ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Φυσική Αποκατάσταση ρυπαντών και Αξιολόγηση Χημικής Ποιότητας των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα»

Κατερίνα Βαλτά

Εξεταστική Επιτροπή:

Νικολαΐδης Νικόλαος (επιβλέπων)
Καλογεράκης Νικόλαος
Ψυλλάκη Ελευθερία

~ Χανιά, 2008 ~

Ευχαριστίες

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία ξεκίνησε το Μάρτιο του 2007, όπου έγινε και η ανάθεση του θέματος από τον Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη, και ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 2008. Για την ολοκλήρωσή της, πέραν της προσωπικής εργασίας, συνεισέφεραν πολλοί άνθρωποι τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη, για την ανάθεση του θέματος και την πολύτιμη και δημιουργική συνεργασία. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ευκαιρία που μου έδωσε να γνωρίσω έναν καινούργιο τομέα, για τις γνώσεις που μου προσέφερε και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ τους Καθηγητές της τριμελούς επιτροπής, τον Καθηγητή Νικόλαο Καλογεράκη και την Επίκουρη Καθηγήτρια Ελευθερία Ψυλλάκη.

Επίσης, ευχαριστώ τη Φωτεινή Σταμάτη, τον Δανιήλ Μωραΐτη, την Ουρανία Τζωράκη, την Ελπίδα Περουλάκη, την Κωνσταντίνα Τυροβολά, την Μαρία Ανδριανάκη, την Barbara Casentini και την Ειρήνη Βοζινάκη για την ουσιαστική βοήθειά τους, όπου αυτή χρειάστηκε.

Οφείλω επιπλέον να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες του προγράμματος EnviFriendly και ιδιαίτερα τους κ.κ. Βασίλη Παπαδουλάκη, Κωνσταντίνο Αννούση, Γιώργο Κατσιμαλή, Κώστα Τσακίρη και Θεόδωρο Κουσσουρή.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Κωνσταντίνο Λεώνη και Σταμάτη Φιλίππου και την κ. Ελένη Κιντώνη, από το Εργαστήριο Αναλύσεων Νερών, της Διεύθυνσης Αναλυτικών Εργαστηρίων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με εμπιστεύονται, με στηρίζουν και είναι δίπλα μου πάντα.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος ειδίκευσης με τίτλο «Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίησή της έγινε στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, τομέας Περιβαλλοντικής Υδραυλικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής στο πλαίσιο του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE – ENVIRONMENT – LIFE05NV/GR/000245 EE "Environmental Friendly Technologies for Rural Development" (EnviFriendly).

Κύριος στόχος της εν λόγω εργασίας είναι η παρουσίαση του πρώτου σταδίου εφαρμογής της τεχνολογίας της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης (ΕΦΑ) για την λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και η αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη συμφωνία με τη μεθοδολογία που επιβάλλει η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά.

Μέχρι σήμερα, η ΕΦΑ έχει χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφορέων μικρής κλίμακας, μερικών εκταρίων, όση είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία. Πρώτη φορά γίνεται προσπάθεια εφαρμογής της ΕΦΑ σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επίσης, η αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής βάσει υδατικών σωμάτων αποτελεί καινοτόμα δράση καθώς σε εθνικό επίπεδο δεν έχει γίνει κάτι συναφές.

Οι κύριες πιέσεις στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία, τα απόβλητα των ελαιουργείων και από κάποιες μεταποιητικές μονάδες γεωργικών προϊόντων. Για το λόγο αυτό, οι κύριοι ρύποι που αναμένεται να επιβαρύνουν την περιοχή είναι τα θρεπτικά (άζωτο και φώσφορος), η οργανική ύλη και οι φαινόλες. Για τους ρύπους αυτούς εφαρμόζεται η τεχνολογία της ΕΦΑ και γίνεται η αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των υδάτων.

Για την εξυπηρέτηση των στόχων της εργασίας πραγματοποιήθηκε συγκέντρωση στοιχείων από δευτερογενείς και από πρωτογενείς πηγές πληροφόρησης. Η συγκέντρωση των πρωτογενών πληροφοριών είναι το αποτέλεσμα των πέντε δειγματοληψιών στην περιοχή μελέτης, δύο εκ των οποίων έγιναν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Οι δειγματοληψίες περιλάμβαναν τη συλλογή δειγμάτων επιφανειακού και υπογείου νερού ενώ κατά την τελευταία λήφθησαν και δείγματα εδάφους.

Από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων και των δεδομένων από τις πέντε δειγματοληψίες, διαπιστώθηκαν οι αδιαμφισβήτητες ενδείξεις ύπαρξης φυσικών μηχανισμών και διεργασιών που οδηγούν στη συγκράτηση, αποδόμηση, μετατροπή ή καταστροφή των χημικών ενώσεων.

Από την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας διαπιστώθηκε ότι τα υπό-μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα χαρακτηρίζονται, σε ποσοστό 87% του συνολικού μήκος των εξετασθέντων επιφανειακών υδάτων, σε καλή χημική κατάσταση και ότι όλα τα εξετασθέντα υπογεία υδάτινα σώματα είναι σε καλή χημική κατάσταση.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις από την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της ΕΦΑ και την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των υδάτινων σωμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, φαίνεται ότι η επίτευξη του στόχου της καλής χημικής ποιότητας όλων των υδάτων της λεκάνης μέχρι το έτος 2015, όπως ορίζει η Οδηγία Πλαίσιο, είναι εφικτή.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή **1**

2. Περιεχόμενο – Μεθοδολογία Εκπόνησης **6**

3. Βασικές Έννοιες και Ορισμοί **9**

4. Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης **21**

4.1. Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή **21**

4.2. Γεωμορφολογικά και εδαφολογικά Στοιχεία **21**

4.2.1. Γεωμορφολογικά στοιχεία **21**

4.2.2. Εδαφολογικά στοιχεία **23**

4.2.3. Χρήσεις γης **26**

4.3. Γεωλογικά στοιχεία **28**

4.4. Υδρογεωλογικά στοιχεία **33**

4.4.1. Επιφανειακά υδρολογικά στοιχεία **34**

4.4.2. Υδροφορίες **37**

4.5. Κλιματολογικά στοιχεία **41**

4.6. Πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα **41**

4.6.1. Σημειακές Πιέσεις **41**

4.6.2. Μη σημειακές Πηγές Ρύπανσης **48**

5. Εφαρμογή ΕΦΑ – Μεθοδολογία και Αποτελέσματα **49**

5.1. Εισαγωγή **49**

5.2. Μεθοδολογία εφαρμογής ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα **54**

5.3. Πρώτο στάδιο εφαρμογής ΕΦΑ **57**

5.3.1. Αρχικές ενδείξεις ύπαρξης Φυσικής Αποκατάστασης **57**

5.3.2. Προσδιορισμός δικτύου δειγματοληψίας υδάτων **63**

5.3.3. Διεξαγωγή δειγματοληψιών, μετρήσεων και χημικών αναλύσεων **79**

5.3.4. Αποτελέσματα δειγματοληψιών **82**

5.3.4.1. Αποτελέσματα δειγματοληψιών επιφανειακού νερού **82**

5.3.4.2. Αποτελέσματα δειγματοληψιών υπόγειου νερού **94**

5.3.4.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων επιφανειακού και υπογείου νερού **99**

5.3.4.4. Αποτελέσματα δειγματοληψιών σημειακών πηγών ρύπανσης **103**

5.3. Δεύτερο Στάδιο: Προετοιμασία Εφαρμογής **110**

5.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου **114**

6. Εκτίμηση Χημικής Ποιότητας Υδάτινων Σωμάτων **116**

6.1. Εισαγωγή **116**

6.2. Μεθοδολογία **118**

6.3. Προσδιορισμός υδάτινων σωμάτων **119**

6.3.1. Επιφανειακά υδάτινα σώματα **119**

6.3.2. Υπόγεια υδάτινα σώματα **122**

6.4. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών τιμών καλής χημικής ποιότητας **125**

6.4.1. Καλή χημική ποιότητα επιφανειακών υδάτων **125**

6.4.2. Καλή χημική ποιότητα υπογείων υδάτων **130**

6.5. Προσδιορισμός της μεθοδολογίας αξιολόγησης **131**

6.6. Αποτελέσματα αξιολόγησης **135**

6.7. Συμπεράσματα κεφαλαίου **140**

7. Συμπεράσματα - Προτάσεις **141**

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Παράρτημα

1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί κοινωνικό αγαθό, αναντικατάστατο για την επιβίωση, την υγεία και την οικονομική ανάπτυξη με σημαντική πολιτιστική ή ακόμα και θρησκευτική αξία (Gleick H., 2000). Ωστόσο, οι κλιματικές αλλαγές, η ανεξέλεγκτη και αυθαίρετη άντληση των υδατικών πόρων, οι πολυάριθμες και αυξανόμενες πιέσεις που έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων και επιφανειακών υδάτων σε πολλές περιοχές της γης, αποτελούν σήμερα, μια σοβαρή και υπαρκτή απειλή.

Στο πλαίσιο αυτό, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την υποβάθμιση της ποιότητας των νερών και την πίεση που ασκείται στα υδατικά αποθέματα λόγω της συνεχούς αύξησης της ζήτησης για νερό καλής ποιότητας, εκδόθηκε η Οδηγία 2000/60/ΕΚ ή αλλιώς Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό (Water Framework Directive, WFD) «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων».

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ αποτέλεσε το επιστέγασμα των «Αρχών Νερού του Δουβλίνου» και των αρχών που διατυπώθηκαν στη διακήρυξη του Ρίο «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» το 1992. Η εν λόγω Οδηγία υιοθετεί μία καινοτόμο και ολοκληρωμένη προσέγγιση στο θέμα της διαχείρισης και προστασίας των υδάτων και των υγροτοπικών οικοσυστημάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στοχεύοντας στην αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και στην επίτευξη «καλής κατάστασης» εντός 15 ετών για όλα τα ύδατά της (πλην κάποιων εξαιρέσεων). Επίσης, αποβλέπει στην αειφορία του πόρου και στην εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού για τις διάφορες παραγωγικές χρήσεις.

Μέσα από ένα ιδιαιτέρως αυστηρό και απαιτητικό χρονοδιάγραμμα, τα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλούνται, στο πλαίσιο της Κοινής Στρατηγικής για την Εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ (Common Implementation Strategy – CIS) να υλοποιήσουν μία σειρά δράσεων προκειμένου να εξασφαλίσουν την καλή κατάσταση όλων των υδάτινων σωμάτων μέχρι το έτος 2015. Όσον αφορά στα επιφανειακά νερά «καλή κατάσταση» θεωρείται η «καλή οικολογική» και η «καλή χημική κατάσταση» ενώ όσον αφορά στα υπόγεια νερά «καλή κατάσταση» θεωρείται η «καλή ποσοτική» και η «καλή χημική κατάσταση».

Η Οδηγία-Πλαίσιο, μεταξύ άλλων:

- Στοχεύει στην προστασία και διαχείριση όλων των υδάτων: εσωτερικών επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπογείων.
- Θέτει φιλόδοξους στόχους για να εξασφαλιστεί ότι: όλα τα ύδατα θα ανταποκρίνονται στην «καλή κατάσταση» μέχρι το 2015.

- Δημιουργεί σύστημα διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού.
- Απαιτεί διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ χωρών και όλων των εμπλεκόμενων μερών (στην περίπτωση των διεθνών περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού).
- Εξασφαλίζει ενεργό συμμετοχή όλων των φορέων και των πολιτών, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών αρχών, στις δραστηριότητες της διαχείρισης των υδάτων.
- Εξασφαλίζει μείωση και έλεγχο της ρύπανσης από πιέσεις όπως η γεωργία, η βιομηχανική δραστηριότητα κ.λπ.
- Απαιτεί πολιτικές τιμολόγησης του νερού και επιβάλλει ότι ο «ρυπαίνων πληρώνει».
- Αποβλέπει στην απλοποίηση του νομοθετικού πλαισίου και τέλος,
- Εξισορροπεί τα «συμφέροντα» του περιβάλλοντος με τα συμφέροντα αυτών που εξαρτώνται από αυτό (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

Η Οδηγία καθιερώνει ως μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων, την ολοκληρωμένη διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού και παράκτιας ζώνης. Για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, καθορίζει μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν, εντός των καθορισμένων προθεσμιών, ώστε ο βασικός στόχος της Οδηγίας, που είναι η επίτευξη μιας «καλής κατάστασης», να επιτευχθεί μέχρι το 2015. Ωστόσο, για συγκεκριμένα υδατικά συστήματα, εφόσον πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, η Οδηγία προβλέπει παράταση της προθεσμίας αυτής ή/και επιδίωξη περιβαλλοντικών στόχων λιγότερο αυστηρών από αυτούς που απαιτούνται υπό κανονικές συνθήκες.

Η Οδηγία Πλαίσιο εναρμονίσθηκε στην ελληνική νομοθεσία το 2003 με τον Νόμο 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Νόμος 3199/2003, 2003), ενώ το 2007 για την ουσιαστικότερη εφαρμογή της και την πλήρη ενσωμάτωση των διατάξεων και των ρυθμίσεων των Παραρτημάτων της εκδόθηκε το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ» (Προεδρικό Διάταγμα 51/2007, 2007).

Βάσει των ανωτέρω κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη ολοκληρωμένων και βιώσιμων σχεδίων διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής καθώς και δράσεων αποκατάστασης. Μέχρι σήμερα, λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένων και βιώσιμων σχεδίων διαχείρισης, περιβαλλοντικές τεχνολογίες είχαν εφαρμοστεί μεμονωμένα και σποραδικά, μη λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις

σε μεγαλύτερη κλίμακα, και κυρίως σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Έτσι γίνεται εμφανές ότι υπάρχει άμεση ανάγκη να ενσωματωθεί ο σχεδιασμός τεχνολογιών απορρύπανσης και προστασίας περιβάλλοντος με τα σχέδια διαχείρισης υδάτων λεκάνης απορροής και παράκτιας ζώνης, καθόσον η επάρκεια του νερού και η ελαχιστοποίηση της ρύπανσης είναι κρίσιμοι παράγοντες για κάθε ποταμό και την αγροτική ανάπτυξη της κάθε περιοχής, σύμφωνα με τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2007).

Η απορρύπανση ή εξυγίανση (remediation) αποσκοπεί στην ανάληψη ενεργειών και δράσεων για την αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων που έχουν ρυπανθεί ή τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης σε άλλες περιοχές, μέσω της κίνησης του νερού (Βουδούρης Κ., 2006). Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας απορρύπανσης εξαρτάται από τη φύση, τη συγκέντρωση και ποσότητα του ρυπαντή, το είδος της πηγής ρύπανσης (σημειακή ή διάχυτη, συνεχής ή παροδική), το πάχος της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, το κόστος και τη διαθέσιμη τεχνολογία, καθώς και τη μελλοντική χρήση γης. Οι τεχνολογίες απορρύπανσης περιλαμβάνουν την απομάκρυνση των ρυπαντών ή την *in situ* επεξεργασία των ρύπων.

Κυριότερες τεχνολογίες απορρύπανσης των υπογείων υδροφορέων είναι: η τεχνική της άντλησης και επεξεργασίας (Pump and Treat Systems), η τεχνικής της εκχύλισης αερίων εδάφους (Soil Vapor Extraction), η τεχνική των υπογείων φραγμάτων (Reactive Walls), η τεχνική του αερισμού (Air Sparging), η βιολογική αποκατάσταση (Bio-Remediation), η φυτοεξυγίανση (Phytoremediation), η φυσική αποκατάσταση (Natural Attenuation) κ.ά. (Καλογεράκης Ν., 2006).

Όσον αφορά στην προστασία των επιφανειακών νερών ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος είναι η πρόληψη, η οποία υποστηρίζεται από μία σειρά Οδηγιών της ΕΕ, μέσω των οποίων επιδιώκεται η υγεία των πολιτών, η διατήρηση των υδατικών οικοσυστημάτων και η προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα. Η αποκατάσταση των συστημάτων επιφανειακού νερού στηρίζεται στον έλεγχο ή διακοπή της πηγής ρύπανσης. Γενικά είναι πιο εύκολη η αντιμετώπιση των σημειακών πηγών ρύπανσης από τις διάχυτες, καθώς είναι εντοπισμένες και πιο άμεσα αντιμετωπίσιμες. Έτσι επί παραδείγματι, η απομάκρυνση των θρεπτικών (άζωτο και φώσφορος) από επιφανειακά ύδατα μπορεί να γίνει με διακοπή των πηγών ρύπανσης ή με καθίζηση στον πυθμένα με τη χρήση ασβέστου ή αλάτων Al^{3+} ή Fe^{3+} αλλά και με μέτρα όπως η μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας λιπασμάτων, η συλλογή του επιστρεφόμενου αρδευτικού νερού και επεξεργασία του πριν τη διάθεση στα ρέματα κ.ά. (Καββαδάς Μ., 2005). Επίσης, η φυσική αποκατάσταση, στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα, μπορεί να εφαρμοσθεί ως μέθοδος αποκατάστασης επιφανειακών υδάτων, αν και εξ ορισμού αφορά τα υπόγεια ύδατα.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S.-Environmental Protection Agency) ο όρος Φυσική Αποκατάσταση (Natural Attenuation) αναφέρεται σε φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα εδάφη και στα υπόγεια ύδατα, οι οποίες δρουν χωρίς ανθρώπινη επέμβαση και έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας, της τοξικότητας, της κινητικότητας, του όγκου ή της συγκέντρωσης συγκεκριμένων ρύπων σε αυτά τα μέσα. Αυτές οι *in situ* διεργασίες περιλαμβάνουν τη βιοαποδόμηση, τη διασπορά, τη διάλυση, την προσρόφηση, τη μετατροπή σε πτητικά, και την χημική ή βιολογική σταθεροποίηση ή καταστροφή των ρύπων. Η ύπαρξη των φυσικών αυτών μηχανισμών θεωρείται ως ένας τρόπος αποκατάστασης ρυπασμένων περιοχών. Έτσι, στην περίπτωση που οι διεργασίες χρησιμοποιούνται ως τεχνολογία αποκατάστασης σε μια αυστηρά ελεγχόμενη και υπό παρακολούθηση περιοχή, η US-EPA προτείνει τη χρήση του όρου Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση, ΕΦΑ (Monitored Natural Attenuation, MNA). Με την εφαρμογή της ΕΦΑ θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία της φυσικής αποκατάστασης ούτως ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι αποκατάστασης για την περιοχή εντός ενός λογικού χρονικού πλαισίου συγκρινόμενο με περισσότερο δραστικές μεθόδους (US-EPA, 1999).

Στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής εργασίας μελετάται η εφαρμογή της ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, Ν. Λακωνίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου εφαρμογής της εν λόγω τεχνολογίας σε επίπεδο λεκάνης απορροής και παρουσιάζεται η συνολική προτεινόμενη μεθοδολογία, προκειμένου να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου και να διαμορφωθεί μεθοδολογία εφαρμογής της ΕΦΑ σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επίσης, πραγματοποιείται εκτίμηση της χημικής κατάστασης των υδάτων της λεκάνης (υπογείων και επιφανειακών) βάσει της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ σε επίπεδο υδάτινων σωμάτων. Λόγω των δραστηριοτήτων της περιοχής οι κύριοι ρύποι που αναμένεται να την επιβαρύνουν είναι τα θρεπτικά (άζωτο και φώσφορος), η οργανική ύλη και οι φαινόλες. Για τους ρύπους αυτούς γίνεται η εφαρμογή της ΕΦΑ και η αξιολόγηση της χημικής ποιότητας.

Μέχρι σήμερα, η ΕΦΑ έχει χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφορέων μικρής κλίμακας, μερικών εκταρίων, όση είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία και για ρύπους όπως χλωριωμένοι οργανικοί διαλύτες, πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες και βαρέα μέταλλα. Πρώτη φορά γίνεται προσπάθεια εφαρμογής της ΕΦΑ σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επίσης, η αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής βάσει υδατικών σωμάτων αποτελεί καινοτόμα δράση καθώς σε εθνικό επίπεδο δεν έχει γίνει κάτι συναφές.

Η εφαρμογή της ΕΦΑ, αποτελεί μια από τις, φιλικές προς το περιβάλλον, τεχνολογίες που θα εφαρμοσθούν στην περιοχή ούτως ώστε να αξιολογηθεί ως τεχνολογία αποκατάστασης που θα μπορεί να ενσωματωθεί στην ανάπτυξη διαχειριστικού σχεδίου των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα και παράκτιας ζώνης της περιοχής.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στον πλαίσιο του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE – ENVIRONMENT –LIFE05NV/GR/000245EE 'Environmental Friendly Technologies for Rural Development' (EnviFriendly).

2. Περιεχόμενο – Μεθοδολογία Εκπόνησης

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος ειδίκευσης με τίτλο «Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίησή της έγινε στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, τομέας Περιβαλλοντικής Υδραυλικής και Γεωπεριβαλ-λοντικής Μηχανικής στο πλαίσιο του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE – ENVIRONMENT – LIFE05NV/GR/000245 EE "Environmental Friendly Technologies for Rural Development" (EnviFriendly).

Κύριος στόχος της εν λόγω εργασίας είναι η παρουσίαση του πρώτου σταδίου εφαρμογής της τεχνολογίας της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης (ΕΦΑ) για την λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα ενώ παράλληλα, πραγματοποιείται αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη συμφωνία με τη μεθοδολογία που επιβάλλει η Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά.

Η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφόρων μικρής κλίμακας, σε έκταση μερικών εκταρίων, όση δηλαδή είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία. Πρώτη φορά γίνεται προσπάθεια εφαρμογής της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επίσης, η αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής βάσει υδατικών σωμάτων, όπως ορίζει η Οδηγία Πλαίσιο, αποτελεί καινοτόμα δράση καθώς σε εθνικό επίπεδο δεν έχει γίνει κάτι συναφές.

Για την εξυπηρέτηση των στόχων της εργασίας πραγματοποιήθηκε, πέραν των άλλων, συγκέντρωση στοιχείων από δευτερογενείς και από πρωτογενείς πηγές πληροφόρησης. Συγκεκριμένα, για τη συλλογή των δευτερογενών πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική αναζήτηση η οποία περιλαμβάνει επιστημονικές εργασίες, μελέτες, βιβλία, πληροφορίες από το διαδίκτυο και στοιχεία από την Υπηρεσία Εγγύων Βελτιώσεων του Νομού Λακωνίας. Το πλήθος των καταγραμμένων αναφορών είναι συνολικά 59. Η συγκέντρωση των πρωτογενών πληροφοριών ήταν το αποτέλεσμα των πέντε δειγματοληψιών στην περιοχή μελέτης, δύο εκ των οποίων έγιναν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Οι δειγματοληψίες περιλάμβαναν τη συλλογή δειγμάτων επιφανειακού και υπογείου νερού ενώ κατά την τελευταία λήφθησαν και δείγματα εδάφους. Εκτιμάται ότι συνολικά έχουν αναλυθεί 160 δείγματα νερού (90 στο πλαίσιο της παρούσας), ως προς τη συγκέντρωση σε νιτρικό άζωτο $N0_3$-N, νιτρώδες άζωτο NO_2-N, νιτρική αμμωνία NH_3-N, φωσφορικό φώσφορο PO_4-P, ολικές φαινόλες (Total phenols) και χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD ενώ για όλα τα δείγματα πραγματοποήθηκε επί τόπου μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα των θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική

αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό. Κατά την τελευταία δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ολικού οργανικού άνθρακα TOC, επιλεγμένων μετάλλων Cr, Mn, Cu, Zn, As, Pb, και Cd, καθώς και του οργανικού αζώτου Kjeldahl (TKN).

Οι μετρήσεις:

- των θρεπτικών και του COD έγιναν με χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000 στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- των ολικών φαινολών έγιναν με χρήση του φασματοφωτομέτρου UV-Vis UNICAM, model Helios Delta στο Εργαστήριο Βιοχημικής Μηχανικής και Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας, του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- του αζώτου Kjeldahl έγιναν με χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000 αφού είχε προηγηθεί χώνευση με χρήση της συσκευής Hach - Digesdahl Digestion Apparatus, στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- των μετάλλων της πέμπτης δειγματοληψίας έγιναν με χρήση του φασματοφωτομέτρου μάζας με επαγωγική σύζευξη πλάσματος ICP-MS, model PE SCIEX ELAN 6100, στο Εργαστήριο Αναλύσεων Νερών, της διεύθυνσης αναλυτικών εργαστηρίων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
- του ολικού οργανικού άνθρακα των δειγμάτων της πέμπτης δειγματοληψίας έγιναν με χρήση TOC-VCSH, Total Organic Carbon analyzer Shimadzu, στο Εργαστήριο Αναλύσεων Νερών, της διεύθυνσης αναλυτικών εργαστηρίων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).

Κατόπιν των ανωτέρω, η παρούσα εργασία έχει την εξής δομή:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ και τους στόχους που αυτή θέτει καθώς και στην τεχνολογία της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης. Επίσης παρουσιάζεται ο σκοπός και η καινοτομία της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2, το παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος προσέγγισης του θέματος, ο τρόπος συλλογής και αντιμετώπισης των πηγών πληροφόρησης και η τελική δομή της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 3 δίνονται πληροφορίες σχετικά με έννοιες και ορισμούς που χρησιμοποιούνται συχνά στο κείμενο και οι οποίες είναι απαραίτητες για την πληρέστερη κατανόηση αυτού.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται εκτενής περιγραφή της περιοχής μελέτης, δηλαδή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα. Δίνονται στοιχεία για τη μορφολογία, την υδρολογία, την υδρογεωλογία, το κλίμα και τις περιβαλλοντικές πιέσεις στην περιοχή.

Στο Κεφάλαιο 5 αρχικά παρουσιάζεται σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση στις μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση και για τους ρύπους που έχει εφαρμοσθεί. Επίσης, δίνεται η περιγραφή της μεθοδολογίας εφαρμογής της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα και η οποία εστιάζεται στη μεθοδολογία εφαρμογής του πρώτου σταδίου. Συγκεκριμένα το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει:

Α) Ανάλυση δεδομένων από τη βιβλιογραφία – ιστορικών δεδομένων.

Β) Ανάλυση δεδομένων πέντε δειγματοληψιών επιφανειακού και υπογείου νερού. Η ανάλυση ήταν το αποτέλεσμα των εξής εργασιών:

Β1) Δημιουργία δικτύου δειγματοληψίας.
Β2) Οργάνωση και διεξαγωγή δειγματοληψιών.
Β3) Διεξαγωγή χημικών αναλύσεων στο εργαστήριο.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα παραπάνω και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πέντε δειγματοληψιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Στο Κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται η εκτίμηση της χημικής ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων με προσέγγιση ανά υδατικό σώμα, σε συμφωνία με την Οδηγία Πλαίσιο. Αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και κάποιες προτάσεις όσον αφορά στην εκτίμηση της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης ως τεχνολογία αποκατάστασης σε συνδυασμό με την χημική ποιότητα των υδάτων της λεκάνης απορροής του Ευρώτα.

3. Βασικές Έννοιες και Ορισμοί

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ορισμοί και αναλύονται έννοιες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Στόχος του κεφαλαίου είναι η συγκέντρωση βασικής και κρίσιμης πληροφορίας που εντάσσεται σε διαφορετικά θεματικά πεδία και η οποία θεωρείται ότι συνεισφέρει στην πληρέστερη παρουσίαση του θέματος. Ακολουθεί η παρουσίαση των εννοιών και ορισμών με αλφαβητική σειρά.

«Άζωτο» (Nitrogen, N). Το άζωτο είναι δυνατόν να υπάρξει σε επτά βαθμίδες οξείδωσης, από +5 έως -3. Στα ύδατα και στα απόβλητα, απαντάται ως οργανικό άζωτο και υπό τη μορφή ανόργανων ενώσεων όπως αμμωνία (NH_3), νιτρικά (NO_3^-) και νιτρώδη ιόντα (NO_2^-).

Φυσικές πηγές αζώτου μπορεί να αποτελέσουν η αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών καθώς και τα περιττώματα των ζώων. Μετά το θάνατο των ζώντων οργανισμών, το άζωτο απελευθερώνεται με τη μορφή διαλυτών, κολλοειδών και αδιάλυτων αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Το άζωτο των οργανικών ενώσεων μετατρέπεται βιολογικά από βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες σε αμμωνία ή το προϊόν ιονισμού της αμμώνιο (NH_4^+). Η διεργασία αυτή καλείται αμμωνιοποίηση (ammonification). Στη συνέχεια μπορεί να λάβει χώρα η διεργασία της νιτροποίησης (nitrification), η οποία περιλαμβάνει τη μικροβιακή οξείδωση του αμμωνίου σε νιτρώδη ιόντα από τα αυτότροφα βακτήρια νιτροσομόνας (Nitrosomonas) και έπειτα σε νιτρικά από το νιτροβακτήρια (Nitrobacter). Οι δύο παραπάνω διεργασίες, της αμμωνιοποίησης και της νιτροποίησης, είναι τα δύο στάδια της διεργασίας της ανοργανοποίησης (mineralization) του οργανικού αζώτου.

Αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικού αζώτου στο νερό αποτελούν ένδειξη ότι το νερό έχει ρυπανθεί. Εργαστηριακά, το οργανικό άζωτο και η αμμωνία μπορούν να προσδιοριστούν από κοινού και αναφέρονται ως άζωτο Kjeldahl, από τη μέθοδο προσδιορισμού τους. Η συγκέντρωση του οργανικού αζώτου κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μικρογραμμάρια στο λίτρο (μg/L) στα φυσικά νερά έως και μερικές εκατοντάδες μιλιγραμμάρια στο λίτρο (mg/L) στα ανεπεξέργαστα απόβλητα (Ζανάκη Κ., 1996).

Η κύρια πηγή αζώτου ανθρωπογενούς προέλευσης συνδέεται με τη γεωργική δραστηριότητα και είναι η χρήση λιπασμάτων που περιέχουν ανόργανο άζωτο. Άλλες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης αποτελούν τα αστικά και βιομηχανικά λύματα καθώς και η ταφή των στερεών αποβλήτων.

Αυξημένες συγκεντρώσεις αμμωνίου, νιτρικών και νιτρωδών ιόντων σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα αποτελούν ενδείξεις ρύπανσης. Για το λόγο αυτό η μέτρηση και παρακολούθηση της συγκέντρωσής τους είναι απαραίτητη προκειμένου να διασφαλίζεται καλή ποιότητα υδάτων. Ανάλογα με τη χρήση για

την οποία προορίζεται το νερό η ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία ορίζει συγκεκριμένες τιμές για τις συγκεντρώσεις των παραπάνω ενώσεων.

Η παρουσία της αμμωνίας στα νερά οφείλεται κυρίως στην υδρόλυση της ουρίας και στην αποδόμηση οργανικών αζωτούχων ενώσεων. Η συγκέντρωση της αμμωνίας στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι της τάξης των μg/L ενώ μπορεί να φτάσει και τα 30 mg/L σε ορισμένα απόβλητα. Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για τη διαβίωση των ιχθύων η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση σε NH_3-N στα επιφανειακά ύδατα για νερά σαλμονιδίων και κυπρινιδίων είναι 0,776mg/L ενώ σύμφωνα με τη Οδηγία 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό είναι 0,388mg/L (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, 1978; Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998).

Τα νιτρικά ιόντα αντιστοιχούν στην ανώτατη οξειδωτική κατάσταση του αζώτου. Είναι θερμοδυναμικά σταθερά και οι μεταβολές της συγκέντρωσής τους στα νερά οφείλεται σε διάφορες δράσεις κυρίως βιολογικές. Η παρουσία τους στα φυσικά νερά οφείλεται κυρίως στη διεργασία της νιτροποίησης. Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση σε NO_3-N είναι 11,3mg/L (Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998).

Τα νιτρώδη αντιστοιχούν σε μία ενδιάμεση κλίμακα σθένους του αζώτου και είναι ασταθή ενδιάμεσα προϊόντα που παράγονται κατά την οξείδωση της αμμωνίας προς νιτρικά και την αναγωγή των νιτρικών προς αμμωνία. Τα νιτρώδη σπανίως απαντώνται σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν το 1 mg/L NO_2-N στα λύματα και τα 0,1 mg/L στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (Ζανάκη Κ., 1996). Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για τη διαβίωση των σαλμονιδίων σε επιφανειακά ύδατα η προτεινόμενη συγκέντρωση σε NO_2-N είναι 0,003mg/L και των κυπρινιδίων 0,009mg/L (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, 1978). Ακόμη, σύμφωνα με τη Οδηγία 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι 0,152mg/L (Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998).

Τέλος, σημειώνεται ότι σύμφωνα με την Οδηγία 76/160/ΕΟΚ σχετικά με την ποιότητα των υδάτων κολύμβησης και την Οδηγία 91/676 περί προστασίας των υδάτων από ρύπανση με νιτρικά από γεωργικές πηγές, θα πρέπει να ελέγχονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και της αμμωνίας προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο ευτροφισμού.

«Διαλυμένο Οξυγόνο» (Dissolved Oxygen, DO). Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό προέρχεται κυρίως από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, το οποίο διαλύεται στην επιφανειακή στοιβάδα μέχρι σημείου κορεσμού. Η μεταφορά του οξυγόνου σε όλη τη μάζα του νερού επιτυγχάνεται κυρίως με τη φυσική ανάδευση του νερού αλλά και τη διάχυση. Ορισμένες φορές στα επιφανειακά νερά εμφανίζονται υψηλότερες τιμές διαλυμένου οξυγόνου από τις τιμές κορεσμού. Ο υπερκορεσμός αυτός οφείλεται στο φαινόμενο της φωτοσύνθεσης, στη διάρκεια της οποίας παράγεται στοιχειακό οξυγόνο. Κατά τη φωτοσύνθεση τα φυτά που

περιέχουν χλωροφύλλη χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα σε υδατάνθρακες απελευθερώνοντας οξυγόνο. Αποτέλεσμα αυτού είναι το νερό να λαμβάνει 100% στοιχειακό οξυγόνο σε αντίθεση με αυτό που λαμβάνει από την ατμόσφαιρα, η οποία περιέχει περίπου 21% κ.ο. οξυγόνο. Έτσι, σε παραγωγικά επιφανειακά ύδατα μπορεί να παρατηρηθούν τιμές υπερκορεσμού και συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου 150-200% της συγκέντρωσης κορεσμού (Cox B., 2003).

Η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί κρίσιμη παράμετρο ποιότητας των υδάτων καθώς είναι απαραίτητο για τη διατήρηση τόσο της υδρόβιας ζωής όσο και της αισθητικής ποιότητας των υδάτων. Στις περιπτώσεις χαμηλών τιμών διαλυμένου οξυγόνου κρίνεται σκόπιμος ο έλεγχος των ουσιών που δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου και συγκεκριμένα ο έλεγχος (α) του οργανικού φορτίου καθώς μέσω της βιολογικής του διάσπασης αυξάνεται η κατανάλωση του οξυγόνου και (β) των θρεπτικών (άζωτο και κυρίως φώσφορος) διότι η παρουσία τους είναι κρίσιμη στη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών που αυξάνουν υπέρμετρα τη βιολογική δραστηριότητα και οδηγούν σε ανοξικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της θερινής στρωμάτωσης.

Χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο των οργανισμών που ζουν στο νερό καθώς και σημαντική υποβάθμιση των υδάτων. Πολλά είδη ψαριών απαιτούν συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου πάνω από 4mg/L, ενώ και για τα πλέον ανθεκτικά είδη το κατώτερο όριο είναι 2mg/L (Οικονομόπουλος Α., 2001).

«Έδαφος» (Soil) είναι το από χαλαρά υλικά ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης, το οποίο προήλθε από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και την περαιτέρω διαφοροποίηση, στην ίδια ή σε άλλη θέση, του χαλαρού υλικού που προέκυψε από αυτή. Η αποσάθρωση και η διαφοροποίηση είναι το αποτέλεσμα μακροχρόνιων ατμοσφαιρικών και βιολογικών επιδράσεων, η σχετική σπουδαιότητα των οποίων επηρεάζεται σημαντικά από τη μορφή του τοπογραφικού ανάγλυφου και τη φύση του μητρικού πετρώματος. Η διαφοροποίηση αυτή, αποτέλεσμα φυσικοχημικών και βιολογικών μετατροπών (εδαφογενετικές διεργασίες), είχε συχνά ως εμφανές αποτέλεσμα την εμφάνιση σε μια κατακόρυφη τομή, διακριτών «ζωνών». Οι ζώνες αυτές είναι περίπου παράλληλες μεταξύ τους και προς την επιφάνεια του εδάφους και ονομάζονται γενετικοί ορίζοντες. Η εικόνα που συνθέτει το σύνολο των ζωνών στην κατακόρυφη τομή ονομάζεται προφίλ του εδάφους. Το εδαφικό προφίλ μαζί με τα διάφορα φυσικά γνωρίσματα της επιφάνειας τα οποία συνιστούν το τοπίο, αντικατοπτρίζει τον τρόπο σχηματισμού ή τη γενετική ιστορία του εδάφους. Η ιστορία αυτή καθορίζει τις διάφορες ιδιότητες ενός «παρθένου» εδάφους, δηλαδή ενός εδάφους το οποίο δεν έχει δεχθεί, άμεσα ή έμμεσα, ανθρωπογενείς δραστικές επεμβάσεις. Όταν, όμως, ο άνθρωπος χρησιμοποιεί το έδαφος για τη

γεωργία, δασοπονία ή βοσκή, οι ιδιότητες του εδάφους αρχίζουν να τροποποιούνται αναλόγως προς το είδος, την ένταση και τη διάρκεια της χρησιμοποίησης αυτής. Έτσι, οι ιδιότητες οποιουδήποτε εδάφους, πλην των παρθένων, καθορίζονται από τη γενετική τους ιστορία και από τον τρόπο χρησιμοποίησής τους από τον άνθρωπο, που είναι και αυτή ένα μέρος της γενετικής του ιστορίας.

Ένας ορισμένος όγκος οποιουδήποτε εδάφους καταλαμβάνεται πάντοτε από στερεά συστατικά – ανόργανα και οργανικά – και από χώρους οι οποίοι περιέχουν τα αέρια τα οποία αποτελούν την εδαφική ατμόσφαιρα και νερό ή ακριβέστερα ένα υδατικό διάλυμα ανόργανων κυρίως αλάτων, το εδαφικό διάλυμα. Τυπική κατ' όγκο κατανομή των ανωτέρω είναι 45% ανόργανα στερεά συστατικά, 5% οργανικά στερεά συστατικά και 50% αέρια και εδαφικό διάλυμα (Πολυζόπουλος Ν., 1976).

Πολύ πρόσφατα, το 2005, το Soil Bureau του Joint Research Centre (ISPRA) ολοκλήρωσε τον Εδαφολογικό Άτλα της Ευρώπης (Soil Atlas of Europe). Ο εδαφολογικός Άτλας είναι το αποτέλεσμα της συνεργασίας, αρχής γινομένης από το 1989, 40 Εθνικών Ινστιτούτων που λειτουργούν ανά την Ευρώπη μέσα σε ένα πλαίσιο συνεργασίας, το European Soil Bureau Network (ESBN). Για την περίπτωση της Ελλάδας υπάρχει ο εδαφολογικός χάρτης (1:1.000.000), ο οποίος συντάχθηκε το 1967 από τον Δρ. Δ. Κατακουζηνό, Επίτιμο Διευθυντή του Ινστιτούτου Εδαφολογίας και Λιπασματολογίας του Υπουργείου Γεωργίας. Ο χάρτης αυτός χρησιμοποιήθηκε για τη σύνταξη του Εδαφολογικού χάρτη της Ευρώπης (Soil map of Europe, 1:2.500.000) του Οργανισμού Τροφών και Γεωργίας (FAO). Οι τύποι των εδαφών της Ελλάδας, σύμφωνα με τον Δ. Κατακουζηνό, είναι:

Α. Εδάφη κορεσμένα με βάσεις και που περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$

(α) *Ασυνεχή, αβαθή με σκελετικούς σχηματισμούς*: 1) Ασβεστολιθογενείς ρεντζίνες, 2) Ορφνά ασβεστολιθογενή δασικά, 3) Ασβεστολιθογενείς ρεντζίνες και ορφνά δασικά, 4) Ασβεστολιθογενείς ρεντζίνες και ορφνά μεσογειακά.

(β) *Συνεχή μετρίου ή μεγάλου βάθους*: 5) Μαργογενείς ρεντζίνες, ξηρορεντζίνες, ορφνά δασικά και Regosols, 6) Άλλοθιγενή ορφνά και ορφνέρυθρα αλκαλικά μεσογειακά, 7) Αλλουβιακά αποθέματα με Regosols, 7^{α}) Αλλουβιακά αποθέματα με Grumusols, 8) Υδρόμορφοι σχηματισμοί (ελώδεις ή ημιελώδεις).

Β. Εδάφη που δεν περιέχουν $CaCO_3$, κορεσμένα με βάσεις

9) Ορφνά - Ορφνέρυθρα δασικά, μετρίου βάθους, με σκελετικούς σχηματισμούς.

Γ. Εδάφη με σημαντικά ποσά ανταλλάξιμου Υδρογόνου, συνήθως χωρίς $CaCO_3$

(α) *Ασυνεχή μικρού βάθους με σκελετικούς σχηματισμούς*: 10) Αλπικά χουμώδη τύπου Ranker, 11) Ποτζολικά σε ανάμιξη με όξινα ορφνά δασικά, 12) Ορφνά όξινα δασικά.

(β) *Συνεχή μετρίου ή μεγάλου βάθους*: 13) Αλλουβιακά όξινης αντίδρασης, 14) Παλιά αλκαλικά τύπου Solodi με αλλουβιακούς σχηματισμούς.

Δ. Υδατογενή

(α) *Αλλόμορφα Εδάφη*: 15) Solonetz – Solontschak, με αλλουβιακά, 16) Τυρφώδη και χουμώδη, τα οποία περιέχουν υδατοδιαλυτά άλατα, 16^{α}) Τυρφώδη και χουμώδη, τα οποία περιέχουν υδατοδιαλυτά άλατα (Κατακουζηνός, Δ., 1968).

«Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση, ΕΦΑ» (Monitored Natural Attenuation, MNA) αποκαλείται η τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων στις περιπτώσεις που ως τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιούνται φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Ο ορισμός που δόθηκε στην ΕΦΑ έχει αλλάξει αρκετές φορές, αφού, με τη πάροδο του χρόνου, η γνώση για την τεχνολογία αυτή αυξάνεται. Το ως τώρα πεδίο εφαρμογής της περιλαμβάνει την αποκατάσταση υπόγειων υδροφόρων σε μικρή κλίμακα και για ρύπους όπως χλωριωμένοι οργανικοί διαλύτες, πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες και βαρέα μέταλλα (US-EPA, 1999).

«Ενεργός Οξύτητα, pH» (per hydrogen ή power of the hydrogen) είναι η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονοϊόντων που περιέχει ένα διάλυμα, εκφρασμένη σε γραμμοϊόντα ανά λίτρο διαλύματος: $pH=-\log[H^+]$. Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25^{o}C και είναι από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH=7. Το καθαρό νερό είναι ελάχιστα ιονισμένο και στους 25^{o}C η συγκέντρωση υδρογονοκατιόντων και υδροξυλιόντων σε moles/L διέπεται από τη σχέση: $[H^+].[OH^-]=10^{-14}$ και $[H^+]=[OH^-]=10^{-7}$.

Στα νερά φυσικής προέλευσης το pH κυμαίνεται συνήθως από 6.5 έως 8.5. Το pH της θάλασσας είναι περίπου 8. Οι λεκάνες απορροής από ασβεστούχα και ανθρακικά πετρώματα έχουν νερά με pH προς την αλκαλική περιοχή ενώ νερά που προέρχονται από πυριτικά πετρώματα έχουν pH ελαφρώς όξινο.

Το pH είναι βασική παράμετρος ποιότητας των φυσικών νερών καθώς επηρεάζει σημαντικά την οικολογία. Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για τη διαβίωση των ιχθύων προβλέπεται ως επιθυμητό εύρος τιμών pH από 4 έως 9 (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, 1978).

«Επιφανειακά Ύδατα» (Surface water) θεωρούνται τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός εάν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Εσωτερικά Ύδατα» (Inland water) είναι το σύνολο των στάσιμων ή ρέοντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Ευτροφισμός» (Eutrophication) είναι η συνθήκη που επικρατεί σε εμπλουτισμένα, με θρεπτικά συστατικά, φυσικά ύδατα, στα οποία παρατηρείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου και αύξηση των φυκών και αλγών του νερού. Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως ενώσεις του φωσφόρου (P) και αζώτου (N), η προέλευση των οποίων εντοπίζεται στη διάβρωση πετρωμάτων, στη χρήση των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στις γεωργικές καλλιέργειες όπως επίσης στα αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα. Η έκπλυση των εδαφών είναι η πλέον σημαντική πηγή θρεπτικών που απειλεί τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η προσθήκη θρεπτικών συστατικών έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένου και του φυτοπλαγκτόν (άλγη που επιπλέουν), του περίφυτου (προσκολλημένα ή βενθικά άλγη) και των μακρόφυτων (έριζα αγγειώδη υδρόβια φυτά).

Προκειμένου να διευκρινισθεί ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης σε ένα υδάτινο σώμα υπολογίζεται ο λόγος ολικού αζώτου προς φωσφόρου (N/P). Όταν η αναλογία N/P διατηρείται ίση με 16/1 το φυτοπλαγκτόν ενσωματώνει τα θρεπτικά και τα απελευθερώνει κατά την αποσύνθεσή του στην ίδια επίσης αναλογία, ρυθμίζοντας έτσι, ως ένα βαθμό, τη χημική σύνθεση των φυσικών υδάτων. Στα περισσότερα φυσικά νερά ο φώσφορος βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και για αυτό, συνήθως, αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού. (Schnoor J., 2003).

Ο ευτροφισμός εμφανίζεται συχνότερα σε αποδέκτες όπου δεν γίνεται συχνή και εκτεταμένη ανανέωση των υδάτων όπως οι λίμνες, και λιγότερο σε κινούμενα ύδατα (ποτάμια, εκβολές).

«Ηλεκτρική Αγωγιμότητα» (Electrical Conductance) διαλύματος. Είναι μια μαθηματική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιξώδες του διαλύματος και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού με την οποία γίνεται η μέτρηση.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετριέται με τα αγωγιμόμετρα, τα οποία δίνουν τιμές ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (specific electrical conductance, SEC), συνήθως εκφράζεται σε μS/cm. Για την ειδική αγωγιμότητα έχει, τελικά, επικρατήσει ο όρος electrical conductivity, EC (Walton N.,1989).

Η ειδική αγωγιμότητα είναι χρήσιμη χημική παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών δίνοντας πληροφορίες για τις διαλυμένες ιοντικές ουσίες, κυρίως άλατα, οξέα και βάσεις. Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα που διίστανται στο νερό έχουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα ενώ αντίθετα τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή. Επίσης, παρέχει μια ένδειξη των ολικών διαλυμένων στερεών (Total Dissolved Solids).

«Θερμοκρασία, Τ» (Temperature). Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητές του όπως την πυκνότητα, το ιξώδες και τη διαλυτότητα οξυγόνου, την ταχύτητα των χημικών και βιολογικών αντιδράσεων και τη φυσιολογία και συμπεριφορά των οργανισμών. Η ανθρωπογενής μεταβολή της θερμοκρασίας στο σώμα ενός αποδέκτη (θερμική ρύπανση) επιφέρει αρνητικές επιδράσεις στην οικολογία του νερού και στην υδρόβια ζωή που εξαρτάται από αυτή. Ίσως καμιά άλλη περιβαλλοντική μεταβολή να μη δημιουργεί τόσο βαθιές και ριζικές αλλαγές στην υδρόβια ζωή όσο η μεταβολή της θερμοκρασίας.

Τυπικά όρια εκτός της ζώνης μείξης είναι για την περίπτωση ποταμού 3^{o}C, λίμνης 2^{o}C και θάλασσας 1^{o}C το καλοκαίρι και 3^{o}C το χειμώνα (Οικονομόπουλος Α., 2001).

«Θρεπτικά συστατικά» (Nutrients) είναι τα απαραίτητα εκείνα στοιχεία που χρειάζονται οι ζωντανοί οργανισμοί για να πραγματοποιήσουν τις διάφορες μεταβολικές διεργασίες. Οι δύο κύριες κατηγορίες θρεπτικών στοιχείων, ανάλογα με την απαιτούμενη από τους οργανισμούς ποσότητά τους, είναι: (α) τα μακροθρεπτικά στοιχεία (>0.2% του ξηρού βάρους των οργανισμών), όπως το οξυγόνο, το υδρογόνο, το άζωτο, ο φώσφορος, το θείο, το χλώριο, το ασβέστιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το κάλιο και το νάτριο και (β) τα μικροθρεπτικά (<0.2% του ξηρού βάρους των οργανισμών), όπως το βόριο, το βρώμιο, το χρώμιο, το αργίλιο, το κοβάλτιο, το ιώδιο, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, το σελήνιο, το πυρίτιο, το στρόντιο, το τιτάνιο, το βανάδιο, το γάλλιο, το φθόριο, ο κασσίτερος και ο ψευδάργυρος.

Οι κύριες δεξαμενές των στοιχείων αυτών είναι η ατμόσφαιρα, η λιθόσφαιρα (το έδαφος και τα αποσαθρωμένα πετρώματα) και η υδρόσφαιρα. Τα περισσότερα από τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε μορφή που δεν είναι αφομοιώσιμη από τους οργανισμούς. Για να έρθουν σε μορφή αξιοποιήσιμη από τους οργανισμούς πρέπει να μεσολαβήσουν τόσο μεταβολικές αντιδράσεις στο σώμα των οργανισμών, όσο και αβιοτικές χημικές αντιδράσεις. Η κατανόηση της πορείας καθενός θρεπτικού στοιχείου (κύκλος θρεπτικού) απαιτεί τη γνώση διαδικασιών που περιλαμβάνουν τη βιολογία των οργανισμών, τη γεωλογική διαθεσιμότητα του στοιχείου και την οργανική και ανόργανη χημική του συμπεριφορά.

Εκτός από τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο, βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών ενός υδρόβιου οικοσυστήματος είναι τα

νιτρικά, τα νιτρώδη, τα αμμωνιακά ιόντα και τα φωσφορικά ιόντα (Τζοράκη Ο., 2007).

«Κατάσταση επιφανειακών υδάτων» (Surface water status) είναι η συνολική έκφραση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και της χημικής του κατάστασης (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων» (Good surface water status) είναι η κατάσταση επιφανειακού υδατικού σώματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Κατάσταση υπόγειων υδάτων» (Ground water status) είναι η συνολική έκφραση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και της χημικής του κατάστασης (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων» (Good ground water status) είναι η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Λεκάνη Απορροής Ποταμού» (River basin) είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Μεταβατικά Ύδατα» (Transitional waters) θεωρείται το σύστημα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Οδηγία 2000/60 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ή Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά» (Water Framework Directive, WFD): πρόκειται για την Οδηγία που εξέδωσε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στις 12 Δεκεμβρίου 2000 με κύριο στόχο την επίτευξη «καλής κατάστασης όλων των υδάτων» μέχρι το 2015. Καλή κατάσταση θεωρείται η επίτευξη συγκεκριμένων στόχων σχετικά με τα ποιοτικά, ποσοτικά και οικολογικά χαρακτηριστικά των υδάτων. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται η κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων για κάθε λεκάνη απορροής, τα οποία πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όλες τις κατηγορίες υδάτων και όλα τα υδάτινα σώματα (επιφανειακά, υπόγεια, παράκτια κ.λπ.), την αλληλεπίδραση μεταξύ τους καθώς και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Όριο ανίχνευσης μεθόδου» (Method Detection Limit, MDL) ορίζεται, σύμφωνα με την EPA, ως η ελάχιστη συγκέντρωση ενός συστατικού που μπορεί να μετρηθεί, με 99% βεβαιότητα, ότι η πραγματική συγκέντρωση αυτού είναι μεγαλύτερη από το μηδέν. Υπολογίζεται από επτά (7) επαναληπτικές αναλύσεις ενός δείγματος με μια συγκέντρωση που υπερβαίνει πέντε (5) φορές το ονομαστικό όριο ανίχνευσης. Το MDL υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση: $MDL= t_{(n-1,1-\alpha=0,99)} * S$. Το t είναι η τιμή student για ένα 99% επίπεδο εμπιστοσύνης και για τυπική απόκλιση η οποία υπολογίστηκε με n-1 βαθμούς ελευθερίας και το S είναι η σταθερή τυπική απόκλιση των επαναληπτικών δειγμάτων. Στην περίπτωση των 7 επαναληπτικών αναλύσεων με επίπεδο εμπιστοσύνης 99% και 6 βαθμούς ελευθερίας η τιμή t για μονόπλευρο έλεγχο είναι 3,143 (US-EPA, 2003).

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής μετρήθηκαν το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το νιτρικό άζωτο (NO_3-N), το νιτρώδες άζωτο (NO_2-N), το αμμωνιακό άζωτο (NH_3-N), ο φωσφορικός φώσφορος (PO_4-P) με χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000 και οι ολικές φαινόλες (T.phenols) βάσει της μεθόδου Folin – Ciocalteu στο φασματοφωτόμετρο UV-Vis UNICAM, model Helios Delta. Για τις μεθόδους αυτές τα όρια ανίχνευσης ανά ένωση, όπως υπολογίστηκαν, είναι: COD = 3,65mg/L, NO_3-N = 0,267mg/L, NO_2-N = 0,004mg/L, NH_3-N = 0,025mg/L, PO_4-P = 0,009mg/L, T. Phenols = 0,402 mg/L.

Στην εν λόγω εργασία συχνά χρησιμοποιείται η συντομογραφία bdl που αντιστοιχεί στο below detection limit και το οποίο αντιστοιχεί στο όριο ανίχνευσης της μεθόδου.

«Ποταμός» (River) είναι το σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το πλείστον, στην επιφάνεια του εδάφους αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Παράκτια Ύδατα» (Coastal Water) είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μίας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Ρυπαντής ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία» (Pollutant) είναι κάθε διαλυτή (υδρόφιλη π.χ. ανόργανα άλατα) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη, π.χ. υδρογονάνθρακες, PCBs, διαλύτες κ.λπ.) στο νερό, ουσία, η οποία όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Pd, Cd, Cu, Ni, Zn, Sn, Co, As, κ.ά.), ανόργανες ενώσεις (NO_3^-, PO_4^-, NO_2^- κ.ά.), οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι

υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.), ραδιενεργές ουσίες και παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί).

«Σύστημα επιφανειακών υδάτων ή επιφανειακό υδατικό σώμα» (Body of surface water) πρόκειται για ένα διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων όπως π.χ. μία λίμνη, ένας ταμιευτήρας, ένα ρεύμα, ένας ποταμός ή μία διώρυγα, ένα τμήμα ρεύματος ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα ή ένα τμήμα παράκτιων υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Σύστημα υπόγειων υδάτων ή υπόγειο υδατικό σώμα» (Body of ground water) πρόκειται για ένα συγκεκριμένο όγκο υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Τυπική απόκλιση δείγματος» (Sample standard deviation, Std) Η τυπική απόκλιση αποτελεί μέτρο της διασποράς των τιμών σε σχέση με την τιμή του μέσου όρου (αριθμητικού μέσου). Στην παρούσα εργασία ο υπολογισμός τη τυπικής απόκλισης έγινε με χρήση της εξίσωσης STDEV του προγράμματος Excel της Microsoft. Η συνάρτηση STDEV υπολογίζει την τυπική απόκλιση ενός πληθυσμού βάσει δείγματος σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$STDEV = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

όπου $\bar{x}$ είναι ο μέσος όρος των τιμών [AVERAGE(number1,number2,…)] και n είναι το μέγεθος δείγματος.

«Υδάτινο σώμα» (Water body) είναι μία υπο-περιοχή της λεκάνης απορροής η οποία ορίζεται προκειμένου να εφαρμοστούν οι στόχοι της Οδηγίας Πλαίσιο. Έτσι, ο κύριος σκοπός της ύπαρξης και αναγνώρισης των υδάτινων σωμάτων είναι να γίνει ο προσδιορισμός της κατάστασης κατά το δυνατόν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια και βάσει των περιβαλλοντικών στόχων που προβλέπει η Οδηγία. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αναγνώριση των υδάτινων σωμάτων αποτελεί ένα εργαλείο και όχι στόχο. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται καταρχάς σε γεωγραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, αλλά στην περίπτωση που επιδιώκεται ορθότερη περιγραφή και συσχέτιση με τα όσα ορίζει η οδηγία προτείνεται λεπτομερέστερος διαχωρισμός (European Commission, 2003).

«Υδροφόρος ορίζοντας» (Aquifer) υπόγειο στρώμα ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπογείων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπογείων υδάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Υπόγεια Ύδατα» (Ground water) είναι το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Υπολεκάνη» (Sub-basin) είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών) (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

«Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο, ΧΑΟ» (Chemical Oxygen Demand, COD). Το COD εκφράζεται ως το ισοδύναμο οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση, σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον, των οργανικών ουσιών που περιέχονται σε ένα δείγμα. Είναι μία χημική παράμετρος με ιδιαίτερη σημασία στον καθορισμό της ποιότητας του νερού. Υψηλές τιμές COD φανερώνουν μεγάλο οργανικό φορτίο, δηλαδή ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος.

Η πηγή του οργανικού φόρτου μπορεί να είναι ανθρωπογενής, όπως τα βιομηχανικά απόβλητα, τα οικιακά λύματα, οι αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες και σε μικρότερο βαθμό, πηγές από τη διάβρωση των πετρωμάτων και την αποδόμηση της φυτικής και ζωικής βιομάζας (Μπέλλος Δ., 2004).

«Φαινόλες» (Phenols). Οι φαινόλες είναι υδροξυπαράγωγα των αρωματικών υδρογανανθράκων. Η πρώτη από τις φαινόλες, φαινόλη (C_6H_5OH), χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία ως πρώτη ύλη για την παρασκευή πολυμερών υλικών, χρωμάτων, φαρμάκων, παρασιτοκτόνων, εκρηκτικών, πρόσθετων βενζίνης κ.ά.. Σημαντική είναι, επίσης, η παραγωγή χλωριωμένων φαινολών, οι περισσότερες από τις οποίες χρησιμοποιούνται για παρασκευή βιοκτόνων και συντηρητικών.

Φαινόλες υπάρχουν και στα υγρά απόβλητα ελαιουργείων, στον κατσίγαρο ή μούργα. Μέχρι σήμερα περισσότερες από 30 φαινολικές ενώσεις έχουν βρεθεί στα υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Αυτές συμπεριλαμβάνουν φαινυλικά οξέα, φαινυλικές αλκοόλες, σεκοϊριδοειδή και φλαβονοειδή. Οι συγκεντρώσεις των φαινολών κυμαίνονται από 0,5–24g/L, τιμές οι οποίες εξαρτώνται από τη διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου. Τυπική συγκέντρωση ολικών φαινολών στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων είναι 18g/L (Mebirouk M. et al., 2007).

Οι φαινόλες δρουν ως αντιοξειδωτικές ουσίες, που εμποδίζουν τη διάσπαση των λιπαρών οξέων και βοηθούν στη διατήρηση του λαδιού. Ωστόσο, μπορεί να είναι τοξικές ουσίες για την πανίδα των υδάτινων οικοσυστημάτων, για κάποιες ομάδες μικροοργανισμών και για τα φυτά όταν αυτά βρίσκονται σε βλαστικό στάδιο (Περδικάτσης κ.ά., 2004).

Στην εργασία αυτή μετρήθηκαν οι ολικές φαινόλες με τη μέθοδο Folin – Ciocalteu. Για τη μέτρηση κάθε φαινολικής ένωσης απαιτείται εξειδικευμένη

μέθοδος. Η μέτρηση των ολικών φαινολών μπορεί να παρέχει ενδείξεις για τη ρύπανση των νερών από υγρά απόβλητα ελαιουργείων.

«Φώσφορος» (Phosphorus). Ο φώσφορος είναι απαραίτητο στοιχείο των ζώντων οργανισμών. Ο φώσφορος μαζί με τα νιτρικά συγκαταλέγονται στα βασικά θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Ο φώσφορος δεν απαντάται ελεύθερος στο περιβάλλον. Στα ύδατα βρίσκεται κατά κανόνα με τις εξής μορφές: (α) Ορθοφωσφορικά ιόντα, PO_4^{-3}, HPO_4^{-2}, H_2PO^{-4} (β) Πολυφοσφωρικά ιόντα, $P_2O_7^{-1}$, $P_3O_{10}^{-5}$, $P_3O_9^{-3}$ και (γ) Οργανικός φώσφορος.

