



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μοντελοποίηση ροής και μεταφοράς αγροχημικών στην κορεσμένη
εδαφική ζώνη με χρήση του μοντέλου MIKESHE. Εφαρμογή στη
λεκάνη απορροής του ποταμού Κερίτη.»**

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Καρατζάς Γεώργιος (επιβλέπων καθηγητής)

Παρανυχιανάκης Νικόλαος

Κουργιαλάς Νεκτάριος

Χανιά,

Μάρτιος 2014

Στους γονείς μου
Ευαγγελία & Ιωάννη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Καρατζά Γεώργιο για όλη την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Dr. Κουργιαλά Νεκτάριο για την άριστη συνεργασία, για όλες τις γνώσεις που μου παρείχε κατά την εκμάθηση του προγράμματος καθώς και την πολύτιμη βοήθειά του για την επίλυση των όποιων προβλημάτων παρουσιάστηκαν.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Ζωή, Νίκο, Δήμητρα, Εύη, Αλέξανδρο, Αργύρη και Ζώη για όλη την συναισθηματική και ψυχολογική υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν κατά την διάρκεια όλων των χρόνων φοίτησής μου στα Χανιά. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά την φίλη μου την Λίνα για όλες τις όμορφες στιγμές γέλιου, χαράς και αγάπης που έχω περάσει μαζί της.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική εργασία μου στους γονείς μου Ευαγγελία και Ιωάννη καθώς και στα αδέρφια Βασίλη και Ελευθερία για όλη την ηθική και συναισθηματική υποστήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση της ροής και η μεταφορά αγροχημικών στην κορεσμένη ζώνη του κατάντη τμήματος της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη, περιοχή που αποτελεί το πιο καλλιεργήσιμο και παραγωγικό τμήμα του Ν. Χανίων. Για τη συγκεκριμένη μοντελοποίηση θα γίνει χρήση του υδρολογικού μοντέλου MIKESHE.

Το χρονικό διάστημα προσομοίωσης, καθορίστηκε στον έναν χρόνο (Σεπτέμβριος 2011-Σεπτέμβριος 2012).

Αρχικά στο μοντέλο MIKESHE εισήχθησαν ψηφιοποιημένοι χάρτες (μέσω του προγράμματος ArcGIS), οι οποίοι περιείχαν δεδομένα για την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης και πληροφορίες σχετικά με την γεωλογία και την εδαφολογία της περιοχής. Εισήχθησαν επίσης μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία προήλθαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αλικιανού. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα στάθμης υπογείων υδάτων από γεωτρήσεις στο κατάντη τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη. Τα συγκεκριμένα δεδομένα υπόγειας στάθμης ψηφιοποιήθηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί χωρικά το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Επιπλέον, δεδομένα στάθμης υπογείων υδάτων από γεωτρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία βαθμονόμησης και επαλήθευσης της υπόγειας ροής μέσω του μοντέλου MIKESHE.

Η προσομοίωση της ροής στην κορεσμένη ζώνη πραγματοποιήθηκε με την επίλυση της εξίσωσης ροής(μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών), ενώ η προσομοίωση αγροχημικών στην κορεσμένη ζώνη πραγματοποιήθηκε μέσω των εξισώσεων μεταφοράς μάζας, ρόφησης και βιολογικής αποδόμησης, με τη χρήση της ίδιας αριθμητικής μεθόδου.

Μετά την επιτυχημένη βαθμονόμηση της υπόγειας ροής ακολούθησε η μοντελοποίηση της μεταφοράς αγροχημικών στην κορεσμένη ζώνη, με τη χρήση διαφορετικών υποθετικών σεναρίων εφαρμογής γεωργικών φαρμάκων. Κριτήριο για την επιλογή των αγροχημικών ήταν η ευρεία εφαρμογή στο χώρο των δένδρων καλλιεργειών και ο διαφορετικός χρόνος ημιζωής. Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων τα εφαρμοζόμενα υποθετικά σενάρια σχετίζονταν με τη διαφορετική φύση του αγροχημικού, τη συγκέντρωση εφαρμογής, και τις διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας παρουσιάζονται σε μορφή γραφημάτων χωροχρονικής μεταβολής τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ορθολογική διαχείριση του υδατικού δυναμικού καθώς και την σωστή χρήση και εφαρμογή γεωργικών φαρμάκων με γνώμονα την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής αλλά και την προστασία της ποιότητας των υπογείων υδάτων. Επιπλέον, η παρούσα μοντελοποίηση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση των αρδευτικών πρακτικών και την αποφυγή κατασπατάλησης του ύδατος.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the simulation of flow and pesticide transport of agrochemicals in the saturated zone of the downstream area of Keritis River basin, which is the most cultivated and productive part of Chania. In order to simulate the underground flow, the hydrological model MIKE SHE was used.

The simulation period was determined for one year (September 2011- September 2012).

Initially, digitalized maps were introduced to the program MIKE SHE (through the ArcGIS program) which contains data for the delineation of the study area and information regarding the geology and soil of the area. Meteorological data were also introduced into the program, which were obtained from the meteorological station of the district Alkianou. Furthermore, ground water data from boreholes were used. These data were digitized to assess the spatial depth of the aquifer at the beginning of the simulation. Also, groundwater levels were used for calibration and verification of the model.

The flow simulation in the saturated zone was performed through resolution algorithm using the finite differences method, while the simulation of agrochemicals held by the equations of mass transfer, sorption and decay.

First, an accurate calibration of the groundwater flow model was performed, following by the transport of agrochemicals for different scenarios of pesticide application. The selection criterion for the agrochemical was the wide use in the field of tree crops and the different half-life. For better comparison of the results, several scenarios related to the different nature of the agrochemical, the input concentration and different climate conditions were examined.

The results of this study are presented in a graphical form of the spatiotemporal variation which could be used for the optimal management of water resources as well as for the proper use of pesticides. Moreover, the modeling could become a tool for an optimal groundwater management approach.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	4
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	5
1.2.1 ΚΑΝΟΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	7
1.2.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΆΛΛΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	7
1.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	8
1.3.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	9
1.3.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	9
1.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ	11
1.4.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12
1.4.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	12
1.5 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	15
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	15
2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	15
2.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	17
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	18
2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	19
2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	21
2.5 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE SHE	24
3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	24
3.1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	27
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MIKE SHE	28
3.2.1 ΡΟΗ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ, ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ	28
3.2.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΥΠΟΥ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	30
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	35

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	35
4.2 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΕΡΙΤΗ.....	35
4.2.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΕΡΙΤΗ.....	35
4.2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΕΡΙΤΗ.....	38
4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (Π1).....	41
4.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	43
 5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΚΕ SHE	44
 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΚΕ SHE	44
5.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΚΕ SHE-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ.....	45
5.1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΚΕ SHE, ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΥΠΟΥ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ.....	55
 6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΕΝΑΡΙΑ	61
 6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο: ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10%.....	61
6.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΤΑ 10%	61
6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3^ο: ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΙΖΩΗΣ	62
6.4 ΣΥΝΔΙΑΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	62
6.4.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 4 ^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10%.....	63
6.4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 5 ^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΙΖΩΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10%.....	63
6.4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 6 ^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΙΖΩΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΤΑ 10%.....	63
6.4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 7 ^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΙΖΩΗΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΤΑ 10%	63
 7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	64
 7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ	64
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΗ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ-ΣΕΝΑΡΙΑ.....	67
7.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΡΥΠΟΥ (ΜΕΤΗΟΜΥΛ/ΛΑΝΝΑΤΕ) #7.1 (ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ)	68
7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΥΞΗΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (ΜΕΤΗΟΜΥΛ/ΛΑΝΝΑΤΕ) #7.2.....	70
7.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (ΜΕΤΗΟΜΥΛ/ΛΑΝΝΑΤΕ) #7.3 ..	72
7.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΥΞΗΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (ΜΕΤΗΟΜΥΛ/ΛΑΝΝΑΤΕ) #7.4....	74
7.2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟ ΗΜΙΖΩΗΣ 90DAYS (DIURON/ΚΑΡΜΕΧ) #7.5 (ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ)	76

7.2.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟ ΗΜΙΖΩΗΣ 90DAYS ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (DIURON/KARMEX) #7.6.....	78
7.2.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟ ΗΜΙΖΩΗΣ 90DAYS ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (DIURON/KARMEX) #7.7	80
7.2.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟ ΗΜΙΖΩΗΣ 90DAYS, ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10% (DIURON/KARMEX) #7.8	82
8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύνολο του νερού πάνω στη γη βρίσκεται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των τριών φάσεων του (υγρής, στερεάς και αέριας) και συγχρόνως σε μια κατάσταση διαρκούς κυκλοφορίας γνωστή ως υδρολογικός κύκλος. Το νερό που φτάνει στην επιφάνεια της γης εισέρχεται στο υπέδαφος λόγω βαρύτητας, εκεί που τα πετρώματα είναι υδροπερατά, οπότε και δημιουργεί υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Το μέρος εκείνο του νερού που δεν εισέρχεται στο υπέδαφος απορρέει επιφανειακά και δημιουργεί ποτάμια ή ρέματα (χείμαρρους), ή λιμνάζει στην επιφάνεια της γης. Τόσο τα υπόγεια όσο και τα επιφανειακά νερά είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα επιφανειακά νερά κατά τη διαδρομή τους μέσα από υδροπερατά πετρώματα τροφοδοτούν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και αντίστροφα τα υπόγεια νερά έρχονται στην επιφάνεια μέσω των πηγών δημιουργώντας επιφανειακά ποτάμια συστήματα ή ρέματα. Σε σχέση με τους άλλους υπόγειους φυσικούς πόρους όπως είναι μεταλλεύματα, υδρογονάνθρακες κλπ τα υπόγειανερά έχουν το πλεονέκτημα της ανανέωσης αλλά και το μειονέκτημα της ρύπανσης.

Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων προκύπτει από την αύξηση του πληθυσμού και τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή αλλά και από την ανάπτυξη που δημιουργεί δραστηριότητες και επομένως μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Αν τα φαινόμενα αυτά συνδυαστούν με την περιορισμένη ποσότητα γλυκού νερού στον πλανήτη (περίπου 0.33% της συνολικής ποσότητας νερού στην Γή) κάνουν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης που αποβλέπουν στην βέλτιστη διάθεση των υδατικών πόρων (Τσακίρης, 2006).

Επομένως μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός δύο ειδών δραστηριότητας που αφορούν τους υδατικούς πόρους. Η πρώτη αφορά τα “έργα” και αναφέρεται στα έργα ανάπτυξης υδατικών πόρων (δίκτυα ύδρευσης, γεωτρήσεις κ.α.) καθώς και στα έργα διατήρησης του ελέγχου των υδατικών πόρων (αντιπλημμυρικά έργα, έργα βιολογικού καθαρισμού). Η δεύτερη δραστηριότητα αφορά την διαχείριση υδατικών πόρων για την εξασφάλιση της βέλτιστης χρήσης νερού σήμερα αλλά και στο μέλλον (Τσακίρης, 2006) .

1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ) νοείται μια δυναμική διαδικασία που αποβλέπει στην πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών για κάθε χρήση, βάση προγραμματισμού που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες. Όμως με το πέρασμα του χρόνου, ο ορισμός της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων άλλαξε δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στην ποιότητά τους και όχι τόσο στην ποσότητα και στην επάρκεια αυτών.

Συνεπώς, η Διαχείριση Υδατικών Πόρων έχει ως στόχο:

- **Την εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας νερού και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση ζητούμενων αναγκών**

Η γνώση των φυσικών μηχανισμών ανανέωσης των υδατικών αποθεμάτων στο πλαίσιο του υδρολογικού κύκλου, η προσομοίωση της λειτουργίας των συστημάτων υδατικών πόρων και η πρόγνωση της συμπεριφοράς τους για διάφορα πιθανά σενάρια μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών, οδηγεί στον προσδιορισμό του υπάρχοντος υδατικού δυναμικού και βοηθά στην αντικειμενική εκτίμηση των δυνατοτήτων του. Αποτέλεσμα αυτής της σύνθετης διαδικασίας αποτελεί η καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού αλλά και η δυνατότητα αναζήτησης και εντοπισμού νέων πηγών νερού, προκειμένου να καλυφθούν με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο οι σημερινές και όσο το δυνατόν, οι μελλοντικές ανάγκες σε νερό. Ο σχεδιασμός και η εκτέλεση έργων συλλογής και αποθήκευσης, αναρρύθμισης και διευθέτησης καθώς και μεταφοράς, διανομής και εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, αποτελεί το τελευταίο στάδιο αυτής της διαδικασίας αξιοποίησης και διευθέτησης της φυσικής προσφοράς του νερού σε σχέση με τη ζήτηση (Αντωνόπουλος, 2000).

- **Την προστασία των υδατικών πόρων από την ρύπανση**

Εκτός της προστασίας του περιβάλλοντος και τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας, η διατήρηση της ποιότητας του νερού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την κάλυψη της ζήτησης και την ικανοποίηση των αναγκών. Στη σύγχρονη νομοθεσία η ρύπανση του νερού υπολογίζεται ως μια ακόμη ανταγωνιστική χρήση, καθώς πρακτικά έχει τη δυνατότητα να δεσμεύει τους υδατικούς πόρους και να εμποδίζει την περαιτέρω αξιοποίησή τους. Ο σχεδιασμός των έργων προστασίας ή και αποκατάστασης των υδατικών πόρων καθώς και η εκτίμηση των επιπτώσεων στα υδατικά συστήματα από την εκτέλεση και λειτουργία των υδραυλικών έργων ή

και άλλου είδους τεχνικών έργων αποτελεί μείζονος σημασίας πεδίο της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων.

- **Η διευθέτηση της ζήτησης του νερού σε σχέση με τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων.**

Ο καθορισμός δηλαδή των αναγκών και των δραστηριοτήτων που καταναλώνουν νερό, σύμφωνα με τις φυσικές δυνατότητες των υδατικών πόρων. Η καταγραφή των υπαρχουσών χρήσεων του νερού και η γνώση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού μπορεί να συμβάλει τα μέγιστα στη χάραξη μιας ορθολογικής πολιτικής διαχείρισης υδατικών πόρων προσαρμόζοντας τις σχετικές επενδύσεις στις φυσικές δυνατότητες των υπό μελέτη περιοχών.

Για την επίτευξη των προαναφερθέντων λόγων, έχουν χρησιμοποιηθεί πολυάριθμες μέθοδοι για την εύρεση “βέλτιστων” λύσεων που αφορούν την διάθεση των υδατικών πόρων, αναλύοντας τον περίπλοκο φυσικό χώρο σε υποσυστήματα με την ανάλυση των οποίων επιτυγχάνεται πιο εύκολα η βέλτιστη αποδεκτή λύση (Haimesetal., 1984; Shamir 1983; Maasetal., 1962).

Οι προοπτικές ανάπτυξης διαφόρων χωρών του κόσμου και η μελλοντική τους συντήρηση, απαιτούν την εύλογη διαχείριση του καθώς και τήρηση καλής ποιότητας πόσιμου νερού. Κατά συνέπεια, οδηγούμαστε στην ανάγκη για ανεύρεση “βέλτιστων” λύσεων. Προκύπτει επομένως, η ανάγκη ανεύρεσης διαθέσιμων υδατικών πόρων και τρόπων για την καλύτερη χρήση του διαθέσιμου νερού.

