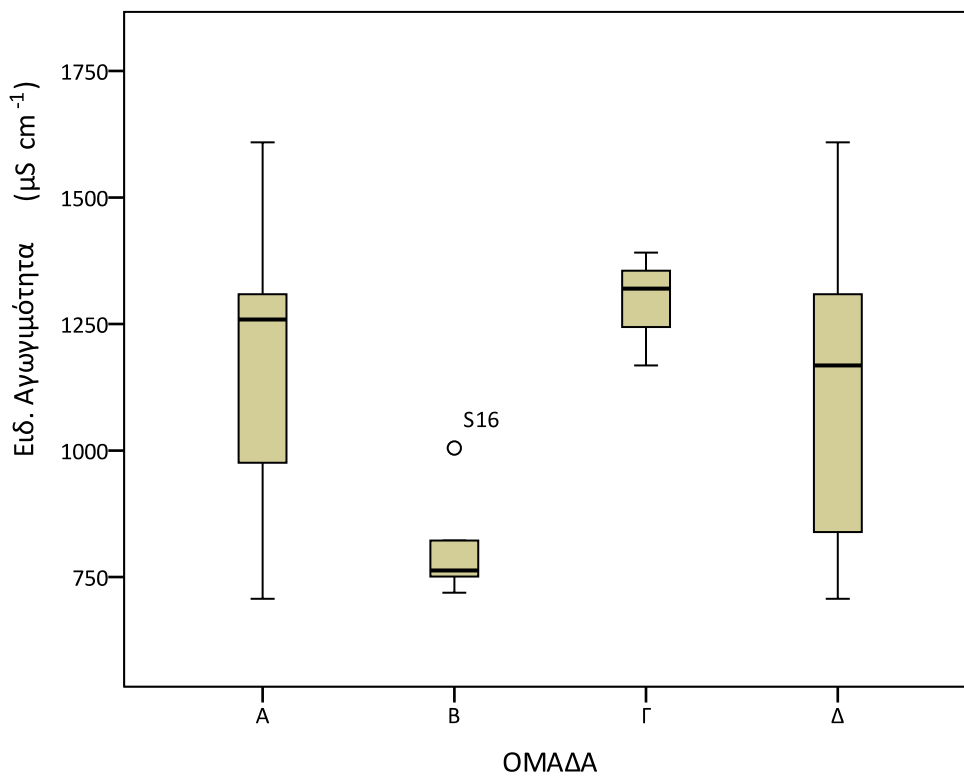
Για την ειδική αγωγιμότητα πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας με, τον έλεγχο της ασυμμετρίας, τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και τον έλεγχο χ^2 . Λόγω της συμμετρικής κατανομής της ειδικής αγωγιμότητας ο έλεγχος της ασυμμετρίας είναι αποδεκτός σε επίπεδα σημαντικότητας 2% και 10 %. Με την λογαρίθμηση των τιμών της ειδικής αγωγιμότητας προκύπτει αρνητικά ασύμμετρη κατανομή με συντελεστή ασυμμετρίας $g = -0.270$. Με βάση την τιμή αυτή ο έλεγχος υπόθεσης κανονικότητας με τον έλεγχο της ασυμμετρίας θεωρείται αποδεκτός. Επίσης ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov ήταν αποδεκτός σε επίπεδα σημαντικότητας 1%, 5% και 10% με μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής $D_{\max} = 0.11$. Για τις λογαριθμημένες τιμές της ειδικής αγωγιμότητας ο έλεγχος αυτός ήταν επίσης αποδεκτός σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας με μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής $D_{\max} = 0.14$. Ο έλεγχος χ^2 για τις τιμές της ειδικής αγωγιμότητας απορρίφθηκε για επίπεδα σημαντικότητας 5% και 10%. Τέλος ο έλεγχος χ^2 σε όλα τα επίπεδα σημαντικότητας ήταν αποδεκτός. Το ιστόγραμμα κατανομής παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.67.

Με βάση την χωρική διασπορά των θέσεων δειγματοληψίας και της αντίστοιχης διαμέρισης σε τρεις υπολεκάνες προκύπτει ότι η ομάδα Α παρουσιάζει μέσο όρο 1178 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ενώ η διάμεσος είναι 1259 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 271 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (CV = 23%). Στην ομάδα Β ο μέσος όρος είναι χαμηλότερος και προσδιορίζεται σε 812 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και η διάμεσος είναι 763 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση είναι 114 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (CV = 14%). Στην ομάδα Γ ο μέσος όρος είναι 1293 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και η διάμεσος 1320 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Η τυπική απόκλιση 114 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (CV = 4.5%).

Ιστόγραμμα συχνοτήτων



Σχήμα 6.67 Ιστόγραμμα κατανομής των λογαριθμημένων τιμών της ειδικής αγωγιμότητας με γραφική απεικόνιση της καμπύλης αθροιστικής συχνότητας.



Σχήμα 6.68: Διάγραμμα πλαισίου για την ειδική αγωγιμότητα των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας.

6.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.4.1 Ανάλυση συσχέτισης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι κυριότερες συσχέτισης που προέκυψαν με την ανάλυση συσχέτισης. Τα αποτελέσματα δίνονται ανά παράμετρο.

6.4.1.1 Χλώριο

Τα χλωριόντα παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με τα ιόντα βρωμίου ($r = 0.937, p = 0.00$), τα ιόντα νατρίου ($r = 0.891, p = 0.00$) και την ειδική αγωγιμότητα ($r = 0.906, p = 0.00$). Καλή θετική συσχέτιση παρουσιάζει με τα θειικά ιόντα ($r = 0.616, p = 0.005$), τα ιόντα μαγνησίου ($r = 0.507, p = 0.027$) και τα όξινα ανθρακικά ιόντα ($r = 0.579, p = 0.009$)

6.4.1.2 Φθόριο

Το φθόριο παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με τα ιόντα μαγνησίου ($r = 0.858, p = 0.00$) καθώς και με το περιεχόμενο σε νικέλιο ($r = 0.841, p = 0.00$). Με τα ιόντα νατρίου ($r = 0.661, p = 0.002$), και θειικών ($r = 0.725, p = 0.00$) παρουσιάζει καλή θετική συσχέτιση.

6.4.1.3 Βρώμιο

Τα ιόντα βρωμίου παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με την ειδική αγωγιμότητα ($r = 0.761, p = 0.000$) καθώς και όπως προαναφέρθηκε με τα ιόντα χλωρίου. Καλή θετική συσχέτιση έχει με τα ιόντα νατρίου ($r = 0.733, p = 0.00$).

6.4.1.4 Νιτρικά

Τα νιτρικά ιόντα παρουσιάζουν καλή θετική συσχέτιση με τα θειικά ιόντα ($r = 0.706, p = 0,001$) και τα ιόντα καλίου ($r = 0.680, p = 0.001$) καθώς και με το νικέλιο ($r = 0.769, p = 0.00$). Οι πολύ καλές θετικές συσχετίσεις με τα ιχνοστοιχεία του χρωμίου και του κοβαλτίου καθώς και οι υπόλοιπες καλές θετικές συσχετίσεις δεν μπορούν να υιοθετηθούν εξαιτίας των πολύ μικρών συγκεντρώσεων αυτών των ιχνοστοιχείων σε σχέση με τις τιμές των νιτρικών. Γενικά, η απουσία ισχυρών συσχετίσεων με τα υπόλοιπα ιόντα είναι αναμενόμενη εξαιτίας του γεγονότος ότι η προέλευση των νιτρικών ιόντων είναι κατά βάση ανθρωπογενής.

6.4.1.5 Θειικά

Τα θειικά ιόντα παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με τα ιόντα νατρίου ($r = 0.878, p = 0.000$), μαγνησίου ($r = 0.922, p = 0.00$) καθώς και με την ειδική αγωγιμότητα ($r = 0.854, p =$

0.000). Καλή θετική συσχέτιση όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζουν με τα ιόντα χλωρίου ενώ επίσης με τα όξινα ανθρακικά ($r = 0.660$, $p = 0.002$). Επειδή οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι πάρα πολύ χαμηλές κάποιες συσχετίσεις που προσδιορίζονται δεν λαμβάνονται υπόψη ενώ οι υπόλοιπες συσχετίσεις που προκύπτουν δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($p > 0.05$).

6.4.1.6 Νάτριο

Τα ιόντα νατρίου παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση όπως προαναφέρθηκε με το χλώριο και τα θειικά καθώς και με την ειδική αγωγιμότητα ($r = 0,946$, $p = 0.000$) και το μαγνήσιο ($r = 0.803$, $p = 0.000$). Επίσης καλή θετική συσχέτιση δείχνει να έχει με τα όξινα ανθρακικά ($r = 0.627$, $p = 0.004$).

6.4.1.7 Κάλιο

Το κάλιο εκτός από την καλή θετική συσχέτιση που παρουσιάζει με τα νιτρικά, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο των νιτρικών ιόντων, δεν παρουσιάζει με τα υπόλοιπα ιόντα κάποια σημαντική συσχέτιση θετική ή αρνητική. Από τα ιχνοστοιχεία καλή θετική συσχέτιση παρουσιάζει με το ολικό περιεχόμενο σε χρώμιο ($r = 0.733$, $p = 0.000$). Γενικά πάντως χαμηλές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων δεν επιτρέπουν την εξαγωγή κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος για πιθανή συσχέτιση.

6.4.1.8 Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο έχει πολύ καλή συσχέτιση με το νάτριο, τα θειικά, το φθόριο και καλή θετική συσχέτιση με το χλώριο. Οι συντελεστές δίνονται στις αντίστοιχες παραγράφους των ιόντων αυτών. Επίσης, με την ειδική αγωγιμότητα έχει πολύ καλή θετική συσχέτιση ($r = 0.76$, $p = 0.00$)

6.4.1.9 Ασβέστιο

Για το ασβέστιο γενικά δεν παρατηρήθηκαν υψηλού βαθμού συσχετίσεις εκτός από την καλή θετική συσχέτιση που παρουσιάζει με τα όξινα ανθρακικά ιόντα ($r = 0.497$, $p = 0.030$).

6.4.1.10 Όξινα ανθρακικά και ανθρακικά

Οι όξινες ανθρακικές ρίζες παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με την ειδική αγωγιμότητα ($r = 0.770$, $p = 0.000$). Τα ανθρακικά ιόντα παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με το pH ($r = 0.821$, $p = 0.000$) γεγονός όμως που είναι αναμενόμενο μιας και η παρουσία των διτανθρακικών ιόντων συνδέεται άμεσα με αύξηση του pH. Δηλαδή η

συσχέτιση αυτή περισσότερο είναι χρήσιμη ως δείκτης για τον έλεγχο του ορθού προσδιορισμού της συγκέντρωσης των διτανθρακικών ιόντων.

6.4.1.11 Ειδική Αγωγιμότητα

Η ειδική αγωγιμότητα όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με τα ιόντα χλωρίου, βρωμίου, τα θειικά ιόντα, το νάτριο και τα όξινα ανθρακικά ιόντα.

6.4.2 Παραγοντική ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό τμήμα το πρώτο ουσιαστικό βήμα για την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης είναι να υπολογιστούν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών και να ελεγχθεί κατά πόσο υπάρχουν τουλάχιστον καλές συσχετίσεις (> 0.40). Στην προηγούμενη παράγραφο έγινε έλεγχος συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών και παρουσιάστηκαν οι κυριώτερες συσχέτισης. Επόμενως κρίθηκε σκόπιμο παρά τον μικρό αριθμό του δείγματος των μετρήσεων να εφαρμοσθεί η παραγοντική ανάλυση για να γίνει δυνατή η ομαδοποίηση των μεταβλητών ώστε να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας και τις διεργασίες οι οποίες επιδρούν σε αυτήν.

Με βάση τους συντελεστές συσχέτισης και τις χημικές παραμέτρους οι οποίες θα ενδιέφεραν καταρχάς προσδιορίστηκε με την χρήση υπολογιστή το στατιστικό κριτήριο Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Με βάση την τιμή αυτού του μέτρου επιλέχθηκαν οι τελικοί χημικοί παράμετροι για τους οποίους εφαρμόστηκε η παραγοντική ανάλυση.

Έτσι για την ανάλυση αυτή επιλέχθηκαν οι χημικοί παράμετροι χλώριο, νιτρικά, κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο, ολικό περιεχόμενο σε μαγγάνιο, χρώμιο και νικέλιο καθώς και τα ολικά διαλυμένα στερεά. Το στατιστικό KMO που υπολογίστηκε είναι 0.596.

Για την εκτίμηση και την επιλογή του αριθμού των παραγόντων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κύριων συνιστωσών. Με βάση την μέθοδο αυτή σε πρώτο στάδιο προσδιορίστηκαν τα ιδιοδιανύσματα και οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.15 Οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχέτισης των δεδομένων Πίνακας 6.15) δίνονται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχέτισης των δεδομένων.

Πίνακας 6.15 Οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχέτισης των δεδομένων

ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ	TOTAL	ΑΡΧΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΙΜΕΣ	
		ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ %
1	6.019	50.155	50.155
2	2.484	20.704	70.859
3	1.745	14.538	85.397
4	.911	7.588	92.985
5	.339	2.822	95.806
6	.187	1.557	97.364
7	.144	1.203	98.567
8	.122	1.015	99.582
9	.023	.191	99.773
10	.015	.127	99.900
11	.010	.087	99.988
12	.001	.012	100.000

Ο Πίνακας 6.15 περιέχει τις ιδιοτιμές και το ποσοστό της διακύμανσης που η κάθε ιδιοτιμή ερμηνεύει. Όπως φαίνεται από τον πίνακα αυτό οι τρεις πρώτοι παράγοντες εξηγούν πάνω από 80% της διακύμανσης. Η επιλογή του αριθμού των παραγόντων στηρίχθηκε στα παρακάτω κριτήρια:

- Με βάση των ποσοστό της ολικής διακύμανσης που εκφράζουν.
- Επιλογή παραγόντων που σχετίζονται με ιδιοτιμές μεγαλύτερες από την μονάδα.
- Επίσης λήφθηκε υπόψη η γνώση για την περιοχή και η δυνατότητα ερμηνείας των παραγόντων με βάση τις μεταβλητές που ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν.

Για τον έλεγχο του μοντέλου έγινε με βάση της εταιρικότητες, δηλαδή οι διακυμάνσεις που εξηγούν οι παράγοντες που προσαρμόστηκαν. Αυτό είναι ένας αριθμός από 0 ως 1 και είναι το ποσοστό της διακύμανσης κάθε μεταβλητής που εξηγείται από τον αριθμό των παραγόντων που προσαρμόστηκαν. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.16) δίνονται οι εταιρικότητες. Στη περίπτωση της μεθόδου των κύριων συνιστωσών η στήλη με τις αρχικές εταιρικότητες λαμβάνει την τιμή 1. Στην επόμενη στήλη δίνονται για κάθε μεταβλητή το ποσοστό της που ερμηνεύει το μοντέλο. Το ποσοστό αυτό είναι το άθροισμα των τετραγώνων των επιβαρύνσεων των παραγόντων σε αυτή την μεταβλητή.

Πίνακας 6.16 Διακυμάνσεις των μεταβλητών που εξηγούνται με βάση το προσαρμοζόμενο μοντέλο.

	ΑΡΧΙΚΗ	ΕΞΑΓΩΜΕΝΗ
Χλώριο	1.000	.853
Νιτρικά	1.000	.930
Θειικά	1.000	.895
Οξ. ανθρακικά	1.000	.779
Νάτριο	1.000	.943
Κάλιο	1.000	.669
Μαγνήσιο	1.000	.935
Ασβέστιο	1.000	.827
Χρώμιο (t)	1.000	.895
Νικέλιο (t)	1.000	.823
Μαγγάνιο (t)	1.000	.717
TDS (mg L-1)	1.000	.982

Με βάση την παραπάνω ανάλυση καθορίζονται οι παράγοντες οι οποίοι εκφράζουν επαρκώς τα αρχικά δεδομένα. Στον Πίνακα 6.17 παρουσιάζονται οι παραγοντικές φορτίσεις για κάθε μια μεταβλητή.

Πίνακας 6.17 Παραγοντικές φορτίσεις των επιλεγμένων μεταβλητών

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ		
	1	2	3
Χλώριο	.706	.580	-.137
Νιτρικά	.760	-.552	.217
Θειικά	.940	.025	-.102
Οξ. ανθρακικά	.656	.540	.238
Νάτριο	.909	.279	-.196
Κάλιο	.450	-.494	.472
Μαγνήσιο	.899	-.165	-.317
Ασβέστιο	.096	.690	.584
Χρώμιο (t)	.589	-.610	.419
Νικέλιο (t)	.789	-.412	-.175
Μαγγάνιο (t)	-.045	.109	.838
TDS	.900	.414	-.005

Η λύση που συνήθως προκύπτει δεν αποδίδει σαφώς την εσωτερική δομή του πίνακα των δεδομένων και επομένως τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Όπως προαναφέρθηκε συνήθως απαιτείται επιπλέον επεξεργασία που αποσκοπεί την περιστροφή των αξόνων των παραγόντων σε νέες θέσεις έτσι ώστε οι υψηλές φορτίσεις να τείνουν προς την μονάδα και

οι μικρές φορτίσεις να τείνουν προς το μηδέν. Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκε η ορθογωνία περιστροφή Varimax η οποία χρησιμοποιείται όταν ο σκοπός της παραγοντικής ανάλυσης είναι να εξαχθεί ποιες μεταβλητές επιδρούν σε κάθε παράγοντα για να αναγνωρισθεί ο παράγοντας. Στον Πίνακα 6.18 δίνονται οι τιμές των φορτίσεων των μεταβλητών μετά την περιστροφή

Πίνακας 6.18 Παραγοντικές φορτίσεις των μεταβλητών μετά την ορθογώνια περιστροφή Varimax.