Στη φύση τα πολυφωσφορικά ιόντα υδρολύονται βαθμιαία στο νερό προς σταθερές ομάδες ορθοφωσφορικών ιόντων. Επίσης, ο δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις φώσφορος, με τη δράση βακτηρίων, αποδομείται με τελικό προϊόν ορθοφωσφορι-κά ιόντα.

Η παρουσία του φωσφόρου στα ύδατα οφείλεται σε πολλές πηγές φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά, οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης, περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι λύματα και απόβλητα, επιβαρυμένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου, καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες,. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και φορτία φωσφόρου. Ο οργανικός φώσφορος δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες. Οργανικά φωσφορικά περιέχονται στα περιττώματα και υπολείμματα τροφών και συνεπώς και στα λύματα. Φώσφορος υπάρχει και στα ιζήματα λιμνών, λιμνοθαλασσών και κλειστών θαλάσσιων κόλπων (Ζανάκη Κ., 1996).

Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για τη διαβίωση των ιχθύων η προτεινόμενη συγκέντρωση σε PO_4-P στα επιφανειακά ύδατα για νερά σαλμονιδίων είναι 0,065mg/L και κυπρινιδίων 0,13mg/L ενώ σύμφωνα με τη Οδηγία 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι 2,18mg/L (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, 1978; Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998).

4. Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

4.1. Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Η λεκάνη βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου και έχει συνολική έκταση 2.420 km^2. Η μεγαλύτερη έκτασή της βρίσκεται στα όρια του νομού Λακωνίας, ενώ περιλαμβάνει και μικρά τμήματα του νομού Αρκαδίας. Οι κύριοι ορεινοί όγκοι που καλύπτουν τη λεκάνη είναι αυτοί του Πάρνωνα και του Ταΰγετου.

Η λεκάνη απορροής συνορεύει βόρεια και βορειοανατολικά με το νομό Αρκαδίας, δυτικά με το νομό Μεσσηνίας ενώ νότια βρίσκεται ο Λακωνικός κόλπος. Μέσα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται συνολικά περίπου 95 δημοτικά διαμερίσματα από τα οποία περίπου τα 90 βρίσκονται στο νομό Λακωνίας και τα υπόλοιπα ανήκουν στο νομό Αρκαδίας και τα οποία έχουν συνολικό πραγματικό πληθυσμό που ανέρχεται περίπου σε 66.000 κατοίκους. Οι δήμοι του Ν. Λακωνίας που βρίσκονται εξ' ολοκλήρου μέσα στη λεκάνη είναι οι: Πελλάνας, Οινούντος, Μυστρά, Σπάρτης, Θεραπνών, Φάριδος, Σμύνους, Κροκεών, Σκάλας, Γερόνθων και Έλους ενώ στη λεκάνη βρίσκεται επίσης και ένα τμήμα των δήμων Γυθείου, Νιάτων και Μολάων και της κοινότητας Καρυών του Ν. Λακωνίας καθώς και των δήμων Σκυρίτιδας και Βαλτετσίου του Ν. Αρκαδίας (Ανδριανάκη Μ., 2007).

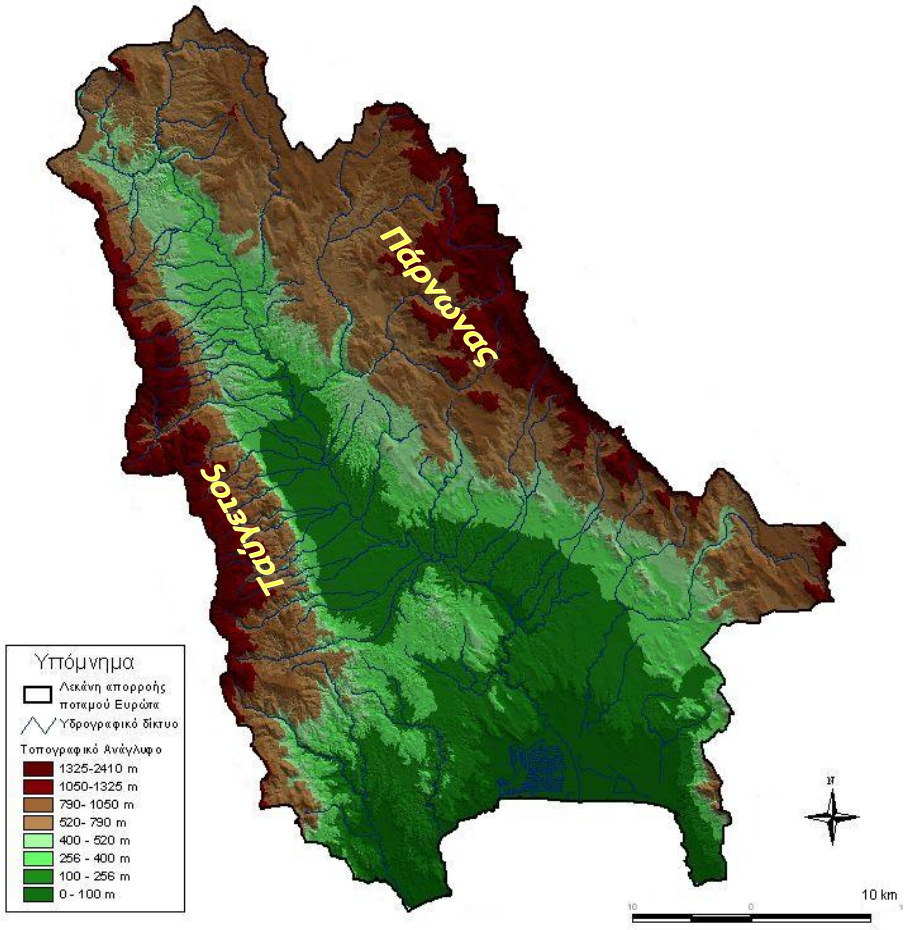
Συνολικά, ο Ν. Λακωνίας έχει έκταση 3.636 km^2 και πληθυσμό 99.637 κατοίκους (απογραφή ΕΣΥΕ 2001), εκ του οποίου το 68% είναι αγροτικός και το υπόλοιπο 32% αστικός. Πρωτεύουσα του νομού είναι η Σπάρτη, η οποία βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του νομού, στις όχθες του ποταμού Ευρώτα σε υψόμετρο 210 m (Αντωνάκος Α., 1997). Η Σπάρτη αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του νομού αλλά και της λεκάνης απορροής με πληθυσμό περίπου 15.000 κατοίκους (απογραφή ΕΣΥΕ 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι την τελευταία δεκαετία παρατηρήθηκε εσωτερική μετακίνηση και ενίσχυση της πρωτεύουσας γεγονός που αποδεικνύεται από τη δημογραφική αύξηση του δήμου Σπάρτης η οποία καλύπτει το 50% της συνολικής αύξησης που παρατηρήθηκε στο νομό (Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2006).

4.2. Γεωμορφολογικά και εδαφολογικά στοιχεία

4.2.1. Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το υψομετρικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής φαίνεται στον Χάρτη 4-1. Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης είναι ορεινό και ημιορεινό. Αναλυτικά η μορφολογία του έχει ως εξής: 25,6% πεδινό, 37,8% ημιορεινό και 36,6% ορεινό. Μεγάλο μέρος της λεκάνης καλύπτουν οι δύο μεγάλοι ορεινοί όγκοι του Ταϋγέτου και του Πάρνωνα. Η υψηλότερη κορυφή του Ταϋγέτου είναι ο Προφήτης Ηλίας (2.404 m), μέρος του οποίου βρίσκεται στο Ν. Μεσσηνίας και

του Πάρνωνα η Μεγάλη Τούρλα ή Μαλεβός (1.936 m), η οποία όμως βρίσκεται βορειότερα της λεκάνης. Μέσα στη λεκάνη βρίσκονται οι δυο επόμενες υψηλότερες κορυφές του Πάρνωνα, η Γαϊτανοράχη (1.891m) και η Μαδαρή (1.686m). Η πεδιάδα του Ευρώτα χωρίζει τις δύο οροσειρές.



Χάρτης 4-1: Ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Στην περιοχή της λεκάνης βρίσκονται δυο κύριες πεδιάδες. Η κοιλάδα της Σπάρτης και η πεδιάδα της Σκάλας. Επίσης, η λεκάνη περιλαμβάνει ένα μικρό μέρος της πεδιάδας της περιοχής των Μολάων, συγκεκριμένα το τμήμα που βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα, και του Γυθείου.

Φυσιογραφικά η κοιλάδα της Σπάρτης αποτελεί μια μακρόστενη κοιλάδα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση εύρους 5km και μήκους περίπου 12km, με υψόμετρα από 160 ως και 300m και κλίσεις εδάφους, που κυμαίνονται από 2-8% με γενική διεύθυνση από τον Ταΰγετο προς τον Πάρνωνα. Στο κέντρο περίπου της κοιλάδας παρατηρούνται λοφώδεις εξάρσεις, οι οποίες κατανέμονται γραμμικά, παράλληλα με τη γενική διεύθυνση της κοιλάδας. Η κοιλάδα διατρέχεται κατά πλάτος και στο ανατολικό της άκρο από τον ποταμό Ευρώτα και κατά μήκος από μια σειρά δευτερευόντων υδρορεμάτων παροδικής ροής με γενική διεύθυνση κάθετη προς τον Ευρώτα, στον οποίο κι εκβάλλουν. Εκτείνεται προς τα βόρεια μέχρι την πρωτεύουσα του νομού, Σπάρτη, ενώ νότια οριοθετείται από το υδατόρευμα Ρασίνα. Ανατολικά και δυτικά η περιοχή οριοθετείται από τους

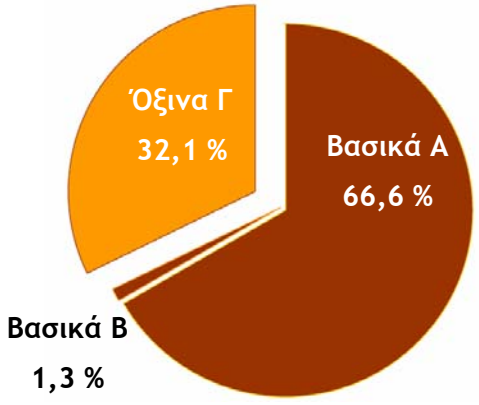
ορεινούς όγκους του Πάρνωνα και του Ταϋγέτου αντίστοιχα (Αντωνάκος Α., 1997).

Η περιοχή της Σκάλας περιλαμβάνει μια πεδιάδα που καταλήγει στον Λακωνικό κόλπο. Οι οροσειρές φτάνουν σε υψόμετρα 200-340m δυτικά και βορειοδυτικά και μέχρι 900m ανατολικά. Οι κλίσεις στην βόρεια λοφώδη περιοχή είναι πιο μικρές από αυτές που παρουσιάζονται ανατολικά και δυτικά και παρουσιάζουν μέσο υψόμετρο 160-180m. Η περιοχή της Σκάλας μπορεί να διακριθεί σε τρεις υπο-περιοχές: (1) την περιοχή του Τρινάσσου, δυτικά του ποταμού Ευρώτα, (2) την περιοχή του Έλους, ανατολικά του ποταμού Ευρώτα, και (3) την περιοχή της Γλυκόβρυσης (Ανδριανάκη Μ., 2007).

4.2.2. Εδαφολογικά στοιχεία

Οι διαφορετικοί τύποι των εδαφών που εντοπίζονται στη λεκάνη απορροής φαίνονται στο Χάρτη 4-2. Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε με της βοήθεια του προγράμματος ArcView 9.2 και αποτελεί το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης του Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδας (1:1.000.000), ο οποίος συντάχθηκε το 1967 από στο Ινστιτούτου Εδαφολογίας και Λιπασματολογίας του Υπουργείου Γεωργίας.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, τα εδάφη που εντοπίζονται στη λεκάνη είναι είτε (i) κορεσμένα με βάσεις, τα οποία περιέχουν ή δεν περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$ (τύπου Α και Β αντίστοιχα) είτε (ii) όξινα τα οποία δεν περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$ (τύπου Γ), με ποσοστιαίας αναλογίες όπως φαίνονται στο Σχήμα 4-1.



Σχήμα 4-1: Ποσοστιαία αναλογία όξινων και βασικών τύπων εδαφών στη λεκάνη

Η διαμόρφωση, η φυσιογνωμία και ο χαρακτήρας των τύπων των εδαφών εξαρτώνται από το μητρικό πέτρωμα του εδάφους, τις συνθήκες του ανάγλυφου, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά και από τη βλάστηση.

Η έκταση και η αναλογία επί % της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής του Ευρώτας, που ανέρχεται στα 2.420 km^2, δίνονται στον Πίνακα 4-1. Ωστόσο, επειδή το έδαφος είναι ένας «ζωντανός» οργανισμός δέχεται τις επιδράσεις του περιβάλλοντος αλλά και αυτές των ανθρωπογενών επεμβάσεων με αποτέλεσμα να αναμένονται έντονες διαφοροποιήσεις όσον αφορά στους τύπους των εδαφών από το 1967 μέχρι σήμερα.



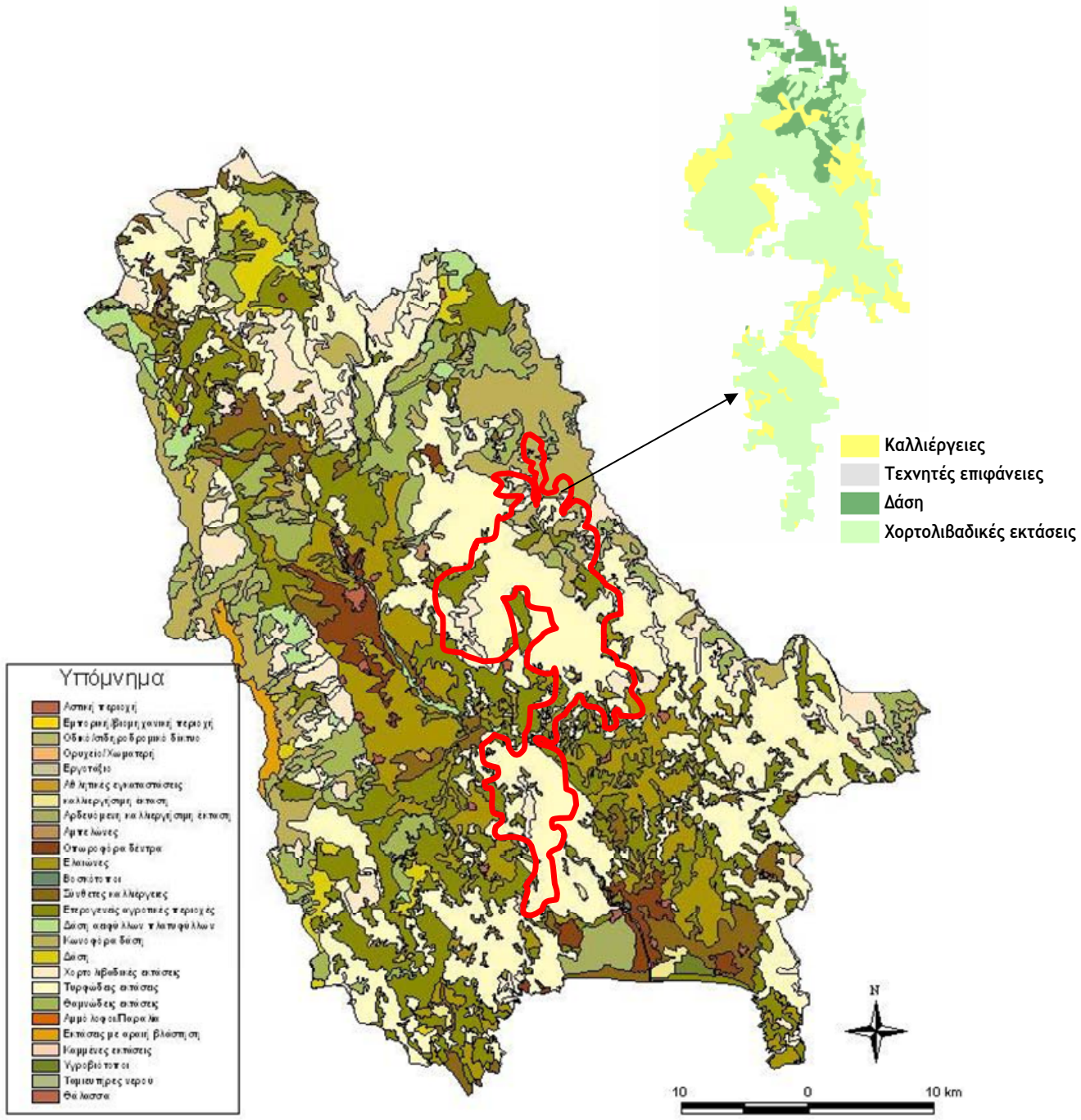
Χάρτης 4-2: Εδαφολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Πίνακας 4-1: Έκταση και αναλογία % των κατηγοριών εδαφών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα

Τύπος			Υπο-Ομάδες	Έκταση, km^2	% Λεκ. Απορρ.
Κορεσμένα με βάσεις	**Α**	που περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$.	1. Ασβεστολιθογενείς Ρεντζίνες	887,5	36,7 %
			3. Ασβεστολιθογενείς Ρεντζίνες και Ορφνά δασικά	41,9	1,7 %
			4. Ασβεστολιθογενείς Ρεντζίνες και Ορφνά Μεσογειακά	56,1	2,3 %
			5. Μαργογενείς Ρεντζίνες, Ξηρορεντζίνες, Ορφνά δασικά και Regosols	324,9	13,4 %
			6. Αλλοθιγενή ορφνά και ορφνέρυθρα αλκαλικά μεσογειακά	85,7	3,5 %
			7. Αλλουβιακά αποθέματα σε ανάμιξη με Regosols	169,8	7,0 %
			8. Υδρόμορφοι σχηματισμοί(ελώδεις ή ημιελώδεις)	45,8	1,9 %
				1.611,7	**66,6%**
	Β	που δεν περιέχουν $CaCO_3$	9. Ορφνά και Ορφνέρυθρα δασικά, μετρίου βάθους, σε ανάμιξη με σκελετικούς σχηματισμούς	31,4	1,3 %
				31,4	**1,3%**
Συνήθως όξινα	**Γ**	που περιέχουν σημαντικά ποσά ανταλλάξιμου Υδρογόνου, συνήθως χωρίς $CaCO_3$.	10. Αλπικά χουμώδη τύπου Ranker	25,8	1,1 %
			11. Ποτζολικά σε ανάμιξη με όξινα ορφνά δασικά	750,7	31,0 %
				776,5	**32,1%**

4.2.3. Χρήσεις γης

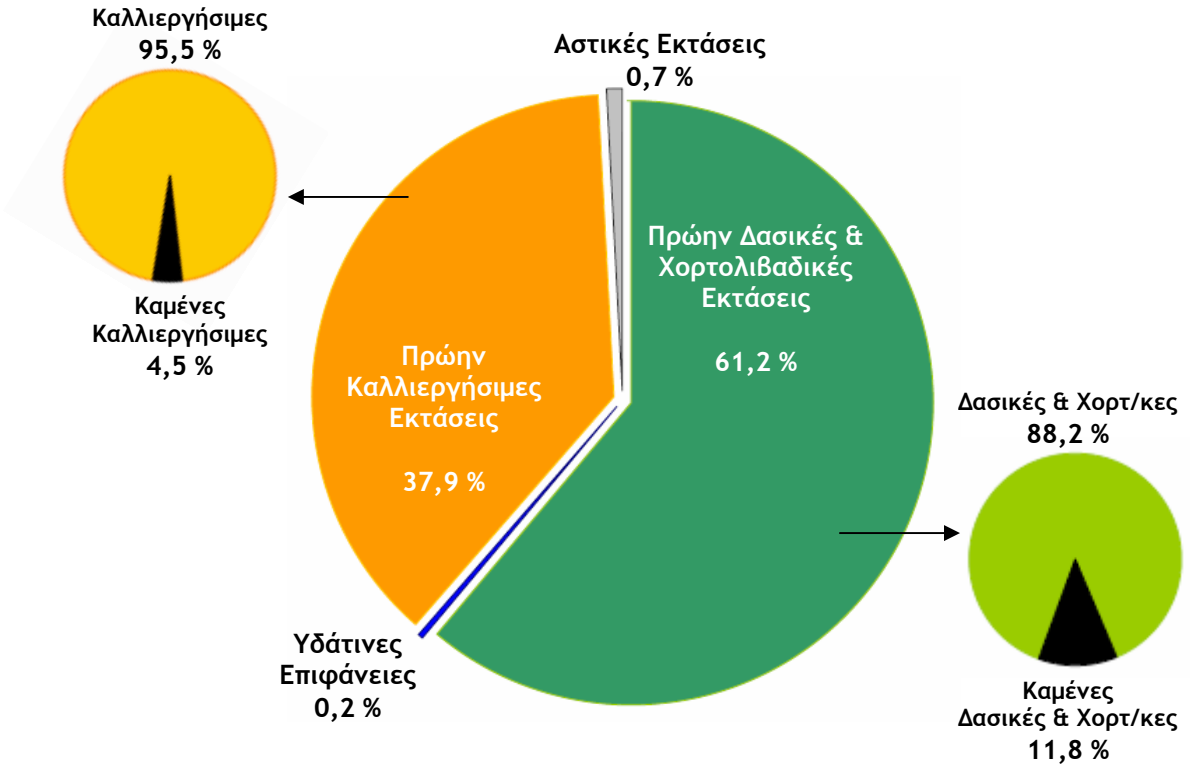
Οι κύριες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα φαίνονται στο Χάρτη 4-3. Η περιοχή εντός της κόκκινης γραμμής είναι η έκταση η οποία κάηκε στις πυρκαγιές του Αυγούστου 2007. Η λεπτομέρεια δείχνει τις πρώην χρήσεις γης.



Χάρτης 4-3: Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και η καμένη εντός της λεκάνης έκταση, από τις φωτιές του Αυγούστου 2007

Πριν από τις φωτιές του Αυγούστου, το 61,25% της λεκάνης ήταν φυσικές επιφάνειες, δάση, λιβάδια κτλ, το 37,85% καλλιεργήσιμη γη και το 0,7% αστικές επιφάνειες (Νικολαΐδης κ.ά., 2006). Οι πυρκαγιές έκαψαν 216 Km^2 δάσους,

χορτολιβαδικής έκτασης και ελαιόδεντρων στον Πάρνωνα (Νικολαΐδης κ.ά., 2007) με αποτέλεσμα να μειωθούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις κατά ποσοστό 4,5% ενώ οι δασικές και χορτολιβαδικές κατά 11,8%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-2. Στις Εικόνες 4-1 φαίνονται φωτογραφίες κατά τη διάρκεια και μετά τις φωτιές.



Σχήμα 4-2: Ποσοστιαία αναλογία χρήσεων γης στη λεκάνη πριν και μετά την πυρκαγιά



Φωτιές στον Πάρνωνα (http://karyes.blogspot.com)



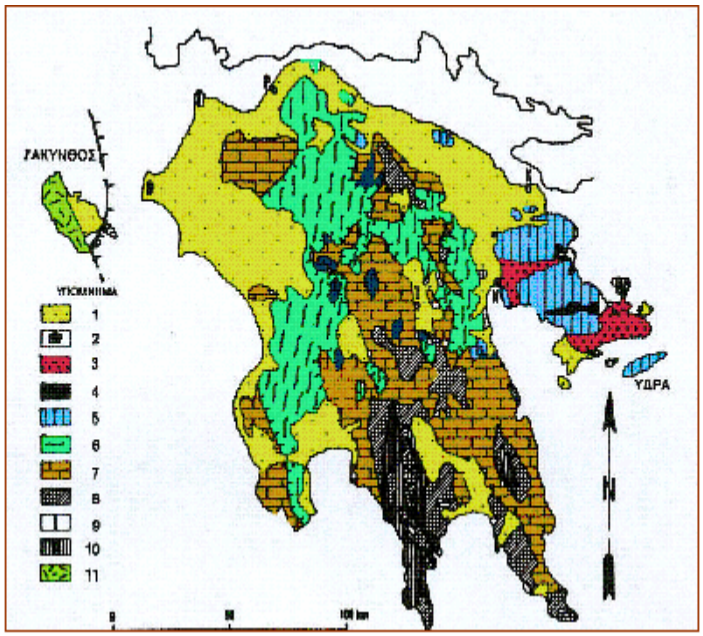
Αγριάνοι, μετά τις φωτιές (Νικολαΐδης κ.ά., 2007)

Εικόνες 4-1: Κατά τη διάρκεια και μετά τις φωτιές του Αυγούστου 2007, στον Πάρνωνα

4.3. Γεωλογικά στοιχεία

Ο ελληνικός χώρος αποτελεί το πιο νοτιότερο άκρο της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την οποία καταδύεται η Αφρικανική. Το σύστημα της σύγκρουσης και κατάδυσης των λιθοσφαιρικών πλακών με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του (Ελληνικό τόξο - τάφρος – περιθωριακή λεκάνη Αιγαίου) δημιουργήθηκε κατά το Μέσο Μειόκαινο. Αποτέλεσμα των συνθηκών αυτών ήταν, κατά την περίοδο του Νεογενούς – Τεταρτογενούς, ο ελλαδικός χώρος να υποστεί διάφορες τεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, με άμεση συνέπεια την πολλαπλή διάρρηξη του σε ένα ορθογώνιο σύστημα κανονικών ρηγμάτων. Η διάρρηξη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την πολλαπλή εισβολή της θάλασσας στον χώρο αυτό και την απόθεση θαλάσσιων Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων. Παράλληλα, κατά θέσεις, υπήρξε απόθεση λιμναίων και χερσαίων ιζημάτων στις περιοχές απόσυρσης της θάλασσας.

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της Πελοποννήσου και των νησιών των τριών υδατικών διαμερισμάτων της είναι αποτέλεσμα αφενός της γεωλογικής και τεκτονικής δομής και αφετέρου των εξωγενών διεργασιών που επέδρασαν επί αυτής (π.χ. κλίμα). Κυρίαρχο ρόλο στην τεκτονική της Πελοποννήσου που συνδέεται άμεσα με την υδρογεωλογική λειτουργία των επιμέρους ενοτήτων, αποτελεί η επώθηση της ζώνης Ωλονού – Πίνδου πάνω στην ζώνη Τρίπολης. Η ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης και Παξών, αντιπροσωπεύεται από την σειρά των ανθρακικών σχηματισμών και του φλύσχη που υπέρκεινται των στρωμάτων Τυρού. Στα στρώματα αυτά επικρατούν ανοικτές πτυχές με άξονες γενικής διεύθυνσης Β-Ν που προκλήθηκαν κατά την τελική φάση των πτυχώσεων, ως αποτέλεσμα μιας συμπιεστικής τεκτονικής που επικράτησε την περίοδο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο. Οι πτυχές αυτές, λόγω του μεγάλου τους ανοίγματος, δεν είναι πάντα εύκολο να ανιχνευθούν και να σημειωθούν. Μετά το τέλος των επωθητικών κινήσεων των εξωτερικών ζωνών, άρχισε μια περίοδος εφελκυστικών κινήσεων του ευρύτερου Ελληνικού χώρου, που είχε σαν αποτέλεσμα τον τεμαχισμό των στρωμάτων Γαβρόβου – Τρίπολης με κανονικά ρήγματα, κυρίως κατά τη διεύθυνση των αξόνων (Β-Ν) αλλά και μια δεύτερη ομάδα με λιγότερα ρήγματα κατά τη διεύθυνση Β 75° έως 90° Α. Η ζώνη της Πίνδου είναι επωθημένη προς τα δυτικά επάνω στη ζώνη Τρίπολης – Γαβρόβου εν είδη τεράστιου τεκτονικού καλύμματος που σε ορισμένες περιοχές (π.χ. Τζουμέρκα) έχει προελάσει ακόμη δυτικότερα και έχει φτάσει την Ιόνια ζώνη. Οι σχηματισμοί της Πίνδου, λόγω της παλαιότητάς τους είναι έντονα τεκτονισμένοι και λεπιωμένοι. Σε μεγάλο τμήμα της Πελοποννήσου, λόγω της διάβρωσης που έχει υποστεί το Πινδικό κάλυμμα, εμφανίζονται τα υποκείμενα στρώματα της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης με τη μορφή «τεκτονικού παράθυρου» (περιοχή όρους Μαινάλου). Το γεωλογικό σκαρίφημα της Πελοποννήσου φαίνεται στο Σχήμα 4-3.



Κατά V. Jacobshagen *et al.*, 1978
1: Νεογενείς-Τεταρτογενείς αποθέσεις,
2: Ηφαίστεια,
3: Κρητιδικοί και Παλαιογενείς σχηματισμοί της Αργολίδας,
4: Σχηματισμοί Ηωελληνικού καλύμματος,
5: Αργολική ενότητα,
6: Σειρά Πίνδου,
7: Σειρά Τρίπολης,
8: Σειρά Φυλλιτών,
9: Σειρά Ιόνια,
10: Σειρά Plattenkalk,
11: Σειρά Προαπούλια.

Σχήμα 4-3: Γεωλογικό σκαρίφημα της Πελοποννήσου (Αντωνάκος Α., 1997)

Στην περιοχή της Πελοποννήσου αναπτύσσονται οι περισσότερες από τις εξωτερικές γεωτεκτονικές ενότητες που δομούν τον Ελληνικό χώρο και συγκεκριμένα είναι οι παρακάτω:

Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος. Στη ζώνη των Παξών τοποθετείται η σειρά των μαρμάρων της Μάνης.

Ιόνια ζώνη. Στο χώρο της Πελοποννήσου – Κρήτης και των άλλων νησιών οι σχηματισμοί της Ιόνιας ζώνης είναι μεταμορφωμένοι και συνιστούν τη σειρά των Plattenkalk, μόνο στην περιοχή της Μάνης έχουμε ορατή τεκτονική επαφή της ζώνης αυτής πάνω στη σειρά των Μαρμάρων της Μάνης που ανήκουν στη ζώνη των Παξών.

Η συνθετική στρωματογραφική επαλληλία της σειράς των Plattenkalk, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί από τη συσχέτιση των επί μέρους στρωματογραφικών τομών στις περιοχές του Ταΰγετου και του Πάρνωνα έχει ως εξής: σχιστόλιθοι οι οποίοι διαπιστώθηκαν σε διάφορες περιοχές κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής του Ταϋγέτου από το Ι.Γ.Μ.Ε., κρυσταλλικοί δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, χαλαζίτες, μάρμαρα και φλύσχης. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι συνήθως μέσω έως παχυστρωματώδεις, βιτουμενιούχοι και έντονα καρστικοποιημένοι.

Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης. Αποτελεί το υπόβαθρο της ζώνης της Πίνδου στην Πελοπόννησο και εμφανίζεται σε τμήματα της Κεντρικής, Ανατολικής και Δυτικής Πελοποννήσου και ως τεκτονικό παράθυρο στο βόρειο κεντρικό τμήμα αυτής.

Η στρωματογραφική στήλη της ενότητας της Τρίπολης απαρτίζεται από τρία σύνολα. Στην βάση της βρίσκεται ένα σύνολο ελαφρώς μεταμορφωμένων σχηματισμών, γνωστό ως «στρώματα Τυρού». Τα στρώματα Τυρού χαρακτηρίζονται

από δύο σημαντικές σειρές, μία ιζηματογενή από κλαστικά και ανθρακικά πετρώματα, ηλικίας Ανώτερο Παλαιοζωικό και μία ηφαιστειοϊζηματογενή, τριαδικής ηλικίας. Πάνω από τα Στρώματα Τυρού, βρίσκεται μία ανθρακική ακολουθία. Η ακολουθία αυτή αποτελείται από βιτουμενιούχους παχυστρωματώδεις έως άστρωτους ασβεστόλιθους και δολομίτες, γνωστούς σαν Tripolitza kalk. Βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τα ανθρακικά της στρωματογραφικής στήλης μεταξύ τους είναι τα απολιθώματα. Πάνω από την ανθρακική ακολουθία υπάρχει ο φλύσχης, του οποίου η ιζηματογένεση αρχίζει στο ανώτερο Ηώκαινο. Η επαφή των ασβεστόλιθων με τον φλύσχη μπορεί να είναι στρωματογραφική ή τεκτονική. Στο ανώτερο τμήμα του ο φλύσχης περιέχει ένα συνονθύλευμα από διάφορα εξωτικά τεμάχη ποικίλης φύσης, σχήματος και μεγέθους. Ο σχηματισμός αυτός είναι γνωστός ως «άγριος φλύσχης».

Ζώνη Πίνδου. Η ζώνη της Πίνδου, βρίσκεται τεκτονικά πάνω από τις προηγούμενες ενότητες. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται ένα τμήμα της στρωματογραφικής στήλης της ενότητας, το οποίο αποτελεί τμήμα του Αρκαδικού Καλύμματος ή Αρκαδικής Τράπεζας. Ο κατώτερος στρωματογραφικός ορίζοντας που παρατηρείται είναι μία κλαστική σειρά από εναλλαγές ψαμμιτών, πηλιτών και ραδιολαριτών με ενδιαστρώσεις λατυποπαγών ασβεστόλιθων, κενομάνιας ηλικίας, για την οποία έχει επικρατήσει ο όρος «Πρώτος Φλύσχης». Ακολουθούν οι «πλακώδεις ασβεστόλιθοι» με Globotruncanidae, οι οποίοι αποτελούν την πλέον διαδεδομένη φάση της ενότητας στην κεντρική και νότια Πελοπόννησο. Πρόκειται για μικριτικούς ασβεστόλιθους με λίγες ενδιαστρώσεις ή κονδύλους πυριτόλιθων. Πάνω από τους ασβεστόλιθους αυτούς βρίσκονται τα μεταβατικά προς το φλύσχη στρώματα και ο φλύσχης της ενότητας. Επιπροσθέτως, έχει αναφερθεί η ύπαρξη ανθρακικών πετρωμάτων μικρού πάχους κάτω από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους και κάτω από το σχηματισμό του «Πρώτου Φλύσχη» στην περιοχή του Πάρνωνα. Από τους παραπάνω σχηματισμούς, στην περιοχή του Ταϋγετου απαντώνται μόνο ο Πρώτος Φλύσχης και οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι.

Η ενότητα της Πίνδου εμφανίζεται σε μικρά υπολειμματικά ράκη, στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης. Τα μικρά αυτά καλύμματα, τα οποία είναι αποκομμένα μεταξύ τους, έχουν υποστεί μετακαλλυματικές ολισθήσεις εξαιτίας της βαρύτητας με αποτέλεσμα να απαντώνται σε ορισμένα σημεία πάνω από το φλύσχη της ενότητας της Τρίπολης και σε άλλα πάνω από τους φυλλίτες – χαλαζίτες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επαφή μικρής κλίσης του Πρώτου Φλύσχη της ενότητας της Πίνδου, πάνω στους φυλλίτες – χαλαζίτες που παρατηρείται βορείως του Δ.Δ. Γεωργιτσίου.

Μεταλπικοί σχηματισμοί. Η παρουσία των μεταλπικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης επικεντρώνεται στα μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο το βύθισμα της Πελλάνας, το βύθισμα της Σπάρτης και το βύθισμα των Αιγιών βορείως του Γυθείου. Τα δύο πρώτα βυθίσματα οριοθετούνται δυτικά από το περιθωριακό ρήγμα του Ταϋγέτου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται

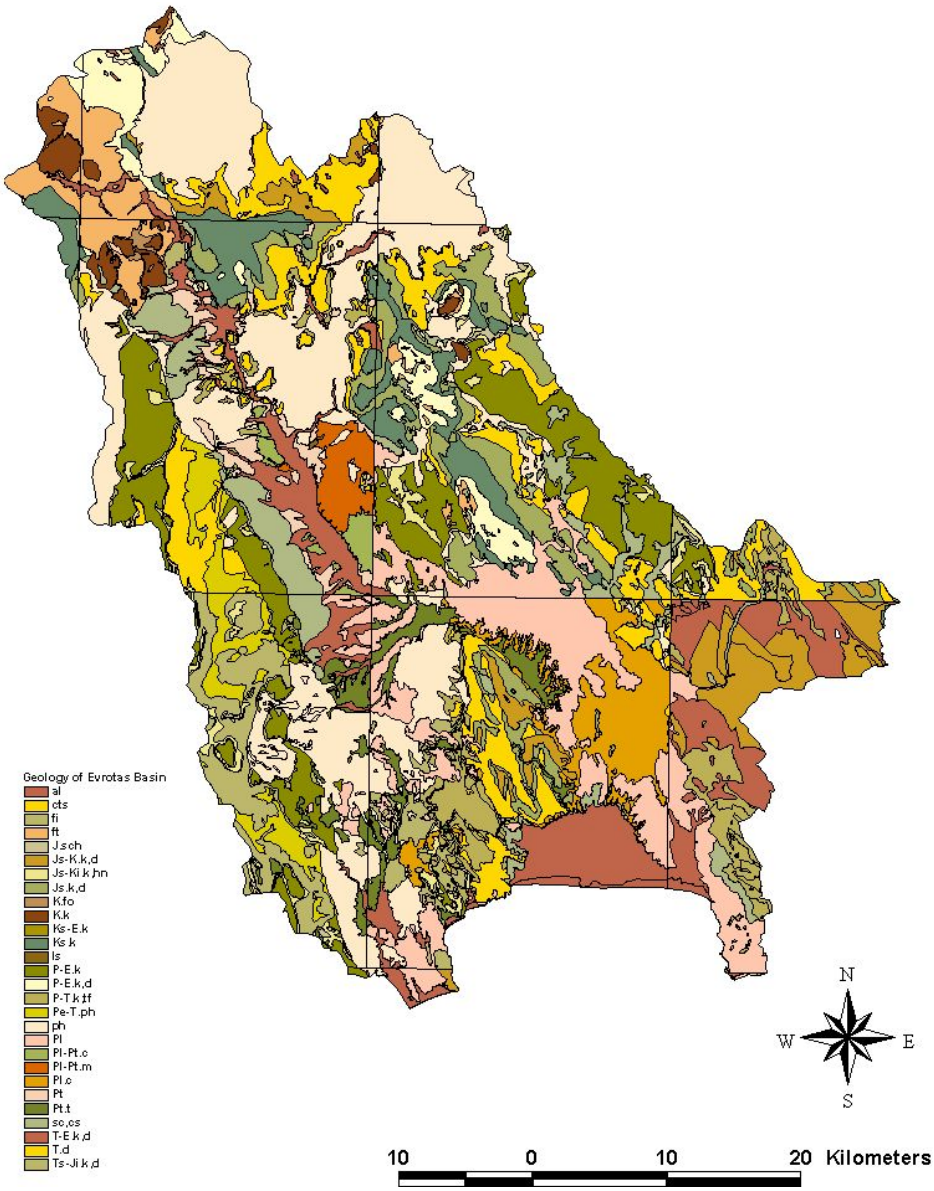
μεγάλης έκτασης και πάχους κώνοι κορημάτων πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίοι προέρχονται από την διάβρωση εξαιτίας της μεγάλης ανύψωσης του κέρατος του Ταϋγέτου. Οι κώνοι αυτοί, όπως είναι φυσικό αποτελούνται από κροκάλες και λεπτομερές υλικό των σχηματισμών που δομούν το κέρας, δηλαδή των Φυλλιτών – Χαλαζιτών και των μαρμάρων της Μάνης. Τα υλικά αυτά παρουσιάζονται χαλαρά και σχεδόν αδιαβάθμητα. Κάτω από τους κώνους βρίσκονται πλειο-πλειστοκαινικοί, λιμναίοι σχηματισμοί, οι οποίοι παρουσιάζουν διάφορες λιθολογίες. Μπορούν να διαχωριστούν σε ένα σχηματισμό συνεκτικών ανθρακικών κροκαλοπαγών, πλειο-πλειστοκαινικής ηλικίας, που εναλλάσσεται με μάργες και ψαμμίτες και ένα δεύτερο σχηματισμό πλειστοκαινικής ηλικίας, αποτελούμενο από αργίλους, άμμους, λατύπες και εναλλαγές κροκαλοπαγών, τα οποία κατά θέσεις παρουσιάζουν διαβάθμιση ενώ σε άλλα σημεία εμφανίζονται διάσπαρτα. Πάνω από όλους τους σχηματισμούς βρίσκονται οι αλλουβιακές αποθέσεις ολοκαινικής ηλικίας, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση εξαιτίας της μεταφορικής ικανότητας του ποταμού Ευρώτα και των παραποτάμων του. Νοτίως της ζώνης Χάνια Τάραψας – Δαφνί, οι λιμναίοι σχηματισμοί δίνουν την θέση τους σε θαλάσσιους. Παράλληλα, σταματά η εξάπλωση των κώνων κορημάτων, με αποτέλεσμα την επικράτηση θαλασσίων σχηματισμών, οι οποίοι αποτελούνται από ασβεστοψαμμιτικούς και αμιγείς αργίλους, τεφρές μάργες και αραιές στρώσεις οργανογενών ψαμμιτικών ασβεστόλιθων πλειοκαινικής ηλικίας. Στο Χάρτη 4-4 φαίνεται η γεωλογία της περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Στην **πεδιάδα της Σπάρτης** παρουσιάζονται Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα που αποτελούνται από κροκαλοπαγή, αργιλούχες και πηλούχες άμμους αλλά και μάργες. Η απόθεσή τους έλαβε χώρα σε διαδοχικά ποτάμια και λιμναία περιβάλλοντα. Αντίστοιχα, τα ολοκαινικά ιζήματα της περιοχής δομούνται από αλλουβιακά ριπίδια στα δυτικά και αποθέσεις πεδιάδας πλημμύρας ποταμού στα ανατολικά. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα καθεστώς εφελκυσμού, το οποίο εκφράζεται με κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και κάθετα προς αυτά.

Στην **περιοχή της Σκάλας** το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από σχηματισμούς παλαιοζωικού τύπου (Στρώματα Τυρού - παλαιοζωικά πετρώματα), συμπεριλαμβανομένου πορφυρών και ηφαιστειογενών σχηματισμών σε λεπτά στρωματά. Οι ασβεστόλιθοι των σχηματισμών του Τυρού δεν ξεπερνούν γενικά πάχος μερικών μέτρων, εκτός από την περιοχή της Άνω Γλυκόβρυσης, που παρουσιάζουν πάχος δέκα μέτρων. Εκεί μάλιστα φαίνεται ότι σχηματίζουν μια ζώνη μετάβασης από τον σχηματισμό Τυρού στους ασβεστόλιθους της ζώνης Τρίπολης. Μια παρόμοια ζώνη μετάβασης παρουσιάζεται και στα βόρεια των Κροκεών.

Τα στρώματα Τυρού επικαλύπτονται από τα πετρώματα της ζώνης Τρίπολης (μεσοζωική ηλικία). Τα πετρώματα της ζώνης Τρίπολης στην περιοχή της Σκάλας και των Μολάων αποτελούνται μόνο από ασβεστόλιθους (δεν εντοπίζεται Φλύσχης) σχετικά μεγάλου πάχους και χονδρόκοκκου κρυσταλλικού τύπου. Το συνολικό

πάχος των εν λόγω σχηματισμών στην περιοχή της Σκάλας είναι 50 m. Οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης έχουν μεγάλο πορώδες εξαιτίας της υψηλής καρστικοποίησης.



Χάρτης 4-4: Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα (Ανδριανάκη Μ., 2007)

Επάνω από τους ασβεστόλιθους, αναπτύσσονται αποθέσεις από νεογενείς σχηματισμούς, ως αποτέλεσμα της μεταφοράς και απόθεσης υλικών και των πλημμυρών στην περιοχή από τη θάλασσα προκαλώντας την απόθεση ιλύος και αργίλου. Το πάχος του εν λόγω στρώματος ποικίλει από 50 έως 300 m. Τα αλλουβιακά εδάφη παρατηρούνται κυρίως στις επίπεδες περιοχές της πεδιάδας στα κατάντη του ποταμού Ευρώτα και αποτελούνται κυρίως από άργιλο, που προέρχεται από νεογενείς αποθέσεις. Κατά μήκος της ακτογραμμής έχει αναπτυχθεί μια ζώνη με αμμοθίνες με σημαντικό πλάτος που προστατεύει την ενδοχώρα από την θάλασσα. Η πεδιάδα στην περιοχή της Σκάλας αποτελείται από αρκετά μέτρα ιζήματος το οποίο αποτελείται από άμμο, ιλύ, μάργες και άργιλο. Σύμφωνα μάλιστα

με τα γεωλογικά προφίλ των διάφορων γεωτρήσεων στην περιοχή εμφανίζονται συχνά εναλλαγές μεταξύ λεπτών στρωμάτων των προαναφερθέντων σχηματισμών. Το περιεχόμενο σε άμμο και χαλίκι στα ιζήματα της λεκάνης ποικίλει ανάλογα με το βάθος και την κατανομή. Η στρωματοποίηση υποδεικνύει ότι το κέντρο της ιζηματοποίησης των αδρομερών κλαστικών ιζημάτων εντοπίζεται κοντά στον ποταμό Ευρώτα κατά την εισαγωγή του στην κατώτερη λεκάνη στο γεωγραφικό πλάτος της Σκάλας. Εκεί υπάρχουν εκτεταμένα στρώματα που τοπικά φθάνουν σε πάχος μεγαλύτερο από 100m. Αυτά τα στρώματα από γεωηλεκρική άποψη μπορούν να θεωρηθούν ως ο ανώτερος υδροφορέας. Όσο αυξάνει η απόσταση ανατολικά και δυτικά από τον ποταμό και νότια από τους πρόποδες του βουνού στην Σκάλα το ποσοστό των αδρόκοκκων υλικών μειώνεται. Ένα ακόμη στρώμα ιζήματος υψηλής αντίστασης εντοπίζεται μεταξύ του Λεήμονα και του Έλους και κατά μήκος της γραμμής Βλαχιώτη –Αστερίου. Αυτό το στρώμα συμβαίνει σε μεγαλύτερα βάθη και υπέρκεινται του στρώματος που καλείται ως 'ανώτερος υδροφορέας', με αποτέλεσμα να μπορεί να αποκαλεστεί ως κατώτερος υδροφορέας. Μεταξύ, αυτών των δυο στρωμάτων υπάρχουν ιζήματα με μάργες και άργιλο.

Κατά το νεογενές ο Παλαιο-Ευρώτας ποταμός έκοψε τους καρστικούς ασβεστόλιθους και πλήρωσε την περιοχή (πεδιάδα της Σκάλας) με άμμο και χαλίκι. Τα αδρόκοκκα στρώματα ιζήματος του Παλαιο-Ευρώτα αποτελούν τους σημερινούς 'νεογενείς' υδροφορείς στην πεδιάδα της Σκάλας.

Τα αλλουβιακά εδάφη είναι ευρέως εξαπλωμένα στην πεδιάδα της Σκάλας. Συνίστανται κυρίως από μάργες που προέρχονται από τα νεογενή στρώματα των λόφων γύρω από την πεδιάδα. Στην νοτιοδυτική γωνία της Σκάλας (νοτιοδυτική περιοχή Τρινάσσου), εντοπίζονται βαριά μαύρα εδάφη από θαλάσσια λάσπη. Στις πλαγιές στα ανατολικά και δυτικά της πεδιάδας της Σκάλας έχει σχηματιστεί ένας διαφορετικός τύπος εδάφους εξ' αιτίας των παλαιοζωικών και μεσοζωικών πετρωμάτων των αντίστοιχων βουνών. Έτσι αυτά τα εδάφη είναι περισσότερο αμμώδη. Οι αμμοθίνες εντοπίζονται μόνο στην ακτογραμμή και κινούνται αργά προς την ενδοχώρα, καθώς δεν παρουσιάζουν φυτοκοινωνίες στην έκτασή τους (Ανδριανάκη Μ., 2007; Νικολαΐδης κ.ά., 2006; Αντωνάκος Α.,1997).

4.4. Υδρογεωλογικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα με έκταση 2.420 Km^2 και μέσο υψόμετρο περίπου 0 – 500 m, εκτείνεται ανάμεσα στα βουνά του Ταΰγετου δυτικά και του Πάρνωνα ανατολικά, τα Αρκαδικά βουνά βόρεια και τον Λακωνικό Κόλπο νότια. Το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζει συνολικό μήκος περίπου 82 km. Στον ποταμό συμβάλλουν μια σειρά από παραποτάμους και χείμαρρους, εφήμερου κυρίως χαρακτήρα, ενώ τροφοδοτείται και από μία σειρά πηγών διαλείπουσας ή σταθερής παροχής, πολλές από τις οποίες βρίσκονται κατά μήκος της κοίτης του. Οι πηγές τροφοδοτούνται από διάφορα καρστικά συστήματα (Σκορτσίνου-Δυρραχίου, κεντρικού Ταϋγέτου, κεντρικού Πάρνωνα κλπ.). Από τις

σταθερής παροχής πηγές, σημαντικότερες είναι αυτές του Σκορτσίνου (Αρκαδία), του Βιβαρίου (στην κοιλάδα της Σελλασίας) και αυτές της Κονιδίτσας (κοντά στο ομώνυμο χωριό). Χαρακτηριστικό του Ευρώτα είναι η ύπαρξη τμημάτων κατά μήκος του, που στερεύουν το καλοκαίρι, λόγω της υπεράντλησης του νερού των πηγών και του υπογείου νερού που τον τροφοδοτούν για αρδευτικούς λόγους (Ανδριανάκη Μ., 2007).

4.4.1. Επιφανειακά υδρολογικά συστήματα

Το υδρολογικό σύστημα του Ευρώτα, το οποίο αποστραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα του ανατολικού Ταΰγετου και του δυτικού Πάρνωνα. Ο ποταμός Ευρώτας πηγάζει από την νοτιο-ανατολική περιοχή του οροπεδίου της Μεγαλόπολης του Ν. Αρκαδίας, διασχίζει τους νομούς Αρκαδίας και Λακωνίας από Βορρά προς Νότο και εκβάλει στο Λακωνικό κόλπο. Ο Ευρώτας ακολουθεί την τάφρο της Τριπόλεως και μέσω χαραδρώσεων και ελιγμών εισέρχεται στην πεδιάδα της Σπάρτης, για να καταλήξει στο ύψος του Πυρί Λευκοχώματος σε ασβεστολιθικούς όγκους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο Ευρώτας να χάνεται στους ασβεστολιθικούς όγκους (υδροπερατό πέτρωμα) και να εμφανίζεται πάλι στην περιοχή της Σκάλας, για να εκβάλλει στο Λακωνικό κόλπο (Μαυρομιχάλης Α., 1993). Με εξαίρεση το τμήμα μεταξύ Φούσσιας και Μύλου, μέχρι την γέφυρα της Σκάλας, ο Ευρώτας παραμένει μέσα στον καρστικό ασβεστολιθικό όγκο, ενώ, μεταξύ Φούσσιας και Μύλου, διέρχεται μέσα από νέα διαπερατά ιζήματα που υπέρκεινται των ασβεστόλιθων. Από το Φιλίσσι μέχρι την γέφυρα της Σκάλας, το ίζημα του ποταμού αποτελείται από χαλίκι και άμμο πάχους περίπου 40 m, που υπέρκεινται άμεσα των ασβεστόλιθων. Αξίζει να σημειωθεί ακόμη, ότι κατά μήκος του καρστικού όγκου, που διαρρέει ο Ευρώτας από την γέφυρα του Βρονταμά έως και (μερικά εκατοντάδες μέτρα μετά) τη γέφυρα της Σκάλας, ανάλογα με το υδραυλικό ισοζύγιο, μπορεί να συμβεί διήθηση προς τους ασβεστολίθους ή επαναδιήθηση από το καρστ στο ποτάμι. Ο εν λόγω καρστικός υπόγειος ταμιευτήρας συνδέεται μερικώς με τους ιζηματογενείς, αρτεσιανούς υδροφόρους των περιοχών Έλους και Τρινάσσου.

Στη συνέχεια, ο ποταμός Ευρώτας από την περιοχή της Σκάλας και μετά (με νότια κατεύθυνση) εισέρχεται στην δελταϊκή του περιοχή, στην οποία δεν υπάρχουν υπολεκάνες, οι οποίες να τροφοδοτούν απευθείας την κύρια κοίτη του. Το δελταϊκό σύστημα του Ευρώτα περιλαμβάνει την κύρια κοίτη του ποταμού, αλλά και τη συμβολή υπολεκανών από το νότιο Πάρνωνα και το ανατολικό περιθώριο του δέλτα (που καταλήγουν στην περιοχή Έλος) και το δυτικό περιθώριο του δέλτα (που συμβάλουν στην τάφρο Ω). Ο Ευρώτας έχει αποστραγγιστικό ρόλο για τις παράπλευρες περιοχές του Έλους και του Τρινάσσου. Έπειτα από μερικά εκατοντάδες μέτρα μετά την γέφυρα της Σκάλας δεν σημειώνονται αξιοσημείωτες βαθιές κατεισδύσεις καθώς υπάρχουν αδιαπέρατα στρώματα που διαχωρίζουν το βαθύτερο αρτεσιανό υδροφορέα από τον ανώτερο ελεύθερο υδροφορέα.

Τέλος, στην περιοχή εμφανίζονται υδρολογικά συστήματα που απορρέουν απευθείας στον Λακωνικό Κόλπο, από τον Μακρύγιαλο μέχρι τον όρμο Ελαίας στα ανατολικά, και από την Τρίνη μέχρι τον όρμο του Στομίου δυτικά .

Οι σημαντικότεροι παραπόταμοι και χείμαρροι είναι:

Κελεφίνα ή Οινούς ποταμός. Ο σημαντικότερος παραπόταμος του Ευρώτα από την πλευρά του Πάρνωνα. Παλαιά είχε ροή όλο το χρόνο, αλλά τώρα διατηρεί νερό μόνο το τελευταίο τμήμα του. Σε περιόδους ξηρασίας στερεύει σε όλο το μήκος του.

Μαριόρεμα. Συναντά τον Ευρώτα στο κατώτερο τμήμα του από τη πλευρά του Πάρνωνα και δίνει μόνο πλημμυρικές παροχές.

Γερακάρης, Κάκαρης, Ρασίνα. Διατηρούν ροή στα ψηλότερα τμήματά τους, αλλά λόγω αρδεύσεων το νερό δεν φθάνει στον Ευρώτα.

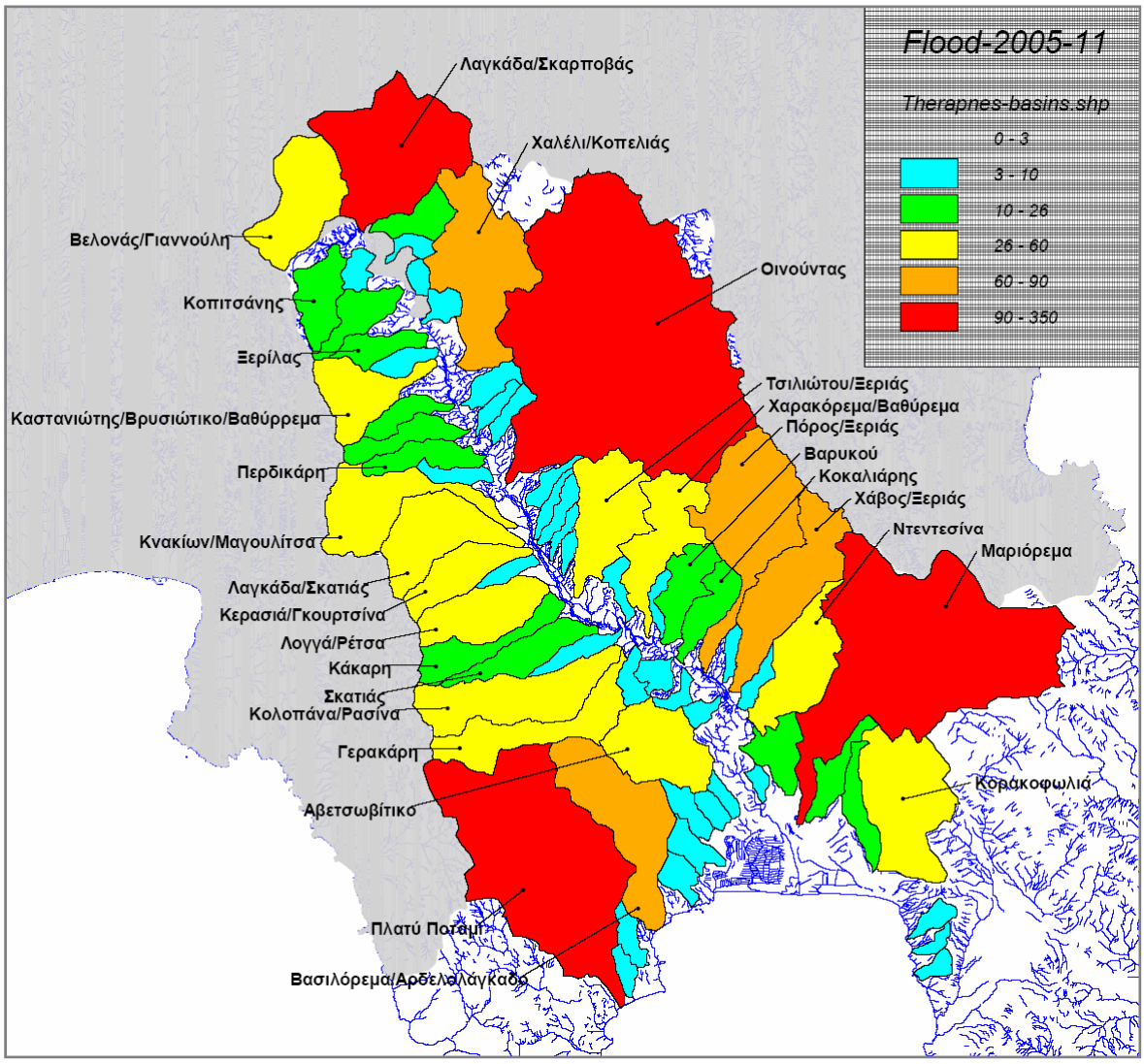
Ξεριάς. Ήταν κάποτε σημαντικός παραπόταμος με έντονη υπόγεια υδροφορία. Από την περιοχή αυτή υδρεύεται η Σπάρτη.

Μαγουλίτσα. Μικρό σε μήκος, αλλά σημαντικό από πλευράς παροχής ρέμα, που κινείται παράλληλα στο δρόμο Σπάρτης - Καλαμάτας. Τροφοδοτείται από σημαντικές πηγές, όπως αυτή της Τρύπης. Λόγω δέσμευσης νερού για την άρδευση και ύδρευση της Σπάρτης, το νερό δεν φθάνει στον Ευρώτα.

Ποταμός Βασιλοπόταμος (σήμερα ονομάζεται τάφρος Ω). Το όνομα Βασιλοπόταμος δίνεται σε τρία διαφορετικά υδάτινα συστήματα που διαρρέουν το κατώτερο άκρο της Λακωνικής πεδιάδας, μεταξύ Γυθείου και εκβολών Ευρώτα. Μόνο το ένα από αυτά (αυτό που εκβάλλει βόρεια του Γυθείου) έχει τα χαρακτηριστικά ποταμού. Η ροή του νερού κατά τη καλοκαιρινή περίοδο είναι ασθενής και υπάρχει παρουσία φυτικής βλάστησης.

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής του Ευρώτα οι κυριότεροι παραπόταμοι είναι ο ποταμός **Κάστωρ** και το **Βαθύρρεμα** ή διαφορετικά Βρυσσιώτικο ρέμα το οποίο διατηρεί ροή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Από επιτόπιες παρατηρήσεις στην περιοχή έχει επίσης διαπιστωθεί ότι στην περιοχή αυτή κάποια τμήματα του Ευρώτα δε διατηρούν ροή κατά τους ξηρούς μήνες.

Σημαντικά ρέματα στο νοτιότερο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι ο ποταμός **Σμύνους** ή Βαρδούνιας και το **Μαριόρεμα**. Το Μαριόρεμα συναντά τον Ευρώτα κοντά στις εκβολές του Ευρώτα νότια του Πάρνωνα. Έχει μόνο πλημμυρικές παροχές. Το 2005 μάλιστα πλημμύρισε προκαλώντας μεγάλες καταστροφές. Ο ποταμός Βαρδούνιας πηγάζει από το νότιο τμήμα του Ταϋγετου, κοντά στην Αγ. Μαρίνα, και εκβάλλει στη θάλασσα νότια του Γυθείου, κοντά στο χωριό Κάμπος. Τα πρώτα 5-6 χιλιόμετρα διατηρούν νερό όλο το χρόνο (Νικολαΐδης Ν. *κ.α.*, 2006). Στο Χάρτη 4-5 παρουσιάζονται οι υπολεκάνες των επιφανειακών κυριότερων παραποτάμων και χειμάρρων.



