



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ &
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**«Ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού ολικών
μέγιστων ημερήσιων φορτίων με τη χρήση
στατιστικής υδρολογίας και σύνθετων υδρολογικών
μοντέλων προσομοίωσης λεκάνης απορροής»**

ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ ΚΑΣΣΩΤΑΚΗ

Εξεταστική Επιτροπή:
Νικόλαος Νικολαΐδης (Επιβλέπων)
Γεώργιος Καρατζάς
Ουρανία Τζωράκη

Χανιά, 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το τέλος της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνετέλεσαν στην επιτυχή διεκπεραίωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και επιβλέποντα στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη για τη συνεχή καθοδήγηση και το αμέριστο ενδιαφέρον του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης να ευχαριστήσω την Ουρανία Τζωράκη, το Χρήστο Γαμβρούδη, καθώς και όλους τους υπόλοιπους συνεργάτες του εργαστηρίου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης εδαφών, για την ευχάριστη συνεργασία, και τη συνεχή υποστήριξη και βοήθεια, όποτε χρειάστηκε.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το Βασίλη Παπαδουλάκη, Γεωλόγο στη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχίας Λακωνίας, καθώς και το Νίκο Καραλέμα για τη βοήθεια και το χρόνο που διέθεσαν στη συλλογή απαραίτητων πληροφοριών για την παρούσα εργασία.

Τέλος ευχαριστώ τον καθηγητή Γεώργιο Καρατζά για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής έγινε μια προσπάθεια για εκτίμηση της χημικής κατάστασης των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα στη Λακωνία, και για εφαρμογή μέτρων διασφάλισης της οικολογικής του ποιότητας.

Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση του κατανεμημένου μοντέλου S.W.A.T. (Soil Water Assessment Tool), έγινε προσομοίωση του κύκλου των θρεπτικών της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, ενώ σε ένα δεύτερο στάδιο υπολογίστηκαν τα Ολικά Μέγιστα Ημερήσια Φορτία που μπορούν να αποτεθούν στον ποταμό χωρίς να διαταραχθεί η οικολογική του ποιότητα.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στους σκοπούς και τους στόχους της παρούσης εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση γύρω από την κατηγοριοποίηση των ποταμών και των ιδιαιτεροτήτων που εμφανίζουν, την ανάπτυξη των υδρολογικών μοντέλων και της εξέλιξής τους με την πάροδο των χρόνων, ενώ τέλος παρουσιάζεται η χρησιμότητα και οι εφαρμογές του μοντέλου SWAT, και οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται μία εκτενής περιγραφή των γεωμορφολογικών, των γεωλογικών, των υδρολογικών, και των κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, ενώ επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά οι ανθρωπογενείς πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται μία περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Παρουσιάζεται ο τρόπος που υπολογίστηκαν τα φορτία που καταλήγουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού και το πώς εισήχθησαν στο μοντέλο SWAT, καθώς και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας υπολογισμού των Ολικών Μέγιστων Ημερήσιων Φορτίων (TMDL).

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η βαθμονόμηση των χημικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα καθώς και τα τελικά

αποτελέσματα τόσο της προσομοίωσης από το μοντέλο SWAT, όσο και της μεθοδολογίας των TMDL.

Τέλος, στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, καθώς και τα μέτρα που προτείνονται για την αποτελεσματικότερη μελέτη λεκανών απορροής, και τη διασφάλιση της οικολογικής τους ποιότητας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ιδιαιτερότητα ποταμών διαλείπουσας ροής-Στόχοι MIRAGE	3
1.3 Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής	5
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
2.1 Γενικά	6
2.2 Τυπολογία ποταμών	6
2.2.1 Ποτάμια διαλείπουσας ροής-Ορισμοί	6
2.2.2 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ποταμών διαλείπουσας ροής	8
2.3 Ανάγκη ανάπτυξης μοντέλων	10
2.4 Υδρολογικά Μοντέλα	11
2.4.1 Υδρολογική ανάλυση	11
2.4.2 Υδρολογική σύνθεση και προσομοίωση-Στόχοι	12
2.4.3 Ορισμός Μοντέλου και στάδια δημιουργίας	13
2.4.4 Τύποι υδρολογικών μοντέλων	14
2.5 Επιλογή Μοντέλου	15
2.6 Περιγραφή μοντέλου SWAT	17
2.7 Εφαρμογές του SWAT	21
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
3.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή	24
3.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία	26
3.3 Γεωλογία	28
3.4 Υδρολογία	33
3.5 Κλιματολογικά στοιχεία	35
3.6 Χρήσεις Γης	36
3.7 Πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα	37
3.7.1 Σημειακές Πιέσεις	37
3.7.1.1 Αστικά υγρά απόβλητα	38
3.7.1.2 Βιομηχανικά απόβλητα	39

3.7.2 Μη Σημειακές Πιέσεις.....	44
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	46
4.1 Υπολογισμός φορτίων που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα για την εισαγωγή τους στο SWAT	46
4.1.1 Υπολογισμός φορτίων από σημειακές πηγές ρύπανσης	46
4.1.2 Υπολογισμός φορτίων από μη σημειακές πηγές ρύπανσης	54
4.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου SWAT	57
4.3 Ανάπτυξη της μεθοδολογίας του TMDL (Total Maximum Daily Load).....	58
4.3.1 Σκοπός και τρόπος εφαρμογής του TMDL	58
4.3.2 Μεθοδολογία TMDL.....	60
5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΤΑ-ΑΝΑΠΤΥΞΗ TMDL.....	64
5.1 Προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Ευρώτα με το μοντέλο SWAT.....	64
5.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης, βαθμονόμησης, και επιβεβαίωσης	68
5.2 Αποτελέσματα από την ανάπτυξη της μεθοδολογίας των ολικών μέγιστων ημερήσιων φορτίων (TMDL)	83
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	122

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 : Επιφάνεια της Νότιας Ευρώπης που καλύπτεται από ποτάμια μόνιμης και διαλείπουσας ροής το έτος 2000	4
Εικόνα 3.1 : Γεωγραφική θέση του ποταμού Ευρώτα	24
Εικόνα 3.2 : Ο Ποταμός Ευρώτας καθώς διασχίζει την πεδιάδα της Σπάρτης και της Σκάλας	28
Εικόνα 3.3 : Γραμμή παραγωγής του χυμοποιείου Λακωνία	40
Εικόνα 3.4 : Μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων του χυμοποιείου Λακωνία	40
Εικόνα 3.5: Διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων μέσω αγωγού σε παραπόταμο του Ευρώτα	41
Εικόνα 3.6: Η περιοχή της Αγίας Κυριακής όπου διακρίνεται η ρύπανση από τα υγρά απόβλητα του χυμοποιείου	41
Εικόνα 3.7: Η περιοχή της Σκούρας όπου παρατηρείται η ρύπανση από τα υγρά απόβλητα του χυμοποιείου	41
Εικόνα 3.8: Έκταση μέσα στην οποία αφήνονται τα στερεά απόβλητα των χυμοποιείων	41
Εικόνα 3.9 : Δεξαμενή σταθεροποίησης οργανικού υλικού αποβλήτων ελαιουργείου	43
Εικόνα 3.10 : Χείμαρρος που ρίχνονται ανεπεξέργαστα τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου	43
Εικόνα 3.11 : Ρύπανση από απόβλητα ελαιουργείου	43

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 : Κύριες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα (ποσοστιαία)	37
Διάγραμμα 4.1 : Καμπύλη διάρκειας παροχής	61
Διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι	69
Διάγραμμα 5.2 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι	69
Διάγραμμα 5.3 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι	70
Διάγραμμα 5.4 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι	70
Διάγραμμα 5.5 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό	71

Διάγραμμα 5.6 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό	71
Διάγραμμα 5.7 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό	72
Διάγραμμα 5.8 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό	72
Διάγραμμα 5.9 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά	73
Διάγραμμα 5.10 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά	73
Διάγραμμα 5.11 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά	74
Διάγραμμα 5.12 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά	74
Διάγραμμα 5.13 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά	75
Διάγραμμα 5.14 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά	75
Διάγραμμα 5.15 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά	76
Διάγραμμα 5.16 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά	76
Διάγραμμα 5.17 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά	77
Διάγραμμα 5.18 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά	77
Διάγραμμα 5.19 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά	78
Διάγραμμα 5.20 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά	78

Διάγραμμα 5.21 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 68	85
Διάγραμμα 5.22 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 68	86
Διάγραμμα 5.23 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 68	87
Διάγραμμα 5.24 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 68	88
Διάγραμμα 5.25 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 68	89
Διάγραμμα 5.26 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 106	90
Διάγραμμα 5.27 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 106	91
Διάγραμμα 5.28 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 106	92
Διάγραμμα 5.29 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 106	93
Διάγραμμα 5.30 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 106	94
Διάγραμμα 5.31 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 88	95
Διάγραμμα 5.32 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 88	96
Διάγραμμα 5.33 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 88	97
Διάγραμμα 5.34 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 88	98
Διάγραμμα 5.35 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 88	99
Διάγραμμα 5.36 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 128	100
Διάγραμμα 5.37 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 128	101
Διάγραμμα 5.38 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 128	102
Διάγραμμα 5.39 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 128	103
Διάγραμμα 5.40 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 128	104

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 : Συγκεντρώσεις χημικών παραμέτρων στην έξοδο του βιολογικού	47
Πίνακας 4.2 : Ετήσια φόρτιση από το βιολογικό καθαρισμό	47
Πίνακας 4.3 : Πληθυσμός και παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων ανά χωριό	48
Πίνακας 4.4 : Τυπική σύσταση αστικών υγρών αποβλήτων	48
Πίνακας 4.5 : Ετήσια φόρτιση από τα βοθρολύματα	49
Πίνακας 4.6 : Τυπική σύσταση αποβλήτων ελαιουργείου	49
Πίνακας 4.7 : Ετήσια φόρτιση από τα ελαιοτριβεία	50
Πίνακας 4.8 : Μέσοι όροι χημικών παραμέτρων για την περίοδο Νοεμβρίου 2006-Μαΐου 2008	51
Πίνακας 4.9 : Ετήσια φόρτιση από τα χυμοποιεία	52
Πίνακας 4.10 : Ετήσια φόρτιση ποταμού Ευρώτα από σημειακές πηγές	53
Πίνακας 4.11 : Αριθμός ζώων ανά δήμο	54
Πίνακας 4.12 : Παραγωγή κοπριάς ανάλογα με το είδος ζώου	54
Πίνακας 4.13 : Παραγόμενη κοπριά ανά δήμο	55
Πίνακας 4.14 : Φόρτιση Ευρώτα βάσει της περιεκτικότητας της κοπριάς σε οργανικό και ανόργανο άζωτο και φώσφορο	55
Πίνακας 4.15 : Ετήσια φόρτιση από την κτηνοτροφία	55
Πίνακας 4.16 : Εφαρμογή λιπάσματος ανά καλλιέργεια ανάλογα την έκταση	56
Πίνακας 4.17 : Φόρτιση Ευρώτα βάσει της περιεκτικότητας του λιπάσματος σε ανόργανο άζωτο και φώσφορο	57
Πίνακας 4.18 : Ετήσια φόρτιση από τη γεωργία	57
Πίνακας 4.19: Όρια αναφοράς χημικών παραμέτρων	62
Πίνακας 5.1: Βαθμονόμηση γενικών παραμέτρων	65
Πίνακας 5.2: Βαθμονόμηση παραμέτρων σε επίπεδο υπολεκάνης	67
Πίνακας 5.3 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βιβάρι	70
Πίνακας 5.4 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βιολογικό	72
Πίνακας 5.5 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για την Κελεφίνα στο Βασρά	74
Πίνακας 5.6 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για την Κελεφίνα στον Κλαδά	76
Πίνακας 5.7 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βρονταμά	78
Πίνακας 5.8 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68	85
Πίνακας 5.9 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68	86
Πίνακας 5.10 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68	87
Πίνακας 5.11 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68	88
Πίνακας 5.12 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68	89
Πίνακας 5.13 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106	90

Πίνακας 5.14 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106	91
Πίνακας 5.15 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106	92
Πίνακας 5.16 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106	93
Πίνακας 5.17 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106	94
Πίνακας 5.18 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88	95
Πίνακας 5.19 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88	96
Πίνακας 5.20 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88	97
Πίνακας 5.21 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88	98
Πίνακας 5.22 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88	99
Πίνακας 5.23 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128	100
Πίνακας 5.24 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128	101
Πίνακας 5.25 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128	102
Πίνακας 5.26 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128	103
Πίνακας 5.27 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128	104

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 : Εννοιολογικό διάγραμμα για τον καθορισμό των οικολογικών χαρακτηριστικών των ποταμών διαλείπουσας ροής	8
Σχήμα 2.2: Ιδεατό υδρογράφημα ποταμού περιοδικής ροής	9

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 3.1 : Δήμοι εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα	26
Χάρτης 3.2 : Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα	27
Χάρτης 3.3 : Γεωλογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα ως προς τις γεωτεκτονικές ενότητες	29
Χάρτης 3.4 : Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα	33
Χάρτης 3.5 : Ο κύριος ρους και οι κύριοι παραπόταμοι του ποταμού Ευρώτα	34
Χάρτης 3.6 : Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα	36
Χάρτης 3.7 : Σημειακές πιέσεις εντός της λεκάνης απορροής του Ευρώτα	38
Χάρτης 5.1 : Κατανομή των φορτίων ανόργανου αζώτου που εκφορτίζονται από κάθε υπολεκάνη (tn/yr)	81
Χάρτης 5.2 : Κατανομή των φορτίων ανόργανου φωσφόρου που εκφορτίζονται από κάθε υπολεκάνη (tn/yr)	82

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Αναμφίβολα, το νερό είναι ένας από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους του πλανήτη, και αποτελεί κοινωνικό αγαθό, αναντικατάστατο για την επιβίωση, την υγεία και την οικονομική ανάπτυξη.

Τις τελευταίες δεκαετίες ωστόσο, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, η εντατική ανάπτυξη έχει αυξήσει τις πιέσεις που υφίστανται οι υδατικοί πόροι, ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης από ποικίλους χρήστες για επαρκές σε ποσότητα και ποιότητα νερό. Η αύξηση του πληθυσμού, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, δεν έχει κλονίσει μόνο την ικανότητα και τη βιωσιμότητα των υφιστάμενων αποθεμάτων νερού, αλλά έχει προκαλέσει και κίνδυνο μόλυνσης στα αποθέματα αυτά. Επιπλέον οι υδάτινοι πόροι επηρεάζονται και λόγω της αλλαγής του κλίματος. Η αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων σε αέρια του θερμοκηπίου και αεροζόλ καθώς και οι αλλαγές στις χρήσεις γης λόγω της αποψίλωσης των δασών και της αστικοποίησης, έχουν και θα συνεχίσουν να έχουν αντίκτυπο στο κλίμα της γης, επηρεάζοντας ως εκ τούτου και τον υδρολογικό κύκλο μελλοντικά, αρχικά σε τοπικό και εν συνεχεία σε παγκόσμιο επίπεδο (IPCC, 2001).

Η κλιματική αλλαγή, αναμένεται να προκαλέσει ακόμα εντονότερο πρόβλημα στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπως είναι οι περιοχές της Μεσογείου που μπορεί να οδηγηθούν σε καταστάσεις ερημοποίησης. Ειδικότερα για την Ελλάδα αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που είναι μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα, η αναντιστοιχία της χρονικής και κυρίως χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τις χρονικές και χωρικές κατανομές της ζήτησης έχουν δημιουργήσει και εξακολουθούν να δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας. Λόγω λοιπόν των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κλίματος οι περιοχές αυτές αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις στην αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι οι ολοένα αυξανόμενες πιέσεις στο υδατικό περιβάλλον καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης

λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης. Μια ορθολογική πολιτική ανάπτυξης οφείλει να λαμβάνει υπόψη της και τη διαχείριση ακραίων φαινομένων και κρίσεων όπως τα προβλήματα λειψυδρίας και πλημμυρών αλλά και πιο μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η σε βάθος χρόνου προστασία των νερών και των σχετιζόμενων με αυτά οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας και της οικολογικής τους κατάστασης και βέβαια η σταδιακή μείωση απορριπτόμενων ρυπαντικών ουσιών και η προοδευτική εξάλειψη τοξικών αποβλήτων. Σε κάθε περίπτωση όμως, η εξειδίκευση των στόχων και των στρατηγικών της βιώσιμης ανάπτυξης δεν μπορεί να είναι ίδια για όλες τις χώρες. Οι κοινωνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές ιδιαιτερότητες αλλά και το επίπεδο ανάπτυξης της κάθε χώρας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στη δημιουργία των εθνικών στρατηγικών σχεδίων.

Προς την κατεύθυνση αυτή, και κατανοώντας τη σημασία της προστασίας και διατήρησης του υδάτινου περιβάλλοντος η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στη διαμόρφωση μιας Οδηγίας Πλαισίου που καθορίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων. Η Οδηγία 2000/60/EK ή αλλιώς Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά (Water Framework Directive, WFD), συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών, που στην ουσία περιλαμβάνουν τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια και τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) ύδατα, καθώς και τα παράκτια οικοσυστήματα. Για κάθε περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού καθορίζει, μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν εντός των καθορισμένων προθεσμιών, ώστε ο βασικός στόχος της Οδηγίας που είναι η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και η επίτευξη "καλής κατάστασης" να επιτευχθεί μέχρι το 2015, από όλα τα Κράτη - Μέλη. Η επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας στηρίζεται σε οικονομικές αρχές και εργαλεία καθώς και στην εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων μέτρων. Παράλληλα, προωθεί την αειφόρο και ολοκληρωμένη διαχείριση των διασυννοριακών λεκανών απορροής ποταμών, ενώ δημιουργεί και εισάγει νέες προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση κινδύνων από τις πλημμύρες και την ξηρασία.

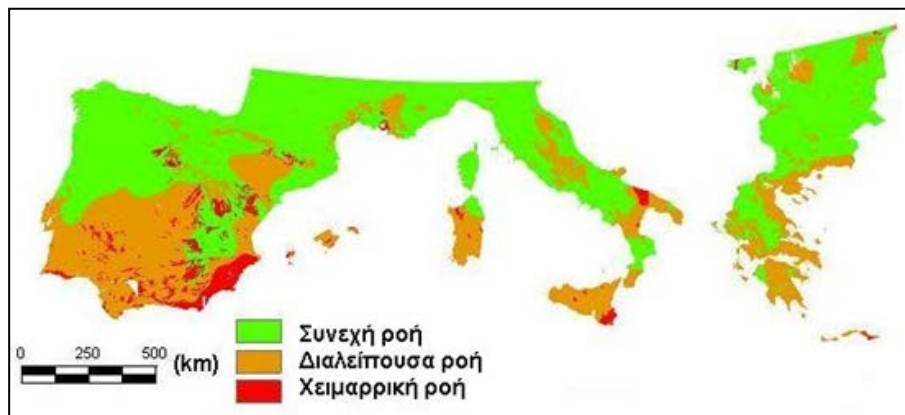
Στην κατεύθυνση αυτή και έχοντας ως κύριο στόχο τον προσδιορισμό και την εύρεση λύσεων στα προβλήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της Οδηγίας-Πλαίσιο στα Κράτη-Μέλη, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφάσισε το 2001 έναν αριθμό δράσεων. Μεταξύ αυτών, είναι και η επιλογή σε κάθε Κράτος-Μέλος, λεκάνης απορροής όπου η εφαρμογή της Οδηγίας-Πλαίσιο προηγείται του προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Στην Ευρώπη, αυτή τη στιγμή, υπάρχει ένα δίκτυο όπου εμπλέκονται έντεκα (11) χώρες και μελετώνται πιλοτικές λεκάνες που εμφανίζουν έντονη αγροτική δραστηριότητα. Το δίκτυο αυτό έχει δώσει έμφαση στην ανάπτυξη των διαχειριστικών σχεδίων, στα προτεινόμενα και ληφθέντα μέτρα για τη μείωση της ρύπανσης.

Στην Ελλάδα η Οδηγία Πλαίσιο εναρμονίσθηκε στην ελληνική νομοθεσία το 2003 με το Ν. 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Ν. 3199/2003, 2003), ενώ το 2007 για την ουσιαστικότερη εφαρμογή της και την πλήρη ενσωμάτωση των διατάξεων και των ρυθμίσεων των Παραρτημάτων της εκδόθηκε το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ» (Προεδρικό Διάταγμα 51/2007, 2007). Η οδηγία εφαρμόζεται στην Ελλάδα με πρωτοπόρο λεκάνη απορροής αυτή του ποταμού Ευρώτα, στο νοτιοανατολικό άκρο της Πελοποννήσου, ο οποίος έχει ενταχθεί σε διάφορα Ευρωπαϊκά προγράμματα, μεταξύ των οποίων είναι και το πρόγραμμα MIRAGE (*Mediterranean Intermittent River ManAGEment*) που μελετάει ποτάμια διαλείπουσας ροής, στα πλαίσια του οποίου εκπονήθηκε και η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

1.2 Ιδιαιτερότητα ποταμών διαλείπουσας ροής-Στόχοι MIRAGE

Γενικά, ο διαχωρισμός σε κατηγορίες των ποταμών γίνεται με βάση τη διάρκεια ροής του νερού. Τα ποτάμια συστήματα λοιπόν, χωρίζονται σε συνεχούς ροής, που ρέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε διαλείπουσας ροής, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε αυτά, που η ροή λαμβάνει χώρα για κάποια χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια του έτους και σε επεισοδιακής ροής, γνωστά και ως ξεροπόταμοι στη χώρα μας, όπου η ροή γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια επεισοδίων βροχής, αλλά συνήθως και για σύντομες περιόδους μετά τα επεισόδια αυτά (Uys and Keeffe, 1997).

Ένα ποσοστό 26% εκατό των επιφανειακών υδάτων στην νότια Ευρώπη μπορούν χαρακτηριστούν ως ποτάμια διαλείπουσας ροής (Σχήμα 1.1.) (Τζωράκη Ο., 2007). Επίσης, έχει υπολογιστεί ότι περίπου 42% της χερσαίας έκτασης της Ελλάδος καλύπτεται από ποτάμια διαλείπουσας ροής που εκβάλουν στη θάλασσα (Tzoraki and Nikolaidis, 2007).



Εικόνα 1.1 : Επιφάνεια της Νότιας Ευρώπης που καλύπτεται από ποτάμια μόνιμης και διαλείπουσας ροής το έτος 2000 (Τζωράκη Ο., 2007).

Τα ποτάμια διαλείπουσας ροής είναι μοναδικά συστήματα τόσο από πλευράς υδρολογίας όσο και από πλευράς βιογεωχημικών διεργασιών και βιοποικιλότητας, και αυτός είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο δε βρίσκουν εφαρμογή σε αυτούς τα αποτελέσματα ερευνών ποταμών συνεχούς ροής. Παρότι τα ποτάμια διαλείπουσας ροής είναι ο επικρατών τύπος στην Ανατολική Μεσόγειο, είναι τα λιγότερα μελετημένα και δυστυχώς πολλές από τις γνώσεις μας σχετικά με την ιδιαίτερη υδρολογική και βιογεωχημική τους συμπεριφορά και τις επιπτώσεις της ξηρασίας στα οικοσυστήματά τους είναι αποσπασματικές και συνήθως ευκαιριακές (Lake, 2000, 2003, Jacobson et al., 2004).

Στόχος του ερευνητικού έργου MIRAGE ήταν η δημιουργία βασικής γνώσης για την καλύτερη εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης (σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά, 2000/60/EC (EU-WFD)) σε ποταμούς διαλείπουσας ροής στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Ο υδρολογικός χαρακτηρισμός των ποταμών διαλείπουσας ροής, σε συνδυασμό με τη μελέτη των ακραίων φαινομένων και τη διερεύνηση πρακτικών μέτρων που σχετίζονται με (i) τις εισροές θρεπτικών και οργανικών ουσιών από τα αστικά λύματα, (ii) την απώλεια φερτών υλικών, σωματιδίων και προσροφημένων θρεπτικών συστατικών λόγω διάβρωσης, (iii) την αποκατάσταση

των επικινδύνων ουσιών από τα ιζήματα των ποταμών και (iv) την ολοκληρωμένη διαχείριση των πλημμυρών, αποτέλεσε κεντρικό στοιχείο του έργου.

1.3 Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής

Ο ποταμός Ευρώτας αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ποταμού, όπου η επικείμενη εντατικοποίηση της γεωργίας και των αγροβιομηχανικών δραστηριοτήτων, σε συνδυασμό με την ανορθόδοξη ή την ελλιπή διαχείριση του νερού, αναμένεται να επιφέρουν σημαντική υποβάθμιση στην οικολογική ποιότητά του. Χαρακτηριστικά αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με ιστορικά και υδρολογικά στοιχεία, ο Ευρώτας εμφάνιζε μόνιμη ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά οι έντονες απολήψεις νερού σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη διαχρονική μείωση των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων οδήγησαν στο χαρακτηρισμό του ως ποτάμι διαλείπουσας ροής (Karaouzas et al, 2009). Η μείωση όμως στη ροή του ποταμού έχει επιφέρει μείωση στην ικανότητα φόρτισης, ενώ από την άλλη οι βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες στην περιοχή ολοένα και αυξάνονται.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διατριβής είναι η εκτίμηση της χημικής κατάστασης των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα και η εφαρμογή μέτρων διασφάλισης της οικολογικής του ποιότητας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Γενικά

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως σχεδόν άνυδρη χώρα, εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης καθώς και της γεωμορφολογικής της σύστασης (Κούτσικος Ν., 2009). Το σύνολο της επιφάνειας της χώρας (131.940 km^2) καλύπτεται με επιφανειακούς υδατικούς πόρους συνολικής επιφάνειας γύρω στα 2200 km^2 , δηλαδή ποσοστό κάλυψης 1,6%. Από αυτούς οι φυσικές και οι τεχνητές λίμνες καλύπτουν σε έκταση περίπου 956 km^2 , οι λιμνοθάλασσες περίπου 288 km^2 , οι ποταμοί έχουν μήκος περίπου 4268 Km, τα έλη περίπου 58 km^2 , ενώ οι εκβολές και τα δέλτα των ποταμών περίπου 723 km^2 (Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις 1970-2002, ΕΚΒΥ 1994).

2.2 Τυπολογία ποταμών

Η διάκριση των υδατικών οικοσυστημάτων σε τύπους και πιο συγκεκριμένα η ανάγκη δημιουργίας τυπολογίας γίνεται κυρίως για λόγους περιγραφής και κατ' επέκταση μελέτης τους. Έχει όμως και ευρύτερο ενδιαφέρον, επειδή τα νομικά κείμενα πάνω στα οποία στηρίζεται η διαχείριση υδατικών οικοσυστημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση - ιδιαίτερα η Οδηγία 2000/60/ΕΕ, γνωστή ως Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα - προσεγγίζει το θέμα εξειδικεύοντας την εκτίμηση της ποιότητας ανάλογα με τους διάφορους τύπους υδάτων (water body types). Τα διαχειριστικά μέτρα αποκατάστασης στηρίζονται στην εκτίμηση της ποιότητας, ενώ η σύγκριση των υδάτινων σωμάτων είναι εφικτή μόνο μεταξύ του ίδιου τύπου. Οι τύποι ενός ποταμού πρέπει γενικά να χαρακτηρίζονται από βιοτικά γνωρίσματα και αβιοτικά χαρακτηριστικά όπως η κλίση, η μορφολογία του ποταμού, το υψόμετρο, το καθεστώς της ροής, η οικοπεριοχή κ.α. (Muhar et al. 1998, Schmutz et al. 2000).

2.2.1 Ποτάμια διαλείπουσας ροής-Ορισμοί

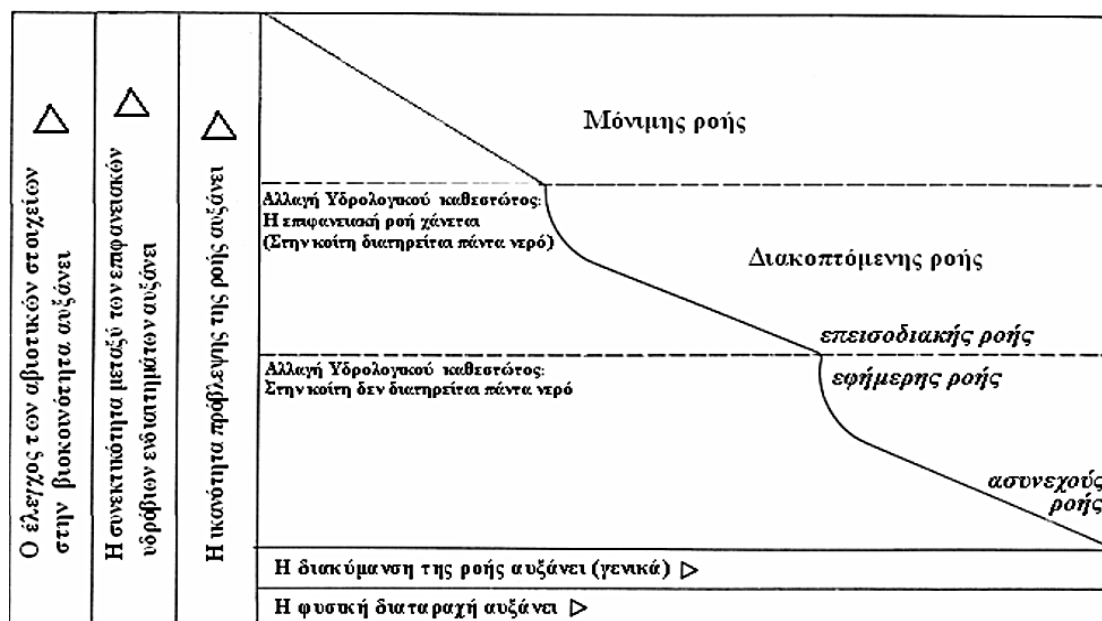
Οι δύο κύριες κατηγορίες που χωρίζονται οι ποταμοί βάσει του καθεστώτος ροής τους, σύμφωνα με τους Uys & O'Keefe (1997) είναι οι εξής:

- στους ποταμούς με μόνιμη ροή, δηλαδή όταν στο μεγαλύτερο μέρος τους κατά μήκος της κοίτης διατηρούν πάντα νερό, ακόμα κι αν δεν υπάρχει εμφανής ροή, και
- στους ποταμούς με περιοδική ή διακοπτόμενη ροή, δηλαδή όταν στο μεγαλύτερο μέρος τους κατά μήκος της κοίτης δεν διατηρούν πάντα νερό και κατ' επέκταση ξεραίνονται.

Στους τύπους των ποταμών με διακοπτόμενη ροή, το φαινόμενο παρουσιάζεται συνήθως κατά την ξηρή περίοδο του έτους (καλοκαιρινούς μήνες) και χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες (Εικόνα 2-3):

- στα ποτάμια με ασυνεχή ροή, δηλαδή σε αυτά που υπάρχει νερό μόνο εποχικά ενώ συνήθως η κοίτη τους είναι ξερή (Bayly & Williams 1973)
- στα ποτάμια με εφήμερη ροή, δηλαδή σε αυτά που συνήθως η κοίτη τους είναι ξερή ενώ υπάρχει νερό λιγότερο από το 20% του έτους (Matthews 1988), και
- στα ποτάμια με επεισοδική ροή, δηλαδή σε αυτά που σχεδόν πάντα η κοίτη τους είναι ξερή ενώ υπάρχει νερό μόνο λόγω κάποιων έντονων βροχοπτώσεων και όχι αναγκαία κάθε έτος (King & Tharme 1993).

Η εμφάνιση του νερού στην κοίτη ενός υδατορέματος διαλείπουσας ροής ακολουθεί συνήθως δύο υδρολογικούς ρυθμούς. Έναν περιοδικό - προβλέψιμο υδρολογικό ρυθμό που εμφανίζεται κυρίως κατά τους χειμερινούς και εαρινούς μήνες (χείμαρροι - intermittent ή temporal) ή ακολουθεί έναν απρόβλεπτο ρυθμό όπου ενεργοποιείται μετά από έντονα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (εφήμερα - ephemeral) (Σχήμα 2.1). Οι χείμαρροι οι οποίοι κατά την θερινή περίοδο ξηραίνονται, μπορούν να διατηρήσουν απομονωμένα λιμνία/γούρνες (pools) που πολλές φορές μπορούν να διατηρηθούν ως στο τέλος του καλοκαιριού τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση ζωικών ειδών.



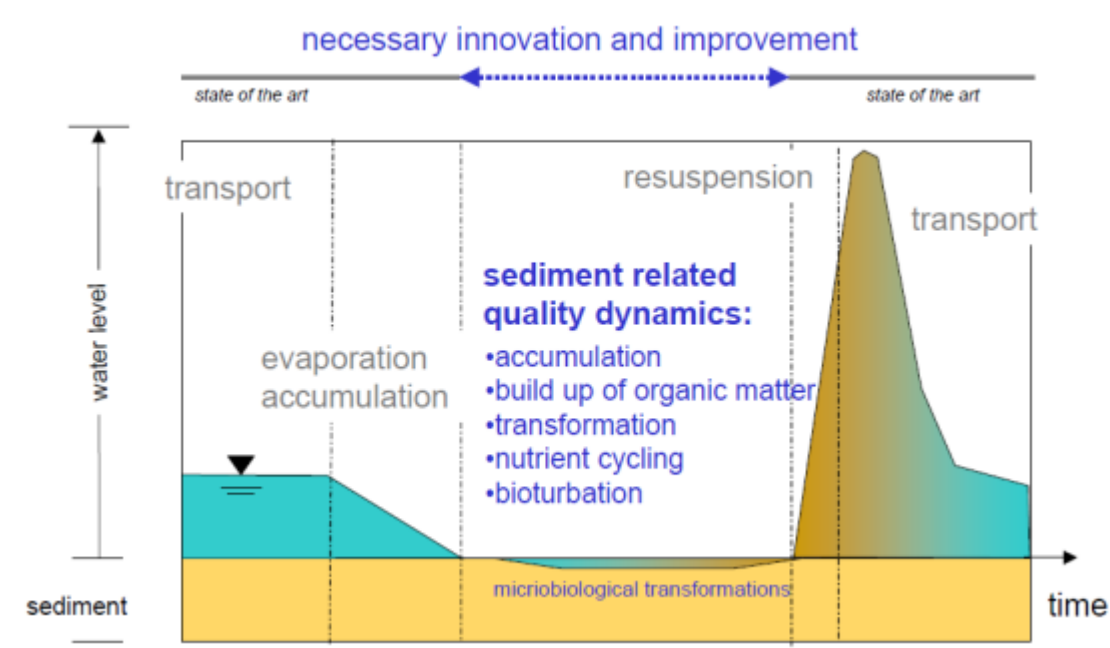
Σχήμα 2.1 : Εννοιολογικό διάγραμμα για τον καθορισμό των οικολογικών χαρακτηριστικών των ποταμών διαλείπουσας ροής (τροποποιημένο σχήμα από Uys & O'Keeffe 1997)

2.2.2 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ποταμών διαλείπουσας ροής

Τα ποτάμια διαλείπουσας ροής είναι μοναδικά συστήματα τόσο από πλευράς υδρολογίας όσο και από πλευράς βιογεωχημικών διεργασιών και βιοποικιλότητας. Οι έντονες εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στις Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες καθορίζουν μοναδικές φυτικές και ζωικές κοινωνίες και τα βιολογικά τους γνωρίσματα (Stamou, 1998, Gasith and Resh, 1999).

Η ποιότητα του νερού παρουσιάζει δραματικές διαφοροποιήσεις στη διάρκεια του έτους, καθώς και μεταξύ των ετών. Επηρεάζεται τόσο από τα φθινοπωρινά πλημμυρικά φαινόμενα που προκαλούν απότομη αύξηση στα μεταφερόμενα φορτία ιζημάτων και ρύπων όσο και από τη θερινή ξηρασία κατά την οποία η συγκέντρωση ρύπων αυξάνεται σταδιακά μέχρι το ποτάμι να αποξηρανθεί εντελώς (Σχήμα 2.2). Η διάρκεια, η συχνότητα και η ένταση των ξηρών περιόδων και των πλημμυρών παίζουν αποφασιστικό ρόλο τόσο για την ποιότητα του ποτάμιου συστήματος όσο και για τα κατάντη υδάτινα σώματα (ταμιευτήρες, λιμνοθάλασσες, παράκτια νερά). Επιπλέον, η ποικιλομορφία των υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους, προερχόμενα από φυσικές διακυμάνσεις, είναι η αιτία της δημιουργίας ενός σημαντικά ποικιλόμορφου φυτικού και

ζωικού κόσμου αποτελούμενου από πολλά ενδημικά είδη (Gasith and Resh, 1999, Bonada et al., 2007).



Σχήμα 2.2: Ιδεατό υδρογράφημα ποταμού περιοδικής ροής.

Σύμφωνα με το ανωτέρω σχήμα, στη διάρκεια των ξηρών περιόδων (απουσία επιφανειακού νερού) όλες οι σημαντικές διεργασίες περιορίζονται στα ποτάμια ιζήματα. Τα πρώτα πλημμυρικά φαινόμενα μεταφέρουν επιβαρημένα και συχνά τοξικά ιζήματα που προκαλούν σημαντική κατανάλωση οξυγόνου και έκλυση αμμωνίας (Skoulidakis and Amaxidis, 2009) επηρεάζοντας τα κατάντη υδάτινα σώματα (π.χ. ταμιευτήρες) (TempQsim Consortium, 2006).

Τα οικοσυστήματα των ποταμών διαλείπουσας ροής ωστόσο, είναι πολύ ευαίσθητα στην απώλεια της ποικιλομορφίας που διαθέτουν, εξαιτίας των εποχιακών διακυμάνσεων και του ξηροθερμικού Μεσογειακού κλίματος που τα καθιστούν πιο ευάλωτα στις ανθρωπογενείς πιέσεις (Gasith and Resh, 1999, Bonada 2003). Με δεδομένο ότι οι χρήσεις νερού στις υδρολογικές λεκάνες διαλείπουσας ροής της Μεσογείου είναι ιδιαίτερα αντικρουόμενες, καθώς ανάγκες ύδρευσης και αγροτικής ανάπτυξης αντιπαλεύουν την ανάγκη διατήρησης και προστασίας των υδατικών οικοσυστημάτων (TempQsim Consortium, 2006) η ανάγκη για μελέτη και προστασία των συστημάτων αυτών είναι πιο επιτακτική από ποτέ.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος MIRAGE, τα ποτάμια χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες βάσει της επίδρασης της υδρολογίας στις βιολογικές κοινότητες. Η κατηγοριοποίηση των ποταμών βάσει της ροής τους και οι αντίστοιχες επιδράσεις στις βιολογικές κοινότητες, παρουσιάζονται παρακάτω (Gallart F. et al., 2011):

- **Μόνιμης ροής (Permanent)** : Δεν υπάρχει καμία επίδραση της υδρολογίας στις βιολογικές κοινότητες αφού δεν εμφανίζεται πρόβλημα έλλειψης νερού.
- **Διαλείπουσας ροής με δημιουργία λιμνίων (Intermittent-pools)** : Το καθεστώς ροής του ποταμού επιτρέπει κάθε χρόνο την ανάπτυξη βιολογικών κοινοτήτων παρόμοιων με αυτών που αναπτύσσονται σε ποτάμια μόνιμης ροής την άνοιξη. Στην πορεία όμως η ροή γίνεται ασυνεχής και παραμένουν μόνο κάποια λιμνία όπου η ποιότητα των υδάτων δεν θεωρείται επαρκής για τις βιολογικές κοινότητες.
- **Διαλείπουσας ροής που ξηραίνονται (Intermittent-dry)** : Τα ποτάμια ξηραίνονται εντελώς το καλοκαίρι, όμως κατά την άνοιξη υπάρχει μια κάποια ανάπτυξη των βιολογικών κοινοτήτων, παρόλο που αυτή μπορεί να διαφέρει από χρόνο σε χρόνο.
- **Επεισοδιακής-εφήμερης ροής (Episodic-ephemeral)**: Η ροή και η δημιουργία λιμνίων είναι βραχύβια και περιστασιακή (που όμως δεν μπορεί να προβλεφθεί), και επομένως η εμφάνιση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι σποραδική, ενώ κύρια προσαρμογή τους είναι η ταχεία ανάπτυξη του βιολογικού τους κύκλου.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η μελέτη των ποταμών διαλείπουσας ροής απαιτεί σύνθετη και σύγχρονη διεπιστημονική μεθοδολογική προσέγγιση, και ως εκ τούτου η εύρεση των κατάλληλων εργαλείων και μοντέλων που να μπορούν να προσομοιώσουν αποτελεσματικά ένα τέτοιο οικοσύστημα είναι αναγκαία.

2.3 Ανάγκη ανάπτυξης μοντέλων

Η κατανόηση και η εκτίμηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια λεκάνη απορροής ποταμού αποτελεί πρόβλημα και πρόκληση για τους επιστήμονες και τους

ερευνητές. Προς την κατεύθυνση αυτή γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η δημιουργία μοντέλων για το περιβάλλον είναι αναγκαία, καθώς μας επιτρέπει την διαχείριση φυσικών και τεχνητών συστημάτων, την πρόγνωση της συμπεριφοράς τους και την πρόληψη τυχόν επικίνδυνων καταστάσεων. Η ανάπτυξη και αναβάθμιση των συστημάτων υπολογιστών τα τελευταία χρόνια, κατέστησε δυνατό το σχεδιασμό και τη δημιουργία δεκάδων μοντέλων, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα γρήγορης, ακριβούς και ευέλικτης αναπαράστασης και μελέτης του φυσικού συστήματος.

