



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη
Λεκάνη Απορροής του ποταμού Ευρώτα»

Ανδριανάκη Μαρία



Εξεταστική Επιτροπή:
Νικολαΐδης Νικόλαος (επιβλέπων)
Καλογεράκης Νικόλαος
Ψυλλάκη Ελευθερία

Χανιά, 2007

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, που χωρίς τη καθοριστική συμβολή τους δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη, για τη συνεχή και πολύτιμη συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για την επιστημονική βοήθεια στο πεδίο και για τις γνώσεις που μου προσέφερε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποστήριξη για τη συνέχεια των σπουδών μου.

Επίσης ευχαριστώ τη Τζωράκη Ουρανία για την ευχάριστη συνεργασία, υποστήριξη, μετάδοση γνώσεων και βοήθεια στο πεδίο, που μου προσέφερε όλον αυτό τον καιρό, τη Σταμάτη Φωτεινή και τους υπόλοιπους συνεργάτες στο εργαστήριο, Τυροβολά Κωνσταντίνα, Περουλάκη Ελπίδα και Μωραΐτη Δανιήλ.

Οφείλω επιπλέον να ευχαριστήσω τον Δρ Μπερταχά Ηλία, συνεργάτη από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών για την πολύτιμη βοήθεια του στη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και τον υπολογισμό των φορτίων και το Παπαδουλάκη Βασίλη, Γεωλόγο στη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχίας Λακωνίας για την βοήθεια και το χρόνο που διέθεσε κατά τις επισκέψεις μας στην Σπάρτη, και τους συναδέλφους του που επίσης μας βοήθησαν.

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

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου οι οποίοι με στήριξαν και με στηρίζουν με κάθε τρόπο και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το πρώτο στάδιο εφαρμογής της τεχνολογίας της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης για την λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφόρων μικρής κλίμακας, δηλαδή σε έκταση μερικών εκταρίων, όση δηλαδή είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία. Πρώτη φορά γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης στις δράσεις εξυγίανσης και αποκατάστασης της ρύπανσης ολόκληρης λεκάνης απορροής και ένταξή της στα διαχειριστικά σχέδια της λεκάνης απορροής του ποταμού.

Στο Κεφάλαιο 1 της εργασίας παρουσιάζεται ο σκοπός και η καινοτομία της εργασίας αυτή. Γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ τους στόχους που αυτή θέτει και γιατί είναι αναγκαία η εφαρμογή της. Επίσης παρουσιάζεται περιληπτικά η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση στις μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση και για τους ρύπους που έχει εφαρμοσθεί. Στις εργασίες για την Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση συμπεριλαμβάνεται η μοντελοποίηση. Έτσι στη συνέχεια του δευτέρου κεφαλαίου γίνεται αναφορά στα μοντέλα λεκάνης απορροής που έχουν αναπτυχθεί και στις κατηγορίες που ταξινομούνται. Τέλος γίνεται περιγραφή του μοντέλου MONERIS, που είναι το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί στην εργασία αυτή.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3 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.

Για την εφαρμογή της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα, τα οποία παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4:

1. Ανάλυση δεδομένων από τη βιβλιογραφία - ιστορικών δεδομένων, τα οποία δίνουν τις πρώτες ενδείξεις για τη μείωση των ρύπων στην περιοχή μελέτης.

2. Δημιουργία δικτύου θέσεων δειγματοληψίας και παρουσίαση αποτελεσμάτων των τριών δειγματοληψιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής.
3. Μοντελοποίηση. Προσομοίωση της μεταφοράς των φορτίων των θρεπτικών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Ακολουθώντας τα βήματα που δόθηκαν στο Κεφάλαιο 4, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα ιστορικά δεδομένα. Αναλύονται διαθέσιμα δεδομένα παρακολούθησης του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ευρωπαϊκού προγράμματος MEDPSA90 και της διπλωματικής εργασίας «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες».

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η μεθοδολογία με την οποία προσδιορίστηκε το δίκτυο δειγματοληψίας, διαδικασία πολύ σημαντική για την επιτυχή έκβαση της μελέτης για την Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση. Επίσης αναλύονται τα αποτελέσματα των τριών δειγματοληψιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, και δίνονται οι πρώτες ενδείξεις για την ύπαρξη μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης.

Τέλος στο Κεφάλαιο 7 υπολογίζονται τα φορτία αζώτου και φωσφόρου τα οποία δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, από σημειακές και διάχυτε πηγές ρύπανσης. Ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται ανά υδρολογική υπολεκάνη. Τα φορτία που υπολογίστηκαν εισήχθησαν στο μοντέλο MONERIS, το οποίο εκτιμά τα φορτία που τελικά εισέρχονται στο ποτάμι μέσω διάφορων μονοπατιών. Σύμφωνα με το MONERIS, τα φορτία που εισέρχονται στο ποτάμι είναι μικρότερα από αυτά που δέχεται η λεκάνη απορροής γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη μηχανισμών που μειώνουν την ισχύ των ρύπων στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία δίνονται στο Κεφάλαιο 8, όπου γίνονται και κάποιες προτάσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή	1
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1 Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση	4
2.1.1 Εισαγωγή.....	4
2.1.2 Παραδείγματα εφαρμογής της Ε.Φ.Α.....	7
2.1.3 Στρατηγική Εφαρμογής της Ε.Φ.Α.	12
2.2 Μοντέλα λεκάνης απορροής	15
2.3 Περιγραφή μοντέλου MONERIS.....	17
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Περιγραφή Περιοχής	22
3.1 Γενικά.....	22
3.2 Γεωμορφολογία	24
3.3 Γεωλογία.....	26
3.3.1 Στρωματογραφία - Γεωτεκτονικές Ενότητες.....	27
3.3.2 Υδρογεωλογία	34
3.4 Υδρολογία - Κλίμα.....	43
3.5 Πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα	45
3.5.1 Σημειακές Πιέσεις.....	45
3.5.2 Μη σημειακές πηγές ρύπανσης	53
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Μεθοδολογία.....	57
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Αρχικές Ενδείξεις Ύπαρξης Φυσικής Αποκατάστασης	60
5.1 Δεδομένα παρακολούθησης του ποταμού Ευρώτα.....	60
5.2 Ευρωπαϊκό πρόγραμμα MEDSPA 90	62
5.3 Διπλωματική εργασία: «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες»	65
5.4 Συμπεράσματα Κεφαλαίου.....	68
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αποτελέσματα δειγματοληψιών.....	69
6.1 Σχεδιασμός εφαρμογής της τεχνολογίας Ε.Φ.Α.	69
6.2 Προσδιορισμός δικτύου δειγματοληψίας.....	76
6.3 Αποτελέσματα δειγματοληψιών	84
6.3.1 Αποτελέσματα δειγματοληψίας επιφανειακού νερού	85
6.3.2 Αποτελέσματα δειγματοληψίας υπόγειου νερού πηγών και πηγαδιών.....	96

6.3.3	Αποτελέσματα δειγματοληψίας υπόγειου νερού γεωτρήσεων	103
6.3.4	Σύγκριση αποτελεσμάτων	107
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Μοντελοποίηση.....	109
7.1	Υπολογισμός φορτίων	109
7.1.1	Διαμερισματοποίηση λεκάνης απορροής.....	109
7.1.2	Υπολογισμών φορτίων αζώτου και φωσφόρου από τις βροχοπτώσεις	112
7.1.3	Υπολογισμός φορτίων από τη γεωργία	115
7.1.4	Υπολογισμός φορτίων από την κτηνοτροφία.....	118
7.1.5	Υπολογισμός φορτίων από σημειακές πηγές	121
7.1.6	Υπολογισμός διάβρωσης.....	126
7.1.7	Τελικά φορτία	128
7.2	Βαθμονόμηση μοντέλου.....	129
7.3	Αποτελέσματα μοντελοποίησης.....	131
8.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - Συμπεράσματα - Προτάσεις	137
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	140
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	146

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή

Η ανθρώπινη επίδραση στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στα υδατικά οικοσυστήματα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Η υποβάθμιση των επιφανειακών νερών και ιδιαίτερα η υποβάθμιση της ποιότητας νερού των ποταμών αποτελεί μέρος του προβλήματος αυτού. Συχνές αιτίες της υποβάθμισης αυτής είναι οι διάφορες σημειακές και μη πηγές ρύπανσης. Για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και της οικολογικής ποιότητας των επιφανειακών, υπόγειων υδάτων και των υδάτων της παράκτιας ζώνης η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60.

Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2000/60 θεσπίζει ένα πλαίσιο δράσης για την προστασία των υδάτων (συμπεριλαμβανομένου τα επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ύδατα). Περιληπτικά οι περιβαλλοντικοί στόχοι που θέτει η οδηγία είναι (Οδηγία 2000/60/ΕΚ):

- Επίτευξη καλής οικολογικής και καλής χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων.
- Επίτευξη καλού οικολογικού δυναμικού και καλής χημικής κατάστασης των τεχνητών υδατικών συστημάτων.
- Επίτευξη καλής κατάστασης των υπόγειων υδάτων.

Οι στόχοι αυτοί οδηγούν σε αυστηρότερους οι οποίοι είναι:

- Αποτροπή της επιδείνωσης της κατάστασης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.
- Επίτευξη των στόχων και εφαρμογή των κανονισμών για τις προστατευόμενες περιοχές.
- Αναστροφή κάθε σημαντικής και έμμονης ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οποιουδήποτε ρύπου στα υπόγεια ύδατα.
- Παύση ή σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών των απορρίψεων και των διαρροών Επικινδύνων Ουσιών Προτεραιότητας.

Η οδηγία 2000/60 απαιτεί την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής και παράκτιας ζώνης καθώς και δράσεις αποκατάστασης. Στις δράσεις αποκατάστασης συμπεριλαμβάνονται και τεχνολογίες εξυγίανσης. Μέχρι σήμερα λόγω της παντελούς έλλειψης ολοκληρωμένων και βιώσιμων σχεδίων διαχείρισης, οι περιβαλλοντικές τεχνολογίες είχαν εφαρμοστεί σε μεμονωμένες θέσεις, μη λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις σε μεγαλύτερη κλίμακα, και κυρίως σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Για το λόγο αυτό υπάρχει

άμεση ανάγκη να ενσωματωθεί ο σχεδιασμός τεχνολογιών αποκατάστασης περιβάλλοντος με τα σχέδια διαχείρισης υδάτων λεκάνης απορροής και παράκτιας ζώνης (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

Στις τεχνολογίες αποκατάστασης υπόγειων υδάτων συμπεριλαμβάνονται τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον όπως η αποκατάσταση της παρόχθιας ζώνης, η φυτοεξυγίανση και η φυσική αποκατάσταση. Επίσης συμπεριλαμβάνονται τεχνολογίες που βασίζονται σε βιολογικές διεργασίες ((bioremediation) όπως βιοαντιδραστήρες, bioventing και biosparging, τεχνολογίες που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες όπως διοχέτευση αέρα στη ρυπασμένη υπεδάφια περιοχή, τεχνολογίες ηλεκτρικού ρεύματος και τέλος τεχνολογίες φραγμάτων και διόδων. Η πιο κλασική τεχνολογία αποκατάστασης υπόγειων υδάτων είναι η άντληση και επεξεργασία, όπου το αντλούμενο νερό επεξεργάζεται με διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες.

Μια από τις τεχνολογίες που αφορούν στην αποκατάσταση υπόγειων υδάτων και που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση. Ο όρος Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση (Ε.Φ.Α.) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Environmental Protection Agency (EPA) των Η.Π.Α. και αναγνωρίσθηκε σαν τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων, στις περιπτώσεις που σαν τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση (Ε.Φ.Α.) μπορεί να είναι εφικτή όταν φυσικές διεργασίες, υπό κατάλληλες συνθήκες, μετατρέπουν συγκεκριμένους ρύπους στο έδαφος και στο νερό, σε προϊόντα τα οποία είναι είτε ακίνδυνα είτε ισχυρά ακινητοποιημένα και δεν αποτελούν πλέον απειλή για τον υδάτινο αποδέκτη (EPA, 2001). Η τεχνολογία αυτή έχει ευρεία αποδοχή στις Η.Π.Α., στην Ευρώπη όμως, μόλις πρόσφατα, έχει αρχίσει να προκαλεί το ενδιαφέρον (TNO-Nicole project, 1999).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή, σε προκαταρκτικό στάδιο, της τεχνολογίας Ε.Φ.Α. στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Μέχρι σήμερα, η Ε.Φ.Α. έχει εφαρμοστεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφόρων σε μικρή κλίμακα, δηλαδή σε έκταση μερικών εκταρίων, όση είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία και για ρύπους όπως χλωριωμένοι οργανικοί διαλύτες (Wiedemeier *et al.*, 1998), πετρελαιοί υδρογονάνθρακες και βαρέα μέταλλα (Hellerich *et al.*, 2003, 2004, 2005). Η Ε.Φ.Α. δεν έχει εφαρμοσθεί ποτέ μέχρι σήμερα για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής

ποταμού και για τους κύριους ρύπους αυτής και αυτό αποτελεί την καινοτομία της εργασίας. Πρωταρχικός στόχος είναι να δοθούν οι κατευθυντήριες γραμμές και να δημιουργηθεί μια μεθοδολογία με βάση την οποία θα γίνει η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. για λεκάνη απορροής ποταμού.

Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. γίνεται στα πλαίσια της ανάπτυξης διαχειριστικού σχεδίου για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και της παράκτιας ζώνης της περιοχής και αποτελεί μια από τις, φιλικές προς το περιβάλλον, τεχνολογίες που θα εφαρμοσθούν στην περιοχή. Η παρακολούθηση και η ποσοτικοποίηση της φυσικής ικανότητας της περιοχής να συγκρατεί και να μειώνει τους ρύπους σε συνδυασμό με την ορθολογική διαχείριση των υδάτων, θα οδηγήσει στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων για τις απαιτούμενες δράσεις που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE - ENVIRONMENT - LIFE05NV/GR/000245 ΕΕ "Environmental Friendly Technologies for Rural Development" (EnviFriendly).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση

2.1.1 Εισαγωγή

Η ρύπανση των υπόγειων εδαφών και υδάτων είναι ένα από τα σημαντικά προβλήματα ρύπανσης που αντιμετωπίζουν οι αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ και στον Καναδά. Μια από τις πρακτικές που ακολουθείται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης αυτής, και έχει ιδιαίτερη αποδοχή τα τελευταία χρόνια, κυρίως στις ΗΠΑ, είναι η «τεχνολογία» της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης ή, όπως έχει επικρατήσει ο όρος στη διεθνή βιβλιογραφία, η τεχνολογία Monitored Natural Attenuation (MNA) (TNO-Nicole, 1999; EPA, 2001). Μέχρι σήμερα η Ε.Φ.Α. έχει εφαρμοσθεί για οργανικούς ρύπους, όπως χλωριωμένοι οργανικοί διαλύτες και πετρελαιοί υδρογονάνθρακες και ανόργανους ρύπους όπως βαρέα μέταλλα.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται το πρώτο στάδιο της μελέτης της Ε.Φ.Α. για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Οι κύριοι ρύποι που παρατηρούνται στην περιοχή του Ευρώτα είναι θρεπτικά (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , οργανικό φορτίο), τα οποία σχετίζονται με τη γεωργία και αστικές πηγές, φαινόλες, οι οποίες βρίσκονται στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων, και οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στα φυτοπροστατευτικά προϊόντα. Η μελέτη της Ε.Φ.Α. θα γίνει για τα θρεπτικά, το οργανικό φορτίο και τις ολικές φαινόλες.

Ο όρος Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση (Ε.Φ.Α.) χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από την EPA και αναγνωρίστηκε σαν τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων, στις περιπτώσεις που σαν τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Ο ορισμός που δόθηκε στην Ε.Φ.Α. έχει αλλάξει αρκετές φορές, αφού, με τη πάροδο του χρόνου, η γνώση για την τεχνολογία αυτή αυξάνεται. Σύμφωνα με την υπηρεσία περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (EPA), η τεχνολογία της Ε.Φ.Α. 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 Ε.Φ.Α. 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 Ε.Φ.Α. (ΕΡΑ, 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 παρόντος ρύπου και τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του νερού. Η φυσική αποκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει με τρεις τρόπους:

1. Μετατροπή των ρύπων σε λιγότερο τοξική μορφή μέσω διεργασιών όπως βιοαποδόμηση ή αβιοτικές μετατροπές.
2. Μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων.
3. 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 (ΕΡΑ, 1999). Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του

Ευρώτα, η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. σε συνδυασμό με μια ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων έχει σα στόχο την μείωση των απαιτούμενων μέτρων για τη μείωση της ρύπανσης και την επίτευξη αποδεκτών επιπέδων ρύπων. Η «τεχνολογία» της Ε.Φ.Α. είναι φιλική προς το περιβάλλον, με σχετικά χαμηλό κόστος, και ενσωματώνεται στο διαχειριστικό σχέδιο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, το οποίο θα γίνει στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος EnviFriendly.

Όπως κάθε άλλη τεχνική εξυγίανσης, η Ε.Φ.Α. παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή της. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Ε.Φ.Α. είναι παραγωγή λιγότερων αποβλήτων, μείωση της πιθανότητας μεταφοράς της ρύπανσης σε άλλη τοποθεσία (κίνδυνος που υπάρχει σε μεθόδους επεξεργασίας που προβλέπουν την εξαγωγή του ρύπου εκτός ρυπασμένης περιοχής), μείωση του κινδύνου ανθρώπινης έκθεσης στους ρύπους και σε άλλους κινδύνους και μειωμένη διατάραξη των οικολογικών αποδεκτών. Επίσης δίνεται η δυνατότητα αποκατάστασης ολόκληρης περιοχής ή μέρους αυτής ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η Ε.Φ.Α. μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξυγίανσης ή να ακολουθήσει σαν δεύτερο στάδιο. Τέλος, το ολικό κόστος εξυγίανσης μπορεί να είναι μικρότερο.

Πιθανό μειονέκτημα της Ε.Φ.Α. είναι το μεγάλο χρονικό διάστημα που μπορεί να απαιτείται για την πλήρη αποκατάσταση μιας περιοχής συγκριτικά με άλλες δράσεις αποκατάστασης. Ο χαρακτηρισμός της περιοχής είναι συνήθως πιο περίπλοκος και πιο δαπανηρός. Επίσης πολλές φορές ο υπό μελέτη ρύπος μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένωση περισσότερο τοξική από ότι ο αρχικός ρύπος. Η Ε.Φ.Α. απαιτεί προγράμματα παρακολούθησης της περιοχής, που διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα και τα οποία πρέπει να διεξάγονται από αρμόδιες υπηρεσίες, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η απαιτούμενη προστασία. Οι υδρογεωλογικές και γεωχημικές συνθήκες, στις οποίες βασίζεται η Ε.Φ.Α., είναι πιθανόν να αλλάξουν στο μέλλον, γεγονός που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την κινητικότητα ρύπων που είχαν ακινητοποιηθεί. Επίσης υπάρχει η πιθανότητα συνεχής μεταφοράς ρύπανσης, η οποία να μην έχει εντοπιστεί. Παρόλο που έχει γίνει αρκετή πρόοδος στον τομέα της έρευνας όσον αφορά στην Ε.Φ.Α., η έρευνα αυτή πρέπει να συνεχιστεί έτσι ώστε η Ε.Φ.Α. να αποκτήσει την αποδοχή της κοινής γνώμης.

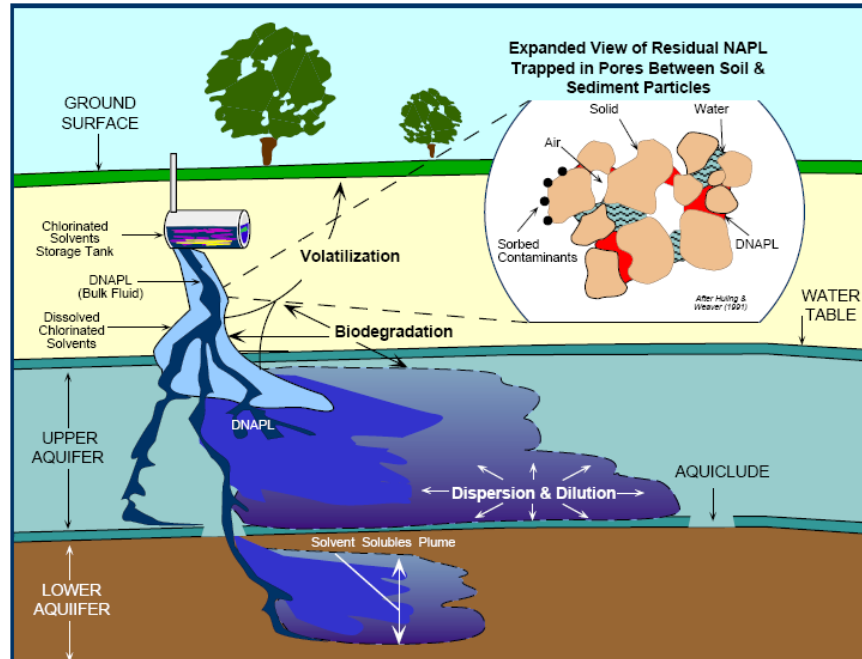
Για την εκτίμηση αν μπορεί ή όχι να εφαρμοσθεί η Ε.Φ.Α. για κάποιο ρύπο αλλά και με ποιο τρόπο, είναι χρήσιμη η δημιουργία πρωτοκόλλων τα οποία θα δίνουν τις κατευθυντήριες γραμμές και τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Στις ΗΠΑ, εξαιτίας της μακροχρόνιας έρευνας πάνω στην Ε.Φ.Α., υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα για τους ρύπους για τους οποίους έχει εφαρμοσθεί. Σε επίπεδο όμως Ευρωπαϊκής Ένωσης μόλις πρόσφατα άρχισε να παρουσιάζεται ενδιαφέρον.

2.1.2 Παραδείγματα εφαρμογής της Ε.Φ.Α.

Χλωριωμένοι διαλύτες

Οι χλωριωμένοι διαλύτες χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, στον καθαρισμό μετάλλων και στη σύνθεση χημικών. Σαν ρύποι, οι χλωριωμένοι διαλύτες χαρακτηρίζονται από υψηλή τοξικότητα, κινητικότητα και αντοχή, γι' αυτό και η απομάκρυνσή τους από ρυπασμένα εδάφη και νερά μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Επίσης, οι ενώσεις που προκύπτουν από τη διάσπασή τους μπορεί να είναι εξίσου τοξικές.

Οι φυσικοί μηχανισμοί, όπως έχουν δείξει οι διάφορες μελέτες, που μπορεί να οδηγήσουν στην απομάκρυνση των χλωριωμένων διαλυτών από τα ρυπασμένα εδάφη και υπόγεια νερά είναι οι μεταβολικές και συν-μεταβολικές αντιδράσεις και η αναγωγική αποχλωρίωση, η οποία μπορεί να συμβεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ή και κάτω από την παρουσία πετρελαϊκών υδρογονανθράκων. Τα αποτελέσματα, όμως, που προκύπτουν κάτω από εργαστηριακές συνθήκες δε συμβαδίζουν πάντα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν στο πεδίο, σε πραγματική κλίμακα. Στο πρωτόκολλο της ΕΡΑ αναφέρεται ότι η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται στη δυσκολία να προκύψουν ακριβή αποτελέσματα πεδίου που να δίνουν στοιχεία για όλους τους μηχανισμούς, έτσι ώστε να μπορούν να υπολογιστούν σωστά οι ρυθμοί αντίδρασης. Άλλοι παράγοντες που συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. είναι οι υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος και οι ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χλωριωμένων διαλυτών και άλλων χημικών (Wiedemeier *et al.*, 1998; TNO-Nicole, 1999; ΕΡΑ, 1999).



Εικόνα 2-1 Μηχανισμοί μετακίνησης και συγκράτησης πετρελαϊκών υδρογονανθράκων σε υπόγειους υδροφορείς (EPA, 1999).

Για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. σαν πρακτική για την αντιμετώπιση ρύπανσης από χλωριωμένους διαλύτες έχουν προταθεί διάφορα πρωτόκολλα. Το πρώτο πρωτόκολλο όσον αφορά στους χλωριωμένους διαλύτες είναι αυτό που δημοσιεύτηκε από τον Wiedemeier κ.α. το 1996. Έπειτα, το 1997, δημοσιεύθηκε έκθεση για την Ε.Φ.Α. χλωριωμένων διαλυτών από το Φόρουμ Ανάπτυξης Τεχνολογιών Εξυγίανσης (Remediation Technology Development Forum, RTDF), ενώ το 1998 δημοσιεύθηκε από το ολλανδικό ινστιτούτο περιβαλλοντικών επιστημών, στο πλαίσιο εργασίας NOBIS, το πρώτο πρωτόκολλο σε ευρωπαϊκή κλίμακα. Το πρωτόκολλο αυτό εκτός από τους χλωριωμένους διαλύτες αναφέρεται και στους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες (TNO-Nicole, 1999). Τέλος, το 1998 δημοσιεύθηκε αντίστοιχο πρωτόκολλο και από την EPA. Στα πρωτόκολλα αυτά παρουσιάζεται ένα πλαίσιο εργασίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των υπάρχοντων δεδομένων σε μια περιοχή ρυπασμένη από χλωριωμένους διαλύτες, την επιβεβαίωση για την ύπαρξη ή μη μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης, τη συλλογή επιπλέον δεδομένων πεδίου και τελικά την εφαρμογή της φυσικής αποκατάστασης για την μακροπρόθεσμη εξυγίανση της περιοχής.

Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες

Η ρύπανση από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες προέρχεται από εγκαταστάσεις αξιοποίησης πετρελαίου και διυλιστήρια. Οι μηχανισμοί μετακίνησης και συγκράτησης πετρελαϊκών σε υπόγειο υδροφορέα φαίνονται στην εικόνα 2-1. Η ομάδα πετρελαϊκών υδρογονανθράκων αποτελείται από:

- Αλιφατικούς υδρογονάνθρακες.
- Υδρογονάνθρακες με έναν αρωματικό δακτύλιο ή η ομάδα υδρογονανθράκων γνωστή ως ΒΤΕΧ (δηλαδή, βενζόλιο, τολουόλιο, αίθυλο-βενζόλιο και ξυλένιο).
- Υδρογονάνθρακες με δυο ή περισσότερους αρωματικούς δακτυλίους ή πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΡΑΗ).

Η ομάδα των ΒΤΕΧ χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαλυτότητα στο νερό και από μικρότερη πυκνότητα από το νερό. Για το λόγο αυτό, το πλούσιο ρύπανσης σε εδάφη από τα ΒΤΕΧ συγκεντρώνεται στην επιφάνεια της κορεσμένης ζώνης. Τα ΒΤΕΧ είναι επίσης πολύ πτητικά, αλλά εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητας που έχουν οι ατμοί τους από τον αέρα, οι ατμοί των ΒΤΕΧ συγκεντρώνονται στο τέλος της ακόρεστης ζώνης.

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι ενώσεις άφθονες και ευρέως διαδεδομένες στο περιβάλλον. Προέρχονται από την πλήρη καύση ή πυρόλυση οργανικών ενώσεων. Από τη ρύπανση επηρεάζονται και υπόγεια νερά και εδάφη.

Στους πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες για τους οποίους σαν τεχνολογία εξυγίανσης έχει χρησιμοποιηθεί η Ε.Φ.Α. συμπεριλαμβάνεται ο Μεθυλ - τερτ - βουτυλ αιθέρας ή όπως βρίσκεται στη διεθνή βιβλιογραφία ΜΤΒΕ. Ο ΜΤΒΕ είναι ένας συνθετικός διαλύτης που προστίθεται στη βενζίνη, στις Η.Π.Α. από το 1979, ενώ στην Ευρώπη από το 1988. Η μαζική παραγωγή του ΜΤΒΕ, σε συνδυασμό με την υψηλή διαλυτότητά του στο νερό και το χαμηλό ρυθμό βιοαποδόμησής του, τον κάνουν ένα σημαντικό ρύπο των υπόγειων νερών, με μεγάλη κινητικότητα. Η κύρια πηγή ρύπανσης από ΜΤΒΕ είναι δεξαμενές καυσίμων που παρουσιάζουν διαρροή. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο ΜΤΒΕ είναι καρκινογόνος για τα ζώα και σύμφωνα με την αμερικανική ΕΡΑ πιθανώς και για τους ανθρώπους (TNO-Nicole, 1999).

Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. για την αποκατάσταση περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες, κυρίως ΒΤΕΧ, έχει γίνει

αποδεκτή, σε πολλές περιπτώσεις, σαν η μοναδική τεχνολογία αποκατάστασης της περιοχής. Σε περιπτώσεις, όμως, που στο πλούμιο της ρύπανσης εκτός από ΒΤΕΧ υπάρχουν και άλλες ενώσεις όπως προσθετικά βενζίνης κ.α., η Ε.Φ.Α. μπορεί να μην είναι αποτελεσματική (ΕΡΑ, 2001).

Παρακάτω περιγράφονται οι μηχανισμοί που συμβάλλουν στη φυσική αποκατάσταση των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων. Τα ΒΤΕΧ οξειδώνονται από μικροοργανισμούς και οι διεργασίες αποδόμησης καταναλώνουν τους αποδέκτες ηλεκτρονίων (O_2 , NO_3 , $Fe(III)$, και SO_4^{3-}). Αν η οξείδωση των ΒΤΕΧ, στο υπόγειο νερό είναι σημαντική ώστε να καταναλωθεί το O_2 και NO_3 , τότε κοντά στην πηγή ρύπανσης μπορεί να επικρατούν ισχυρά αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αναγωγή σιδήρου, την αναγωγή των θειικών και μεθανογένεση. Η διασπορά οξυγόνου από το υπόγειο νερό καθώς και ο επαναερισμός της περιοχής από την ακόρεστη ζώνη μπορούν τελικά να επαναφέρουν τις αερόβιες συνθήκες, σε κάποια απόσταση κατάντη της πηγής ρύπανσης. Κατά την μετακίνησή τους, ρύποι όπως τα ΒΤΕΧ και ΜΤΒΕ εκτίθενται σε ένα μεγάλο εύρος μικροβιακών κοινοτήτων όπου λαμβάνουν χώρα πολλές μικροβιακές αντιδράσεις. Σίγουρα όλες οι ουσίες που αποτελούν τα ΒΤΕΧ αποδομούνται κάτω από αερόβιες συνθήκες. Επίσης φαίνεται, από διάφορες μελέτες που έχουν διεξαχθεί, ότι όλες, εκτός από το βενζόλιο, μπορούν να αποδομηθούν και κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

Σε αντίθεση με τα ΒΤΕΧ, λίγα είναι γνωστά για την βιοαποδόμηση του ΜΤΒΕ και άλλων οξυγονούχων των καυσίμων. Κάτω από αερόβιες συνθήκες, η αποδόμηση του ΜΤΒΕ συνδέεται με την ανάπτυξη βακτηρίων και τον καταλυτικό συμμεταβολισμό. Για τον αναερόβιο μεταβολισμό του ΜΤΒΕ απαιτείται περαιτέρω έρευνα (ΕΡΑ, 1999).

Το 1995 ο Wiedemeier κ.α. δημοσίευσαν ένα πρωτόκολλο για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. σε υπόγειο νερό ρυπασμένο από καύσιμα. Το πρωτόκολλο αυτό δίνει πληροφορίες για τη συμπεριφορά της ρύπανσης αυτής και δίνει οδηγίες για τον χαρακτηρισμό της περιοχής που έχει υποστεί ρύπανση, τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την μοντελοποίηση (TNO-Nicole, 1999).

Παράδειγμα εφαρμογής της Ε.Φ.Α. στην Ευρώπη αποτελεί η έρευνα που διεξήχθη στην πρώην βιομηχανική περιοχή Zeitz στο Leipzig της Γερμανίας. Στο Zeitz, από το 1938 λειτούργησε βιομηχανία παραγωγής βενζίνης και λιπαντικών η οποία σταμάτησε να λειτουργεί το 1944/1945 εξαιτίας

καταστροφής των εγκαταστάσεών της από βομβαρδισμούς. Από το 1963 έως το 1990 λειτούργησε επίσης βιομηχανία παραγωγής βενζολίου. Από προηγούμενες μελέτες στην περιοχή ήταν γνωστό ότι οι κύριοι ρύποι είναι μονοκυκλικοί, πολυκυκλικοί και αλιφατικοί υδρογονάνθρακες. Επίσης ΒΤΕΧ βρέθηκαν στον υπόγειο υδροφόρο. Στην έρευνα αυτή εξετάστηκε τμήμα της συνολικής ρυπασμένης περιοχής. Στο συγκεκριμένο τμήμα ο κύριος ρύπος ήταν το βενζόλιο, το οποίο αποτελούσε το 90% της ρύπανσης. Για την μελέτη της Ε.Φ.Α. εκτός από τις κοινώς αποδεκτές συμβατικές στρατηγικές και μεθόδους αναπτύχθηκαν καινούριες προσεγγίσεις.

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας βρέθηκαν ενδείξεις οξείδωσης μεθανίου στα όρια του πλουμίου ρύπανσης. Ο υπολογισμός των παραγόντων ισοτοπικής κλασματοποίησης, έδειξε αποδόμηση του βενζολίου σε ποσοστό 93% κάτω από αναγωγικές συνθήκες μεθανογένεσης και 76% κάτω από συνθήκες αναγωγής θειικών. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαίωσαν ότι η Ε.Φ.Α. μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη μέθοδος εξυγίανσης στην περιοχή. Για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου για τους αποδέκτες, ειδικά των υδατικών εκτός του πλουμίου ρύπανσης απαιτείται ένα καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα παρακολούθησης, το οποίο βρίσκεται επί του παρόντος υπό ανάπτυξη (Schirmer *et al.*, 2006).

Ανόργανοι ρύποι

Στους ανόργανους ρύπους συμπεριλαμβάνονται μέταλλα όπως Pb, Zn, Ni, Cr, Cd, Hg, Cu, μεταλλοειδή όπως As, Bi, Sb, Se και άλλες ενώσεις όπως το κυανίδιο, NO_3^- , Cl^- .

Οι μηχανισμοί οι οποίοι καθορίζουν την τύχη των βαρέων μετάλλων σε υπόγεια εδάφη και νερά είναι ιδιαίτερα περίπλοκοι και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του περιβάλλοντος. Επίσης τα βαρέα μέταλλα εμφανίζονται με πολλές μορφές, από τις οποίες κάποιες μπορεί να είναι ιδιαίτερα τοξικές, με μεγάλη κινητικότητα και κάποιες όχι. Τα βαρέα μέταλλα δεν μπορούν να καταστραφούν και για αυτό η αποκατάσταση περιοχών ρυπασμένων από αυτά βασίζεται κυρίως στη μετατροπή τους σε μορφές με μειωμένη κινητικότητα έτσι ώστε να βρίσκονται διαλυμένα στο υπόγειο νερό σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι μηχανισμοί της Ε.Φ.Α. για βαρέα μέταλλα είναι εντελώς διαφορετικοί και συμπεριλαμβάνουν φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες, οι οποίες συγκρατούν τα βαρέα μέταλλα ή μειώνουν την κινητικότητά τους (EPA, 2001).

Η κινητικότητα των μετάλλων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η εδαφολογία της περιοχής, οι αρχικές συγκεντρώσεις των μετάλλων, οι συγκεντρώσεις ανταγωνιστικών ιόντων, το pH και οξειδοαναγωγικές συνθήκες, το περιεχόμενο του εδάφους σε άνθρακα κτλ. Οι κύριες διεργασίες που μειώνουν τις συγκεντρώσεις των μετάλλων σε νερό και έδαφος είναι η προσρόφηση και οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (TNO-Nicole, 1999).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. σε περιπτώσεις ρύπανσης χρωμίου (Palmer and Puls, 1994, Hellerich *et al*, 2003, 2004, 2005) κ.α. Επίσης υπάρχουν αναφορές από την ΕΡΑ για την φυσική συγκράτηση του ψευδαργύρου (Zn) και νικελίου (Ni) σε υδροβιότοπους, και του αρσενικού (As).

Παράδειγμα εφαρμογής της Ε.Φ.Α. για την αποκατάσταση περιοχής επιβαρημένης με Cr αποτελεί η έρευνα των Hellerich και Nikolaidis. Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην περιοχή του Connecticut των Η.Π.Α. Οι κύριοι ρύποι που βρέθηκαν στο πλούμιο ρύπανσης ήταν χλωριωμένο αιθένιο (Chlorinated Ethene, CE) και Cr(VI). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι υπάρχει μείωση των συγκεντρώσεων του Cr(VI) και των χλωριωμένων αιθινίων. Οι διεργασίες συγκράτησης σε αυτόν τον υπόγειο υδροφορέα έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων και να τις διατηρούν κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Από πειράματα των ιδίων φαίνεται ότι φυσική αποκατάσταση στην περιοχή μπορεί να επιτευχθεί για τα επόμενα 25 χρόνια (Hellerich *et al*, 2003, 2004, 2005).

2.1.3 Στρατηγική Εφαρμογής της Ε.Φ.Α.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Ε.Φ.Α. είναι μια μέθοδος εξυγίανσης βασισμένη στη γνώση και όχι σε μηχανικές λύσεις που απομονώνουν, καταστρέφουν ή απομακρύνουν τον εκάστοτε ρύπο. Η Ε.Φ.Α. βασίζεται στην κατανόηση και τεκμηρίωση των φυσικών διεργασιών που καταστρέφουν ή ακινητοποιούν ισχυρά ένα ρύπο. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιλέγεται σαν μέθοδος εξυγίανσης μόνο όταν υπάρχουν στοιχεία που να αποδεικνύουν συσχέτιση μεταξύ της μείωσης των ρύπων και των φυσικών διεργασιών (ΕΡΑ, 2001).

Σύμφωνα με οδηγία της Αμερικανικής ΕΡΑ, που δημοσιεύτηκε από το Γραφείο Στερεών Αποβλήτων και Άμεσης Απόκρισης (Office of Solid Waste and Emergency Response, OSWER) η Ε.Φ.Α. σαν μέθοδος εξυγίανσης απαιτεί

λεπτομερή χαρακτηρισμό της υπό μελέτη περιοχής, που επιτυγχάνεται με τη συλλογή δεδομένων και ανάλυση αυτών. Γενικά στην περίπτωση εφαρμογής της Ε.Φ.Α. ο χαρακτηρισμός πρέπει να είναι πολύ πιο λεπτομερής από αυτός που απαιτείται από άλλες μεθόδους εξυγίανσης. Απαιτείται πλήρης ποσοτικός προσδιορισμός των ισοζυγίων μάζας, της ροής του υπόγειου νερού, κατανομή των φάσεων του ρύπου και κατανομή μεταξύ εδάφους, υπόγειου νερού και πορώδους. Επίσης απαιτείται υπολογισμός των ρυθμών βιολογικών και μη μετασχηματισμών του ρύπου και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο πιθανώς αυτοί οι παράγοντες μεταβάλλονται στο χρόνο. Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. είναι αδύνατη χωρίς την ύπαρξη των παραπάνω πληροφοριών αφού είναι αναγκαία η κατανόηση των δυναμικών διεργασιών που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ρύπου. Για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας της Ε.Φ.Α. μπορεί να απαιτείται αναλυτική ή αριθμητική προσομοίωση των σύνθετων φυσικών διεργασιών αποκατάστασης.

Σε μια τέτοιου είδους ανάλυση είναι αναγκαία η δημιουργία ενός θεμελιώδους μοντέλου της περιοχής (Conceptual Site Model, CSM) το οποίο θα αποτελεί τη βάση της μελέτης. Το θεμελιώδες αυτό μοντέλο είναι μια τρισδιάστατη παρουσίαση που καλύπτει ό,τι είναι γνωστό ή υποθέτεται για τις πηγές ρύπανσης, τους μηχανισμούς απελευθέρωσης, την μεταφορά και τύχη των ρύπων. Το μοντέλο παρέχει τη βάση για τον καθορισμό των τεχνολογιών εξυγίανσης και δεν είναι μοντέλο υπολογιστή. Παρόλα αυτά μοντέλα υπολογιστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση και οπτικοποίηση των συνθηκών της περιοχής ή για την πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών. Για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητο το θεμελιώδες μοντέλο. Τα υπολογιστικά μοντέλα συνήθως απαιτούν μεγάλο αριθμό δεδομένων, και η ποιότητα των αποτελεσμάτων συνδέεται άμεσα με τη ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιεί το μοντέλο. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των περιβαλλοντικών συστημάτων, τα μοντέλα βασίζονται αναγκαστικά σε παραδοχές που μπορεί ή όχι να αντιπροσωπεύουν επακριβώς την πραγματικότητα. Για τη σωστή χρήση, λοιπόν, των υπολογιστικών μοντέλων είναι σημαντικά η βαθμονόμηση και ανάλυση ευαισθησίας τους.

Συμπερασματικά, ο χαρακτηρισμός της υπό μελέτη περιοχής πρέπει να συμπεριλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων τα οποία θα προσδιορίζουν (στις τρεις διαστάσεις και κατά τη διάρκεια του χρόνου) τη φύση και την κατανομή του ρύπου και της πηγής ρύπανσης, καθώς επίσης και τις πιθανές επιπτώσεις στους εκάστοτε αποδέκτες.

Μετά τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και τη δημιουργία του θεμελιώδους μοντέλου, γίνεται η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της Ε.Φ.Α. σαν τεχνολογία εξυγίανσης. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή συγκεκριμένων δεδομένων πεδίου, τα οποία επαρκούν για τον υπολογισμό των ρυθμών των διεργασιών αποκατάστασης και του χρόνου που χρειάζεται για την αποκατάσταση της περιοχής, με ένα αποδεκτό βαθμό αξιοπιστίας. Για τις απαιτήσεις της Ε.Φ.Α. προτείνεται μια προσέγγιση σε τρεις φάσεις. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται η συλλογή της απαραίτητης πληροφορίας, με καλό επίπεδο αξιοπιστίας. Η προσέγγιση αυτή, ή όπως αλλιώς αναφέρεται από την ΕΡΑ, τα τρία είδη αποδεικτικών στοιχείων (lines of evidence), που συλλογικά παρέχουν μια βάση που μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η Ε.Φ.Α. είναι λειτουργική και αποτελεσματική, περιγράφονται ως εξής (ΕΡΑ, 1999):

- Ιστορικά χημικά ή/και βιολογικά δεδομένα για τους υπό μελέτη ρύπους, τα οποία καταδεικνύουν μια καθαρή και αναμφίβολη τάση μείωσης, με την πάροδο του χρόνου, της μάζας των ρύπων, της συγκέντρωσης, και της τοξικότητας, στα κατάλληλα σημεία ελέγχου και δειγματοληψίας.
- 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 το ρυθμό με τον οποίο οι διεργασίες αυτές μπορούν να μειώσουν τη συγκέντρωση των ρυπαντών στα επιθυμητά επίπεδα.
- 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.

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 άλλων αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. 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 την 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 ότι η ρύπανση στην περιοχή δεν αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (EPA, 1999).

Παρόμοια στρατηγική εφαρμογής προτείνεται και από το Συμβούλιο Εθνικής Έρευνας (NRC) των Η.Π.Α.. Σύμφωνα με το NRC πρώτο βήμα εφαρμογής της Ε.Φ.Α., αποτελεί η δημιουργία ενός ιδεατού μοντέλου της περιοχής το οποίο θα αναγνωρίζει τις διεργασίες που πιθανόν είναι υπεύθυνες για την καταστροφή ή συγκράτηση των ρύπων στην περιοχή. Το δεύτερο βήμα είναι η συλλογή στοιχείων τα οποία τεκμηριώνουν τη σχέση μεταξύ των μηχανισμών μετατροπής ή συγκράτησης και της παρατηρούμενης μείωσης των ρύπων. Τέλος, πρέπει να εξασφαλίζεται, με τη συνεχή παρακολούθηση και τη συλλογή στοιχείων από την περιοχή, ότι οι μηχανισμοί αυτοί λειτουργούν, θα συνεχίσουν να λειτουργούν και οι στόχοι σχεδιασμού είναι επιτεύξιμοι.

2.2 Μοντέλα λεκάνης απορροής

Η μοντελοποίηση της εκάστοτε περιοχής μελέτης μπορεί να είναι χρήσιμη σε διάφορα στάδια της εφαρμογής της Ε.Φ.Α. 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. Επίσης με τη μοντελοποίηση μπορεί να γίνει προβλεφθεί το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να επιτευχθούν οι στόχοι αποκατάστασης και αν η φυσική αποκατάσταση θα είναι εφικτή και στο μέλλον. Στην εργασία αυτή, η Ε.Φ.Α. θα εφαρμοσθεί σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Για την προσομοίωση λεκάνης απορροής έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα τα οποία προσομοιώνουν τόσο τη υδρολογία της λεκάνης απορροής όσο και την ποιότητα των υδάτων του ποταμού και τη μεταφορά των φορτίων των θρεπτικών (άζωτο και φώσφορο). Μερικά από αυτά τα μοντέλα είναι, CREAMS (Knisel, 1980), ANSWERS (Beasley & Huggins, 1981), HSPF (Johanson *et al.*, 1984), GLEAMS (Leonard *et al.*, 1987), LEACHM (Wagenet & Hutson, 1989), AGNPS (Young *et al.*, 1989), CREAMS-NT (Deizman & Mostaghimi, 1991; Geng, 1991), EPIC-WT (Sabbagh *et al.*, 1991), EPIC (Williams, 1991), SWRRB-GW (Arnold *et al.*, 1993), BNZ (Cooper & Bottcher, 1993), ACEMS (Haan *et al.*, 1993), ANN-AGNPS (Needham & Young, 1993), NTT (Heng & Nikolaidis, 1998) και RZWQM (Rojas *et al.*, 1993). Τέτοια μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ρύπανσης

που προέρχεται από μη σημειακές αστικές και αγροτικές πηγές, καθώς και για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης.

Οι κατηγορίες που χωρίζονται τα μοντέλα αυτά είναι (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006):

- Κατανεμημένα μοντέλα φυσικής βάσης (Physically based distributed models).
- Κατανεμημένα εννοιολογικά μοντέλα (Conceptual distributed models).
- Μοντέλα εκπομπών (Emissions based models).
- Μετα-μοντέλα (Meta-models).
- Απλοποιημένα εννοιολογικά μοντέλα (Simplified conceptual model).

Τα κατανεμημένα μοντέλα φυσικής βάσης χωρίζουν τη λεκάνη απορροής, οριζοντίως, σε ένα πλέγμα ομογενών τετραγώνων τα οποία χαρακτηρίζονται από τις χρήσεις γης και τη γεωχημεία της περιοχής. Επίσης η ακόρεστη και η κορεσμένη ζώνη χωρίζονται καθέτως σε τμήματα τα οποία αντιστοιχούν στην κάθετη ανομοιογένεια των βιογεωχημικών διεργασιών. Για την περιγραφή της ροής και τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων χρησιμοποιούν τις εξισώσεις συνέχειας, ενέργειας και ορμής. Μειονέκτημά τους είναι ότι απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων, αλλά παρέχουν λεπτομερή περιγραφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε κάθε λεκάνη απορροής. Παράδειγμα τέτοιου μοντέλου είναι NTT (Nutrient Transport & Transformation - Μεταφορά και Μετατροπή Θρεπτικών, που αναπτύχθηκε από τους Heng και Νικολαΐδη το 1998.

Τα κατανεμημένα εννοιολογικά μοντέλα βασίζονται σε φυσικές ιδιότητες. Δίνουν τη δυνατότητα εκτίμησης του χρόνου απόκρισης της λεκάνης απορροής και προσομοιώνουν την πορεία των ρύπων ακόμα και για μεγάλες λεκάνες. Παράδειγμα τέτοιου μοντέλου είναι το BASINS (EPA). Σημαντικό πλεονέκτημα του BASINS είναι ότι έχει βαθμονομηθεί για πολλές λεκάνες απορροής.

Το μοντέλο MONERIS, το μοντέλο δηλαδή που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία, είναι ένα μοντέλο εκπομπών. Τα μοντέλα εκπομπών χρησιμοποιούν εξισώσεις που έχουν προκύψει εμπειρικά. Προσομοιώνουν τις εκπομπές των ρύπων προς ένα αποδέκτη. Τα μοντέλα αυτά είναι κατάλληλα για πολύ μεγάλες λεκάνες με λεπτομερές δίκτυο παρακολούθησης. Εκτενέστερη περιγραφή του μοντέλου MONERIS δίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Τα Μετα-μοντέλα χρησιμοποιούν τις σχέσεις μεταξύ των εισροών και εκροών ενός πολύπλοκου μοντέλου για την ανάπτυξη ενός μοντέλου παλινδρόμησης.

Τέλος, τα απλοποιημένα εννοιολογικά μοντέλα αποτελούν ένα συνδυασμό του μοντέλου ευτροφισμού των λιμνών που αναπτύχθηκε από το Vollenweider και εμπειρικών συντελεστών εκροής φορτίων αζώτου και φωσφόρου οι οποίοι εξαρτώνται από τη χρήση γης. Με τους συντελεστές προβλέπονται τα φορτία αζώτου και φωσφόρου στη λίμνη και ο περιοριστικός παράγοντας για τον ευτροφισμό. Η τροφική κατάσταση της λίμνης προσδιορίζεται με νομογράμματα.