Χάρτης 4-5.: Γεωγραφική κατανομή των υπολεκανών του Ευρώτα και των λεκανών της δελταϊκής περιοχής με βάση την έκαστη σε Km^2 (ΕΚΠΑ, 2007)

Στη λεκάνη του Ευρώτα έχουν κατασκευαστεί αποστραγγιστικές τάφροι στην περιοχή μεταξύ Γυθείου και εκβολών Ευρώτα. Οι τάφροι αυτοί δεν επικοινωνούν με τον Ευρώτα, αλλά τα νερά τους συγκεντρώνονται σε αντλιοστάσιο στη Τρίνισα και διοχετεύονται στη θάλασσα. Η πλησιέστερη προς τον Ευρώτα τάφρος (Τάφρος Ω-Βασιλοπόταμος), δέχεται νερά από τις πηγές της Σκάλας, από τις οποίες τροφοδοτείται και το κατώτερο τμήμα του Ευρώτα.

Συνεπώς, η τάφρος Ω διατηρεί επικοινωνία με τον Ευρώτα. Η τάφρος έχει αρκετό βάθος (σε ορισμένα σημεία μεγαλύτερο από τρία μέτρα) και πλούσια υδροχαρή βλάστηση. Έχει νερό όλο το χρόνο, αλλά σε ορισμένες περιόδους το νερό είναι στάσιμο. Η δεύτερη τάφρος βρίσκεται κοντά στο Σούλιο (τάφρος Π), η οποία επίσης διατηρεί αρκετό νερό με μικρότερη, όμως, ροή. Τα νερά απομακρύνονται προς τη θάλασσα μέσω αντλιοστασίου, υπάρχει όμως και απ' ευθείας επικοινωνία με τη θάλασσα (Ανδριανάκη Μ., 2007; Νικολαΐδης κ.ά., 2006). Στις Εικόνες 4-2 φαίνονται το αντλισοτάσιο στην Τρίνισα και μιας αποστραγγιστικής τάφρου στη Σκάλα.



Αντλιοστάσιο



Αποστραγγιστικό

Εικόνες 4-2: Αντλιοστάσιο στην Τρίνισα και αποστραγγιστικό στη Σκάλα

4.4.2. Υδροφορίες

Από την λιθοστρωματογραφία των σχηματισμών που περιγράφεται παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή μελέτης απαρτίζεται από πλήθος υδροφορέων, ο καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Παράλληλα, η τεκτονική δομή της περιοχής φέρνει ποικιλοτρόπως σε επαφή τους διάφορους σχηματισμούς με αποτέλεσμα να υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους.

Σε γενικές γραμμές, διακρίνονται τρεις τύποι υδροφορέων στην ευρύτερη περιοχή, όσον αφορά την φύση του υδροφορέα:

- Καρστικοί υδροφορείς.
- Κοκκώδεις, φρεάτιοι ή μερικώς υπό πίεση υδροφορείς που αναπτύσσονται στα ιζήματα των λεκανών και στον αποσαθρωμένο μανδύα κλαστικών πετρωμάτων.
- Υδροφόροι που αναπτύσσονται σε μέσο ασυνεχειών, μέσα στο δευτερογενές πορώδες (σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα λόγω τεκτονισμού, που υπό άλλες συνθήκες θεωρούνται αδιαπέρατα, π.χ. χαλαζίτες).

Κοιλάδα της Σπάρτης. Η κοιλάδα της Σπάρτης χαρακτηρίζεται από μια σειρά επάλληλων, ελεύθερων-ημιαρτεσιανών και αρτεσιανών υδροφορέων στις αποθέσεις του ολοκαίνου και πλειστοκαίνου, καθώς και από την ύπαρξη του καρστικού υδροφορέα στους ασβεστόλιθους και δολομίτες στα δυτικά της περιοχής. Ο ελεύθερος υδροφορέας παρουσιάζεται ενιαίος και μεταπίπτει σε ημιεγκλωβισμένο στο κέντρο της κοιλάδας με πάχος 5-15 m και ακόρεστη ζώνη 2-13 m σε όλη την περιοχή. Ακόμη, φαίνεται να έχει μια θετική υδραυλική σε σχέση με τον Ευρώτα στα κεντρικά και νότια της περιοχής ενώ η σχέση αυτή δε διακρίνεται στα βόρεια της περιοχής. Επίσης, διαφαίνεται μια σχέση τροφοδοσίας με τα παραπλήσια καρστικά υδροφόρα συστήματα. Η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου κυμαίνεται από

$1*10^{-4}$ έως και $6*10^{-4}$ m/sec. Η γεωγραφική κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας φανερώνει μια περιοχή υψηλών τιμών κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Ξεριάς καθώς επίσης και μια ζώνη υψηλών τιμών κατά μήκος της κοίτης του Ευρώτα.

Πεδιάδα της Σκάλας. Στην περιοχή του κάτω ρου του Ευρώτα νότια της περιοχής της Σκάλας υπάρχει ελεύθερος υδροφορέας, ο οποίος διαχωρίζεται από τον αρτεσιανό από αδιαπέραστα στρώματα (μάργες ή ιλυώδης μάργες). Η τροφοδοσία του υδροφορέα προέρχεται από την διήθηση των βροχοπτώσεων, από την ροή του υπογείου νερού από τα ανάντη και από τους κατώτερους αρτεσιανούς υδροφορείς (καρστικοί και αδρομερείς ιζηματογενείς), με πολύ μικρό όμως ρυθμό, λόγω των αδιαπέρατων στρωμάτων μεγάλου πάχους που τους χωρίζει. Ο υδροφορέας αποτελείται από μαργαϊκά στρώματα τα οποία είναι αναμεμιγμένα με άμμο και νεκρά κελύφη. Μόνο στα νότια της πεδιάδας της Σκάλας εντοπίζονται στρώματα λεπτόκοκκης άμμου πάχους μέχρι και 30-40 m. Λόγω του μικρού πάχους του, και του χαμηλού πορώδους που εμφανίζει, ο εν λόγω υδροφορέας δεν έχει τόσο μεγάλα αποθέματα νερού. Ακόμη, η μεταβιβασιμότητα Τ, όπως επίσης και η αποθηκευτική ικανότητα είναι τόσο μικρή που δεν είναι δυνατή η μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευσή του.

Από την άλλη πλευρά ο αρτεσιανός υδροφορέας του κάτω ρου του Ευρώτα τροφοδοτείται από περιοχές βόρεια και βορειοανατολικά της Σκάλας και ίσως από πιο βόρειες περιοχές της λεκάνης απορροής. Είναι σίγουρο ότι περιοχές σημαντικής διήθησης εντοπίζονται ανατολικά και βορειοανατολικά του Βρονταμά, όπως επίσης και βορειοανατολικά του χωριού Αγ. Ανδρέας. Σε αυτές τις περιοχές, μάλιστα, ένα αξιοσημείωτο τμήμα της επιφάνειας αποτελείται από καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους της ζώνης Τρίπολης, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η γρήγορη βαθιά διήθηση των βροχοπτώσεων. Μεταξύ των περιοχών Αγ. Ανδρέας και Γεράκι υπάρχει μια επίπεδη μορφολογικά λεκάνη με βόρεια κατεύθυνση. Η λεκάνη είναι πληρωμένη με πολύ αδρόκκοκα ιζήματα που υπέρκεινται των νεογενών και του καρστ. Έτσι, σύμφωνα με την γεωλογική στρωματογραφία που παρουσιάζει η περιοχή το διηθημένο νερό της λεκάνης του άνω ρου του Ευρώτα δεν έχει άλλη δυνατότητα από το να τροφοδοτήσει τους αρτεσιανούς υδροφορείς του κάτω ρου και να καταλήξει στον Λακωνικό Κόλπο (τροφοδοτεί ακόμη της πηγές της Σκάλας). Βόρεια του Μύλου, ανατολικά του Ευρώτα, εμφανίζεται μια περιοχή με νεογενή ιζήματα με μικρότερους ρυθμούς στράγγισης. Η περιοχή του μεγάλου καρστικού όγκου βόρεια της Σκάλας αποτελεί υδρογεωλογική περιοχή της λεκάνης του κάτω ρου του Ευρώτα και εμφανίζει υψηλή και άμεση διήθηση στον καρστικό υδροφορέα.

Πηγές

Οι καρστικοί υδροφορείς και οι καρστικές πηγές παίζουν σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογία και υδρολογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα. Με τον όρο καρστ, εννοούμε μία περιοχή, με χαρακτηριστική υδραυλική συμπεριφορά και γεωμορφές, η οποία προέκυψε από τον συνδυασμό της μεγάλης διαλυτότητας των

πετρωμάτων και του πολύ καλά εξελιγμένου δευτερογενούς πορώδους. Το πορώδες των καρστικών σχηματισμών δίνει τη δυνατότητα στο καρστ να αποθηκεύει σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού όπου το επιτρέπει το πάχος των πετρωμάτων (φυσική στρωματοποίηση) ή τεκτονικά αίτια. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται πάντα με την παρουσία ορισμένων πετρωμάτων, τα οποία οφείλουν να είναι ευδιάλυτα και η διάλυσή τους να αφήνει ελάχιστο υπόλειμμα ώστε τα διάκενα να διευρύνονται και να παραμένουν ανοιχτά για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσα σε αυτά. Στην περιοχή μελέτης, καθώς και σε ολόκληρη την Ελλάδα, η καρστικοποίηση συνδέεται σχεδόν αποκλειστικά με τους ανθρακικούς σχηματισμούς, καθώς τα συγκεκριμένα πετρώματα παρουσιάζουν πολύ μεγάλη εξάπλωση (καλύπτουν σχεδόν το 33% του ελλαδικού χώρου). Καρστικοί σχηματισμοί μπορούν να βρεθούν οπουδήποτε και ιδιαίτερα κατά μήκος τεκτονικών δομών και ρηγμάτων.

Σε όλες τις γεωλογικές ενότητες που εμφανίζονται στην ορεινή περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζονται τμήματα ανθρακικών πετρωμάτων τα οποία είναι έντονα καρστικοποιημένα. Οι υδροφορείς των σχηματισμών αυτών παρουσιάζουν μεγάλη δυναμικότητα. Επίσης όταν ένας καρστικός σχηματισμός έρθει σε επαφή με σχηματισμούς μικρότερης διαπερατότητας, όπως συμβαίνει κατά κόρον στους πρόποδες του Ταΰγετου, δημιουργεί τη συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας νερού στον καρστικό σχηματισμό. Όταν το νερό αυτό φτάνει στην επιφάνεια, δημιουργείται μια ρηξιγενής πηγή υπερπλήρωσης. Τέτοιου είδους πηγές μπορεί να εκφορτίζουν και σε κοκκώδεις υδροφορείς. Ο μηχανισμός που περιγράφηκε παραπάνω αποτελεί των μηχανισμό λειτουργίας των περισσότερων πηγών που απαντώνται στην περιοχή μελέτης. Στον Πίνακα 4-2 δίνονται οι κυριότερες πηγές της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, ο μηχανισμός λειτουργίας τους και άλλα χαρακτηριστικά.

Μια σημαντική ομάδα πηγών είναι οι πηγές της Σκάλας, οι οποίες συνοψίζονται σε 11 ομάδες πηγών και εντοπίζονται στους πρόποδες του βουνού, στην δυτική πλευρά του χωριού της Σκάλας. Οι πηγές της Σκάλας τροφοδοτούν τον Βασιλοπόταμο (Τάφρος Ω) και οφείλουν την ύπαρξη τους στην επαφή των βορειότερων καρστικών ασβεστόλιθων με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της κοιλάδας κατά μήκος της Δ-Α ρηγματογενούς ζώνης (καρστικές πηγές επαφής-υπερπλήρωσης). Το καρστικό σώμα που εντοπίζεται βορειοδυτικά της Σκάλας, σε μεγάλη έκταση, με βορειοδυτική κατεύθυνση και μεγάλο πάχος, διαπερνάται από τον ποταμό Ευρώτα και αποτελεί έναν σημαντικό ταμιευτήρα υπόγειου νερού. Κατά μήκος του ανατολικού τμήματος της περιοχής της Σκάλας ο καρστικός ασβεστόλιθος υπέρκειται και πάλι του αδιαπέρατου στρώματος Τυρού. Όμως εξαιτίας του πάχους του, το συγκεκριμένο καρστ είναι σε θέση να αποθηκεύσει μόνο μικρές ποσότητες νερού, το οποίο εκφορτίζεται σε κάποιες πηγές κοντά στην Άνω Γλυκόβρυση. Παρόμοιες συνθήκες δημιουργούν και τις πηγές Πανιγίστρα, κάτω από την γέφυρα της Σκάλας, οι οποίες όμως είναι μικρότερης σημασίας. Στο σημείο

αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το εν λόγω καρστικός όγκος τροφοδοτείται, πέρα από τον Ευρώτα, και από τον χείμαρρο Κεφαλάρι, αλλά και από σημαντικές ποσότητες υπόγειας ροής από την ανώτερη λεκάνη. Το υπόγειο νερό που δεν μπορεί να εκφορτιστεί από τις πηγές, τροφοδοτεί τους αρτεσιανούς υδροφορείς της Σκάλας. Ακόμη, κατά μήκος της βόρειας ρηγματογενούς ζώνης, ανατολικά των πηγών, το υπόγειο νερό από το καρστ μπορεί να εισχωρήσει στους 'νεογενείς' ιζηματογενείς (αδρόκοκκο υλικό) αρτεσιανούς υδροφορείς (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Πίνακας 4-2: Οι κυριότερες πηγές που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, οι μηχανισμοί λειτουργίας τους και τα χαρακτηριστικά τους (Νικολαΐδης κ.ά., 2006)

Ονομασία πηγής	**Τοποθεσία**	**Τύπος πηγής**	**Εκτίμηση παροχής (m^3/h)**	**Μέση Παροχή (m^3/h)**	**Ετήσια εκφόρτιση ($x10^6 m^3/h$)**	**Cl^- (mg/l)**	**Χρήση**
Πενταύλοι	Ξηροκάμπιο	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	96			9	Ύδρευση - Άρδευση
Σκάλας	Σκάλα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης		7393	64.76	31	Ύδρευση - Άρδευση
Αγ.Μαρίνα	Άρνα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	475			9	Ύδρευση - Άρδευση
Αγ.Μαμά	Καστόριο	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	133			11	Ύδρευση - Άρδευση
Κρίσα	Φοινίκι	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					
Πελλάνα	Πελλάνα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					Ύδρευση - Άρδευση
Ζορός	Κονιδίτσα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					Ύδρευση - Άρδευση
Στερνάκλες	Γύθειο	Καρστική παράκτια	146			2535	Ανεκμετάλλευτη
Λακωνίς	Γύθειο	Καρστική παράκτια	50			4202	Ανεκμετάλλευτη
Ελαία Μολάων	Ελαία	Καρστική παράκτια	5400			879	Ανεκμετάλλευτη
Βιβαρίου	Σελλασία	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης		3825	33.51	14	Άρδευση
Δημαρά (Κελεφίνα)	Βρέσθενα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	126			18	Ύδρευση - Άρδευση
Τρύπης	Τρύπη	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	>150			9	Ύδρευση - Άρδευση
Παρορείου	Παρόρειο	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	108			7	Ύδρευση - Άρδευση
Σωτήρος	Ανώγεια	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	707			6	Ύδρευση - Άρδευση

4.5. Κλιματολογικά Στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζει ένα τυπικό μεσογειακό τύπο κλίματος με θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες, με μέση ετήσια θερμοκρασία, που φτάνει περίπου τους 16^0C ενώ η θερμοβαθμίδα για την ευρύτερη περιοχή έχει προσδιοριστεί σε -0,51 ^{0}C/100 m (Σταθμοί Βαμβακού, Έλους και Ασωπού).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μια μέση μηνιαία βροχόπτωση της τάξης του 77,63mm και από μια μέση υπερετήσια βροχόπτωση της τάξης του 931,61mm. Το πλείστο των βροχοπτώσεων παρουσιάζεται κατά τους μήνες Οκτώβριο ως και Μάρτιο, με πιο υγρό μήνα το Δεκέμβριο και πιο ξηρό τον Ιούνιο. Αντίστοιχα, η μέση υπερετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornwaite έχει καθοριστεί για την περιοχή σε 668 mm ισοδυνάμου ύψους βροχής.

Η ορεινή περιοχή παρουσιάζει βαρύ χειμώνα, μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου και μεταξύ ημέρας και νύχτας, εμφάνιση παγετών από Οκτώβριο ως Απρίλιο και βροχοπτώσεις κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι βορειανατολικοί και σπανιότερα νοτιοδυτικοί. Χαρακτηριστικά είναι επίσης τα φαινόμενα ομίχλης και παγετού στα πεδινά, κυρίως στη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα.

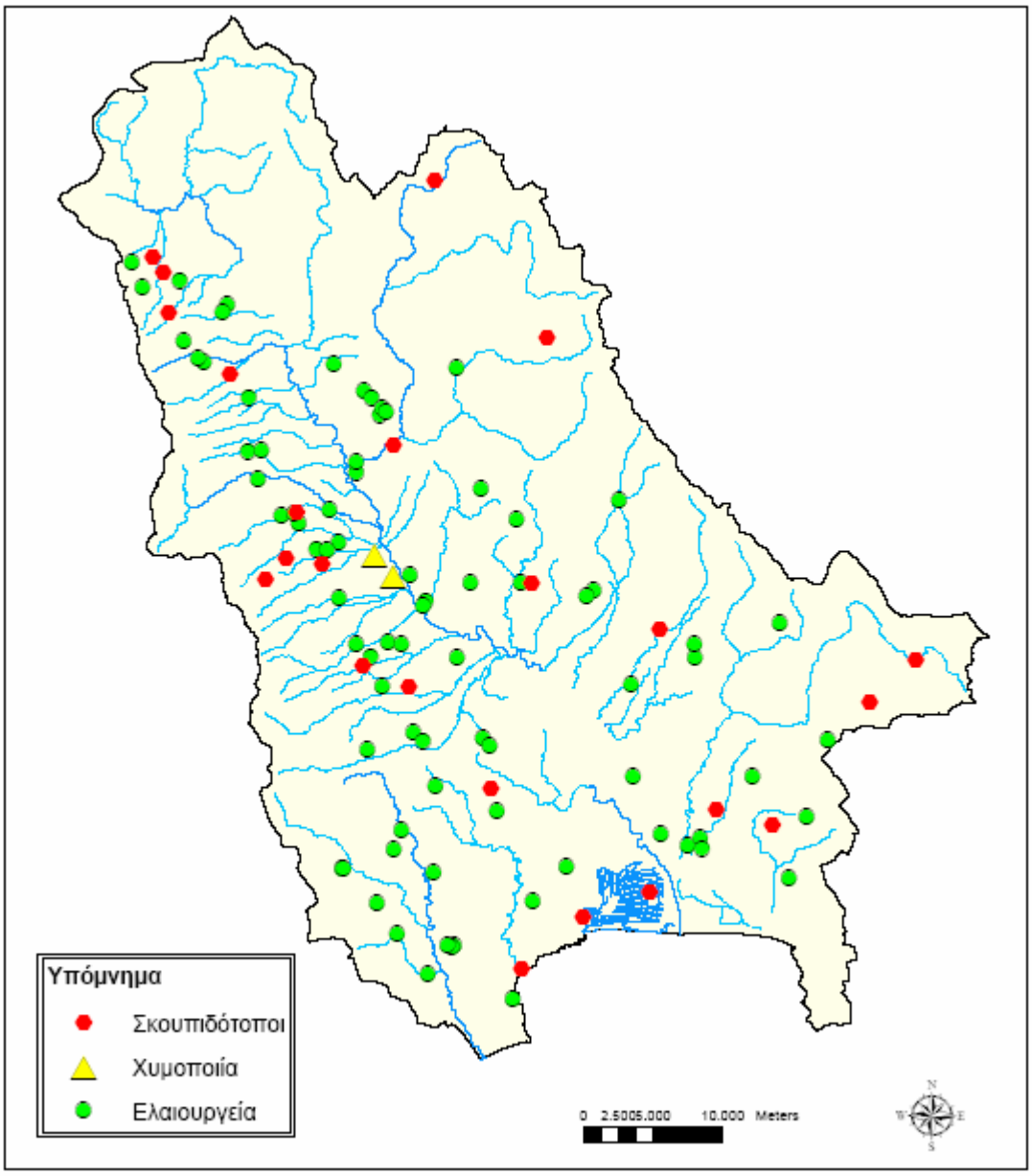
Στην περιοχή, οι μετεωρολογικοί σταθμοί που λειτουργούν και παρέχουν ημερήσια δεδομένα είναι ο σταθμός του Έλους που βρίσκεται σε υψόμετρο 20m, της Ριβιώτισσας σε υψόμετρο 163,5m, του Βρονταμά, σε υψόμετρο 280m, των Περιβολιών (Καστόριο) σε υψόμετρο 490m, της Σελλασίας σε υψόμετρο 590m, του Βασαρά σε υψόμετρο 646m και της Πετρίνας. Οι σταθμοί παρουσιάζουν πολύ καλή ομοιογένεια ενώ βάσει της ανάλυσης των μέσων μηνιαίων τιμών είχαν εντοπισθεί αδυναμίες στα δεδομένα (Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2006).

4.6. Πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι μια περιοχή κυρίως αγροτική, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Οι κύριες πιέσεις στην περιοχή προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και από κάποιες μεταποιητικές μονάδες γεωργικών προϊόντων.

4.6.1. Σημειακές πιέσεις

Οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι πιέσεις από αστικά λύματα και βοθρολύματα και από απόβλητα που προέρχονται από μικρές βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν στην περιοχή και συμπεριλαμβάνουν χυμοποιία, εργοστάσια παραγωγής αλλαντικών και τυριών και ελαιουργεία. Επίσης, σε όλη τη λεκάνη εντοπίζονται σκουπιδότοποι. Στο Χάρτη 4-6 φαίνονται οι θέσεις, των ελαιουργείων, χυμοποιίων και σκουπιδότοπων στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα.



Χάρτης 4-6.: Σημειακές πηγές ρύπανσης (σκουπιδότοποι, χυμοποιία, ελαιουργεία) εντός της λεκάνης

Αστικά λύματα και βοθρολύματα

Σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής λειτουργεί μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η μονάδα αυτή βρίσκεται στο δήμο Σπάρτης και είναι σε λειτουργία από το 1990. Το μεγαλύτερο μέρος του δήμου της Σπάρτης εξυπηρετείται από σύστημα αποχετεύσεως το οποίο καταλήγει στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης, όπου γίνεται βιολογική επεξεργασία. Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Σπάρτης έχει σχεδιαστεί να εξυπηρετεί 40.000 Ισοδύναμους Κατοίκους ώστε να καλύψει τις ανάγκες της επόμενης 30ετίας. Η μέθοδος επεξεργασίας που εφαρμόζεται είναι της ενεργούς ιλύος (παρατεταμένος αερισμός) με πλήρη αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος και με βιολογική αφαίρεση P και απονιτροποίηση. Οι επεξεργασμένες εκροές από τη μονάδα, μετά την απολύμανσή τους με χλωρίωση, διατίθενται στον ποταμό Ευρώτα. Στις Εικόνες 4-3

φαίνονται εγκαταστάσεις στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης. Τώρα η μονάδα εξυπηρετεί 21.300 ι.κ. και λειτουργεί με ημερήσιο οργανικό φορτίο 1152 kg BOD_5 (ΔΕΥΑ Σπάρτης). Σύμφωνα με τη ΔΕΥΑ Σπάρτης οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην εκροή της εγκατάστασης είναι: BOD_5 = 6-14 mg/L, COD = 12-43 mg/L, NH_3-N = 1,5-1,8 mg/L, NO_3^-N = 1,4 – 4,3 mg/L, Ολικό P = 2,6 – 4,2 mg/L.



Εικόνες 4-3: Εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων στη Σπάρτη (Ανδριανάκη Μ., 2007)

Αποχετευτικό δίκτυο διαθέτει επίσης η πόλη του Γυθείου, το οποίο εξυπηρετεί 4878 κατοίκους. Το σύνολο όμως των αποχετεύσεων του δήμου Γυθείου είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο των όμβριων υδάτων και τα λύματα κατευθύνονται στη θάλασσα χωρίς καμιά επεξεργασία. Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατασκευάζεται στον οικισμό του Γερακίου. Η μονάδα αυτή θα ολοκληρωθεί σύντομα και θα εξυπηρετεί 1800 κατοίκους.

Σε ένα μεγάλο μέρος των οικισμών της περιοχής μελέτης, δεν υπάρχουν αποχετευτικά δίκτυα, ούτε υπάρχει προοπτική κατασκευής τους στο μέλλον εξαιτίας του μικρού πληθυσμού τους και του γεγονότος ότι βρίσκονται σε απομονωμένες ορεινές περιοχές. Οι οικισμοί αυτοί εξυπηρετούνται από απορροφητικούς βόθρους, η κατασκευή των οποίων γίνεται συνήθως αυθαίρετα και χωρίς την ύπαρξη σηπτικής δεξαμενής. Τα βοθρολύματα περιέχουν υψηλότερα ποσοστά σε ρυπαντικό φορτίο από ότι τα λύματα από το αποχετευτικό δίκτυο και είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα σε αμμωνία, αιωρούμενα στερεά, μικρόβια και εξαιρετικά δύσοσμα λόγω της σηπτικής τους κατάστασης. Εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλης υποδομής για την υποδοχή των βοθρολυμάτων, η συνήθης πρακτική που ακολουθείται σήμερα είναι η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους στον ποταμό Ευρώτα και σε ρέματα και παραποτάμους του, ακόμα και σε λακκούβες στην επιφάνεια του εδάφους. Η πρακτική αυτή αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης (Μπακάλης Ν. κ.ά., 1993).

Βιομηχανικά απόβλητα

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και τα φορτία που παράγονται από αυτές και επιβαρύνουν την περιοχή.

Χυμοποιίο «Λακωνία» - Το χυμοποιίο «Λακωνία» είναι η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής χυμού πορτοκαλιού στην περιοχή. Το εργοστάσιο βρίσκεται στην περιοχή Αμυκλών, 8 Km νότια της Σπάρτης και μπορεί να επεξεργαστεί έως 160 τόνους πορτοκάλια κάθε 8 ώρες. Ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγονται κατά τη μέγιστη λειτουργία του εργοστασίου είναι 100 m^3/h. Το χυμοποιίο «Λακωνία» διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων όπου ένα μεγάλο μέρος του οργανικού φορτίου και των στερεών απομακρύνεται. Μικρό πρόβλημα δημιουργείται από το χρώμα και τις οσμές που παραμένουν στην εκροή της μονάδας επεξεργασίας των αποβλήτων. Πριν τη δημιουργία της μονάδας επεξεργασίας τα απόβλητα διατίθονταν χωρίς επεξεργασία στο χείμαρρο Μυλοπόταμο που διέρχεται από την περιοχή της Ριβιώτισσας και Περιστερίου και καταλήγει μετά από 1000m στον ποταμό Ευρώτα στη θέση Ζαγάνο. Τα παραγόμενα απόβλητα από την πλύση εσπεριδοειδών, την παραγωγική διαδικασία χυμοποίησης και την πρέσσα του ξηραντηρίου έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: pH = 9,6, BOD_5 =1.140 mg/L, COD = 2.550 mg/L, SS = 2.800mg/L (Μαρκαντωνάτος Π. κ.ά., 1993).

Κατά τη δειγματοληψία του Ιανουάριο 2007, διαπιστώθηκε ότι η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του χυμοποιίου δεν λειτουργούσε. Τμήματα της μονάδας επεξεργασίας φαίνονται στις Εικόνες 4-4.



Εικόνες 4-4: Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων συνεταιριστικού χυμοποιίου

Χυμοποιίο «Παπαδημητρακόπουλος» - Το χυμοποιίο βρίσκεται 3 Km νότια της Σπάρτης και έχει δυνατότητα παραγωγής 15 τόνους/h χυμό πορτοκαλιού. Ο όγκος των υγρών που παράγεται από το χυμοποιίο αυτό είναι 78 m^3/h από τα οποία μόνο τα 2,5 m^3/h περιέχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (Μαρκαντωνάτος Π. κ.ά., 1993). Τα απόβλητα της μονάδας αυτής ρίχνονται, σύμφωνα με μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής και επιτόπιες παρατηρήσεις, χωρίς καμία επεξεργασία σε παραπόταμο

ο οποίος καταλήγει στον ποταμό Ευρώτα, στην περιοχή της Αγίας Κυριακής. Η ρύπανση από τα απόβλητα του χυμοποιίου φαίνεται στις Εικόνες 4-5.



Χωράφι όπου αφήνονται στερεά απόβλητα χυμοποιίου



Παραπόταμος του Ευρώτα στην περιοχή της Αγίας Κυριακής

Εικόνες 4-5: Ρύπανση από απόβλητα χυμοποιίου (Ανδριανάκη Μ., 2007)

Σημειώνεται ότι η λειτουργία των χυμοποιίων είναι εποχιακή και συγκεκριμένα τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο – Φεβρουάριο.

Εργοστάσιο αλλαντικών «ΝΙΚΑS» - Το εργοστάσιο αλλαντικών «ΝΙΚΑS» βρίσκεται 4 km νότια της Σπάρτης και παράγει 900 τόνους το χρόνο αλλαντικά και προϊόντα κρέατος. Τα παραγόμενα απόβλητα είναι της τάξης των 20m^3/d και είναι ιδιαιτέρα επιβαρυμένα σε οργανικό φορτίο, άζωτο, λίπη και έλαια (Μαρκαντωνάτος Π. κ.ά., 1993). Το εργοστάσιο διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Σφαγεία – Στην περιοχή της Σπάρτης λειτουργούν τα σφαγεία Τσικάκης και Γιαννόπουλος. Τα παραπάνω σφαγεία αποτελούνται από δυο μονάδες, που η πρώτη βρίσκεται 15 Km και 10 Km νότια της Σπάρτης. Η πρώτη, που είναι και η παλιότερη, διαθέτει φάρμα με χωρητικότητα 6000 ζώων, ενώ η δεύτερη έχει χωρητικότητα 2000 ζώων. Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούν ένα σύστημα λιμνών σταθεροποίησης, το οποίο αποτελείται από μια αερόβια και μια αναερόβια λίμνη. Οι επεξεργασμένες εκροές διατίθενται για άρδευση αγροτικής γης. Επίσης στην περιοχή του δήμου Νιάτων λειτουργεί μεγάλο σφαγείο υπό την επωνυμία «Γεωργαντώνης». Το σφαγείο αυτό διαθέτει βιολογικό καθαρισμό και για τα υπολείμματα εφαρμόζει υπεδάφια διάθεση (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Βιοτεχνίες επεξεργασίας βρωσίμων ελιών – Στην περιοχή λειτουργούν τρεις μεγάλες βιοτεχνίες επεξεργασίας βρωσίμων ελιών. Η μεγαλύτερη, Μακρυσόπουλος και ΣΙΑ, βρίσκεται στο δήμο Θεράπνων, στην περιοχή της Γκόριτσας, και επεξεργάζεται συνολικά 500 τόνους μαύρων ελιών. Η δεύτερη βρίσκεται επίσης στο δήμο Θεραπνών, στην περιοχή του Κεφαλά, και έχει την επωνυμία Κεφαλάς Σπάρτη ΑΕ. Επεξεργάζεται συνολικά 250 τόνους μαύρων ελιών το χρόνο. Η τρίτη βιοτεχνία βρίσκεται στο δήμο Οινούντος, στην περιοχή της Σελλασίας, και ονομάζεται Οινούντας ΑΕ. Επεξεργάζεται συνολικά 40 τόνους ελιάς. Σύμφωνα με τη Νομαρχία

Λακωνίας, διαθέτουν τα απόβλητά τους σε βόθρους αφού πρώτα ρυθμίσουν το pH τους (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Τυροκομεία – Στην περιοχή του δήμου της Σπάρτης λειτουργούν δυο τυροκομεία, «Καλιακούδης» και «Σγουρίτσας». Έχουν δυναμικότητα 2500 και 1000 τόνους γάλακτος αντίστοιχα, κατά την περίοδο λειτουργίας τους. Διαθέτουν τα απόβλητά τους σε απορροφητικό βόθρο ενώ ένα μέρος τους δίνονται σε κτηνοτροφικές μονάδες. Επίσης άλλα τρία τυροκομεία βρίσκονται στο δήμο Νιάτων (Λάμπρος και Μπατζάκης) και στο δήμο Γερόνθων (Μοίρας). Είναι δυναμικότητας περίπου 1000 τόνων γάλακτος κατά την περίοδο λειτουργίας. Το τυροκομείο Λάμπρος διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα του τυροκομείου συλλέγονται από το δήμο και διατίθενται σε ΧΑΔΑ (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Ελαιουργεία - Η καλλιέργεια της ελιάς είναι μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες στο νομό Λακωνίας και η παραγωγή ελαιόλαδου είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της οικονομίας.

Κατά την κατεργασία του ελαιόκαρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο παράγεται και μία σειρά παραπροϊόντων. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιόκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως λιοζούμι, κατσίγαρος ή μούργα.

Ο κατσίγαρος συνίσταται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιόκαρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του λαδιού στο ελαιουργείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Παράλληλα, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περιπτώσεις που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή ανακυκλοφορία νερών (κλειστούς θαλάσσιους κόλπους, λίμνες κ.τ.λ). Από τα συστατικά που περιέχονται στον κατσίγαρο, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι από τη μία πλευρά προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών και αποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, ενώ από την άλλη είναι υπεύθυνες για τη συντήρηση της ποιότητας του λαδιού στο χρόνο (χαμηλή οξύτητα) ως φυσικό συντηρητικό.

Το υψηλό οργανικό φορτίο του κατσίγαρου σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεση του στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την πρότερη επεξεργασία του. Η τυπική σύνθεση των αποβλήτων ελαιουργείων είναι: BOD_5 = 12.000-20.000 mg/L, COD = 40.000-60.000 mg/L, Ολικά

στερεά = 40.000–50.000 mg/L, Πτητικά στερεά = 30.000–40.000 mg/L, Λίπη-έλαια =10.000–18.000mg/L και pH = 4-5.

Στην ευρύτερη περιοχή του νομού Λακωνίας λειτουργούν 169 ελαιουργεία από τα οποία τα 91 βρίσκονται στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, όπως προκύπτει από στοιχεία της Νομαρχίας Λακωνίας. Τα ελαιουργεία λειτουργούν κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Μαρτίου και η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων ανέρχεται σε 400-650L/tn ελαιόκαρπου. Τα περισσότερα ελαιουργεία της περιοχής, κατόπιν πιέσεως από το τμήμα Υγιεινής της Νομαρχίας, διαθέτουν οριστική άδεια διάθεσης των αποβλήτων σε επιφανειακά υδατορέμματα μετά από σχετική επεξεργασία. Η επεξεργασία περιλαμβάνει εξουδετέρωση των αποβλήτων και χημική κατακρήμνιση με προσθήκη υδρασβέστου και στη συνέχεια καθίζηση για την κατακράτηση της παραγόμενης λάσπης. Τα υπερκείμενα υγρά διατίθενται επιφανειακά σε χείμαρρους ενώ η λάσπη διατίθεται σε παρακείμενους αγρούς. Η παραπάνω επεξεργασία προσφέρει μείωση της οξύτητας των αποβλήτων καθώς και μείωση του οργανικού φορτίου της τάξης του 50% (Μαρκαντωνάτος Π. κ.ά., 1993).

Αρκετά από τα ελαιουργεία διαθέτουν τα απόβλητα τους ανεπεξέργαστα σε ρέματα και χείμαρρους ή και κατευθείαν στον ποταμό Ευρώτα δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του ποταμού, των παρόχθιων περιοχών και του υπόγειου υδροφορέα (Εικόνες 4-6).



Χείμαρρος με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ελαιουργείου



Ρύπανση ιζημάτων του Ευρώτα

Εικόνες 4-6: Ρύπανση από απόβλητα ελαιουργείων (Ανδριανάκη Μ., 2007)

Άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες - Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται επίσης και άλλες βιοτεχνίες, όπως πυρηνελαειουργεία, βιοτεχνίες τυποποίησης ελαιόλαδου, παραγωγής γλυκών κουταλιού, οι οποίες είτε είναι πολύ μικρές είτε δεν υπάρχει για αυτές επαρκής πληροφόρηση. Επίσης λειτουργούν αλλαντοποιεία τα οποία αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης, για τα οποία όμως δεν υπάρχουν στοιχεία. Στην περιοχή της Σπάρτης βρίσκεται το δημοτικό σφαγείο του οποίου όμως τα απόβλητα καταλήγουν στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης.

4.6.2. Μη σημειακές πιέσεις

Στις μη σημειακές πηγές ρύπανσης συμπεριλαμβάνονται όλες οι πιέσεις που προκύπτουν από την επιφανειακή απορροή αστικών και βιομηχανικών περιοχών και δρόμων. Επίσης συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις που προέρχονται από την καλλιέργεια της αγροτικής γης και τη χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών, τη δασοκομία και την κτηνοτροφία.

Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή είναι η ελιά, ακολουθούν τα πορτοκάλια και έπειτα σιτηρά, λαχανικά, αμπέλια κ.τ.λ. Η εντατική καλλιέργεια της γης έχει οδηγήσει στη χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών. Στην περιοχή της Σπάρτης καταναλώνονται σύνθετα και αμμωνιακά λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται στους πορτοκαλεώνες. Στην περιοχή της Σκάλας και του Βλαχιώτη υπάρχουν επίσης καλλιέργειες πορτοκαλιών, λαχανικών και πολλές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων. Στην περιοχή χρησιμοποιούνται επίσης σύνθετα λιπάσματα με ιχνοστοιχεία. Οι καλλιέργειες ελιάς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή καταναλώνουν αμμωνιακά και σύνθετα λιπάσματα.

Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των λιπασμάτων που καταναλώνονται σε μια περιοχή είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Το Υπουργείο Γεωργίας ορίζει τις προτεινόμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια. Δυστυχώς όμως, εξαιτίας της άγνοιας, δε συμμορφώνονται όλοι οι αγρότες με τις ποσότητες αυτές με αποτέλεσμα να γίνεται υπερκατανάλωση λιπασμάτων.

Ο αριθμός των ζώων ελευθέρας βοσκής που βόσκουν στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα, σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους αρμόδιους δήμους είναι 130540 αιγοπρόβατα, 58070 πουλερικά, 1729 βοοειδή και 100 χοιρινά.

Πιέσεις στερεών αποβλήτων

Όλοι οι δήμοι στη περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα παρέχουν ένα οργανωμένο σύστημα συλλογής στερεών απορριμμάτων. Όμως η διαχείριση των στερεών απορριμμάτων μέχρι και πριν από λίγα χρόνια ήταν προβληματική αφού η διάθεση γινόταν κυρίως σε χώρους ανεξέλεγκτης εναπόθεσης απορριμμάτων, όπου τα απορρίμματα μαζεύονταν απλά και περιοδικά σκεπάζονταν με χώμα ή σε ρέματα όπου γινόταν η καύση τους. Οι χώροι όμως αυτοί αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης εξαιτίας της διαφυγής ρύπων με τη βροχή. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια από την πλευρά της τοπικής αυτοδιοίκησης για τη σωστή διαχείριση των στερεών απορριμμάτων. Έτσι στη Σπάρτη λειτουργεί Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων ο οποίος εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή. Επίσης έχουν γίνει μελέτες αποκατάστασης των χώρων ανεξέλεγκτης εναπόθεσης απορριμμάτων, όπως αυτή του χώρου στον Άγιο Νικόλαο και στις Γούρνες του δήμου Θεράπνων (Ανδριανάκη Μ., 2007).

5. Εφαρμογή ΕΦΑ – Μεθοδολογία και Αποτελέσματα

5.1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί έντονο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης, ΕΦΑ, ως τεχνολογία αποκατάστασης ή ως μέρος εφαρμογής στρατηγικών αποκατάστασης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημοσίευση ενός αριθμού κατευθυντηρίων, πρωτόκολλων και συστάσεων σχετικά με την εφαρμογή της. Από όλα τα δημοσιευμένα πρωτόκολλα και κατευθυντήριες είναι σαφές ότι για να θεωρηθεί η ΕΦΑ ως τεχνολογία αποκατάστασης θα πρέπει:

1) να εξασφαλίζει την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος και
2) να είναι αποτελεσματική σε εύλογο χρονικό διάστημα (TNO-Nicole, 1999).

Ο όρος Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από την υπηρεσία περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (US EPA) και αναγνωρίσθηκε ως τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων, στις περιπτώσεις που σαν τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Ο ορισμός που δόθηκε στην ΕΦΑ έχει αλλάξει αρκετές φορές, αφού, με τη πάροδο του χρόνου, η γνώση για την τεχνολογία αυτή αυξάνεται.

Σύμφωνα με την EPA, η τεχνολογία της ΕΦΑ είναι μια τεχνική εξυγίανσης υπογείων εδαφών και υδάτων που βασίζεται στην κατανόηση και ποσοτικοποίηση των φυσικών μηχανισμών που προστατεύουν το περιβάλλον και τους φυσικούς αποδέκτες από τη μη αποδεκτή και επικίνδυνη έκθεσή τους σε ρύπους. Υπό κατάλληλες συνθήκες, φυσικές διεργασίες έχουν την ικανότητα να μετατρέψουν συγκεκριμένους ρύπους που βρίσκονται στο υπόγειο έδαφος και στο νερό, σε προϊόντα τα οποία είναι είτε ακίνδυνα είτε ισχυρά ακινητοποιημένα και δεν αποτελούν πλέον απειλή για τον υδάτινο αποδέκτη.

Η τεχνολογία της ΕΦΑ είναι μια τεχνολογία βασισμένη στη γνώση, στην κατανόηση, στην τεκμηρίωση και στη συνεχή παρακολούθηση των φυσικών μηχανισμών που οδηγούν στη συγκράτηση των ρύπων. Λανθασμένη κατανόηση των μηχανισμών αυτών ή ανεπαρκής παρακολούθηση και έλεγχός τους μπορεί να οδηγήσει σε μη σωστή εφαρμογή της ΕΦΑ (US-EPA, 2001).

Οι μηχανισμοί στους οποίους βασίζεται η φυσική αποκατάσταση περιλαμβάνουν μια ποικιλία φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών οι οποίες, χωρίς ανθρώπινη επέμβαση, ενεργούν και επιφέρουν την ελάττωση της μάζας, του όγκου, της τοξικότητας, της κινητικότητας ή της συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου στο έδαφος και υπόγειο νερό. Οι διεργασίες αυτές είναι: βιοαποδόμηση, διασπορά, διάλυση, ρόφηση, εξάτμιση, ακτινενεργή καταστροφή, χημική ή βιολογική σταθεροποίηση, μετασχηματισμός ή καταστροφή του ρύπου. Τυπικά,

οι διεργασίες της φυσικής αποκατάστασης συμβαίνουν σε όλες τις περιοχές, σε διαφορετικό όμως βαθμό αποτελεσματικότητας, ανάλογα με το είδος και τη συγκέντρωση του ρύπου και τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του νερού. Η φυσική αποκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει με μετατροπή των ρύπων σε λιγότερο τοξική μορφή μέσω διεργασιών όπως βιοαποδόμηση ή αβιοτικές μετατροπές, με μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων και με μείωση της κινητικότητας και διαθεσιμότητας μέσω της προσρόφησης του ρύπου στο έδαφος ή στα ιζήματα.

Όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν, οι διεργασίες της φυσικής αποκατάστασης μπορούν να είναι γρήγορα αποτελεσματικές. Ακολουθώντας τους απαραίτητους ελέγχους, η φυσική αποκατάσταση μπορεί να είναι πλήρως αποτελεσματική για την εξυγίανση κάποιων ρυπασμένων περιοχών, χωρίς τη βοήθεια επιπρόσθετων μέτρων εξυγίανσης. Μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξυγίανσης (US-EPA, 1999).

Όπως κάθε άλλη τεχνική εξυγίανσης, η ΕΦΑ παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή της. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΕΦΑ

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
• Φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία • Παραγωγή λιγότερων αποβλήτων • Μείωση της πιθανότητας μεταφοράς της ρύπανσης σε άλλη τοποθεσία • Μείωση κινδύνου ανθρώπινης έκθεσης στους ρύπους • Δυνατότητα αποκατάστασης ολόκληρης περιοχής ή μέρους αυτής • Εφαρμογή σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξυγίανσης • Χαμηλότερο ολικό κόστος εξυγίανσης	• Απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την πλήρη αποκατάσταση μιας περιοχής συγκριτικά με άλλες δράσεις αποκατάστασης • Απαιτείται λεπτομερής χαρακτηρισμός της περιοχής, που είναι συνήθως περίπλοκος και δαπανηρός • Απαιτείται εντατικό και συνεχές προγράμματα παρακολούθησης της περιοχής

Για την εκτίμηση αν μπορεί ή όχι να εφαρμοσθεί η ΕΦΑ για κάποιο ρύπο αλλά και με ποιο τρόπο, είναι χρήσιμη η δημιουργία πρωτοκόλλων τα οποία θα δίνουν τις κατευθυντήριες γραμμές και τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Στις ΗΠΑ, εξαιτίας της μακροχρόνιας έρευνας πάνω στην ΕΦΑ, υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα για τους ρύπους για τους οποίους έχει εφαρμοσθεί. Η EPA

προτείνει την προσέγγιση, των αποδεικτικών στοιχείων (*lines of evidence*), που συλλογικά παρέχουν μια βάση αξιολόγησης της λειτουργικότητας και αποτελεσματικότητας της ΕΦΑ. Αυτά περιγράφονται ως εξής (US-EPA, 1999):

- Ιστορικά χημικά ή/και βιολογικά δεδομένα ή δεδομένα πεδίου για τους υπό μελέτη ρύπους τα οποία καταδεικνύουν σαφείς και αξιόπιστες ενδείξεις μείωσης της μάζας, της συγκέντρωσης ή/και της τοξικότητας στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης *(Primary line: documented loss of contaminants)*.
- Υδρολογικά, γεωχημικά, βιολογικά ή ορυκτολογικά στοιχεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να δείξουν έμμεσα ότι ορισμένοι τύποι διεργασιών φυσικής συγκράτησης μπορεί να λειτουργούν στην περιοχή και να προσδιορίσουν το ρυθμό με τον οποίο οι διεργασίες αυτές μπορούν να μειώσουν τη συγκέντρωση των ρυπαντών στα επιθυμητά επίπεδα. Συνήθως στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται μοντέλα. Με τη μοντελοποίηση μπορούν να προσομοιωθούν οι μηχανισμοί που οδηγούν στη φυσική συγκράτηση των ρύπων, να υπολογιστούν οι ρυθμοί με τους οποίους λειτουργούν οι μηχανισμοί αυτοί και να αναλυθούν ή να προβλεφθούν πειραματικά αποτελέσματα *(Secondary line: documented NA process).*
- Στοιχεία από το πεδίο ή από εργαστηριακές μελέτες του μικρόκοσμου της περιοχής, οι οποίες έχουν γίνει σε συγκεκριμένο ρυπασμένο έδαφος της περιοχής, τα οποία δείχνουν άμεσα ότι λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες φυσικές διεργασίες οι οποίες έχουν την ικανότητα να διασπούν ή να μειώνουν τον κίνδυνο έκθεσης στους υπό μελέτη ρυπαντές *(Third line: documented microbial activity)*.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τρεις τύποι αποδεικτικών στοιχείων είναι αλληλοσυμπληρούμενοι και δεν αποτελούν στάδια εφαρμογής της ΕΦΑ, απλά προσφέρουν κατευθυντήριες για τον τρόπο συλλογής και αξιοποίησης των απαιτούμενων δεδομένων/εργαλείων προκειμένου να διαμορφωθεί η μεθοδολογία για να γίνει η αξιολόγηση της ΕΦΑ ως τεχνολογία αποκατάστασης. Έτσι, π.χ. η μοντελοποίηση μπορεί να είναι χρήσιμη σε διάφορα στάδια της εφαρμογής της ΕΦΑ. Επίσης, η συλλογή δεδομένων απαιτεί μία σειρά ενεργειών η οποία είναι, στο μεγαλύτερο μέρος, κοινή, είτε πρόκειται για δεδομένα που αφορούν συγκεντρώσεις ρυπαντών στο νερό (primary evidence) είτε σε ρυπασμένο έδαφος (secondary evidence).

Τέλος, για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, απαιτείται πρόγραμμα παρακολούθησης της περιοχής. Το πρόγραμμα παρακολούθησης, συχνά, είναι μέγιστης σημασίας, αφού πάντα υπάρχει η πιθανότητα να αυξηθεί η ρύπανση εξαιτίας μετακίνησης ρύπων ή λόγω άλλων αβεβαιοτήτων. Η συχνότητα

παρακολούθησης πρέπει να είναι επαρκής και να επιτρέπει την ανίχνευση των πιθανών αλλαγών στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η παρακολούθηση πρέπει να εξασφαλίζει τη δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού των διεργασιών αποκατάστασης και πώς αυτοί αλλάζουν με το χρόνο. Το πρόγραμμα παρακολούθησης θα πρέπει να συνεχιστεί, μέχρι να επιτευχθούν πλήρως οι στόχοι εξυγίανσης και να διασφαλισθεί ότι η ρύπανση στην περιοχή δεν αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (US-EPA, 1999). Στον Πίνακα 5-2 παρουσιάζονται τα κυριότερα παραδείγματα εφαρμογής της ΕΦΑ.

Πίνακας 5-2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση παραδειγμάτων εφαρμογής της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης

	Χλωριωμένοι Διαλύτες	**Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες**	**Ανόργανοι ρύποι (κυρίως βαρέα μέταλλα)**
Πηγή	βιομηχανία, καθαρισμός μετάλλων, σύνθεση χημικών.	εγκαταστάσεις αξιοποίησης πετρελαίου και διυλιστήρια	βιομηχανία
Κύρια ανησυχία:	υψηλή τοξικότητα, κινητικότητα και αντοχή.	BTEX: μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, μικρότερη πυκνότητα από το νερό, πολύ πτητικά, οι ατμοί τους μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα. Το πλούμιο ρύπανσης συγκεντρώνεται στην επιφάνεια της κορεσμένης ζώνης και οι ατμοί τους στο τέλος της ακόρεστης ζώνης. MTBE: υψηλή διαλυτότητα στο νερό, χαμηλός ρυθμό βιοαποδόμησής του.	δεν καταστρέφονται, κάποιες μορφές είναι τοξικές, με μεγάλη κινητικότητα και κάποιες όχι.
Μηχανισμοί αποκατάστασης:	μεταβολικές και συν-μεταβολικές αντιδράσεις, αναγωγική αποχλωρίωση.	μικροβιακές αντιδράσεις κυρίως κάτω από αερόβιες συνθήκες.	φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες, οι οποίες συγκρατούν τα βαρέα μέταλλα (προσρόφηση) ή τα μεταρέπουν σε μορφές με μειωμένη κινητικότητα (οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις).
Πρωτόκολλα εφαρμογής ΕΦΑ και επιστημονικές εργασίες:	- US-EPA, 1999a: Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA, corrective action and underground storage tank sites, Office of Solid Waste and Emergency Response, OSWER Directive 9200.4-17P (draft issued December 1997). - US-EPA, 2001: Monitored Natural Attenuation: USEPA Research Program - An EPA Science Advisory Board Review, EPA-SAB-EEC-01-004. - Navy, 1998: Technical Guidelines for evaluating Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons and Chlorinated Solvents in Ground Water at Naval and Marine Corps Facilities. Department of Navy. - NOBIS (Sinke A.J.C., Heimovaara T., and Van Veen J.), 1998 : A decision support system for acceptance of natural attenuation as remediation strategy Gouda: NOBIS (in Dutch). - US EPA, 1998 : Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground water, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC, EPA/600/R-98/128. - AFCEE, 1999: Natural Attenuation of Chlorinated Solvents Performance and Cost Results from Multiple Air Force Demonstration Sites. Technology Demonstration Technical Summary Report, Air Force Centre for Environmental Excellence, Technology Transfer Division - ITRC, 1999: Natural Attenuation of Chlorinated Solvents, in Groundwater: Principles and Practices. Interstate Technology and Regulatory Cooperation, Technical Regulatory Guidelines. - Witta E., Kleckaa M. G., Lutzb J. E., Eib A. T., Grossob R. N. and Chapelle H. F., 2002 : Natural attenuation of chlorinated solvents at Area 6, Dover Air Force Base: groundwater biogeochemistry. Journal of Contaminant Hydrology, Vol.57, pp. 61-80.	- AFCEE, 1995: Technical protocol for implementing intrinsic remediation with long-term monitoring for natural attenuation of fuel contamination dissolved in groundwater. San Antonio (Texas): Air Force Centre for Environmental Excellence Technology Transfer Division Brooks Air Force Base. - ASTM, 1997: Standard guide for remediation of groundwater by natural attenuation at petroleum release sites: ASTM. - US EPA, 1999: Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrcarbons, US-EPA remedial technology fact sheet EPA/600/F-98/021. - Schirmer M., Dahmke A., Dietrich P., Dietze M., Goedeke S., Richnow H., Schirmer K., Weiß H., Teutsch G., 2006: Natural attenuation research at the contaminated megasite Zeitz, Journal of Hydrology, Vol. 328, Issues 3-4, pp. 393-407.	- Palmer C.D. and Pulps R.W., 1994: Natural Attenuation of Hexavalent Chromium in Ground Water and Soils, U.S. Environmental Protection Agency Ground Water Issue, EPA/540/S-94/505. - Hellerich A. L., Panciera A. M., Nikolaidis P. N., Smets F. Barth, Dobbs M. Gregory, 2003: Attenuation of a mixed chromium and chlorinated ethene in estuarine influenced glaciated sediments, Ground Water Monitoring & Renediation 23 no 3, summer 2003, pages 74-84. - Hellerich A. L., Nikolaidis P. N., 2005: Sorption studies of mixed chromium and chlorinated ethenes at the field and laboratory scales, Journal of Environmental Management 75 (2005) 77-88. - Hellerich A. L., Nikolaidis P. N., 2005: Studies of hexavalent chromium in redox variable soils obtained from a sandy to subwetland groundwater environment, Water Research 39 (2005) 2851-2868. - Hellerich A. L., Nikolaidis P. N., Dobbs M. G., 2007: Evaluation of the potential for the natural attenuation of hexavalent chromium within a sub-wetland ground water, Journal of Environmental Management, In Press.
Αποτελέσματα Εφαρμογών:	Παρά το γεγονός ότι η ΕΦΑ προτείνεται για τους χλωριωμένους διαλύτες, εντοπίζεται αβεβαιότητα λόγω της δυσκολίας εξαγωγής αποτελεσμάτων πεδίου που να δίνουν στοιχεία για όλους τους μηχανισμούς. Άλλος παράγοντες που συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα για την εφαρμογή της ΕΦΑ είναι οι ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χλωριωμένων διαλυτών και άλλων χημικών.	Η εφαρμογή της ΕΦΑ για την αποκατάσταση περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες, κυρίως BTEX, έχει γίνει αποδεκτή, σε πολλές περιπτώσεις, σαν η μοναδική τεχνολογία αποκατάστασης της περιοχής. Σε περιπτώσεις, όμως, που στο πλούμιο της ρύπανσης εκτός από BTEX υπάρχουν και άλλες ενώσεις όπως προσθετικά βενζίνης κ.α., η ΕΦΑ μπορεί να μην είναι αποτελεσματική.	Παράδειγμα εφαρμογής της ΕΦΑ για αποκατάσταση περιοχής επιβαρημένης με Cr (Connecticut, ΗΠΑ) αποτελεί η έρευνα των Hellerich και Nikolaidis. Οι κύριοι ρύποι που βρέθηκαν στο πλούμιο ρύπανσης ήταν χλωριωμένο αιθένιο και Cr(VI). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι υπάρχει μείωση των συγκεντρώσεων των ρυπαντών. Από πειράματα των ιδίων φαίνεται ότι φυσική αποκατάσταση στην περιοχή μπορεί να επιτευχθεί για τα επόμενα 25 χρόνια.

5.2. Μεθοδολογία εφαρμογής ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα

Η αξιολόγηση της ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα πραγματοποιείται στο πλαίσιο του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE – ENVIRONMENT – LIFE05NV/GR/000245 EE "Environmental Friendly Technologies for Rural Development" (EnviFriendly). Η εφαρμογή της ΕΦΑ περιλαμβάνει τρία στάδια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Στο πρώτο στάδιο εφαρμογής επιδιώκεται να αποδειχτεί με μετρήσεις πεδίου και με δεδομένα από τη βιβλιογραφία ότι οι ρύποι μειώνονται στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων θα βασισθεί στη διεξαγωγή δειγματοληψιών επιφανειακού και υπογείου νερού σε κατάλληλα επιλεγμένο δίκτυο δειγματοληψίας. Ο συνδυασμός υδρολογίας (πορεία του νερού – hydrologic pathway) και χημείας των ρύπων θα χρησιμοποιηθεί για τις απαιτούμενες ενδείξεις του πεδίου έτσι ώστε να δειχθεί ότι η ισχύς των ρύπων μειώνεται όσο αυτοί απομακρύνονται από την πηγή ρύπανσης.
2. Στο δεύτερο στάδιο εφαρμογής θα δειχθεί ότι οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που μειώνουν την ισχύ των ρύπων στο πεδίο μπορούν να ποσοτικοποιηθούν στο εργαστήριο. Για παράδειγμα, η συγκέντρωση του φωσφόρου στο υπόγειο νερό μπορεί να μειωθεί λόγω της προσρόφησης του στα εδάφη και ιζήματα. Διεργασίες, όπως η προσρόφηση και η βιοαποδόμηση, που συντελούν στη φυσική αποκατάσταση των ρύπων θα μελετηθούν στο εργαστήριο με στόχο τον υπολογισμό της κινητικής της αντίδρασης καθώς και της μέγιστης ικανότητας των ιζημάτων να προσροφήσουν ή να βιοαποδομήσουν τους ρύπους. Οι κινητικές σταθερές αυτών των αντιδράσεων θα χρησιμοποιηθούν στο διαχειριστικό μοντέλο υδρολογίας και χημείας της λεκάνης απορροής.

   Για τη διεξαγωγή των απαραίτητων πειραμάτων θα δημιουργηθεί κατάλληλο δίκτυο δειγματοληψίας εδαφών και ιζημάτων. Κάθε δείγμα θα αναλυθεί ως προς φυσικές και χημικές παραμέτρους όπως πορώδες, υγρασία, κοκκομετρική ανάλυση, pH, Eh, πυκνότητα, CHN ανάλυση, χημική σύσταση εδαφών. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να δειχθεί στο εργαστήριο ότι οι διεργασίες αποκατάστασης υφίστανται, καθώς επίσης και να ποσοτικοποιηθεί η μέγιστη ικανότητα και η ταχύτητα της κάθε αντίδρασης. Με αυτά τα δεδομένα θα διευκρινιστεί αν η φυσική αποκατάσταση είναι εφικτή και ότι δεν πρόκειται να σταματήσει στο μέλλον.
3. Στο τρίτο στάδιο εφαρμογής θα προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας ΕΦΑ. Αυτό θα γίνει με τη χρήση του μοντέλου λεκάνης απορροής HSPF (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

Η συσχέτιση των τριών τύπων αποδεικτικών στοιχείων με τα στάδια μεθοδολογίας που θα εφαρμοσθούν για την αξιολόγηση της ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-1.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε η ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου εφαρμογής της ΕΦΑ για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και η έναρξη του δεύτερου.