Τα μαθηματικά μοντέλα προσομοιώνουν αυτές τις περίπλοκες διεργασίες, όταν αλλάζουν οι καλλιεργητικές πρακτικές, ή οι χρήσεις γης και είναι χρήσιμα εργαλεία για την κατανόηση του προβλήματος και την αναζήτηση λύσης. Αποτελούν εργαλείο για τη δημιουργία διαχειριστικών σχεδίων και τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα προσφέρεται η δυνατότητα με διάφορα σενάρια τα οποία μπορούν να εξεταστούν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου, να προβλεφθεί η απόκριση του συστήματος σε πλημμύρες, φωτιές, ρύπανση από αγροβιομηχανικά απόβλητα, χρήσεις φυτοπροστατευτικών, υπεράντληση κ.α. Επιπροσθέτως, τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του μέγιστου ημερήσιου ρυπαντικού φορτίου που μπορεί να εισρέει μέσα σε ένα υδάτινο αποδέκτη, χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα υποβάθμισης των υδάτων. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, απαιτείται η προσομοίωση της λεκάνης απορροής ενός ποταμού και εν συνεχεία η επαλήθευση με πραγματικά δεδομένα, κυρίως λόγω της μοναδικότητας και της πολυπλοκότητας της κάθε λεκάνης.

2.4 Υδρολογικά Μοντέλα

2.4.1 Υδρολογική ανάλυση

Η ποσότητα και η ποιότητα υδρολογικών δεδομένων που διατίθενται για επεξεργασία καθορίζει τις δυνατότητες και τη διαδικασία που θα ακολουθηθεί, ώστε να γίνει δυνατή η εξαγωγή του μέγιστου δυνατού ποσοστού περιεχόμενης πληροφορίας από τα δεδομένα.

Η καθιερωμένη στην επαγγελματική πράξη ανάλυση υδρολογικών δεδομένων περιλαμβάνει διερευνητική στατιστική επεξεργασία, επεξεργασία χρονοσειρών, χωρική και πολυδιάστατη στατιστική ανάλυση και διάφορες εξειδικευμένες μεθοδολογίες για τη

συμπλήρωση των χρονοσειρών δεδομένων. Τα ζητούμενα είναι η μελέτη της διακύμανσης των υδρολογικών μεταβλητών, η ανίχνευση τάσεων, περιοδικοτήτων και εμμονής και η συσχέτιση ομοειδών μεταβλητών μετρημένων σε διάφορους σταθμούς ή και διαφόρων μεταβλητών με σκοπό την εκτίμηση σχέσεων μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων. Η μεθοδολογία που έχει καθιερωθεί είναι επαρκώς τεκμηριωμένη θεωρητικά και είναι διαθέσιμος μεγάλος αριθμός κατάλληλων πακέτων λογισμικού.

Σήμερα η πλέον προωθημένη ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιεί μεθόδους που βασίζονται στην υδρολογική σύνθεση και προσομοίωση, με το σκεπτικό ότι όταν κανείς έχει τη δυνατότητα παραγωγής τεχνητών δεδομένων που επαληθεύουν επιτυχώς το συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο, σημαίνει ότι έχει καλή γνώση των στατιστικών και στοχαστικών χαρακτηριστικών των παραμέτρων του φαινομένου. Ακόμη, η παραγωγή τεχνητών δεδομένων, μπορεί σε κάποιο βαθμό να καλύψει την έλλειψη πραγματικών δεδομένων.

2.4.2 Υδρολογική σύνθεση και προσομοίωση-Στόχοι

Η σύνθεση και η προσομοίωση είναι τα μέσα με τα οποία οι υδρολόγοι μηχανικοί μπορούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της ανεπάρκειας υδρολογικών δεδομένων και τη δοκιμή αρκετών εναλλακτικών λύσεων στις μελέτες υδατικών πόρων. Σαν σύνθεση δεδομένων εννοούμε την παραγωγή τεχνητών δεδομένων.

Η σύνθεση στηρίζεται στις στατιστικές ιδιότητες υφιστάμενων υδρολογικών δεδομένων και τα νέα δεδομένα που παράγονται έχουν τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με τα πραγματικά που χρησιμοποιήθηκαν σαν αφετηρία, με στόχο την επέκτασή των σειρών, ή και διαφορετικά αν τα αλλάξουμε σκόπιμα με στόχο την δοκιμή διαφόρων σεναρίων. Από την άλλη, η προσομοίωση είναι μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συστήματος υδατικών πόρων και η αντίδρασή του σε υδρολογικά γεγονότα, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Οι στόχοι της υδρολογικής προσομοιώσεως είναι γενικά οι ακόλουθοι:

- Εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου και προσομοίωση της διαχρονικής εξελίξεως των υδατικών αποθεμάτων, ανάλογα και με την προβλεπόμενη ή πραγματοποιούμενη χρήση τους.

- Εκτίμηση των απωλειών νερού και δοκιμές για περιορισμό αυτών των απωλειών με κατασκευή τεχνικών έργων ή ρύθμιση των χρήσεων γης.
- Εκτίμηση της τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα, φυσικής και τεχνητής, και δοκιμές για τη βελτίωσή της.
- Εκτίμηση της διαβρώσεως του εδάφους και μεταφοράς στερεών υλικών.
- Εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας κατά υποπεριοχή και εντοπισμός των ευαίσθητων περιοχών για ακαριαίες πλημμύρες.
- Εκτίμηση της ρυπάνσεως και μεταφοράς/διασποράς ρυπαντών από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρυπάνσεως.
- Βελτιστοποίηση της χρήσεως των επιφανειακών υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με τους υπόγειους υδατικούς πόρους, και διάφορα σενάρια αναπτύξεως της περιοχής.
- Επανασχεδίαση του δικτύου υδρολογικών και μετεωρολογικών μετρήσεων

2.4.3 Ορισμός Μοντέλου και στάδια δημιουργίας

Γενικά, με τον όρο μοντέλο νοείται μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος. Είναι ένα κατασκεύασμα, το οποίο πιστοποιεί, περιγράφει ή αναπαράγει τη συμπεριφορά και την απόκριση φυσικών, χημικών ή βιολογικών συστημάτων.

Τα υδρολογικά μοντέλα είναι μαθηματικοί μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου (υδρολογικά, γεωμορφολογικά, κτλ.) και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους μηχανισμούς του υδρολογικού κύκλου, με σκοπό την αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών, σε κατάλληλη χωρική και χρονική κλίμακα.

Υπάρχουν ποικίλα μοντέλα που αφορούν στην προσομοίωση της υδρολογίας, επιφανειακής και υπόγειας. Πιο συγκεκριμένα, το ETD (Enhanced Trickle-Down Model) (Schnoor et al., 1984; Nikolaidis et al., 1988), που μπορεί να περιγράψει επαρκώς όλους τους τύπους υδρολογικών συστημάτων σε συστήματα απορροής και αποστράγγισης, το SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998, Oeurng et al., 2011), που είναι μοντέλο κατάλληλο για την προσομοίωση δασικών και αγροτικών λεκανών απορροής, το HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) (Johanson R.C. et al., 1980), που επιπλέον μπορεί να προσομοιώσει και αστικές

περιοχές, το ANSWERS-Continuous (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation-Continuous) (Beasley et al., 1980), το MIKE SHE (European Hydrological System Model) (Demetriou C. and Punthakey J.F., 1998), το MODFLOW (Harbaugh A.W. and McDonald M.G., 1996), το MT3D (Zheng C., 1990), το SURFER (Golden Software Inc., 1989) κλπ.

Τα στάδια δημιουργίας ενός μοντέλου χωρίζονται σε:

- Επιλογή τρόπου προσομοίωσης (Conceptualization)
- Κωδικοποίηση - Δημιουργία μοντέλου
- Βαθμονόμηση Μοντέλου (Model Calibration)
- Επαλήθευση Μοντέλου (Verification)
- Αξιοπιστία Μοντέλου (Validation)
- Σύγκριση προβλέψεων με δεδομένα στο μέλλον
- Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)
- Ανάλυση αβεβαιότητας (Uncertainty Analysis)

2.4.4 Τύποι υδρολογικών μοντέλων

Η μελέτη υδρολογικών συστημάτων με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδηγεί σε μια συνεχή εξέλιξη των μοντέλων προσομοίωσης, των οποίων η κατάταξη σε διαφόρους τύπους κρίθηκε σκόπιμη λόγω της μεγάλης ποικιλίας τους. Έτσι, τα μοντέλα διακρίνονται σε:

- Συνεχή και διακριτά όταν τα παρατηρούμενα συστήματα μελετώνται σε συνεχή ή διακριτά χρονικά διαστήματα.
- Δυναμικά και στατικά όταν παρατηρούνται ή όχι αλλαγές στις διαδικασίες του συστήματος με την πάροδο του χρόνου.
- Περιγραφικά και εννοιολογικά όταν προσεγγίζουν ένα σύστημα με εμπειρικό τρόπο ή απλά μεταφράζουν τα φαινόμενα φυσικών διαδικασιών.
- Προσδιοριστικά (HEC-1 (Smemoe C. et al., 2004), HEC-5, HEC-HMS (USACE, 2000, Muhammad A. et al., 2011), SLURP (Kite G. W. , 1999, Halit Araydin et al., 2006), SHE (Abbott M.B, 1986), CEQUEAU (Morin et al., 1981)) και στοχαστικά (μοντέλα τύπου ARMA (Singh N. and Peiris M.S., 1987)), ανάλογα

με τον τύπο των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο πρόβλημα και των μεταξύ των σχέσεων. Τα στοχαστικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα στις παραμέτρους του μοντέλου ενώ τα προσδιοριστικά χαρακτηρίζουν τις διεργασίες με συγκεκριμένες τιμές και η αβεβαιότητα δε λαμβάνεται υπόψη, οπότε ο ίδιος συνδυασμός τιμών εισόδου δίνει πάντα τον ίδιο συνδυασμό τιμών εξόδου.

- Μοντέλα καθολικών (SLURP) και μοντέλα κατανεμημένων παραμέτρων (SHE, CEQUEAU) (ή «συγκεντρωτικά» και «κατανεμημένα» μοντέλα) ανάλογα με τη χωρική μεταβολή των παραμέτρων τους. Τα συγκεντρωτικά μοντέλα είναι απλούστερα και συνήθως σημειακά, ενώ τα κατανεμημένα διαχωρίζουν την περιοχή όπου εφαρμόζονται σε «κελιά» με την εφαρμογή ενός αυθαιρέτου καννάβου, και εξετάζουν την εξέλιξη του υδρολογικού ισοζυγίου σε κάθε κελί χωριστά και κατόπιν τις αλληλεπιδράσεις των κελιών που γειτονεύουν.
- Μοντέλα προσομοίωσης γεγονότων (HEC-1, HEC-HMS) και συνεχή μοντέλα (SLURP, SHE, CEQUEAU) ανάλογα με το μέγεθος της χρονικής κλίμακας μελέτης.
- Μοντέλα τύπου μαύρου κουτιού και μοντέλα απομίμησης κατασκευών ανάλογα με την αναλυτική διαδικασία του συστήματος.

2.5 Επιλογή Μοντέλου

Παρά το μεγάλο αριθμό μοντέλων ποιότητας νερού, δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία από την εφαρμογή ενός μοντέλου σε ποτάμι διαλείπουσας ροής. Η εφαρμογή των υπάρχοντων μοντέλων ποιότητας νερού σε ποτάμια της Μεσογείου είναι δύσκολη, επειδή τη διάρκεια της ξηρής περιόδου δεν εμφανίζεται απορροή και λόγω των ακραίων πρώτων επεισοδίων βροχής. Οι δυναμικές διεργασίες στα ιζήματα κατά τη διάρκεια της περιόδου, που δεν παρατηρείται επιφανειακή απορροή, καθώς και η ποιότητα του νερού συχνά δεν εξετάζονται. Η χρήση των διαθέσιμων διαχειριστικών εργαλείων ύδατος δεν είναι εφικτή εξαιτίας των περιορισμών με τους οποίους περιγράφονται στα διαθέσιμα μοντέλα οι υδρολογικές διεργασίες και οι διεργασίες στα ιζήματα της κοίτης του ποταμού. Για να τροποποιηθούν τα διαθέσιμα μοντέλα ποιότητας νερού για την εφαρμογή τους σε ποτάμια διαλείπουσας ροής είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν τα ειδικά υδρολογικά χαρακτηριστικά τους, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα των

ακραίων πρώτων πλημμυρικών επεισοδίων βροχής καθώς και στις διαδικασίες που συμβαίνουν στα ιζήματα κατά την περίοδο ξηρασίας.

Σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού μπορεί να γίνει η προσομοίωση της ποιότητας του νερού θεωρώντας οριζόντια κίνηση του νερού, των ιζημάτων και των ρύπων στο έδαφος και υδρογραφικό δίκτυο. Η μεγάλη διαφορά των ποταμών διαλείπουσας ροής από τους συνεχούς ροής είναι η ένταση των πλημμυρικών φαινομένων, η εναλλαγή από το ακραίο φαινόμενο της ξηρασίας στην πρώτη πλημμύρα με την επακόλουθη ιζηματομεταφορά και τέλος, οι ιδιαίτερες βιογεωχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στα ιζήματα κατά την περίοδο της ξηρασίας και της πλημμύρας. Συνεπώς, σε ξηρά και ημίξηρα περιβάλλοντα πολύ σημαντική είναι η μοντελοποίηση της υδρολογικής κατάστασης αλλά και η μοντελοποίηση των μηχανισμών της διάβρωσης.

Τα περισσότερα μοντέλα ποιότητας νερού έχουν αναπτυχθεί για υγρά κλίματα και παρουσιάζουν αστάθεια και αδυναμία προσομοίωσης της υδρολογικής κατάστασης όπου η κοίτη του ποταμού δεν έχει ροή.

Μοντέλα ποιότητας νερού συνεχή (περιλαμβάνουν στην είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο, μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών) σε κλίμακα λεκάνης απορροής γενικά έχουν αναπτυχθεί για να περιγράφουν διεργασίες σε λιγότερο ακραία περιβάλλοντα από εκείνα όπου μηδενίζεται η ροή ή παρατηρούνται ραγδαία πλημμυρικά φαινόμενα. Παρότι τα μοντέλα αυτά δεν περιγράφουν όλες τις διεργασίες που συμβαίνουν σε ποτάμια διαλείπουσας ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μια βάση όπου θα μπορούσαν να προστεθούν οι απύσες διεργασίες. Τα μοντέλα αυτά διαθέτουν τη γεωμετρική, χωρική διάσταση του δικτύου των ρευμάτων και μπορούν να προσδιοριστούν χωρικά οι περιοχές όπου υπάρχουν είτε σημειακές πηγές ρύπανσης, είτε παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα.

Από τη σύγκριση των πιο ευρέως γνωστών μοντέλων προσομοίωσης λεκανών απορροής, προκύπτει ότι το SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998), μπορεί να προσομοιώσει με μεγάλη ακρίβεια αγροτικές και δασικές λεκάνες απορροής. Υπάρχει ήδη εκτεταμένη και επιτυχής εφαρμογή και εξέλιξη του μοντέλου σε πολυάριθμες λεκάνες απορροής ποταμών, τόσο στην Ευρώπη (e.g. Eckhardt et al.,

2002, Krysanova et al., 1999, Van Griensven et al., 2002),όσο και στην Αμερική. Οι μελέτες που έχουν γίνει, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του μοντέλου κυρίως στην πρόβλεψη των υδρολογικών διεργασιών αλλά και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα όσον αφορά τα θρεπτικά, σε μικρής και μεγάλης κλίμακας αγροτικές λεκάνες απορροής. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τριαντακονταετή έρευνα της υπηρεσίας γεωργικής έρευνας των Η.Π.Α (USDA-ARS) πάνω στην ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων (Gassman et al., 2007). Μεταξύ των άλλων, στις Η.Π.Α, το μοντέλο SWAT χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τη στήριξη της μεθοδολογίας των ολικών μεγίστων ημερήσιων φορτίων (TMDL), και μάλιστα προτείνεται-υποδεικνύεται στις κατευθυντήριες οδηγίες ως το κατάλληλο μοντέλο με το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί αποτελεσματικότερα η μεθοδολογία αυτή. Τέλος, σύμφωνα με μελέτη που έγινε στη Σκωτία (Dilks et al., 2003), το SWAT βρέθηκε να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις απαιτήσεις που επιβάλλει η Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, αλλά κυρίως για την ικανότητα προσομοίωσης του κύκλου των θρεπτικών, για τη δυνατότητα που προσφέρει στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας των ολικών μεγίστων ημερήσιων φορτίων, καθώς και για το φιλικό περιβάλλον εργασίας που διαθέτει για τη βαθμονόμηση, την επαλήθευση και την ανάλυση των διαχειριστικών σεναρίων, η επιλογή του μοντέλου SWAT κρίθηκε ως η καταλληλότερη για την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

2.6 Περιγραφή μοντέλου SWAT

Το S.W.A.T. (Soil and Water Assessment Tool) είναι ένα χρονικά συνεχές, κατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο λεκάνης απορροής που λειτουργεί με ημερήσιο βήμα (Arnold et al., 1998, Neitsch et al., 2001). Σχεδιάστηκε με σκοπό να αξιολογήσει τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των πρακτικών διαχείρισης σε λεκάνες απορροής με μικρό αριθμό σταθμών παρακολούθησης, και να προσομοιώσει την επίδρασή τους στον υδρολογικό κύκλο, τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών, τα ιζήματα και την παραγωγή χημικών (Neitsch et al., 2005). Τα κυριότερα στοιχεία που απαρτίζουν το μοντέλο, αφορούν τον καιρό, την υδρολογία, τη θερμοκρασία του εδάφους, την ανάπτυξη των φυτών, τα θρεπτικά συστατικά, τα φυτοφάρμακα, τη διαχείριση της γης, τα βακτηρίδια και τέλος τους παθογόνους οργανισμούς (Arnold et al., 1998, Gassman et al., 2007,

Neitsch et al., 2005). Στο SWAT, η προς εξέταση λεκάνη απορροής χωρίζεται σε πολλαπλές επιμέρους υπολεκάνες, οι οποίες στη συνέχεια υποδιαιρούνται σε υδρολογικές μονάδες απόκρισης, καθεμία από τις οποίες εμφανίζει ίδια χαρακτηριστικά εδάφους, ίδια κλίση, καθώς και ίδια χρήση γης, σε όλη της την έκταση. Αφού γίνει αυτός ο διαχωρισμός, υπολογίζεται η επιφανειακή απορροή, οι κύκλοι των θρεπτικών, η παραγωγή φερτών υλών και η ανάπτυξη των φυτών για κάθε υδρολογική μονάδα απόκρισης και στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση όλου του ποτάμιου συστήματος συνολικά.

Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων και δημιουργία υδρολογικού ισοζυγίου

Στα κλιματικά δεδομένα συμπεριλαμβάνονται η ημερήσια βροχόπτωση, η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία, καθώς και δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία, και τον άνεμο, τα οποία μπορούν είτε να επιλεχθούν από καταγεγραμμένα αρχεία που υπάρχουν μέσα στο μοντέλου είτε να εισαχθούν από το χειριστή βάσει των δεδομένων που έχει συλλέξει για την περιοχή που μελετάται (Gassman et al., 2007). Η εισαγωγή δεδομένων για τη σχετική υγρασία απαιτείται μόνο αν χρησιμοποιηθεί η εξίσωση των Penman-Monteith (Monteith, 1965) ή των Priestly-Taylor (Priestly and Taylor, 1972) για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, ενώ η εισαγωγή δεδομένων για τον αέρα απαιτείται μόνο στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των Penman-Monteith (η μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιείται σε περίπτωση προσομοίωσης σεναρίων κλιματικής αλλαγής διότι δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των επιπέδων του CO₂ στην ατμόσφαιρα). Επίσης δεδομένα για την ημερήσια βροχόπτωση ανά υπολεκάνη απαιτούνται εφόσον χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των Green-Ampt (Green and Ampt, 1911) που αφορά τη διήθηση. Ο μέσος όρος της ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα που υπολογίζεται από τα δεδομένα που εισήχθησαν, χρησιμοποιείται για να καθοριστεί αν η βροχόπτωση πρέπει να προσομοιωθεί ως χιονόπτωση, ενώ η ελάχιστη και μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς της ημερήσιας θερμοκρασίας του εδάφους και του νερού. Τα εισαχθέντα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του κλίματος της περιοχής μελέτης, με τη βοήθεια 13 μηνιαίων κλιματικών μεταβλητών, οι οποίες αναπτύχθηκαν μετά από χρόνια καταγραφή

κλιματικών δεδομένων, και είναι καταγεγραμμένες σε πίνακες που διαθέτει το μοντέλο. Στο μοντέλο SWAT δίνεται μεταξύ άλλων η δυνατότητα για: (1) προσομοίωση της βροχόπτωσης και/ή της χιονόπτωσης μέχρι και 10 κλιμάκων υψομέτρου, (2) επαναπροσδιορισμό των εισαχθέντων δεδομένων για προσομοίωση της κλιματικής αλλαγής, και (3) πρόβλεψη των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών.

Αφού γίνει η εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων ακολουθεί η προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου για καθεμία υδρολογική μονάδα απόκρισης, στην οποία συνυπολογίζονται το ποσοστό της βροχόπτωσης που συγκρατείται από το φύλλωμα των φυτών και των δέντρων, το πώς γίνεται ο καταμερισμός της βροχόπτωσης, το νερό από το λιώσιμο του χιονιού, και το νερό άρδευσης μεταξύ της επιφανειακής απορροής και της διήθησης, η αναδιανομή του νερού στο προφίλ του εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή, η υπεδάφια απορροή, καθώς και η ροή που επιστρέφει από τους ρηχούς υδροφορείς.

- Εισαγωγή δεδομένων για τις καλλιέργειες, τις γεωργικές πρακτικές, και την απομάκρυνση ρυπαντικού φορτίου (Gassman et al., 2007)

Η σοδειά των καλλιεργειών και/ή η παραγωγή βιομάζας, μπορούν να υπολογιστούν για ένα μεγάλο εύρος φυτών και δέντρων, καθώς και για λιβάδια και βοσκοτόπια, με το υπομοντέλο που διαθέτει το SWAT. Οι διαδικασίες της φύτευσης, του οργώματος, της συγκομιδής, καθώς και της εφαρμογής των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων μπορούν να προσομοιωθούν για κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά είτε ορίζοντας (ο χρήστης) το χρονοδιάγραμμα των διαδικασιών, είτε με την προσέγγιση των απαιτούμενων μονάδων θέρμανσης που πρέπει να συμπληρωθούν για την έναρξη της κάθε διαδικασίας. Το παραγόμενο υπόλειμμα καθώς και η αναδιανομή των συστατικών του εδάφους προσομοιώνονται βάσει της διαδικασίας του οργώματος. Από την άλλη, η εφαρμογή του αζώτου και του φωσφόρου προσομοιώνονται ως ανόργανο λίπασμα και/ή ως κοπριά, ανάλογα με τον τρόπο που έχει γίνει η εισαγωγή των δεδομένων, ενώ η απομάκρυνση της παραγόμενης βιομάζας και η εναπόθεση της κοπριάς εξαρτώνται από τη συχνότητα της βόσκησης. Εναλλακτικά υπάρχει η επιλογή της αυτόματης λίπανσης που όμως αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες ποσότητες αζώτου που εφαρμόζονται, καθώς και η επιλογή της συνεχούς εφαρμογής κοπριάς που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη διαδικασία

της βοσκής των ζώων και επομένως τη συχνότητα με την οποία εφαρμόζεται η κοπριά σε κάθε υδρολογική μονάδα απόκρισης.

Επιπροσθέτως στο SWAT δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης των διαφοροποιήσεων στη διατήρηση και τη διαχείριση του νερού. Στις πρακτικές διαχείρισης του νερού περιλαμβάνονται διάφορες γεωργικές πρακτικές όπως η δημιουργία αναβαθμίδων (πεζούλες), λωρίδων καλλιεργειών, διηθητικού κυκλώματος κ.α.. Όσον αφορά το νερό άρδευσης των καλλιεργειών δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης από πέντε διαφορετικές πηγές: από το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού, από κάποιο ρεζερβουάρ, από το ρηχό ή το βαθύ υδροφόρο ορίζοντα, ή τέλος, από κάποια πηγή έξω από τη λεκάνη απορροής του συστήματος που μελετάται. Τέλος, η άρδευση των καλλιεργειών μπορεί να προσομοιωθεί είτε ορίζοντας συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα είτε αυτόματα.

Η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου τόσο μέσα από κάθε υδρολογική μονάδα απόκρισης, όσο και από τη ροή του ποταμού, μπορούν να προσομοιωθούν από το SWAT για τα ιζήματα, το άζωτο, το φώσφορο, τα φυτοφάρμακα, και τα βακτήρια. Η δημιουργία και η απομάκρυνση ιζημάτων μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση MUSLE που αναπτύχθηκε από τους Williams και Berndt (1977). Από την άλλη, οι μετατροπές και η κίνηση του αζώτου και του φωσφόρου μέσα σε μια υδρολογική μονάδα απόκρισης, μπορεί να προσομοιωθεί από το SWAT σε μία λειτουργία του κύκλου των θρεπτικών που αποτελείται από διάφορες οργανικές και ανόργανες πηγές. Η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου από το έδαφος λαμβάνει χώρα μέσω της συγκομιδής της σοδειάς και μέσω της κοπής των φυτών, ενώ η απομάκρυνση από την επιφανειακή απορροή λαμβάνει χώρα μέσω της διαλυτής φάσης και της διάβρωσης των ιζημάτων. Απομάκρυνση του αζώτου μπορεί επίσης να λάβει χώρα κατά τη διήθηση κάτω από το ριζικό σύστημα, κατά την πλευρική υπεδάφια απορροή και κατά την εξαέρωση στην ατμόσφαιρα. Όσον αφορά τα φυτοφάρμακα, η μεταφορά λαμβάνει χώρα με αποδόμηση και απομάκρυνση μέσω της εξαέρωσης, της έκπλυσης, της διάβρωσης των ιζημάτων, και μέσω της διαλυτής φάσης της επιφανειακής απορροής, καθώς και κατά την πλευρική υπεδάφια απορροή.

- Διόδευση της ροής και του ρυπαντικού φορτίου (Gassman et al., 2007)

Αφού γίνει η εισαγωγή όλων των δεδομένων όπως περιγράφηκε παραπάνω και γίνουν οι προκαταρκτικοί υπολογισμοί, αθροίζονται οι ροές των υδρολογικών μονάδων απόκρισης της κάθε υπολεκάνης και στη συνέχεια διοδεύονται μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο χρησιμοποιώντας είτε τη μέθοδο αποθήκευσης μεταβλητού ρυθμού (Williams, 1969), είτε τη μέθοδο Muskingum (Neitsch et al., 2005a), που είναι και οι δύο παραλλαγές της προσέγγισης του κινηματικού κύματος. Επίσης αθροίζονται τα φορτία ή οι συγκεντρώσεις από τα ιζήματα, τα θρεπτικά, τα φυτοφάρμακα και τα βακτήρια των υδρολογικών μονάδων απόκρισης της κάθε υπολεκάνης (αφού συνυπολογιστεί η απομάκρυνση) και στη συνέχεια διοδεύονται μέσω των καναλιών, των λιμναζόντων νερών, των υδροτόπων και των ρεζερβουάρ για να καταλήξουν στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψιν οι διαφοροποιήσεις στη ροή και τα φορτία λόγω των σημειακών πηγών αλλά και των πιέσεων από τις αστικές περιοχές.

2.7 Εφαρμογές του SWAT

Το SWAT έχει εφαρμοστεί στις Η.Π.Α. και γενικότερα σε όλο τον κόσμο με εκατοντάδες δημοσιευμένες μελέτες. Οι εφαρμογές που έχουν γίνει συμπεριλαμβάνουν την προσομοίωση των επιδράσεων των διαφορετικών χρήσεων νερού καθώς και των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης τόσο στον υδρολογικό κύκλο όσο και στα ρυπαντικά φορτία (Prochnow et al., 2008, Schilling et al., 2008). Πιο συγκεκριμένα έχει χρησιμοποιηθεί:

- για την ανάλυση των πηγών ρύπανσης ενός αποδέκτη και τη μετέπειτα διερεύνηση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν προκειμένου τα επίπεδα των ρύπων να βρίσκονται εντός των ορίων που υπαγορεύει η μεθοδολογία των TMDL (Schilling and Wolter, 2009)
- για την ποσοτικοποίηση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής σε ένα αποδέκτη (Stone et al., 2001)
- για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης (Shen et al., 2009)
- για την αξιολόγηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού (Kusre et al., 2010), και
- για την ανάπτυξη των αποτελεσματικότερων πρακτικών διαχείρισης (Gassman et al., 2007).

Πολλές αναφορές υπάρχουν στη βιβλιογραφία και όσον αφορά την εξέταση των χημικών παραμέτρων μιας λεκάνης απορροής. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι μελέτες του:

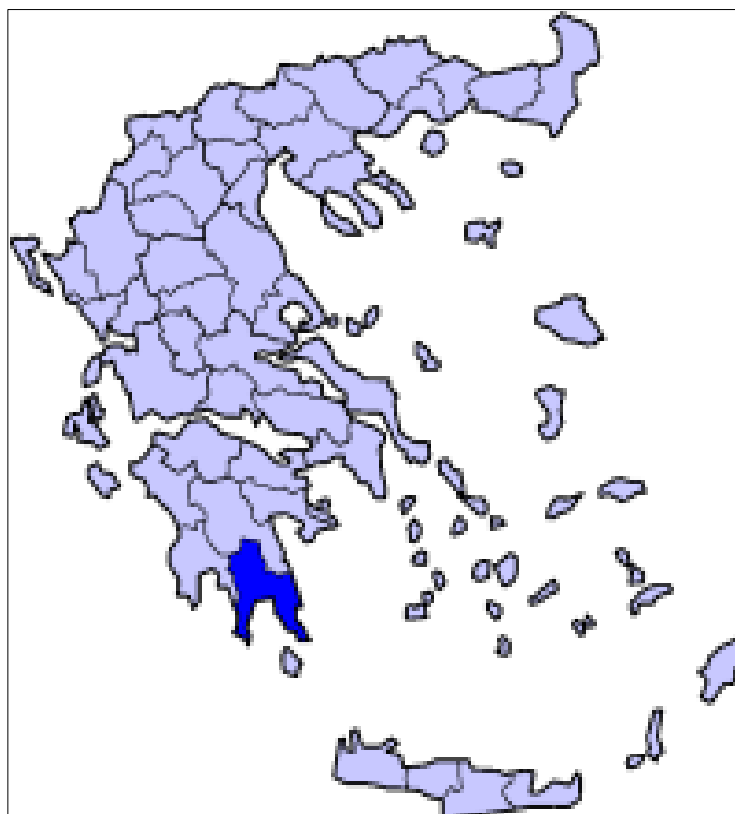
- Samira Akhavan και της ομάδας του (Samira Akhavan et al., 2010), που μελέτησαν τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα της έκπλυσης των νιτρικών στον Ινδικό ποταμό και συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής του παραποτάμου Bahar του δυτικού Ιράν. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική δραστηριότητα και είναι ιδιαίτερα επιβαρυνόμενη λόγω της εφαρμογής μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων. Το SWAT προσομοίωσε ικανοποιητικά το φορτίο των νιτρικών στην έξοδο της λεκάνης απορροής, και ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικό στα σενάρια που εξετάστηκαν για εύρεση των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης του φορτίου.
- Lam και της ομάδας του (Lam et al., 2010), που μελέτησαν την επίδραση σημειακών και μη σημειακών πηγών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Kiestau, στα βόρεια πεδινά της Γερμανίας. Η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από έντονη γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα, αλλά επιβαρύνεται και από τους έξι βιολογικούς καθαρισμούς που είναι εγκατεστημένοι στην περιοχή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το SWAT ήταν πολύ ικανοποιητικά, τόσο όσον αφορά την υδρολογία, όσο και τη χημεία της λεκάνης.
- Nikolaidi και της ομάδας του (Nikolaidis N. P. et al., 2012), που μελέτησαν την υδρολογική και χημική απόκριση των καρστικών συστημάτων, καθώς και τις επιπτώσεις των διαφόρων χρήσεων γης και της κλιματικής αλλαγής, στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, στην Κρήτη. Το μοντέλο SWAT κατάφερε να αποτυπώσει ικανοποιητικά τη χρονική μεταβολητότητα τόσο της καρστικής ροής όσο και της επιφανειακής απορροής, καθώς και τη μεταβλητότητα της συγκέντρωσης των νιτρικών ως επακόλουθο των επιδράσεων των χρήσεων γης, και κυρίως της βόσκησης. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ουσιαστικά, ότι το μοντέλο SWAT είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων.
- Pisinara και της ομάδας του (Pisinaras et al., 2010), που μελέτησαν την υδρολογία και τη χημεία της λεκάνης απορροής του ποταμού Κόσυνθου στη Βόρειοανατολική Ελλάδα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το μοντέλο

SWAT είναι ένα πολύ ευέλικτο και αξιόπιστο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτων, ειδικά κάτω από την ανάγκη για εναρμόνιση με την οδηγία πλαίσιο και ότι αν βαθμονομηθεί σωστά, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην εξέταση σεναρίων διαχείρισης λεκανών απορροής στη Μεσόγειο.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωγραφική Θέση και διοικητική υπαγωγή

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, ο οποίος ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Πιο συγκεκριμένα, η λεκάνη απορροής του ποταμού ανήκει στην ευρύτερη περιοχή του νοτιοανατολικού τμήματος της Πελοποννήσου και η συνολική της έκταση είναι 2420 km². Κατά το μεγαλύτερο τμήμα της, ανήκει στον νομό Λακωνίας, ενώ ένα μικρό κομμάτι της, βόρεια και βορειοανατολικά το κατέχει ο νομός Αρκαδίας καθώς τα υδρογεωλογικά σύνορα δε ταυτίζονται με τα διοικητικά. Δυτικά η υπολεκάνη συνορεύει με τον νομό Μεσσηνίας, ενώ νότια εκτείνεται ο Λακωνικός Κόλπος και ανατολικά το Μυρτώο πέλαγος.



Εικόνα 3.1 : Γεωγραφική Θέση του ποταμού Ευρώτα

Ο ποταμός Ευρώτας, που αποτελεί το δεύτερο σε σημασία ποταμό της Πελοποννήσου μετά τον Αλφειό, πηγάζει από την νοτιοανατολική περιοχή του οροπεδίου της Μεγαλόπολης του νομού Αρκαδίας και καθώς διασχίζει τους νομούς Αρκαδίας και Λακωνίας από βορρά προς νότο, δέχεται νερά από πολλούς μικρούς παραπόταμους και χείμαρρους, κυρίως εφήμερου και διακοπτόμενου χαρακτήρα πριν εκβάλει στο Λακωνικό κόλπο. Η κοιλάδα του ποταμού Ευρώτα, εκτείνεται μεταξύ των κύριων ορεινών όγκων της περιοχής που είναι δυτικά ο Ταΰγετος και ανατολικά ο Πάρνωνας.

Μέσα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται συνολικά περίπου 95 δημοτικά διαμερίσματα από τα οποία τα 90 βρίσκονται στο Ν. Λακωνίας και τα υπόλοιπα ανήκουν στο Ν. Αρκαδίας. Ο συνολικός πληθυσμός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα ανέρχεται περίπου σε 63.000 κατοίκους (26 κάτοικοι/km² από ΕΣΥΕ, 2001) και η λεκάνη θεωρείται αραιοκατοικημένη, σε σύγκριση με τις 15 κύριες ποτάμιες λεκάνες των Βαλκανίων.

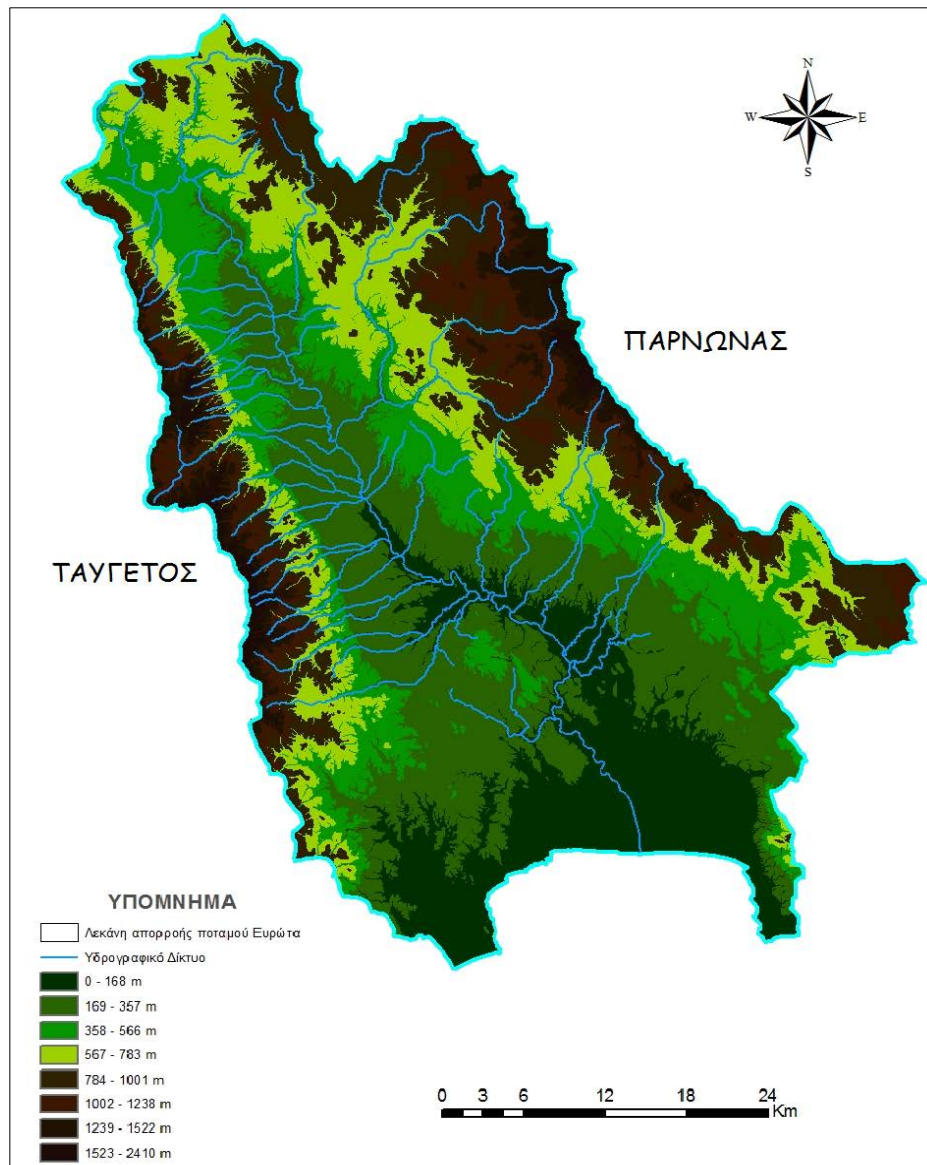
Το μεγαλύτερο αστικό κέντρο που βρίσκεται μέσα στη λεκάνη είναι η Σπάρτη, πρωτεύουσα του νομού Λακωνίας η οποία βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του νομού, στις όχθες του Ευρώτα, σε υψόμετρο 210m και έχει πληθυσμό περίπου 15.000 κατοίκους. Οι δήμοι του Ν. Λακωνίας που βρίσκονται εξ' ολοκλήρου μέσα στην υπομελέτη λεκάνη απορροής είναι οι Πελλάνας, Οινούντος, Μυστρά, Σπάρτης, Θεραπνών και Φάριδος, που πλέον αποτελούν τον καλλικρατικό Δ. Σπάρτης. Επίσης στην υπομελέτη λεκάνη βρίσκεται και ένα τμήμα της κοινότητας Καρυών (καλλικρατικός Δ. Σπάρτης), ένα μικρό τμήμα του Δ. Κροκεών (καλλικρατικός Δ. Ευρώτα), καθώς και ένα μικρό τμήμα των δήμων Σκυρίτιδας (καλλικρατικός Δ. Τρίπολης) και Φαισίας (καλλικρατικός Δ. Μεγαλόπολης) του Ν. Αρκαδίας. Οι δήμοι των Ν. Λακωνίας και Αρκαδίας που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης απορροής του Ευρώτα φαίνονται στο Χάρτη 3.1 που ακολουθεί.