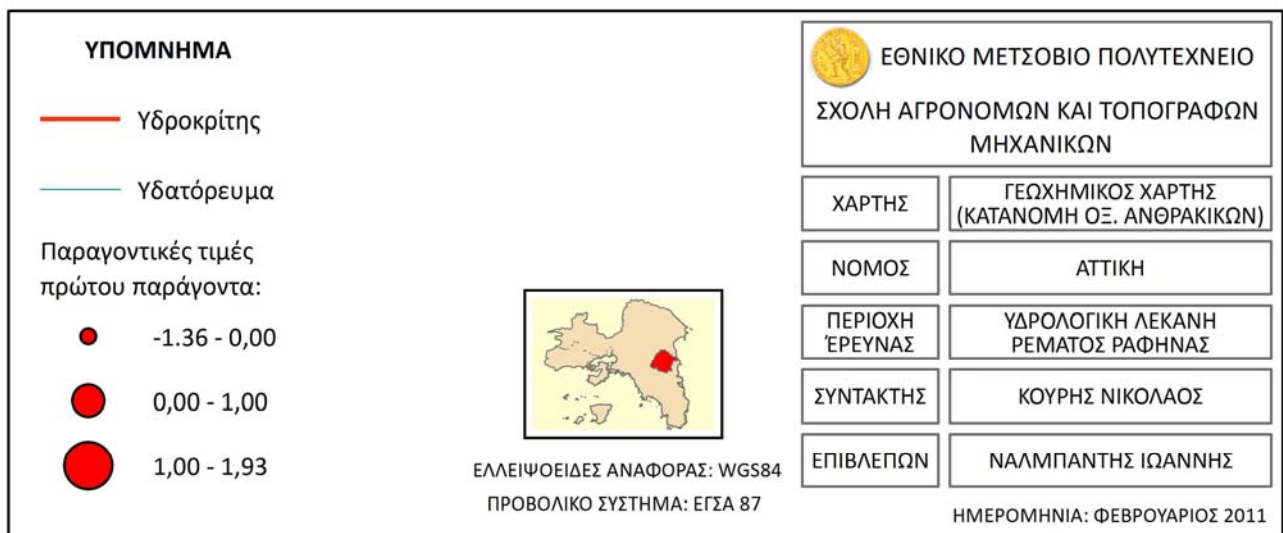
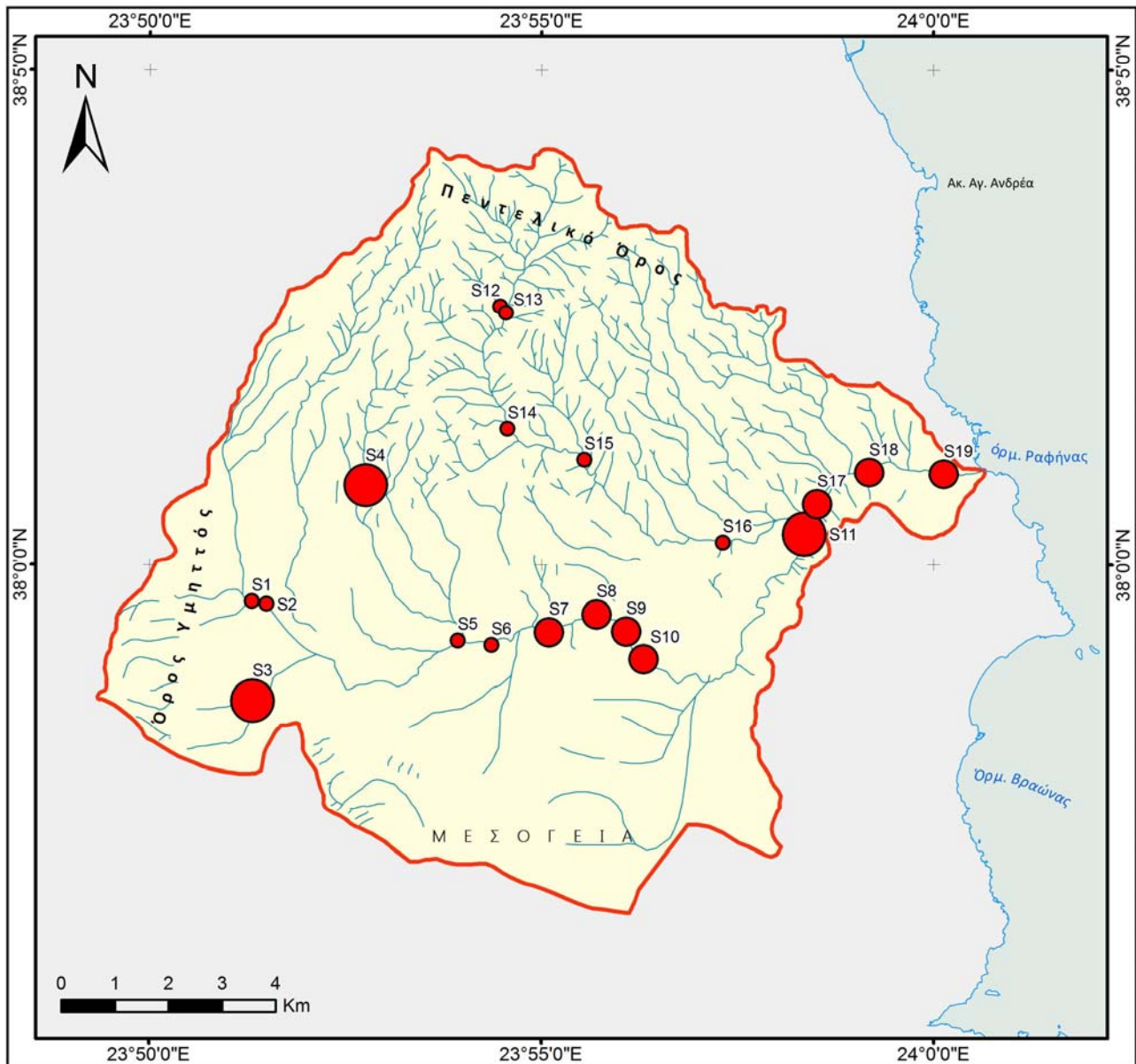
ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ		
	1	2	3
Χλώριο	.917		
Νιτρικά		.912	
Θειικά	.810	.464	
Οξ. ανθρακικά	.784		.400
Νάτριο	.936		
Κάλιο		.800	
Μαγνήσιο	.716	.492	-.425
Ασβέστιο			.819
Χρώμιο (t)		.940	
Νικέλιο (t)	.467	.668	-.399
Μαγγάνιο (t)			.801
TDS	.965		

Ο πρώτος παράγοντας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό 50.1% της συνολικής διακύμανσης και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις για το χλώριο (0.917), τα θειικά (0.810), τα όξινα ανθρακικά (0.784), το νάτριο (0.936) και τα ολικά διαλυμένα στερεά (0.965) και μετρίως θετική φόρτιση για το μαγνήσιο (0.716). Ο παράγοντας αυτός συνδέεται με την λιθολογία της περιοχής. Από ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων που λήφθηκαν από τα υδατορεύματα της περιοχής έρευνας (Alexakis, 2008) φαίνεται ότι σε μεγάλο ποσοστό αυτά κυριαρχούνται από τα ορυκτά Αλβίτης ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Ασβεστίτης (CaCO_3), Χλωρίτης ($(\text{Na, Ca})_5(\text{Al, Si})_5\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), Ιλλίτης ($2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) και Χαλαζίας (SiO_2). Οι θεικές ρίζες και το χλώριο συνδέονται με συνήθη ορυκτά των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων όπως είναι η Γύψος, Ανυδρίτης για τα θειικά και Αλίτης για το χλώριο. Οι υψηλές θετικές φορτίσεις για τα ιόντα αυτά στον πρώτο παράγοντα ενισχύουν την παραπάνω άποψη ότι δηλαδή η παρουσία τους οφείλεται στις διαδικασίες διάλυσης των ορυκτών κυρίως και όχι σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

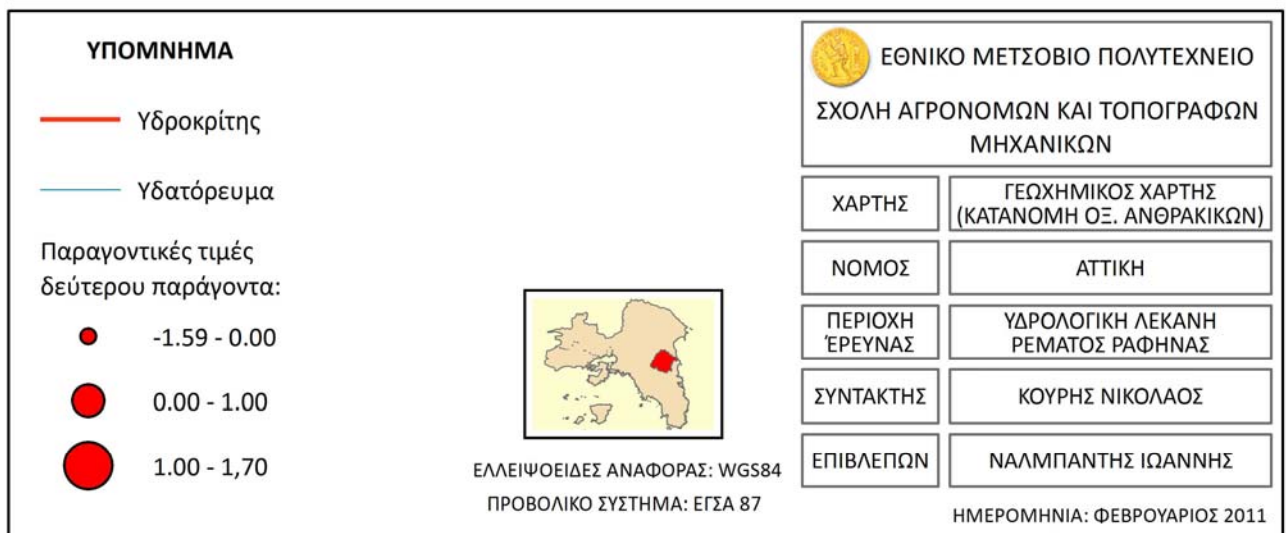
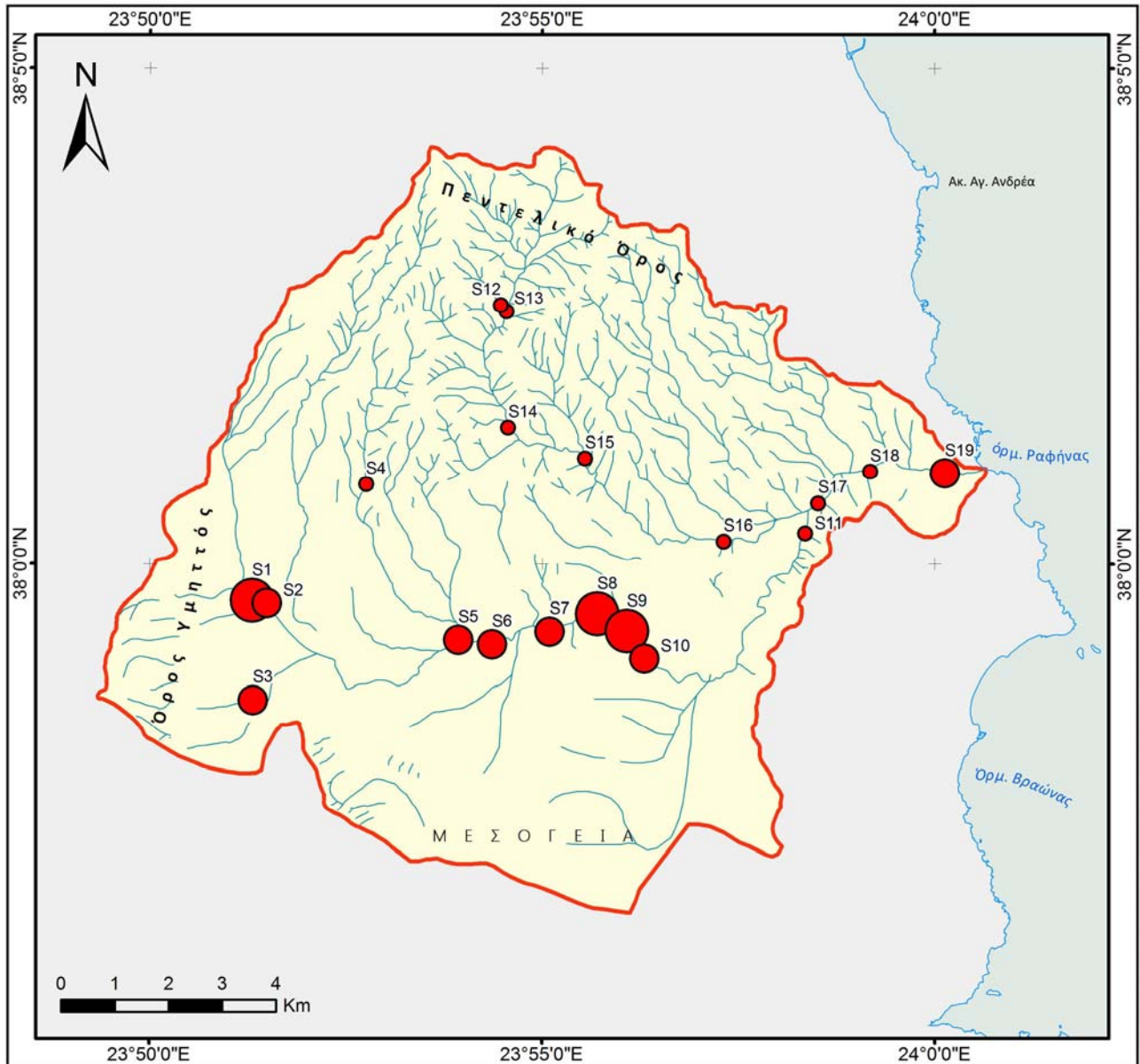
Ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 20.7% της συνολικής διακύμανσης και παρουσιάζει υψηλές τιμές για τα νιτρικά ιόντα (0.912), το κάλιο (0.800), το ολικό περιεχόμενο σε χρώμιο (0.940), και μέτριες θετικές φορτίσεις και το νικέλιο (0.668), τα θειικά (0.464) και το μαγνήσιο (0.492). Ο παράγοντας αυτός συνδέεται με τα βελτιωτικά εδάφους (λιπάσματα) που χρησιμοποιούνται στην γεωργία. Η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων εμπλουτίζουν τα επιφανειακά νερά της περιοχής σε κάλιο και νιτρικά ιόντα και για τον λόγο αυτό παρουσιάζουν υψηλές φορτίσεις στον παράγοντα αυτό τα παραπάνω ιόντα. Εκτός όμως από αυτά τα ιόντα παρατηρείται υψηλή φόρτιση και στο ολικό χρώμιο. Η ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων βόρεια της περιοχής των Σπάτων (Alexakis, 2008) έδειξε την παρουσία Χρωμίτη ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ο οποίος συνδέεται με τους οφιολίθους που εμφανίζονται εντός της υδρολογικής λεκάνης. Παρά το γεγονός της λιθολογικής ερμηνείας της παρουσίας χρωμίου φαίνεται ότι η παρουσία του στα επιφανειακά νερά συνδέεται με την διεργασίες οξειδοαναγωγής οι οποίες λαμβάνουν χώρα εξαιτίας της παρουσία των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με τους Richard και Bourg (1991), ένα οξειδοαναγωγικό ζεύγος που επηρεάζει το δυναμικό του χρωμίου είναι το ζεύγος NO_3/NO_2 , και επομένως τα νιτρικά ιόντα επηρεάζουν την παρουσία του χρωμίου στην υδάτινη φάση. Η χημική αυτή διεργασία επομένως είναι καταλυτική στην σύνδεση του χρωμίου με την παρουσία νιτρικών ιόντων και την αγροτική δραστηριότητα κατ' επέκταση. Αντίστοιχος μηχανισμός ο οποίος συνδέει τις συγκεντρώσεις χρωμίου και νιτρικών ιόντων περιγράφεται και σε υπόγεια νερά της περιοχής της λεκάνης Ωροπού-Κάλαμος (Stamatis et al., 2011).

Ο τρίτος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 14.5% της συνολικής διακύμανσης και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις για το ασβέστιο (0.819), μετρίως θετική φόρτιση για τα όξινα ανθρακικά (0.400) ενώ μετρίως αρνητικές φορτίσεις για το μαγνήσιο (-0.425) και το νικέλιο (-0.399). Ο παράγοντας αυτός εκφράζει την διαφοροποίηση της ορυκτολογικής σύστασης και της επίδρασης της στην ποιότητα των επιφανειακών νερών της περιοχής. Το Ni και Mg εμφανίζονται στους οφιολίθους ενώ το ασβέστιο και ανθρακικά σε ασβεστούχα πετρώματα. Ο παράγοντας αυτός αντικατοπτρίζει την γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας και της επίδρασης της στην ποιότητα των επιφανειακών νερών της.

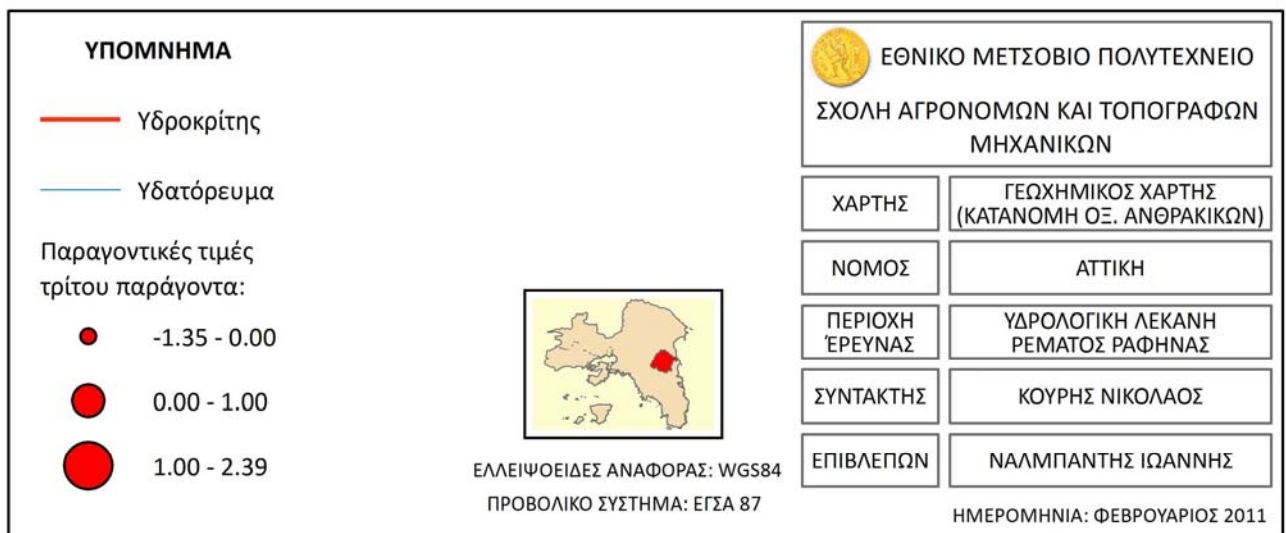
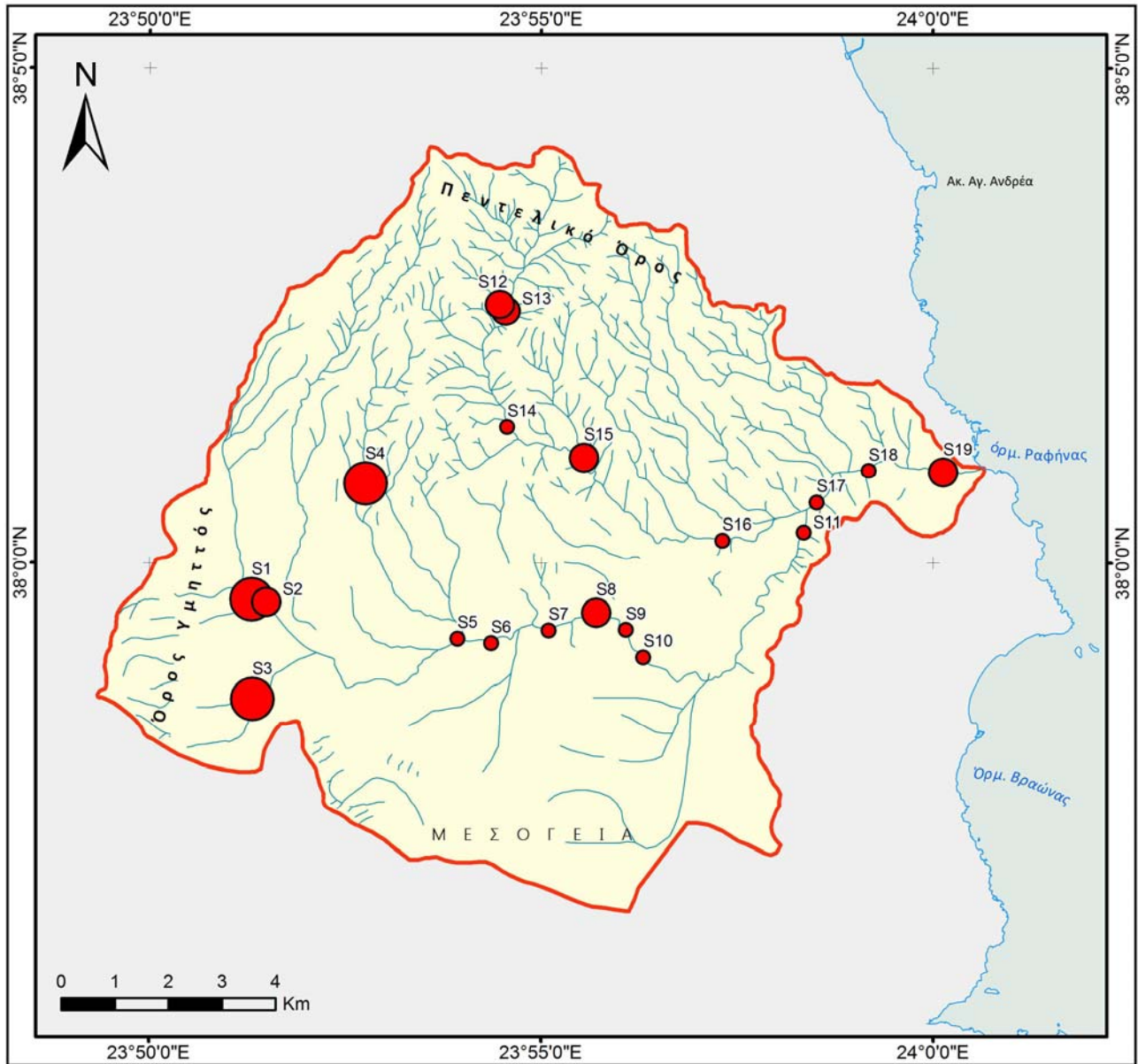
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή της επίδρασης των παραγόντων με βάση τις παραγοντικές τιμές που προκύπτουν από το μοντέλο.



Σχήμα 6.69 Γεωγραφική κατανομή της επίδρασης του πρώτου παράγοντα στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.70 Γεωγραφική κατανομή της επίδρασης του δεύτερου παράγοντα στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 6.71 Γεωγραφική κατανομή της επίδρασης του τρίτου παράγοντα στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

Στο Σχήμα 6.69 απεικονίζεται η επίδραση του πρώτου παράγοντα. Όπως προαναφέρθηκε ο παράγοντας αυτός εκφράζει την παρουσία κυρίως του χλωρίου, των θεικών, του νατρίου, καθώς και του μαγνησίου. Τα ορυκτά που περιέχουν στο πλέγμα τους τα παραπάνω ιόντα απαντώνται στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά καλύπτουν το κεντρικό και νότιο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης με αποτέλεσμα οι παραγοντικές τιμές που προσδιορίστηκαν να αντικατοπτρίζουν την γεωλογική δομή ικανοποιητικά αφού βορειότερα οι χαμηλές παραγοντικές τιμές οφείλονται στην έντονη παρουσία του Αλπικού υποβάθρου.