Η υλοποίηση του πρώτου σταδίου περιλαμβάνει:

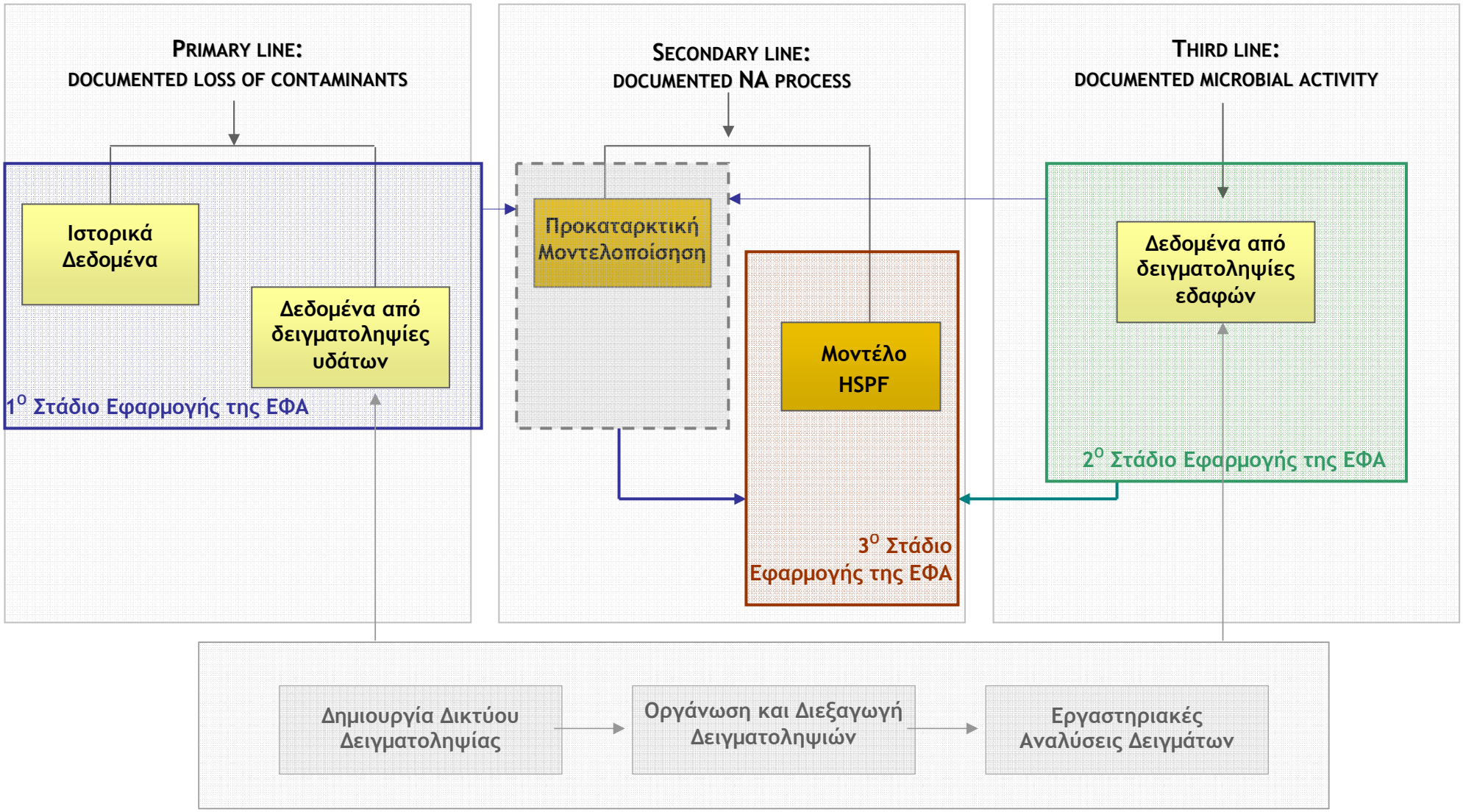
Α) Ανάλυση δεδομένων από τη βιβλιογραφία – ιστορικών δεδομένων.

Β) Ανάλυση δεδομένων πέντε δειγματοληψιών επιφανειακού και υπογείου νερού. Η ανάλυση ήταν το αποτέλεσμα των εξής εργασιών:

Β1) Δημιουργία δικτύου δειγματοληψίας.
Β2) Οργάνωση και διεξαγωγή δειγματοληψιών.
Β3) Διεξαγωγή χημικών αναλύσεων στο εργαστήριο.

Η αξιολόγηση των παραπάνω δεδομένων έδωσε τις αδιαμφισβήτητες ενδείξεις της ύπαρξης μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Για το δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε μία προκαταρκτική δειγματοληψία εδαφών στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα.



Εικόνα 5-1: Στάδια εφαρμογής ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα - Lines of evidence

5.3. Πρώτο στάδιο εφαρμογής ΕΦΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το πρώτο στάδιο εφαρμογής της ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, το οποίο σκοπό έχει να αποδείξει, αρχικά από σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές και στη συνέχεια βάσει μετρήσεων πεδίου, τη μείωση των ρύπων στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης.

Έτσι στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά παρουσιάζονται κάποιες πρώτες ενδείξεις από ιστορικά δεδομένα και στη συνέχεια αναπτύσσεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η ανάλυση των δεδομένων από τις πέντε δειγματοληψίες στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα. Στην ανάλυση συμπεριλαμβάνονται όλες οι προηγηθείσες ενέργειες δηλαδή η δημιουργία δικτύου δειγματοληψίας υδάτων, η οργάνωση και διεξαγωγή των δειγματοληψιών καθώς και τα αποτελέσματα από τη διεξαγωγή των εργαστηριακών αναλύσεων.

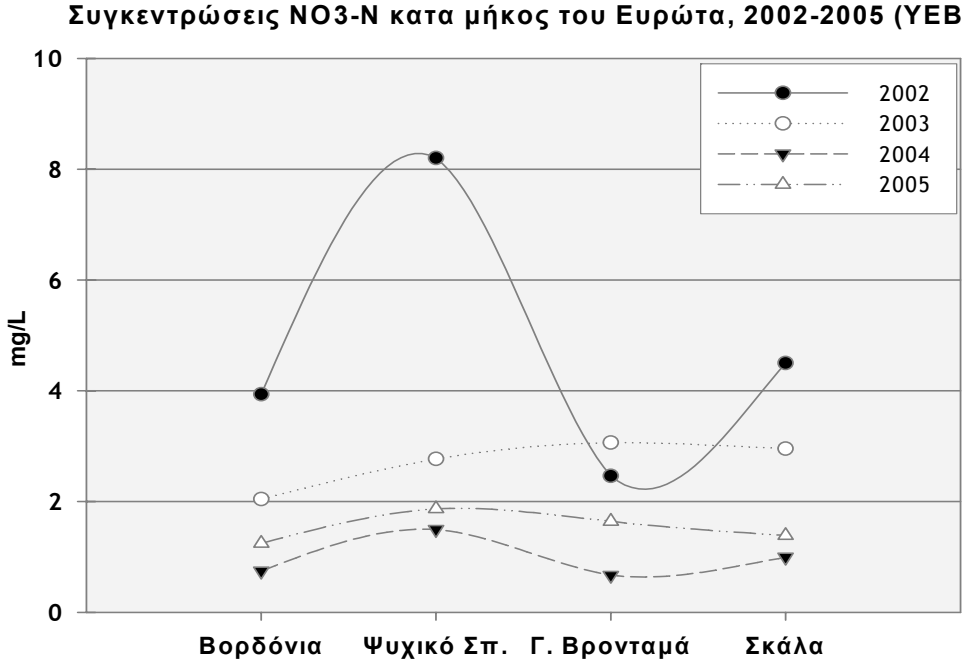
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέρος αυτών των εργασιών είχε πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της Ανδριανάκη Μαρίας με τίτλο «Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη Λεκάνη Απορροής του ποταμού Ευρώτα», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2007. Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι δύο από τις πέντε δειγματοληψίες πεδίου ενώ επεξεργάστηκαν τα δεδομένα και των πέντε δειγματοληψιών. Επίσης, στο ήδη υπάρχον δίκτυο δειγματοληψίας έγιναν ορισμένες προσθήκες, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο.

5.3.1. Αρχικές ενδείξεις ύπαρξης φυσικής αποκατάστασης

Οι αρχικές ενδείξεις ύπαρξης φυσικής αποκατάστασης προέκυψαν από τις εξής πηγές (Ανδριανάκη, 2007):

- Δεδομένα παρακολούθησης του ποταμού Ευρώτα από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λακωνίας για τα έτη 2002-2005.

Όσον αφορά στα δεδομένα παρακολούθησης του ποταμού Ευρώτα από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λακωνίας σήμερα γίνεται συστηματική παρακολούθηση της χημείας του ποταμού Ευρώτα και συγκεκριμένα στα ακόλουθα σημεία: 1) στο στενό Βορδονίας, που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης κοντά στις πηγές του Ευρώτα, 2) στο Ψυχικό Σπάρτης, που βρίσκεται κοντά στη Σπάρτη, 3) στη γέφυρα Λευκοχώματος κοντά στο Βρονταμά και 4) στη Σκάλα. Επίσης, μετρήσεις πραγματοποιούνται στην αποστραγγιστική τάφρο Ωμέγα, στο αποστραγγιστικό αντλιοστάσιο ενώ σπάνια λαμβάνονται δείγματα από γεωτρήσεις της περιοχής. Οι παράμετροι που μετρούνται συμπεριλαμβάνουν φυσικοχημικές και αρδευτικές παραμέτρους, μετρήσεις ιόντων, σκληρότητας και νιτρικών. Από τα στοιχεία για τις συγκεντρώσεις των νιτρικών (NO_3) υπολογίστηκαν οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου (NO_3-N) για τα έτη 2003-2005 που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5-1.

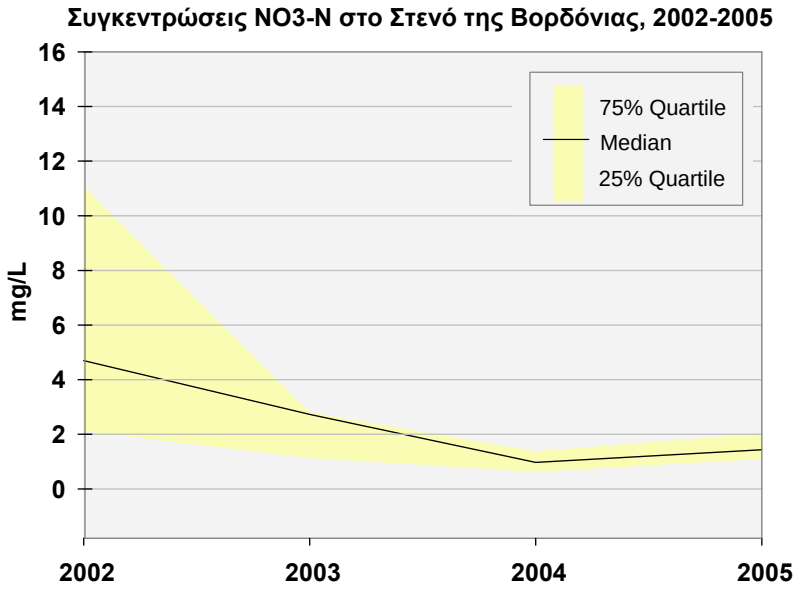


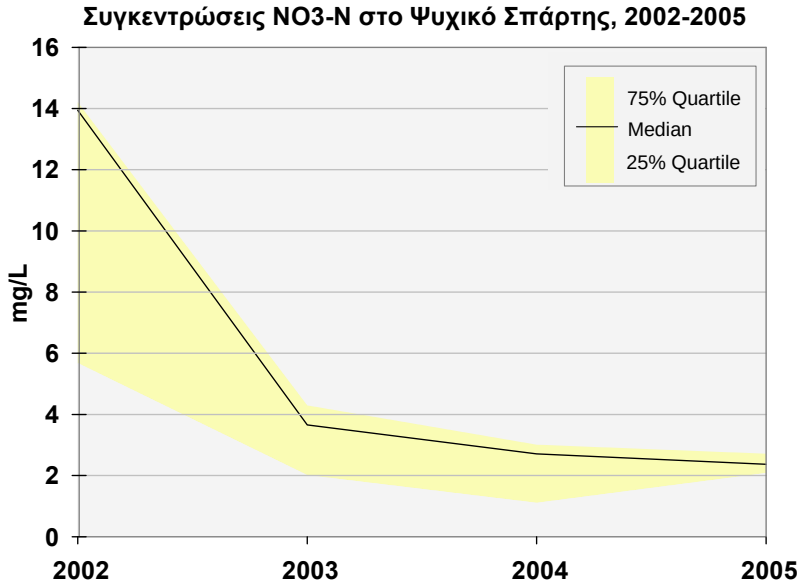
Διάγραμμα 5-1: Μέσο όρο ετησίων συγκεντρώσεων NO_3-N κατά μήκος του Ευρώτα για τα έτη 2003-2005 (στοιχεία ΥΕΒ, Λακωνίας)

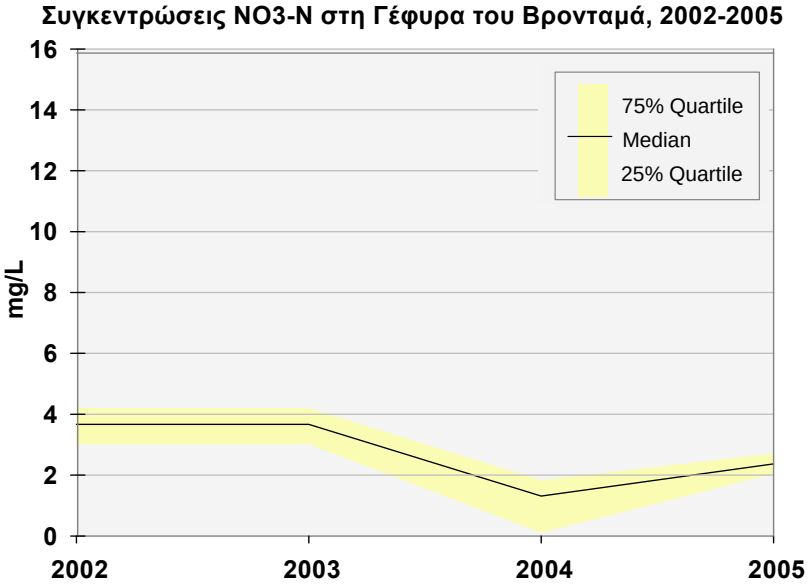
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι στην περιοχή της Βορδόνιας οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου είναι μικρές, γεγονός αναμενόμενο αφού η περιοχή αυτή βρίσκεται στις παρυφές της λεκάνης απορροής, όπου τα φορτία που καταλήγουν στο ποτάμι δεν είναι μεγάλα. Στην περιοχή του Ψυχικού Σπάρτης οι συγκεντρώσεις είναι μεγάλες, αφού στην περιοχή αυτή υπάρχουν μεγάλες πιέσεις.

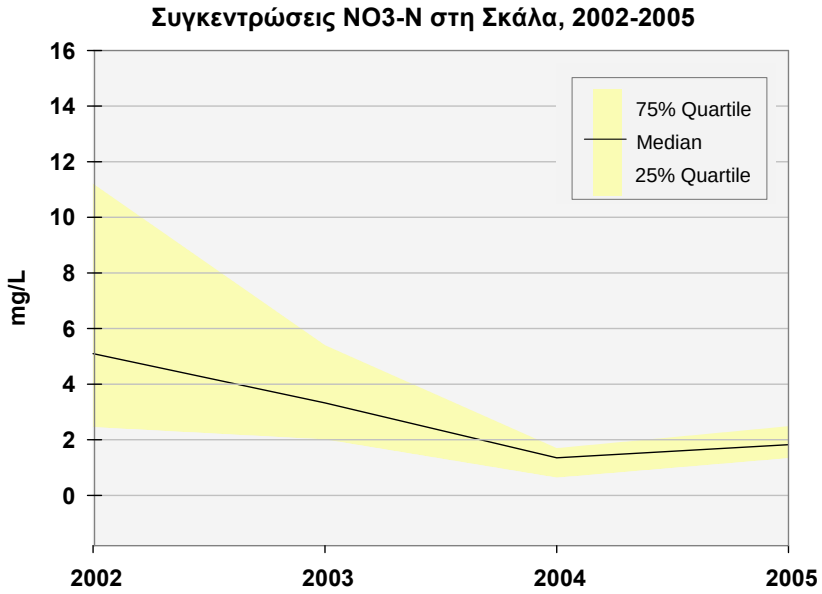
Μεταξύ του Ψυχικού και του Βρονταμά υπάρχουν πολλές καλλιέργειες και οικισμοί. Θα ήταν, λοιπόν, αναμενόμενο η συγκέντρωση του αζώτου να αυξάνεται κατά μήκος του ποταμού. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μείωση, για όλα τα έτη εκτός του 2003, γεγονός το οποίο δείχνει ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι συγκρατούν το άζωτο και αυτό αποτελεί μια πρώτη ένδειξη φυσικής αποκατάστασης στην περιοχή. Μετά τη γέφυρα του Λευκοχώματος, κοντά στο Βρονταμά, ο Ευρώτας χάνεται στους ασβεστολιθικούς όγκους της περιοχής και ξαναεμφανίζεται στις πηγές της Σκάλας. Στην πεδιάδα που βρίσκεται στην περιοχή της Σκάλας, πριν τις εκβολές του Ευρώτα, υπάρχουν πολλές καλλιέργειες και θερμοκήπια με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του αζώτου να παρουσιάζει και πάλι αύξηση μετά το Βρονταμά (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα Διαγράμματα 5-2 από τα οποία παρατηρείται μείωση της μέσης συγκέντρωσης των NO_3-N για τα παραπάνω σημεία τη διετία 2004-2005 σε σχέση με τη διετία 2002-2003. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν την τάση των συγκεντρώσεων των NO_3-N όπως διαμορφώνεται από το γραμμοσκιασμένο εμβαδό μεταξύ του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου, Q_1 και Q_3 αντίστοιχα.









Διαγράμματα 5-2: Τάσεις συγκεντρώσεων NO_3-N κατά μήκος του Ευρώτα για τα έτη 2003-2005 (στοιχεία ΥΕΒ, Λακωνίας)

- Ευρωπαϊκό πρόγραμμα MEDSPA 90, ανάδοχος ΔΕΥΑ Σπάρτης: «Περιβαλλοντική προστασία και ανάπτυξη της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα και των βορείων ακτών του κόλπου της Λακωνίας», 1993.

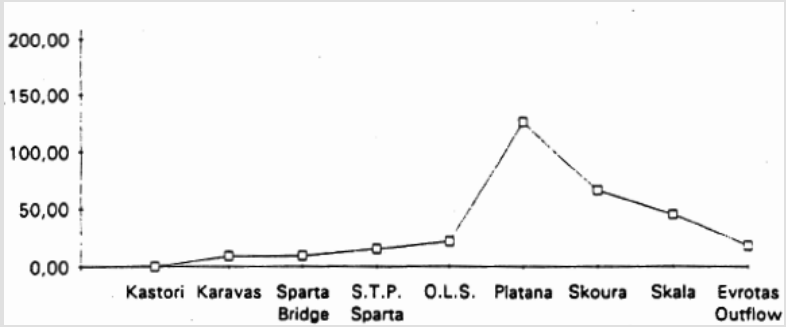
Για τη μελέτη των επιδράσεων της ρύπανσης στην ποιότητα των νερών του ποταμού Ευρώτα, στο πλαίσιο του προγράμματος MEDSPA 90, σχεδιάστηκε ένα δίκτυο παρακολούθησης, με 10 σημεία δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού, από το χωριό Καστόριο, που βρίσκεται βόρεια, μέχρι και τις εκβολές του Ευρώτα. Η περίοδος παρακολούθησης είχε διάρκεια ενός έτους, από τον Αύγουστο του 1991 έως τον Αύγουστο του 1992. Κατά την περίοδο αυτή έγιναν 7 δειγματοληψίες.

Σε κάθε σταθμό μετρήθηκε η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο με φορητό εξοπλισμό. Στο εργαστήριο δείγματα νερού αναλύθηκαν για BOD, COD, TSS, θολερότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θρεπτικά (NH_4-N, NO_3-N, ολικό άζωτο, ολικό φώσφορο) και φυτοπροστατευτικά. Τα φυτοπροστατευτικά μετρήθηκαν επίσης και σε δείγματα ιζημάτων.

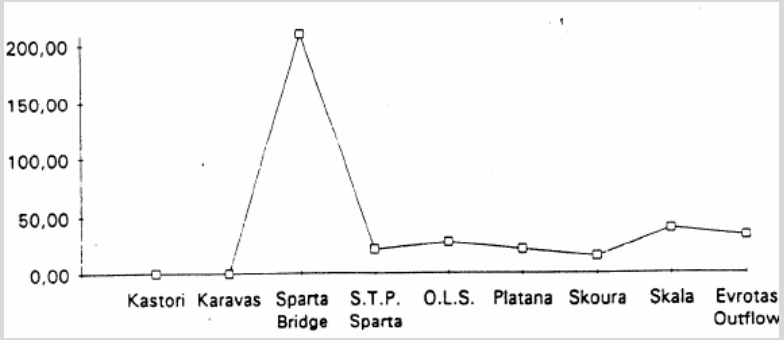
Στα Διαγράμματα 5-3 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το COD, το ολικό άζωτο και τον ολικό φώσφορο για το Φεβρουάριο του 1992 και τον Ιούλιο του 1992. Ο μήνας Φεβρουάριος χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα αφού λειτουργούν τα χυμοποιία και τα ελαιουργεία της περιοχής και είναι η περίοδος που αρχίζει η λίπανση των καλλιεργειών. Επίσης οι βροχοπτώσεις είναι έντονες και συνεπώς οι απορροές από τις γεωργικές και αστικές εκτάσεις είναι μεγάλες. Αποτέλεσμα, λοιπόν, είναι η αύξηση των φορτίων στο ποτάμι καθώς προχωράει από το Καστόριο προς τις πιο επιβαρυμένες περιοχές, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω διαγράμματα. Η αύξηση όμως των φορτίων παρατηρείται μέχρι την περιοχή της Πλατάνας. Από τη Σκούρα και μετά οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών και του COD μειώνονται. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι το ποτάμι έχει ικανότητες αυτοκαθαρισμού, και υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα φυσικής αποκατάστασης.

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αυξημένης ζήτησης του νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, η ροή του ποταμού είναι ιδιαίτερα μειωμένη. Παρ' όλη τη μείωση της ροής παρατηρείται και κατά τον Ιούλιο σημαντική μείωση μέχρι την περιοχή της Σκούρας τόσο των θρεπτικών όσο και του COD. Αυτό αποδεικνύει ότι η δυνατότητα του αυτοκαθαρισμού του ποταμού δε σταματάει κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με τη μείωση της ροής (Ανδριανάκη Μ., 2007; MEDPSA, 1993).

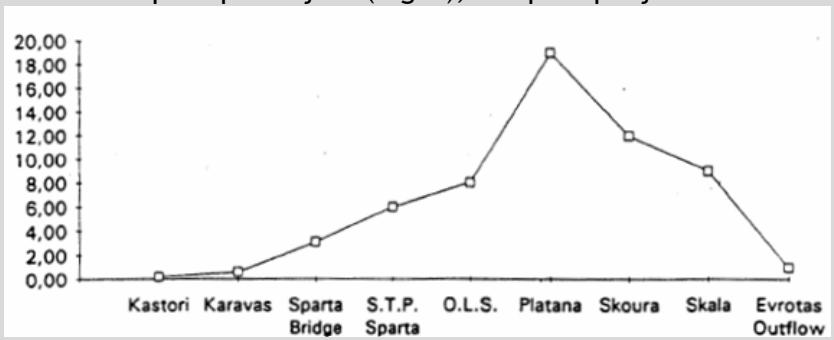
Συγκεντρώσεις COD (mg/L), Φεβρουάριος 1992



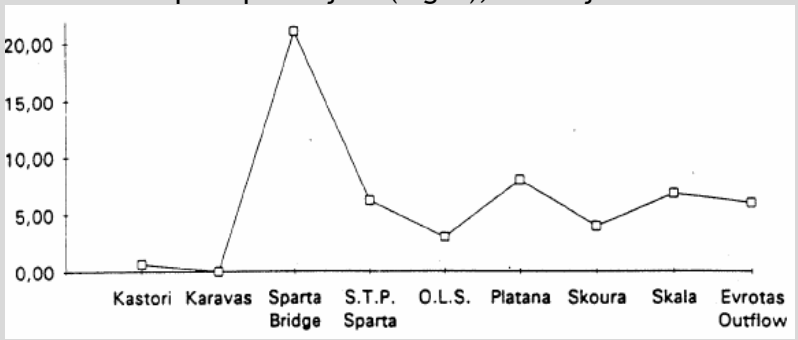
Συγκεντρώσεις COD (mg/L), Ιούλιος 1992



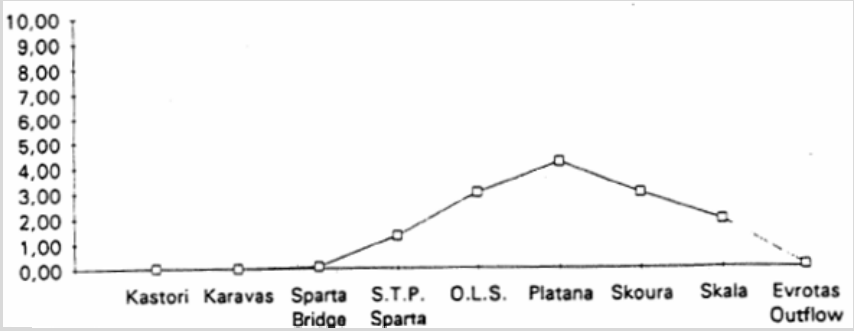
Συγκεντρώσεις TN (mg/L), Φεβρουάριος 1992



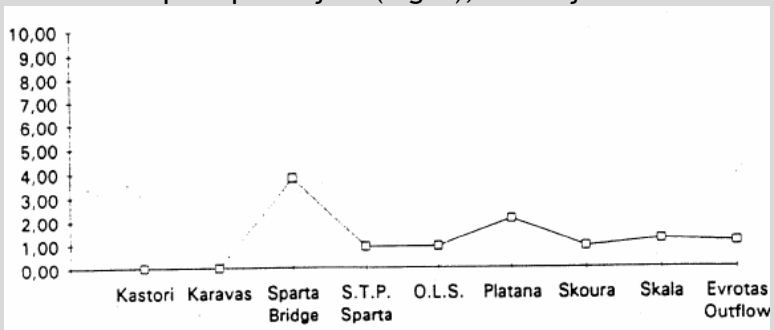
Συγκεντρώσεις TN (mg/L), Ιούλιος 1992



Συγκεντρώσεις TP (mg/L), Φεβρουάριος 1992



Συγκεντρώσεις TP (mg/L), Ιούλιος 1992



Διαγράμματα 5-3: Συγκεντρώσεις COD, TN, TP κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα για τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο 1992 (MEDPSA, 1993).

- Διπλωματική εργασία του Αντωνάκου Ανδρέα: «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες» στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης «Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον» του Πανεπιστημίου Πατρών, 1997.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν η γεωλογία, η υδρογεωλογία και η υδροχημεία της ευρύτερης περιοχής της Σπάρτης. Η περιοχή μελέτης εκτείνεται προς τα βόρεια μέχρι τη Σπάρτη, ενώ νότια οριοθετείται από το ρέμα Ρασίνα. Ανατολικά και δυτικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Πάρνωνα και του Ταΰγετου. Στο πλαίσιο της υδροχημικής έρευνας, πέραν των άλλων, έγινε δειγματοληψία νερού από 20 σημεία ύδατος για την περιοχή που οριοθετείται από το χείμαρρο Μαγουλίτσα στα βόρεια μέχρι το χείμαρρο Σοχά στα νότια, καθώς επίσης και δειγματοληψία εδαφικής υγρασίας από τρία διαφορετικά βάθη, για δύο τομές στο κέντρο περίπου της περιοχής έρευνας. Συνολικά μετρήθηκαν οι εξής παράμετροι: θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής, διαλυμένο οξυγόνο, HCO_3^-, Ca^{++}, Mg^{++}, Cl^- , NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, SO_4^{-2}, PO_4^{-3}, Fe(total), SiO_2, Mn^{++}, K^+ και Na^+ (Αντωνάκος Α., 1997).

Στην εν λόγω εργασία δημιουργήθηκαν χάρτες ισο-συγκεντρωσιακών καμπυλών των ιόντων χλωρίου και των νιτρικών. Από τους χάρτες αυτούς προκύπτει ότι η μέγιστη συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου είναι περίπου 27 mg/L και η μέγιστη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων είναι περίπου 150 mg/L. Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις των ιόντων αυτών είναι περίπου 10 mg/L για τα ιόντα χλωρίου και περίπου 4 mg/L για τα νιτρικά ιόντα. Η συνολική διάλυση, λοιπόν, για τα ιόντα χλωρίου, εξαιτίας του εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα από τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς είναι περίπου 1:3. Τέτοια θα έπρεπε να είναι και η διάλυση των νιτρικών ιόντων, αν αυτά συμπεριφερόταν σα συντηρητικός ρύπος. Η μείωση όμως της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων είναι πολύ μεγαλύτερη και δεν μπορεί να οφείλεται μόνο στη διάλυσή τους λόγω της εισροής νερού στον υπόγειο υδροφορέα, αλλά επιπλέον φυσικοί μηχανισμοί οδηγούν στη μείωση αυτή. Επομένως αυτό μπορεί να αποτελέσει μια ένδειξη ύπαρξης φυσικής αποκατάστασης στην εξεταζόμενη περιοχή.

Συμπερασματικά, από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων, δηλαδή των δεδομένων παρακολούθησης της ποιότητας του ποταμού Ευρώτα καθώς και των δεδομένων των δυο μελετών που ήταν διαθέσιμες, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν περιοχές στις οποίες η συγκέντρωση των κύριων ρύπων της λεκάνης μειώνεται, παρόλο που δέχονται ρυπαντικά φορτία. Η μείωση στη συγκέντρωση των ρύπων είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί και διεργασίες που οδηγούν στη συγκράτηση, αποδόμηση, μετατροπή ή καταστροφή των χημικών ενώσεων που οφείλονται για τη ρύπανση στην περιοχή (Ανδριανάκη Μ., 2007).

5.3.2. Προσδιορισμός δικτύου δειγματοληψίας υδάτων

Για την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα είναι απαραίτητη η συλλογή δεδομένων πεδίου, τόσο για τα επιφανειακά όσο και για τα υπόγεια ύδατα, μέσα από τα οποία να παρέχονται οι ενδείξεις ότι οι ρύποι μειώνονται στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης. Τα δεδομένα πεδίου, όπως είναι αναμενόμενο, θα πρέπει να λαμβάνονται από ένα αντιπροσωπευτικό και σαφώς καθορισμένο δίκτυο δειγματοληψίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο πλαίσιο προηγούμενης διπλωματικής εργασίας, για την επίτευξη του στόχου αυτού δημιουργήθηκε κατάλληλο δίκτυο δειγματοληψίας επιφανειακού και υπογείου νερού. Συγκεκριμένα, κρίσιμη συνιστώσα για την επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας ήταν η διαμερισματοποίηση της λεκάνης σε επιμέρους περιοχές. Έτσι η ευρύτερη περιοχή χωρίστηκε σε 7 υπό-περιοχές με βάση την υδρογεωλογία της περιοχής, τη γεωλογία, το ανάγλυφο, τις κλίσεις εδάφους και τις χρήσεις γης. Για τον εύκολο διαχωρισμό των περιοχών είχαν δημιουργηθεί χάρτες στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ArcView GIS. Για την κατάλληλη επιλογή των σημείων δειγματοληψίας λήφθησαν υπόψη, πέραν των ανωτέρω, οι σημειακές πηγές ρύπανσης εντός της λεκάνης και συγκεκριμένα οι οικισμοί, τα ελαιουργεία και τα χυμοποιία. Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε υπό-περιοχής δίνονται στον Πίνακα 5-2 ενώ στο Χάρτη 5-1 φαίνεται ο τελικός διαχωρισμός της λεκάνης.

Πέραν των άλλων για την επιλογή των σημείων δειγματοληψίας λήφθησαν υπόψη τα εξής:

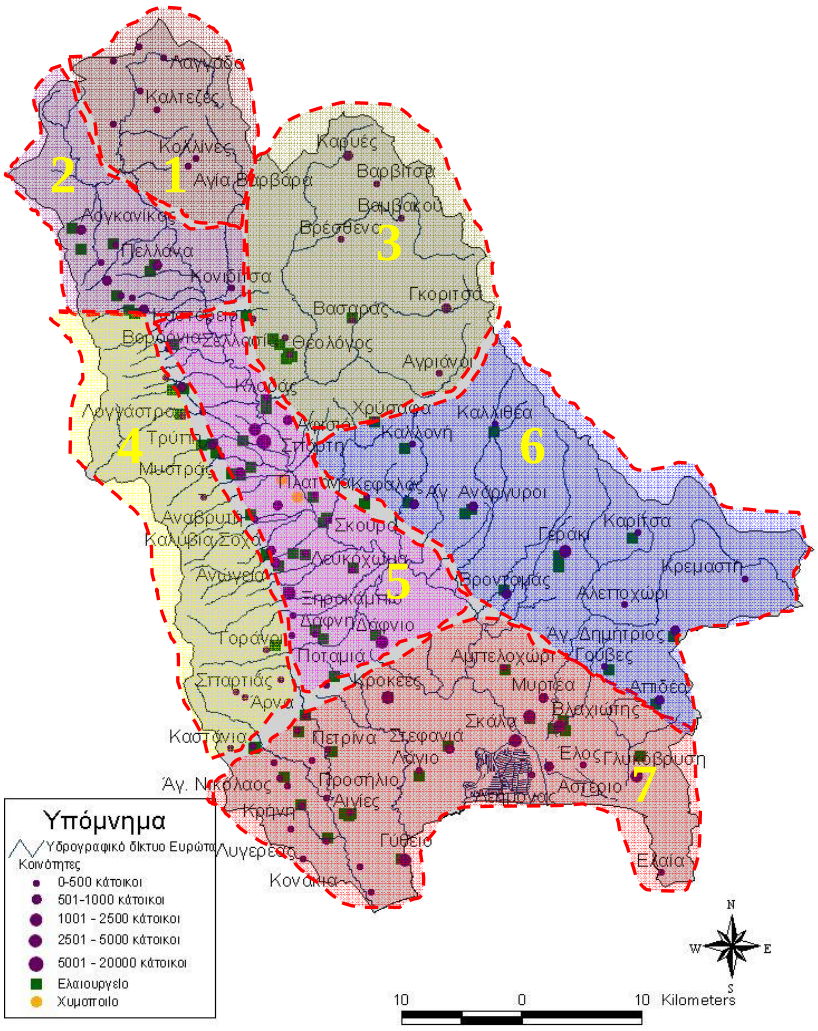
i) Επιλέχθηκαν θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού σε όλο το μήκος της λεκάνης έτσι ώστε να καλύπτονται και οι 7 υπό-περιοχές.

ii) Όσον αφορά στο υπόγειο νερό, σχεδόν όλες οι θέσεις επιλέχθηκαν στις περιοχές 5 και 7, δηλαδή στις περιοχές της Σπάρτης και της Σκάλας. Η επιλογή έγινε γιατί στις περιοχές αυτές βρίσκονται οι περισσότερες σημειακές πηγές ρύπανσης και η καλλιέργεια της γης είναι εντατική, με αποτέλεσμα εκεί να αναμένεται ο κύριος όγκος της ρύπανσης και η μεγαλύτερη επιβάρυνση. Επίσης, η περιοχή 5 διαρρέεται από πολλούς και σημαντικούς παραπόταμους του Ευρώτα, σε αντίθεση με την περιοχή 6, για παράδειγμα, που διαρρέεται από χείμαρρους με πλημμυρικές παροχές, μικρότερης σημασίας. Επίσης, στην περιοχή της Σπάρτης και της Σκάλας βρίσκονται σημαντικοί υπόγειοι υδροφορείς, από όπου αντλείται νερό για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης.

Πίνακας 5-2: Περιγραφή υπό-περιοχών λεκάνης απορροής Ευρώτα για εφαρμογή ΕΦΑ

Περιγραφή Υπο-περιοχής
1.Θέση: Β της λεκάνης απορροής, καλύπτει ένα τμήμα του Πάρνωνα. **Γεωλογία:** Ασβεστολιθικοί σχηματισμοί. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Υψηλά & 10 – 30%. **Χρήσεις Γης:** Φυσική βλάστηση, λίγες καλλιέργειες και μικροί οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Ήπιες. **Κίνηση Νερού:** Υπόγεια μέσω των ασβεστολιθικών σχηματισμών.
2.Θέση: ΒΔ της λεκάνης απορροής. **Γεωλογία:** Στο δυτικό μέρος, από τη μεριά του Ταΰγετου, υπάρχουν ασβεστολιθικοί σχηματισμοί που τροφοδοτούν τις πηγές του Ευρώτα. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Μεσαία (εκτός από το δυτικό τμήμα) & 0-10%, 10 – 30%. **Χρήσεις Γης:** Φυσική βλάστηση, καλλιέργειες και 9 οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Μεγάλες, καθώς η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. **Κίνηση Νερού:** Στην περιοχή αυτή βρίσκεται το ανώτερο τμήμα του Ευρώτα, το οποίο όμως παραμένει ξερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και το νερό κινείται υπόγεια. Επίσης βρίσκεται και ένας σημαντικός παραπόταμος του Ευρώτα, ο ποταμός Κάστωρ, ο οποίος διατηρεί ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
3.Θέση: ΒΑ της λεκάνης απορροής. Η λεκάνη απορροής του μεγαλύτερου παραπόταμου του Ευρώτα, του Οινούντα. **Γεωλογία:** Κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Κυρίως Υψηλά & 0-10%, 10 – 30%. **Χρήσεις Γης:** Κυρίως Φυσική βλάστηση, λίγες καλλιέργειες και λίγοι οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Ήπιες από την κτηνοτροφία και τους λίγους οικισμούς.
4.Θέση: Δ της λεκάνης απορροής, περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του Ταΰγετου που βρίσκεται στη λεκάνη. **Γεωλογία:** Ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, έντονα καρστικοποιημένοι. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Υψηλά & 10 – 30%, 30-100%. **Χρήσεις Γης:** Φυσική βλάστηση, καλλιέργειες και 9 οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Μεγάλες, καθώς η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. **Κίνηση Νερού:** Το νερό κινείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και ρυθμό δια μέσου των καρστικών υδροφόρων, οι οποίοι εξαρτώνται από το μέγεθος των ανοιγμάτων των καρστικών σχηματισμών. Έτσι τα μονοπάτια στα οποία κινείται το νερό είναι ιδιαίτερα απρόβλεπτα. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν τους σημαντικότερους υδροφορείς της περιοχής, οι οποίοι παρουσιάζουν πολύ μεγάλη δυναμικότητα και οφείλονται για τη δημιουργία των πολλών πηγών που υπάρχουν στην περιοχή.

Περιγραφή Υπό-περιοχής
5.Θέση: Κεντρικά στη λεκάνη απορροής. **Γεωλογία:** Αλλουβιακές Προσχώσεις. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Χαμηλά & 0-10%. **Χρήσεις Γης:** Κυρίως καλλιέργειες και οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Μεγάλες, καθώς σε αυτή βρίσκεται ο δήμος της Σπάρτης και αρκετοί μεγάλοι οικισμοί, οι μεγαλύτερες βιοτεχνίες καθώς και πολλές καλλιέργειες και ελαιουργεία. **Κίνηση Νερού:** Στην περιοχή υπάρχουν πολλά υδρορρέματα τα οποία κινούνται κάθετα στον Ευρώτα, τον οποίο τροφοδοτούν. Τα πιο σημαντικά είναι η Μαγουλίτσα, η Κάκαρη, ο Γερακάρης κ.α. Σύμφωνα με μελέτη στην περιοχή φαίνεται ότι ο υπόγειος υδροφορέας τροφοδοτείται από τα παραπλήσια καρστικά υδροφόρα συστήματα. Οι ρύποι που προκύπτουν από τις δραστηριότητες στην περιοχή, αναμένεται να ακολουθούν την πορεία του υπόγειου νερού.
6.Θέση: ΝΑ της λεκάνης απορροής, καλύπτει το νοτιοανατολικό τμήμα του Πάρνωνα **Γεωλογία & Υψόμετρα:** Στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο οι κύριοι σχηματισμοί είναι ασβεστολιθικοί ενώ χαμηλότερα παρατηρούνται διάφοροι άλλοι σχηματισμοί. **Χρήσεις Γης:** Κυρίως καλλιέργειες, εκτάσεις φυσικής βλάστησης και οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Ήπιες. **Κίνηση Νερού:** Χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι τμήμα των καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων που βρίσκονται βορειοανατολικά του χωριού Άγιος Ανδρέας τροφοδοτούν τον υδροφορέα του κάτω ρου του Ευρώτα, στην περιοχή της Σκάλας. Μεταξύ των περιοχών Αγ. Ανδρέας και Γεράκι υπάρχει μια επίπεδη μορφολογικά λεκάνη με βόρεια κατεύθυνση. Η λεκάνη είναι πληρωμένη με πολύ αδρόκκοκα ιζήματα που υπέρκεινται των νεογενών και του καρστ. Έτσι, σύμφωνα με την γεωλογική στρωματογραφία που παρουσιάζει η περιοχή το διηθημένο νερό της λεκάνης του άνω ρου του Ευρώτα δεν έχει άλλη δυνατότητα από το να τροφοδοτήσει τους αρτεσιανούς υδροφορείς του κάτω ρου και να καταλήξει στον Λακωνικό Κόλπο (τροφοδοτεί ακόμη της πηγές της Σκάλας). Το κυριότερο ρέμα της περιοχής είναι το Μαριόρεμα.
7.Θέση: Ν της λεκάνης απορροής, συμπεριλαμβάνει την περιοχή της Σκάλας, Έλους, Γυθείου και τις εκβολές του ποταμού Ευρώτα. **Γεωλογία:** Αλλουβιακές Προσχώσεις. **Υψόμετρα & Κλίσεις Εδάφους:** Χαμηλά & 0-10%. **Χρήσεις Γης:** Κυρίως καλλιέργειες, εκτάσεις φυσικής βλάστησης και οικισμοί. **Περιβαλλοντικές Πιέσεις:** Μεγάλες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της καλλιεργείται εντατικά. Η κύρια καλλιέργεια είναι το πορτοκάλι. Επίσης στην περιοχή βρίσκεται και ένας μεγάλος αριθμός ελαιουργείων.



Χάρτης 5-1: Διαμερισματοποίηση της λεκάνης απορροής σε υποπεριοχές

Αρχικά, το δίκτυο δειγματοληψίας περιελάμβανε 53 σημεία και συγκεκριμένα: i) 26 σημεία επιφανειακού νερού και ii) 27 σημεία υπογείου νερού: 5 από πηγές, 12 από γεωτρήσεις και 10 από πηγάδια. Κατά την τέταρτη δειγματοληψία στο υπάρχον σύστημα δειγματοληψίας προστέθηκαν 10 νέα σημεία (5: επιφανειακού νερού και 5: υπογείου νερού). Ο λόγος των ανωτέρω προσθηκών ήταν ότι στο αρχικό δίκτυο δειγματοληψίας δεν υπήρχαν επαρκή σημεία αφενός για την αξιολόγηση της ρύπανσης κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα αφού για παράδειγμα δεν υπήρχε θέση δειγματοληψίας στη Σπάρτη ή στις εκβολές του Ευρώτα και αφετέρου δεν υπήρχε αρκετή πληροφορία για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων υποβάθρου.

Έτσι, το τελικό δίκτυο δειγματοληψίας αποτελείται από <u>64 σημεία δειγματοληψίας:</u>

- 31 επιφανειακών υδάτων (8 επί του Ευρώτα)
- 33 υπογείων υδάτων (13 από γεωτρήσεις, 10 από πηγάδια και 10 από πηγές).

Στη συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή όλων των σημείων δειγματοληψίας, ακολουθούν οι χάρτες και φωτογραφικό υλικό των σημείων δειγματοληψίας επιφανειακού και υπογείου νερού.

Περιγραφή σημείων δικτύου δειγματοληψίας

Σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού

1: Η πρώτη θέση δειγματοληψίας βρίσκεται στον ποταμό Οινούντα, στο σημείο όπου υπάρχει γέφυρα στο δρόμο που οδηγεί στον οικισμό Βρέσθενα. Στην περιοχή αυτή δεν υπάρχουν πολλές καλλιέργειες. Οι ρύποι προέρχονται κυρίως από την κτηνοτροφία.

2: Από το σημείο αυτό περνάει το ρέμα Κακόρεμα ή Τζιτζινιώτικο το οποίο παρακάτω ενώνεται με άλλο ρέμα και σχηματίζουν το ρέμα Σωφρόνης. Βρίσκεται μέσα στον οικισμό Πολύδροσο. Ανάντι του σημείου δεν υπάρχουν πηγές ρύπανσης.

3: Η θέση αυτή είναι στο ρέμα δίπλα στις πηγές του ποταμού Ευρώτα. Το ρέμα αυτό ενώνεται λίγο παρακάτω με τις πηγές. Βρίσκεται κοντά στον οικισμό Σκορτσινός.

5 - 6: Βρίσκονται στις αρχές του Ευρώτα, στο ρέμα Λαγκάδα. Η ροή του ρέματος τα τελευταία 20 χρόνια έχει μειωθεί πολύ, εξαιτίας της ερήμωσης των οικισμών της περιοχής και της αύξησης των δασικών εκτάσεων. Το ρέμα Λαγκάδα βγαίνει μέσα από το φαράγγι Λαγκάδα και χάνεται στο σημείο δειγματοληψίας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ημιορεινή με λίγες καλλιέργειες.

7: Θέση δειγματοληψίας από το ρέμα Κάστωρ (ή Βρυσσιώτικο), στη γέφυρα του χωριού Καστόριο.

8: Βρίσκεται στον Ευρώτα, πριν τη Σπάρτη, μεταξύ των χωριών Παρδάλι και Πελλάνα. Στο σημείο αυτό Ευρώτας ξηραίνεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στην περιοχή υπάρχουν αρκετοί οικισμοί και λίγες καλλιέργειες, με ανεπτυγμένη όμως κτηνοτροφία.

9: Βρίσκεται στο ρέμα Βαθύρρεμα, λίγο πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα, κοντά στην προηγούμενη θέση. Το Βαθύρρεμα αποτελεί συνέχεια του ρέματος Κάστωρ.

10: Ρέμα της Κοπελιάς. Το ρέμα αυτό είναι ουσιαστικά ένας χείμαρρος ο οποίος έχει νερό μόνο όταν βρέχει. Το σημείο αυτό βρίσκεται μετά το χωριό Κονιδίτσα, και η περιοχή ονομάζεται Χαλέλια. Το Ρέμα της Κοπελιάς διέρχεται από μια έκταση με λίγους οικισμούς, χωρίς πολλές καλλιέργειες.

11: Μαγουλίτσα. Η Μαγουλίτσα είναι από τους σημαντικότερους παραπόταμους του Ευρώτα και τροφοδοτείται από τις πηγές της Τρύπης. Ανάντι του σημείου δεν υπάρχουν πηγές ρύπανσης.

15: Μαγουλίτσα πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα. Το σημείο αυτό βρίσκεται σε αστική περιοχή μεταξύ Σπάρτης και Μαγούλας.

20-Α: Παραπόταμος Κάκαρη, στο χωριό Παλαιοπαναγία. Ο ΤΟΕΒ της περιοχής εκτρέπει το ποτάμι στο σημείο αυτό και το αφήνει λίγο παρακάτω. Η περιοχή είναι ημιορεινή με αρκετές καλλιέργειες.

21: Παραπόταμος Κάκαρη, λίγο πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα, στο χωριό Σκούρα.

22: Θέση δειγματοληψίας του ποταμού Ευρώτα, δίπλα στο χωριό Σκούρα. Η Σκούρα βρίσκεται νοτίως της Σπάρτης, περίπου στο κέντρο της πεδιάδας της Σπάρτης. Η διατομή του Ευρώτα είναι αρκετά μεγάλη και υπάρχει πολύ λεπτόκοκκο οργανικό υλικό.

23: Μικρό ρέμα, στη Σκούρα, στο οποίο διατίθενται ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ελαιουργείου.

24: Ρέμα Σωφρόνη, λίγο πριν ενωθεί με τον ποταμό Οινούντα. Στην περιοχή υπάρχουν κυρίως καλλιέργειες ελιάς.

27: Αποστραγγιστική τάφρος «Λαύρια» στην περιοχή της Σκάλας.

29: Στραγγιστικό αντλιοστάσιο στη Τρίνισα. Το αντλιοστάσιο μαζεύει τα νερά από τα περιμετρικά αποστραγγιστικά κανάλια του δέλτα του Ευρώτα.

33α-33β: Μαριόρεμα στο χωριό Άγιος Ανδρέας και Βλαχιώτης, αντίστοιχα. Το Μαριόρεμα τροφοδοτεί τον Ευρώτα στο κατώτερο τμήμα του και δίνει μόνο πλημμυρικές παροχές.

34: Θέση δειγματοληψίας στον Ευρώτα, στη γέφυρα Βρονταμά, κοντά στο χωριό Βρονταμάς. Η παροχή του ποταμού στο σημείο αυτό είναι αρκετά μεγάλη. Στην περιοχή, τελειώνει η πεδιάδα που εκτείνεται γύρω από τη Σπάρτη, η οποία συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της περιοχής και τις κυριότερες σημειακές πηγές ρύπανσης.

35: Ποταμός Οινούντα (ή Κελεφίνα) λίγο πριν αυτός συναντήσει τον Ευρώτα, στη γέφυρα της Κελεφίνας. Ο ποταμός Οινούντας είναι ο σημαντικότερος παραπόταμος του Ευρώτα από τη μεριά του Πάρνωνα. Ξεκινάει από μεγάλα υψόμετρα και διασχίζει περιοχές με δασικές εκτάσεις, λίγες καλλιέργειες και μικρούς οικισμούς.

48: Οινούντας, μετά τη συμβολή του με το Σωφρόνη.

49: Ρέμα, κοντά στο χωριό Καρυές. Διατηρεί ροή όλη τη διάρκεια του έτους. Παρακάτω ενώνεται με τον ποταμό Οινούντα.

50: Θέση δειγματοληψίας από το παραπόταμο Ρασίνα, πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα. Η Ρασίνα υπήρξε σημαντικός παραπόταμος του Ευρώτα. Σήμερα δε διατηρεί ροή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαιτίας της άντλησης των νερών για άρδευση.

51: Βασιλοπόταμος (Τάφρος Ω). Ο Βασιλοπόταμος τροφοδοτείται από τις πηγές της Σκάλας. Σήμερα αποτελεί μέρος του αποστραγγιστικού δικτύου του δέλτα του Ευρώτα.

52: Ευρώτας στην περιοχή Καραβάς.

53: Ευρώτας, στην Σπάρτη και συγκεκριμένα κάτω από τη γέφυρα Σπάρτης.

54: Ευρώτας, στη Σπάρτη μετά την έξοδο του βιολογικού καθαρισμού.

55: Ευρώτας, στην περιοχή Παλαιομονάστηρο. Το σημείο αυτό βρίσκεται σε απόσταση περίπου 2km από τη γέφυρα του Βρονταμά.

56: Εκβολές Ευρώτα στο Λακωνικό κόλπο.

Σημεία δειγματοληψίας υπογείου νερού

Πηγές

4: Πηγές του ποταμού Ευρώτα. Ανάντι των πηγών του Ευρώτα υπάρχουν οικισμοί και καλλιέργειες.

19: Πηγή κοντά στο χωριό Περιστέρι, σε υψόμετρο 184 m. Στην περιοχή υπάρχουν πολλές καλλιέργειες.

30: Πηγές Σκάλας. Βρίσκονται μέσα στο χωριό Σκάλα. Μέρος από το νερό τροφοδοτεί το Βασιλοπόταμο ενώ το υπόλοιπο διοχετεύεται στον Ευρώτα.

36: Πηγή κατάντι του οικισμού Μεγάλη Βρύση.

47: Πηγές στο χωριό Καρυές, στη λεκάνη απορροής του ποταμού Οινούντα. Το νερό των πηγών ενώνεται με τον ποταμό Οινούντα.

58-59: Πηγές στο χωριό Τρύπη. Οι πηγές στο σημείο 58 βρίσκονται στην πλατεία του χωριού ενώ στο 59 βρίσκονται χαμηλά δίπλα στη Μαγουλίτσα την οποία και τροφοδοτούν.

60-61: Πηγές στον οικισμό Σοχά. Η Σοχά είναι ένας πολύ μικρός οικισμός ο οποίος ανήκει στο δημοτικό διαμέρισμα των Καλυβιών Σοχά. Βρίσκεται σε υψόμετρο 840m ΝΔ της Σπάρτης.

62: Πηγές στο χωριό Άγιο Ιωάννης.

Γεωτρήσεις και Πηγάδια

12: Θέση δειγματοληψίας υπόγειου νερού, από γεώτρηση στο χωριό Μαγούλα, το οποίο βρίσκεται δίπλα στη Σπάρτη. Η γεώτρηση φτάνει 110 m βάθος.

13: Γεώτρηση, στο χωριό Παρόρι, δίπλα στον ποταμό Παρορίτη. Η γεώτρηση βρίσκεται μέσα σε ελαιώνες και το νερό της χρησιμοποιείται για άρδευση. Τραβάει νερό από 36 m βάθος, παρόλο που η στάθμη του υδροφορέα είναι ψηλότερα.

14: Γεώτρηση στο χωριό Άγιος Ιωάννης. Χρησιμοποιείται για άρδευση.

16: Γεώτρηση, η οποία βρίσκεται στα όρια των περιοχών της Αγίας Κυριακής και Ριβιώτισσας. Τραβάει νερό από 75-110 m βάθος και δε χρησιμοποιείται συχνά λόγω της μικρής της απόδοσης. Βρίσκεται μέσα σε πορτοκαλεώνες και δίπλα από αυτή περνάει ρέμα στο οποίο ρίχνονται υγρά απόβλητα των χυμοποιίων.

17: Γεώτρηση στην περιοχή της Ριβιώτισσας. Βρίσκεται μέσα σε πορτοκαλεώνες. Τραβάει νερό από βάθος 90m.

18: Γεώτρηση στην περιοχή των Αμυκλών. Το νερό της χρησιμοποιείται για άρδευση και βρίσκεται μέσα σε καλλιέργειες ελιάς.

20-Β: Γεώτρηση που βρίσκεται δίπλα στην παραπάνω θέση δειγματοληψίας, δίπλα στον ποταμό Κάκαρη.

25: Γεώτρηση που βρίσκεται κοντά στο χωριό Σκάλα. Η περιοχή της Σκάλας βρίσκεται στο δέλτα του Ευρώτα, με πολλές καλλιέργειες κυρίως πορτοκαλιών. Στην περιοχή γίνεται ευρεία χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων.

26: Αρτεσιανή γεώτρηση η οποία βρίσκεται επίσης στην περιοχή της Σκάλας, κοντά στην παραπάνω θέση δειγματοληψίας.

28: Ιδιωτική αρτεσιανή γεώτρηση η οποία βρίσκεται κοντά στο χωριό Λεήμονας, περιοχή Σκάλας. Το νερό της χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς.

31: Υδρευτική δημοτική γεώτρηση που βρίσκεται στο χωριό Αστέριο. Η γεώτρηση αντλεί από βάθος 120m.

32: Γεώτρηση στο χωριό Γλυκόβρυση. Βρίσκεται περιοχή με καλλιέργειες πορτοκαλιών. Αντλεί νερό από βάθος 30 m.

37 - 46: Πηγάδια στην ευρύτερη περιοχή της Ριβιώτισσας και Σκούρας. Τα πηγάδια στη Ριβιώτισσα αντλούν νερό από βάθος περίπου 10m ενώ τα πηγάδια στη Σκούρα αντλούν νερό από βάθος περίπου 5m. Το νερό χρησιμοποιείται για άρδευση.

Εικόνες 5-2: Σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού του δικτύου δειγματοληψίας



Θέση 1: Οινούντας ή Κελεφίνα



Θέση 2: Ρέμα Τζιτζινιώτικο στον οικισμό Πολύδροσο



Θέση 3: Ρέμα Γιαννούλη



Θέση 6: Ρέμα Λαγγάδα



Θέση 7: Ποταμός Κάστωρ, στον οικισμό Καστόρι



Θέση 8: Άνω ρους του Ευρώτα, Πελλάνα – Παρδάλι



Θέση 9: Βαθύρρεμα, πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα



Θέση 11: Μαγουλίτσα στον οικισμό Τρύπη



Θέση 15: Μαγουλίτσα, πριν τη συμβολή Ευρώτα



Θέση 24: Ρέμα Σωφρόνη



Θέση 29: Στραγγιστικό αντλιοστάσιο στη Τρίνισα



Θέση 34: Ευρώτας, στη Γέφυρα Βρονταμά



Θέση 35: Οινούντας ή Κελεφίνα, λίγο πριν συναντήσει τον Ευρώτα, στη γέφυρα της Κελεφίνας



Θέση 49: Ρέμα κοντά στις Καρυές



Θέση 50: Παραπόταμος Ρασίνα



Θέση 51: Βασιλοπόταμος (Τάφρος Ω)



Θέση 52: Ευρώτας, στην περιοχή Καραβάς



Θέση 53: Ευρώτας, κάτω από τη γέφυρα Σπάρτης



Θέση 54: Ευρώτας, μετά την έξοδο του Βιολογικού



Θέση 55: Ευρώτας, κοντά στο Παλαιομονάστηρο



Θέση 56: Εκβολές Ευρώτα στο Λακωνικό κόλπο

Εικόνες 5-3: Σημεία δειγματοληψίας υπογείου νερού, πηγές, του δικτύου δειγματοληψίας



Θέση 4: Πηγές του ποταμού Ευρώτα



Θέση 30: Πηγές Σκάλας



Θέση 36: Πηγή κατάντι του οικισμού Μεγάλη Βρύση



Θέση 47: Πηγές στο χωριό Καρυές



Θέση 59: Πηγές στην Τρύπη, δίπλα στη Μαγουλίτσα



Θέση 62: Πηγές στον Άγιο Ιωάννη

Εικόνες 5-4: Σημεία δειγματοληψίας υπογείου νερού, πηγάδια και γεωτρήσεις, του δικτύου δειγματοληψίας



Θέση 14: Γεώτρηση στο χωριό Άγιος Ιωάννης



Θέση 18: Γεώτρηση στις Αμύκλες



Θέση 38: Πηγάδι στην περιοχή Βαρικά, Ριβιώτισσα



Θέση 43: Πηγάδι στην περιοχή της Σκούρας



Θέση 44: Πηγάδι στην περιοχή της Σκούρας



Θέση 46: Πηγάδι στη Ριβιώτισσα

Σημεία Δειγματοληψίας Υπόγειου Νερού - Χρήσεων Γης Λεκάνη Απορροής Ποταμού Ευρώτα



Υπόμνημα

Σημεία Δειγματοληψίας Υπογείου Νερού

- Γεώτρηση
- Πηγάδι
- Πηγές

Χρήσεις Γης

- Αστικές περιοχές
- Καλλιέργειες
- Υδάτινα σώματα
- Φυσική κάλυψη (Δάση&Θάμνοι)

N W E S

0 2.500 5.000 10.000 Meters

Σημεία Δειγματοληψίας Επιφανειακού Νερού - Χρήσεων Γης
Λεκάνη Απορροής Ποταμού Ευρώτα



Υπόμνημα

- Σημεία Δειγματοληψίας Επιφανειακού Νερού

Χρήσεις Γης

- Αστικές περιοχές
- Καλλιέργειες
- Υδάτινα σώματα
- Φυσική κάλυψη (Δάση&Θάμνοι)

N W E S

0 2.500 5.000 10.000 15.000 20.000 Meters

5.3.3. Διεξαγωγή δειγματοληψιών, μετρήσεων και χημικών αναλύσεων

Η δειγματοληψία στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα περιλαμβάνει τη λήψη δειγμάτων επιφανειακού και υπογείου νερού από το δίκτυο δειγματοληψίας. Συνοπτικά, για κάθε δειγματοληψία ήταν απαραίτητη η προετοιμασία αυτής, στην οποία συμπεριλαμβάνεται η προετοιμασία του απαραίτητου φορητού εξοπλισμού και των δοχείων και βοηθητικών μέσων για τη λήψη και τη σωστή συντήρηση των ληφθέντων δειγμάτων. Ακολουθούσε η διεξαγωγή της δειγματοληψίας, η συντήρηση και τέλος η μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο προς ανάλυση.

Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί συνολικά πέντε (5) δειγματοληψίες. Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 9-12 Μαΐου 2006, η δεύτερη στις 8-12 Σεπτεμβρίου 2006, η τρίτη στις 12-17 Ιανουαρίου 2007, η τέταρτη στις 26 Μαΐου–7 Ιουνίου 2007 και η πέμπτη στις 27 Νοεμβρίου- 3 Δεκεμβρίου 2007. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν για όλα τα δείγματα είναι: θερμοκρασία (T), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (conductivity), διαλυμένο οξυγόνο (DO), οξειδοαναγωγικό δυναμικό (Eh), χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD), νιτρικό άζωτο (NO_3-N), νιτρώδες άζωτο (NO_2-N), αμμωνιακό άζωτο (NH_3-N), φωσφορικός φώσφορος (PO_4-P) και ολικές φαινόλες (Total phenols). Κατά την τελευταία δειγματοληψία, κατά την οποία λήφθησαν δείγματα επιφανειακών υδάτων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ολικού οργανικού άνθρακα (TOC), επιλεγμένων μετάλλων Cr, Mn, Cu, Zn, As, Pb, και Cd, καθώς και αζώτου Kjeldahl (TKN).

Η επιλογή της μέτρησης των παραπάνω φυσικοχημικών παραμέτρων οφείλεται στο γεγονός ότι η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι μια περιοχή κυρίως αγροτική, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Επομένως, οι κύριοι ρύποι που αναμένεται να επιβαρύνουν την περιοχή προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και από μεταποιητικές μονάδες γεωργικών προϊόντων.

Οι παράμετροι θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό μετρήθηκαν επιτόπου ακριβώς μετά τη λήψη του κάθε δείγματος. Το pH και το διαλυμένο οξυγόνο μετρήθηκαν με φορητό πεχάμετρο και οξύμετρο, αντίστοιχα, της εταιρίας WTW. Η αγωγιμότητα και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό μετρήθηκαν με φορητό αγωγιμόμετρο και πεχάμετρο, αντίστοιχα της εταιρίας Orion. Η θερμοκρασία μετρήθηκε από τον αισθητήρα θερμοκρασίας του πεχαμέτρου.