2.3 Περιγραφή μοντέλου MONERIS

Σε αυτή την πρώτη φάση εφαρμογής της Ε.Φ.Α., για την προσομοίωση της μεταφοράς των θρεπτικών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems). Το μοντέλο MONERIS είναι ένα σχετικά απλό μοντέλο, που έχει αναπτυχθεί σε φύλλα εργασίας του προγράμματος EXCEL της Microsoft. Προσομοιώνει ικανοποιητικά την μεταφορά των φορτίων αζώτου και φωσφόρου μέσω διάφορων μονοπατιών και υπολογίζει τα τελικά φορτία που εισέρχονται στον υδάτινο αποδέκτη. Ο λόγος που επιλέχθηκε το μοντέλο MONERIS είναι ότι τα δεδομένα που απαιτεί δεν είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένα και είναι δεδομένα - μέσες τιμές πενταετούς χρονικού ορίζοντα, που ήταν ήδη διαθέσιμα. Παρακάτω ακολουθεί εκτενέστερη περιγραφή του μοντέλου.

Το μοντέλο MONERIS αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη Γερμανία, για την εκτίμηση της μεταφοράς των φορτίων θρεπτικών από σημειακές ή μη πηγές ρύπανσης σε υδάτινο αποδέκτη. Το μοντέλο βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν στην παροχή του ποταμού και στην ποιότητα του ύδατος, όπως και σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, το οποίο περιλαμβάνει ψηφιακούς χάρτες και εκτενή στατιστικά στοιχεία. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό των φορτίων είναι εμπειρικές (Behrendt *et al.*, 1999). Τα διαφορετικά μονοπάτια συνεισφοράς στην επιβάρυνση του υδάτινου αποδέκτη όπως λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 2-1).

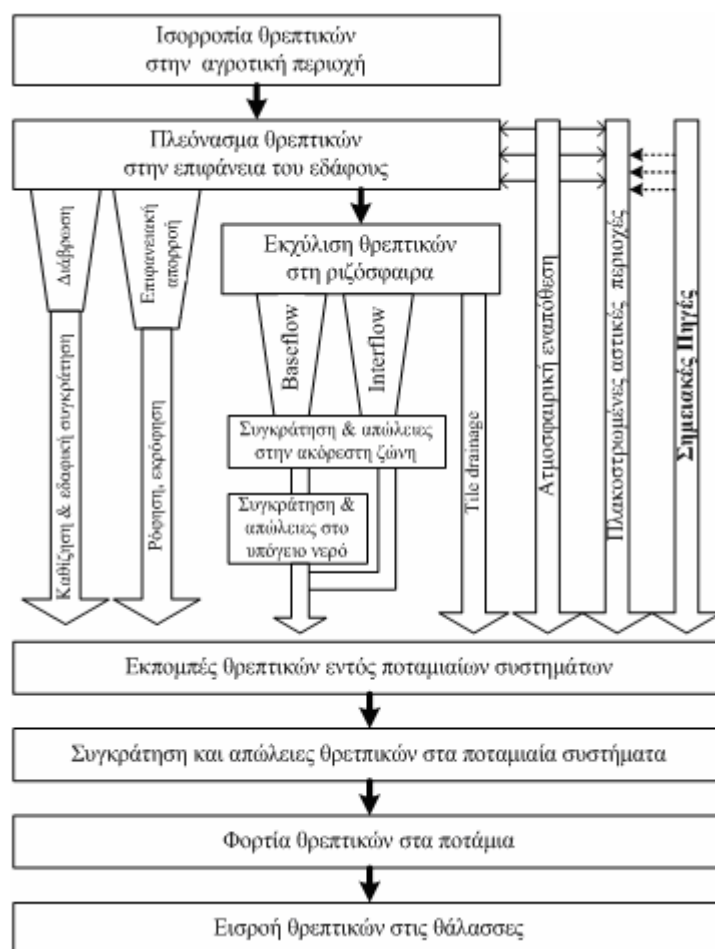
Η μεταφορά των φορτίων από τις πηγές ρύπανσης θεωρείται ότι γίνεται μέσω κάποιων μονοπατιών. Τα μονοπάτια εισροής θρεπτικών που λαμβάνονται υπόψη φαίνονται στο σχήμα 2-1 και είναι τα εξής:

- Φορτία από σημειακές πηγές (υγρά απόβλητα από οικισμούς και βιομηχανίες),
- απευθείας εισροή μέσω ατμοσφαιρικής εναπόθεσης,

- εισροή θρεπτικών από επιφανειακή απορροή,
- εισροή από το υπόγειο νερό,
- εισροή θρεπτικών μέσω υποεπιφανειακής απορροής.

Για τον υπολογισμό των φορτίων το MONERIS εκτελεί ένα ισοζύγιο για κάθε μονοπάτι εισροής (εισερχόμενη ροή θρεπτικού στη λεκάνη απορροής και εκροή προς τον επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη). Εξαιρούνται η ατμοσφαιρική εναπόθεση και οι βιομηχανικές πηγές ρύπανσης, για τις οποίες δίνονται υπολογισμένα φορτία. Μέσω αυτού του ισοζυγίου είναι δυνατός ο υπολογισμός και η εκτίμηση συγκρατήσεων και απωλειών των θρεπτικών κατά την πορεία τους από την πηγή έως την τελική τους εμφάνιση στο υδάτινο σώμα, καθώς επίσης εκτίμηση και πιθανών μελλοντικών εισροών λόγω μεταβολής των συνθηκών υπό τη μορφή εξεταζόμενων σεναρίων. Η απώλεια θρεπτικών από τη λεκάνη απορροής δίνεται από τη διαφορά των συνολικών εισροών και εκροών των μονοπατιών, λαμβάνοντας υπόψη τη συγκράτηση και τις απώλειες από το υδάτινο σώμα σε κάθε ισοζύγιο.

Η γνώση των διεργασιών μετατροπής και συγκράτησης των ρύπων είναι αναγκαία για την ποσοτικοποίηση και πρόβλεψη των εκπομπών των θρεπτικών εντός των ποταμών σε σχέση με τις πηγές τους. Η πρόσφατη εμπειρία και γνώση των διεργασιών καθώς και περιορισμένη βάση δεδομένων, ειδικά για λεκάνες απορροής μικρής και μεσαίας έκτασης, καθιστά την περιγραφή των διεργασιών αδύνατη από λεπτομερή δυναμικά μοντέλα. Το MONERIS εκτιμά τα διαφορετικά μονοπάτια με ήδη υπάρχουσες και νέες εμπειρικές προσεγγίσεις, οι οποίες αναπτύχθηκαν ειδικά για μοντελοποίηση μεσαίας και μεγάλης χωρικής κλίμακας. Το μοντέλο MONERIS έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των θρεπτικών στις λεκάνες απορροής του Ρήνου, του Δούναβη και του Έλβα καθώς και για άλλα ποτάμια της Γερμανίας κατά τη διάρκεια της περιόδου 1993 - 1997 [23], καθώς και στις Ελληνικές λεκάνες απορροής των Ποταμών Αξιού (Nikolaidis *et al.*, 2005), και Αχελώου (Nikolaidis *et al.*, 2004). Η συνεισφορά κάθε μονοπατιού δίνεται τόσο ποσοτικά όσο και ποσοστιαία.



Σχήμα 2-1 Μονοπάτια και διεργασίες που λαμβάνονται υπόψη στο MONERIS (Behrendt et al., 1999).

Μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων - Για την εκτίμηση των εισροών των φορτίων φωσφόρου και αζώτου στο ποτάμι, από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτούνται δεδομένα όπως ο βαθμός επεξεργασίας, ο αριθμός των κατοίκων, ο όγκος υγρών αποβλήτων κ.α. Η ικανότητα, όμως, απομάκρυνσης αζώτου μιας μονάδας επεξεργασίας ενεργού ιλύος είναι δύσκολο να καθοριστεί και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία της ιλύος και κατά συνέπεια από τον όγκο της δεξαμενής. Μονάδες επεξεργασίας στις οποίες δε λαμβάνει χώρα νιτροποίηση χαρακτηρίζονται από 25-30% μείωση του φορτίου N και στις μονάδες επεξεργασίας στις οποίες συμβαίνει νιτροποίηση, θεωρείται ότι πραγματοποιείται 35% ελάττωση του φορτίου, ποσοστό που μπορεί να ανέλθει σε 55% αν πραγματοποιείται μερική απονιτροποίηση στον όγκο της ενεργού ιλύος

Βιομηχανικές πηγές - Τα δεδομένα για τα φορτία που προέρχονται από βιομηχανικές πηγές λαμβάνονται είτε από τη βιβλιογραφία είτε από in situ μετρήσεις και εκτιμήσεις. Αν τα δεδομένα είναι δημοσιευμένα τότε χρησιμοποιούνται αμέσως, ενώ αν είναι διαθέσιμα αθροιστικά δεδομένα για μεγάλη επιφάνεια, τότε ο καταμερισμός των φορτίων βασίζεται στη χωρική κατανομή των αστικών περιοχών, όπως δίνεται από τη βάση δεδομένων χρήσεων γης και εδαφοκάλυψης CORINE-Landcover.

Πλεόνασμα Θρεπτικών αγροτικής περιοχής - Κύρια επιφανειακή πηγή εισροής θρεπτικών αποτελεί η αγροτική εκμετάλλευση των εδαφών. Για την ποσοτικοποίηση του επιφανειακού θρεπτικού φορτίου από αγροτικές περιοχές το μοντέλο λαμβάνεται υπόψη το ετήσιο πλεόνασμα θρεπτικών σε αγροτικές περιοχές (annual nutrients surplus).

Ατμοσφαιρική εναπόθεση - Η εκτίμηση της άμεσης εισροής των θρεπτικών σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες μέσω ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης προϋποθέτει τη γνώση της επιφάνειας του υδάτινου σώματος και της λεκάνης απορροής που συνδέεται με το ποτάμιο σύστημα. Η εκτίμηση των περιοχών αυτών σε γενικές γραμμές είναι δύσκολη, δεδομένου ότι οι παρεχόμενες πληροφορίες από δεδομένα κρατικών στατιστικών υπηρεσιών συχνά υπερεκτιμούν τόσο τον όγκο όσο και την επιφάνεια των υδάτινων πόρων. Από την άλλη, ο υπολογισμός των εισερχόμενων φορτίων από χάρτες χρήσεων γης υποεκτιμά τα φορτία, διότι λαμβάνονται υπόψη μόνο ποτάμια μεγαλύτερα των εκατό μέτρων σε πλάτος και μεγάλες λίμνες.

Διάβρωση - Η μεταφορά και απώλεια εδάφους σε μια λεκάνη απορροής υπολογίζεται από ψηφιακούς χάρτες με κατάλληλα δεδομένα. Για την εκτίμηση της εισροής των θρεπτικών στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη τόσο η εισροή και εκροή αιωρούμενων σωματιδίων, το περιεχόμενο σε θρεπτικά του εδάφους και ο συντελεστής εμπλουτισμού του εδάφους σε θρεπτικά (enrichment ratio) λόγω της εναπόθεσης κόκκων εδάφους στον ανώτερο εδαφικό ορίζοντα. Ο υπολογισμός της απώλειας εδάφους γίνεται με την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation, USLE), όπου λαμβάνονται υπόψη τοπογραφικά δεδομένα, δεδομένα βροχόπτωσης και εδαφοκάλυψης.

Tile drainage - Για την ποσοτικοποίηση της εισροής θρεπτικών μέσω tile drainage, βάσει παλαιότερων εκτιμήσεων, αναπτύχθηκε μια μέθοδος η οποία βασίζεται στο μέγεθος της περιοχής (drained area), στην ποσότητα του ύδατος

διοχέτευσης (drain water) και στις μέσες συγκεντρώσεις θρεπτικών του ύδατος διοχέτευσης από την οποία είναι δυνατός ο υπολογισμός της συνολικής εισροής θρεπτικών.

Υπόγειο νερό - Η συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ στο υπόγειο νερό είναι δυνατόν να έχει σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με την περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος, η οποία λαμβάνει υπόψη της τους εξής παράγοντες:

- το πλεόνασμα νιτρικών (surplus),
- τη συγκέντρωση στο νερό διαρροής (leakage water),
- την αλληλεπίδραση μεταξύ του ύδατος διαρροής και του υπόγειου ύδατος,
- την απονιτροποίηση στην ακόρεστη ζώνη.

Αστικές πηγές - Κάποια από τα μονοπάτια εισροών θρεπτικών από αστικές περιοχές περιλαμβάνονται άμεσα και έμμεσα στα μονοπάτια του υπόγειου ύδατος και των αστικών αποβλήτων. Στο μονοπάτι αυτό περιλαμβάνονται οι εξής εισροές από αστικές περιοχές:

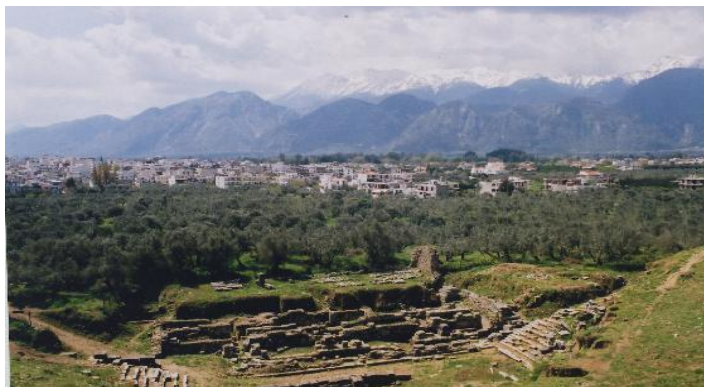
- Εισροές από νοικοκυριά και αδιαπέρατες (impervious) αστικές περιοχές που δε συνδέονται ούτε με σηπτικές δεξαμενές ούτε μέσω συστήματος αποχέτευσης με τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων,
- Εισροές από νοικοκυριά και αδιαπέρατες αστικές περιοχές μέσω συνδυασμένων ροών από σηπτικές δεξαμενές,
- Εισροές από νοικοκυριά και αδιαπέρατες αστικές περιοχές συνδεδεμένα με σηπτικές δεξαμενές αλλά όχι με τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων,
- Εισροές από αδιαπέρατες αστικές περιοχές μέσω ξεχωριστού σηπτικού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Περιγραφή Περιοχής

3.1 Γενικά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Πελοποννήσου και έχει συνολική έκταση 2420 km². Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης βρίσκεται στα όρια του νομού Λακωνίας, ενώ περιλαμβάνει και μικρά τμήματα του νομού Αρκαδίας, καθώς τα υδρογεωλογικά σύνορα δε ταυτίζονται με τα διοικητικά. Η λεκάνη απορροής συνορεύει βόρεια και βορειοανατολικά με το νομό Αρκαδίας, δυτικά με το νομό Μεσσηνίας ενώ νότια βρίσκεται ο Λακωνικός κόλπος.

Ο ποταμός Ευρώτας πηγάζει από την νοτιο-ανατολική περιοχή του οροπεδίου της Μεγαλόπολης του Ν. Αρκαδίας και καθώς διασχίζει τους νομούς Αρκαδίας και Λακωνίας από Βορρά προς Νότο δέχεται νερά από πολλούς παραπόταμους και χείμαρρους, πριν να εκβάλει στο Λακωνικό κόλπο. Επίσης τροφοδοτείται από μια σειρά πηγών, πολλές από τις οποίες βρίσκονται κατά μήκος της κοίτης του και είναι σταθερές ή διαλείπουσες παροχής. Οι πηγές τροφοδοτούνται από διάφορα καρστικά συστήματα (Σκορτσινού-Δυρραχίου) Κεντρικού Ταυγέτου, Κεντρικού Πάρνωνα, κτλ.) Από τις σταθερές παροχής πηγές οι σημαντικότερες είναι οι Σκορτσινού (Αρκαδία), Βιβαρίου (στην κοιλάδα της Σελλασίας) και Κονιδίτσας (κοντά στο ομώνυμο χωριό). Η κοιλάδα του ποταμού Ευρώτα βρίσκεται μεταξύ των δυο μεγάλων οροσειρών του Πάρνωνα (Εικόνα 3-2) και του Ταυγέτου (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1 Η πόλη της Σπάρτης. Στο βάθος φαίνεται η οροσειρά του Ταυγέτου (members.virtualltourist.com).



Εικόνα 3-2 Άνω ρους του ποταμού Ευρώτα. Στο βάθος φαίνεται η οροσειρά του Πάρνωνα.

Χαρακτηριστικό του Ευρώτα είναι η ύπαρξη τμημάτων κατά μήκος που στερεύουν κατά το καλοκαίρι λόγω υπεράντλησης του νερού των πηγών αλλά και του ίδιου του ποταμού και των παραπόταμών του. Ιδιαίτερα μετά τη γέφυρα Βρονταμά νερό υπάρχει μόνο σε περίπτωση περίσσειας, κυρίως επειδή το νερό χάνεται στους καρστικούς σχηματισμούς που βρίσκονται στην περιοχή και επανεμφανίζεται στις πηγές στην περιοχή της Σκάλας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι το 1989 στέρεψαν όλες οι πηγές λόγω ξηρασίας σε συνδυασμό με αυξημένη υδροληψία υπόγειου νερού.

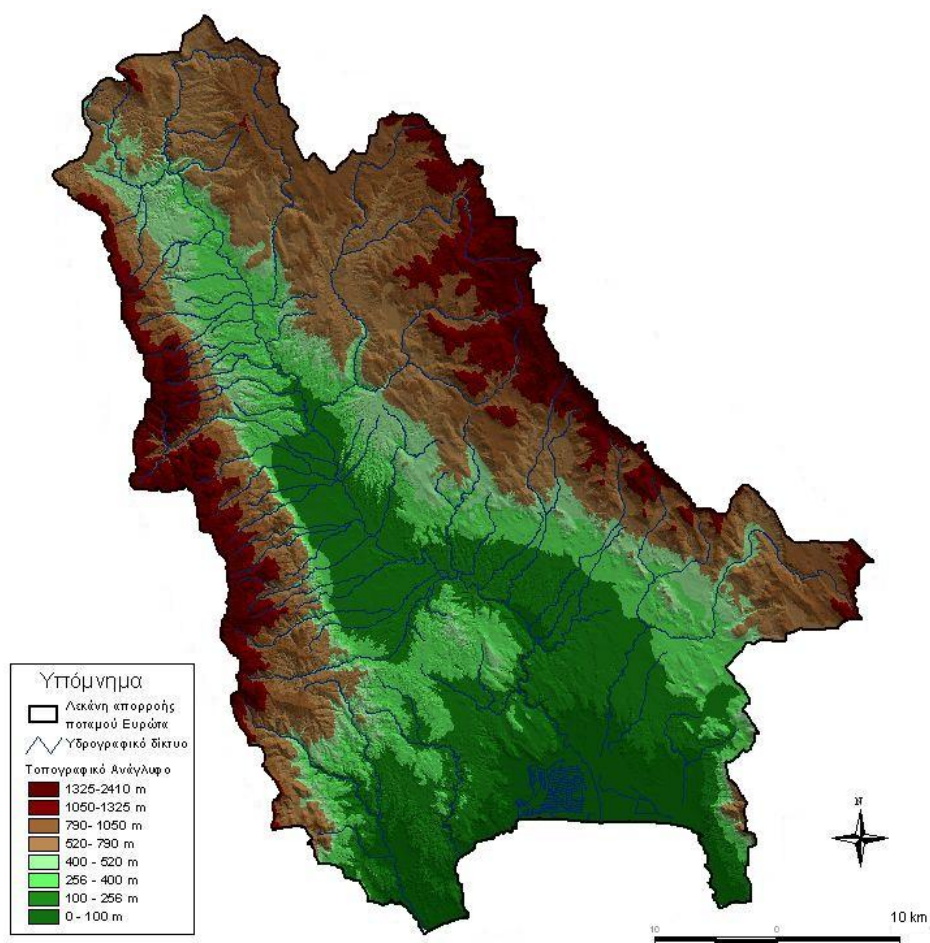


Χάρτης 3-1 Δήμοι Νομού Λακωνίας που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.

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 66000 κατοίκους (ΕΣΥΕ, απογραφή 2001). Το μεγαλύτερο αστικό κέντρο που βρίσκεται μέσα στη λεκάνη είναι η Σπάρτη, πρωτεύουσα του νομού Λακωνίας η οποία βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του νομού, στις όχθες του Ευρώτα, σε υψόμετρο 210 m και έχει πληθυσμό περίπου 15000 κατοίκους. Οι δήμοι του Ν. Λακωνίας που βρίσκονται εξ' ολοκλήρου μέσα στη λεκάνη είναι οι: Πελλάνας, Οινούντος, Μυστρά, Σπάρτης, Θεράπνων, 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. Οι δήμοι του νομού Λακωνίας που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης απορροής του Ευρώτα φαίνονται στο Χάρτη 3-1. Το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της περιοχής είναι αγροτικός ενώ μικρότερο είναι αστικός.

3.2 Γεωμορφολογία

Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από τους δυο μεγάλους ορεινούς όγκους του Πάρνωνα και του Ταΰγετου. Το 41,1% της περιοχής έχει υψόμετρο μεγαλύτερο από 600 m, το 46,2% έχει υψόμετρο 150 - 600 m, ενώ μόλις το 12,7% έχει υψόμετρο από 0 έως 150 m. Από τα ποσοστά αυτά συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα του εδάφους της λεκάνης είναι ορεινό και ημιορεινό. Η υψηλότερη κορυφή του Ταΰγετου είναι ο Προφήτης Ηλίας (2404 m), η οποία βρίσκεται στα όρια της λεκάνης. Η υψηλότερη κορυφή του Πάρνωνα είναι η Μεγάλη Τούρλα ή Μαλεβός (1936 m) η οποία όμως βρίσκεται βορειότερα της λεκάνης. Μέσα στη λεκάνη βρίσκονται οι δυο επόμενες υψηλότερες κορυφές του Πάρνωνα η Γαΐτανοράχη (1891m) και η Μαδαρή (1686 m). Στο Χάρτη 3-2 φαίνεται το υψομετρικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.



Χάρτης 3-2 Ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται δυο κύριες πεδιάδες. Η κοιλάδα της Σπάρτης (Εικόνα 3-4) και η πεδιάδα της Σκάλας (Εικόνα 3-3). 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 πεδιάδα της Σπάρτης αποτελεί μια μακρόστενη κοιλάδα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Στο κέντρο περίπου της κοιλάδας παρατηρούνται λοφώδεις εξάρσεις, οι οποίες κατανέμονται γραμμικά, παράλληλα με τη γενική διεύθυνση της κοιλάδας. Η κοιλάδα διατρέχεται κατά πλάτος από τον ποταμό Ευρώτα και κατά μήκος από μια σειρά δευτερευόντων υδρορεμάτων, κάποια παροδικής ροής, με γενική διεύθυνση κάθετη προς τον Ευρώτα, στον οποίο κι εκβάλλουν. Ανατολικά και δυτικά η περιοχή οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Πάρνωνα και του Ταυγέτου αντίστοιχα (Αντωνάκος, 1997).

Η περιοχή της Σκάλας περιλαμβάνει μια πεδιάδα που καταλήγει στον Λακωνικό κόλπο (νότος) και ορίζεται από μια λοφώδη περιοχή προς τον βορά και δυτικά, βορειοδυτικά και ανατολικά από μια ορεινή περιοχή. Οι οροσειρές φτάνουν σε υψόμετρα 200-340 m δυτικά και βορειοδυτικά και μέχρι 900 m ανατολικά. Οι κλίσεις στην βόρεια λοφώδη περιοχή είναι πιο μικρές από αυτές που παρουσιάζονται ανατολικά και δυτικά και παρουσιάζουν ένα μέσο υψόμετρο 160-180 m. Η περιοχή της Σκάλας μπορεί να διακριθεί σε τρεις υπο-περιοχές (GWE, 1972):

- την περιοχή του Τρινάσσου, δυτικά του ποταμού Ευρώτα,
- την περιοχή του Έλους, ανατολικά του ποταμού Ευρώτα, και
- την περιοχή της Γλυκόβρυσης, η οποία χωρίζεται από την περιοχή του Έλους, από την βόρεια λοφώδη περιοχή.



Εικόνα 3-3 Το δέλτα του ποταμού Ευρώτα στην περιοχή της Σκάλας (www.trekearth.com).



Εικόνα 3-4 Ποταμός Ευρώτας καθώς διασχίζει την κοιλάδα της Σπάρτης (www.trekearth.com).

3.3 Γεωλογία

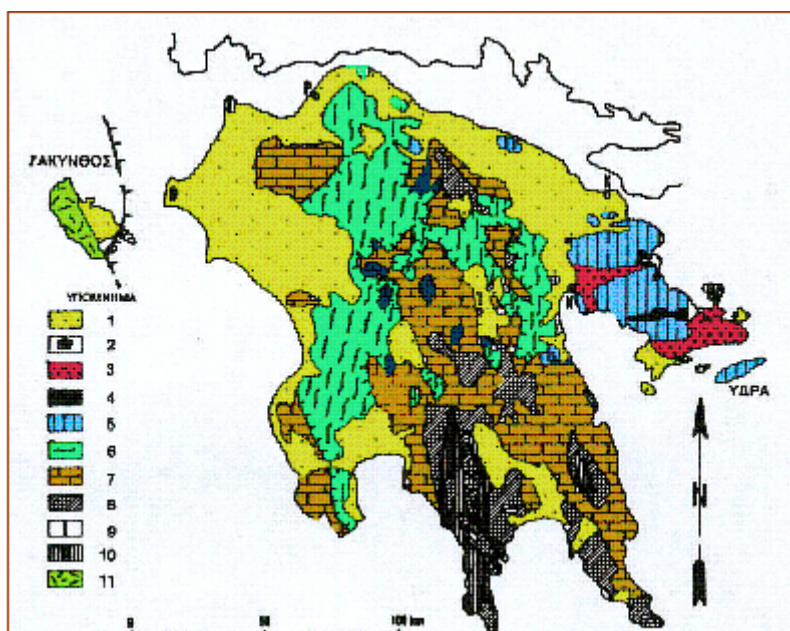
Ο ελληνικός χώρος αποτελεί το πιο νότιο τμήμα άκρο της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από τη οποία καταδύεται η Αφρικανική. Το σύστημα της σύγκρουσης και κατάδυσης των λιθοσφαιρικών πλακών με τα ιδιαίτερα

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 (GWE, 1972; Αντωνάκος, 1997; Enveco, 2005).

3.3.1 Στρωματογραφία - Γεωτεκτονικές Ενότητες

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 συμπίεστικής 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 παράθουρου» (περιοχή

όρους Μαινάλου). Το γεωλογικό σκαρίφημα της Πελοποννήσου φαίνεται στο Χάρτη 3-3.



Χάρτης 3-3 Γεωλογικό σκαρίφημα της Πελοποννήσου. (κατά V. Jacobshagen *et al.*, 1978). 1: Νεογενείς-Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2: Ηφαίστεια, 3: Κρητιδικό 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 (Αντωνάκος, 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. Καλύπτει τα κύρια τμήματα των νησιών Κεφαλονιά και Ζακύνθου. Στη ζώνη των Παξών τοποθετείται η σειρά των μαρμάρων της Μάνης.

Ιόνια ζώνη. Η Ιόνια ζώνη αρχίζει από την Αλβανία και εκτείνεται προς τα νότια, προς τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα (Ήπειρο και Ακαρνανία), τα Ιόνια νησιά (Κέρκυρα, ανατολικό τμήμα Λευκάδας, Ιθάκη, ανατολική Κεφαλονιά και ένα μικρό τμήμα της Ζακύνθου) και τη ΒΔ/κή Πελοπόννησο. Ομόλογη της ζώνης αυτής θεωρείται η ζώνη Gargano-Marches Ombrie-Molise, που εμφανίζεται στην κεντρική Ιταλία. 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 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 Ταΰγετου από το Ι.Γ.Μ.Ε., κρυσταλλικοί δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, χαλαζίτες, μάρμαρα και φλύσχης (Κατσικάκος, 1992). 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 (Αντωνάκος, 1997).

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 ηφαιστειοίζηματογενή, 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».

Στην περιοχή του Ταΰγετου απαντώνται όλα τα τμήματα της στρωματογραφικής στήλης της ενότητας, εκτός από τον «άγριο φλύσχη», όμως η εμφάνιση της ενότητας περιορίζεται στο βόρειο και στο νοτιοανατολικό τμήμα του. Στα σημεία

όπου υπέρκειται των φυλλιτών - χαλαζιτών, πάνω από την τεκτονική επαφή παρατηρείται είτε το ανθρακικό τμήμα της στρωματογραφικής στήλης της Τρίπολης, είτε τα στρώματα Τυρού (Καραλέμας, 2006; Κατσικάκος, 1992).

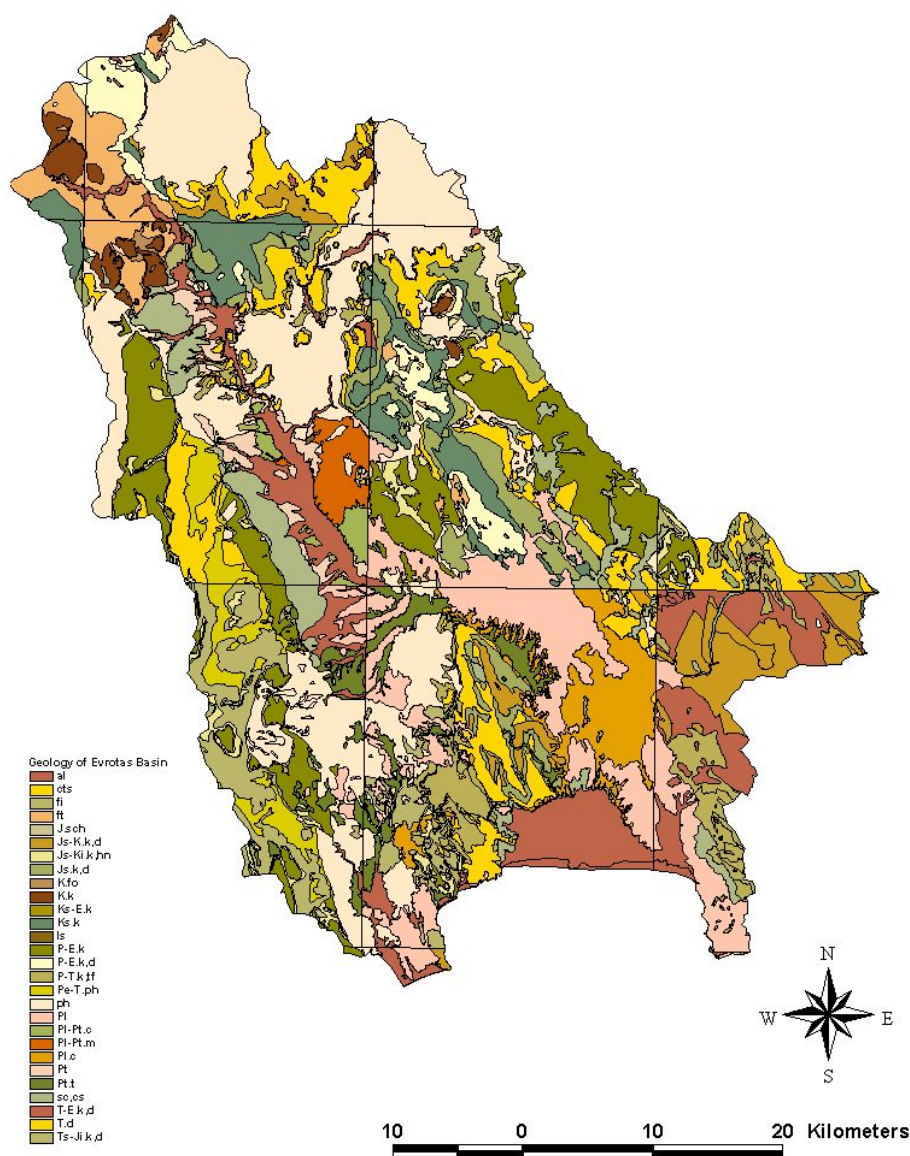
Επίσης, στο νότιο τμήμα της Πελοποννήσου, πάνω στην Ιόνιο ζώνη και στη περιοχή του όρους Κυλλήνης παρουσιάζεται μια επιμέρους ενότητα σχηματισμών (φυλλιτών - χαλαζιτών), η προέλευση και ο σχηματισμός της οποίας ακόμη δεν έχει εξακριβωθεί πλήρως. Η παρουσιαζόμενη στα φύλλα του Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50.000 (Σπάρτη, Καλαμαί, Καρδαμύλη) άποψη, ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούν μέλη των βαθύτερων οριζόντων της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης, είναι μία από τις επικρατέστερες σήμερα από πολλούς ερευνητές.

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 ψαμιτών, πηλιτών και Ραδιολαριτών με ενδιαστρώσεις λατυποπαγών ασβεστόλιθων, κενομάνιας ηλικίας, για την οποία έχει επικρατήσει ο όρος «Πρώτος Φλύσχος». 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 φλύσχος 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 Πάρνωννα. Από τους παραπάνω σχηματισμούς, στην περιοχή του Ταΰγετου απαντώνται μόνο ο Πρώτος Φλύσχος 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 μετακαλυματικές 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 (Καραλέμας, 2006).

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 Αιγίων βορείως του Γυθείου. Τα δύο πρώτα βυθίσματα οριοθετούνται δυτικά από το περιθωριακό ρήγμα του Ταυγέτου. 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 Ταυγέτου. 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 (Καραλέμας, 2006). Στο Χάρτη 3-4 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 (Αντωνάκος, 1997).



Χάρτης 3-4 Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Περιοχή Σκάλας. Η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω. 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. Η διάβρωση που προκάλεσε την καρστικοποίηση έλαβε χώρα πριν την απόθεση των νεογενών ιζημάτων.

Επάνω από τους ασβεστόλιθους, αναπτύσσονται αποθέσεις από νεογενείς σχηματισμούς, ως αποτέλεσμα της μεταφοράς και απόθεσης υλικών και των πλημμύρων 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 100 m. Αυτά τα στρώματα από γεωηλεκτρική 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 αδροκόκκων 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 μάργκες 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 μάργκες 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 (GWE, 1972).

3.3.2 Υδρογεωλογία

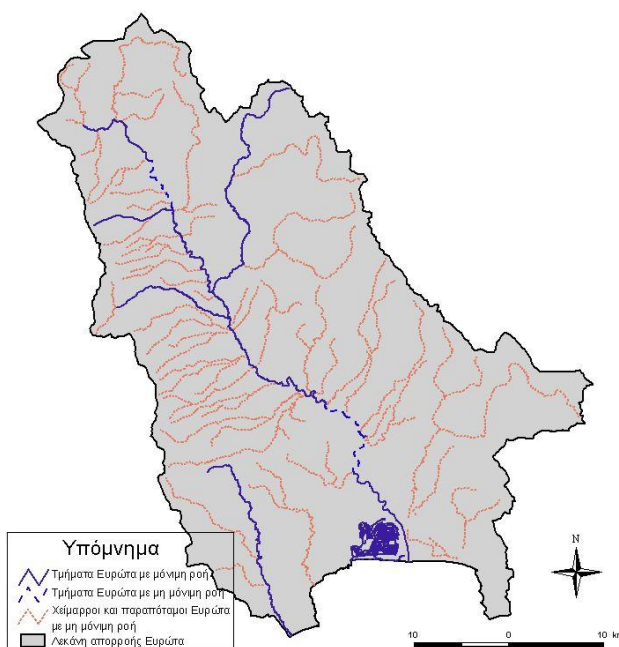
Η επιφανειακή αποστράγγιση της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα γίνεται μέσω τριών υδρολογικών συστημάτων:

Το υδρολογικό σύστημα του Ευρώτα, το οποίο αποστραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα του ανατολικού Ταΰγετου και του δυτικού Πάρνωννα. Το συγκεκριμένο σύστημα ξεκινά από την Αρκαδία και καταλήγει στο Λακωνικό Κόλπο. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, ότι βόρεια της Σκάλας στην γέφυρα του Βρονταμά, ο ποταμός Ευρώτας εισέρχεται σε έναν μεγάλο καρστικό ασβεστολιθικό όγκο, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, ο οποίος φθάνει μέχρι το σημείο μετά την γέφυρα της Σκάλας. 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 ιζήμα 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 ασβεστόλιθους 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 (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).



Χάρτης 3-5 Τμήματα και παραπόταμοι του Ευρώτα που δε διατηρούν μόνιμη ροή.

Ο σημαντικότερος παραπόταμος του ποταμού Ευρώτα είναι ο ποταμός Οινούντας ή Κελεφίνα (Εικόνες 3-5 και 3-6) ο οποίος βρίσκεται βορειοανατολικά της Σπάρτης και πηγάζει από την οροσειρά του Πάρνωννα. Η λεκάνη απορροής του αποτελεί μεγάλο μέρος της λεκάνης απορροής του Ευρώτα. Παλιότερα είχε ροή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Σήμερα όμως εξαιτίας της άντλησης των νερών του για άρδευση, το κατώτερο τμήμα του καθώς και τμήματα κατά μήκος του ξεραίνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.



Εικόνα 3-5 Τμήμα του παραπόταμου Οινούντα



Εικόνα 3-6 Οινούντας ή Κελεφίνα κάτω από τη γέφυρα που οδηγεί στον οικισμό Βρέσθενα



Εικόνα 3-7 Βαθύρρεμα, πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα.



Εικόνα 3-8 Μαγουλίτσα, στον οικισμό της Μαγούλας.



Εικόνα 3-9 Ρασίνα, στην περιοχή του Λευκοχώματος.



Εικόνα 3-10 Η κοιλάδα που διασχίζει το Μαριόρεμα.

Άλλος σημαντικός παραπόταμος είναι η Μαγουλίτσα (Εικόνα 3-8). Η Μαγουλίτσα είναι ένα μικρό σε μήκος ρέμα αλλά με σημαντική παροχή. Βρίσκεται βορειοδυτικά της Σπάρτης, από τη μεριά του Ταΰγετου, και ρέει σχεδόν παράλληλα στο δρόμο Καλαμάτας - Σπάρτης. Τροφοδοτείται από σημαντικές πηγές όπως αυτή της Τρύπης. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το κατώτερο τμήμα του ξηραίνεται εξαιτίας των αντλήσεων των νερών του ρέματος αλλά και των πηγών για άρδευση και ύδρευση της Σπάρτης. Η Μαγουλίτσα ενώνεται με τον Ευρώτα στα όρια του οικισμού Μαγούλα με τη Σπάρτη. Σημαντικά επίσης ρέματα, τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της Σπάρτης είναι ο Γερακάρης, η Κάκαρη και η Ρασίνα (Εικόνα 3-9) τα οποία διατηρούν ροή στα υψηλότερα τμήματά τους, το νερό όμως αυτό δε φτάνει στον Ευρώτα κατά τους ξηρούς μήνες εξαιτίας των αντλήσεων.

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής του Ευρώτα οι κυριότεροι παραπόταμοι είναι ο ποταμός Κάστωρ και το Βαθύρρεμα ή διαφορετικά Βρυσιώτικο ρέμα (Εικόνα 3-7) 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 (Εικόνα 3-10). Το Μαριόρεμα συναντά τον Ευρώτα κοντά στις εκβολές του Ευρώτα νότια του Πάρνωννα. Έχει μόνο πλημμυρικές παροχές. Το 2005 μάλιστα πλημμύρισε προκαλώντας μεγάλες καταστροφές. Ο ποταμός Βαρδούνιας πηγάζει από το νότιο τμήμα του Ταΰγετου, 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. Τα τμήματα και οι παραπόταμοι του Ευρώτα που διατηρούν ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους φαίνονται στο Χάρτη 3-5.

Για τη γεωργική εκμετάλλευση των βαλτωδών και ημιβαλτωδών εκτάσεων στην πεδιάδα της Σκάλας, έχουν κατασκευαστεί αποστραγγιστικές τάφροι και κανάλια. Οι αποστραγγιστικές τάφροι δεν επικοινωνούν με τον Ευρώτα, αλλά τα νερά τους συγκεντρώνονται σε αντλιοστάσιο στη Τρίνισα και διοχετεύονται στη θάλασσα. Το αντλιοστάσιο στην περιοχή της Τρίνισα και μια αποστραγγιστική τάφος φαίνονται στην Εικόνα 3-11.



Εικόνα 3-11 (α) Αποστραγγιστική τάφος στην περιοχή της Σκάλας (β) Το αποστραγγιστικό αντλιοστάσιο στην Τρίνισα

Η πλησιέστερη προς τον Ευρώτα τάφος είναι η Τάφος Ω ή Βασιλοπόταμος. Δέχεται νερά από τις πηγές της Σκάλας, από τις οποίες τροφοδοτείται και το κατώτερο τμήμα του Ευρώτα. Συνεπώς, η τάφος Ω διατηρεί κάποια επικοινωνία με τον Ευρώτα. Έχει αρκετό βάθος (σε ορισμένα σημεία μεγαλύτερο από τρία μέτρα) και πλούσια υφυδατική και υδροχαρή βλάστηση. Έχει νερό όλο το χρόνο, αλλά σε ορισμένες περιόδους το νερό είναι στάσιμο. Η δεύτερη τάφος, η τάφος Π, βρίσκεται κοντά στο Σούλιο. Διατηρεί αρκετό νερό με μικρότερη, όμως, ροή.

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 (Καραλέμας, 2006):

- 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 $1 \cdot 10^{-4}$ έως και $6 \cdot 10^{-4}$ 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 (Αντωνάκος, 1997).

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 μαργαίκα 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 υδροφόρας δεν έχει τόσο μεγάλα αποθέματα νερού. Ακόμη, η μεταβιβασιμότητα T , όπως επίσης και η αποθηκευτική ικανότητα είναι τόσο μικρή που δεν είναι δυνατή η μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευσή του.

Από την άλλη πλευρά ο αρτεσιανός υδροφόρας 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 υδροφόρα (GWE, 1972).

Πηγές

Οι καρστικοί υδροφορείς και οι καρστικές πηγές οι 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) (Καραλέμας, 2006). Καρστικοί σχηματισμοί μπορούν να βρεθούν οπουδήποτε και ιδιαίτερα κατά μήκος τεκτονικών δομών και ρηγμάτων.



Εικόνα 3-12 Οι πρόποδες του Ταΰγετου, έτσι όπως φαίνεται από την πόλη της Σπάρτης.

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 (Εικόνα 3-12), 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 3-1 δίνονται οι κυριότερες πηγές της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, ο μηχανισμός λειτουργίας τους και άλλα χαρακτηριστικά.

Πίνακας 3-1 Οι κυριότερες πηγές που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, οι μηχανισμοί λειτουργίας τους και τα χαρακτηριστικά τους (Νικολαΐδης κ.α., 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	Υδρευση - Άρδευση
Σκάλας	Σκάλα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης		7393	64.76	31	Υδρευση - Άρδευση
Αγ.Μαρίνα	Άρνα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	475			9	Υδρευση - Άρδευση
Αγ.Μαμά	Καστόριο	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	133			11	Υδρευση - Άρδευση
Κρίσα	Φοινίκι	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					
Πελλάνα	Πελλάνα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					Υδρευση - Άρδευση
Ζορός	Κονιδίτσα	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης					Υδρευση - 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	Υδρευση - Άρδευση
Τρύπης	Τρύπη	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	>150			9	Υδρευση - Άρδευση
Παρορείου	Παρόρειο	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	108			7	Υδρευση - Άρδευση
Σωτήρος	Ανώγεια	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	707			6	Υδρευση - Άρδευση

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 καρστικό 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.

3.4 Υδρολογία - Κλίμα

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 °C ενώ η θερμοβαθμίδα για την ευρύτερη περιοχή έχει προσδιοριστεί σε -0,510 °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 Thornthwaite έχει καθοριστεί για την περιοχή σε 668 mm ισοδυνάμου ύψους βροχής (Καράμπελας κ.α., 1994).

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 καταναμεμημένες 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 163,5 m, του Βρονταμά, σε υψόμετρο 280 m, των Περιβολιών σε υψόμετρο 490 m, της Σελλασίας σε υψόμετρο 590 m, του Βασαρά σε υψόμετρο 646m και της Πετρίνας, τα οποία μας παρατέθηκαν από τη Νομαρχία Λακωνίας. Σε αρκετές μελέτες, οι οποίες παρατίθενται στη βιβλιογραφία έχει γίνει ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων. Επίσης έχει γίνει έλεγχος της αξιοπιστίας των χρονοσειρών της βροχόπτωσης των παραπάνω σταθμών. Το παραπάνω υλοποιήθηκε με τις εξής συσχετίσεις:

1. Έλεγχος Ομοιογένειας - Ανάλυση Διπλών Αθροιστικών Καμπύλων
2. Έλεγχος Σταθερότητας - Ανάλυση Μέσων Μηνιαίων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση και φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης (RMSE) τόσο για την Ανάλυση Διπλών Αθροιστικών Καμπύλων (Πίνακας 3-2), όσο και για την Ανάλυση Μέσων Μηνιαίων (Πίνακας 3-3). Όπως παρατηρείται οι σταθμοί παρουσιάζουν πολύ καλή ομοιογένεια (αν και το εύρος των στοιχείων είναι μικρό < 10 υδρολογικά έτη), ενώ η ανάλυση των μέσων μηνιαίων έδειξε κάποιες αδυναμίες στα δεδομένα (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

Πίνακας 3-2 Οι συντελεστές συσχέτισης (RMSE) για την Ανάλυση Διπλών Αθροιστικών Καμπύλων (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

	Έλος	Ριβιώτισσα	Βρονταμάς	Περιβόλια	Σελλασία	Βασαράς
Έλος	1					
Ριβιώτισσα	-	1				
Βρονταμάς	-	0,9947 0,9918*	1			
Περιβόλια	-	0,9874	-	1		
Σελλασία	-	0,9759	-	0,9521	1	
Βασαράς	0,9941*	0,9977	0,4401 0,5072*	0,9773	0,9681	1

* Ιουλιανό έτος

Πίνακας 3-3 Οι συντελεστές συσχέτισης (RMSE) για την Ανάλυση Μέσων Μηνιαίων (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

	Έλος	Ριβιώτισσα	Βρονταμάς	Περιβόλια	Σελλασία	Βασαράς
Έλος	1					
Ριβιώτισσα	0,8539	1				
Βρονταμάς	0,9829	0,7846	1			
Περιβόλια	-	0,6074		1		
Σελλασία	-	0,825		0,4324	1	
Βασαράς	-	0,8833	0,8833	0,7536	0,6786	1

3.5 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.

3.5.1 Σημειακές Πιέσεις

Γενικά στις σημειακές πιέσεις συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις από αστικά υγρά απόβλητα, απόβλητα από τη βιομηχανία, τη μεταλλουργία, διαρροές από ρυπασμένα εδάφη, εκροές μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και πιέσεις

που προέρχονται από ιχθυοτροφεία. Οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι πιέσεις από αστικά υγρά απόβλητα και από απόβλητα που προέρχονται από μικρές βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν στην περιοχή και συμπεριλαμβάνουν χυμοποιία, ένα εργοστάσιο παραγωγής αλλαντικών και ελαιουργία.

Αστικά υγρά απόβλητα

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα βρίσκονται μέσα στα όρια του νομού Λακωνίας, 95 δημοτικά διαμερίσματα, των οποίων ο συνολικός πραγματικός πληθυσμός, σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, είναι 63177 κάτοικοι.

Σε ολόκληρη την λεκάνη απορροής λειτουργεί μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η μονάδα αυτή βρίσκεται στο δήμο Σπάρτης. 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 40000 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. Είναι ένα τυπικό σύστημα A^2/O , το οποίο επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης 17%. Οι επεξεργασμένες εκροές από τη μονάδα, μετά την απολύμανσή τους με χλωρίωση, διατίθενται στον ποταμό Ευρώτα. Στην Εικόνα 3-13 φαίνονται εγκαταστάσεις στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης. Τώρα η μονάδα εξυπηρετεί 21300 ι.κ. και λειτουργεί με ημερήσιο οργανικό φορτίο 1152 kg BOD₅ (ΔΕΥΑ Σπάρτης). Σύμφωνα με τη ΔΕΥΑ Σπάρτης οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην εκροή της εγκατάστασης είναι:

BOD₅ = 6- 14 mg/L

COD = 12-43 mg/L

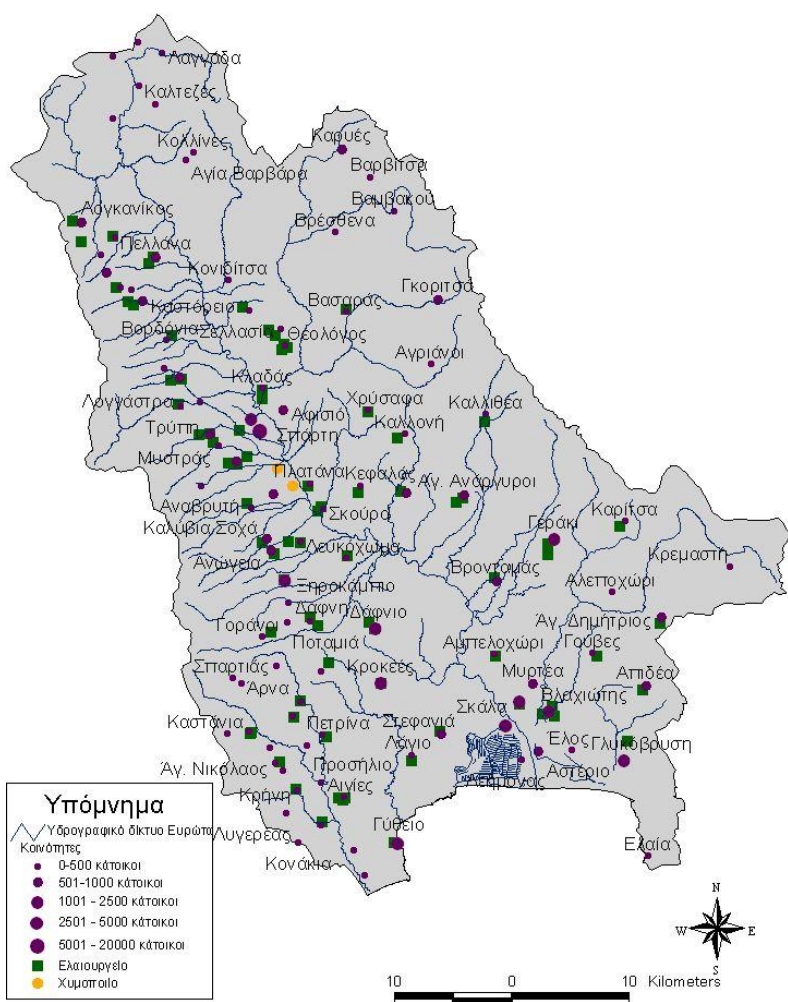
N-NH₃ = 1,5 - 1,8 mg/L

N-NO₃⁻ = 1,4 - 4,3 mg/L

Ολικό P = 2,6 - 4,2 mg/L.