Χάρτης 3.1 : Δήμοι εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

3.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής είναι ορεινό και ημιορεινό. Συγκεκριμένα, το 25.6% είναι πεδινό (υψόμετρο από 0-150m), το 37.8% ημιορεινό (υψόμετρο 150-600m), και το 36.6% ορεινό (μεγαλύτερο από 600m). Μεγάλο μέρος της λεκάνης καλύπτουν οι δυο μεγάλοι ορεινοί όγκοι του Ταΰγετου και του Πάρνωννα (Χάρτης 3.2). Η υψηλότερη κορυφή του Ταΰγετου είναι ο Προφήτης Ηλίας (2404m), μέρος του οποίου βρίσκεται στο νομό Μεσσηνίας και του Πάρνωννα η Μεγάλη Τούρλα (1935m), η οποία βρίσκεται στα σύνορα με το νομό Αρκαδίας,



Χάρτης 3.2 : Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται δυο κύριες κοιλάδες: της Σπάρτης και της Σκάλας (Εικόνα 3.2). Η κοιλάδα της Σπάρτης ακολουθεί ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Στο κέντρο της περίπου παρατηρούνται λοφώδεις εξάρσεις, οι οποίες κατανέμονται γραμμικά, παράλληλα με τη γενική διεύθυνση της κοιλάδας. Η κοιλάδα διατρέχεται κατά μήκος από τον ποταμό Ευρώτα και κατά πλάτος από μια σειρά δευτερευόντων υδρορεμάτων, διαλείπουσας και μόνιμης 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. Οι οροσειρές φτάνουν σε υψόμετρα 200-340m δυτικά και

βορειοδυτικά και μέχρι 900m ανατολικά. Οι κλίσεις στην βόρεια λοφώδη περιοχή είναι πιο μικρές από αυτές που παρουσιάζονται ανατολικά και δυτικά και παρουσιάζουν μέσο υψόμετρο 160-180m (Ανδριανάκη Μ., 2007). Η περιοχή της Σκάλας μπορεί να διακριθεί σε τρεις υπο-περιοχές:

- 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 και δυτική λοφώδη περιοχή.

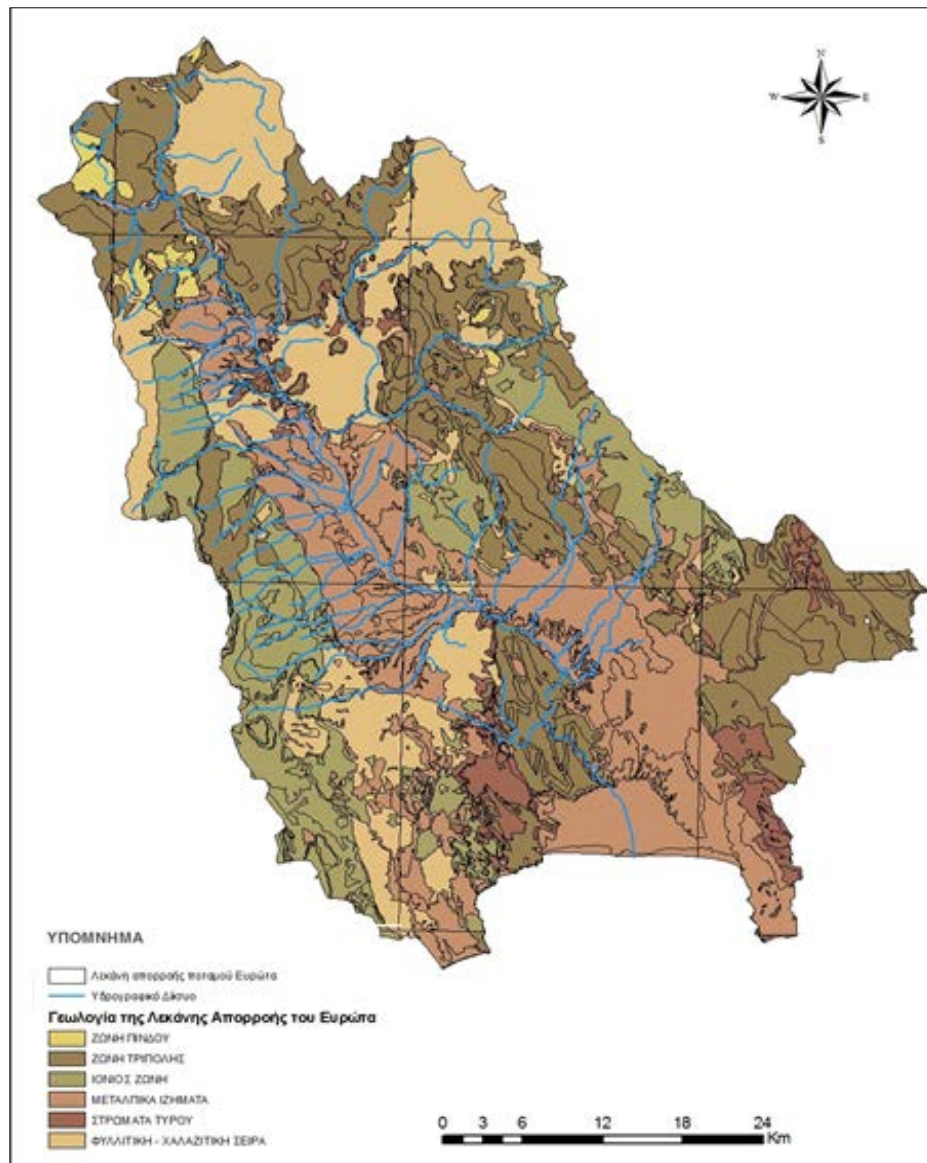


Εικόνα 3.2 : Ο Ποταμός Ευρώτας καθώς διασχίζει την πεδιάδα της Σπάρτης (αριστερά) και της Σκάλας (δεξιά) www.picasaweb.google.com

3.3 Γεωλογία

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της Πελοποννήσου είναι αποτέλεσμα αφενός της γεωλογικής και τεκτονικής δομής και αφετέρου των εξωγενών διεργασιών που επέδρασαν επί αυτής (π.χ. κλίμα).

Στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα ποταμού απαντώνται οι γεωτεκτονικές ζώνες της Πίνδου, της Τρίπολης, η Ιόνιος ζώνη ή Ενότητα Μάνης, τα Στρώματα Τυρού, η Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά ή Ενότητα Άρνας και τέλος τα μεταλικά ιζήματα (Χάρτης 3.3), που αναλύονται στη συνέχεια.



Χάρτης 3.3 : Γεωλογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα ως προς τις γεωτεκτονικές ενότητες

Ιόνιος ζώνη : Η Ιόνιος 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 βορειοδυτική Πελοπόννησο. Στο χώρο της Πελοποννήσου-Κρήτης και των άλλων νησιών οι σχηματισμοί της Ιόνιας ζώνης είναι μεταμορφωμένοι και συνιστούν τη σειρά των Plattenkalk, και μόνο στην περιοχή της Μάνης έχουμε ορατή τεκτονική επαφή της ζώνης αυτής πάνω στη σειρά των μαρμάρων της Μάνης που ανήκουν στη ζώνη των Παξών.

Η συνθετική στρωματογραφική επαλληλία της σειράς των Plattenkalk, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί από τη συσχέτιση των επί μέρους στρωματογραφικών τομών στις περιοχές του Ταϋγέτου και του Πάρνωνα έχει ως εξής: σχιστόλιθοι οι οποίοι διαπιστώθηκαν σε διάφορες περιοχές κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής του Ταϋγέτου από το Ι.Γ.Μ.Ε., κρυσταλλικοί δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, χαλαζίτες, μάρμαρα και φλύσχης (Κατσικάκος Γ., 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 Α., 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 τεμάχια ποικίλης φύσης, σχήματος και μεγέθους. Ο σχηματισμός αυτός είναι γνωστός ως «άγριος φλύσχης».

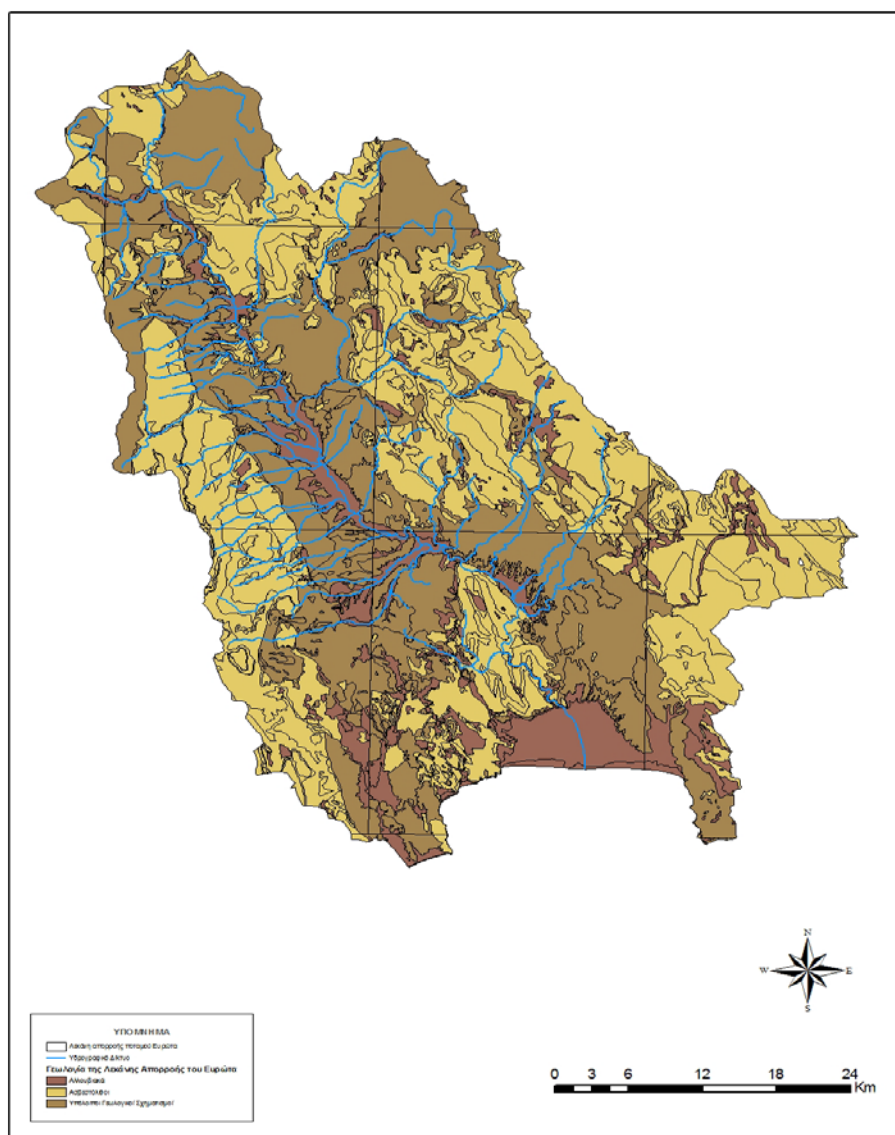
Στην περιοχή του Ταϋγέτου απαντώνται όλα τα τμήματα της στρωματογραφικής στήλης της ενότητας, εκτός από τον «άγριο φλύσχη», όμως η εμφάνιση της ενότητας περιορίζεται στο βόρειο και στο νοτιοανατολικό τμήμα του. Στα σημεία όπου υπέρκειται των φυλλιτών-χαλαζιτών, πάνω από την τεκτονική επαφή παρατηρείται είτε το ανθρακικό τμήμα της στρωματογραφικής στήλης της Τρίπολης, είτε τα στρώματα Τυρού (Καραλέμας Ν., 2006, Κατσικάκος Γ., 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 ψαμμιτών, πηλιτών και ραδιολαριτών με ενδιαστρώσεις λατυποπαγών ασβεστόλιθων, κενομάνιας ηλικίας, για την οποία έχει επικρατήσει ο όρος «Πρώτος Φλύσχη». 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 φλύσχη της ενότητας. Επιπροσθέτως, έχει αναφερθεί η ύπαρξη ανθρακικών πετρωμάτων μικρού πάχους κάτω από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους και κάτω από το σχηματισμό του «Πρώτου Φλύσχη» στην περιοχή του Πάρνωνα. Από τους παραπάνω σχηματισμούς, στην περιοχή του Ταΰγετου απαντώνται μόνο ο Πρώτος Φλύσχη 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 Ν., 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 ως προς τις γεωτεκτονικές ενότητες που διακρίνεται η περιοχή, ως προς την γεωλογία χωρισμένα σε 3 γεωλογικές κύριες κατηγορίες (Ασβεστόλιθοι, Αλλουβιακά και υπόλοιποι γεωλογικοί σχηματισμοί) και ως προς την λιθολογία της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής.

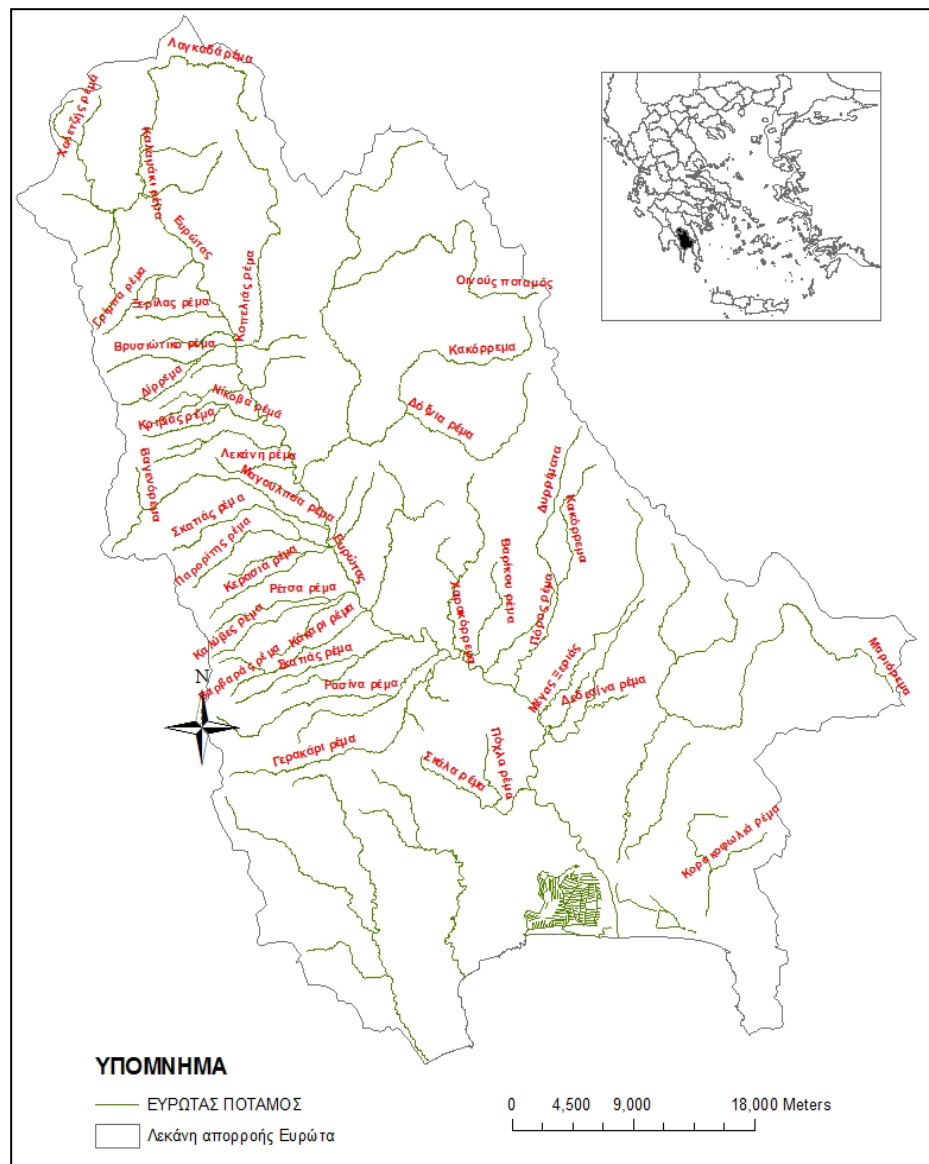


Χάρτης 3.4 : Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

3.4 Υδρολογία

Ο ποταμός Ευρώτας πηγάζει από την νοτιοανατολική περιοχή του οροπεδίου της Μεγαλόπολης του νομού Αρκαδίας και καθώς διασχίζει τους νομούς Αρκαδίας και Λακωνίας από βορρά προς νότο δέχεται νερά από πολλούς παραπόταμους και χείμαρρους, πριν εκβάλει στο Λακωνικό κόλπο (Χάρτης 3.5). Επίσης τροφοδοτείται από μια σειρά πηγών, πολλές από τις οποίες βρίσκονται κατά μήκος της κοίτης του και είναι σταθερής ή διαλείπουσας παροχής. Οι πηγές τροφοδοτούνται από διάφορα καρστικά συστήματα (Σκορτσινού-Δυρραχίου) του κεντρικού Ταΰγετου, του κεντρικού Πάρνωνα κτλ. Οι σημαντικότερες πηγές σταθερής παροχής είναι του Σκορτσινού που βρίσκεται

στην περιοχή της Αρκαδίας, του Βιβαρίου που βρίσκεται στην περιοχή της κοιλάδας της Σελλασίας, καθώς και της Κονιδίτσας που βρίσκεται κοντά στο ομώνυμο χωριό στην περιοχή του κεντρικού Ταΰγετου. Το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζει συνολικό μήκος περίπου 82km. Χαρακτηριστικό του ποταμού Ευρώτα είναι η ύπαρξη τμημάτων κατά μήκος του, που στερεύουν το καλοκαίρι λόγω της υπεράντλησης του νερού των πηγών και του υπόγειου νερού που τον τροφοδοτούν για αρδευτικούς λόγους (Ανδριανάκη Μ., 2007).



Χάρτης 3.5 : Ο κύριος ρους και οι κύριοι παραπόταμοι του ποταμού Ευρώτα

Η επιφανειακή αποστράγγιση του ποταμού Ευρώτα γίνεται μέσω τριών υδρολογικών συστημάτων.

Αρχικά συναντάται το υδρολογικό σύστημα του Ευρώτα, το οποίο ξεκινάει από την Αρκαδία και καταλήγει στο Λακωνικό κόλπο, και αποστραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα του ανατολικού Ταΰγετου και του δυτικού Πάρνωνα. 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) καθώς και από το δυτικό περιθώριο του Δέλτα (που συμβάλουν στην τάφρο Ω). 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).

3.5 Κλιματολογικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζει μεσογειακού τύπου κλίμα, με θερμά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 16 °C, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση -που παρουσιάζει ανισομερή κατανομή στο χώρο και το χρόνο- υπολογίζεται στα 78 mm. Το μεγαλύτερο ποσοστό βροχοπτώσεων παρατηρείται την περίοδο Οκτωβρίου-Μαρτίου, με πιο υγρό μήνα το Δεκέμβριο, ενώ ο πιο ξηρός μήνας είναι ο Ιούνιος.

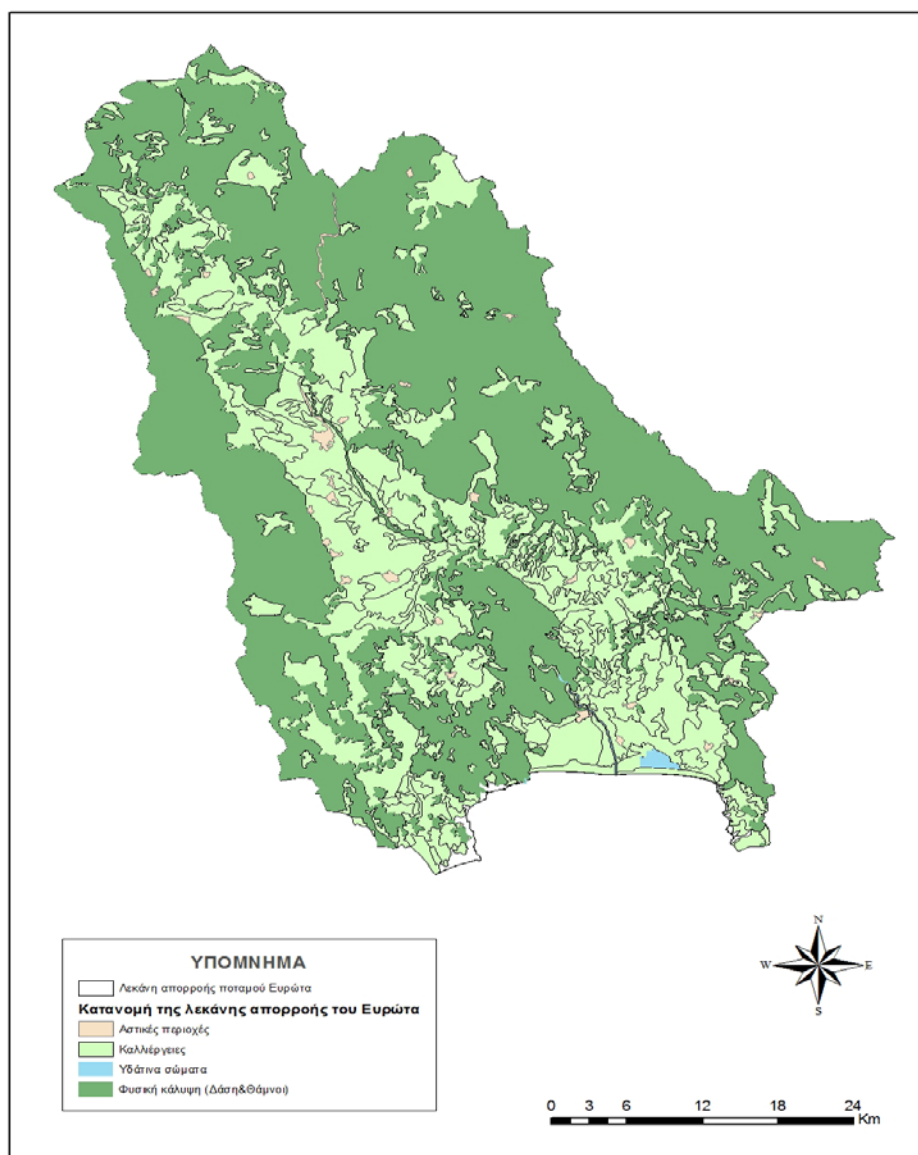
Η ορεινή περιοχή παρουσιάζει βαρύ χειμώνα με μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ υγρής και θερμής περιόδου, καθώς και μεταξύ ημέρας και νύχτας. Βροχοπτώσεις παρατηρούνται καθ' όλη την διάρκεια του έτους, ενώ το φαινόμενο του παγετού είναι εμφανές από τον Οκτώβριο μέχρι και τον μήνα Απρίλιο. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι βορειανατολικοί και σπανιότερα νοτιοδυτικοί. Από την άλλη μεριά, στα πεδινά, χαρακτηριστικά είναι επίσης τα φαινόμενα ομίχλης και παγετού, κυρίως στη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα.

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που λειτουργούν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και παρέχουν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και εξάτμισης είναι ο σταθμός του Έλους (στα 4m υψόμετρο από την επιφάνεια της λεκάνης απορροής) και

της Ριβιώτισσας (στα 163.5m υψόμετρο), ενώ οι σταθμοί του Βρονταμά (στα 280m υψόμετρο), των Περιβολιών (στα 490m υψόμετρο), της Σελλασίας (στα 590m υψόμετρο), του Βασαρά (στα 646m υψόμετρο) και της Πετρίνας (στα 240.2m υψόμετρο), παρέχουν μόνο δεδομένα βροχόπτωσης.

3.6 Χρήσεις Γης

Το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα καλύπτεται από φυσικές εκτάσεις όπως δάση, λιβάδια κτλ., ενώ ακολουθούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, οι αστικές επιφάνειες και τέλος τα υδάτινα σώματα (Διάγραμμα 3.1). Η κατανομή των χρήσεων γης εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζεται στο Χάρτη 3.6 που ακολουθεί.



Χάρτης 3.6 : Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα



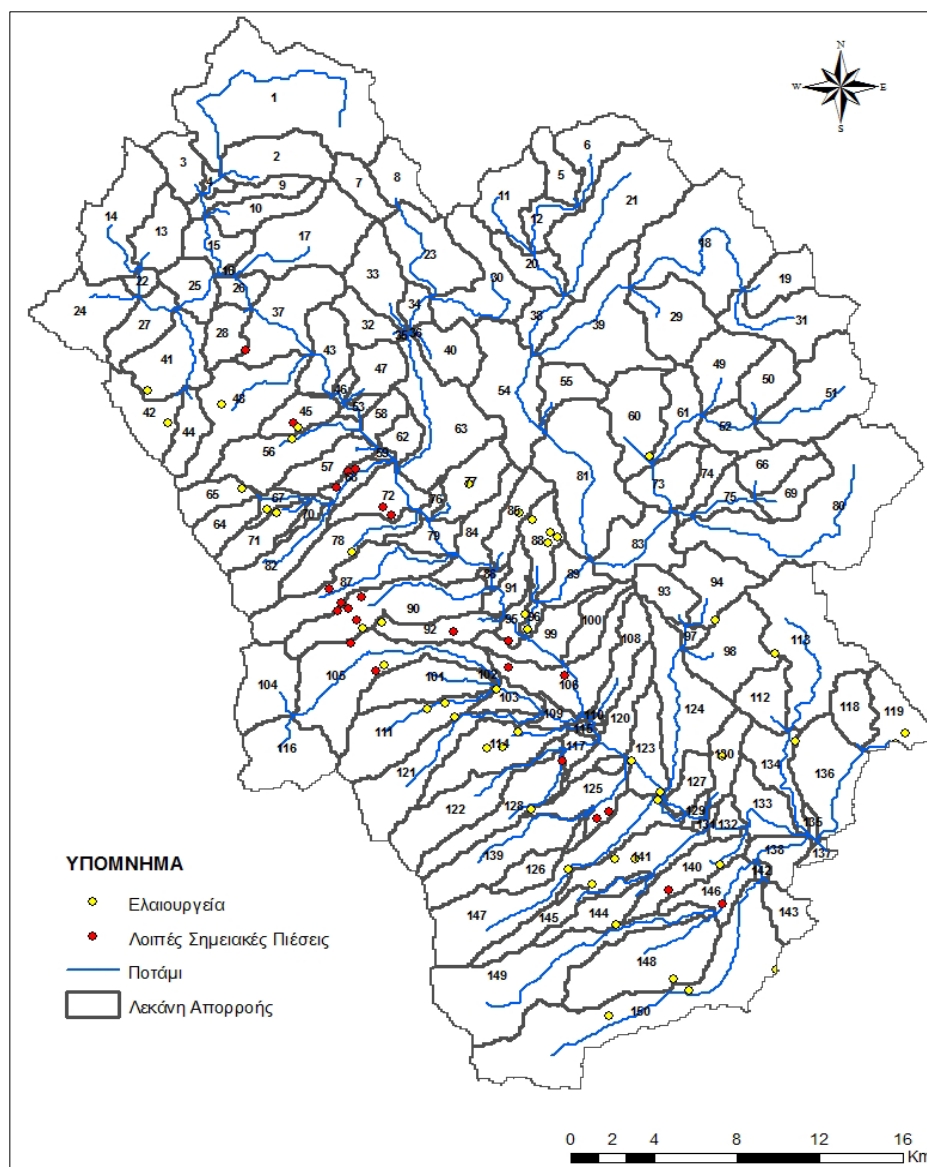
Διάγραμμα 3.1 : Κύριες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα (ποσοστιαία)

3.7 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. Όσον αφορά στους υδατικούς πόρους πλήθος γεωτρήσεων, αποστραγγιστικών τάφρων, δέσεων και καναλιών εκτροπής του νερού έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια με απώτερο στόχο την κάλυψη υδροαρδευτικών αναγκών.

3.7.1 Σημειακές Πιέσεις

Στις σημειακές πιέσεις συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις από αστικά υγρά απόβλητα, από απόβλητα μικρών βιομηχανικών μονάδων, απόβλητα μεταλλουργίας, διαρροές από ρυπασμένα εδάφη, εκροές μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και πιέσεις που προέρχονται από ιχθυοτροφεία (Χάρτης 3.7). Πιο συγκεκριμένα, οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα προέρχονται από χυμοποιεία, ελαιοτριβεία, μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες, βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βρώσιμων προϊόντων, καθώς και από την ανεξέλεγκτη διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων ορισμένων οικισμών.



Χάρτης 3.7 : Σημειακές πιέσεις εντός της λεκάνης απορροής του Ευρώτα

3.7.1.1 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 τη λεκάνη απορροής λειτουργεί μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η μονάδα αυτή βρίσκεται στο δήμο Σπάρτης, ο οποίος κατά το μεγαλύτερο ποσοστό εξυπηρετείται από σύστημα αποχετεύσεως το οποίο καταλήγει στη μονάδα όπου γίνεται η βιολογική επεξεργασία. Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της

Σπάρτης σχεδιάστηκε με την προοπτική να εξυπηρετεί 40000 Ισοδύναμους Κατοίκους (Ι.Κ.) ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες της επόμενης 30ετίας.

Η μέθοδος επεξεργασίας που εφαρμόζεται είναι της ενεργούς ιλύος (παρατεταμένος αερισμός) με πλήρη αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος, βιολογική αφαίρεση φωσφόρου και απονιτροποίηση. Οι επεξεργασμένες εκροές από τη μονάδα, μετά την απολύμανσή τους με τη μέθοδο της χλωρίωσης, διατίθενται στον ποταμό Ευρώτα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι 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 ως προς τη στεγανότητα με αποτέλεσμα ένα ποσοστό των λυμάτων να διηθείται και να καταλήγει μετέπειτα στον ποταμό Ευρώτα. 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 εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, 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 και οδηγεί σε ενίσχυση του φαινομένου του ευτροφισμού (Μπακάλης Ν. κ.ά., 1993).

3.7.1.2 Βιομηχανικά απόβλητα

Όπως προαναφέρθηκε στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα δραστηριοποιούνται διάφορες, μικρής ή μεγαλύτερης κλίμακας βιομηχανικές μονάδες, οι κυριότερες από τις οποίες -σε παραγωγή αποβλήτων- είναι τα χυμοποιεία, τα ελαιοτριβεία και ορισμένες κτηνοτροφικές μονάδες, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Χυμοποιείο «Λακωνία» : Το χυμοποιείο «Λακωνία» που δραστηριοποιείται στην περιοχή από το 1967, είναι η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής χυμού πορτοκαλιού στην περιοχή. Το εργοστάσιο μπορεί να επεξεργαστεί έως 150 τόνους πορτοκάλια κάθε οκτώ ώρες, ενώ συνολικά χυμοποιεί περίπου 30000 τόνους ετησίως. Ο όγκος των υγρών

αποβλήτων που παράγονται κατά τη μέγιστη λειτουργία του εργοστασίου είναι $100\text{m}^3/\text{hr}$ (MEDSPA, 1993). Το χυμοποιείο «Λακωνία» διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και σε περίπτωση σωστής λειτουργίας ένα μεγάλο μέρος του οργανικού φορτίου και των στερεών απομακρύνεται, ενώ μικρό πρόβλημα δημιουργείται από το χρώμα και τις οσμές που παραμένουν στην εκροή της. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν ενδείξεις για την ελλιπή επεξεργασία των αποβλήτων, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του ρυπαντικού φορτίου να καταλήγει στον Ευρώτα. Ένα τμήμα της διαδικασίας παραγωγής του χυμού πορτοκαλιών της μονάδας, καθώς και οι δεξαμενές επεξεργασίας φαίνονται στις Εικόνες 3.3 και 3.4 αντίστοιχα.



Εικόνα 3.3 : Γραμμή παραγωγής του χυμοποιείου Λακωνία



Εικόνα 3.4 : Μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων του χυμοποιείου Λακωνία

Χυμοποιείο «Παπαδημητρακόπουλος» : Το χυμοποιείο λειτουργούσε μέχρι και το 2007 σε μια απόσταση τρία Km νότια της Σπάρτης και είχε δυνατότητα παραγωγής 15tn/h χυμό πορτοκαλιού. Ο όγκος των υγρών αποβλήτων που παράγεται από το χυμοποιείο είναι $78\text{m}^3/\text{h}$, απόβλητα που ισοδυναμούν με τα υγρά απόβλητα 30000 κατοίκων (MEDPSA, 1993). Από αυτά μόνο τα $2,5\text{m}^3/\text{h}$ περιέχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (MEDPSA, 1993). Τα απόβλητα της μονάδας αυτής διατίθενται 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 (Εικόνες 3.5-3.8). Η ρύπανση από τα απόβλητα αυτά έφτανε ως

και την περιοχή της Σκούρας και του Βρονταμά. Το 2007 το χυμοποιείο μεταφέρθηκε σε περιοχή του Λευκοχώματος του Δ. Φάριδος με τη νέα ονομασία «Biofresh ΑΕ».



Εικόνα 3.5: Διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων μέσω αγωγού σε παραπόταμο του Ευρώτα



Εικόνα 3.6: Η περιοχή της Αγίας Κυριακής όπου διακρίνεται η ρύπανση από τα υγρά απόβλητα του χυμοποιείου



Εικόνα 3.7: Η περιοχή της Σκούρας όπου παρατηρείται η ρύπανση από τα υγρά απόβλητα του χυμοποιείου



Εικόνα 3.8: Έκταση μέσα στην οποία αφήνονται τα στερεά απόβλητα των χυμοποιείων

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι λειτουργία των δύο παραπάνω χυμοποιείων είναι εποχιακή. Η παραγωγή του χυμού πορτοκαλιού ξεκινάει το Νοέμβριο και ολοκληρώνεται το Μάιο, ενώ εμφανίζει και κάποιες διακυμάνσεις ως προς την παραγωγή μεταξύ των μηνών αυτών.

Κτηνοτροφικές μονάδες: Στον Καλλικρατικό Δ. Σπάρτης υπάρχουν δώδεκα μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες αγελάδων. Από αυτές οι οχτώ βρίσκονται στην περιοχή του παλαιού Δ. Μυστρά και έχουν συνολικά δυναμικότητα 1076 αγελάδων, ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις βρίσκονται στην περιοχή του παλαιού Δ. Πελλάνας και έχουν συνολικά δυναμικότητα 895 χοίρους. Επίσης στον παλαιό Δ. Πελλάνας υπάρχουν και δύο κτηνοτροφικές μονάδες χοιρινών συνολικής δυναμικότητας 5030 ζώων.

Να σημειωθεί ότι οι μονάδες που προαναφέρονται, δεν είναι οι μοναδικές που δραστηριοποιούνται στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα. Υπάρχουν και κάποιες μόνιμες σε άλλους δήμους, στις οποίες όμως η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων θεωρείται μικρή και δεν συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς.

Ελαιουργεία: Η καλλιέργεια της ελιάς είναι μια από τις σημαντικότερες αγροτικές δραστηριότητες στο Ν. Λακωνίας και η παραγωγή ελαιολάδου είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της οικονομίας. Όπως προκύπτει από στοιχεία της Νομαρχίας Λακωνίας, στο νομό λειτουργούν 128 ελαιουργεία τα οποία παράγουν γύρω στους 21000 τόνους ελαιολάδου ετησίως, σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Γεωργίας. Από αυτά, τα 91 βρίσκονται στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, αλλά μόλις 42 στην περιοχή προσομοίωσης της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Συνήθης πρακτική διάθεσης των παραγόμενων αποβλήτων (υπολογίζεται ότι παράγονται 5m³ αποβλήτου/τη παραγόμενου ελαιολάδου), είναι η αποθήκευση αυτών σε δεξαμενές (Εικόνα 3.9). Παρόλα αυτά, αρκετά από τα ελαιουργεία διαθέτουν τα απόβλητα ανεπεξέργαστα είτε σε ρέματα και χείμαρρους, είτε κατευθείαν στον Ευρώτα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του ποταμού, των παρόχθιων περιοχών και του υπόγειου υδροφορέα (Εικόνες 3.10-

3.11). Τα υγρά απόβλητα των 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 3.9 : Δεξαμενή σταθεροποίησης οργανικού υλικού αποβλήτων ελαιουργείου



Εικόνα 3.10 : Χείμαρρος που ρίχνονται ανεπεξέργαστα τα υγρά απόβλητα ελαιουργείου



Εικόνα 3.11 : Ρύπανση από απόβλητα ελαιουργείου

Άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες: Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα δραστηριοποιούνται και άλλες βιομηχανικές μονάδες ή επιχειρήσεις, όπως πυρηνελαιουργεία, τυροκομεία, σφαγεία, μάντρες αυτοκινήτων, οι οποίες είτε διαθέτουν σύστημα επεξεργασίας των παραγόμενων αποβλήτων, είτε είναι πολύ μικρές είτε δεν υπάρχει επαρκής πληροφόρηση. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η παραγωγή αποβλήτων είναι αρκετά μικρότερη συγκριτικά με τις μονάδες που αναλύθηκαν εκτενώς παραπάνω.

Η μεθοδολογία υπολογισμού των παραγόμενων αποβλήτων και των αντίστοιχων φορτίσεων που δέχεται ο ποταμός Ευρώτας από τις σημειακές πηγές που προαναφέρθηκαν, παρουσιάζεται εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

3.7.2 Μη Σημειακές Πιέσεις

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

Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή είναι οι ελιές, τα πορτοκάλια και έπειτα τα σιτηρά, τα λαχανικά, τα αμπέλια κ.τ.λ. Η εντατική καλλιέργεια της γης έχει οδηγήσει στη χρήση μεγάλων ποσοτήτων κυρίως αμμονιακών, αλλά και σύνθετων λιπασμάτων με ιχνοστοιχεία, καθώς και φυτοπροστατευτικών (MEDPSA, 1993).

Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των λιπασμάτων που καταναλώνονται σε κάθε περιοχή είναι ιδιαίτερα δύσκολος, κυρίως γιατί οι οδηγίες του Υπουργείου Γεωργίας όσον αφορά τις προτεινόμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια, δεν ακολουθούνται πάντοτε από τους αγρότες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να γίνεται υπερκατανάλωση λιπασμάτων, τα οποία στη συνέχεια μέσω των κατακρημνίσεων μεταφέρονται και εισέρχονται στο ποτάμι, δημιουργώντας ευτροφικές συνθήκες στην περιοχή.

Επιπροσθέτως, εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό ζώων ελευθέρως βοσκής. Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους αρμόδιους δήμους ο αριθμός των ζώων που εκτρέφονται είναι 130540 αιγοπρόβατα, 58070 πουλερικά, 1729 βοοειδή και 100 χοιρινά. Από αυτά εντός της περιοχής προσομοίωσης εκτρέφονται τα 44032 αιγοπρόβατα, 1234 βοοειδή και 100 χοιρινά.

Τέλος, και όσον αφορά τα στερεά απορρίμματα, παρόλο που όλοι οι δήμοι στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ευρώτα διαθέτουν ένα οργανωμένο σύστημα συλλογής, η διαχείριση των στερεών απορριμμάτων μέχρι και πριν από λίγα χρόνια ήταν προβληματική αφού η διάθεση γινόταν κυρίως σε χώρους ανεξέλεγκτης εναπόθεσης απορριμμάτων, όπου συλλέγονταν σταδιακά και εν συνεχεία είτε σκεπάζονταν με χώμα, είτε οδηγούνταν σε καύση. Ως εκ τούτου, οι χώροι αυτοί αποτελούσαν 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, ενώ έχουν γίνει μελέτες αποκατάστασης των Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ), όπως αυτή του χώρου στον Άγιο Νικόλαο και στις Γούρνες του δήμου Θεραπνών.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Υπολογισμός φορτίων που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα για την εισαγωγή τους στο SWAT

Το μοντέλο SWAT που επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, πέρα από δεδομένα που αφορούν την παροχή του ποταμού, το κλίμα, τη γεωλογία, και τις χρήσεις γης της περιοχής, απαιτεί επίσης τον υπολογισμό των φορτίων αζώτου και φωσφόρου που εισέρχονται στη λεκάνη απορροής από τις διάφορες πηγές ρύπανσης. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των φορτίων αυτών τόσο για τις σημειακές, όσο και για τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης.

4.1.1 Υπολογισμός φορτίων από σημειακές πηγές ρύπανσης

Όπως προαναφέρθηκε, οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα προέρχονται από χυμοποιεία, ελαιοτριβεία, μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες, βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βρώσιμων προϊόντων, καθώς και από την ανεξέλεγκτη διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων ορισμένων οικισμών. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, στους τελικούς υπολογισμούς συμπεριελήφθησαν, κατά κύριο λόγο οι μεγαλύτερες και πιο «ρυπογόνες» μονάδες για τις οποίες υπήρχαν και εγκυρότερα διαθέσιμα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, στις σημειακές πηγές με μεγαλύτερο ποσοστό φόρτισης της λεκάνης απορροής συγκαταλέγονται, ο βιολογικός καθαρισμός, οι απορροφητικοί βόθροι ορισμένων χωριών που λόγω της θέσης τους δεν υπήρχε δυνατότητα σύνδεσης με το βιολογικό καθαρισμό, τα ελαιουργεία, και τέλος τα δύο μεγάλα χυμοποιεία της περιοχής.

➤ Βιολογικός καθαρισμός: Για τον υπολογισμό των φορτίων αζώτου και φωσφόρου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που δόθηκαν από τον υπεύθυνο της μονάδας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.1 : Συγκεντρώσεις χημικών παραμέτρων στην έξοδο του βιολογικού

Χημικές Παράμετροι	Μ.Ο. συγκέντρωσης στην έξοδο (mg/L)	Τυπική απόκλιση
BOD	9.5	3.135
COD	22.12	5.047
TN	6.00	2.76
ORGN	1.34	0.63
NH ₃	4.81	3.73
NO ₃	2.03	1.53
TP	1.22	0.86
DO	7.25	0.72
SED	5.56	2.13

Βάσει αυτών των στοιχείων και δεδομένου ότι ο όγκος των υγρών αποβλήτων είναι 4500 m³/day, έγιναν οι υπολογισμοί των φορτίων-για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά-, εκφρασμένων σε kg/day για κάθε μήνα, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT. Στους υπολογισμούς λήφθηκε υπόψιν και η εποχιακή διακύμανση των φορτίων, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο (Πίνακας Π1-Παράρτημα). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.2) παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από τη λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού.