Στη συνέχεια, 100 ml του δείγματος διηθήθηκαν επί τόπου, για τη μέτρηση των NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P και ολικών φαινολών. Για τη μέτρηση του COD μικρή ποσότητα δείγματος οξυνίστηκε με πυκνό H_2SO_4, έτσι ώστε το pH να είναι μικρότερο από 2. Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των δειγμάτων κάτω από 4^oC, μέχρι την επιστροφή στα Χανιά, όπου έγινε η ανάλυσή τους στο εργαστήριο, χρησιμοποιήθηκε φορητό ψυγείο.

Οι χημικές παράμετροι NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P και COD μετρήθηκαν στο εργαστήριο με φασματοφωτομετρική μέθοδο, με τη χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000, ενώ οι ολικές φαινόλες μετρήθηκαν με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο Folin – Ciocalteu. Το αζώτου Kjeldahl (TKN) μετρήθηκε με χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000 αφού είχε προηγηθεί χώνευση με χρήση της συσκευής Hach - Digesdahl Digestion Apparatus. Οι μετρήσεις των μετάλλων και του TOC των δειγμάτων της πέμπτης δειγματοληψίας μετρήθηκαν στο ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών), στο εργαστήριο αναλύσεων νερών της διεύθυνσης αναλυτικών εργαστηρίων με χρήση των οργάνων ICP-MS, model PE SCIEX ELAN 6100 και TOC-VCSH, Total Organic Carbon analyzer Shimadzu, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 5-3 δίνονται συνοπτικά οι μέθοδοι, τα όργανα και άλλες σχετικές πληροφορίες για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις και στις Εικόνες 5-5 παρουσιάζονται ορισμένα εκ των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 5-3: Μέθοδοι και όργανα για τις μετρήσεις των παραμέτρων

	Όργανο	**Μέθοδος**	**Όριο Ανίχνευσης**	**Παρατηρήσεις**
pH	type WTW pH 330i	-		Μέτρηση επί τόπου
T				
DO	type WTW Oxi 330			
Cond	Orion model 105			
Eh	Orion model 250A			
NO_3-N	Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2000	Hach 8039	0,267 mg/L	Μέτρηση στο εργαστήριο (Πολυτεχνείο Κρήτης)
NO_2—N		Hach 8507	0,004 mg/L	
NH_3-N		Hach 10023	0,025 mg/L	
PO_4-P		Hach 8000	0,009 mg/L	
COD		Hach 8048	3,65 mg/L	
TKN		Hach 8075	-	
T.phenols	Φασματοφωτόμετρο UV-Vis UNICAM, model Helios Delta	Folin – Ciocalteu	0,402 mg/L	
TOC	TOC-VCSH, analyzer Shimadzu	-		Μέτρηση στο εργαστήριο (ΙΓΜΕ)
Metals	ICP-MS, PE SCIEX ELAN 6100	-	10ppb: Zn, As 1ppb: Cr, Mn, Cu, Pb, Cd	

Η σωστή οργάνωση της δειγματοληψίας ήταν απαραίτητη γιατί έπρεπε σε κάθε δειγματοληψία να μεταφερθεί ο απαραίτητος εξοπλισμός. Επίσης η έκταση της λεκάνης είναι μεγάλη (2.420 km^2) και οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας μακρινές, ενώ οι διαθέσιμες μέρες για κάθε δειγματοληψία ήταν λίγες. Για να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία δειγματοληψίας δημιουργήθηκαν

κουτιά με αποθηκευτικούς χώρους για τον εξοπλισμό, τα οποία διευκόλυναν τις μετρήσεις και τις εργασίες που έγιναν επί τόπου. Με τον τρόπο αυτό, και οι πέντε δειγματοληψίες είχαν επιτυχή έκβαση σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα.



Φορητά όργανα



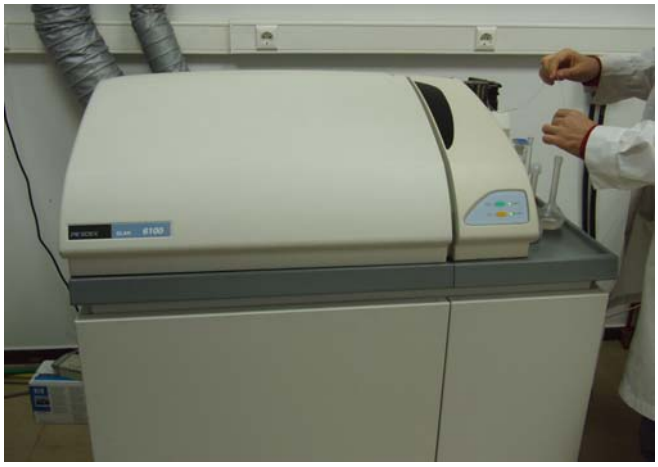
Οργάνωση δειγματοληψίας



Συσκευή χώνευσης Hach Digesdahl Digestion Aparatus



Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2000



ICP-MS, PE SCIEX ELAN 6100



TOC-VCSH, analyzer Shimadzu

Εικόνες 5-5: Όργανα για τις μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων

5.3.4 Αποτελέσματα δειγματοληψιών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη διεξαγωγή των πέντε δειγματοληψιών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων, η αξιολόγηση της ύπαρξης μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης τόσο για τα υπόγεια όσο και για τα επιφανειακά νερά καθώς και τα αποτελέσματα που έγιναν για την αξιολόγηση της πορείας των ρυπαντικών φορτίων συγκεκριμένων σημειακών πηγών ρύπανσης (ελαιουργείο στα Ανώγεια και βιολογικός καθαρισμός Σπάρτης). Τα σημεία δειγματοληψίας (επιφανειακού και υπόγειου νερού) καθώς και η ακριβής θέση τους παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

5.3.4.1. Αποτελέσματα δειγματοληψιών επιφανειακού νερού

Φυσικοχημικές παράμετροι

Στον Πίνακα 5-4 δίνονται οι μέσοι όροι των τιμών από τις πέντε δειγματοληψίες. Τα αποτελέσματα από κάθε δειγματοληψία δίνονται στον Παράρτημα Ι. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών από 13 έως 25^{o}C. Το θερμοκρασιακό εύρος παρουσιάζει διαφοροποίηση ανάλογα με την περίοδο που έγινε η κάθε δειγματοληψία. Χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι για την 3^{η} δειγματοληψία (Ιανουάριος 2007) οι μετρούμενες τιμές είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 8,5 έως 16,5^{o}C ενώ για την 1^{η} (Μάιος 2006) και 4^{η} (Μάιος 2007) τα αντίστοιχα εύρη είναι 12,9 έως 25^{o}C και 15,8 έως 23,3^{o}C. Έτσι είναι εμφανές και αναμενόμενο ότι η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Πέραν τούτου η θερμοκρασία των δειγμάτων εξαρτάται και από το υψόμετρο. Η θερμοκρασία στις θέσεις βόρεια της λεκάνης και σε μεγάλα υψόμετρα είναι μικρότερες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η χαμηλότερη μετρούμενη θερμοκρασία επιφανειακού νερού στις τρεις από τις τέσσερις δειγματοληψίας ήταν στο Τζιτζινιώτικο ρέμα στον οικισμό Πολύδροσο (θέση 2), το οποίο βρίσκεται στο μεγαλύτερο υψόμετρο από όλα τα σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού (999m). Γενικά, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν υποδηλώνουν κάποια ένδειξη ρύπανσης.

Η τιμή pH καθορίζει το ρυθμό μεταβολισμού, τη δράση των ετερότροφων βακτηρίων και το σύστημα μεταφοράς ιόντων στους υδρόβιους οργανισμούς. Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για να την εξασφάλιση της διαβίωσης των ιχθύων σε νερά σαλμονιδίων και κυπρινιδίων θα πρέπει το pH να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 6 και 9 (υποχρεωτική τιμή, Ι) (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ). Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα με εύρος τιμών των μέσων τιμών από το σύνολο των δειγματοληψιών να κυμαίνεται από 7,3 έως 8,5.

Πίνακας 5-4: Μέσες τιμές μετρήσεων T, pH, DO, Cond, Eh επιφανειακών υδάτων από όλες τις δειγματοληψίες

Επιφανειακό Νερό		T (°C)		pH		DO (mg/L)		Conductivity (μS/cm)		Eh (mV)	
		average	std	average	std	average	std	average	std	average	std
1	Οινούντας (Κελεφίνα)	15,2	2,5	7,9	0,2	6,21	2,07	529,3	76,9	256,0	55,0
2	Οινούντας (Τζιτζινιώτικο)	12,8	3,2	8,2	0,5	8,56	3,02	298,8	45,2	255,1	99,9
3	Σκορτσινός (Ρέμα στις πηγές Ευρώτα)	13,5		7,4		7,64		444,0		207,6	
6	Ρέμα Λαγγάδα	20,6		8,2		7,30		199,0		190,2	
7	Κάστωρ/Βρυσιώτικο	15,2	2,4	7,9	0,4	7,30	2,09	783,5	225,3	266,1	51,1
8	Ευρώτας στο Παρδάλι	19,3		7,6							
9	Βαθύρρεμα	15,3	3,5	8,2	0,2	6,46	1,36	565,4	235,5	245,9	58,9
11	Μαγουλίτσα	14,5	3,3	8,2	0,1	6,63	2,51	367,5	138,6	242,0	84,6
15	Μαγουλίτσα	25,0		8,4		5,87		345,0		214,2	
20α	Κάκαρη	15,0		8,4		6,73		203,0		116,8	
21	Κάκαρη	17,0	5,0	7,9	0,3	6,90	0,81	663,3	238,0	263,2	51,0
22	Ευρώτας στη Σκουρα	18,5	3,8	7,8	0,3	5,50	2,32	676,6	220,9	231,1	43,3
24	Οινούντας (Σωφρόνη)	15,3		8,2		5,19		338,0		203,8	
27	Σκάλα Λαύριο, Αποστραγγιστικό	19,0	2,8	7,3	0,3	6,18	0,38	628,8	289,8	207,2	9,7
29	Αντλιοστάσιο	19,4	2,8	7,7	0,2	5,77	0,48	1576,8	450,0	210,2	33,2
34	Ευρώτας στη Γέφυρα Βρονταμά	19,1	3,9	8,1	0,1	6,58	1,25	540,6	272,6	245,3	43,5
35	Οινούντας (Γ. Κελεφίνας)	15,7	3,2	8,2	0,2	6,05	1,27	434,0	81,7	221,7	29,1
48	Οινούντας	15,8	3,3	8,1	0,3	6,49	2,04	500,5	227,2	236,7	48,3
49	Οινούντας	15,9	3,3	7,3	0,3	7,39	3,17	449,5	463,6	289,8	39,1
51	Βασιλοπόταμος (Τάφρος Ω)	18,5	1,9	7,7	0,3	7,32	1,73	597,7	84,3	240,2	32,3
52	Ευρώτας στον Καραβά	17,5	4,2	8,1	0,0	9,75	4,88	772,0	175,4	240,7	28,2
53	Ευρώτας στη Γέφυρα Σπάρτης	18,4		7,8		5,30		709,0		243,7	
54	Ευρώτας στο Βιολογικό Σπάρτης	16,8	3,4	8,2	0,1	9,70	2,97	689,5	41,7	199,7	10,0
55	Ευρώτας στο Παλαιομονάστηρο	20,9	3,0	8,4	0,1	6,75	1,77	721,0	318,2	188,3	82,1
56	Εκβολές Ευρώτα	19,5	2,5	7,9	0,3	8,58	0,82	767,0	158,4	193,6	82,1

Ιδιαίτερη σημασία έχει η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου (DO) καθώς είναι απαραίτητο για τη διατήρηση τόσο της υδρόβιας ζωής όσο και της αισθητικής ποιότητας του νερού. Χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο των οργανισμών που ζουν στο νερό καθώς και σημαντική υποβάθμιση των υδάτων. Πολλά είδη ψαριών απαιτούν συγκεντρώσεις DO πάνω από 4ppm, ενώ και για τα πλέον ανθεκτικά είδη το κατώτερο όριο είναι 2ppm. Οι μέσες τιμές DO ανά θέση δειγματοληψίας στο σύνολο των δειγματοληψιών κυμαίνονται από 5,2 έως 9,75mg/L, τιμές πάνω από το όριο των 4ppm. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του DO ανά θέση κατά τις διάφορες δειγματοληψίες παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις. Έτσι για παράδειγμα, κατά την 3η (Ιανουάριος 07) δειγματοληψία η τιμή του DO στον Ευρώτα στη θέση Σκούρα ήταν 1,67mg/L ενώ κατά την 5η (Νοέμβριος 06) η τιμή ανήλθε στο 7,70 mg/L. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στην εποχικότητα εμφάνισης των σημειακών πηγών ρύπανσης και δικαιολογείται από το γεγονός ότι κατά το μήνα Νοέμβριο οι απορρίψεις υψηλού οργανικού ρυπαντικού φορτίου είναι περιορισμένες καθώς δεν έχει αρχίσει η λειτουργία των χυμοποιίων και των περισσότερων ελαιουργείων.

Η αγωγιμότητα επηρεάζεται από την παρουσία ανόργανων διαλυμένων στερεών, όπως ανιόντα χλωρίου, νιτρικά, θειικά και φωσφορικά και κατιόντα νατρίου, μαγνησίου, ασβεστίου, σιδήρου και αργιλίου τα οποία αυξάνουν την αγωγιμότητα. Η αγωγιμότητα στα ποτάμια και ρέματα σχετίζεται κυρίως με τη γεωλογία της περιοχής ωστόσο αύξηση της αγωγιμότητας μπορεί να παρατηρηθεί από τις εισροές ρύπων στο ποτάμι. Η έκπλυση με τα νερά της βροχής των χημικών λιπασμάτων που διασπείρονται αφειδώς στις γεωργικές εκτάσεις είναι μια αιτία αυξημένων τιμών. Επίσης, από μελέτη που έγινε, τα υγρά απόβλητα των ελαιουργιών θεωρούνται και αυτά ως πιθανή αιτία αύξησης της αγωγιμότητας, καθώς η μετρούμενη αγωγιμότητα του κατσίγαρου από ελαιουργείο του νομού ήταν 3.943μS/cm. Η μεγαλύτερη τιμή είναι αυτή που μετρήθηκε στο αντλιοστάσιο στην περιοχή της Σκάλας με μέση τιμή 1.576,8 μS/cm. Κατά την 4η δειγματοληψία η τιμή ανήλθε στα 2.110 μS/cm. Το αντλιοστάσιο συλλέγει τα νερά από τις αποστραγγιστικές τάφρους στην περιοχή του δέλτα του Ευρώτα, η οποία καλλιεργείται εντατικά. Είναι λοιπόν αναμενόμενο στα νερά αυτά να υπάρχουν πολλά ιόντα.

Χημικές παράμετροι

Ακολουθούν τα αποτελέσματα από τις χημικές αναλύσεις των επιφανειακών νερών και οι μετρήσεις επιλεγμένων μετάλλων, TOC και TKN που έγιναν στα δείγματα των επιφανειακών νερών του ποταμού Ευρώτα κατά την πέμπτη δειγματοληψία. Στον Πίνακα 5-5 δίνονται οι μέσοι όροι των τιμών από τις πέντε δειγματοληψίες. Τα αναλυτικά αποτελέσματα δίνονται στον Παράρτημα Ι στον Πίνακα Γ. Στους Πίνακες 5-6 και 5-7 δίνονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των μετάλλων, του TOC, και του TKN.

Πίνακας 5-5: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων COD, NO_2-N, NO_3-N, NH_3-N, PO_4-P και ολ. φαινολών στα επιφανειακά ύδατα από όλες τις δειγματοληψίες

Επιφανειακό Νερό		COD (mg/L)		NO_2-N (mg/L)		NO_3-N (mg/L)		NH_3-N (mg/L)		PO_4-P (mg/L)		N/P	Tphenols (mg/L)	
		average	std	average	std	average	std	average	std	average	std		average	std
1	Οινούντας (Κελεφίνα)	4,34	1,19	0,005	0,001	1,11	1,01	0,118	0,151	0,035	0,033	77,7	0,853	0,078
2	Οινούντας (Τζιτζινιώτικο)	4,59	1,71	0,012	0,015	1,02	0,97	0,052	0,040	0,062	0,057	38,4	0,500	0,096
3	Σκορτσινός	bdl												
6	Ρέμα Λαγγάδα	bdl												
7	Κάστωρ/Βρυσιώτικο	bdl		bdl		0,96	1,20	0,041	0,027	0,055	0,028	40,6	1,546	0,515
8	Ευρώτας στο Παρδάλι	bdl												
9	Βαθύρρεμα	4,85	2,68	0,005	0,002	0,99	1,04	0,028	0,006	0,0052	0,035	30,6	0,897	0,302
11	Μαγουλίτσα	bdl		bdl		1,30	1,08	0,035	0,018	0,038	0,022	78,6	bdl	
15	Μαγουλίτσα	bdl												
20α	Κάκαρη	bdl												
21	Κάκαρη	bdl	0,00	0,082	0,101	5,86	4,96	0,036	0,016	0,121	0,133	109,8	0,728	0,138
22	Ευρώτας στη Σκουρα	12,83	20,18	0,103	0,070	1,62	0,86	0,049	0,040	0,078	0,071	50,4	1,777	0,965
24	Οινούντας (Σωφρόνη)	bdl												
27	Αποστραγγιστικό Σκάλα	5,04	1,98	0,007	0,003	2,07	1,47	0,058	0,038	0,068	0,055	69,1	0,641	0,018
29	Αντλιοστάσιο	8,45	2,30	0,042	0,046	1,33	1,25	0,071	0,024	0,080	0,027	40,0	1,529	0,421
34	Ευρώτας στη Γ.Βρονταμά	6,68	2,26	0,020	0,015	1,25	0,71	0,039	0,028	0,053	0,041	54,4	1,955	1,929
35	Οινούντας (Γ. Κελεφίνας)	3,90	0,50	bdl		0,92	1,13	0,035	0,018	0,030	0,019	71,7	0,584	0,068
48	Οινούντας	3,72	0,14	0,008	0,006	0,86	0,86	0,034	0,017	0,027	0,018	73,3	0,730	0,148
49	Οινούντας	4,68	1,46	bdl		0,80	0,92	0,038	0,022	0,038	0,037	49,5	bdl	
51	Βασιλοπόταμος	4,46	1,40	0,010	0,007	2,67	1,46	0,039	0,013	0,024	0,016	245,6	0,729	0,184
52	Ευρώτας στον Καραβά	6,43	3,93	0,005	0,002	0,95	0,05	0,028	0,005	0,030	0,021	72,6	0,670	0,006
53	Ευρώτας στη Γ. Σπάρτης			0,055		0,85		0,141		0,053		43,8	0,776	
54	Ευρώτας στο Βιολογικό	4,60	1,20	0,020	0,022	0,28	0,03	0,062	0,053	0,065	0,079	12,5	0,804	0,248
55	Ευρώτας στο Παλ/στηρο	bdl		0,070	0,058	0,96	0,16	0,063	0,030	0,069	0,005	35,4	1,282	0,035
56	Εκβολές Ευρώτα	bdl		0,031	0,016	0,49	0,19	0,042	0,015	0,065	0,030	19,4	0,776	0,194

Πίνακας 5-6: Συγκεντρώσεις μετάλλων κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα, ICP-MS (PE SCIEX ELAN 6100)

Θέση	Περιγραφή	Συγκεντρώσεις μετάλλων σε ppm (mg/L)						
		Cr*	Mn*	Cu*	Zn**	As**	Pb*	Cd*
52	Ευρώτας στον Καραβά	0,018	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl
54	Ευρωτά στον Βιολογικό	0,015	bdl	bdl	0,018	bdl	bdl	Bdl
22	Ευρώτας στη Σκούρα	0,020	0,130	bdl	0,020	bdl	bdl	Bdl
34	Ευρώτα στο Βρονταμά	0,020	0,035	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl
55	Ευρώτα στο Παλαιομονάστηρο	0,020	0,055	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl
56	Εκβολές Ευρώτα	0,020	0,146	bdl	bdl	bdl	bdl	Bdl

* Το όριο ανίχνευσης για τα Cr, Mn, Cu, Pb και Cd είναι 0,001 mg/L (1ppb)

** Το όριο ανίχνευσης για τα Zn και As είναι 0,01 mg/L (10ppb)

bdl: below detection limit

Πίνακας 5-7: Μετρήσεις TOC και TKN κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα

Θέση	Περιγραφή	TOC (mg/L)	TKN[1] (mg/L)	DIN[2] (mg/L)	DON[3] (mg/L)	TDN[4] (mg/L)	DON/ TDN
52	Ευρώτας στον Καραβά	1,0	3,5	0,5	3,4	3,9	0,88
54	Ευρωτά στον Βιολογικό	1,3	3,4	1,3	3,3	4,7	0,72
22	Ευρώτας στη Σκούρα	4,1	3,1	0,5	3,1	3,6	0,86
34	Ευρώτα στο Βρονταμά	2,1	3,3	0,3	3,3	3,6	0,92
55	Ευρώτα στο Παλαιομονάστηρο	2,8	3,9	0,6	3,9	4,4	0,87
56	Εκβολές Ευρώτα	2,4	9,6	1,3	9,5	10,8	0,88

1. TKN: Total Kjeldahl Nitrogen = Dissolved Organic Nitrogen + NH_3-N
2. DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen = NO_3-N + NO_2-N + NH_3-N
3. DON: Dissolved Organic Nitrogen
4. TDN: Total Dissolved Nitrogen = DON + DIN

Το **COD** αποτελεί παράμετρο ενδεικτική ως προς τη ρύπανση των υδάτων από οργανικό φορτίο. Η πηγή του οργανικού φόρτου μπορεί να είναι ανθρωπογενής, όπως τα βιομηχανικά απόβλητα, τα οικιακά λύματα, οι αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες και σε μικρότερο βαθμό, αλλά και φυσική από τη διάβρωση των πετρωμάτων και την αποδόμηση της φυτικής και ζωικής βιομάζας (Μπέλλος Δ., 2004). Για την περιοχή μελέτης μεγάλη συνεισφορά στην αύξηση του COD έχουν και οι απορρίψεις του ανεπεξέργαστου κατσίγαρου.

Οι μέσες τιμές του COD στα σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού δεν δείχνουν σημαντική ρύπανση του ποταμού και κυμαίνονται από 3,7 έως και 12,8 mg/L. Ωστόσο, και πάλι παρατηρείται διακύμανση των τιμών κατά τις πέντε δειγματοληψίες. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις COD για όλες τις δειγματοληψίες (<3,65mg/L) παρατηρήθηκαν στη Μαγουλίτσα (θέση 11) στον οικισμό Τρύπη, και στον ποταμό Κάστωρ (θέση 7) γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο ότι δεν υπάρχουν οικισμοί ή άλλοι ρυπαντές ανάντι των σημείων.

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση COD παρατηρείται στον ποταμό Ευρώτα στη Σκούρα, 12,8mg/L (σημείο 22). Κατά την τρίτη δειγματοληψία η συγκέντρωση COD που μετρήθηκε ήταν 48,9 mg/L, γεγονός που δείχνει ότι έχουμε σημαντική ρύπανση οργανικού φορτίου. Ωστόσο, κατά την τέταρτη δειγματοληψία η μετρούμενη συγκέντρωση ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης. Η Σκούρα βρίσκεται νοτίως της Σπάρτης, στη μέση περίπου της πεδιάδας της Σπάρτης. Στο σημείο αυτό ο Ευρώτας έχει ήδη δεχτεί μεγάλα ρυπαντικά φορτία από τα χυμοποιία, τα ελαιουργεία (την περίοδο που λειτουργούν) και τις καλλιέργειες, γεγονός που εξηγεί τις υψηλές τιμές του COD. Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις COD παρατηρούνται στον Ευρώτα στην περιοχή του Καραβά (θέση 52) και στην περιοχή του Βρονταμά (θέση 34) καθώς και στο αντλιοστάσιο (θέση 29) στην περιοχή της Σκάλας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κατά την τέταρτη δειγματοληψία όλες οι μετρούμενες τιμές (από 17 θέσεις δειγματοληψίας) παρουσίασαν σημαντική πτώση και χαρακτηριστικά το 76% των μετρούμενων τιμών να είναι κάτω του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου (3,65mg/L). Η κατάσταση αυτή εντοπίστηκε και κατά την $5^{η}$ δειγματοληψία κατά την οποία το 89% των μετρούμενων τιμών ήταν κάτω του ορίου ανίχνευσης (από 9 θέσεις δειγματοληψίας).

Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του νιτρικού αζώτου, **NO_3-N**, στο επιφανειακό νερό κυμαίνονται από 0,3mg/L έως 6mg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση NO_3-N μετρήθηκε στο ρέμα Κάκαρη πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα (θέση 21). Η μέτρηση αυτή οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι η Κάκαρη διέρχεται από καλλιεργήσιμη περιοχή και αφετέρου ότι κατά την περίοδο της τρίτης δειγματοληψίας, που μετρήθηκε η συγκέντρωση αυτή, η Κάκαρη δεν είχε μεγάλη ροή. Επίσης και ο Βασιλοπόταμος στην περιοχή της Σκάλας είχε σχετικά υψηλή συγκέντρωση NO_3-N, 2,7 mg/L, γεγονός αναμενόμενο αφού στην περιοχή της Σκάλας υπάρχουν πολλές καλλιέργειες. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του νιτρώδους αζώτου, **NO_2-N**, κυμαίνονται από 0,005 – 0,128 mg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση παρουσιάζεται

στον Ευρώτα, στη Σκούρα (θέση 22) και είναι 0,1mg/L. Στη θέση αυτή παρουσιάζονται στις τρεις από τις τέσσερις δειγματοληψίες, που λήφθηκε δείγμα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρώδους αζώτου. Οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου, **NH_3-N** λαμβάνουν τιμές από 0,024 έως 0,14mg/L.

Η μορφή στην οποία απαντάται, συνήθως, ο φώσφορος στη φύση είναι τα φωσφορικά και ο οργανικός φώσφορος. Ο φώσφορος μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τα βασικά θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Στο επιφανειακό νερό η υψηλότερη συγκέντρωση φωσφορικού φωσφόρου, **PO_4-P**, κατά μέσο όρο παρατηρήθηκε στη θέση 21 στο ρέμα Κάκαρη, 0,12mg/L και αποδίδεται, όπως και στην περίπτωση των νιτρικών, στο γεγονός ότι διέρχεται από καλλιεργήσιμη γη αλλά και στη χαμηλή ροή της. Δεύτερη υψηλότερη τιμή εντοπίζεται στην περιοχή της Σκούρας, 0,078mg/L.

Ο λόγος διαλυτού ανόργανου αζώτου προς διαλυτού ανόργανου φωσφόρου μελετάται προκειμένου να διευκρινισθεί ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης σε ένα υδάτινο σώμα. Στα περισσότερα φυσικά νερά ο φώσφορος βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και για αυτό συνήθως αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός αφορά στην υπερβολική προσθήκη θρεπτικών συστατικών, συνήθως σε σχέση με ανθρωπογενείς δραστηριότητες και την προσθήκη φωσφόρου και αζώτου στα φυσικά ύδατα. Η προσθήκη θρεπτικών συστατικών έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένου και το φυτοπλαγκτόν (άλγη που επιπλέουν), του περίφυτου (προσκολλημένα ή βενθικά άλγη) και των μακρόφυτων (έριζα αγγειώδη υδρόβια φυτά). Στην περίπτωση των λιμνών όταν διατηρείται η αναλογία N/P ίση με 16/1 το φυτοπλαγκτόν ενσωματώνει τα θρεπτικά και τα απελευθερώνει κατά την αποσύνθεσή του στην ίδια επίσης αναλογία, ρυθμίζοντας έτσι ως ένα βαθμό τη χημική σύνθεση των φυσικών υδάτων (Schnoor J., 2003).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5-5 ο περιοριστικός παράγοντας είναι κυρίως ο φώσφορος με εξαίρεση τη θέση 54 στη Σπάρτη λίγο μετά από το βιολογικό καθαρισμό που είναι το άζωτο.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των **ολικών φαινολών** κυμαίνονται από 0,5 έως 2mg/L. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά χαμηλές λαμβάνοντας υπόψη ότι αφορούν στις ολικές φαινόλες. Υψηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στον Ευρώτα στην περιοχή του Βρονταμά (2mg/L) και της Σκούρας (1,8mg/L), στο αντλιοστάσιο στην περιοχή της Σκάλας (1,6mg/L) και στον Ευρώτα στο Παλαιομονάστηρο (1,3mg/L). Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στη λειτουργία παρακείμενων ελαιουργείων, τα οποία διαθέτουν ανεπεξέργαστα τα απόβλητα τους σε παραποτάμους οι οποίοι καταλήγουν στον Ευρώτα.

Στα δείγματα επιφανειακού νερού του Ευρώτα της πέμπτης δειγματοληψίας δεν ανιχνεύθηκαν τα μέταλλα **Cu, As, Pb** και **Cd**. Στη θέση 22 και 54, δηλαδή στη

Σκούρα και κοντά στο βιολογικό καθαρισμό της Σπάρτης ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις **Zn** 0,02mg/L και 0,018mg/L, αντίστοιχα. Επίσης, σε όλα τα σημεία ανιχνεύθηκε **Cr** σε συγκεντρώσεις 0,018-0,020mg/L, τα οποία βρίσκονται κάτω από το όριο των 0,05mg/L βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό (Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998). Τέλος, για τις θέσεις 22, 34, 55 και 56, Ευρώτας στη Σκουρά, στο Βρονταμά, στο Παλαιομονάστηρο και στις εκβολές αντίστοιχα ανιχνεύτηκε **Mn**. Ειδικά στη θέση Σκούρα και στις εκβολές του Ευρώτα οι συγκεντρώσεις ήταν σχετικά υψηλές, 0,13mg/L και 0,146mg/L, αντίστοιχα. Το Mn πρωταρχικά εισέρχεται στα φυσικά νερά μέσω φυσικών διεργασιών όπως η επαφή του με ορυκτά, εδάφη και ιζήματα που περιέχουν μαγγάνιο. Ωστόσο, η εμφάνισή του μπορεί να οφείλεται σε σημειακές πηγές ρύπανσης όπως είναι βιομηχανικές εκπομπές, η καύση των απορριμμάτων και η χρήση φυτοφαρμάκων (National Rural Water Association, 2002).

Οι συγκεντρώσεις **ολικού οργανικού άνθρακα**, βάσει του Πίνακα 5-7, για τα επιφανειακά νερά του Ευρώτα της τελευταίας δειγματοληψίας κυμαίνονται από 1 έως 4,1mg/L. Η υψηλότερη τιμή εμφανίζεται στον Ευρώτα στη θέση Σκούρα γεγονός που αποδεικνύει για άλλη μια φορά την επιβάρυνση σε οργανικό φορτίο που δέχεται η περιοχή.

Τέλος, οι συγκεντρώσεις **διαλυτού ανόργανου αζώτου** κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα ενώ όσον αφορά στο **διαλυτό οργανικό άζωτο** υψηλή συγκέντρωση παρατηρήθηκε στις εκβολές του Ευρώτα, 9,5mg/L. Ο λόγος οργανικού διαλυτού αζώτου προς ολικό διαλυτό άζωτο για όλες τις θέσεις κυμαίνεται από 0,72 έως 0,92, με μέση τιμή 0,86.

Ενδείξεις φυσικής αποκατάστασης

Στόχος των δειγματοληψιών είναι να βρεθούν στοιχεία τα οποία αποδεικνύουν την ύπαρξη φυσικής αποκατάστασης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Προκειμένου για τα ύδατα του Ευρώτα, το προϋπάρχον δίκτυο δειγματοληψίας ενισχύθηκε με πέντε επιπλέον σημεία δειγματοληψίας, έτσι συνολικά οι θέσεις δειγματοληψίας επί του ποταμού Ευρώτα είναι οκτώ. Οι θέσεις αυτές είναι στην περιοχή της Πελλάνας – Παρδάλι (8), του Καραβά (52), στη Γέφυρα της Σπάρτης (53), στο Βιολογικό της Σπάρτης (54), στην περιοχή της Σκούρας (22), στη Γέφυρα του Βρονταμά (34), κοντά στην περιοχή Παλαιομονάστηρο (55) και στις εκβολές του Ευρώτα στον Λακωνικό κόλπο (56). Θεωρήθηκε σκόπιμο η αξιολόγηση της φυσικής ικανότητας του Ευρώτα να μειώνει το ρυπαντικό φορτίο να γίνει βάσει των σημείων από τα οποία είχε παρθεί περισσότερες της μιας φοράς δείγμα. Έτσι η αξιολόγηση γίνεται για τα σημεία 52, 54, 22, 34, 55, 56. Στον Πίνακα 5-8 δίνονται τα αποτελέσματα ως η διάμεσος των μετρηθέντων τιμών από τις πέντε δειγματοληψίες και το εύρος των τιμών από το πρώτο [Q1 ή Q(25%)] έως το τρίτο [Q3 ή Q(75%)] τεταρτημόριο, τα οποία παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 5-4 και 5-5.

Πίνακας 5-8: Συγκεντρώσεις NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P, COD, DO και ολικών φαινολών κατά μήκος του Ευρώτα από τις 5 δειγματοληψίες (median, Q1, Q3)

Εκτίμηση Φυσικής Αποκατάστασης Ευρώτα		52 Καραβάς	54 Βιολογικός Σπάρτης	22 Σκούρα	34 Γέφυρα Βρονταμά	55 Παλ/ρο	56 Εκβολές
NO_3-N	Median	0,951	0,284	1,796	1,216	0,961	0,493
	Q1	0,052	0,025	0,856	0,706	0,157	0,193
	Q3	0,988	0,302	2,379	2,045	1,072	0,630
NO_2-N	Median	0,005	0,020	0,100	0,016	0,070	0,031
	Q1	0,005	0,012	0,056	0,010	0,050	0,026
	Q3	0,006	0,036	0,185	0,041	0,111	0,043
NH_3-N	Median	0,028	0,062	0,032	0,025	0,063	0,042
	Q1	0,027	0,044	0,025	0,025	0,053	0,037
	Q3	0,031	0,099	0,109	0,080	0,085	0,052
PO_4-P	Median	0,030	0,065	0,070	0,038	0,069	0,065
	Q1	0,023	0,037	0,018	0,029	0,067	0,054
	Q3	0,045	0,121	0,155	0,113	0,072	0,086
T.phenols	Median	0,670	0,804	1,452	1,102	1,282	0,776
	Q1	0,668	0,716	1,167	0,993	1,270	0,708
	Q3	0,675	0,979	3,163	4,839	1,307	0,913
COD	Median	6,43	3,70	4,29	7,68	3,65	3,65
	Q1	5,04	3,67	3,65	6,90	3,65	3,65
	Q3	9,20	3,75	48,93	9,29	3,65	3,65
DO	Median	9,8	9,7	5,8	6,7	6,8	8,6
	Q1	8,0	8,7	5,4	6,0	6,1	8,3
	Q3	13,2	11,8	7,7	7,6	8,0	9,2

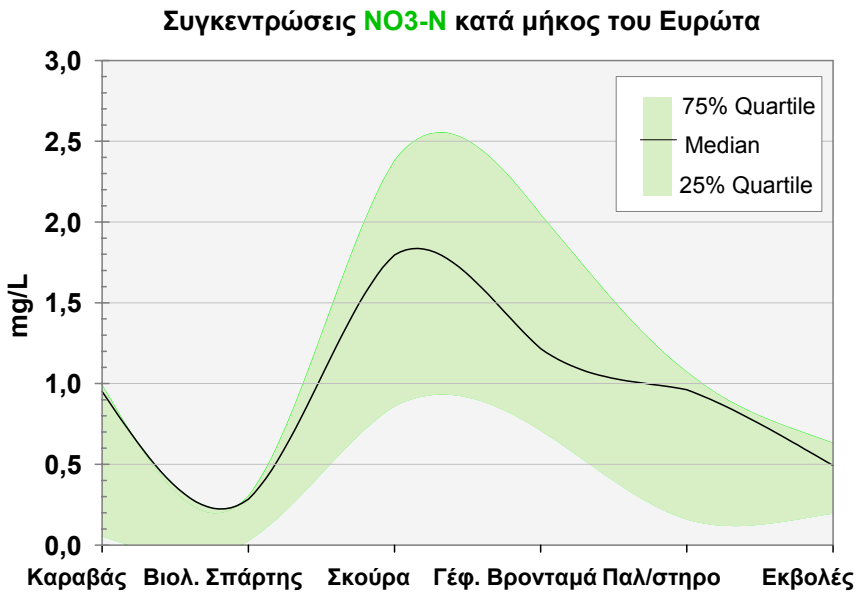
Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι:

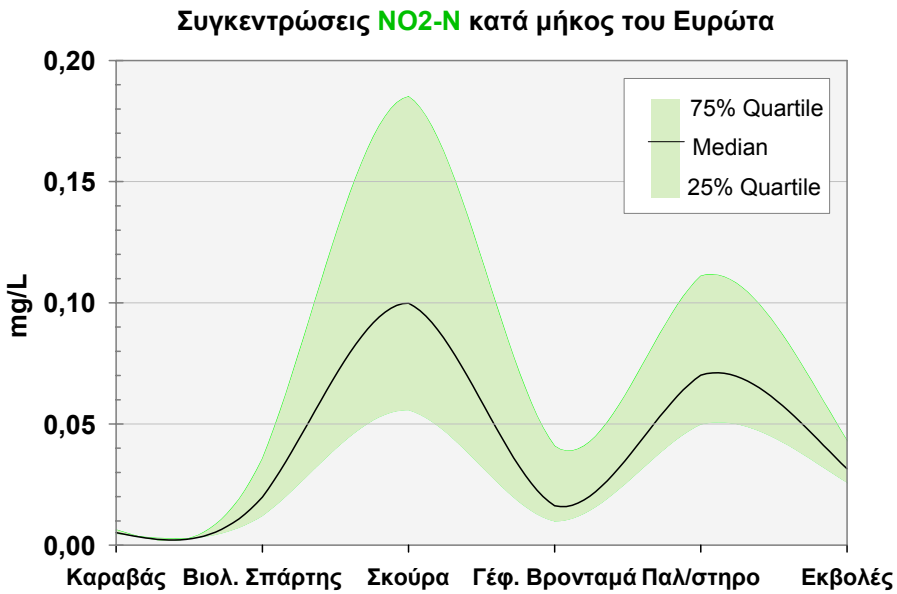
1. Οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου κατά μήκος του Ευρώτα, παρουσιάζουν μέγιστο στην περιοχή της Σκούρας το οποίο φθήνει προς τις εκβολές του Ευρώτα.
2. Οι συγκεντρώσεις του νιτρώδους αζώτου κατά μήκος του Ευρώτα, παρουσιάζουν μέγιστη τιμή στη Σκούρα η οποία μειώνεται κατά πολύ στη Γέφυρα του Βρονταμά. Στη συνέχεια παρατηρείται και πάλι αύξηση στο Παλαιομονάστηρο ενώ στις εκβολές η συγκέντρωση μειώνεται. Την ίδια τάση παρουσιάζουν και τα φωσφορικά.

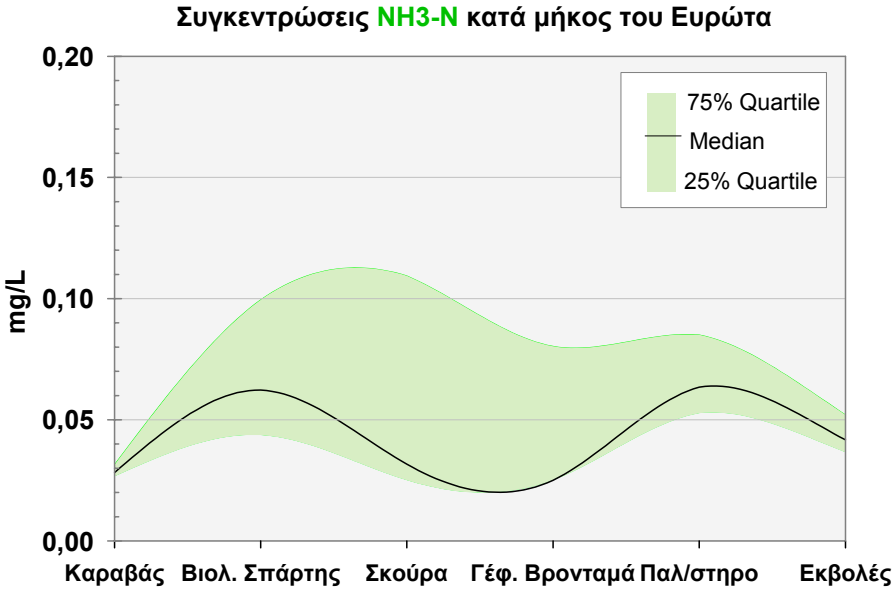
3. Το εύρος των συγκεντρώσεων του COD δείχνει αύξηση των τιμών στη Σκούρα και επακολουθεί μείωση μέχρι τις εκβολές. Την ίδια τάση παρουσιάζει και ο ολικός οργανικός άνθρακας με μία παρεμβολή στη θέση Παλαιομονάστηρο όπου παρατηρείται σχετική αύξηση.
4. Οι ολικές φαινόλες παρουσιάζουν αυξημένες τιμές από την περιοχή της Σκούρας μέχρι και το Παλαιομονάστηρο που όμως και πάλι μειώνονται στις εκβολές.
5. Οι χαμηλότερες τιμές διαλυμένου οξυγόνου εντοπίζονται και πάλι στη Σκούρα. Οι τιμές στη Γέφυρα του Βρονταμά και στο Παλαιομονάστηρο είναι χαμηλότερες συγκρινόμενες με αυτές στα υπόλοιπα σημεία ωστόσο δεν είναι ανησυχητικές καθώς υπερβαίνουν τα 6mg/L. Και πάλι στις εκβολές του Ευρώτα παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας των υδάτων του Ευρώτα καθώς αυξάνονται οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου.

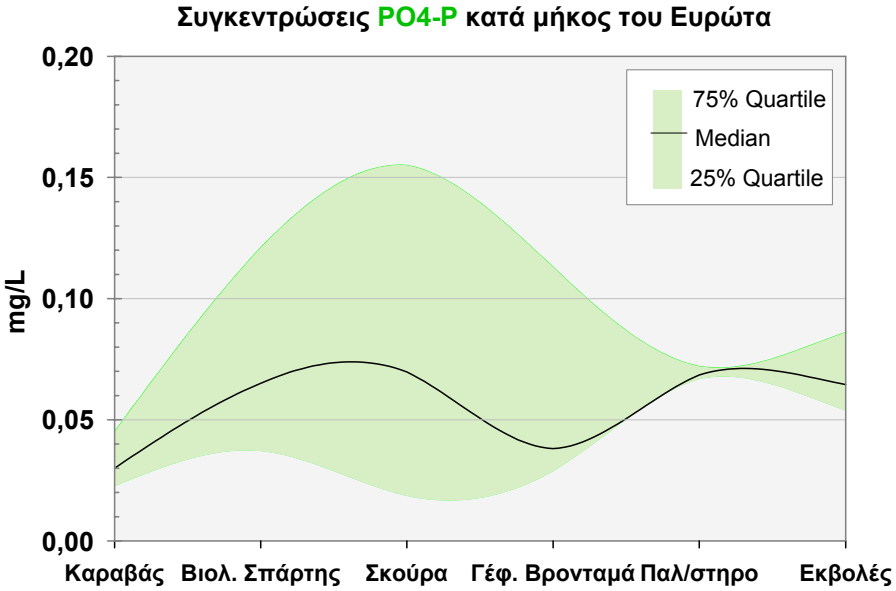
Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί αποκατάστασης γιατί παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (όπως οικισμοί, ελαιουργεία και καλλιέργειες) που θα έπρεπε να το επιβαρύνουν προσθετικά καθώς αυτό διέρχεται από τα κατά μήκος σημεία, στις εκβολές παρατηρείται μείωση των ρυπαντικών φορτιών.

Επίσης, από την αξιολόγηση διαφάνηκε ότι οι περιοχές που έχουν υποστεί τη μεγαλύτερη υποβάθμιση από άποψη ποιότητας επιφανειακών υδάτων είναι ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας και του Παλαιομονάστηρου.

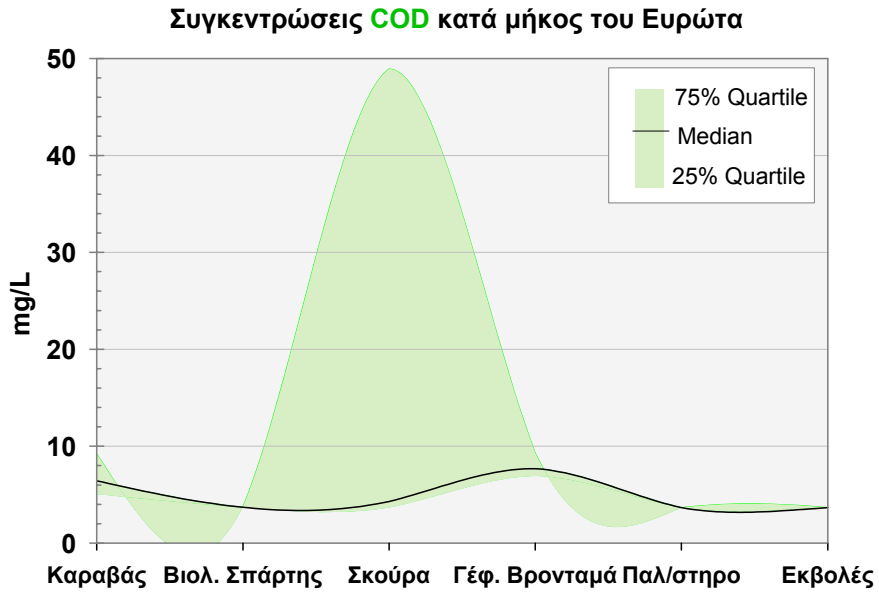


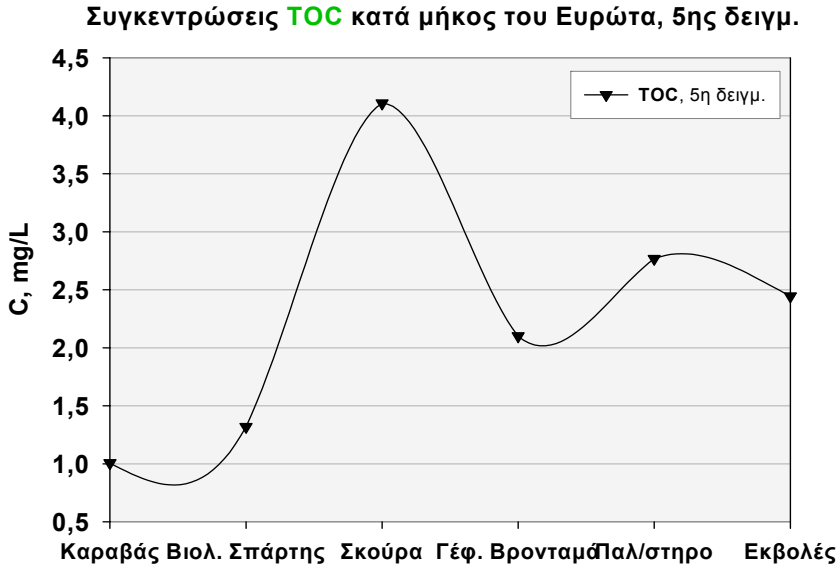


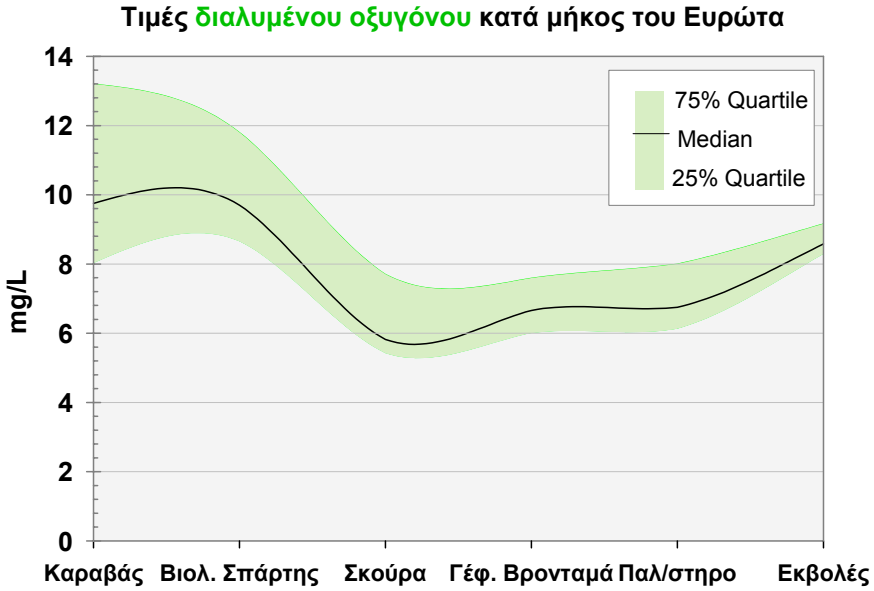


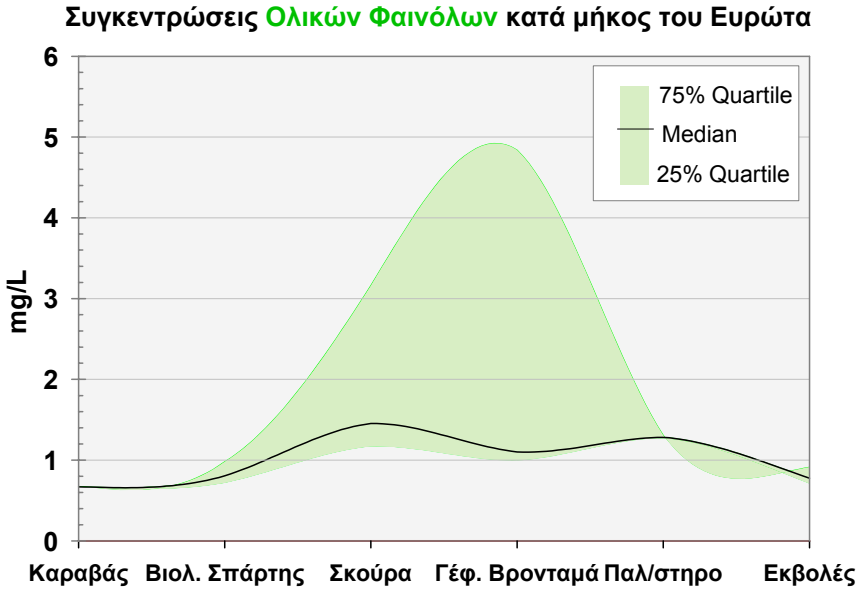


Διαγράμματα 5-4: Συγκεντρώσεις NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N και PO_4-P κατά μήκος του Ευρώτα από τις 5 δειγματοληψίες (median, Q1, Q3)









Διαγράμματα 5-5: Συγκεντρώσεις COD, DO και ολικών φαινολών κατά μήκος του Ευρώτα από τις 5 δειγματοληψίες (median, Q1, Q3)και TOC 5^{ης}

5.3.4.2. Αποτελέσματα δειγματοληψιών υπογείου νερού

Φυσικοχημικές παράμετροι

Οι μέσοι όροι των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων από όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-9. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.

Όπως και στην περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, και στα υπόγεια οι τιμές της θερμοκρασίας διαφοροποιούνται αναλόγως με την εποχή που έγινε η δειγματοληψία.

Οι τιμές του pH κυμαίνονται γύρω στο 7,0 και είναι χαμηλότερες από αυτές των επιφανειακών νερών. Στα δείγματα από τις πηγές οι τιμές pH κυμαίνονται από 6,9 έως 8,2, από τα πηγάδια 7,1 έως 7,2 και από τις γεωτρήσεις 6,8 έως 8,1.

Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις και είναι χαμηλότερες από αυτές των επιφανειακών, αφού δεν έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση του DO για τα υπόγεια νερά ενδεχομένως να εμπεριέχει σφάλματα αφού με την άντληση μπορεί να δημιουργηθεί τύρβη η οποία να προκαλέσει διάλυση οξυγόνου στο νερό. Το ίδιο αποτέλεσμα έχει και η επαφή του δείγματος με τον αέρα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου έγινε δειγματοληψία από ανοιχτά πηγάδια. Έτσι οι πραγματικές τιμές DO στο υπόγειο νερό είναι χαμηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν.

Οι τιμές της αγωγιμότητας στις πηγές κυμαίνονται σε κανονικές τιμές με εξαίρεση τη μέτρηση στις πηγές στο χωριό Καρυές, 1.140 μS/cm. Στη θέση αυτή μετρήθηκε η μέγιστη τιμή αγωγιμότητας υδάτων πηγών όλες τις φορές που έγινε δειγματοληψία. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε ρύπανση των νερών της πηγής είτε στη γεωλογία της περιοχής. Οι τιμές αγωγιμότητας των υπόγειων υδάτων από τα πηγάδια παρουσιάζουν τιμές κοντά στα 700μS/cm ενώ από τις γεωτρήσεις είναι χαμηλότερες, με εξαίρεση τη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση που έχει πολύ υψηλή τιμή 1.845μS/cm, και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση τιμών (245-605μS/cm).

Τέλος οι τιμές οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Eh) των πηγαδιών είναι υψηλές και κυμαίνονται γύρω στα 400 mV. Εν αντιθέσει οι τιμές του Eh των πηγών και των γεωτρήσεων είναι χαμηλές και κυμαίνονται στα 250 mV.

Πίνακας 5-9: Μέσες τιμές μετρήσεων T, pH, DO, Cond, Eh υπογείων υδάτων από όλες τις δειγματοληψίες

Υπόγειο Νερό - Πηγές		T (°C)		pH		DO (mg/L)		Conductivity (μS/cm)		Eh (mV)	
		average	std	average	std	average	std	average	std	average	std
4	Πηγές Ευρώτα	14,5	1,2	6,9	0,2	9,28	2,76	620	242	200,9	147,2
19	Πηγή (Περιστέρι)	16,4	1,3	7,1	0,1	2,30	0,83	723	84	190,4	119,4
27	Αποστραγγιστικό	19,0	2,8	7,3	0,3	6,00	0,68	629	290	207,2	9,7
30	Πηγές Σκάλας	18,7	1,4	7,2	0,2	6,64	0,61	520	118	258,6	40,0
36	Πηγή (Μεγάλη Βρύση)	13,2	2,6	7,3	0,1	9,08	4,14	455	158	312,6	36,8
47	Πηγές Καρυές	15,6	2,0	6,9	0,1	5,63	2,34	1140	370	252,6	14,1
62	Άγιος Ιωάννης	22,7		7,4		5,50		435		279,8	
58	Τρύπη α	14,5		7,6		3,20		642		247,3	
59	Τρύπη β	19,1		7,7		2,50		564		269,5	
60	Σοχά α	15,9		8,2		5,90		382		252,6	
61	Σοχά β	16,5		8,0		6,00		295		265,3	
Υπόγειο Νερό - Πηγάδια		**T (°C)**		**pH**		**DO (mg/L)**		**Conductivity (μS/cm)**		**Eh (mV)**	
		average	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**
37	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	17,8	3,0	7,6	0,2	4,87	2,58	685	219	375,4	189,6
38	Πηγάδι (Βαρικά)	18,4	3,6	7,1	0,1	5,64	0,79	759	164	402,5	181,4
39	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	18,8	0,3	7,4	0,2	4,00	0,81	553	179	350,9	206,1
40	Πηγάδι (Αλέσια)	18,6	2,8	7,4	0,2	4,49	0,92	709	68	382,7	178,4
41	Πηγάδι (Βαρικά)	17,6	3,3	7,1	0,1	5,87	1,48	763	178	418,7	205,1
42	Πηγάδι (Ριζά)	18,9	2,2	7,2	0,1	4,41	0,75	748	70	372,0	181,9
43	Πηγάδι (Σκούρα)	19,3	3,8	7,2	0,0	4,86	0,56	741	43	380,6	166,8
44	Πηγάδι (Σκούρα)	19,0	4,1	7,1	0,3	3,79	1,61	724	74	371,5	172,8
45	Πηγάδι (Σκούρα)	19,4	5,2	7,4	0,3	4,37	1,53	524	87	369,8	163,9
46	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	17,9	1,5	7,2	0,1	4,70	0,85	811	64	397,9	199,3
Υπόγειο Νερό - Γεωτρήσεις		**T (°C)**		**pH**		**DO (mg/L)**		**Conductivity (μS/cm)**		**Eh (mV)**	
		average	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**
12	Γεώτρηση (Μαγούλα)	18,5	2,6	7,2	0,1	4,89	0,70	502	51	349,1	240,2
13	Γεώτρηση (Παρόρι)	16,8	3,5	7,6	0,1	5,52	1,00	417	70	364,9	218,1
14	Γεώτρηση (Άγιος Ιωάννης)	17,3	2,9	7,3	0,2	5,61	0,74	563	132	334,2	234,1
16	Γεώτρηση (Αγία Κυριακή)	19,7	1,4	7,6	0,2	2,78	1,01	395	43	291,9	311,4
17	Γεώτρηση (Ριβιώτισσα)	26,0		7,6		3,08		402		36,6	
18	Γεώτρηση (Αμύκλες)	18,2	4,2	7,6	0,3	5,77	0,82	245	57	324,7	173,0
20b	Γεώτρηση (Ανώγεια)	15,7	5,8	7,5	0,1	5,94	0,83	264	148	324,6	152,6
25	Γεώτρηση (Σκάλα)	20,5	4,9	7,4	0,1	6,05	0,49	521	77	203,3	7,6
26	Γεώτρηση (Σκάλα)	18,4	1,0	7,3	0,2	4,91	0,28	502	40	242,6	53,5
28	Γεώτρηση (Σκάλα)	18,7	0,8	7,3	0,1	4,00	0,60	480	66	205,9	49,5
31	Γεώτρηση (Αστέριο)	19,3	1,9	7,3	0,1	5,44	1,05	605	222	204,9	55,6

Χημικές παράμετροι

Στον Πίνακα 5-10 δίνονται οι μέσοι όροι των τιμών από τις τέσσερις δειγματοληψίες. Τα αναλυτικά αποτελέσματα δίνονται στον Παράρτημα Ι στον Πίνακα Δ.

Όσον αφορά στις μέσες τιμές του **COD** των πηγών η υψηλότερη τιμή εμφανίστηκε στις πηγές του Ευρώτα, 4,59 mg/L, η οποία δείχνει ρύπανση από οργανικό φορτίο που μπορεί να προέρχεται από τους οικισμούς που βρίσκονται ανάντι των πηγών ή και από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην περιοχή. Ρύπανση από οργανικό φορτίο φαίνεται να έχουν και οι πηγές στις Καρυές (θέση 47) και στη Μεγάλη Βρύση (θέση 36), η οποία μπορεί να προέρχεται επίσης από τους οικισμούς που βρίσκονται ανάντη. Για τα πηγάδια η υψηλότερη μέση μετρήθηκε στην περιοχή της Ριβιώτισσας, θέση 46. Η μέση συγκέντρωση του COD στις γεωτρήσεις στην περιοχή της Ριβιώτισσας είναι υψηλότερη από αυτή στην περιοχή της Σκάλας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, στην περιοχή της Σπάρτης, οι γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b έχουν υψηλότερη συγκέντρωση COD από ότι οι γεωτρήσεις 16 και 17.

Βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου, **NO_3-N,** δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες των 11,3mg/L. Οι μέσες τιμές του νιτρικού αζώτου στις πηγές είναι κατά πολύ χαμηλότερες αυτής της τιμής, εκτός από την πηγή στο χωριό Περιστέρι, 13,7mg/L. Σχετικά υψηλή τιμή έχει και η μέση συγκέντρωση στην πηγή στο χωριό Καρυές. Υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά μετρήθηκαν στα πηγάδια στην περιοχή της Ριβιώτισσας και της Σκούρας. Τα πηγάδια στη Ριβιώτισσα εμφανίζουν πιο αυξημένες τιμές με τις θέσεις 37, 41 καιι 46 να είναι πάνω από το όριο των 11,3mg/L. Οι μέσες συγκεντρώσεις στις γεωτρήσεις κυμαίνονται από 1,3 έως 4,8 mg/L, με εξαίρεση τη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, ανατολικά της Σκάλας η οποία όλες τις φορές που πάρθηκες δείγμα εμφάνισε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε νιτρικά ($2^η$: 62,5mg/L, $3^η$: 44,5mg/L και $4^η$: 17,6mg/L).

Βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις των **NO_2-N** και **NH_3-N** πρέπει να είναι μικρότερες από 0,153mg/L και 0,388mg/L. Για όλα τα υπόγεια ύδατα οι συγκεντρώσεις είναι πολύ χαμηλότερες από τις τιμές αυτές. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τα PO_4-P, για τα οποία το όριο είναι 2,18mg/L.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5-10, κρίνοντας από τον λόγο N/P, ο περιοριστικός παράγοντας είναι σε όλες τις περιπτώσεις ο φώσφορος.