Εικόνα 3-13 Εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης.



Χάρτης 3-6 Οι κυριότερες σημειακές πηγές ρύπανσης της λεκάνης απορροής του Ευρώτα.

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.

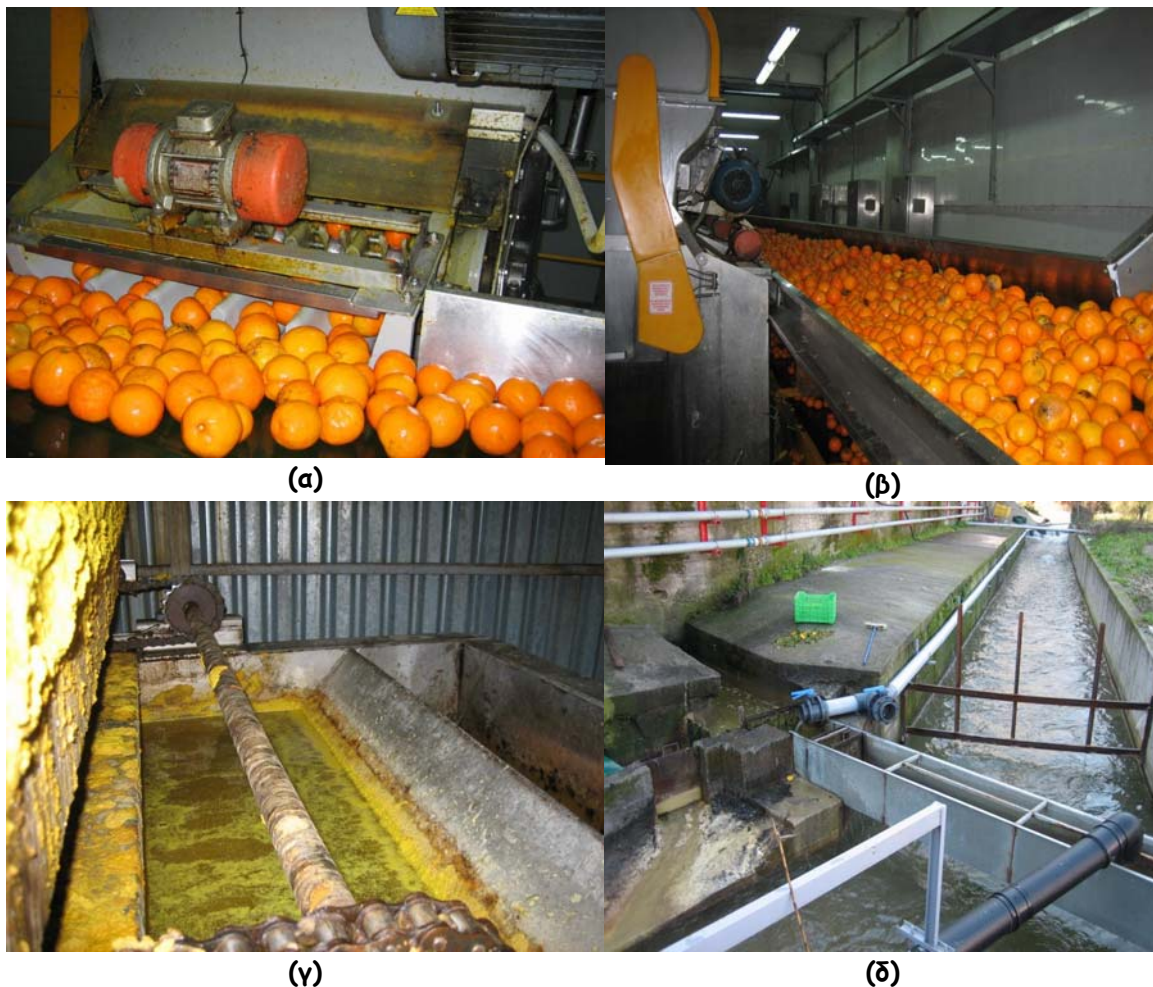
Σε ένα μεγάλο μέρος των οικισμών της περιοχής μελέτης, δεν υπάρχουν αποχετευτικά δίκτυα, ούτε υπάρχει προοπτική κατασκευής τους στο μέλλον εξαιτίας του μικρού πληθυσμού τους και του γεγονότος ότι βρίσκονται σε απομονωμένες ορεινές περιοχές. Οι οικισμοί αυτοί εξυπηρετούνται από βόθρους και σηπτικές δεξαμενές οι οποίες πολλές φορές είναι πρόχειρα κατασκευασμένες, χωρίς να ακολουθούνται οι απαραίτητες προδιαγραφές. Τα βοθρολύματα περιέχουν υψηλότερα ποσοστά σε ρυπαντικό φορτίο από ότι τα λύματα από το αποχετευτικό δίκτυο. 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. Στο Χάρτη 3-6 φαίνονται τα δημοτικά διαμερίσματα που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης απορροής του Ευρώτα. Επίσης φαίνονται και οι κυριότερες σημειακές βιομηχανικές πηγές (ελαιουργεία και χυμοποιία).

Βιομηχανικά απόβλητα

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά 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 m³/h (MEDSPA, 1993). Το χυμοποιίο «Λακωνία» διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και 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.

Κατά τη δειγματοληψία, όμως, που πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο 2007, διαπιστώθηκε ότι η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του χυμοποιείου δεν λειτουργούσε. Τμήματα της διαδικασίας παραγωγής του χυμού πορτοκαλιών και δεξαμενές της μονάδας επεξεργασίας φαίνονται στην Εικόνα 3-14.



Εικόνα 3-14 (α),(β) Γραμμή παραγωγής χυμού πορτοκαλιών (γ),(δ) Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων συνεταιριστικού χυμοποιείου.

Χυμοποιείο «Παπαδημητρακόπουλος» - Το χυμοποιείο βρίσκεται 3 Km νότια της Σπάρτης και έχει δυνατότητα παραγωγής 15 τόνους/h χυμό πορτοκαλιού. Ο όγκος των υγρών που παράγεται από το χυμοποιείο αυτό είναι 78 m³/h από τα οποία μόνο τα 2,5 m³/h περιέχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (MEDPSA, 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 (Εικόνα 3-15 και 3-16). Η ρύπανση από τα απόβλητα αυτά φτάνει ως και την περιοχή της Σκούρας και του Βρονταμά (Εικόνα 3-17).



Εικόνα 3-15 Αγωγός που ρίχνει ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα χυμοποιίου σε παραπόταμο του Ευρώτα.



Εικόνα 3-16 Παραπόταμος του Ευρώτα στην περιοχή της Αγίας Κυριακής που φαίνεται καθαρά η ρύπανση από υγρά απόβλητα χυμοποιίου.



Εικόνα 3-17 Ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας. Φαίνεται καθαρά η ρύπανση από υγρά απόβλητα χυμοποιίου (www.evrotas.gr).



Εικόνα 3-18 Χωράφι όπου αφήνονται στερεά απόβλητα χυμοποιίου.

Εργοστάσιο αλλαντικών «ΝΙΚΑΣ» - Το εργοστάσιο αλλαντικών «ΝΙΚΑΣ» βρίσκεται 4 km νότια της Σπάρτης και παράγει 900 τόνους το χρόνο αλλαντικά και προϊόντα κρέατος. Το εργοστάσιο διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Σφαγεία - Στην περιοχή της Σπάρτης λειτουργούν τα σφαγεία Τσικιάκης 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 (MEDPSA, 1993). 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.

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 Κεφαλός 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.

Τυροκομεία - Στην περιοχή του δήμου της Σπάρτης λειτουργούν δυο τυροκομεία Τ «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.

Ελαιουργεία - Η καλλιέργεια της ελιάς είναι μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες στο νομό Λακωνίας και η παραγωγή ελαιολάδου είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της οικονομίας. 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. Αρκετά από τα ελαιουργεία διαθέτουν τα απόβλητα τους ανεπεξέργαστα σε ρέματα και χείμαρρους (Εικόνα 3-19) ή και κατευθείαν στον ποταμό Ευρώτα δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του ποταμού, των παρόχθιων περιοχών (Εικόνες 3-21 και 3-22) και του υπόγειου υδροφορέα. Συνηθισμένη επίσης πρακτική είναι η αποθήκευση των αποβλήτων αυτών σε δεξαμενές (Εικόνα 3-20). Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων έχουν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, στερεών, αζώτου και φωσφόρου. Επίσης μπορεί να είναι τοξικά για μερικούς οργανισμούς, εξαιτίας του υψηλού περιεχομένου τους σε φαινόλες και του χαμηλού pH.



Εικόνα 3-19 Χείμαρρος που ρίχνονται ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα ελαιουργείου.



Εικόνα 3-20 Δεξαμενή εξάτμισης για υγρά απόβλητα ελαιουργείου.



Εικόνα 3-21 Ρύπανση παρόχθιας περιοχής από οργανικό υλικό.



Εικόνα 3-22 Ρύπανση ιζημάτων του Ευρώτα. Φαίνεται τι μαύρο χρώμα των αποβλήτων ελαιουργείου.

Άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες - Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται επίσης και άλλες βιοτεχνίες, όπως πυρηνελασιουργεία, βιοτεχνίες τυποποίησης ελαιολάδου, 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.

3.5.2 Μη σημειακές πηγές ρύπανσης

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. Στην Εικόνα 3-23 φαίνεται η πεδιάδα της Σπάρτης και οι καλλιέργειες σε αυτή. Επίσης στην εικόνα 3-25 φαίνονται κτηνοτροφικές δραστηριότητες λίγα μέτρα πριν από τις όχθες του Βαθυρρέματος. Για μια σωστή εκτίμηση λοιπόν των μη σημειακών πιέσεων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, είναι απαραίτητη η γνώση των χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 3-1) παρουσιάζονται οι χρήσεις γης για τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα. Όπως φαίνεται από αυτό το ποσοστό καλλιεργήσιμης γης στην περιοχή ανέρχεται στο 37,85% που αντιστοιχεί σε συνολική επιφάνεια 912,2 km². Οι χρήσεις γης, όπως κατανέμονται στη λεκάνη απορροής φαίνονται στο Χάρτη 3-7.



Διάγραμμα 3-1 Οι χρήσεις γης για τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα.

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 (MEDPSA, 1993).

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 ελευθέρως 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.



Εικόνα 3-23 Η πεδιάδα της Σπάρτης.



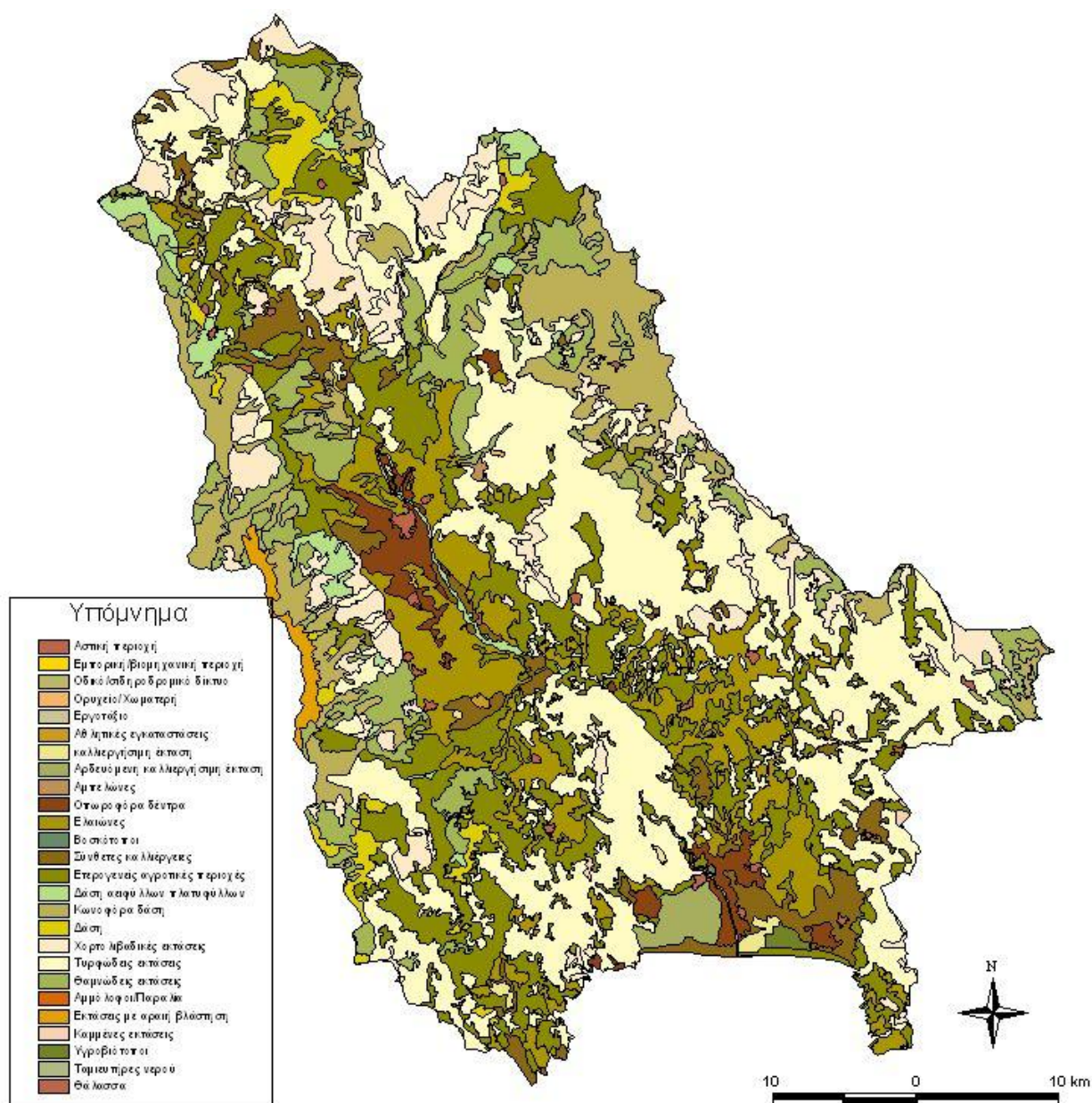
Εικόνα 3-24 Οικοδομικά υλικά και σκουπίδια στις όχθες του Ευρώτα.



Εικόνα 3-25 Κτηνοτροφικές δραστηριότητες λίγα μέτρα πριν τις όχθες του Βαθυρρέματος.

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. Στην εικόνα 3-24 φαίνεται ανεξέλεγκτη εναπόθεση σκουπιδιών και οικοδομικών υλικών στις όχθες του ποταμού Ευρώτα.



Χάρτης 3-7 Χρήσεις γης στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα (CORINE).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Μεθοδολογία

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή, σε προκαταρκτικό στάδιο, της τεχνολογίας Ε.Φ.Α. στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Για το σχεδιασμό εφαρμογής της Ε.Φ.Α. για ολόκληρη την λεκάνη απορροής ακολουθούνται οι κατευθυντήριες γραμμές που δίνονται από την ΕΡΑ και παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.1. Το πλαίσιο εργασίας περιλαμβάνει αξιολόγηση υπαρχόντων δεδομένων για την ποιότητα των υδάτων του ποταμού Ευρώτα, δημιουργία του θεμελιώδους μοντέλου της περιοχής, εύρεση αρχικών ενδείξεων για τη φυσική αποκατάσταση, δειγματοληψίες και διεξαγωγή πειραμάτων για τον υπολογισμό της ικανότητας αποκατάστασης και μοντελοποίησης και τέλος παρακολούθηση (Hellerich *et al*, 2004).

Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. θα γίνει σε τρία στάδια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006). Το πρώτο στάδιο αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας:

- Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής θα αποδειχτεί με μετρήσεις πεδίου και με δεδομένα από τη βιβλιογραφία ότι οι ρύποι μειώνονται στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης. Το πρώτο αυτό περιλαμβάνει τη διεξαγωγή 4 δειγματοληψίες, τρεις από τις οποίες έχουν ήδη γίνει (Μάιο, Σεπτέμβριο 2006 και Ιανουάριο 2007) και η τέταρτη θα πραγματοποιηθεί. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στο εργαστήριο είναι COD, θρεπτικά, και ολικές φαινόλες. 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 (field evidence).
- Στο δεύτερο στάδιο της 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. Τα φυτοφάρμακα και οι οργανικές ουσίες μπορούν να προσροφηθούν στα ιζήματα και εδάφη καθώς και να βιοαποδομηθούν από τους μικροοργανισμούς. Οι 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. Δείγματα ιζημάτων θα παρθούν από τη λεκάνη απορροής κατά την διάρκεια της διόρυξης των γεωτρήσεων καθώς και επιφανειακά και παρόχθια ιζήματα, ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος. Κάθε δείγμα θα αναλυθεί για τις 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 (lab evidence).

- Στο τρίτο στάδιο της επίδειξης θα προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας Ε.Φ.Α.. Αυτό θα γίνει με τη χρήση του μοντέλου λεκάνης απορροής HSPF.

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί το πρώτο από τα τρία στάδια εφαρμογής της τεχνολογίας της Ε.Φ.Α. για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Αρχικά αναλύθηκαν δεδομένα του ποταμού Ευρώτα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία και δεδομένα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών του. Θα παρουσιαστεί επίσης η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής, για τη βέλτιστη επιλογή των θέσεων του δικτύου δειγματοληψίας. Επίσης πραγματοποιήθηκαν τρεις δειγματοληψίες, των οποίων τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν. Τέλος προσομοιώθηκαν οι εκπομπές των θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου) με το μοντέλο εκροών MONERIS. Γενικότερα τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι:

1. Ανάλυση δεδομένων από τη βιβλιογραφία - ιστορικών δεδομένων, τα οποία δίνουν τις πρώτες ενδείξεις για τη μείωση των ρύπων στην περιοχή μελέτης.

2. Δημιουργία δικτύου θέσεων δειγματοληψίας και παρουσίαση αποτελεσμάτων των τριών δειγματοληψιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής.
3. Μοντελοποίηση. Προσομοίωση της μεταφοράς των φορτίων των θρεπτικών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

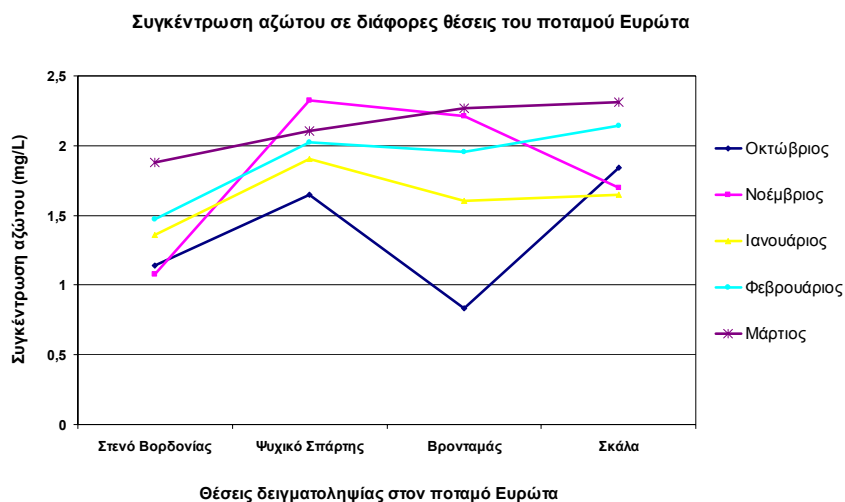
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Αρχικές Ενδείξεις Ύπαρξης Φυσικής Αποκατάστασης

5.1 Δεδομένα παρακολούθησης του ποταμού Ευρώτα

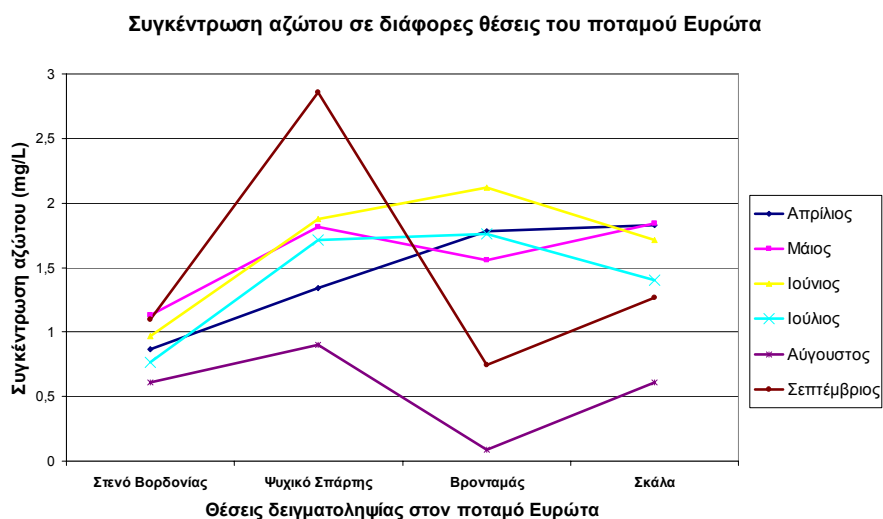
Η χημεία της λεκάνης απορροής του Ευρώτα παρακολουθείται σήμερα συστηματικά από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λακωνίας. Τα σημεία του ποταμού Ευρώτα που παρακολουθούνται συστηματικά βρίσκονται στις ακόλουθες τοποθεσίες: 1) στο στενό Βορδονίας, που βρίσκεται στο βορειοδυτικό 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, κοντά στις εκβολές του Ευρώτα. Επίσης, μετρήσεις πραγματοποιούνται στην αποστραγγιστική τάφρο Ωμέγα, στο αποστραγγιστικό αντλιοστάσιο και 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 συγκεντρώσεις του αζώτου που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5-1 και 5-2. Οι συγκεντρώσεις του αζώτου προέκυψαν από το μέσο όρο των μηνιαίων τιμών των NO_3^- για τα έτη 2003-2005. Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι στην περιοχή της Βορδονίας οι συγκεντρώσεις του αζώτου είναι μικρές, γεγονός αναμενόμενο αφού η περιοχή αυτή βρίσκεται κοντά στις πηγές του Ευρώτα, 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 Σπάρτης 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, κατά τους περισσότερους μήνες, γεγονός το οποίο δείχνει ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι συγκρατούν το άζωτο και αυτό αποτελεί μια πρώτη ένδειξη φυσικής αποκατάστασης στην περιοχή. Μείωση δεν παρατηρείται κατά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Ιούνιο και Ιούλιο, πιθανότατα εξαιτίας της αυξημένης γεωργικής δραστηριότητας την περίοδο αυτή. 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.



Διάγραμμα 5-1 Συγκέντρωση αζώτου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα, τους χειμερινούς μήνες, (στοιχεία από την ΥΕΒ Νομαρχίας Λακωνίας).



Διάγραμμα 5-2 Συγκέντρωση αζώτου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα, τους καλοκαιρινούς μήνες, (στοιχεία από την ΥΕΒ Νομαρχίας Λακωνίας).

Εκτός από την παρακολούθηση των νερών από τη νομαρχία Λακωνίας, για την περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα έχουν γίνει δυο μελέτες οι οποίες εκτός των άλλων μελέτησαν και τη χημεία των νερών του ποταμού. Οι μελέτες

αυτές είναι η μελέτη που έγινε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος MEDSPA και η μεταπτυχιακή εργασία του κ. Αντωνάκου Ανδρέα του πανεπιστημίου Πατρών με τίτλο «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες».

5.2 Ευρωπαϊκό πρόγραμμα MEDSPA 90

Στόχος του προγράμματος MEDSPA 90, του οποίου ανάδοχος ήταν η ΔΕΥΑ Σπάρτης, ήταν να συνταχθεί ένα περιβαλλοντικό σχέδιο διαχείρισης για την περιοχή μελέτης, το οποίο θα βοηθούσε τις τοπικές αρχές να χειριστούν κατάλληλα τα περιβαλλοντικά προβλήματα της περιοχής. Τίτλος του είναι: «Περιβαλλοντική προστασία και ανάπτυξη της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα και των βορείων ακτών του κόλπου της Λακωνίας».

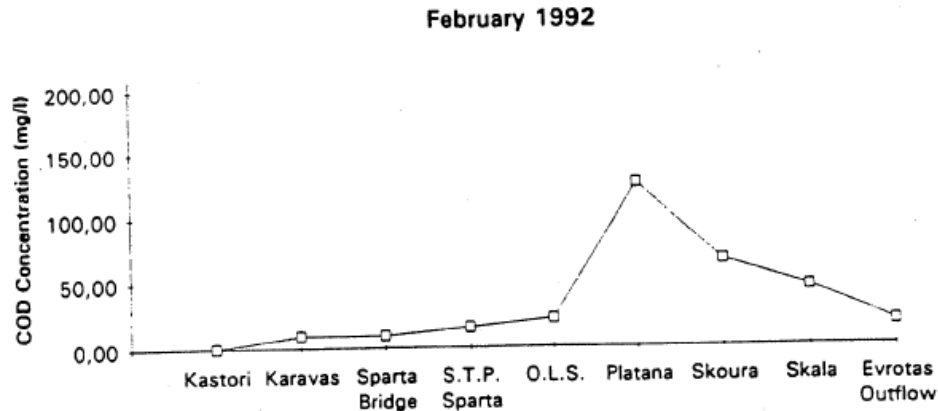
Για τη μελέτη των επιδράσεων της ρύπανσης στην ποιότητα των νερών του ποταμού Ευρώτα, στα πλαίσια του προγράμματος MEDSPA 90, σχεδιάστηκε ένα δίκτυο παρακολούθησης, με 10 σημεία δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού, από το χωριό Καστόριο, που βρίσκεται βόρεια, μέχρι και τις εκβολές του Ευρώτα. Η περίοδος 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 οξυγόνο με φορητό εξοπλισμό. Στο εργαστήριο δείγματα νερού αναλύθηκαν για BOD, COD, TSS, θολερότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θρεπτικά ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, ολικό άζωτο, ολικό φώσφορο) και φυτοπροστατευτικά. Τα φυτοπροστατευτικά μετρήθηκαν επίσης και σε δείγματα ιζημάτων.

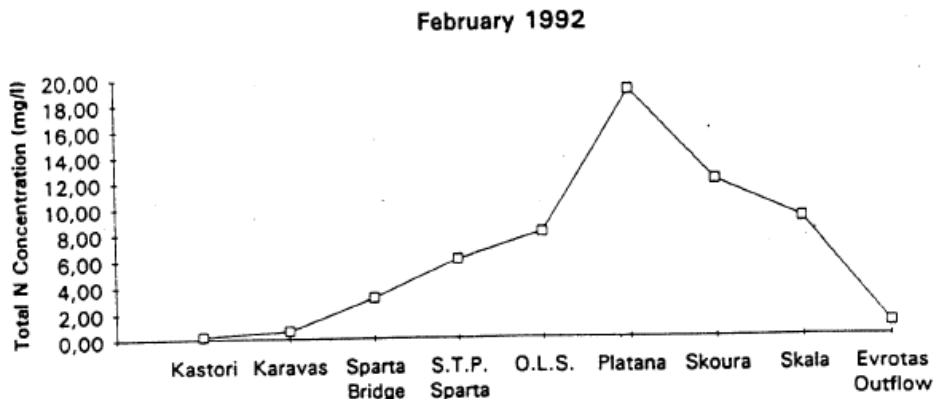
Στα διαγράμματα 5-3 έως 5-8 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το COD, το ολικό άζωτο και τον ολικό φώσφορο για το Φεβρουάριο του 2002 και τον Ιούλιο του 2002. Ο μήνας Φεβρουάριος χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα αφού λειτουργούν τα χυμοποιία και 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 επιβαρυνόμενες 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. Επομένως η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. για τα θρεπτικά στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα έχει νόημα.

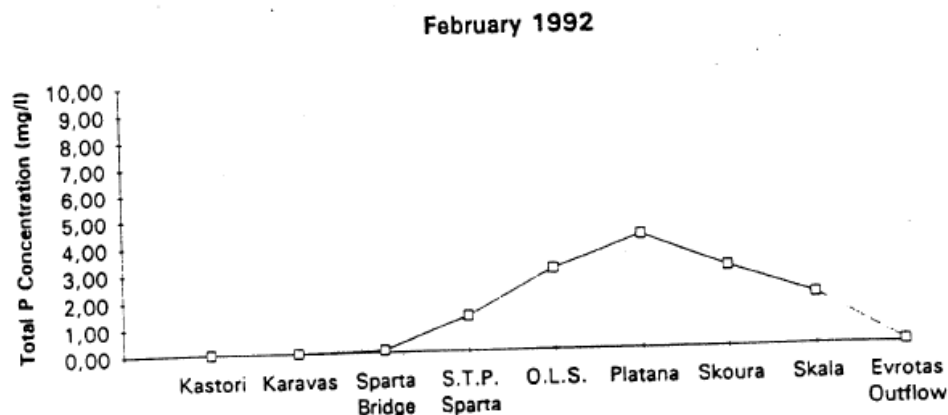
Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αυξημένης ζήτησης του νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, η ροή του ποταμού είναι ιδιαίτερα μειωμένη. Παρ' όλη τη μείωση της ροής παρατηρείται και κατά τον Ιούλιο σημαντική μείωση μέχρι την περιοχή της Σκούρας τόσο των 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 (MEDPSA, 1993).



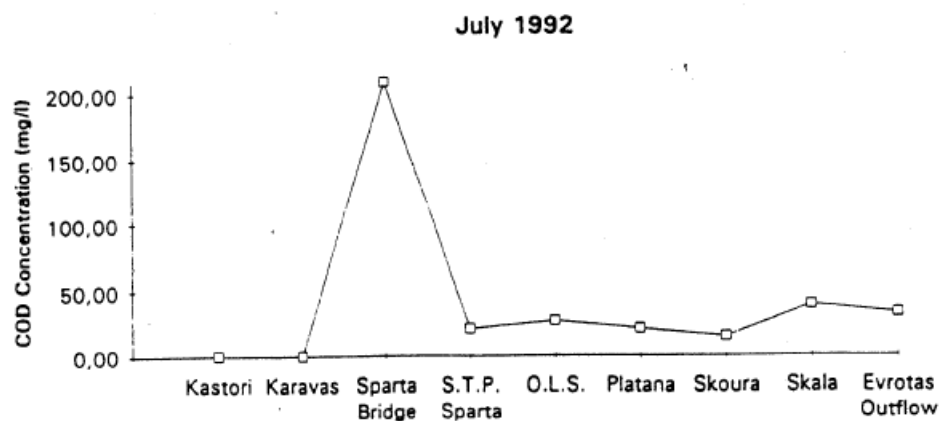
Διάγραμμα 5-3 Συγκέντρωση COD κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).



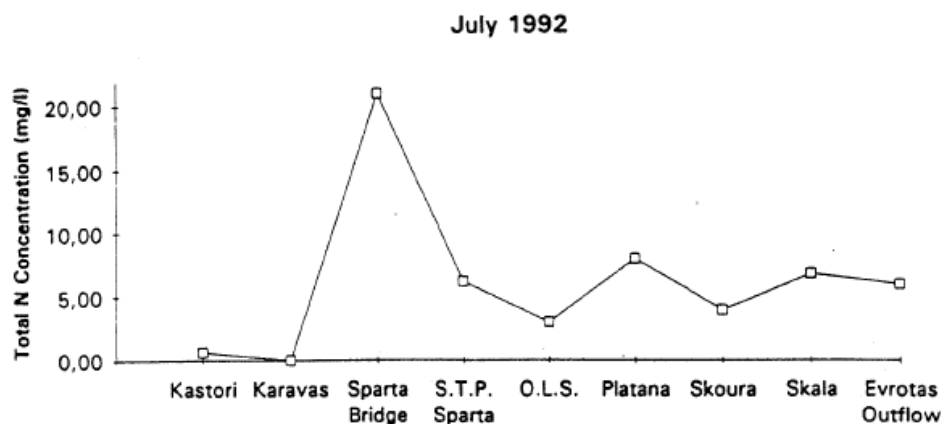
Διάγραμμα 5-4 Συγκέντρωση ολικού αζώτου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).



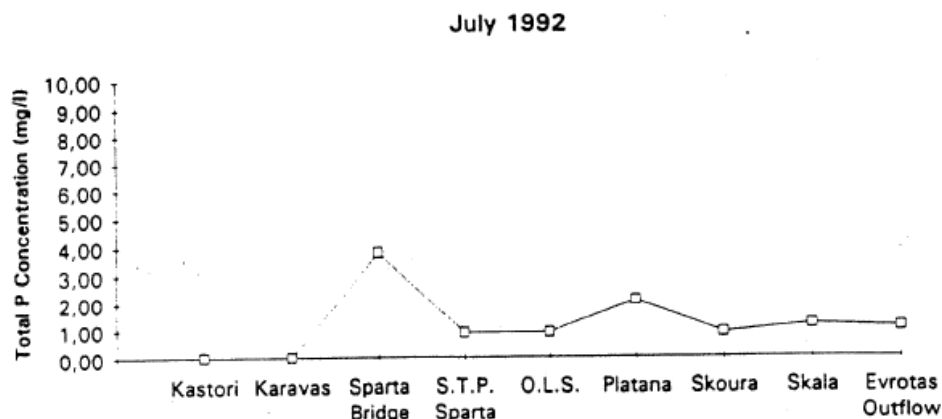
Διάγραμμα 5-5: Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).



Διάγραμμα 5-6 Συγκέντρωση COD κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).



Διάγραμμα 5-7 Συγκέντρωση ολικού αζώτου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).

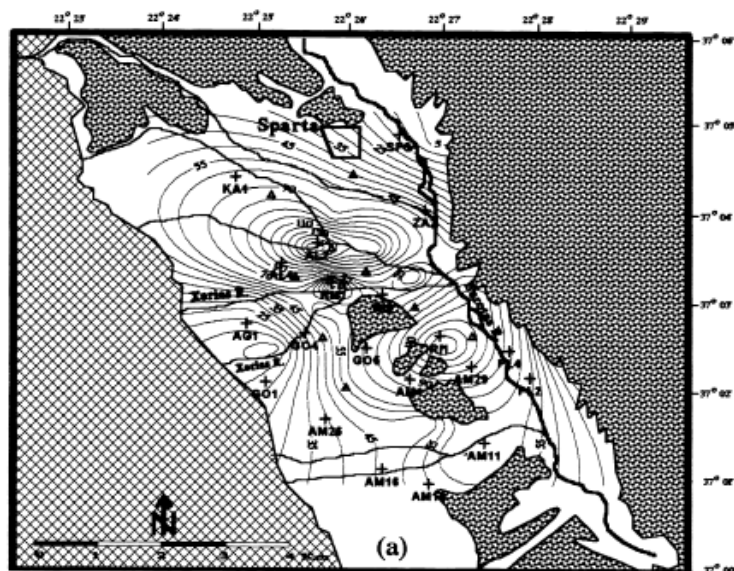


Διάγραμμα 5-8 Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα (MEDPSA, 1993).

5.3 Διπλωματική εργασία: «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες»

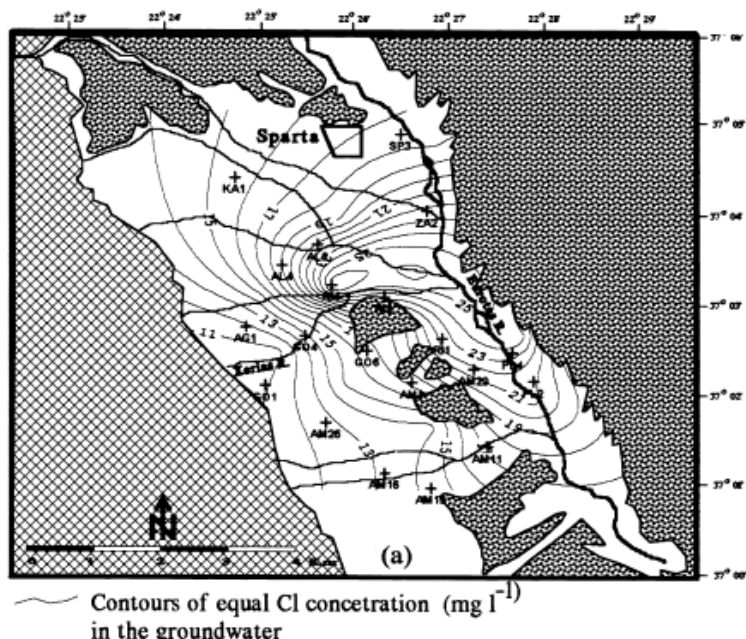
Η διπλωματική εργασία: «Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες» διεξάχθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης «Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον» του Πανεπιστημίου Πατρών, από τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Αντωνάκο Ανδρέα και με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Γ. Καλλέργη. 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. Στα πλαίσια της γεωλογικής μελέτης διεξάχθηκε επαλήθευση και συμπλήρωση της γεωλογικής χαρτογράφησης σε κλίμακα 1:50.000 και διερευνήθηκαν οι στρωματογραφικές σχέσεις των Πλιο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων με την βοήθεια λιθοστρωματογραφικών τομών από γεωτρήσεις της περιοχής. Επίσης έγιναν μετρήσεις της στάθμης του υδροφόρου και του πάχους της ακόρεστης ζώνης σε 125 σημεία, διαχωρισμός των σχηματισμών της περιοχής με υδρογεωλογικά κριτήρια, διαχωρισμός που αποτυπώθηκε με την μορφή υδρογεωλογικού χάρτη και τέλος έγινε ο προσδιορισμός υδραυλικών παραμέτρων. Τέλος έγινε δειγματοληψία και ανάλυση σε 20 δείγματα υπόγειου νερού από το βόρειο τμήμα της περιοχής και δειγματοληψία και ανάλυση εδαφικής υγρασίας από δύο τομές και τρία βάθη για την κάθε τομή, με την χρήση ειδικού δειγματολήπτη (Αντωνάκος, 1997).

Από τα συμπεράσματα της υδρογεωλογικής μελέτης προκύπτει, εκτός των άλλων, ότι η περιοχή της μελέτης αυτής χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας σειράς επάλληλων, ελεύθερων-ημιεγκλωβισμένων και υπό πίεση, υδροφόρων στρωμάτων καθώς και από την ύπαρξη καρστικού υδροφόρου. Επίσης ο ελεύθερος υδροφορέας φαίνεται να έχει μια θετική υδραυλική σχέση με τον ποταμό Ευρώτα στα κεντρικά και στα νότια της περιοχής, ενώ η σχέση αυτή δε φαίνεται να υπάρχει στο βόρειο τμήμα. Στο πλαίσιο της υδροχημικής έρευνας 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^{-2} , $\text{Fe}_{(\text{total})}$, SiO_2 , Mn^{++} , K^+ και Na^+ (Αντωνάκος, 1997). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των νιτρικών και των ιόντων χλωρίου της μελέτης παρουσιάζονται στους χάρτες 5-1 και 5-2.



Contours of equal nitrate concentration in the groundwater (mg l^{-1})

Χάρτης 5-1 Χάρτης ισο-συγκεντρωσιακών γραμμών των νιτρικών ιόντων στον υπόγειο υδροφορέα της περιοχής της Σπάρτης (Antonakos et al., 2000).



Χάρτης 5-2 Χάρτης ισο-συγκεντρωσιακών γραμμών των ιόντων χλωρίου στον υπόγειο υδροφόρα της περιοχής της Σπάρτης (Antonakos et al., 2000).

Τα συμπεράσματα της υδροχημικής μελέτης όπως ακριβώς δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό Water Research, Vol. 34, No. 16, pp.3977-3986, 2000 είναι: «Στον ελεύθερο υδροφορέα της Σπάρτης, η κύρια πηγή ρύπανσης από άζωτο του υπόγειου νερού είναι τα ανόργανα λιπάσματα και τα νιτρικά ιόντα. Τα νιτρικά ιόντα προκύπτουν από την οξείδωση της αμμωνίας που περιέχεται στα λιπάσματα αυτά. Αυτή η χημική διεργασία λαμβάνει χώρα σταδιακά και συνεχίζεται ακόμα και χρόνια μετά που θα σταματήσει η λίπανση του εδάφους. Οι ισχυρά οξειδωτικές συνθήκες, που δεν επιτρέπουν να λάβει χώρα στον υδροφορέα η διαδικασία της απονιτροποίησης, οφείλονται κυρίως στην παροχή, μέσω ανθρακικών σχηματισμών, μεγάλων ποσοτήτων οξυγονωμένων νερών και στην έλλειψη αναγωγικών συνθηκών. Οι ιδιότητες της ακόρεστης ζώνης (με μια λεπτή στρώση οργανικής ύλης) δεν επηρεάζουν την κίνηση των νιτρικών ιόντων τα οποία ακολουθούν την πορεία του υπόγειου νερού. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες σε σχέση με την κατανομή των νιτρικών ιόντων είναι πολύ σημαντική. Στην περίπτωση του υδροφορέα της Σπάρτης, όπου τα νιτρικά ιόντα συμπεριφέρονται σε συντηρητικό ρύπος, ο άξονας των μέγιστων συγκεντρώσεων τους, ακολουθεί τον άξονα όπου υπάρχει εισροή νερού στον υδροφορέα. Ζώνες με αυξημένες εισροές νερού στον υδροφορέα συμπίπτουν με

ζώνες με μειωμένες συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων εξαιτίας της διάλυσης.» (Antonakos *et al*, 2000).

Από τους χάρτες, όμως, των ισο-συγκεντρωσιακών γραμμών των ιόντων χλωρίου και των νιτρικών, που παρατίθενται παραπάνω και οι οποίοι έχουν προκύψει από τα αποτελέσματα της υδροχημικής μελέτης, μπορεί κανείς να παρατηρήσει 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 διάλυση τους από την εισροή 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.

5.4 Συμπεράσματα Κεφαλαίου

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. Αφού λοιπόν τα απαιτούμενα ιστορικά στοιχεία είναι διαθέσιμα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, η μελέτη για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο βήμα που είναι ο προσδιορισμός του δικτύου δειγματοληψίας και η συλλογή δεδομένων πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Αποτελέσματα δειγματοληψιών

6.1 Σχεδιασμός εφαρμογής της τεχνολογίας Ε.Φ.Α.

Στόχος του παρόντος τμήματος της εργασίας αυτής είναι να δοθούν οι κατευθυντήριες γραμμές και να δημιουργηθεί μια μεθοδολογία με βάση την οποία θα γίνει ο σχεδιασμός της εφαρμογής της Ε.Φ.Α. για ολόκληρη τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Μέχρι τώρα η τεχνολογία της Ε.Φ.Α. έχει εφαρμοστεί για την αποκατάσταση υπόγειων υδροφόρων σε μικρή κλίμακα, δηλαδή σε έκταση μερικών εκταρίων, όση δηλαδή είναι η έκταση ενός πλουμίου ρύπανσης που έχει δημιουργηθεί από μια βιομηχανία. Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. σε κλίμακα λεκάνης απορροής είναι μια διαδικασία πολύπλοκότερη εξαιτίας της μεγάλης έκτασης, της σύνθετης γεωλογίας και υδρολογίας και τις σύνθετες διεργασίες που καθορίζουν την τύχη των ρύπων σε μια ολόκληρη λεκάνη απορροής.

Ο σχεδιασμός για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. στη λεκάνη απορροής, πρέπει να είναι μια διαδικασία δυναμική. Ανά πάσα στιγμή μπορεί να γίνονται αλλαγές, ανάλογα με τις ενδείξεις που προκύπτουν κάθε φορά από τα στοιχεία του πεδίου, έτσι ώστε κάθε φορά οι στόχοι της Ε.Φ.Α. να είναι επιτεύξιμοι.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, στο πρώτο στάδιο εφαρμογής της Ε.Φ.Α. είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός θεμελιώδους μοντέλου και ο χαρακτηρισμός της περιοχής. Σκοπός της δημιουργίας του θεμελιώδους μοντέλου στην προκειμένη περίπτωση είναι ο καθορισμός, με βάση την υδρογεωλογία της περιοχής, του τρόπου με τον οποίο κινούνται οι ρύποι στο υπόγειο και επιφανειακό νερό. Αποδεικνύοντας ότι υπάρχει μείωση στη συγκέντρωση των ρύπων καθώς αυτοί απομακρύνονται από την πηγή ρύπανσης, ακολουθώντας την πορεία του νερού, υπόγειου ή επιφανειακού, αποδεικνύεται ότι υπάρχουν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης.

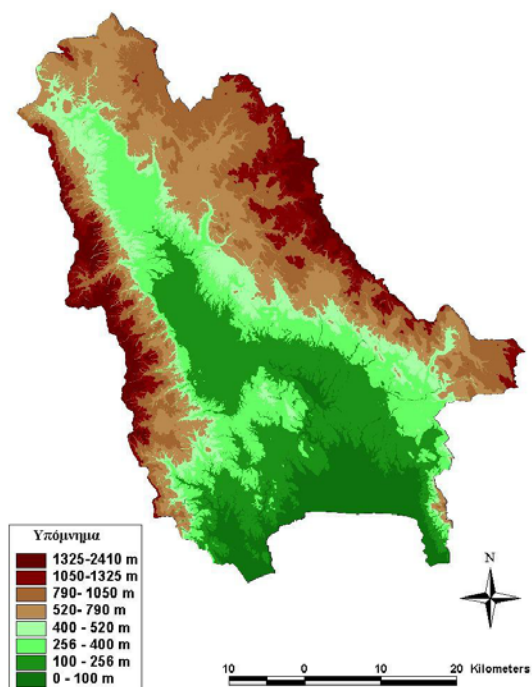
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι μια περιοχή κυρίως αγροτική, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Οι κύριες πιέσεις στην περιοχή προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και από μεταποιητικές μονάδες γεωργικών

προϊόντων. Οι κύριοι ρύποι, επομένως, που αναμένεται να επιβαρύνουν την περιοχή είναι τα θρεπτικά (άζωτο και φώσφορο), οργανική ύλη και φαινόλες που προέρχονται από τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Για τους ρύπους αυτούς θα γίνει ο σχεδιασμός της Ε.Φ.Α..

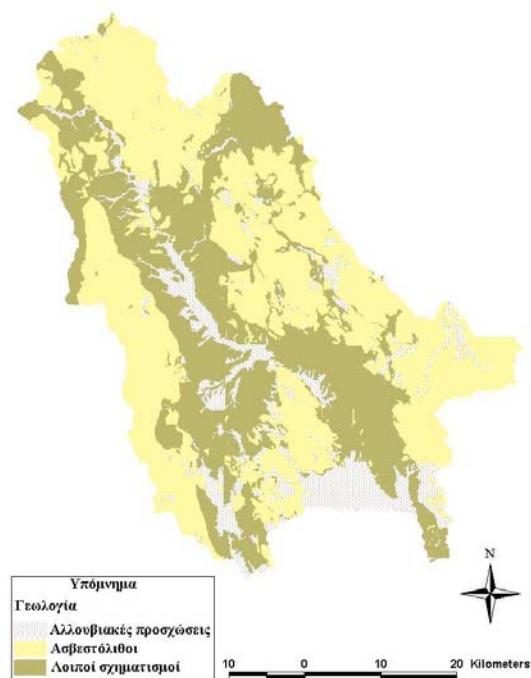
Με βάση την υδρογεωλογία της περιοχής, η οποία έχει περιγραφεί εκτενώς, τη γεωλογία, το ανάγλυφο, τις κλίσεις εδάφους και τις χρήσεις γης, η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα χωρίστηκε σε 7 υποπεριοχές. Για τον εύκολο διαχωρισμό των περιοχών δημιουργήθηκαν χάρτες στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ArcView GIS. Οι χάρτες αυτοί περιλαμβάνουν χάρτη του ανάγλυφου (Χάρτης 6-1), των κλίσεων εδάφους (Χάρτης 6-3), της γεωλογίας (Χάρτης 6-2) και των χρήσεων γης (Χάρτης 6-4). Στο χάρτη των κλίσεων εδάφους παρουσιάζονται οι κλίσεις της περιοχής στις κατηγορίες από 0-10%, 10-30% και 30-100%. Στο χάρτη της γεωλογίας έγινε κατηγοριοποίηση των σχηματισμών σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και αλλουβιακούς σχηματισμούς, ενώ οι υπόλοιποι σχηματισμοί αποτελούν την τρίτη κατηγορία. Η κατηγοριοποίηση αυτή έγινε γιατί οι ασβεστολιθικοί και αλλουβιακοί σχηματισμοί καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά ενός ρύπου στον υπόγειο υδροφόρο. Στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι στην περιοχή μελέτης είναι καρστικοποιημένοι, το νερό διηθείται γρήγορα μέσω των ανοιγμάτων και των οπών τους. Επομένως ακόμα και οι ρύποι μπορεί να φτάσουν βαθύτερα, στον υπόγειο υδροφόρο. Αντίθετα, οι αλλουβιακές προσχώσεις αποτελούν τους σχηματισμούς που βρίσκονται συνήθως στις κοιλάδες των ποταμών και σε αυτές λαμβάνουν χώρα οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ υπόγειου και επιφανειακού νερού.