Στο Σχήμα 6.70 απεικονίζεται η επίδραση του δεύτερου παράγοντα. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει τα νιτρικά, το κάλιο, το χρώμιο και παρουσιάζει ισχυρή γεωγραφική έκφραση κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης βόρεια των Σπάτων. Όπως αναλύθηκε η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από γεωργική δραστηριότητα αρκετά έντονη και επομένως η απεικόνιση των παραγοντικών τιμών του μοντέλου ακολουθούν ικανοποιητικά την πραγματική κατάσταση που επικρατεί.

Στο Σχήμα 6.71 απεικονίζεται η επίδραση του τρίτου παράγοντα. Ο παράγοντας αυτός παρουσιάζει ισχυρή γεωγραφική έκφραση περιμετρικά στην λεκάνη και αξιοσημείωτη είναι η έκφρασή του στο βόρειο τμήμα της λεκάνης. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει το στοιχείο του ασβεστίου και των όξινων ανθρακικών ιόντων ενώ όπως αναφέρθηκε παρουσιάζει αρνητικές φορτίσεις για το νικέλιο και το μαγνήσιο που η παρουσία τους οφείλεται στην παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων (τα οποία εμφανίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης).

6.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κατάταξης του νερού που προτείνει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) το οποίο έχει αναπτυχθεί από τους Ayers και Westcot (1985). Για τον σκοπό αυτό για τις θέσεις δειγματοληψίας προσδιορίστηκε η αναλογία προσροφημένου νατρίου (SAR) με βάση τις συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.19) δίνονται για την κάθε θέση δειγματοληψίας η τιμή της ειδική ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του αντίστοιχου δείκτη SAR καθώς οι τιμές των υπολοίπων ιόντων που απαιτούνται.

Πίνακας 6.19 Ποιοτικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη του νερού που προορίζεται για άρδευση σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	SAR	Sp.CND μS cm ⁻¹	Cl ⁻ me L ⁻¹	Na ⁺ me L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ me L ⁻¹	CO ₃ ²⁻ me L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	NH ₄ ⁺ mg L ⁻¹
S15	1.19	822	2.02	1.80	4.39	n.d.	2.80	0.025
S14	0.92	719	1.52	1.40	3.90	n.d.	2.58	0.010
S20	11.9	5606	39.8	33.4	5.79	0.32	18.7	n.d.
S19	2.51	1391	4.55	4.91	5.38	0.60	22.4	n.d.
S18	2.32	1168	3.98	4.52	4.93	0.60	18.2	0.007
S17	2.28	1320	3.93	4.52	5.61	0.67	19.4	0.006
S11	2.23	1320	3.98	4.43	5.90	0.28	20.0	n.d.
S9	1.96	1298	3.93	4.05	5.51	0.67	36.8	0.020
S10	1.94	1292	3.81	4.00	5.18	0.80	35.1	0.014
S16	1.85	1005	3.62	3.12	3.97	0.00	9.75	0.012
S13	0.91	751	1.68	1.47	4.10	0.24	0.93	0.009
S12	0.79	763	1.52	1.25	4.38	n.d.	0.70	0.005
S4	2.66	1609	7.85	5.35	5.79	n.d.	4.32	n.d.
S5	1.79	900	2.64	2.95	2.56	1.20	28.7	0.013
S6	1.79	1052	2.99	3.28	3.43	0.87	29.8	n.d.
S8	1.92	1259	3.79	3.91	5.20	0.87	37.5	0.011
S7	1.86	1218	3.50	3.67	4.75	0.80	32.0	0.011
S3	1.94	1452	3.90	4.02	7.03	0.28	37.3	0.551
S1	1.40	856	1.59	2.33	4.30	0.16	26.6	1.03
S2	1.30	707	1.53	2.12	4.16	0.24	23.3	n.d.
μέσος όρος*	1.77	1100						

*Στον προσδιορισμό του μέσου όρου δεν συμπεριλαμβάνεται το δείγμα S20

Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή γίνεται έλεγχος της ποιότητας του νερού με βάση τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων που αφορούν στην αλατότητα, στην διηθητικότητα, στην τοξικότητα ιόντων και σε ειδικά προβλήματα.

- Κίνδυνος Αλατότητας: Σύμφωνα με τον FAO (Πίνακας 2.1) η ποιοτική παράμετρος που χρησιμοποιείται για την κατάταξη του νερού είναι η ειδική αγωγιμότητα (ή τα ολικά διαλυμένα στερεά). Με βάση τις μετρούμενες τιμές της ειδικής αγωγιμότητας

και των ολικών διαλυμένων στερεών στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας προκύπτει (Πίνακας 6.20) ότι το νερό κατατάσσεται στην δεύτερη κατηγορία δηλαδή πρόκειται για νερό που μετά από συνεχή χρήση είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα αλατότητας. Εξαιρέση αποτελεί η θέση S20 που όπως έχει προαναφερθεί της οποίας το επιφανειακό νερό έχει επηρεαστεί από το θαλασσινό νερό και κατατάσσεται ως ακατάλληλο για αρδευτική χρήση.

Πίνακας 6.20 Κατάταξη του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας με βάση τον κίνδυνο αλατότητας.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Sp.CND $\mu\text{S cm}^{-1}$	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
S15	822	2
S14	719	2
S20	5606	3
S19	1391	2
S18	1168	2
S17	1320	2
S11	1320	2
S9	1298	2
S10	1292	2
S16	1005	2
S13	751	2
S12	763	2
S4	1609	2
S5	900	2
S6	1052	2
S8	1259	2
S7	1218	2
S3	1452	2
S1	856	2
S2	707	2

- Προβλήματα διηθητικότητας: Η κατάταξη του νερού για τα προβλήματα αυτά πραγματοποιείται με την χρήση του συντελεστή SAR (αναλογία προσροφημένου νατρίου) σε συνδυασμό με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Με βάση τις μετρούμενες συγκεντρώσεις προκύπτει (Πίνακας 6.21) ότι σε όλες τις θέσεις (εκτός της θέσης S20) δειγματοληψίας το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία του αρδευτικού νερού χωρίς προβλήματα και συνεπώς το επιφανειακό νερό της περιοχής έρευνας δεν δημιουργεί κινδύνους για προβλήματα που σχετίζονται με το φαινόμενο της διήθησης.

Πίνακας 6.21 Κατάταξη του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας με βάση τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων διήθησης.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	SAR	Adj SAR	Sp.CND $\mu\text{S cm}^{-1}$	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ SAR	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Adj SAR
S15	1.19	2.61	822	1	1
S14	0.92	2.02	719	1	1
S20	11.9	31.0	5606	1	1
S19	2.51	6.27	1391	1	1
S18	2.32	5.57	1168	1	1
S17	2.28	5.69	1320	1	1
S11	2.23	5.58	1320	1	1
S9	1.96	5.09	1298	1	1
S10	1.94	4.86	1292	1	1
S16	1.85	4.07	1005	1	1
S13	0.91	2.00	751	1	1
S12	0.79	1.74	763	1	1
S4	2.66	6.66	1609	1	1
S5	1.79	3.76	900	1	1
S6	1.79	3.95	1052	1	1
S8	1.92	4.81	1259	1	1
S7	1.86	4.47	1218	1	1
S3	1.94	5.03	1452	1	1
S1	1.40	3.07	856	1	1
S2	1.30	2.74	707	1	1

- Προβλήματα τοξικότητας ιόντων: Για την περίπτωση αυτή γίνεται διάκριση ανάλογα με το σύστημα άρδευσης και επομένως ανάλογα με το αν η προσρόφηση του νερού γίνεται από τις ρίζες ή από τα φύλλα (κατά τον ψεκασμό). Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αυτό είναι το χλώριο, το νάτριο και το βόριο. Στην συγκεκριμένη εργασία δεν αναλύθηκε το περιεχόμενο σε βόριο και επομένως η αξιολόγηση περιορίστηκε μόνο με βάση τις συγκεντρώσεις του χλωρίου και του νατρίου (Πίνακας 6.22). Στην περίπτωση που εφαρμόζονται συστήματα άρδευσης όπου η προσρόφηση του νερού γίνεται από τις ρίζες, δεν αναμένεται η χρήση του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας να δημιουργήσει κίνδυνο τοξικότητας ως προς το περιεχόμενο σε χλώριο. Εξαιρέση αποτελούν οι θέσεις S4, S19 στις οποίες παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση χλωρίου και το νερό από τις περιοχές αυτές κατατάσσεται στην κατηγορία 2. Επειδή όμως η παροχή στην θέση S4 ήταν σημαντικά μικρή η συνεισφορά από την θέση αυτή στον συνολικό όγκο του νερού θεωρείται αμελητέα. Επίσης η θέση S19 επειδή βρίσκεται κοντά στις εκβολές του κύριου υδατορεύματος προς την θάλασσα και επομένως μπορεί να εξαιρεθεί από τον απολήψιμο όγκο για άρδευση. Η θέση S20 λόγω της εγγύτητας προς την

θάλασσα έχει επηρεαστεί σε σημαντικό βαθμό από αυτή και παρουσιάζει πολύ υψηλό περιεχόμενο σε χλώριο και το νερό αυτής της θέσης κατατάσσεται στην κατηγορία 3. Αντίθετα με το χλώριο, το νάτριο παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σχετικά με την τοξική του επίδραση στα φυτά. Έτσι με βάση τον πίνακα, το επιφανειακό νερό που σχετίζεται με τις θέσεις S1, S2, S5, S12, S13, S14, S15 κατατάσσεται στην κατηγορία 1, και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο τοξικότητας ως προς την παρουσία του νατρίου. Αντίθετα το επιφανειακό νερό που σχετίζεται με τις θέσεις S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S16, S17, S18, S19 κατατάσσεται στην κατηγορία 2 που σημαίνει ότι μετά από συνεχή χρήση του νερού αυτού στην άρδευση ενδέχεται να εμφανιστεί τοξικότητα στα φυτά. Όπως και με το χλώριο έτσι και για το νάτριο η αυξημένη συγκέντρωσή του στην θέση S20 καθιστά το νερό της περιοχής αυτής ακατάλληλο για αρδευτική χρήση. Στην περίπτωση που εφαρμόζονται συστήματα ψεκασμού, όπου η προσρόφηση του νερού πραγματοποιείται από τα φύλλα, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις. Όσο αφορά το περιεχόμενο σε χλώριο, αυτό παρουσιάζεται αυξημένο με αποτέλεσμα τα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας να κατατάσσονται στην κατηγορία 2. Δηλαδή κατά την συνεχή χρήση του νερού αυτού στην άρδευση, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος να παρουσιαστεί τοξικότητα στα φυτά. Για το περιεχόμενο σε νάτριο δεν παρατηρείται κάποια διαφοροποίηση ως προς την κατάταξη των θέσεων δειγματοληψίας και ισχύουν ακριβώς τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν για την περίπτωση της προσρόφησης του νερού από τις ρίζες.

- Ειδικά προβλήματα: Τα ειδικά προβλήματα σχετίζονται με την παρουσία αμμωνίας, νιτρικών και της αλκαλικότητας. Η αμμωνία που προσδιορίστηκε στην περιοχή έρευνας είναι αρκετά χαμηλή σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας με αποτέλεσμα να κατατάσσεται το νερό αυτό στην κατηγορία 1 ως προς την χρήση του για άρδευση. Αντίθετα η παρουσία των νιτρικών ιόντων μεταβάλλεται σημαντικά από θέση σε θέση. Με βάση τον πίνακα των αποτελεσμάτων προκύπτει (Πίνακας 6.23) ότι το επιφανειακό νερό που σχετίζεται με τις θέσεις S4, S12, S13, S14, S15 κατατάσσεται στην κατηγορία 1 δηλαδή πρόκειται για νερό καλής ποιότητας όσο αφορά στην παράμετρο των νιτρικών. Αντίθετα το νερό που σχετίζεται με τις θέσεις S3, S7, S8, S9, S10 κατατάσσεται στην κατηγορία 3, και επομένως ακατάλληλο για αρδευτική

χρήση. Το επιφανειακό νερό που σχετίζεται με τις θέσεις S1, S2, S5, S6, S11, S16, S17, S18, S19, S20 κατατάσσεται στην κατηγορία 2 με αποτέλεσμα η συνεχή χρήση του νερού αυτού να παρουσιάζει αυξημένο κίνδυνο προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Τέλος με βάση την προσδιορισμένη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων προκύπτει ότι το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία 2 ως προς την χρήση του στην γεωργία.

Πίνακας 6.22 Κατάταξη του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας με βάση τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Cl ⁻ me L ⁻¹	Na ⁺ me L ⁻¹	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΡΙΖΕΣ		ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΛΛΑ	
			ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΤΟΞ. Cl ⁻)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΤΟΞ. Na ⁺)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΤΟΞ. Cl ⁻)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΤΟΞ. Na ⁺)
S15	2.02	1.80	1	1	2	1
S14	1.52	1.40	1	1	2	1
S20	39.8	33.4	3	3	2	2
S19	4.55	4.91	2	2	2	2
S18	3.98	4.52	1	2	2	2
S17	3.93	4.52	1	2	2	2
S11	3.98	4.43	1	2	2	2
S9	3.93	4.05	1	2	2	2
S10	3.81	4.00	1	2	2	2
S16	3.62	3.12	1	2	2	2
S13	1.68	1.47	1	1	2	1
S12	1.52	1.25	1	1	2	1
S4	7.85	5.35	2	2	2	2
S5	2.64	2.95	1	1	2	1
S6	2.99	3.28	1	2	2	2
S8	3.79	3.91	1	2	2	2
S7	3.50	3.67	1	2	2	2
S3	3.90	4.02	1	2	2	2
S1	1.59	2.33	1	1	2	1
S2	1.53	2.12	1	1	2	1

Πίνακας 6.23 Κατάταξη του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας με βάση τον κίνδυνο δημιουργίας ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	HCO ₃ ⁻ me L ⁻¹	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	NH ₄ ⁺ mg L ⁻¹	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
S15	4.39	2	2.80	1	0.025	1
S14	3.90	2	2.58	1	0.010	1
S20	5.79	2	18.7	2	n.d.	1
S19	5.38	2	22.4	2	n.d.	1
S18	4.93	2	18.2	2	0.007	1
S17	5.61	2	19.4	2	0.006	1
S11	5.90	2	20.0	2	n.d.	1
S9	5.51	2	36.8	3	0.020	1
S10	5.18	2	35.1	3	0.014	1
S16	3.97	2	9.75	2	0.012	1
S13	4.10	2	0.93	1	0.009	1
S12	4.38	2	0.70	1	0.005	1
S4	5.79	2	4.32	1	n.d.	1
S5	2.56	2	28.7	2	0.013	1
S6	3.43	2	29.8	2	n.d.	1
S8	5.20	2	37.5	3	0.011	1
S7	4.75	2	32.0	3	0.011	1
S3	7.03	2	37.3	3	0.551	1
S1	4.30	2	26.6	2	1.03	1
S2	4.16	2	23.3	2	n.d.	1

Για την κατάταξη του επιφανειακού νερού σε μια κατηγορία καταλληλότητας θα πρέπει να πληρεί συγχρόνως όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ο παρακάτω πίνακας κατάταξης (Πίνακας 6.24).

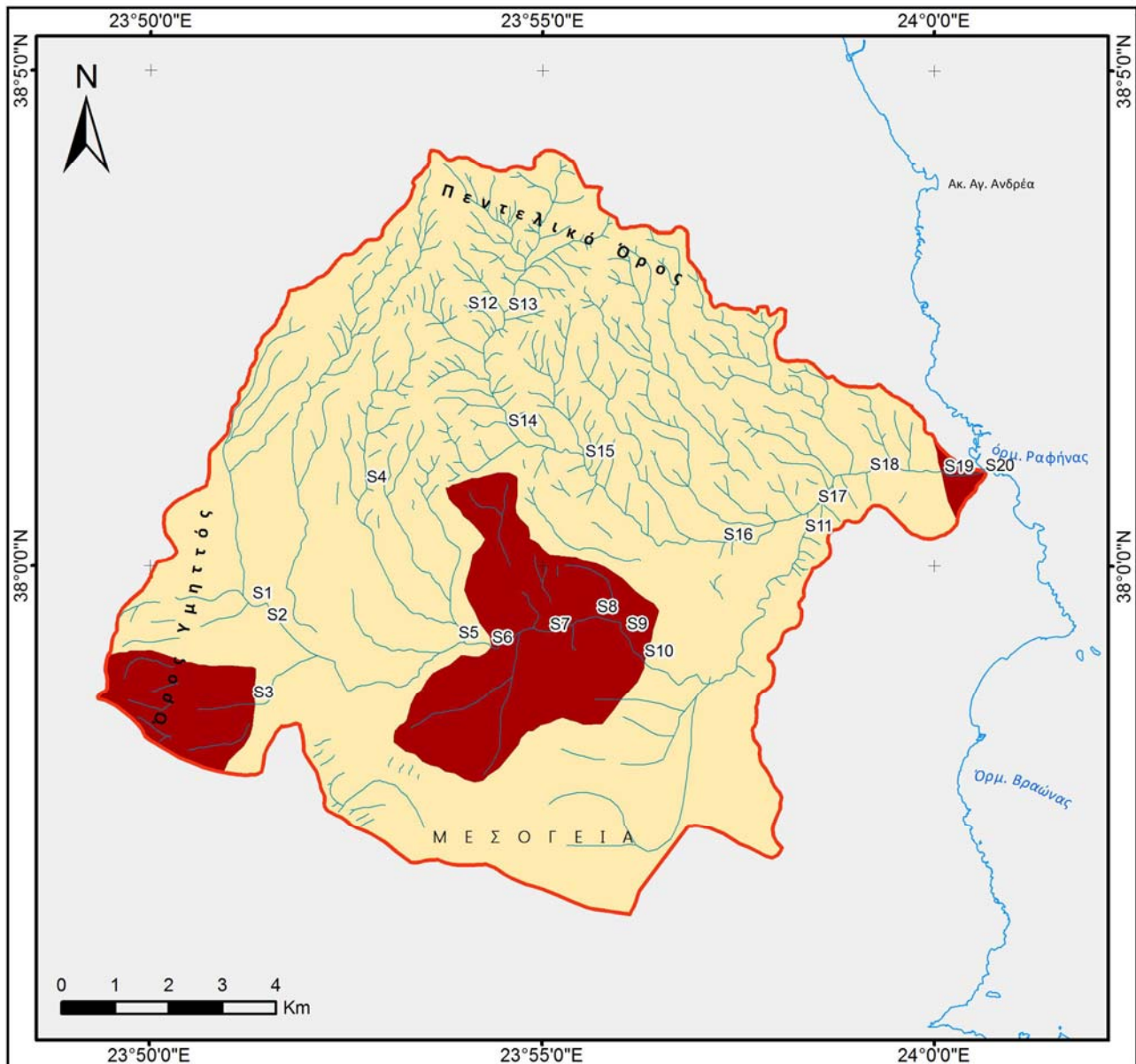
Πίνακας 6.24 Κατάταξη του επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3
ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3

Για την απεικόνιση των περιοχών που επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα του επιφανειακού νερού ως προς την καταλληλότητά του στην άρδευση, η υδρολογική λεκάνη χωρίστηκε σε υπολεκάνες οι οποίες ορίζονται μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας και από τους επιμέρους υδροκρίτες. Η κάθε μία από αυτές τις υπολεκάνες επιδρούν στην ποιότητα του κατάντη σημείου δειγματοληψίας σε σχέση με την ποιότητα που προσδιορίστηκε στο αμέσως ανάντη σημείο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απεικόνιση των περιοχών που επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα του νερού των υδατορευμάτων για την χρήση τους στην γεωργία. Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 6.72) απεικονίζονται οι περιοχές εκείνες στα κατάντη σημεία των οποίων το νερό παρουσίασε ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια που το

καθιστούν ακατάλληλο για γεωργική χρήση σύμφωνα με τον πίνακα κατάταξης των Ayers και Westcot. Η μία περιοχή εμφανίζεται στις εκβολές τους κυρίου ρέματος προς την θάλασσα και ουσιαστικά η υποβάθμιση της ποιότητάς του οφείλεται στην επίδραση του θαλασσινού νερού αφού στην θέση δειγματοληψίας S20 παρουσιάστηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου και νατρίου. Ακόμα μια δεύτερη περιοχή εμφανίζεται στα δυτικά της υδρολογικής λεκάνης η οποία παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών και το επιφανειακό νερό κατατάσσεται στην κατηγορία 3. Τέλος υπάρχει μια περιοχή βορειοδυτικά των Σπάτων η οποία είναι σημαντικής έκτασης 14 Km² μέσα στην οποία προσδιορίστηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών με βάση τις οποίες το νερό στην περιοχή αυτή κατατάχθηκε επίσης στην κατηγορία 3. Στην έκταση αυτή η γεωργική χρήση καλύπτει το 82 γεγονός που δικαιολογεί την παρουσία των νιτρικών, ενώ το 15% αντιστοιχεί σε οικοδομήσιμες εκτάσεις. Το υπόλοιπο 3% αντιστοιχεί σε μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις. Βέβαια το γεγονός ότι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων υπερέβη κατά 25% την ανώτερη τιμή της κατηγορίας 2 σε συνδυασμό με το ότι επηρεάζονται περισσότερο ευαίσθητες καλλιέργειες, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κατάταξη στην κατηγορία 3 του επιφανειακού νερού της περιοχής αυτής και υπό προϋποθέσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση η ποιοτική του αξιολόγηση απαιτεί περισσότερα δεδομένα ώστε να παρακολουθηθούν οι μεταβολές της συγκέντρωσης των νιτρικών κατά την διάρκεια του έτους.