Πρέπει όμως να σημειωθεί, πως παρά το γεγονός ότι η ανάγκη για διαχείριση υδατικών πόρων και ανεύρεση βέλτιστων λύσεων μέσω προγραμμάτων είναι αδιαμφισβήτητη, λίγα από αυτά έχουν εφαρμοσθεί. Κύριες δυσκολίες για την δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος είναι οι ακόλουθες (Αντωνόπουλος, 2000):

- Τα υδατικά ισοζύγια έχουν πολλαπλούς στόχους, χρήσεις και λειτουργίες.
- Η θεώρηση των επιστημονικών και τεχνολογικών απόψεων των υδατικών συστημάτων αποτελεί αναγκαία συνθήκη για τον επιτυχή σχεδιασμό αλλά όχι ικανή εξ’ ολοκλήρου διότι παρεμβαίνουν θεσμικές και πολιτικές απόψεις.
- Τα περισσότερα υδατικά συστήματα χαρακτηρίζονται από στοιχεία αβεβαιότητας και επικινδυνότητας.

- Για την αποτελεσματική δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων απαιτείται αποδοτικός συντονισμός από ειδικούς πολλών επιστημονικών κλάδων όπως υδρολόγοι, μηχανικοί, κλπ.

1.2.1 Κανόνες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Οι βασικοί κανόνες διαχείρισης υδατικών πόρων βασίζονται στην βέλτιστη χρήση νερού για το σήμερα καθώς και για το μέλλον με αρχές δικαίου και στόχο την διατήρηση των πόρων. Επιγραμματικά κάποιοι βασικοί κανόνες διαχείρισης είναι:

- Ισομερής κατανομή μεταξύ των χρηστών βάση αντικειμενικών κριτηρίων.
- Οικονομική βελτιστοποίηση της χρήσης νερού σήμερα αλλά και για το μέλλον.
- Αποφυγή αρνητικών συνεπειών στο περιβάλλον.
- Βιωσιμότητα για οποιαδήποτε ανάπτυξη.

Τα αντικειμενικά κριτήρια ποικίλουν ανάλογα με την χώρα, τον πολιτισμό, το σύστημα εξουσίας κ.λπ.. Βάση αυτών των κριτηρίων γίνεται η βελτιστοποίηση που στηρίζεται σε μαθηματικές μεθόδους (αναλυτικές ή προσομοίωσης), σε διάφορες χρονικές περιόδους για τους υδατικούς πόρους και το μέλλον αυτών. Βέβαια, πρέπει να τονισθεί ότι ο τομέας του νερού θα πρέπει να εξετάζεται σε συνδυασμό με άλλους τομείς (οικονομικούς, κοινωνικούς) οι οποίοι επηρεάζουν ή επηρεάζονται από τον τομέα του νερού. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία αποτελούν οι κανόνες που αναφέρονται στην διατήρηση των πόρων και του περιβάλλοντος που εξασφαλίζουν βιώσιμη ανάπτυξη (sustainable development).

Η υπερκατανάλωση ή η κακή χρήση του νερού στο παρελθόν, έχει οδηγήσει σε καταστροφές τόσο του περιβάλλοντος όσο και των υδατικών πόρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η καταστροφή των υπόγειων υδροφορέων με την είσοδο αλμυρής σφήνας λόγω υπεράντλησης σε παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες είναι πιο επιρρεπείς στο πρόβλημα αυτό λόγω γεωλογικών συνθηκών (Αντωνόπουλος, 2000).

1.2.2 Αλληλεπίδραση Υδατικών Πόρων με άλλα Υποσυστήματα

Η διαχείριση υδατικών πόρων ουσιαστικά αποτελεί ένα τμήμα της διαχείρισης των φυσικών πόρων, συνεπώς στις περιπτώσεις όπου επιδρά στα άλλα υποσυστήματα, ρόλος της είναι όχι μόνο να εκτιμήσει της επιδράσεις αλλά και να τις διαχειριστεί. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη ώστε η ΔΥΠ να αναπτυχθεί σε ένα πλαίσιο πέρα από αυτό των υδατικών πόρων. Επιπλέον, η

διαδικασία εκτίμησης των επιπτώσεων στα άλλα υποσυστήματα των φυσικών πόρων αλλά και άλλους τομείς όπως οικονομικούς και κοινωνικούς, θα πρέπει να αντικατασταθεί με πιο περίπλοκες διαδικασίες που λαμβάνουν υπόψη τους και άλλα υποσυστήματα εκτός αυτών των υδατικών πόρων.

Η περιπλοκότητα αυτής της διαχείρισης των υδατικών πόρων στην σύγχρονη εποχή έχει δημιουργήσει την ανάγκη για έρευνα, τεχνολογική ανάπτυξη και άλλες δραστηριότητες μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- Εκτίμηση υδατικών πόρων (ανακάλυψη νέων και μη συμβατικών),
- Αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση του νερού,
- Μεγαλύτερος έλεγχος της ποιότητας των υδατικών πόρων,
- Συνεχής εγρήγορση για πιθανές αλλαγές στο κλίμα,
- Σύγχρονη νομοθεσία που να λαμβάνει υπόψη τις αλλαγές που έχουν συντελεστεί στον τομέα του νερού,
- Εκπαίδευση και επιμόρφωση,
- Ενίσχυση της έρευνας και της τεχνολογίας,
- Διαρκής ενημέρωση του κοινού,
- Αποκέντρωση υπηρεσιών που ασχολούνται με το νερό.

1.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Το νερό είναι μοναδικός φυσικός πόρος, τόσο διότι είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών, όσο και για την διατήρηση του πλανήτη Γή.

Το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων, όπως και οποιουδήποτε άλλου φυσικού πόρου, στηρίζεται στην τεχνοκρατική αντίληψη, σύμφωνα με την οποία σημασία έχει η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος και συνεπώς κάθε φυσικός πόρος αποτελεί μία από τις συνιστώσες της ανάπτυξης αυτής. Το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας εφαρμογής του μοντέλου αυτού εκδηλώνεται ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες περιοχές, με την ανεπάρκεια νερού, η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητάς του.

Ο όρος “ποιότητα νερού” δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη αξία διότι υπόκειται σε συνεχείς μεταβολές εφόσον πρέπει να θεωρείται και να μελετάται σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και διαφορετικές χρήσεις του νερού. Με την λεπτομερή ανάλυση της ποσότητας και της

ποιότητας του νερού καθώς και των διαφορετικών χρήσεων μπορεί να γίνει η εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας ή της ανεπάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων(Αντωνόπουλος, 2001).

1.3.1 Ποιότητα Υδατικών Πόρων

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και των διαφόρων χρήσεων νερού. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αναγνώριση του προβλήματος της ρύπανσης δεν ήταν εφικτή και χρειάστηκε αρκετός χρόνος μέχρις ότου το πρόβλημα γίνει φανερό και μετρήσιμο έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι έλεγχοι.

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα με την ανάπτυξη της βιομηχανίας, εμφανίστηκε στα μεγάλα ποτάμια της Ευρώπης, το πρόβλημα της σοβαρής εποχιακής μείωσης του οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτωση των ποταμών με αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης, γεγονός το οποίο προκάλεσε γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα διαφορετικής μορφής, έκτασης και έντασης ποιοτικά προβλήματα (ευτροφισμός, συσσώρευση βαρέων μετάλλων και οργανικών μικρορύπων, όξυνση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών). Άλλα προβλήματα που εμφανίστηκαν την περίοδο αυτή, όπως ατμοσφαιρική μεταφορά αερίων ρύπων από τις καύσεις ορυκτών καυσίμων, όξυνση λιμνών και ποταμών και μεταφορά των ρύπων αυτών στα υπόγεια νερά(Αντωνόπουλος, 2001).

1.3.2 Πηγές Ρύπανσης Υπόγειων Νερών

Η διαμόρφωση της ποιότητας του νερού στο έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς εξαρτάται από τη μεταφορά μάζας των διαφόρων ουσιών και στοιχείων που την καθορίζουν. Η ποιότητα του υπόγειου και εδαφικού νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση, με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση, και στους μικροοργανισμούς. Η διαμόρφωση της σύστασης του νερού γενικά είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών, βιολογικών διαδικασιών και ανθρώπινης επέμβασης, είτε με την απευθείας εισαγωγή χημικών και βιολογικών ουσιών στα υπόγεια νερά, είτε έμμεσα επεμβαίνοντας στις φυσικές διαδικασίες που επηρεάζουν το σύστημα των υπόγειων νερών (π.χ. η εισροή θαλασσινού νερού). Η χημική σύσταση του φυσικού υπόγειου νερού εξαρτάται μόνο από τις φυσικές διαδικασίες και είναι αποτέλεσμα της υδρογεωλογικής και γεωχημικής ιστορίας του. Η ανθρώπινη παρέμβαση

προσδιορίζεται σε περιοχές με σημαντική χρήση της γης, όπως στις αστικοποιημένες περιοχές, μεταλλεία και αγροτικές περιοχές.

Το νερό, είτε προέρχεται από τις βροχοπτώσεις ή από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται/διατίθενται στο έδαφος είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς ρυπαντών μέσα στο έδαφος. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και διαμέσου της ακόρεστης ζώνης κινείται προς τους υπόγειους υδροφορείς, όπου διακλαδίζεται προς διάφορες διευθύνσεις ανάλογα με τις συνθήκες ροής που επικρατούν στον υδροφορέα. Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού. Με την παρέλευση του χρόνου η τύχη του ρυπασμένου νερού έχει ως εξής: είτε να μειώνεται μέσα στον υδροφορέα ή το ρυπασμένο νερό να οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή να εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (όπως είναι ποτάμια, λίμνες, θάλασσα).

Σημαντικά αίτια υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών μπορούν να αποτελέσουν τα εξής:

- Η ταφή στερεών αποβλήτων λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από την μάζα των αποβλήτων,
- Η άρδευση σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα με την μεταφορά και εναπόθεση ανόργανων ενώσεων και αλάτων στην ακόρεστη ζώνη,
- Η εφαρμογή λιπασμάτων στο έδαφος, τα οποία περιέχουν ανόργανα στοιχεία και προκαλείται αύξηση των λιπασματικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα,
- Η εφαρμογή αγροχημικών λόγω υψηλής τοξικότητας και ποσότητας, μεγάλου χρόνου παραμονής καθώς και τρόπου εφαρμογής στο έδαφος,
- Η εδάφια διάθεση λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων, εφόσον τα ζωικά και ανθρώπινα λύματα και απόβλητα αποτελούν σημαντική πηγή μικροοργανισμών,
- Οι υδρόφοβοι ρύποι NAPLS (LNAPLS-DNAPLS), οι οποίοι έχουν την ικανότητα να ρυπαίνουν μεγάλους όγκους νερού λόγω της μικρής δυνατότητας απομάκρυνσής τους, και
- Η μεταβολή υδραυλικής ισορροπίας λόγω της άντλησης και υπεράντλησης των υπόγειων νερών που οδηγεί στην εισροή νερών χαμηλής ποιότητας.

Η ρύπανση και η μόλυνση των υδατικών πόρων αποτελεί ένα πρόβλημα μείζονος σημασίας σε διεθνές επίπεδο. Η μόλυνση του νερού από παθογόνους μικροοργανισμούς είναι το κύριο πρόβλημα στις περισσότερες υπανάπτυκτες και αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ η χημική ρύπανση

του νερού έχει ανακύψει σαν εξίσου σοβαρή απειλή σ' όλες τις χώρες με γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη(Αντωνόπουλος, 2000).

1.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (2000/60/ΕΚ).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, κατανοώντας τη σημασία της προστασίας και διατήρησης του υδατικού περιβάλλοντος στην Κοινότητα προχώρησε στην εκπόνηση της Οδηγίας που θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ε.Ε.. Οι πρώτες σχετικές οδηγίες θεσπίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970, μετά από μακρόχρονη περίοδο συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και μετά από πλήθος εκδοθέντων κοινοτικών οδηγιών για την προστασία των υδατικών πόρων, τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου του 2000 η Νέα Οδηγία.

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, αναμορφώνει την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και θέτει το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκανών απορροής, με βάση την αειφορία. Βασικός στόχος της οδηγίας, από πλευράς κρατών-μελών, είναι η υλοποίηση μιας βιώσιμης πολιτικής για τους υδατικούς πόρους τόσο με την αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων όσο και με την επίτευξη μιας βελτιωμένης κατάστασης για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό έως το 2015. Η οδηγία 2000/60/ΕΚ ορίζει ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογής υπερβαίνοντας τον αποσπασματικό χαρακτήρα των προηγούμενων ρυθμίσεων, προχωρώντας σε μια ενιαία προσέγγιση του προβλήματος (Χατζηευαγγέλου, 2005).

Η βασική μονάδα της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων είναι η Λεκάνη Απορροής ποταμού. Βάση Οδηγίας Πλαίσιο 60/2000 άρθρο 2, παρ. 13, η λεκάνη απορροής ορίζεται σαν μια εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής του νερού μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού. Η Οδηγία ορίζει στα κράτη – μέλη ότι θα πρέπει να ορίσουν τα υδατικά διαμερίσματα στο πλαίσιο της επικράτειάς τους, με βάση τις επιμέρους λεκάνες απορροής και για κάθε λεκάνη θα πρέπει να καταρτισθεί ένα Σχέδιο Διαχείρισης. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η

δυνατότητα για μια πιο ολοκληρωμένη παρατήρηση και ανάλυση φυσικών χαρακτηριστικών, επιφανειακών και υπογείων υδάτων. Πραγματοποιείται πιο εύκολα ο έλεγχος για τις διάφορες ανάγκες σε νερό καθώς και εξισορρόπηση προτεραιοτήτων με κατάλληλα διαχειριστικά σενάρια ζήτησης. Επίσης, γίνεται συγχρονισμός των μέτρων προστασίας των υδάτων λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη τις ιδιαιτερότητες του υδατικού δυναμικού της κάθε λεκάνης απορροής (ποσοτική και ποιοτική κατάσταση), τα προβλήματα που εμφανίζει αλλά και τις ιδιαιτερότητες των αναγκών σε νερό (Κουτούπα-Ρεγκάκου, 2008).

1.4.1 Προβλήματα Εφαρμογής στην Ελλάδα

Ωστόσο, η εφαρμογή της Οδηγίας στον Ελλαδικό χώρο είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Ορισμένες ιδιαιτερότητες που υπάρχουν στη χώρα μας είναι η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, η άνιση κατανομή του πληθυσμού, η εποχιακή ζήτηση, η εκτεταμένη ακτογραμμή που υπάρχει στη χώρα μας, οι πολλές λεκάνες απορροής μικρού μεγέθους που θα πρέπει να τις εντάξουμε μέσα σε κάποια μεγαλύτερη λεκάνη απορροής, ο μεγάλος αριθμός περιοχών με προβλήματα έλλειψης νερού, η υπερεκμετάλλευση και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων που παρουσιάζονται σε ορισμένες περιοχές, η γεωργία ως μεγάλος χρήστης νερού, η ανεπάρκεια που παρατηρείται στις διοικητικές και τεχνικές υποδομές, ο κατακερματισμός των αρμοδιοτήτων, οι οποίες αλληλεπικαλύπτονται, το ελλειπές και μη υλοποιημένο σε μεγάλο βαθμό θεσμικό πλαίσιο που ίσχυε έως σήμερα και η μικρή εμπειρία και ευαισθητοποίηση του κοινού στις συμμετοχικές διαδικασίες. Αυτά τα στοιχεία εμποδίζουν την εφαρμογή της Οδηγίας στα πλαίσια που αυτή απαιτεί και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν σχέδια εναρμόνισής της στις ελληνικές συνθήκες (Ευρωπαϊκή Οδηγία, 2009).