Στο χάρτη των χρήσεων γης παρουσιάζονται οι εξής κατηγορίες: αγροτικές εκτάσεις, εκτάσεις φυσικής βλάστησης, αστικές περιοχές, υδάτινες επιφάνειες και υδροβιότοποι. Η κατηγοριοποίηση έγινε γιατί οι καλλιεργημένες περιοχές και οι αστικές είναι αυτές που συμβάλλουν στη ρύπανση της λεκάνης.

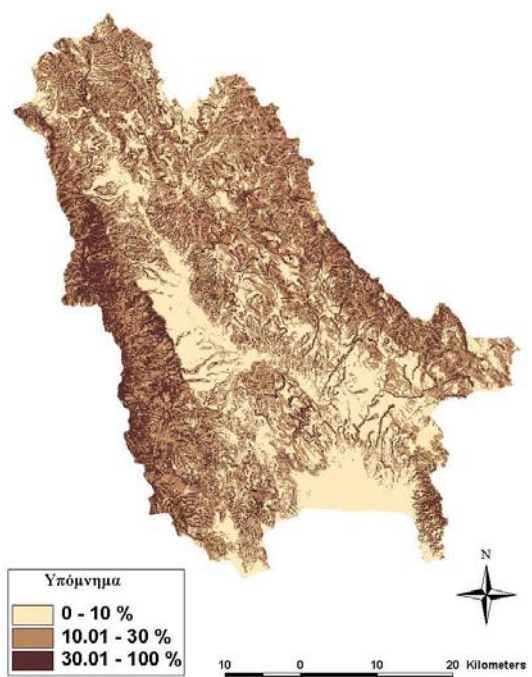
Οι υποπεριοχές στις οποίες τελικά χωρίστηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, και φαίνονται στο Χάρτη 6-6. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι για το διαχωρισμό εκλήφθηκε υπόψη ο Χάρτης 6-7 στον οποίο παρουσιάζονται οι σημειακές πηγές ρύπανσης. Όπως θα αναφερθεί παρακάτω, στις περιοχές με σημαντικές πηγές ρύπανσης δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα.



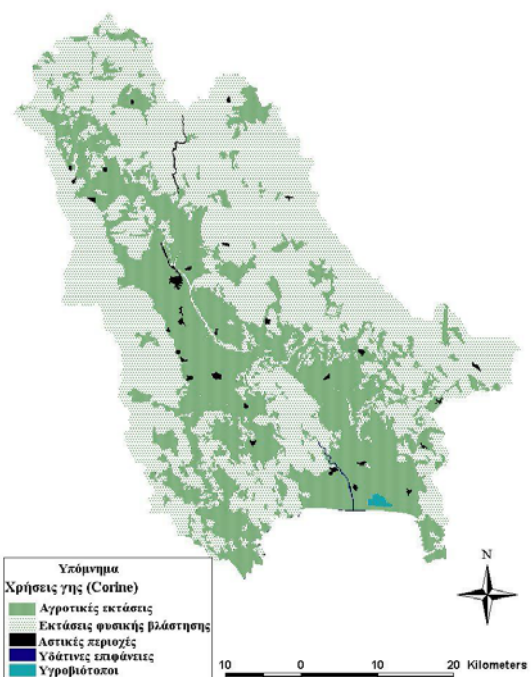
Χάρτης 6-1 Τοπογραφικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του Ευρώτα



Χάρτης 6-2 Γεωλογία της λεκάνης απορροής του Ευρώτα



Χάρτης 6-3 Κλίσεις εδάφους της λεκάνης απορροής του Ευρώτα



Χάρτης 6-4 Χρήσεις γης της λεκάνης απορροής του Ευρώτα

Η περιοχή 1 βρίσκεται βόρεια της λεκάνης απορροής και καλύπτει ένα τμήμα του Πάρνωνα. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία ασβεστολιθικών σχηματισμών, από μεγάλα υψόμετρα και κλίσεις εδάφους 10 - 30%. Όπως φαίνεται από το χάρτη 6-4, ο οποίος δημιουργήθηκε από τη βάση χρήσεων γης CORINE, η περιοχή αυτή είναι καλυμμένη με φυσική βλάστηση, λίγες καλλιέργειες και μικρούς οικισμούς, συνεπώς δε χαρακτηρίζεται από μεγάλες περιβαλλοντικές πιέσεις. Στην περιοχή αυτή το νερό κινείται υπόγεια μέσω των ασβεστολιθικών σχηματισμών.

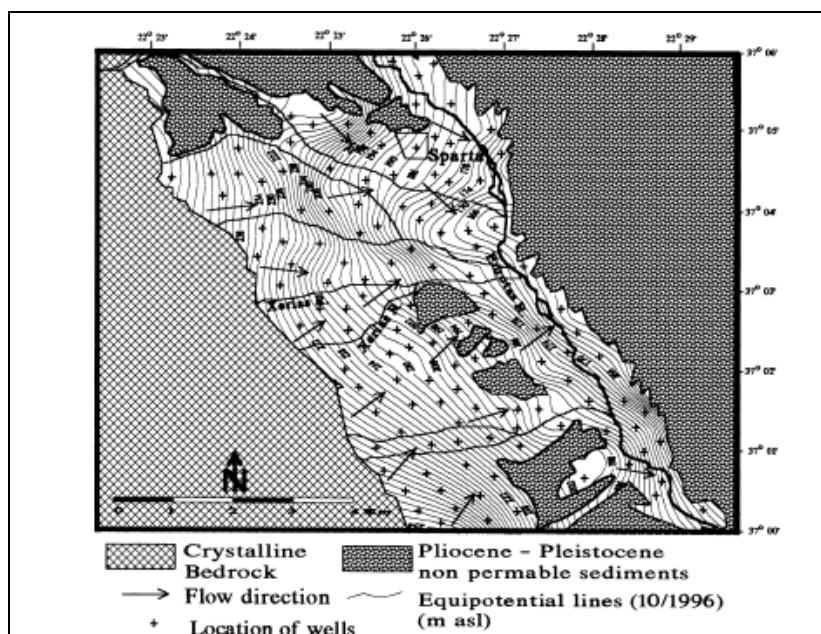
Η περιοχή 2 καλύπτει το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Ευρώτα. Στο δυτικό μέρος της περιοχής, από τη μεριά του Ταΰγετου, υπάρχουν ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, οι οποίοι τροφοδοτούν τις πηγές του Ευρώτα. Χαρακτηρίζεται από μεσαία υψόμετρα, εκτός από το δυτικό τμήμα της, και μεσαίες και μικρές κλίσεις εδάφους. Στην περιοχή υπάρχουν 9 οικισμοί. Η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία, με αποτέλεσμα οι περιβαλλοντικές πιέσεις να είναι μεγαλύτερες. 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.

Η λεκάνη απορροής του μεγαλύτερου παραπόταμου του Ευρώτα, του Οινούντα, αποτελεί την περιοχή 3. Η περιοχή 3 καλύπτεται κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Οι κύριες πιέσεις προέρχονται από την κτηνοτροφία, και τους λίγους οικισμούς. Μερικά τμήματα του Οινούντα διατηρούν ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η περιοχή 4 περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του Ταΰγετου που βρίσκεται στη λεκάνη απορροής. Χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα και κλίσεις. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής καλύπτεται από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, έντονα καρστικοποιημένους. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν συνήθως οπές και ανοίγματα, τα οποία γίνονται μεγαλύτερα με την πάροδο του χρόνου, εξαιτίας της γρήγορης διάβρωσης των βράχων. Ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού στα καρστικά είναι πολύ αποτελεσματικός, εξαιτίας της άμεσης διήθησης της βροχόπτωσης μέσω των ανοιγμάτων στα βράχια. 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 (Winter, 2000). Οι καρστικοί σχηματισμοί της περιοχής και η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στην παρούσα εργασία. 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 (Καραλέμας, 2006). Οι κυριότερες πηγές είναι αυτές της Τρύπης, του Σωτήρος, του Καταγιάννη κ.α. και τροφοδοτούν τα σημαντικά ρέματα που φτάνουν στον Ευρώτα, όπως η Μαγουλίτσα και η Κάκαρη.

Η περιοχή 5 χαρακτηρίζεται από χαμηλά υψόμετρα και μικρές κλίσεις και οι κύριοι σχηματισμοί είναι αλλουβιακές προσχώσεις. 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. 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 αυτό δε διακρίνεται στα βόρεια της περιοχής. Σύμφωνα με μελέτη στην περιοχή φαίνεται ότι ο υπόγειος υδροφορέας τροφοδοτείται από τα παραπλήσια καρστικά υδροφόρα συστήματα. Κατά μήκος της κοίτης του Ευρώτα οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας παρουσιάζονται υψηλές (Καραλέμας, 2006) Η κίνηση του υπόγειου νερού φαίνεται στο χάρτη 6-5. Η περιοχή αυτή είναι επίσης πολύ σημαντική από άποψη περιβαλλοντικών πιέσεων, αφού μέσα σε αυτή βρίσκεται ο δήμος της Σπάρτης και αρκετοί μεγάλοι οικισμοί, οι μεγαλύτερες βιοτεχνίες καθώς και πολλές καλλιέργειες. Οι ρύποι που προκύπτουν από τις δραστηριότητες στην περιοχή, αναμένεται να ακολουθούν την πορεία του υπόγειου νερού.



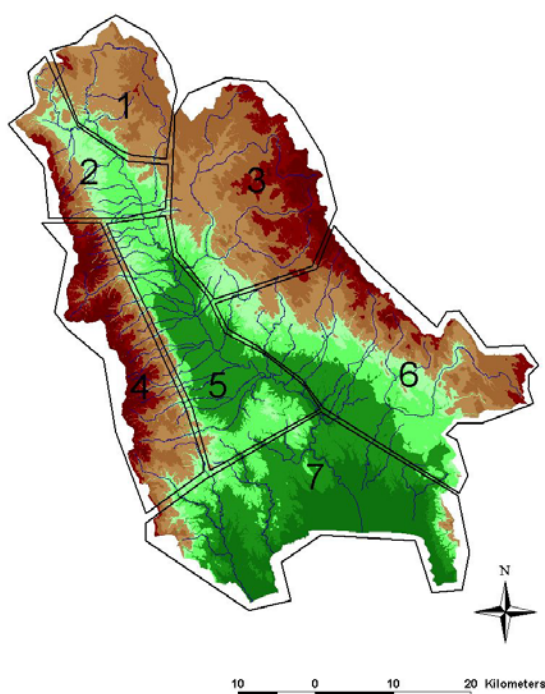
Χάρτης 6-5 Χάρτης διεύθυνσης ροής του υπόγειου υδροφορέα στην περιοχή της Σπάρτης (Antonakos *et al*, 2000).

Το νοτιοανατολικό τμήμα του Πάρνωννα αποτελεί την περιοχή 6. Στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο οι κύριοι σχηματισμοί είναι ασβεστολιθικοί ενώ χαμηλότερα παρατηρούνται διάφοροι άλλοι σχηματισμοί. 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) (GWE, 1972). Οι περιβαλλοντικές πιέσεις στην περιοχή αυτή δεν είναι σημαντικές. Το κυριότερο ρέμα της περιοχής είναι το Μαριόρεμα.

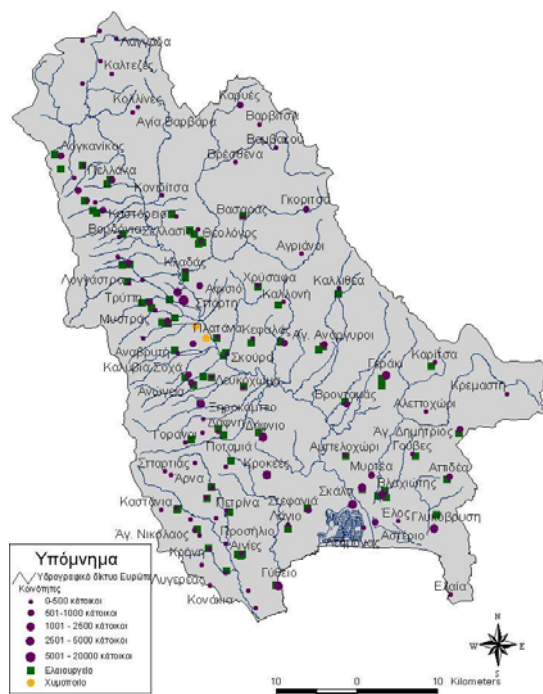
Τέλος, η περιοχή 7 συμπεριλαμβάνει την περιοχή της Σκάλας, Έλους, Γυθείου και τις εκβολές του ποταμού Ευρώτα. Από άποψη υδρογεωλογίας στην περιοχή της Σκάλας υπάρχει ελεύθερος υδροφορέας, ο οποίος διαχωρίζεται από τον αρτεσιανό από αδιαπέρατα στρώματα. Ο υδροφορέας αυτός τροφοδοτείται, εκτός από τις βροχοπτώσεις, από τη ροή του υπόγειου νερού από ανάντι και από κατώτερους υδροφορείς. Βόρεια της περιοχής της Σκάλας υπάρχει μεγάλος

καρστικός όγκος, ο οποίος εμφανίζει γρήγορη και άμεση διήθηση και τροφοδοτεί τον καρστικό υδροφόρα (GWE, 1972). Το καρστικό αυτό σώμα έχει βορειοδυτική κατεύθυνση και διαπερνάται από τον ποταμό Ευρώτα. Από αυτό τροφοδοτείται επίσης και η σημαντική ομάδα πηγών οι οποίες τροφοδοτούν το Βασιλοπόταμο. Κατά μήκος του ανατολικού τμήματος της περιοχής της Σκάλας ο καρστικός ασβεστόλιθος υπέρκεινται 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.

Η περιοχή 7 υπόκειται σε σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις, αφού το μεγαλύτερο μέρος της καλλιεργείται εντατικά. Η κύρια καλλιέργεια είναι το πορτοκάλι. Επίσης στην περιοχή βρίσκεται και ένας μεγάλος αριθμός ελαιουργείων.



Χάρτης 6-6 Περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η λεκάνη απορροής του Ευρώτα.



Χάρτης 6-7 Κύριες σημειακές πηγές (Οικισμοί, ελαιουργεία, χυμοποιία).

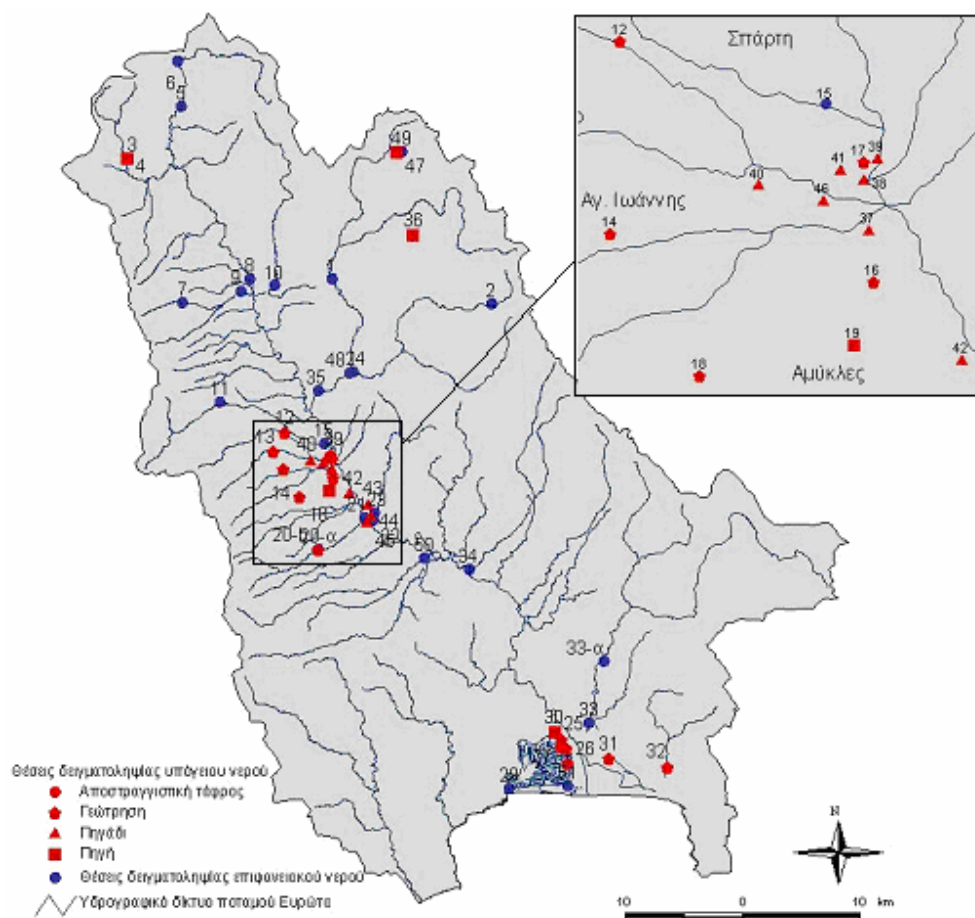
6.2 Προσδιορισμός δικτύου δειγματοληψίας

Στο πρώτο στάδιο εφαρμογής της Ε.Φ.Α., όπως και στα άλλα δυο, είναι απαραίτητα δεδομένα πεδίου. Στόχος της συλλογής των δεδομένων αυτών είναι να αποτυπωθεί η πορεία των ρύπων καθώς αυτοί μεταφέρονται από τη πηγή ρύπανσης στο υπόγειο και επιφανειακό νερό. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα έχει σύνθετη υδρογεωλογία και υδρογραφικό δίκτυο και οι πηγές ρύπανσης είναι σημειακές και διάχυτες. Τα δεδομένα λοιπόν πεδίου, πρέπει να παρέχουν τις ενδείξεις ότι οι ρύποι μειώνονται στο χώρο σε σχέση με τη πηγή ρύπανσης. Για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι κρίσιμη η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας, οι οποίες πρέπει να καλύπτουν τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό. Βασικό ρόλο στην επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας παίζουν τα χαρακτηριστικά των 7 περιοχών στις οποίες χωρίστηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με βάση τις περιοχές που παρουσιάζονται στην προηγούμενη παράγραφο. Επιλέχθηκαν θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού σε όλο το μήκος του ποταμού Ευρώτα και έτσι ώστε να καλύπτουν και τις 7 υποπεριοχές. Κάποιες από τις θέσεις στις περιοχές 3 και 4 μπορούν να δώσουν στοιχεία για τις συγκεντρώσεις υποβάθρου, δηλαδή τις συγκεντρώσεις των ρύπων που υπάρχουν φυσικά στο νερό. 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 αναμένεται ο κύριος όγκος της ρύπανσης και η μεγαλύτερη επιβάρυνση. Επίσης η περιοχή 5 διαρρέεται από πολλούς και σημαντικότερους παραπόταμους του Ευρώτα, εκτός από τον Οινούντα, 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 των αναγκών της περιοχής για ύδρευση και άρδευση. Συνολικά επιλέχθηκαν 51 θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου και επιφανειακού νερού. Όλες οι θέσεις δειγματοληψίας φαίνονται στο Χάρτη 6-8 και περιγράφονται παρακάτω.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι οι θέσεις κατά μήκος του Ευρώτα είναι λίγες, αφού για παράδειγμα δεν υπάρχει θέση δειγματοληψίας στη Σπάρτη ή στις

εκβολές του Ευρώτα. Για το λόγο αυτό στις επόμενες δειγματοληψίες οι θέσεις θα συμπληρωθούν με τα σημεία αυτά.



Χάρτης 6-8 Θέσεις δειγματοληψίας

- **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 (Εικόνα 6-4).
- **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 και έτσι από το σημείο μπορούν να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις υποβάθρου (Εικόνα 6-1 και 6-2).
- **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 (Εικόνα 6-5).

- **4:** Πηγές του ποταμού Ευρώτα. Ανάντι των πηγών του Ευρώτα υπάρχουν οικισμοί και καλλιέργειες (Εικόνα 6-6).
- **5 - 6:** Βρίσκεται στις αρχές του Ευρώτα, στο ρέμα Λαγκάδα. Το σημείο αυτό είναι στο νομό Αρκαδίας, κάτω από το χωριό Δάφνη, στο δρόμο προς τη Μονή Καλτεζών. Η ροή του ρέματος τα τελευταία 20 χρόνια έχει μειωθεί πολύ, εξαιτίας της ερήμωσης των οικισμών της περιοχής και την αύξηση 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 (Εικόνα 6-7).
- **7:** Θέση δειγματοληψίας από το ρέμα Κάστωρ (ή Βρυσσιώτικο), στη γέφυρα του χωριού Καστόριο (Εικόνα 6-8).
- **8:** Βρίσκεται στον Ευρώτα, πριν τη Σπάρτη, μεταξύ των χωριών Παρδάλι και Πελλάνας (Εικόνα 6-9). 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 (Εικόνα 6-10), 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 (Εικόνα 6-11). Η Μαγουλίτσα είναι από τους σημαντικότερους παραπόταμους του Ευρώτα και τροφοδοτείται από τις πηγές της Τρύπης. Ανάντι του σημείου δεν υπάρχουν πηγές ρύπανσης και σε συνδυασμό με τη θέση 3 μπορούν να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις υποβάθρου.
- **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.
- **15:** Μαγουλίτσα πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα (Εικόνα 6-12). Το σημείο αυτό βρίσκεται σε αστική περιοχή μεταξύ Σπάρτης και Μαγούλας.

- **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.
- **19:** Πηγή κοντά στο χωριό Περιστέρι, σε υψόμετρο 184 m. Στην περιοχή υπάρχουν πολλές καλλιέργειες.
- **20-A:** 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.
- **20-B:** Γεώτρηση που βρίσκεται δίπλα στην παραπάνω θέση δειγματοληψίας, δίπλα στον ποταμό Κάκαρη.
- **21:** Παραπόταμος Κάκαρη, λίγο πριν τη συμβολή του με τον Ευρώτα, στο χωριό Σκούρα.
- **22:** Θέση δειγματοληψίας του ποταμού Ευρώτα, δίπλα στο χωριό Σκούρα. Το χωριό 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.
- **25:** Γεώτρηση που βρίσκεται κοντά στο χωριό Σκάλα. Η περιοχή της Σκάλας βρίσκεται στο δέλτα του Ευρώτα, με πολλές καλλιέργειες κυρίως πορτοκαλιών (Εικόνα 6-15). 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.
- **27:** Αποστραγγιστική τάφρος «Λαύρια» στην περιοχή της Σκάλας.
- **28:** Ιδιωτική αρτεσιανή γεώτρηση η οποία βρίσκεται κοντά στο χωριό Λεήμονας, περιοχή Σκάλας. Το νερό της χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς.
- **29:** Στραγγιστικό αντλιοστάσιο στη Τρίνισα. Το αντλιοστάσιο μαζεύει τα νερά από τα περιμετρικά αποστραγγιστικά κανάλια του δέλτα του Ευρώτα.

- **30:** Πηγές Σκάλας. Βρίσκονται μέσα στο χωριό Σκάλα. Μέρος από το νερό τροφοδοτεί το Βασιλοπόταμο ενώ το υπόλοιπο διοχετεύεται στον Ευρώτα.
- **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.
- **33:** Μαριόρεμα. 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 (Εικόνα 6-14). Η παροχή του ποταμού στο σημείο αυτό είναι αρκετά μεγάλη. Στην περιοχή, τελειώνει η πεδιάδα που εκτείνεται γύρω από τη Σπάρτη, η οποία είναι από τις πιο επιβαρημένες αφού 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.
- **36:** Πηγή κατάντι του οικισμού Μεγάλη Βρύση (Εικόνα 6-3).
- **37 - 46:** Πηγάδια στην ευρύτερη περιοχή της Ριβιώτισσας και Σκούρας. Τα πηγάδια στη Σκούρα αντλούν νερό από βάθος περίπου 10m ενώ τα πηγάδια στη Σκούρα αντλούν νερό από βάθος περίπου 5m. Το νερό χρησιμοποιείται για άρδευση.
- **47:** Πηγές στο χωριό Καρυές, στη λεκάνη απορροής του ποταμού Οινούντα. Το νερό των πηγών ενώνεται με τον ποταμό Οινούντα.
- **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 (Εικόνα 6-13). Η Ρασίνα υπήρξε σημαντικός παραπόταμος του Ευρώτα. Σήμερα δε διατηρεί ροή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαιτίας της άντλησης των νερών για άρδευση.
- **51:** Βασιλοπόταμος (Τάφος Ω). Ο Βασιλοπόταμος τροφοδοτείται από τις πηγές της Σκάλας. Σήμερα αποτελεί μέρος του αποστραγγιστικού δικτύου του δέλτα του Ευρώτα.



Εικόνα 6-1 Ρέμα Τζιτζινιώτικο (Θέση 2) στον οικισμό Πολύδροσο.



Εικόνα 6-2 Οικισμός Πολύδροσο ή Τζιντζινα, από όπου πηγάζει το �έμα Τζιτζινιώτικο.



Εικόνα 6-3 Πηγή στον οικισμό Μεγάλη Βρύση, Θέση 36.



Εικόνα 6-4 Οινούντας ή Κελεφίνα, στη γέφυρα στο δρόμο προς Βρέσθενα, Θέση 1.



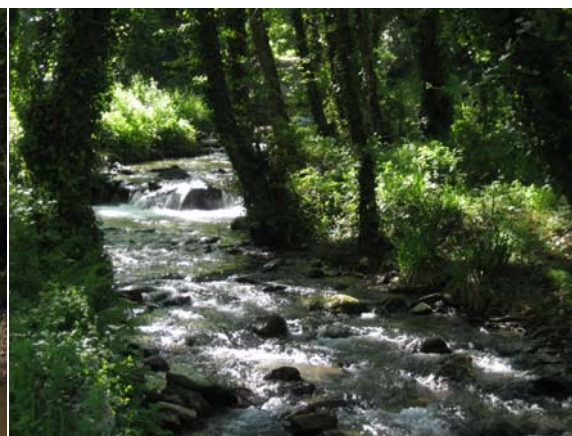
Εικόνα 6-5 Ρέμα Γιαννούλη, Θέση 3.



Εικόνα 6-6 Πηγές Ευρώτα, Θέση 4.



Εικόνα 6-7 Ρέμα Λαγγάδα, Θέση 6.



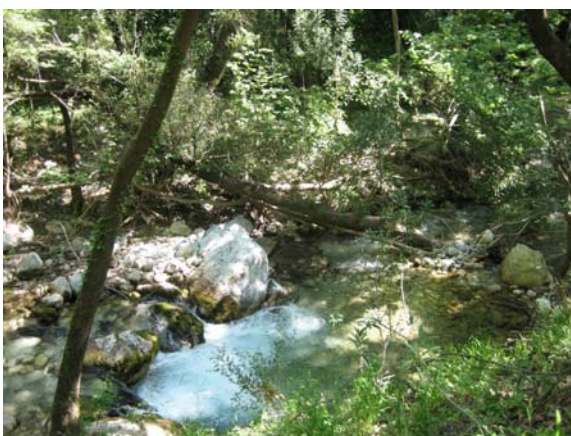
Εικόνα 6-8 Ποταμός Κάστωρ, στον οικισμό Καστόρι, Θέση 7.



Εικόνα 6-9 Άνω ρους του Ευρώτα, Πελλάνα - Παρδάλι, Θέση 8.



Εικόνα 6-10 Βαθύρρεμα, πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα, Θέση 9.



Εικόνα 6-11 Μαγουλίτσα στον οικισμό Τρύπη, Θέση 11.



Εικόνα 6-12 Μαγουλίτσα, πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα, Θέση 15.



Εικόνα 6-13 Ρασίνα, πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα, θέση 50.



Εικόνα 6-14 Ευρώτας στην περιοχή του Βρονταμά, θέση 34.



Εικόνα 6-15 Κάποιες γεωτρήσεις από τις οποίες έγινε δειγματοληψία.

6.3 Αποτελέσματα δειγματοληψιών

Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί συνολικά 3 δειγματοληψίες από τις θέσεις που έχουν ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο. Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 9-12 Μαΐου 2006. Κατά τη δειγματοληψία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από τις θέσεις 36 - 51. Η δεύτερη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 8-12 Σεπτεμβρίου 2006 και η τρίτη 12-17 Ιανουαρίου 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 (N-NO_3^-), νιτρώδες άζωτο (N-NO_2^-), αμμωνιακό άζωτο (N-NH_3), φωσφορικά (P-PO_4) και ολικές φαινόλες (T.phenols).

Το COD είναι παράμετρος 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.

Οι παράμετροι Θερμοκρασία (T), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (conductivity), διαλυμένο οξυγόνο (DO) και οξειδοαναγωγικό δυναμικό (Eh) μετρήθηκαν 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 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 N-NO_3^- , N-NO_2^- , N-NH_3 , P-PO_4 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°C , μέχρι την επιστροφή στα Χανιά, όπου έγινε η ανάλυσή τους στο εργαστήριο, χρησιμοποιήθηκε φορητό ψυγείο.

Οι χημικές παράμετροι N-NO_3^- , N-NO_2^- , N-NH_3 , P-PO_4 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.

Η σωστή οργάνωση της δειγματοληψίας ήταν απαραίτητη αφού έπρεπε σε κάθε δειγματοληψία να μεταφερθεί στην περιοχή μελέτης όλος ο απαραίτητος εργαστηριακός εξοπλισμός. Επίσης η έκταση της λεκάνης απορροής του Ευρώτα είναι μεγάλη (2410 km²) και οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας μακρινές, ενώ οι διαθέσιμες μέρες για κάθε δειγματοληψία ήταν λίγες. Για να αυτοματοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η διαδικασία της δειγματοληψίας δημιουργήθηκαν κουτιά με όλους τους απαραίτητους αποθηκευτικούς χώρους για τον εξοπλισμό, τα οποία διευκόλυναν τις μετρήσεις και τις εργασίες που έγιναν επί τόπου. Τα κουτιά αυτά φαίνονται στην Εικόνα 6-16. Με τον τρόπο αυτό, και οι τρεις δειγματοληψίες είχαν επιτυχή έκβαση σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 6-16 Οργάνωση εργαστηριακού εξοπλισμού.

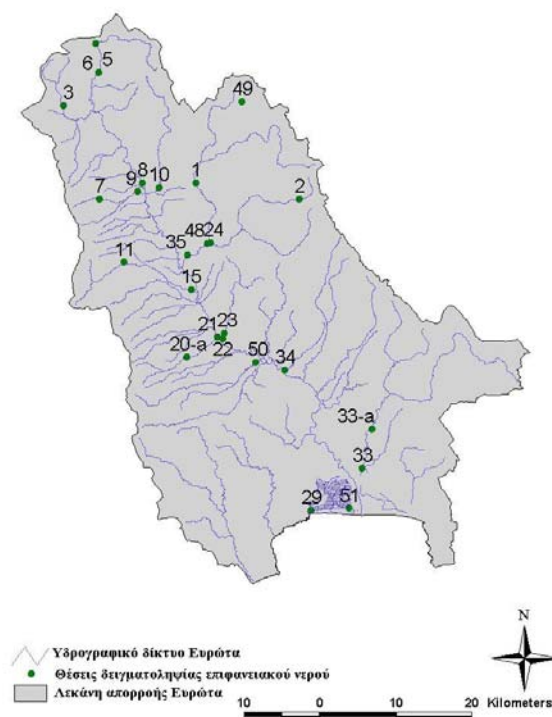
6.3.1 Αποτελέσματα δειγματοληψίας επιφανειακού νερού

Αναλυτικά οι θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται στην παραπάνω παράγραφο. Περιληπτικά οι θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού είναι οι παρακάτω και φαίνονται στο Χάρτη 6-9.

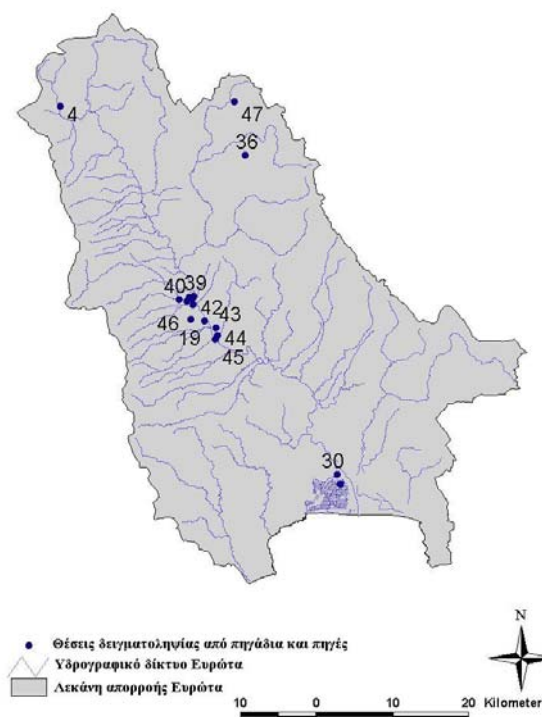
- 1: Οινούντας (Κελεφίνα)
- 2: Οινούντας (Ρέμα Τζιτζινιώτικο ή Κακόρεμα)
- 3: Ρέμα Σκορτσινός (Ρέμα δίπλα στις πηγές Ευρώτα)
- 5-6: Ρέμα Λαγγάδα
- 7: Ρέμα Κάστωρ ή Βρυσιώτικο
- 8: Ευρώτας (μεταξύ των οικισμών Πελλάνα και Παρδάλι)

- 9:** Βαθύρρεμα
- 10:** Ρέμα Κοπελιάς
- 11:** Μαγουλίτσα (στον οικισμό Τρύπη)
- 15:** Μαγουλίτσα (πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα)
- 20-α:** Κάκαρη (στον οικισμό Ανώγεια)
- 21:** Κάκαρη (πριν τη συμβολή με τον Ευρώτα)
- 22:** Ευρώτας (στον οικισμό Σκούρα)
- 23:** Μικρό ρέμα με κατσίγαρο
- 24:** Οινούντας (Ρέμα Σωφρόνη)
- 29:** Αντλιοστάσιο (στην περιοχή της Σκάλας)
- 33:** Μαριόρεμα
- 34:** Ευρώτας (Γέφυρα Βρονταμά)
- 35:** Οινούντας (Γέφυρα Κελεφίνας)
- 48:** Οινούντας (μετά τη συμβολή της Κελεφίνας με το ρέμα Σωφρόνη)
- 49:** Οινούντας (στον οικισμό Καρυές)
- 50:** Ρασίνα
- 51:** Τάφος Ωμέγα ή Βασιλοπόταμος

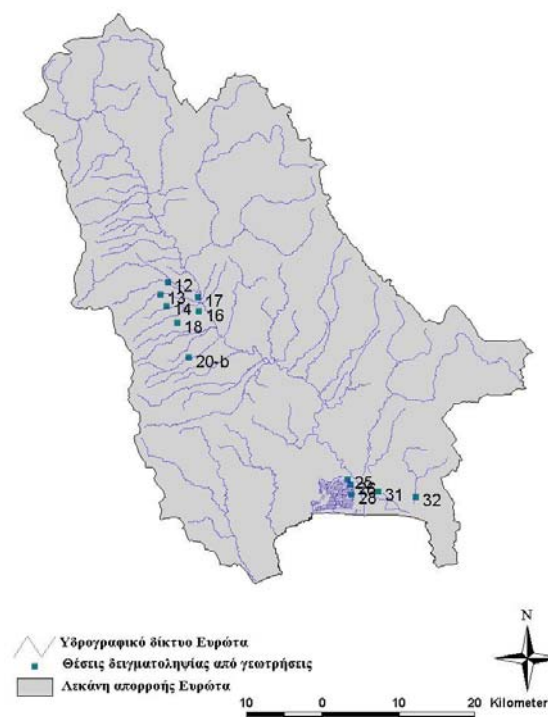
Από τις θέσεις 5, 10, 23, 33 και 50 δε ελήφθησαν δείγματα σε καμία δειγματοληψία γιατί δεν είχαν νερό. Επομένως δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για τις θέσεις αυτές.



Χάρτης 6-9 Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού.



Χάρτης 6-10 Θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού, πηγών και πηγαδιών.



Χάρτης 6-11 Θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού γεωτρήσεων.

▪ Φυσικοχημικές παράμετροι

Αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων για όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Οι μέσες τιμές τους δίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 6-1 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού.

	T (°C)		pH		DO (mg/L)		Conductivity (μS)		Eh (mV)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
1	14,3	1,9	7,83	0,17	5,82	1,91	555	57	259,5	54,6
2	11,7	2,5	7,89	0,45	7,73	2,52	302	45	231,6	88,1
3	13,5	0,0	7,41	0,00	7,64	0,00	444	0	207,6	0,0
6	20,6	0,0	8,17	0,00	7,30	0,00	199	0	190,2	0,0
7	14,4	1,8	8,10	0,08	7,94	1,66	694	136	270,6	50,2
8	19,3	0,0	7,63	0,00						
9	14,1	3,3	8,05	0,25	6,83	1,15	478	29	263,5	37,7
11	12,8	0,6	8,20	0,13	7,87	0,40	301	39	241,6	84,6
15	25,0	0,0	8,36	0,00	5,87	0,00	345	0	214,2	0,0
20-α	15,0	0,0	8,39	0,00	6,73	0,00	203	0	116,8	0,0
21	14,2	0,8	7,82	0,25	6,86	0,80	538	96	264,2	51,0
22	16,9	3,3	7,72	0,30	4,30	1,87	534	35	223,9	48,4
24	15,3	0,0	8,24	0,00	5,19	0,00	338	0	203,8	0,0
29	18,6	2,3	7,71	0,11	5,73	0,47	1399	276	193,7	4,4
34	17,5	3,5	8,06	0,09	6,97	0,46	444	105	252,3	45,8
35	15,2	2,4	8,12	0,14	5,43	0,97	437	11	226,3	23,5
48	15,4	2,9	7,83	0,30	4,74	0,29	428	87	229,2	24,4
49	13,6	0,0	7,14	0,15	7,08	3,13	559	423	280,0	35,2
51	17,7	1,2	7,68	0,29	7,29	1,73	582	80	224,4	17,2

Από τις φυσικοχημικές παραμέτρους κρίσιμη σημασία παρουσιάζει το διαλυμένο οξυγόνο, αφού είναι απαραίτητο για τη ζωή των οργανισμών που ζουν στα φυσικά νερά. Το οξυγόνο αυξάνεται με τη διάλυσή του στο νερό από την ατμόσφαιρα και με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από τα υδρόβια φυτά. Το τρεχούμενο νερό λόγω της κίνησής του διαλύει περισσότερο από το στάσιμο νερό. Τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου ποικίλουν εποχιακά και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το υψόμετρο. Καταναλώνεται από την αναπνοή των υδρόβιων ζώων, την αποσύνθεση οργανικού υλικού και διάφορες άλλες χημικές αντιδράσεις. Χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου και μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο των οργανισμών που ζουν στο νερό καθώς και σημαντική υποβάθμιση των υδάτων (Οικονομόπουλος, 2001). Για το λόγο αυτό η αμερικανική EPA έχει

Θεσπίζει κριτήριο συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου στα φυσικά νερά τα 5 mg/L. Επίσης χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στα νερά είναι δείκτης ρύπανσης από οργανικό υλικό, η αποσύνθεση του οποίου οδηγεί στην κατανάλωσή του.

Η χαμηλότερη μέση τιμή DO που παρατηρείται στον Ευρώτα είναι στη θέση Σκούρα, 4,30 mg/L. Στη θέση αυτή μάλιστα η τιμή του DO την τρίτη δειγματοληψία ήταν 1,67 mg/L, τιμή η οποία βρίσκεται κάτω από το όριο των 5mg/L. 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 δικαιολογεί τις χαμηλές τιμές του DO. Χαμηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται και στα δείγματα του ποταμού Οινούντα, οι οποίες κυμαίνονται γύρω στα 5 mg/L. Επίσης από τις μετρήσεις φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του οξειδοαναγωγικού δυναμικού και του DO. Στις περιπτώσεις όπου το DO έχει τιμές 5 mg/L το οξειδοαναγωγικό δυναμικό έχει τιμές περίπου 200 mV.

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 επηρεάζεται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής από την οποία περνάει το ποτάμι. Επίσης αύξηση της αγωγιμότητας μπορεί να παρατηρηθεί από τις εισροές ρύπων στο ποτάμι. Τιμές μεταξύ των 150 και 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ είναι κατάλληλες για υποστήριξη ζωής πολλών ειδών ενώ τιμές έξω από αυτή την κλίμακα μπορεί να είναι ακατάλληλες για την ανάπτυξη ορισμένων ειδών ψαριών και ασπόνδυλων (Οικονομόπουλος, 2001). Η Κοινή Υπουργική Απόφαση ΚΥΑ Υ2/2600/2001 ορίζει το όριο της αγωγιμότητας για το πόσιμο νερό σε 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Από τις τιμές της αγωγιμότητας που μετρήθηκαν η μεγαλύτερη είναι αυτή που μετρήθηκε στο αντλιοστάσιο στην περιοχή της Σκάλας. 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.

Οι τιμές της θερμοκρασίας και του pH κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Η θερμοκρασία στις θέσεις βόρεια της Λεκάνης και σε μεγάλα υψόμετρα είναι μικρότερες. Οι τιμές του pH κυμαίνονται γύρω στο 8.

▪ Χημικές παράμετροι

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι χημικές παράμετροι που μετρήθηκαν στο εργαστήριο είναι COD, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N-NH₃, P-PO₄ και ολικές φαινόλες. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-2 ενώ αναλυτικά για κάθε δειγματοληψία δίνονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 6-2 Αποτελέσματα αναλύσεων χημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού.

	COD (mg/L)		N-NO ₃ (mg/L)		N-NO ₂ (mg/L)		N-NH ₃ (mg/L)		P-PO ₄ (mg/L)		Tphenols (mg/L)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
1	1,9	3,3	1,52	0,71	bdl		0,159	0,134	0,048	0,024	0,86	0,08
2	4,0	2,5	1,39	0,72	bdl		0,061	0,036	0,031	0,018	0,44	0,06
3	2,9	0,0										
6	0,4	0,0										
7	0,8	1,2	1,24	1,11	bdl		0,048	0,023	0,048	0,025	1,71	0,43
8	1,1	0,0										
9	4,4	4,0	1,62	0,91	0,006	0,002	0,031	0,006	0,056	0,034	1,15	0,02
11	0,2	0,3	1,82	0,60	bdl		0,041	0,016	0,028	0,015	0,40	0,00
15	bdl											
20-α	bdl											
21	2,5	1,1	9,37	0,00	0,010	0,000	bdl		0,026	0,000	0,63	0,00
22	18,8	21,3	2,29	0,09	0,100	0,035	0,067	0,042	0,069	0,052	2,19	0,98
24	2,5	0,0										
29	8,9	2,1	1,80	0,95	0,016	0,010	0,067	0,022	0,091	0,018	1,37	0,31
34	8,2	0,8	1,84	0,20	0,009	0,002	bdl		0,027	0,003	1,10	0,04
35	3,4	1,2	2,23	0,00	bdl		bdl		0,047	0,000	0,52	0,00
48	2,0	2,0	1,45	0,63	0,006	0,002	0,042	0,017	0,042	0,005	0,75	0,15
49	5,7	0,0	1,06	0,80	bdl		0,044	0,019	0,052	0,027	0,39	0,02
51	4,3	1,8	3,10	1,24	0,006	0,002	0,036	0,011	0,025	0,016	0,64	0,11

COD

Το COD ορίζεται ως το ισοδύναμο οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση της οργανικής ύλης. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις COD παρατηρούνται στην Μαγουλίτσα (θέση 11), στον οικισμό Τρύπη, και στον ποταμό Κάστωρ (θέση 7), και είναι 0,2 και 0,8 mg/L αντίστοιχα. Στις περιοχές αυτές δεν υπάρχει ρύπανση από οργανικό φορτίο αφού ανάντι δεν υπάρχουν οικισμοί ή άλλοι ρυπαντές. Θεωρείται, λοιπόν, σε συγκέντρωση υποβάθρου η συγκέντρωση 1 mg/L και κάθε δείγμα κάτω αυτής θεωρείται ότι δεν έχει ρύπανση από οργανικό

φορτίο. Τα περισσότερα δείγματα επιφανειακού νερού ξεπερνούν τη συγκέντρωση υποβάθρου. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση COD παρατηρείται στον ποταμό Ευρώτα στη Σκούρα. Κατά την τελευταία δειγματοληψία η συγκέντρωση COD που μετρήθηκε ήταν 48,9 mg/L, γεγονός που δείχνει ότι έχουμε σημαντική ρύπανση οργανικού φορτίου. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις COD παρατηρούνται στον Ευρώτα (θέση 34), στην περιοχή του Βρονταμά, και στο αντλιοστάσιο (θέση 29) στην περιοχή της Σκάλας (8,2 και 8,9 mg/L αντίστοιχα). Οι θέσεις που παρουσιάζουν συγκεντρώσεις περίπου 3 - 4 mg/L βρίσκονται κατάντι πηγών ρύπανσης οργανικού φορτίου όπως για παράδειγμα μικροί οικισμοί (θέσεις 2, 51) ή περιοχές όπου υπάρχουν κτηνοτροφικές δραστηριότητες (θέσεις 9, 35).

Άζωτο

Τα νιτρικά (NO_3^-) είναι η πιο οξειδωμένη μορφή των αζωτούχων ενώσεων και μπορεί να είναι και το τελικό προϊόν της αποδόμησης των αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Τα φυσικά επίπεδα των νιτρικών είναι χαμηλά, συνήθως κάτω από 1 mg/L. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στο πόσιμο νερό μπορούν να αποτελέσουν απειλή για την υγεία ιδιαίτερα των βρεφών κάτω των τριών μηνών. Νερό το οποίο έχει ρύπανση από αζωτούχες οργανικές ενώσεις μπορεί να μη δείξει υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, αφού η αποσύνθεση του οργανικού υλικού μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και επομένως μειώνεται και ο ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά. Τα νιτρώδη (NO_2^-) και η αμμωνία (NH_3) είναι τοξικότερα από ότι τα νιτρικά (Οικονομόπουλος, 2001). Η Κοινή Υπουργική Απόφαση ΚΥΑ Υ2/2600/2001 ορίζει όριο στο πόσιμο νερό για τα νιτρικά τα 50 mg/L, που αντιστοιχεί σε περίπου **11 mg/L νιτρικό άζωτο (N-NO_3^-)**, ενώ για τα νιτρώδη το όριο είναι 0,50 mg/L δηλαδή **0,15 mg/L νιτρώδες άζωτο (N-NO_2^-)**.

Η υψηλότερη συγκέντρωση N-NO_3^- 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. Γενικότερα οι τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών στο επιφανειακό νερό παρουσιάζονται χαμηλές. Σα συγκέντρωση υποβάθρου θεωρείται η συγκέντρωση 1,5 mg/L. Συγκέντρωση N-NO_3^- μεγαλύτερη από 1,5 mg/L είχαν 8 δείγματα. Ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας είχε συγκέντρωση 2,29 mg/L N-NO_3^- ενώ στην περιοχή του Βρονταμά είχε συγκέντρωση 1,84 mg/L N-NO_3^- . Επίσης και ο Βασιλοπόταμος στην περιοχή της

Σκάλας είχε σχετικά υψηλή συγκέντρωση N-NO_3^- , 3,10 mg/L, γεγονός αναμενόμενο αφού στην περιοχή της Σκάλας υπάρχουν πολλές καλλιέργειες.

Όσον αφορά στο N-NO_2^- οι περισσότερες θέσεις παρουσιάζουν συγκεντρώσεις κάτω του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στον Ευρώτα, στη Σκούρα (θέση 22) και είναι 0,100 mg/L. Η συγκέντρωση αυτή είναι ελάχιστα χαμηλότερη από το όριο για το πόσιμο νερό, γεγονός που αποδεικνύει τη ρύπανση την οποία έχει υποστεί η περιοχή αυτή. Οι θέσεις στις οποίες μετρήθηκαν συγκεντρώσεις N-NO_2^- είναι περιβαλλοντικά επιβαρημένες, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις οι τιμές είναι κάτω του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου. Οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου (N-NH_3) είναι χαμηλές, λαμβάνοντας υπόψη το όριο της συγκέντρωσης που προτείνεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) και μπορεί να προκαλέσει ενοχλήσεις στους καταναλωτές και είναι 1,5 mg/L NH_3 (1,2 mg/L N-NH_3).