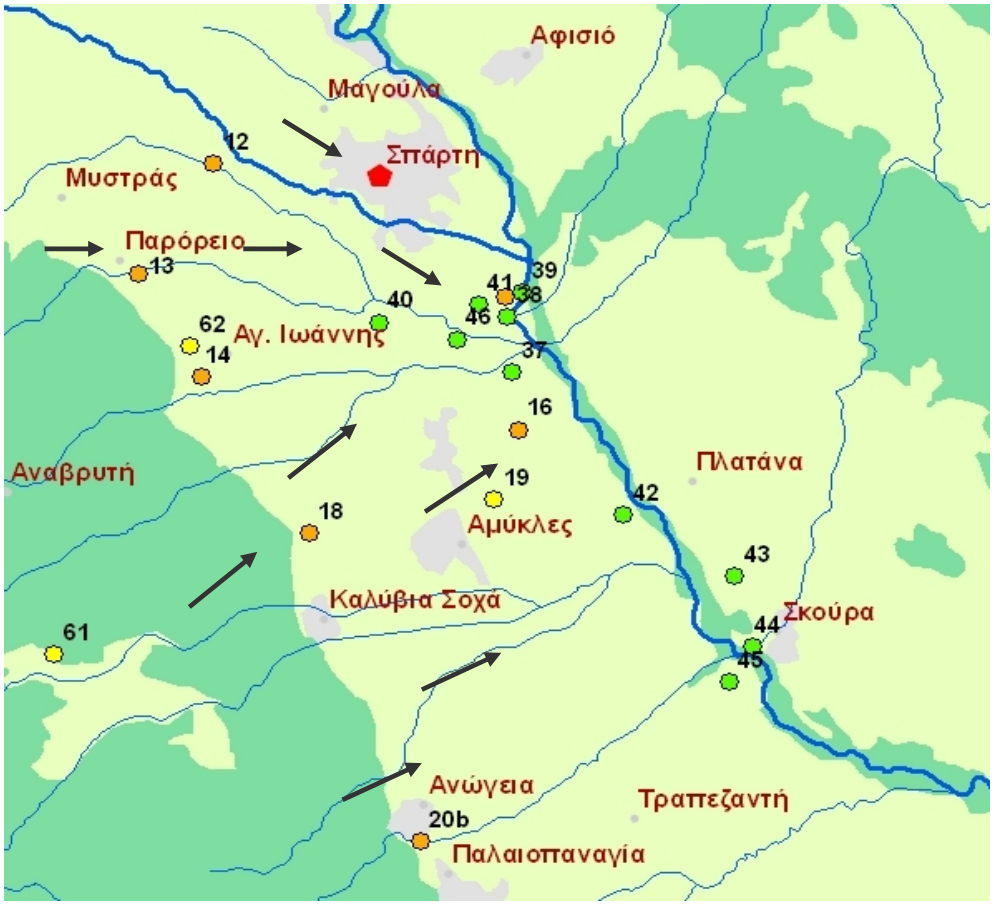
Η μέση συγκέντρωση των **ολικών φαινολών** εμφανίζει υψηλότερες τιμές κατά μέσο όρο στα πηγάδια, έπειτα στις πηγές και τέλος στις γεωτρήσεις. Ωστόσο, οι υψηλότερες μέσες τιμές από τις όλες τις δειγματοληψίες μετρήθηκαν στη γεώτρηση 32 στη Γλυκόβρυση, 2,7mg/L και στη γεώτρηση 18 στην περιοχή των Αμύκλων, 1,9mg/L. Ανάντι και των δύο περιοχών υπάρχουν ελαιουργεία. Στην περιοχή των Αμυκλών δε λειτουργεί πλέον. Πιθανότατα όμως η ρύπανση έχει συσσωρευτεί στον υπόγειο υδροφορέα.

Πίνακας 6-10: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων COD, NO_2-N, NO_3-N, NH_3-N, PO_4-P και ολ. φαινολών στα υπόγεια ύδατα από όλες τις δειγματοληψίες

Υπόγειο Νερό - Πηγές		COD (mg/L)		NO_2-N (mg/L)		NO_3-N (mg/L)		NH_3-N (mg/L)		PO_4-P (mg/L)		N/P	Tphenols (mg/L)	
		average	std	average	std	average	std	average	std	average	std		average	std
4	Πηγές Ευρώτα	4,59	1,31	bdl		2,0	1,6	0,042	0,029	0,059	0,046	35,8	0,776	0,083
19	Πηγή (Περιστέρι)	bdl		bdl		13,7		0,101		0,040		799,2	1,580	
30	Πηγές Σκάλας	3,72	0,14	0,005	0,001	2,2	1,4	0,043	0,029	0,027	0,007	119,4	0,678	0,202
36	Πηγή (Μεγάλη Βρύση)	4,07	0,37	bdl		1,0	0,9	0,037	0,018	0,027	0,017	87,1	0,587	0,213
47	Πηγές Καρυές	4,65	1,03	bdl		7,9	3,3	0,033	0,013	0,054	0,041	338,8	1,596	0,248
62	Άγιος Ιωάννης	bdl		bdl		0,5		bdl		0,021		18,8	1,334	
58	Τρύπη α	bdl		bdl		bdl		bdl		bdl			0,521	
59	Τρύπη β	bdl		bdl		bdl		0,051		bdl			0,745	
60	Σοχά α	bdl		bdl		bdl		0,026		0,074		3,0	bdl	
61	Σοχά β	bdl		bdl		bdl		0,031		0,070		3,2	bdl	
Υπόγειο Νερό - Πηγάδια		**COD (mg/L)**		**NO_2-N (mg/L)**		**NO_3-N (mg/L)**		**NH_3-N (mg/L)**		**PO_4-P (mg/L)**		**N/P**	**Tphenols (mg/L)**	
		average	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**		**average**	**std**
37	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	3,98	0,57	0,043	0,067	12,6	7,7	0,057	0,028	0,034	0,024	820,3	1,061	0,080
38	Πηγάδι (Βαρικά)	4,46	1,40	bdl		9,0	5,6	0,033	0,014	0,051	0,019	392,6	1,184	0,231
39	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	bdl		bdl		6,3	3,1	0,032	0,010	0,031	0,019	454,7	0,885	0,295
40	Πηγάδι (Αλέσια)	bdl		0,013	0,010	10,0	5,5	0,027	0,004	0,046	0,005	478,3	0,978	0,262
41	Πηγάδι (Βαρικά)	3,79	0,20	0,005	0,002	14,5	11,2	0,059	0,059	0,040	0,015	817,3	1,480	0,435
42	Πηγάδι (Ριζά)	3,91	0,45	0,009	0,005	10,0	7,4	0,049	0,042	0,054	0,078	409,8	1,373	0,188
43	Πηγάδι (Σκούρα)	4,68	1,46	0,006	0,002	5,7	4,0	0,099	0,040	0,032	0,010	398,3	1,147	0,223
44	Πηγάδι (Σκούρα)	3,98	0,57	bdl		3,9	1,1	0,057	0,019	0,031	0,011	281,3	1,014	0,367
45	Πηγάδι (Σκούρα)	bdl		0,031	0,047	5,7	4,1	0,192	0,259	0,037	0,012	356,1	0,788	0,243
46	Πηγάδι (Ριβιώτισσα)	5,22	2,22	0,006	0,004	13,1	8,5	bdl		0,025	0,015	1168,9	1,365	0,227
Υπόγειο Νερό - Γεωτρήσεις		**COD (mg/L)**		**NO_2-N (mg/L)**		**NO_3-N (mg/L)**		**NH_3-N (mg/L)**		**PO_4-P (mg/L)**		**N/P**	**Tphenols (mg/L)**	
		average	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**	**average**	**std**		**average**	**std**
12	Γεώτρηση (Μαγούλα)	4,22	0,99	0,012	0,014	3,5	2,0	0,052	0,026	0,092	0,079	86,9	0,759	0,178
13	Γεώτρηση (Παρόρι)	3,99	0,68	0,005	0,002	4,8	2,0	0,049	0,042	0,060	0,057	176,9	0,411	0,112
14	Γεώτρηση (Άγ. Ιωάννης)	4,61	1,93	0,005	0,003	4,8	0,5	0,025	0,003	0,090	0,071	118,6	0,616	0,119
16	Γεώτρηση (Αγία Κυριακή)	bdl		bdl		1,3	1,4	0,083	0,037	0,070	0,013	43,6	0,587	0,504
17	Γεώτρηση (Ριβιώτισσα)	bdl												
18	Γεώτρηση (Αμύκλες)	4,33	1,17	bdl		1,6	1,3	0,031	0,011	0,050	0,035	71,2	1,881	2,818
20b	Γεώτρηση (Ανώγεια)	bdl		bdl		3,4	2,9	0,030	0,009	0,035	0,010	213,9	0,573	0,178
25	Γεώτρηση (Σκάλα)	bdl		bdl		1,3		bdl		0,096		30,4	0,324	
26	Γεώτρηση (Σκάλα)	bdl		0,005	0,002	1,9	1,6	0,047	0,001	0,059	0,046	74,5	0,639	0,148
28	Γεώτρηση (Σκάλα)	bdl		bdl		1,4	1,5	0,032	0,009	0,066	0,072	46,8	0,478	0,107
31	Γεώτρηση (Αστέριο)	bdl		bdl		4,2	4,5	0,046	0,031	0,033	0,011	288,9	0,676	0,276

Ενδείξεις φυσικής αποκατάστασης

Στην Εικόνα 5-6 φαίνονται όλες οι θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή της πεδιάδας της Σπάρτης και με βέλη δείχνεται η ροή του υπόγειου νερού σύμφωνα με τον Αντωνάκο 1997. Τα πηγάδια συμβολίζονται με το πράσινο χρώμα, οι γεωτρήσεις με το πορτοκαλί και οι πηγές με το κίτρινο. Για να διαπιστωθεί αν λειτουργούν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης, όσον αφορά στα υπόγεια νερα, πρέπει να ακολουθηθεί η πορεία των ρύπων, όπως αυτοί μετακινούνται ακολουθώντας τη ροή του υπόγειου νερού, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν οι συγκεντρώσεις τους μειώνονται.



Εικόνα 5-6: Λεπτομέρεια χάρτη θέσεων δειγματοληψίας, πηγάδια δειγματοληψίας και κατεύθυνση ροής του υπόγειου νερού

Βάσει της κίνησης του υπογείου νερού και των αποτελεσμάτων του Πίνακα συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Συγκρίνοντας τις μέσες συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στα πηγάδια 41 και 38 παρατηρείται ότι η μέση συγκέντρωση του μειώνεται ακολουθώντας τη ροή του υπογείου νερού, από 14,5mg/L (πηγάδι 41) στα 9mg/L (πηγάδι 38). Ομοίως, από το πηγάδι 46 στο 37 παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου από 13,1 mg/L σε 12,6 mg/L. Μείωση επίσης παρατηρείται από στις συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου της πηγής στο Περιστέρι (θέση 19) συγκριτικά με το πηγάδι 37. Στο σημείο αυτό αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι τα πηγάδια στην

περιοχή της Σκούρας (θέσεις 43, 44, 45) έχουν μέσες συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου μικρότερες από ότι τα πηγάδια στην περιοχή της Σπάρτης, παρόλο που οι εντατικά καλλιεργημένες περιοχές συνεχίζονται μέχρι και την περιοχή της Σκούρας.

2. Η ίδια τάση παρουσιάζεται στη μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών. Έτσι στο πηγάδι 41 η μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών είναι 1,5 mg/L ενώ στο πηγάδι 38 είναι 1,2 mg/L. Η ίδια μείωση παρατηρείται και για τα πηγάδια 46 και 37.
3. Η μείωση που παρατηρείται στις συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου ακολουθώντας τη ροή του υπόγειου νερού δεν παρατηρείται στις συγκεντρώσεις του COD. Μείωση παρατηρείται μόνο από το πηγάδι 46 στο 47, από 5,2mg/L σε 4mg/L. Τα πηγάδια που βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές, όπως τα πηγάδια 40, 45, 42, 44, 39 και η πηγή στο Περιστέρι (θέση 19) έχουν χαμηλότερες μέσες συγκεντρώσεις COD, από ότι αυτά που βρίσκονται σε σπίτια κατοίκων της περιοχής. Παράδειγμα αποτελούν τα πηγάδια 38 και 39, που ενώ οι απόσταση μεταξύ τους είναι μικρή, το πηγάδι 38 βρίσκεται μέσα στον οικισμό Βαρικά και έχει μέση συγκέντρωση COD 3,79 mg/L ενώ το πηγάδι 39 έχει μέση συγκέντρωση < 3,65 mg/L.
4. Τέλος, όσον αφορά στις γεωτρήσεις, οι συγκεντρώσεις του COD και του NO_3-N στις γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b είναι υψηλότερες από τις γεωτρήσεις 16 και 17, στην περιοχή της Ριβιώτισσας, παρόλο που στην περιοχή αυτή υπάρχουν πολλές πηγές ρύπανσης, όπως οικισμοί και καλλιέργειες.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι υπάρχει μείωση των ρύπων, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης κατά μήκος της ροής των υπογείων υδάτων.

5.3.4.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων επιφανειακού και υπογείου νερού

Στον Πίνακας 5-11 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος και το πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο των φυσικοχημικών παραμέτρων και συγκεντρώσεων από όλες τις δειγματοληψίες στο επιφανειακό νερό και στο νερό των πηγών, των πηγαδιών και των γεωτρήσεων. Ο λόγος που παρουσιάζονται τα ανωτέρω είναι ότι οι υπολογιζόμενες μέσες τιμές παρουσιάζουν υψηλή τυπική απόκλιση με ενδεχόμενο αποτέλεσμα τη δημιουργία εσφαλμένων εντυπώσεων.

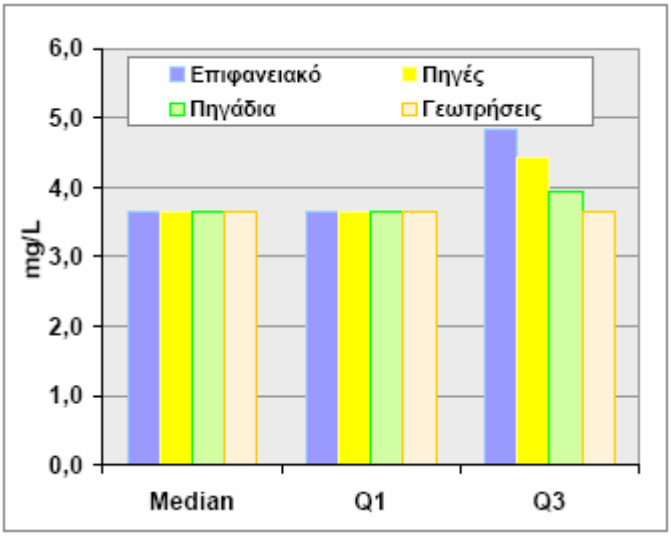
Τέλος, στα Διαγράμματα 5-6 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των COD, NO_3-N, PO_4-P για τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

Πίνακας 5-111: Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, διάμεσος, Q1 και Q3 υπογείων και επιφανειακών υδάτων από όλες τις δειγματοληψίες

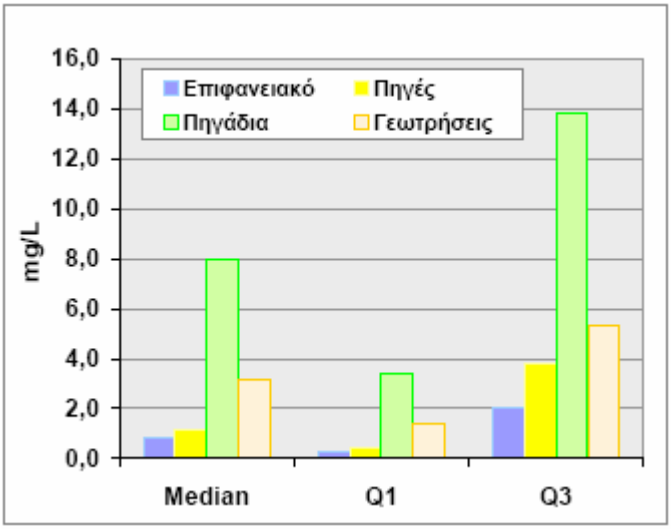
Σύγκριση επιφανειακών υπογείων υδάτων		T (°C)	pH	DO (mg/L)	Cond (μS/cm)	Eh (mV)	COD (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	PO_4-P (mg/L)	T.phenols (mg/L)
Επιφανειακό	Μέση Τιμή	17,0	8,0	6,8	606,7	233,6	5,2	0,024	1,4	0,049	0,055	1,0
	std	3,6	0,4	2,0	342,5	52,0	5,7	0,040	1,5	0,044	0,046	0,7
	median	17,6	8,0	6,6	514,0	232,9	3,7	0,006	0,9	0,031	0,044	0,8
	Q1	14,4	7,6	5,5	393,0	200,3	3,7	0,004	0,3	0,025	0,023	0,6
	Q3	19,4	8,2	7,9	735,0	264,0	4,8	0,025	2,1	0,056	0,073	1,1
Πηγές	Μέση Τιμή	16,7	7,3	6,4	624,9	240,3	4,3	0,005	2,4	0,040	0,040	0,8
	std	2,9	0,4	2,8	285,4	75,0	1,1	0,002	2,9	0,022	0,029	0,4
	median	16,3	7,2	6,0	537,0	250,0	3,7	0,004	1,1	0,027	0,032	0,7
	Q1	14,5	7,0	4,9	435,0	212,6	3,7	0,004	0,4	0,025	0,019	0,5
	Q3	18,0	7,4	7,7	667,0	284,8	4,4	0,004	3,8	0,051	0,056	0,9
Πηγάδια	Μέση Τιμή	18,6	7,3	4,7	706,9	382,2	4,1	0,013	9,1	0,063	0,038	1,1
	std	2,8	0,2	1,3	135,1	154,8	0,9	0,025	6,4	0,087	0,026	0,3
	median	18,5	7,2	4,8	744,0	307,7	3,7	0,004	8,0	0,029	0,038	1,1
	Q1	16,5	7,1	3,8	642,0	252,9	3,7	0,004	3,4	0,025	0,024	0,9
	Q3	20,7	7,4	5,4	782,0	568,8	3,9	0,007	13,8	0,066	0,047	1,3
Γεωτρήσεις	Μέση Τιμή	18,5	7,3	5,1	583,1	283,7	4,0	0,005	7,2	0,044	0,060	1,0
	std	3,3	0,3	1,1	456,9	252,2	0,8	0,005	13,7	0,026	0,045	1,1
	median	18,4	7,4	5,1	463,0	229,2	3,7	0,004	3,2	0,029	0,046	0,6
	Q1	16,6	7,2	4,6	395,5	84,6	3,7	0,004	1,4	0,025	0,030	0,4
	Q3	20,7	7,5	5,7	552,5	350,6	3,7	0,004	5,3	0,054	0,080	0,8

Διαγράμματα 5-6: Διάμεσος, Q1 και Q3 για τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα των συγκεντρώσεων των ρυπαντών από όλες τις δειγματοληψίες στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα

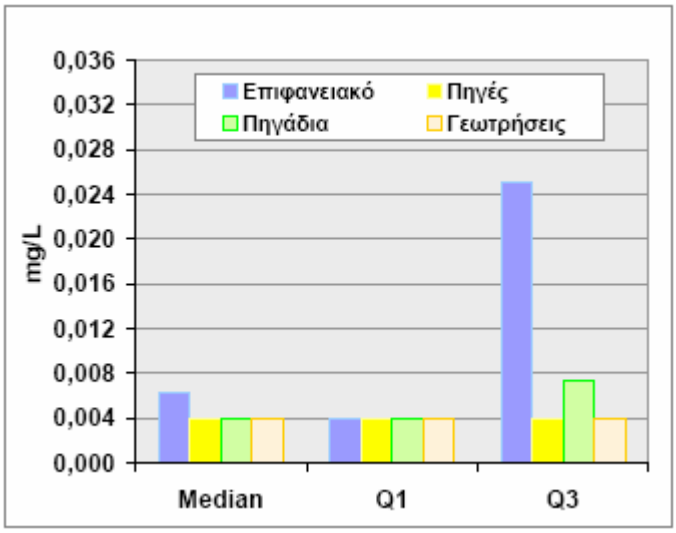
COD επιφανειακών και υπογείων υδάτων



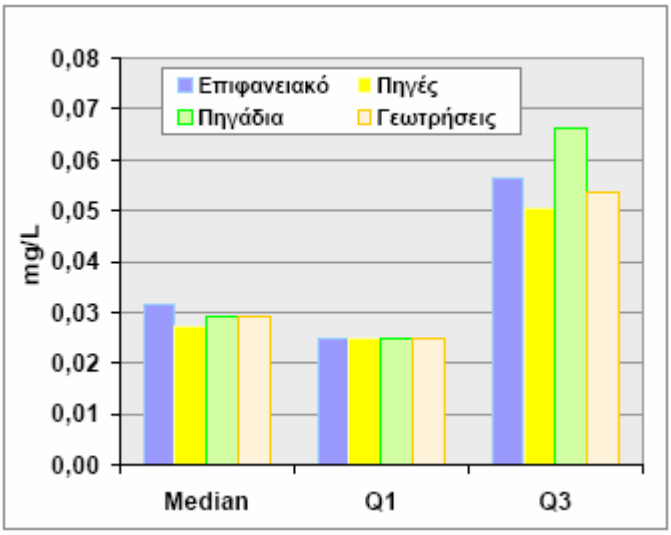
NO_3-N επιφανειακών και υπογείων υδάτων



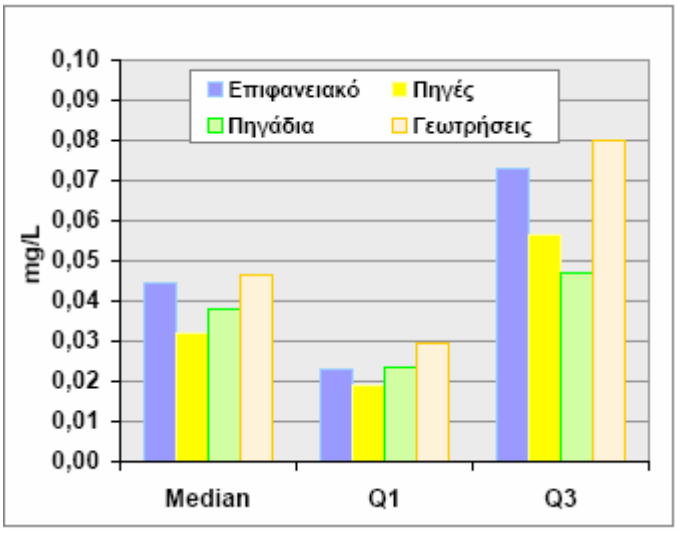
NO_2-N επιφανειακών και υπογείων υδάτων



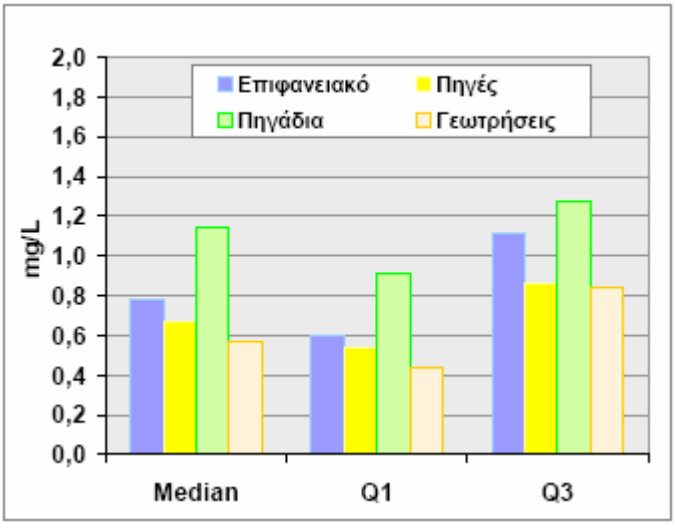
NH_3-N επιφανειακών και υπογείων υδάτων



PO_4-P επιφανειακών και υπογείων υδάτων



T.phenols επιφανειακών και υπογείων υδάτων



Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι:

1. Η μέση συγκέντρωση του COD στο επιφανειακό νερό είναι μεγαλύτερη από την μέση συγκέντρωση στο υπόγειο νερό. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της έντονης ρύπανσης του Ευρώτα κυρίως στην περιοχή της Σκούρας και του Παλαιομονάστηρου.
2. Οι τιμές της συγκέντρωσης του NO_3-N στο υπόγειο νερό είναι υψηλότερες από ότι στο επιφανειακό. Οι πιο αυξημένες τιμές παρατηρούνται στα νερά των πηγαδιών και μετά στις γεωτρήσεις.
3. Το ίδιο ισχύει και για τη συγκέντρωση των ολικών φαινολών, με δεύτερα σε κατάταξη υψηλών συγκεντρώσεων τα επιφανειακά ύδατα.
4. Στα επιφανειακά ύδατα εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις NO_2-N ενώ σε NH_3-N στα πηγάδια και μετά στα επιφανειακά.
5. Τέλος, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε PO_4-P παρατηρούνται στις γεωτρήσεις και στα επιφανειακά ύδατα ενώ στις πηγές και στα πηγάδια οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες.

5.3.4.4. Αποτελέσματα δειγματοληψιών σημειακών πηγών ρύπανσης

Όπως έχει αναφερθεί, οι κύριες σημειακές πηγές ρύπανσης της περιοχής μελέτης είναι τα χυμοποιία, τα ελαιουργεία, τα αστικά λύματα και τα βοθρολύματα. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι σημειακές πηγές ρύπανσης και συγκεκριμένα η πορεία των ρύπων κατά την απομάκρυνσή τους από την πηγή, στην πέμπτη δειγματοληψία πραγματοποιηθήκαν επισκέψεις σε ένα ελαιουργείο, σε ένα χυμοποιίο και στο βιολογικό καθαρισμό.

Συγκεκριμένα, οι επισκέψεις περιλάμβαναν: (i) το βιολογικό καθαρισμό στη Σπάρτης, στο Δήμο Σπάρτης, (ii) το ελαιουργείο του Αγροτικού Συνεταιρισμού Ανωγείων, στα Ανώγεια του Δήμου Φάριδος και, (iii) το χυμοποιίο «Λακωνία» στις Αμύκλες, στο Δήμο Σπάρτης.

Κατά την περίοδο που έγιναν οι επισκέψεις (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2007) το χυμοποιίο δεν είχε ξεκινήσει τη δραστηριότητά του και για το λόγο αυτό δεν λήφθησαν δείγματα.



Χάρτης 5-4: Σημειακές πηγές ρύπανσης: Ελαιουργείο στα Ανώγια κ Βιολογικός Σπάρτης

Βιολογικός Καθαρισμός Σπάρτης

Η μονάδα αυτή βρίσκεται στο δήμο Σπάρτης. Αποτελεί τη μοναδική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής. Η λειτουργία της ξεκίνησε το 1990. Το μεγαλύτερο μέρος του δήμου της Σπάρτης εξυπηρετείται από σύστημα αποχετεύσεως το οποίο καταλήγει στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης, όπου γίνεται βιολογική επεξεργασία. Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Σπάρτης έχει σχεδιαστεί να εξυπηρετεί 40.000 Ισοδύναμους Κατοίκους ώστε να καλύψει τις ανάγκες της επόμενης 30ετίας. Η μέθοδος επεξεργασίας που εφαρμόζεται είναι της ενεργούς ιλύος (παρατεταμένος αερισμός) με πλήρη αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος και με βιολογική αφαίρεση P και απονιτροποίηση. Οι επεξεργασμένες εκροές από τη μονάδα, μετά την απολύμανσή τους με χλωρίωση, διατίθενται στον ποταμό Ευρώτα. Στις Εικόνες 5-7 φαίνεται ο ποταμός Ευρώτας στο σημείο αυτό. Τώρα η μονάδα εξυπηρετεί 21.300 ι.κ. και λειτουργεί με ημερήσιο οργανικό φορτίο 1152 kg BOD_5 (ΔΕΥΑ Σπάρτης). Σύμφωνα με τη ΔΕΥΑ Σπάρτης οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην εκροή της εγκατάστασης είναι: BOD_5 = 6- 14 mg/L, COD = 12-43 mg/L, NH_3-N = 1,5–1,8 mg/L, NO_3-N = 1,4 – 4,3 mg/L, Ολικό P = 2,6 – 4,2 mg/L.



Ευρώτας πριν τον βιολογικό



Έξοδος βιολογικού



Ευρώτας μετά τον βιολογικό

Εικόνες 5-7: Ο ποταμός Ευρώτας στο σημείο του βιολογικού καθαρισμού Σπάρτης

Προκειμένου να εξετασθεί ο βιολογικός καθαρισμός ως σημειακή πηγής ρύπανσης λήφθησαν τρία δείγματα επιφανειακού νερού του Ευρώτα από: (Β1) πριν το σημείο εκροής, (Β2) κοντά στο σημείο εκροής και (Β3) μετά το σημείο εκροής του βιολογικού καθαρισμού. Σημειώνεται ότι την ώρα της δειγματοληψίας ο βιολογικός δε λειτουργούσε, επομένως οι μετρούμενες χημικές παράμετροι στο σημείο Β3 εκτιμάται ότι έχουν χαμηλότερες τιμές από αυτές που θα είχαν εάν ο βιολογικός ήταν σε λειτουργία. Η διεξαγωγή των μετρήσεων ακολουθεί τη λογική που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.3.3.. Στους Πίνακες 5-12 και 5-13 δίνονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων αντίστοιχα. Ακολουθούν τα Διαγράμματα 5-7.

Πίνακας 5-12: Τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων Ευρώτα πριν, μετά και κοντά στην εκροή του βιολογικού

Θέση	T (°C)	pH	DO (mg/L)	Cond (μS/cm)	Eh (mV)
B1	14,4	8,32	7,6	660	206,7
B2	14,9	8,02	6,2	673	213,0
B3	15,0	7,91	6,6	670	219,9

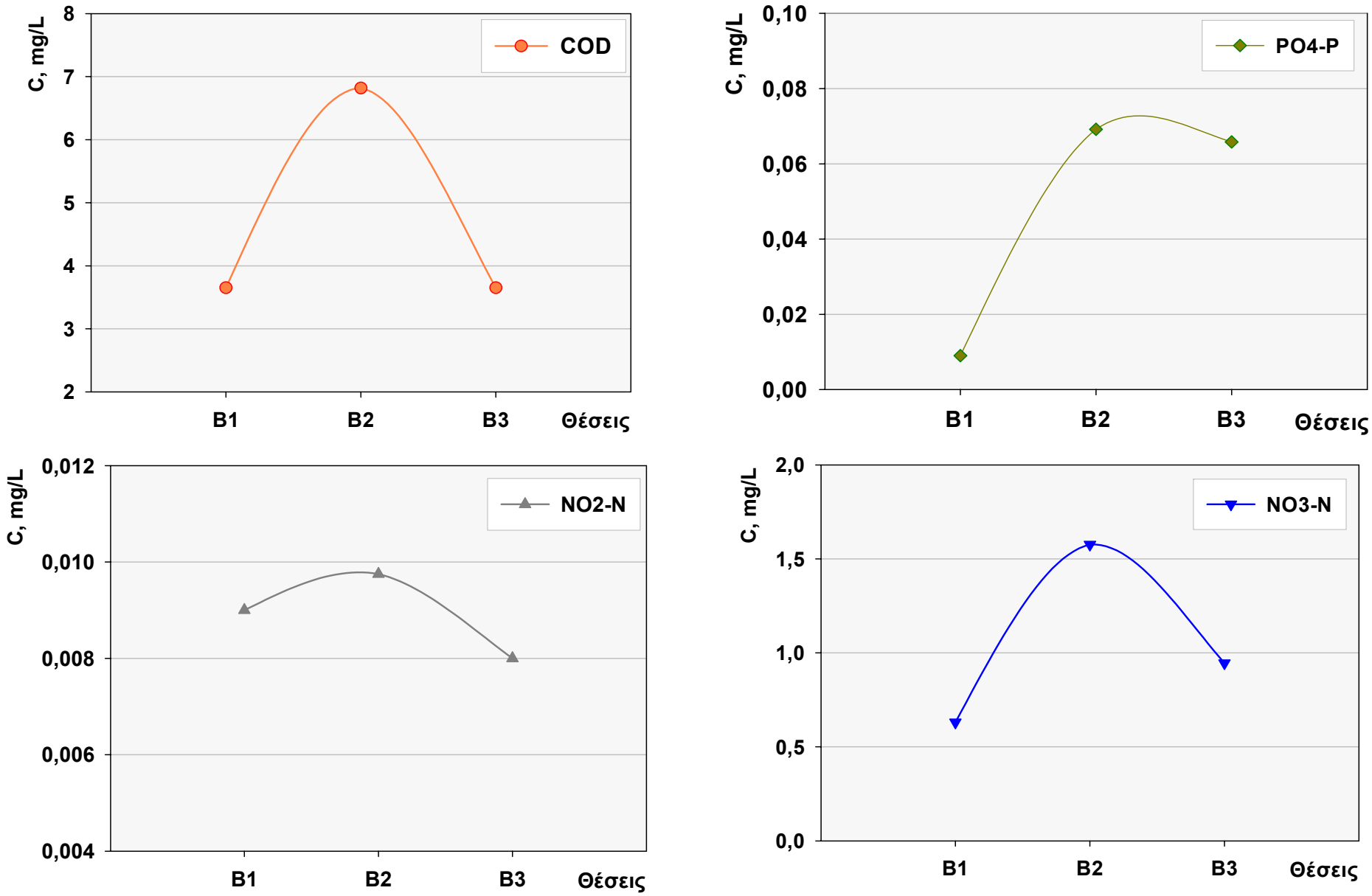
Πίνακας 5-13: Τιμές χημικών παραμέτρων Ευρώτα πριν, μετά και κοντά στην εκροή του βιολογικού

Θέση	COD (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	PO_4-P (mg/L)	T.phenols (mg/L)
B1	bdl*	0,009	0,630	bdl*	0,63
B2	6,8	0,010	1,576	0,069	0,97
B3	bdl*	0,008	0,946	0,066	0,97

* για τα COD και PO_4-P τα όρια ανίχνευσης είναι 3,65 mg/L και 0,009mg/L, αντίστοιχα.

Από τα αποτελέσματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

1. Η εκροή του βιολογικού καθαρισμού προκαλεί μείωση στην ποιότητα των επιφανειακών υδάτων του Ευρώτα, γεγονός που παρατηρήθηκε από την αύξηση των τιμών των χημικών παραμέτρων στο σημείο Β2. Οι αυξήσεις που παρατηρήθηκαν είναι υψηλές για τα φωσφορικά, τα νιτρικά και το COD της τάξης των 670%,150% και 86% αντίστοιχα ενώ μικρότερη αύξηση παρατηρήθηκε για τις φαινόλες και τα νιτρώδη, της τάξης των 54% και 11% αντίστοιχα.
2. Για όλες τις χημικές παραμέτρους παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσής τους από το σημείο Β2 στο Β3. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη μείωση παρατηρήθηκε για τα φωσφορικά 64%. Το COD μειώθηκε κατά 46%, τα νιτρικά 40% και τα νιτρώδη 20% ενώ για τις ολικές φαινόλες δεν παρατηρήθηκε μείωση. Παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις είναι περιορισμένες από τα αποτελέσματα φαίνεται η ύπαρξη φυσικής ικανότητας αυτοκαθαρισμού του ποταμού Ευρώτα.



Διαγράμματα 5-7: Τιμές COD, PO_4-P, NO_2-N, $N0_3$-N επιφανειακών υδάτων Ευρώτα πριν (B1), μετά (B3) και κοντά στην εκροή του βιολογικού (B2)

Ελαιουργείο Αγροτικού Συνεταιρισμού Ανωγείων

Το ελαιουργείο βρίσκεται στον οικισμό Ανώγεια, στο Δήμο Φάριδος και φαίνεται στις Εικόνες 5-8. Πρόκειται για μία μονάδα μεσαίας δυναμικότητας που εξυπηρετεί 220 πελάτες. Το ελαιουργείο λειτουργεί κατά την περίοδο Νοεμβρίου - Μαρτίου και η παραγόμενη ποσότητα ανέρχεται σε 400-650L/tn ελαιόκαρπου. Όπως και τα περισσότερα ελαιουργεία της περιοχής, κατόπιν πιέσεως από το τμήμα υγιεινής της Νομαρχίας, διαθέτουν οριστική άδεια διάθεσης των αποβλήτων σε επιφανειακά υδατορέμματα μετά από σχετική επεξεργασία. Το εν λόγω ελαιουργείο βρίσκεται δίπλα σε ρέμα, όπου και διαθέτει τα απόβλητά του ύστερα από την επεξεργασία. Η επεξεργασία περιλαμβάνει εξουδετέρωση των αποβλήτων και χημική κατακρήμνιση με προσθήκη υδρασβέστου και στη συνέχεια καθίζηση για την κατακράτηση της παραγόμενης λάσπης. Τα υπερκείμενα υγρά διατίθενται επιφανειακά σε χειμμάρους ενώ η λάσπη διατίθεται σε παρακείμενο αγρό. Η παραπάνω επεξεργασία προσφέρει μείωση της οξύτητας των αποβλήτων καθώς και μείωση του οργανικού φορτίου της τάξης του 50%. Η τυπική σύνθεση των αποβλήτων ελαιουργείων είναι: BOD_5 = 12.000-20.000 mg/L, COD = 40.000-60.000 mg/L, Ολικά στερεά = 40.000–50.000 mg/L, Πτητικά στερεά = 30.000– 40.000 mg/L, Λίπη – έλαια = 10.000 – 18.000mg/L και pH = 4-5 (Μαρκαντωνάτος Π. κ.α., 1993).



Ελαιουργείο Συνεταιρισμού Ανωγείων



Προσθήκη υδρασβέστου



Κατσίγαρος κατά την παραγωγική διαδικασία



Παραγωγή ελαιόλαδου

Εικόνες 5-8: Ελαιουργείο Συνεταιρισμού Ανωγείων και παραγωγική διαδικασία

Προκειμένου να εξετασθεί το ελαιουργείο ως σημειακή πηγή ρύπανσης λήφθησαν τρία δείγματα. Το πρώτο δείγμα, Ε1, λήφθηκε απευθείας από την παραγωγική διαδικασία στο σημείο που διαχωρίζεται ο κατσίγαρος από το ελαιόλαδο και πριν περάσει τη διαδικασία ασβέστωσης. Το δεύτερο δείγμα, Ε2, λήφθηκε από τον αγωγό που αποβάλλει τον επεξεργασμένο κατσίγαρο στον παραπόταμο. Ο αγωγός αυτός συνδέεται υπόγεια με το ελαιουργείο και βρίσκεται σε απόσταση περίπου 50m. Το τρίτο δείγμα, Ε3, λήφθηκε λίγα μέτρα πιο κάτω από την έξοδο του αγωγού, ακολουθώντας το ρέμα. Σημειώνεται ότι η ροή του ρέματος τη δεδομένη χρονική στιγμή ήταν ελάχιστη. Στις Εικόνες 5-9 φαίνεται η κατάσταση στο ρέμα Κάκαρη τη στιγμή της δειγματοληψίας.



Εικόνες 5-9: Επεξεργασμένος κατσίγαρος στο ρέμα, Νοέμβριος 2007

Η διεξαγωγή των μετρήσεων ακολουθεί τη λογική που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.5.3.. Στον Πίνακα 5-14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 5-14: Αποτελέσματα δειγματοληψίας στο ελαιουργείο του συνεταιρισμού στα Ανώγεια

Θέση	T (°C)	pH	DO (mg/L)	Cond (μS/cm)	Eh (mV)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	T.phenols (mg/L)
E1	23,4	4,9	0,3	3.930	295,6	57.384	24.285	6.337
E2	16,1	7,1	3,3	322	245,6	1.796	4.621	175
E3	15,5	6,7	1,4	686	216,5	6.770	10.340	410

Από τα αποτελέσματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

1. Ο κατσίγαρος έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο γεγονός που αποδεικνύεται από τις υψηλές τιμές των COD, TOC και ολικών φαινολών. Ενώ ιδιαίτερα υψηλή είναι και η τιμή της αγωγιμότητάς αυτού, 3930μS/cm.
2. Με την επεξεργασία της ασβέστωσης πραγματοποιείται σημαντική μείωση του ρυπαντικού φορτίου, κρίνοντας από τις μετρούμενες τιμές στην έξοδο του αγωγού, Ε2. Συγκεκριμένα, η αγωγιμότητα μειώνεται κατά 92%, το COD και οι ολικές φαινόλες κατά 97%, το TOC κατά 81% ενώ παρατηρείται αύξηση στο pH κατά 45%. Ωστόσο, όπως φαίνεται και από τις τιμές των χημικών παραμέτρων, οι συγκεντρώσεις εξακολουθούν να είναι ιδιαίτερα υψηλές και μη αποδεκτές για απευθείας απόρριψη σε επιφανειακό υδάτινο σώμα. Στο αποτέλεσμα αυτό συντείνει και η χαμηλή τιμή του διαλυμένου οξυγόνου. Συνεπαγωγικά, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία μετά την ασβέστωση για να μπορούν τα απόβλητα του ελαιουργείου να διατίθενται στο υδατόρεμα.
3. Δεν κατέστη δυνατό να αξιολογηθεί η ικανότητα αυτοκαθαρισμού του υδατορέματος λόγω της ελάχιστης παροχής αυτού κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας. Αποτέλεσμα αυτού είναι κι οι υψηλότερες τιμές των χημικών παραμέτρων στο σημείο Ε3 σε σχέση με το Ε2. Προκειμένου να αξιολογηθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει όταν γίνει η δειγματοληψία το υδατόρεμα να έχει τουλάχιστο κανονική ροή.

5.3. Δεύτερο Στάδιο: Προετοιμασία Εφαρμογής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, προκειμένου να εφαρμοσθεί η ΕΦΑ στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα αναπτύχθηκε η μεθοδολογία των τριών σταδίων. Στο Κεφάλαιο 5.2. παρουσιάστηκε η εφαρμογή του πρώτου σταδίου, η οποία ολοκληρώθηκε και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν μηχανισμοί που συντελούν στη φυσική αποκατάσταση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων της λεκάνης.

Στο δεύτερο στάδιο της εφαρμογής σκοπός είναι να μελετηθούν και να ποσοστικοποιηθούν οι μηχανισμοί αυτοί. Για τη διεξαγωγή του σταδίου αυτού είναι απαραίτητη η συλλογή στοιχείων από το πεδίο ή από εργαστηριακές μελέτες του μικρόκοσμου της περιοχής, οι οποίες έχουν γίνει σε συγκεκριμένο ρυπασμένο έδαφος της περιοχής, τα οποία δείχνουν άμεσα ότι λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες φυσικές διεργασίες οι οποίες έχουν την ικανότητα να διασπούν ή να μειώνουν τον κίνδυνο έκθεσης στους υπό μελέτη ρυπαντές.

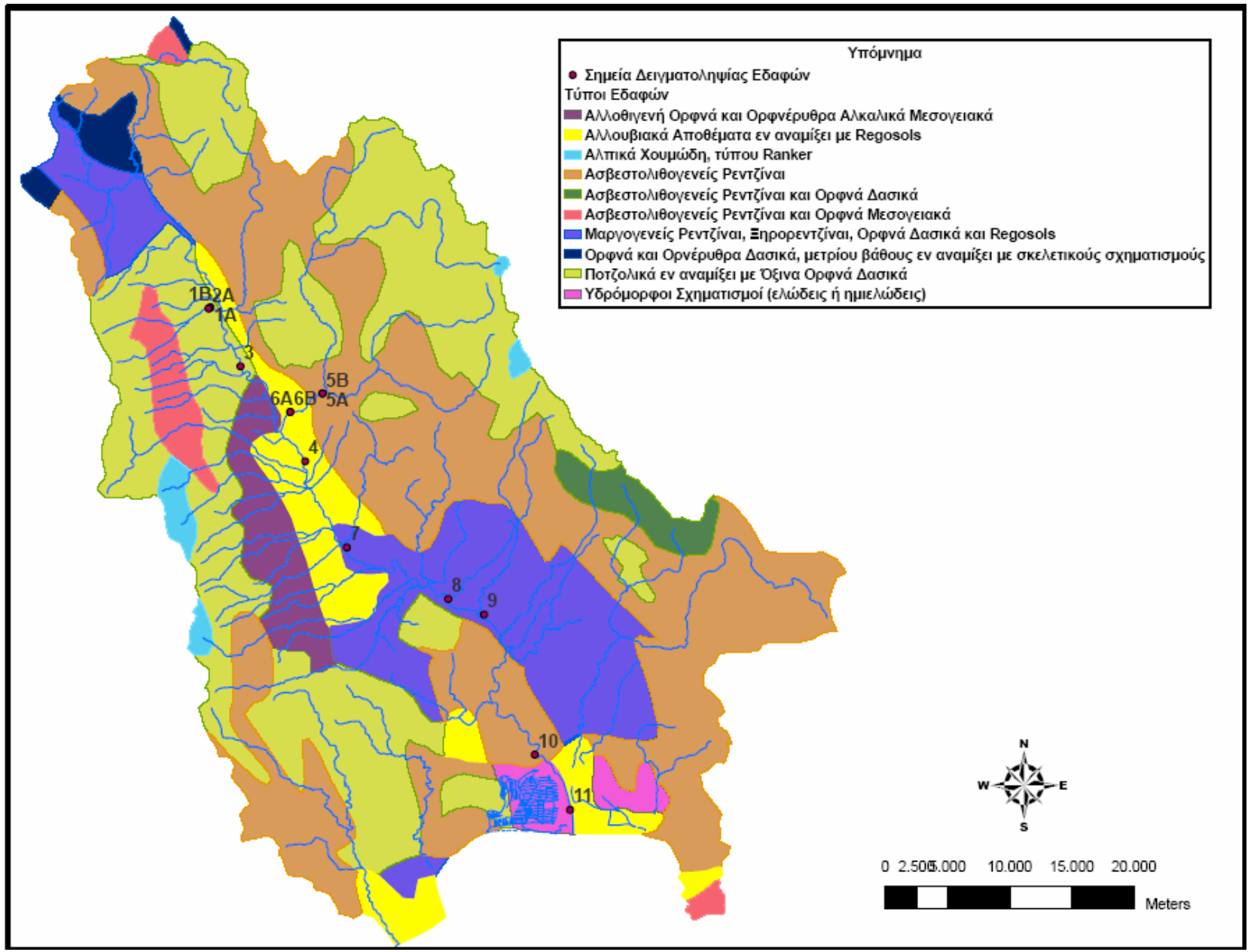
Προκειμένου να συλλεχθούν δείγματα εδαφών πραγματοποιήθηκε, το Νοέμβριο του 2007, μία προκαταρκτική δειγματοληψία εδαφών στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα.

Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας βασίστηκε στα εξής:

1. Λόγω της αλληλεπίδρασης του υπογείου νερού με το επιφανειακό καθώς και από την μελέτη της παρόχθιας ζώνης της Σπάρτης οι κρίσιμες διεργασίες γίνονται παρόχθια του ποταμού Ευρώτα. Οπότε η δειγματοληψία των εδαφών αποφασίστηκε να γίνει παρόχθια.

2. Σύμφωνα με τον Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδας (1:1.000.000, 1967) στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα εντοπίζονται 11 διαφορετικοί τύποι εδαφών. Οι τύποι που συναντώνται κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα είναι 6, οι οποίοι καλύπτουν το 94% των τύπων που εμφανίζονται στο σύνολο της λεκάνης απορροής του Ευρώτα.

Η δειγματοληψία των εδαφών πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2007. Για την καλύτερη μελέτη των μηχανισμών, πέρα από τα δείγματα σε σακούλες, λήφθησαν δείγματα με δειγματολήπτη σε βάθος περίπου 50cm. Συνολικά, λήφθησαν 19 δείγματα (10 πυρήνες/9 σε σακούλες) από 11 διαφορετικές περιοχές. Κατά μήκος του Ευρώτα λήφθησαν δείγματα από την περιοχή κοντά στο Βιβάρι, τον Καραβά, τη Σπάρτη, τη Σκούρα, τον Βρονταμά, το Παλαιομονάστηρο, τη Σκάλα και τις εκβολές. Οι τύποι εδαφών σύμφωνα με τον εδαφολογικό χάρτη είναι οι 1, 5, 7, 8 και 11 δηλαδή στο σύνολο 5 διαφορετικοί τύποι. Οι τύποι αυτοί αν και είναι λιγότεροι από τους αρχικά προβλεπόμενους καλύπτουν το 89% της λεκάνης. Στο Χάρτη 5-5 φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας και στον Πίνακα 5-15 δίνεται μία συνοπτική περιγραφή. Τέλος, στις Εικόνες 5-10 φαίνονται στιγμιότυπα από τις δειγματοληψίες καθώς και άλλες σχετικές φωτογραφίες.



Χάρτης 5-5: Σημεία προκαταρκτικής δειγματοληψίας εδαφών παράκτιας ζώνης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα

Πίνακας 5-15: Περιγραφή σημείων προκαταρκτικής δειγματοληψίας εδαφών παράκτιας ζώνης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα

ID	Τοποθεσία	Συντεταγμένες			Περιγραφή		
		X	Y	Z	Τύπος δείγματος	Βάσει εδαφ/ικου χάρτη	
1A	Βαθύρεμα Καστορίου	354.293	4.116.132	16	Πυρήνας (30cm)	11	Ποτζολικά σε ανάμιξη με όξινα ορφνά δασικά
1B	Βαθύρεμα Καστορίου	354.186	4.116.046	259	Πυρήνας (45cm)	11	
2A	Βιβάρι - Ευρώτας, πριν τη συμβολή	354.143	4.116.038	251	Πυρήνας	11	
2B	Βιβάρι - Ευρώτας, πριν τη συμβολή	354.143	4.116.038	251	Πυρήνας (40-41cm)	11	
3	Καραβάς-Στενό Βορδόνιας (Ευρώτας)	356.711	4.111.362	245	Πυρήνας (35cm)	11	
4	Σπάρτη πριν το Βιολογικό	361.920	4.103.723	169	Πυρήνας	7	Αλλουβιακά αποθέματα σε ανάμιξη με Regosols
5A	Οινούντας μετά την ένωση με τον Σοφρώνη	363.319	4.109.192	265	Πυρήνας	1	Ασβεστολιθογενείς Ρεντζίνες
5B	Οινούντας μετά την ένωση με τον Σοφρώνη	363.319	4.109.192	265	Σακούλα	1	
6A	Οινούντας στη Γέφυρα Κελεφίνας	360.719	4.107.694	219	Πυρήνας	7	Αλλουβιακά αποθέματα σε ανάμιξη με Regosols
6B	Οινούντας στη Γέφυρα Κελεφίνας	360.719	4.107.694	219	Πυρήνας (25-30cm)	7	
7A	Σκούρα	365.279	4.096.769	135	Πυρήνας	5	Μαργογενείς Ρεντζίνες, Ξηρορεντζίνες, Ορφνά δασικά και Regosols
7B	Σκούρα, μακριά από το ποτάμι	365.279	4.096.769	135	Σακούλα	5	
8A	Βρονταμάς	373.448	4.092.620	90	Σακούλα	5	
8B	Βρονταμάς, μακριά από το ποτάμι	373.448	4.092.620	90	Σακούλα	5	
9A	Παλαιομονάστηρο	376.321	4.091.364	65	Σακούλα	5	
9B	Παλαιομονάστηρο, μακριά από το ποτάμι	376.321	4.091.364	65	Σακούλα	5	
10A	Σκάλα	380.419	4.080.073	4	Σακούλα	1	Ασβεστολιθογενείς Ρεντζίνες
10B	Σκάλα, μακριά από το ποτάμι	380.419	4.080.073	4	Σακούλα	1	
11	Εκβολές Ευρώτα	383.270	4.075.621	0	Σακούλα	8	Υδρόμορφοι σχηματισμοί



Θέση 1: Βαθύρρεμα



Θέση 2: Βιβάρι



Θέση 8: Γέφ. Βρονταμά



Θέση 2: Βιβάρι



Θέση 3: Καραβάς



Θέση 4: Σπάρτη, πριν το Βιολογικό



Δείγμα στο Παλαιομονάστηρο (Θέση 9)

Εικόνες 5-10: Στιγμιότυπα από την προκαταρκτική δειγματοληψία εδαφών, Νοέμβριος 2007

Τα παραπάνω δείγματα θα αναλυθούν προκειμένου να δειχθεί στο εργαστήριο ότι οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που μειώνουν την ισχύ των ρύπων στο πεδίο μπορούν να ποσοτικοποιηθούν στο εργαστήριο. Κάθε δείγμα θα αναλυθεί για τις φυσικές και χημικές παραμέτρους όπως πορώδες, υγρασία, κοκκομετρική ανάλυση, pH, Eh, πυκνότητα, CHN ανάλυση, χημική σύσταση. Μετά τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών θα γίνουν πειράματα για την διερεύνηση των διεργασιών φυσικής αποκατάστασης των ρυπαντών. Οι διεργασίες φυσικής αποκατάστασης για το άζωτο είναι η απονιτροποίηση, και η προσρόφηση/ εκρόφηση στο έδαφος, για τον φώσφορο είναι η προσρόφηση/εκρόφηση στο έδαφος, για τα φυτοφάρμακα είναι η βιοαποδόμηση και η προσρόφηση/εκρόφηση στο έδαφος. Τα πειράματα αυτά μπορούν να γίνουν είτε σε στήλες είτε τύπου batch. Με τα πειράματα αυτά μπορεί να μελετηθεί η κινητική της αντίδρασης καθώς και πως το pH και η θερμοκρασία επηρεάζει το ρυθμό αντίδρασης και τη μέγιστη ικανότητα αντίδρασης σε συνθήκες ισορροπίας. Με τα αποτελέσματα από τα παραπάνω πειράματα θα διευκρινιστεί αν η φυσική αποκατάσταση είναι εφικτή και αν πρόκειται να σταματήσει στο μέλλον (Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2006).

5.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων και των δεδομένων από τις πέντε δειγματοληψίες επιφανειακού και υπογείου νερού στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αδιαμφισβήτητες ενδείξεις ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί και διεργασίες που οδηγούν στη συγκράτηση, αποδόμηση, μετατροπή ή καταστροφή των χημικών ενώσεων.

Πιο συγκεκριμένα, κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί αποκατάστασης γιατί παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (όπως οικισμοί, ελαιουργεία και καλλιέργειες) που θα έπρεπε να το επιβαρύνουν προσθετικά, καθώς αυτό διέρχεται από τα κατά μήκος σημεία, στις εκβολές παρατηρείται μείωση των ρυπαντικών φορτιών. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τα υπόγεια ύδατα όπου διαφάνηκε ότι υπάρχει μείωση των ρύπων, κατά μήκος της ροής των υπογείων υδάτων.

Επίσης, από την αξιολόγηση διαφάνηκε ότι οι περιοχές που έχουν υποστεί τη μεγαλύτερη υποβάθμιση από άποψη ποιότητας επιφανειακών υδάτων είναι ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρα και του Παλαιομονάστηρου.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση των σημειακών πηγών ρύπανσης προέκυψε ότι η εκροή του βιολογικού καθαρισμού υποβαθμίζει την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων του Ευρώτα, κυρίως λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των φωσφορικών, νιτρικών και του COD. Ωστόσο, διαπιστώθηκε η ύπαρξη φυσικής ικανότητας αυτοκαθαρισμού του ποταμού, λόγω της παρατηρούμενης μείωσης των συγκεντρώσεων όλων των χημικών παραμέτρων κατά την απομάκρυνση από το σημείο εκροής. Για την περίπτωση της απόρριψης υγρών αποβλήτων ελαιουργείου δεν κατέστη δυνατό να αξιολογηθεί η ικανότητα αυτοκαθαρισμού του υδατορέματος

λόγω χαμηλής ροής αυτού. Ωστόσο, διαφάνηκε ότι ο κατσίγαρος έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο, ακόμη και όταν έχει υποστεί επεξεργασία με υδράσβεστο με αποτέλεσμα να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου τα απόβλητα ελαιουργείου να διατίθενται σε παραποτάμους, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της ποιότητάς τους.

6. Εκτίμηση Χημικής Ποιότητας Υδάτινων Σωμάτων

6.1 Εισαγωγή

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ αποτελεί μια ολιστική και καινοτόμο προσπάθεια προστασίας και διαχείρισης των υδατικών πόρων που προέκυψε μετά από μια μακροχρόνια περίοδο συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Βασικός στόχος της Οδηγίας είναι η επίτευξη καλής ποιότητας υδάτων για όλα τα υδάτινα σώματα (water bodies) μέχρι το 2015. Ειδικότερα, θα πρέπει όλα τα Κράτη Μέλη να επιτύχουν καλή οικολογική κατάσταση και καλή χημική κατάσταση των υδάτινων σωμάτων.

Σύμφωνα με τους ορισμούς που δίνονται στο κείμενο της Οδηγίας ως «κατάσταση επιφανειακών υδάτων» ορίζεται η συνολική έκφραση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, η οποία καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και χημικής του κατάστασης, ως «οικολογική κατάσταση» ορίζεται η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με επιφανειακά ύδατα και η οποία ταξινομείται συμφωνά με το Παράρτημα V της Οδηγίας, ενώ ως «καλή χημική κατάσταση» ορίζεται η χημική κατάσταση που έχει επιτύχει ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων, στο οποίο οι συγκεντρώσεις των ρύπων δεν υπερβαίνουν τα πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας, όπως αυτά ορίζονται στο Παράρτημα IX της Οδηγίας καθώς και σε άλλα κοινοτικά νομοθετήματα που θεσπίζουν ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα σε κοινοτικό επίπεδο.

Για τα υπόγεια ύδατα ως «κατάσταση υπόγειων υδάτων» θεωρείται η συνολική έκφραση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και της χημικής του κατάστασης. Ως «καλή χημική κατάσταση υπογείων υδάτων» θεωρείται η χημική κατάσταση συστήματος υπόγειων υδάτων η οποία πληρεί όλους τους όρους του πίνακα 2.3.2 του παραρτήματος V, σύμφωνα με τον οποίο η χημική σύσταση του συστήματος των υπογείων νερών είναι τέτοια ώστε οι συγκεντρώσεις των ρύπων να μην εμφανίζουν επιπτώσεις εισροής αλμυρού νερού ή άλλων υλικών, να μην υπερβαίνουν τα πρότυπα ποιότητας που εφαρμόζονται βάσει άλλης σχετικής νομοθεσίας και να μην είναι τέτοιες ώστε να οδηγήσουν σε μη επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του άρθρου 4 για τα συνδεδεμένα επιφανειακά ύδατα, ούτε σε σημαντική επιδείνωση της οικολογικής ή χημικής ποιότητας των συστημάτων αυτών, ούτε σε σημαντική βλάβη των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από το σύστημα υπογείων υδάτων. Επίσης, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι τιμές της αγωγιμότητας υποδηλώνουν μη εισροή αλμυρού νερού ή άλλων υλών στο υπόγειο σύστημα (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).

Ειδικά για τα επιφανειακά συστήματα, δεδομένου ότι κεντρική απαίτηση της Οδηγίας είναι η επίτευξη καλής οικολογικής κατάστασης, τα διαχειριστικά

σχέδια αφορούν κατά κύριο λόγο σε υδάτινα σώματα που χαρακτηρίζονται ως μέτρια, φτωχά ή κακά (με στόχο την βελτίωσή τους και την μελλοντική ένταξή τους στην κατηγορία της καλής κατάστασης) και συνεπώς ιδιαίτερη σημασία έχει ο σαφής καθορισμός των ορίων μεταξύ υψηλής/καλής και καλής/μέτριας κατάστασης. Για την περίπτωση των υπογείων υδάτων απαιτείται ο καθορισμός της ποσοτικής κατάστασης και της καλής χημικής κατάστασης (ΕΜΠ, 2004).

Ωστόσο, προκειμένου για τις επιμέρους κατηγορίες κατάταξης τόσο των υπογείων όσο και των επιφανειακών υδάτων, οι ορισμοί που δίνονται στο κείμενο της Οδηγίας είναι γενικοί, συχνά, δε, ασαφούς χαρακτήρα και συνεπώς αποτελούν απλώς περιγραφικές διατυπώσεις οι οποίες θα πρέπει να εξειδικευτούν για να καταστεί δυνατή η δημιουργία αναλυτικών μεθοδολογιών κατάταξης των υδάτινων σωμάτων. Το πρόβλημα είναι εντονότερο για την περίπτωση των επιφανειακών υδάτων και ειδικά για την Ελλάδα όπου υπάρχει έλλειψη επαρκών στοιχείων που να υποστηρίζουν την ταξινόμηση των ελληνικών επιφανειακών υδάτων βάσει των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων.