1.4.2 Προβλήματα Εφαρμογής στην Κρήτη

Συγκεκριμένα η Κρήτη παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες και προβλήματα ως προς την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας (2000/60/EK). Παρόλο που ως υδατικό διαμέρισμα είναι πλεονασματική σε υδατικούς πόρους σε σύγκριση με τις ανάγκες της, πολλοί παράγοντες συντελούν όχι μόνο στη σημαντική μείωση της πραγματικής διαθέσιμης ποσότητας υδάτων αλλά και δυσχεραίνουν την αξιοποίησή τους. Συνοπτικά, ως σημαντικότεροι παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν οι εξής (Ευρωπαϊκή Οδηγία, 2009):

- Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων γεωγραφικά, καθώς έχουμε διαφοροποίηση τόσο στο ύψος των βροχοπτώσεων από περιοχή σε περιοχή, όσο και στην κατανάλωση νερού.
- Η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης ύδατος στο χρόνο, η οποία μάλιστα αυξάνεται την ξηρή περίοδο (αρδευτική περίοδος, διπλασιασμός ποσότητας ύδρευσης κατά την τουριστική περίοδο).
- Η γεωμορφολογία της Κρήτης, η οποία χαρακτηρίζεται από πολλά μικρά υδατορέματα – χείμαρρους και επιφανειακή απορροή μικρής διάρκειας.
- Η γεωλογική δομή της, που λόγω της ανθρακικής σύστασης των ορεινών όγκων, ευνοεί την κατείσδυση και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού στους υπόγειους καρστικούς υδροφορείς.
- Η υφαλμύριση αφενός των μεγάλων καρστικών πηγών της ανατολικής ακτής (Αλμυρός Ηρακλείου, Αλμυρός Αγίου Νικολάου, πηγές Μαλαύρας κλπ) από φυσικά αίτια και αφετέρου των παράκτιων υδροφορέων λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης.
- Η υπερεκμετάλλευση των προσχωματικών λεκανών του νησιού με την συνακόλουθη πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων.
- Η ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων από διάφορους ανθρωπογενείς παράγοντες (γεωργία, βιομηχανία κ.α.).

1.5 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

Ένα σημαντικό τμήμα της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, αποτελεί η διαχείριση των υπογείων υδάτων. Η κορεσμένη ζώνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο τροφοδοτώντας υδατικούς αποδέκτες όπως λίμνες, ποτάμια και την θάλασσα. Κατά συνέπεια κρίνεται επιτακτική η ποσοτική και ποιοτική διαχείριση των υπόγειων υδάτων.

Η διαχείριση της κορεσμένης ζώνης είναι σημαντική επίσης λόγω της συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης νερού για την κάλυψη ανθρωπίνων αλλά και αγροτικών αναγκών (άρδευση). Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί το φαινόμενο της ανεξέλεγκτης άντλησης (υπεράντληση) νερού από υπόγειους υδροφορείς με σκοπό την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξάντληση των αποθεμάτων των υπόγειων υδάτων και

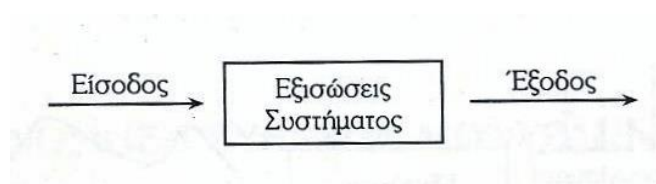
κατά συνέπεια την διατάραξη της ισορροπίας του υδρολογικού κύκλου. Επιπλέον, με το φαινόμενο της υπεράντλησης υπάρχει ο κίνδυνος υφαλμύρισης των υπόγειων νερών, κυρίως σε παραθαλάσσιες περιοχές, με αποτέλεσμα η υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Επιπρόσθετα τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί έντονα το φαινόμενο της ανεξέλεγκτης χρήσης αγροχημικών, τα οποία δύναται να διεισδύσουν στα υπόγεια ύδατα και μέσω των αντλήσεων από γεωτρήσεις ή μέσω της υπόγειας ροής να έχουν ως τελικό άμεσο ή έμμεσο αποδέκτη τον άνθρωπο. Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να μελετηθεί η μεταφορά αγροχημικών στην κορεσμένη ζώνη μιας γεωργικής περιοχής και ταυτόχρονα να απαντηθούν κάποια ερωτήματα που σχετίζονται με ορθή χρήση των αγροχημικών στα πλαίσια διαφόρων σεναρίων εφαρμογής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο :ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα υδρολογικά μοντέλα αποτελούν απλουστευμένες αναπαραστάσεις των διεργασιών που πραγματοποιούνται σε έναν υδρολογικό κύκλο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για υδρολογικές προβλέψεις και για την κατανόηση υδρολογικών διεργασιών σε κατάλληλη χωρική και χρονική κλίμακα.



Εικόνα 2.1: Γενική αναπαράσταση μοντέλου (Τσακίρης, 1995)

Όπου,

Είσοδος: Μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσεις, θερμοκρασία, άνεμος κλπ.)

Εξισώσεις συστήματος: Σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, επιφανειακή απορροή, ενδιάμεση απορροή, εδαφική υγρασία, αποθήκευση υπόγειου ορίζοντα).

Έξοδος: Απορροή

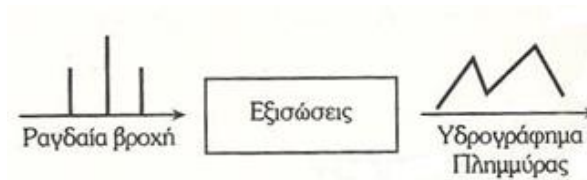
Γενικά το πεδίο εφαρμογής των υδρολογικών μοντέλων είναι η λεκάνη απορροής ή ο υπόγειος υδροφορέας. Όπου, στην πρώτη περίπτωση η μελέτη εστιάζεται στην προσομοίωση των επιφανειακών υδρολογικών διεργασιών (εξατμισοδιαπνοή, βροχόπτωση, διήθηση), και ενώ στην δεύτερη περίπτωση η μελέτη εστιάζεται στην προσομοίωση της ροής του υπόγειου νερού στην εκάστοτε λεκάνη απορροής. Ανάλογα με την περιοχή και τον σκοπό μελέτης, μοντελοποιείται είτε ένα από τα δυο πεδία ή και τα δυο ταυτόχρονα (Τσακίρης, 1995).

2.1.1 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων

Τα υδρολογικά μοντέλα ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο κλπ. Ο συνήθης διαχωρισμός γίνεται ως εξής: σε μοντέλα που μπορούν να προσομοιώσουν βάση ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος ή με πιο περίπλοκες καταστάσεις και επομένως να αποτελούν ένα μοντέλο συνεχούς προσομοίωσης (τα συνεχή μοντέλα), και δεύτερον να

διακριθούν σε ενιαία και κατανεμημένα μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες των υδρολογικών μοντέλων περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω (Τσακίρης, 1995):

α) Το μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός, όπως βροχή και ως έξοδο ένα υδρογράφημα πλημμύρας.



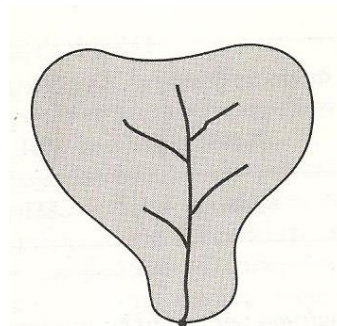
Εικόνα 2.2: Μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος (Τσακίρης, 1995)

β) Το συνεχές μοντέλο περιλαμβάνει ως είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στον χρόνο (χρονοσειρές) μίας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.



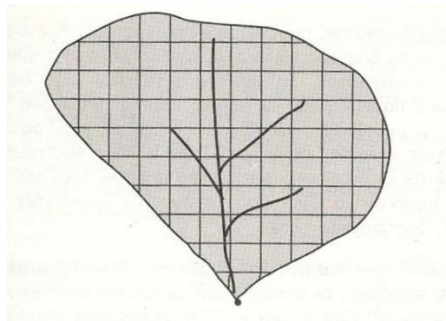
Εικόνα 2.3: Συνεχές μοντέλο (Τσακίρης, 1995)

γ) Τα ενιαία μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή κλπ) και εξόδου (απορροή).



Εικόνα 2.4: Ενιαίο μοντέλο (Τσακίρης, 1995)

δ) Τα κατανεμημένα μοντέλα, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά χωρίζουν την λεκάνη σε τμήματα με ανομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.5: Κατανεμημένο μοντέλο (Τσακίρης, 1995)

2.1.2 Ταξινόμηση Συνεχών Μοντέλων

Τα συνεχή υδρολογικά μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση δύο κριτήρια:

- Βάση εξισώσεων: με το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε φυσικής βάσης (physically-based), σε παραμετρικά (conceptual) και σε μοντέλα μαύρου κουτιού (black-box)
- Βάση τυχαιότητας φαινομένων: με το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε προσδιοριστικά και στοχαστικά

Προσδιοριστικά φυσικά μοντέλα

Τα προσδιοριστικά μοντέλα βασίζονται στις εξισώσεις της φυσικής όπως είναι οι εξισώσεις συνέχειας και ποσότητας κίνησης. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν έναν σύνολο μαθηματικών εξισώσεων και έναν μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμογή κυρίως σε μικρές πειραματικές λεκάνες απορροής όπου υπάρχουν και δεδομένα εισόδου (μοντέλο SHE).

Προσδιοριστικά παραμετρικά μοντέλα

Τα προσδιοριστικά παραμετρικά μοντέλα προσομοιώνουν τα υδρολογικά δεδομένα βασιζόμενα σε ένα σύνολο απλουστευμένων παραδοχών του φυσικού συστήματος. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν παραμέτρους οι οποίες καθορίζονται από την διαδικασία "ρύθμισης" του

μοντέλου. Η διαδικασία ρύθμισης ενός μοντέλου, είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος συνίσταται στην αλλαγή των τιμών των παραμέτρων, ώστε οι διαφορές μεταξύ των προσομοιωμένων και των παρατηρημένων παροχών να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες (μοντέλο StanfordIV).

Προσδιοριστικά μοντέλα μαύρου κουτιού

Τα προσδιοριστικά μοντέλα “μαύρου κουτιού” βασίζονται σε απλές μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες δεν έχουν καμία φυσική βάση αλλά προσομοιώνουν ικανοποιητικά τα υδρογραφήματα των μετρημένων παροχών (μοντέλο μοναδιαίου υδρογραφήματος).

Στοχαστικά μοντέλα μαύρου κουτιού

Τα στοχαστικά μοντέλα μαύρου κουτιού είναι μοντέλα που υπολογίζουν τη μεταβλητή εξόδου (απορροή) λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μεταβλητής εισόδου (βροχή), με την προϋπόθεση να διατηρούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μετρημένης παροχής (μοντέλο ARIMA).

Στοχαστικά παραμετρικά και φυσικά μοντέλα

Τα στοχαστικά παραμετρικά και φυσικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εισόδου και συγχρόνως περιλαμβάνουν εξισώσεις που απεικονίζουν τις βασικές διαδικασίες μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή. Βέβαια τα μοντέλα αυτά δεν έχουν βρει ακόμα εφαρμογή, βρίσκονται σε στάδιο έρευνας (Τσακίρης, 1995).

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η ποσότητα αλλά και ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων αποτελεί, συχνά, τον κύριο περιοριστικό παράγοντα σε μια μελέτη, καθώς η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, η οποία θεωρητικά εξασφαλίζεται από την χρήση αναλυτικότερων σχημάτων προσομοίωσης, προσκρούει στην ανεπάρκεια υδρολογικών μετρήσεων και άλλων δεδομένων (π.χ. κατανεμημένη γεωγραφική πληροφορία), που είναι απαραίτητα για την δημιουργία του μοντέλου.

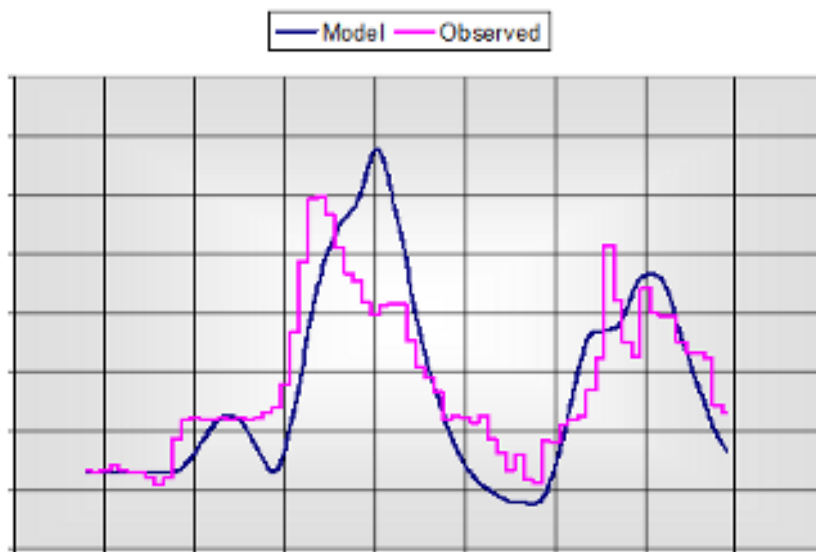
Συνεπώς για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής ανάπτυξης και εφαρμογής ενός υδρολογικού μοντέλου, χρησιμοποιείται μια μεθοδολογία η οποία συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- ❖ Συλλογή και ανάλυση δεδομένων,

- ❖ Ανάπτυξη ενός μοντέλου βάση γνώσεων και εμπειρίας του ερευνητή, για την επίτευξη ακριβέστερης περιγραφής των χαρακτηριστικών της λεκάνης, των υδρολογικών διεργασιών καθώς και των συσχετίσεων των υδρολογικών μεταβλητών,
 - ❖ Προσομοίωση-Παρουσίαση του μοντέλου με μαθηματικές σχέσεις και μοντελοποίηση των συσχετίσεων των υδρολογικών μεταβλητών,
 - ❖ Επιλογή των παραμέτρων μοντελοποίησης,
 - ❖ Βαθμονόμηση των παραμέτρων του μαθηματικού μοντέλου με την χρήση ιστορικών δεδομένων (δεδομένων πεδίου),
 - ❖ Επαλήθευση του μοντέλου με χρήση ιστορικών δεδομένων (δεδομένων πεδίου).
- (Τσακίρης, 1995)

2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) υποδηλώνει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, έτσι ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τις αντίστοιχες παρατηρημένες τιμές. Η βαθμονόμηση αναφέρεται σε ένα επαρκές χρονικό διάστημα για το οποίο διατίθενται συστηματικές μετρήσεις (χρονοσειρές) απόκρισης του φυσικού συστήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιστορικών με τα προσομοιωμένα δεδομένα (Ευστρατιάδης, 2008).



Εικόνα 2.6: Διαδικασία Βαθμονόμησης – προσομοιωμένη και παρατηρημένη χρονοσειρά
(<http://www.aquaveo.com>).

Δεδομένου ότι τα μοντέλα τείνουν να γίνουν όλο και πιο σύνθετα (μεγάλος αριθμός παραμέτρων) και όλο και ποιο απαιτητικά σε δεδομένα και υπολογιστικό φόρτο, έχει παρατηρηθεί ένα πρόβλημα στην βαθμονόμηση των υδρολογικών μοντέλων, διότι με την αύξηση του πλήθους των παραμέτρων, καθίσταται όλο και πιο δύσκολη η εύρεση της θεωρητικά βέλτιστης λύσης. Συνεπώς, επιζητείται μια ικανοποιητική λύση, με την βοήθεια της εξέλιξης των υπολογιστικών τεχνικών και αλγορίθμων βελτιστοποίησης, έτσι ώστε να επιτρέπεται η αυτόματη βαθμονόμηση των υδρολογικών μοντέλων (Ευστρατιάδης, 2008).