Φώσφορος

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. Ο φώσφορος στα φυσικά νερά βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και για αυτό συνήθως αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης. Πολύ μικρές αλλαγές στις συγκεντρώσεις του μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα ποτάμια και σε λίμνες όπως υπέρμετρη ανάπτυξη των φυτών και ευτροφισμό.

Εύρεση περιοριστικού παράγοντα. Για την εύρεση του περιοριστικού παράγοντα στο επιφανειακό νερό, αρχικά, υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση των N-NO_3^- και P-PO_4^{3-} στα δείγματα επιφανειακού νερού. Η μέση συγκέντρωση N-NO_3^- είναι 2,36 mg-N/L = 168,57 μM N και P-PO_4^{3-} των 0,046 mg/L = 1,5 μM P. Ο λόγος αζώτου προς φώσφορο είναι:

$$\text{N/P} = 168,57 \mu\text{M N} / 1,5 \mu\text{M P} = 113,6 > 16:1$$

Ο λόγος N/P είναι ίσος με 113,6 και είναι μεγαλύτερος από το λόγο 16:1. Αυτό σημαίνει ότι ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης στο επιφανειακό νερό είναι ο φώσφορος. Συνεπώς ακόμα και μικρά αύξηση στις συγκεντρώσεις φωσφόρου μπορούν να οδηγήσουν σε ευτροφισμό των υδάτων.

Σύμφωνα με το μοντέλο των Dillon και Rigler, οι οποίοι τροποποίησαν το μοντέλο του Vollenweider για τον ευτροφισμό των λιμνών, αν μια λίμνη έχει μέση συγκέντρωση ολικού φωσφόρου σε ετήσια βάση, μεγαλύτερη των 0,020 mg/L, τότε η λίμνη χαρακτηρίζεται ευτροφική. Οι συγκεντρώσεις $P-PO_4^{-3}$ που μετρήθηκαν στα δείγματα επιφανειακού νερού υπερβαίνουν τα 0,020 mg/L.

Επίσης τα πρότυπα ευτροφισμού για τις ελληνικές θάλασσες που δημοσίευσε ο Καρύδης το 1999 και τροποποιήθηκε από Ραγου *et al.*, 2000, φαίνονται στον Πίνακα 6-3. Η μέση μοριακότητα φωσφόρου στα δείγματα επιφανειακού νερού είναι ίση με 1,484 μM P. Αν η τιμή αυτή μετρηθεί στην παράκτια ζώνη, αυτό θα σήμαινε ότι η παράκτια ζώνη θα παρουσίαζε προβλήματα ευτροφισμού.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου που μετρήθηκε στο επιφανειακό νερό θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα ευτροφισμού τόσο σε περιοχές όπου το νερό δεν έχει μεγάλη ροή όσο και στην παράκτια ζώνη. Όντως, σύμφωνα με παρατηρήσεις στην περιοχή της Σκάλας, ο Βασιλοπόταμος αλλά και οι εκβολές του ποταμού Ευρώτα φαίνεται ότι έχουν ευτροφισμό. Η κατάσταση στην παράκτια ζώνη είναι καλή, αφού στον Λακωνικό κόλπο επικρατούν θαλάσσια ρέματα τα οποία ανανεώνουν τα ύδατα και αποφεύγονται με αυτό τον τρόπο προβλήματα ευτροφισμού.

Πίνακας 6-3 Προσδιορισμός ορίων θρεπτικών και κριτήρια εκτίμησης ευτροφισμού στις ελληνικές θάλασσες (Nikolaidis *et al.*, 2006).

Parameter	Oligotrophic	Lower mesotrophic	Higher mesotrophic	Eutrophic
Chl- <i>a</i> , $\mu g/l$	<0.1	0.1–0.6	0.6–2.21	>2.21
Nitrate-N, $\mu g/l$	<8.68	8.68–9.10	9.10–16.66	>16.66
Phosphate-P, $\mu g/l$	<2.17	2.17–4.34	4.34–21.08	>21.08

Ολικές Φαινόλες

Οι ολικές φαινόλες υπάρχουν στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων. Γενικά τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο και μεγάλες συγκεντρώσεις φαινολών. Οι συγκεντρώσεις των φαινολών κυμαίνονται από 0,5 - 24 g/L, τιμές οι οποίες εξαρτώνται από τη διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου.

Μέχρι σήμερα περισσότερες από 30 φαινολικές ενώσεις έχουν βρεθεί στα υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Αυτές συμπεριλαμβάνουν φαινυλικά οξέα, φαινυλικές αλκοόλες, σεκοϊριδοειδή και φλαβονοειδή (Νιαουνακίς *et al.*, 2004). Αναλυτικός πίνακας με τα είδη αυτά δίνεται στο Παράρτημα. Στην εργασία αυτή μετρήθηκαν οι ολικές φαινόλες με τη φασματοφωτομετρική μέθοδο Folin - Ciocalteu. Για τη μέτρηση κάθε φαινολικής ένωσης απαιτείται εξειδικευμένη μέθοδος η οποία δεν ήταν διαθέσιμη στο εργαστήριο. Η μέτρηση των ολικών φαινολών μπορεί να δώσει ενδείξεις για τη ρύπανση των νερών από υγρά απόβλητα ελαιουργείων.

Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων παρουσιάζουν τοξικές ιδιότητες οι οποίες από κάποιους συγγραφείς έχουν αποδοθεί στο περιεχόμενό τους σε φαινόλες. Μελέτες αναφέρουν ότι ακόμα και 40 mg/L φαινολών αποδείχτηκαν τοξικές στο είδος ψαριού *Gambusia affinis* και στο ασπόνδυλο *Daphnia magna* για διάρκεια έκθεσης 15 λεπτών. Υπάρχουν όμως και μελέτες που αποδίδουν την τοξικότητα των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων σε άλλες ενώσεις και στη χαμηλή οξύτητα τους. Η Κοινή Υπουργική Απόφαση ΚΥΑ Υ2/2600/2001 ορίζει όριο συγκέντρωσης ολικών φαινολών στο πόσιμο νερό τα 0,05 mg/L. Το όριο όμως αυτό δεν αφορά τις φυσικές φαινόλες που δεν αντιδρούν με το χλώριο.

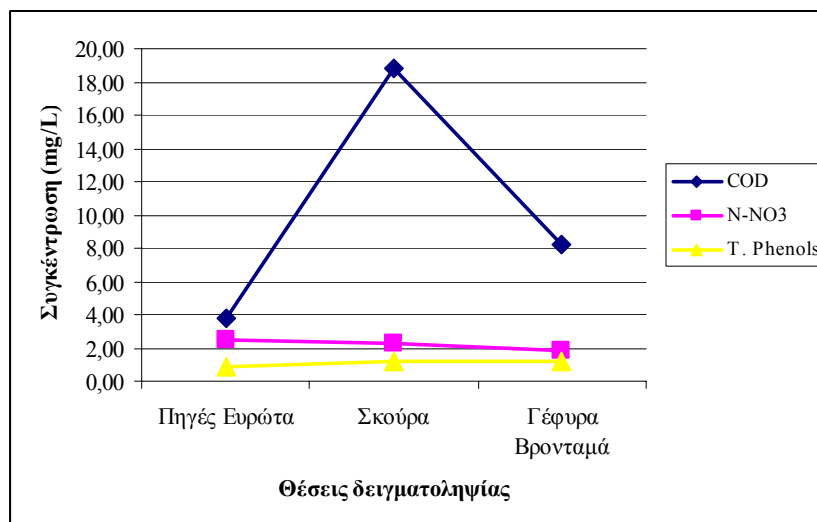
Η συγκέντρωση υποβάθρου για τις ολικές φαινόλες είναι 0,4 mg/L, συγκέντρωση στη θέση 11 (Μαγουλίτσα - στο χωριό Τρύπη). Συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα 0,4 mg/L ολικών φαινολών θεωρείται ότι είναι ένδειξη ύπαρξης ρύπανσης από υγρά απόβλητα ελαιουργείων. Έτσι ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας έχει συγκέντρωση ολικών φαινολών ίση με 2,19 mg/L ενώ στην περιοχή του Βρονταμά είναι 1,10 mg/L. Υψηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζονται και στο αντλιοστάσιο στην περιοχή της Σκάλας και στο Βασιλοπόταμο. Κατά την περίοδο και των δύο δειγματοληψιών, στα δείγματα των οποίων μετρήθηκαν ολικές φαινόλες, τα ελαιουργεία δε λειτουργούσαν, επομένως η συγκέντρωση των ολικών φαινολών που μετρήθηκε είναι μικρότερη από αυτή που θα μετρηθεί σε περίοδο λειτουργίας των ελαιουργείων. Παρόλα αυτά ο Ευρώτας στη θέση Σκούρα είχε αρκετά υψηλή συγκέντρωση. Σίγουρα συμπεράσματα θα προκύψουν από μετρήσεις επόμενων δειγματοληψιών.

▪ Ενδείξεις Φυσικής Αποκατάστασης

Στόχος των δειγματοληψιών είναι να βρεθούν στοιχεία τα οποία αποδεικνύουν την ύπαρξη φυσικής αποκατάστασης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Κατά μήκος του Ευρώτα έχουν παρθεί δείγματα από τρεις θέσεις. Οι θέσεις

αυτές είναι στην περιοχή της Πελλάνας, της Σκούρας και του Βρονταμά καθώς και από τις πηγές του Ευρώτα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6-1 η συγκέντρωση του COD αυξάνεται στην περιοχή της Σκούρας, όμως στην περιοχή του Βρονταμά είναι μειωμένη, παρόλο που υπάρχουν πηγές ρύπανσης οργανικού φορτίου, κατά μήκος του ποταμού από τη Σκούρα ως το Βρονταμά, όπως οικισμοί και ελαιουργεία. Η ίδια τάση παρουσιάζεται και στη συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου. Από τις πηγές του Ευρώτα ως και το Βρονταμά ο Ευρώτας διασχίζει περιοχές εντατικά καλλιεργημένες, όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων. Θα ήταν αναμενόμενο λοιπόν οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου να αυξάνεται και η μέγιστη τιμή να παρατηρείται στο Βρονταμά. Όμως αυτό δε συμβαίνει αφού η συγκέντρωση στο Βρονταμά είναι μικρότερη από ότι στη Σκούρα και τις πηγές. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις των ολικών φαινολών, στις πηγές του Ευρώτα η συγκέντρωσή τους είναι χαμηλή, ενώ η συγκέντρωσή τους στη Σκούρα και στο Βρονταμά είναι περίπου ίση. Όλα τα παραπάνω αποτελούν αποδείξεις ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί αποκατάστασης.

Στη λεκάνη απορροής του Οινούντα ελήφθησαν συνολικά 6 δείγματα επιφανειακού νερού (θέσεις 1, 2, 24, 35, 48, 49). Οι θέσεις 2 και 49 παρόλο που βρίσκονται στον άνω ρου του Οινούντα παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις COD, γιατί βρίσκονται κατάντι οικισμών. Οι τιμές, όμως, των συγκεντρώσεων του COD στον κάτω ρου του Οινούντα μειώνονται γεγονός που αποτελεί ένδειξη φυσικής αποκατάστασης. Η τάση αυτή δεν παρατηρείται για τις συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου, αφού η μεγαλύτερη συγκέντρωσή του παρουσιάζεται στη θέση 35 στη γέφυρα της Κελεφίνας, λίγο πριν τη συμβολή του Οινούντα με τον Ευρώτα. Το ίδιο ισχύει για τις συγκεντρώσεις των ολικών φαινολών.



Διάγραμμα 6-1 Διάγραμμα μέσης συγκέντρωσης των κύριων ρύπων σε θέσεις κατά μήκος του Ευρώτα.

6.3.2 Αποτελέσματα δειγματοληψίας υπόγειου νερού πηγών και πηγαδιών

Οι θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού πηγών και πηγαδιών φαίνονται στο Χάρτη 6-10 και περιληπτικά είναι οι παρακάτω:

- 4: Πηγές Ευρώτα
- 19: Πηγή (στην περιοχή ανατολικά του χωριού Περιστέρι)
- 27: Αποστραγγιστική τάφρος στην περιοχή της Σκάλας
- 30: Πηγές Σκάλας
- 36: Πηγή (νοτίως του χωριού Μεγάλη Βρύση)
- 37: Πηγάδι (στην περιοχή της Ριβιώτισσας)
- 38: Πηγάδι (στο χωριό Βαρικά)
- 39: Πηγάδι (στην περιοχή της Ριβιώτισσας)
- 40: Πηγάδι (στην περιοχή Αλέσια)
- 41: Πηγάδι (στο χωριό Βαρικά)
- 42: Πηγάδι (στην περιοχή Ριζά)
- 43: Πηγάδι (στην περιοχή της Σκούρας)
- 44: Πηγάδι (στην περιοχή της Σκούρας)
- 45: Πηγάδι (στην περιοχή της Σκούρας)
- 46: Πηγάδι (στην περιοχή της Ριβιώτισσας)
- 47: Πηγές (στο χωριό Καρυές)

▪ Φυσικοχημικές παράμετροι

Τα αποτελέσματα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-4. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις τρεις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Η θερμοκρασία των υπόγειων παραμένει σταθερή, και έτσι από τις τιμές της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι η θερμοκρασία των πηγαδιών που βρίσκονται στην ίδια περιοχή είναι περίπου ίδιες. Οι τιμές του pH κυμαίνονται γύρω στο 7,00 και είναι χαμηλότερες από αυτές των επιφανειακών νερών.

Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά είναι χαμηλές, αφού δεν έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση του DO για τα υπόγεια νερά μπορεί να έχει πολλά 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.

Πίνακας 6-4 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού, πηγαδιών και πηγών.

	Θερμοκρασία (°C)		pH		DO (mg/L)		Conductivity (μS)		Eh (mV)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
4	13,9	0,6	6,80	0,24	7,91	0,35	507	106	177,3	170,8
19	16,4	1,3	7,08	0,09	2,30	0,83	723	84	185,7	168,5
27	18,3	3,1	7,21	0,28	5,83	0,73	485	38	209,9	9,9
30	17,9	0,1	7,13	0,24	6,45	0,60	566	90	249,0	43,0
36	12,1	2,4	7,31	0,10	7,02	2,96	367	53	320,6	48,2
37	16,3	1,6	7,67	0,08	4,50	3,54	804	105	445,8	205,6
38	16,7	2,6	7,15	0,10	5,92	0,90	665	8	458,6	216,7
39	18,7	0,2	7,34	0,04	3,56	0,35	553	179	404,2	260,7
40	17,0	0,5	7,25	0,21	4,38	1,27	692	86	452,6	185,3
41	15,7	1,1	7,06	0,11	6,06	2,04	864	51	494,4	223,2
42	18,0	2,1	7,18	0,09	4,02	0,45	786	35	432,4	210,4
43	17,2	2,0	7,17	0,01	5,04	0,66	728	51	445,9	173,4
44	16,7	1,7	7,00	0,35	3,74	2,27	693	72	433,5	191,5
45	17,0	4,3	7,28	0,11	4,65	2,05	504	113	437,3	162,6
46	17,7	2,1	7,21	0,08	4,36	0,86	775	11	468,0	223,4
47	14,2	0,0	6,76	0,17	4,30	0,49	929	76	244,5	0,5

Οι τιμές της αγωγιμότητας στα πηγάδια (θέσεις 37 - 46) υπερβαίνουν την τιμή των 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέγιστη τιμή στη θέση 41, 864 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι τιμές αυτές δείχνουν ρύπανση των νερών των πηγαδιών από ιόντα, όπως για παράδειγμα νιτρικά ιόντα. Η μεγαλύτερη τιμή της αγωγιμότητας μετρήθηκε στις πηγές στο χωριό Καρυές και είναι ίση με 929 $\mu\text{S}/\text{cm}$, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε ρύπανση των νερών της πηγής είτε στη γεωλογία της περιοχής. Η αγωγιμότητα των πηγών του Ευρώτα (θέση 4) είναι ίση με 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Τέλος οι τιμές οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Eh) των πηγαδιών είναι υψηλές και κυμαίνονται γύρω στα 400 mV. Εν αντιθέσει οι τιμές του Eh των πηγών είναι χαμηλές και κυμαίνονται στα 200 mV, που σημαίνει μείωση διαλυμένου οξυγόνου.

▪ Χημικές παράμετροι

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των χημικών παραμέτρων του υπόγειου νερού πηγαδιών και πηγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-5. Αναλυτικά οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν σε κάθε δειγματοληψία δίνονται σε πίνακες στο Παράρτημα.

Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα αναλύσεων χημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού, πηγαδιών και πηγών.

	COD (mg/L)		N-NO ₃ (mg/L)		N-NO ₂ (mg/L)		N-NH ₃ (mg/L)		P-PO ₄ (mg/L)		T.phenols (mg/L)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
4	3,8	3,1	2,47	1,97	bdl		0,050	0,035	0,034	0,024	0,76	0,11
19	1,6	0,8	13,72	0,00	bdl		0,101	0,000	0,040	0,000	1,58	0,00
27	4,8	3,2	2,56	1,68	0,007	0,004	0,062	0,052	0,038	0,019	0,64	0,02
30	1,3	0,0	2,77	1,50	0,005	0,002	0,051	0,037	0,027	0,009	0,73	0,26
36	4,3	0,0	1,38	1,00	bdl		0,042	0,023	0,037	0,007	0,61	0,30
37	3,2	2,0	16,93	2,86	0,005	0,001	0,052	0,038	0,047	0,013	1,09	0,08
38	4,3	2,5	12,16	1,52	bdl		0,037	0,017	0,043	0,019	1,05	0,05
39	2,1	1,0	7,83	2,18	bdl		0,026	0,002	0,041	0,005	1,03	0,23
40	1,4	0,0	13,09	1,31	0,017	0,010	bdl		0,046	0,007	1,06	0,31
41	3,9	0,0	20,80	3,92	0,006	0,002	0,076	0,072	0,035	0,017	1,58	0,56
42	1,4	0,5	14,18	1,87	0,006	0,001	0,061	0,051	0,145	0,000	1,43	0,23
43	3,0	3,8	7,96	1,05	0,006	0,003	0,086	0,047	0,038	0,005	1,05	0,21
44	2,7	2,8	3,98	1,52	bdl		0,064	0,021	0,033	0,015	0,81	0,14
45	0,7	0,0	7,60	3,44	0,004	0,000	0,043	0,026	0,041	0,013	0,71	0,28
46	6,8	0,0	18,09	0,82	0,008	0,005	bdl		0,033	0,009	1,36	0,32
47	5,2	0,8	9,82	0,95	bdl		0,036	0,016	0,076	0,020	1,50	0,27

COD

Τα περισσότερα πηγάδια και ιδιαίτερα αυτά που βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές, όπως τις θέσεις 38, 41 παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις COD. Επίσης τα πηγάδια στην περιοχή της Σκούρας έχουν μικρότερες συγκεντρώσεις COD από ότι τα πηγάδια στην ευρύτερη περιοχή της Ριβιώτισσας. Οι πηγές του Ευρώτα έχουν μέση συγκέντρωση COD, 3,8 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. Η μέση συγκέντρωση COD στις πηγές της Σκάλας είναι 1,3 mg/L.

Άζωτο

Ο κύριος ρύπος, όσον αφορά στο υπόγειο νερό, στην περιοχή είναι το νιτρικό άζωτο. Ο Π.Ο.Υ. προτείνει ότι για να χρησιμοποιηθεί νερό για άρδευση χωρίς περιορισμούς πρέπει η συγκέντρωση N-NO_3^- να μην υπερβαίνει τα 5 mg/L. Επίσης οι συγκεντρώσεις από 5 - 30 mg/L δεν έχουν σοβαρές επιπτώσεις ενώ συγκεντρώσεις N-NO_3^- μεγαλύτερες από 30 mg/L έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις καλλιέργειες. Το νερό των πηγαδιών από όπου ελήφθησαν δείγματα χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς. Όπως παρατηρείται από τις μέσες συγκεντρώσεις του N-NO_3^- όλες οι τιμές, εκτός μιας, υπερβαίνουν τα 5 mg/L. Μάλιστα στο πηγάδι στη θέση 41, η μέση συγκέντρωση N-NO_3^- ανέρχεται στα 20,80 mg/L. Συμπερασματικά η περιοχή αντιμετωπίζει πρόβλημα ρύπανσης από νιτρικά. Μεγάλη μέση συγκέντρωση N-NO_3^- έχει και η πηγή στο χωριό Περιστερί θέση 19, η οποία βρίσκεται σε καλλιεργημένη περιοχή καθώς και η πηγή στο χωριό Καρυές (θέση 49). Οι πηγές του Ευρώτα (θέση 4) και οι πηγές της Σκάλας (θέση 3) έχουν μέση συγκέντρωση 2,47 και 2,77 mg/L αντίστοιχα. Η αποστραγγιστική τάφρος στη περιοχή της Σκάλας έχει μέση συγκέντρωση N-NO_3^- 2,56 mg/L παρόλο που βρίσκεται σε καλλιεργημένη περιοχή.

Οι τιμές των μέσων συγκεντρώσεων των N-NO_2^- και N-NH_3^- κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, πιθανότητα εξαιτίας της διεργασίας της νιτροποίησης η οποία τα μετατρέπει σε NO_3^- .

Εύρεση περιοριστικού παράγοντα. Για την εύρεση του περιοριστικού παράγοντα στο επιφανειακό νερό, αρχικά, υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση των N-NO_3^- και P-PO_4^{3-} στα δείγματα επιφανειακού νερού. Η μέση συγκέντρωση N-NO_3^-

είναι $9,71 \text{ mg-N/L} = 693,6 \text{ } \mu\text{M N}$ και P-PO_4^{-3} των $0,047 \text{ mg/L} = 1,5 \text{ } \mu\text{M P}$. Ο λόγος αζώτου προς φώσφορο είναι:

$$\text{N/P} = 693,6 \text{ } \mu\text{M N} / 1,5 \text{ } \mu\text{M P} = 457,5 > 16:1$$

Ο λόγος N/P είναι ίσος με 457,5 και είναι μεγαλύτερος από το λόγο 16:1. Αυτό σημαίνει ότι ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης στο υπόγειο νερό πηγών και πηγαδιών είναι ο φώσφορος.

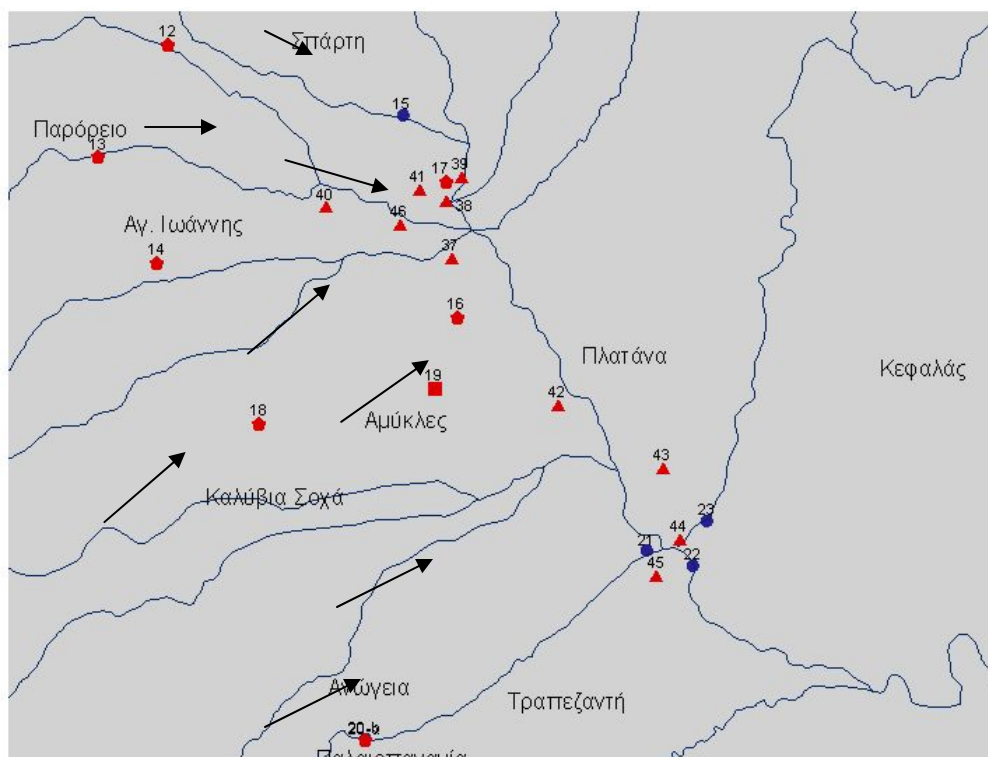
Ολικές Φαινόλες

Η μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών, σχεδόν σε όλες τις θέσεις των πηγαδιών υπερβαίνουν την τιμή του 1 mg/L , ενώ η συγκέντρωση στις πηγές Ευρώτα και Σκάλας είναι περίπου $0,8 \text{ mg/L}$. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στη ρύπανση του υδροφορέα της περιοχής από υγρά απόβλητα ελαιουργείων.

▪ Ενδείξεις Φυσικής Αποκατάστασης

Ο υπόγειος υδροφορέας της περιοχής, από όπου έγινε η δειγματοληψία νερού πηγαδιών, δηλαδή της πεδιάδας της Σπάρτης, αντιμετωπίζει προβλήματα ρύπανσης, ιδιαίτερα προβλήματα υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων. Παρόλα αυτά, από το γεγονός ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των ρύπων δεν εμφανίζονται σε όλα τα πηγάδια της περιοχής, μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι υπάρχουν περιοχή μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης.

Στο χάρτη 6-12 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. Οι θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού από τα πηγάδια φαίνονται με κόκκινα τρίγωνα. Για να διαπιστωθεί αν λειτουργούν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης, όσον αφορά στη ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα, 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.



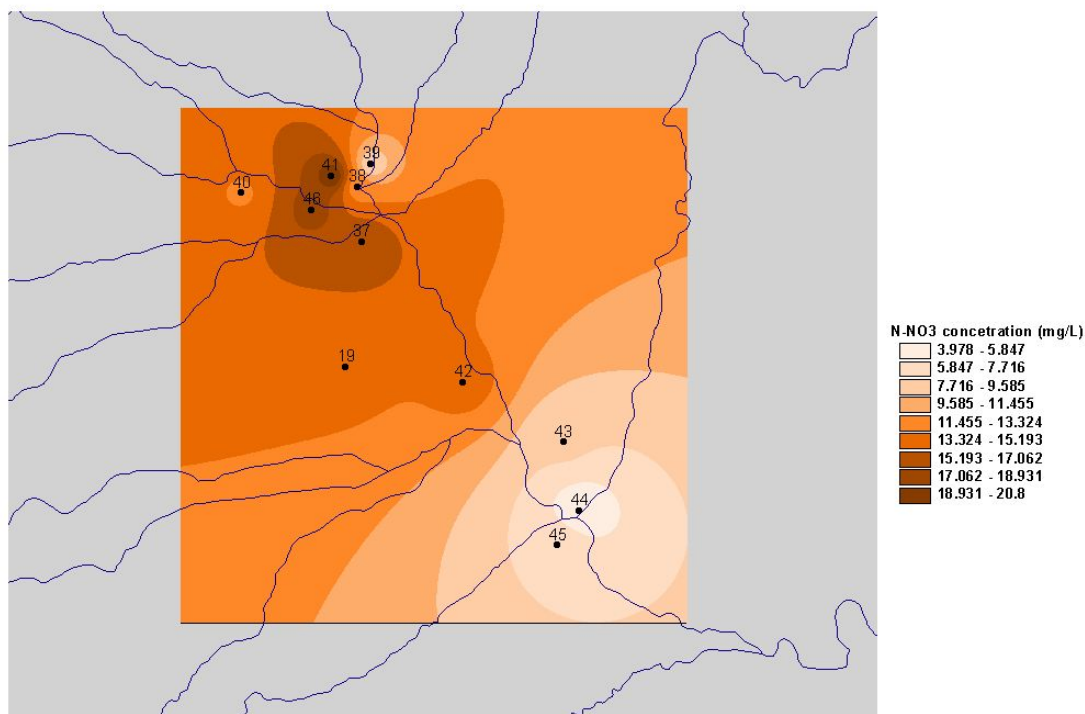
Χάρτης 6-12 Λεπτομέρεια χάρτη θέσεων δειγματοληψίας. Φαίνονται τα πηγάδια δειγματοληψίας και η κατεύθυνση ροής του υπόγειου νερού.

Συγκρίνοντας τις μέσες συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στα πηγάδια 41 και 38 παρατηρείται ότι η μέση συγκέντρωση στο πηγάδι 41 είναι 20,80 mg/L ενώ η συγκέντρωση στο πηγάδι 38 είναι 12,16 mg/L. Επίσης συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των πηγαδιών 40, 46 και 37, η μέση συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο πηγάδι 46 είναι μεγαλύτερη από το πηγάδι 40, και είναι ίση με 18,09 mg/L ενώ η συγκέντρωση στο πηγάδι 37 είναι μικρότερη και ίση με 16,93 mg/L. Μείωση επίσης παρατηρείται της πηγής στο Περιστερί (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 αρκετά μικρότερες από ότι τα πηγάδια στην περιοχή της Σκούρας, παρόλο που οι εντατικά καλλιεργημένες περιοχές συνεχίζονται μέχρι και την περιοχή της Σκούρας.

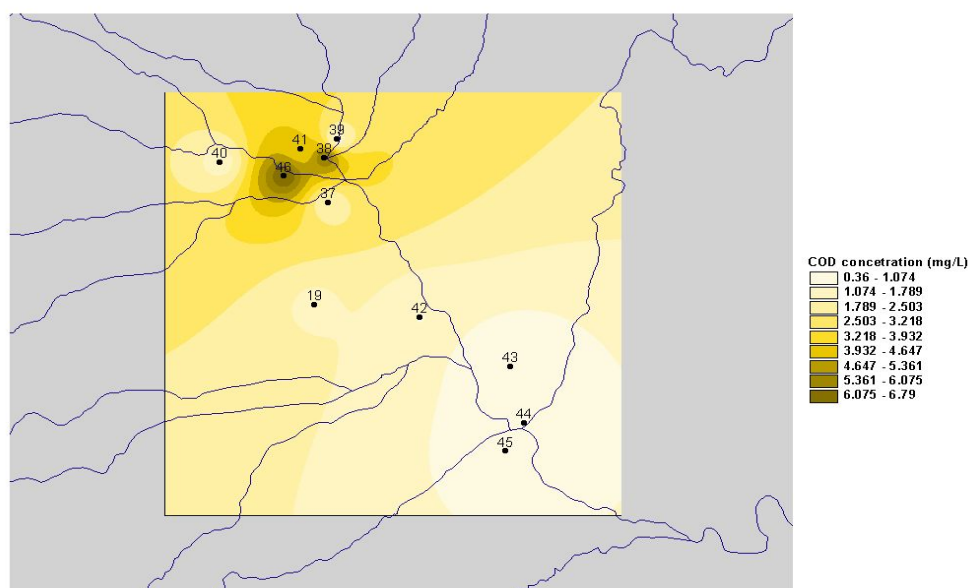
Η ίδια τάση παρουσιάζεται στη μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών. Έτσι στο πηγάδι 41 η μέση συγκέντρωση των ολικών φαινολών είναι 1,58 mg/L ενώ στο πηγάδι 38 είναι 1,05 mg/L. Η ίδια μείωση παρατηρείται και για τα πηγάδια 46 και 37. Παρόλα αυτά για τη διεξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων για τις ολικές φαινόλες είναι απαραίτητες περισσότερες μετρήσεις.

Η μείωση που παρατηρείται στις συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου ακολουθώντας τη ροή του υπόγειου νερού δεν παρατηρείται στις συγκεντρώσεις του COD. 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 4,3 mg/L ενώ το πηγάδι 39 έχει μέση συγκέντρωση 2,1 mg/L.

Στους χάρτες 6-13 και 6-14 φαίνεται η κατανομή της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου και COD στον υπόγειο υδροφόρα, στην περιοχή όπου βρίσκονται τα πηγάδια. Οι χάρτες αυτοί δημιουργήθηκαν στο ArcView GIS.



Χάρτης 6-13 Κατανομή των συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου, σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στα πηγάδια.



Χάρτης 6-14 Κατανομή των συγκεντρώσεων COD, σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στα πηγάδια.

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω χάρτες καθώς και από τις παρατηρήσεις για τη μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων φαίνεται καθαρά ότι η ισχύς των ρύπων μειώνεται. Οι ενδείξεις αυτές ενισχύουν τη μελέτη για την εφαρμογή της Ε.Φ.Α. στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

6.3.3 Αποτελέσματα υπόγειου νερού γεωτρήσεων

Οι θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού από γεωτρήσεις φαίνονται στο χάρτη 6-11 και είναι οι παρακάτω:

- 12:** Γεώτρηση (στο χωριό Μαγούλα, αντλεί από βάθος 110m)
- 13:** Γεώτρηση (στο χωριό Παρόρι, αντλεί από βάθος 36m)
- 14:** Γεώτρηση (στο χωριό Άγιος Ιωάννης)
- 16:** Γεώτρηση (στην περιοχή Αγίας Κυριακής, αντλεί από βάθος 75-110m)
- 17:** Γεώτρηση (στην περιοχή της Ριβιώτισσας, αντλεί από βάθος 90m)
- 18:** Γεώτρηση (στο χωριό Αμύκλες)
- 20-β:** Γεώτρηση (στο χωριό Ανώγεια)
- 25:** Γεώτρηση (στην περιοχή της Σκάλας, αρτεσιανή)
- 26:** Γεώτρηση (στην περιοχή της Σκάλας, αρτεσιανή)
- 28:** Γεώτρηση (στην περιοχή της Σκάλας, αρτεσιανή)

- 31:** Γεώτρηση (στο χωριό Αστέριο, αντλεί από βάθος 120m)
32: Γεώτρηση (στο χωριό Γλυκόβρυση, αντλεί από βάθος 30m)

Από τις γεωτρήσεις στις θέσεις 17 και 25 δεν πάρθηκε δείγμα κατά τις δυο τελευταίες δειγματοληψίες γιατί ήταν χαλασμένες.

▪ Φυσικοχημικές παράμετροι

Η μέση τιμή των φυσικοχημικών παραμέτρων του υπόγειου νερού από γεωτρήσεις δίνεται στον Πίνακα 6-6. Αναλυτικά οι τιμές που μετρήθηκαν σε κάθε δειγματοληψία δίνονται σε πίνακες στο Παράρτημα.

Πίνακας 6-6 Μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού, γεωτρήσεων.

	Θερμοκρασία (°C)		pH		DO (mg/L)		Conductivity (μS)		Eh (mV)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
12	17,3	1,1	7,16	0,04	5,15	0,57	482	40	375,5	287,0
13	15,1	0,9	7,56	0,16	5,05	0,47	397	72	396,0	256,0
14	16,2	2,3	7,46	0,27	5,27	0,33	528	137	358,7	280,3
16	19,7	1,4	7,52	0,22	2,78	1,01	395	43	291,9	311,4
17	26,0	0,0	7,61	0,00	3,08	0,00	402	0	36,6	0,0
18	16,1	0,7	7,48	0,34	6,05	0,71	236	67	346,9	204,8
20-b	12,8	0,3	7,52	0,12	6,22	0,75	325	104	348,0	177,9
25	17,0	0,0	7,27	0,00	6,39	0,00	466	0	197,9	0,0
26	18,0	0,9	7,16	0,25	4,87	0,38	494	52	263,8	55,2
28	18,2	0,1	7,29	0,12	3,70	0,42	507	66	212,5	68,1
31	18,4	0,6	7,25	0,15	5,65	1,17	623	269	204,7	68,1
32	19,3	1,7	6,72	0,19	5,04	0,94	1825	371	180,0	53,7

Η τιμή της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού, ιδιαίτερα του νερού που αντλείται από μεγάλο βάθος, διατηρείται σταθερή και δεν παρουσιάζει εποχιακές διακυμάνσεις. Η θερμοκρασία του νερού των γεωτρήσεων στην περιοχή της Σκάλας είναι μεγαλύτερη από ότι των γεωτρήσεων στην περιοχή της Σπάρτης. Οι τιμές του pH είναι μεγαλύτερες του 7, και γενικά μεγαλύτερες από τις τιμές του pH που μετρήθηκαν στα πηγάδια. Η γεώτρηση στη Γλυκόβρυση έχει μέση τιμή pH 6,72.

Η μέση συγκέντρωση του DO στις γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b, που βρίσκονται στους πρόποδες του Ταΰγετου, είναι περίπου 5 mg/L και 6 mg/L στις 2 τελευταίες, ενώ στις γεωτρήσεις στην περιοχή της Ριβώτισσας είναι

περίπου 3 mg/L. Οι γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b αντλούν από καρστικούς υδροφορείς και πιθανότατα βρίσκονται πάνω στο μεγάλο τεκτονικό ρήγμα που βρίσκεται στην περιοχή, ενώ αντίθετα οι γεωτρήσεις στην περιοχή της Ριβιώτισσας αντλούν από τις αλλουβιακές προσχώσεις, αφού το υπόγειο νερό στους καρστικούς υδροφορείς οξυγονώνεται ευκολότερα.

Η αγωγιμότητα έχει τιμές μικρότερες των 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ σε όλες τις γεωτρήσεις εκτός από τις γεωτρήσεις 31 και 32. Η γεώτρηση 31 βρίσκεται ανατολικά της πεδιάδας της Σκάλας και το νερό που αντλείται χρησιμοποιείται για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της περιοχής. Η τιμή της αγωγιμότητας τις δυο πρώτες δειγματοληψίες ήταν περίπου 456 και 479 μS . Την Τρίτη, η τιμή της αγωγιμότητας ήταν 933 μS . Η τιμή αυτή είναι μέσα στα απαιτούμενα όρια, όμως οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση νιτρικού αζώτου, γεγονός ανησυχητικό, αφού το νερό αυτό χρησιμοποιείται στην ύδρευση. Η γεώτρηση 32 αντλεί υφάλμυρο νερό και έχει υψηλή συγκέντρωση νιτρικών. Έτσι η τιμή της αγωγιμότητας είναι μεγάλη.

Η τιμή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού, παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις, ιδιαίτερα στις γεωτρήσεις της περιοχής της Σπάρτης (γεωτρήσεις 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20-b). Στην περιοχή της Σκάλας, το οξειδοαναγωγικό δυναμικό είναι χαμηλό, περίπου 200 mV.

▪ Χημικές παράμετροι

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των χημικών παραμέτρων του υπόγειου νερού γεωτρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-7. Αναλυτικά οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν σε κάθε δειγματοληψία δίνονται σε πίνακες στο Παράρτημα.

Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα αναλύσεων χημικών παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού, γεωτρήσεων.

	COD (mg/L)		N-NO ₃ (mg/L)		N-NO ₂ (mg/L)		N-NH ₃ (mg/L)		P-PO ₄ (mg/L)		T.phenols (mg/L)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
12	2,7	3,8	4,59	1,29	bdl		0,039	0,020	0,046	0,001	0,86	0,05
13	1,7	2,9	5,52	2,18	bdl		0,061	0,051	0,028	0,013	0,45	0,07
14	3,8	3,4	4,54	0,16	0,006	0,003	0,025	0,004	0,049	0,008	0,66	0,13
16	1,1	1,3	1,22	1,54	bdl		0,083	0,037	0,070	0,013	0,58	0,50
17	0,4	0,0										
18	3,8	2,3	1,97	1,58	bdl		bdl		0,033	0,028	2,62	3,55
20-b	1,0	1,6	4,85	1,87	bdl		0,033	0,011	0,039	0,012	0,48	0,11

25	0,4	0,0										
26	bdl		3,05	0,00	0,006	0,000	0,048	0,000	0,026		0,74	0,00
28	bdl		2,42	0,00	bdl		bdl		0,015		0,55	0,00
31	1,3	1,4	5,64	5,30	bdl		0,054	0,040	0,029	0,012	0,65	0,35
32	3,3	3,0	53,46	12,72	bdl		0,059	0,048	0,054	0,017	2,58	0,31

COD

Γενικά η μέση συγκέντρωση του COD στις γεωτρήσεις είναι χαμηλή. 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.

Άζωτο

Για τις γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b έχει τιμές 4,5 - 5,5 mg/L, συγκεντρώσεις που μπορούν να θεωρηθούν υψηλές, λαμβάνοντας υπόψη το όριο των 5 mg/L N-NO₃⁻ που προτείνει ο Π.Ο.Υ. για το νερό άρδευσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι γεωτρήσεις 12, 13, 14, 18 και 20-b αντλούν από τον καρστικό υδροφόρα και πιθανόν βρίσκονται στο μεγάλο ρήγμα που υπάρχει στους πρόποδες του Ταΰγετου. Επομένως συμπεραίνεται ότι η ρύπανση μπορεί να φτάσει σε μεγάλο βάθος μέσω της ροής του υπόγειου νερού στους καρστικούς σχηματισμούς. Η υψηλότερη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου μετρήθηκε στη γεώτρηση 32 η οποία βρίσκεται στο χωριό Γλυκόβρυση, ανατολικά της Σκάλας. Η συγκέντρωση αυτή, σύμφωνα πάλι με τον Π.Ο.Υ., μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στις καλλιέργειες. Επίσης στη γεώτρηση 31, η συγκέντρωση N-NO₃⁻ κατά τη δειγματοληψία του Ιανουαρίου ήταν 9,39 mg/L. Το νερό της γεώτρησης αυτής χρησιμοποιείται για την ύδρευση της κοινότητας του Αστερίου. Το όριο νιτρικών για το πόσιμο νερό, σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση ΚΥΑ Υ2/2600/2001 είναι 50 mg/L το οποίο αντιστοιχεί σε 11 mg/L νιτρικού αζώτου. Η συγκέντρωση που μετρήθηκε στη γεώτρηση 31 είναι πολύ κοντά στο όριο αυτό, γεγονός ανησυχητικό για την υγεία των κατοίκων της περιοχής. Η συγκέντρωση του N-NO₂⁻ είναι στις περισσότερες γεωτρήσεις κάτω του ορίου ανίχνευσης του οργάνου. Επίσης το αμμωνιακό άζωτο έχει χαμηλές συγκεντρώσεις.

Εύρεση περιοριστικού παράγοντα. Για την εύρεση του περιοριστικού παράγοντα στο επιφανειακό νερό, αρχικά, υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση των N-NO₃⁻ και P-PO₄⁻³ στα δείγματα επιφανειακού νερού. Η μέση συγκέντρωση N-NO₃⁻ είναι 8,73 mg-N/L = 623,6 μM N και P-PO₄⁻³ των 0,039 mg/L = 1,3 μM P. Ο λόγος αζώτου προς φώσφορο είναι:

$$N/P = 623,6 \mu M N / 1,3 \mu M P = 495,7 > 16:1$$

Ο λόγος N/P είναι ίσος με 495,7 και είναι μεγαλύτερος από το λόγο 16:1. Αυτό σημαίνει ότι ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης στο υπόγειο νερό των γεωτρήσεων είναι ο φώσφορος. Η τιμή αυτή του λόγου φωσφόρου και αζώτου δείχνει ότι ο φώσφορος προσροφάται στο έδαφος περισσότερο συγκριτικά με το άζωτο.

Ολικές Φαινόλες

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση ολικών φαινολών μετρήθηκε στη γεώτρηση 18 στην περιοχή των Αμύκλων. Ανάντη της γεώτρησης αυτής υπήρχε ελαιουργείο το οποίο πλέον δε λειτουργεί. Πιθανότατα όμως η ρύπανση έχει συσσωρευτεί στον υπόγειο υδροφόρα. Υψηλή συγκέντρωση φαινολών μετρήθηκε και στη γεώτρηση 32. Για τη διεξαγωγή βέβαιων συμπερασμάτων, απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις.

▪ Ενδείξεις φυσικής αποκατάστασης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι συγκεντρώσεις του COD και του $N-NO_3^-$ 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. Επομένως υπάρχει μείωση των ρύπων, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη μηχανισμών φυσικής αποκατάστασης.

6.3.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο Πίνακας 6-8 παρουσιάζει τη μέση συγκέντρωση των κύριων ρύπων δηλαδή του COD, του $N-NO_3^-$, του $P-PO_4^{3-}$ και των ολικών φαινολών, στο επιφανειακό νερό, των πηγών, των πηγάδιών και των γεωτρήσεων.

Πίνακας 6-8 Μέση συγκέντρωση των κύριων ρύπων στο επιφανειακό νερό, στις πηγές, στα πηγάδια και τις γεωτρήσεις.

	COD (mg/L)		N-NO ₃ (mg/L)		P-PO ₄ (mg/L)		T.phenols (mg/L)	
	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD	Μέση τιμή	SD
Επιφανειακό νερό	4.2	4.5	2.36	2.17	0.046	0.019	0.93	0.55
Πηγές	3.2	1.7	6.03	5.44	0.043	0.019	1.04	0.47
Πηγάδια	3.0	1.8	12.26	5.39	0.050	0.034	1.12	0.27
Γεωτρήσεις	1.8	1.4	8.73	15.79	0.039	0.016	1.02	0.84

Η μέση συγκέντρωση του COD στο επιφανειακό νερό είναι ίση με 4,2 mg/L και είναι μεγαλύτερη από την μέση συγκέντρωση στο υπόγειο νερό. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της έντονης ρύπανσης του Ευρώτα στην περιοχή περισσότερο της Σκούρας και του Βρονταμά. Οι τιμές της συγκέντρωσης του N-NO_3^- στο υπόγειο νερό είναι υψηλότερες από ότι στο επιφανειακό, γεγονός που αποτελεί ένδειξη φυσικής αποκατάστασης. Το ίδιο ισχύει και για τη συγκέντρωση των ολικών φαινολών. Η μέση συγκέντρωση του P-PO_4 στα πηγάδια και στο επιφανειακό νερό είναι περίπου ίση ενώ στις πηγές και τις γεωτρήσεις μικρότερη.

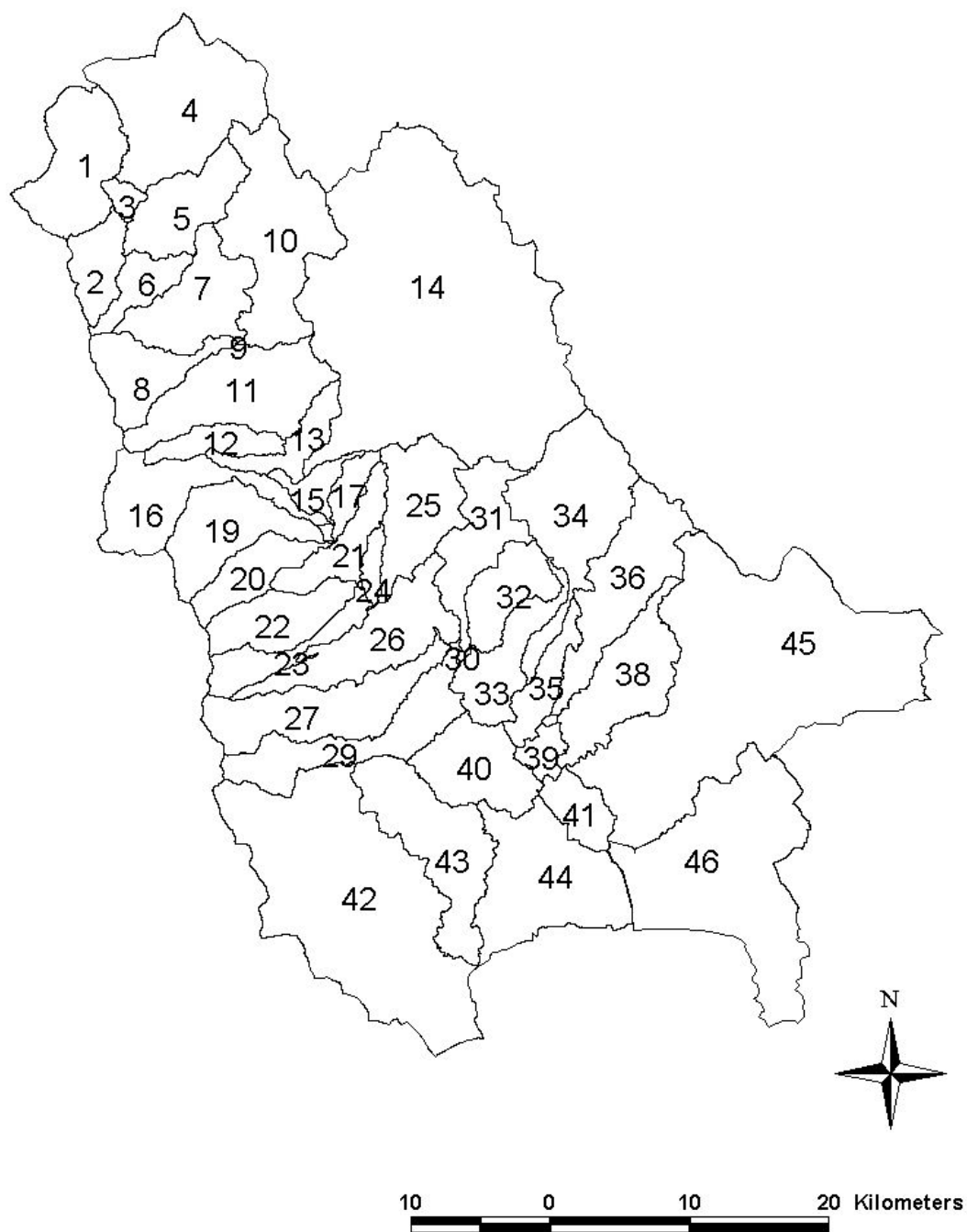
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - Μοντελοποίηση

7.1 Υπολογισμός φορτίων

Το μοντέλο που επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής της Ε.Φ.Α. είναι το μοντέλο MONERIS. Το μοντέλο βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν στην παροχή του ποταμού και στην ποιότητα του ύδατος, όπως και σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, το οποίο περιλαμβάνει ψηφιακούς χάρτες και εκτενή στατιστικά στοιχεία. Απαιτείται επίσης ο υπολογισμός των φορτίων αζώτου και φωσφόρου που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής από τις διάφορες πηγές ρύπανσης. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των φορτίων αζώτου και τα φορτία που υπολογίστηκαν.