Πίνακας 4.2 : Ετήσια φόρτιση από το βιολογικό καθαρισμό

Ολικά Φορτία Βιολογικού Καθαρισμού (tn/yr)								
SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
0.009	2.201	0.707	3.461	7.900	0.000	1.178	11.498	11.910

➤ Βοθρολύματα: Από μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής και μετά από επιβεβαίωση της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λακωνίας, έγιναν υπολογισμοί των φορτίων αζώτου και φωσφόρου, που παράγονται από τα βοθρολύματα. Τα χωριά Καστόρι, Βορδόνια, Πελλάνα, Μαγούλα, Παρόρι, Μυστράς, Πλατάνα και Σκούρα δεν διαθέτουν αποχετευτικά δίκτυα και εξυπηρετούνται από βόθρους και σηπτικές

δεξαμενές που όμως είναι πρόχειρα κατασκευασμένες, και δεν ακολουθούνται οι απαραίτητες προδιαγραφές ως προς τη στεγανότητα με αποτέλεσμα ένα ποσοστό των λυμάτων να διηθείται και να καταλήγει μετέπειτα στον ποταμό Ευρώτα.

Οι υπολογισμοί έγιναν βάσει του πληθυσμού του κάθε χωριού (απογραφή 2001 από την Ε.Σ.Υ.Ε.), και δεδομένου ότι κατά μέσο όρο η παραγωγή αποβλήτων είναι 150 L/κάτοικο την ημέρα (Πίνακας 4.3), ενώ η τυπική τους σύσταση είναι αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.3 : Πληθυσμός και παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων ανά χωριό

Χωριά	Κάτοικοι	Παραγόμενη ποσότητα λυμάτων (L/day)
Καστόρι	729	109350
Βορδόνια	393	58950
Πελλάνα	423	63450
Μαγούλα	1475	221250
Παρόρι	321	48150
Μυστράς	485	72750
Πλατάνα	220	33000
Σκούρα	511	76650

Πίνακας 4.4 : Τυπική σύσταση αστικών υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης Α.Ν. και Tchobanoglous G., 1995)

Χημική Παράμετρος	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Τιμή (mg/L)	--	13	2.6	0.6	20	0	6.8	181	--

Βάσει των Πινάκων 4.3 και 4.4, και με την υπόθεση ότι στον ποταμό Ευρώτα καταλήγει το 5% των φορτίων αυτών, λόγω του ότι έχει λάβει χώρα ένα μεγάλο ποσοστό αποδόμησης του οργανικού φορτίου τόσο μέσα στον απορροφητικό βόθρο, όσο και στο εδαφικό πορώδες κατά τη διήθηση, έγιναν οι υπολογισμοί των φορτίων- για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά-, εκφρασμένων σε kg/day για κάθε μήνα, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT. Εξαίρεση αποτελεί το χωριό Καστόρι το οποίο διαθέτει τα λύματά του απ' ευθείας στο ποτάμι και άρα στον Ευρώτα καταλήγει το 100% των φορτίων (Πίνακας Π2-

Παράρτημα). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.5) παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από τα βοθρολύματα.

Πίνακας 4.5 : Ετήσια φόρτιση από τα βοθρολύματα

Ολικά Φορτία Βοθρολυμάτων (tn/yr)								
SED	ORGN	ORGP	NO₃	NH₃	NO₂	MINP	BOD	DO
--	0.655	0.131	0.03	1.008	0.000	0.343	9.121	--

➤ Ελαιουργεία: Για τον υπολογισμό των φορτίων αζώτου και φωσφόρου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που δόθηκαν από τη Διεύθυνση Γεωργίας, για τις παραγόμενες ποσότητες ελαιολάδου ανά μήνα για κάθε ελαιοτριβείο. Αρχικά υπολογίστηκε η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτου που βασίστηκε στην παραδοχή ότι τα ελαιοτριβεία φυγοκεντρικού τύπου παράγουν 5m³ αποβλήτου ανά τόνο παραγόμενου ελαιολάδου (Karellakis et al., 2006). Η παραγόμενη ποσότητα ελαιολάδου και αποβλήτων ανά ελαιουργείο παρουσιάζονται στον Πίνακα Π3 που παρατίθεται στο παράρτημα. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ετήσια παραγωγή αποβλήτων υποθέτοντας ότι τα ελαιουργεία δραστηριοποιούνται πέντε μήνες το χρόνο (Νοέμβριος-Μάρτιος). Βάσει αυτών των στοιχείων και δεδομένης της τυπικής σύστασης των αποβλήτων ελαιουργείου (Πίνακας 4.6), έγιναν οι υπολογισμοί των φορτίων της κάθε υπολεκάνης-για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά-, εκφρασμένων σε kg/day για κάθε μήνα, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT (Πίνακες Π4-Π23-Παράρτημα).

Πίνακας 4.6 : Τυπική σύσταση αποβλήτων ελαιουργείου (Dareioti et al, 2010)

Χημική Παράμετρος	COD	BOD	TKN	NH₃	TP	MINP
Τιμή (gr/L)	131	41	0.7	0.1	0.4	0.2

Βάσει του παραπάνω πίνακα υπολογίστηκε επιπροσθέτως η σύσταση των αποβλήτων σε ORGN και ORGP από πληροφορίες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία ως εξής:

- $ORGN = TKN - NH_3 = 0.7 - 0.1 = 0.6 \text{ gr/L}$ (είναι γνωστό ότι η μεθοδολογία υπολογισμού του TKN, δηλαδή του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl, βασίζεται στη μετατροπή κάθε μορφής οργανικού αζώτου σε αμμωνία. Όμως, λόγω του ότι στα απόβλητα έτσι και αλλιώς περιέχεται αμμωνία, το συνολικό οργανικό άζωτο προκύπτει από αφαίρεση των δύο).

- $TP = ORGP + MINP$ ή $ORGP = TP - MINP = 0.4 - 0.2 = 0.2 \text{ gr/L}$

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.7) παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από τα ελαιοτριβεία που δραστηριοποιούνται στη λεκάνη απορροής του.

Πίνακας 4.7 : Ετήσια φόρτιση από τα ελαιοτριβεία

Ολικά Φορτία Ελαιοτριβείων (tn/yr)								
SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
--	11.8	3.9	--	1.9	--	3.9	805.4	--

➤ Χυμοποιεία: Από τη βιβλιογραφία δε βρέθηκαν στοιχεία για τα φορτία αζώτου και φωσφόρου που περιέχονται στα υγρά απόβλητα χυμοποιείων. Έτσι, για τον υπολογισμό των φορτίων χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από δύο θέσεις δειγματοληψίας του ποταμού Ευρώτα που βρίσκονταν κατάντη των δύο χυμοποιείων (Πίνακας 4.8), οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια μιας μελέτης για την οικοτοξικότητα και τις επιδράσεις των υγρών αποβλήτων χυμοποιείων στην πανίδα του ποταμού Ευρώτα (Karaouzas I., et al., 2010).

Πίνακας 4.8 : Μέσοι όροι χημικών παραμέτρων για την περίοδο Νοεμβρίου 2006-Μαΐου 2008

	Σταθμός Ριβιώτισσα (Χ. Λακωνία)	Σταθμός Αγ. Κυριακή (Χ. Παπαδημητρακόπουλος)
Φυσικοχημικές Παράμετροι	Μ.Ο. (mg/L)	Μ.Ο. (mg/L)
DO	4.34	3.46
BOD	159.59	350.56
NO ₃	16.92	7.80
NO ₂	2.92	1.30
NH ₃	0.22	2.02
PO ₄	0.27	1.35

❖ Όσον αφορά το χυμοποιείο Λακωνία, λόγω του ότι διαθέτει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, έγινε η συντηρητική υπόθεση ότι η φόρτιση που προκαλείται στον ποταμό Ευρώτα από αυτό, ταυτίζεται με τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών του σταθμού της Ριβιώτισσας. Αυτή η υπόθεση βασίστηκε στο γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν ενδείξεις για ελλιπή επεξεργασία των αποβλήτων με αποτέλεσμα ένα μέρος του ρυπαντικού φορτίου να καταλήγει στον Ευρώτα.

Έτσι, γνωρίζοντας ότι η εκροή αποβλήτων είναι 100 m³/h και υποθέτοντας ότι το χυμοποιείο δραστηριοποιείται εφτά μήνες το χρόνο (Νοέμβριο με Μάιο), από 10 ώρες την ημέρα, έγιναν οι υπολογισμοί των φορτίων-για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά (πολλαπλασιάζοντας την τιμή του Πίνακα 4.8 με την παροχή αποβλήτων)-, οι οποίες εκφράστηκαν σε kg/day για κάθε ένα μήνα λειτουργίας, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT (Πίνακας Π25-Παράρτημα).

➤ Όσον αφορά το χυμοποιείο «Παπαδημητρακόπουλος», μέχρι και το 2007, δραστηριοποιούνταν στην περιοχή της Αγ. Κυριακής (νότια της Σπάρτης). Λόγω του ότι η μονάδα δε διαθέτει κάποιο σύστημα επεξεργασίας, πριν την απόρριψη στον ποταμό Ευρώτα, έκανε αραίωση των αποβλήτων σε αναλογία 1/4 με νερό που αντλούσε από το ποτάμι. Έτσι, για τον υπολογισμό της φόρτισης του ποταμού

Ευρώτα από το χυμοποιείο, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του σταθμού της Αγ. Κυριακής πολλαπλασιασμένα επί 5 (λόγω της αραίωσης).

Σύμφωνα με στοιχεία από την έκθεση του προγράμματος MEDSPA, η εκροή αποβλήτων είναι $78 \text{ m}^3/\text{h}$ και υποθέτοντας ότι το χυμοποιείο δραστηριοποιείται επτά μήνες το χρόνο (Νοέμβριο με Μάιο), από 10 ώρες την ημέρα, έγιναν οι υπολογισμοί των φορτίων-για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά (πολλαπλασιάζοντας τη νέα συγκέντρωση με την παροχή αποβλήτων)-, οι οποίες εκφράστηκαν σε kg/day για κάθε ένα μήνα λειτουργίας, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT (Πίνακας Π26-Παράρτημα).

Οι παραπάνω υπολογισμοί αφορούν την περίοδο μέχρι και το 2007, πριν τη μεταφορά του χυμοποιείου στην περιοχή του Λευκοχώματος του Δ. Φάριδος, οπότε πήρε και τη νέα επωνυμία «Biofresh ΑΕ». Για την περίοδο 2009-2010, και λόγω του ότι ξεκίνησε να λειτουργεί μονάδα επεξεργασίας, τα φορτία υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές του σταθμού της Αγ. Κυριακής όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8, ακολουθώντας την ίδια λογική όπως παραπάνω. Οι υπολογισμοί έγιναν-για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά και εκφράστηκαν σε kg/day για κάθε ένα μήνα λειτουργίας, όπως ακριβώς απαιτείται και για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα SWAT (Πίνακας Π27-Παράρτημα).

Η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα και από τα δύο χυμοποιεία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, στον Πίνακα 4.9 που παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 4.9 : Ετήσια φόρτιση από τα χυμοποιεία

Ολικά Φορτία Χυμοποιείων (tn/yr)								
SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
--	--	--	9.9	1.7	1.7	1.2	320.6	3.7

Συνολικά η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από όλες τις σημειακές πηγές ρύπανσης παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.10 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.10 : Ετήσια φόρτιση ποταμού Ευρώτα από σημειακές πηγές

Σημειακές πηγές	Ετήσια ποσότητα φορτίων (tn/yr)								
	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Βιολογικός	0.009	2.201	0.707	3.461	7.900	0.000	1.178	11.498	11.910
Βοθρολύματα	--	0.655	0.131	0.03	1.008	0.000	0.343	9.121	--
Ελαιουργεία	--	11.786	3.929	--	1.964	--	3.929	805.355	--
Χυμοποιεία	--	--	--	9.941	1.701	1.678	1.163	320.622	3.744
Σύνολο	0.009	14.64	4.77	13.43	12.57	1.68	6.61	1146.6	15.66

4.1.2 Υπολογισμός φορτίων από μη σημειακές πηγές ρύπανσης

Όπως προαναφέρθηκε στις κύριες μη σημειακές πιέσεις συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις που προέρχονται από την καλλιέργεια της αγροτικής γης, και κατ' επέκταση τη χρήση λιπασμάτων, καθώς και από την κτηνοτροφία.

➤ Κτηνοτροφία: Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους δήμους που βρίσκονται εντός της περιοχής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα τα ζώα που εκτρέφονται είναι βοοειδή, αιγοπρόβατα και χοιρινά. Τα ζώα αυτά είναι ελεύθερης βοσκής. Ο συνολικός αριθμός των ζώων σε κάθε δήμο δίνεται στον Πίνακα 4.11 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.11 : Αριθμός ζώων ανά δήμο

Δήμοι	Βοοειδή	Αιγοπρόβατα	Χοιρινά
Φάριδος	102	10164	13
Θεραπνών	-	15500	-
Μυστρά	532	5530	86
Πελλάνας	600	1170	-
Οινούντος	-	10668	-
Σπάρτης	-	1000	-
Σύνολο	1234	44032	99

Λόγω του ότι τα ζώα είναι ελευθέρως βοσκής, η φόρτιση από αυτά υπολογίστηκε ως κοπριά, και εν συνεχεία έγινε κατανομή αυτής στις μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις (γρασίδι και θάμνοι) των αντίστοιχων δήμων. Η αντιστοιχία του είδους ζώου με την παραγωγή κοπριάς παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.12, ενώ η συνολική παραγόμενη ποσότητα κοπριάς ανά δήμο παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.12 : Παραγωγή κοπριάς ανάλογα με το είδος ζώου (Nikolaidis N., 2011)

	Βοοειδή	Αιγοπρόβατα	Χοιρινά
Παραγωγή Kg κοπριάς/κεφάλι/χρόνο=	400	260	300

Πίνακας 4.13 : Παραγόμενη κοπριά ανά δήμο

Δήμοι	Βοοειδή	Αιγοπρόβατα	Χοιρινά	Συνολική κοπριά ανά δήμο (Kg/yr)
Φάριδος	40800	2642640	3900	2687340
Θεραπνών	-	4030000	-	4030000
Μυστρά	212800	1437800	25800	1676400
Πελλάνας	240000	304200	-	544200
Οινούντος	-	2773680	-	2773680
Σπάρτης	-	260000	-	260000
Συνολικά σε όλη την περιοχή προσομοίωσης=				11971620

Λίπανση των μη καλλιεργήσιμων εκτάσεων θεωρήθηκε ότι λαμβάνει χώρα μόνο από την εφαρμογή της κοπριάς. Στη βάση δεδομένων του μοντέλου SWAT ορίζονται οι αντιστοιχίες σε ανόργανο άζωτο (Mineral_N), οργανικό άζωτο (Org_N), ανόργανο φώσφορο (Mineral_P), και οργανικό φώσφορο (Org_P), για λίπανση με κοπριά. Οι αντιστοιχίες αυτές καθώς και οι υπολογισμοί βάσει της συνολικής παραγόμενης ποσότητας κοπριάς στην περιοχή προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.14 : Φόρτιση Ευρώτα βάσει της περιεκτικότητας της κοπριάς σε οργανικό και ανόργανο άζωτο και φώσφορο

Υπολογισμοί φορτίων κτηνοτροφίας ανά χημική παράμετρο					
	Kg Min_N/Kg fertilizer =0.014		Kg Org_N/Kg fertilizer=0.02 4	Kg Min_P/Kg fertilizer=0.00 3	Kg Org_P/Kg fertilizer=0.0 05
Φορτία (Kg/yr)	167602,7		287318,9	35914,9	59858,1
	99% NH ₃	1% NO ₃			
	165926,7	1676.03			

Η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από την κτηνοτροφία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, στον Πίνακα 4.15 που παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 4.15 : Ετήσια φόρτιση από την κτηνοτροφία

Ολικά Φορτία Κτηνοτροφίας (tn/yr)				
NH ₃ (tn/yr)	NO ₃ (tn/yr)	Org_N (tn/yr)	Min_P (tn/yr)	Org_P (tn/yr)
165,9	1,7	287,3	35,9	59,9

➤ Γεωργία: Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή είναι οι ελιές, τα πορτοκάλια και έπειτα τα σιτηρά, τα λαχανικά, τα αμπέλια κ.τ.λ. Για το λόγο αυτό οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής προσομοίωσης γενικεύτηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες (ελιές, πορτοκαλιές, σιτηρά), και σε αυτές θεωρήθηκε ότι γίνεται η εφαρμογή των γεωργικών λιπασμάτων. Ο υπολογισμός της ποσότητας λιπάσματος που εφαρμόζεται ανά καλλιέργεια κατά τη διάρκεια του έτους, προέκυψε από στοιχεία που δόθηκαν από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σπάρτης, αφού έγινε αναγωγή στον τύπο λιπάσματος FERT:30-15-00 της βάσης δεδομένων του μοντέλου SWAT, το οποίο ήταν αυτό που προσέγγιζε καλύτερα το είδος λίπανσης που χρησιμοποιείται στην περιοχή του Ευρώτα.

Η συνολική έκταση που καταλαμβάνει κάθε μία από τις προαναφερθείσες καλλιέργειες εντός της περιοχής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, η ποσότητα λιπάσματος που εφαρμόζεται ανά εκτάριο (βάσει των στοιχείων που δόθηκαν από τη Νομαρχία), και η συνολική ποσότητα λιπάσματος που εφαρμόζεται στην καθεμία παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.16 που ακολουθεί:

Πίνακας 4.16 : Εφαρμογή λιπάσματος ανά καλλιέργεια ανάλογα την έκταση

	Είδος Καλλιέργειας		
	Ελιές	Σιτάρι	Πορτοκαλιές
Συνολική έκταση στην περιοχή προσομοίωσης	20894,6 ha	16902,3 ha	2660,3 ha
Εφαρμογή λιπάσματος	85 Kg fertilizer/ha/yr	110 Kg fertilizer/ha/yr	70 Kg fertilizer/ha/yr
Συνολικό λίπασμα	1776043,1 Kg/yr	1859251,4 Kg/yr	186218,8 Kg/yr

Από τη βάση δεδομένων του μοντέλου SWAT, και λόγω του ότι όλο το λίπασμα ορίστηκε ως FERT:30-15-00, οι αντιστοιχίες σε ανόργανο άζωτο (Mineral_N), οργανικό άζωτο (Org_N), και ανόργανο φώσφορο (Mineral_P) είναι ακόλουθες, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.17 που ακολουθεί.

$\text{Kg Min_N/Kg fertilizer} = 0.3$

$\text{Kg Min_P/Kg fertilizer} = 0.066$

Πίνακας 4.17 : Φόρτιση Ευρώτα βάσει της περιεκτικότητας του λιπάσματος σε ανόργανο άζωτο και φώσφορο

Υπολογισμοί φορτίων γεωργίας ανά χημική παράμετρο						
	Ελιές		Σιτάρι		Πορτοκαλιές	
Συνολικό λίπασμα (Kg/yr)	1776043,1		1859251,4		186218,8	
Φορτία	Mineral N	Mineral P	Mineral N	Mineral P	Mineral N	Mineral P
Kg/yr	532812.9	117218.8	557775.4	122710.6	55865.7	12290.4
tn/yr	532.8	117.2	557.8	122.7	55.9	12.3

Η ετήσια φόρτιση του ποταμού Ευρώτα από τη γεωργία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά -ανά χημική παράμετρο-, στον Πίνακα 4.18 που παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 4.18 : Ετήσια φόρτιση από τη γεωργία

Ολικά Φορτία Γεωργίας (tn/yr)	
Mineral N (tn/yr)	Mineral P (tn/yr)
1446.5	252.2

4.2 Βαθμονόμηση του μοντέλου SWAT

Η Βαθμονόμηση ή ρύθμιση ενός μοντέλου (Model Calibration) είναι ένα κομμάτι της μοντελοποίησης πολύ σημαντικό στο οποίο προσδιορίζονται οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ώστε τα αποτελέσματα αυτά να είναι κατά το δυνατόν περισσότερο κοντά στα δεδομένα των παρατηρήσεων. Συνήθως οι μεταβολές αφορούν στις πιο ευαίσθητες παραμέτρους και σε εκείνες που εμπεριέχουν τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα δηλαδή στις παραμέτρους για τις οποίες δεν υφίσταται ικανοποιητική φυσική ερμηνεία ή ικανοποιητική μέτρησή τους στη φύση. Πριν την βαθμονόμηση είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ορισμένων κριτηρίων - υποθέσεων, ενώ κατά τη διάρκειά της πραγματοποιείται ένας έλεγχος καταλληλότητας της προσαρμογής του μοντέλου (Goodness of fit). Στη συνέχεια με τη βοήθεια κατάλληλων στατιστικών πακέτων κατοχυρώνεται ή αποδεικνύεται η ορθή βαθμονόμηση του μοντέλου και επομένως η αποτελεσματικότητά του.

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα. Στην πρώτη περίπτωση, η αποτελεσματικότητα της βαθμονόμησης εξαρτάται ως ένα μεγάλο βαθμό από την εμπειρία και τις γνώσεις του χρήστη. Στη δεύτερη περίπτωση, η βαθμονόμηση γίνεται από το ίδιο το μοντέλο με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων που δίνουν τη δυνατότητα για ταχεία και πολυπληθή εναλλαγή παραμέτρων, καθώς και για ένα μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χειροκίνητη βαθμονόμηση, κατά την οποία μία μεταβολή τη φορά συνοδεύεται από γραφική και στατιστική σύγκριση προσομοιωμένων και παρατηρημένων αποτελεσμάτων στο ποτάμι (trial and error process). Παρόλο που είναι υποκειμενική και χρονοβόρα, η χειροκίνητη βαθμονόμηση αποτελεί έναν αρκετά αποτελεσματικό τρόπο να ελεγχθεί ο τρόπος μεταβολής των πιο ευαίσθητων και αβέβαιων παραμέτρων (Engel et al., 2007).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα παρουσιαστούν εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3 Ανάπτυξη της μεθοδολογίας του TMDL (Total Maximum Daily Load)

4.3.1 Σκοπός και τρόπος εφαρμογής του TMDL

Το TMDL είναι ένα εργαλείο για την εφαρμογή των προτύπων ποιότητας νερού (όπως αριθμητικά κριτήρια καθώς και καθορισμένες χρήσεις και απαιτήσεις για την αποφυγή της υποβάθμισης του νερού), και βασίζεται στη σχέση των πηγών ρύπανσης και στην κατάσταση της ποιότητας του υδάτινου αποδέκτη.

Η διαδικασία υπολογισμού των TMDL συμπεριλαμβάνει τον προσδιορισμό των ρύπων, τον υπολογισμό της απαιτούμενης μείωσης φορτίων, και τη διατύπωση ενός προγράμματος δράσης τόσο για τις σημειακές, όσο και για τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης για την επίτευξη των προτύπων ποιότητας νερού. Η EPA μάλιστα έχει αναπτύξει πρωτόκολλα (US EPA, 1999, US EPA, 1999, US EPA, 2001) για την

εφαρμογή της μεθοδολογίας των TMDLs για ένα μεγάλο αριθμό χημικών ρυπαντών. Επιπροσθέτως, η μεθοδολογία των TMDL λαμβάνει επίσης υπόψιν την εποχιακή και χωρική μεταβλητότητα του φορτίου και κατ' επέκταση την επίδραση αυτού στον υδάτινο αποδέκτη.

Σκοπός της ανάπτυξης του υπολογισμού των TMDL, είναι η συστηματική παρακολούθηση και ο εντοπισμός υδάτινων σωμάτων που έχει διαταραχθεί η οικολογική τους ποιότητα, σε συνδυασμό με τον εντοπισμό των χημικών ρύπων που οδήγησαν σε αυτή την υποβάθμιση, ούτως ώστε να καθιερωθεί μια επιστημονική στρατηγική για τη βελτίωση της οικολογικής κατάστασης και τη μείωση της πιθανότητας της εκ νέου ρύπανσης του υδάτινου συστήματος.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής είναι ανάλογη με τα μέτρα που προτείνονται από την Οδηγία-Πλαίσιο για τα νερά και απαιτούνται: μετρήσιμοι δείκτες σε κατάλληλες μονάδες, όρια-στόχοι για την αξιολόγηση και την επίτευξη των προτύπων ποιότητας του νερού, καθώς και κατάλληλα προγράμματα παρακολούθησης και εφαρμογής μέτρων, με τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα να παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επικαιροποίηση της αποτελεσματικότητας των παραπάνω εφαρμογών.

Για τον υπολογισμό και την εφαρμογή των TMDL απαιτούνται: η γεωγραφική θέση του ρυπασμένου υδάτινου σώματος, ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση του ρύπου λόγω του οποίου γίνεται η μελέτη, ο προσδιορισμός του ποσοστού που ο ρύπος αυτός αποκλίνει από το νομοθετικά θεσπισμένο όριο, ο προσδιορισμός των πηγών ρύπανσης (σημειακών ή μη) εξαιτίας των οποίων λαμβάνει χώρα συνεχής εναπόθεση του συγκεκριμένου ρύπου, ο έλεγχος της ενδεχόμενης εποχιακής διακύμανσης του φορτίου αλλά και της παροχής του υδάτινου σώματος, ο υπολογισμός της ενδεχόμενης μελλοντικής αύξησης του φορτίου αυτού, ένας συντελεστής ασφαλείας που θα εκφράζει τη μη προσδιορίσιμη αφομοιωτική ικανότητα του αποδέκτη, και τέλος ένα ολοκληρωμένο σχέδιο εφαρμογής για ένα, ή μία ομάδα υπολογισμένων TMDL (Santese G., 2010).

4.3.2 Μεθοδολογία TMDL

Για την ανάπτυξη και την εφαρμογή της μεθοδολογίας των TMDL στον ποταμό Ευρώτα ακολουθήθηκαν τέσσερα βήματα, όπως αυτά υποδεικνύονται στην τεχνική αναφορά της EPA (U.S EPA, 2007a), τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

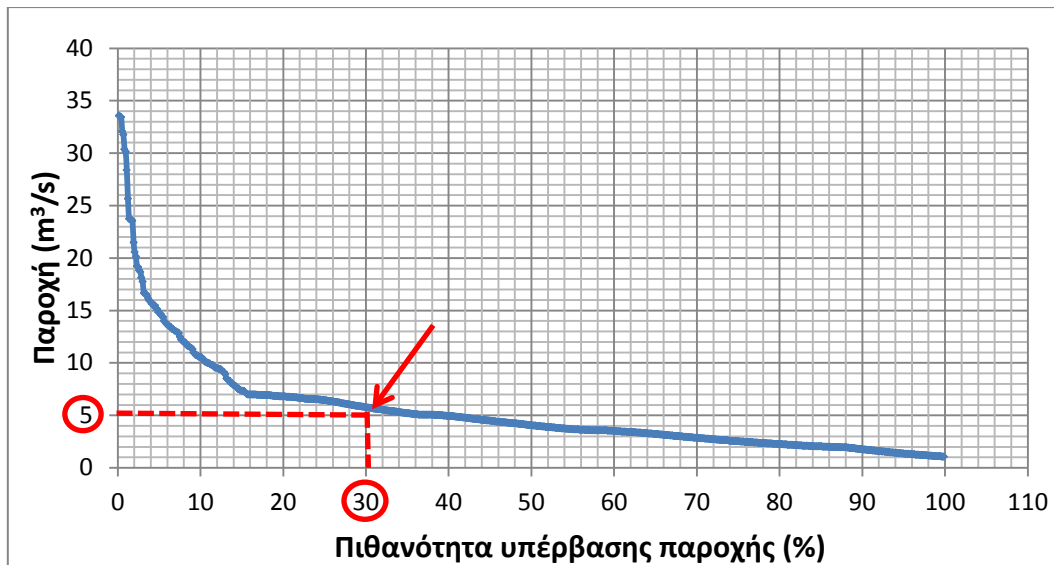
➤ Ανάπτυξη Καμπύλης Διάρκειας Παροχής

Η ανάλυση της καμπύλης διάρκειας παροχής -που αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο των υδρολόγων- εξετάζει την αθροιστική συχνότητα των καταγεγραμμένων δεδομένων παροχής κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου. Ουσιαστικά, μια καμπύλη διάρκειας παροχής, αντιπροσωπεύει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών της παροχής που καταγράφηκαν και του ποσοστού που αυτές οι τιμές παρουσιάστηκαν ή ξεπεράστηκαν κατά τη διάρκεια της υπό εξέτασης χρονικής περιόδου (U.S. EPA, 2007).

Οι παροχές που παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν (συνήθως υπό τη μορφή ημερήσιων μέσων όρων) αρχικά ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά και στη συνέχεια, και για την κάθε καταγεγραμμένη τιμή παροχής, υπολογίζεται το ποσοστό των τιμών που την υπερβαίνουν. Η χρήση της έννοιας "επί τοις εκατό του χρόνου", παρέχει ουσιαστικά μια ενιαία κλίμακα που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 100. Έτσι, λαμβάνεται υπόψιν όλο το εύρος των παροχών που καταγράφηκαν. Η μικρότερη τιμή παροχής που καταγράφηκε εμφανίζει πιθανότητα υπέρβασης 100%, εννοώντας ότι αυτή η τιμή προσεγγίστηκε ή ξεπεράστηκε στο 100% των περιπτώσεων εντός της υπό μελέτης χρονικής περιόδου, ενώ η μεγαλύτερη 0%, ποσοστό που υποδεικνύει ακριβώς το αντίθετο. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της χρονικής περιόδου αντιπροσωπεύεται από χαμηλές παροχές, ενώ περιπτώσεις πλημμυρικών γεγονότων καταγράφονται σπάνια και καλύπτουν ένα πάρα πολύ μικρό ποσοστό.

Σε ένα διάγραμμα καμπύλης διάρκειας παροχής, ο άξονας x αντιπροσωπεύει το ποσοστό των καταγεγραμμένων παροχών των οποίων η τιμή αναμένεται να υπερβαίνει τη συγκεκριμένη τιμή παροχής του άξονα y (Διάγραμμα 4.1). Για

παράδειγμα στο παρακάτω διάγραμμα το 30% των συνολικών καταγεγραμμένων ημερήσιων μέσων όρων παροχής εμφανίζουν τιμή μεγαλύτερη ή ίση με $5 \text{ m}^3/\text{s}$.



Διάγραμμα 4.1 : Καμπύλη διάρκειας παροχής

Η ανάλυση των καμπυλών διάρκειας παροχής συνήθως καθορίζει μια κατηγοριοποίηση των παροχών (υγρές και ξηρές περίοδοι και σε τί κλίμακα εμφάνισης), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σα γενικός δείκτης υδρολογικής κατάστασης αφού παρέχει πρόσθετες γνώσεις σχετικά με τις συνθήκες και τα πρότυπα που σχετίζονται με την οικολογική υποβάθμιση ενός αποδέκτη. Μία συνήθης κατηγοριοποίηση των παροχών είναι η εξής: μεγάλες παροχές (0-10%), συνθήκες υγρασίας (10-20%), μεσαίας διακύμανσης παροχές (20-30%), συνθήκες ξηρασίας (30-70%), μικρές παροχές (70-100%) (Cleland, 2002).

➤ Ανάπτυξη Καμπύλης Διάρκειας Φορτίου

Οι καμπύλες διάρκειας παροχής αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των καμπυλών διάρκειας φορτίου, πάνω στις οποίες στηρίζεται η μεθοδολογία των TMDLs. Μια καμπύλη διάρκειας φορτίου υπολογίζεται αν πολλαπλασιαστεί η ροή-παροχή του ποταμού, με το νομοθετικό όριο ποιότητας της χημικής παραμέτρου/ρύπου (που μελετάται κατά περίπτωση) στον υδάτινο αποδέκτη (συνήθως ένα κριτήριο ποιότητας του νερού) και ένα συντελεστή μετατροπής (U.S. EPA, 2007b).

Τα νομοθετικά όρια ποιότητας, που μπορεί είτε να μεταβάλλονται με τη ροή (όπως στην παρούσα εργασία), είτε να είναι σταθερά για οποιεσδήποτε υδρολογικές συνθήκες, αποδίδονται σε TMDL μέσω της έννοιας της αφομοιωτικής ικανότητας φόρτισης, η οποία καθορίζει, τη μεγαλύτερη ποσότητα φορτίων που μπορεί να δεχτεί ένας υδάτινος αποδέκτης χωρίς να διαταραχθεί η οικολογική του ποιότητα και ισορροπία.

Στην παρούσα εργασία και για τον υπολογισμό των μέγιστων επιτρεπόμενων ημερήσιων φορτίων, χρησιμοποιήθηκαν αυστηρά νομοθετικά όρια όσον αφορά τις χημικές παραμέτρους. Τα όρια αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί μια καλή οικολογική κατάσταση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19 που ακολουθεί (Greek River Nutrient Classification System, GR-NCS).

Πίνακας 4.19: Όρια αναφοράς χημικών παραμέτρων

Όρια χημικών παραμέτρων για επίτευξη καλής υδρολογικής κατάστασης					
	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂	N- NH ₄ ⁺	P-PO ₄ ³⁻	TN
Όριο (mg/L)	0.89	0.016	0.036	0.028	2.27

*Λάσχου Σ., «Προσδιορισμός Συνθηκών Αναφοράς & Ανάπτυξη Συστήματος Ταξινόμησης των Θρεπτικών για την εκτίμηση της Χημικής-Φυσικοχημικής κατάστασης των Ελληνικών ποταμών», Ερευνητική εργασία διπλώματος ειδίκευσης Χημείας & Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα, 2010.

➤ Μετατροπή των δειγμάτων ποιότητας νερού σε φορτίο

Κάθε δείγμα ποιότητας νερού, για καθεμία χημική παράμετρο, μετατρέπεται σε φορτίο πολλαπλασιάζοντας τη συγκέντρωση της χημικής παραμέτρου, με το μέσο όρο των καταγεγραμμένων παροχών της ημέρας που έγινε η δειγματοληψία. Στη συνέχεια -και αν απαιτείται-, το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή μετατροπής. Τέλος τα φορτία αναπαριστώνται ως σημεία στο γράφημα της καμπύλης διάρκειας φορτίου, προκειμένου να γίνει η σύγκριση σε σχέση με το όριο ποιότητας που έχει τεθεί.

➤ Σύγκριση μέγιστων επιτρεπόμενων και πραγματικών φορτίων

Αφού δημιουργηθούν οι καμπύλες διάρκειας παροχής και κατ' επέκταση οι καμπύλες διάρκειας φορτίου (για κάθε μία χημική παράμετρο χωριστά), στη συνέχεια γίνεται μια σύγκριση των μέγιστων επιτρεπόμενων φορτίων που μπορεί να δεχθεί ο υδάτινος αποδέκτης και των φορτίων που δέχεται στην πραγματικότητα. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να εκτιμηθεί αν χρειάζεται ή όχι μείωση των φορτίων (ανάλογα με το είδος της χημικής παραμέτρου και τη θέση στην οποία μελετάται), και σε τί ποσοστό, προκειμένου να μη διαταραχθεί το υδάτινο οικοσύστημα.

Η υδρολογική κατάσταση στην οποία απαιτείται η μέγιστη μείωση φορτίου, είναι και αυτή που αποτελεί την οριακή συνθήκη και καθορίζει το στόχο που τίθεται όσον αφορά το ποσοστό μείωσης του ρυπαντικού φορτίου.

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΤΑ-ΑΝΑΠΤΥΞΗ TMDL

5.1 Προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Ευρώτα με το μοντέλο SWAT

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση του μοντέλου SWAT σε ημερήσιο βήμα για δέκα χρόνια, από το 2000 μέχρι το 2010 ούτως ώστε να καθοριστούν οι αρχικές παράμετροι, ενώ η προσομοίωση της χημείας της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα έλαβε χώρα για τα δύο τελευταία χρόνια, 2009-2010 οπότε και υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα πεδίου. Τα δείγματα είχαν προηγουμένως αναλυθεί στο εργαστήριο «Υδρογεωχημικής και Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών», προκειμένου να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων που χρησιμοποιήθηκαν και για τη σύγκριση με τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Η προσομοίωση έλαβε χώρα για το Βιβάρι, για την περιοχή κατάντη του βιολογικού καθαρισμού στη Σπάρτη, για τον παραπόταμο της Κελεφίνας στο Βασαρά και στον Κλαδά, και τέλος για την περιοχή του Βρονταμά που βρίσκεται στην έξοδο της λεκάνης απορροής της περιοχής προσομοίωσης.

Σε επόμενο στάδιο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επαληθεύτηκαν κάνοντας χρήση του στατιστικού δείκτη RMSE (Root Mean Square Error). Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) είναι ένα μέτρο των διαφορών μεταξύ των τιμών που προσομοιώθηκαν από το μοντέλο SWAT σε σχέση με τις πραγματικές τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο (Εξίσωση 1). Ο δείκτης δίνει πληροφορίες για την άμεση απόδοση των συσχετίσεων, και η τιμή του είναι θετική με ιδανική τιμή το μηδέν. Το αρνητικό στοιχείο στον υπολογισμό αυτού του στατιστικού δείκτη, είναι ότι η ύπαρξη μικρού αριθμού σφαλμάτων μπορεί να αυξήσει εύκολα την τιμή του.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_s)^2}{N}} \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

Όπου y_i = οι μετρήσεις πεδίου, και

y_s = τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

5.1.1 Βαθμονόμηση των χημικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

Για τη βαθμονόμηση των παραμέτρων της χημείας η οποία έγινε χειροκίνητα, εξετάστηκε ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων τόσο γενικών (σε επίπεδο λεκάνης απορροής), όσο και ειδικών (σε επίπεδο υπολεκάνης), προκειμένου να βρεθούν εκείνες που παίζουν τον καθοριστικότερο ρόλο στην προσομοίωση των χημικών παραμέτρων. Οι εν λόγω παράμετροι εξάλλου είναι γνωστές στην επιστημονική κοινότητα για τη ευαισθησία που εμφανίζουν κατά την προσομοίωση με το μοντέλο SWAT, όπως έχει διερευνηθεί και αποδειχτεί σε πλήθος εργασιών πλέον (π.χ. Lam et al. 2010, Samira Akhavana et al., 2010, Grizzetti et al., 2005, και Pisinaras et al., 2010).

Οι γενικές παράμετροι που εξετάστηκαν, το εύρος τους καθώς και η τελική τιμή που επιλέχθηκε και ορίστηκε, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί:

Πίνακας 5.1: Βαθμονόμηση γενικών παραμέτρων

WATERSHED DATA - GENERAL DATA (.BSN)			
Παράμετρος	Περιγραφή	Εύρος	Τελική τιμή
Καρτέλα: Nutrients and Water Quality			
SDNCO	Κατώφλι περιεκτικότητας εδαφικής υγρασίας για την προσομοίωση απονιτροποίησης	0-1	0.2
CDN	Συντελεστής εκθετικού ρυθμού απονιτροποίησης	0-3	0.04
N_UPDIS	Παράμετρος κατανομής της απομάκρυνσης αζώτου	0-100	2
P_UPDIS	Παράμετρος κατανομής της απομάκρυνσης φωσφόρου	0-100	20
N_PERCO	Συντελεστής κατείσδυσης νιτρικών	0-1	0.8

P_PERCO	Συντελεστής κατείδυσης φωσφόρου	10-17.5	15
PHOSKD	Συντελεστής κινητικότητας διαλυτού φωσφόρου	100-200	175
RSDCO	Ποσοστό αποδόμησης υπολείμματος	0.02-0.1	0.1

Καρτέλα: Basin-Wide Management

BC1_BSN	Ποσοστό βιολογικής οξείδωσης αμμωνίας (L/day)	0.1-1	0.8
BC2_BSN	Ποσοστό βιολογικής οξείδωσης νιτρωδών σε νιτρικά (L/day)	0.2-2	0.5
BC3_BSN	Ποσοστό υδρόλυσης οργανικού αζώτου σε αμμωνία (L/day)	0.02-0.4	0.08
BC4_BSN	Ποσοστό αποδόμησης οργανικού φωσφόρου σε διαλυμένο φώσφορο(L/day)	0.01-0.7	0.1

Καρτέλα: Atmospheric Deposition

RAMMO_SUB	Ατμοσφαιρική εναπόθεση αμμωνίου (mg/L)	0-1	1
RCN_SUB	Ατμοσφαιρική εναπόθεση νιτρικών (mg/L)	0-2	1.5
DRYDEP_NH ₄	Ατμοσφαιρική ξηρή εναπόθεση αμμωνίου (Kg/ha/yr)	0-1	1
DRYDEP_NO ₃	Ατμοσφαιρική ξηρή εναπόθεση νιτρικών (Kg/ha/yr)	0-7	6

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν σε επίπεδο υπολεκανών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2 που ακολουθεί. Επειδή οι τιμές διαφοροποιούνται μεταξύ των υπολεκανών λόγω των διαφορετικών εδαφών, κλίσεων, υψομέτρου και χρήσεων γης, ενδεικτικά επιλέχθηκε η περιοχή στο Βιβάρι για να δοθεί ένα στίγμα όσον αφορά στις τελικές τιμές που επιλέχθηκαν. Οι τιμές στις υπόλοιπες περιοχές δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με αυτές που παρατίθενται παρακάτω, υπάρχουν όμως διαφοροποιήσεις.