Η βαθμονόμηση ενός μοντέλου μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τα δεδομένα και την εμπειρία του μελετητή. Οι τρόποι βαθμονόμησης είναι οι εξής:

Εμπειρική βαθμονόμηση

Η εμπειρική βαθμονόμηση αποτελεί μια διαδικασία όχι και τόσο αυστηρή εφόσον βασίζεται στην διεύρυνση εναλλακτικών συνδυασμών παραμέτρων που επιλέγει ο μελετητής ανάλογα με την κρίση του και την εμπειρία του. Η επιλογή των παραμέτρων δεν βασίζεται σε κάποιο αντικειμενικό κριτήριο αλλά στην παρατηρητικότητα του μελετητή γιατί ο έλεγχος για την προσαρμογή του μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα γίνεται “με το μάτι” και όχι βάση κάποιου αριθμητικού κριτηρίου σφάλματος. Η διαδικασία αυτή έχει ως απώτερο σκοπό να ενσωματώσει την υδρολογική εμπειρία και να οδηγήσει σε πιο ρεαλιστικές τιμές παραμέτρων των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.

Αυτόματη βαθμονόμηση

Στην αυτόματη βαθμονόμηση διατυπώνεται μια καλή προσαρμογή των προσομοιωμένων δεδομένων, σε σχέση με τις παρατηρημένες αποκρίσεις της λεκάνης, το οποίο θεωρείται ως η αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος μη γραμμικής βελτιστοποίησης, με μεταβλητές ελέγχου για τις παραμέτρους του μοντέλου. Η τελική επιλογή των παραμέτρων προκύπτει ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης. Το προφανές πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευκολία και η αντικειμενικότητά της, ενώ το κύριο μειονέκτημά της είναι η πλήρης εξάρτηση των αποτελεσμάτων από το μέτρο προσαρμογής που επιτυγχάνεται και το οποίο επηρεάζεται πολλές φορές από τα σφάλματα που μεταφέρονται από τα δεδομένα, τις υπολογιστικές αδυναμίες της διαδικασίας αναζήτησης και άλλες πηγές αβεβαιότητας. Για τους παραπάνω λόγους, σε ορισμένες περιπτώσεις ένα υδρολογικό μοντέλο, παρόλο που δείχνει να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρήσεις, στην πραγματικότητα μπορεί να λειτουργεί υπό μορφή «μαύρου

κουτιού», με παραμέτρους που δεν έχουν φυσικό νόημα και χωρίς να μπορεί να αναπαράγει όλο το επιθυμητό φάσμα των δυνατών αποκρίσεων της λεκάνης.

Ημιαυτόματη βαθμονόμηση

Πρόκειται για μια διαδραστική μέθοδο, βάσει της οποίας ο μελετητής παρακολουθεί την πορεία της βελτιστοποίησης και επεμβαίνει σε αυτή, μεταβάλλοντας τα κριτήρια και τις υποθέσεις του προβλήματος, ώστε να κατευθύνει την πορεία αναζήτησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της εμπειρικής και αυτόματης βαθμονόμησης, και θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύνθετων σχημάτων, στα οποία είναι και πιο έντονη η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των παραμέτρων, λόγω της ύπαρξης πολλών ισοδύναμα καλών λύσεων.

Ανεξάρτητα από την μέθοδο που επιλέγεται, η βαθμονόμηση ενός υδρολογικού μοντέλου κρίνεται αξιόπιστη εφόσον (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2009):

- Το μοντέλο διαθέτει επαρκή προγνωστική ικανότητα, δηλαδή μπορεί να αναπαράξει όλο το φάσμα των αποκρίσεων μιας λεκάνης με ικανοποιητική ακρίβεια, και
- Στις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του μοντέλου, μπορεί να αποδοθεί κάποιο φυσικό νόημα ώστε να θεωρηθούν συμβατές με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος.

2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η ανάλυση ευαισθησίας έχει ως στόχο να περιγράψει κατά πόσο οι τιμές εξόδου του μοντέλου επηρεάζονται από τις αλλαγές στις τιμές εισόδου και τις οριακές συνθήκες. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αποτελέσει τη διεύρυνση του επιπέδου της ανακρίβειας των αποτελεσμάτων καθώς επίσης και την εκτίμηση της αβεβαιότητας στις τιμές εισόδου του μοντέλου σε μια διαδικασία λήψης αποτελεσμάτων. Μελέτες με ανάλυση ευαισθησίας μπορούν να προσφέρουν μια πιο γενική εκτίμηση της ακρίβειας του μοντέλου, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε εναλλακτικά σενάρια, καθώς και στην αντιμετώπιση λεπτομερών πληροφοριών που αφορούν την σημασία των σφαλμάτων για διάφορες παραμέτρους.

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί το πρώτο βήμα για την βαθμονόμηση του μοντέλου προκειμένου να εντοπιστούν οι παράμετροι που αποτελούν τον βασικότερο παράγοντα για την προσομοίωση. Για την εφαρμογή της διαδικασίας αυτής, πραγματοποιούνται μεταβολές στις

βαθμονομημένες παραμέτρους έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα που μπορεί να έχουν οι αλλαγές αυτές στην έξοδο του μοντέλου.

Ο συντελεστής ευαισθησίας (S_s) μαθηματικά ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_s = \frac{df}{dx} \quad (2.4.1)$$

Όπου, f η μεταβλητή εξόδου και x η παράμετρος εισόδου (McCuen, 1973).

Η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας έχει μονάδες ανάλογα με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται. Για τον λόγο αυτό, επειδή η σύγκριση μεταξύ συντελεστών ευαισθησίας για διαφορετικές παραμέτρους καθίσταται δύσκολη, χρησιμοποιείται η σχέση της σχετικής ευαισθησίας (S_r).

$$S_r = S \left(\frac{x}{f} \right) \quad (2.4.2)$$

Η σχετική ευαισθησία (S_r), αποτελεί έναν αδιάστατο αριθμό που δίνει την ποσοστιαία μεταβολή ανταποκρινόμενη σε κάθε αλλαγή των παραμέτρων εισόδου. Όταν η απόλυτη τιμή του συντελεστή (S_r) είναι μεγαλύτερη από 1, τότε η απόλυτη τιμή της σχετικής μεταβολής στο αποτέλεσμα του μοντέλου θα είναι μεγαλύτερη από την απόλυτη τιμή της σχετικής μεταβολής της παραμέτρου εισόδου. Εάν η απόλυτη τιμή του συντελεστή (S_r) είναι μικρότερη από 1, τότε η απόλυτη τιμή της σχετικής μεταβολής στην έξοδο του μοντέλου θα είναι μικρότερη από την απόλυτη τιμή της σχετικής αλλαγής στην είσοδο (Nofziger et al., 1994).

2.5 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Ο όρος επαλήθευση (validation) αποτελεί μια διαδικασία αξιολόγησης μαθηματικών μοντέλων, ώστε να διαπιστωθεί αν αυτά αποτελούν αντιπροσωπευτικές αναπαραστάσεις του συστήματος που προσομοιώνουν. Η επαλήθευση ενός υδρολογικού μοντέλου εφαρμόζεται στο βέλτιστο σύνολο παραμέτρων που έχει προκύψει από τη βαθμονόμηση, ελέγχοντας το ίδιο κριτήριο προσαρμογής για μια άλλη (κατά κανόνα μεταγενέστερη της βαθμονόμησης) χρονική περίοδο, για την οποία επίσης διατίθενται μετρημένες φορτίσεις και αποκρίσεις της λεκάνης. Η προσέγγιση είναι γνωστή ως διαχωρισμός δεδομένων (data-split), και για να έχει νόημα θα πρέπει τα χαρακτηριστικά του συστήματος να έχουν διατηρηθεί αμετάβλητα για το σύνολο της

περιόδου ελέγχου του μοντέλου (περίοδος βαθμονόμησης και επαλήθευσης μαζί), ώστε να εξασφαλιστεί ότι στη λεκάνη ισχύουν συνθήκες στασιμότητας (stationarity). Διαφορετικά, οι παράμετροι πρέπει να θεωρηθούν διαχρονικά μεταβαλλόμενες, κάτι που περιορίζει δραστικά την επιχειρησιακή χρησιμότητα του μοντέλου.

Μια επιτυχής βαθμονόμηση δεν συνεπάγεται απαραίτητα επιτυχή επαλήθευση του μοντέλου. Πράγματι, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή ενός υδρολογικού μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα κατά την περίοδο βαθμονόμησης, ενώ αντίθετα κατά την περίοδο επαλήθευσης η επίδοσή του είναι κατά πολύ χαμηλότερη (Giustolisi and Laucelli, 2005).

Ως μέτρο σφάλματος τόσο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης όσο και κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης χρησιμοποιείται ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination), που είναι το τυπικό μέτρο καλής προσαρμογής υδρολογικών μοντέλων (Nash and Sutcliffe, 1970). Ο εν λόγω συντελεστής ορίζεται ως:

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

όπου x_i είναι η παρατηρημένη χρονοσειρά, η μέση τιμή της παρατηρημένης χρονοσειράς, y_i η προσομοιωμένη χρονοσειρά και n ο χρονικός ορίζοντας ελέγχου.

Ο συντελεστής προσδιορισμού λαμβάνει τιμές από $-\infty$ έως 1. Αν $R = 1$ υπάρχει απόλυτη ταύτιση της παρατηρημένης με την προσομοιωμένη χρονοσειρά. Τιμές μεταξύ του 0.80 - 0.90 θεωρούνται πολύ ικανοποιητικές, ενώ τιμές της τάξης του 0.60 – 0.70 θεωρούνται οριακές για την αποδοχή ενός μοντέλου ως αντιπροσωπευτικού του φυσικού συστήματος. Σε περίπτωση αρνητικής τιμής η προσαρμογή του μοντέλου θεωρείται πολύ κακή, καθώς η προσομοιωμένη χρονοσειρά είναι χειρότερη εκτιμήτρια σε σχέση με την μέση παρατηρημένη τιμή (Freer et al., 1996).

περαιτέρω ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση σε ένα ευρύ φάσμα των υδάτινων πόρων και των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Το μοντέλο έχει ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών σε προβλήματα επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων, καθώς και σε προβλήματα περιβάλλοντος, όπως (Mike She User Manual, 2007):

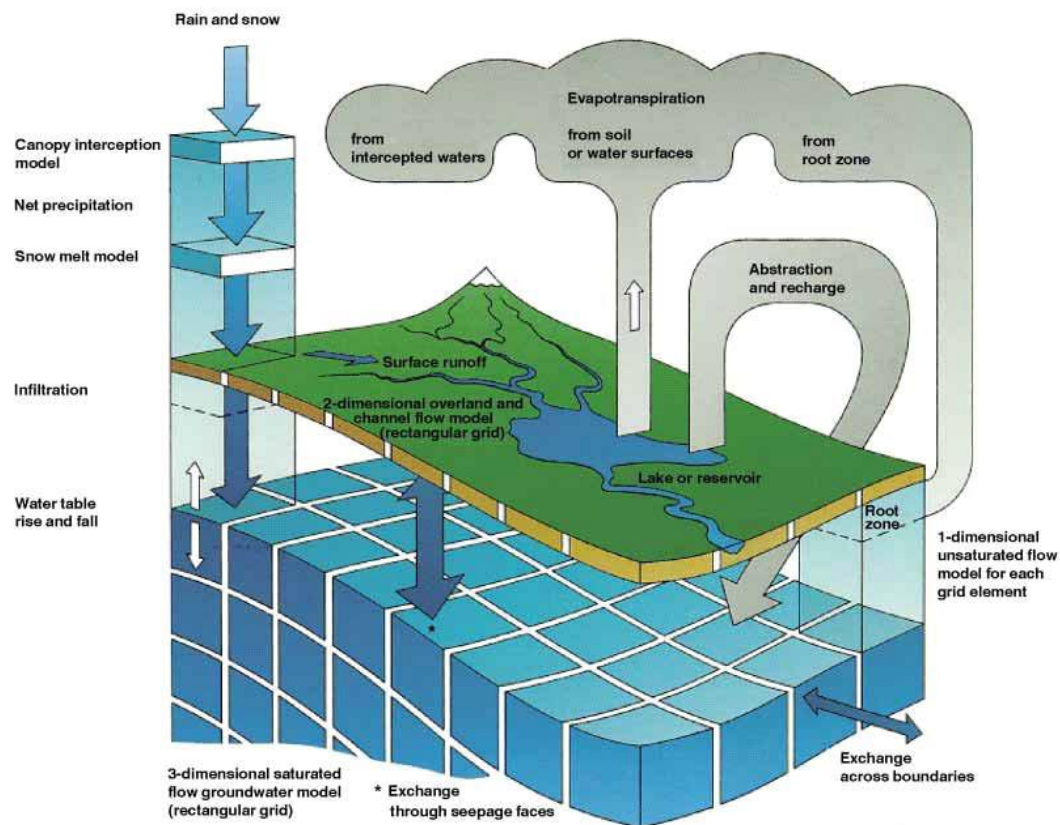
- ❖ Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων,
- ❖ Προγραμματισμός και διαχείριση λεκανών απορροής,
- ❖ Σχεδιασμός, διαχείριση και βελτιστοποίηση παροχής νερού,
- ❖ Άρδευση και αποστράγγιση,
- ❖ Επιπτώσεις στα επιφανειακά νερά λόγω αντλήσεων,
- ❖ Συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών,
- ❖ Διαχείριση και προστασία υδροβιότοπων,
- ❖ Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων,
- ❖ Χαρτογράφηση υδροφορέων,
- ❖ Δυναμική επανατροφοδосίας υδροφορέων,
- ❖ Μελέτες πλημμυρών,
- ❖ Εκτίμηση επιπτώσεων από αλλαγές στις χρήσεις γης και στο κλίμα,
- ❖ Μόλυνση από διάθεση αποβλήτων,
- ❖ Εκτίμηση επιπτώσεων από γεωργικές πρακτικές.

Το MIKESHE προσομοιώνει τις κυριότερες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, περιλαμβάνοντας διεργασίες όπως η εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή ροή, η ροή στην ακόρεστη ζώνη, η ροή των υπογείων υδάτων (κορεσμένη ζώνη) καθώς και ροή ανοιχτών αγωγών. Κάθε μια από αυτές τις διεργασίες μπορούν να παρουσιαστούν σε διαφορετικά επίπεδα χωρικής κατανομής και πολυπλοκότητας ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης, την διαθεσιμότητα των δεδομένων και την εμπειρία του μελετητή (Butts et al., 2004).

Το μοντέλο αποτελείται από διάφορα επιμέρους εργαλεία και υπομοντέλα προσομοίωσης όπως αυτό της επιφανειακής και υπόγειας ροής του νερού (WM), της μεταφοράς και διασποράς ρύπων (AD) για την ποιότητα του νερού, της διάβρωσης (SE) για τη μεταφορά των ιζημάτων, καθώς και πλήθος άλλων διεργασιών προσομοίωσης όπως γεωχημικές διεργασίες (GC), ανάπτυξη καλλιεργειών και προσομοίωσης του κύκλου αζώτου (CN), καθώς και της άρδευσης των καλλιεργειών (IR). Για την κάθε διεργασία το μοντέλο παρέχει διαφορετικές μαθηματικές

περιγραφές οι οποίες κυμαίνονται από απλές συγκεντρωτικές προσεγγίσεις έως πιο εξελιγμένες κατανεμημένες προσεγγίσεις φυσικής βάσης και μπορούν να προσομοιωθούν σε επίπεδο χωρικής κατανομής ή πολυπλοκότητας ανάλογα με τον στόχο της προσομοίωσης και την διαθεσιμότητα των δεδομένων πεδίου (Graham and Butts, 2005).