7.1.1 Διαμερισματοποίηση λεκάνης απορροής

Οι υπολογισμοί του μοντέλου MONERIS γίνονται σε επίπεδο υπολεκανών. Έτσι για τους σκοπούς του μοντέλου, η λεκάνη απορροής του Ευρώτα χωρίστηκε σε μικρότερες υδρολογικές υπολεκάνες με τη βοήθεια του προγράμματος BASINS 3.0, που διατίθεται από την Environmental Protection Agency (EPA), το οποίο λειτουργεί ε περιβάλλον GIS. Τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα είναι το ψηφιοποιημένο ανάγλυφο της λεκάνης απορροής (Digital Elevation Model, DEM), ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης και το υδρογραφικό δίκτυο. Επίσης κάποιες υπολεκάνες συμπληρώθηκαν. Συνολικά, η λεκάνη απορροής του Ευρώτα χωρίστηκε σε 46 υπολεκάνες οι οποίες φαίνονται στο Χάρτη 7-1. Οι αριθμοί που φαίνονται στην εικόνα αυτή αποτελούν το χαρακτηριστικό αριθμό κάθε υπολεκάνης. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται κάθε υπολεκάνη καθώς και ο ποταμός που τη διαρρέει δίνονται στον πίνακα 7-1.



Χάρτης 7-1 Υδρολογικές υπολεκάνες της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα.

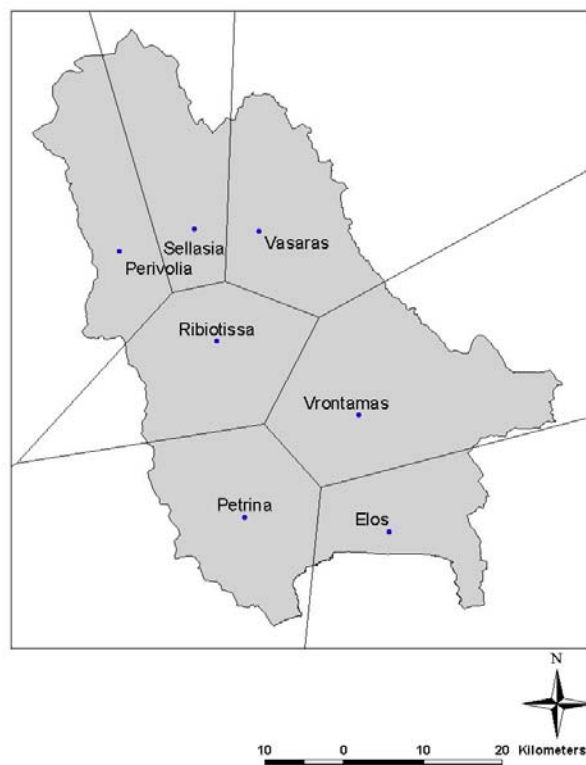
Πίνακας 7-1 Ονομασία υπολεκάνων.

Αριθμός υπολεκάνης (id)	Ποτάμι που διασχίζει την υπολεκάνη	Όνομα υπολεκάνης
1	Σκορτσινός	Σκορτσινός_Πηγές
2	Κοιτισάνης	Κοιτισάνης
3	Ευρώτας	Ευρώτας_1
4	Λαγκάδα	Λαγκάδα
5	Ευρώτας	Κολλινιάτικο
6	Βουτικιώτης	Βουτικιώτης
7	Ευρώτας	Ευρώτας_Πελλάνα
8	Βρυσιώτικο_Βαθύρεμα	Βρυσιώτικο_Βαθύρεμα
9	Ευρώτας	Ευρώτας_2
10	Ρέμα_κοπελιάς	Ρέμα_κοπελιάς
11	Ευρώτας	Ευρώτας_Σελασία
12	Περδικάρης	Περδικάρης
13	Ευρώτας	Ευρώτας_Κλαδάς
14	Οινούντας	Οινούντας
15	Ευρώτας	Ευρώτας_Σπάρτη
16	Μαγουλίτσα	Μαγουλίτσα
17	Ντουλαπόρεμα	Ντουλαπόρεμα
18	Ευρώτας	Ευρώτας_3
19	Παρορίτης	Παρορίτης
20	Ξεριάς	Ξεριάς
21	Ευρώτας	Ευρώτας_Αμυκλές
22	Τρία Ρέματα	Τρία Ρέματα
23	Κάκαρης	Κάκαρης
24	Ευρώτας	Ευρώτας_Πλατάνα
25	Τσιλώτου	Τσιλώτου
26	Ευρώτας	Ευρώτας_Τραπεζαντή
27	Ρασίνα	Ρασίνα
28	Ευρώτας	Ευρώτας_4
29	Γερακάρης	Γερακάρης
30	Ευρώτας	Ευρώτας_5
31	Χαρακόρεμα	Χαρακόρεμα
32	Βαρυκού	Βαρυκού
33	Ευρώτας	Ευρώτας_6
34	Πόρος	Πόρος
35	Ευρώτας	Ευρώτας_7
36	Χαβού	Χαβού
37	Ευρώτας	Ευρώτας_Βρονταμάς
38	Ντεντεσίνα	Ντεντεσίνα
39	Ευρώτας	Ευρώτας_8
40	Αεβετσωβίτικο	Αεβετσωβίτικο
41	Ευρώτας	Ευρώτας_Σκάλα
42	Βαρδούνιας	Βαρδούνιας
43	Αρδελολάγκαδο	Αρδελολάγκαδο
44	Τάφος_Ω	Τάφος_Ω
45	Μαριόρεμα	Μαριόρεμα
46	Κορακοφωλιά	Απιδέα

7.1.2 Υπολογισμών φορτίων αζώτου και φωσφόρου από τις βροχοπτώσεις

Αρχικά είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του μέσου βροχομετρικού ύψους για κάθε υπολεκάνη. Το μέσο βροχομετρικό ύψος υπολογίστηκε με τη μέθοδο των Πολυγώνων Thiessen. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων (περιοχών) επηρεασμού κάθε σταθμού όπως προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Το μέσο βροχομετρικό ύψος της υπολεκάνης προκύπτει ως το άθροισμα των επί μέρους παρατηρήσεων των σταθμών πολλαπλασιασμένες επί τις αντίστοιχες εκτάσεις επηρεασμού δια της συνολικής επιφάνειας της υπολεκάνης (Τσακίρης, 1995).

Για τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα από επτά μετεωρολογικούς σταθμούς (Έλους, Ριβιώτισσας, Βρονταμά, Περιβολίων, Σελλασίας, Βασαρά και Πετρίνας). Ο υπολογισμός του βάρους κάθε σταθμού καθώς και των εμβαδών των πολυγώνων επηρεασμού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος GIS, ArcView 3.0. Τα πολύγωνα Thiessen που προέκυψαν φαίνονται στο Χάρτη 7-2. Τα βάρη των σταθμών για κάθε υπολεκάνη και το μέσο βροχομετρικό ύψος παρουσιάζονται σε πίνακες στο Παράρτημα. Οι υπολογισμοί της βροχόπτωσης, όπως και οι περισσότεροι υπολογισμοί που απαιτεί το MONERIS, γίνονται για διάστημα πενταετίας. Η πενταετία που επιλέχτηκε στην προκειμένη περίπτωση είναι 2000 - 2004 γιατί αυτή είναι η πιο πρόσφατη πενταετία για την οποία υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα.



Χάρτης 7-2 Μετεωρολογικοί σταθμοί και πολύγωνα Thiessen για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Για τον υπολογισμό των φορτίων από τη βροχόπτωση, υπό τη μορφή που χρησιμοποιούνται από το MONERIS, πολλαπλασιάζεται το μέσο βροχομετρικό ύψος με τη συγκέντρωση τους στη βροχή. Οι συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, προήλθαν από ανάλυση της ποιότητας της βροχής που έγινε στα πλαίσια διαχειριστικού σχεδίου του ποταμού Αχελώου από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.). Οι τιμές των συγκεντρώσεων δίνονται στον πίνακα 7-2. Τα υπολογισμένα φορτία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7-3).

Πίνακας 7-2 Συγκεντρώσεις θρεπτικών στη βροχή (Skoulikidis, 2001).

	Συγκεντρώσεις στη βροχή (g/m ³)
NH ₄	0,51
NO ₃	1,53
NO ₂	0,02
PO ₄	0,13
[NH ₄ -N]	0,40
[NO _x -N]	0,35
[P-PO ₄]	0,04

Πίνακας 7-3 Φορτία Θρεπτικών ανά υπολεκάνη από τη βροχόπτωση.

Υπολεκάνες	Μέση συγκέντρωση (mg/m ³)		
	N-NH ₄	N-NO _x	P-PO ₄
1	470,05	416,61	50,27
2	470,05	416,61	50,27
3	470,05	416,61	50,27
4	304,58	269,95	32,57
5	345,18	305,94	36,91
6	469,47	416,10	50,21
7	361,06	320,01	38,61
8	462,28	409,72	49,44
9	241,47	214,02	25,82
10	241,47	214,02	25,82
11	336,67	298,40	36,00
12	412,01	365,17	44,06
13	288,23	255,46	30,82
14	293,66	260,27	31,40
15	352,02	312,00	37,65
16	455,18	403,43	48,68
17	348,71	309,07	37,29
18	353,52	313,33	37,81
19	386,54	342,59	41,34
20	353,52	313,33	37,81
21	353,12	312,97	37,76
22	353,52	313,33	37,81
23	353,52	313,33	37,81
24	353,52	313,33	37,81
25	336,63	298,36	36,00
26	352,37	312,31	37,68
27	339,91	301,26	36,35
28	236,71	209,80	25,31
29	297,89	264,02	31,86
30	236,28	209,42	25,27
31	324,84	287,91	34,74
32	242,18	214,65	25,90
33	236,28	209,42	25,27
34	260,77	231,12	27,89
35	236,28	209,42	25,27
36	236,28	209,42	25,27
37	236,28	209,42	25,27
38	236,28	209,42	25,27
39	236,28	209,42	25,27
40	270,88	240,09	28,97
41	221,85	196,62	23,72
42	311,07	275,71	33,27
43	311,07	275,71	33,27
44	238,82	211,67	25,54
45	233,81	207,23	25,00
46	214,66	190,25	22,96

7.1.3 Υπολογισμός φορτίων από τη γεωργία

Η οικονομία της Λακωνίας βασίζεται κυρίως στη γεωργία και ένα μέρος της στην κτηνοτροφία και τον τουρισμό. Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή είναι η ελιά, ακολουθούν τα πορτοκάλια και έπειτα λαχανικά, αμπέλια κ.τ.λ. Η εντατική καλλιέργεια της γης έχει οδηγήσει στη χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων τα οποία αποτελούν και μια σημαντική πηγή ρύπανσης των υδάτων, υπόγειων και επιφανειακών, της περιοχής.

Η λίπανση των καλλιεργειών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη και την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών. Θρεπτικά, όπως το άζωτο, φώσφορος και το κάλιο, χρειάζονται σε μεγάλες ποσότητες, ενώ άλλα όπως ο χαλκός και σίδηρος σε μικρότερες. Μη ορθολογική χρήση των λιπασμάτων μπορεί να συμβάλει στην υποβάθμιση της γεωργικής παραγωγής και να δημιουργήσει περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα είδη των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στη γεωργία είναι:

1. Ανόργανα λιπάσματα:

- Αζωτούχα (π.χ. νιτρική αμμωνία, θειική αμμωνία)
- Φωσφορούχα
- Καλιούχα
- Σύνθετα

2. Οργανικά λιπάσματα

- Στερεή κοπριά
- Υγρή κοπριά
- Διάφορα φυτικά υπολείμματα
- Προϊόντα οργανικής ζύμωσης
- Οργανικά λιπάσματα βιομηχανικών παραγόμενα

Τα αζωτούχα λιπάσματα είναι αυτά που μπορούν προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα νιτρικά ιόντα είναι ευδιάλυτα στο νερό και παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα στο έδαφος, σε αντίθεση με τα φωσφορικά ιόντα και το κάλιο. Εξαιτίας της μεγάλης τους κινητικότητας, τα νιτρικά ιόντα μπορούν να εκπλυθούν εύκολα από το έδαφος και να βρεθούν στο υπόγειο και επιφανειακό νερό (Υπουργείο Γεωργίας, 1994). Οι επιπτώσεις που έχουν τα επιπλέον φορτία αζώτου στα επιφανειακά νερά είναι επιτάχυνση των διεργασιών που οδηγούν σε ευτροφισμό (ανάπτυξη αλγών και μείωση διαλυμένου οξυγόνου) και υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων που χρησιμοποιούνται για πόσιμο νερό, φάρμακα και άλλους ψυχαγωγικούς σκοπούς. Όσον αφορά στα υπόγεια νερά,

υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και την υγεία των ζώων. Η αποκατάσταση της ρύπανσης υπόγειων νερών είναι δυσκολότερη, αφού μπορεί να περάσουν χρόνια για τη μείωση των συγκεντρώσεων των νιτρικών στο νερό, ακόμα και όταν η πηγή ρύπανσης έχει μειωθεί. Τέλος τα οξείδια του αζώτου που εκλύονται άμεσα από την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης η αμμωνία που αποθηκεύεται στο έδαφος συνεισφέρει στην μείωση του pH του εδάφους και του νερού (OECD, 2001).

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής καλλιεργούνται συνολικά 450902 στρέμματα ελιές, 81444 στρέμματα πορτοκάλια, 20833 στρέμματα δημητριακά, 9302 στρέμματα μηδική καλλιέργεια, 8886 στρέμματα κηπευτικά, 5400 στρέμματα αμπέλια, 4390 καλαμποκιού και 6700 στρέμματα διάφορων άλλων καλλιεργειών. Στον πίνακα 7-4 παρουσιάζονται τα στρέμματα καλλιεργειών ανά δήμο, σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους δήμους αυτούς. Όπως παρατηρείται από τα στοιχεία αυτά οι περισσότερες καλλιέργειες βρίσκονται στους δήμους Σπάρτης, Θεράπνων και Φαρίδος, που είναι αυτοί που βρίσκονται στην πεδιάδα της Σπάρτης και στους δήμους Σκάλας και Έλους που βρίσκονται στην πεδιάδα της Σκάλας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, από τους δήμους του νομού Λακωνίας και Αρκαδίας, για τον υπολογισμό των φορτίων από τη γεωργία και τη κτηνοτροφία καθώς και ο υπολογισμός των φορτίων από τα ελαιουργεία και τις βιοτεχνίες έγινε από Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος EnviFriendly.

Πίνακας 7-4 Επιφάνεια καλλιεργειών σε στρέμματα ανά δήμο.

	Στρέμματα καλλιεργειών ανά δήμο							
	Κηπευτικά	Ελιές	Αμπέλια	Μηδική	Εσπεριδοειδή	Δημητριακά	Λοιπά	Σύνολο
Δ. Πελλάνας	1040	44014	302	570	300	9130	562	55918
Δ. Οινούντος	250	24436	100	205	450	810	2630	28881
Δ. Μυστρά	350	26167	15	36	9393	260		36221
Δ. Σπάρτης	440	23617	300		12548			36905
Δ. Θεράπνων	300	55300	100		1000	3000	200	59900
Δ. Γερónθων	206	51446	702		72	4418	7	56851
Δ. Φαρίδος	500	45000	1000		20000	2000		68500
Δ. Κροκεών	440	34214	730	15	900	400	750	37449
Δ. Σκάλας	1438	24229	900	5400	18640	1000		51607
Δ. Νιάτων	728	15760	630	2006	790	1290	267	21471

Δ. Έλους	2724	33441	239	770	15104	490		52768
Δ. Μολάων	400	600	70		620	130	490	2310
Δ. Γυθείου		41264	186		1627	1495	1457	46029
Δ. Σμύνους		25600						25600
Ν. Αρκαδίας	70	5814	126	300		800	300	7410

Για την αποφυγή προβλημάτων ρύπανσης από την λίπανση των καλλιεργειών το Υπουργείο Γεωργίας εκδίδει πρακτικά λίπανσης, τα οποία ορίζουν τις προτεινόμενες ποσότητες λίπανσης για κάθε καλλιέργεια. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των λιπασμάτων που καταναλώνονται πραγματικά είναι ιδιαίτερα δύσκολος, αφού δεν υπάρχει μηχανισμός ελέγχου. Ο πίνακας 7-5 δίνει πληροφορίες για τις προτεινόμενες ποσότητες λιπάσματος για τα διάφορα είδη καλλιεργειών. Δυστυχώς όμως, εξαιτίας της άγνοιας, δε συμμορφώνονται όλοι οι αγρότες με τις ποσότητες αυτές με αποτέλεσμα να γίνεται υπερκατανάλωση λιπασμάτων.

Πίνακας 7-5 Προτεινόμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια και κάθε είδος λιπάσματος.

	Είδος Λιπάσματος	Είδος Καλλιέργειας	Προτεινόμενες ποσότητες
Αζωτούχα	Θειική Αμμωνία (21-0-0) Νιτρική Αμμωνία (33,5-0-0)	Εσπεριδοειδή Ελιές Κηπευτικά Μηδική Αμπέλια	1-2 Kg / δένδρο 2-4 Kg / δένδρο 60-80 Kg/ στρέμμα 60-80 Kg/ στρέμμα 60-80 Kg/ στρέμμα
Φωσφορούχα	Φωσφορική Αμμωνία (16-20-0) ή (20-10-0)	Εσπεριδοειδή Ελιές Κηπευτικά Μηδική Αμπέλια	1-2 Kg / δένδρο 2-4 Kg / δένδρο 60-80 Kg/ στρέμμα 60-80 Kg/ στρέμμα 60-80 Kg/ στρέμμα
Καλιούχα	Πατεν Καλι 30 K2O -10 MgO -20 S	Εσπεριδοειδή Ελιές Κηπευτικά Μηδική Αμπέλια	1-2 Kg / δένδρο 2-4 Kg / δένδρο 60-100 Kg/ στρέμμα 60-100 Kg/ στρέμμα 60-100 Kg/ στρέμμα
Σύνθετα	11-15-15 28-8-11+Zn	Εσπεριδοειδή Ελιές Κηπευτικά Μηδική Αμπέλια	2-4 Kg / δένδρο 2-4 Kg / δένδρο 80-100 Kg/ στρέμμα 80-100 Kg/ στρέμμα 80-100 Kg/ στρέμμα

Το μοντέλο MONERIS απαιτεί τον υπολογισμό των φορτίων ανά υπολεκάνη. Αρχικά υπολογίστηκε, από την συνολική επιφάνεια των δήμων και των υπολεκανών, το ποσοστό των δήμων που καλύπτει κάθε υπολεκάνη και από το ποσοστό αυτό υπολογίστηκε η έκταση κάθε καλλιέργειας ανά υπολεκάνη. Έπειτα

για τον υπολογισμό των συνολικών φορτίων αζώτου και φωσφόρου που προκύπτουν από τη λίπανση των καλλιεργειών πολλαπλασιάζεται ο αριθμός των στρεμμάτων κάθε καλλιέργειας με την προτεινόμενη ποσότητα. Θεωρείται ότι για κάθε καλλιέργεια χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι λιπασμάτων και ότι χρησιμοποιείται η μέγιστη προτεινόμενη ποσότητα. Για τις ποσότητες που δίνονται σε kg/δέντρο, θεωρείται ότι σε ένα στρέμμα καλλιέργειας υπάρχουν περίπου 35 δέντρα. Οι πίνακες των υπολογισμών παρατίθενται στο Παράρτημα.

Από τα συνολικά φορτία αζώτου και φωσφόρου που αποτίθενται από τη γεωργία, κάποιο ποσοστό προσλαμβάνεται από τα φυτά ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο έδαφος. Η ποσότητα αζώτου και φωσφόρου που χάνεται στο έδαφος εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις, την άρδευση, την κλίση εδάφους, τη σύσταση εδάφους, την ικανότητα διήθησης, το βαθμό φυτοκάλυψης καθώς και από το σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών. Σε ορισμένες περιοχές, όπου οι παραπάνω αναφερόμενοι παράγοντες δρουν κατά τρόπο πολύ έντονο, οι απώλειες των θρεπτικών είναι πολύ μεγάλες, και για αυτό οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες.

Για τον υπολογισμό των τελικών φορτίων που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής και οφείλονται στη γεωργία έγιναν οι παρακάτω υποθέσεις:

- Θεωρείται ότι η πρόσληψη θρεπτικών από τα εσπεριδοειδή και τις ελιές ανέρχεται σε 90%.
- Η λίπανση των αμπελιών γίνεται τους μήνες Ιανουάριο - Απρίλιο, περίοδο κατά την οποία τα αμπέλια είναι ανενεργά. Για το λόγο αυτό θεωρείται ότι η πρόσληψη θρεπτικών από τα αμπέλια είναι 40%.
- Η πρόσληψη θρεπτικών ανέρχεται στο 90% για τη μηδική καλλιέργεια και 60% για τα κηπευτικά.

Τα φορτία που τελικά εισέρχονται στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα από τη γεωργία, όπως υπολογίστηκε με την παραπάνω μεθοδολογία δίνεται στον πίνακα 7-8, μαζί με τα φορτία από την κτηνοτροφία.

7.1.4 Υπολογισμός φορτίων από την κτηνοτροφία

Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους δήμους που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα τα ζώα που εκτρέφονται είναι βοοειδή, χοιρινά, αιγοπρόβατα και πουλερικά. Τα ζώα αυτά είναι ελεύθερης βοσκής. Ο συνολικός αριθμός των ζώων σε κάθε δήμο δίνεται στον πίνακα 7-6.

Πίνακας 7-6 Αριθμός ζώων ανά δήμο.

Δήμοι	Βοοειδή	Αιγοπρόβατα	Χοιρινά	Πουλερικά
Φάριδος	102	10164	13	
Θεραπνών		15500		
Σκάλας		8250		
Έλους		6893		
Μυστρά	532	5530	86	48070
Κροκεών		10500		
Πελλάνας	600	1170		
Οινούντος		10668		
Σπάρτης		1000		
Γυθείου	495	5325		
Νιάτων		21500		10000
Γερωνθών		27420		
Σμύνους		1800		
Μολάων				
Ν. Αρκαδίας		4820		

Το σωματικό βάρος των ζώων καθώς και τα χαρακτηριστικά των ζωικών αποβλήτων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 7-7).

Πίνακας 7-7 Σωματικό βάρος κάθε ζώου (Υπουργείο Γεωργίας, 2001) και χαρακτηριστικά ζωικών αποβλήτων (WHO, 1982).

Ζώο	Σωματικό βάρος (kg)	Χαρακτηριστικά ζωικών αποβλήτων (kg/day/tn σωματικού βάρους)	
		N	P
Βοοειδή	450	0,55	0,035
Αιγοπρόβατα	40	0,43	0,066
Χοίρος	90	0,39	0,075
Πουλερικό	1,8	0,99	0,34

Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των ζώων με το σωματικό βάρος και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και διορθώνοντας τις μονάδες, προκύπτουν τα φορτία αζώτου και φωσφόρου, ανά δήμο, που προέρχονται από την κτηνοτροφία. Για τον υπολογισμό των φορτίων ανά υπολεκάνη πολλαπλασιάζονται τα φορτία ανά δήμο με το ποσοστό των δήμων ανά υπολεκάνη. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν καθώς και τα φορτία από τη γεωργία δίνονται στον πίνακα 7-8.

Πίνακας 7-8 Πλεόνασμα θρεπτικών ανά υπολεκάνη από τη γεωργία και φορτία θρεπτικών από την κτηνοτροφία.

Υπολεκάνες	Φορτία από γεωργία (tn/yr)		Φορτία από κτηνοτροφία (tn/yr)	
	N	P	N	P
1	43,7	16,6	11,0	1,4
2	69,1	26,2	8,8	0,7
3	13,5	5,1	1,7	0,1
4	18,1	6,9	7,8	1,2
5	45,3	17,2	11,2	1,4
6	56,0	21,2	7,1	0,5
7	99,8	37,8	13,1	1,0
8	100,2	38,0	12,8	1,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0
10	36,3	13,8	12,7	1,9
11	136,9	52,1	26,8	3,4
12	42,9	16,6	14,9	2,5
13	42,3	16,4	9,3	1,5
14	356,7	135,2	76,6	11,8
15	42,2	16,4	2,6	0,4
16	89,2	34,5	28,8	4,8
17	43,3	16,9	1,2	0,2
18	3,8	1,5	0,1	0,0
19	121,7	47,2	35,4	5,9
20	74,0	28,7	17,0	2,8
21	85,6	33,2	4,4	0,7
22	133,2	51,9	5,2	0,8
23	77,7	30,2	8,8	1,2
24	14,8	5,6	2,5	0,4
25	102,6	38,8	17,5	2,7
26	157,5	60,7	20,9	3,1
27	198,7	77,2	23,5	3,3
28	0,8	0,3	0,1	0,0
29	154,6	59,7	20,6	3,0
30	1,3	0,5	0,2	0,0
31	86,9	32,9	14,8	2,3
32	64,6	24,5	11,1	1,7
33	80,2	30,6	13,1	2,0
34	177,9	67,4	49,9	7,7
35	66,3	26,0	8,3	1,3
36	107,9	41,3	27,8	4,3
37	2,4	1,0	0,3	0,0
38	141,0	54,3	32,2	4,9
39	29,1	11,3	3,8	0,6
40	104,9	39,9	17,5	2,7
41	65,4	25,7	7,3	1,1
42	519,3	197,6	54,9	6,7
43	162,8	61,8	25,3	3,8
44	260,6	101,6	31,0	4,7
45	511,7	196,0	152,8	24,0
46	378,6	147,0	54,1	8,5

7.1.5 Υπολογισμός φορτίων από σημειακές πηγές

Οι κύριες σημειακές πηγές σχολιάζονται αναλυτικά στην παράγραφο 3.5. Περιληπτικά αυτές περιλαμβάνουν τα δυο μεγάλα χυμοποιία, αλλαντοποιεία, τυροκομεία, βιοτεχνίες επεξεργασίας βρωσίμων ελιών και ελαιουργείων. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι τα δυο χυμοποιία και τα ελαιουργεία.

▪ Ελαιουργεία

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. 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 και του υπόγειου υδροφορέα. Τα υγρά απόβλητα ελαιουργείων έχουν υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, στερεών, αζώτου και φωσφόρου. Επίσης μπορεί να είναι τοξικά για μερικούς οργανισμούς, εξαιτίας του υψηλού περιεχομένου τους σε φαινόλες και του χαμηλού pH. Ο πίνακας 7-9 δίνει την τυπική σύνθεση των υγρών αποβλήτων από ελαιουργεία.

Πίνακας 7-9 Τυπική σύνθεση των υγρών αποβλήτων από ελαιουργεία (Vlyssides et al, 1998).

	Κλασικό	Ξυγοκεντρικό	Μονάδες
Total Solids (TS)	99.7	63.5	g/l
Total susp. Solids (TSS)	4.51	2.8	g/l
Total Volatile Solids(TVS)	87.2	57.37	g/l
Ash	9.69	6.13	g/l
TOC	64.11	39.82	g/l
TKN	1.15	0.76	g/l
TP as P ₂ O ₅	0.87	0.53	g/l
pH	4.5	4.8	-
BOD ₅	68.71	45.5	g/l
COD	158.18	92.5	g/l
Total Sugar	25.86	16.06	g/l
Fats and Oils	2.8	1.64	g/l
Polyalcohols	4.75	3.19	g/l
Glycerol	0.1	0.062	g/l
Total Proteins	28.3	17.91	g/l
Organic acids	4.88	3.21	g/l
Total Phenolic Compounds	17.15	10.65	g/l
Phenolic acids	0.48	0.28	g/l
Tannins	6.74	4.01	g/l
Pectins	3.25	2.15	g/l
Potassium as K ₂ O	3.77	2.37	g/l
Sodium as Na ₂ O	405.81	243	mg/l
Calcium as CaO	382.11	271	mg/l
Iron as FeO	48.32	32	mg/l
Magnesium as MgO	74	50	mg/l
Silicon as SiO ₂	28.62	18	mg/l
Total Sulfur	101.43	63	mg/l
Total Chlorine	219.48	124	mg/l
Manganese	18.24	12	mg/l
Zinc	19.68	12	mg/l
Copper	10.5	6	mg/l

Από τον παραπάνω πίνακα και με στοιχεία για την παραγωγή των υγρών αποβλήτων από κάθε ελαιοτριβείο υπολογίστηκαν τα φορτία αζώτου και φωσφόρου, που οφείλονται στα υγρά απόβλητα ελαιουργείου.

▪ Χυμοποιία

Σημαντική πηγή ρύπανσης αποτελεί και το μεγάλο ιδιωτικό χυμοποιίο «Παπαδημητρακόπουλος» που λειτουργεί στην περιοχή. Τα υγρά απόβλητα των χυμοποιίων προκύπτουν από το πλύσιμο των πορτοκαλιών, τη διαδικασία παραγωγής του χυμού και από το πιεστήριο. Από τη βιβλιογραφία δε βρέθηκαν

στοιχεία για τα φορτία αζώτου και φωσφόρου που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα χυμοποιών. Σύμφωνα όμως με στοιχεία από την έκθεση του προγράμματος MEDSPA, το χυμοποιίο «Παπαδημητρακόπουλος» παράγει περίπου 78 m³/h υγρών αποβλήτων. Τα απόβλητα ισοδυναμούν με τα υγρά απόβλητα 30000 κατοίκων (MEDSPA, 1993) . Με βάση τα στοιχεία αυτά θεωρείται ότι τα προερχόμενα φορτία αζώτου και φωσφόρου από το χυμοποιίο είναι 100 και 20 tn/yr αντίστοιχα. Το χυμοποιίο του συνεταιρισμού «Λακωνία» διαθέτει βιολογικό καθαρισμό, επομένως θεωρούμε ότι τα φορτία αζώτου και φωσφόρου απομακρύνονται και δε διαφεύγουν στο ποτάμι.

▪ Τυροκομεία

Αναλυτικά τα τυροκομεία που υπάρχουν στη λεκάνη απορροής και ο όγκος παραγωγής τους δίνονται αναλυτικά στην παράγραφο 3-5. Για τον υπολογισμό των φορτίων από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τη βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 7-10. Στην περιοχή υπάρχουν και άλλα ελαιουργεία εκτός από αυτά που αναφέρονται στον πίνακα. Για αυτά όμως δε βρέθηκαν στοιχεία.

Πίνακας 7-10 Ποσότητες ρύπων για κάθε τυροκομείο (WHO, 1982).

	Συνολική φόρτιση ανά τυροκομείο		
	Σγουρίτσας	Καλιακούδης	Μοίρας
Υγρά Απόβλητα (m ³)	2420	6050	1815
BOD ₅ * (Kg)	5300	13250	3975
Αιωρούμενα σωματίδια(Kg/ tn)	2170	5425	1627,5
Άζωτο (οργανικό) (Kg/ tn)	620	1550	465
BOD ₅ ** (Kg)	26300	65750	19725

* Με ανάκτηση του τυρόγαλου και την παραγωγή ότι το 40% γίνεται τυρί

** Με απόρριψη του τυρόγαλου

▪ Βιοτεχνίες βρωσίμων ελιών

Πίνακας 7-11 Ρυπαντικά φορτία που προέρχονται από κάθε βιοτεχνία επεξεργασίας βρωσίμων ελιών (Kopsidas, 1992).

	Συνολική φόρτιση		
	Μακροσπόουλος και ΣΙΑ	Κεφαλές Σπάρτη ΑΕ	ΟΙΝΟΥΝΤΑΣ ΑΕ
Suspended Solids (tn/περίοδο)	0,27	0,14	0,02
Dissolved Solids (tn/περίοδο)	29,45	14,73	2,36
BOD5 (tn/περίοδο)	2,87	1,44	0,23
COD (tn/περίοδο)	8,63	4,32	0,69
Chloride (tn/περίοδο)	19,10	9,55	1,53
Sodium Chloride (tn/περίοδο)	31,53	15,76	2,52

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα των ρυπαντικών φορτίων (Πίνακας 7-11), οι βιοτεχνίες επεξεργασίας βρώσιμων ελαίων δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με μεγάλα φορτία αζώτου και φωσφόρου.

▪ Αστικές πηγές

Στις σημειακές πηγές ρύπανσης συγκαταλέγονται και οι εκροές της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου Σπάρτης καθώς και οι εκροές του αποχετευτικού δικτύου του οικισμού Γερακίου. Σήμερα η μονάδα εξυπηρετεί 21300 ι.κ.. Θεωρούμε ότι η παραγωγή υγρών αποβλήτων είναι 90 m^3 / κάτοικο / χρόνο. Για τον υπολογισμό των φορτίων αυτών θεωρείται ότι τα αστικά λύματα της περιοχής είναι μέσης ισχύος. Η μονάδα επεξεργασίας απομακρύνει το άζωτο κατά 90% και το φώσφορο κατά 80% σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΥΑ Σπάρτης. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι τα φορτία αζώτου και φωσφόρου από τις πηγές αυτές είναι **10,5 και 3,7 tn/yr** αντίστοιχα.

Πίνακας 7-12 Συγκέντρωση ρύπων σε μέσης ισχύος αστικό λύμα (Metcalf & Eddy, 1991).

Είδος ρύπου	Συγκέντρωση (kg/m ³)
Ολικό άζωτο	0,04
Οργανικό άζωτο	0,015
Ελεύθερη αμμωνία	0,025
Ολικός Φώσφορος	0,008

Στον πίνακα 7-12 φαίνεται η συγκέντρωση των ρύπων σε ένα τυπικό αστικό λύμα μέσης ισχύος. Στον πίνακα 7-13 φαίνονται τα συνολικά φορτία αζώτου και φωσφόρου που προέρχονται από σημειακές πηγές ρύπανσης όπως υπολογίστηκαν με την παραπάνω μεθοδολογία.

Πίνακας 7-13 Συνολικά φορτία αζώτου και φωσφόρου από τις σημειακές πηγές ρύπανσης.

Υπολεκάνες	N (tn/yr)	P (tn/yr)
1	1,10	0,77
2	2,81	1,96
3	0,55	0,38
4	0,06	0,04
5	1,17	0,81
6	2,28	1,59
7	3,99	2,78
8	4,08	2,84
9	0,00	0,00
10	0,22	0,16
11	4,07	2,85
12	0,70	0,51
13	2,05	0,36
14	4,11	2,86
15	7,43	2,81
16	1,56	1,06
17	0,26	0,18
18	0,02	0,01
19	2,06	1,38
20	0,93	0,66
21	100,97	20,57
22	1,24	0,77
23	0,88	0,61
24	0,18	0,13
25	1,25	0,87
26	1,85	1,29
27	2,33	1,62
28	0,01	0,01
29	2,08	1,45
30	0,02	0,02
31	1,06	0,74
32	0,79	0,55
33	1,35	0,94
34	2,02	1,41
35	1,91	1,33
36	1,75	1,22
37	0,07	0,05
38	5,95	2,47
39	0,78	0,54
40	1,97	1,37
41	2,00	1,39
42	7,71	5,38
43	2,82	1,96
44	6,99	4,88
45	8,89	6,20
46	8,74	6,09

7.1.6 Υπολογισμός διάβρωσης

Για τον υπολογισμό της απώλειας εδάφους λόγω διάβρωσης χρησιμοποιείται η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation, USLE).

Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- (1) Ενέργεια και ένταση κατακρήμνισης,
- (2) Διαβρωσιμότητα εδάφους,
- (3) Κλίση εδάφους,
- (4) Χρήση γης,
- (5) Κατάσταση εδάφους και πρακτική διαχείρισης του εδάφους.

Αυτοί οι παράγοντες δίνονται ποσοτικοποιημένοι για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης. Στην εξίσωση αυτή όμως δεν λαμβάνεται υπόψη και δεν υπολογίζεται η διάβρωση από τρέχοντα νερά (gully erosion). Η εξίσωση υπολογισμού της διάβρωσης είναι η ακόλουθη (Ο' Neil, 1985):

$$A = R K (LS) C P$$

Όπου:

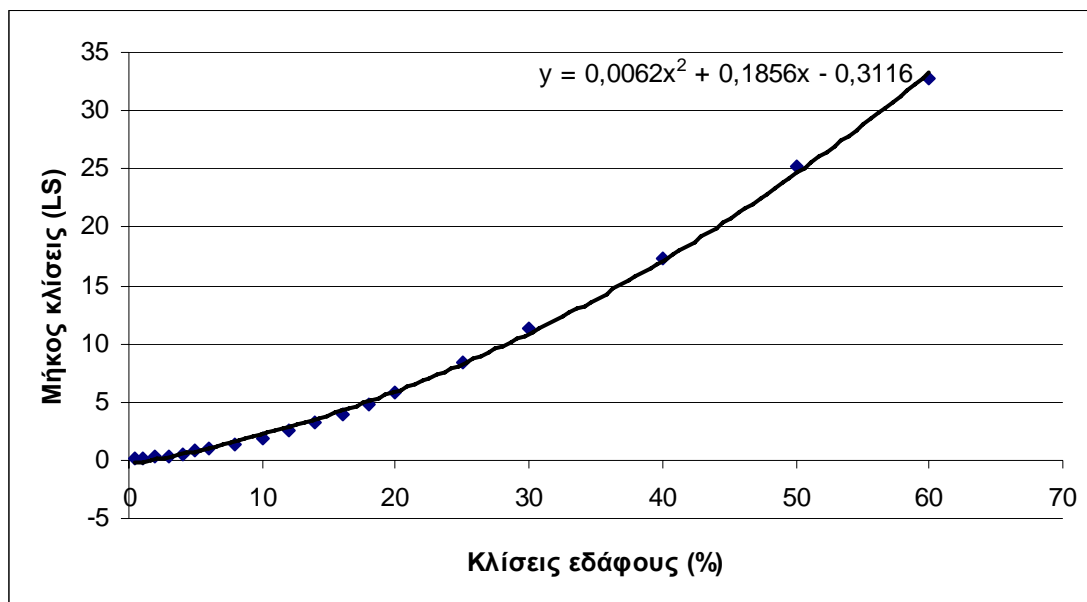
- A : η υπολογιζόμενη ετήσια απώλεια εδάφους σε tons/ha year
- R : ο συντελεστής βροχόπτωσης, ο οποίος αναφέρεται στη διάβρωση για ένα έτος με φυσιολογικό για την περιοχή ύψος βροχόπτωσης. Ο συντελεστής βροχόπτωσης είναι μια μέτρηση της δύναμης διάβρωσης ενός επεισοδίου βροχής συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (Οι μονάδες αυτού είναι cm/ (ha year))
- K : ο συντελεστής διαβρωσιμότητας της περιοχής, ο οποίος είναι ο ρυθμός διάβρωσης ανά μονάδα συντελεστή διάβρωσης για συγκεκριμένο έδαφος (αδιάστατος συντελεστής)
- L : ο συντελεστής μήκους κλίσης, που είναι το κλάσμα της απώλειας εδάφους από ένα συγκεκριμένο μήκος κλίσης προς την 72.6 ft κλίση του ίδιου εδάφους και κλίσης (διαστατικά ο συντελεστής αυτός έχει μονάδες μάζας προς μήκος (tn/cm))
- S : ο συντελεστής που εκφράζει το πόσο απότομη είναι η κλίση (slope steepness factor), ο οποίος είναι το κλάσμα απώλειας του εδάφους της κλίσης του πεδίου προς αυτήν ενός εδάφους κλίσης 9%.
- C : ο συντελεστής εδαφοκάλυψης και διαχείρισης εδάφους, ο οποίος ισούται με το κλάσμα της απώλειας εδάφους από το πεδίο συγκεκριμένης διαχείρισης εδάφους προς αυτήν χέρσου εδάφους (αγρανάπαυσης). Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται επίσης συντελεστής κάλυψης και χρησιμοποιείται για να εκφράζει την επίδραση της εδαφικής κάλυψης ή της διαχείρισης του εδάφους στην

προστασία εδαφών από τη διάβρωση (αδιάστατος συντελεστής)

P : ο συντελεστής πρακτικής ελέγχου της διάβρωσης, που είναι το κλάσμα της απώλειας εδάφους όταν λαμβάνουν χώρα πρακτικές διατήρησης του εδαφικού στρώματος προς αυτήν όταν τέτοιες πρακτικές δεν υφίστανται (αδιάστατος συντελεστής).

Εκτιμάται ότι ο συντελεστής διαβρωσιμότητας της υδρολογικής λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα ισούται με $K=0.2$, δηλαδή ότι το έδαφος χαρακτηρίζεται από μικρή τάση διάβρωσης. Επίσης εκτιμάται ότι ο συντελεστής πρακτικής ελέγχου διάβρωσης είναι ίσος με $P=1$, δηλαδή ότι οι πρακτικές ελέγχου διάβρωσης δεν είναι στην περιοχή μελέτης αποτελεσματικές, γεγονός που δικαιολογείται από τις μεγάλες κλίσεις που εμφανίζονται σε ορισμένες περιοχές και την αδυναμία λήψης μέτρων συγκράτησης του εδάφους. Η τιμή που δόθηκε στο συντελεστή είναι αντιπροσωπευτική για μη συνεκτικά εδάφη.

Για τον υπολογισμό του μήκους κλίσης LS απαιτείται αρχικά ο υπολογισμός της μέσης κλίσης ανά υπολεκάνη. Οι απαιτούμενες κλίσεις υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα ArcView χρησιμοποιώντας το ψηφιακό τοπογραφικό ανάγλυφο (Digital Elevation Model - DEM). Έπειτα από τη βιβλιογραφία βρέθηκαν στοιχεία τα οποία συσχετίζουν τις κλίσεις εδάφους με το συντελεστή LS από τα οποία βρέθηκε η σχέση μεταξύ των κλίσεων εδάφους και του συντελεστή LS (διάγραμμα 7-1). Από τη σχέση αυτή υπολογίστηκε το μήκος κλίσεις LS.



Διάγραμμα 7-1 Συσχέτιση κλίσεων εδάφους με το συντελεστή μήκους κλίσης (LS) (Ο'Neil, 1985).

Ο συντελεστής εδαφοκάλυψης αφορά στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Σε περιοχές που η φυτική κάλυψη είναι μεγάλη, το έδαφος προστατεύεται από τη διάβρωση και ο συντελεστής εδαφοκάλυψης είναι μικρός. Το αντίθετο συμβαίνει σε κατοικημένες περιοχές και περιοχές, σε περιοχές με ή παράκτιες περιοχές. Για τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα,, ο συντελεστής εδαφοκάλυψης θεωρήθηκε ίσος με 0,011 στις υπολεκάνες βόρεια, ενώ θεωρήθηκε ίσος με 0,039 στις υπολεκάνες που καλύπτουν παράκτιες περιοχές.

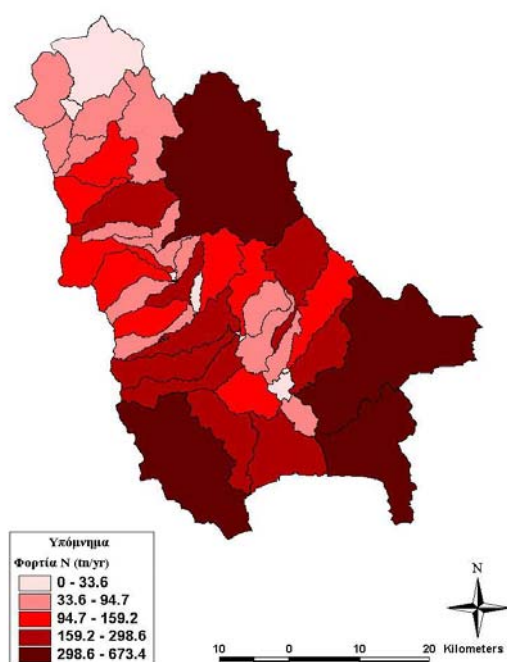
Τέλος ο συντελεστής βροχόπτωσης θεωρείται ίσος με το μέσο βροχομετρικό ύψος που έχει υπολογιστεί ήδη παραπάνω. Οι μονάδες του συντελεστή είναι cm/m^2 .

Οι τελικοί υπολογισμοί καθώς και η τελική απώλεια εδάφους όπως υπολογίστηκε παρουσιάζεται σε πίνακες στο παράρτημα.

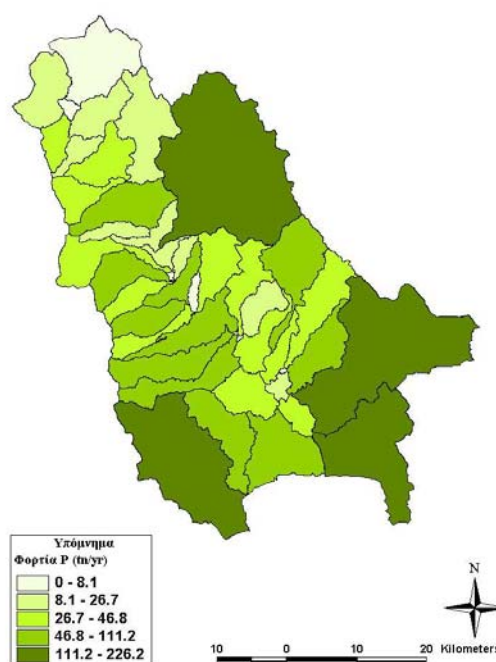
7.1.7 Τελικά φορτία

Οι χάρτες 7-3 και 7-4 παρουσιάζουν τα συνολικά φορτία που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, όπως υπολογίστηκαν από την παραπάνω μεθοδολογία. Οι κατηγορίες του εύρους των φορτίων του χάρτη 7-3 είναι (σε tN αζώτου/γρ): 0 - 33,6 , 33,6-94,7 , 94,7 - 159,2 , 159,2 - 298,6 και 298,6 - 673,4. Οι κατηγορίες του εύρους των φορτίων του χάρτη 7-4 είναι (σε tN φωσφόρου/γρ): 0 - 8,1 , 8,1 - 26,7 , 26,7 - 46,8 , 46,8 - 111,2 και 111,2 - 226,2.

Όπως φαίνεται από τους χάρτες αυτούς υψηλά φορτία αζώτου και φωσφόρου δέχονται σχεδόν όλες οι υπολεκάνες στο δέλτα του Ευρώτα, στην περιοχή Σκάλας, Έλους και Γυθείου, αφού σε αυτές βρίσκεται. Επίσης υψηλά φορτία δέχεται και η υπολεκάνη του ποταμού Οινούντα, κυρίως εξαιτίας της μεγάλης της έκτασης και των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων λαμβάνουν χώρα. Επίσης υψηλά φορτία παρουσιάζει η υπολεκάνη των Αμυκλών, αφού στην περιοχή αυτή βρίσκονται τα χυμοποιία. Οι υπολεκάνες που βρίσκονται βόρεια της λεκάνης απορροής δέχονται μικρότερα φορτία, γεγονός αναμενόμενο αφού οι πιέσεις στην περιοχή αυτή είναι μικρές.



Χάρτης 7-3 Συνολικά φορτία αζώτου (tn/yr), ανά υπολεκάνη, που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.



Χάρτης 7-4 Συνολικά φορτία φωσφόρου (tn/yr), ανά υπολεκάνη, που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

7.2 Βαθμονόμηση μοντέλου

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου MONERIS χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πεδίου. Η βαθμονόμηση γίνεται μεταβάλλοντας παραμέτρους του μοντέλου, έτσι ώστε τα υπολογιζόμενα από το μοντέλο φορτία να ταιριάζουν με τα φορτία τα οποία υπολογίστηκαν στο πεδίο. Για τον υπολογισμό των φορτίων αζώτου που πραγματικά βρίσκονται στο ποτάμι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα παροχής και μετρήσεις της συγκέντρωσης αζώτου στις ίδιες θέσεις στις οποίες μετρήθηκε η παροχή. Τα δεδομένα αυτά ελήφθησαν από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ) της Νομαρχίας Λακωνίας.

Η ΥΕΒ μετράει την παροχή του ποταμού σε τέσσερα σημεία σε μηνιαία βάση. Τα σημεία αυτά είναι στη Σελλασία, στο στενό Βορδόνιας, στο Βρονταμά και στην Τάφρο Ω (Βασιλοπόταμος). Με βάση τα στοιχεία αυτά η μέση ετήσια παροχή για τις παραπάνω θέσεις για την πενταετία 2000-2004 είναι **1,63 m³/s**, **1,40 m³/s**, **2,52 m³/s** και **1,46 m³/s** αντίστοιχα. Μετρήσεις για συγκέντρωση αζώτου ήταν διαθέσιμες μόνο για τα σημεία στο στενό Βορδόνιας, Βρονταμά και

στη Τάφρο Ω για τα έτη 2002-2004. Πολλαπλασιάζοντας τη συγκέντρωση αζώτου με την παροχή υπολογίστηκαν τα συνολικά φορτία αζώτου στις τρεις αυτές θέσεις τα οποία είναι **85,252 tn/yr** στο στενό Βορδόνιας, **184,062 tn/yr** στο Βρονταμά και **145,399 tn/yr** στην Τάφρο Ω.