Πίνακας 5.2: Βαθμονόμηση παραμέτρων σε επίπεδο υπολεκάνης

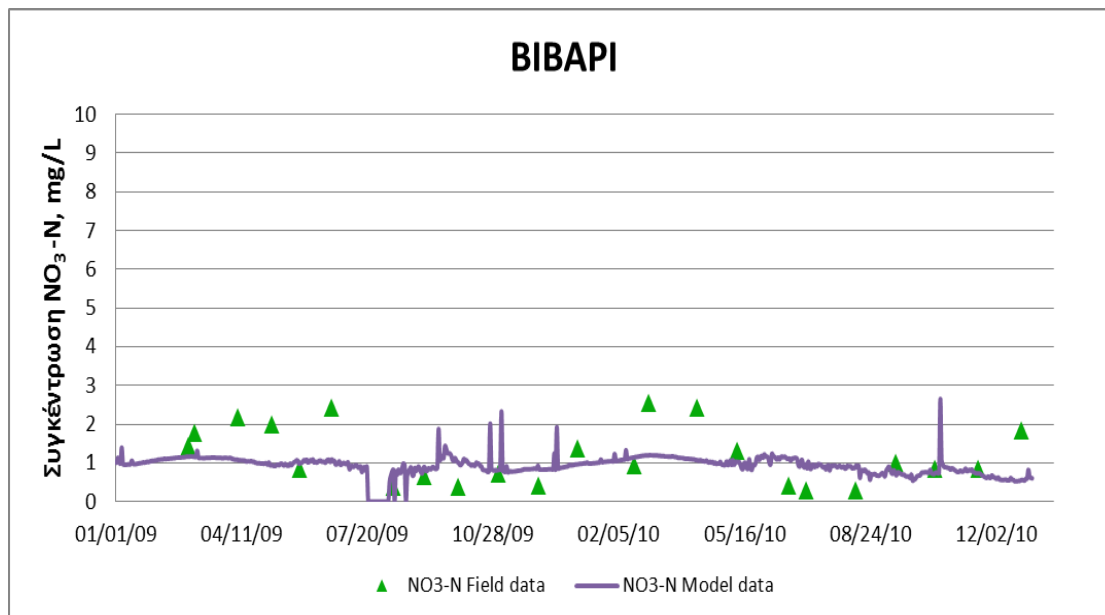
SUBBASIN DATA			
Παράμετρος	Περιγραφή	Εύρος	Τελική τιμή
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: HRU (.Hru)			
ERORGN	Ποσοστό εμπλουτισμού οργανικού αζώτου	0-5	1
ERORGP	Ποσοστό εμπλουτισμού οργανικού φωσφόρου	0-5	4
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Groundwater (.Gw)			
SHALLST_N	Συγκέντρωση νιτρικών στο ρηχό υδροφορέα (mg N/L)	0-1000	300
GWSOLP	Συγκέντρωση διαλυτού φωσφόρου στο υπόγειο νερό (mg P/L)	0-1000	0.01
HLIFE_NGW	Χρόνος ημιζωής νιτρικών στο ρηχό υδροφορέα (days)	0-200	30
LAT_ORGN	Οργανικό άζωτο στη βασική απορροή (mg/L)	0-200	100
LAT_ORGP	Οργανικός φώσφορος στη βασική απορροή (mg/L)	0-200	1
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Management (.Mgt)			
BIO_MIX	Βιολογική ικανότητα αναδιανομής των συστατικών του εδάφους	0-1	0.2
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Soil Chemical (.Chm)			
SOL_NO ₃	Αρχική συγκέντρωση νιτρικών στο προφίλ του εδάφους (mg/Kg)	0-100	100
SOL_ORGN	Αρχική συγκέντρωση οργανικού αζώτου στο προφίλ του εδάφους (mg/Kg)	0-100	100
SOL_LABP	Αρχική συγκέντρωση διαλυτού φωσφόρου στην επιφάνεια του εδάφους (mg/Kg)	0-100	6
SOL_ORGP	Αρχική συγκέντρωση οργανικού φωσφόρου στην επιφάνεια του εδάφους (mg/Kg)	0-100	1
PPERCO_SUB	Ποσοστό διήθησης φωσφόρου	10-17.5	10
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Stream Water Quality (.Swq)			
BC1	Ποσοστό βιολογικής οξείδωσης αμμωνίας σε νιτρώδη (L/day)	0.1-1	0.55

	στους 20°C		
BC2	Ποσοστό βιολογικής οξείδωσης νιτρωδών σε νιτρικά (L/day)	0.2-2	1.1
	στους 20°C		
BC3	Ποσοστό υδρόλυσης οργανικού αζώτου σε αμμωνία (L/day) στους	0.2-0.4	0.2
	20°C		
BC4	Ποσοστό ανοργανοποίησης οργανικού φωσφόρου σε διαλυμένο φώσφορο (L/day) στους 20°C	0.01-0.7	0.35
RS4	Συντελεστής εναπόθεσης Org.N στο ποτάμι	0.001-0.1	0.001
RS5	Συντελεστής εναπόθεσης Org.P στο ποτάμι	0.001-0.1	0.05

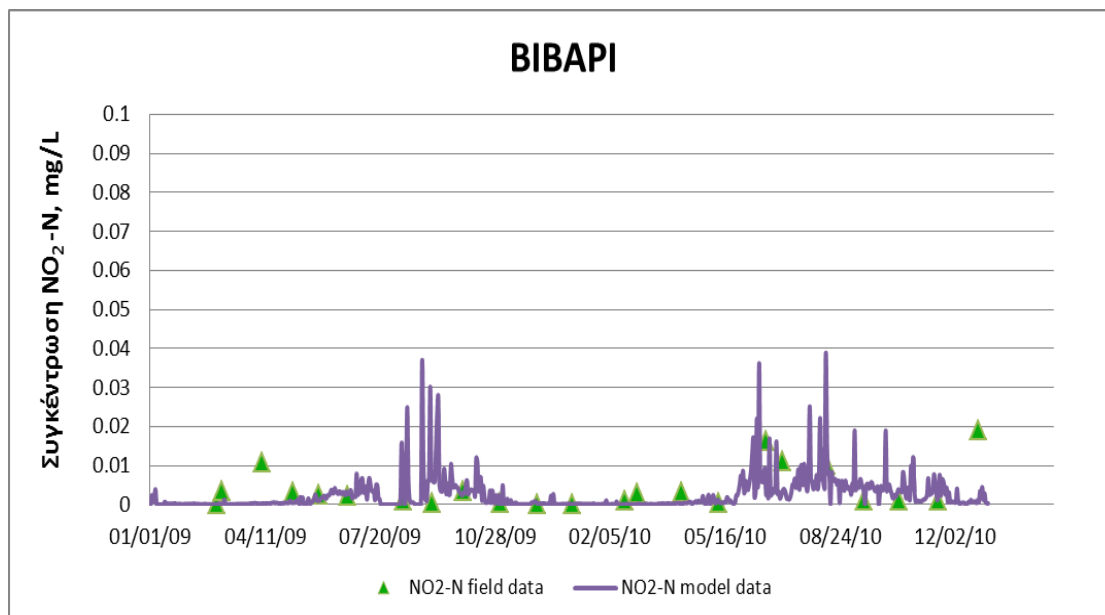
5.1.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης, βαθμονόμησης, και επιβεβαίωσης

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμματα 5.1-5.20), παρουσιάζεται μία σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών, των νιτρωδών, της αμμωνίας και των ορθοφωσφορικών, με τα δεδομένα πεδίου των σταθμών δειγματοληψίας στο Βιβάρι, τη Σπάρτη (κατάντη του βιολογικού καθαρισμού), τον παραπόταμο της Κελεφίνα στις περιοχές του Βασαρά και του Κλαδά, και τέλος το Βρονταμά. Για τον υπολογισμό της απόκλισης μεταξύ των τιμών έγινε χρήση -όπως προαναφέρθηκε- του στατιστικού δείκτη RMSE, και τα αποτελέσματα για καθεμία χημική παράμετρο και περιοχή παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.3-5.7 που ακολουθούν.

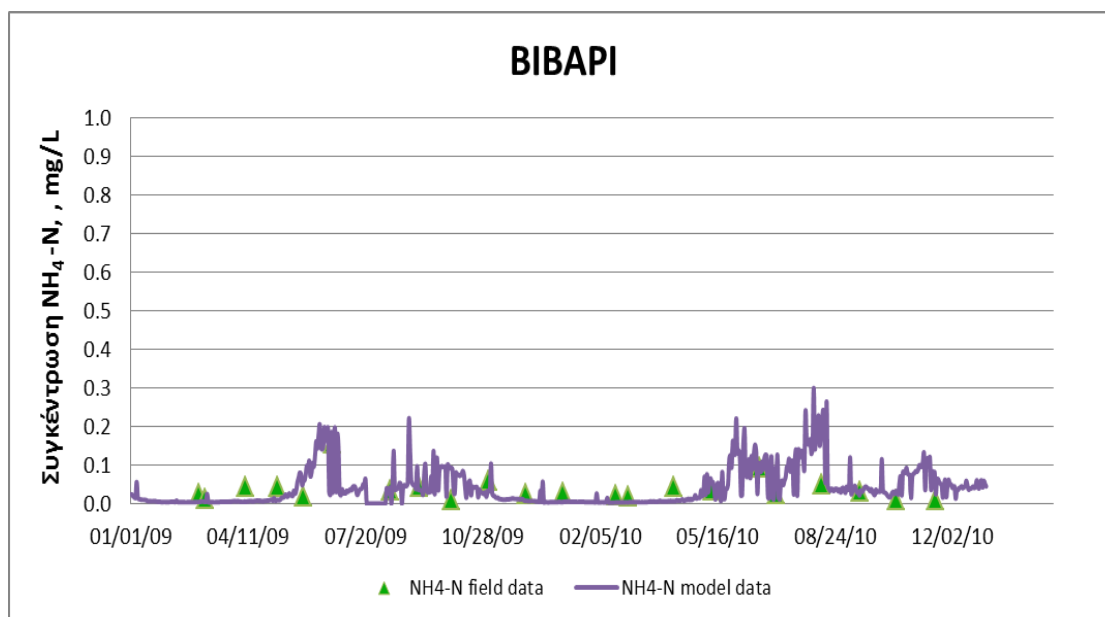
❖ **Θέση 1: Βιβάρι (Υπολεκάνη 72)**



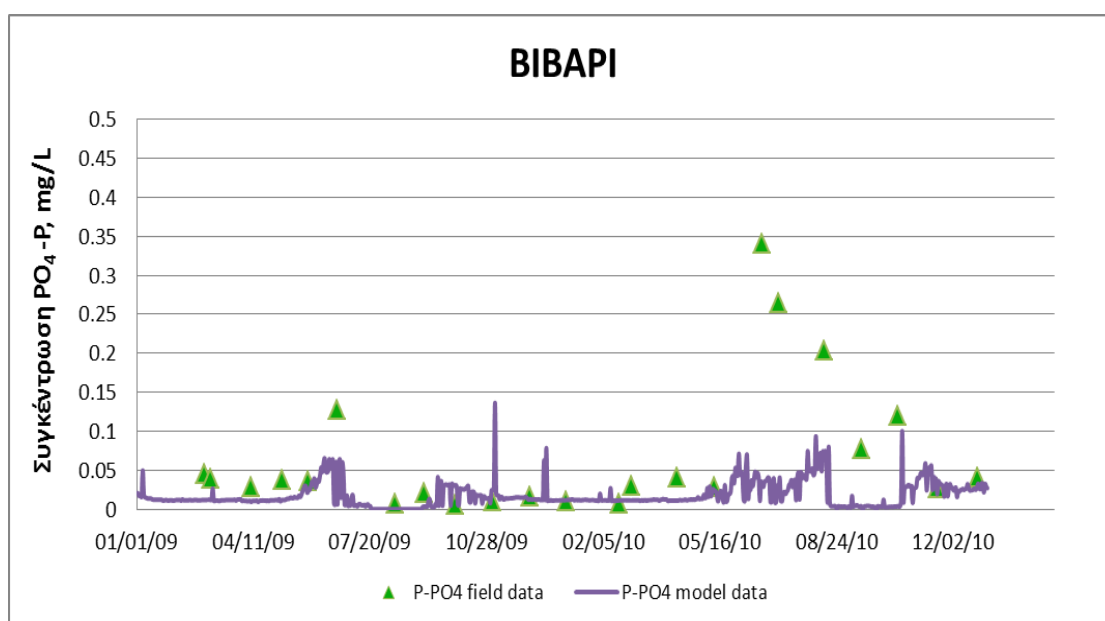
Διάγραμμα 5.1 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι



Διάγραμμα 5.2 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι



Διάγραμμα 5.3 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι

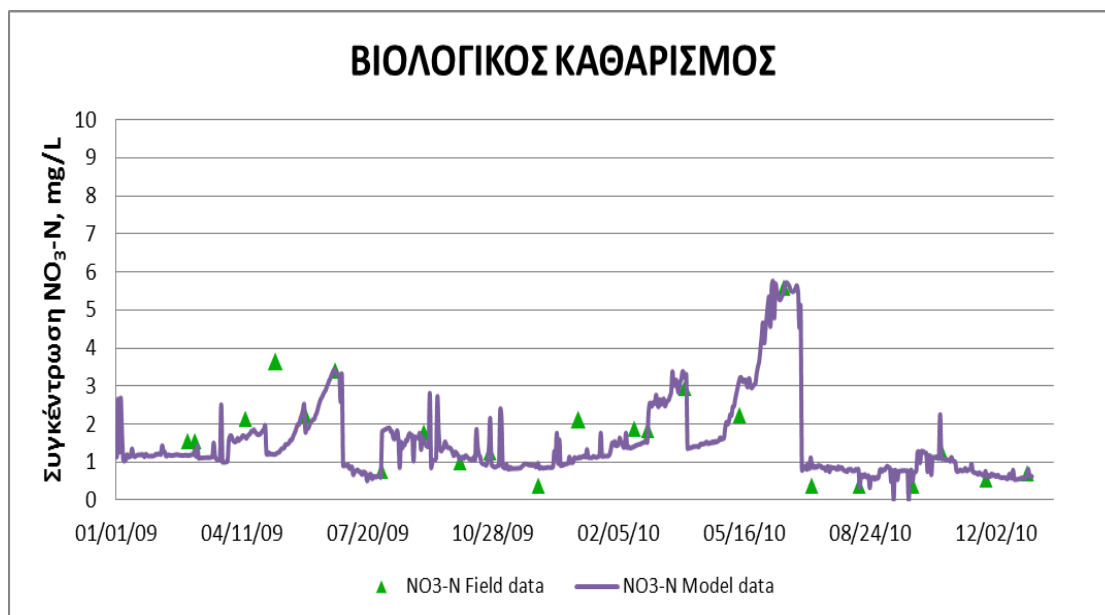


Διάγραμμα 5.4 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιβάρι

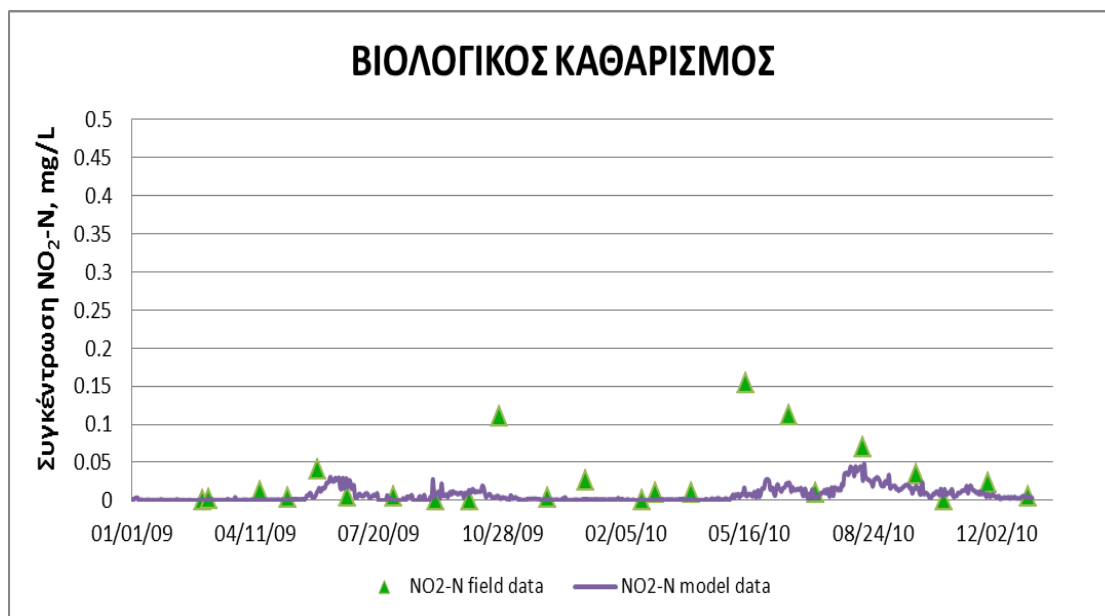
Πίνακας 5.3 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βιβάρι

	N-NO ₂ ⁻¹	N-NO ₃	N-NH ₃	P-PO ₄
RMSE	0.006	1.376	0.305	0.096

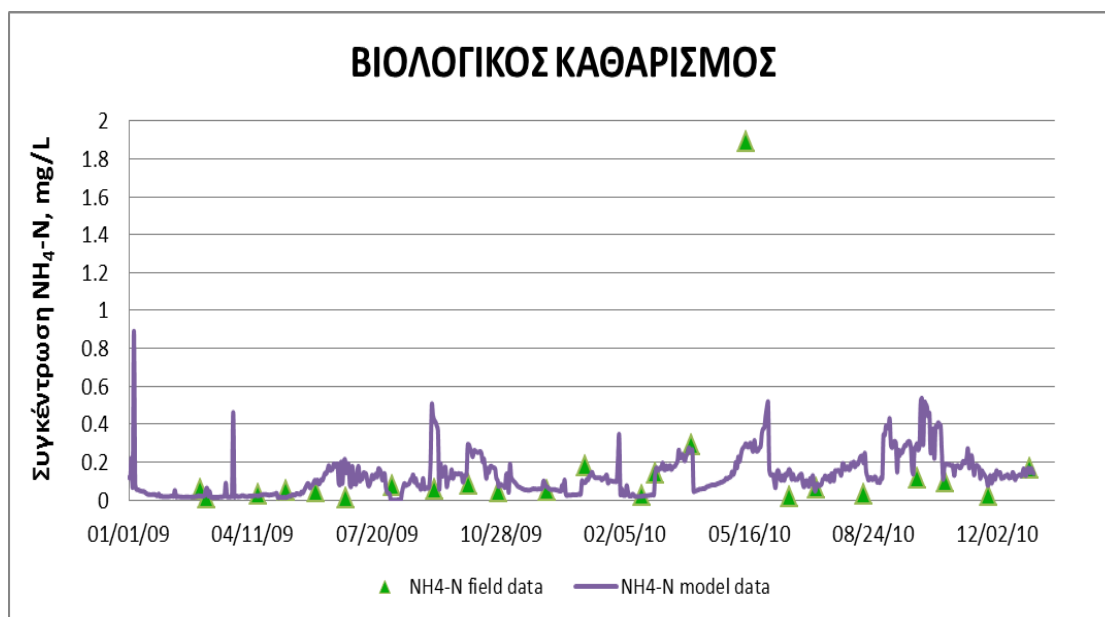
❖ **Θέση 2:** Σπάρτη κατάντη του βιολογικού καθαρισμού (Υπολεκάνη 106)



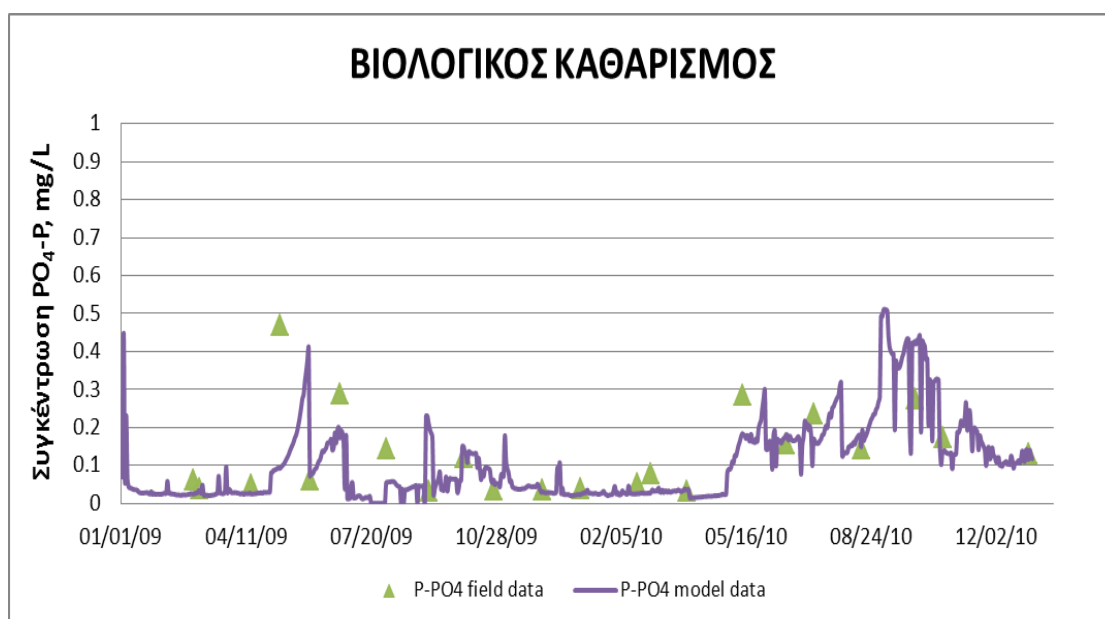
Διάγραμμα 5.5 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό



Διάγραμμα 5.6 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό



Διάγραμμα 5.7 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό

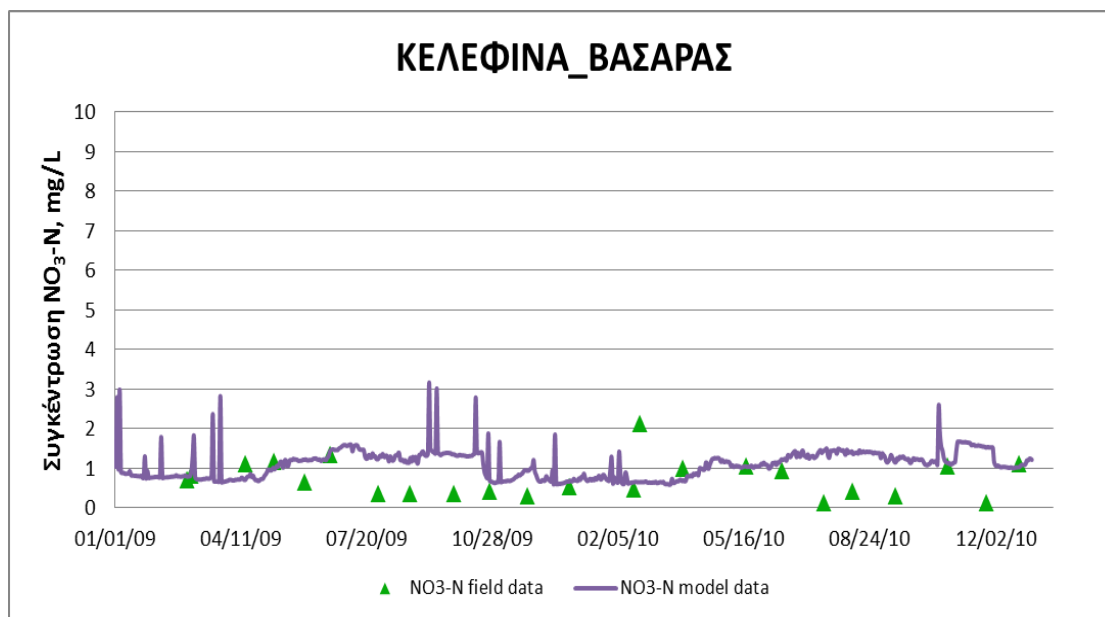


Διάγραμμα 5.8 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βιολογικό

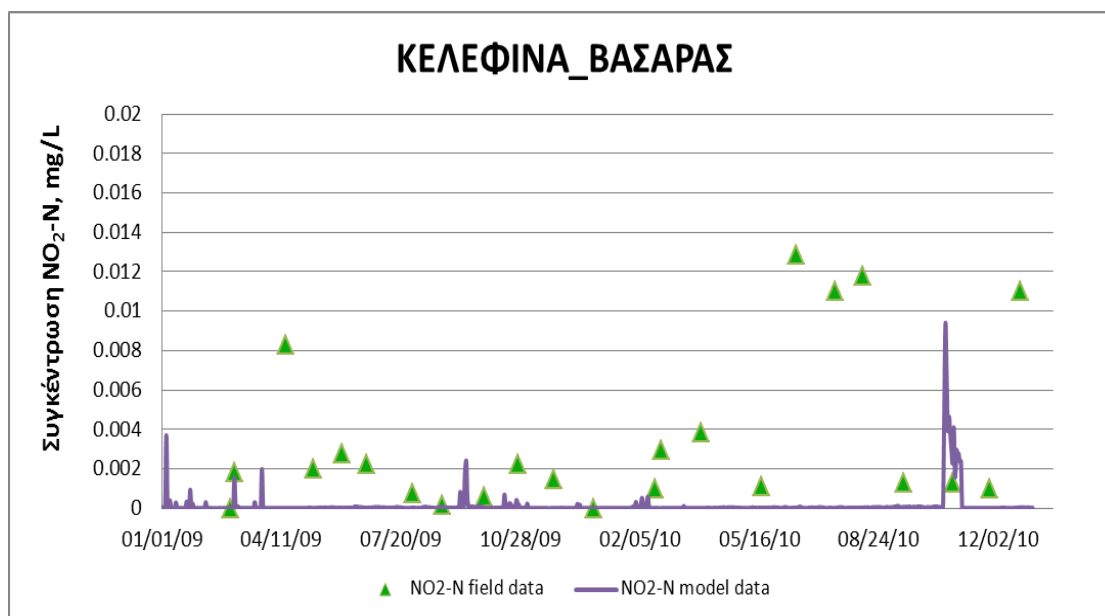
Πίνακας 5.4 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βιολογικό

	N-NO ₂ ⁻¹	N-NO ₃	N-NH ₃	P-PO ₄
RMSE	0.045	0.714	0.353	0.363

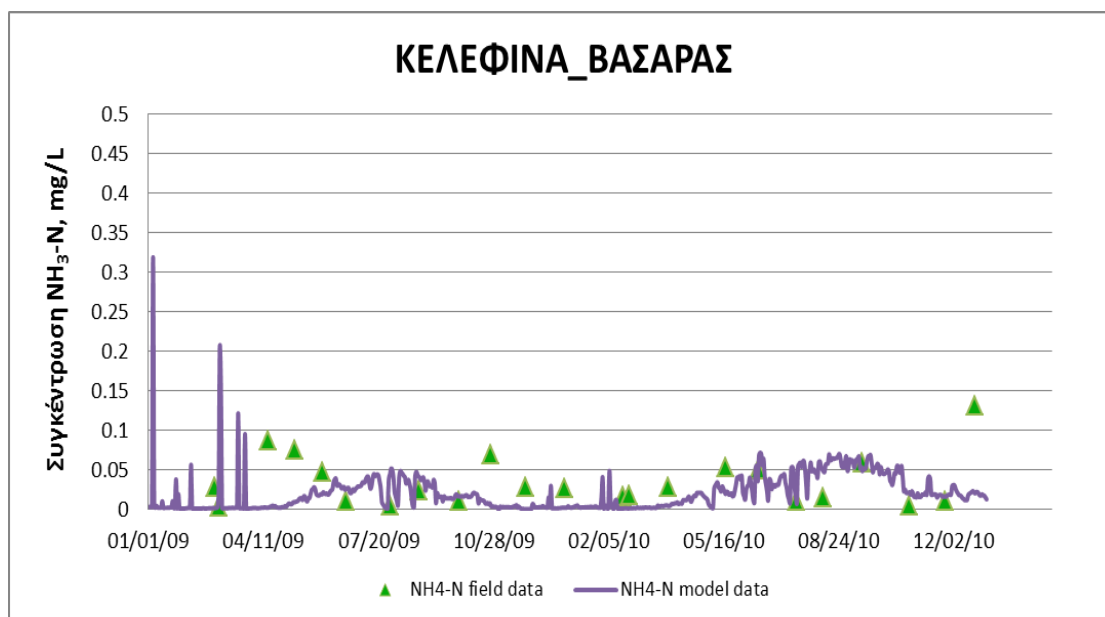
❖ **Θέση 3:** Κελεφίνα _ Βασαράς (Υπολεκάνη 81)



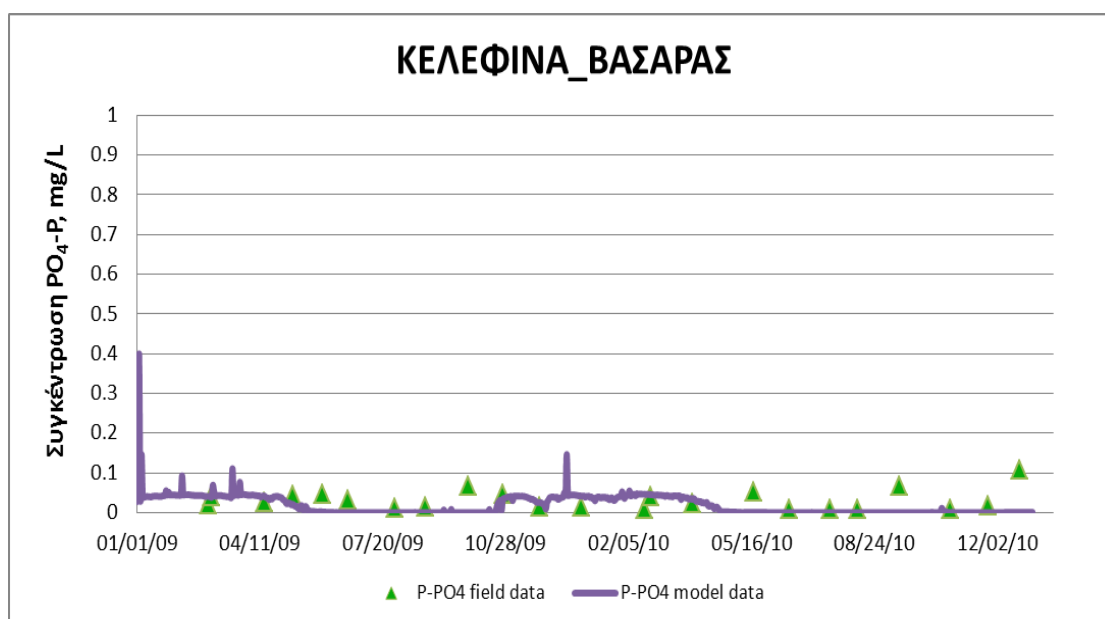
Διάγραμμα 5.9 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά



Διάγραμμα 5.10 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά



Διάγραμμα 5.11 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά

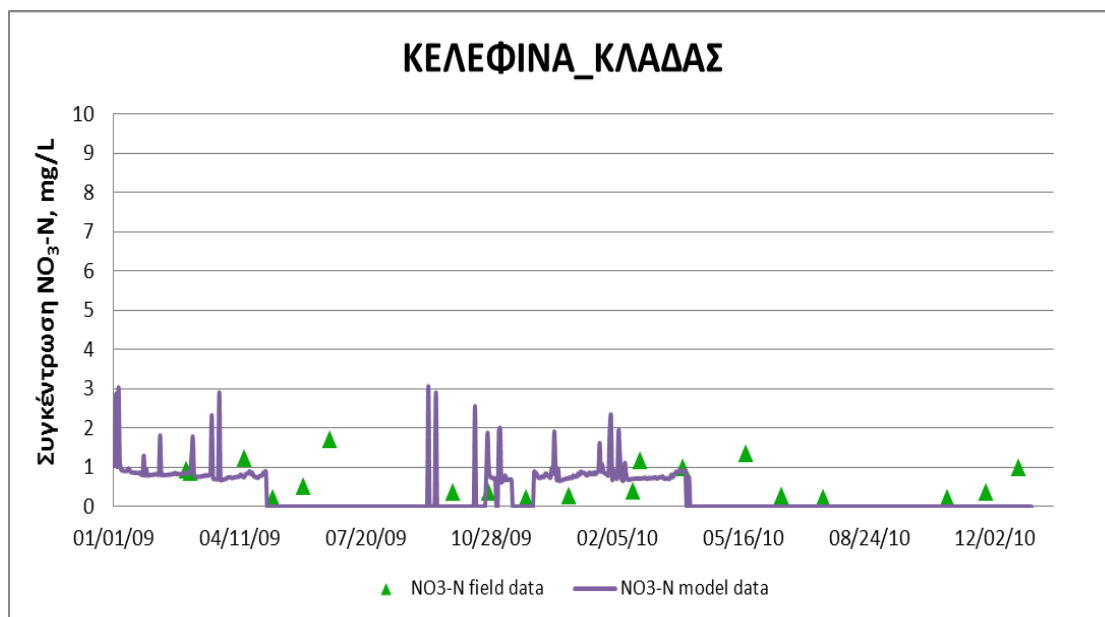


Διάγραμμα 5.12 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στο Βασαρά

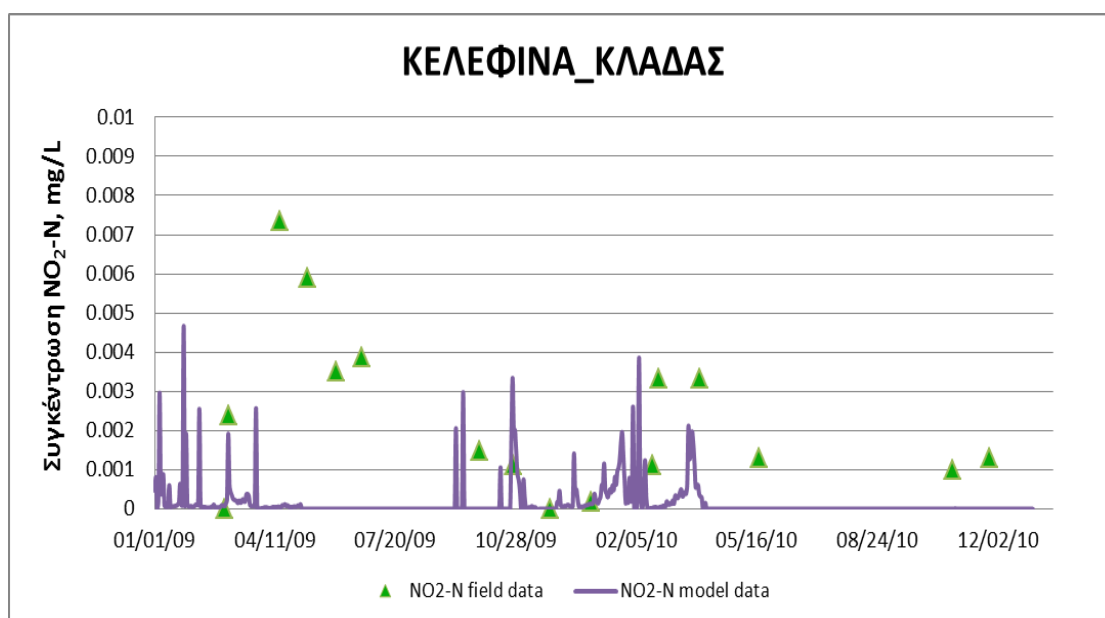
Πίνακας 5.5 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για την Κελεφίνα στο Βασαρά

	N-NO₂⁻¹	N-NO₃	N-NH₃	P-PO₄
RMSE	0.005	0.706	0.040	0.036

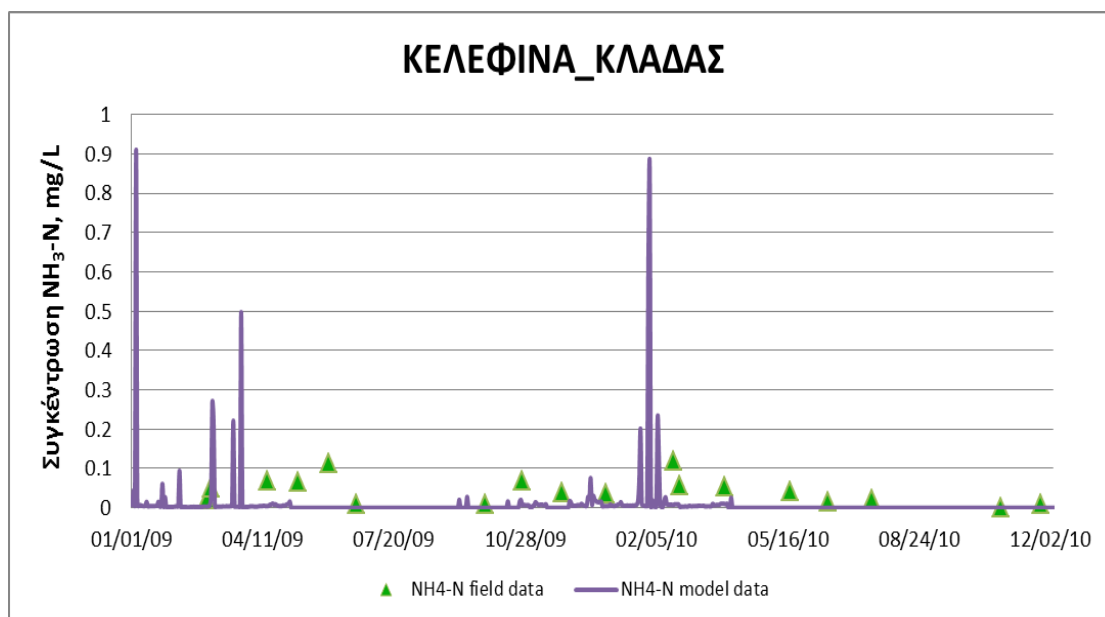
❖ **Θέση 4:** Κελεφίνα _ Κλαδάς (Υπολεκάνη 96)



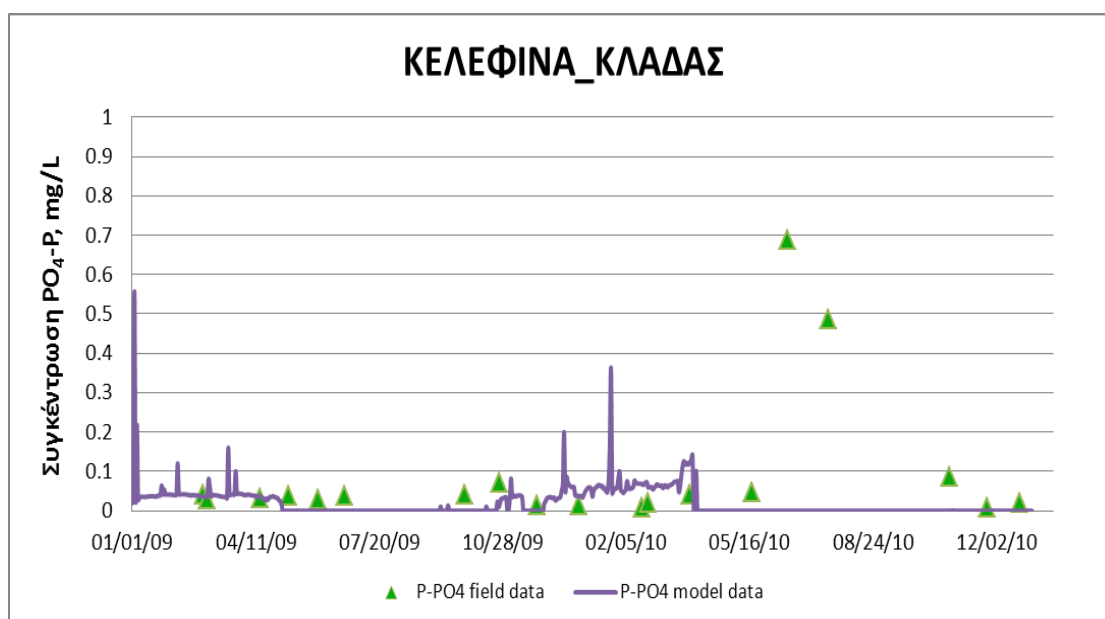
Διάγραμμα 5.13 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά



Διάγραμμα 5.14 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά



Διάγραμμα 5.15 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά

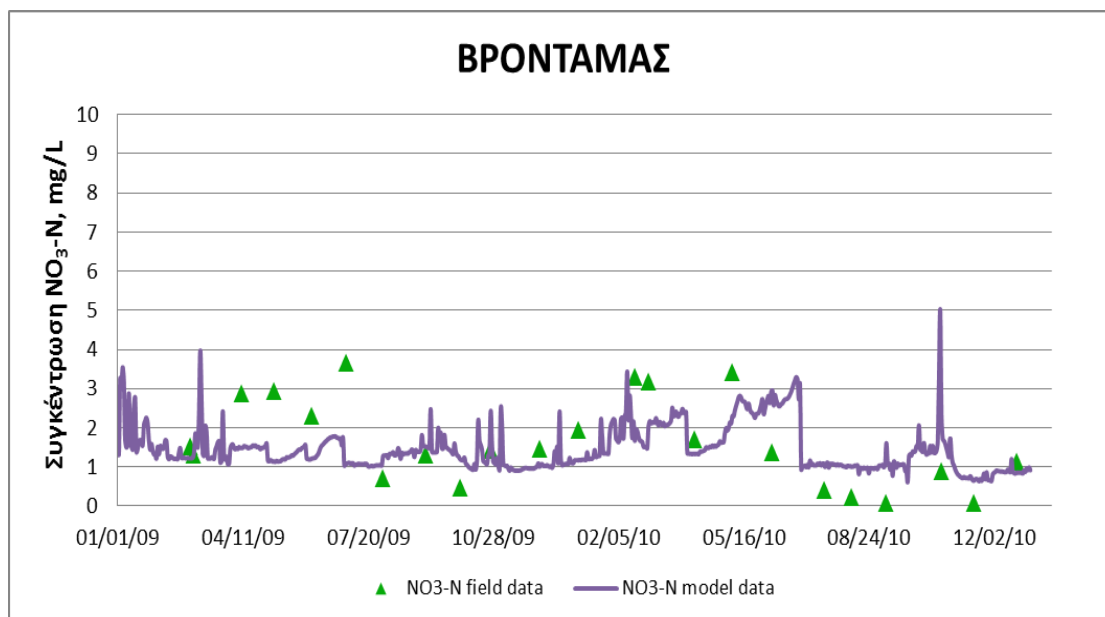


Διάγραμμα 5.16 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για την Κελεφίνα στον Κλαδά