Η μορφή των δεδομένων του μοντέλου ποικίλουν, από γραμμικά δεδομένα, σε αρχεία κάρναβου. Η επίλυση των εξισώσεων γίνεται σε επίπεδο ψηφίδας (cell), το οποίο επιτρέπει τη λειτουργία του μοντέλου ως πλήρως χωρικά κατανεμημένου. Η αλλαγή στην διακριτοποίηση του γίνεται πιο εύκολη, όταν το μοντέλο «τρέχει» και τα χωρικά δεδομένα συνδέονται με τον αριθμητικό κάρναβο. Μια σχηματική παρουσίαση των διεργασιών που μπορεί να προσομοιάσει το μοντέλο, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2:



Εικόνα 3.2: Σχηματική παρουσίαση των διεργασιών προσομοίωσης του μοντέλου MIKESHE, (DHI, 2007).

3.1.1 Πλεονεκτήματα του μοντέλου

Η ταχεία ανάπτυξη του πληθυσμού καθώς και η οικονομική ανάπτυξη, έχει σαν αποτέλεσμα την έλλειψη συντονισμένης διαχείρισης και κατά συνέπεια την επιδείνωση των υδάτινων πόρων σε όλο τον κόσμο. Η μελέτη των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων αποτελούν δύο διαφορετικά κομμάτια τα οποία όμως δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν μεμονωμένα. Τα παλαιότερης τεχνολογίας υδρολογικά μοντέλα, αδυνατούν να απαντήσουν σε ερωτήματα που αφορούν τη σχέση μεταξύ υπογείων και επιφανειακών υδάτων στις επιπτώσεις της ποιότητας νερού, στην αλλαγή της χρήσης γης και τη αστικής ανάπτυξης καθώς και στην διαχείριση πλημμυριακών περιοχών και υδροτόπων. Γι' αυτό το λόγο, απαιτούνται μοντέλα που περιγράφουν την συμπεριφορά της λεκάνης απορροής ολοκληρωμένα, συμπεριλαμβανομένου της κίνησης των ιζημάτων, των χημικών ουσιών και των θρεπτικών συστατικών διαμέσου του νερού. Βέβαια, η αυξημένη ζήτηση των υδάτινων πόρων απαιτεί την κατανόηση και την περιγραφή των βασικών υδρολογικών διεργασιών, οι οποίες όμως στην ακριβή τους αναπαράσταση καθίστανται δύσκολες λόγω της ετερογένειας των φυσικών συστημάτων τους (Grayson, 2000).

Το μοντέλο MIKESHE έχει την ικανότητα να διαχειρίζεται ζητήματα υδάτινων πόρων με ολοκληρωμένο τρόπο σε εύρος χρονικής και χωρικής κλίμακας. Περιλαμβάνει μια σειρά εργαλείων που επιτρέπουν την επεξεργασία δεδομένων και μπορεί και συνδυάζει απλές και προηγμένες τεχνικές επίλυσης για κάθε διεργασία. Καθώς “χτίζεται” το μοντέλο, ορίζονται δεδομένα σε διάφορες μορφές όπως αρχεία της μορφής των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης (GIS). Κατά το “τρέξιμο” του μοντέλου, τα χωρικά δεδομένα χαρτογραφούνται σε αριθμητικό πλέγμα και έτσι καθίσταται πιο εύκολη η αλλαγή της χωρικής διακριτοποίησης. Πιο συγκεκριμένα το MIKESHE μπορεί να προσομοιώσει τη συνολική ροή των υδατορεμάτων συμπεριλαμβανομένου της άμεσης και της βασικής απορροής, καθώς επίσης και να εξετάζει τις διαφορετικές χρήσεις γης και τον τύπο των εδαφών επιτρέποντας της αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης. Για να μπορέσει το μοντέλο να προσομοιώσει σωστά τις φυσικές διεργασίες, λαμβάνει υπόψη του υδρολογικά, μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία σε συνδυασμό με γεωλογικά και εδαφολογικά στοιχεία. Συνολικά, το μοντέλο είναι σε θέση να προσομοιώσει τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου αρκετά καλά σε ετήσια, εποχιακή, μηνιαία και ημερήσια χρονική βάση (DHI, 2007).

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MIKE SHE

Το MIKESHE επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει μία από τις δύο μεθόδους για τον υπολογισμό της ροής στην κορεσμένη ζώνη στην ενότητα «ροής» του μοντέλου. Η πρώτη επιλογή αποτελεί έναν αλγόριθμο επίλυσης με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών, ενώ η δεύτερη μια πιο απλή προσέγγιση με τη χρήση γραμμικών ρεζερβουάρ (Linearreservoir). Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών όπου και θα αναλυθεί παρακάτω.

3.2.1 Ροή στην Κορεσμένη Ζώνη, Μαθηματική προσέγγιση με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών

Μια από τις βασικές εξισώσεις κίνησης της υπόγειας ροής, είναι ο νόμος του Darcy (1856):

$$q = -K \frac{\Delta h}{L} \quad (3.1)$$

Όπου, Δh = πιεζομετρική διαφορά (απώλεια φορτίου) (L)

K = υδραυλική αγωγιμότητα (L/T)

L = μήκος της πορείας της ροής (L)

Η μελέτη του νόμου του Darcy οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός ροής διαμέσου του πορώδους είναι ανάλογος των απωλειών του φορτίου, ανάλογος της υδραυλικής αγωγιμότητας που χαρακτηρίζει το πορώδες υλικό και αντιστρόφως ανάλογος του μήκους της πορείας της ροής.

Η ταχύτητα Darcy, εξ' ορισμού θεωρεί ότι η ροή λαμβάνει χώρα δια μέσου της ολικής επιφάνειας χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη το στερεό υλικό και τους πόρους. Ουσιαστικά όμως σε ένα πορώδες υλικό η ροή περιορίζεται μόνο εντός του χώρου των πόρων και η πραγματική ταχύτητα είναι η ταχύτητα διήθησης η οποία ορίζεται ως εξής:

$$q_p = -\frac{K}{n} \frac{dh}{dl} \quad (3.2)$$

Όπου, n = πορώδες

Η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών αποτελεί την αριθμητική μέθοδο για την λύση διαφορικών εξισώσεων που χρησιμοποιεί το μοντέλο MIKESHE. Αναλυτικότερα, η εξίσωση ροής επιλύεται στις τρεις διαστάσεις χρησιμοποιώντας είτε τη μέθοδο επίλυσης της προεπεξεργασμένης συζυγούς βαθμίδωσης (PCG), είτε τη μέθοδο διαδοχικής τεχνικής λύσης (SOR). Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε η συζυγής βαθμίδωση, λόγω της ευκολίας της χρήσης και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (DHI, 2007). Η εξίσωση ροής περιγράφεται στις τρεις διαστάσεις μέσω της παρακάτω διαφορικής εξίσωσης.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right) - L = S\frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.3)$$

Όπου, K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} η υδραυλική αγωγιμότητα ($L T^{-1}$) κατά μήκος των αξόνων x , y και z (L) του μοντέλου.

Όπου, h = υδραυλικό φορτίο (L)

L = αντιπροσωπεύει τους όρους source/sink (T^{-1})

S = ειδικός συντελεστής αποθήκευσης (L^{-1})

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η εξίσωση είναι μη γραμμική όταν η ροή είναι ανεμπόδιστη και δεύτερον, ο συντελεστής αποθήκευσης δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τον συντελεστή ειδικής αποθήκευσης.

Το μοντέλο MIKESHE, στην ροή υπογείων υδάτων όπως προαναφέρθηκε περιλαμβάνει την επιλογή του λύτη της προεπεξεργασμένης συζυγούς βαθμίδωσης (Hill, 1990). Το κομμάτι αυτό περιλαμβάνει έναν εσωτερικό βρόχο επανάληψης, τα κύρια όρια του οποίου διατηρούνται σταθερά και έναν εξωτερικό βρόχο επανάληψης (μη-γραμμικό) όπου τα όριά του μεταβάλλονται.

Οριακές συνθήκες

Οι οριακές συνθήκες ορίζουν την αλληλεπίδραση της υπό μελέτη περιοχής με το εξωτερικό της περιβάλλον. Οι τύποι των οριακών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι 1^{ου} και 2^{ου} τύπου. Οι οριακές συνθήκες πρώτου τύπου, αφορούν σταθερό υδραυλικό ύψος στην περίπτωση της ροής, και σταθερή συγκέντρωση στην περίπτωση της μεταφοράς ρύπου, όπως φαίνεται στις εξισώσεις 3.4 και 3.5.

$$C(x, 0) = 0 \quad \text{για} \quad x \geq 0 \quad (3.4) \quad C(0, t) = C_0 \quad \text{για} \quad t \geq 0 \quad (3.5)$$

Όπου, x =χώρος, και

t =χρόνος

Οι οριακές συνθήκες δευτέρου τύπου αφορούν σταθερή ροή ή σταθερό ρυθμό συγκέντρωσης ρύπου. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά συγκεντρώσεων σε διαφορετικές θέσεις μικρής απόστασης να είναι σταθερή, όπως φαίνεται στη εξίσωση 3.6(Καρατζάς, 2012).

$$\int_{x=0} \frac{dC}{dx} = \phi(t) \quad (3.6)$$

3.2.2 Μεταφορά Ρύπου στην Κορεσμένη Ζώνη

Η μηχανή προσομοίωσης μεταφοράς-διασποράς (AD) στο μοντέλο MIKESHE, αποτελείται από τέσσερα τμήματα το καθένα από τα οποία περιγράφει/προσομοιώνει διαφορετικές διαδικασίες μεταφοράς ρυπαντών. Τα τέσσερα τμήματα είναι τα εξής:

- Συνθήκες επιφανειακής ρύπανσης,
- Συνθήκες ρύπανσης σε κανάλια (MIKE 11),
- Συνθήκες ρύπανσης στην ακόρεστη ζώνη,
- Συνθήκες ρύπανσης στην κορεσμένη ζώνη.

Το μοντέλο MIKESHE προσομοιώνει μια σειρά από διαδικασίες που αφορούν την μεταφορά ρυπαντών, αναλυτικότερα έχει την δυνατότητα:

- Προσομοίωσης της μεταφοράς νερού και διαλυμένων ουσιών,
- Προσομοίωσης ρόφησης διαλυμένων ουσιών που περιγράφονται είτε από ισορροπίες ισόθερμες ρόφησης (Linear, Freundlich, Langmuir), είτε από ισόθερμες κινητικής προσρόφησης οι οποίες περιλαμβάνουν φαινόμενα όπως της υστέρησης στη διαδικασία της ρόφησης,
- Προσομοίωσης διαλυμένων ουσιών που περιγράφονται από μια εκθετική διάσπαση,
- Προσομοίωση της πρόσληψης διαλυμένων ουσιών από τα φυτά.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η μεταφορά-διασπορά ρυπαντών και η κίνηση της διαλυμένης ουσίας υπολογίζεται με βάση την προσομοίωση της ροής του υπόγειου νερού(DHI, 2007).

3.2.2.1 Μαθηματική προσέγγιση στην προσομοίωση μεταφοράς ρύπου με το μοντέλο MIKESHE.

Αρκετές διεργασίες μπορεί να προστεθούν στη διαδικασία υπολογισμού της μεταφοράς διαλυμένης ουσίας, συμπεριλαμβανομένου της:

- ❖ ρόφησης- εκρόφησης (Sorption-Desorption) της,
- ❖ βιολογικής αποδόμησης (Decay) και της,
- ❖ πρόσληψης από τα φυτά (Plantuptake).

Στην περίπτωση της μεταφοράς στην κορεσμένη ζώνη και οι τρεις παραπάνω διεργασίες αποτελούν επιλογή, αν και στην περίπτωση μας δεν έγινε επιλογή του Plantuptake εφόσον η μελέτη αφορά την κορεσμένη και όχι την ακόρεστη ζώνη. Πιο συγκεκριμένα, όταν περιλαμβάνονται οι διεργασίες της ρόφησης και εκρόφησης, η εξίσωση που χρησιμοποιείται από το μοντέλο είναι η εξής:

$$\frac{\delta c}{\delta t} = -\frac{\delta}{\delta x_i}(cv_i) + \frac{\delta}{\delta x_i}\left(D_{ij}\frac{\delta c}{\delta x_j}\right) - \frac{\rho_b \delta c^*}{\theta \delta t} + \left(\frac{\delta c}{\delta t}\right)_{real} \quad (3.7)$$

Όπου, ρ_b =η φαινομενική πυκνότητα του πορώδους

θ = το μέσο πορώδες,

c^* =η μάζα των διαλυμένων ουσιών που προσροφάται ανά μονάδα ξηρού στερεού βάρους

$\delta c/\delta t$ =όρος που δείχνει ένα βιολογικό ή μια χημική αντίδραση της διαλυμένης ουσίας

Ρόφηση (Sorption)

Η ρόφηση περιλαμβάνει μια σειρά από γεωχημικές και χημικές αντιδράσεις όπως, η προσρόφηση διαλυμένων ουσιών στην επιφάνεια του υδροφορέα με ηλεκτροστατικές δυνάμεις (ανταλλαγή ιόντων). Εάν αυτές οι διαδικασίες συμβούν αρκετά πιο γρήγορα σε σχέση με την ταχύτητα της ροής του νερού, τότε μπορεί να περιγραφεί με μια καμπύλη ισορροπίας ισόθερμης προσρόφησης (Linear, Freundlich, Langmuir). Οι ισόθερμες αυτές ισορροπίες προσρόφησης έχουν επεκταθεί έτσι ώστε να συμπεριλάβουν μια ελεγχόμενη διεργασία κινητικής ρόφησης σε περίπτωση που μέρος του προσροφημένου έχει “μεταφερθεί” σε κάποιο άλλο υλικό του εδάφους.

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, βάση βιβλιογραφίας, επιλέχθηκε η Linear ισόθερμη καμπύλη προσρόφησης. Η καμπύλη αυτή αποτελεί την πιο απλή μαθηματική προσέγγιση και μπορεί να περιγράψει την σχέση μεταξύ της ποσότητας της διαλυμένης ουσίας που έχει προσροφηθεί στο υλικό του εδάφους, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$c^* = K_d * c \quad (3.8)$$

Όπου, K_d = συντελεστής κατανομής

c^* = η μάζα των διαλυμένων ουσιών που προσρροφάται ανά μονάδα ξηρού στερεού βάρους

Ο συντελεστής κατανομής (K_d), συχνά σχετίζεται με την περιεκτικότητα της οργανικής ύλης στο χώμα μέσω μίας παραμέτρου η οποία προσδιορίζεται πειραματικά (K_{oc}) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών K_d .

$$K_d = f_{oc} * K_{oc} \quad (3.9)$$

Όπου, f_{oc} = οργανικό κλάσμα άνθρακα

Ο παράγοντας επιβράδυνσης R , αποτελεί την αναλογία μεταξύ της ταχύτητας της μέσης ροής του νερού (V) και της μέσης ταχύτητας της διαλυμένης ουσίας (V_c). Ο παράγοντας επιβράδυνσης υπολογίζεται ως εξής:

$$R = \frac{v}{v_c} = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} * K_d \quad (3.10)$$

Βιολογική Αποδόμηση (Decay)

Η βιολογική αποδόμηση, συχνά μπορεί να χαρακτηριστεί (πρώτης τάξης διαδικασία αποικοδόμησης) ως μια εκθετική μείωση της συγκέντρωσης που μπορεί να φτάσει τον υποδιπλάσιο χρόνο ημιζωής. Αυτό, μέσα από το μοντέλο MIKESHE μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)_{real} = \mu_{ref} * c \quad (3.11)$$

$$\text{όπου, } \mu_{ref} = \frac{-\ln 2}{\lambda} \quad (3.12)$$

Όπου, μ_{ref} = συντελεστής αναφοράς υποβάθμισης,

λ = ο χρόνος ημιζωής του ρύπου.