Αυτά τα φορτία είναι πάρα πολύ μικρά και δεν αντιστοιχούν σε φορτία που προέρχονται από μία λεκάνη της τάξεως των 2410 km² όπως είναι αυτή του Ευρώτα. Το πρόβλημα, όπως διαπιστώθηκε ήταν στον υπολογισμό των μέσων ετησίων παροχών. Για παράδειγμα η μέση ετήσια παροχή στο Βρονταμά είναι 2,52m³/s ή 80,6 * 10⁶ m³/yr. Η έκταση της λεκάνης μέχρι τον Βρονταμά είναι περίπου 1500 km². Αν κανονικοποιήσουμε την παροχή με την έκταση τότε η παροχή θα είναι 53 mm/yr. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της πενταετίας στη λεκάνη μέχρι τον Βρονταμά είναι 836 mm/yr. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής εκροής είναι 6%. Δηλαδή, μόνο το 6% της βροχής γίνεται επιφανειακή απορροή. Αυτό είναι εξαιρετικά μικρό ποσοστό και δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Η υδρολογική ανάλυση που έγινε με το μοντέλο HSPF, στα πλαίσια του προγράμματος EnhvFriendly, έδειξε ότι η απορροή του Ευρώτα στη θέση Βρονταμά είναι της τάξεως των 250 - 300 mm/yr, δηλαδή 30-35% της βροχόπτωσης και ότι το σύστημα έχει πολύ γρήγορη (flushy) απορροή με αποτέλεσμα η μέτρηση της παροχής μία φορά τον μήνα να μην ανταποκρίνεται στον μέσο όρο του μήνα και να είναι 5-6 φορές μικρότερη. Με βάση αυτή την ανάλυση, αποφασίστηκε η αύξηση των παροχών κατά 5 φορές και έτσι έγινε ο υπολογισμός των μέσων ετήσιων φορτίων του ανόργανου και του ολικού αζώτου που εκρέουν στην παράκτια ζώνη (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

Επίσης έγιναν αλλαγές στο μοντέλο για να συμπεριληφθούν μηχανισμοί οι οποίοι παρατηρούνται στον Ευρώτα αλλά δε συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο. Παράδειγμα τέτοιων μηχανισμών είναι η λειτουργία των ρυπασμένων ιζημάτων και παρόχθιων περιοχών σα δευτερογενής πηγή ρύπανσης. Επίσης παρόλο που στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα δεν εφαρμόζονται πρακτικές όπως αυτή του tile drainage, σε κάποιες υπολεκάνες στην περιοχή της Σκάλας εφαρμόζουν παρόμοιες πρακτικές, οι οποίες και ελήφθησαν υπόψη κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου.

Αλλαγές έγιναν στο μοντέλο αργίλου - φωσφόρου το οποίο βασίστηκε σε αναλύσεις που έγιναν στη λεκάνη απορροής του Αχελώου (Nikolaidis *et al.*, 2004). αλλαγές έγιναν στο ατμοσφαιρικό φορτίο του φωσφόρου (0,99 kg/ha-yr) καθώς και στο συντελεστή του αστικού φορτίου (1,8 g/ca-day).

7.3 Αποτελέσματα μοντελοποίησης

Ο πίνακας 7-14 παρουσιάζει τα φορτία αζώτου και φωσφόρου που εκπέμπονται στο ποτάμι όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS.

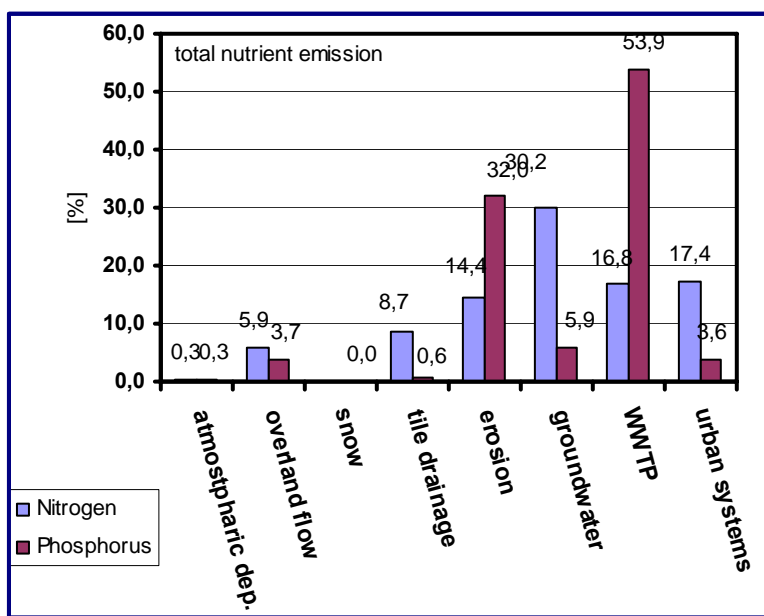
Πίνακας 7-14 Εκπομπές θρεπτικών όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Σύνολο εκπομπών και συνεισφορά «μονοπατιών»				
	Άζωτο		Φώσφορο	
	[tn/yr]	[%]	[tn/yr]	[%]
Ατμοσφαιρική εναπόθεση	5,2	0,3	1,0	0,3
Απορροή μέσω Tile	146,7	8,7	1,9	0,6
Υπόγειο νερό	507,9	30,2	18,4	5,9
Επιφανειακή απορροή	99,6	5,9	11,5	3,7
Διάβρωση	242,2	14,4	99,9	32,0
Σημειακές Πηγές	283,1	16,8	167,9	53,9
Δευτερογενείς Πηγές (In-stream processes)	107,2	6,4		
Αστικά Απόβλητα (ολικά)	292,7	17,4	11,3	3,6
Συνολικές Εκπομπές	1684,5	100,0	311,8	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι το υπόγειο νερό είναι αυτό που συνεισφέρει κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (30,2 %) στην εισροή φορτίων αζώτου στο ποτάμι, ενώ το ποσοστό του φορτίου φωσφόρου που εισέρχεται στο ποτάμι μέσω υπόγειου νερού είναι μικρότερο και ίσο με 5,9%. Ακολουθούν οι σημειακές πηγές και τα υγρά απόβλητα αστικών περιοχών τα οποία συνεισφέρουν 16,8% και 17,4% αντίστοιχα για τα φορτία αζώτου, ενώ για τα φορτία φωσφόρου οι σημειακές πηγές είναι αυτές που συνεισφέρουν κατά το μέγιστο, με ποσοστό 53,9% ενώ τα αστικά απόβλητα συνεισφέρουν με ποσοστό 3,6%.

Σημαντικό ρόλο στην εισροή θρεπτικών στο ποτάμι παίζει και η διάβρωση του εδάφους. Το ποσοστό συνεισφοράς για το άζωτο είναι 14,4% και για το φώσφορο είναι 32%. Τα ποσοστά αυτά είναι αναμενόμενα αφού αρκετές υπολεκάνες παρουσιάζουν μεγάλες κλίσεις, ιδιαίτερα από τη μεριά του Ταΰγετου. Το ποσοστό των φορτίων που εισέρχονται στο ποτάμι μέσω tile είναι 8,7% για το άζωτο και 0,6% για το φώσφορο, από την επιφανειακή απορροή είναι 5,9% για το άζωτο και 3,7% για το φώσφορο, μέσω ρύπανσης από δευτερογενείς πηγές ρύπανσης

(π.χ. ιζήματα και παρόχθιες περιοχές) είναι 6,4% για το άζωτο και τέλος από την ατμοσφαιρική εναπόθεση είναι 0,3% για το άζωτο και ο φώσφορο.



Διάγραμμα 7-2 Ποσοστιαία συνεισφορά των μονοπατιών επιβάρυνσης στις συνολικές εκπομπές Αζώτου και Φωσφόρου για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

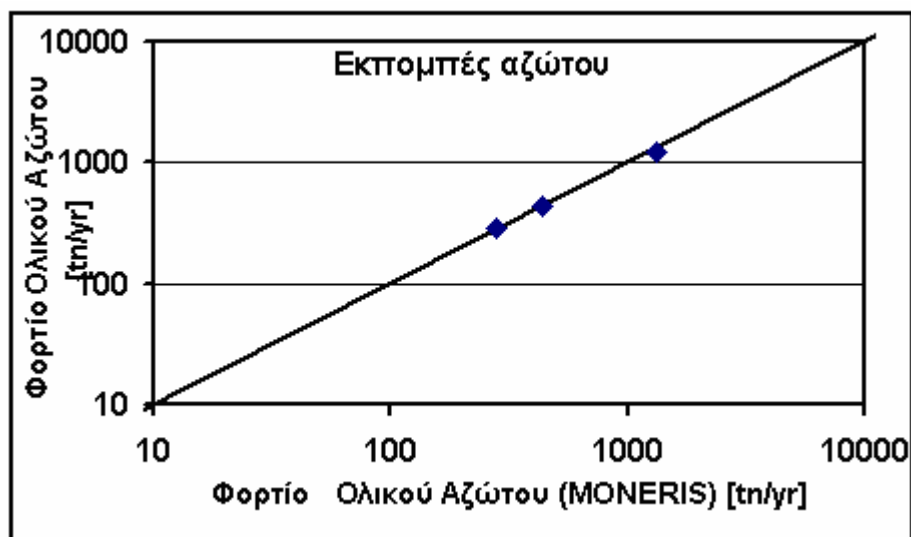
Ο πίνακας 7-15 παρουσιάζει τα φορτία που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα όπως υπολογίστηκαν από τη μεθοδολογία που και τα φορτία που τελικά εισέρχονται στο ποτάμι όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS. Τα ολικά φορτία αζώτου και φωσφόρου που δέχεται η λεκάνη απορροής του Ευρώτα από τη γεωργία, κτηνοτροφία, ατμοσφαιρική εναπόθεση, τις σημειακές πηγές ρύπανσης και τα αστικά λύματα είναι 7830 tn/yr και 2308,7 tn/yr αντίστοιχα. Τα φορτία που εκπέμπονται τελικά στο ποτάμι σύμφωνα με το μοντέλο MONERIS είναι 1684,5 tn/yr άζωτο και 311,8 tn/yr φώσφορο. Επομένως παρατηρείται 78,5% μείωση των φορτίων αζώτου και 86,5% μείωση των φορτίων του φωσφόρου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου υποδεικνύουν ότι υπάρχουν μηχανισμοί οι οποίοι συγκρατούν τους ρύπους με φυσικό τρόπο. Επίσης σύμφωνα με υπολογισμούς του μοντέλου τα ετήσια φορτία του ανόργανου και του ολικού αζώτου που εκρέουν στην παράκτια ζώνη υπολογίστηκαν 1568 και 1882 tn-N/yr αντιστοίχως.

Πίνακας 7-15 Φορτία θρεπτικών που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής και εκπομπές θρεπτικών στο ποτάμι όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS.

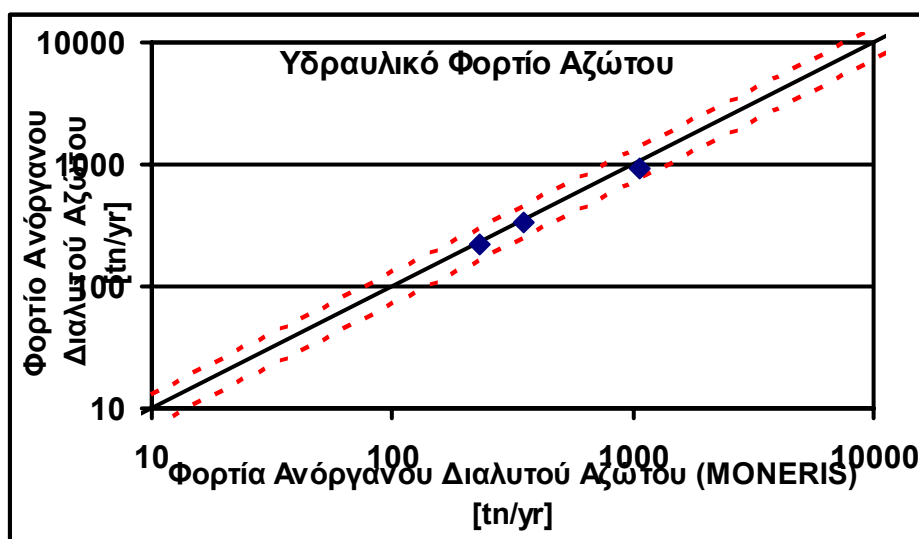
Καθαρά φορτία θρεπτικών που δέχεται η λεκάνη απορροής		
	Αζωτο (tn/yr)	Φώσφορο (tn/yr)
Γεωργία	5121,8	1965,2
Κτηνοτροφία	906,4	134,3
Ατμοσφαιρική Εναπόθεση	1370,1	77,7
Αστικά Λύματα	237,1	47,4
Σημειακές Πηγές Ρύπανσης	194,6	84,2
Σύνολο	7830,0	2308,7

Εκπομπές θρεπτικών στο ποτάμι		
	Αζωτο (tn/yr)	Φώσφορο (tn/yr)
Ατμοσφαιρική Εναπόθεση	5,2	1,0
Απορροή μέσο Tile	146,7	1,9
Υπόγεια Νερά	507,9	18,4
Επιφανειακή Απορροή	99,6	11,5
Διάβρωση	242,2	99,9
Σημειακές Πηγές	283,1	167,9
In-stream Φορτία	107,2	
Αστικά Απόβλητα (Ολικά)	292,7	11,3
Σύνολο	1684,5	311,8
Απομάκρυνση (%)	78,5	86,5

Τα διαγράμματα 7-3 και 7-4 παρουσιάζουν τη συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του μοντέλου MONERIS και των τιμών πεδίου.



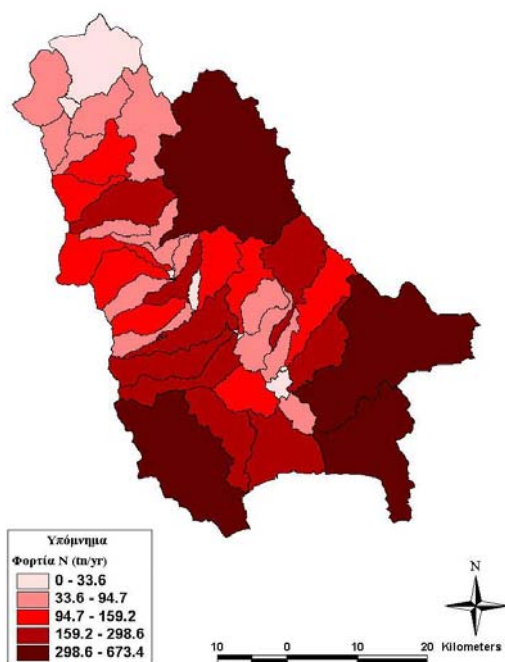
Διάγραμμα 7-3 Σύγκριση μεταξύ ετήσιων φορτίων Ολικού Αζώτου (TN) πεδίου και μοντέλου MONERIS.



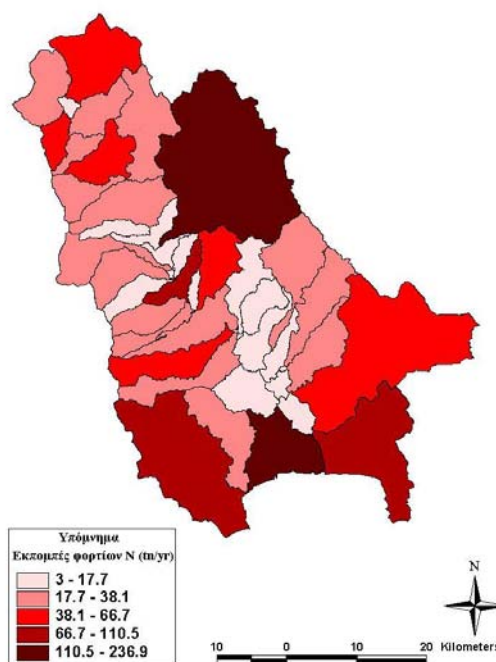
Διάγραμμα 7-4 Σύγκριση μεταξύ ετήσιων φορτίων Ανόργανου Διαλυτού Αζώτου (DIN) πεδίου και μοντέλου MONERIS.

Όπως φαίνεται από το χάρτη 7-5 τα περισσότερα φορτία αζώτου εκπέμπονται στο ποτάμι από τις υπολεκάνες του Οινούντα και της περιοχής της Σκάλας. Η περιοχή του Οινούντα είναι περιοχή με μεγάλη επιφάνεια και έντονες κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Συνεπώς εκλύει στο ποτάμι σημαντικά φορτία αζώτου. Επίσης η περιοχή της Σκάλας είναι περιοχή με πολλές καλλιέργειες. Σημαντικά φορτία αζώτου εκπέμπονται σχεδόν από όλες τις υπολεκάνες που βρίσκονται στο κάτω ρου του Ευρώτα, όπως και τη λεκάνη του Μαριορέματος και την υπολεκάνη στην περιοχή της Ριβιώτισσας και των Αμυκλών, όπου εκτός από τις πολλές καλλιέργειες, είναι η περιοχή όπου βρίσκονται τα χυμοποιία. Συγκρίνοντας τους χάρτες 7-5 και 7-6, γίνεται φανερό ότι υπάρχει μείωση των φορτίων αζώτου, αφού τα φορτία που δέχεται η λεκάνη απορροής του Ευρώτα είναι μεγαλύτερα από αυτά που εκπέμπονται τελικά στο ποτάμι. Από τα αποτελέσματα του μοντέλου παρατηρείται επίσης ότι υπάρχουν υπολεκάνες στις οποίες συγκράτηση των φορτίων αζώτου είναι μεγαλύτερη.

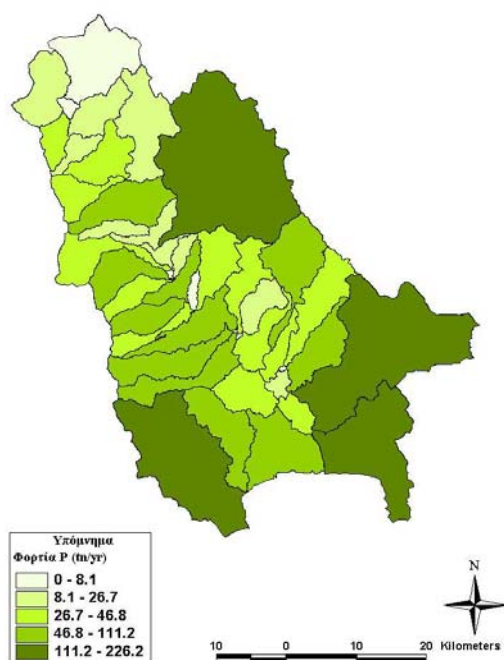
Όσον αφορά στα φορτία φωσφόρου, τα περισσότερα φαίνονται να εκπέμπονται από τη λεκάνη στην περιοχή της Ριβιώτισσας και Αμυκλών, κυρίως εξαιτίας των σημειακών πηγών (χυμοποιίων). Όπως και στην περίπτωση των φορτίων αζώτου, από τη σύγκριση των χαρτών 7-7 και 7-8 γίνεται εμφανές ότι στην περιοχή υπάρχουν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης. Μερικές υπολεκάνες έχουν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης του φωσφόρου.



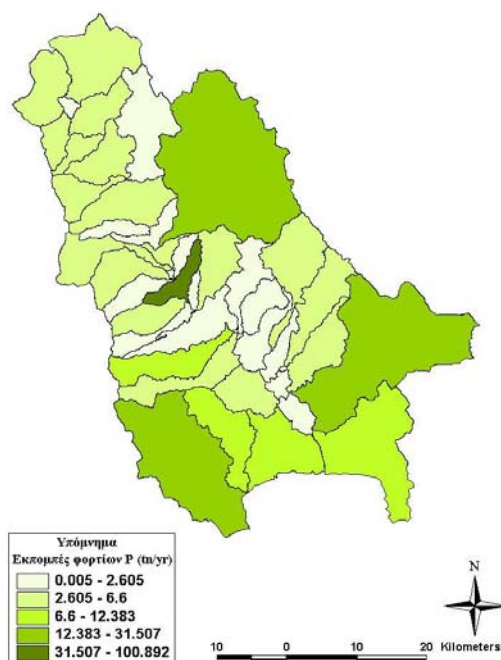
Χάρτης 7-5 Συνολικά φορτία αζώτου (tn/yr), ανά υπολεκάνη, που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.



Χάρτης 7-6 Φορτία αζώτου (tn/yr) που εκπέμπονται στον ποταμό Ευρώτα, όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS.



Χάρτης 7-7 Συνολικά φορτία φωσφόρου (tn/yr), ανά υπολεκάνη, που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.



Χάρτης 7-8 Φορτία φωσφόρου (tn/yr) που εκπέμπονται στον ποταμό Ευρώτα, όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο MONERIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - Συμπεράσματα - Προτάσεις

Σε γενικές γραμμές οι τιμές των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στα δείγματα επιφανειακού νερού κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, με εξαίρεση κάποιες θέσεις στον ποταμό Ευρώτα, όπως αυτή στη Σκούρα αλλά και στο Βρονταμά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρατηρήθηκε στις συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου και του COD. Έτσι σχεδόν στα περισσότερα δείγματα επιφανειακού νερού η συγκέντρωση νιτρικού αζώτου ήταν μεγαλύτερη από αυτή που ορίστηκε σε συγκέντρωση υποβάθρου. Το ίδιο ισχύει και για τις συγκεντρώσεις του COD αλλά και για τις ολικές φαινόλες. Ο Ευρώτας στην περιοχή της Σκούρας και του Βρονταμά είχε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρύπων.

Προβλήματα ρύπανσης από νιτρικά παρουσιάστηκαν στο υπόγειο νερό. Όλα τα πηγάδια, εκτός από ένα στην περιοχή της Σκούρας είχαν συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου μεγαλύτερες των 5 mg/L. Η άρδευση με το νερό αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στις καλλιέργειες, όχι όμως σοβαρές, αφού η συγκέντρωση σε κανένα πηγάδι δεν ξεπέρασε την τιμή των 30 mg/L. Επίσης στο νερό των περισσότερων πηγαδιών είναι ακατάλληλο για ύδρευση. Όσον αφορά στα δείγματα υπόγειου νερού από τις γεωτρήσεις, υψηλή συγκέντρωση είχε μόνο μια γεώτρηση, η οποία βρίσκεται στην πεδιάδα της Σκάλας, η οποία αντλεί από μικρό (συγκριτικά με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις) βάθος, 30m. Η μέση συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο δείγμα αυτό είναι 53,46 mg/L. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα υψηλή και φαίνεται το σοβαρό πρόβλημα ρύπανσης από νιτρικά που αντιμετωπίζει η περιοχή αυτή. Επίσης μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στις καλλιέργειες που αρδεύονται με το νερό αυτό.

Όσον αφορά στη συγκέντρωση του COD στο υπόγειο νερό από τα πηγάδια υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται κυρίως κοντά σε κατοικημένες περιοχές και σε σπίτια, ενώ καθώς απομακρυνόμαστε από αυτά οι συγκεντρώσεις του COD μειώνονται. Οι συγκεντρώσεις του COD, του νιτρικού αζώτου και των φαινολών, στις γεωτρήσεις στους πρόποδες του Ταΰγετου, που πιθανότατα αντλούν από το ρήγμα της περιοχής, είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με τις

γεωτρήσεις στην πεδιάδα της Σπάρτης και της Σκάλας, ένδειξη συσσώρευσης της ρύπανσης στον υπόγειο υδροφόρο.

Η νιτρορύπανση των υπόγειων υδάτων οφείλεται κυρίως στην αγροτική δραστηριότητα και συνδέεται άμεσα με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Για την αντιμετώπισή της είναι απαραίτητη 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.α.

Σημαντικά προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν τα υγρά απόβλητα των χυμοποιίων, των ελαιουργείων και τα αστικά υγρά λύματα, τα οποία διατίθενται ανεπεξέργαστα στον Ευρώτα ή σε παραπόταμους του. Από επιτόπιες παρατηρήσεις διαπιστώθηκε ότι ο Ευρώτας στην περιοχή της Σπάρτης, της Σκούρας, του Βρονταμά και στη Σκάλα έχει υποστεί σοβαρή υποβάθμιση των υδάτων του. Στην περιοχή μάλιστα της Σκούρας, οι οσμές από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού είναι έντονες, προκαλώντας προβλήματα στον πληθυσμό που κατοικεί στην περιοχή. Κατά την τελευταία επίσκεψή μας διαπιστώθηκε ότι η μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του δήμου της Σπάρτης και του συνεταιριστικού χυμοποιίου δε λειτουργούσαν με αποτέλεσμα η κατάσταση, ιδιαίτερα στην περιοχή της Σκούρας, να είναι δυσμενέστερη.

Παρόλα τα σοβαρά 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. 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. Δηλαδή 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.

Η μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα με το μοντέλο MONERIS έδειξε ότι τα φορτία αζώτου εισέρχονται στο ποτάμι κυρίως από το

υπόγειο νερό, τις σημειακές πηγές και τα αστικά υγρά απόβλητα, ενώ τα φορτία φωσφόρου εισέρχονται στο ποτάμι κυρίως μέσω της διάβρωσης του εδάφους και των σημειακών πηγών ρύπανσης.

Τα φορτία που εκπέμπονται τελικά στο ποτάμι σύμφωνα με το μοντέλο MONERIS είναι 1684,5 tn/yr άζωτο και 311,8 tn/yr φώσφορο. Επομένως παρατηρείται 78,5% μείωση των φορτίων αζώτου και 86,5% μείωση των φορτίων του φωσφόρου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου αποδεικνύουν την ύπαρξη μηχανισμών οι που συγκρατούν τους ρύπους με φυσικό τρόπο.

Η μελέτη αυτή αποτελεί ένα προκαταρκτικό στάδιο επίδειξης της τεχνολογίας της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης. Όπως έχει φανεί από την μοντελοποίηση και τις αναλύσεις στο εργαστήριο, υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι μειώνουν την ισχύ των ρύπων καθώς αυτοί απομακρύνονται από την πηγή ρύπανσης. Οι δειγματοληψίες στην περιοχή θα συνεχιστούν καθώς επίσης και η περαιτέρω μελέτη στο εργαστήριο έτσι ώστε να μελετηθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που ελέγχουν τους μηχανισμούς αυτούς. Είναι επίσης σημαντικό να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης για ένα αποδεκτό χρονικό διάστημα.

Αναφορές

▪ Βιβλιογραφία

ANTONAKOS A. AND LAMBRAKIS N., 2000, *Hydrodynamic Characteristics and Nitrate Propagation in Sparta Aquifer*, Water Research, Vol. 34, No. 16, pp.3977-3986.

ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, 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.

BEHRENDT, H, P HUBER, M KORNILCH, M OPITZ, O SCHMOLL, G SCHOLZ, & R UEBE, 1999: *Nutrient Emissions into River Basins of Germany, Federal Environmental Agency*, UFOPlan-Ref. No. 296 25 515.

ΕΝΒΕΚΟ Α.Ε., W DELFT, B. ΠΕΡΛΕΡΟΣ, ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Ε.Π.Ε., 2005: *Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Πελοποννήσου, Βόρειας Πελοποννήσου και Ανατολικής Πελοποννήσου Παραδοτέο - Α Φάσης, Συγκέντρωση και Αξιολόγηση Υφισταμένης Πληροφορίας - Συμπληρώσεις Δεδομένων*, Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Γραμματεία Ανάπτυξης Γενική Διεύθυνση Φυσικού Πλούτου Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού Και Φυσικών Πόρων. Τεύχος 4/4, Αθήνα, Οκτ- 2005

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USA, (US-EPA), 1999: *Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons*, US-EPA remedial technology fact sheet EPA/600/F-98/021

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USA, (US-EPA), 2001: *Monitored Natural Attenuation: An EPA Science Advisory Board Review*, USEPA Research Program, Environmental Engineering Committee (EEC) of the EPA Science Advisory Board.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USA, (US-EPA), 1999: *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.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, 2000: *Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων*, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

GERMAN WATER ENGINEERING GMBH, GWE, 1972: *Hydrological study and feasibility report for the lower basin of the Evrotas River and Molai region, Greece*, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) German Water Engineering GMBH (GWE).

HELLERICH A. LUCAS, PANCIERA A. MATHEW, NIKOLAIDIS P. NIKOLAOS, SMETS F. BARTH, DOBBS M. GREGORY, 2003: *Attenuation of a mixed chromium and chlorinated ethene in estuarine influenced glaciated sediments*, Ground Water Monitoring & Remediation 23 no 3, summer 2003, pages 74-84.

HELLERICH A. LUCAS, NIKOLAIDIS P. NIKOLAOS, 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. LUCAS, NIKOLAIDIS P. NIKOLAOS, 2005: *Studies of hexavalent chromium in redox variable soils obtained from a sandy to sub-wetland groundwater environment*, Water Research, Article in Press.

HELLERICH A. LUCAS, NIKOLAIDIS P. NIKOLAOS, DOBBS M. GREGORY, 2004: *A conceptual framework for the evaluation of the natural attenuation of chromium*, Groundwater Monitoring and Remediation, In Review.

HENG, H AND NP NIKOLAIDIS, 1998: *Distributed Modeling of Non-point Source Pollution of Nitrogen*, Journal of American Water Resources Association, 34 (2) 359-374.

ΚΑΡΑΛΕΜΑΣ Δ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, 2006: *Μηχανισμοί λειτουργίας των πηγών του ανατολικού Ταΰγετου*, Διατριβή Μεταπτυχιακής Ειδίκευσης, Εθνικό Καποδιστριακό Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών.

ΚΑΡΑΜΠΕΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ Α.Ε., ΜΑΝΟΥΣΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, 1994: *Μελέτη Λιμνοδεξαμενών Νομού Λακωνίας*, Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών, Αθήνα.

ΚΑΤΣΙΚΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, 1992: *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα Χ.Ε.

ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ Υ2/2600/2001 - ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01, (Διορθ. σφαλμ. στο ΦΕΚ 1082 Β'/14-8-01): *Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης*, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.

ΚΟΡΣΙΔΑΣ G.C, 1992: *Waste from the preparation of table olives*, Water Research. 26 No 5 pp 629-631, 1992

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

METCAF & EDDY, 1991: *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

NIAOUNAKIS M., HALVADAKIS CP, 2004: *Olive Mill Waste Management, Literature Review and Patent Survey*, Typothito George Dardanos, Athens.

NIKOLAIDIS, NP, SKOULIKIDIS, N., AND KARAGEORGIS A. 2004: *Pilot Implementation of EU Policies in Acheloos River Basin and Coastal Zone, Greece*, Proceedings of International Symposium on Water Resources Management: Risks and Challenges for the 21st Century, European Water Resources Association, Izmir, Turkey, September 2-4, pp. 797-809.

NIKOLAIDIS NP, KARGEORGIS A., KAPSIMALIS V., SKOULIKIDIS N., DRAKOPOULOU P., KONTOYIANNIS, X., PAGGOU K., AND BEHRENDT H., 2005: *Management of Nutrient Emissions from Axios River to Thermaikos Gulf*, Proceedings of EEDYP Conference, April 6-9, Xanthi, Greece

NIKOLAIDIS NP, KARGEORGIS A., KAPSIMALIS V., MARCONIS G., DRAKOPOULOU P., KONTOYIANNIS, H., KRASAKOPOULOU E., PAVLIDOU A., PAGGOU K., 2006: *Circulation and Nutrient Modeling of Thermaikos Gulf, Greece*, Journal of Marine Systems 60 (2006) 51-62

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Ν., ΤΣΑΚΙΡΗΣ Κ., & ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ Ν., 2006: *Προκαταρκτικό 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).

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΤΖΩΡΑΚΗ ΟΥΡΑΝΙΑ, ΣΤΑΜΑΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ, ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ, & ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ 2006: *Σχεδιασμός τεχνολογιών επίδειξης*. Τεχνική έκθεση 98σ. + Παράρτημα 5σ. 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).

OECD, 2001: *OECD National soil surface nitrogen balances database, OECD Secretariat*, March 2001.

ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ Π. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, 2001: *Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

O'NEIL W.A., CAROTHERS L., 1985: *Guidelines for soil erosion and sediment control*, The Connecticut council on soil and water conservation, January 1985, Connecticut.

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

SCHIRMER MARIO, DAHMKE ANDREAS, DIETRICH PETER, DIETZE MICHAEL, GOEDEKE STEFAN, RICHNOW HANS HERMANN, SCHIRMER KRISTIN, WEIß HOLGER,

- TEUTSCH GEORG, 2006: *Natural attenuation research at the contaminated megasite Zeitz*, Journal of Hydrology, Article in Press.
- SKOULIKIDIS N., 2001: *Final Report Part B' project: "Exploitation of the hydrochemical time-series of Acheloos River - Assessment of the contribution of agriculture in aquatic pollution"*, Editor: Dr. Nikolaos Skoulidakis, Athens December 2001.
- TNO-NICOLE report, 1999: *Monitored Natural Attenuation: Review of existing guidelines and protocols*, TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation.
- ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ., 1995: *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική υδρολογία*, Εκδόσεις συμμετρία, Αθήνα.
- VLYSSIDES *et al*, 1998, Fresenius Envir. Bull 7: 308-313
- WIEDEMEIER T.H., ET AL., 1998: *Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground water* U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-98/128.
- WINTER, T.C., 2000: *Interaction of Ground Water and Surface Water, Proceedings of the Ground-Water/Surface-Water Interactions Workshop*, US Environmental Protection Agency. EPA/542/R- 00/007. July 2000.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1982: *Rapid Assessment of sources of air, water and land pollution*, Geneva, Publication No 62.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, 1994: *Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης*, Αθήνα.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, 2001: *Αξιοποίηση υδροχημικών δεδομένων Αχελώου - Εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στην υδατική ρύπανση*, Μέρος Β', Αθήνα.

- **Αναφορές στο διαδίκτυο**

<http://www.trekearth.com/gallery/Europe/Greece/Peloponnesus/Lakonia>

<http://www.evortas.gr>

<http://members.virtualtourist.com>

<http://www.pbase.com>

Παράρτημα

Πίνακας 1 Γενικά στοιχεία για τις υπολεκάνες

Υπολεκάνες	Επιφάνεια (km ²)	Πληθυσμός (κάτοικοι)
1	54,55	20
2	22,40	963
3	5,51	20
4	91,55	534
5	38,96	581
6	18,11	752
7	47,17	1148
8	33,00	729
9	0,01	20
10	82,58	267
11	66,69	917
12	17,57	553
13	19,57	1010
14	336,43	1982
15	11,45	18086
16	49,80	461
17	11,29	20
18	0,95	20
19	45,53	807
20	25,75	791
21	25,18	1009
22	34,39	920
23	22,94	20
24	6,77	63
25	47,30	968
26	54,15	3176
27	59,31	775
28	0,37	20
29	51,17	467
30	0,56	20
31	40,04	93
32	29,75	468
33	33,62	20
34	77,18	210
35	20,01	20
36	61,51	757
37	0,69	20
38	52,00	1372
39	9,43	20
40	42,44	969
41	18,74	20
42	198,72	8944
43	66,58	1689
44	79,29	4138
45	263,67	6012
46	142,36	4001

■ Υπολογισμοί βροχόπτωσης

Πίνακας 2 Βάρη μετεωρολογικών σταθμών για κάθε υπολεκάνη

Υπολεκάνες	Μετεωρολογικοί Σταθμοί						
	Έλος	Ριβιώτιστα	Βρονταμάς	Περιβόλια	Σελλασία	Βασαράς	Πετρίνα
1	-	-	-	1,000	-	-	-
2	-	-	-	1,000	-	-	-
3	-	-	-	1,000	-	-	-
4	-	-	-	0,276	0,724	-	-
5	-	-	-	0,454	0,546	-	-
6	-	-	-	0,997	0,003	-	-
7	-	-	-	0,523	0,477	-	-
8	-	-	-	0,966	0,034	-	-
9	-	-	-	-	1,000	-	-
10	-	-	-	-	1,000	-	-
11	-	-	-	0,416	0,584	-	-
12	-	-	-	0,746	0,254	-	-
13	-	0,089	-	0,161	0,750	-	-
14	-	0,004	-	-	0,131	0,866	-
15	-	0,972	-	-	-	0,027	-
16	-	0,128	-	0,872	-	-	-
17	-	0,908	-	-	-	0,092	-
18	-	1,000	-	-	-	-	-
19	-	0,717	-	0,283	-	-	-
20	-	1,000	-	-	-	-	-
21	-	0,992	-	-	-	0,008	-
22	-	1,000	-	-	-	-	-
23	-	1,000	-	-	-	-	-
24	-	1,000	-	-	-	-	-
25	-	0,677	-	-	-	0,323	-
26	-	0,990	0,010	-	-	-	-
27	-	0,689	0,006	-	-	-	0,305
28	-	0,004	0,996	-	-	-	-
29	-	0,047	0,203	-	-	-	0,751
30	-	-	1,000	-	-	-	-
31	-	0,600	0,120	-	-	0,280	-
32	-	0,050	0,950	-	-	-	-
33	-	-	1,000	-	-	-	-
34	-	0,001	0,624	-	-	0,375	-
35	-	-	1,000	-	-	-	-
36	-	-	1,000	-	-	-	-
37	-	-	1,000	-	-	-	-
38	-	-	1,000	-	-	-	-
39	-	-	1,000	-	-	-	-
40	0,003	-	0,534	-	-	-	0,463
41	0,665	-	0,335	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	1,000
43	-	-	-	-	-	-	1,000
44	0,742	-	0,008	-	-	-	0,249
45	0,114	-	0,886	-	-	-	-
46	0,996	-	0,004	-	-	-	-

Πίνακας 3 Μέσο ύψος βροχόπτωσης (mm) ανά υπολεκάνη

Υπολεκάνες	2000	2001	2002	2003	2004	Μέσος όρος 5-ετίας
1	1177,0	785,0	1225,0	1800,0	938,0	1185,0
2	1177,0	785,0	1225,0	1800,0	938,0	1185,0
3	1177,0	785,0	1225,0	1800,0	938,0	1185,0
4	750,6	812,4	850,4	802,0	623,8	767,8
5	855,2	805,7	942,3	1046,9	700,9	870,2
6	1175,5	785,1	1223,7	1796,5	936,9	1183,5
7	896,2	803,1	978,2	1142,6	731,1	910,2
8	1157,0	786,3	1207,4	1753,1	923,2	1165,4
9	588,0	822,9	707,5	421,3	504,0	608,7
10	588,0	822,9	707,5	421,3	504,0	608,7
11	833,3	807,1	923,0	995,5	684,8	848,7
12	1027,4	794,6	1093,6	1449,9	827,8	1038,7
13	692,0	831,1	806,2	709,6	594,2	726,6
14	582,3	885,0	914,5	802,8	516,9	740,3
15	687,0	981,8	882,1	1159,3	727,0	887,5
16	1114,9	810,4	1181,0	1719,4	911,8	1147,5
18	690,1	984,5	880,5	1168,0	733,0	891,2
17	680,1	976,2	886,5	1139,6	713,2	879,1
19	828,1	928,0	978,1	1347,1	791,1	974,5
20	690,1	984,5	880,5	1168,0	733,0	891,2
21	689,3	983,8	881,0	1165,6	731,4	890,2
22	690,1	984,5	880,5	1168,0	733,0	891,2
24	690,1	984,5	880,5	1168,0	733,0	891,2
25	654,8	955,2	901,7	1068,1	663,5	848,7
23	690,1	984,5	880,5	1168,0	733,0	891,2
26	688,8	980,0	879,5	1163,2	730,2	888,3
27	736,7	896,4	891,6	1093,5	666,3	856,9
28	553,2	527,2	774,6	680,4	448,4	596,7
29	778,7	681,2	887,6	892,4	515,0	751,0
30	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
31	643,1	904,1	886,1	1022,8	638,5	818,9
32	559,6	548,6	779,5	703,2	461,7	610,5
33	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
34	563,4	664,1	838,7	746,7	474,1	657,4
35	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
36	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
37	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
38	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
39	552,7	525,5	774,2	678,6	447,4	595,7
40	688,2	608,2	840,9	796,4	480,7	682,9
41	526,6	483,6	720,1	657,1	409,0	559,3
42	845,2	704,4	918,7	933,0	519,8	784,2
43	845,2	704,4	918,7	933,0	519,8	784,2
44	596,5	523,3	749,8	718,0	422,6	602,1
45	548,2	518,3	764,9	674,9	440,8	589,4
46	513,6	462,7	693,2	646,4	390,0	541,2

▪ Υπολογισμοί φορτίων από τη γεωργία

Πίνακας 4 Ποσοστό επιφάνειας δήμων ανά υπολεκάνη

Υπολεκάνες	Δήμος Πελλάνας	Δήμος Οινούτσος	Δήμος Μυστρά	Δήμος Σπάρτης	Δήμος Θεραπνών	Δήμος Γερόνθων	Δήμος Ξαρίδος	Δήμος Κροκεών	Δήμος Σκάλας	Δήμος Νιάτων	Δήμος Έλους	Δήμος Μολάων	Δήμος Γυθείου	Δήμος Σμύνους
1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,20	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,00	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0,17	0,09	0,09	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0,02	0,06	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0,75	0	0,03	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0,00	0,02	0,11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0,25	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0,12	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0,30	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0,14	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0,00	0,20	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0,00	0,31	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0,01	0,00	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0,00	0,03	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0,00	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0

26	0	0	0	0	0,08	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0,00	0	0,31	0,01	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0,00	0	0,17	0,12	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0,11	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0,07	0	0	0,08	0,02	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0,06	0,25	0	0	0,01	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0,00	0,01	0	0,01	0,13	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0,14	0	0	0,07	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0,13	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,04	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,02	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0,18	0,02	0	0	0	0	0,39	0,91
43	0	0	0	0	0	0	0,00	0,34	0,00	0	0	0	0,02	0,08
44	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,34	0	0,10	0	0,00	0
45	0	0	0	0	0	0,45	0	0	0,08	0,42	0,27	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,19	0,61	0,13	0	0

Πίνακας 5 Επιφάνεια καλλιεργειών ανά υπολεκάνη (στρέμματα)

Υπολεκάνες	Επιφάνεια καλλιεργειών (στρέμματα)						
	Κηπευτικά	Ελιές	Αμπέλια	Μηδική	Εσπεριδοειδή	Δημητριακά	Λοιπά
1	75,9	3926,1	48,5	107,0	16,9	712,9	106,6
2	148,8	6299,1	43,2	81,6	42,9	1306,6	80,4
3	29,1	1232,1	8,5	16,0	8,4	255,6	15,7
4	20,8	1594,2	32,5	76,8	1,0	229,2	76,8
5	79,3	4067,4	49,4	108,9	17,8	742,2	108,4
6	120,7	5106,4	35,0	66,1	34,8	1059,2	65,2
7	212,2	9114,7	61,9	117,0	64,8	1850,0	138,5
8	216,0	9142,2	62,7	118,4	62,3	1896,4	116,7
9	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
10	36,6	3318,5	39,1	90,7	34,3	262,0	275,6
11	232,5	12157,0	63,7	118,3	1007,8	1637,7	338,5
12	45,3	3390,4	1,9	4,7	1217,0	33,7	0,0
13	47,7	3305,4	16,5	7,3	1160,2	36,5	64,5
14	280,3	33836,9	110,4	153,7	954,3	1413,9	2025,7
15	52,9	3012,4	32,4	0,6	1487,8	8,4	0,5
16	95,8	6982,2	9,7	9,0	2587,0	64,7	0,0
17	54,4	3091,4	36,6	0,0	1518,2	13,1	0,9
18	5,0	267,5	3,4	0,0	142,1	0,0	0,0
19	133,6	9418,5	23,1	11,0	3632,1	79,1	0,0
20	84,6	5598,3	25,7	5,2	2328,6	37,2	0,0
21	97,1	6472,2	62,7	0,0	2525,6	96,4	6,4
22	159,2	9344,7	137,5	0,0	4792,2	87,9	0,0
23	63,4	5595,0	119,4	0,0	2457,2	238,3	0,4
24	7,9	1426,6	2,8	0,0	32,2	76,9	5,1
25	53,9	9941,3	18,0	0,0	180,3	539,3	36,0
26	112,9	12461,9	185,0	0,0	3618,9	598,0	16,3
27	160,1	14346,0	317,9	0,2	6174,9	622,9	10,1
28	0,4	77,7	0,1	0,0	1,4	4,2	0,3
29	139,1	11880,1	259,9	1,8	3544,8	393,1	90,5
30	1,3	120,3	1,9	0,0	2,9	2,9	2,0
31	45,7	8416,7	15,2	0,0	152,2	456,6	30,4
32	33,9	6256,2	12,2	0,0	112,0	341,4	22,5
33	89,1	7033,5	87,4	125,8	569,6	256,0	74,5
34	85,4	16648,4	191,8	55,4	272,3	1308,6	14,3
35	188,7	3759,3	126,6	684,7	2374,0	155,4	9,0
36	124,3	8877,5	158,8	357,3	1243,6	690,9	1,0
37	7,5	126,5	4,7	28,2	97,3	5,2	0,0
38	217,6	10756,1	220,9	702,9	2436,8	783,0	1,0
39	73,2	1834,2	56,0	238,4	841,8	53,0	16,8
40	134,6	9018,3	198,7	93,0	534,8	117,3	188,9
41	203,1	3422,5	127,1	762,8	2633,0	141,3	0,0
42	95,6	48029,7	261,1	0,3	4158,1	941,7	582,5
43	154,0	14651,6	256,3	19,0	439,9	176,9	287,0
44	812,9	16246,5	428,1	1907,8	7919,4	445,6	106,3
45	1256,5	40742,5	714,7	1467,3	5921,3	2736,5	116,0
46	2222,2	24367,7	349,2	932,2	9644,4	559,6	50,8

Πίνακας 6 Συνολικά φορτία αζώτου (tn/yr) από τη λίπανση των καλλιεργειών (πριν τη πρόσληψη από τα φυτά)

Υπολεκάνες	Φορτία αζώτου ανά καλλιέργεια (tn/yr)				
	Εσπεριδοειδή	Ελιές	Κηπευτικά	Μηδική	Αμπέλια
1	1,08	393,01	4,65	6,55	2,97
2	2,75	630,54	9,11	4,99	2,65
3	0,54	123,33	1,78	0,98	0,52
4	0,06	159,57	1,27	4,70	1,99
5	1,14	407,15	4,85	6,66	3,03
6	2,23	511,15	7,38	4,05	2,14
7	4,15	912,38	12,99	7,16	3,79
8	3,99	915,14	13,22	7,25	3,84
9	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
10	2,20	332,18	2,24	5,55	2,40
11	64,55	1216,92	14,23	7,24	3,90
12	77,95	339,38	2,78	0,29	0,12
13	74,31	330,87	2,92	0,45	1,01
14	61,12	3387,07	17,15	9,41	6,76
15	95,29	301,55	3,24	0,04	1,98
16	165,70	698,92	5,87	0,55	0,59
17	97,24	309,45	3,33	0,00	2,24
18	9,10	26,78	0,31	0,00	0,21
19	232,63	942,80	8,18	0,67	1,41
20	149,15	560,39	5,18	0,32	1,57
21	161,77	647,87	5,94	0,00	3,84
22	306,94	935,40	9,74	0,00	8,41
23	157,39	560,06	3,88	0,00	7,30
24	2,06	142,80	0,48	0,00	0,17
25	11,55	995,13	3,30	0,00	1,10
26	231,79	1247,44	6,91	0,00	11,32
27	395,50	1436,04	9,80	0,01	19,46
28	0,09	7,77	0,03	0,00	0,01
29	227,04	1189,20	8,51	0,11	15,90
30	0,18	12,05	0,08	0,00	0,12
31	9,75	842,51	2,79	0,00	0,93
32	7,17	626,24	2,07	0,00	0,75
33	36,48	704,05	5,45	7,70	5,35
34	17,44	1666,50	5,22	3,39	11,74
35	152,05	376,31	11,55	41,90	7,75
36	79,65	888,64	7,61	21,87	9,72
37	6,24	12,67	0,46	1,73	0,29
38	156,08	1076,69	13,32	43,01	13,52
39	53,92	183,60	4,48	14,59	3,43
40	34,26	902,73	8,24	5,69	12,16
41	168,65	342,59	12,43	46,68	7,78
42	266,33	4807,77	5,85	0,02	15,98
43	28,17	1466,63	9,43	1,16	15,69
44	507,24	1626,28	49,75	116,76	26,20
45	379,26	4078,32	76,90	89,80	43,74
46	617,72	2439,21	136,00	57,05	21,37

Πίνακας 7 Συνολικά φορτία φωσφόρου (tn/yr) από τη λίπανση των καλλιεργειών (πριν τη πρόσληψη από τα φυτά)