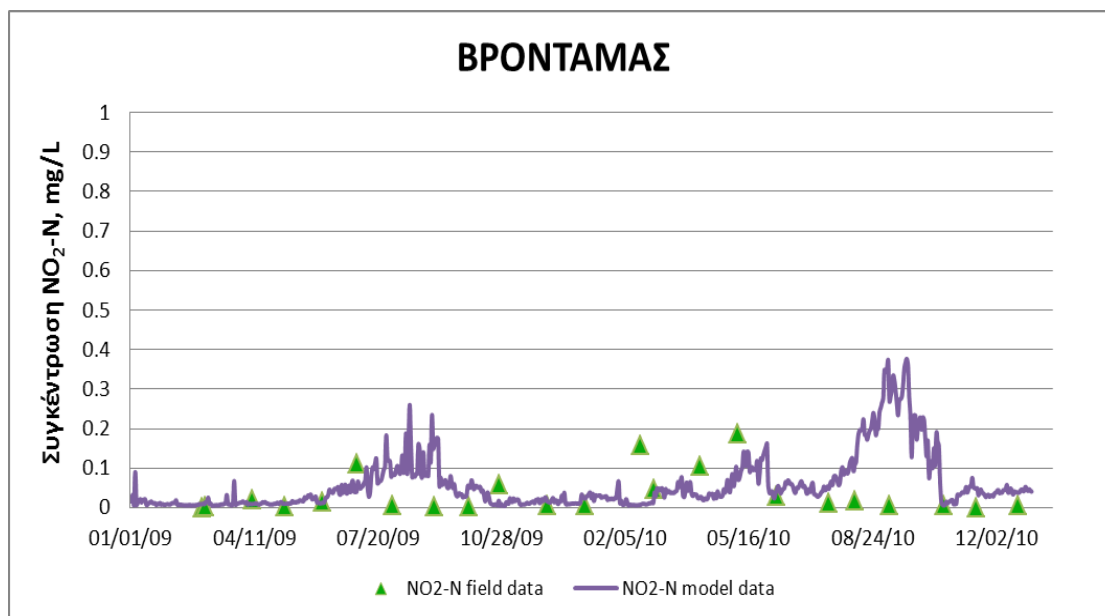
Πίνακας 5.6 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για την Κελεφίνα στον Κλαδά

	$N-NO_2^{-1}$	$N-NO_3$	$N-NH_3$	$P-PO_4$
RMSE	0.008	0.680	0.057	0.198

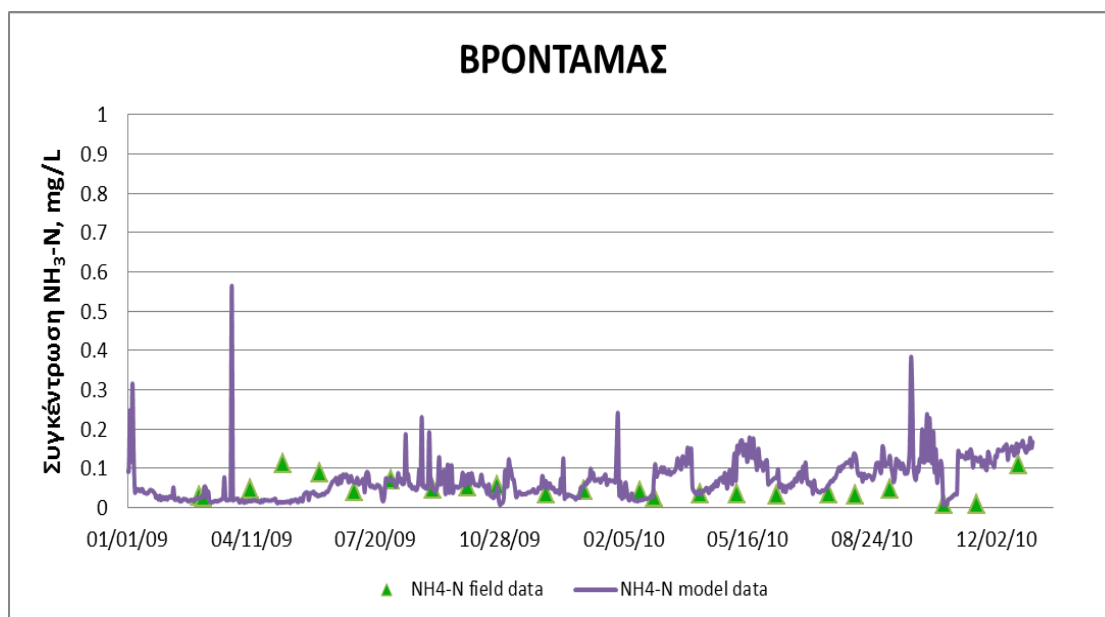
❖ **Θέση 5:** Βρονταμάς (Υπολεκάνη 137)



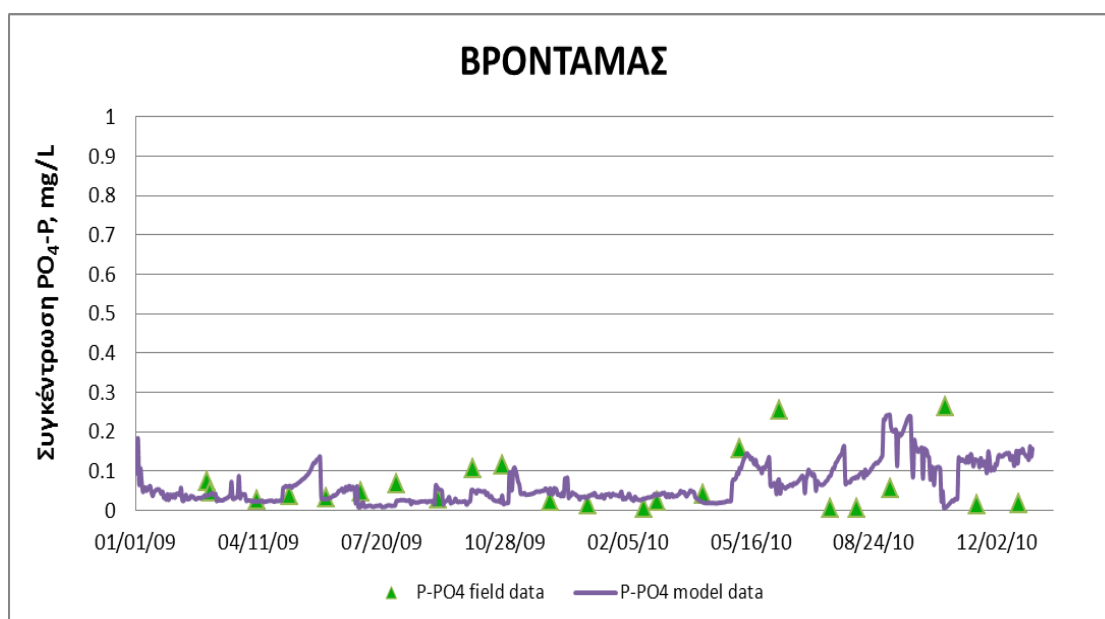
Διάγραμμα 5.17 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά



Διάγραμμα 5.18 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των νιτρωδών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά



Διάγραμμα 5.19 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων της αμμωνίας που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά



Διάγραμμα 5.20 : Σύγκριση των προσομοιωμένων συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών που εξήχθησαν από το SWAT σε σχέση με τα δεδομένα πεδίου, για το Βρονταμά

Πίνακας 5.7 : Παρουσίαση του στατιστικού δείκτη RMSE για το Βρονταμά

	N-NO_2^{-1}	N-NO_3	N-NH_3	P-PO_4
RMSE	0.085	1.934	0.054	0.091

Από όλα τα παραπάνω διαγράμματα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο SWAT κατάφερε να προσομοιώσει ικανοποιητικά τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα παρά τις σχετικές αποκλίσεις των τιμών του δείκτη RMSE τόσο μεταξύ των διαφορετικών χημικών παραμέτρων, όσο και μεταξύ των υπό μελέτη περιοχών.

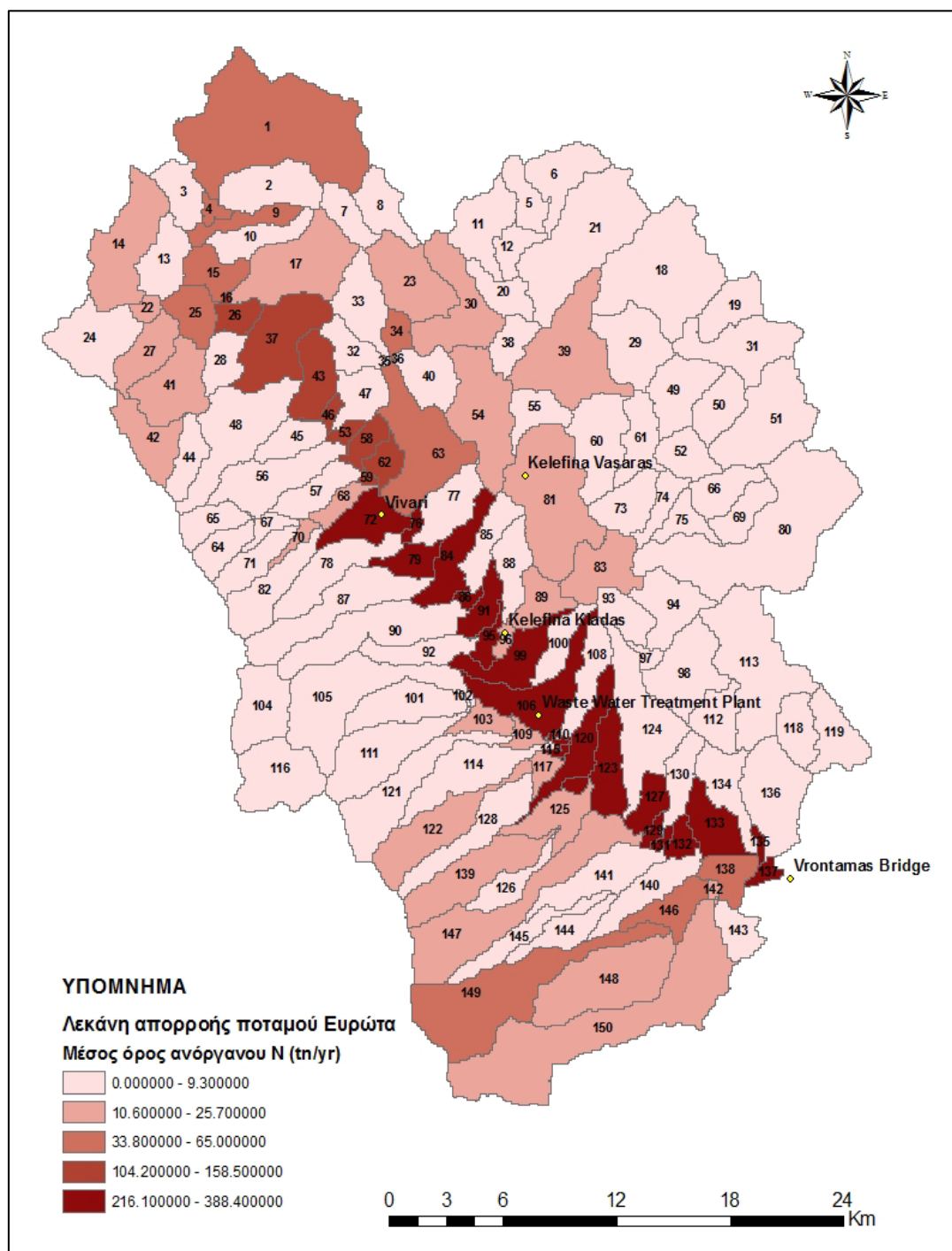
Προβλήματα στην προσομοίωση παρουσιάστηκαν κυρίως στην περιοχή του βιολογικού (θέση 2) και της Κελεφίνας στον Κλαδά (θέση 4). Όσον αφορά στη θέση 2 τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών που έγιναν ανάντη και κατόντη του βιολογικού παρουσίασαν σχετικά μεγάλες διαφορές στις συγκεντρώσεις των χημικών ρύπων. Λόγω της πολυπλοκότητας της λεκάνης απορροής του ποταμού, δεν ήταν αντιληπτή η πηγή εισροής των φορτίων. Ως εκ τούτου, και για τις ανάγκες της βαθμονόμησης του μοντέλου αυξήθηκαν- διαφορετικά κατά περίπτωση- τα φορτία του βιολογικού καθαρισμού, προκειμένου να εισαχθούν στο SWAT. Όσον αφορά στη θέση 4, λόγω των πολύ μικρών παροχών του ποταμού ($0.03\text{m}^3/\text{s}$) κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, το μοντέλο δεν κατάφερε να προσομοιώσει ικανοποιητικά τη συγκέντρωση των φορτίων (αφού αυτή υπολογίζονταν πολλαπλασιάζοντας το φορτίο με την παροχή, και συνεπώς σχεδόν μηδενικές παροχές οδηγούσαν σε μηδενικό φορτίο).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα μπορούσαν ενδεχομένως να είναι πιο ικανοποιητικά, αν υπήρχαν περισσότερες μετρήσεις πεδίου. Διαθέσιμα δεδομένα υπήρχαν για δύο χρόνια και μάλιστα κάλυπταν ένα μικρό εύρος διακυμάνσεων, από τη στιγμή που οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνταν μία φορά το μήνα. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις στα αποτελέσματα των δειγματοληψιών παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφοροποιήσεις από μήνα σε μήνα, με αποτέλεσμα να μη διασφαλίζεται η απόλυτη εγκυρότητά τους (πιθανή ύπαρξη σφαλμάτων κατά την ανάλυση), κάτι που επηρέασε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ανεξάρτητα από αυτό το γεγονός όμως, όταν σε μια μεγάλη και πολύπλοκη λεκάνη απορροής-όπως αυτή του ποταμού Ευρώτα-, υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος σημειακών πηγών ρύπανσης, για να αποτυπωθεί η πραγματική κατάσταση χρειάζονται μετρήσεις πεδίου για κάθε πηγή ξεχωριστά. Διαφορετικά η εισαγωγή των φορτίων είναι πολύ γενικευμένη και

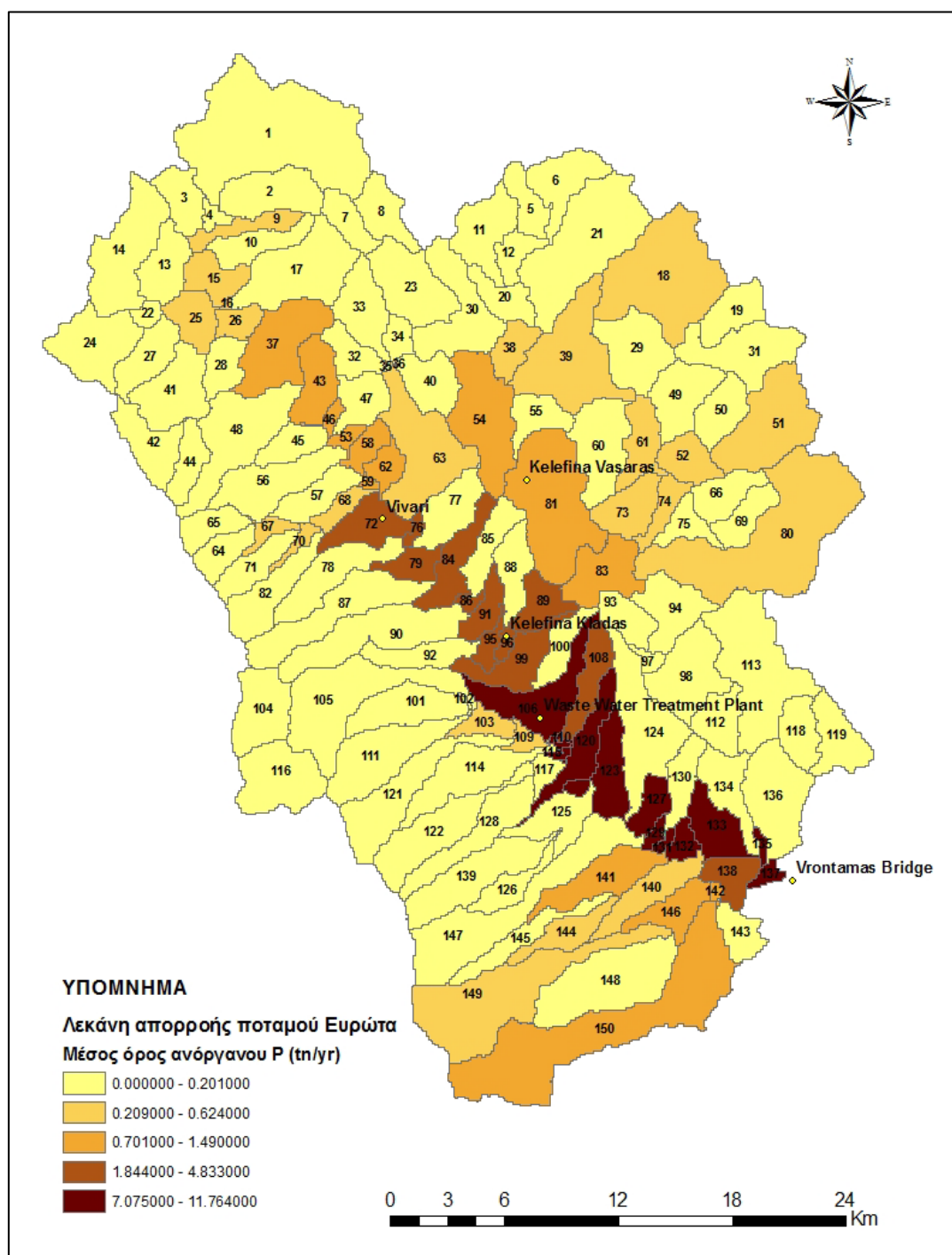
υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην προσομοίωση και βαθμονόμηση των αποτελεσμάτων, όπως συνέβη και στην παρούσα εργασία.

Σε κάθε περίπτωση όμως και λόγω των δυσκολιών που προαναφέρθηκαν, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θεωρούνται αποδεκτά.

Επιπροσθέτως, τα φορτία ανόργανου αζώτου και φωσφόρου, όπως προέκυψαν από τη βαθμονόμηση του μοντέλου, εξετάστηκαν και σε επίπεδο υπολεκάνης με τη χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.). Οι χάρτες 5.1 και 5.2 που ακολουθούν, δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον του G.I.S., χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου. Στην ουσία οι χάρτες παρουσιάζουν το μέσο όρο φορτίων ανόργανου αζώτου και φωσφόρου που εκφορτίζονται από την κάθε υπολεκάνη ετησίως. Προφανώς η έξοδος της κάθε υπολεκάνης αποτελεί είσοδο της επόμενης.



Χάρτης 5.1 : Κατανομή των φορτίων ανόργανου αζώτου που εκφορτίζονται από κάθε υπολεκάνη (tn/yr)



Χάρτης 5.2 : Κατανομή των φορτίων ανόργανου φωσφόρου που εκφορτίζονται από κάθε υπολεκάνη (tn/yr)

Από τους δύο χάρτες προκύπτει το συμπέρασμα ότι μεγαλύτερη φόρτιση παρουσιάζεται στις υπολεκάνες που βρίσκονται στον κύριο ρου του ποταμού Ευρώτα. Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα από τη στιγμή που οι ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που παράγονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού, καταλήγουν τελικά στον κύριο ρου μέσω των παραποτάμων του.

5.2 Αποτελέσματα από την ανάπτυξη της μεθοδολογίας των ολικών μέγιστων ημερήσιων φορτίων (TMDL)

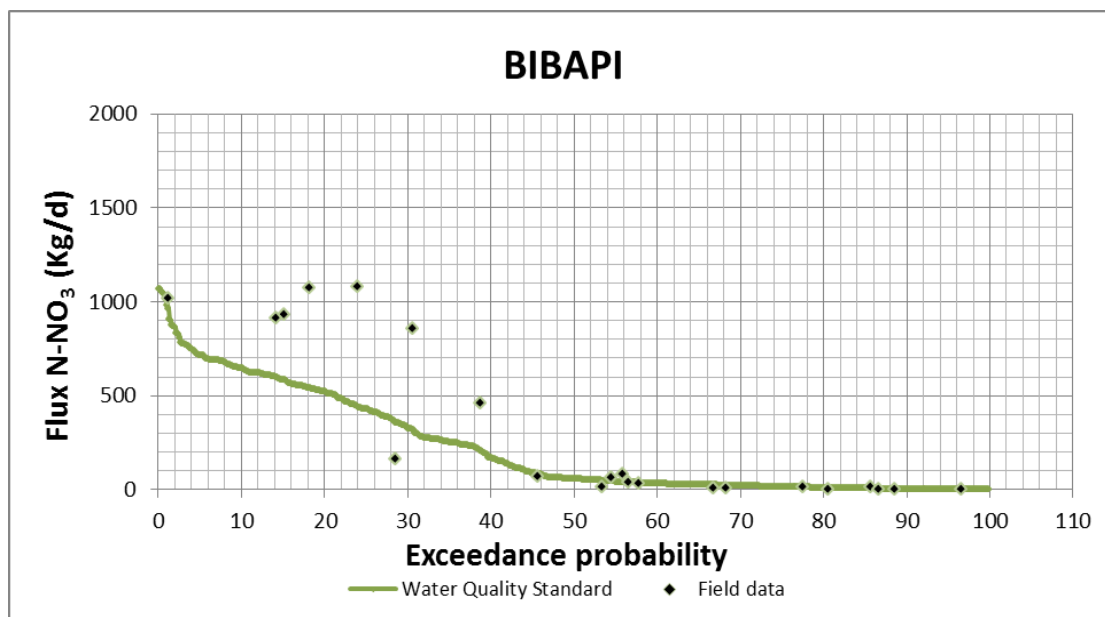
Η μεθοδολογία των TMDL που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της φόρτισης που καταλήγει στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Για την αποτίμηση της οικολογικής κατάστασης της περιοχής επιλέχθηκαν τέσσερις θέσεις που κρίθηκε ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα είδη των σημειακών πηγών ρύπανσης που συναντώνται ως επί το πλείστον στη λεκάνη απορροής του ποταμού. Οι θέσεις που επιλέχθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- Θέση 1:** Υπολεκάνη 68 με τα δεδομένα του σταθμού δειγματοληψίας στο Βιβάρι (φόρτιση από τρεις κτηνοτροφικές μονάδες εκτροφής αγελάδων)
- Θέση 2:** Υπολεκάνη 106 με τα δεδομένα του σταθμού δειγματοληψίας στη Σπάρτη, κατάντη του βιολογικού καθαρισμού (φόρτιση από το βιολογικό)
- Θέση 3:** Υπολεκάνη 88 με τα δεδομένα του σταθμού δειγματοληψίας στον παραπόταμο της Κελεφίνας στην περιοχή του Κλαδά (φόρτιση από τέσσερα ελαιοτριβεία)
- Θέση 4:** Υπολεκάνη 128 με τα δεδομένα του σταθμού δειγματοληψίας στη Γέφυρα του Βρονταμά (φόρτιση από ένα χυμοποιείο, ένα σφαγείο, μία μάντρα αυτοκινήτων και άλλη μία σημειακή πηγή ρύπανσης)

Στα Διαγράμματα 5.21-5.40 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι περιπτώσεις υπέρβασης του ορίου ποιότητας του νερού για καθεμία από τις πέντε παραμέτρους που εξετάζονται: νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνία, ορθοφωσφορικά και ολικό άζωτο. Παρουσιάζονται επί της ουσίας οι περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις των χημικών ρύπων στο ποτάμι υπερέβησαν το όριο που έχει τεθεί για την ποιότητα του νερού προκειμένου ο Ευρώτας να χαρακτηρίζεται από καλή οικολογική ποιότητα. Το όριο αυτό δεν παραμένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την παροχή που εμφανίζει το ποτάμι, με τη λογική ότι μεγαλύτερες παροχές, επιτρέπουν και μεγαλύτερη φόρτιση, αφού υπάρχει μεγαλύτερη αραιώση και συνεπώς τελικά μικρότερη συγκέντρωση.

Στους Πίνακες 5.8-5.27 που ακολουθούν παρουσιάζεται η επιτρεπόμενη φόρτιση ανά χημική παράμετρο στον ποταμό Ευρώτα, ανάλογα με τις παροχές που είχαν καταγραφεί την περίοδο μελέτης και την κατηγοριοποίηση που έγινε στη συνέχεια, καθώς και η πραγματική φόρτιση που έλαβε το ποτάμι στην αντίστοιχη υδρολογική κατάσταση. Ανάλογα με την απόκλιση επιτρεπόμενης και πραγματικής φόρτισης, προέκυψε και το αντίστοιχο απαιτούμενο ποσοστό μείωσης του φορτίου. Στις περιπτώσεις που δεν απαιτείται μείωση του φορτίου συνεπάγεται ότι ο Ευρώτας πληροί τις προϋποθέσεις που έχουν τεθεί και στην ουσία εμφανίζει καλή οικολογική ποιότητα.

❖ Θέση 1: Υπολεκάνη 68

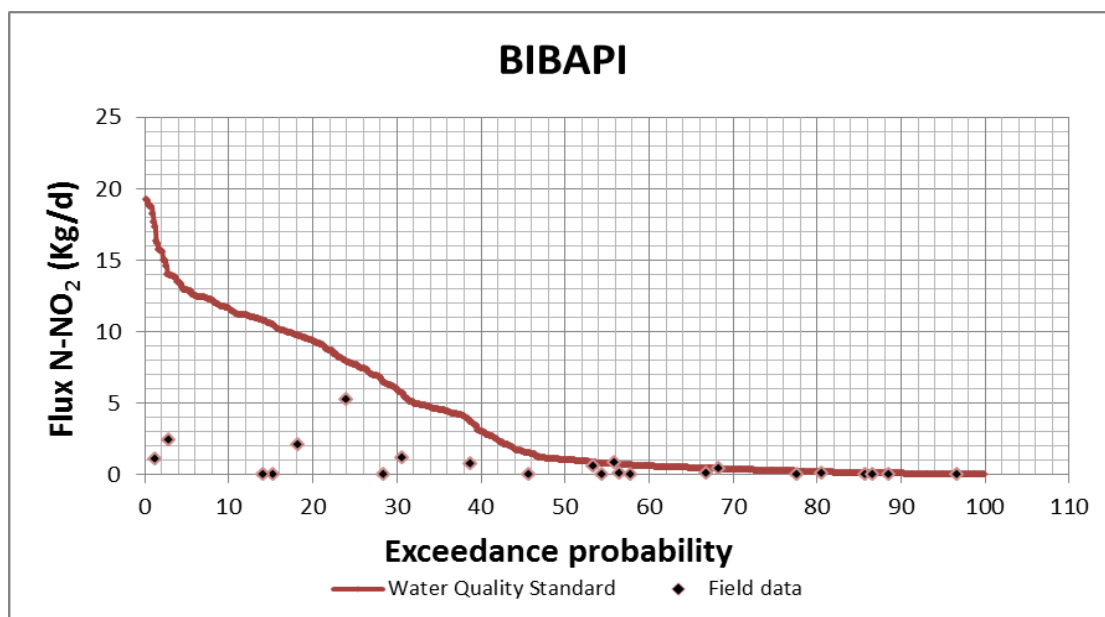


Διάγραμμα 5.21 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 68

Πίνακας 5.8 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68

Κατηγοριοποίηση παροχών					
N-NO₃	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	765.12	581.83	427.15	105.34	8.10
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	1614.308	971.741	622.835	164.586	7.178
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	52.60	40.12	31.42	35.99	ΔΑ

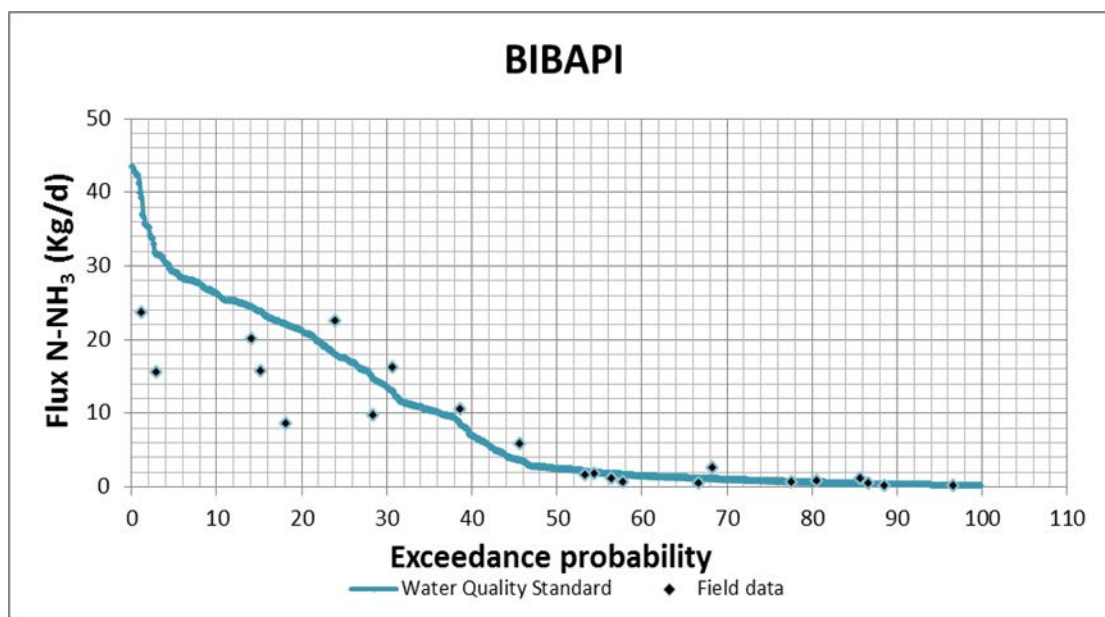
*ΔΑ = Δεν απαιτείται μείωση



Διάγραμμα 5.22 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 68

Πίνακας 5.9 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68

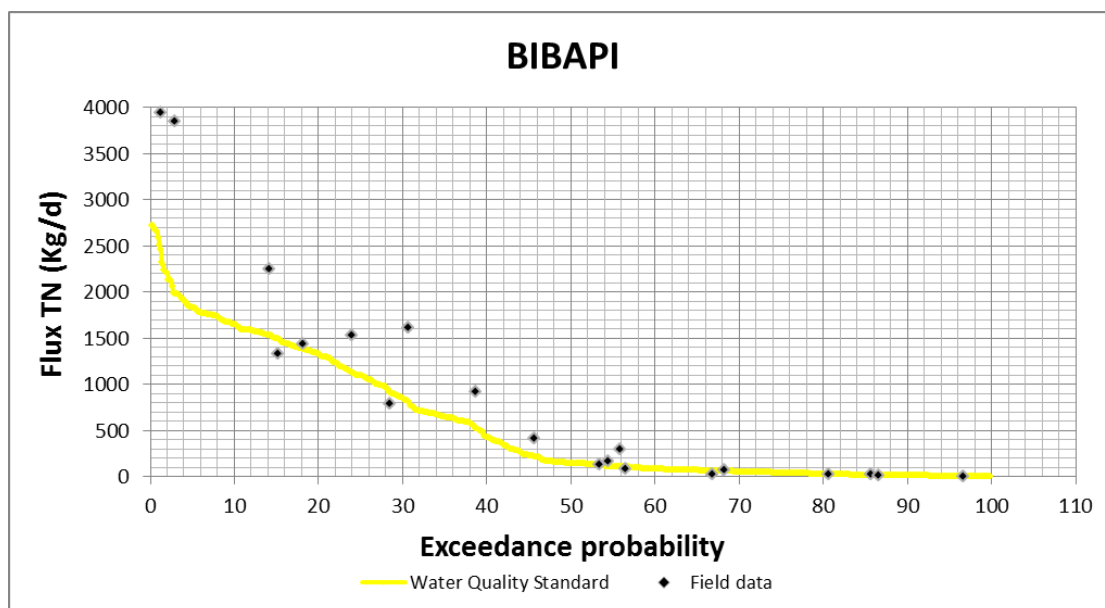
N-NO₂	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	13.76	10.46	7.68	1.89	0.15
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	1.747	0.709	2.649	0.420	0.026
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ



Διάγραμμα 5.23 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 68

Πίνακας 5.10 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68

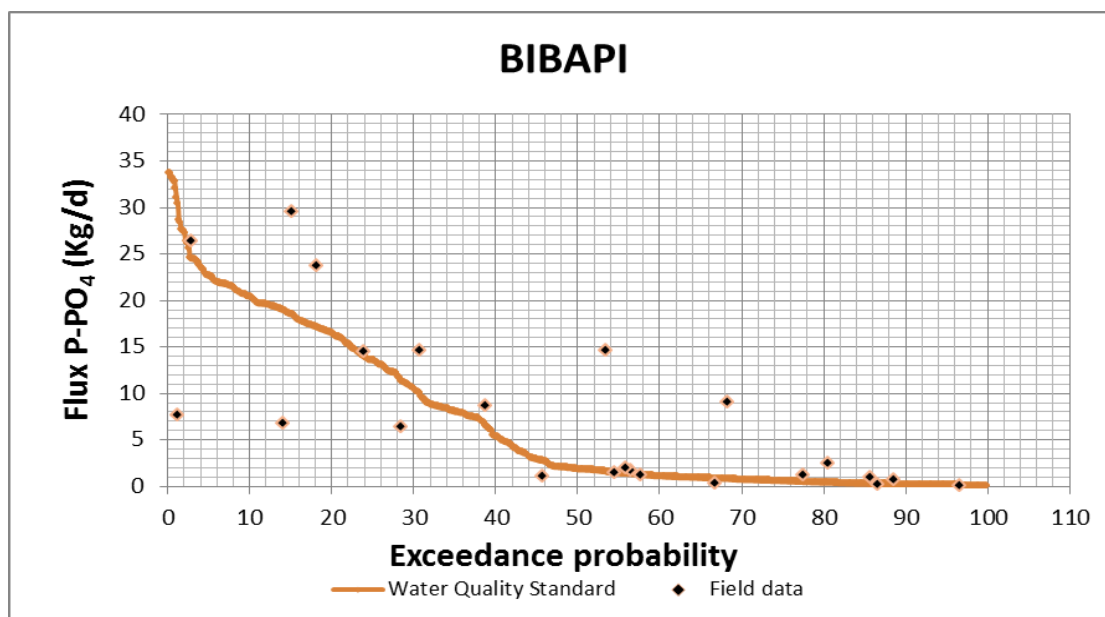
N-NH₃	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	30.95	23.53	17.28	4.26	0.33
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	19.441	14.588	15.955	10.904	0.405
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	60.92	19.19



Διάγραμμα 5.24 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 68

Πίνακας 5.11 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68

Κατηγοριοποίηση παροχών					
TN	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	1951.49	1484.00	1089.46	268.69	20.65
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	3892.371	1671.041	1162.354	372.120	9.142
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	49.86	11.19	6.27	27.80	ΔΑ

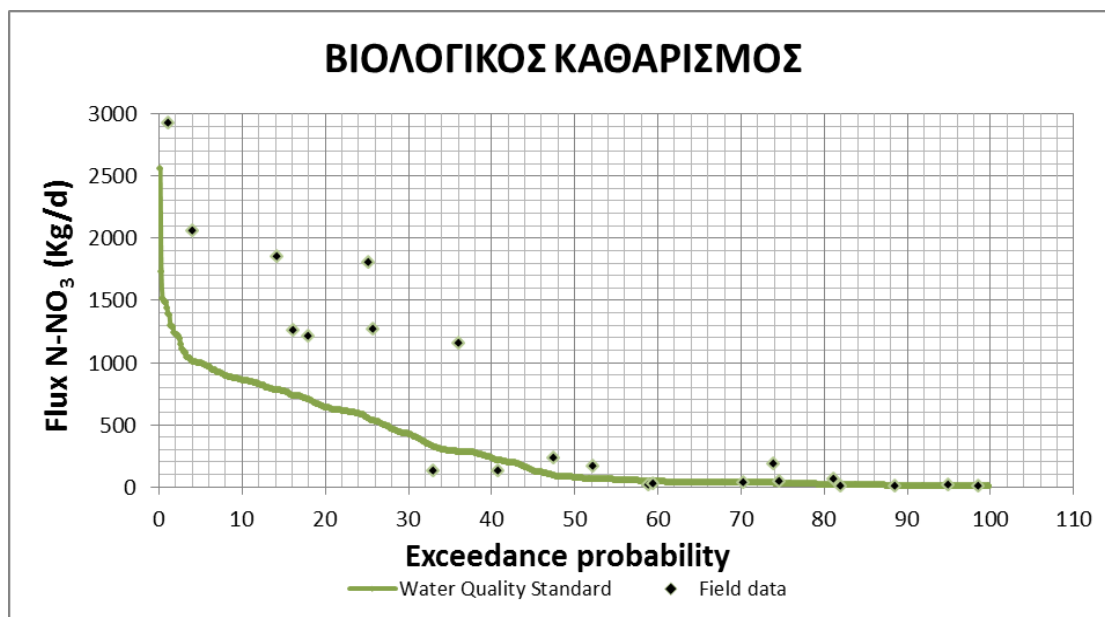


Διάγραμμα 5.25 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 68

Πίνακας 5.12 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 68

Κατηγοριοποίηση παροχών					
PO₄-P	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	24.07	18.30	13.44	3.31	0.25
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	16.943	19.879	10.335	5.359	0.855
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	7.92	ΔΑ	38.15	70.21

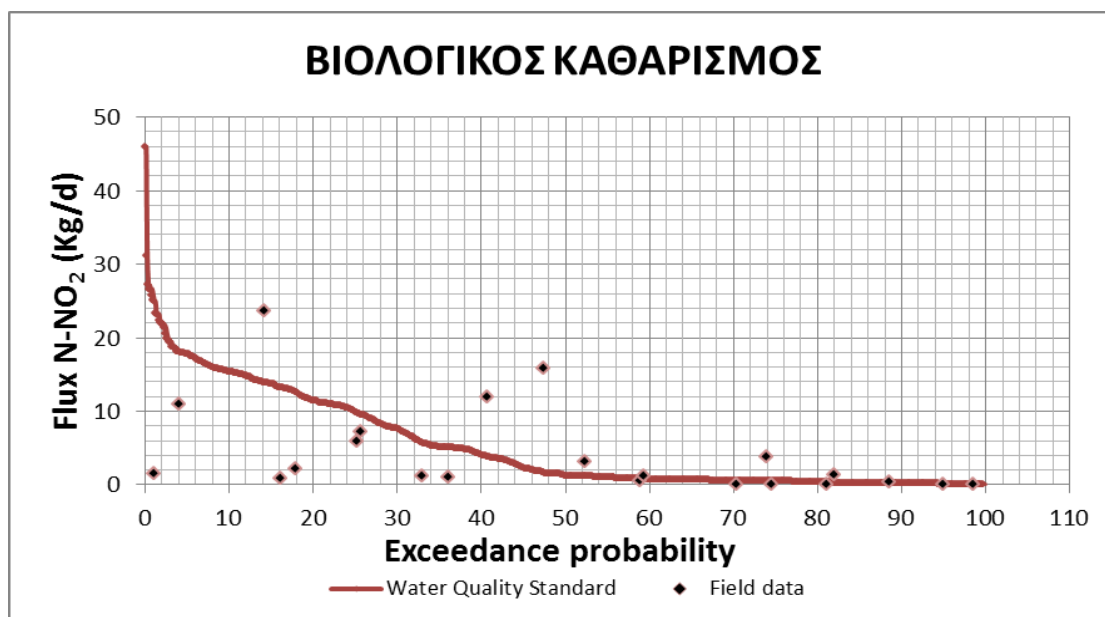
❖ Θέση 2: Υπολεκάνη 106



Διάγραμμα 5.26 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 106

Πίνακας 5.13 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106

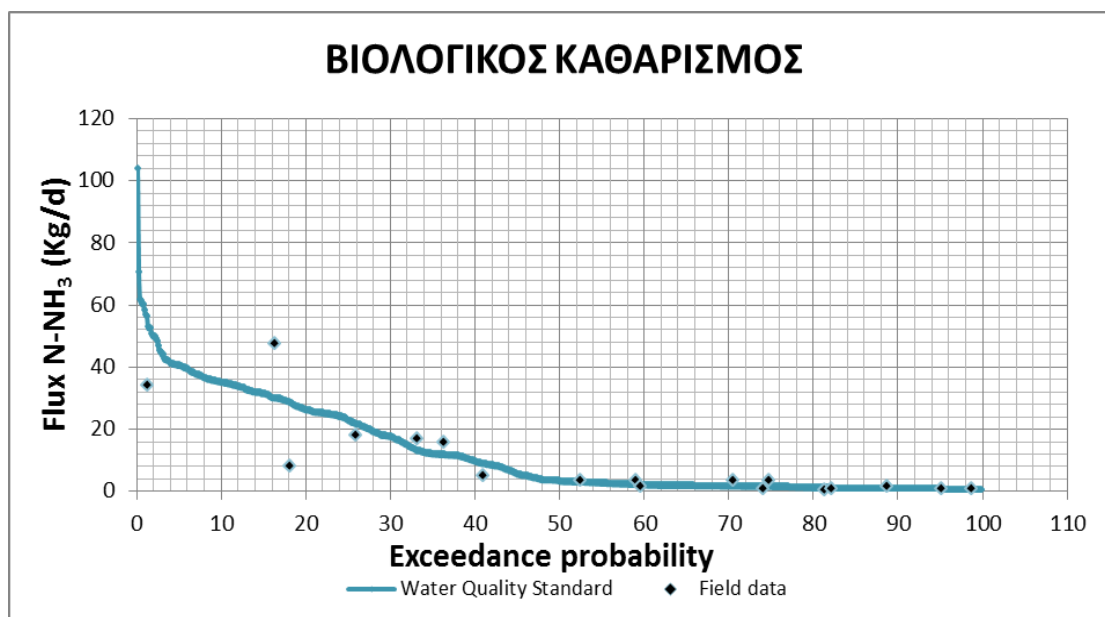
N-NO₃	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	1072.78	760.25	544.87	136.08	16.59
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	2494.17	1440.36	1265.93	266.15	45.57
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	57.0	47.2	57.0	48.90	63.60