Βάση της μελέτης των Boesten και VanderLinden (1991), που αφορά την απλούστευση πολύπλοκων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων, η βιολογική αποδόμηση στο μοντέλο αυτό εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και την θερμοκρασία όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\mu = \mu_{ref} * F_w * F_t \quad (3.13)$$

Όπου, F_w = περιεκτικότητα νερού, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$F_w = \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^B \quad (3.14)$$

Όπου, θ = πραγματική εδαφική υγρασία

θ_s = η κορεσμένη περιεκτικότητα σε υγρασία

B = εμπειρική σταθερά

F_t = η θερμοκρασία εδάφους, η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$F_t = 0 \quad T_s < 0^\circ C \quad (3.15.1)$$

$$F_t = \left(\frac{T_s}{5} \right) * e^{a(5-T_{ref})} \quad 0 \leq T_s \leq 5^\circ C \quad (3.15.2)$$

$$F_t = e^{a*T_s} \quad T_s > 5^\circ C \quad (3.15.3)$$

Όπου, T_s = η πραγματική θερμοκρασία εδάφους

T_{ref} = η θερμοκρασία αναφοράς

a = σταθερά εξαρτημένη από τις θερμοκρασίες T , T_{ref} , την περιεκτικότητα του αέρα

Για απλοποίηση, η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους υπολογίζεται σαν παράγοντας της θερμοκρασίας του αέρα από την εξίσωση του Kelvin.

$$T_s = T_{sy} + 0.346 * (T_{air} - T_{sy}) * e^{(-2702sz)} \quad (3.16)$$

Όπου, T_{sy} = η μέση ημερήσια θερμοκρασία εδάφους

T_{air} = η μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα

z = το βάθος μέτρησης

(DHI, 2007)

4^Ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης αποτελεί ένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας. Περιλαμβάνει τους νομούς των Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου και Λασιθίου. Έχει συνολική έκταση 8.335 km² και καλύπτει το 6.3% της συνολικής έκτασης της χώρας.

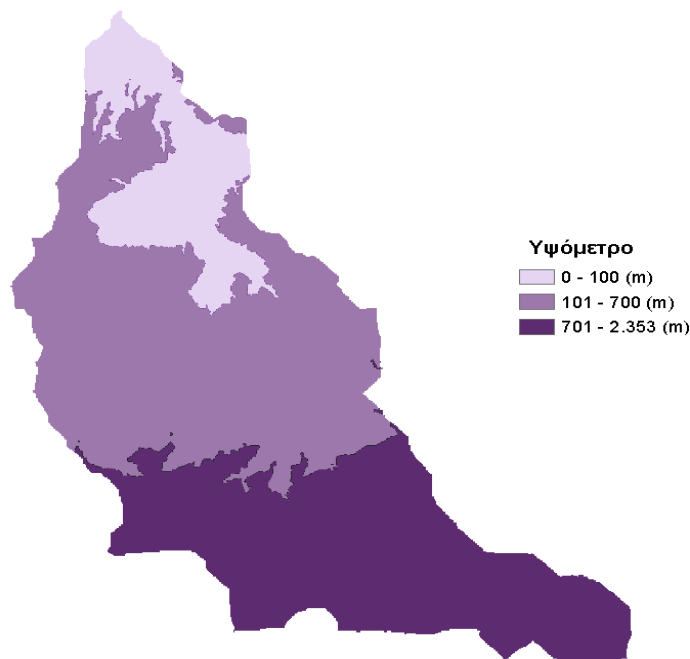
Η υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη (λεκάνη του Κερίτη), βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Κρήτης στον Ν. Χανίων σε απόσταση 12 km από την πόλη των Χανίων και πιο συγκεκριμένα στο Βόρειο-κεντρικό τμήμα της περιοχής Κυδωνίας με διεύθυνση Βορράς-Νότος. Στον Βορρά, η λεκάνη φτάνει έως την θάλασσα στην περιοχή Πλατανιά, ενώ Νότια φτάνει έως τις κορυφές των Λευκών Ορέων. Η έκταση της λεκάνης είναι 218 km² και το μέσο ύψος της λεκάνης είναι 734 m. Περιλαμβάνει τους οικισμούς Βρύσσες, Κουφό, Βατόλλακο, Αλικιανό, Αγιά, Βαρύπετρο, Σκινές, Φουρνές, Ορθούνι, Καρέ, Λάκους, Μεσκλά και Ζουρβά. Στον ποταμό Κερίτη εκβάλλουν οι παραπόταμοι Σκινιανός, Βαρσαμιώτης, Μεσκλιανός, Μαύρος και Αγίας, όπου όλοι μαζί αποτελούν το πρωτεύον δίκτυο παροχέτευσης της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη.

Η υδρολογική λεκάνη του Κερίτη συμβάλλει σημαντικά στην διαμόρφωση του υδατικού δυναμικού του νομού, λόγω της πλούσιας υδροφορίας, εφόσον αποτελεί τόπο εφαρμογής πολλών γεωτρήσεων και πηγαδιών που εξυπηρετούν αρδευτικούς σκοπούς της ευρύτερης περιοχής. Η περαιτέρω γνώση της γεωμορφολογίας της λεκάνης καθώς και ο έλεγχος των επιφανειακών και υπόγειων νερών δίνουν την δυνατότητα για την σωστή διαχείριση του υδατικού δυναμικού(Περλέρος, 2004).

4.2 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΕΡΙΤΗ

4.2.1 Τοπογραφία της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Κερίτη

Η λεκάνη απορροής του Κερίτη μπορεί να περιγραφεί υψομετρικά βάσει τριών κυρίως ζωνών, που συναντώνται με την σειρά από τον Νότο προς τον Βορρά, την ορεινή περιοχή που οριοθετείται πάνω από 700m υψόμετρο, την μεταβατική ζώνη που εκτείνεται από 100m-700m και την πεδινή ζώνη στην οποία συγκαταλέγονται περιοχές μέχρι και 100m υψόμετρο. Ο διαχωρισμός της ευρύτερης περιοχής μελέτης στις ζώνες που περιγράφησαν παραπάνω φαίνεται στην Εικόνα 4.2.1.



Εικόνα 4.2.1: Υψομετρικός χάρτης υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη

Ορεινή ζώνη-Ζώνη του καρστ

Η ζώνη αυτή βρίσκεται στο Βορειοδυτικό τμήμα των Λευκών Ορέων, και χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα, μεγάλο αριθμό βουνοκορφών, το γωνιώδες ανάγλυφο και την απουσία βλάστησης. Στη ζώνη αυτή παρατηρείται επίσης μεγάλος αριθμός χαραδρώσεων, όπως το φαράγγι της Ζούρβας. Οι χαραδρώσεις αυτές έχουν δημιουργηθεί από την διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων, διεργασία συνήθης σε τέτοιου είδους περιοχές. Στην ίδια διεργασία οφείλουν την ύπαρξη τους και δομές όπως γλυφές, ουβάλες και δολίνες που παρατηρούνται στην ζώνη του καρστ, όπως και η πόλη του Ομαλού, που δημιουργήθηκε από συγκέντρωση προϊόντων διάβρωσης προς την περιοχή της πόλης. Τα φερτά υλικά που έχουν αποτεθεί σχηματίζουν ένα προσχωματικό ορίζοντα αξιόλογου πάχους, που δικαιολογεί την ύπαρξη υδροφορίας. Στην ορεινή ζώνη απουσιάζει το υδρογραφικό δίκτυο.

Ημιορεινή ζώνη-Ζώνη μετάβασης

Η ζώνη μετάβασης βρίσκεται Βόρεια της ορεινής περιοχής. Το υψόμετρο σε αυτή τη ζώνη μειώνεται, το ανάγλυφο του εδάφους γίνεται ομαλότερο και οι κλίσεις μειώνονται. Στην ζώνη αυτή εμφανίζεται και το υδρογραφικό δίκτυο που απουσιάζει από την προηγούμενη ζώνη. Μέρος της μεταβατικής ζώνης καλύπτεται από φυλλιτικούς-χαλαζιτικούς και νεογενείς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν εντονότερο το φαινόμενο της επιφανειακής

διάβρωσης σε σχέση με τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Στη διαφορετική λιθολογία της ζώνης αυτής οφείλονται και τα όχι γωνιώδη περιγράμματα στο ανάγλυφο. Λόγω της ύπαρξης των χαλαζιτών που είναι αδιαπέρατου σχηματισμού, επιτρέπεται η δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή. Σημειώνεται η ύπαρξη καλά ανεπτυγμένης βλάστησης, καλλιεργειών και οικισμών στην ζώνη αυτή.

Πεδινή ζώνη

Είναι η ζώνη στο Βορειότερο τμήμα της λεκάνης. Η γεωλογία ποικίλει μέσα στην πεδινή ζώνη. Διακρίνεται η πεδιάδα του Βατόλακου - Αλικιανού και Αγυιάς. Η πεδινή έκταση αυτή περικυκλώνεται από λόφους διαφορετικής λιθολογίας. Βόρεια συναντώνται λόφοι από ιζήματα του νεογενούς και λόφοι φυλλιτικής σύστασης. Οι λόφοι αυτοί είναι διατεταγμένοι με τρόπο που σχηματίζουν την μακρόστενη κοιλάδα του Πατελαρίου. Την κοιλάδα αυτή διασχίζει ο Κερίτης, παροχετεύοντας το απορρέον νερό της περιοχής (και των παραπάνω περιγραφόμενων ζωνών) προς την θάλασσα. Νότια της πεδιάδας Βατόλακου - Αλικιανού και Αγυιάς υπάρχουν λόφοι φυλλιτικής σύστασης. Ίδιας σύστασης είναι και οι λόφοι που συναντώνται και δυτικά της πεδιάδας. Τέλος, ανατολικά η σύσταση των λόφων είναι ασβεστολιθική.

Σύμφωνα με την παραπάνω περιγραφή των ζωνών της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη, αξίζει να σημειωθεί ότι η τελευταία ζώνη αποτελεί το πιο σημαντικό τμήμα της λεκάνης. Το Νότιο κομμάτι της λεκάνης, που είναι και το ψηλότερο σε υψόμετρο, αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Λόγω αυτής της ιδιότητας, τα κατακρημνίσματα σε αυτή την περιοχή είτε διηθούνται και απορρέουν υπόγεια, είτε απορρέουν επιφανειακά προς τα Βορειότερα τμήματα της λεκάνης, τροφοδοτώντας τον ποταμό Κερίτη μέσω πηγών (Αγυιάς – Μεσκλών) ή άμεσα με επιφανειακή απορροή, αντίστοιχα. Καθώς το νερό απορρέει προς τα κατώτερα τμήματα της λεκάνης, σχηματίζεται το υδρογραφικό δίκτυο. Στα κατώτερα μέρη της λεκάνης, η γεωλογία αλλάζει, επιτρέποντας την δημιουργία υδροφορίας σε αυτήν την περιοχή. Ο ποταμός Κερίτης διέρχεται από αυτήν την περιοχή, όπου και μέρος του νερού του διηθείται εμπλουτίζοντας τον προσχωματικό υδροφορέα.

4.2.2 Υδρογεωλογία της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Κερίτη

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κερίτη ταξινομήθηκαν με βάση την υδατοπερατότητά τους στις εξής κατηγορίες και παριστάνονται γραφικά στην Εικόνα 4.2.2 (Βοζινάκης και Κουγιάννη, 2004):

➤ **Καρστικοί σχηματισμοί**

-Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (K1)

Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τρυπαλίου και οι Τριαδικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου ζώνης. Στους σχηματισμούς αυτούς αναπτύσσονται υψηλού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

-Μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (K2)

Περιλαμβάνονται οι ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου, οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικής - Ηωκαινικής ηλικίας (Plattenkalk) της Ιονίου ζώνης και οι μικρότερες ανθρακικές εμφανίσεις των εσωτερικών καλυμμάτων. Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς ελέγχεται από τις παρεμβολές πυριτολίθων, κερατολίθων και αργίλικών σχιστολίθων. Στους σχηματισμούς αυτούς αναπτύσσονται μέσου έως μικρού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες. Εξαιτίας του έντονου τεκτονισμού τους στις περιπτώσεις εκείνες που παρουσιάζουν και σημαντική επιφανειακή ανάπτυξη συμμετέχουν στην τροφοδοσία σημαντικών καρστικών πηγών.

-Μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (K3)

Παρουσιάζουν τόσο πρωτογενές όσο και δευτερογενές πορώδες και φιλοξενούν σημαντικές υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών.

➤ **Κοκκώδεις σχηματισμοί**

-Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (III)

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων όταν έχουν σημαντική εξάπλωση. Αναπτύσσονται, κατά θέσεις, αξιόλογες φρεάτιες

υδροφορίες. Κοντά στη θάλασσα οι υδροφορίες αυτές έχουν υποστεί κατά θέσεις, υποβάθμιση εξαιτίας της υφαλμύρυνσης.

-Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2)

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των νεογενών σχηματισμών που φιλοξενούν επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου έως μικρού δυναμικού.

-Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Π3)

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός του νεογενούς. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη ασθενών υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Κατά θέσεις στις νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία εντόνως όμως υποβαθμισμένη εξαιτίας των θεικών ιόντων.

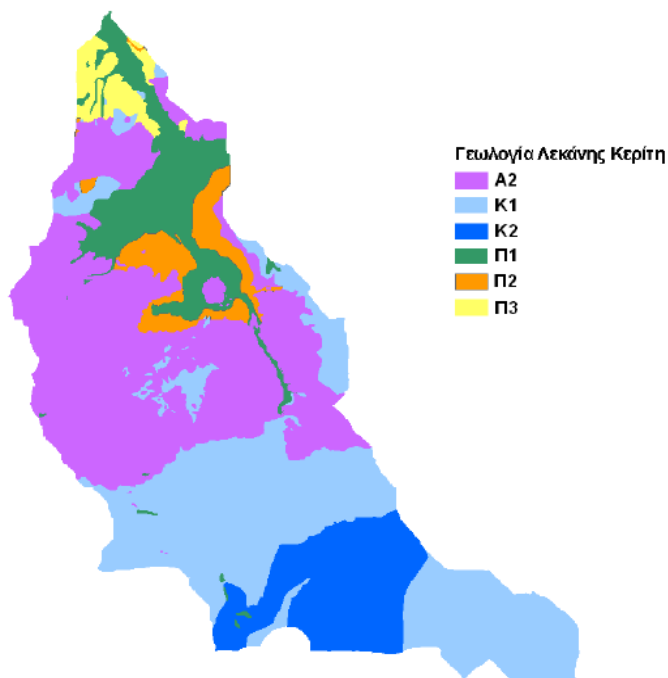
➤ **Αδιαπέρατοι σχηματισμοί**

-Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)

Περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί του φλύσχη και τα ελαφρώς μεταμορφωμένα αργιλικά ιζήματα των διαφόρων ζωνών. Κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.