Συναξιολογώντας όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι, υιοθετώντας τις τιμές που προτείνει ο FAO, το επιφανειακό νερό των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης της Ραφήνας, παρουσιάζει ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια που ενώ είναι κατάλληλο (σε μερικές περιπτώσεις υπό προϋποθέσεις) για αρδευτική χρήση, μετά από συνεχή χρήση θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στις καλλιέργειες.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Υδροκρίτης

— Υδατόρευμα

Κατάταξη αρδευτικού νερού
(Ayers και Westcot, 1985)

Κατηγορία 2

Κατηγορία 3

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ (ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ)
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ	ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: WGS84
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΕΓΣΑ 87

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Σχήμα 6.72 Γεωγραφική απεικόνιση των κατηγοριών αρδευτικού νερού.

6.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΠΠΠ ΤΗΣ ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την προστασία του υδατικού περιβάλλοντος, ανάμεσα στα χημικές ουσίες για τις οποίες έχουν καθοριστεί Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος, περιλαμβάνονται και μια σειρά από μέταλλα. Ορισμένα από αυτά ήταν εφικτό να μετρηθούν στα πλαίσια της εργασίας αυτής και παρακάτω παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις των ληφθέντων δειγμάτων σε σχέση με τα όρια που έχουν τεθεί από το ισχύον νομοθέτημα.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.25) δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των ιχνοστοιχείων για τα οποία έχουν οριστεί ΠΠΠ. Όπως προαναφέρθηκε οι συγκεντρώσεις του καδμίου, του μολύβδου και του νικελίου αναφέρονται στην εν διαλύσει συγκέντρωση ενώ για την περίπτωση του κοβαλτίου, του χαλκού, του ολικού χρωμίου και του ψευδαργύρου οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις εκφράζονται ως ολικές συγκεντρώσεις στο συνολικό δείγμα.

Πίνακας 6.25 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Σκληρότητα mg L ⁻¹	Cr _{total} μg L ⁻¹	Co _{total} μg L ⁻¹	Cu _{total} μg L ⁻¹	Zn _{total} μg L ⁻¹	Cd _{soluble} μg L ⁻¹	Pb _{soluble} μg L ⁻¹	Ni _{soluble} μg L ⁻¹
S15	231	0.33	0.179	1.32	9.51	0.09	n.d.	0.53
S14	231	0.18	0.082	0.435	1.75	0.005	n.d.	n.d.
S20	784	1.94	0.340	0.889	4.16	0.01	n.d.	2.45
S19	383	1.81	0.453	0.830	5.08	0.004	n.d.	3.48
S18	379	0.89	0.502	1.33	7.03	n.d.	n.d.	4.99
S17	394	0.86	0.487	1.15	8.80	0.01	n.d.	4.94
S11	394	0.92	0.503	1.25	5.93	0.005	n.d.	5.03
S9	427	1.86	0.596	2.12	19.4	0.01	n.d.	5.43
S10	421	1.78	0.595	1.84	13.7	0.01	n.d.	5.28
S16	284	0.44	0.176	0.580	4.10	0.01	n.d.	0.43
S13	261	0.27	0.082	0.286	2.23	0.003	n.d.	n.d.
S12	250	0.13	0.056	0.188	2.30	0.003	n.d.	n.d.
S4	335	0.28	0.148	0.611	2.38	0.01	n.d.	1.60
S5	271	1.49	0.541	1.53	3.99	0.02	n.d.	3.48
S6	334	1.78	0.568	1.41	5.03	0.02	n.d.	4.16
S8	413	4.03	0.776	2.09	18.8	0.01	n.d.	4.54
S7	387	1.77	0.588	1.38	9.33	0.02	n.d.	6.57
S3	431	1.75	0.708	1.30	6.22	0.02	n.d.	3.15
S1	279	2.67	0.435	3.44	18.1	0.01	n.d.	4.03
S2	263	1.56	0.273	1.27	5.61	0.01	n.d.	2.70

n.d. : not detected

Η συγκέντρωση σε ολικό χρώμιο κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα με την μέγιστη συγκέντρωση να παρουσιάζεται στην θέση S8 ($4.03 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). Σύμφωνα με την ΚΥΑ η ετήσια μέση συγκέντρωση για την παράμετρο αυτή, για σκληρότητα μεγαλύτερη από 50 mg L^{-1} ως CaCO_3 , ορίζεται σε $50 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ που είναι σημαντικά υψηλότερη.

Στην περίπτωση του κοβαλτίου η μέγιστη συγκέντρωση που παρατηρήθηκε είναι $0.776 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (θέση S8) σημαντικά μικρότερη από τα $20 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ που αναφέρονται στα ΠΠΠ.

Στον χαλκό όπως και στο χρώμιο που προαναφέρθηκε η ετήσια μέση αποδεκτή συγκέντρωση που ορίζεται από την ΚΥΑ εξαρτάται από την σκληρότητα του νερού, όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε όλες τις θέσεις η σκληρότητα που προσδιορίστηκε είναι μεγαλύτερη από 200 mg L^{-1} ως CaCO_3 . Για την σκληρότητα αυτή η ετήσια μέση συγκέντρωση ορίζεται σε $26 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ και συνεπώς σε καμία θέση δεν εντοπίστηκε υπέρβαση της τιμής αυτής.

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν για τον ψευδάργυρο. Για σκληρότητα μεγαλύτερη από 200 mg L^{-1} ως CaCO_3 αποδεκτή μέση ετήσια συγκέντρωση είναι τα $125 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. Η μέγιστη συγκέντρωση που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο των δειγματοληψιών είναι $19.4 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ που είναι σημαντικά χαμηλότερη.

Για την περίπτωση του καδμίου, όπως προαναφέρθηκε, εξετάζεται το εν διαλύσει περιεχόμενό του στα επιφανειακά ύδατα. Σύμφωνα με την ΚΥΑ σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας το κάδμιο κατατάσσεται στην κατηγορία 5, εφόσον η σκληρότητα που προσδιορίστηκε για όλες τις θέσεις είναι μεγαλύτερη από 200 mg L^{-1} ως CaCO_3 . Για την σκληρότητα αυτή η ετήσια μέση συγκέντρωση που ορίζεται από την Κοινή Υπουργική Απόφαση είναι $0.25 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι $1.5 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. Η μέγιστη συγκέντρωση που προσδιορίστηκε από τις χημικές αναλύσεις είναι $0.09 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ στην θέση S15 και συνεπώς σε καμία θέση δεν παρατηρείται υπέρβαση των τιμών αυτών.

Τα επίπεδα του εν διαλύσει κλάσματος του μόλυβδου ήταν πολύ χαμηλά σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας χωρίς να είναι δυνατή η ανίχνευσή του (το όριο ανίχνευσης με την μέθοδο της φασματομετρίας ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα προσδιορίστηκε σε $0.065 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). Για τον μόλυβδο εφαρμόζεται μόνο η ετήσια μέση συγκέντρωση η οποία ορίζεται σε $7.2 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ οπότε και για την παράμετρο αυτή δεν εμφανίζονται φαινόμενα υπέρβασης για καμία θέση.

Τέλος για την περίπτωση του νικελίου και των ενώσεών του η ετήσια μέση συγκέντρωση ορίζεται σε $20 \mu\text{g L}^{-1}$. Στην θέση S7 παρατηρήθηκε η μέγιστη συγκέντρωση $6.57 \mu\text{g L}^{-1}$ και επομένως δεν παρατηρείται για την περίοδο των δειγματοληψιών υπέρβαση της ετήσιας μέσης συγκέντρωσης.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η ποιοτική κατάσταση των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ραφήνας. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα δίκτυο παρακολούθησης 20 σταθμών, με ικανοποιητική διασπορά στον χώρο από όπου λήφθηκαν δείγματα νερού.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων παρατίθενται παρακάτω:

Με βάση τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της, η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Ραφήνας είναι περισσότερο κυκλική παρά επιμήκης με μέσο υψόμετρο 220 m και μέγιστο υψόμετρο 950 m. Οι κλίσεις στο μεγαλύτερο τμήμα της είναι ήπιες (<25%) ενώ μεγαλύτερες κλίσεις (25% - 50%) παρουσιάζονται στο βόρειο και δυτικό τμήμα της.

Έχουν κατασκευαστεί σημαντικά τεχνικά έργα στην περιοχή, όπως το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος στις νοτιοανατολικές παρυφές της λεκάνης του ρέματος Ραφήνας και τα έργα εκτροπής της πλημμυρικής παροχής της γειτονικής λεκάνης του ρέματος Ποδονίφτη στα δυτικά της, τα οποία έχουν μεταβάλλει σημαντικά τον φυσικό υδροκρίτη.

Οι χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη, παρουσιάζουν έντονη ανομοιομορφία. Έτσι, κατά το ήμισυ η λεκάνη καλύπτεται από εκτάσεις που χαρακτηρίζονται από γεωργική δραστηριότητα, σε ένα ποσοστό 20% αυτής η οικοδομική δραστηριότητα είναι εκείνη που κυριαρχεί, ενώ το υπόλοιπο 27% είναι εκτάσεις στις οποίες η ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι περιορισμένες ή λείπουν τελείως.

Για την κάθε χημική παράμετρο που προσδιορίστηκε, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση που περιελάμβανε την κατασκευή διαγραμμάτων πλαισίου, καθώς και ιστογράμματα και έλεγχο καλής προσαρμογής κατανομών. Με βάση τους ελέγχους αυτούς προέκυψε ότι η κανονική και η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορούν να υιοθετηθούν για την περίπτωση των χημικών παραμέτρων, αν και το μικρό μέγεθος του δείγματος (20 θέσεις) δεν επέτρεπε την ικανοποιητική απεικόνιση των ιστογραμμάτων. Από τους ελέγχους κατανομών ο έλεγχος της ασυμμετρίας και ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov παρουσίασαν μεγαλύτερη ανοχή στο να θεωρήσουν αποδεκτή μια κατανομή σε σχέση με τον έλεγχο χ^2 , ο

ο οποίος αποδείχθηκε περισσότερος αυστηρός και πιο δύσκολα εφαρμόσιμος αφού απαιτούσε την δημιουργία κλάσεων σε ένα ήδη αρκετά μικρό δείγμα.

Η ανάλυση συσχέτισης κατέδειξε ένα μεγάλο αριθμό συσχετίσεων, στατιστικά αποδεκτών, μεταξύ των παραμέτρων που μετρήθηκαν.

Η παραγοντική ανάλυση για το νερό των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ραφήνας, που εξηγεί το 85.4% της συνολικής διακύμανσης, έδειξε την παρουσία τριών ομάδων συσχετιζόμενων ποιοτικών παραμέτρων. Ο πρώτος παράγοντας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό 50.1% της συνολικής διακύμανσης και περιλαμβάνει το χλώριο, τα θειικά, τα όξινα ανθρακικά, το νάτριο και τα ολικά διαλυμένα στερεά και το μαγνήσιο. Ο παράγοντας αυτός συνδέεται με την λιθολογία της περιοχής. Ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 20.7% της συνολικής διακύμανσης και περιλαμβάνει τα νιτρικά ιόντα, το κάλιο, το ολικό περιεχόμενο σε χρώμιο, το νικέλιο, τα θειικά και το μαγνήσιο. Ο παράγοντας αυτός συνδέεται με τα βελτιωτικά εδάφους (λιπάσματα) που χρησιμοποιούνται στην γεωργία. Ο τρίτος παράγοντας αντιπροσωπεύει ποσοστό 14.5% της συνολικής διακύμανσης και περιλαμβάνει το ασβέστιο, τα όξινα ανθρακικά, το μαγνήσιο και το νικέλιο. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει την διαφοροποίηση της ορυκτολογικής σύστασης και της επίδρασης της τελευταίας στην ποιότητα των επιφανειακών νερών της περιοχής.

Για την ποιοτική κατάταξη του νερού των υδατορευμάτων της περιοχής έρευνας, για την χρήση του στην γεωργία, χρησιμοποιήθηκε ένα ευρύτατα αποδεκτό σύστημα κατάταξης το οποίο έχει παρουσιάσει ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) στηριζόμενος στην πρώτη έκδοση του συστήματος που είχε δημοσιευθεί από τους Ayers και Westcot (1976). Με βάση το σύστημα αυτό συμπεραίνεται ότι, το επιφανειακό νερό των υδατορευμάτων της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Ραφήνας, παρουσιάζει ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια, που ενώ είναι κατάλληλο (σε μερικές περιπτώσεις υπό προϋποθέσεις) για αρδευτική χρήση, μετά από συνεχή χρήση θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στις καλλιέργειες. Πέρα όμως από αυτό το γενικό συμπέρασμα προσδιορίστηκαν, επί μέρους περιοχές οι οποίες στα κατάντη σημεία τους, το νερό παρουσίασε ποιοτικά χαρακτηριστικά τέτοια που το καθιστούν ακατάλληλο για γεωργική χρήση σύμφωνα με τον πίνακα κατάταξης των Ayers και Westcot. Η μία περιοχή εμφανίζεται στις εκβολές του κυρίου ρέματος προς την θάλασσα, μια δεύτερη περιοχή εμφανίζεται στα δυτικά της υδρολογικής

λεκάνης η οποία παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών και τέλος υπάρχει μια περιοχή βορειοδυτικά των Σπάτων η οποία είναι σημαντικής έκτασης (14 Km²) μέσα στην οποία προσδιορίστηκαν επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών.

Αν και η αξιολόγηση του νερού με βάση τα ΠΠΠ της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103 απαιτεί πληθώρα ουσιών προτεραιότητας και άλλων ρύπων (με απαγορευτικό το κόστος για το πλαίσιο μιας διπλωματικής εργασίας), συγκεντρώθηκαν και συγκρίθηκαν οι παράμετροι εκείνες που ήταν εφικτό να μετρηθούν με τα ΠΠΠ των παραμέτρων που ορίζονται στην εν λόγω ΚΥΑ. Πιο συγκεκριμένα συγκρίθηκαν οι συγκεντρώσεις του καδμίου, του μολύβδου και του νικελίου που αναφέρονται στην διαλυμένη φάση, ενώ για την περίπτωση του κοβαλτίου, του χαλκού, χρωμίου και του ψευδαργύρου οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις εκφράζονται ως ολικές συγκεντρώσεις στο συνολικό δείγμα. Με βάση την σύγκριση αυτή προέκυψε ότι σε καμιά θέση δειγματοληψίας δεν παρουσιάστηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων σε σχέση με τα τεθέντα ΠΠΠ. Θα πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι το συμπέρασμα αυτό δεν είναι ασφαλές μιας και πραγματοποιήθηκε μια μόνον δειγματοληψία την περίοδο της τελευταίου δεκαήμερου του Απριλίου 2010, ενώ απαιτούνται περισσότερες δειγματοληψίες και σε διαφορετικές περιόδους εντός του έτους ώστε να εξαχθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Στην Ελληνική Γλώσσα

- Αντωνόπουλος, Β. (2003) *Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων*. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Αστεριάδης, Α. (2000) *Στοιχεία Φυσικής Γεωγραφίας*. Θεσσαλονίκη.
- Δημαράς, Α., Μαστρογιάννης, Φ. (2010) Αποτίμηση του κόστους ρύπανσης του Ασωπού ποταμού. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών.
- Κατάκης, Δ. (1991) *Πρακτικά Ανοργάνου Χημείας*. Αθήνα.
- Κελεπερτζής, Α. (1993) *Εφαρμοσμένη Γεωχημεία*. Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ. (1997) *Στατιστική Υδρολογία*. Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Έκδοση 4, Αθήνα.
- Κουτσόπουλος, Κ., Ανδρουλάκης, Ν. (2005) *Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS με απλά λόγια*. Αθήνα.
- Λαζαρίδης, Λ. & Ναλμπάντης, Ι. (2004) Αντιπλημμυρική προστασία λεκάνης ρέματος Ραφήνας. Ημερίδα: Αντιπλημμυρική Προστασία Αττικής, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Μολίνου – Προβιδάκη, Ι., Χαβρεδάκη, Β. (1994) *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικοχημείας Β΄*. Αθήνα.
- Παναγούλια, Δ. και Δήμου, Γ. (2000) *Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα*. Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. (1986) *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι (Τόμος Ι): Τεχνική Υδρολογία. Κεφ 17: *Ποιότητα Επιφανειακών Υδατικών Πόρων* (του Αντωνόπουλου, Β.). Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ. (2006) Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος ΙΙ): Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Κεφ 5: *Ποιότητα Αρδευτικού Νερού* (του Αντωνόπουλου, Β.). Αθήνα.

Ξενόγλωσσες

- Alexakis, D. (2008) Geochemistry of stream sediments as a tool for assessing contamination by arsenic, chromium and other toxic elements: East Attica region, Greece. *Eur Water* **21**(22):57-72.
- Alexakis, D. (2010) Diagnosis of stream sediment quality and assesement of toxic element contamination sources in East Attica, Greece. *Environ Earth Sci*. doi: 10.1007/s12665-010-0807-9.
- Appelo, C.A.J., Postma, D. (1993) *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema Publishers, Leiden, Netherlands.

- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1976) *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
- Ayers, R.S. and Westcot D.W. (1985) *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome.
- Da Silva A. M., Herpin U. and Martinelli L. A. (2006) Morphometric characteristics of seven meso-scale river basins in state of Sao Paulo (southeastern Brazil). *Caminhos de Geografia* **3**(17), 20 – 30.
- Dodeen, L. (1958) Studies of water quality criteria. Proc. of the conference on Quality for water irrigation. Water Resources Center, Univ. of California, Davis.
- Eaton A. D., Clesceri L. S., Rice E. W. and Greenberg A. E. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Centennial Edition (21st), American Water Works Association.
- French, R. H. (1985) *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Harris J., Loftis J.C. and Montgomery R.H. (1987) Statistical methods for characterizing ground-water quality. *Ground Water* **25**(2), 185–193.
- Horton R. (1932) Drainage Basins Characteristics. *Transactions, AGU*, 350-361
- Meybeck, M. and Helmer, R. (1996) Introduction. In: *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (ed. by D. Chapman), 2nd edition, Chapman & Hall, London.
- Meybeck, M., Chapman, D. and Helmer, R. (1989) *Global Freshwater Quality: A First Assessment*. Blackwell, Oxford.
- Pallant, J. (2001) *SPSS Survival Manual*. Open University Press, Buckingham, Philadelphia.
- Richards, L.A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils, Agriculture Handbook No. 60*. U.S. Dep. Agr., Washington.
- Richard FC, Bourg AC (1991) Aqueous geochemistry of chromium: a review, *Wat. Res.* **25**(7):807-816
- Scofield, C. (1935). *The salinity of irrigation water*. Smithsonian Institute Annual Report 1935. p. 275-287.
- Skoulikidis, N. (2009) The environmental state of rivers in the Balkans – A review within the DPSIR framework. *Science of the Total Environment* **407**, 2501-2516.
- Snedecor, G.W. and Cochran W.G., (1988) *Statistical Methods*. The Iowa State University Press.
- Spiegel, M., (1977) *Πιθανότητες και Στατιστική*, ΕΣΠΙ, Αθήνα.
- Stamatis, G., Alexakis, D., Gamvroula D. & Migiros, G. (2011) Groundwater quality assesment in Oropos – Kalamos basin, Attica, Greece. *Environ Earth Sci*. doi: 10.1007/s12665-011-0914-2.
- Stamatis, G. (1999) The chemical composition of the surface system of Peneos river, Thessaly/Central Greece. *Environ Geology* **38**(2), 126-140.
- Tauer, W. and Humborg, G. (1992) *Runoff Irrigation in the Sahel Zone*. Verlag Josef Margraf Scientific Books, FR, Germany.