Διάγραμμα 5.27 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 106

Πίνακας 5.14 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106

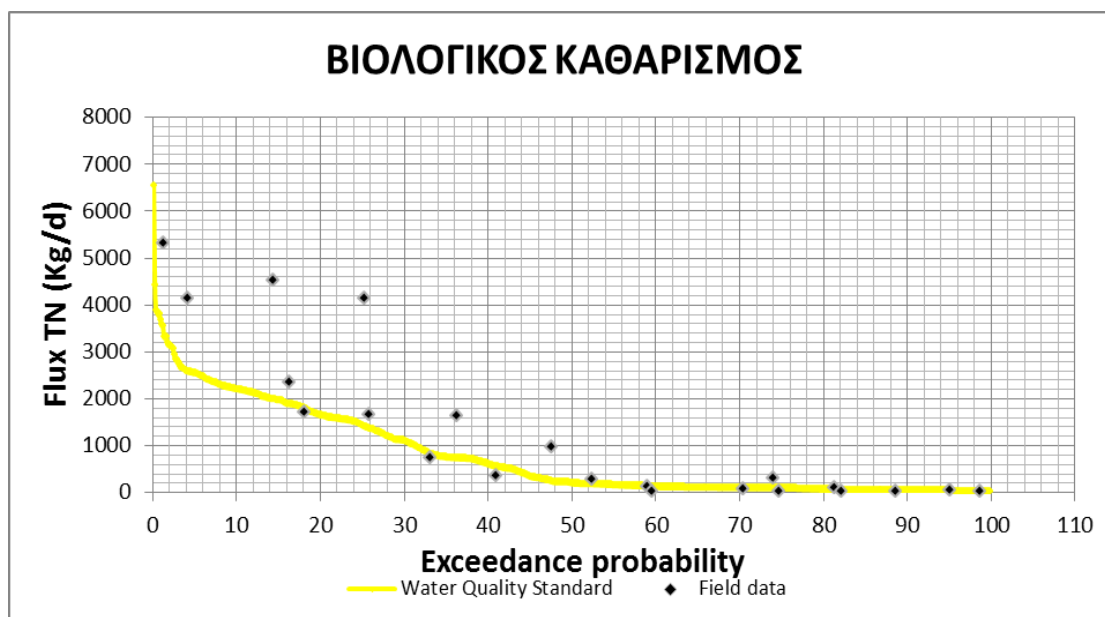
N-NO₂	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	19.29	13.67	9.80	2.45	0.30
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	6.28	8.88	7.26	4.96	0.72
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	50.7	58.8



Διάγραμμα 5.28 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 106

Πίνακας 5.15 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106

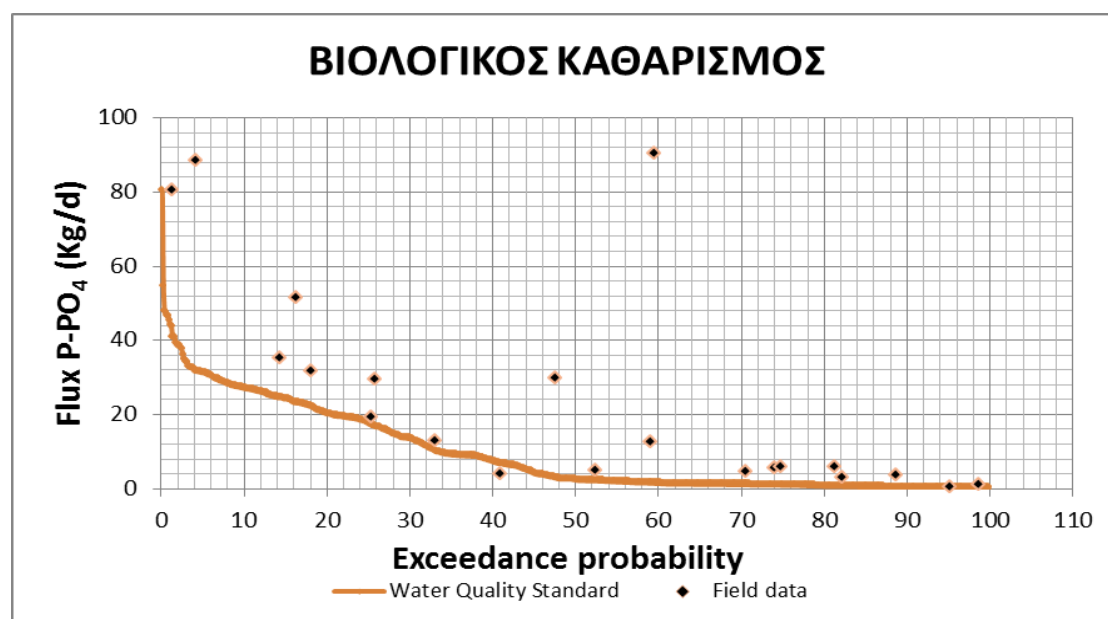
N-NH₃	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	43.39	30.75	22.04	5.50	0.67
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	96.63	70.37	17.62	34.20	1.26
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	55.1	56.3	ΔΑ	83.9	46.8



Διάγραμμα 5.29 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 106

Πίνακας 5.16 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106

TN	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	2736.20	1939.05	1389.72	347.09	42.30
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	4706.96	2842.28	1631.88	575.34	57.72
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	41.9	31.8	14.8	39.7	26.7

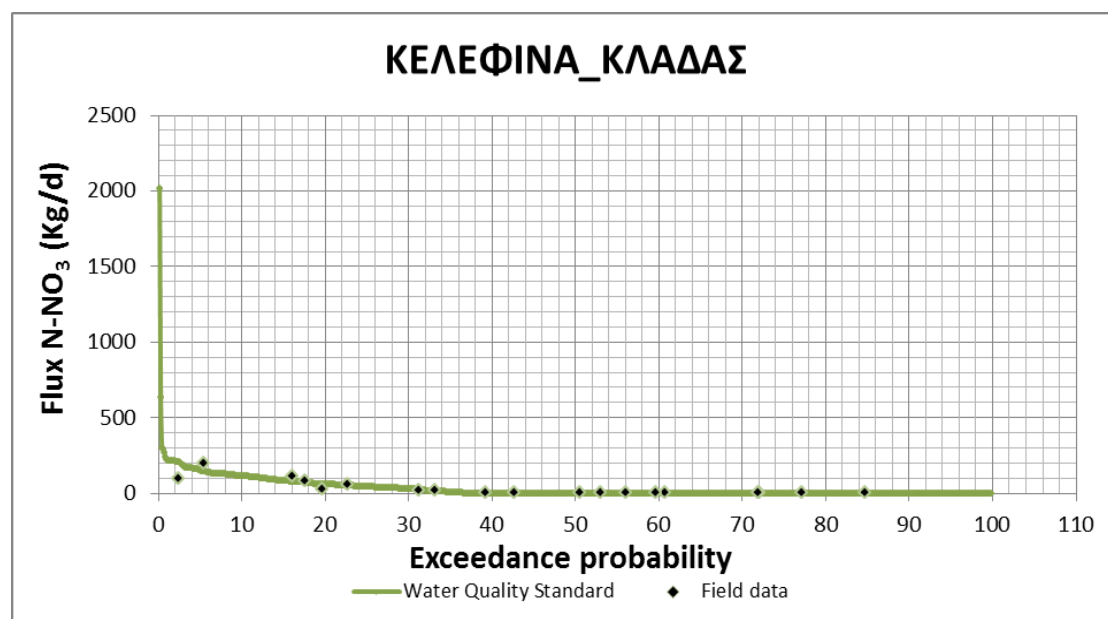


Διάγραμμα 5.30 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 106

Πίνακας 5.17 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 106

PO₄-P	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	33.75	23.92	17.14	4.28	0.52
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	84.270	39.229	29.093	43.046	3.537
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	59.9	39.0	41.1	90.1	85.2

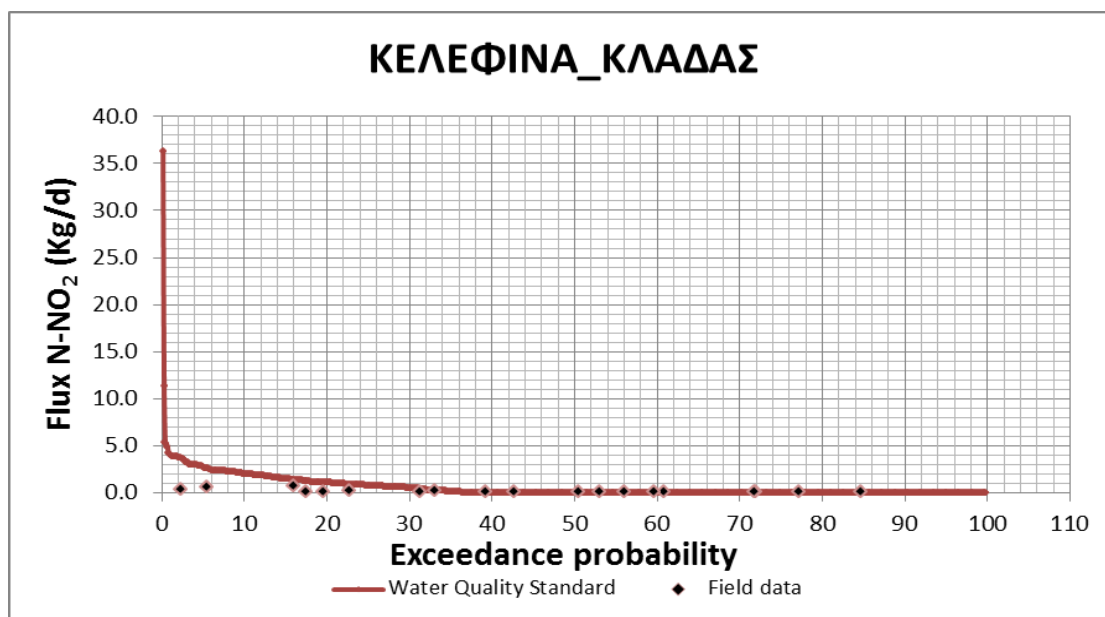
❖ Θέση 3: Υπολεκάνη 88



Διάγραμμα 5.31 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 88

Πίνακας 5.18 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88

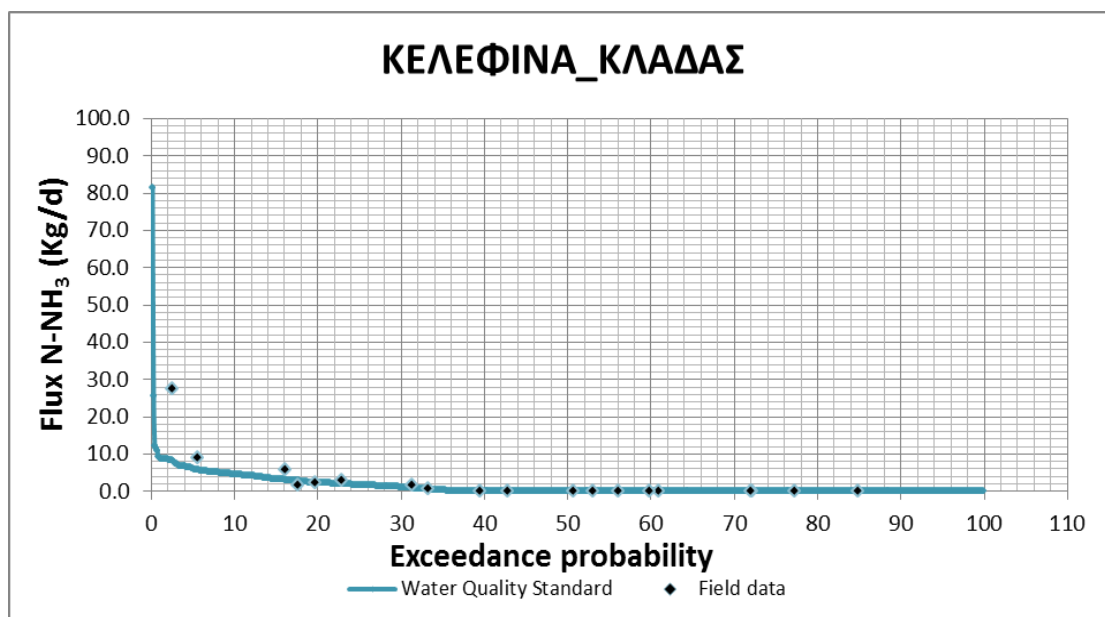
Κατηγοριοποίηση παροχών					
N-NO₃	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	193.27	83.59	43.52	2.63	0.17
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	141.50	66.60	49.67	2.94	0.18
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	12.38	10.67	6.08



Διάγραμμα 5.32 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 88

Πίνακας 5.19 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88

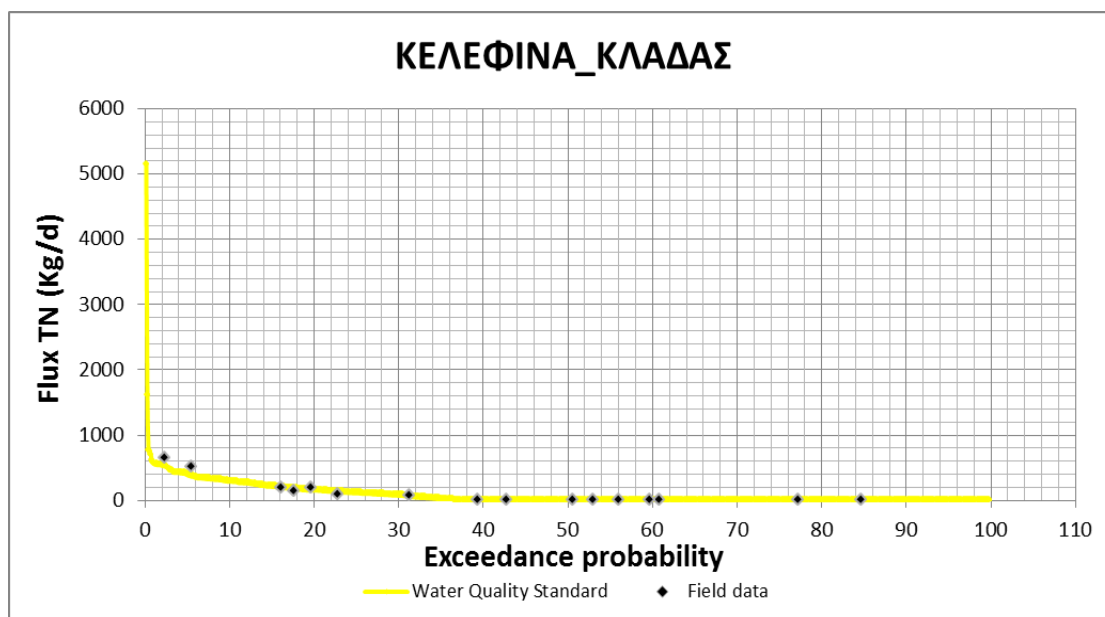
N-NO₂	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	3.4746	1.5027	0.7823	0.0473	0.0031
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	0.39	0.21	0.14	0.01	0.002
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ



Διάγραμμα 5.33 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 88

Πίνακας 5.20 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88

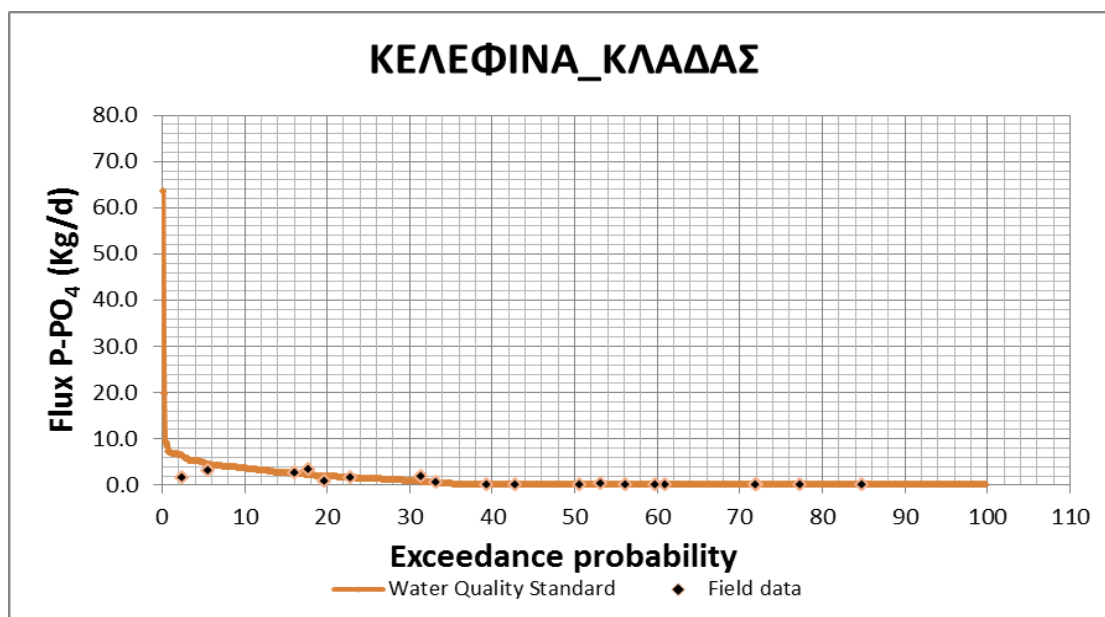
N-NH₃	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	7.82	3.38	1.76	0.11	0.01
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	18.30	3.32	2.88	0.304	0.01
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	57.28	ΔΑ	38.78	65.05	ΔΑ



Διάγραμμα 5.34 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 88

Πίνακας 5.21 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88

TN	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	492.96	213.19	110.99	6.71	0.44
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	570.054	164.471	83.576	6.894	0.249
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	13.52	ΔΑ	ΔΑ	2.74	ΔΑ

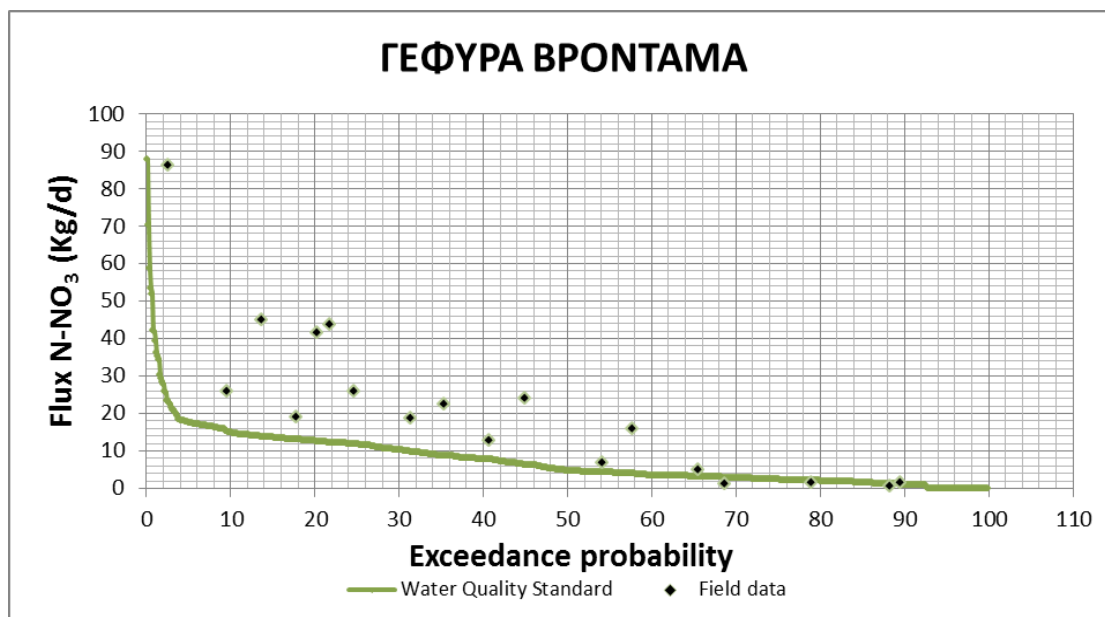


Διάγραμμα 5.35 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 88

Πίνακας 5.22 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 88

PO₄-P	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	6.08	2.63	1.37	0.08	0.005
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	2.43	2.28	1.57	0.33	0.008
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	ΔΑ	12.54	74.51	37.57

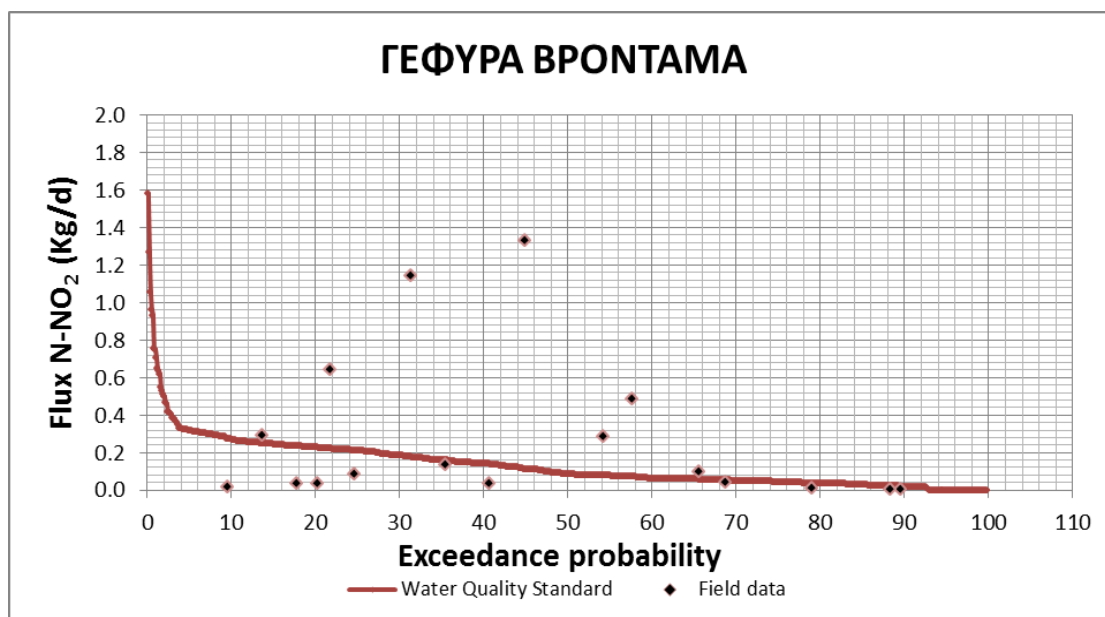
❖ Θέση 4: Υπολεκάνη 128



Διάγραμμα 5.36 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρικά, στην υπολεκάνη 128

Πίνακας 5.23 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128

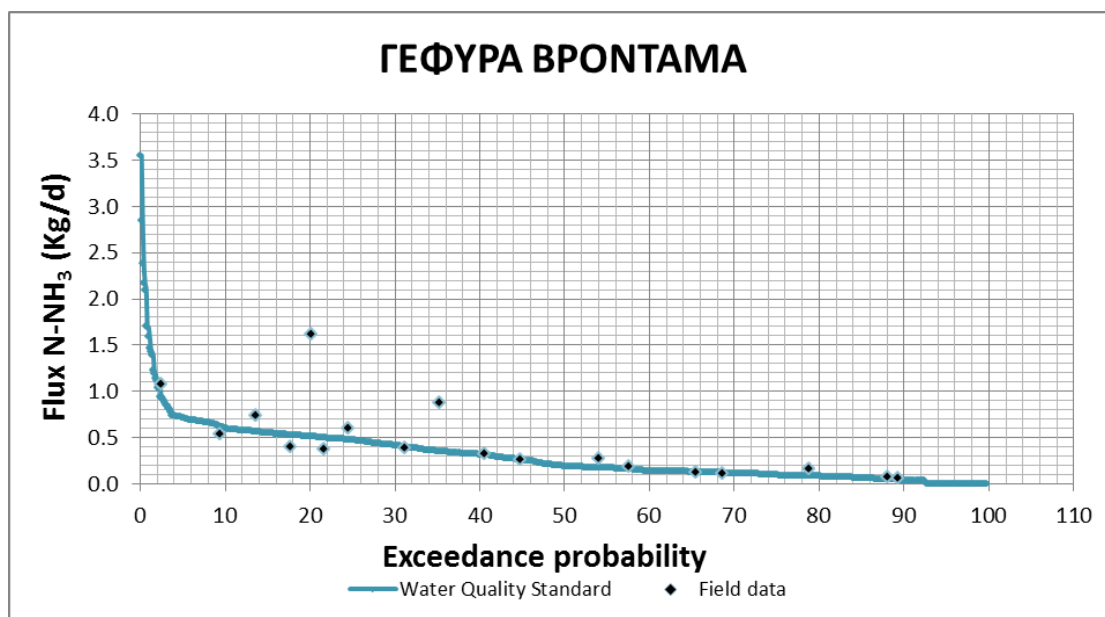
Κατηγοριοποίηση παροχών					
N-NO₃	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	23.37	13.63	11.59	5.64	1.39
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	56.18	31.93	37.01	11.79	0.83
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	58.4	57.3	68.8	52.1	ΔΑ



Διάγραμμα 5.37 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα νιτρώδη, στην υπολεκάνη 128

Πίνακας 5.24 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου νιτρωδών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128

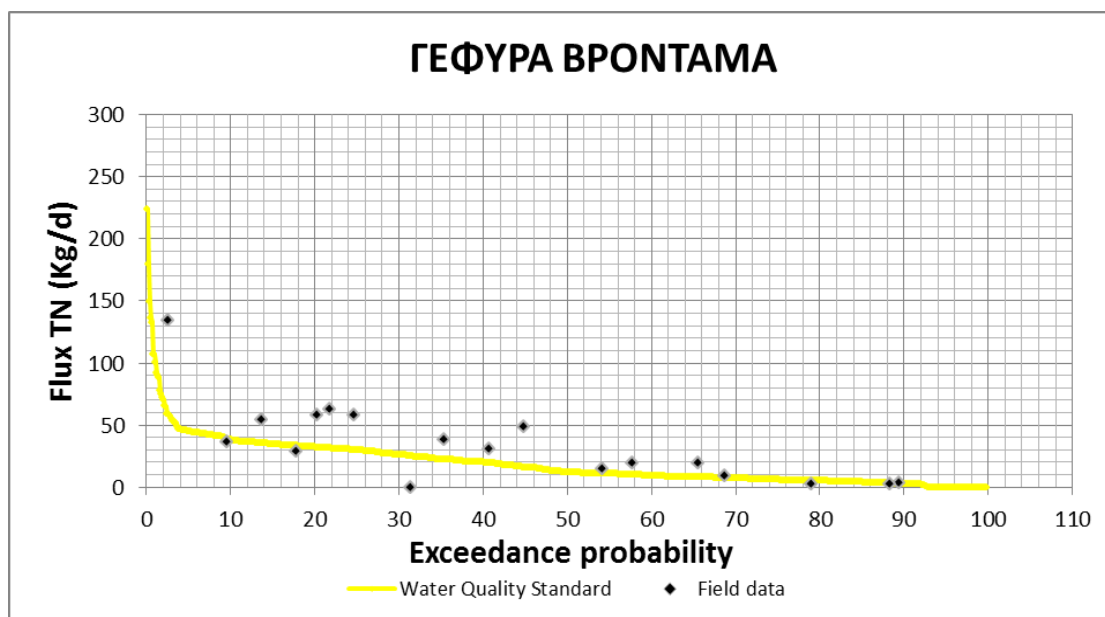
N-NO₂	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	0.42	0.25	0.21	0.10	0.02
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	2.06	0.16	0.26	0.36	0.009
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	79.58	ΔΑ	18.37	71.91	ΔΑ



Διάγραμμα 5.38 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για την αμμωνία, στην υπολεκάνη 128

Πίνακας 5.25 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου αμμωνίας ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128

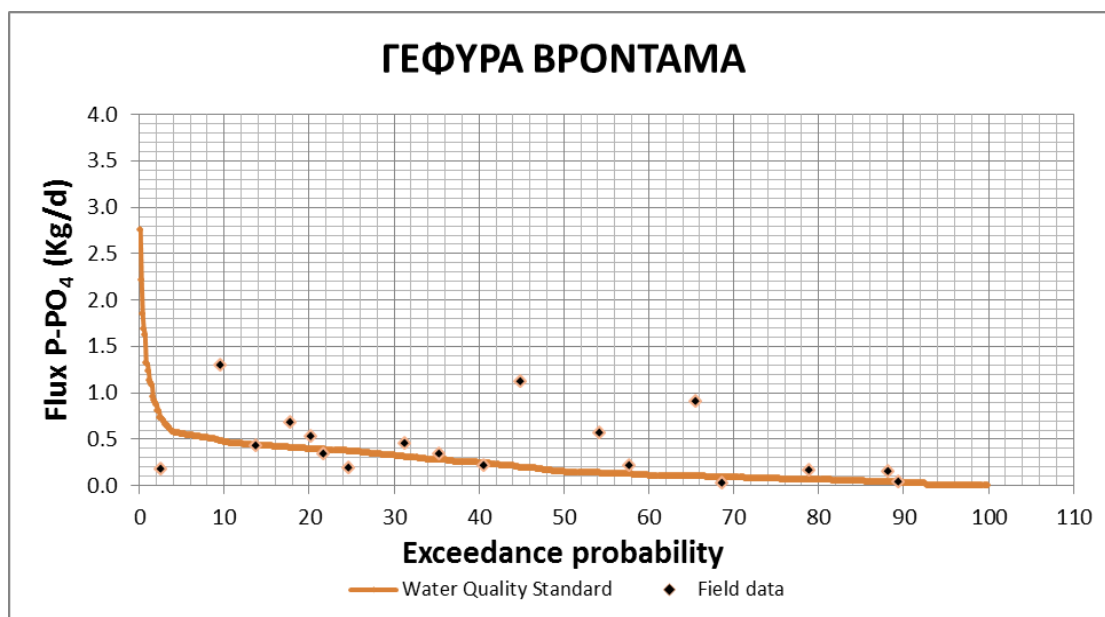
N-NH₃	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	0.95	0.55	0.47	0.23	0.06
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	0.81	0.57	0.86	0.32	0.07
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	ΔΑ	3.03	45.77	27.59	19.75



Διάγραμμα 5.39 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για το ολικό άζωτο, στην υπολεκάνη 128

Πίνακας 5.26 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ολικού αζώτου ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128

TN	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	59.61	34.78	29.55	14.39	3.53
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	85.19	41.84	59.89	27.06	2.82
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	30.03	16.88	50.66	46.81	ΔΑ



Διάγραμμα 5.40 : Παράθεση μετρήσεων πεδίου σε σχέση με το όριο ποιότητας νερού για τα ορθοφωσφορικά, στην υπολεκάνη 128

Πίνακας 5.27 : Απαιτούμενη μείωση φορτίου ορθοφωσφορικών ανάλογα με την παροχή, στην υπολεκάνη 128

PO₄-P	Κατηγοριοποίηση παροχών				
	Υψηλές παροχές	Συνθήκες υγρασίας	Ενδιάμεσες συνθήκες	Ξηρές συνθήκες	Χαμηλές παροχές
Πιθανότητα εμφάνισης παροχών	0-10%	10-20%	20-30%	30-70%	70-100%
TMDL (Kg/day)	0.735	0.43	0.36	0.18	0.04
Τρέχον φορτίο (Kg/day)	0.738	0.56	0.35	0.54	0.07
Απαιτούμενη μείωση φορτίου (%)	0.46	23.46	ΔΑ	67.23	38.03

Από όλους τους παραπάνω πίνακες που παρατέθηκαν διαπιστώθηκε ότι στο 64% των περιπτώσεων, για όλες τις θέσεις και τις παραμέτρους που εξετάστηκαν, το πραγματικό φορτίο υπερέβαινε το επιτρεπόμενο και συνεπώς απαιτούνταν μείωση. Επιπροσθέτως και όσον αφορά τα απαιτούμενα ποσοστά μείωσης, παρόλο που το εύρος τους κυμάνθηκε από 0.46-90.1%, ως επί το πλείστον ήταν ιδιαίτερα υψηλά. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι γενικά ο ποταμός Ευρώτας δε χαρακτηρίζεται από καλή οικολογική ποιότητα, αλλά από την άλλη πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα αυστηρά όρια που τέθηκαν για τις χημικές παραμέτρους.

Από τις τέσσερις θέσεις που μελετήθηκαν, προκύπτει ότι τη χειρότερη οικολογική κατάσταση -για όλες τις παραμέτρους που εξετάστηκαν- εμφανίζει η υπολεκάνη 106 (Θέση 2), η οποία αντιπροσωπεύει το 21% των υπερβάσεων των ορίων ποιότητας. Όμως, η μοναδική καταγεγραμμένη σημειακή πηγή ρύπανσης στην περιοχή είναι ο βιολογικός καθαρισμός που απορρίπτει τα επεξεργασμένα απόβλητά του στο ποτάμι. Το συμπέρασμα που προκύπτει λοιπόν δεν είναι ιδιαίτερα λογικό από τη στιγμή που για την απόρριψη των λυμάτων υπάρχει νομοθεσία και τα όρια που έχουν καθοριστεί διασφαλίζουν την ποιότητα του αποδέκτη. Όμως η φύση του ποταμού Ευρώτα (διαλείπουσα ροή) που έχει ως αποτέλεσμα να μη μπορεί να δέχεται πάντοτε την ίδια ποσότητα φορτίων, καθώς και η ελλιπής -σε ορισμένες περιπτώσεις- επεξεργασία λόγω βλαβών που παρουσιάζονται στη μονάδα από τη μεγάλη ποσότητα αποβλήτων που καλείται να επεξεργαστεί, έχουν επιβαρύνει ιδιαίτερα την ποιότητα των υδάτων στην περιοχή. Το αποτέλεσμα βέβαια επηρεάζεται και από τις πολλές σημειακές πηγές ρύπανσης που βρίσκονται σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής ανάντη του σημείου δειγματοληψίας, και σίγουρα έχουν συμβάλει στις αυξημένες συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες τρεις υπομελέτη περιοχές εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

Θέση 1: Η υπολεκάνη 68 αντιπροσωπεύει το 13% των υπερβάσεων των ορίων ποιότητας. Η οικολογική ποιότητα της περιοχής είναι σε σχετικά καλύτερα επίπεδα σε σχέση με τη θέση 2 και 4, όμως χαρακτηριστικό της είναι οι αυξημένες

απαιτήσεις για μείωση των νιτρικών, της αμμωνίας και του ολικού αζώτου γενικότερα. Πιθανή ερμηνεία το γεγονός ότι ο Δ. Πελλάνας αλλά και ο Δ. Οινούντος με τον οποίο συνορεύει έχουν πέρα από τις καταγεγραμμένες κτηνοτροφικές μονάδες και αυξημένη μη σταβλισμένη κτηνοτροφική δραστηριότητα, κάτι που δικαιολογεί την εμφάνιση των μεγάλων συγκεντρώσεων αζώτου (βλ. Πίνακες 4.13 και 4.15). Επιπροσθέτως στην περιοχή του Δ. Πελλάνας υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες και ως εκ τούτου υπάρχει επιβάρυνση λόγω της λίπανσης. Το γεγονός βέβαια ότι απαιτείται συνολικά περισσότερη μείωση στα νιτρικά και όχι στην αμμωνία (όπως αναμενόταν βάσει του Πίνακα 4.15), υποδηλώνει πιθανά ότι στη συγκεκριμένη περιοχή της λεκάνης απορροής είναι έντονο το φαινόμενο της νιτροποίησης.

Θέση 3: Η υπολεκάνη 88 αντιπροσωπεύει το 11% των υπερβάσεων των ορίων ποιότητας, και συνεπώς εμφανίζει την καλύτερη οικολογική κατάσταση σε σχέση με όλες τις άλλες περιοχές που μελετήθηκαν (το αποτέλεσμα επιβεβαιώνεται και από τους Χάρτες 5.1 και 5.2). Το αποτέλεσμα είναι λογικό αφού τόσο σε αυτήν, όσο και στις ανάντη υπολεκάνες υπάρχουν ελάχιστες σημειακές πηγές ρύπανσης (Χάρτης, 3.7), ενώ η περιοχή του Δ. Οινούντα καλύπτεται ως επί το πλείστον από χορτολιβαδικές και δασικές εκτάσεις (Χάρτης 3.6), και η όποια επιβάρυνση προκύπτει μόνο από την εφαρμογή της κοπριάς λόγω της ανεπτυγμένης κτηνοτροφικής δραστηριότητας. Για το λόγο αυτό εξάλλου οι μεγαλύτερες υπερβάσεις των ορίων ποιότητας καταγράφηκαν για την αμμωνία (Πίνακες 4.13 και 4.15).

Θέση 4: Η υπολεκάνη 128 αντιπροσωπεύει το 19% των υπερβάσεων των ορίων ποιότητας, και εμφανίζει αρκετά κακή ποιότητα όσον αφορά όλες τις χημικές παραμέτρους. Η μεγαλύτερη απαιτούμενη μείωση καταγράφηκε για τα νιτρικά, κάτι που βάσει και του Πίνακα 4.9, πιθανά υποδηλώνει ελλιπή επεξεργασία των αποβλήτων του χυμοποιείου (που είναι και η μεγαλύτερη βιομηχανική μονάδα στην περιοχή), με αποτέλεσμα ένα μέρος του ρυπαντικού φορτίου να καταλήγει στον Ευρώτα. Πέρα όμως από το γεγονός αυτό, υπάρχει μια σημαντικότερη παράμετρος που επηρεάζει τα αποτελέσματα. Ο σταθμός δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε

(«Γέφυρα Βρονταμά»), δε βρίσκεται στο τέλος της υπομελέτη υπολεκάνης αλλά αρκετά χιλιόμετρα κατάντη, οπότε και παρεμβάλλονται διάφορες άλλες σημειακές πηγές που σίγουρα επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων πεδίου. Επιπροσθέτως, το καλοκαίρι ο Ευρώτας ξεραίνεται στην περιοχή του Βρονταμά λόγω της άντλησης των υπογείων υδάτων του προσχωματικού υδροφορέα, που οδηγεί σε πτώση της στάθμης του και δημιουργία υδραυλικών κλίσεων από το ποτάμι προς το υπόγειο νερό. Επίσης μετά τη γέφυρα Βρονταμά ξεκινάει ο ασβεστολιθικός καρστικός όγκος και το νερό χάνεται και επανεμφανίζεται κατά ένα μέρος στις πηγές της Σκάλας. Επομένως η υψηλή φόρτιση που καταλήγει στο σημείο που βρίσκεται ο σταθμός δειγματοληψίας σε συνδυασμό με τις χαμηλές παροχές, έχουν ως αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων να είναι ιδιαίτερα υψηλές και επομένως να εμφανίζονται στα αποτελέσματα αρκετά μεγάλες υπερβάσεις των ορίων ποιότητας του νερού.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη μελέτη του ποταμού Ευρώτα, την προσομοίωση της χημείας της λεκάνης απορροής του, και την ανάπτυξη της μεθοδολογίας των ολικών μέγιστων ημερήσιων επιτρεπόμενων φορτίων (TMDL), προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο ποταμός Ευρώτας δέχεται μεγάλη φόρτιση από τις σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης που δραστηριοποιούνται στην περιοχή του. Παρόλα αυτά καταφέρνει να διατηρήσει μία καλή οικολογική κατάσταση σε δύο από τα οχτώ υδατικά συστήματα στα οποία έχει χωριστεί (Skoulidakis, 2011- αδημοσίευτα δεδομένα). Τα δύο υδατικά συστήματα που εμφανίζουν χαμηλή οικολογική ποιότητα είναι το ανατολικό κομμάτι του Ταΰγετου που καλύπτει τις περιοχές κοντά στον κύριο ρου του Ευρώτα, και ο κύριος ρους του Ευρώτα από τη γέφυρα της Σπάρτης μέχρι το Βρονταμά. Εντός αυτών των υδατικών συστημάτων βρίσκονται και οι δύο από τις τέσσερις θέσεις που εξετάστηκαν κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας των TMDL, και βρέθηκαν να εμφανίζουν χαμηλή οικολογική ποιότητα, και μεγάλες υπερβάσεις των επιτρεπόμενων φορτίων.
- Όσον αφορά στις σημειακές πηγές που δραστηριοποιούνται στην περιοχή του, σημαντικά προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν τα υγρά απόβλητα των χυμοποιείων, των ελαιουργείων και τα αστικά υγρά λύματα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις διατίθενται με ελλιπή ή ακόμα και καθόλου επεξεργασία στον Ευρώτα ή σε παραποτάμους του.
- Όσον αφορά στις μη σημειακές πηγές, η μεγάλη έκταση των καλλιεργειών και κατά συνέπεια οι μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται, καθώς και η έντονη κτηνοτροφική δραστηριότητα, έχουν αυξήσει τα φορτία αζώτου και φωσφόρου στη λεκάνη απορροής του ποταμού.
- Σε όλα τα παραπάνω πρέπει να συνυπολογιστεί και η φύση του ποταμού Ευρώτα, ο οποίος λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων στην παροχή του, δεν παρουσιάζει την ίδια αφομοιωτική ικανότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου. Σε

αυτό έρχονται να προστεθούν και οι εδαφικές ιδιαιτερότητές του (ασβεστολιθικά καρστικά εδάφη), που σε ορισμένες περιοχές (π.χ. στο Βρονταμά) οξύνουν το πρόβλημα.

- Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν και από το μοντέλο SWAT, το οποίο κατάφερε να προσομοιώσει σε ικανοποιητικό βαθμό τη λεκάνη απορροής του Ευρώτα, και να καταδείξει τις περιοχές που δέχονται τη μεγαλύτερη ποσότητα αζώτου και φωσφόρου, και συνεπώς χρήζουν παρέμβασης για την αποκατάστασή τους. Επιπροσθέτως τα αποτελέσματα του μοντέλου βοήθησαν στην ανάπτυξη των καμπυλών διάρκειας παροχής και των καμπυλών διάρκειας φορτίου για καθεμία χημική παράμετρο, που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθοδολογίας των TMDL.
- Η ποσοτικοποίηση των απαιτούμενων μειώσεων ανάλογα την περιοχή και τις επικρατούσες υδρολογικές συνθήκες, υπολογίστηκε με τη μεθοδολογία των TMDL, αφού προηγουμένως καθορίστηκαν τα απαιτούμενα όρια ποιότητας του νερού, προκειμένου ο Ευρώτας να χαρακτηρίζεται από καλή οικολογική κατάσταση. Από την ανάπτυξη της μεθοδολογίας σε τέσσερις θέσεις, επιβεβαιώθηκε και ποσοτικοποιήθηκε η απαιτούμενη μείωση του φορτίου. Στο 64% των περιπτώσεων, για όλες τις θέσεις και τις παραμέτρους που εξετάστηκαν, το πραγματικό φορτίο υπερέβαινε το επιτρεπόμενο και μάλιστα σε αρκετά υψηλό ποσοστό.
- Ανεξάρτητα από την καλή προσομοίωση (SWAT), και την καλή ποσοτικοποίηση της απαιτούμενης μείωσης του ρυπαντικού φορτίου (TMDL), είναι απαραίτητο να τονιστεί πως όταν μελετάται μια μεγάλη και πολύπλοκη λεκάνη απορροής-όπως αυτή του ποταμού Ευρώτα-, και υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος σημειακών πηγών ρύπανσης, για να αποτυπωθεί η πραγματική κατάσταση χρειάζονται μετρήσεις πεδίου για κάθε πηγή ξεχωριστά. Διαφορετικά η εισαγωγή των φορτίων είναι πολύ γενικευμένη και υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην προσομοίωση και βαθμονόμηση των αποτελεσμάτων, όπως συνέβη και στην παρούσα εργασία. Αυτό θα βοηθήσει κατ' επέκταση και στην καλύτερη ανάπτυξη της μεθοδολογίας των TMDL διότι τα απαιτούμενα

ποσοστά μείωσης δε θα υπολογίζονται σε επίπεδο υπολεκάνης, αλλά για κάθε σημειακή πηγή χωριστά, οπότε θα είναι πιο εύκολο να αντιληφθούμε το μερίδιο ευθύνης της κάθε σημειακής πηγής ρύπανσης χωριστά. Σε επίπεδο υπολεκάνης είναι δύσκολη η αναγωγή του συνολικού ποσοστού σε κάθε σημειακή πηγή και μπορεί να ανακύψουν διαφωνίες μεταξύ βιομηχανιών για το ποια ρυπαίνει περισσότερο και συνεπώς δυσκολίες στην εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης.

Από όλα τα παραπάνω λοιπόν γίνεται εύκολα αντιληπτή η ανάγκη για αυστηρότερη νομοθεσία και ανάπτυξη ελεγκτικών μηχανισμών, ούτως ώστε να μπορέσει να περιοριστεί η ανεξέλεγκτη ρύπανση του ποταμού. Απώτερος σκοπός, η σταδιακή εξάλειψη της ρύπανσης, και η βελτίωση της οικολογικής του ποιότητας. Προς την κατεύθυνση αυτή, τα μέτρα που προτείνονται παρουσιάζονται παρακάτω:

- Συνεχής παρακολούθηση και ενημέρωση της νομοθεσίας και των ορίων που έχουν τεθεί, βάσει των αποτελεσμάτων των ερευνών που διεξάγονται, με σκοπό την προστασία των υδάτινων συστημάτων ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζει το καθένα.
- Για τη σωστή και αποτελεσματικότερη μελέτη μεγάλων και πολύπλοκων λεκανών απορροής που παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την κατανομή των φορτίων τους, θα πρέπει εξ αρχής να δημιουργηθεί ένα καλό δίκτυο παρακολούθησης με σταθμούς δειγματοληψίας σε κάθε μεγάλη σημειακή πηγή, ή εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τουλάχιστον ανά ομάδες σημειακών πηγών. Το δίκτυο του ποταμού Ευρώτα είναι αρκετά ενημερωμένο, αλλά θα μπορούσαν να προστεθούν κάποιοι σταθμοί για την καλύτερη ανάπτυξη της μεθοδολογίας των TMDL.
- Μελέτη σεναρίων πρακτικών διαχείρισης, για την επιλογή αυτών που οδηγούν στην αποτελεσματικότερη και αμεσότερη αποκατάσταση της εκάστοτε περιοχής.
- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας απέναντι στα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν ανακύψει και διαμόρφωση

περιβαλλοντικής παιδείας στην κατεύθυνση του «προσέχουμε για να έχουμε».

Πιο συγκεκριμένα για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, προτείνεται:

- Αναβάθμιση της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων προκειμένου να μπορεί να επεξεργαστεί αποτελεσματικότερα όχι μόνο τα λύματα της Σπάρτης αλλά και τα βοθρολύματα από τα χωριά της λεκάνης απορροής.
- Έλεγχος της στεγανοποίησης των ήδη υπαρχόντων απορροφητικών βόθρων, προκειμένου να μη διαφεύγουν οι χημικοί ρυπαντές προς το υπόγειο νερό.
- Σύνδεση όλων των οικισμών εντός της λεκάνης απορροής με το βιολογικό καθαρισμό, ή εάν αυτό δεν είναι δυνατόν, κατασκευή σηπτικών δεξαμενών που πληρούν τις προδιαγραφές.
- Συμμόρφωση των αγροτών με τους κανόνες της ορθής πρακτικής λίπανσης που προτείνονται από τη Διεύθυνση Γεωργίας, όσον αφορά στις απαιτούμενες ποσότητες, το χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων, τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνεται η εφαρμογή, το είδος των επιφανειών στις οποίες μπορεί να γίνεται η εφαρμογή κ.α. Επιπροσθέτως, διενέργεια τακτικών ελέγχων από τους αρμόδιους φορείς ούτως ώστε να αποφεύγεται χρήση πέρα από τις προκαθορισμένες ποσότητες.
- Εφαρμογή μέτρων για την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων της κάθε βιομηχανικής μονάδας, συμπεριλαμβανομένων των ελαιουργείων, των χυμοποιείων, των κτηνοτροφικών μονάδων, των σφαγείων, και γενικά όσων εδράζονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού, ξεχωριστά.

Οι παραπάνω προτάσεις και μέτρα αποτελούν ένα πρώτο βήμα για την προστασία, αποκατάσταση, και αναβάθμιση των ευαίσθητων και υποβαθμισμένων περιοχών της ευρύτερης λεκάνης του ποταμού Ευρώτα, στην κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

1. Abbott M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O'Connell P.E., Rasmussen J., 1986. An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, Volume 87, Issues 1-2, 15 October 1986, Pages 61-77.
2. Apaydin H., Anli A.S., Ozturk A., 2006. The temporal transferability of calibrated parameters of a hydrological model. *Ecological Modelling*, Volume 195, Issues 3-4, 15 June 2006, Pages 307-317.
3. Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S. and Williams J.R., 1998 Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. American Water Resources Assoc.*, 34(1), 73-89.
4. Bayly A. and Williams N., 1973. *Inland waters and their ecology*. Melbourne, Vic: Longman Cheshire
5. Beasley D.B., Huggins L.F., Monke E.J., 1980. ANSWERS-a model for watershed planning. *Trans Am Soc Agric Eng*, 23, pp. 938-944.
6. Bonada N. 2003. Ecology of the macroinvertebrate communities in mediterranean rivers at different scales and organization levels. PhD Thesis, University of Barcelona. 355 pp.
7. Bonada N., Rieradvall M. et Prat N. 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589: 91-106.
8. Christopher M. Smemoe, E.James Nelson, Bing Zhao, 2004. Spatial averaging of land use and soil properties to develop the physically-based green and ampt parameters for HEC-1. *Environmental Modelling & Software*, Volume 19, Issue 6, June 2004, Pages 525-535.

9. Cleland B., 2002. TMDL Development from the "Bottom - Up" - Part II: Using Duration Curves to Connect the Pieces. America's Clean Water Foundation, Washington, DC.
10. Dareioti M., Dokianakis S., Stamatelatou K., Zafiri C., Kornaros M., 2010. Exploitation of olive mill wastewater and liquid cow manure for biogas production. *Waste Management*, Volume 30, Issue 10, October 2010, Pages 1841-1848.
11. Demetriou C. and Punthakey J.F., 1998. Evaluating sustainable groundwater management options using the MIKE-SHE integrated hydrogeological modelling package. *Environmental Modelling & Software*, Volume 14, Issues 2-3, December 1998, Pages 129-140.
12. Dilks C.F., Dunn S.M., Ferrier R.C., 2003. Benchmarking models for the Water Framework Directive: evaluation of SWAT for use in the Ythan catchment, UK. In: Arnold, J., et al. (eds.), *Condensed Abstracts of the 2nd International SWAT Conference*, 1-4 July 2003, Bari, Italy, pp. 63-66.
13. Eckhardt K., Haverkamp S., Fohrer N., Frede H.-G., 2002. SWAT-G, a version of SWAT99.2 modified for application to low mountain range catchments. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 641-644.
14. Engel, B., Storm, D., White, M., Arnold, J., and Arabi, M. (2007). A Hydrologic / Water Quality Model Application Protocol. *Journal of the American Water Resources Association* 43(5), 1223-1236.
15. Gallart F, Prat N., Garcia-Roger E. M., Latron J., Rieradevall M., Llorens P., Barbera G. G., Brito D., De Girolamo A. M., Lo Porto A., Neves R., Nikolaidis N. P., Perrin J. L., Querner E. P., Quinonero, J. M., Tournoud M. G., Tzoraki O., and Froebrich J., 2011. Developing a novel approach to analyse the regimes of temporary streams and their controls on aquatic biota. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 9637-9673.

16. Gasith A. & Resh V. H., 1999. Streams in mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 51-81.
17. Gassman P.W., Reyes M.R., Green C.H., Arnold J.G., 2007. The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE* 50 (4), 1211-1250.
18. Golden Software Inc., 1989. *Surfer Version 4 Reference Manual*: Golden Software Inc., Golden, Colorado, 534 p.
19. Green W. H. and Ampt G. A., 1911. Studies on soil physics: 1. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4: 11-24.
20. Grizzetti B., Bouraoui F., De Marsily G., 2005. Modelling nitrogen `pressure in river basins: A comparison between a statistical approach and the physically-based SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (8-10), pp. 508-517.
21. Harbaugh A.W., McDonald M.G., 1996. Programmer documentation for MODFLOW-96, an update to the US Geological Survey modular finite-difference groundwater flow model. *USGS Open-File Report*, pp. 96-486.
22. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*.
23. Jacobson, P.J., Jacobson, K.M., Angermeier, P.L., Cherry, D.S., 2004. Variation in material transport and water chemistry along a large ephemeral river in the Namid Desert. *Freshwater Biology* 44, 481-491.
24. Johanson R.C., Imhoff J.C., Davis H.H., 1980. *Users' Manual for the Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF) version No. 5.0*, EPA-600/9-80-105, US EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
25. Kapellakis I., Tsagarakis K., Avramaki C., Angelakis A., 2006. Olive mill wastewater management in river basins : A case study in Greece. *Agric Water Manage* 82 : 354-370.
26. Karaouzas I., Skoulikidis N., Economou A., Vardakas L., Tachos V. , 2009. Anthropogenic effects on intermittent Mediterranean running water

- ecosystems - The Evrotas river case. 9th Symposium on Oceanography & Fisheries, 2009 - Proceedings, Volume II.
27. Karaouzas I., Albanis T., Kamarianos A., Gotou E., Skoulikidis N., Giannakou O., 2010. Ecotoxicity and Effects of citrus processing wastewaters on stream benthic fauna.
28. King J.M. and Tharme R.E., 1993. River ecologists need hydrological information for assessing environmental water allocations, but what form should it take and why? In: Proc. Sixth South African National Hydrological Symposium. 8-10 Sept., 1993, Univ. of Natal, Pietermaritzburg, RSA.
29. Kite G.W., 1999. Manual for the SLURP Hydrological Model. v. 11.3, International Water Management Institute, Izmir, Turkey.
30. Krysanova V., Bronstert A., Muller-Wohlfeil D.-I., 1999. Modelling river discharge for large drainage basins: from lumped to distributed approach. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques* 44 (2), 313-331.
31. Kusre B.C., Baruah D.C., Bordoloi P.K., Patra S.C., 2010. Assesment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). *Appl. Energy* 87, 298-309.
32. Lake P.S. , 2000. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 19, 573-592.
33. Lake P.S. , 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology* 48, 1161-1172.
34. Lam Q.D., Schmalz B., Fohrer N., 2010. Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management* 97 (2), pp. 317-325.
35. Matthews W. J., 1988. North American streams as systems for ecological study. *Journal of the North American Benthological Society* 7(4): 387-409.

36. MEDSPA, 1993. Environmental Protection and Development Programme of the Evrotas River Basin and the Northern Coast of Laconian Bay, Final Report, Oct-1993.
37. Monteith J. L., 1965. Evaporation and the environment. In *The State and Movement of Water in Living Organisms*, Proc. 19th Symp. Swansea, U.K.: Society of Experimental Biology, Cambridge University Press.
38. Morin G., Fortin J.P., Lardeau J.P., Sochanska W., Paquette S., 1981. Modèle CEQUEAU: manuel d'utilisation. INRS-Eau, rapport scientifique No. 93.
39. Muhammad Ali, Sher Jamal Khan, Irfan Aslam, Zahiruddin Khan, 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landscape and Urban Planning*, Volume 102, Issue 4, 30 September 2011, Pages 271-279.
40. Muhar S. & Jungwirth M., 1998. Habitat integrity of running waters- assessment criteria and their biological relevance. *Hydrobiologia* 386: 195-202.
41. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., 2001. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2000. Blackland Research Center, Agricultural Research Service, Texas, USA.
42. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. 2005a. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2005. Temple, Tex.: USDA-ARS Grassland, Soil
43. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., King K.W., 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2005. TWRI TR-191, College Station, TX.
44. Nikolaidis N. P., 2011. Human impacts on soils: Tipping points and knowledge gaps. *Applied Geochemistry*, Volume 26, Supplement, June 2011, Pages S230-S233.

45. Nikolaidis N. P., Bouraoui F. and Bidoglio G., 2012. Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion (HESSD)*.
46. Nikolaidis N. P., Rajaram H., Schnoor J. L., Georgakakos K. P., 1988. A generalized soft water acidification model. *Water Resources Res.*, 24, 1983-96.
47. Oeurng Chantha, Sauvage Sabine, Sánchez-Pérez José-Miguel, 2011. Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. *Journal of Hydrology*, Volume 401, Issues 3-4, 3 May 2011, Pages 145-153.
48. Pisinaras V., Petalas C., Gikas G., Gemitzi A., Tsihrintzis V., 2010. Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Desalination* Volume 250, pp. 274-286.
49. Priestly C. H. B. and Taylor R. J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Rev.* 100(2): 81-92.
50. Prochnow S.J., White J.D., Scott T., Filstrup C.D., 2008. Multi-scenario simulation analysis in prioritizing management options for an impacted watershed system. *Ecohydrology Hydrobiology* 8, 3-15.
51. Samira Akhavana, Jahangir Abedi-Koupaia, Sayed-Farhad Mousavia, Majid Afyunib, Sayed-Saeid Eslamiana, Karim C. Abbaspourc, 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar Watershed, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139 (4), pp. 675-688.
52. Santese G., 2010. Experimental application of the concept of "Total Maximum Daily Load" in the watershed planning under the Water Framework Directive AGR/10, PhD course, University of Tuscia, Faculty of Agriculture, Department of Technology, Engineering and Environmental Science and Forestry.

53. Schilling K.E., Jha M.K., Zhang Y.K., Gassman P.W., Wolter C.F., 2008. Impact of land use and land cover change on the water balance of a large agricultural watershed: historical effects and future directions. *Water. Resour. Res.* 44, 1-12.
54. Schilling K.E., Wolter C.F., 2009. Modeling nitrate-nitrogen load reduction strategies for the Des Moines River, Iowa using SWAT. *J. Environ. Manage.* 44, 671-682.
55. Schmutz S., Kaufmann M., Vogel B. & Jungwirth M., 2000. Methodische Grundlagen und Beispiele zur Bewertung der fischökologischen Funktionsfähigkeit österreichischer Fließgewässer. Universität für Bodenkultur, Wien: 210 p.
56. Schnoor J. L., Palmer W. D., Jr & Glass G. E., 1984. Modeling impacts of acid precipitation for northeastern Minnesota. In *Modeling of Total Acid Precipitation Impact*, ed. J. L. Schnoor. Butterworth, Boston, MA, pp. 155-73.
57. Shen Z.Y., Gong Y.W., Li Y.H., Hong Q., Xu L., Liu R.M., 2009. A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong watershed in the three Gorges reservoir area. *Ag Water Mgmt* 96, 1435-1442.
58. Singh N. and Peiris M.S., 1987. A note on the properties of some nonstationary ARMA processes. *Stochastic Processes and their Applications*, Volume 24, Issue 1, February 1987, Pages 151-155.
59. Skoulikidis N., 2011. MIRAGE Management Plan, Deliverable report 2.2., pages 49-52.
60. Skoulikidis N. and Amaxidis Y., 2009. Origin and dynamics of dissolved and particulate nutrients in a minimally disturbed Mediterranean river with intermittent flow. *Journal of Hydrology*, 37: 218-229.
61. Stamou G. P., 1998, *Arthropods of mediterranean-type ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, 135 pp

62. Stone M.C., Hotchkiss R.H., Hubbard C.M., Fontaine T.A., Mearns L.O., Arnold J.G., 2001. Impacts of climate change on Missouri River basin water yield. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37, 1119-1129
63. TempQsim Consortium, 2006. Critical issues in the water quality dynamics of temporal rivers - evaluation and recommendations of the tempQsim project.
64. Tzoraki O. and Nikolaidis N.P., 2007. A generalized framework for modeling the hydrologic and biogeochemical response of a Mediterranean temporary river basin. *Journal of Hydrology*, (In Press).
65. USACE, United States Army Corps of Engineers, 2000. Hydrological modeling system HEC-HMS. Washington, DC, USA
66. U.S. Environmental Protection Agency, 1999. Protocol for Developing Nutrient TMDLs. EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503F), United States Environmental Protection Agency, Washington DC. 135 pp.
67. U.S. Environmental Protection Agency, 1999. Protocol for Developing Sediment TMDLs. EPA 841-B-99-007. Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
68. U.S. Environmental Protection Agency, 2007a. Options for Expressing Daily Loads in TMDLs. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
69. U.S. Environmental Protection Agency, 2007b. An approach for using Load Duration Curves in the Development of TMDLs. EPA 841-B-07-006. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds., United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
70. Uys M. C. and O'Keefe J. H., 1997. Simple words and fuzzy zones: Early directions for temporary river research in South Africa. *Environmental Management* 21:517-531.
71. Van Griensven A., Francos A., Bauwens W., 2002. Sensitivity analysis and autocalibration of an integral dynamic model for river water quality. *Water Science and Technology* 45 (5), 321-328.

72. Williams J. R., 1969. Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. Trans. ASAE 12(1): 100-103.
73. Williams J. R. and Berndt H. D., 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE 20(6): 1100-4.
74. Zheng C., 1990. MT3D: A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems.

Ελληνική

1. Αγγελάκης Α.Ν. και Tchobanoglous G., 1995. Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκρικών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
2. Ανδριανάκη Μ., 2007. Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Ευρώτα. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.
3. Αντωνάκος Α., 1997. Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα 1997.
4. Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ), απογραφή 2001.
5. Καραλέμας Δ. Ν., 2006. Μηχανισμοί λειτουργίας των πηγών του ανατολικού Ταΰγετου, Διατριβή Μεταπτυχιακής Ειδίκευσης, Εθνικό Καποδιστριακό Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αθήνα.
6. Κατσικάκος Γ., 1992. Γεωλογία της Ελλάδος, Αθήνα Χ.Ε.
7. Κούτσικος Ν., 2009. Ανάπτυξη και έλεγχος εφαρμογής ενός νέου συστήματος εκτίμησης της κατάστασης των ποταμών της Ελλάδας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Αθήνα.
8. Μπακάλης Ν., Μαρκαντωνάτος Π., Αγγελίδης Μ., 1993. Βιομηχανική Ρύπανση, Πρακτικά συνεδρίου MEDSPA, Σπάρτη, 6-7 Νοεμβρίου.

9. Νικολαΐδης Ν., Σκουλικίδης Ν., Τσακίρης Κ., Καλογεράκης Ν., 2006. Προκαταρτικό Σχέδιο Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα και της Παράκτιας Ζώνης, Τεχνική έκθεση 242σ. + Παράρτημα 79σ. Στην Έκδοση: Νικολαΐδης Ν., Ν. Καλογεράκης, Ν. Σκουλικίδης, Κ. Τσακίρης, 2005-2009. Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 ΕΕ (EnviFriendly).
10. Τζωράκη Ο., 2007. Μοντελοποίηση Υδρολογικών και Γεωχημικών Διεργασιών σε Ποτάμιο Σύστημα Διαλείπουσας Ροής. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, Χανιά.

Διαδίκτυο

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (www.ypeka.gr)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Βιολογικός καθαρισμός:

Η εισαγωγή των φορτίων του βιολογικού καθαρισμού στο μοντέλο SWAT, έγινε στην υπολεκάνη 106 του ποταμού Ευρώτα -στην οποία και υπαγόταν-, με τη μορφή που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Π1 : Φορτία βιολογικού καθαρισμού ανά μήνα, όπως εισήχθησαν στο SWAT

Ημερήσια φόρτιση από το βιολογικό καθαρισμό για κάθε μήνα									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63
Φεβ.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63
Μαρτ.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63
Απρ.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63
Μάης	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Ιουν.	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Ιουλ.	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Αυγ.	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Σεπτ.	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Οκτ.	0.028125	6.03	2.514	9.482	21.645	0.000	4.19	31.5	32.63
Νοέμ.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63
Δεκ.	0.0198	6.03	1.35	9.482	21.645	0.000	2.25	31.5	32.63

Βοθρολύματα:

Τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα προκύπτουν από πολλαπλασιασμό της ποσότητας των λυμάτων με τη συγκέντρωση του εκάστοτε ρύπου στα λύματα, καθώς και με ένα ποσοστό 5% (εκτός της περίπτωσης του Καστορίου), που είναι η ποσότητα λυμάτων/φορτίου που διαφεύγει του απορροφητικού βόθρου και καταλήγει στον Ευρώτα.

Στην περίπτωση των βοθρολυμάτων θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει εποχιακή διακύμανση του φορτίου, και για το λόγο αυτό η φόρτιση είναι ίδια και για τους

δώδεκα μήνες του χρόνου. Η εισαγωγή των φορτίων στο μοντέλο SWAT, έγινε για κάθε ένα χωριό ξεχωριστά στην υπολεκάνη στην οποία υπαγόταν και αναγράφεται παρακάτω, με ένα πίνακα της μορφής του Πίνακα Π2 παρακάτω.

Πίνακας Π2 : Φορτία βοθρολυμάτων ανά μήνα, όπως εισήχθησαν στο SWAT

Ημερήσια φόρτιση από τα βοθρολύματα (kg/day) για κάθε μήνα										
		Συγκέντρωση ρύπων στα λύματα (Kg/L * 10 ⁻⁶)								
		SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Χωριά	Ποσότητα Λυμάτων (L/d)	-	13	2.6	0.6	20	0	6.8	181	-
Καστόρι (67)	109350	-	1.422	0.284	0.066	2.187	0.000	0.744	19.792	-
Βορδόνια (78)	58950	-	0.038	0.008	0.002	0.059	0.000	0.020	0.533	-
Πελλάνα (45)	63450	-	0.041	0.008	0.002	0.063	0.000	0.022	0.574	-
Παρόρι (121)	48150	-	0.031	0.006	0.001	0.048	0.000	0.016	0.436	-
Πλατάνα (123)	33000	-	0.021	0.004	0.001	0.033	0.000	0.011	0.299	-
Σκούρα (124)	76650	-	0.050	0.010	0.002	0.077	0.000	0.026	0.694	-
Μαγούλα (106)	221250	-	0.144	0.029	0.007	0.221	0.000	0.075	2.002	-
Μυστράς (111)	72750	-	0.047	0.009	0.002	0.073	0.000	0.025	0.658	-

Ελαιοργεία:

Οι υπολογισμοί έγιναν για 24 από τα 42 ελαιοργεία που βρισκόταν στην περιοχή προσομοίωσης του ποταμού Ευρώτα, για τα οποία υπήρχαν και δεδομένα από τη Διεύθυνση Γεωργίας. Τα ελαιοργεία που δραστηριοποιούνται στην περιοχή προσομοίωσης, η υπολεκάνη στην οποία υπάγονται, η ποσότητα ελαιολάδου που παράγουν το μήνα και η αντίστοιχη παραγωγή αποβλήτων ανά μήνα (τα ελαιοτριβεία φυγοκεντρικού τύπου παράγουν 5m³ αποβλήτου ανά τόνο παραγόμενου ελαιολάδου- Karellakis et al., 2006), παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας Π3 : Παραγόμενη ποσότητα ελαιολάδου και αποβλήτων ανά ελαιουργείο

Αριθμός Υπολεκάνης	Περιοχή	Παραγόμενη ποσότητα ελαιολάδου (tn/month)	Παραγόμενη ποσότητα αποβλήτου (m ³ /month)
45	Πελλάνα	22.1	110.41
56	Πελλάνα	11.8	59.11
65	Αλευρού	17	84.79
71	Καστόρι	11.3	56.48
87	Βορδόνια	21.5	107.59
88	Θεολόγος	51.4	256.87
91	Βουτιάνοι	77.2	385.97
92	Λογγάστρα	69.7	348.303
103	Μυστράς	24.3	121.69
114	Συκαράκι Σπάρτης	8.3	41.71
119	Αγ. Ανάργυροι	9.5	47.63
123	Πλατάνα	67.8	339.08
124	Σκούρα	27.5	137.54
125	Καλύβια Σοχάς	26.6	133.03
134	Γκοριτσά	28.9	144.55
140	Λευκόχωμα	13.4	66.95
141	Ανώγεια	41.4	207.03
	Παλαιοπαναγία	45.1	225.62
	Τραπεζοντή	36.9	184.35
144	Ξηροκάμπι	60.1	300.57
146	Λευκόχωμα	26	130.23
150	Γοράνοι	9.3	46.71
	Δαφνί	11.1	55.27
	Δαφνί	67.4	337.1

Βάσει της σύστασης των αποβλήτων ελαιουργείου, όπως αυτή παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4, έγιναν οι υπολογισμοί για τη μηνιαία φόρτιση της κάθε υπολεκάνης του Ευρώτα στην οποία υπάγονταν κάποιο ελαιωτριβείο (Πίνακες Π4-Π23). Να σημειωθεί ότι τα φορτία υπολογίστηκαν για τους μήνες Νοέμβριο-Μάρτιο που δραστηριοποιούνται τα ελαιουργεία.

Πίνακας Π4 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 45

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 45)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.137	0.712	-	0.356	-	0.712	146.03	-
Φεβ.	-	2.366	0.789	-	0.394	-	0.789	161.68	-
Μαρτ.	-	2.137	0.712	-	0.356	-	0.712	146.03	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.208	0.736	-	0.368	-	0.736	150.897	-
Δεκ.	-	2.137	0.712	-	0.356	-	0.712	146.029	-

Πίνακας Π5 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 56

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 56)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	1.144	0.381	-	0.191	-	0.381	78.178	-
Φεβ.	-	1.267	0.422	-	0.211	-	0.422	86.554	-
Μαρτ.	-	1.144	0.381	-	0.191	-	0.381	78.178	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	1.182	0.394	-	0.197	-	0.394	80.784	-
Δεκ.	-	1.144	0.381	-	0.191	-	0.381	78.178	-

Πίνακας Π6 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 65

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 65)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	1.641	0.547	-	0.274	-	0.547	112.135	-
Φεβ.	-	1.817	0.606	-	0.303	-	0.606	124.149	-
Μαρτ.	-	1.641	0.547	-	0.274	-	0.547	112.135	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	1.696	0.565	-	0.283	-	0.565	115.873	-
Δεκ.	-	1.641	0.547	-	0.274	-	0.547	112.135	-

Πίνακας Π7 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 71

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 71)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	1.093	0.364	-	0.182	-	0.364	74.704	-
Φεβ.	-	1.21	0.403	-	0.202	-	0.403	82.708	-
Μαρτ.	-	1.093	0.364	-	0.182	-	0.364	74.704	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	1.13	0.377	-	0.188	-	0.377	77.194	-
Δεκ.	-	1.093	0.364	-	0.182	-	0.364	74.704	-

Πίνακας Π8 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 87

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 87)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.082	0.694	-	0.347	-	0.694	142.290	-
Φεβ.	-	2.305	0.768	-	0.384	-	0.768	157.535	-
Μαρτ.	-	2.082	0.694	-	0.347	-	0.694	142.290	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.152	0.717	-	0.359	-	0.717	147.033	-
Δεκ.	-	2.082	0.694	-	0.347	-	0.694	142.290	-

Πίνακας Π9 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 88

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 88)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	4.972	1.657	-	0.829	-	1.657	146.029	-
Φεβ.	-	5.504	1.835	-	0.917	-	1.835	376.135	-
Μαρτ.	-	4.972	1.657	-	0.829	-	1.657	146.029	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	5.137	1.712	-	0.856	-	1.712	351.059	-
Δεκ.	-	4.972	1.657	-	0.829	-	1.657	146.029	-

Πίνακας Π10 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 91

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 91)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	7.470	2.490	-	1.245	-	2.490	510.470	-
Φεβ.	-	8.271	2.757	-	1.378	-	2.757	565.163	-
Μαρτ.	-	7.470	2.490	-	1.245	-	2.490	510.470	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	7.719	2.573	-	1.287	-	2.573	527.486	-
Δεκ.	-	7.470	2.490	-	1.245	-	2.490	510.470	-

Πίνακας Π11 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 92

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 92)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	6.741	2.247	-	1.124	-	2.247	460.658	-
Φεβ.	-	7.464	2.488	-	1.244	-	2.488	510.014	-
Μαρτ.	-	6.741	2.247	-	1.124	-	2.247	460.658	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	6.966	2.322	-	1.161	-	2.322	476.013	-
Δεκ.	-	6.741	2.247	-	1.124	-	2.247	460.658	-

Πίνακας Π12 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 103

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 103)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.355	0.785	-	0.393	-	0.785	160.940	-
Φεβ.	-	2.608	0.869	-	0.435	-	0.869	178.183	-
Μαρτ.	-	2.355	0.785	-	0.393	-	0.785	160.940	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.434	0.811	-	0.406	-	0.811	166.305	-
Δεκ.	-	2.355	0.785	-	0.393	-	0.785	160.940	-

Πίνακας Π13 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 114

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 114)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	0.807	0.269	-	0.135	-	0.269	55.162	-
Φεβ.	-	0.894	0.298	-	0.149	-	0.298	61.072	-
Μαρτ.	-	0.807	0.269	-	0.135	-	0.269	55.162	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	0.834	0.278	-	0.139	-	0.278	57.000	-
Δεκ.	-	0.807	0.269	-	0.135	-	0.269	55.162	-

Πίνακας Π14 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 119

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 119)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	0.922	0.307	-	0.154	-	0.307	62.997	-
Φεβ.	-	1.021	0.340	-	0.170	-	0.340	69.746	-
Μαρτ.	-	0.922	0.307	-	0.154	-	0.307	62.997	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	0.953	0.318	-	0.159	-	0.318	65.096	-
Δεκ.	-	0.922	0.307	-	0.154	-	0.307	62.997	-

Πίνακας Π15 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 123

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 123)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	6.563	2.188	-	1.094	-	2.188	448.456	-
Φεβ.	-	7.266	2.422	-	1.211	-	2.422	496.505	-
Μαρτ.	-	6.563	2.188	-	1.094	-	2.188	448.456	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	6.782	2.261	-	1.130	-	2.261	463.404	-
Δεκ.	-	6.563	2.188	-	1.094	-	2.188	448.456	-

Πίνακας Π16 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 124

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 124)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.662	0.887	-	0.444	-	0.887	181.901	-
Φεβ.	-	2.947	0.982	-	0.491	-	0.982	201.391	-
Μαρτ.	-	2.662	0.887	-	0.444	-	0.887	181.901	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.751	0.917	-	0.458	-	0.917	187.965	-
Δεκ.	-	2.662	0.887	-	0.444	-	0.887	181.901	-

Πίνακας Π17 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 125

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 125)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.575	0.858	-	0.429	-	0.858	175.943	-
Φεβ.	-	2.851	0.950	-	0.475	-	0.950	194.794	-
Μαρτ.	-	2.575	0.858	-	0.429	-	0.858	175.943	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.661	0.887	-	0.443	-	0.887	181.808	-
Δεκ.	-	2.575	0.858	-	0.429	-	0.858	175.943	-

Πίνακας Π18 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 134

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 134)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.798	0.933	-	0.466	-	0.933	191.182	-
Φεβ.	-	3.098	1.033	-	0.516	-	1.033	211.666	-
Μαρτ.	-	2.798	0.933	-	0.466	-	0.933	191.182	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.891	0.964	-	0.482	-	0.964	197.555	-
Δεκ.	-	2.798	0.933	-	0.466	-	0.933	191.182	-

Πίνακας Π19 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 140

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 140)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	1.296	0.432	-	0.216	-	0.432	88.550	-
Φεβ.	-	1.435	0.478	-	0.239	-	0.478	98.037	-
Μαρτ.	-	1.296	0.432	-	0.216	-	0.432	88.550	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	1.339	0.446	-	0.223	-	0.446	91.501	-
Δεκ.	-	1.296	0.432	-	0.216	-	0.432	88.550	-

Πίνακας Π20 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 141

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 141)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	11.942	3.981	-	1.990	-	3.981	816.026	-
Φεβ.	-	13.221	4.407	-	2.204	-	4.407	903.457	-
Μαρτ.	-	11.942	3.981	-	1.990	-	3.981	816.026	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	12.340	4.113	-	2.057	-	4.113	843.227	-
Δεκ.	-	11.942	3.981	-	1.990	-	3.981	816.026	-

Πίνακας Π21 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 144

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 144)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	5.817	1.939	-	0.970	-	1.939	397.527	-
Φεβ.	-	6.441	2.147	-	1.073	-	2.147	440.119	-
Μαρτ.	-	5.817	1.939	-	0.970	-	1.939	397.527	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	6.011	2.004	-	1.002	-	2.004	410.778	-
Δεκ.	-	5.817	1.939	-	0.970	-	1.939	397.527	-

Πίνακας Π22 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 146

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 146)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	2.791	0.930	-	0.465	-	0.930	190.692	-
Φεβ.	-	2.521	0.840	-	0.420	-	0.840	172.238	-
Μαρτ.	-	2.791	0.930	-	0.465	-	0.930	190.692	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	2.605	0.868	-	0.434	-	0.868	177.979	-
Δεκ.	-	2.791	0.930	-	0.465	-	0.930	190.692	-

Πίνακας Π23 : Αθροιστική ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από τα ελαιουργεία της υπολεκάνης 150

Ημερήσια φόρτιση από ελαιουργεία για κάθε μήνα (Υπολεκάνη 150)									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	-	8.498	2.833	-	1.416	-	2.833	580.716	-
Φεβ.	-	9.409	3.136	-	1.568	-	3.136	642.936	-
Μαρτ.	-	8.498	2.833	-	1.416	-	2.833	580.716	-
Απρ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Μάης	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουν.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Ιουλ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Αυγ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Σεπτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Οκτ.	-	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-
Νοέμ.	-	8.782	2.927	-	1.464	-	2.927	600.073	-
Δεκ.	-	8.498	2.833	-	1.416	-	2.833	580.716	-

Τέλος στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ετήσια φόρτιση κάθε υπολεκάνης από τα ελαιουργεία.

Πίνακας Π24 : Ετήσια φόρτιση ανά υπολεκάνη από τα ελαιουργεία

Ετήσια φόρτιση από ελαιουργεία ανά υπολεκάνη (tn/yr)									
Αριθμός Υπολεκάνης	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
45	-	0.33	0.1	-	0.1	-	0.1	22.6	-
56	-	0.18	0.06	-	0.03	-	0.1	12.1	-
65	-	0.25	0.08	-	0.04	-	0.1	17.4	-
71	-	0.17	0.06	-	0.02	-	0.1	11.6	-
87	-	0.32	0.11	-	0.1	-	0.1	22.1	-
88	-	0.77	0.26	-	0.1	-	0.3	52.7	-
91	-	1.16	0.39	-	0.2	-	0.4	79.1	-
92	-	1.04	0.35	-	0.2	-	0.3	71.4	-
103	-	0.37	0.12	-	0.1	-	0.1	25	-
114	-	0.13	0.04	-	0.02	-	0.04	8.6	-
119	-	0.14	0.05	-	0.02	-	0.04	9.8	-
123	-	1.02	0.34	-	0.2	-	0.3	69.5	-
124	-	0.41	0.14	-	0.1	-	0.1	28.2	-
125	-	0.40	0.13	-	0.1	-	0.1	27.3	-
134	-	0.43	0.14	-	0.1	-	0.1	29.6	-
140	-	0.20	0.07	-	0.03	-	0.1	13.7	-
141	-	1.85	0.62	-	0.3	-	0.6	126.5	-
144	-	0.90	0.30	-	0.2	-	0.3	61.6	-
146	-	0.39	0.13	-	0.1	-	0.1	26.7	-
150	-	1.32	0.45	-	0.25	-	0.4	90	-

Χυμοποιεία:

Η εισαγωγή των φορτίων του χυμοποιείου «Λακωνία» στο μοντέλο SWAT, έγινε στην υπολεκάνη 128 του ποταμού Ευρώτα -στην οποία και υπαγόταν-, με τη μορφή που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας Π25).

Πίνακας Π25 : Ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα, από το χυμοποιείο Λακωνία

Ημερήσια φόρτιση από το χυμοποιείο Λακωνία για κάθε μήνα									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Φεβ.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Μαρτ.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Απρ.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Μάης	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Ιουν.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ιουλ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Αυγ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σεπτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Οκτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Νοέμ.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34
Δεκ.	--	--	--	16.92	0.22	2.92	0.27	159.59	4.34

Η εισαγωγή των φορτίων του χυμοποιείου «Παπαδημητρακόπουλος» στο μοντέλο SWAT μέχρι και το 2007, έγινε στην υπολεκάνη 106 του ποταμού Ευρώτα (μαζί με τα φορτία του βιολογικού και του χωριού της Μαγούλας), με τη μορφή που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 26).

Πίνακας Π26 : Ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα από το χυμοποιείο Παπαδημητρακόπουλος, μέχρι και το 2007-Υπολεκάνη 106

Μηνιαία Φόρτιση από το χυμοποιείο Παπαδημητρακόπουλος									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Φεβ.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Μαρτ.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Απρ.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Μάης	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Ιουν.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ιουλ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Αυγ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σεπτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Οκτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Νοέμ.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49
Δεκ.	--	--	--	30.42	7.88	5.07	5.27	1367.18	13.49

Στη συνέχεια και για τη χρονική περίοδο 2009-2010, τα φορτία εισήχθησαν στην υπολεκάνη 146 (μαζί με τα φορτία από το ελαιουργείο), όπου και μεταφέρθηκε (Πίνακας Π27).

Πίνακας Π27 : Ημερήσια φόρτιση ανάλογα το μήνα από το χυμοποιείο
Παπαδημητρακόπουλος, έτη 2009-2010-Υπολεκάνη 146

Μηνιαία Φόρτιση από το χυμοποιείο Παπαδημητρακόπουλος									
Χ.Π.(Kg/d)	SED	ORGN	ORGP	NO ₃	NH ₃	NO ₂	MINP	BOD	DO
Μήνες									
Ιαν.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Φεβ.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Μαρτ.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Απρ.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Μάης	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Ιουν.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ιουλ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Αυγ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Σεπτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Οκτ.	--	--	--	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Νοέμ.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7
Δεκ.	--	--	--	6.084	1.58	1.014	1.053	273.43	2.7