-Πρακτικά αδιαπέρατοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (Α2)

Συμμετέχουν στην κατηγορία αυτή τα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα των διαφόρων ζωνών και καλυμμάτων. Κατά θέσεις στους σχηματισμούς αυτούς, τόσο εξαιτίας του έντονου κερματισμού τους όσο και εξαιτίας της πετρολογικής σύνθεσής τους (π.χ. εναλλαγές χαλαζιτών, μαρμάρων) αναπτύσσονται επιμέρους, τοπικού χαρακτήρα, υδροφορίες.



Εικόνα 4.2.2: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη

Το υδρογεωλογικό καθεστώς στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη καθορίζεται από τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς που μαζί με την τεκτονική τους, δηλαδή τον τρόπο τοποθέτησής τους στον χώρο, παρουσιάζουν και διαφορετική υδρολογική συμπεριφορά. Η λεκάνη απορροής αποτελείται από δύο βασικά υδρολογικά συστήματα και ένα δευτερεύον (όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας και όχι την δυναμικότητα) (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2010). Τα συστήματα είναι τα εξής:

- ❖ Το υπόγειο υδρογεωλογικό σύστημα των περατών ανθρακικών σχηματισμών, που βρίσκονται στην ανατολική πλευρά της λεκάνης Μυλωνιανά - Φουρνές-Μεσκλά, με κύρια τροφοδοσία από τους νοτιότερα ευρισκόμενους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που επεκτείνονται έως τον κύριο ορεινό ανθρακικό όγκο των Λευκών Ορέων. Στο βόρειο τμήμα του ο ανθρακικός αυτός σχηματισμός διακόπτεται τεκτονικά με ρήγμα διεύθυνσης Ανατολή -Δύση (Α-Δ) που έχει σαν αποτέλεσμα την πλευρική επαφή με τον αδιαπέρατο φυλλιτικό σχηματισμό (που βρίσκεται βορειότερα), και τη δημιουργία των πηγών υπερπλήρωσης της Αγυιάς σε υψόμετρο 40 m. Βέβαια, εκτός του συνολικού όγκου νερού των ετησίων απορροών των πηγών Αγυιάς, πρέπει να τονισθεί η ύπαρξη ενός μονίμου αποθέματος στην

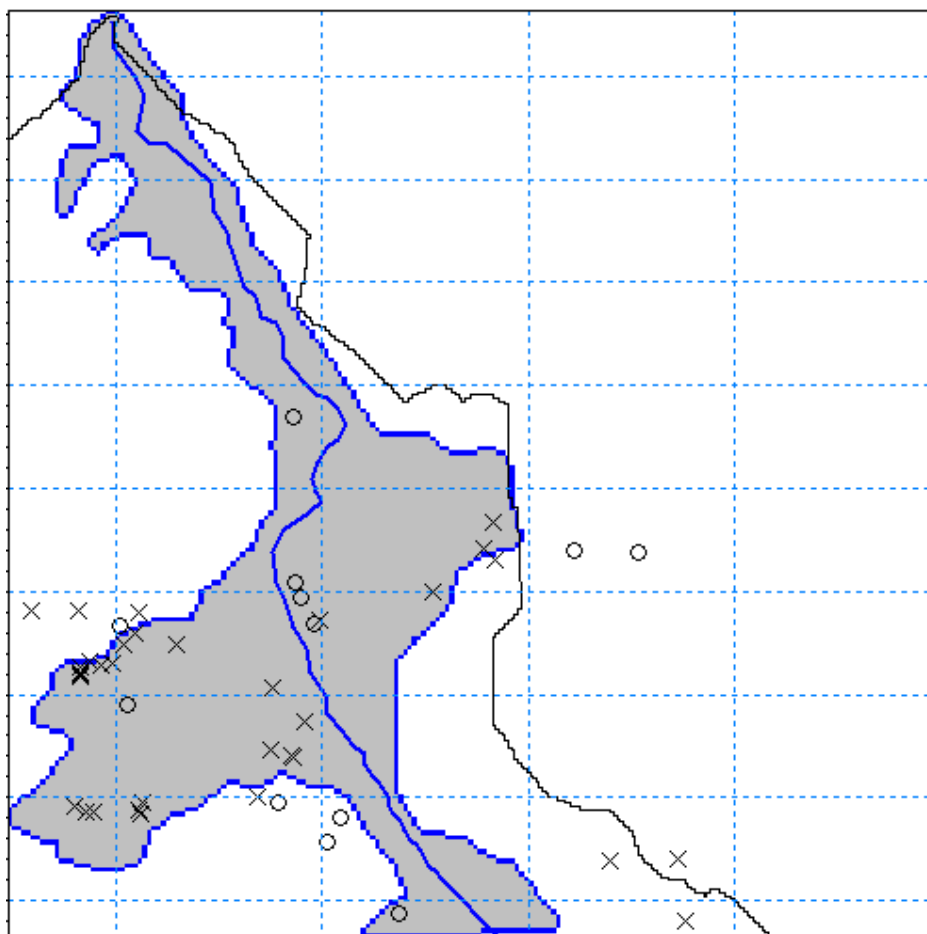
λεκάνη τροφοδοσίας των πηγών, του οποίου το μέγεθος, η ποσότητα ύδατος και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δεν είναι γνωστά.

- ❖ Το επιφανειακό υδρογεωλογικό σύστημα των φυλλιτών-χαλαζιτών στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, οι οποίοι σαν αδιαπέρατος σχηματισμός δικαιολογούν την υδροφορία τους συγκεντρώνοντας την επιφανειακή απορροή από τους χείμαρρους Μαύρο ποταμό, Βαλσαμιώτη, Φαζάς, Αλικιανιώτης οι οποίοι συγκλίνουν στον Κερίτη, στο ύψος του Σκηνέ - Αλικιανού. Στοιχεία για τις απορροές αυτών των παραποτάμων του Κερίτη, δεν υπάρχουν. Στο ΝΑ τμήμα των φυλλιτών στο χωριό Μεσκλά και στην τεκτονική επαφή τους με τους ασβεστόλιθους, που επεκτείνονται νοτιότερα σε υψόμετρο 210 m, εμφανίζονται οι πηγές των Μεσκλών (Παναγιά- Κεφαλοβρύσια -Νικολιανά) με τροφοδοσία από τους ασβεστόλιθους και απορροή επιφανειακά επί των φυλλιτών του Κερίτη.
- ❖ Το δευτερεύον υδρογεωλογικό σύστημα των τεταρτογενών αποθέσεων, βόρεια των φυλλιτών του κεντρικού τμήματος της λεκάνης Κερίτη και στα χωριά Σκηνές, Αλικιανός, Φουρνές, Βατόλακκος, Κουφός, η τροφοδοσία του οποίου γίνεται από τον Κερίτη, από την απευθείας επιφανειακή απορροή των φυλλιτών, που βρίσκονται νοτιότερα, και από υπόγειες πλευρικές μεταγίσεις των ανθρακικών σχηματισμών που βρίσκονται ανατολικά.

(Λιόνης και Περγλέρος, 2001)

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (Π1)

Το τμήμα που θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία είναι το κατάντη τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη (Εικόνα 4.3.1). Επιλέγεται το τμήμα των προσχωματικών σχηματισμών, οι οποίοι περιγράφονται ως κοκκώδεις προσχωματικές απόθεσης κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1).



Εικόνα 4.3.1: Κατάντη τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη (MIKESHE)

Η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι το μεγαλύτερο τμήμα της αποτελεί αγροτική περιοχή του Ν. Χανίων, στην οποία κυριαρχεί η καλλιέργεια των εσπεριδοειδών. Η συγκεκριμένη καλλιέργεια έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε κατανάλωση νερού ειδικά τους θερινούς μήνες, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη ορθής διαχείρισης των υδατικών αποθεμάτων, ενώ όσον αφορά τη χρήση αγροχημικών χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή της ρύπανσης του υπογείου υδατικού δυναμικού.

Με βάση τα παραπάνω, το υδατικό δυναμικό της κορεσμένης ζώνης αποτελεί σημαντικό παράγοντα μελέτης μιας και μπορεί να καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τη χωροχρονική διαθεσιμότητα νερού στην εδαφική ζώνη και την ρύπανση ή όχι των υπογείων υδάτων κατά την εφαρμογή των διαφόρων αγροχημικών.

4.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα μεγαλύτερα ποσοστά κατακρημνίσεων στην περιοχή μελέτης έχουν παρατηρηθεί, βάση μετρήσεων, μεταξύ των μηνών Οκτωβρίου-Μαρτίου όπου οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Το καλοκαίρι και πιο συγκεκριμένα ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, είναι σχεδόν άνομβρο σε ολόκληρη την πεδινή περιοχή της λεκάνης απορροής. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής εκτιμάται σε περίπου 90 ημέρες με διακύμανση τιμών από 0.3-15 ημέρες για τους μήνες Δεκέμβριο έως Ιανουάριο.

Όσον αφορά το θερμοκρασιακό προφίλ της περιοχής, γενικά παρουσιάζει σχετικά υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και ομαλή θερμοκρασιακή διακύμανση το χειμώνα. Στην πεδινή ζώνη της λεκάνης απορροής, εμφανίζεται η τιμή 9.2°C σαν μέση ελάχιστη θερμοκρασία για τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο και 30.3°C σαν μέση μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιούλιο.

Στον Πίνακα 4.4.1 παρουσιάζονται μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχοπτώσης, η μέση τιμή ημερών βροχής κατά μήνα και έτος καθώς και η εξάτμιση όπως υπολογίσθηκε μετά από παρατηρήσεις 50 ετών στην περιοχή της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 4.4.1:Μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη(Ο.Α.ΔΥ.Κ., 1998).

Μήνες	Μέσες Μηνιαίες Βροχοπτώσεις (mm)	Ημέρες Βροχής	Εξάτμιση (mm/day)
Ιανουάριος	176.4	15.3	15
Φεβρουάριος	137	14.3	40
Μάρτιος	119.5	10.5	67
Απρίλιος	52.8	7	117
Μάιος	9.9	3.4	175
Ιούνιος	5.8	0.9	235
Ιούλιος	0.9	0.5	246
Αύγουστος	4.9	0.6	207
Σεπτέμβριος	24.3	2.7	142
Οκτώβριος	82.1	7.8	81
Νοέμβριος	111.2	11.4	3
Δεκέμβριος	125.9	14.5	30
Μ.Ο.	850.7	89	1412

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ MIKE SHE

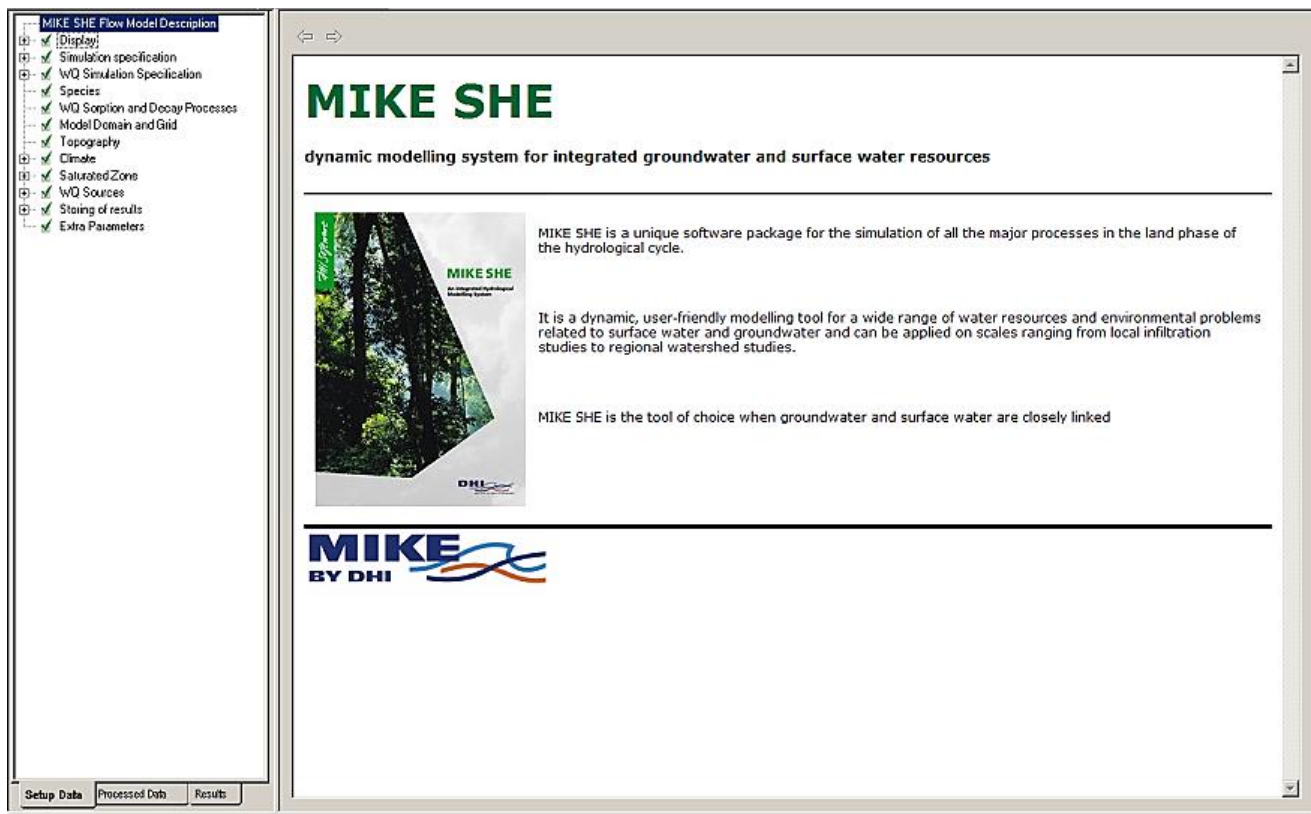
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MIKE SHE

Ένα από τα υδρολογικά μοντέλα που έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται χωρικά δεδομένα είναι το MIKESHE. Προϋπόθεση για την εισαγωγή δεδομένων είναι η προεπεξεργασία των βασικών πληροφοριών. Το MIKESHE ως πρόγραμμα που προσομοιώνει την υδρολογία μιας περιοχής, είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι συμβατό με γραμμικά αρχεία (shapefiles) του ArcGIS. Το πρόγραμμα ArcGIS αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία όχι μόνο για την προεπεξεργασία των χωρικών πληροφοριών αλλά και για την μετέπειτα επεξεργασία προκειμένου να γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε μια κατανοητή μορφή. Τα γραμμικά αρχεία shapefiles μπορεί να είναι σημειακά, γραμμικά ή πολυγωνικά.

Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ψηφιοποιήθηκαν και εισήχθησαν στο μοντέλο MIKESHE τα εξής αρχεία (.shp):

- Γεωγραφικά όρια της λεκάνης απορροής,
- Γεωλογικοί – Εδαφικοί σχηματισμοί,
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΨΜΕ),
- Βάθους υδροφόρου ορίζοντα.