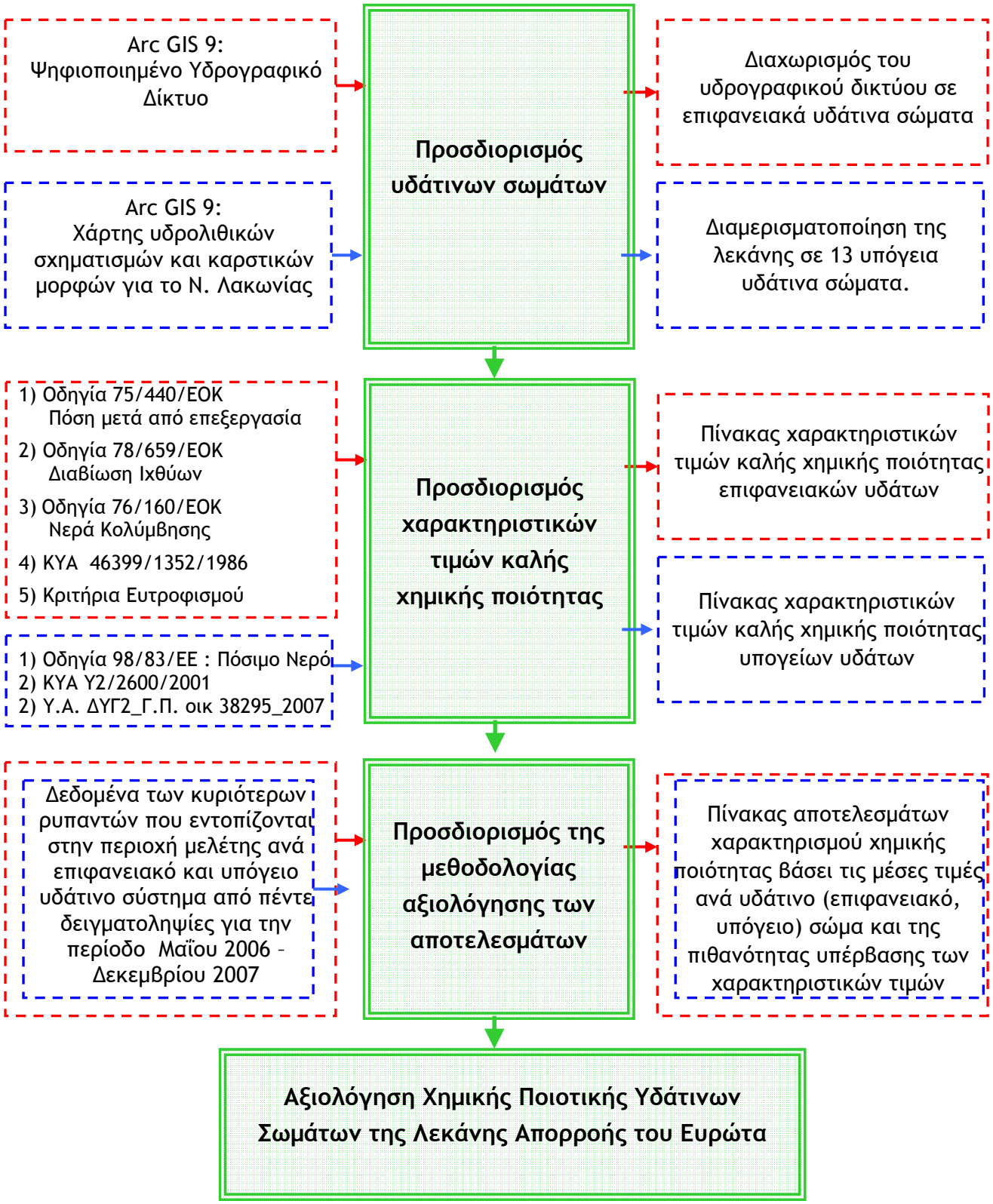
Το παρόν κεφάλαιο εστιάζεται στην εκτίμηση της χημικής κατάστασης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, βάσει των αποτελεσμάτων των πέντε δειγματοληψιών, σε όσο κατά το δυνατό μεγαλύτερη συμφωνία με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία εφαρμόστηκε και η οποία συνοπτικά περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των υδάτινων σωμάτων τον προσδιορισμό τιμών χαρακτηριστικών καλής χημικής ποιότητας και τον προσδιορισμό της μεθοδολογίας αξιολόγησης των εργαστηριακών αποτελεσμάτων. Έπειτα ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της αξιολόγησης.

Αν και η οδηγία πλαίσιο αναφέρεται στην καλή κατάσταση των υδάτων, μέρος της οποίας είναι η χημική κατάσταση, θεωρούμε ότι οι εκτιμήσεις που έγιναν παρέχουν πληροφορία που είναι χρήσιμη, καθώς:

- επιτρέπουν τον προσδιορισμό των υδάτινων σωμάτων που πληρούν και τις πιο αυστηρές προϋποθέσεις, έτσι ώστε να μην είναι αναγκαία η κατά προτεραιότητα περαιτέρω λεπτομερής διερεύνησή τους.
- δίνουν τη δυνατότητα εκτίμησης του βαθμού απόκλισης από την καλή κατάσταση και τη βάσει αυτού θέσπιση προτεραιοτήτων για περαιτέρω έρευνα, αλλά και
- υποδεικνύουν τα υδάτινα σώματα εκείνα για τα οποία απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

6.2. Μεθοδολογία

Η γενική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 6-1.



Σχήμα 6-1: Γενική μεθοδολογία αξιολόγησης χημικής ποιότητας υδάτινων σωμάτων

6.3. Προσδιορισμός υδάτινων σωμάτων

Το υδάτινο σώμα, (water body) είναι μια υπο-περιοχή της λεκάνης απορροής η οποία ορίζεται προκειμένου να εφαρμοστούν οι στόχοι της Οδηγίας Πλαίσιο. Έτσι, ο κύριος σκοπός της ύπαρξης και αναγνώρισης των υδάτινων σωμάτων είναι για να γίνει ο προσδιορισμός της κατάστασης κατά το δυνατόν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια και βάσει των περιβαλλοντικών στόχων που προβλέπει η Οδηγία. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αναγνώριση των υδάτινων σωμάτων αποτελεί ένα εργαλείο και όχι στόχο. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται καταρχάς σε γεωγραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, αλλά στην περίπτωση που επιδιώκεται ορθότερη περιγραφή και συσχέτιση με τα όσα ορίζει η οδηγία προτείνεται λεπτομερέστερος διαχωρισμός (European Commission, 2003).

6.3.1 Επιφανειακά υδάτινα σώματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για το χαρακτηρισμό της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων απαιτείται ο διαχωρισμός αυτών σε επιμέρους υδάτινα σώματα. Προκειμένου να δημιουργηθούν επιφανειακά υδάτινα σώματα για τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο. Ο ρους του Ευρώτα χωρίστηκε σε επιμέρους υδάτινα σώματα λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία συμβολής αυτού με άλλους παραποτάμους αλλά και σημεία που εντοπίζονται πηγές σημειακής ρύπανσης (ελαιουργεία, χυμοποιία, βιολογικός καθαρισμός). Επίσης, στο διαχωρισμό συμπεριλήφθηκαν ως ανεξάρτητα υδάτινα σώματα τα σημαντικότερα επιφανειακά υδρολογικά συστήματα είτε από πλευράς μήκους παραπόταμου είτε από παροχής. Τέλος, λήφθηκε υπόψη το υπάρχον δίκτυο δειγματοληψίας, προκειμένου να διευκολυνθεί η αξιολόγηση.

Στο Χάρτη 6-1 παρουσιάζονται τα υπό-μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα καθώς και τα σημεία δειγματοληψίας βάσει των οποίων έγινε η αξιολόγηση. Το χαρακτηριστικό λεκτικό υποδηλώνει τον ποταμό/παραπόταμο στον οποίο υπάγεται το κάθε επιφανειακό υδάτινο σώμα και συμπληρώνεται με τον χαρακτηριστικό αριθμό. Στον Πίνακα 6-1 παρουσιάζονται και περιγράφονται εν συντομία τα σημεία δειγματοληψίας ανά επιφανειακό υδάτινο σώμα.

Συνοπτικά, τα υπό μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα είναι: 1) ο Ευρώτας από τις πηγές μέχρι τον Καραβά [E1], 2) ο Ευρώτας από τον Καραβά μέχρι το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης [E2], 3) ο Ευρώτας από το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης μέχρι τη Σκούρα [E3], 4) ο Ευρώτας από τη Σκούρα μέχρι τη γέφυρα Βρονταμά [E4], 5) ο Ευρώτας από τη γέφυρα Βρονταμά μέχρι το Παλαιομονάστηρο [E5], 6) ο Ευρώτας από Παλαιομονάστηρο μέχρι τις Εκβολές [E6], 7) ο Οινούντας από το χωριό Καρυές μέχρι μετά τη συμβολή με το Τζιτζινιώτικο [O1], 8) το Τζιτζινιώτικο από τη Γκοριτσά μέχρι μετά τη συμβολή με τον Οινούντα [O2], 9) ο Οινούντας μετά τη συμβολή με το Τζιτζινιώτικο μέχρι

πριν τη Συμβολή με τον Ευρώτα [O3], 10) Ο Κάστωρ ή Βρυσσιώτικο [Β], 11) η Μαγουλίτσα [Μ] και η 12) Κάκαρη [Κ].



Χάρτης 6-1: Επιφανειακά υδάτινα σώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Πίνακας 6-1: Σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού ανά επιφανειακό υδάτινο σώμα

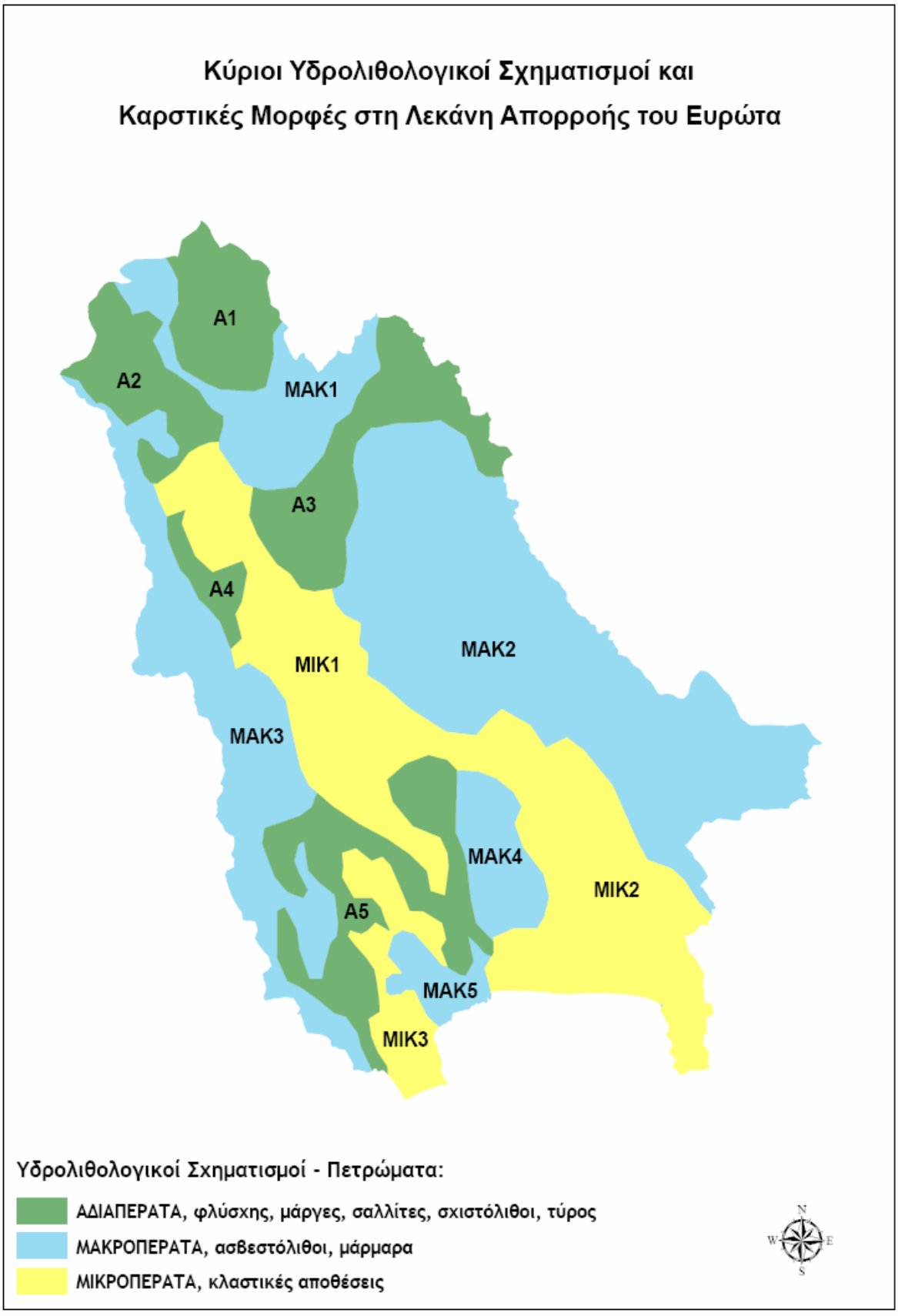
ID	Σημεία Δειγμα/ψίας	Περιγραφή Σημείου
E	3	Ευρώτας στις Πηγές
	52	Ευρώτας στην περιοχή του Καραβά
	54	Ευρώτας στο ύψος του βιολογικού καθαρισμού
	22	Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας
	34	Ευρώτας στη γέφυρα του Βρονταμά
	55	Ευρώτας στην περιοχή του Παλαιομονάστηρου
	56	Εκβολές Ευρώτα
O	49	Ρέμα, κοντά στο χωριό Καρυές. Διατηρεί ροή όλη τη διάρκεια του έτους
	48	Οινούντας, μετά τη συμβολή του με το Τζιτζινιώτικο.
	2	Ρέμα Κακόρεμα ή Τζιτζινιώτικο το οποίο παρακάτω ενώνεται με άλλο ρέμα και σχηματίζουν το ρέμα Σωφρόνης. Βρίσκεται μέσα στον οικισμό Πολύδροσο.
	35	Ποταμός Οινούντα (ή Κελεφίνα) λίγο πριν αυτός συναντήσει τον Ευρώτα, στη γέφυρα της Κελεφίνας
B	7	Ρέμα Κάστωρ (ή Βρυσσιώτικο), στη γέφυρα του χωριού Καστόριο
	9	Βρίσκεται στο ρέμα Βαθύρρεμα, λίγο πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα. Το Βαθύρρεμα αποτελεί συνέχεια του ρέματος Κάστωρ
M	11	Μαγουλίτσα, από τους σημαντικότερους παραπόταμους του Ευρώτα
K	21	Παραπόταμος Κάκαρη, λίγο πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα

6.3.2 Υπόγεια υδάτινα σώματα

Ο διαχωρισμός των υπογείων υδάτινων σωμάτων βασίστηκε στο χάρτη υδρολιθολογικών σχηματισμών και καρστικών μορφών για το Νομό Λακωνίας, ο οποίος έχει δημιουργηθεί από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας. Αρχικά, έγινε ψηφιοποίηση του χάρτη με χρήση του προγράμματος ArcGIS 9.2 – ArcView και στη συνέχεια κάποιες υπό-λεκάνες ενώθηκαν ενώ άλλες συμπληρώθηκαν. Ο διαχωρισμός ξεχωρίζει τους κύριους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι: 1) Αδιαπέρατα πετρώματα: φλύσχης, μάργες, σαλλίτες, σχιστόλιθοι, τύρος 2) Μακροπερατά: ασβεστόλιθοι, μάρμαρα και 3) Μικροπερατά: κλαστικές αποθέσεις. Συνολικά, η λεκάνη απορροής του Ευρώτα χωρίστηκε σε 13 υπό-λεκάνες οι οποίες φαίνονται στο Χάρτη 6-2. Το χαρακτηριστικό λεκτικό υποδηλώνει την κατηγορία στην οποία υπάγεται η κάθε υπό-λεκάνη και συμπληρώνεται με τον χαρακτηριστικό αριθμό. Στον Πίνακα 6-2 παρουσιάζονται και περιγράφονται εν συντομία τα σημεία δειγματοληψίας ανά υπό-λεκάνη μελέτης.

Συνοπτικά, τα υπό μελέτη υπόγεια υδάτινα σώματα καλύπτουν: 1) την προσχωματική λεκάνη Άνω - Μέσου Ρου Ευρώτα, καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Σπάρτης [ΜΙΚ 1], 2) Προσχωματική λεκάνη Κάτω Ρου Ευρώτα – Βασιλοπόταμου, συμπεριλαμβάνεται η περιοχή της Σκάλας [ΜΙΚ 2], 3) Καρστική ενότητα Ανατολικού Ταϋγέτου [ΜΑΚ 3] και 4) Καρστική ενότητα Κεντρικού Πάρνωνα [ΜΑΚ2].

Όπως και στην περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, η επιλογή των ανωτέρω υπό-λεκανών βασίστηκε στο υπάρχον δίκτυο δειγματοληψίας και περιλαμβάνει πηγές, γεωτρήσεις και πηγάδια. Τα περισσότερα από τα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται στις υπό-λεκάνες ΜΙΚ1 και ΜΙΚ2, δηλαδή στις περιοχές της Σπάρτης και της Σκάλας. Η επιλογή αυτή έγινε διότι στις δύο αυτές περιοχές εντοπίζονται οι περισσότερες σημειακές πηγές ρύπανσης καθώς και εντατική καλλιέργεια της γης, με αποτέλεσμα εκεί να αναμένεται ο κύριος όγκος της ρύπανσης και η μεγαλύτερη επιβάρυνση. Επίσης, στην περιοχή της Σπάρτης και της Σκάλας βρίσκονται σημαντικοί υπόγειοι υδροφορείς, από όπου αντλείται νερό για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής για ύδρευση και άρδευση. Όσον αφορά στην περιοχή της Σπάρτης, στα σημεία δειγματοληψίας περιλαμβάνουν πέραν των γεωτρήσεων και πηγάδια, με αποτέλεσμα να μπορεί να εκτιμηθεί τόσο η ενδεχόμενη ρύπανση στον ανώτερο όσο και στον κατώτερο υδροφορέα.



Χάρτης 6-2: Υπό-λεκάνες υπόγειων υδάτινων σωμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Πίνακας 6-2: Σημεία δειγματοληψίας υπογείου νερού ανά υπό-λεκάνη μελέτης

ID Υπολεκάνης	Σημεία Δειγμα/ψίας	Ταξινόμηση	Περιγραφή Σημείου
ΜΑΚ 2	36	Πηγές	κατάντι του οικισμού Μεγάλη Βρύση
ΜΑΚ 3	58	Πηγές	στο χωριό Τρύπη
	59	Πηγές	
	60	Πηγές	στη Σοχά
	61	Πηγές	
ΜΙΚ 1	12	Γεώτρηση	στο χωριό Μαγούλα, δίπλα στη Σπάρτη, 110m
	13	Γεώτρηση	στο χωριό Παρόρι, χρήση για άρδευση, 36m
	14	Γεώτρηση	στο χωριό Άγιος Ιωάννης, χρήση για άρδευση
	16	Γεώτρηση	στα όρια Αγίας Κυριακής και Ριβιώτισσας, 75-110m
	17	Γεώτρηση	στην περιοχή της Ριβιώτισσας, 90m
	18	Γεώτρηση	στην περιοχή των Αμυκλών, χρήση για άρδευση
	19	Γεώτρηση	στο χωριό Περιστέρι
	20B	Γεώτρηση	στο χωριό Παλαιοπαναγία
	62	Πηγές	Πηγές στο χωριό Άγιος Ιωάννης
	37	Πηγάδι	Πηγάδια στην ευρύτερη περιοχή της Ριβιώτισσας και Σκούρας. Τα πηγάδια στη Ριβιώτισσα αντλούν νερό από βάθος περίπου 10m ενώ τα πηγάδια στη Σκούρα αντλούν νερό από βάθος περίπου 5m. Το νερό χρησιμοποιείται για άρδευση.
	38	Πηγάδι	
	39	Πηγάδι	
	40	Πηγάδι	
	41	Πηγάδι	
	42	Πηγάδι	
	43	Πηγάδι	
	44	Πηγάδι	
	45	Πηγάδι	
	46	Πηγάδι	
ΜΙΚ 2	25	Γεώτρηση	κοντά στο χωριό Σκάλα
	26	Γεώτρηση	αρτεσιανή στην περιοχή της Σκάλας
	28	Γεώτρηση	αρτεσιανή στο χωριό Λεήμονας, χρήση για άρδευση
	30	Πηγές	Σκάλας
	31	Γεώτρηση	υδρευτική δημοτική στο χωριό Αστέριο, 120m
	32	Γεώτρηση	στο χωριό Γλυκόβρυση

6.4. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών τιμών καλής χημικής ποιότητας

Ο προσδιορισμός χαρακτηριστικών τιμών οι οποίες να υποδηλώνουν καλή χημική κατάταξη έγινε κυρίως βάσει της νομοθεσίας (ευρωπαϊκή και εθνική), όπως προβλέπεται και από την Οδηγία, αλλά και από ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο.
Όπως έχει αναφερθεί, οι κύριοι ρύποι που ενδεχομένως να επιβαρύνουν την περιοχή είναι τα θρεπτικά, η οργανική ύλη καθώς και οι φαινόλες, λόγω της εντατικής καλλιέργειας της ελιάς στο νομό Λακωνίας. Οι ανωτέρω πιέσεις μπορούν να αξιολογηθούν με τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των: NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, COD, PO_4-P, Total Phenols ενώ ενδείξεις παρέχουν και οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου, pH και της αγωγιμότητας. Για τις ανωτέρω φυσικοχημικές παραμέτρους, οι οποίες - λαμβάνοντας υπόψη τις πιέσεις στη λεκάνη - θεωρούνται ως χαρακτηριστικές της ποιότητας αυτού, αναζητήθηκαν οι χαρακτηριστικές τιμές καλής ποιότητας.

6.4.1 Καλή χημική ποιότητα επιφανειακών υδάτων

Για την εκτίμηση των τιμών της καλής χημικής ποιότητας των επιφανειακών υδάτων εξετάσθηκαν οι ακόλουθες Κοινοτικές Οδηγίες και Εθνικές Νομοθεσίες:

• *Οδηγία 75/440/ΕΟΚ περί ποιότητας επιφανειακών νερών που προορίζονται για παραγωγή πόσιμου νερού και αντίστοιχη Εθνική Νομοθεσία*.

Μία από τις σημαντικές χρήσεις των επιφανειακών υδάτων σχετίζεται με την παραγωγή πόσιμου ύδατος. Αυτό δεν συνεπάγεται αναγκαστικά ότι τα κριτήρια ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για πόση είναι και τα αυστηρότερα, αλλά ότι τα κριτήρια αυτά έχουν την αμεσότερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας την σημασία ενός κοινού καθορισμού των ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για την παραγωγή πόσιμου νερού για όλα τα κράτη μέλη εξέδωσε την Οδηγία 75/440.

Στην Οδηγία 75/440 τα ύδατα επιφάνειας υποδιαιρούνται σε τρεις ομάδες Α1, Α2 και Α3, οι οποίες αντιστοιχούν σε αντίστοιχες υποδεικνυόμενες μεθόδους επεξεργασίας και προσδιορίζονται οι απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να ικανοποιεί η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων προκειμένου να επαρκεί η εφαρμογή της εκάστοτε υποδεικνυόμενης επεξεργασίας. Έτσι, οι επιμέρους κατηγορίες υποδηλώνουν:

Κατηγορία Α1: Απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση ιδίως με ταχεία διήθηση και απολύμανση.

Κατηγορία Α2: Ομαλή φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και απολύμανση, (ιδίως με προχλωρίωση, συσσωμάτωση, κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση, απολύμανση).

Κατηγορία Α3: Εντατική φυσική και χημική επεξεργασία, τελική επεξεργασία και προχωρημένη απολύμανση, ιδίως χλωρίωση μέχρι σημείου θραύσεως, συσσωμάτωση, κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση, προσρόφηση (ενεργός άνθρακας) και απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση).

Η οδηγία αναφέρει δύο τιμές για κάθε ποιοτική παράμετρο: την ενδεικτική τιμή -τιμή οδηγό (επιθυμητή) (G) και την επιτακτική (υποχρεωτική) (I). Η ενδεικτική τιμή θα πρέπει να ακολουθείται, ωστόσο η παραβίαση της δεν είναι καθοριστική όπως στην περίπτωση των επιτακτικών ορίων (Οδηγία 75/440/ΕΟΚ, 1975).

• *Οδηγία 78/659/ΕΟΚ περί της απαιτούμενης ποιότητας για τη διαβίωση ψαριών (κυπρινοειδών, σαλμονιδών).*

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας τη σημασία ενός κοινού καθορισμού των ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για την προστασία των γλυκών υδάτων στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτύσσονται ιχθύες για όλα τα κράτη μέλη εξέδωσε την Οδηγία 78/659.

Η Οδηγία 78/659/ΕΟΚ αφορά στην απαιτούμενη ποιότητα των γλυκών υδάτων (ρεόντων ή λιμναζόντων) στα οποία αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν είτε εγχώρια είδη ιχθύων είτε είδη ιχθύων των οποίων η παρουσία κρίνεται επιθυμητή από τα κράτη μέλη.

Ως ύδατα σαλμονίδων, ορίζονται τα ύδατα εντός των οποίων αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν οι ιχθύες που ανήκουν σε είδη όπως οι σολωμοί, οι πέστροφες, οι σκιαθίδες και τα Coregomes και ως ύδατα κυπρινίδων, τα ύδατα εντός των οποίων αναπτύσσονται ή δύναται να αναπτυχθούν ιχθύες που ανήκουν στα κυπρινοειδή ή σε άλλα είδη όπως οι λάβρακες, οι πέρκες και οι έγχελεις. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, τα όρια για τις συγκεντρώσεις διαφόρων ρυπαντών είναι χαμηλότερα για τα ύδατα των σαλμονιδίων (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ, 1978).

• *Οδηγία 76/160/ΕΟΚ περί της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης και αντίστοιχη Εθνική Νομοθεσία.*

Κύριος στόχος της Οδηγίας είναι η συστηματική παρακολούθηση συγκεκριμένων ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων κολύμβησης ώστε η ποιότητά τους να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, όπως αυτά καθορίζονται από την Οδηγία. Σύμφωνα με την Οδηγία 76/160/ΕΟΚ, ο ποιοτικός έλεγχος των υδάτων κολύμβησης ως προς την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, γίνεται για τα ολικά, τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια, τους στρεπτόκοκκους, τις σαλμονέλες και τους εντεροϊούς. Παράλληλα καθορίζονται όρια και για μια σειρά άλλων παραμέτρων όπως το pH, το χρώμα, το διαλυμένο οξυγόνο, ενώ τέλος αναφέρονται και παράμετροι οι οποίες θα πρέπει να παρακολουθούνται στην περίπτωση που η παρουσία τους κριθεί πιθανή ή όταν τα ύδατα εμφανίζουν ευτροφικές τάσεις (Οδηγία 76/160/ΕΟΚ, 1976).

Αν και στο κείμενο της Οδηγίας πλαίσιο δεν γίνεται ειδική αναφορά στο φαινόμενο του ευτροφισμού, εντούτοις προδιαγράφεται η απαίτηση προσδιορισμού του ενδεχομένου κινδύνου μη ικανοποίησης των κριτηρίων της καλής οικολογικής κατάστασης λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, η σημαντικότερη από τις οποίες, σε αρκετές περιπτώσεις, είναι αυτή που δημιουργεί πιέσεις λόγω θρεπτικών. Υπό αυτήν την έννοια και το ζήτημα του ευτροφισμού περιλαμβάνεται εμμέσως στις απαιτήσεις της Οδηγίας Πλαίσιο .

- *Οδηγία 91/676/ΕΟΚ περί προστασίας των υδάτων από ρύπανση με νιτρικά από γεωργικές πηγές.*

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρώντας ως κύρια αιτία της ρύπανσης των υδάτων με νιτρικά τις γεωργικές δραστηριότητες, εξέδωσε την Οδηγία 91/676 με στόχο τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται έμμεσα ή άμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και την πρόληψη της περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους.

Με βάση τα κριτήρια του παραρτήματος Ι της οδηγίας (συγκέντρωση νιτρικών στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα 25 ή 50 mg/L και 50 mg/L αντίστοιχα ή φαινόμενα ευτροφισμού) τα κράτη μέλη προσδιορίζουν τα ύδατα που υφίστανται ρύπανση.

Με στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας, του έμβιου περιβάλλοντος και των υδάτινων οικοσυστημάτων και την εξασφάλιση των επιθυμητών χρήσεων του νερού, είναι απαραίτητη η μείωση της ρύπανσης που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών. Ο εντοπισμός των περιοχών ξηράς στις οποίες απορρέουν ύδατα που υφίστανται ρύπανση από αζωτούχες ενώσεις -ευπρόσβλητες ζώνες- είναι το απαραίτητο πρώτο στάδιο, το οποίο ακολουθείται από την κατάρτιση και εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων δράσης με στόχο τη μείωση της ρύπανσης, τα οποία περιλαμβάνουν τους κώδικες γεωργικής πρακτικής και επιπλέον καθορίζουν κανόνες σχετικούς με τον περιορισμό της εφαρμοζόμενης ποσότητας λιπάσματος (Οδηγία 91/676/ΕΟΚ, 1991).

- *Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/1352/86*

Με την εν λόγω εθνική απόφαση γίνεται η συμμόρφωση της ελληνικής νομοθεσίας με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για: "πόσιμα", "κολύμβηση", "διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά" και "καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών". Επίσης, ορίζονται οι μέθοδοι μέτρησης, η συχνότητα δειγματοληψίας και η ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα (ΚΥΑ 46399/1352/86, 1986).

Από την ανασκόπηση των παραπάνω νομοθετικών κειμένων και με στόχο την εύρεση χαρακτηριστικών τιμών καλής χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτων σημειώνονται τα παρακάτω:

1) Δεν επισημαίνονται τιμές για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο,COD αλλά κυρίως για το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο των πέντε ημερών, BOD_5. Για τις απαραίτητες μετατροπές θεωρήθηκε ο λόγος COD/BOD=2,5. Η επιλογή της τιμής αυτής βασίστηκε στην πηγή Metcaf & Eddy, 1991: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, βάσει της οποίας ο λόγος COD/BOD για τα επιφανειακά νερά κυμαίνεται από 2 έως 3 μονάδες. Τόσο το BOD όσο και το COD αποτελούν παραμέτρους ένδειξης του οργανικού υλικού που περιέχεται στο νερό. Ο λόγος που επιλέχτηκε να μετρηθεί το COD και όχι το BOD, είναι ότι η μέτρηση του BOD πρέπει να γίνεται άμεσα, εντός ολίγων ωρών από τη λήψη του δείγματος, γεγονός που ήταν αδύνατο στις συνθήκες δειγματοληψίας, αφού από την ημέρα λήψης του πρώτου δείγματος θα περνούσαν τουλάχιστον 5 μέρες μέχρι την ανάλυσή του στο εργαστήριο.

2) Οι τιμές που σχετίζονται με τη ρύπανση από φαινολικές ενώσεις συνδέονται με τη φαινόλη (C_6H_5OH) δίνοντας πολύ χαμηλά επιτρεπτά όρια. Η εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος Folin – Ciocalteu, με την οποία μετρώνται οι ολικές φαινόλες και δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός και η ταυτοποίηση των διαφορετικών φαινολών. Για το λόγο αυτό οι φαινόλες εξαιρούνται της διαδικασίας αξιολόγησης.

3) Λόγω έλλειψης ελληνικών δεδομένων για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών πάνω από τις οποίες εμφανίζονται φαινόμενα ευτροφισμού στους ποταμούς χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τα γαλλικά ποτάμια τα οποία παρουσιάζονται στην επιστημονική εργασία των *Brunel A, Comolet A, Dormoy C, Garadi A. «Collecte des donnees relatives a l'utilisation des resources en eau et leur gestion en France. Donees quantitative recueillies», Centre Commun de Recherche et la Commission Europeenne, contract No, 12519-96-12 FIPC SEV F. 1997.*

4) Οι τιμές καλής χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτων εξάγονται με τη συνεκτίμηση των ανωτέρω οδηγιών, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-3, και αποτελούν τις ελάχιστες τιμές της συνεκτίμησης. Όσον αφορά στην Οδηγία 78/659/ΕΟΚ καθώς και την ΚΥΑ 46399/1352/1986 σχετικά με τη διαβίωση των ιχθύων, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που αφορούν στα νερά κυπρινιδίων, καθώς τα επιφανειακά ύδατα του Ευρώτα δε χαρακτηρίζονται ως νερά σαλμονιδίων. Οι χαρακτηριστικές τιμές καλής χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-4.

Πίνακας 6-3: Επισκόπηση νομοθεσίας για εύρεση χαρακτηριστικών τιμών καλής χημικής ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων

Παράμετρος	Μονάδες	Οδηγία 75/440/ΕΟΚ Χρήση: Πόση μετά από επεξεργασία						Οδηγία 78/659/ΕΟΚ Χρήση: Διαβίωση Ιχθύων		Οδηγία 76/160/ΕΟΚ Χρήση: Νερά Κολύμβησης		Ευτροφισμός
		ΚΥΑ 46399/1352/1986										
		A1	A1	A2	A2	A3	A3	Νερά Κυπρινιδίων		G	I	
		G	I	G	I	G	I	G	I			
pH		6,5-8,5		5,5-9		5,5-9		5,5-8,5	6-9		6-9	
Θερμοκρασία	°C	22	25	22	25	22	25	25	28			
Αγωγιμότητα	μS/cm	1000		1000		1000						
Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	mgO_2/L							>=8* >=5**	>=7* >=4**			
Νιτρικά ως NO_3-N	$mgNO_3$-N/L	5,65	11,29		11,29		11,29			***		2,3
Νιτρώδη ως NO_2-N	$mgNO_2$-N/L							0,009				
Αμμωνία ως NH_3-N	$mgNH_3$-N/L	0,039		0,776	1,164	1,553	3,106	0,155	0,776	***		0,07-0,39
Φωσφορικά ως PO_4-P	$mgPO_4$-P/L	0,174		0,305		0,305		0,130		***		0,065-0,163
BOD_5	mgO_2/L	<3		<5		<7		6				
COD	mgO_2/L	7,5		12,5		17,5		15				

* 50% των δειγμάτων
** 100% των δειγμάτων

*** Ποσότητα που πρέπει να εξακριβωθεί όταν παρουσιάζονται τάσεις ευτροφισμού

Πίνακας 6-4: Τιμές καλής χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτων βάσει Πίνακα 6-3

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμές Καλής Χημικής Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων
pH		6,5-8,5
Θερμοκρασία	^oC	< 22
Αγωγιμότητα	μS/cm	< 1000
Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	mgO_2/L	> 5
Νιτρικά ως NO_3-N	$mgNO_3$-N/L	< 2,3
Νιτρώδη ως NO_2-N	$mgNO_2$-N/L	< 0,009
Αμμωνία ως NH_3-N	$mgNH_3$-N/L	< 0,039
Φωσφορικά ως PO_4-P	$mgPO_4$-P/L	< 0,065
COD	mgO_2/L	< 7,5

6.4.2 Καλή χημική ποιότητα υπογείων υδάτων

Για την εκτίμηση των τιμών της καλής χημικής ποιότητας των υπογείων υδάτων εξετάσθηκαν οι Κοινοτικές Οδηγίες και Εθνικές Νομοθεσίες που αφορούν στις απαιτήσεις ποιότητας πόσιμου νερού.

Η σχετική με την ποιότητα του πόσιμου νερού, πρώτη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (80/778) εκδόθηκε τον Ιούλιο του 1980. Η Ελληνική Νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Οδηγία το 1986 βάσει της υπ' αριθμό Α5/288 Υγειονομικής Διάταξης. Η νέα οδηγία που σχετίζεται με την ποιότητα του πόσιμου νερού (98/83/ΕΕ) εκδόθηκε τον Νοέμβριο του 1998. Η Ελληνική Νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Οδηγία το 2001 βάσει της υπ' αριθμό Υ2/2600/2001 η οποία βρίσκεται σε ισχύ από τις 25-12-2003 και τροποποιήθηκε από την ΚΥΑ ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295/ 2007: Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001.

Η Οδηγία 98/83/ΕΕ όπως και η προηγούμενη, αφορά στο πόσιμο νερό, ανεξάρτητα από το αν έχει υποστεί επεξεργασία ή όχι καθώς και την προέλευση του, ενώ εξαιρούνται τα φυσικά μεταλλικά νερά και τα φαρμακευτικά ιδιοκατασκευάσματα. Λαμβάνοντας υπόψη την αμφιλεγόμενη έννοια δύο παράλληλων ορίων (ενδεικτικών – επιτακτικών), η νέα οδηγία περιορίζεται σε μια μόνο τιμή (παραμετρική). Επιπρόσθετα κατατάσσει τις παραμέτρους σε τρεις

επιμέρους κατηγορίες (Παράρτημα Ι της Οδηγίας): μικροβιολογικές, χημικές και ενδεικτικές. Οι παραμετρικές τιμές των μικροβιολογικών και χημικών παραμέτρων έχουν επιτακτικό χαρακτήρα, υπό την έννοια ότι οι τιμές αυτές αποτελούν και τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις και δεν θα πρέπει να παραβιάζονται (Οδηγία 98/83/ΕΕ, 1983; ΚΥΑ Υ2/2600/2001, 2001; ΚΥΑ ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295/ 2007).

Με βάση τα όσα ορίζονται στις παραπάνω νομοθεσίες οι χαρακτηριστικές τιμές καλής χημικής ποιότητας υπογείων υδάτων είναι αυτές του Πίνακα 6-5.

Πίνακας 6-5: Τιμές καλής χημικής ποιότητας υπογείων υδάτων βάσει Οδηγίας 98/83/ΕΕ

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμές Καλής Χημικής Υπογείων Υδάτων
pH		6,5-9,5
Αγωγιμότητα	μS/cm	< 2500
Νιτρικά ως NO_3-N	mgNO_3-N/L	< 11,3
Νιτρώδη ως NO_2-N	mgNO_2-N /L	< 0,1523
Αμμωνία ως NH_3-N	mgNH_3-N /L	< 0,3882
Φωσφορικά ως PO_4-P	mgPO_4-N /L	< 2,18

6.5. Προσδιορισμός της μεθοδολογίας αξιολόγησης

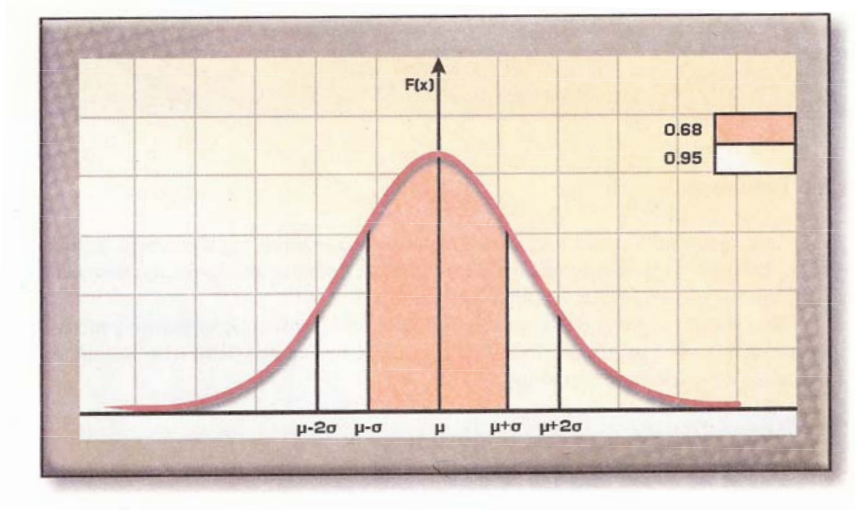
Η μεθοδολογία αξιολόγησης των επιφανειακών και υπογείων υδάτινων σωμάτων βασίζεται στη σύγκριση της μέσης τιμής των αποτελεσμάτων της μέτρησης της συγκέντρωσης των ρυπαντών από όλες τις δειγματοληψίες και για όλα τα σημεία δειγματοληψίας που εντοπίζονται ανά υδάτινο σώμα με τις τιμές καλής χημικής ποιότητας με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία. Η στατιστική επεξεργασία βασίζεται στο γεγονός ότι η τυχαία μεταβλητή για κάθε παράμετρο ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και διακύμανση σ^2.

Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα αφορούν συγκεντρώσεις θρεπτικών (ως NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P), COD και τιμές pH, αγωγιμότητας, θερμοκρασίας και διαλυμένου οξυγόνου από πέντε δειγματοληψίες για την περίοδο Μαΐου 2006–Δεκεμβρίου 2007 που πραγματοποιήθηκαν στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα και συγκεκριμένα: $1^η$: Μάιος 2006, $2^η$: Σεπτέμβριος 2006, $3^η$: Ιανουάριος 2007, $4^η$: Μάιος 2007 και $5^η$: Δεκέμβριος 2007.

Η κανονική κατανομή είναι γνωστή και ως κατανομή του Gauss ή ως κατανομή των σφαλμάτων των μετρήσεων. Χρησιμοποιείται για την κατανομή των τιμών συνεχούς μεταβλητής και έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της μορφής:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$, με $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $0 < \sigma < \infty$.

Οι ποσότητες μ και σ είναι παράμετροι της κατανομής και αποτελούν το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση αντιστοίχως. Η μορφή της γραφικής παράστασης της f(x) είναι χαρακτηριστικό της κανονικής κατανομής και δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6-2: Κανονική καμπύλη (Καμπύλη της κανονικής κατανομής)

Η κανονική κατανομή έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Η κατανομή είναι συμμετρική περί τα μ, που είναι ο μέσος όλων των δυνατών τιμών της τυχαίας μεταβλητής X.
2. Η επικρατούσα τιμή, η διάμεσος και ο μέσος ταυτίζονται λόγω συμμετρίας της καμπύλης της κατανομής.
3. Το εύρος των τιμών της τυχαίας μεταβλητής X είναι το σύνολο R των πραγματικών αριθμών.
4. Ο οριζόντιος άξονας είναι ασύμπτωτος της καμπύλης για x -> $\pm\infty$.
5. Το συνολικό εμβαδό που περικλείεται από την καμπύλη και τον άξονα των x είναι μοναδιαίο.

Από τη μορφή της κανονικής κατανομής προκύπτει ότι πρόκειται για κατανομή, το σχήμα της οποίας εξαρτάται από δύο παραμέτρους και συγκεκριμένα από το μέσο της κατανομής μ και την τυπική απόκλιση σ. Η σημασία των δύο παραμέτρων είναι καθοριστική και υπογραμμίζεται και από το συμβολισμό X ~ $N(\mu, \sigma^2)$.

Η κανονική κατανομή χρησιμοποιείται για την κατανομή των τιμών συνεχούς μεταβλητής και ως εκ τούτου ο υπολογισμός των εμβαδών ισοδυναμεί με υπολογισμό εμβαδών που ορίζονται από την καμπύλη και από δύο τιμές α και β της μεταβλητής.

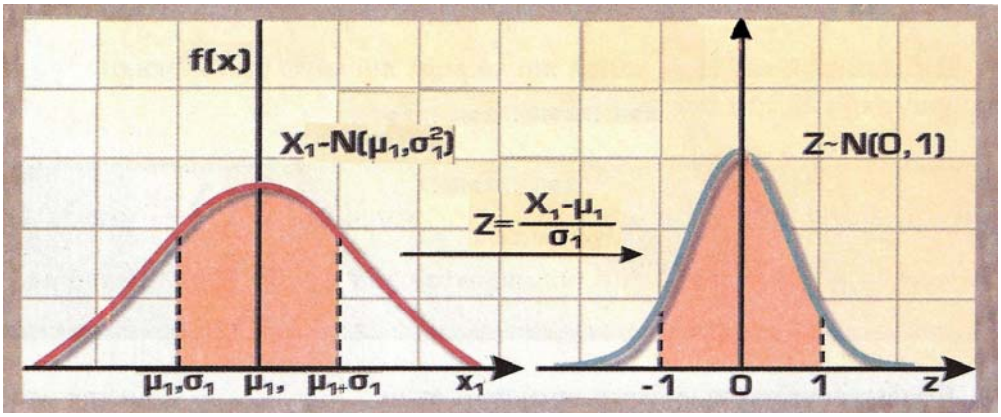
Η εύρεση των πιθανοτήτων της μορφής P(α<X<β) επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση πινάκων που έχουν κατασκευασθεί για αυτόν ακριβώς το σκοπό. Η κατασκευή των πινάκων βασίζεται στην ιδιότητα: Αν η τυχαία μεταβλητή X έχει μέσο μ και διακύμανση σ^2, τότε η τυχαία Z = (X-μ)/σ αποτελεί την τυποποιημένη μορφή της X και έχει μέσο ίσο με 0 και διακύμανση ίση με 1. Εξειδικεύοντας την ιδιότητα αυτή στην περίπτωση της τυχαίας μεταβλητής X για την οποία υποθέτουμε ότι έχει κανονική κατανομή μέσου μ και διακύμανσης σ^2 προκύπτει: Αν η τυχαία μεταβλητή X ~ N(μ, σ2), τότε η τυχαία μεταβλητή Z ~ N(0,1).

Το σημαντικό αυτού του αποτελέσματος είναι ότι κάθε κανονική κατανομή μπορεί να μετασχηματιστεί σε κανονική κατανομή μηδενικού μέσου (μ=0) και μοναδιαίας διακύμανσης (σ^2=1). Έτσι για μ=0 και σ^2=1 η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυποποιημένης κανονικής κατανομής είναι της μορφής:

$$f(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-(Z)^2}{2}}$$, με -∞ < Z <∞.

Προκειμένου να υπολογισθεί η παραπάνω πιθανότητα ορίζεται η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής ή απλώς συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής N(0,1). Η συνάρτηση κατανομής (σ.κ.) της N(0,1) συμβολίζεται με Φ(z) και ορίζεται από την P(-∞<Z<z)=P(Z<z), δηλαδή για κάποιο z_o P(-∞<Z< z_o)=Φ(z_o).

Έτσι, θεωρώντας ότι η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή X με μέσο μ και διακύμανση σ^2, μπορεί να υπολογισθεί η πιθανότητα της αρχικής μεταβλητής X της μορφής P[X<x] ή P[X>x]. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την τεχνική της τυποποίησης μέσω του μετασχηματισμού Z= X-μ/σ (Boulanger B. et al., 2003).



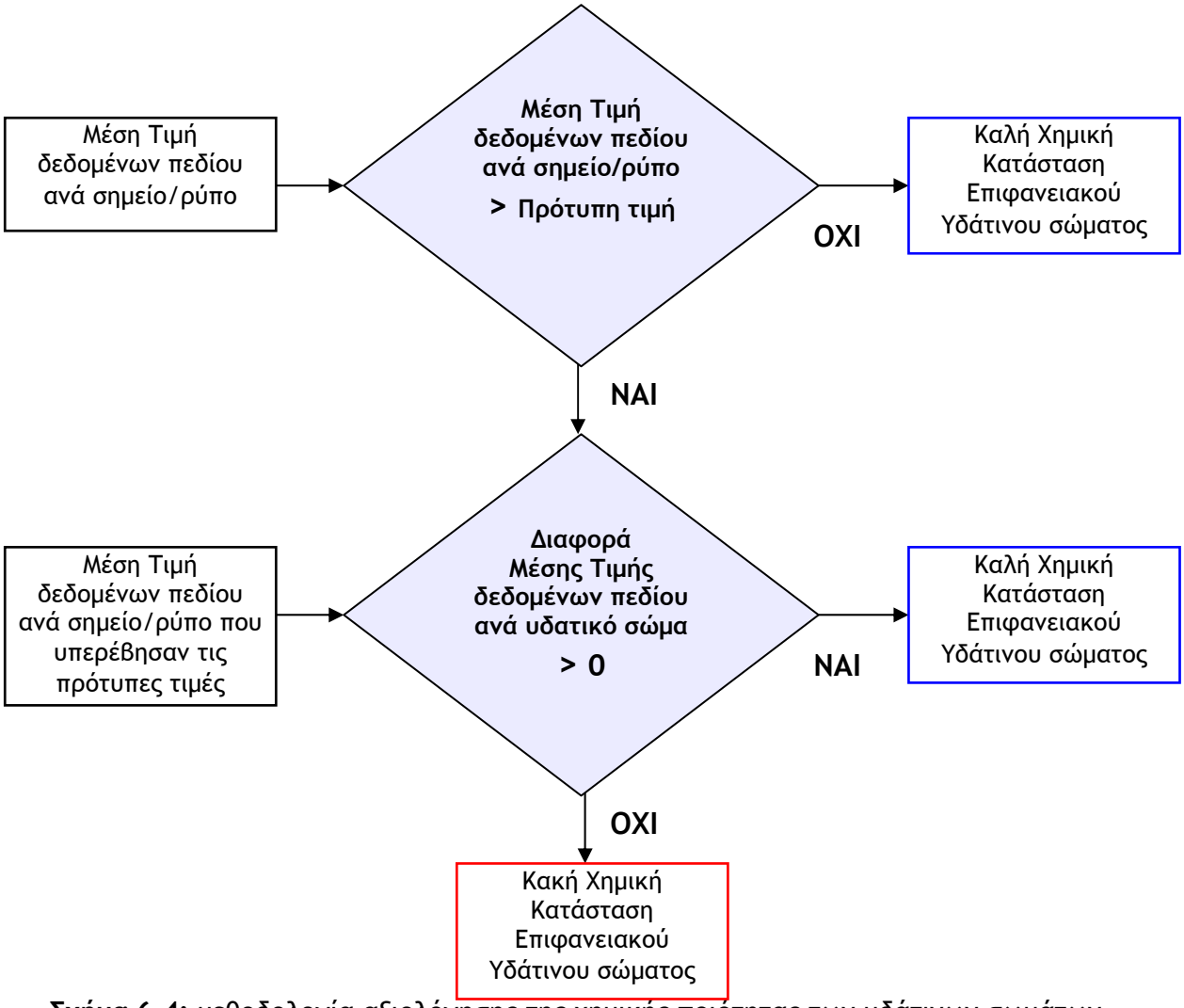
Σχήμα 6-3: Μετασχηματισμός κανονικής κατανομής σε τυποποιημένη κανονική κατανομή

Στη συγκεκριμένη περίπτωση αξιολόγησης της χημικής ποιότητας των υδάτων θεωρώντας ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ακολουθούν κανονική κατανομή υπολογίζεται η πιθανότητα ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) η τυχαία μεταβλητή να υπερβαίνει τις χαρακτηριστικές τιμές καλής ποιότητας.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συναρτήσεις του προγράμματος Excel της Microsoft edition 2003:

- Αριθμητικός Μέσος, μ: AVERAGE(number1;number2;...) όπου Number1, number2, ... είναι 1 έως 30 αριθμητικά ορίσματα για τα οποία υπολογίζεται ο μέσος όρος.
- Τυπική απόκλιση, σ: $STDEV = \sqrt{(x - \bar{x})^2 / n - 1}$, όπου x είναι το μέσο δειγματοληψίας AVERAGE(number1,number2,…) και n είναι το μέγεθος δείγματος.
- STANDARDIZE(x;mean;standard_dev), όπου x είναι η τιμή η οποία επιδιώκεται να κανονικοποιηθεί, mean είναι ο αριθμητικός μέσος της κατανομής, Standard_dev είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής. Αποδίδει μία κανονικοποιημένη τιμή από μια κατανομή, που χαρακτηρίζεται από μέση τιμή και τυπική απόκλιση.
- NORMSDIST(z), όπου Z είναι η τιμή, για την οποία θέλουμε την κατανομή. Η παραπάνω εντολή αποδίδει τη συνάρτηση της τυπικής κανονικής αθροιστικής κατανομής. Η κατανομή έχει αριθμητικό μέσο 0 και τυπική απόκλιση 1.

Ειδικά για την περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, προκειμένου να γίνει λεπτομερέστερη αξιολόγηση, συνεκτιμήθηκε και η συνεισφορά της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης, ενδείξεις ύπαρξης της οποίας παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση αυτή είναι για να εντοπιστούν εκείνα τα υδάτινα σώματα τα οποία είναι σε κακή κατάσταση και δεν αναμένεται χωρίς επέμβαση να βελτιωθούν. Προκειμένου να εκτιμηθεί το ενδεχόμενο βελτίωσης μέσω φυσικής αποκατάστασης υπολογίστηκαν οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των μέσων τιμών των ρυπαντών κατά μήκος των σημείων δειγματοληψίας ανά υδατικό σώμα, για τις περιπτώσεις εκείνες που εντοπίζεται υπέρβαση των πρότυπων τιμών καλής κατάστασης. Όταν η διαφορά αυτών είναι αρνητική υπάρχει ένδειξη ότι η φυσική αποκατάσταση δε λειτουργεί και το υδάτινο σώμα είναι σε κακή χημική κατάσταση. Ακολουθεί το Σχήμα 8-4, στο οποίο φαίνεται η μεθοδολογία αξιολόγησης της χημικής ποιότητας των υδάτινων σωμάτων.



Σχήμα 6-4: μεθοδολογία αξιολόγησης της χημικής ποιότητας των υδάτινων σωμάτων

6.6. Αποτελέσματα αξιολόγησης

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται τα αποτελέσματα από τη διαδικασία αξιολόγησης που αναλύθηκε στην παράγραφο 6.5. Στα κελιά που δε δίνονται τιμές τυπικής απόκλισης και πιθανότητας σημαίνει ότι οι μετρούμενες παράμετροι ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες του ορίου ανίχνευσης και η αναγραφόμενη μέση τιμή αντιστοιχεί στο όριο ανίχνευσης. Οι επισημασμένες με κόκκινο τιμές υποδηλώνουν υπέρβαση των τιμών καλής κατάστασης. Στον Χάρτη 6-3, απεικονίζεται η χημική κατάσταση των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα της αξιολόγησης.

Πίνακας 6-6: Αποτελέσματα αξιολόγησης χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτινων σωμάτων (T, pH, Αγωγιμότητα, Διαλυμένο Οξυγόνο)

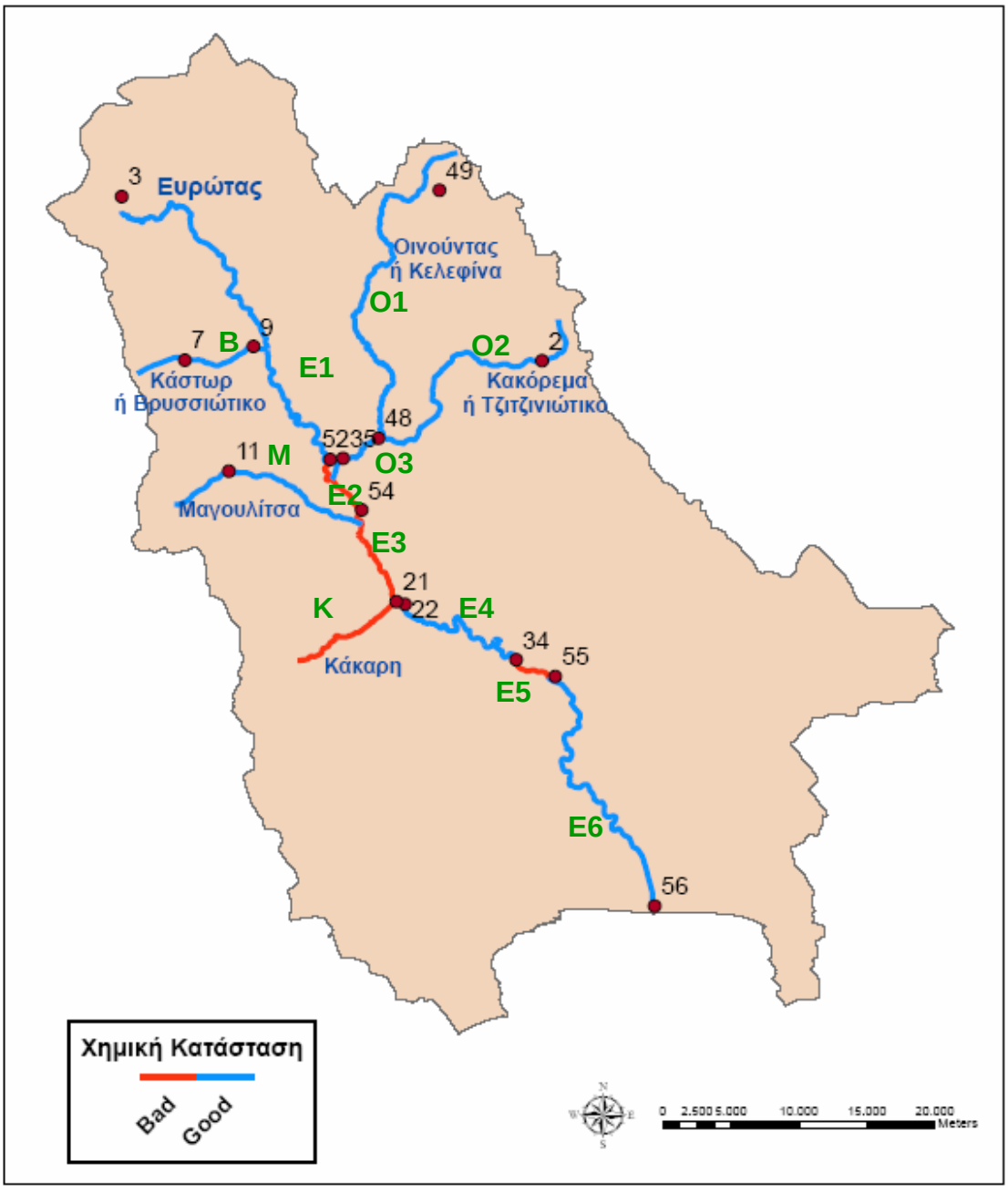
ID	Temperature (ºC)			pH			DO (mg/L)			Conductivity (μS/cm)		
	Average	std	P(x<22)	Average	std	P(6,5<x<8,5)	Average	std	P(x>5)	Average	std	P(x<1000)
3	14,5	1,2	100,0%	6,9	0,2	100,0%	9,3	2,8	93,9%	620	242	94,2%
52	17,5	4,2	86,2%	8,1	0,0	100,0%	9,8	4,9	83,5%	772	175	90,3%
54	16,8	3,4	93,7%	8,2	0,1	98,9%	9,7	3,0	94,3%	690	42	100,0%
22	18,5	3,8	81,7%	7,8	0,3	99,6%	5,5	2,3	58,6%	677	221	92,8%
34	19,0	4,5	75,0%	8,1	0,1	99,8%	6,4	1,3	84,8%	582	296	92,1%
55	20,8	3,1	65,0%	8,4	0,1	79,0%	6,8	1,8	83,9%	721	318	81,0%
56	19,5	2,5	84,9%	7,8	0,2	99,6%	8,6	0,8	100,0%	767	158	92,9%
49	15,9	3,3	97,0%	7,3	0,3	100,0%	7,4	3,2	77,4%	449	464	88,3%
2	12,8	3,2	99,8%	8,2	0,4	77,8%	8,6	3,0	88,1%	299	45	100,0%
48	15,8	3,3	97,0%	8,1	0,3	88,3%	6,5	2,0	76,7%	501	227	98,6%
35	15,7	3,2	97,5%	8,2	0,2	93,8%	6,1	1,3	79,7%	434	82	100,0%
7	15,2	2,4	99,8%	7,9	0,4	92,5%	7,3	2,1	86,4%	784	225	83,2%
9	15,3	3,5	97,4%	8,2	0,2	90,8%	6,5	1,4	85,7%	565	235	96,8%
11	14,5	3,3	98,8%	8,2	0,1	98,2%	6,6	2,5	74,1%	368	139	100,0%
21	17,0	5,0	84,1%	7,9	0,2	99,1%	6,9	0,8	99,1%	663	238	92,1%

Πίνακας 6-7: Αποτελέσματα αξιολόγησης χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτινων σωμάτων (COD, NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P)- Φάση 1

ID	Περιγραφή	COD (mg/L)			NO_2-N (mg/L)			NO_3-N (mg/L)			NH_3-N (mg/L)			PO_4-P (mg/L)		
		Average	std	P(x>7,5)	Average	std	P(x<0,009)	Average	std	P(x<2,63)	Average	std	P(x<0,039)	Average	std	P(x<0,065)
3	Πηγές Ευρώτα	4,6	1,3	98,7%	0,004		100,0%	2,0	1,6	64,7%	0,042	0,029	46,2%	0,059	0,046	55,7%
52	Ευρώτας στον Καραβά	6,4	3,9	60,8%	0,005	0,002	99,3%	1,0	0,1	100,0%	0,028	0,005	99,1%	0,030	0,021	95,1%
54	Ευρώτας μετά το Βιολογολικό Σπάρτης	3,7	0,1	100,0%	0,020	0,022	31,6%	0,3	0,0	100,0%	0,062	0,053	33,0%	0,065	0,079	50,1%
22	Ευρώτας στη Σκούρα	13,2	20,0	38,8%	0,103	0,070	9,0%	1,6	0,9	88,1%	0,049	0,040	39,8%	0,078	0,071	42,9%
34	Ευρώτα στη Γέφυρα Βρονταμά	7,4	1,7	51,4%	0,020	0,015	23,3%	1,3	0,7	97,4%	0,039	0,028	50,3%	0,053	0,041	61,4%
55	Ευρώτας στο Παλαιομονάστηρο	3,7		100,0%	0,070	0,058	14,5%	1,0	0,2	100,0%	0,063	0,030	21,1%	0,069	0,005	25,2%
56	Εκβολές Ευρώτας	3,7		100,0%	0,031	0,016	8,6%	0,5	0,2	100,0%	0,042	0,015	42,6%	0,065	0,030	50,9%
49	Οινούντας Α	4,7	1,5	97,3%	0,004	0,000	100,0%	0,8	0,9	97,7%	0,038	0,022	52,3%	0,038	0,037	77,4%
2	Οινούντας (Τζιτζινιώτικο)	4,6	1,7	95,6%	0,012	0,015	41,0%	1,0	1,0	95,1%	0,052	0,040	37,3%	0,062	0,057	52,0%
48	Οινούντας	3,7	0,1	100,0%	0,008	0,006	57,8%	0,9	0,9	98,1%	0,034	0,017	62,0%	0,027	0,018	98,2%
35	Οινούντας στη Γέφυρα Κελεφίνας	3,9	0,5	100,0%	0,004	0,001	100,0%	0,9	1,1	93,4%	0,035	0,018	58,3%	0,030	0,019	96,7%
7	Κάστωρ/Βρυσσιώτικο	3,7		100,0%	0,004		100,0%	1,0	1,2	91,8%	0,041	0,027	47,7%	0,055	0,028	64,7%
9	Βαθύρρεμα	4,8	2,7	83,9%	0,005	0,002	99,5%	1,0	1,0	94,2%	0,028	0,006	95,8%	0,052	0,035	64,4%
11	Μαγουλίτσα	3,7		100,0%	0,004		100,0%	1,3	1,1	89,1%	0,035	0,018	57,7%	0,038	0,022	88,9%
21	Κάκαρη	3,7		100,0%	0,082	0,101	23,6%	5,9	5,0	25,7%	0,036	0,016	57,5%	0,121	0,133	33,9%

Πίνακας 6-8: Αξιολόγηση χημικής ποιότητας επιφανειακών υδάτινων σωμάτων (COD, NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P)- Φάση 2

ID	Περιγραφή ID	ΔCOD (mg/L)	ΔNO_2-N (mg/L)	ΔNO_3-N (mg/L)	ΔNH_3-N (mg/L)	ΔPO_4-P (mg/L)
E1	3-52				0,014	
E2	52-54		-0,015		-0,034	
E3	54-22	-9,5	-0,083		0,013	-0,013
E4	22-34	5,8	0,083	0,4	0,011	0,024
E5	34-55		-0,050		-0,025	-0,015
E6	55-56		0,039	0,5	0,022	0,004
O2	2-48		0,004		0,018	
B	7-9				0,012	



Χάρτης 6-3: Αξιολόγηση επιφανειακών υδάτινων σωμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Πίνακας 6-9: Αποτελέσματα αξιολόγησης χημικής ποιότητας υπογείων υδάτινων σωμάτων (pH, Αγωγιμότητα)

		pH			Αγωγιμότητα, μS/cm		
Υπόγειο Υδάτινο Σώμα	**ID**	**Average**	**std**	**P(6,5<x<9,5)**	**Average**	**std**	**P(x<2500)**
Μακροπερατά 2	MAK 2	7,3	0,08	100,0%	455,3	158,37	100,0%
Μακροπερατά 3	MAK 3	7,9	0,29	100,0%	470,8	159,99	100,0%
Μικροπερατά 1	MIK1	7,3	0,24	100,0%	570,1	204,92	100,0%
Μικροπερατό 1 (δειγμ. Γεωτρήσεων)		7,4	0,23	100,0%	423,2	160,92	100,0%
Μικροπερατό 1 (δειγμ. Πηγαδιών)		7,3	0,22	100,0%	706,9	135,11	100,0%
Μικροπερατά 2	MIK 2	7,2	0,26	99,6%	792,7	563,12	99,9%

Πίνακας 6-10: Αποτελέσματα αξιολόγησης χημικής ποιότητας υπογείων υδάτινων σωμάτων (NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P)

		NO_3-N, mg/L			NO_2-N, mg/L			NH_3-N, mg/L			PO_4-P, mg/L		
Υπόγειο Υδάτινο Σώμα	**ID**	**Average**	**std**	**P(x<11,3)**	**Average**	**std**	**P(x<0,152)**	**Average**	**std**	**P(x<0,388)**	**Average**	**std**	**P(x<2,18)**
Μακροπερατά 2	MAK 2	1,0060	0,9532	100,0%	0,0040			0,0370	0,0183		0,0367	0,0067	
Μακροπερατά 3	MAK 3	0,2670			0,0040			0,0333	0,0119		0,0720	0,0028	
Μικροπερατά 1	MIK 1	7,0067	5,9630	76,4%	0,0099	0,0204	100,0%	0,0560	0,0705	100,0%	0,0518	0,0372	100,0%
Μικροπερατό 1 (Γεωτρήσεις)		3,7282	3,1872	99,1%	0,0056	0,0055	100,0%	0,0449	0,0295	100,0%	0,0621	0,0482	100,0%
Μικροπερατό 1 (Πηγάδια)		9,0831	6,4067	63,5%	0,0126	0,0255	100,0%	0,0631	0,0869	100,0%	0,0440	0,0241	100,0%
Μικροπερατά 2	MIK 2	10,8324	18,9606	51,0%	0,0043	0,0008	100,0%	0,0456	0,0244	100,0%	0,0485	0,0332	100,0%

6.7. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Από την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων βάσει των δεδομένων της λεκάνης απορροής του Ευρώτα, με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε παραπάνω, διαφαίνεται ότι τα υπόγεια νερά της λεκάνης είναι σε καλή κατάσταση. Όσον αφορά στα επιφανειακά ύδατα, προκύπτει ότι το 87% (του μήκους) των εξετασθέντων υδάτινων σωμάτων είναι σε καλή κατάσταση.