Υπολεκάνες	Φορτία φωσφόρου ανά καλλιέργεια (tn/yr)				
	Εσπεριδοειδή	Ελιές	Κηπευτικά	Μηδική	Αμπέλια
1	0,46	148,41	1,82	2,57	1,16
2	1,17	238,11	3,57	1,96	1,04
3	0,23	46,57	0,70	0,38	0,20
4	0,03	60,26	0,50	1,84	0,78
5	0,49	153,75	1,90	2,61	1,19
6	0,95	193,02	2,90	1,59	0,84
7	1,77	344,53	5,09	2,81	1,49
8	1,70	345,58	5,18	2,84	1,51
9	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
10	0,94	125,44	0,88	2,18	0,94
11	27,51	459,53	5,58	2,84	1,53
12	33,22	128,16	1,09	0,11	0,05
13	31,67	124,94	1,15	0,18	0,40
14	26,05	1279,03	6,73	3,69	2,65
15	40,62	113,87	1,27	0,01	0,78
16	70,62	263,93	2,30	0,22	0,23
17	41,45	116,86	1,31	0,00	0,88
18	3,88	10,11	0,12	0,00	0,08
19	99,16	356,02	3,21	0,26	0,55
20	63,57	211,61	2,03	0,12	0,62
21	68,95	244,65	2,33	0,00	1,50
22	130,83	353,23	3,82	0,00	3,30
23	67,08	211,49	1,52	0,00	2,86
24	0,88	53,92	0,19	0,00	0,07
25	4,92	375,78	1,29	0,00	0,43
26	98,80	471,06	2,71	0,00	4,44
27	168,57	542,28	3,84	0,00	7,63
28	0,04	2,94	0,01	0,00	0,00
29	96,77	449,07	3,34	0,04	6,24
30	0,08	4,55	0,03	0,00	0,05
31	4,16	318,15	1,10	0,00	0,37
32	3,06	236,48	0,81	0,00	0,29
33	15,55	265,86	2,14	3,02	2,10
34	7,43	629,31	2,05	1,33	4,60
35	64,81	142,10	4,53	16,43	3,04
36	33,95	335,57	2,98	8,58	3,81
37	2,66	4,78	0,18	0,68	0,11
38	66,52	406,58	5,22	16,87	5,30
39	22,98	69,33	1,76	5,72	1,34
40	14,60	340,89	3,23	2,23	4,77
41	71,88	129,37	4,88	18,31	3,05
42	113,52	1815,52	2,29	0,01	6,27
43	12,01	553,83	3,70	0,46	6,15
44	216,20	614,12	19,51	45,79	10,28
45	161,65	1540,07	30,16	35,22	17,15
46	263,29	921,10	53,33	22,37	8,38

Πίνακας 8 Πλεόνασμα αζώτου (tn/yr) (Φορτία αζώτου μετά την πρόσληψη αζώτου από τα φυτά)

Υπολεκάνες	Πλεόνασμα αζώτου ανά καλλιέργεια (tn/yr)				
	Εσπεριδοειδή	Ελιές	Κηπευτικά	Μηδική	Αμπέλια
1	0,11	39,30	1,86	0,65	1,78
2	0,27	63,05	3,64	0,50	1,59
3	0,05	12,33	0,71	0,10	0,31
4	0,01	15,96	0,51	0,47	1,19
5	0,11	40,71	1,94	0,67	1,82
6	0,22	51,12	2,95	0,40	1,29
7	0,42	91,24	5,20	0,72	2,27
8	0,40	91,51	5,29	0,72	2,30
9	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
10	0,22	33,22	0,90	0,55	1,44
11	6,46	121,69	5,69	0,72	2,34
12	7,79	33,94	1,11	0,03	0,07
13	7,43	33,09	1,17	0,04	0,61
14	6,11	338,71	6,86	0,94	4,05
15	9,53	30,15	1,29	0,00	1,19
16	16,57	69,89	2,35	0,05	0,36
17	9,72	30,95	1,33	0,00	1,35
18	0,91	2,68	0,12	0,00	0,12
19	23,26	94,28	3,27	0,07	0,85
20	14,91	56,04	2,07	0,03	0,94
21	16,18	64,79	2,38	0,00	2,30
22	30,69	93,54	3,90	0,00	5,05
23	15,74	56,01	1,55	0,00	4,38
24	0,21	14,28	0,19	0,00	0,10
25	1,15	99,51	1,32	0,00	0,66
26	23,18	124,74	2,76	0,00	6,79
27	39,55	143,60	3,92	0,00	11,67
28	0,01	0,78	0,01	0,00	0,01
29	22,70	118,92	3,40	0,01	9,54
30	0,02	1,20	0,03	0,00	0,07
31	0,97	84,25	1,12	0,00	0,56
32	0,72	62,62	0,83	0,00	0,45
33	3,65	70,40	2,18	0,77	3,21
34	1,74	166,65	2,09	0,34	7,04
35	15,21	37,63	4,62	4,19	4,65
36	7,97	88,86	3,04	2,19	5,83
37	0,62	1,27	0,18	0,17	0,17
38	15,61	107,67	5,33	4,30	8,11
39	5,39	18,36	1,79	1,46	2,06
40	3,43	90,27	3,29	0,57	7,30
41	16,86	34,26	4,97	4,67	4,67
42	26,63	480,78	2,34	0,00	9,59
43	2,82	146,66	3,77	0,12	9,41
44	50,72	162,63	19,90	11,68	15,72
45	37,93	407,83	30,76	8,98	26,24
46	61,77	243,92	54,40	5,71	12,82

Πίνακας 9 Πλεόνασμα φωσφόρου (tn/yr) (Φορτία φωσφόρου μετά την πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά)

Υπολεκάνες	Πλεόνασμα φωσφόρου ανά καλλιέργεια (tn/yr)				
	Εσπεριδοειδή	Ελιές	Κηπευτικά	Μηδική	Αμπέλια
1	0,05	14,84	0,73	0,26	0,70
2	0,12	23,81	1,43	0,20	0,62
3	0,02	4,66	0,28	0,04	0,12
4	0,00	6,03	0,20	0,18	0,47
5	0,05	15,37	0,76	0,26	0,71
6	0,10	19,30	1,16	0,16	0,50
7	0,18	34,45	2,04	0,28	0,89
8	0,17	34,56	2,07	0,28	0,90
9	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
10	0,09	12,54	0,35	0,22	0,56
11	2,75	45,95	2,23	0,28	0,92
12	3,32	12,82	0,44	0,01	0,03
13	3,17	12,49	0,46	0,02	0,24
14	2,61	127,90	2,69	0,37	1,59
15	4,06	11,39	0,51	0,00	0,47
16	7,06	26,39	0,92	0,02	0,14
17	4,14	11,69	0,52	0,00	0,53
18	0,39	1,01	0,05	0,00	0,05
19	9,92	35,60	1,28	0,03	0,33
20	6,36	21,16	0,81	0,01	0,37
21	6,89	24,46	0,93	0,00	0,90
22	13,08	35,32	1,53	0,00	1,98
23	6,71	21,15	0,61	0,00	1,72
24	0,09	5,39	0,08	0,00	0,04
25	0,49	37,58	0,52	0,00	0,26
26	9,88	47,11	1,08	0,00	2,66
27	16,86	54,23	1,54	0,00	4,58
28	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00
29	9,68	44,91	1,34	0,00	3,74
30	0,01	0,45	0,01	0,00	0,03
31	0,42	31,82	0,44	0,00	0,22
32	0,31	23,65	0,33	0,00	0,18
33	1,55	26,59	0,85	0,30	1,26
34	0,74	62,93	0,82	0,13	2,76
35	6,48	14,21	1,81	1,64	1,82
36	3,40	33,56	1,19	0,86	2,29
37	0,27	0,48	0,07	0,07	0,07
38	6,65	40,66	2,09	1,69	3,18
39	2,30	6,93	0,70	0,57	0,81
40	1,46	34,09	1,29	0,22	2,86
41	7,19	12,94	1,95	1,83	1,83
42	11,35	181,55	0,92	0,00	3,76
43	1,20	55,38	1,48	0,05	3,69
44	21,62	61,41	7,80	4,58	6,17
45	16,17	154,01	12,06	3,52	10,29
46	26,33	92,11	21,33	2,24	5,03

▪ Υπολογισμοί φορτίων από την κτηνοτροφία

Πίνακας 10 Φορτία αζώτου και φωσφόρου που προκύπτουν από την κτηνοτροφία, ανά δήμο

	N (tn/yr)	P (tn/yr)
Δήμος Πελλάνα	61,55	4,58
Δήμος Οινούντος	66,97	10,28
Δήμος Μυστρά	115,14	19,34
Δήμος Σπάρτης	6,28	0,96
Δήμος Θεραπνών	97,31	14,94
Δήμος Γερónθων	172,14	26,42
Δήμος Ψαρίδος	73,19	10,41
Δήμος Κροκεών	65,92	10,12
Δήμος Σκάλας	51,79	7,95
Δήμος Νιάτων	141,48	22,95
Δήμος Έλους	43,27	6,64
Δήμος Μολάων	0,00	0,00
Δήμος Γυθείου	78,15	7,98
Δήμος Σμύνους	11,30	1,73
N Αρκαδίας	30,26	4,64

▪ Φορτία από ελαιουργεία

Πίνακας 11 Φορτία ελαιουργείων

	Δήμος Έλους	Δήμος Θεραπνών	Δήμος Πελλάνας	Δήμος Κροκεών	Δήμος Μυστρά	Δήμος Σκάλας	Δήμος Ψαρίδος	Δήμος Σμύνου	Δήμος Γερωνθρών	Δήμος Σπάρτης	Δήμος Γυθείου	Δήμος Νιάτων	Δήμος Οινούντος
Χαρακτηριστικά	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)	(tn/yr)
Total Solids (TS)	1058,4	582,6	1641,0	575,2	459,8	1035,0	605,7	225,5	479,1	158,3	823,8	349,9	243,0
Total susp. Solids (TSS)	46,7	25,7	72,4	25,4	20,5	45,8	26,7	9,9	21,1	7,0	36,3	15,4	10,7
Total Volatile Solids(TVS)	956,2	526,3	1482,5	519,7	410,5	930,2	547,3	203,8	432,8	143,0	744,3	316,1	219,6
Ash	102,2	56,2	158,4	55,5	44,5	100,0	58,5	21,8	46,3	15,3	79,5	33,8	23,5
TOC	663,7	365,3	1029,0	360,7	291,0	651,7	379,8	141,4	300,4	99,3	516,6	219,4	152,4
TKN	12,7	7,0	19,6	6,9	5,4	12,3	7,2	2,7	5,7	1,9	9,9	4,2	2,9
TP as P2O5	8,8	4,9	13,7	4,8	3,9	8,7	5,1	1,9	4,0	1,3	6,9	2,9	2,0
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOD5	758,4	417,4	1175,8	412,2	324,8	737,0	434,0	161,6	343,3	113,4	590,3	250,7	174,1
COD	1541,7	848,6	2390,4	837,9	691,8	1529,7	882,4	328,5	697,9	230,6	1200,0	509,7	354,0
Total Sugar	267,7	147,3	415,0	145,5	117,4	262,9	153,2	57,0	121,2	40,0	208,3	88,5	61,5
Fats and Oils	27,3	15,0	42,4	14,9	12,3	27,1	15,6	5,8	12,4	4,1	21,3	9,0	6,3
Polyalcohols	53,2	29,3	82,4	28,9	22,7	51,6	30,4	11,3	24,1	8,0	41,4	17,6	12,2
Glycerol	1,0	0,6	1,6	0,6	0,5	1,0	0,6	0,2	0,5	0,2	0,8	0,3	0,2
Total Proteins	298,5	164,3	462,8	162,2	130,0	292,2	170,8	63,6	135,1	44,7	232,3	98,7	68,5
Organic acids	53,5	29,5	83,0	29,1	23,0	52,0	30,6	11,4	24,2	8,0	41,6	17,7	12,3
Total Phenolic Compounds	177,5	97,7	275,2	96,5	77,8	174,3	101,6	37,8	80,4	26,6	138,2	58,7	40,8
Phenolic acids	4,7	2,6	7,2	2,5	2,1	4,6	2,7	1,0	2,1	0,7	3,6	1,5	1,1
Tannins	66,8	36,8	103,6	36,3	29,8	66,1	38,3	14,2	30,3	10,0	52,0	22,1	15,3
Pectins	35,8	19,7	55,6	19,5	15,4	34,8	20,5	7,6	16,2	5,4	27,9	11,8	8,2
Potassium as K2O	39,5	21,7	61,2	21,5	17,2	38,7	22,6	8,4	17,9	5,9	30,7	13,1	9,1
Sodium as Na2O	4,1	2,2	6,3	2,2	1,8	4,0	2,3	0,9	1,8	0,6	3,2	1,3	0,9
Calcium as CaO	4,5	2,5	7,0	2,5	1,9	4,3	2,6	1,0	2,0	0,7	3,5	1,5	1,0
Iron as FeO	0,5	0,3	0,8	0,3	0,2	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1
Magnesium as MgO	0,8	0,5	1,3	0,5	0,4	0,8	0,5	0,2	0,4	0,1	0,6	0,3	0,2

Silicon as SiO ₂	0,3	0,2	0,5	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
Total Sulfur	1,1	0,6	1,6	0,6	0,5	1,0	0,6	0,2	0,5	0,2	0,8	0,3	0,2
Total Chlorine	2,1	1,1	3,2	1,1	0,9	2,1	1,2	0,4	0,9	0,3	1,6	0,7	0,5
Maganese	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
Zinc	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
Copper	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

Πίνακας 12 Απλές και σύνθετες φαινόλες που έχουν βρεθεί στα υγρά απόβλητα ελαιουργείων, όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Νιαουνάκης et al, 2004).

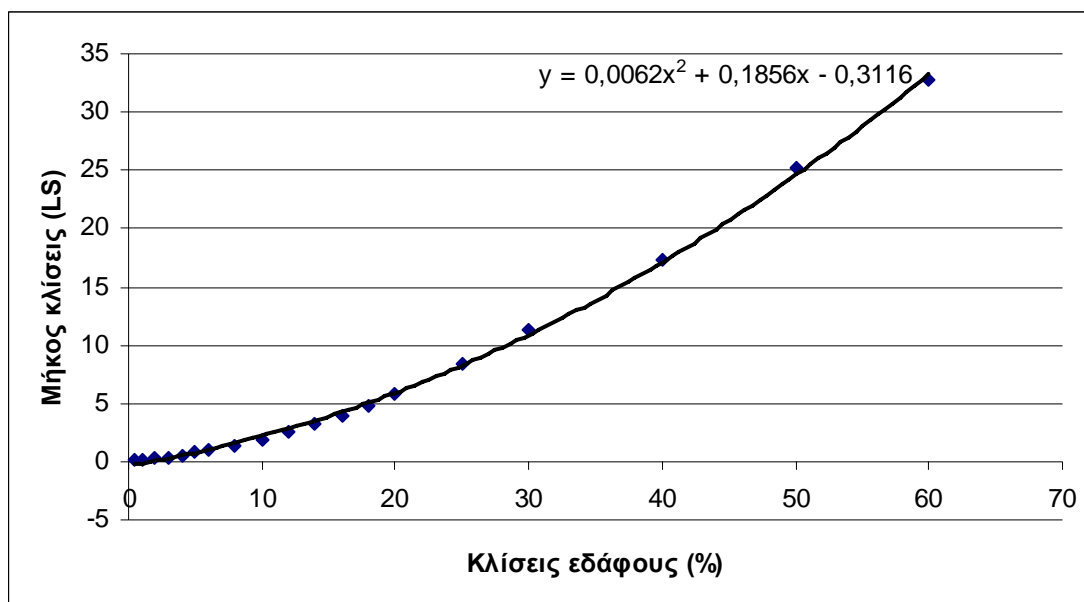
Phenols	Synonyms
Caffeic acid	3-(3,4-dihydroxyphenyl)-2-propenoic acid 3,4-dihydroxycinnamic acid
Catechol	benzocatechol o-dihydroxybenzene o-benzenediol 1,2-benzenediol catechin 1,2-dihydroxybenzene o-hydroxyphenol 2- hydroxyphenol oxyphenic acid
o-coumaric acid	3-phenyl-2-propenoic acid β-phenylacrylic acid
p-coumaric acid	3-(4-dihydroxyphenyl)-2-propenoic acid p-dihydroxycinnamic acid β-(4-dihydroxyphenyl)-acrylic acid
cinnamic acid	o-hydroxycinnamic acid
cresol	Methylphenol cresylic acid cresylol tricresol hydroxytoluene
dimethyloleuropein	
3,4-dihydroxyphenyl ethanol-elenolic acid dialdehyde	3,4-DHPEA-EDA
3,4-dihydroxyphenylacetic acid	
3,4-dihydroxyphenyl glycol	
ferulic acid	3-(4-hydroxy-3-ethoxyphenyl)-2-propenoic acid 4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid 3-methoxy-4-hydroxycinnamic acid caffeic acid 3-methyl ether
4-hydroxybenzoic acid	p-hydroxybenzoic acid
4-hydroxyphenylacetic acid	
hydroxytyrosol	3,4-hydroxyphenylethanol 3,4-DHPEA
4-methylcatechol	3,4-dihydroxytoluene homocatechol
oleuropein	
protocatechuic acid	3,4-dihydroxybenzoic acid
resorcinol	1,3-benzenediol

	m-dihydroxybenzene resorcin
syringic acid	4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic acid 3,5-dimethoxy-4-hydroxybenzoic acid
3,4,5-trimethoxybenzoic acid	
tyrosol	p-hydroxyphenylethanol 4-hydroxyphenylethanol 1-hydroxy-2-(4-hydroxyphenyl) ethane p-HPEA
vanillic acid	4-hydroxy-3-methoxybenzoic acid
veratric acid	3,4-dimethoxybenzoic acid
verbascoside	

▪ Υπολογισμοί απώλειας εδάφους

Πίνακας 13 Συσχέτιση κλίσεων εδάφους με το μήκος κλίσεις LS (O'Neil, 1998)

Slope	LS
0,5	0,12
1	0,16
2	0,25
3	0,35
4	0,53
5	0,76
6	0,95
8	1,4
10	1,94
12	2,55
14	3,25
16	4,01
18	4,86
20	5,77
25	8,33
30	11,25
40	17,3
50	25,21
60	32,74



Πίνακας 14 Παράμετροι υπολογισμού απώλειας εδάφους και η υπολογισμένη απώλεια εδάφους

Υπολεκάνες	Μέσο υψόμετρο (m)	Μέση κλίση (%)	LS (tn/cm)	R (cm/ha/yr)	K	C	P	Απώλεια εδάφους (tn/ha/yr)
1	633,09	21,193	6,407	118,500	0,2	0,011	1	3,745
2	801,66	27,95	9,719	118,500	0,2	0,011	1	5,681
3	459,35	20,485	6,092	118,500	0,2	0,011	1	3,561
4	753,27	22,742	7,116	76,785	0,2	0,011	1	2,695
5	570,53	21,766	6,665	87,020	0,2	0,011	1	2,861
6	581,96	21,221	6,419	118,353	0,2	0,011	1	3,747
7	428,07	15,867	4,194	91,023	0,2	0,011	1	1,883
8	906,21	32,642	12,353	116,540	0,2	0,011	1	7,101
9	259,99	0,019	-0,308	60,875	0,2	0,011	1	0,000
10	739,97	18,651	5,307	60,875	0,2	0,011	1	1,593
11	519,21	23,545	7,495	84,875	0,2	0,011	1	3,138
12	607,03	30,028	10,852	103,868	0,2	0,011	1	5,560
13	348,46	19,722	5,760	72,663	0,2	0,011	1	2,065
14	949,95	21,923	6,737	74,031	0,2	0,011	1	2,460
15	236,61	9,251	1,936	88,746	0,2	0,011	1	0,847
16	1018,76	33,453	12,836	114,751	0,2	0,011	1	7,265
17	323,1	20,341	6,029	87,910	0,2	0,011	1	2,614
18	180,29	1,306	0,010	89,122	0,2	0,011	1	0,004
19	785,05	29,402	10,505	97,447	0,2	0,011	1	5,049
20	740,77	24,357	7,887	89,122	0,2	0,011	1	3,467
21	280,09	14,84	3,808	89,021	0,2	0,011	1	1,672
22	728,36	26,305	8,861	89,122	0,2	0,011	1	3,895
23	873,15	27,259	9,355	89,122	0,2	0,011	1	4,112
24	218,78	16,857	4,579	89,122	0,2	0,011	1	2,013
25	472,4	17,476	4,825	84,866	0,2	0,011	1	2,020
26	297,89	13,522	3,332	88,833	0,2	0,011	1	1,460

27	610,79	24,51	7,962	85,691	0,2	0,011	1	3,365
28	120,22	3,598	0,436	59,674	0,2	0,011	1	0,128
29	510,44	23,419	7,435	75,097	0,2	0,011	1	2,754
30	158,23	13,001	3,149	59,567	0,2	0,011	1	0,925
31	538,93	18,287	5,156	81,891	0,2	0,011	1	2,083
32	332,4	15,561	4,078	61,054	0,2	0,011	1	1,228
33	245,63	17,933	5,011	59,567	0,2	0,011	1	1,472
34	836,25	24,309	7,864	65,740	0,2	0,011	1	2,550
35	199,07	13,531	3,335	59,567	0,2	0,011	1	0,980
36	625,59	21,751	6,659	59,567	0,2	0,011	1	1,956
37	136,17	14,91	3,834	59,567	0,2	0,011	1	1,126
38	235,1	11,312	2,581	59,567	0,2	0,011	1	0,758
39	203,8	24,795	8,102	59,567	0,2	0,011	1	2,380
40	270,53	14,088	3,534	68,290	0,2	0,039	1	4,220
41	99,17	11,994	2,806	55,927	0,2	0,039	1	2,745
42	373,7	24,065	7,745	78,421	0,2	0,039	1	10,622
43	254,21	18,751	5,349	78,421	0,2	0,039	1	7,335
44	107,58	11,964	2,796	60,206	0,2	0,039	1	2,944
45	543,56	16,991	4,632	58,943	0,2	0,039	1	4,774
46	160,55	13,147	3,200	54,115	0,2	0,039	1	3,028

▪ Χρήσεις γης

Πίνακας 15 Επεξήγηση των κωδικών CORINE για τις χρήσεις γης

Κωδικοί Corine	Χρήση γης
11	Αστικές εκτάσεις
12	Δρόμοι, βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές
13	Χωματερές, νταμάρια
14	Χώροι αναψυχής
21	Οργώσιμες εκτάσεις
22	Μόνιμες καλλιέργειες
23	Βοσκότοποι
24	Εκτάσεις σύνθετης καλλιέργειας
31	Δάση
32	Χορτολιβαδικές εκτάσεις
33	Περιοχές αραιής βλάστησης
42	Υδροβιότοποι
51 - 52	Υδάτινα σώματα

Πίνακας 16 Επιφάνεια χρήσεων γης (km²) ανά υπολεκάνη βάσει του CORINE

ΚωδικοίCorine	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	42	51	52
Υπολεκάνες														
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,273	0,000	11,085	9,844	31,188	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,129	0,129	0,000	0,000	0,016	3,001	0,000	6,053	6,491	6,657	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,686	0,000	0,000	1,970	0,142	2,711	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,136	0,342	0,000	14,135	24,730	51,734	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,255	0,255	0,000	0,000	0,075	3,526	0,000	15,274	6,848	12,980	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,166	0,166	0,000	0,000	0,333	0,988	0,000	9,036	4,151	3,427	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,570	0,570	0,000	0,000	0,000	4,127	0,000	22,003	1,759	18,709	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,446	0,446	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,663	20,028	4,804	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,998	0,000	0,000	0,000	4,145	0,000	6,167	15,201	55,981	0,000	0,000	0,000	0,000

11	0,000	0,019	0,015	0,000	0,000	5,552	0,000	25,912	9,473	25,713	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	3,661	0,000	1,593	0,009	12,244	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,464	0,000	0,277	7,639	0,000	8,728	0,470	1,990	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,625	1,494	0,313	0,000	1,474	13,694	0,000	29,082	109,855	179,922	0,247	0,000	0,000	0,000
15	1,916	1,916	0,163	0,000	0,000	7,635	0,000	1,191	0,507	0,019	0,021	0,000	0,000	0,000
16	0,496	0,496	0,000	0,000	0,000	7,615	0,000	2,400	18,101	18,776	2,209	0,000	0,000	0,000
17	0,088	0,088	0,000	0,000	0,000	4,757	0,000	2,531	0,437	3,476	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,952	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,065	0,065	0,000	0,000	0,000	7,261	0,000	11,062	14,718	9,189	3,199	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,720	0,000	0,436	7,769	9,015	1,788	0,000	0,000	0,000
21	0,460	0,804	0,000	0,000	0,000	14,407	0,000	1,797	0,853	7,315	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,496	0,496	0,000	0,000	0,000	9,805	0,000	3,171	7,144	11,431	2,331	0,000	0,000	0,000
23	0,210	0,210	0,000	0,000	0,000	6,956	0,000	0,004	5,881	6,515	3,352	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,617	0,000	2,462	0,534	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,148	0,148	0,000	0,000	0,000	4,650	0,000	13,656	0,002	28,839	0,000	0,000	0,000	0,000
26	0,695	0,695	0,000	0,000	0,000	27,248	0,000	10,097	3,866	12,241	0,000	0,000	0,000	0,000
27	0,261	0,261	0,000	0,891	0,333	8,655	0,000	23,637	9,357	14,539	1,592	0,000	0,000	0,000
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093	0,000	0,207	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,071	0,071	0,000	0,000	0,000	6,859	0,000	19,216	5,392	19,616	0,000	0,000	0,000	0,000
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,166	0,259	0,138	0,000	0,000	0,000	0,000
31	0,059	0,059	0,000	0,000	0,000	0,610	0,000	9,948	0,034	29,392	0,000	0,000	0,000	0,000
32	0,484	0,484	0,000	0,000	0,456	4,451	0,000	7,852	0,092	16,415	0,000	0,000	0,000	0,000
33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,162	0,000	10,159	0,059	21,235	0,000	0,000	0,000	0,000
34	0,000	0,000	0,000	0,000	1,708	4,390	0,000	8,389	10,957	51,690	0,000	0,000	0,000	0,000
35	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,129	0,000	5,568	0,000	10,309	0,000	0,000	0,000	0,000
36	0,285	0,285	0,000	0,000	0,000	11,098	0,000	5,601	2,098	42,360	0,000	0,000	0,000	0,000
37	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142	0,000	0,551	0,000	0,000	0,000	0,000
38	0,635	0,635	0,000	0,000	0,000	24,785	0,000	15,755	0,000	10,827	0,000	0,000	0,000	0,000
39	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086	0,000	0,215	0,000	9,126	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,443	0,443	0,000	0,000	0,000	10,865	0,000	9,830	0,000	21,303	0,000	0,000	0,000	0,000
41	0,039	0,039	0,000	0,000	0,000	3,717	0,157	2,426	0,000	11,747	0,000	0,000	0,658	0,000
42	0,091	0,091	0,000	0,000	1,539	11,572	0,000	80,353	15,098	85,002	0,000	0,000	0,000	0,004
43	0,209	0,209	0,000	0,000	0,000	5,898	0,000	23,577	2,908	33,382	0,566	0,000	0,000	0,000
44	0,750	0,750	0,000	0,000	18,193	12,166	0,000	12,147	0,000	34,293	0,077	0,000	0,179	0,023
45	1,018	1,018	0,000	0,000	0,000	33,824	0,000	53,914	12,447	161,938	0,000	0,000	0,000	0,000
46	1,276	1,276	0,000	0,000	3,606	31,436	0,101	57,963	0,000	41,051	0,900	3,547	0,349	0,009

- Αποτελέσματα δειγματοληψιών

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Πίνακας 17 Τιμή της θερμοκρασίας και pH κατά την πρώτη δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού νερού.

	Θερμοκρασία (°C)					pH				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1		16.2	12.4	14.3	1.9	7.62	7.96	8.01	7.83	0.17
2	14.5	12.2	8.5	11.7	2.5	8.57	7.52	8.26	7.89	0.45
3	13.5			13.5	0.0	7.41			7.41	0.00
6	20.6			20.6	0.0	8.17			8.17	0.00
7	15.3	15.9	11.9	14.4	1.8	8.01	8.12	8.2	8.10	0.08
8	19.3			19.3	0.0	7.63			7.63	0.00
9	14.6	17.9	9.8	14.1	3.3	8.33	7.78	8.25	8.05	0.25
11	12.9	13.5	12.1	12.8	0.6	8.21	8.07	8.39	8.20	0.13
15	25			25.0	0.0	8.36			8.36	0.00
20-α	15			15.0	0.0	8.39			8.39	0.00
21	15		13.4	14.2	0.8	7.64		8.13	7.82	0.25
22	19.6	18.9	12.3	16.9	3.3	8.21	7.6	7.58	7.72	0.30
24	15.3			15.3	0.0	8.24			8.24	0.00
29	19.3	21	15.5	18.6	2.3	7.64	7.65	7.88	7.71	0.11
34	20.1	19.8	12.6	17.5	3.5	8.03	8.19	7.99	8.06	0.09
35	17.5		12.8	15.2	2.4	8.00		8.28	8.12	0.14
48		18.3	12.5	15.4	2.9		7.63	8.22	7.83	0.30
49		13.6		13.6	0.0		7.31	7.02	7.14	0.15
51		18.9	16.5	17.7	1.2		7.48	8.06	7.68	0.29

Πίνακας 18 Τιμή της θερμοκρασίας και pH κατά την πρώτη δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού πηγών και πηγαδιών.

	Θερμοκρασία (°C)					pH				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
4	14.3	14.3	13.2	13.9	0.6	6.57	6.96	7.02	6.80	0.24
19	15.5	17.3		16.4	1.3	7.02	7.15		7.08	0.09
27	17.9	21.6	15.5	18.3	3.1	7.02	7.21	7.57	7.21	0.28
30	18.0	17.8	18.0	17.9	0.1	6.92	7.19	7.4	7.13	0.24
36		13.8	10.4	12.1	2.4		7.25	7.39	7.31	0.10
37		17.4	15.1	16.3	1.6		7.61	7.73	7.67	0.08
38		18.5	14.8	16.7	2.6		7.23	7.09	7.15	0.10
39		18.5	18.8	18.7	0.2		7.32	7.37	7.34	0.04
40		16.6	17.3	17.0	0.5		7.13	7.42	7.25	0.21
41		16.5	14.9	15.7	1.1		6.99	7.15	7.06	0.11
42		19.4	16.5	18.0	2.1		7.25	7.12	7.18	0.09
43		18.6	15.8	17.2	2.0		7.16	7.18	7.17	0.01

44		17.9	15.5	16.7	1.7		6.82	7.32	7.00	0.35
45		20.0	13.9	17.0	4.3		7.21	7.36	7.28	0.11
46		19.1	16.2	17.7	2.1		7.15	7.27	7.21	0.08
47		14.2		14.2			6.76	7.00	6.76	0.17

Πίνακας 19 Τιμή της θερμοκρασίας και pH κατά την πρώτη δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού γεωτρήσεων.

	Θερμοκρασία (οC)					pH				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
12	18.4	17.2	16.2	17.3	1.1	7.21	7.13	7.15	7.16	0.04
13	15.4	15.8	14	15.1	0.9	7.47	7.76	7.5	7.56	0.16
14	18.3	16.7	13.7	16.2	2.3	7	7.44	7.49	7.46	0.27
16	21.2	18.5	19.3	19.7	1.4	7.3	7.68	7.69	7.52	0.22
17	26			26.0		7.61			7.61	
18	16.7	15.4	16.3	16.1	0.7	7.57	7.89	7.22	7.48	0.34
20-b	12.8	12.5	13.1	12.8	0.3	7.39	7.63	7.57	7.52	0.12
25	17			17.0		7.27			7.27	
26	17.3		18.6	18.0	0.9	7.02		7.37	7.16	0.25
28	18.1		18.3	18.2	0.1	7.21		7.38	7.29	0.12
31	18.8	18.6	17.7	18.4	0.6	7.12	7.27	7.42	7.25	0.15
32	21.1	19.1	17.8	19.3	1.7	6.8	6.54	6.91	6.72	0.19

Πίνακας 20 Τιμή διαλυμένου οξυγόνου και αγωγιμότητας κατά την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού και υπόγειου νερού.

	DO (mg/L)					Conductivity (μS)				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1	8.50	4.78	4.17	5.82	1.91	486	553	626	555	57
2	10.92	7.50	4.76	7.73	2.52	242	313	350	302	45
3	7.64			7.64	0.00	444			444	0
6	7.30			7.30	0.00	199			199	0
7	5.80	9.86	8.15	7.94	1.66	504	761	816	694	136
8						419				
9	6.43	5.66	8.40	6.83	1.15	455	519	461	478	29
11	8.30	7.34	7.96	7.87	0.40	247	319	337	301	39
15	5.87			5.87	0.00	345			345	0
20-a	6.73			6.73	0.00	203			203	0
21	6.05		7.66	6.86	0.80	442		633	538	96
22	5.42	5.82	1.67	4.30	1.87	498	522	582	534	35
24	5.19			5.19	0.00	338			338	0
29	5.50	5.30	6.38	5.73	0.47	1116	1773	1308	1399	276
34	6.50	6.82	7.59	6.97	0.46	510	526	295	444	105
35	6.40		4.45	5.43	0.97	447		426	437	11
48		4.44	5.03	4.74	0.29		514	341	428	87
49		10.20	3.95	7.08	3.13		136	982	559	423

51		5.56	9.01	7.29	1.73		502	661	582	80
4	8.31	7.71	7.70	7.91	0.35	462	432	628	507	106
19	1.71	2.89		2.30	0.83	663	782		723	84
27	5.90	5.07	6.52	5.83	0.73	493	518	443	485	38
30	6.00	6.23	7.13	6.45	0.60	537	493	667	566	90
36		9.11	4.92	7.02	2.96		404	329	367	53
37		2.00	7.00	4.50	3.54		729	878	804	105
38		6.55	5.28	5.92	0.90		671	659	665	8
39		3.31	3.80	3.56	0.35		679	426	553	179
40		3.48	5.28	4.38	1.27		631	752	692	86
41		7.50	4.62	6.06	2.04		900	828	864	51
42		3.70	4.34	4.02	0.45		810	761	786	35
43		4.57	5.50	5.04	0.66		692	764	728	51
44		2.13	5.34	3.74	2.27		642	744	693	72
45		3.20	6.10	4.65	2.05		584	424	504	113
46		3.75	4.96	4.36	0.86		767	782	775	11
47		4.65	3.95	4.30	0.49		875	982	929	76
12	5.38	4.50	5.57	5.15	0.57	453	466	527	482	40
13	5.59	4.80	4.77	5.05	0.47	332	385	474	397	72
14	5.65	5.05	5.10	5.27	0.33	682	480	421	528	137
16	1.86	3.86	2.62	2.78	1.01	350	399	435	395	43
17	3.08			3.08		402			402	
18	6.85	5.81	5.50	6.05	0.71	242	300	167	236	67
20-b	6.02	5.58	7.05	6.22	0.75	214	339	421	325	104
25	6.39			6.39		466			466	
26	5.14		4.60	4.87	0.38	457		531	494	52
28	4.00		3.40	3.70	0.42	460		554	507	66
31	6.40	6.26	4.30	5.65	1.17	456	479	933	623	269
32	5.90	5.18	4.03	5.04	0.94	1564	1662	2250	1825	371

Πίνακας 21 Τιμή ORP και οξειδοαναγωγικού δυναμικού κατά την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού και υπόγειου νερού.

	ORP (mV)					Eh (mV)				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1	-8.1	125.6	61.1	59.5	54.6	191.9	325.6	261.1	259.5	54.6
2	-90.8	113.3	72.2	31.6	88.1	109.2	313.3	272.2	231.6	88.1
3	7.6			7.6	0.0	207.6			207.6	0.0
6	-9.8			-9.8	0.0	190.2			190.2	0.0
7	0.4	115.1	96.4	70.6	50.2	200.4	315.1	296.4	270.6	50.2
8	6.8					206.8				
9	11.3	99.3	79.8	63.5	37.7	211.3	299.3	279.8	263.5	37.7
11	-77.4	112.1	90.2	41.6	84.6	122.6	312.1	290.2	241.6	84.6
15	14.2			14.2	0.0	214.2			214.2	0.0

20-α	-83.2			-83.2	0.0	116.8			116.8	0.0
21	13.2		115.1	64.2	51.0	213.2		315.1	264.2	51.0
22	-21.4	91.0	2.2	23.9	48.4	178.6	291.0	202.2	223.9	48.4
24	3.8			3.8	0.0	203.8			203.8	0.0
29	-9.8	-8.9	-0.1	-6.3	4.4	190.2	191.1	199.9	193.7	4.4
34	10.1	31.0	115.9	52.3	45.8	210.1	231.0	315.9	252.3	45.8
35	21.7		57.1	39.4	17.7	221.7	200.0	257.1	226.3	23.5
48		4.7	53.6	29.2	24.4		204.7	253.6	229.2	24.4
49		115.2	44.8	80.0	35.2		315.2	244.8	280.0	35.2
51		41.6	7.2	24.4	17.2		241.6	207.2	224.4	17.2
4	-216.8	104.4	44.3	-22.7	170.8	-16.8	304.4	244.3	177.3	170.8
19	-133.5	104.8		-14.4	168.5	66.5	304.8		185.7	168.5
27	10.3	-0.1	19.6	9.9	9.9	210.3	199.9	219.6	209.9	9.9
30	43.4	94.5	9.1	49.0	43.0	243.4	294.5	209.1	249.0	43.0
36		154.7	86.5	120.6	48.2		354.7	286.5	320.6	48.2
37		100.4	391.1	245.8	205.6		300.4	591.1	445.8	205.6
38		105.3	411.8	258.6	216.7		305.3	611.8	458.6	216.7
39		19.8	388.5	204.2	260.7		219.8	588.5	404.2	260.7
40		121.6	383.6	252.6	185.3		321.6	583.6	452.6	185.3
41		136.5	452.2	294.4	223.2		336.5	652.2	494.4	223.2
42		83.6	381.2	232.4	210.4		283.6	581.2	432.4	210.4
43		123.3	368.5	245.9	173.4		323.3	568.5	445.9	173.4
44		98.1	368.9	233.5	191.5		298.1	568.9	433.5	191.5
45		122.3	352.2	237.3	162.6		322.3	552.2	437.3	162.6
46		110.0	426.0	268.0	223.4		310.0	626.0	468.0	223.4
47		44.1	44.8	44.5	0.5		244.1	244.8	244.5	0.5
12	-38.4	63.2	501.7	175.5	287.0	161.6	263.2	701.7	375.5	287.0
13	6.4	94.5	487.2	196.0	256.0	206.4	294.5	687.2	396.0	256.0
14	-34.5	30.5	480.2	158.7	280.3	165.5	230.5	680.2	358.7	280.3
16	-191.3	41.7	425.3	91.9	311.4	8.7	241.7	625.3	291.9	311.4
17	-163.4			-163.4		36.6			36.6	
18	-29.6	99.0	371.4	146.9	204.8	170.4	299.0	571.4	346.9	204.8
20-β	-20.0	129.7	334.4	148.0	177.9	180.0	329.7	534.4	348.0	177.9
25	-2.1			-2.1		197.9			197.9	
26	24.7		102.8	63.8	55.2	224.7		302.8	263.8	55.2
28	-35.7		60.6	12.5	68.1	164.3		260.6	212.5	68.1
31	31.6	55.2	-72.7	4.7	68.1	231.6	255.2	127.3	204.7	68.1
32	-32.8	38.9	-66.1	-20.0	53.7	167.2	238.9	133.9	180.0	53.7

Χημικές Παράμετροι

Πίνακας 22 Συγκέντρωση COD και N-NO₃ κατά την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού και υπόγειου νερού.

	COD (mg/L)					N-NO ₃ (mg/L)				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1	bdl	5.7	bdl	1.9	3.3		0.82	2.23	1.52	0.71
2	1.1	3.9	7.1	4.0	2.5		0.67	2.12	1.39	0.72
3	2.9			2.9	0.0					
6	0.4			0.4	0.0					
7	bdl	2.5	bdl	0.8	1.2		bdl	2.34	1.24	1.11
8	1.1			1.1	0.0					
9	bdl	9.6	3.6	4.4	4.0		0.71	2.53	1.62	0.91
11	bdl	0.7	bdl	0.2	0.3		1.23	2.42	1.82	0.59
15	bdl			bdl						
20-α	bdl			bdl						
21	3.6		1.4	2.5	1.1			9.37	9.37	0.00
22	3.2	4.3	48.9	18.8	21.3		2.19	2.38	2.29	0.09
24	2.5			2.5	0.0					
29	6.8	11.1		8.9	2.1		0.86	2.75	1.80	0.95
34	7.9	7.5	9.3	8.2	0.8		1.64	2.04	1.84	0.20
35	2.1		4.6	3.4	1.3			2.23	2.23	0.00
48		3.9	bdl	2.0	2.0		0.82	2.08	1.45	0.63
49		5.7		5.7	0.0		0.26	1.86	1.06	0.80
51		6.1	2.5	4.3	1.8		1.86	4.35	3.10	1.25
4	0.4	4.6	6.4	3.8	3.1		1.08	3.87	2.47	1.97
19	1.1	2.1		1.6	0.8		13.72		13.72	
27	1.4	5.0	7.9	4.8	3.2		1.38	3.75	2.57	1.68
30	bdl	3.9	bdl	1.3	0.0		1.71	3.83	2.77	1.50
36		4.3	4.3	4.3	0.0		0.67	2.08	1.38	1.00
37		1.8	4.6	3.2	2.0		14.91	18.96	16.93	2.87
38		6.1	2.5	4.3	2.5		11.08	13.24	12.16	1.52
39		1.4	2.9	2.1	1.0		6.28	9.37	7.83	2.18
40		1.4		1.4	0.0		12.16	14.02	13.09	1.31
41		3.9		3.9	0.0		23.57	18.03	20.80	3.92
42		1.1	1.8	1.4	0.5		12.86	15.50	14.18	1.87
43		0.4	5.7	3.0	3.8		7.21	8.70	7.96	1.05
44		0.7	4.6	2.7	2.8		2.90	5.06	3.98	1.52
45		0.7		0.7	0.0		5.17	10.04	7.60	3.44
46		6.8		6.8	0.0		18.66	17.51	18.09	0.81
47		5.7	4.6	5.2	0.8		9.15	10.48	9.81	0.95
12	bdl	5.4		2.7	3.8		3.68	5.50	4.59	1.29
13	bdl	5.0	bdl	1.7	2.9		3.98	7.06	5.52	2.18
14	0.7	7.5	3.2	3.8	3.4		4.65	4.42	4.54	0.16

16	0.7	2.5	bdl	1.1	1.3		bdl	2.30	1.22	1.54
17	0.4			0.4	0.0					
18	1.4	3.9	6.1	3.8	2.3		0.86	3.09	1.97	1.58
20-b	bdl	2.9	bdl	1.0	1.6		3.53	6.17	4.85	1.87
25	0.4			0.4	0.0					
26	bdl			bdl				3.05	3.05	0.00
28	0.4		bdl	0.2	0.3			2.42	2.42	0.00
31	1.1	2.9	bdl	1.3	1.4		1.90	9.39	5.64	5.30
32	4.3	5.7	bdl	3.3	3.0		62.46	44.46	53.46	12.72

Πίνακας 23 Συγκέντρωση N-NO₂ και N-NH₃ κατά την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού και υπόγειου νερού.

	N-NO ₂ (mg/L)					N-NH ₃ (mg/L)				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1		bdl	bdl	bdl			0.292	bdl	0.159	0.134
2		bdl	bdl	bdl			0.097	bdl	0.061	0.036
3										
6										
7		bdl	bdl	bdl	bdl		0.072	bdl	0.048	0.023
8										
9		0.007	bdl	0.006	0.002		0.038	bdl	0.031	0.006
11		bdl	bdl	bdl			0.056	bdl	0.041	0.016
15										
20-α										
21			0.010	0.010	0.000			bdl	bdl	
22		0.065	0.135	0.100	0.035		0.109	bdl	0.067	0.042
24										
29		0.026	0.005	0.016	0.010		0.089	0.044	0.067	0.022
34		0.007	0.010	0.009	0.002		bdl	bdl	bdl	
35			bdl	bdl				bdl	bdl	
48		0.008	bdl	0.006	0.002		0.060	bdl	0.042	0.017
49		bdl	bdl	bdl			0.063	bdl	0.044	0.019
51		0.008	0.004	0.006	0.002		0.048	bdl	0.036	0.011
4		bdl	bdl	bdl			0.075	bdl	0.050	0.035
19		bdl		bdl			0.101		0.101	0.000
27		0.009	bdl	0.007	0.004		0.099	bdl	0.062	0.052
30		0.006	bdl	0.005	0.002		0.077	bdl	0.051	0.037
36		bdl	bdl	bdl			0.058	bdl	0.042	0.023
37		bdl	0.005	0.005	0.001		0.079	bdl	0.052	0.038
38		bdl	bdl	bdl			0.050	bdl	0.037	0.017
39		bdl	bdl	bdl			bdl	0.027	0.026	0.002
40		0.024	0.009	0.017	0.010		bdl	bdl	bdl	
41		bdl	0.007	0.006	0.002		0.126	bdl	0.076	0.072
42		0.005	0.007	0.006	0.001		0.097	bdl	0.061	0.051
43		0.008	0.004	0.006	0.003		0.053	0.120	0.086	0.047

44		bdl	bdl	bdl			0.050	0.079	0.064	0.021
45		0.004	bdl	0.004	0.000		0.062	bdl	0.043	0.026
46		0.011	0.004	0.008	0.005		bdl	bdl	bdl	
47		bdl	bdl	bdl			0.048	bdl	0.036	0.016
12		bdl	bdl	bdl			bdl	0.053	0.039	0.020
13		bdl	bdl	bdl			0.097	bdl	0.061	0.051
14		bdl	0.01	0.006	0.003		0.027	0.022	0.025	0.004
16		bdl	bdl	bdl			0.109	0.056	0.083	0.037
17										
18		bdl	bdl	bdl			bdl	bdl	bdl	
20-b		bdl	bdl	bdl			0.041	bdl	0.033	0.011
25										
26			0.01	0.006	0.000			0.048	0.048	0.000
28			bdl	bdl				bdl	bdl	
31		bdl	bdl	bdl			0.082	bdl	0.054	0.040
32		bdl	bdl	bdl			0.092	bdl	0.059	0.048

Πίνακας 24 Συγκέντρωση P-PO₄ και T. Phenols κατά την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία στις θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακού και υπόγειου νερού.

	P-PO ₄ (mg/L)					T. phenols (mg/L)				
	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD	1η	2η	3η	Μέση τιμή	SD
1		0.072	0.024	0.048	0.024		0.94	0.79	0.86	0.08
2		0.049	0.013	0.031	0.018		bdl	0.50	0.44	0.06
3										
6										
7		0.073	0.023	0.048	0.025		2.14	1.28	1.71	0.43
8										
9		0.090	0.023	0.056	0.034		1.13	1.17	1.15	0.02
11		0.043	0.013	0.028	0.015		0.40	0.40	0.40	0.00
15										
20-α										
21			0.026	0.026	0.000			0.63	0.63	0.00
22		0.120	0.017	0.069	0.052		1.21	3.16	2.19	0.98
24										
29		0.109	0.073	0.091	0.018		1.68	1.05	1.37	0.31
34		0.030	0.024	0.027	0.003		1.14	1.06	1.10	0.04
35			0.047	0.047	0.000			0.52	0.52	0.00
48		0.047	0.038	0.042	0.005		0.90	0.60	0.75	0.15
49		0.079	0.024	0.052	0.027		bdl	0.40	0.39	0.02
51		0.041	bdl	0.025	0.016		0.75	0.54	0.64	0.11
4		0.051	0.017	0.034	0.024		0.84	0.68	0.76	0.11

19		0.040		0.040			1.58		1.58	0.00
27		0.051	0.024	0.038	0.019		0.63	0.66	0.64	0.02
30		0.034	0.021	0.027	0.009		0.91	0.54	0.73	0.26
36		0.041	0.032	0.037	0.007		0.82	bdl	0.61	0.30
37		0.056	0.038	0.047	0.013		1.04	1.15	1.09	0.08
38		0.056	0.030	0.043	0.019		1.09	1.01	1.05	0.05
39		0.038	0.045	0.041	0.005		1.19	0.86	1.03	0.23
40		0.041	0.051	0.046	0.007		1.28	0.84	1.06	0.31
41		0.047	0.023	0.035	0.017		1.98	1.18	1.58	0.56
42		0.145	bdl	0.145			1.59	1.26	1.43	0.23
43		0.041	0.034	0.038	0.005		1.20	0.90	1.05	0.21
44		0.043	0.023	0.033	0.015		0.91	0.71	0.81	0.14
45		0.051	0.032	0.041	0.013		0.91	0.51	0.71	0.28
46		0.040	0.026	0.033	0.009		1.59	1.14	1.36	0.32
47		0.090	0.062	0.076	0.020		1.69	1.31	1.50	0.27
12		0.045	0.047	0.046	0.001		0.82	0.90	0.86	0.05
13		0.038	0.019	0.028	0.013		0.50	bdl	0.45	0.07
14		0.043	0.055	0.049	0.008		0.75	0.57	0.66	0.13
16		0.079	0.060	0.070	0.013		0.23	0.94	0.58	0.50
17										
18		0.053	0.013	0.033	0.028		5.13	bdl	2.62	3.55
20-b		0.030	0.047	0.039	0.012		0.56	bdl	0.48	0.11
25										
26			0.026	0.026	0.000			0.74	0.74	0.00
28			0.015	0.015	0.000			0.55	0.55	0.00
31		0.038	0.021	0.029	0.012		0.89	bdl	0.65	0.35
32		0.066	0.041	0.054	0.017		2.80	2.36	2.58	0.31