Thiel (1989) Operating Instructions: OTT C 2 Small Current Meter. Reference No: 10.150.005.B.E.

Wilcox, L.V. and Magistad, O.C. (1943) Interpretation of analysis of irrigation waters and the relative tolerance of crop plants. U.S. Bureau of Plant Industry, Soils and Agr. Eng., Washington.

Wilcox, L. (1948) The quality of water for irrigation use. Technical Bull. 962NA, U.S. Dep. Agr., Washington.

Wilcox, L. (1958) Water quality from the standpoint of irrigation. *J. Amer. Waterworks Assoc.*, 50: 650-654, NA.

Οδηγίες

ΚΥΑ 51354/2641/Ε103 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος» για τις Συγκεντρώσεις Ορισμένων Ρύπων και Ουσιών Προτεραιότητας στα Επιφανειακά Ύδατα, σε Συμμόρφωση προς τις Διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008 σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της Πολιτικής των Υδάτων» (ΦΕΚ 1909/8-12-2010)

Οδηγία 2000/60/ΕΚ «Για την Θέσπιση Πλαισίου Κοινοτικής Δράσης στον Τομέα της Πολιτικής των Υδάτων».

Οδηγία 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008 «Σχετικά με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος στον Τομέα της Πολιτικής των Υδάτων». (L 348/84 της 24-12-2008)

Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (Vol 1) (2000). Printed for Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and The Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand

Χαρτες

Κατσικάτσος, Γ., 2002, Γεωλογικός Χαρτης της Ελλάδος: Φύλλο Κηφισιά (1:50 000), Ι.Γ.Μ.Ε.

Λατσούδα, Χ., 2003, Γεωλογικός Χαρτης της Ελλάδος: Φύλλο Κορωπί - Πλάκα (1:50 000), Ι.Γ.Μ.Ε.

Κατσικάτσος, Γ., 1991, Γεωλογικός Χαρτης της Ελλάδος: Φύλλο Ραφήνα (1:50 000), Ι.Γ.Μ.Ε.

Γ.Υ.Σ., 1988, Τοπογραφικός Χαρτης: Φύλλο Κηφισιά (1:50 000)

Γ.Υ.Σ., 1975, Τοπογραφικός Χαρτης: Φύλλο Αθήνα - Κορωπί (1:50 000)

Γ.Υ.Σ., 1976, Τοπογραφικός Χαρτης: Φύλλο Ραφήνα (1:50 000)

Γ.Υ.Σ., 1976, Τοπογραφικός Χαρτης: Φύλλο Πλάκα (1:50 000)

Εφαρμογές

- ARCGIS v.9.3
- PAINT (version for Windows 7)
- SPSS

- AUTOCAD 2006
- MSOFFICE 2003
- Βιβλιοθήκη Γεωδαιτικών Μετατροπών Συντεταγμένων (icoordstrans) (<http://itia.ntua.gr>)
- Ύδρογνώμων (Hydrognomon) (<http://hydrognomon.org/>)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Πίνακας Π1.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που αφορούν κύρια ιόντα

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Cl ⁻ mg L ⁻¹	F ⁻ mg L ⁻¹	Br ⁻ mg L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	CO ₃ ²⁻ mg L ⁻¹
S15	71.6	0.070	0.206	2.80	40.4	268	n.d.
S14	53.8	0.074	0.145	2.58	36.7	238	n.d.
S20	1408	0.242	4.233	18.7	245	353	9.6
S19	161	0.215	0.468	22.4	111	328	18
S18	141	0.332	0.386	18.2	102	301	18
S17	139	0.329	0.344	19.4	105	342	20
S11	141	0.356	0.394	20.0	103	360	8.4
S9	139	0.464	0.342	36.8	95.5	336	20
S10	135	0.432	0.357	35.1	96.6	316	24
S16	128	0.203	0.396	9.75	59.8	242	n.d.
S13	59.4	0.121	0.342	0.93	35.0	250	7.2
S12	53.9	0.095	0.167	0.70	38.8	267	n.d.
S4	278	0.159	0.905	4.32	74.0	353	n.d.
S5	93.4	0.199	0.202	28.7	73.9	156	36
S6	106	0.214	0.268	29.8	78.7	209	26
S8	134	0.238	0.354	37.5	95.2	317	26
S7	124	0.227	0.300	32.0	89.9	290	24
S3	138	0.197	0.360	37.3	121	429	8.4
S1	56.3	0.151	0.144	26.6	56.4	262	4.8
S2	54.2	0.154	0.200	23.3	50.1	254	7.2

Πίνακας Π1.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που αφορούν κύρια ιόντα

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Na ⁺ mg L ⁻¹	K ⁺ mg L ⁻¹	Mg ²⁺ mg L ⁻¹	Ca ²⁺ mg L ⁻¹	Li ⁺ mg L ⁻¹	NH ₄ ⁺ mg L ⁻¹	PO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	NO ₂ ⁻ mg L ⁻¹
S15	41.5	1.20	12.3	72.4	0.021	0.025	n.a.	n.a.
S14	32.2	0.91	9.10	77.6	0.003	0.010	n.a.	n.a.
S20	768	28.5	115	125	0.024	n.a.	0.075	n.a.
S19	113	2.60	43.2	82.4	0.014	n.a.	n.a.	n.a.
S18	104	1.43	54.6	61.9	0.022	0.007	n.a.	0.029
S17	104	1.39	55.5	66.4	0.021	0.006	0.301	n.a.
S11	102	1.33	55.3	67.0	0.021	n.a.	n.a.	n.a.
S9	93.2	2.43	52.8	84.2	0.020	0.02	n.a.	0.064
S10	91.9	2.38	52.5	82.4	0.020	0.014	n.a.	0.044
S16	71.7	1.70	17.7	84.7	0.006	0.012	n.a.	n.a.
S13	33.8	1.27	9.20	89.4	0.002	0.009	n.a.	n.a.
S12	28.7	0.96	8.50	85.9	0.003	0.005	n.a.	0.018
S4	123	1.96	23.8	122	0.010	n.a.	n.a.	n.a.
S5	67.8	2.30	32.5	55.1	0.012	0.013	n.a.	0.353
S6	75.5	2.05	40.3	67.6	0.016	n.a.	n.a.	0.252
S8	90.0	2.29	51.5	80.7	0.020	0.011	n.a.	0.073
S7	84.4	2.19	47.1	77.7	0.018	0.011	n.a.	0.120
S3	92.5	1.88	41.7	104	0.012	0.551	0.806	n.a.
S1	53.7	3.24	17.4	83.1	0.008	1.030	0.892	n.a.
S2	48.7	2.84	16.1	78.9	0.007	n.a.	0.400	n.a.

Πίνακας Π1.3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που αφορούν μέταλλα

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Cr _{total} μg L ⁻¹	Cr _{soluble} μg L ⁻¹	Co _{total} μg L ⁻¹	Co _{soluble} μg L ⁻¹	Ni _{total} μg L ⁻¹	Ni _{soluble} μg L ⁻¹	Cu _{total} μg L ⁻¹	Cu _{soluble} μg L ⁻¹
S15	0.33	0.23	0.18	0.12	0.85	0.53	1.32	0.93
S14	0.18	0.06	0.08	0.06	0.28	n.q.	0.44	0.18
S20	1.94	1.34	0.34	0.25	3.85	2.45	0.89	0.40
S19	1.81	1.19	0.45	0.32	5.31	3.48	0.83	0.38
S18	0.89	0.55	0.50	0.41	7.19	4.99	1.33	0.85
S17	0.86	0.50	0.49	0.38	7.06	4.94	1.15	0.71
S11	0.92	0.51	0.50	0.38	7.26	5.03	1.25	0.96
S9	1.86	1.35	0.60	0.51	15.5	5.43	2.12	1.35
S10	1.78	1.25	0.60	0.50	7.55	5.28	1.84	1.79
S16	0.44	0.21	0.18	0.13	0.98	0.43	0.58	0.35
S13	0.27	n.q.	0.08	0.06	0.25	n.q.	0.29	0.10
S12	0.13	n.q.	0.06	0.04	0.23	n.q.	0.19	n.q.
S4	0.28	0.07	0.15	0.09	2.60	1.60	0.61	0.30
S5	1.49	1.03	0.54	0.42	5.50	3.48	1.53	0.92
S6	1.78	1.03	0.57	0.43	6.55	4.16	1.41	0.84
S8	4.03	1.03	0.78	0.41	10.3	4.54	2.09	0.99
S7	1.77	1.42	0.59	0.55	6.84	6.57	1.38	1.24
S3	1.75	0.77	0.71	0.71	3.43	3.15	1.3	0.81
S1	2.67	1.03	0.44	0.35	4.77	4.03	3.44	1.57
S2	1.56	1.35	0.27	0.27	2.88	2.70	1.27	1.02

Πίνακας Π1.4: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που αφορούν μέταλλα

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Zn _{total} μg L ⁻¹	Zn _{soluble} μg L ⁻¹	Mn _{total} μg L ⁻¹	Mn _{soluble} μg L ⁻¹	Cd _{total} μg L ⁻¹	Cd _{soluble} μg L ⁻¹	Pb _{total} μg L ⁻¹	Pb _{soluble} μg L ⁻¹
S15	9.51	2.16	17.3	11.7	0.13	0.01	1.19	n.d.
S14	1.75	0.14	3.05	0.78	0.11	n.q.	1.20	n.d.
S20	4.16	0.98	6.44	0.23	0.06	0.01	n.d.	n.d.
S19	5.08	0.43	4.66	0.12	0.06	n.d.	0.28	n.d.
S18	7.03	0.61	1.38	0.10	0.07	n.d.	0.24	n.d.
S17	8.80	1.30	3.06	0.14	0.05	0.01	0.22	n.d.
S11	5.93	1.04	1.79	0.06	0.10	n.d.	0.19	n.d.
S9	19.4	12.4	1.65	0.12	0.10	0.01	1.01	n.d.
S10	13.7	12.2	1.42	0.09	0.07	0.01	0.32	n.d.
S16	4.10	0.28	1.36	0.06	0.11	0.01	0.84	n.d.
S13	2.23	n.q.	15.6	5.71	0.09	n.d.	0.82	n.d.
S12	2.30	n.q.	1.16	0.43	0.12	n.d.	0.78	n.d.
S4	2.38	n.q.	3.97	1.51	0.34	0.01	0.83	n.d.
S5	3.99	1.61	1.68	0.19	0.18	0.02	0.14	n.d.
S6	5.03	2.44	1.93	0.09	0.15	0.02	0.18	n.d.
S8	18.8	6.84	10.8	0.05	0.13	0.01	0.73	n.d.
S7	9.33	4.79	1.38	0.09	0.17	0.02	0.19	n.d.
S3	6.22	2.94	31.1	15.0	0.19	0.02	0.48	n.d.
S1	18.1	9.34	21.2	0.85	0.14	0.01	2.26	n.d.
S2	5.61	1.79	3.41	0.44	0.13	0.01	0.20	n.d.

Πίνακας Π1.5: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που αφορούν φυσικοχημικές παραμέτρους

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	TSS mg L ⁻¹	TDS mg L ⁻¹	CND μS cm ⁻¹	PH	Sp.CND μS cm ⁻¹	ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ μg L ⁻¹	T °C
S15	6.48	539	670	7.2	822	0.41	15.4
S14	4.90	468	585	8.5	719	0.35	15.2
S20	6.55	3646	4906	8.7	5606	3.05	18.5
S19	7.91	904	1195	8.9	1391	0.70	17.6
S18	6.79	726	1068	9.1	1168	0.64	19.8
S17	5.29	858	1127	8.9	1320	0.66	17.3
S11	1.36	858	1115	8.7	1320	0.66	16.8
S9	7.55	845	1067	9.2	1298	0.65	15.7
S10	3.01	839	1095	9.0	1292	0.65	16.2
S16	4.76	650	859	8.5	1005	0.50	17.2
S13	16.0	487	640	8.7	751	0.37	17.2
S12	5.85	494	635	8.5	763	0.37	16.2
S4	10.8	1047	1407	8.1	1609	0.82	18.4
S5	4.67	585	802	9.6	900	0.44	19.1
S6	9.35	683	897	9.5	1052	0.52	17.3
S8	24.2	819	1061	9.7	1259	0.63	16.7
S7	5.36	793	1024	9.1	1218	0.61	16.7
S3	10.8	942	1217	8.6	1452	0.73	16.5
S1	20.3	560	695	8.8	856	0.42	15.0
S2	6.33	527	662	8.8	707	0.40	15.7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ TSS, NO₃⁻ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας Π2.1: Μέτρηση ολικών αιωρούμενων στερεών στα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ gr	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ (105°C) gr	ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ml	TSS mg L ⁻¹
S1	0.0904	0.0939	172	20
S2	0.0901	0.0911	158	6.3
S3	0.0915	0.0930	139	11
S4	0.0916	0.0933	158	11
S5	0.0898	0.0905	150	4.7
S6	0.0907	0.0920	139	9.4
S7	0.0906	0.0909	56	5.4
S8	0.0917	0.0940	95	24
S9	0.0890	0.0902	159	7.5
S10	0.0909	0.0914	166	3.0
S11	0.0920	0.0922	147.5	1.4
S12	0.0909	0.0919	171	5.8
S13	0.0908	0.0936	175	16
S14	0.0925	0.0932	143	4.9
S15	0.0906	0.0914	123.5	6.5
S16	0.0912	0.0919	147	4.8
S17	0.0900	0.0909	170	5.3
S18	0.0916	0.0927	162	6.8
S19	0.0909	0.0920	139	7.9
S20	0.0923	0.0934	168	6.5

Πίνακας Π2.2: Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός νιτρικών ιόντων στα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	NO ₃ -N mg L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹
S1	1	0.778	6.896	30.5
S3	1	1.016	8.999	39.9
S5	1	0.774	6.860	30.4
S6	1	0.808	7.161	31.7
S7	1	0.852	7.550	33.4
S9	1	0.964	8.539	37.8
S10	1	0.966	8.557	37.9
S11	1	0.549	4.872	21.6
S13	1	0.023	0.224	0.99
S17	1	0.527	4.678	20.7
S18	1	0.499	4.430	19.6
S19	1	0.593	5.261	23.3
S20	1	0.469	4.165	18.4

Πίνακας Π2.3: Προσδιορισμός αλκαλικότητας στα δείγματα επιφανειακού νερού της περιοχής έρευνας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	V	H ₂ SO ₄	DM	D(P)	D(T)	ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ		CO ₃ ²⁻ (ως CaCO ₃)	HCO ₃ ⁻ (ως CaCO ₃)
	ml	N	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	μg L ⁻¹	P mg L ⁻¹	T mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
S15	100	1.6	1	0	220	0	220	0	220
S14	100	1.6	1	0	195	0	195	0	195
S20	100	1.6	1	8	305	8	305	16	289
S19	100	1.6	1	15	299	15	299	30	269
S18	100	1.6	1	15	277	15	277	30	247
S17	100	1.6	1	17	314	17	314	34	280
S11	100	1.6	1	7	309	7	309	14	295
S9	100	1.6	1	17	309	17	309	34	275
S10	100	1.6	1	20	299	20	299	40	259
S16	100	1.6	1	0	198	0	198	0	198
S13	100	1.6	1	6	217	6	217	12	205
S12	100	1.6	1	0	219	0	219	0	219
S4	100	1.6	1	0	289	0	289	0	289
S5	100	1.6	1	30	188	30	188	60	128
S6	100	1.6	1	22	215	22	215	44	171
S8	100	1.6	1	22	304	22	304	44	260
S7	100	1.6	1	20	278	20	278	40	238
S3	100	1.6	1	7	366	7	366	14	352
S1	100	1.6	1	4	223	4	223	8	215
S2	100	1.6	1	6	220	6	220	12	208

DM (Digits Multiplier): Συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζεται ο απαιτούμενος όγκος θεικού οξέως.

D(P) : Καταμετρημένος όγκος θεικού οξέως για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας με βάση τον δείκτη φαινολοφθαλείνης.

D(T) :Καταμετρημένος όγκος θεικού οξέως για τον προσδιορισμό της ολικής αλκαλικότητας.

P: Αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης, T: Ολική αλκαλικότητα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας Π3.1: Μέτρηση παροχής με την μέθοδο του μυλίσκου στα ρέματα της περιοχής έρευνας

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΘΕΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ m ²	R	ΧΡΟΝΟΣ sec	n	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m sec ⁻¹	Q m ³ sec ⁻¹	Μ.Ο.	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
24/4/2010	10:30	S13	0,0296	37	30	1.23	0.319	0.0094	0.009	
			0.0296	36	30	1.20	0.310	0.0092	3	
24/4/2010	14:22	S5	0.3271	41	50	0.82	0.214	0.070	0.076	σε 15 cm από πυθμένα
			0.3271	48	50	0.96	0.250	0.082		σε 30 cm από πυθμένα
24/4/2010	15:07	S6	0.4544	46	50	0.92	0.240	0.109		
24/4/2010	16:54	S7	0.4000	95	50	1.90	0.488	0.195		
27/4/2010	16:43	S2	0.2577	18	30	0.60	0.159	0.041		

Πίνακας Π3.2: Μέτρηση παροχής με την μέθοδο του πλωτήρα στα ρέματα της περιοχής έρευνας

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΘΕΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ m ²	ΑΠΟΣΤΑΣΗ m	ΧΡΟΝΟΣ sec	Σ.Δ.	ΤΑΧΥΤΗΤΑ m sec ⁻¹	Q m ³ sec ⁻¹	Μ.Ο.
21/4/2010	10:23	S15	0.4600	4.8	42.4	0.7	0.079	0.036	0.033
			0.4600	4.8	51.1	0.7	0.066	0.030	
21/4/2010	11:05	S14	0.1063	2	5	0.7	0.280	0.030	0.028
			0.1063	2	5.6	0.7	0.250	0.027	
21/4/2010	13:15	S20	2.0886	12	27.7	0.7	0.303	0.633	0.590
			2.0886	19.8	53	0.7	0.262	0.546	
21/4/2010	13:51	S19	0.4644	3.7	8.3	0.7	0.312	0.145	
21/4/2010	14:24	S18	0.5787	7.2	14.6	0.7	0.345	0.200	
21/4/2010	15:08	S17	1.1000	2.9	8.5	0.7	0.239	0.263	
21/4/2010	16:05	S9	0.8395	8.1	23.9	0.7	0.237	0.199	0.202
			0.8395	8.1	23.3	0.7	0.243	0.204	
21/4/2010	17:04	S10	0.5615	7.5	21.5	0.7	0.244	0.137	
21/4/2010	18:13	S16	0.3151	9	32.1	0.7	0.196	0.062	
24/4/2010	10:30	S13	0.0466	4.7	13.1	0.7	0.251	0.012	
24/4/2010	10:56	S12	0.049	1.2	7.3	0.7	0.251	0.012	
24/4/2010	16:06	S8	0.6708	5	23.8	0.7	0.147	0.099	
24/4/2010	17:49	S3	0.095	1.3	32.1	0.7	0.028	0.003	

S1



S10



S2



S12



S3



S13



S5



S14



S6



S15



S7



S16



S8



S17



S9



S18



S19



S20



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Πίνακας Π4.1: Ισοζύγιο ανιόντων - κατιόντων

ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ	Cl ⁻ meq L ⁻¹	NO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ meq L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	CO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	Na ⁺ meq L ⁻¹	K ⁺ meq L ⁻¹	Mg ²⁺ meq L ⁻¹	Ca ²⁺ meq L ⁻¹	Σ+	Σ-	ΙΑΚ %
S15	2.02	0.045	0.842	4.39	n.d.	1.804	0.031	1.012	3.620	6.47	7.30	-6.1
S14	1.52	0.042	0.765	3.90	n.d.	1.400	0.023	0.749	3.880	6.05	6.23	-1.4
S20	39.8	0.302	5.104	5.79	0.32	33.39	0.731	9.465	6.250	49.8	51.3	-1.4
S19	4.55	0.361	2.313	5.38	0.60	4.913	0.067	3.556	4.120	12.7	13.2	-2.1
S18	3.98	0.294	2.125	4.93	0.60	4.522	0.037	4.494	3.095	12.1	11.9	0.9
S17	3.93	0.313	2.188	5.61	0.67	4.522	0.036	4.568	3.320	12.4	12.7	-1.0
S11	3.98	0.323	2.146	5.90	0.28	4.435	0.034	4.551	3.350	12.4	12.6	-1.1
S9	3.93	0.594	1.990	5.51	0.67	4.052	0.062	4.346	4.210	12.7	12.7	-0.1
S10	3.81	0.566	2.013	5.18	0.80	3.996	0.061	4.321	4.120	12.5	12.4	0.5
S16	3.62	0.157	1.246	3.97	n.d.	3.117	0.044	1.457	4.235	8.85	8.99	-0.7
S13	1.68	0.015	0.729	4.10	0.24	1.470	0.033	0.757	4.470	6.73	6.76	-0.2
S12	1.52	0.011	0.808	4.38	n.d.	1.248	0.025	0.700	4.295	6.27	6.72	-3.5
S4	7.85	0.070	1.542	5.79	n.d.	5.348	0.050	1.959	6.100	13.5	15.3	-6.3
S5	2.64	0.463	1.540	2.56	1.20	2.948	0.059	2.675	2.755	8.44	8.40	0.2
S6	2.99	0.481	1.640	3.43	0.87	3.283	0.053	3.317	3.380	10.0	9.41	3.2
S8	3.79	0.605	1.983	5.20	0.87	3.913	0.059	4.239	4.035	12.2	12.4	-0.8
S7	3.50	0.516	1.873	4.75	0.80	3.670	0.056	3.877	3.885	11.5	11.4	0.2
S3	3.90	0.602	2.521	7.03	0.28	4.022	0.048	3.432	5.200	12.7	14.3	-6.0
S1	1.59	0.429	1.175	4.30	0.16	2.335	0.083	1.432	4.155	8.00	7.65	2.3
S2	1.53	0.376	1.044	4.16	0.24	2.117	0.073	1.325	3.945	7.46	7.35	0.7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ

Πίνακας Π5.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσδιορισμένες παραμέτρους της συνολικής υδρολογικής λεκάνης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΚΥΡΤΩΣΗ
Cl ⁻	mg L ⁻¹	53.8	278	224	116	12.4	128	54.2	47	1.246	3.310
F ⁻	mg L ⁻¹	0.07	0.46	0.39	0.22	0.03	0.20	0.11	51	0.733	-0.101
Br ⁻	mg L ⁻¹	0.14	0.91	0.76	0.33	0.04	0.34	0.17	51	2.185	7.259
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0.70	37.5	36.8	18.5	3.07	20.0	13.4	72	-0.137	-1.499
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	35.0	121	86.0	77.0	6.41	78.7	27.9	36	-0.216	-1.356
HCO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	156	429	273	290	14.3	290	62.4	21	0.045	0.566
CO ₃ ²⁻	mg L ⁻¹	n.d.	36	36	13	2.6	8.4	11	86	0.335	-1.050
Na ⁺	mg L ⁻¹	28.7	123	94.3	76.4	6.70	84.4	29.2	38	-0.308	-1.125
K ⁺	mg L ⁻¹	0.91	3.24	2.33	1.91	0.15	1.96	0.65	34	0.192	-0.711
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	8.50	55.5	47.0	33.7	4.20	40.3	18.3	54	-0.184	-1.753
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	55.1	122	66.9	80.2	3.44	80.7	15.0	19	1.078	2.549
Li ⁺	mg L ⁻¹	0.000	0.022	0.020	0.013	0.002	0.014	0.007	54	-0.332	-1.423
Cr _t	μg L ⁻¹	0.13	4.03	3.90	1.31	0.23	1.49	0.99	76	1.040	1.684
Cr _s	μg L ⁻¹	0.02	1.42	1.40	0.72	0.12	0.77	0.51	71	-0.126	-1.587
Co _t	μg L ⁻¹	0.06	0.78	0.72	0.41	0.05	0.49	0.23	56	-0.268	-1.240
Co _s	μg L ⁻¹	0.04	0.71	0.67	0.32	0.04	0.38	0.19	59	-0.019	-0.747
Ni _t	μg L ⁻¹	0.23	15.5	15.3	5.02	0.90	5.31	3.94	78	0.881	1.326
Ni _s	μg L ⁻¹	0.00	6.57	6.57	3.18	0.49	3.48	2.14	67	-0.366	-1.214
Cu _t	μg L ⁻¹	0.19	3.44	3.25	1.28	0.17	1.30	0.76	59	1.081	2.410
Cu _s	μg L ⁻¹	0.00	1.79	1.79	0.80	0.11	0.85	0.49	61	0.134	-0.443
Zn _t	μg L ⁻¹	1.75	19.4	17.7	7.86	1.31	5.93	5.70	73	1.077	0.041
Zn _s	μg L ⁻¹	n.q.	12.4	12.4	3.18	0.93	1.61	4.06	128	1.486	1.038
Mn _t	μg L ⁻¹	1.16	31.1	29.9	6.73	1.95	3.05	8.51	126	1.812	2.674
Mn _s	μg L ⁻¹	0.05	15.0	15.0	1.98	0.97	0.14	4.25	215	2.513	5.519
Cd _t	μg L ⁻¹	0.05	0.34	0.29	0.13	0.01	0.12	0.06	50	1.985	5.870

Πίνακας Π5.1: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιοριμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους της συνολικής υδρολογικής λεκάνης (συνέχεια)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΚΥΡΤΩΣΗ
Cd _s	μg L ⁻¹	n.d.	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	82	0.172	-0.998
Pb _t	μg L ⁻¹	0.14	2.26	2.12	0.64	0.12	0.48	0.54	84	1.617	3.454
TSS	mg L ⁻¹	1.36	24.2	22.8	8.51	1.34	6.48	5.85	69	1.596	2.224
TDS	μg L ⁻¹	468	1047	579	717	40.5	726	177	25	0.080	-1.230
CND	μS cm ⁻¹	585	1407	822	938	55.4	1024	242	26	0.040	-1.084
PH		7.20	9.70	2.50	8.81	0.13	8.80	0.56	6	-1.040	2.804
Sp.CND	μS cm ⁻¹	707	1609	902	1100	64.1	1168	280	25	0.000	-1.264
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	μg L ⁻¹	0.35	0.82	0.47	0.55	0.03	0.61	0.14	26	0.019	-1.274

Πίνακας Π5.2: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιοριμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Α

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
Cl ⁻	mg L ⁻¹	54.2	278	224	127	17.9	134	59.4	47
F ⁻	mg L ⁻¹	0.15	0.46	0.31	0.25	0.03	0.21	0.11	44
Br ⁻	mg L ⁻¹	0.14	0.91	0.76	0.35	0.06	0.34	0.20	57
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	4.32	37.5	33.2	28.3	2.97	29.8	9.86	35
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	50.1	121	70.9	84.9	6.26	89.9	20.8	24
HCO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	156	429	273	298	22.9	316	75.8	25
CO ₃ ²⁻	mg L ⁻¹	n.d.	36	36	17	3.45	20	11	65
Na ⁺	mg L ⁻¹	48.7	123	74.3	83.9	6.47	90.0	21.5	26
K ⁺	mg L ⁻¹	1.33	3.24	1.91	2.26	0.15	2.29	0.50	22
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	16.1	55.3	39.2	39.2	4.40	41.7	14.6	37
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	55.1	122	66.9	82.1	5.45	80.7	18.1	22
Li ⁺	mg L ⁻¹	0.007	0.021	0.014	0.015	0.002	0.016	0.005	33
Cr _t	μg L ⁻¹	0.28	4.03	3.75	1.81	0.28	1.77	0.95	52
Cr _s	μg L ⁻¹	0.07	1.42	1.35	0.98	0.12	1.03	0.41	42

Πίνακας Π5.2: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Α (συνέχεια)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
Co _t	μg L ⁻¹	0.15	0.78	0.63	0.52	0.05	0.57	0.18	35
Cr _s	μg L ⁻¹	0.07	1.42	1.35	0.98	0.12	1.03	0.41	42
Co _t	μg L ⁻¹	0.15	0.78	0.63	0.52	0.05	0.57	0.18	35
Co _s	μg L ⁻¹	0.09	0.71	0.62	0.42	0.05	0.42	0.16	38
Ni _t	μg L ⁻¹	2.60	15.5	12.9	6.65	1.12	6.55	3.72	56
Ni _s	μg L ⁻¹	1.60	6.57	4.97	4.18	0.42	4.16	1.40	34
Cu _t	μg L ⁻¹	0.61	3.44	2.83	1.66	0.22	1.41	0.73	44
Cu _s	μg L ⁻¹	0.30	1.79	1.49	1.07	0.12	0.99	0.40	37
Zn _t	μg L ⁻¹	2.38	19.4	17.0	9.86	1.94	6.22	6.44	65
Zn _s	μg L ⁻¹	n.q.	12.4	12.4	5.04	1.35	2.94	4.49	89
Mn _t	μg L ⁻¹	1.38	31.1	29.7	7.30	3.00	1.93	9.95	136
Mn _s	μg L ⁻¹	0.05	15.0	14.9	1.68	1.34	0.12	4.44	264
Cd _t	μg L ⁻¹	0.07	0.34	0.27	0.15	0.02	0.14	0.07	47
Cd _s	μg L ⁻¹	n.d.	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	100
Pb _t	μg L ⁻¹	0.14	2.26	2.12	0.59	0.19	0.32	0.63	107
TSS	mg L ⁻¹	1.36	24.2	22.8	9.43	2.13	7.55	7.06	75
TDS	μg L ⁻¹	527	1047	520	772	49.7	819	165	21
CND	μS cm ⁻¹	662	1407	745	1004	67.5	1061	224	22
PH		8.10	9.70	1.60	9.01	0.14	9.00	0.48	5.3
Sp.CND	μS cm ⁻¹	707	1609	902	1178	81.7	1259	271	23
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	μg L ⁻¹	0.40	0.82	0.42	0.59	0.04	0.63	0.13	22

Πίνακας Π5.3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Β

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
Cl ⁻	mg L ⁻¹	53.8	128	74.2	73.3	14.0	59.4	31.4	43
F ⁻	mg L ⁻¹	0.07	0.20	0.13	0.11	0.02	0.09	0.05	45
Br ⁻	mg L ⁻¹	0.14	0.40	0.25	0.25	0.49	0.21	0.11	44
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0.70	9.75	9.05	3.35	1.65	2.58	3.70	110
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	35.0	59.8	24.8	42.1	4.51	38.8	10.1	24
HCO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	238	268	30.0	253	6.23	250	13.9	5.5
CO ₃ ²⁻	mg L ⁻¹	n.d.	7.2	7.2	1.4	1.4	--	--	--
Na ⁺	mg L ⁻¹	28.7	71.7	43	41.6	7.81	33.8	17.5	42
K ⁺	mg L ⁻¹	0.91	1.70	0.79	1.21	0.14	1.20	0.31	26
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	8.50	17.7	9.20	11.4	1.72	9.20	3.84	34
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	72.4	89.4	17.0	82.0	3.07	84.7	6.87	8.4
Li ⁺	mg L ⁻¹	0.002	0.021	0.019	0.007	0.003	0.003	0.008	114
Cr _t	μg L ⁻¹	0.13	0.44	0.31	0.27	0.05	0.27	0.12	44
Cr _s	μg L ⁻¹	n.q.	0.23	0.21	0.11	0.05	0.06	0.10	91
Co _t	μg L ⁻¹	0.06	0.18	0.12	0.12	0.03	0.08	0.06	50
Co _s	μg L ⁻¹	0.04	0.13	0.09	0.08	0.02	0.06	0.04	50
Ni _t	μg L ⁻¹	0.23	0.98	0.75	0.52	0.16	0.28	0.37	71
Ni _s	μg L ⁻¹	n.q.	0.53	0.53	0.19	0.12	--	0.26	137
Cu _t	μg L ⁻¹	0.19	1.32	1.13	0.56	0.20	0.44	0.45	80
Cu _s	μg L ⁻¹	n.q.	0.93	0.93	0.31	0.16	0.18	0.37	119
Zn _t	μg L ⁻¹	1.75	9.51	7.76	3.98	1.44	2.30	3.22	81
Zn _s	μg L ⁻¹	n.q.	2.16	2.16	0.52	0.41	0.14	0.93	179
Mn _t	μg L ⁻¹	1.16	17.3	16.1	7.69	3.60	3.05	8.05	105
Mn _s	μg L ⁻¹	0.06	11.7	11.6	3.74	2.24	0.78	5.01	134
Cd _t	μg L ⁻¹	0.09	0.13	0.04	0.11	0.01	0.11	0.01	9.1
Cd _s	μg L ⁻¹	n.d.	0.01	0.01	--	--	--	--	--
Pb _t	μg L ⁻¹	0.78	1.20	0.42	0.97	0.09	0.84	0.21	22
TSS	mg L ⁻¹	4.76	16.0	11.2	7.60	2.12	5.85	4.75	63
TDS	mg L ⁻¹	468	650	182	528	32.7	494	73.2	14

Πίνακας Π5.3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Β (συνέχεια)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
TDS	μg L ⁻¹	468	650	182	528	32.7	494	73.2	14
CND	μS cm ⁻¹	585	859	274	678	47.3	640	106	16
PH		7.20	8.70	1.50	8.28	0.27	8.50	0.61	7.4
Sp.CND	μS cm ⁻¹	719	1005	286	812	51.0	763	114	14
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	μg L ⁻¹	0.35	0.50	0.15	0.40	0.03	0.37	0.06	15

Πίνακας Π5.4: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Γ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
Cl ⁻	mg L ⁻¹	139	161	22	147	7.02	141	12.2	8.3
F ⁻	mg L ⁻¹	0.21	0.33	0.12	0.29	0.04	0.33	0.07	24
Br ⁻	mg L ⁻¹	0.34	0.47	0.12	0.40	0.04	0.39	0.06	15
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	18.2	22.4	4.20	20.0	1.25	19.4	2.16	11
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	102	111	9.00	106	2.65	105	4.58	4.3
HCO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	301	342	41.0	324	12.0	328	20.8	6.4
CO ₃ ²⁻	mg L ⁻¹	18	20	2.0	19	0.7	18	1.1	5.6
Na ⁺	mg L ⁻¹	104	113	9.00	107	3.00	104	5.20	4.8
K ⁺	mg L ⁻¹	1.39	2.60	1.21	1.81	0.40	1.43	0.69	38
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	43.2	55.5	12.3	51.1	3.96	54.6	6.86	13
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	61.9	82.4	20.5	70.2	6.22	66.4	10.8	15
Li ⁺	mg L ⁻¹	0.014	0.022	0.008	0.019	0.002	0.021	0.004	21
Cr _t	μg L ⁻¹	0.86	1.81	0.95	1.19	0.31	0.89	0.54	45
Cr _s	μg L ⁻¹	0.05	1.19	0.69	0.75	0.22	0.55	0.39	51
Co _t	μg L ⁻¹	0.45	0.50	0.05	0.48	0.01	0.49	0.03	6.2
Co _s	μg L ⁻¹	0.32	0.41	0.09	0.37	0.03	0.38	0.05	14
Ni _t	μg L ⁻¹	5.31	7.19	1.88	6.52	0.61	7.06	1.05	16

Πίνακας Π5.4: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις προσιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους που αφορούν στην υπολεκάνη Γ (συνέχεια)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ)	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	CV (%)
Ni _s	μg L ⁻¹	3.48	4.99	1.51	4.47	0.49	4.94	0.86	19
Cu _t	μg L ⁻¹	0.83	1.33	0.50	1.10	0.15	1.15	0.25	23
Cu _s	μg L ⁻¹	0.38	0.85	0.47	0.65	0.14	0.71	0.24	37
Zn _t	μg L ⁻¹	5.08	8.80	3.72	6.97	1.07	7.03	1.86	27
Zn _s	μg L ⁻¹	0.43	1.30	0.87	0.78	0.26	0.61	0.46	59
Mn _t	μg L ⁻¹	1.38	4.66	3.28	3.03	0.95	3.06	1.64	54
Mn _s	μg L ⁻¹	0.10	0.14	0.04	0.12	0.01	0.12	0.02	17
Cd _t	μg L ⁻¹	0.05	0.07	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	17
Cd _s	μg L ⁻¹	n.d.	0.01	0.01	--	--	--	--	--
Pb _t	μg L ⁻¹	0.22	0.28	0.06	0.25	0.02	0.24	0.03	12
TSS	mg L ⁻¹	5.29	7.91	2.62	6.67	0.76	6.79	1.31	20
TDS	μg L ⁻¹	726	904	178	829	53.3	858	92.4	11
CND	μS cm ⁻¹	1068	1195	127	1130	36.7	1127	63.5	5.6
PH		8.90	9.10	0.20	8.97	0.07	8.90	0.11	1.2
Sp.CND	μS cm ⁻¹	1168	1391	223	1293	65.8	1320	114	8.8
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	μg L ⁻¹	0.64	0.70	0.06	0.67	0.02	0.66	0.03	4.5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους. Η πρώτη τιμή για την κάθε παράμετρο αντιστοιχεί στον συντελεστή συσχέτισης και η δεύτερη τιμή στην τιμή p (p -value)

	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Cl ⁻	1						
F ⁻	.414	1					
.078							
Br ⁻	.937	.224	1				
.000	.357						
NO ₃ ⁻	.161	.614	-.084	1			
.511	.005	.732					
SO ₄ ²⁻	.616	.725	.386	.706	1		
.005	.000	.103	.001				
HCO ₃ ⁻	.579	.413	.516	.255	.660	1	
.009	.079	.024	.292	.002			
CO ₃ ²⁻	.132	.548	-.080	.730	.560	-.142	1
.591	.015	.744	.000	.013	.563		
Na ⁺	.891	.661	.733	.465	.878	.627	.399
.000	.002	.000	.045	.000	.004	.090	
K ⁺	.109	.237	.026	.680	.272	-.014	.392
.658	.329	.917	.001	.260	.954	.097	
Mg ²⁺	.507	.858	.261	.719	.922	.504	.698
.027	.000	.280	.001	.000	.028	.001	
Ca ²⁺	.458	-.219	.609	-.166	-.047	.497	-.509
.049	.369	.006	.496	.848	.030	.026	
Li ⁺	.392	.694	.156	.530	.695	.388	.552
.097	.001	.523	.020	.001	.101	.014	
Cr _{total}	.040	.319	-.125	.839	.463	.136	.584
.870	.183	.609	.000	.046	.578	.009	
Cr _{soluble}	.021	.488	-.174	.881	.496	.040	.689
.932	.034	.475	.000	.031	.872	.001	
Co _{total}	.268	.648	.002	.944	.825	.353	.767
.268	.003	.994	.000	.000	.138	.000	
Co _{soluble}	.216	.632	-.042	.928	.810	.400	.672
.374	.004	.866	.000	.000	.090	.002	
Ni _{total}	.329	.841	.099	.769	.677	.304	.688
.169	.000	.688	.000	.001	.206	.001	
Ni _{soluble}	.314	.773	.063	.826	.774	.322	.730
.190	.000	.796	.000	.000	.179	.000	
Cu _{total}	-.074	.371	-.249	.693	.286	.055	.380
.764	.118	.304	.001	.235	.823	.108	
Cu _{soluble}	-.009	.575	-.206	.755	.384	.119	.478
.972	.010	.399	.000	.105	.628	.039	
Zn _{total}	.010	.507	-.153	.640	.317	.244	.342
.966	.027	.531	.003	.187	.315	.152	

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια)

	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Zn_{soluble}	.002	.571	-.148	.676	.268	.179	.369
	.995	.011	.544	.001	.268	.464	.121
Mn_{total}	-.180	-.355	-.118	.090	-.013	.318	-.286
	.462	.136	.632	.715	.958	.184	.235
Mn_{soluble}	-.100	-.350	-.039	-.097	-.034	.331	-.338
	.685	.141	.873	.694	.889	.166	.156
Cd_{total}	.453	-.353	.496	-.063	-.099	.059	-.176
	.051	.139	.031	.797	.686	.810	.472
Cd_{soluble}	.116	.059	-.050	.589	.245	-.095	.461
	.636	.809	.840	.008	.311	.697	.047
Pb_{total}	-.285	-.375	-.198	-.274	-.507	-.095	-.546
	.238	.114	.417	.257	.027	.700	.016
TSS	-.044	-.247	.042	.168	-.077	.054	.010
	.858	.307	.866	.492	.755	.825	.966
TDS	.902	.583	.762	.459	.847	.777	.278
	.000	.009	.000	.048	.000	.000	.249
CND	.926	.587	.792	.423	.855	.738	.305
	.000	.008	.000	.071	.000	.000	.204
PH	.020	.479	-.131	.694	.445	-.168	.821
	.936	.038	.593	.001	.056	.491	.000
Sp.CND	.906	.590	.761	.440	.854	.770	.286
	.000	.008	.000	.060	.000	.000	.235
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	.912	.602	.774	.438	.860	.776	.279
	.000	.006	.000	.061	.000	.000	.247

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Li ⁺	Cr _{total}	Cr _{soluble}
Na⁺	1						
K⁺	.265	1					
	.272						
Mg²⁺	.803	.216	1				
	.000	.376					
Ca²⁺	.149	.091	-.277	1			
	.543	.710	.252				
Li⁺	.633	.103	.837	-.388	1		
	.004	.675	.000	.100			
Cr_{total}	.286	.733	.488	-.095	.372	1	
	.235	.000	.034	.700	.117		
Cr_{soluble}	.317	.819	.542	-.239	.427	.765	1
	.186	.000	.017	.324	.068	.000	
Co_{total}	.586	.491	.849	-.246	.696	.798	.744
	.008	.033	.000	.311	.001	.000	.000
Co_{soluble}	.533	.474	.786	-.180	.607	.644	.752
	.019	.040	.000	.462	.006	.003	.000

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια)

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Li ⁺	Cr _{total}	Cr _{soluble}
Ni_{total}	.586	.434	.832	-.248	.723	.637	.677
	.008	.063	.000	.305	.000	.003	.001
Ni_{soluble}	.643	.498	.888	-.329	.757	.632	.770
	.003	.030	.000	.169	.000	.004	.000
Cu_{total}	.166	.708	.361	-.198	.429	.760	.650
	.498	.001	.129	.417	.067	.000	.003
Cu_{soluble}	.245	.634	.510	-.256	.597	.628	.755
	.312	.004	.026	.291	.007	.004	.000
Zn_{total}	.206	.543	.444	-.076	.528	.745	.576
	.399	.016	.057	.756	.020	.000	.010
Zn_{soluble}	.147	.584	.387	.035	.387	.632	.638
	.548	.009	.102	.888	.101	.004	.003
Mn_{total}	-.184	.104	-.222	.367	-.140	.218	-.086
	.450	.673	.361	.122	.568	.371	.726
Mn_{soluble}	-.184	-.239	-.233	.327	-.039	-.159	-.254
	.451	.324	.338	.172	.874	.516	.293
Cd_{total}	.145	.146	-.241	.594	-.215	-.046	-.122
	.553	.552	.320	.007	.378	.852	.619
Cd_{soluble}	.153	.432	.203	.003	.213	.394	.495
	.532	.065	.406	.991	.380	.095	.031
Pb_{total}	-.430	.100	-.538	.315	-.366	.028	-.267
	.066	.683	.017	.189	.123	.910	.269
TSS	-.075	.350	-.116	.319	-.146	.585	.061
	.761	.142	.637	.183	.550	.008	.805
TDS	.943	.226	.727	.380	.554	.280	.270
	.000	.352	.000	.109	.014	.245	.264
CND	.967	.190	.739	.337	.558	.239	.233
	.000	.436	.000	.159	.013	.325	.338
PH	.278	.435	.561	-.376	.206	.649	.616
	.250	.063	.012	.113	.398	.003	.005
Sp.CND	.946	.181	.739	.359	.566	.261	.232
	.000	.459	.000	.131	.011	.281	.340
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	.962	.196	.747	.348	.580	.254	.248
	.000	.422	.000	.144	.009	.294	.306

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια).