Πιο συγκεκριμένα, από την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των υδάτων του ποταμού Ευρώτα το 85% αυτών είναι σε καλή κατάσταση ενώ στο συνολικό μήκος των υπολοίπων εξετασθέντων παραποτάμων το ποσοστό ανέρχεται σε 90%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα επιφανειακά ύδατα παρουσίασαν τιμές εντός των ορίων της καλής ποιότητας όσον αφορά στη θερμοκρασία, στο pH και στην αγωγιμότητα και στις συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου.

Τα επιφανειακά υδάτινα σώματα που βρίσκονται σε κακή κατάσταση, δηλαδή τα υδάτινα σώματα στα οποία οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών υπερβαίνουν τις πρότυπες τιμές και ο μηχανισμός της φυσικής αποκατάστασης δε λειτουργεί, είναι ο Ευρώτας από τον Καραβά μέχρι το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης [Ε2], ο Ευρώτας από το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης μέχρι τη Σκούρα [Ε3], ο Ευρώτας από τη γέφυρα Βρονταμά μέχρι το Παλαιομονάστηρο και το ρέμα Κάκαρη [Κ].

Από όλα τα υδάτινα σώματα σε κακή κατάσταση, αυτό που είναι στη χειρότερη είναι το Ε3, καθώς οι συγκεντρώσεις όλων των ρυπαντών, πλην των νιτρικών, ήταν μεγαλύτερες των πρότυπων τιμών με υψηλά ποσοστά μη επίτευξης του στόχου. Επίσης, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης στο τμήμα αυτό του ποταμού δε λειτουργούν για κανένα από τους υπό εξέταση ρυπαντές. Στο τμήμα (segment) αυτό περιλαμβάνεται μέρος της πόλης της Σπάρτης και της Σκούρας. Η Σπάρτη αποτελεί την πρωτεύουσα του νομού και έχει τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα ενώ εκεί βρίσκεται και ο βιολογικός καθαρισμός, η εκροή του οποίου διατίθεται στον Ευρώτα και τα δύο χυμοποιία. Επίσης, η Σκούρα βρίσκεται νοτίως της Σπάρτης, στη μέση περίπου της πεδιάδας της Σπάρτης. Στο σημείο αυτό ο Ευρώτας έχει ήδη δεχτεί μεγάλα ρυπαντικά φορτία από τα χυμοποιία, τα ελαιουργεία (την περίοδο που λειτουργούν) και τις καλλιέργειες, γεγονός που εξηγεί την αυξημένη επιβάρυνση. Σε κακή κατάσταση είναι και ο Ευρώτας από τη Γέφυρα Βρονταμά μέχρι το Παλαιομονάστηρο [Ε5], λόγω υπέρβασης των πρότυπων τιμών των NO_2-N με πιθανότητα επίτευξης του στόχου 23% (Γ. Βρονταμά) και των NH_3-N, NO_2-N και PO_4-P με πιθανότητα περίπου 80%. Στο κομμάτι Ε2, παρατηρείται ότι οι φυσικοί μηχανισμοί δε λειτουργούν και ότι έχουμε υπέρβαση των πρότυπων τιμών στο σημείο 54. Έτσι και το Ε2 είναι σε κακή κατάσταση.

Τέλος, κακή κατάσταση εμφανίζει και το ρέμα Κάκαρη, στο οποίο παρουσιάστηκε η υψηλότερη τιμή σε συγκέντρωση NO_3N, 5,9 mg/L και PO_4-P, 0,121 mg/L και η δεύτερη, σε φθίνουσα σειρά, συγκέντρωση σε N-NO_2, 0,082 mg/L με πιθανότητα

υπέρβασης των πρότυπων τιμών 75%, 60% και 75% αντίστοιχα. Οι παραπάνω αυξημένες τιμές μπορούν να αποδοθούν στο ότι η Κάκαρη διέρχεται από καλλιεργήσιμη περιοχή. Το αποτέλεσμα αυτό αντιμετωπίζεται με κάποια επιφύλαξη αφενός γιατί στον παραπόταμο υπάρχει ένα σημείο δειγματοληψίας και αφετέρου γιατί η Κάκαρη τα τελευταία χρόνια δεν έχει υψηλή ροή.

Τα υπόλοιπα υδάτινα σώματα είναι σε καλή χημική κατάσταση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι επιβάρυνση εντοπίζεται στον Ευρώτα από τη γέφυρα Βρονταμά μέχρι τις Εκβολές [Ε5 και Ε6], λόγω υπέρβασης των πρότυπων τιμών. Παρόλα αυτά στην περιοχή αυτή λειτουργούν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης οι οποίοι σε συνδυασμό με τον έλεγχο των σημειακών πηγών ρύπανσης δύναται να επιφέρουν την επίτευξη του στόχου.

Τα υπόγεια υδάτινα σώματα είναι σε καλή κατάσταση ικανοποιώντας τις αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας, για τις τιμές pH, αγωγιμότητας και συγκεντρώσεων NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N και PO_4-P, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών για τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή της Σκάλας αν και δεν υπερβαίνουν τις πρότυπες τιμές η πιθανότητα υπέρβασης είναι αυξημένη, 49%. Επίσης, και στην ευρύτερη περιοχή της Σπάρτης η πιθανότητα υπέρβασης είναι 25%, γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη πιθανότητα υπέρβασης NO_3-N στα πηγάδια, 36%. Παρόλα αυτά λόγω και της δράσης των μηχανισμών της φυσικής αποκατάστασης τα εν λόγω υδάτινα σώματα είναι σε καλή κατάσταση. Για τα υπόγεια ύδατα μεγαλύτερου βάθους (γεωτρήσεων) δεν υπάρχει κίνδυνος χαρακτηρισμού κακής ποιότητας.

Συνοψίζοντας, τα υπό-μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα χαρακτηρίζονται, σε ποσοστό 87% του συνολικού μήκος των εξετασθέντων επιφανειακών υδάτων, σε καλή χημική κατάσταση και τα υπόγεια σε καλή. Η απόκλιση από την καλή κατάσταση οφείλεται κυρίως στις σημειακές πηγές ρύπανσης. Έτσι, προκειμένου να βελτιωθεί η χημική ποιότητα των επιφανειακών υδάτων θα πρέπει να περιοριστεί η ανεξέλεγκτη απόθεση ανεπεξέργαστων ρυπαντικών φορτίων από τις σημειακές πηγές ρύπανσης όπως είναι τα χυμοποιία και τα ελαιουργεία. Επίσης, προς το στόχο για καλή ποιότητα υδάτων, κρίνεται σκόπιμη η συμμόρφωση των αγροτών με τους κανόνες ορθής πρακτικής λίπανσης που προτείνονται από το Υπουργείο Γεωργίας, οι οποίοι αφορούν όχι μόνο στις απαιτούμενες ποσότητες αλλά και στο χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων, στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνεται η εφαρμογή, στο είδος των επιφανειών στις οποίες μπορεί να γίνεται η εφαρμογή κ.ά..

7. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Από τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών επιφανειακών και υπογείων υδάτων, στο πλαίσιο εφαρμογής του πρώτου σταδίου της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, φάνηκε ότι ορισμένοι ρυπαντές σημειώνουν μέγιστες συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά ενώ άλλοι στα υπόγεια. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συγκριτική αξιολόγηση υποδεικνύει τις περιπτώσεις εμφάνισης μέγιστων τιμών και δε συνδέεται με την εκτίμηση της χημικής ποιότητας των υδάτων, η οποία βασίζεται σε διαφορετικά πρότυπα στην περίπτωση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων.

Σε γενικές γραμμές η μέση συγκέντρωση του COD είναι μεγαλύτερη στο επιφανειακό νερό από ότι στο υπόγειο νερό. Αντιθέτως, οι τιμές της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου στο υπόγειο νερό είναι υψηλότερες από ότι στο επιφανειακό. Οι πιο αυξημένες τιμές παρατηρούνται στα νερά των πηγαδιών και μετά στις γεωτρήσεις. Η ίδια τάση παρατηρείται και για τη συγκέντρωση των ολικών φαινολών, με δεύτερα σε κατάταξη υψηλών συγκεντρώσεων τα επιφανειακά ύδατα. Στα επιφανειακά ύδατα, επίσης, εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρώδους αζώτου ενώ αμμωνιακού αζώτου στα πηγάδια και μετά στα επιφανειακά ύδατα. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις των φωσφορικών, οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις και στα επιφανειακά ύδατα ενώ στις πηγές και στα πηγάδια οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες.

Οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών για τα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται σε φυσιολογικές τιμές και δεν υποδηλώνουν κάποια ένδειξη ρύπανσης. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου ανά θέση κατά τις διάφορες δειγματοληψίες παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι τιμές για τον Ευρώτα στη Σκούρα που κυμαίνονται από 1,67mg/L ($3^{η}$ δειγματοληψία) έως 7,70mg/L ($5^{η}$ δειγματοληψία). Η διακύμανση αυτή οφείλεται στην εποχικότητα εμφάνισης των σημειακών πηγών ρύπανσης και δικαιολογείται από το γεγονός ότι την εποχή που έγινε η $5^{η}$ δειγματοληψία (Νοέμβριο) οι απορρίψεις οργανικού ρυπαντικού φορτίου είναι περιορισμένες καθώς δεν έχει αρχίσει η λειτουργία των χυμοποιίων και των περισσότερων ελαιουργείων.

Στα επιφανειακά ύδατα, οι μέσες τιμές του COD δεν δείχνουν σημαντική ρύπανση του ποταμού και κυμαίνονται από 3,7 έως και 12,8 mg/L. Η υψηλότερη τιμή εντοπίζεται στην περιοχή της Σκούρας. Στην ίδια περιοχή σημειώθηκαν και οι υψηλότερες τιμές νιτρώδους αζώτου, φωσφορικών και ολικού οργανικού άνθρακα. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών μετρήθηκαν στο ρέμα Κάκαρη. Οι μέσες συγκεντρώσεις των ολικών φαινολών κυμαίνονται από 0,5 έως 2mg/L. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι χαμηλές λαμβάνοντας υπόψη ότι αφορούν στις

ολικές φαινόλες. Υψηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στον Ευρώτα στην περιοχή του Βρονταμά (2mg/L) και της Σκούρας (1,8mg/L). Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στη λειτουργία παρακείμενων ελαιουργείων, τα οποία διαθέτουν ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους σε παραποτάμους οι οποίοι καταλήγουν στον Ευρώτα. Από τις μετρήσεις που έγιναν για μέταλλα (Cu, As, Pb, Cd, Cr, Zn, Mn) στα επιφανειακά νερά του Ευρώτα σε έξι θέσεις δειγματοληψίας, ανιχνεύθηκε χρώμιο (Cr) σε συγκεντρώσεις 0,018-0,02mg/L, οι οποίες όμως βρίσκονται κάτω από το όριο των 0,05mg/L βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό. Επίσης, στον Ευρώτα στις θέσεις Σκουρά, Βρονταμά, Παλαιομονάστηρο και στις εκβολές ανιχνεύτηκε μαγγάνιο (Mn). Ειδικά στη θέση Σκούρα και στις εκβολές του Ευρώτα οι συγκεντρώσεις ήταν σχετικά υψηλές, 0,13mg/L και 0,15mg/L, αντίστοιχα. Η εμφάνιση του μαγγανίου ενδεχομένως να συνδέεται με τη χρήση φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες, καθώς αποτελεί συστατικό αυτών. Πρόκειται για ευκίνητο μέταλλο το οποίο μπορεί εύκολα να εκπλυθεί και να καταλήξει στα επιφανειακά ύδατα.

Όπως και στην περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, και στα υπόγεια οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες αυξημένες τιμές αγωγιμότητας που παρατηρήθηκαν στις πηγές στο χωριό Καρυές, 1.140 μS/cm και στη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, 1.845μS/cm. Οι παραπάνω αυξημένες τιμές μπορεί να οφείλονται είτε σε ρύπανση των νερών είτε στη γεωλογία της περιοχής.

Στα υπόγεια ύδατα, δεν εμφανίζονται υψηλές τιμές σε COD, φωσφορικά, νιτρώδες και αμμωνιακό άζωτο. Η μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών εμφανίζει υψηλότερες τιμές, κατά μέσο όρο, στα πηγάδια, έπειτα στις πηγές και τέλος στις γεωτρήσεις. Οι υψηλότερες μέσες τιμές από όλες τις δειγματοληψίες μετρήθηκαν στη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, 2,7mg/L και στη γεώτρηση στην περιοχή των Αμύκλων. Ανάντι και των δύο περιοχών υπάρχουν ελαιουργεία. Οι τιμές του νιτρικού αζώτου εμφανίζουν σχετικά υψηλές τιμές κυρίως στα πηγάδια στην περιοχή της Ριβιώτισσας και της Σκούρας, με μέσο όρο 9mg/L. Τα πηγάδια στη Ριβιώτισσα εμφανίζουν πιο αυξημένες τιμές. Οι μέσες συγκεντρώσεις στις γεωτρήσεις κυμαίνονται από 1,3 έως 4,8 mg/L, με εξαίρεση τη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, ανατολικά της Σκάλας, η οποία όλες τις φορές που πάρθηκε δείγμα εμφάνισε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε νιτρικά.

Σημαντικά προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν τα υγρά απόβλητα των χυμοποιίων, των ελαιουργείων και τα αστικά υγρά λύματα, τα οποία διατίθενται ανεπεξέργαστα στον Ευρώτα ή σε παραπόταμούς του. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για την αξιολόγηση των σημειακών πηγών ρύπανσης προέκυψε ότι η εκροή του βιολογικού καθαρισμού προκαλεί μείωση στην ποιότητα των επιφανειακών υδάτων του Ευρώτα, κυρίως λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των φωσφορικών, νιτρικών και του COD. Για την

περίπτωση της απόρριψης υγρών αποβλήτων ελαιουργείου διαφάνηκε ότι ο κατσίγαρος έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο, ακόμη και όταν έχει υποστεί επεξεργασία με υδράσβεστο με αποτέλεσμα να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου τα απόβλητα ελαιουργείου να διατίθενται σε παραποτάμους, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της ποιότητάς τους.

Παρόλα τα προβλήματα ρύπανσης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα, οι μετρήσεις και οι πειραματικές αναλύσεις στα δείγματα υπόγειου και επιφανειακού νερού έδειξαν ότι υπάρχουν μηχανισμοί οι οποίοι μειώνουν τη συγκέντρωση των ρύπων, από την πηγή ρύπανσης και ακολουθώντας την πορεία του νερού. Βρέθηκε δηλαδή ότι στην περιοχή λειτουργούν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί αποκατάστασης γιατί παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (όπως οικισμοί, ελαιουργεία και καλλιέργειες) που θα έπρεπε να το επιβαρύνουν προσθετικά, καθώς αυτό διέρχεται από τα κατά μήκος σημεία, στις εκβολές παρατηρείται μείωση των ρυπαντικών φορτιών. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τα υπόγεια ύδατα όπου διαφάνηκε ότι υπάρχει μείωση των ρύπων, κατά μήκος της ροής των υπογείων υδάτων.

Συνεπώς, η εφαρμογή της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης σε συνδυασμό με σωστή διαχείριση των υδάτων μπορεί να οδηγήσει στη βέλτιστη λήψη των απαιτούμενων δράσεων έτσι ώστε να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης. Η εύρεση και η ποσοτικοποίηση των μηχανισμών αποκατάστασης των ρύπων στην περιοχή θα βοηθήσει στη λήψη μόνο των απαραίτητων μέτρων για την εξυγίανση της περιοχής.

Από την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας διαπιστώθηκε ότι τα υπό-μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα χαρακτηρίζονται, σε ποσοστό 87% του συνολικού μήκος των εξετασθέντων επιφανειακών υδάτων, σε καλή χημική κατάσταση και ότι όλα τα εξετασθέντα υπογεία υδάτινα σώματα είναι σε καλή χημική κατάσταση.

Όσον αφορά στα επιφανειακά ύδατα στη χειρότερη κατάσταση είναι το τμήμα του Ευρώτα από το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης μέχρι τη Σκούρα, καθώς οι συγκεντρώσεις όλων των ρυπαντών, πλην των νιτρικών, ήταν μεγαλύτερες των πρότυπων τιμών με υψηλά ποσοστά μη επίτευξης του στόχου. Επίσης, φαίνεται ότι οι μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης στο τμήμα αυτό του ποταμού δε λειτουργούν για κανένα από τους υπό εξέταση ρυπαντές. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται μέρος της πόλης της Σπάρτης και της Σκούρας. Η Σπάρτη αποτελεί την πρωτεύουσα του νομού και έχει τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα ενώ εκεί βρίσκεται ο βιολογικός καθαρισμός και τα δύο χυμοποιία. Επίσης, η Σκούρα βρίσκεται νοτίως της Σπάρτης, στη μέση περίπου της πεδιάδας της Σπάρτης. Στο σημείο αυτό ο Ευρώτας έχει ήδη δεχτεί μεγάλα

ρυπαντικά φορτία από τα χυμοποιία, τα ελαιουργεία (την περίοδο που λειτουργούν) και τις καλλιέργειες, γεγονός που εξηγεί την αυξημένη επιβάρυνση. Σε κακή κατάσταση είναι και το τμήμα του Ευρώτα από τον Καραβά μέχρι το βιολογικό καθαρισμό Σπάρτης και από τη Γέφυρα Βρονταμά μέχρι το Παλαιομονάστηρο. Τέλος, κακή κατάσταση εμφανίζει και το ρέμα Κάκαρη, στο οποίο παρουσιάστηκε η υψηλότερη τιμή σε συγκέντρωση NO_3-N, 5,9 mg/L και PO_4-P, 0,121 mg/L και η δεύτερη, σε φθίνουσα σειρά, συγκέντρωση σε NO_2-N, 0,082 mg/L με πιθανότητα υπέρβασης των πρότυπων τιμών 75%, 60% και 75% αντίστοιχα. Οι παραπάνω αυξημένες τιμές μπορούν να αποδοθούν στο ότι η Κάκαρη διέρχεται από καλλιεργήσιμη περιοχή. Το αποτέλεσμα αυτό αντιμετωπίζεται με κάποια επιφύλαξη αφενός γιατί στον παραπόταμο υπάρχει ένα σημείο δειγματοληψίας και αφετέρου γιατί η Κάκαρη τα τελευταία χρόνια δεν έχει υψηλή ροή. Τα υπόλοιπα επιφανειακά σώματα είναι σε καλή χημική κατάσταση.

Αναφορικά με τα εξετασθέντα υπόγεια υδάτινα σώματα, αυτά είναι σε καλή κατάσταση ικανοποιώντας τις αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας, για τις τιμές pH, αγωγιμότητας και συγκεντρώσεων NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N και PO_4-P, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών για τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή της Σκάλας αν και δεν υπερβαίνουν τις πρότυπες τιμές η πιθανότητα υπέρβασης είναι αυξημένη, 49%. Επίσης, και στην ευρύτερη περιοχή της Σπάρτης η πιθανότητα υπέρβασης είναι 25%, γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη πιθανότητα υπέρβασης NO_3-N στα πηγάδια, 36%. Παρόλα αυτά λόγω και της δράσης των μηχανισμών της φυσικής αποκατάστασης τα εν λόγω υδάτινα σώματα είναι σε καλή κατάσταση. Για τα υπόγεια ύδατα μεγαλύτερου βάθους (γεωτρήσεων) δεν υπάρχει κίνδυνος χαρακτηρισμού κακής ποιότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις από την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης και την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των υδάτινων σωμάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα φαίνεται ότι η επίτευξη του στόχου της καλής χημικής ποιότητας όλων των υδάτων της λεκάνης μέχρι το έτος 2015, όπως ορίζει η οδηγία πλαίσιο, είναι εφικτή. Προκειμένου να βελτιωθεί η χημική ποιότητα των επιφανειακών υδάτων θα πρέπει να περιοριστεί η ανεξέλεγκτη απόθεση ανεπεξέργαστων ρυπαντικών φορτίων από τις σημειακές πηγές ρύπανσης όπως είναι τα χυμοποιία και τα ελαιουργεία. Επίσης, προς το στόχο για καλή ποιότητα υδάτων, κρίνεται σκόπιμη η συμμόρφωση των αγροτών με τους κανόνες ορθής πρακτικής λίπανσης που προτείνονται από το Υπουργείο Γεωργίας, οι οποίοι αφορούν όχι μόνο στις απαιτούμενες ποσότητες αλλά και στο χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων, στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνεται η εφαρμογή, στο είδος των επιφανειών στις οποίες μπορεί να γίνεται η εφαρμογή κ.ά..

Τέλος, όσον αφορά στην τεχνολογία της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης οι δειγματοληψίες στην περιοχή θα πρέπει να συνεχιστούν τόσο για να μελετηθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που ελέγχουν τους μηχανισμούς φυσικής αποκατάστασης όσο και για να διασφαλισθεί ότι οι διεργασίες θα συνεχίσουν να λειτουργούν και στο μέλλον.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., 2007: Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη Λεκάνη Απορροής του ποταμού Ευρώτα, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών - Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική , Χανιά.

ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ Α., 1997: Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας, ΜΔΕ 'Γεωεπιστήμες & Περιβάλλον', Πάτρα 1997.

AFCEE, 1999: Natural Attenuation of Chlorinated Solvents Performance and Cost Results from Multiple Air Force Demonstration Sites. Technology Demonstration Technical Summary Report, Air Force Centre for Environmental Ex-cellence, Technology Transfer Division.

AFCEE, 1995: Technical protocol for implementing intrinsic remediation with long-term monitoring for natural at-tenuation of fuel contamination dissolved in groundwater. San Antonio (Texas): Air Force Centre for Environmental Excellence Technology Transfer Division Brooks Air Force Base.

ASTM, 1997: Standard guide for remediation of groundwa-ter by natural attenuation at petroleum release sites: ASTM.

ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ Κ., 2006: Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος Χ.Υ.Τ.Α., Θέματα Υδρολογίας Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

BOULANGER B, NIKOLAIDIS N., 2003: Mobility and aquatic toxicity of copper in an urban watershed, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 39, No. 2 USA.

BRUNEL A, COMOLET A, DORMOY C, GARADI A., 1997: Collecte des donnees relatives a l'utilisation des resources en eau et leur gestion en France. Donees quantitative recueillies, Centre Commun de Recherche et la Commission Europeenne, contract No, 12519-96-12 FIPC SEV F. 1997.

COX B. A., 2003 : A review of dissolved oxygen modeling techniques for lowland rivers. Sci. Tot. Environ. 314/316 : 303-334.

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 2007: Στρατηγικός σχεδιασμός αντιπλημμυρικής προστασίας Νομού Λακωνίας, Τελική Έκθεση, Αθήνα.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2004: Παραδοτέο 6.1: Τεύχος Ταξινόμησης και Κωδικοποίησης Ποιοτικών Παραμέτρων, Ενότητα Εργασίας 6: Ταξινόμηση και Κωδικοποίηση Ποιοτικών Παραμέτρων (ΕΕ6), Έργο: Ολοκληρωμένη διαχείριση

υδατικών συστημάτων σε σύζευξη με εξελιγμένο υπολογιστικό σύστημα, ΟΔΥΣΣΕΥΣ ΣΠ-ΦΠ 18., Αθήνα.

EUROPEAN COMMISSION, 2003: Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No2 – Identification of Water Bodies, Working Group on Water Bodies, Office for Official Publications of the European Communities Luxembourg.

GLEICK H., 2000: The Changing Water Paradigm A Look at Twenty-first Century Water Resources Development, Water International, 25, 1, pp 127 – 138.

HELLERICH A. L., NIKOLAIDIS P. N., DOBBS M. G., 2007: Evaluation of the potential for the natural attenuation of hexavalent chromium within a sub-wetland ground water, Journal of Environmental Management, In Press.

HELLERICH A. L., NIKOLAIDIS P. N., 2005: Studies of hexavalent chromium in redox variable soils obtained from a sandy to sub-wetland groundwater environment, Water Research 39 (2005) 2851-2868.

HELLERICH A. L., NIKOLAIDIS P. N., 2005: Sorption studies of mixed chromium and chlorinated ethenes at the field and laboratory scales, Journal of Environmental Management 75 (2005) 77-88.

HELLERICH A. L., PANCIERA A. M., NIKOLAIDIS P. N., SMETS F. BARTH, DOBBS M. G., 2003: Attenuation of a mixed chromium and chlorinated ethene in estuarine influenced glaciated sediments, Ground Water Monitoring & Renediation 23 no 3, summer 2003, pages 74-84.

ITRC, 1999: Natural Attenuation of Chlorinated Solvents, in Groundwater: Principles and Practices. Interstate Tech-nology and Regulatory Cooperation, Technical Regulatory Guidelines.

ΖΑΝΑΚΗ Κ., 1996: Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ, Αθήνα.

ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., 2005: Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ Ν., 2006: Σημειώσεις: Βιολογικές Μέθοδοι Εξυγίανσης Περιβάλλοντος (Τεχνική Βιο-Εξυγίανσης Περιβάλλοντος) BIOREMEDATION, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών - Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική, Χανιά.

ΚΑΤΑΚΟΥΖΗΝΟΣ Δ., 1968: Εδαφολογία Λιπασματολογία (Βελτίωση, Λίπανση, Ταξινόμηση και χαρτογράφηση εδάφους), Αγροτικός εκδοτικός οίκος Σπύρος Σπύρου και υιός, Αθήνα.

ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ ΔΥΓ2/Γ.Π. ΟΙΚ 38295, 2007: Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ 630/τ.Β./26.04.07).

ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ Υ2/2600/2001, 2001: Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01).

ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ 46399/1352/86, 1986: Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για: "πόσιμα", "κολύμβηση", "διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά" και "καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών", μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ 438Β/3-7-86).

ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΆΤΟΣ Π., ΜΠΑΚΆΛΗΣ Ν., ΑΓΓΕΛΊΔΗΣ Μ., 1993: Βιομηχανική Ρύπανση, Πρακτικά συνεδρίου MEDSPA, 6-7 Νοεμβρίου 1993, Σπάρτη.

ΜΑΥΡΟΜΙΧΑΛΗΣ Α., 1993: Ο ποταμός Ευρώτας και οι επιπτώσεις του στους υδατικούς πόρους, Πρακτικά συνεδρίου MEDSPA, 6-7 Νοεμβρίου 1993, Σπάρτη.

ΜΠΑΚΑΛΗΣ Α., ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΣ Π., ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ Μ., 1993: Αστική Ρύπανση, Πρακτικά συνεδρίου MEDSPA, 6-7 Νοεμβρίου 1993, Σπάρτη.

ΜΠΕΛΛΟΣ Δ., 2004: Συγκέντρωση Θρεπτικών Στοιχείων – Βαρέων Μετάλλων και Ραδιοκαισίου στο Νερό – Ίζημα και Υδρόβια Φυτά του Ποταμού Πηνειού, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής, Θεσσαλονίκη.

MEBIROUK M., SBAI L., LOPEZ M., AND GONZALEZ J., 2007: The absorption of polyphenols from olive oil mill wastewaters by sawdust and biodegradation by the fungus Phanerochaetae chrysosporium, A re GRASAS Y ACEITES, 58 (4), OCTUBRE-DICIEMBRE, 366-371, ISSN: 0017-3495

MEDSPA, 1993: Environmental Protection and Development Programme of the Evrotas River Basin and the Northen Coast of Laconian Bay, Final Report, Oct-1993.

NAVY, 1998: Technical Guidelines for evaluating Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons and Chlorinated Solvents in Ground Water at Naval and Marine Corps Facilities. Department of Navy.

NOBIS (SINKE A.J.C., HEIMOVAARA T., AND VAN VEEN J.), 1998 : A decision support system for acceptance of natural attenua-tion as remediation strategy Gouda: NOBIS (in Dutch).

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Ν., ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ Ν., ΤΣΑΚΙΡΗΣ Κ., ΚΟΥΣΣΟΥΡΗΣ Θ., 2007: Προκαταρκτικό Σχέδιο Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα, Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, Χανιά, 14-16 Ιουνίου.

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΤΥΡΟΒΟΛΑ Κ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΠΕΡΟΥΛΑΚΗ Ε., ΒΑΛΤΑ Κ., CASSENTINI Β., ΠΑΠΑΔΟΥΛΑΚΗΣ Β., 2007: Τεχνική Έκθεση του Πολυτεχνείου Κρήτης προς τη Ν.Α. Λακωνίας με Αποτελέσματα του Προγράμματος: «Έρευνα, Μετρήσεις και Παροχή Τεχνικών Κατευθύνσεων για την Υλοποίηση Αντιπλημμυρικών Έργων στις Πυρόπληκτες Περιοχές του Νομού Λακωνίας», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΚΑΛΟΓΕΡΆΚΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ Μ., 2006: Σχεδιασμός Τεχνολογιών Επίδειξης Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 ΕΕ (EnviFriendly).

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΣΚΟΥΛΙΚΊΔΗΣ Ν., ΤΣΑΚΊΡΗΣ Κ., & ΚΑΛΟΓΕΡΆΚΗΣ Ν., 2006: Προκαταρτικό Σχέδιο Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα και της Παράκτιας Ζώνης, Τεχνική έκθεση 242σ. + Παράρτημα 79σ. Στην Έκδοση: Νικολαΐδης Ν., Ν. Καλογεράκης, Ν. Σκουλικίδης, Κ. Τσακίρης, 2005-2009. Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 ΕΕ (EnviFriendly).

ΝΟΜΟΣ 3199/2003, 2003: Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (ΦΕΚ 280/Α/ 9.12.2003).

ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2000: Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕL 327/1/22.12.2000).

ΟΔΗΓΙΑ 98/83/ΕΚ, Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1998: της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕ L 330/32/5.12.2998).

ΟΔΗΓΙΑ 91/676/ΕΟΚ, Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1991: περί προστασίας των υδάτων από ρύπανση με νιτρικά από γεωργικές πηγές, Επίσημη Εφημερίδα (ΕΕ L 35/31.12.1991).

ΟΔΗΓΙΑ 78/659/ΕΟΚ, Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1978: περί της απαιτούμενης ποιότητας για τη διαβίωση ψαριών (κυπρινοειδών, σαλμονιδών), Επίσημη Εφημερίδα (ΕΕ L 222/14.8.1978).

ΟΔΗΓΙΑ 76/160/ΕΟΚ, Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1976: περί της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης, Επίσημη Εφημερίδα (ΕΕ L 31/5.2.1976).

ΟΔΗΓΙΑ 75/440/ΕΟΚ, Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1975: περί απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα Κράτη Μέλη, Επίσημη Εφημερίδα (ΕΕ L 194/25.7.1975).

ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ Α., 2001: Έλεγχος Ρύπανσης Νερών, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διαχείρισης Αερίων, Υγρών και Στερεών Αποβλήτων, Χανιά.

ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ Β., ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Ε., ΣΠΑΡΤΑΛΗ Ν., ΜΩΡΑΪΤΗΣ Δ. ΚΑΙ ΠΕΝΤΑΡΗ Δ, 2004: Συμπεριφορά υγρών αποβλήτων ελαιουργείων σε πετρώματα διαφόρου λιθολογίας, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη.

ΠΟΛΥΖΟΠΟΥΛΟΣ Ν., 1976: Εδαφολογία, Αφοί Π. Σακκουλά, Θεσσαλονίκη - Αθήνα.

ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ 51/2007, 2007: Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, (ΦΕΚ Α΄54/8.3.2007).

SCHNOOR J. L., 2003: Περιβαλλοντικά Μοντέλα: Τύχη και Μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και Έδαφος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

SCHIRMER M., DAHMKE A., DIETRICH P., DIETZE M., GOEDEKE S., RICHNOW H., SCHIRMER K., WEIß H., TEUTSCH G., 2006: Natural attenuation research at the contaminated megasite Zeitz, Journal of Hydrology, Vol. 328, Issues 3-4, pp. 393-407.

PALMER C.D. AND PULPS R.W., 1994: Natural Attenuation of Hexavalent Chromium in Ground Water and Soils, U.S. Environ-mental Protection Agency Ground Water Issue, EPA/540/S-94/505.

PONTIUS N., National Rural Water Association, 2002: Manganese, regulatory briefing, USA.

ΤΖΟΡΑΚΗ Ο., 2007: Διδακτορική Διατριβή, Μοντελοποίηση υδρολογικών και γεωχημικών διεργασιών σε ποτάμιο σύστημα διαλείπουσας ροής, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

TNO-NICOLE REPORT, 1999: Monitored Natural Attenuation: Review of existing guidelines and protocols, TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 2003: 40 CFR 136 - Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 2001: Monitored Natural Attenuation: USEPA Research Program - An EPA Science Advisory Board Review, EPA-SAB-EEC-01-004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 1999 a: Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund RCRA corrective action and underground storage tank sites, Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER), Directive 9200.4-17P (draft issued December 1997).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 1999: Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrcarbons, US-EPA remedial technology fact sheet EPA/600/F-98/021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 1998: Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground water, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC, EPA/600/R-98/128.

WALTON N.R.G., 1989: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids-What is Their Precise Relationship?, Desalination, 72 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp 275-292.

WITTA E., KLECKAA M. G., LUTZB J. E., EIB A. T., GROSSOB R. N. AND CHAPELLE H. F., 2002 : Natural attenuation of chlo-rinated solvents at Area 6, Dover Air Force Base: ground-water biogeochemistry. Journal of Contaminant Hydrol-ogy, Vol.57, pp. 61-80.

Παράρτημα Ι

Πίνακας Α: Τιμή φυσικοχημικών παραμέτρων T, pH, DO, Conductivity, Eh κατά την 1η (Μάιος '06), 2η (Σεπτέμβριος '06), 3η (Ιανουάριος '07, 4η (Μάιος '07) και 5η (Νοέμβριος '07) δειγματοληψία στο Επιφανειακό Νερό.

	Επιφανειακό Νερό																								
	T (°C)					pH					DO (mg/L)					Conductivity (μS/cm)					Eh (mV)				
	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η
1		16,2	12,4	17,0		7,62	7,96	8,01	8,07		8,50	4,78	4,17	7,40		486	553	626	452		191,9	325,6	261,1	245,5	
2	14,5	12,2	8,5	15,8		8,57	7,52	8,26	8,28		10,92	7,50	4,76	11,06		242	313	350	290		109,2	313,3	272,2	325,6	
3	13,5					7,41					7,64					444					207,6				
6	20,6					8,17					7,30					199					190,2				
7	15,3	15,9	11,9	17,6		8,01	8,12	8,20	7,30		5,80	9,86	8,15	5,40		504	761	816	1053		200,4	315,1	296,4	252,5	
8	19,3					7,63										419					206,8				
9	14,6	17,9	9,8	18,6	15,4	8,33	7,78	8,25	8,37	8,20	6,43	5,66	8,40	4,80	7,00	455	519	461	981	411	211,3	299,3	279,8	280,0	159,1
11	12,9	13,5	12,1	19,4		8,21	8,07	8,39	8,23		8,30	7,34	7,96	2,90		247	319	337	567		122,6	312,1	290,2	243,2	
15	25,0					8,36					5,87					345					214,2				
20α	15,0					8,39					6,73					203					116,8				
21	15,0		13,4	22,7		7,64		8,13	7,96		6,05		7,66	7,00		442		633	915		213,2		315,1	261,4	
22	19,6	18,9	12,3	22,8	19,1	8,21	7,60	7,58	7,90	7,69	5,42	5,82	1,67	6,90	7,70	498	522	582	1030	751	178,6	291,0	202,2	248,9	234,8
24	15,3					8,24					5,19					338					203,8				
27	17,9	21,6	15,5	21,0		7,02	7,21	7,57	7,57		5,90	5,81	6,52	6,50		493	518	443	1061		190,2	191,1	199,9	259,5	
29	19,3	21,0	15,5	21,8		7,64	7,65	7,88	7,48		5,50	5,30	6,38	5,90		1116	1773	1308	2110		210,3	199,9	219,6	199,0	
34	20,1	19,8	12,6	23,3	19,6	8,03	8,19	7,99	8,27	8,09	6,50	6,82	7,59	4,50	7,50	510	526	295	997	375	210,1	231,0	315,9	256,3	213,1
35	17,5		12,8	19,3	13,2	8,00		8,28	8,18	8,43	6,40		4,45	5,86	7,50	447		426	531	332	221,7	200,0	257,1	242,8	186,9
48		18,3	12,5	18,9	13,3		7,63	8,22	8,26	8,34		4,44	5,03	8,30	8,20		514	341	817	330		204,7	253,6	297,0	191,4	
49		13,6		18,2			7,31	7,02	7,63			10,20	3,95	8,01			136	982	230			315,2	244,8	309,3		
51		18,9	16,5	20,2			7,48	8,06	7,56			5,56	9,01	7,38			502	661	630			241,6	207,2	271,8		
52				20,4	14,5				8,02	8,08				13,20	6,30				896	648				260,6	220,7	
53				18,4					7,76					5,30					709					243,7		
54				19,2	14,4				8,16	8,32				11,80	7,60				719	660				192,6	206,7	
55				23,0	18,8				8,49	8,35				5,50	8,00				946	496				246,3	130,2	
56				21,2	17,7				7,67	8,02				9,16	8,00				655	879				251,6	135,5	
min-max	12,9-25	12,2-21,6	8,5-16,5	15,8-23,3	13,2-19,6	7,02-8,57	7,21-8,19	7,02-8,39	7,3-8,49	7,69-8,43	5,19-10,92	4,44-10,20	1,67-9,01	2,9-13,20	6,3-8,2	199-1116	136-1773	295-1308	230-2110	330-879	109,2-221,7	191,1-325,6	199,9-315,9	192,6-325,6	130,2-234,8

Πίνακας Β: Τιμή φυσικοχημικών παραμέτρων T, pH, DO, Conductivity, Eh κατά την 1η (Μάιος '06), 2η (Σεπτέμβριος '06), 3η (Ιανουάριος '07 και 4η (Μάιος '07) δειγματοληψία στο Υπόγειο Νερό (Πηγές, Πηγάδια και Γεωτρήσεις).

	Υπόγειο Νερό - Πηγές																			
	T (°C)				pH				DO (mg/L)				Conductivity (μS/cm)				Eh (mV)			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
4	14,3	14,3	13,2	16,1	6,57	6,96	7,02	7,11	8,31	7,71	7,70	13,40	462	432	628	959	-16,8	304,4	244,3	271,5
19	15,5	17,3			7,02	7,15			1,71	2,89			663	782			66,5	304,8		200,0
27	17,9	21,6	15,5	21,0	7,02	7,21	7,57	7,57	5,90	5,07	6,52	6,50	493	518	443	1061	210,3	199,9	219,6	199,0
30	18,0	17,8	18,0	20,8	6,92	7,19	7,40	7,33	6,00	6,23	7,13	7,20	537	493	667	381	243,4	294,5	209,1	287,5
36		13,8	10,4	15,4		7,25	7,39	7,37		9,11	4,92	13,20		404	329	633		354,7	286,5	296,6
47		14,2		17,0		6,76	7,00	7,01		4,65	3,95	8,30		875	982	1563		244,1	244,8	268,9
62				22,7				7,42				5,50				435				279,8
58				14,5				7,57				3,20				642				247,3
59				19,1				7,71				2,50				564				269,5
60				15,9				8,22				5,90				382				252,6
61				16,5				8,02				6,00				295				265,3
min-max	14,3-18,0	13,8-21,6	10,4-18,0	14,5-22,7	6,57-7,02	6,76-7,25	7-7,57	7,01-8,22	1,71-8,31	2,89-9,11	3,95-7,70	2,5-13,4	462-663	404-875	329-982	295-1563	-16,8-243,4	199,9-304,8	209,1-286,5	199-296,6

	Υπόγειο Νερό - Πηγάδια																			
	T (°C)				pH				DO (mg/L)				Conductivity (μS/cm)				Eh (mV)			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
37		17,4	15,1	21,0		7,61	7,73	7,39		2,00	7,00	5,60		729	878	447		300,4	591,1	234,8
38		18,5	14,8	21,9		7,23	7,09	7,02		6,55	5,28	5,10		671	659	948		305,3	611,8	290,3
39		18,5	18,8	19,1		7,32	7,37	7,65		3,31	3,80	4,90		679	426			219,8	588,5	244,5
40		16,6	17,3	21,8		7,13	7,42	7,57		3,48	5,28	4,70		631	752	745		321,6	583,6	242,8
41		16,5	14,9	21,3		6,99	7,15	7,12		7,50	4,62	5,50		900	828	562		336,5	652,2	267,5
42		19,4	16,5	20,9		7,25	7,12	7,28		3,70	4,34	5,20		810	761	672		283,6	581,2	251,3
43		18,6	15,8	23,4		7,16	7,18	7,21		4,57	5,50	4,50		692	764	768		323,3	568,5	250,0
44		17,9	15,5	23,5		6,82	7,32	7,19		2,13	5,34	3,90		642	744	785		298,1	568,9	247,6
45		20,0	13,9	24,2		7,21	7,36	7,70		3,20	6,10	3,80		584	424	564		322,3	552,2	234,8
46		19,1	16,2	18,4		7,15	7,27	7,04		3,75	4,96	5,40		767	782	885		310,0	626,0	257,7
min-max		16,5-20,0	13,9-18,8	18,4-24,2		6,82-7,61	7,09-7,73	7,02-7,70		2-7,50	3,8-7,0	3,8-5,6		584-900	424-878	447-948		219,8-336,5	552,2-652,2	234,8-290,3

	Υπόγειο Νερό - Γεωτρήσεις																			
	T (°C)				pH				DO (mg/L)				Conductivity (μS/cm)				Eh (mV)			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
12	18,4	17,2	16,2	22,2	7,21	7,13	7,15	7,28	5,38	4,50	5,57	4,10	453	466	527	561	161,6	263,2	701,7	269,8
13	15,4	15,8	14,0	21,9	7,47	7,76	7,50	7,51	5,59	4,80	4,77	6,90	332	385	474	475	206,4	294,5	687,2	271,4
14	18,3	16,7	13,7	20,5	7,00	7,44	7,49	7,16	5,65	5,05	5,10	6,65	682	480	421	667	165,5	230,5	680,2	260,5
16	21,2	18,5	19,3		7,30	7,68	7,69		1,9	3,86	2,62		350	399	435		8,7	241,7	625,3	
17	26,0				7,61				3,08				402				36,6			
18	16,7	15,4	16,3	24,4	7,57	7,89	7,22	7,59	6,85	5,81	5,50	4,90	242	300	167	271	170,4	299,0	571,4	257,9
20b	12,8	12,5	13,1	24,4	7,39	7,63	7,57	7,56	6,02	5,58	7,05	5,10	214	339	421	84	180,0	329,7	534,4	254,4
25	17,0			24,0	7,27			7,42	6,39			5,70	466			575	197,9			208,7
26	17,3		18,6	19,2	7,02		7,37	7,45	5,14		4,60	5,00	457		531	519	224,7		302,8	200,4
28	18,1		18,3	19,6	7,21		7,38	7,34	4,00		3,40	4,60	460		554	426	164,3		260,6	192,8
31	18,8	18,6	17,7	22,0	7,12	7,27	7,42	7,40	6,40	6,26	4,30	4,80	456	479	933	552	231,6	255,2	127,3	205,6
32	21,1	19,1	17,8	22,3	6,80	6,54	6,91	6,84	5,90	5,18	4,03	4,90	1564	1662	2250	1892	167,2	238,9	133,9	202,3
min-max	12,8-26	12,5-19,1	13,1-19,3	19,2-24,4	6,8-7,61	6,54-7,89	6,91-7,69	6,84-7,59	1,9-6,85	3,86-6,26	2,62-7,05	4,1-6,9	214-1564	300-1662	167-2250	84-1892	8,7-231,6	230,5-329,7	127,3-701,7	192,8-271,4

Πίνακας Γ: Συγκέντρωση COD, NO_2-N, NO_3-N, NH_3-N, PO_4-P, T.phenlos σε mg/L, κατά την 1η (Μάιος '06), 2η (Σεπτέμβριος '06), 3η (Ιανουάριος '07), 4η (Μάιος '07) και 5η (Νοέμβριος '07) δειγματοληψία στο Επιφανειακό Νερό.

	Επιφανειακό Νερό																										
	COD (mg/L)					NO_2-N (mg/L)					NO_3-N (mg/L)					NH_3-N (mg/L)					PO_4-P (mg/L)					Tphenols (mg/L)				
	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η	1η	2η	3η	4η	5η
1	bdl	5,71	bdl				bdl	bdl	0,006			0,818	2,231	bdl			0,292	bdl	0,037			0,072	0,024	bdl			0,940	0,789	0,828	
2	bdl	3,93	7,14	bdl			bdl	bdl	0,029			0,669	2,119	bdl			0,097	bdl	0,033			0,049	0,013	0,125			bdl	0,503	0,594	
3	bdl																													
6	bdl																													
7	bdl	bdl	bdl	bdl			bdl	bdl	bdl			bdl	2,342	bdl			0,072	bdl	bdl			0,073	0,023	0,068			2,140	1,280	1,219	
8	bdl																													
9	bdl	9,64	bdl	bdl	bdl		0,007	bdl	bdl	bdl		0,706	2,528	bdl	0,473		0,038	bdl	bdl	bdl		0,090	0,023	0,162	0,022		1,130	1,170	0,556	0,731
11	bdl	bdl	bdl	bdl			bdl	bdl	bdl			1,227	2,417	bdl			0,056	bdl	bdl			0,043	0,013	0,057			bdl	bdl	bdl	
15	bdl																													
20α	bdl																													
21	bdl		bdl	bdl				0,010	0,154				9,369	2,360				bdl	0,047				0,026	0,215				0,630	0,826	
22	bdl	4,29	48,93	bdl	bdl		0,065	0,135	0,185	0,028		2,193	2,379	1,399	0,505		0,109	bdl	0,038	bdl		0,120	0,017	0,155	0,019		1,210	3,163	1,039	1,695
24	bdl																													
27	bdl	5,00	7,86	bdl			0,009	bdl	0,009			1,376	3,755	1,070			0,099	bdl	0,051			0,051	0,024	0,130			0,630	0,662	0,631	
29	6,79	11,07		7,50			0,026	0,005	0,094			0,855	2,751	0,384			0,089	0,044	0,080			0,109	0,073	0,057			1,680	1,052	1,854	
34	7,86	7,50	9,29	5,11	bdl		0,007	0,010	0,041	0,022		1,636	2,045	0,796	0,536		bdl	bdl	0,080	bdl		0,030	0,024	0,113	0,046		1,140	1,065	0,777	4,839
35	bdl		4,64	bdl	bdl			bdl	0,005	bdl			2,231	bdl	bdl			bdl	0,056	bdl			0,047	bdl	0,033			0,522	0,657	0,572
48		3,93	bdl	bdl	bdl		0,008	bdl	0,016	bdl		0,818	2,082	bdl	bdl		0,060	bdl	bdl	bdl		0,047	0,038	bdl	0,015		0,900	0,603	0,608	0,807
49		5,71		bdl			bdl	bdl	bdl			bdl	1,859	bdl			0,063	bdl	bdl			0,079	0,024	bdl			bdl	bdl	bdl	
51		6,07	bdl	bdl			0,008	bdl	0,018			1,860	4,350	1,784			0,048	bdl	0,045			0,041	bdl	0,023			0,750	0,536	0,902	
52				9,20	bdl				0,006	bdl				0,988	0,914				0,031	bdl				0,015	0,045				0,675	0,666
53									0,055					0,851					0,141					0,053					0,776	
54				3,75	5,45				0,036	bdl				0,302	bdl				0,099	bdl				0,121	bdl				0,979	0,629
55				bdl	bdl				0,029	0,111				0,851	1,072				0,042	0,085				0,072	0,065				1,257	1,307
56				bdl	bdl				0,020	0,043				0,357	0,630				0,031	0,052				0,043	0,086				0,913	0,639
min	6,79	3,93	4,64	3,75	5,45		0,007	0,005	0,005	0,022		0,669	1,859	0,302	0,473		0,038	0,044	0,031	0,052		0,030	0,013	0,015	0,015		0,630	0,503	0,556	0,572
max	7,86	11,07	48,93	9,20			0,065	0,135	0,185	0,111		2,193	9,369	2,360	1,072		0,292		0,141	0,085		0,120	0,073	0,215	0,086		2,140	3,163	1,854	4,839

*** bdl: below detection limit, Κάτω από το Όριο Ανίχνευσης**

****Για τη μέτρηση των συγκεκριμένουν ρύπων τα Όρια Ανίχνευσης είναι: COD=3,65 mg/L, NO_2-N=0,004 mg/L,NO_3-N=0,267 mg/L, NH_3-N=0,025 mg/L, PO_4-P=0,009 mg/L, (Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2000) και T.phenols=0,402 mg/L (μέθοδος Folin – Ciocalteu)**

Πίνακας Δ: Συγκέντρωση COD, NO_2-N, NO_3-N, NH_3-N, PO_4-P, T.phenlos σε mg/L, κατά την 1η (Μάιος '06), 2η (Σεπτέμβριος '06), 3η (Ιανουάριος '07 και 4η (Μάιος '07) δειγματοληψία στο Υπόγειο Νερό.

Υπόγειο Νερό - Πηγές

	COD (mg/L)				NO_2-N (mg/L)				NO_3-N (mg/L)				NH_3-N (mg/L)				PO_4-P(mg/L)				Tphenols			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
4	bdl	4,64	6,43	bdl		bdl	bdl	bdl		1,078	3,866	1,152		0,075	bdl	bdl		0,051	0,017	0,108		0,840	0,683	0,807
27	bdl	5,00	7,86	bdl		0,009	bdl	0,009		1,376	3,755	1,070		0,099	bdl	0,051		0,051	0,024			0,630	0,658	0,631
30	bdl	3,93	bdl	bdl		0,006	bdl	bdl		1,710	3,829	1,098		0,077	bdl	0,028		0,034	0,021	0,025		0,910	0,540	0,583
36		4,29	4,29	bdl		bdl	bdl	bdl		0,669	2,082	bdl		0,058	bdl	0,028		0,041	0,032	bdl		0,820	bdl	0,540
47		5,70	4,60	bdl		bdl	bdl	bdl		9,146	10,484	4,198		0,048	bdl	bdl		0,090	0,062	bdl		1,690	1,314	1,783
62				bdl				bdl				0,494				bdl				0,021				1,334
58				bdl				bdl				bdl				bdl				bdl				0,521
59				bdl				bdl				bdl				0,051				bdl				0,745
60				bdl				bdl				bdl				0,026				0,074				bdl
61				bdl				bdl				bdl				0,031				0,070				bdl

Υπόγειο Νερό - Πηγάδια

	COD (mg/L)				NO_2-N (mg/L)				NO_3-N (mg/L)				NH_3-N (mg/L)				PO_4-P(mg/L)				Tphenols			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
37		bdl	4,64	bdl		bdl	0,005	0,121		14,908	18,960	4,034		0,079	bdl	0,068		0,056	0,038	bdl		1,040	1,150	0,994
38		6,07	bdl	bdl		bdl	bdl	bdl		11,079	13,235	2,634		0,050	bdl	bdl		0,056	0,030	0,066		1,090	1,015	1,447
39		bdl	bdl	bdl		bdl	bdl	bdl		6,283	9,369	3,101		bdl	0,027	0,044		0,038	0,045	bdl		1,190	0,865	0,602
40		bdl		bdl		0,024	0,009	0,005		12,157	14,016	3,787		bdl	bdl	0,031		0,041	0,051	0,047		1,280	0,837	0,817
41		3,93		bdl		bdl	0,007	bdl		23,570	18,031	2,003		0,126	bdl	bdl		0,047	0,023	0,049		1,980	1,185	1,276
42		bdl	bdl	4,43		0,005	0,007	0,015		12,863	15,503	1,619		0,097	bdl	bdl		0,145	bdl	bdl		1,590	1,264	1,265
43		bdl	5,71			0,008	bdl	0,005		7,212	8,699	1,098		0,053	0,120	0,124		0,041	0,034	0,021		1,200	0,903	1,338
44		bdl	4,64	bdl		bdl	bdl	bdl		2,900	5,056	3,787		0,050	0,079	0,044		0,043	0,023	0,028		0,910	0,710	1,422
45		bdl		bdl		bdl	bdl	0,086		5,168	10,038	1,948		0,062	bdl	0,490		0,051	0,032	0,028		0,910	0,507	0,946
46		6,79		bdl		0,011	bdl	bdl		18,663	17,510	3,265		bdl	bdl	bdl		0,040	0,026	bdl		1,590	1,136	1,368

Υπόγειο Νερό - Γεωτρήσεις

	COD (mg/L)				NO_2-N (mg/L)				NO_3-N (mg/L)				NH_3-N (mg/L)				PO_4-P(mg/L)				Tphenols			
	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η	1η	2η	3η	4η
12	bdl	5,36		bdl		bdl	bdl	0,028		3,681	5,502	1,427		bdl	0,053	0,077		0,045	0,047	0,183		0,820	0,899	0,558
13	bdl	5,00	bdl	bdl		bdl	bdl	0,007		3,978	7,064	3,293		0,097	bdl	bdl		0,038	0,019	0,125		0,500	0,285	0,448
14	bdl	7,50	bdl	bdl		bdl	0,008	bdl		4,647	4,424	5,296		0,027	0,022	bdl		0,043	0,055	0,172		0,750	0,573	0,525
16	bdl	bdl	bdl			bdl	bdl			bdl	2,305			0,109	0,056			0,079	0,060			0,230	0,943	
17	bdl																							
18	bdl	3,93	6,07	bdl		bdl	bdl	bdl		0,855	3,086	0,741		bdl	bdl	0,044		0,053	0,013	0,083		5,130	bdl	bdl
20-b	bdl	bdl	bdl	bdl		bdl	bdl	bdl		3,532	6,171	0,357		0,041	bdl	bdl		0,030	0,047	0,028		0,560	bdl	0,758
25	bdl			bdl				bdl				1,290				bdl				0,096				0,649
26	bdl			bdl			0,006	bdl			3,049	0,796			0,048	0,047			0,026	0,091			0,743	0,534
28	bdl		bdl	bdl			bdl	bdl			2,417	0,302			bdl	0,038			0,015	0,117			0,554	bdl
31	bdl	bdl	bdl	bdl		bdl	bdl	bdl		1,896	9,387	1,399		0,082	bdl	0,031		0,038	0,021	0,040		0,890	0,364	0,773
32	4,29	5,71	bdl	bdl		bdl	bdl	bdl		62,457	44,464	17,561		0,092	bdl	0,070		0,066	0,041	bdl		2,800	2,364	2,993

*** bdl: below detection limit, Κάτω από το Όριο Ανίχνευσης**

****Για τη μέτρηση των συγκεκριμένουν ρύπων τα Όρια Ανίχνευσης είναι: COD=3,65 mg/L, NO_2-N=0,004 mg/L,NO_3-N=0,267 mg/L, NH_3-N=0,025 mg/L, PO_4-P=0,009 mg/L, (Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2000) και T.phenols=0,402 mg/L (μέθοδος Folin - Ciocalteu)**