	Co_{total}	Co_{soluble}	Ni_{total}	Ni_{soluble}	Cu_{total}	Cu_{soluble}	Zn_{total}
Co_{total}	1						
Co_{soluble}	.937	1					
	.000						
Ni_{total}	.793	.695	1				
	.000	.001					
Ni_{soluble}	.865	.842	.846	1			
	.000	.000	.000				
Cu_{total}	.638	.578	.598	.627	1		
	.003	.010	.007	.004			
Cu_{soluble}	.681	.695	.638	.751	.865	1	
	.001	.001	.003	.000	.000		
Zn_{total}	.610	.496	.728	.590	.857	.776	1
	.006	.031	.000	.008	.000	.000	
Zn_{soluble}	.559	.535	.678	.562	.780	.830	.886
	.013	.018	.001	.012	.000	.000	.000
Mn_{total}	.109	.171	-.240	-.189	.283	.080	.193
	.656	.484	.323	.439	.240	.744	.429
Mn_{soluble}	-.043	.091	-.358	-.330	-.088	-.084	-.101
	.862	.710	.132	.168	.720	.731	.680
Cd_{total}	-.098	-.064	-.199	-.160	-.041	-.108	-.201
	.690	.793	.413	.513	.867	.660	.410
Cd_{soluble}	.516	.583	.227	.360	.381	.451	.211
	.024	.009	.351	.130	.108	.053	.386
Pb_{total}	-.344	-.370	-.211	-.377	.359	.037	.355
	.150	.119	.386	.112	.131	.881	.136
TSS	.179	.006	.088	-.028	.418	.049	.441
	.463	.979	.721	.908	.075	.843	.058
TDS	.559	.533	.522	.555	.119	.213	.221
	.013	.019	.022	.014	.628	.381	.362
CND	.544	.514	.504	.550	.079	.173	.162
	.016	.024	.028	.015	.748	.479	.508
PH	.668	.561	.635	.621	.355	.313	.302
	.002	.012	.004	.005	.136	.192	.209
Sp.CND	.560	.528	.523	.551	.111	.195	.217
	.013	.020	.022	.015	.651	.424	.372
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	.554	.531	.524	.565	.109	.206	.207
	.014	.019	.021	.012	.658	.397	.396

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια).

	Zn _{soluble}	Mn _{total}	Mn _{soluble}	Cd _{total}	Cd _{soluble}	Pb _{total}	TSS
Zn _{soluble}	1						
Mn _{total}	.100	1					
Mn _{soluble}	-.118	.825	1				
Cd _{total}	.629	.000		1			
Cd _{soluble}	-.130	.174	.205		1		
Pb _{total}	.595	.475	.399	.463		1	
TSS	.296	.194	.215	.046	-.175		1
TDS	.219	.426	.377	.120	.473		
CND	.286	.462	.167	.624	.057	.504	
PH	.235	.046	.495	.189	.818	.028	
Sp.CND	.242	.567	.134	.438	.213	-.350	-.018
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	.319	.011	.585	.265	.381	.142	.943
	.391	.931	.994	.273	.180	-.400	-.038
	.142	-.068	-.032	.259	.460	.090	.879
	.561	.782	.897	.284	.270	-.389	.210
	.325	-.307	-.551	-.195	.263	.100	.388
	.174	.202	.015	.424	.191	-.336	-.015
	.201	-.022	.003	.246	.433	.160	.952
	.410	.930	.989	.309	.168	-.369	-.028
	.181	-.040	-.007	.238	.493	.120	.910
	.459	.870	.978	.326			

Πίνακας Π6.1: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης για τις προσδιορισμένες χημικές και φυσικές παραμέτρους (συνέχεια).

	TDS	CND	PH	Sp.CND	ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ
TDS	1				
CND	.989	1			
PH	.000		1		
Sp.CND	.154	.181		1	
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	.530	.459			1
	.996	.992	.158		
	.000	.000	.518		
	.991	.996	.157	.992	
	.000	.000	.521	.000	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Π7.1: Θέσεις δειγματοληψίας S1 και S2

Πρόκειται για δύο θέσεις δειγματοληψίας εντός της εγκιβωτισμένης κοίτης που εκτείνεται από την λεωφόρο Περιφερειακής Υμηττού έως την λεωφόρο των Σπάτων. Από τις θέσεις αυτές και ανάντη το ρέμα γίνεται υπόγειο κάτω από τους δήμους του Γέρακα και της Παλλήνης μέχρι και τις νότιες παρυφές του Πεντελικού όρους. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα Π7.1 και Σχήμα Π7.2) παρουσιάζονται φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας.



Σχήμα Π7.1: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S1.



Σχήμα Π7.2: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S2.

Π7.2: Θέση δειγματοληψίας S3

Η θέση αυτή βρίσκεται νότια των Γλυκών νερών στην συμβολή των οδών Καραολή Δημητρίου (παράλληλη στο ρέμα) και Πλάτωνος (κάθετη στο ρέμα). Η κοίτη είναι φυσική τετραγωνική μέσα στις αλλούβιες αποθέσεις. Παρατηρήθηκαν κροκάλες 3-5cm από σχιστόλιθους και μάρμαρα. Κατά μήκος του κλάδου αυτού ήταν εμφανής η ανάπτυξη αλγών (φαινόμενα ευτροφισμού).



Σχήμα Π7.3: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S3.

Π7.3: Θέση δειγματοληψίας S4

Αυτή η θέση βρίσκεται κατάντη της κοινότητας Ανθούσας η οποία εντοπίζεται στους νότιους πρόποδες του Πεντελικού όρους στο ανατολικό άκρο του λεκανοπεδίου. Η κοίτη είναι φυσική καλύπτεται κυρίως από αλλούβια ενώ παρατηρήθηκαν και όγκοι μαρμάρων κατά τόπους.



Σχήμα Π7.4: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S4.

Π7.4: Θέση δειγματοληψίας S5

Η S5 είναι 300 μέτρα νότια της Περιφερειακής Υμηττού. Πρόκειται για φυσική τραπεζοειδής κοίτη και γύρω υπάρχει αγροτική δραστηριότητα κυρίως με την παρουσία αμπελώνων. Νεογενή και αλλούβια κυριαρχούν στην θέση αυτή.



Σχήμα Π7.5: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S5.

Π7.5: Θέση δειγματοληψίας S6

Κατάντη της S5 και 1 Km από το κτήμα Νασιουτζικ περίπου βρίσκεται η εν λόγω θέση. Η κοίτη είναι φυσική με επικράτηση αλλούβιων και νεογενών. Στην θέση αυτή το ρέμα γίνεται παράλληλο με την περιφερειακή Υμηττού.



Σχήμα Π7.6: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S6.

Π7.6: Θέση δειγματοληψίας S7

Γεωγραφικά η θέση αυτή τοποθετείται στην είσοδο της λεωφόρου Περιφερειακής Υμηττού ανατολικά της λεωφόρου Αγίου Δημητρίου. Η κύρια καλλιέργεια και εδώ είναι αμπέλια. Υπάρχει παρουσία από κροκάλες ευμεγέθεις ανθρακικού και σχιστολιθικού υλικού, ενώ αργιλοαμμώδες υλικό συναντάται στην κοίτη του ποταμού.



Σχήμα Π7.7: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S7.

Π7.7: Θέση δειγματοληψίας S8

Η θέση αυτή βρίσκεται 650 μέτρα ανάντη της θέσης S9. Εκατέρωθεν της κοίτης έχουν αναπτυχθεί καλάμιες ενώ και εδώ η κύρια καλλιέργεια είναι τα αμπέλια. Στην θέση αυτή υπάρχει πηγάδι για αρδευτική χρήση που τροφοδοτείται από το ρέμα.



Σχήμα Π7.8: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S8.

Π7.8: Θέση δειγματοληψίας S9

Η S9 είναι κατάντη του οικισμού Φοίνικα 3 Km βορειοανατολικά της πόλης των Σπάτων. Πρόκειται για διευθετημένη κοίτη με έντονα τα στοιχεία της διάβρωσης, γεγονός που σημαίνει ότι στην περίοδο των βροχοπτώσεων το ρέμα παρουσιάζει υψηλή μεταφορικότητα. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται και από την παρουσία κατάλληλης σήμανσης για πλημμυρικά φαινόμενα. Οι καλλιέργειες γύρω από την θέση αυτή είναι αμπέλια και ελαιώνες. Ως προς την λιθολογία αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι η επικράτηση κροκάλων 1-2cm ασβεστολιθικής και σχιστολιθικής σύστασης μαζί με την παρουσία άμμου και αργίλων.



Σχήμα Π7.9: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S9.



Σχήμα Π7.10: Παρουσία διάβρωσης της θέσης S9.

Π7.9: Θέση δειγματοληψίας S10

Κυρίως μάρμαρο και γενικότερα ανθρακικοί σχηματισμοί συνθέτουν την λιθολογία ενώ στο λεπτομερές υλικό αναγνωρίσθηκε σχιστόλιθος και δουνίτης.



Σχήμα Π7.11: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S10.

Π7.10: Θέση δειγματοληψίας S11

Η θέση αυτή απέχει 5 μέτρα ανατολικά της οδού Αρίωνος. Η παρουσία καλαμιών εντός της κοίτης ήταν έντονη με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η λήψη του δείγματος, ενώ ήταν αδύνατη η μέτρηση της παροχής λόγω της πολύ χαμηλής ταχύτητας και των εμποδίων από τις καλαμιές.

Π7.11: Θέση δειγματοληψίας S12

Πρόκειται για φυσική κοίτη με επικράτηση μαρμάρων και σχιστολίθων. Μαζί με την θέση S13 βρίσκεται ανάντη του οικισμού Ντράφι. Η βλάστηση είναι απύουσα σε σημαντικό βαθμό λόγω πυρκαγιάς.



Σχήμα Π7.12: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S12.

Π7.12: Θέση δειγματοληψίας S13

Μαζί με την θέση S12 είναι δύο θέσεις ανάντη του οικισμού Ντράφι. Στην περιοχή έχουν κατασκευαστεί μικρά φράγματα ανάσχεσης και η στασιμότητα αυτή ενισχύει το ευτροφικό φαινόμενο.





Σχήμα Π7.13: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S13.

Π7.13: Θέση δειγματοληψίας S14

Η θέση αυτή βρίσκεται ανάντη της θέσης S15 κατάντη του οικισμού Ντράφι. Από την δυτική πλευρά η πλαγιά παρουσιάζει μεγάλη κλίση ενώ από την ανατολική πλευρά η πρόσβαση είναι εύκολη με μικρές κλίσεις. Επικρατούν μάρμαρα και λίγες κροκάλες σχιστολίθων. Σημειώνεται ότι ο σχιστόλιθος στην θέση αυτή συμμετέχει σε μικρότερο ποσοστό σε σχέση με την θέση S15.



Σχήμα Π7.14: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S14.

Π7.14: Θέση δειγματοληψίας S15

Η θέση αυτή βρίσκεται κατάντη των οικισμών Διώνης και Δασαμάρι, 2,5 Km βόρεια του Πικερμίου. Πρόκειται για τραπεζοειδή κοίτη με απότομες πλαγιές ύψους μερικών μέτρων. Από λιθολογικής απόψεως επικρατούν κυρίως μάρμαρα , κροκάλες μαρμάρων (Πεντέλης) επίσης τεμάχια σχιστολίθων και χαλακτώδους χαλαζία (ο οποίος βρίσκεται μέσα στους σχιστολίθους υπο μορφή φακών –φλέβες).



Σχήμα Π7.15: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S15.

Π7.15: Θέση δειγματοληψίας S16

Η θέση αυτή βρίσκεται περίπου 30 μέτρα από την λεωφόρο Μαραθώνος. Η πρόσβαση είναι αρκετά δύσκολη. Στην θέση δειγματοληψίας η κοίτη είναι φυσική και συντίθεται από τα νεογενή Πικερμίου. Οι κροκάλες είναι μεγέθους 3-5 cm και επικρατεί κυρίως σχιστολιθικό και αργιλοψαμμιτικό υλικό. Σε μικρή απόσταση περίπου 40 μέτρων ανάντη της θέσης αυτής η κοίτη είναι διευθετημένη λόγω των έργων οδοποιίας.



Σχήμα Π7.16: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S16.

Π7.16: Θέση δειγματοληψίας S17

Είναι θέση 100 μέτρα νοτίως της λεωφόρου Μαραθώνος. Αμέσως κατάντη η κοίτη είναι διευθετημένη ενώ η θέση του δείγματος λήφθηκε αμέσως πριν την διευθέτηση. Κυριαρχεί το αργιλοαμμώδες υλικό από αλλουβιακές αποθέσεις και τα νεογενή με κατά τόπους μικρές κροκάλες ανθρακικών 5-7 cm. Επίσης εμφανίζεται σε μικρό ποσοστό σχιστόλιθικό υλικό.



Σχήμα Π7.17: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S17.

Π7.17: Θέση δειγματοληψίας S18

Βρίσκεται άναντη της θέσης S19 και 700 μέτρα ανατολικά της λεωφόρου Μαραθώνος. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύ ήπια δόμηση ενώ παρατηρήθηκε ευτροφισμός σε σημαντικό βαθμό με την παρουσία αλγών. Η λιθολογία της κοίτης χαρακτηρίζεται κυρίως από κροκάλες μαρμάρων, μικρό ποσοστό σχιστόλιθου, ενώ είναι πλούσια σε αργιλικά ορυκτά.



Σχήμα Π7.18: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S18.

Π7.18: Θέση δειγματοληψίας S19

Η θέση αυτή βρίσκεται 1 Km περίπου άναντη της θέσης S20. Είναι διευθετημένη μόνο απτό την βόρεια πλευρά. Λιθολογικά επικρατούν κροκάλες κυρίως μαρμάρου και λιγότερη η εμφάνιση σχιστολίθου, καθώς επίσης και ψαμμιτική άμμος χαλαζιακής σύστασης και μικρά τεμάχια υπερβασικών πετρωμάτων. Είναι αστική περιοχή χωρίς όμως την παρουσία έντονης ρύπανσης από στερεά απόβλητα ενώ η ρίψη μπαζών είναι εμφανής κατά τόπους.



Σχήμα Π7.19: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S19.

Π7.19: Θέση δειγματοληψίας S20

Πρόκειται για την εκβολή του ρέματος στον όρμο ραφήνας 100 μέτρα από αυτόν. Παρά το γεγονός ότι αναμενόταν επηρεασμός των χημικών παραμέτρων λόγω της εγγύτητας του προς την θάλασσα επιλέχθηκε να ληφθεί δείγμα επειδή το ρέμα διασχίζει την πόλη της Ραφήνας πριν εκβάλει στον όρμο, με κύριο σκοπό να μετρηθούν τα επίπεδα συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων.



Σχήμα Π7.20: Φωτογραφική τεκμηρίωση της θέσης S20.

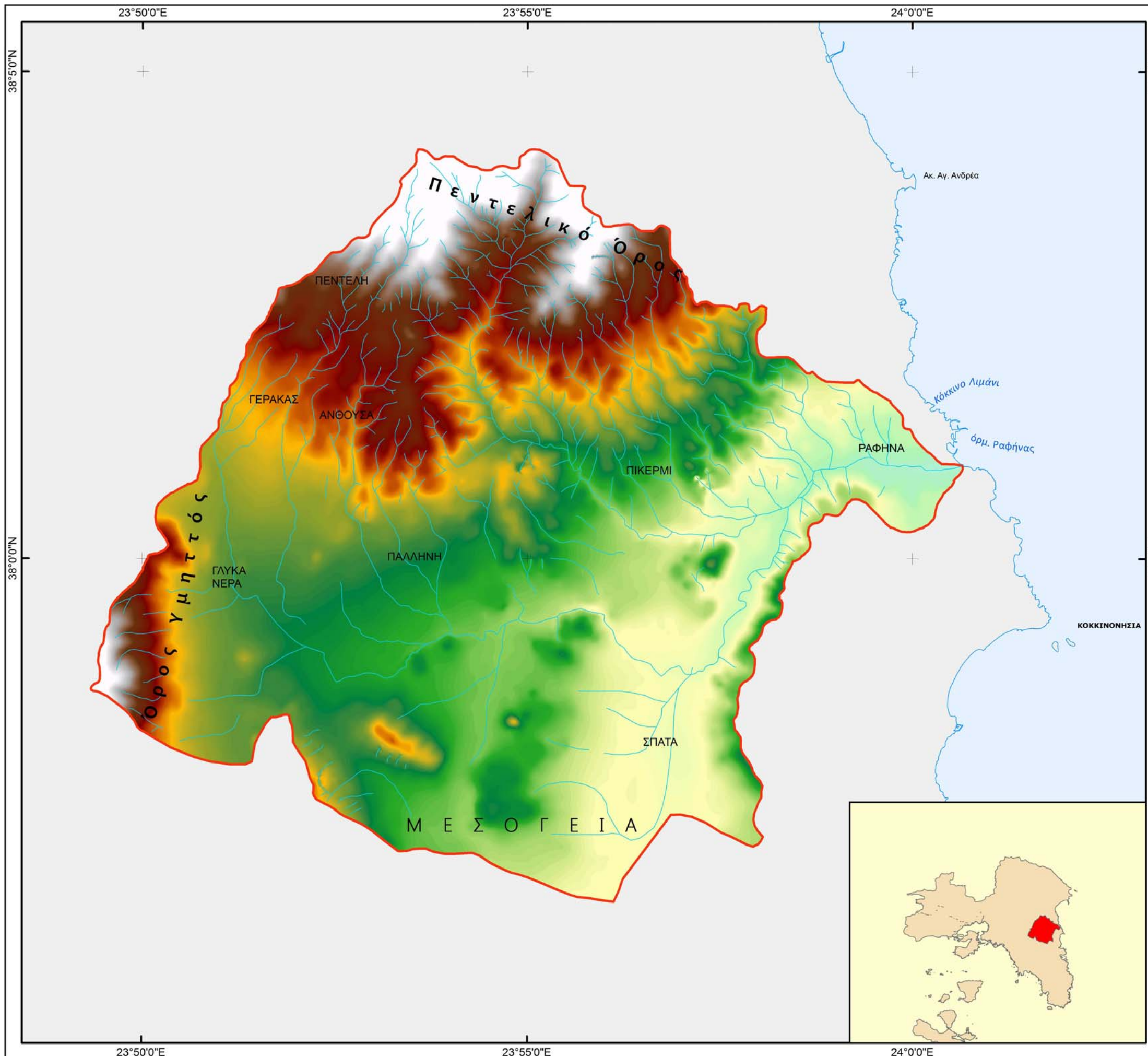
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: ΧΑΡΤΕΣ

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται οι εξής χάρτες:

- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους μορφής Grid
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους μορφής TIN
- Γεωλογικός χάρτης
- Χάρτης χρήσεων γης
- Χάρτης κλίσεων

Για τον γεωλογικό χάρτη η αναλυτική περιγραφή των συμβόλων των σχηματισμών παρουσιάζονται παρακάτω:

a: ανθρωπογενείς αποθέσεις, **al:** προσχωματικές αποθέσεις **H.cd:** σύγχρονοι παράκτιοι σχηματισμοί, **H.sc,cs:** πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων Τεταρτογενούς ηλικίας, **Ms.c,l,m:** αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί παρυφών Πεντέλης, **Ms.l.m:** λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί Κηφισού, **Ms.m,c:** λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας – Πικερμίου, **Ms.mk.tv:** μαργαικοί – τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι εντός των λιμναίων σχηματισμών Καλογρέζας - Πικερμίου, **Pt:** χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις Πλειστοκαινικής ηλικίας, **Pl-Pt:** ποταμοθαλάσσιοι σχηματισμοί Ανώτερου Πλειοκαίνου - Κατώτερου Πλειστοκαίνου, **Pt.sc,cs:** παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων Πλειστοκαινικής ηλικίας, **Qcs,sc:** κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (αδιαίρετο Τεταρτογενές), **Ksch:** ασβεστόλιθοι Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος, **sch:** σχιστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες (σχηματισμοί Βαρνάβα - Λίμνης Μαραθώνα - Αγίου Στεφάνου και Υμηττού), **mrsp:** κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, **K7.k:** ασβεστόλιθοι Κατώτερης Τεκτονικής ενότητας, **Ki.k:** ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, **Ki.sch:** σχιστόλιθοι Κατώτερης Τεκτονικής ενότητας, **O:** οφιόλιθοι, **m-f:** σχηματισμοί μεταφλύσχη, **mr:** ενστρώσεις μαρμάρου εντός του μεταφλύσχη, **Ki.mr:** μάρμαρα ΒΑ Αττικής (Ανώτερο Μάρμαρο), **J.sch3:** μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι εντός του Ανώτερου Μαρμάρου, **J.sch:** σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ Αττικής, **J.mr:** Ενστρώσεις μαρμάρων εντός των σχιστολίθων ΒΑ Αττικής, **Ti.mr:** μάρμαρα Πεντέλης (Κατώτερο Μάρμαρο), **Ts-Ji.d:** δολομίτες.

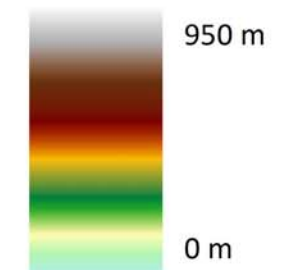


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Υδροκρίτης

— Ρέμα

Υψομετρία



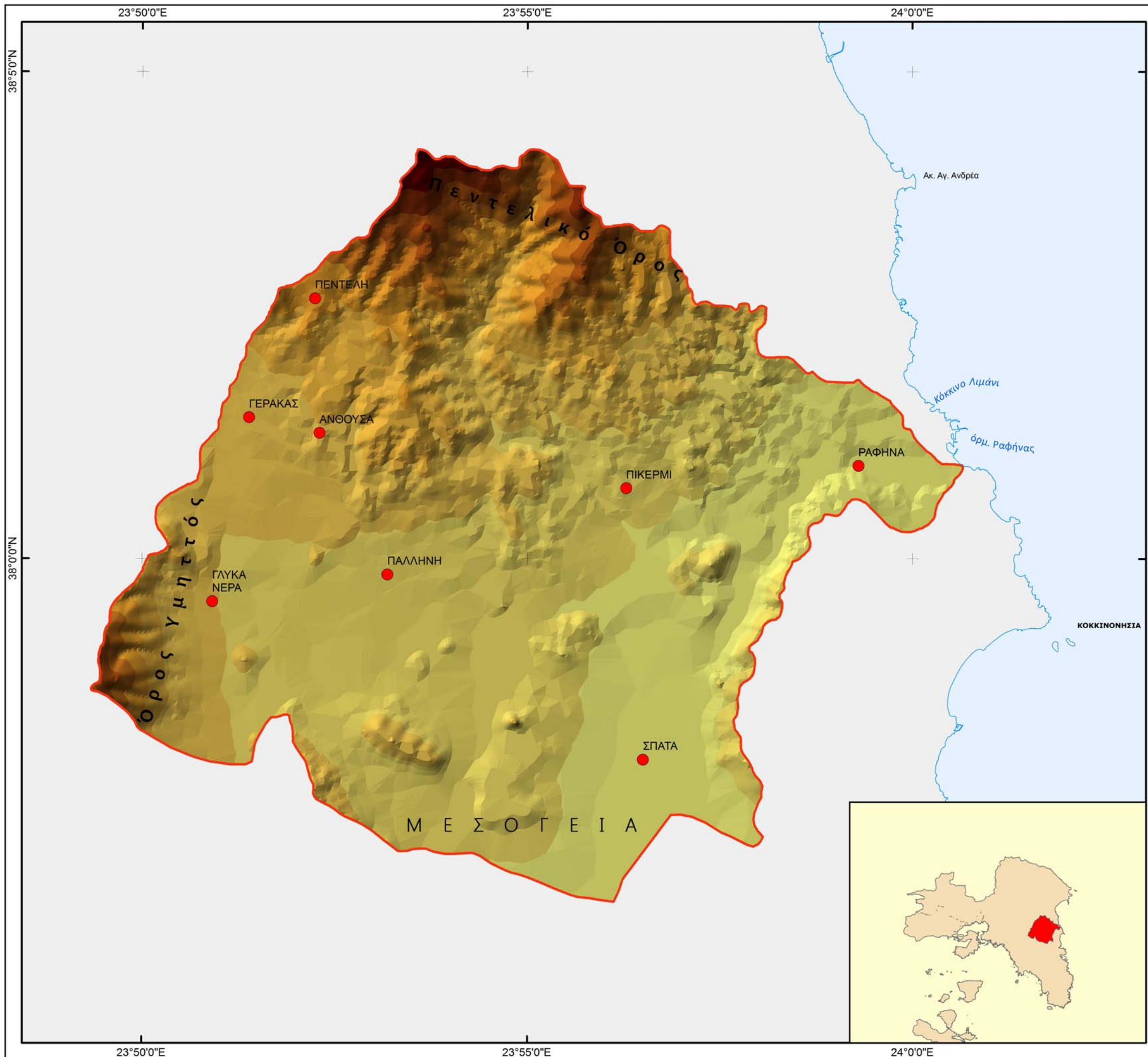
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΕΛΛΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	WGS 84
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΓΣΑ 87
ΚΛΙΜΑΚΑ	1:75.000
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΣ

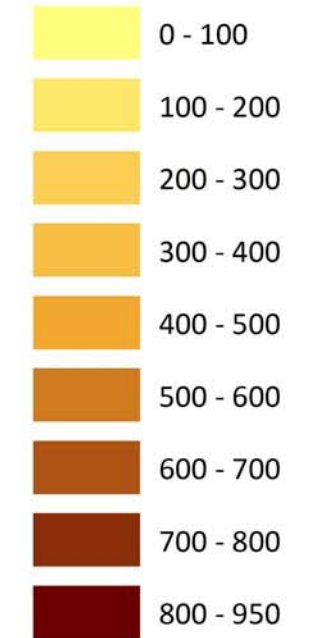
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

● ΠΟΛΗ

Υψόμετρα:



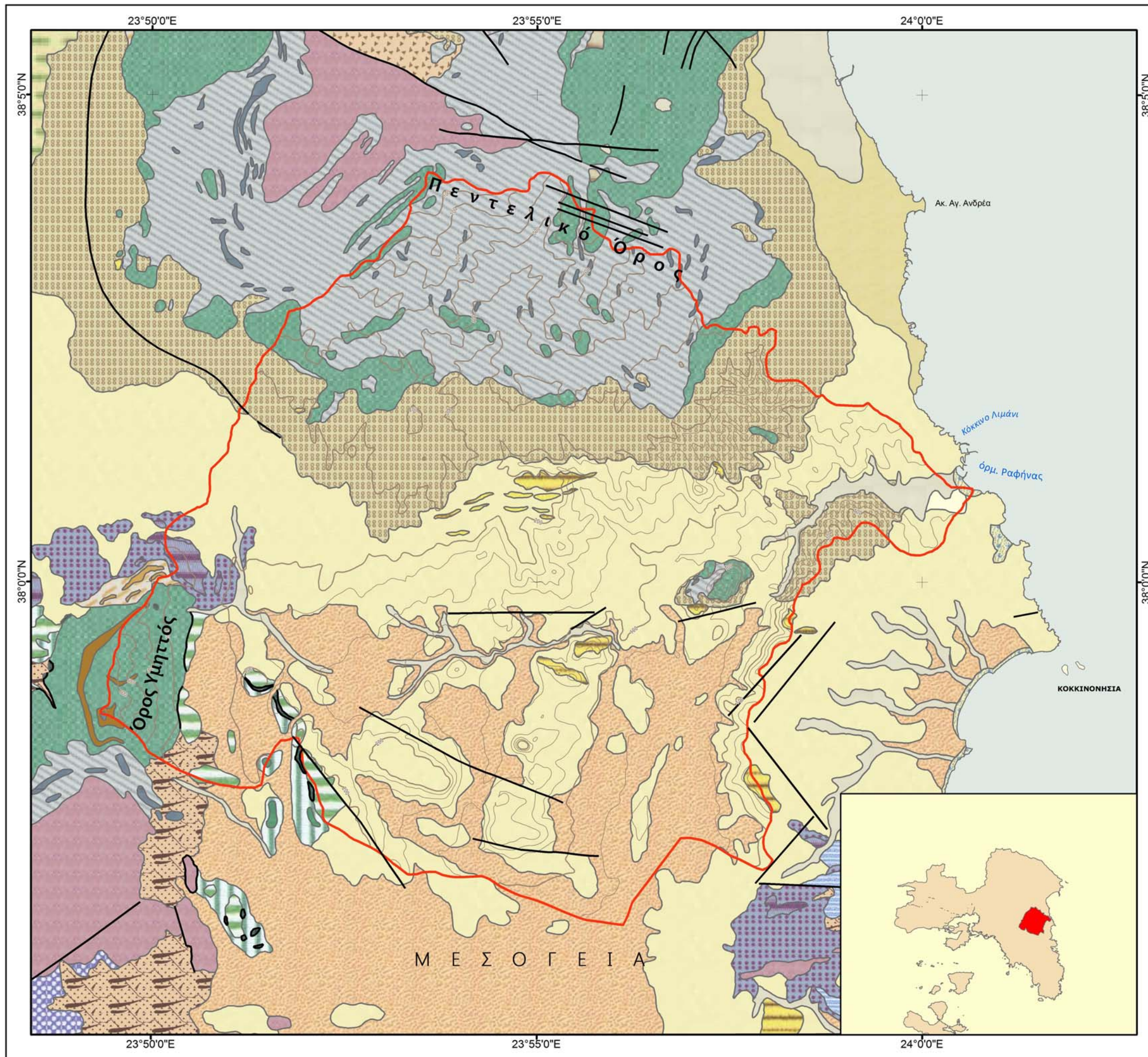
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΤΙΝ
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΕΛΛΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	WGS 84
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΓΣΑ 87
ΚΛΙΜΑΚΑ	1:75.000
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

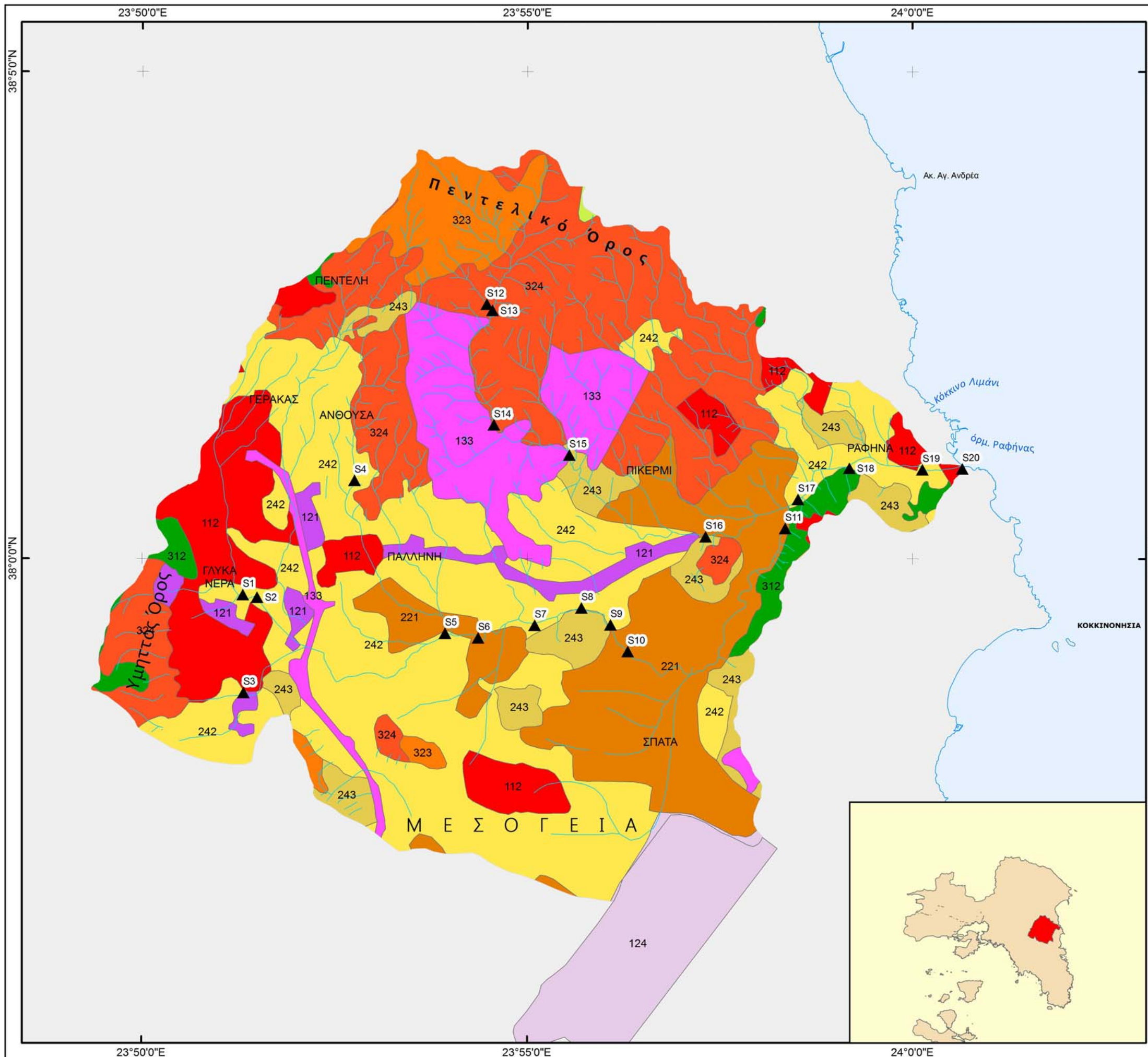
- Υδροκρίτης
- Τεκτονικό όριο
- Κύρια ισοψής
- Δευτερεύουσα ισοψής
- H.cd
- H.sc,cs
- J.mr
- J.sch
- J.sch3
- K7.k
- Ki.k
- Ki.mr
- Ki.sch
- Ms.c,l,m
- Ms.l,m
- Ms.m,c
- Ms.mk.tv
- O
- Pl-Pt
- Pt
- Pt.sc,cs
- Qcs,sc
- Ti.mr
- Ts-Ji.d
- a
- al
- k.sch
- ksch
- m-f
- mr
- mrsp
- sch



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ)
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	WGS 84
ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΕΓΣΑ 87
ΚΛΙΜΑΚΑ	1:75.000
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

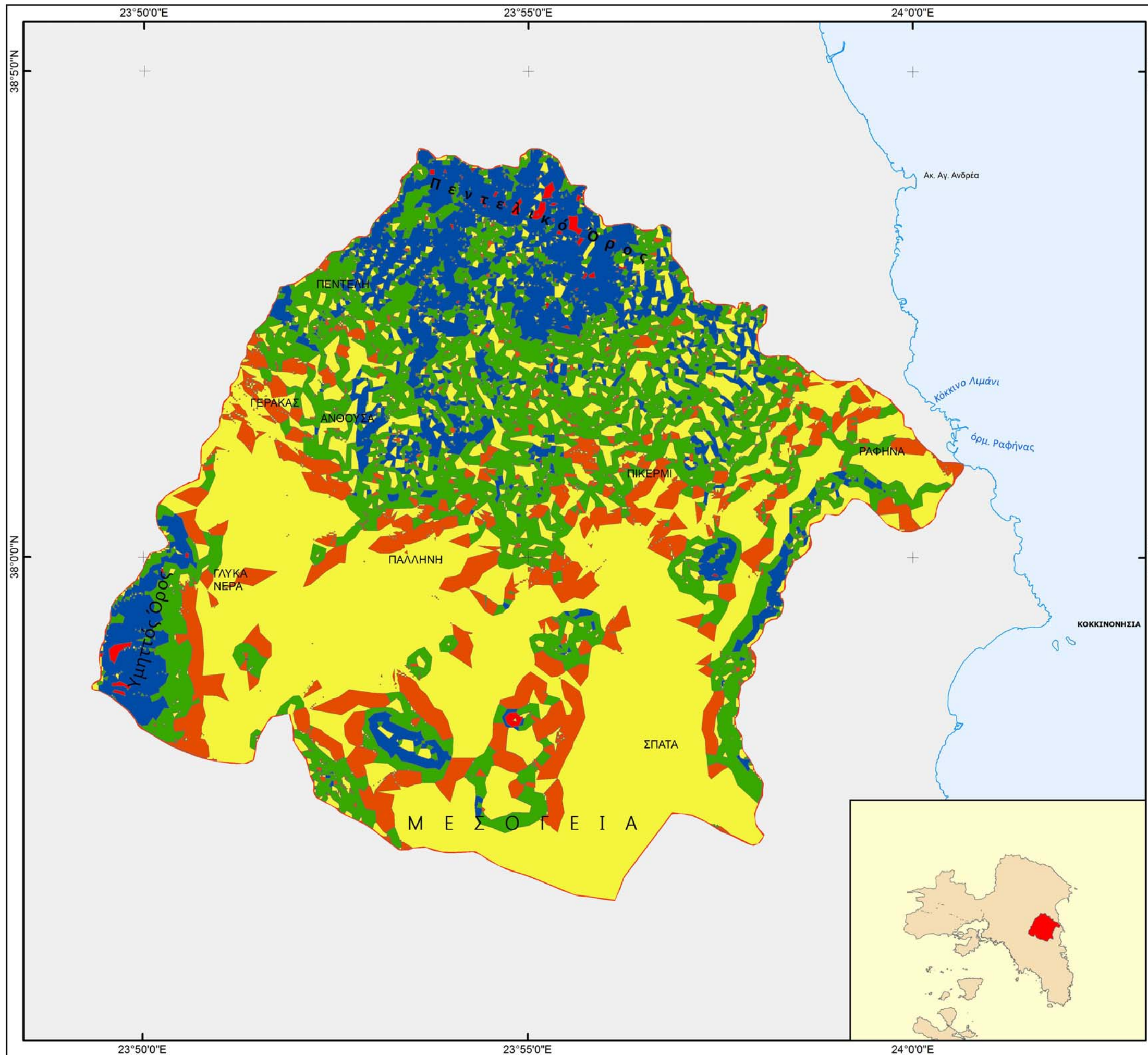
- 112 (Ασυνεχής αστικός ιστός)
- 121 (Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες)
- 124 (Αεροδρόμιο)
- 133 (Χώροι οικοδόμησης)
- 221 (Αμπελώνες)
- 242 (Σύνθετες καλλιέργειες)
- 243 (Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με τμήματα φυσικής βλάστησης)
- 312 (Δάσος κωνοφόρων)
- 321 (Φυσικοί βοσκότοποι)
- 323 (Σκληροφυλλική βλάστηση)
- 324 (Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	WGS 84
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΓΣΑ 87
ΚΛΙΜΑΚΑ	1:75.000
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΚΟΥΡΗΣ ΝΙΚΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Υδροκρίτης

ΚΛΙΣΕΙΣ:

- <5%
- 5%-10%
- 10%-25%
- 25%-50%
- >50%



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ	ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΝΟΜΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ
ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	WGS 84
ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΓΣΑ 87
ΚΛΙΜΑΚΑ	1:75.000
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