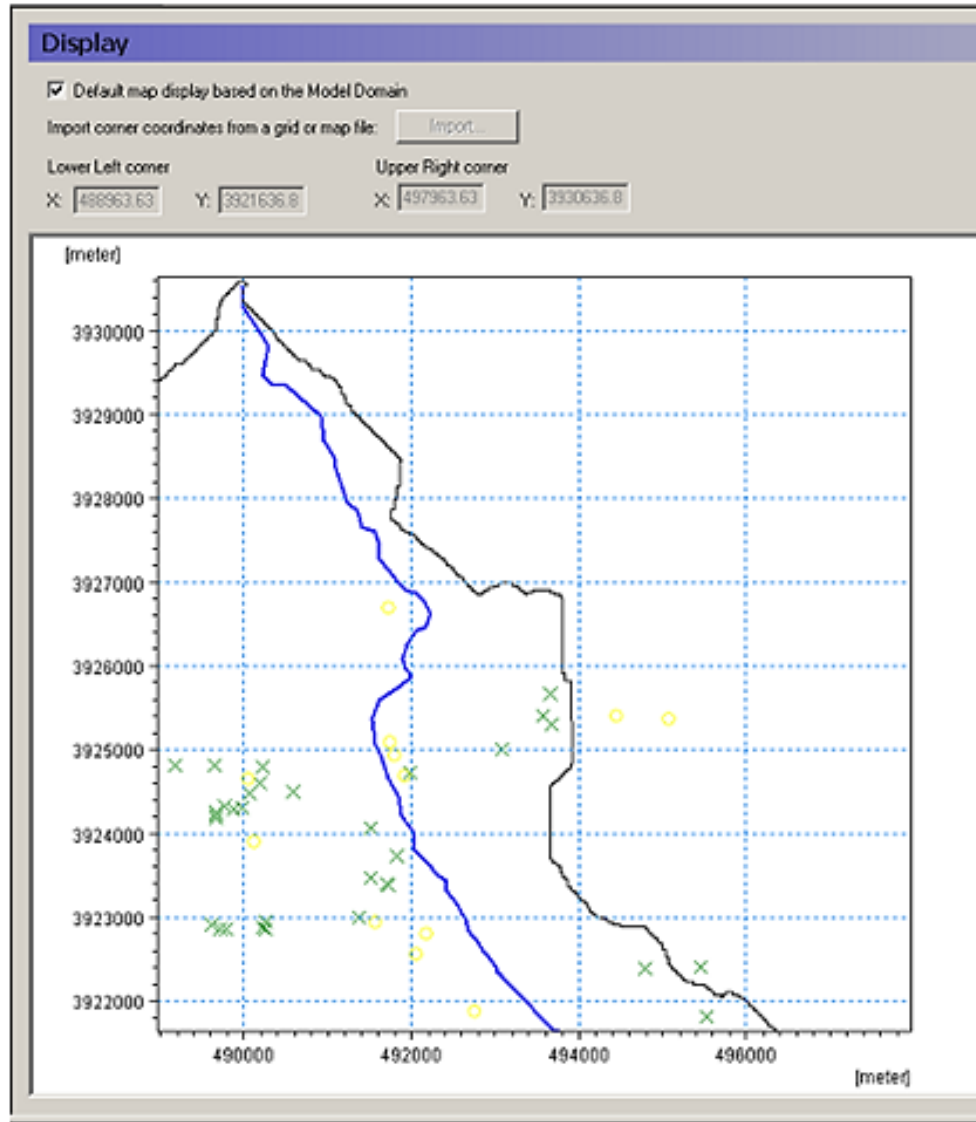
Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας (MIKEZero) του μοντέλου. Στην συγκεκριμένη εικόνα, μπορεί κανείς να διακρίνει αριστερά το δένδροειδές διάγραμμα που χρησιμοποιείται για την είσοδο και παρουσίαση των απαραίτητων δεδομένων ενώ στην δεξιά πλευρά απεικονίζεται η περιοχή αποτύπωσης των επεξεργασμένων δεδομένων και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.



Εικόνα 5.1: Περιβάλλον Εργασίας (MIKEZero)

5.1.1 Εισαγωγή Δεδομένων στο Μοντέλο MIKE SHE-Μοντελοποίηση της Ροής στην Κορεσμένη Ζώνη

Αρχικά πραγματοποιείται εισαγωγή του χάρτη της περιοχής μελέτης σε αρχείο shapefiles. Στην Εικόνα 5.1.1, παρουσιάζεται ο βασικός χάρτης υποβάθρου (backgroundmap) όπου η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στα γεωγραφικά όρια της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη, η μπλε απεικονίζει την κύρια ροή του ποταμού. Επίσης οι κίτρινοι συμβολισμοί αναπαριστούν τα πηγάδια παρατηρήσεων της στάθμης του υπογείου νερού, ενώ τα πράσινα σύμβολα αναπαριστούν τις διάφορες γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 5.1.1: Χάρτης Υποβάθρου

Το μοντέλο επιτρέπει την προσομοίωση ενός συνόλου διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- Επιφανειακή απορροή (OverlandFlow, OL),
- Ροή σε ποτάμια και λίμνες (RiversandLakes, OC),
- Εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration, ET),
- Ροή στη κορεσμένη ζώνη (SaturatedZone, SZ),
- Ροή στην ακόρεστη ζώνη (UnsaturatedZone, UZ).

Στην συγκεκριμένη μελέτη, επιλέγεται το υπομοντέλο της ροής την κορεσμένη ζώνη (SZ) με την χρήση πεπερασμένων διαφορών καθώς και η επιλογή για την προσομοίωση της ποιότητας

νερού. Επίσης άλλες καθοριστικές παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων ήταν το χρονικό βήμα και η περίοδος προσομοίωσης, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1.2.

Simulation specification

Numeric Engine
MIKE SHE

Water Movement (WM)

☐ Overland Flow (OL)
Finite Difference

☐ Rivers and Lakes (OL)

☐ Unsaturated Flow (UZ)
Richards equation

☐ Evapotranspiration (ET)

☒ Saturated Flow (SZ)
Finite Difference

☒ Include Advection-Dispersion (AD) Water Quality

☒ Calculate WQ using the finite difference, Advection-Dispersion (AD) method

☐ Calculate WQ using random walk particle tracking (SZ only)

☒ Use current WM simulation for Water Quality

Time step control

Time Steps

Initial time step: 0.1 [hrs]

Max allowed OL time step: 0.5 [hrs]

Max allowed UZ time step: 0.5 [hrs]

Max allowed SZ time step: 24 [hrs]

Increment of reduced time step length

Increment rate: (0-1): 0.05

Parameters for Precipitation-dependent time step control

Max precipitation depth per time step: 10 [mm]

Max infiltration amount per time step: 10 [mm]

Input precipitation rate requiring its own time step: 0.1 [mm/hr]

Simulation Period

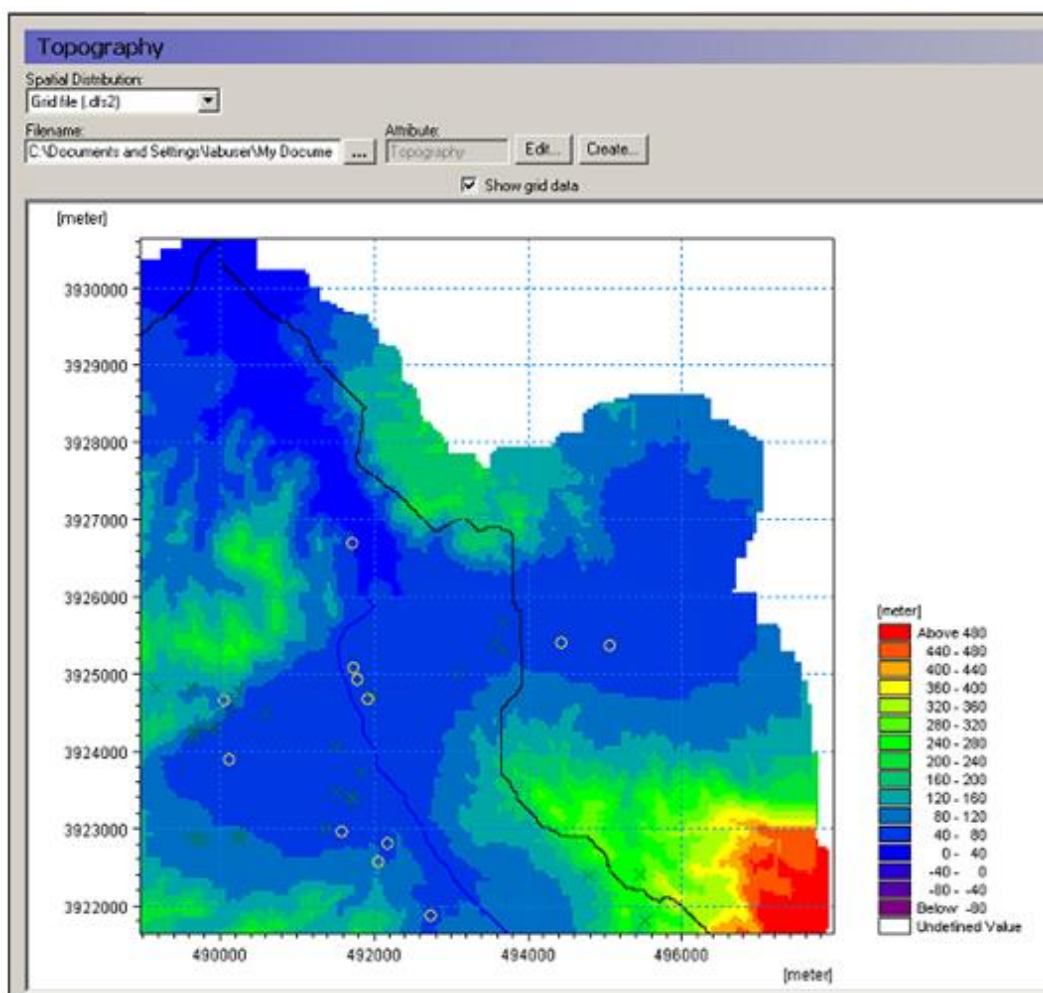
Start Date: 2011/09/02 00:00

End Date: 2012/09/01 00:00

Εικόνα 5.1.2: Προσδιορισμός παραμέτρων προσομοίωσης της ροής (διεργασίες, χρονικό βήμα, περίοδος προσομοίωσης).

Τοπογραφία περιοχής (Topography)

Για την προσομοίωση της τοπογραφίας, έγινε η εισαγωγή ενός shapefile που περιέχει τα υψόμετρα της λεκάνης απορροής. Το αρχείο αυτό μετατρέπεται σε αρχείο μορφής κάνναβου (.dfs2) και έτσι σε κάθε σημείο του δημιουργούμενου αρχείου μορφής raster, βλέπουμε το απόλυτο υψόμετρο (Εικόνα 5.1.3). Στην συγκεκριμένη εικόνα παρατηρούμε ότι η διακύμανση των υψομέτρων στο κατάντη τμήμα της λεκάνης του ποταμού Κερίτη κινείται από 0-120m.



Εικόνα 5.1.3: Υψομετρικός Χάρτης μορφής (.dfs2)

Βροχόπτωση (PrecipitationRate)

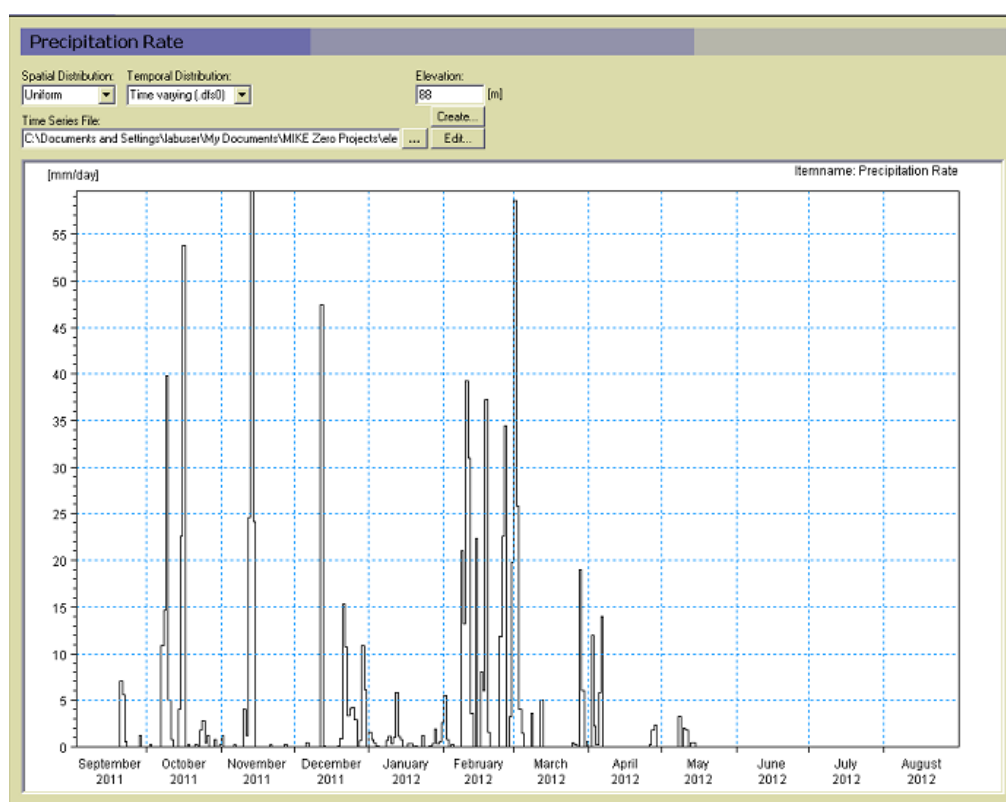
Για την εισαγωγή της βροχόπτωσης, υπάρχουν 3 στάδια που πρέπει να προσδιοριστούν:

- Ο ρυθμός βροχόπτωσης (Precipitation Rate)
- Ο συντελεστής μείωσης ρυθμού βροχόπτωσης (PrecipitationLapseRate)
- Το καθαρό κλάσμα βροχόπτωσης (NetRainfallFraction)

Ρυθμός βροχόπτωσης

Τα δεδομένα της βροχόπτωσης τα οποία χρησιμοποιήσαμε προήλθαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αλικιανού. Ο σταθμός του Αλικιανού (Lat 35.45 και Lon 23.91) βρίσκεται σε υψόμετρο 88m, και είναι υπό την εποπτεία του Ινστιτούτου Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Χανίων το οποίο ανήκει στο Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας

(ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Τα δεδομένα βροχόπτωσης τα οποία μας παραχωρήθηκαν από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. αντιστοιχούν στο χρόνο προσομοίωσης μας, από το Σεπτέμβριο του 2011 έως τον Σεπτέμβριο του 2012, με ημερήσιο χρονικό βήμα. Τα δεδομένα βροχής εισάγονται μέσα στο μοντέλο σε μορφή αρχείου χρονοσειράς (.dfs0). Στην Εικόνα 5.1.4. παρουσιάζεται η βροχόπτωση (mm/day) για τους 12 μήνες της προσομοίωσης.



Εικόνα 5.1.4: Χρονοσειρά βροχόπτωσης

Συντελεστής βροχοβαθμίδας

Για την προσομοίωση του ύψους της βροχής σε κάθε σημείο της περιοχής, έγινε χρήση της εξίσωσης της βροχοβαθμίδας, βάση της οποίας δημιουργείται ο βροχομετρικός χάρτης της περιοχής. Η μαθηματική σχέση που συνδέει το υψόμετρο με το ύψος της βροχής είναι μια εξίσωση πρώτου βαθμού, της μορφής $y = ax + b$ με ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο της περιοχής και εξαρτημένη το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης από τον σταθμό μελέτης. Η αξιοπιστία της σχέσης πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο των συντελεστών προσαρμογής R των δύο μεγεθών, εφαρμόζοντας την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Στην προκειμένη περίπτωση, η μαθηματική σχέση που συνδέει το υψόμετρο με το ύψος της βροχής

είναι $y = 0.8385x + 839.18$ και ο συντελεστής προσαρμογής $R^2=0.99$. Η σχέση θεωρήθηκε ικανοποιητική εφόσον ο συντελεστής προσαρμογής (R^2) είναι μεγαλύτερος από 0.8.

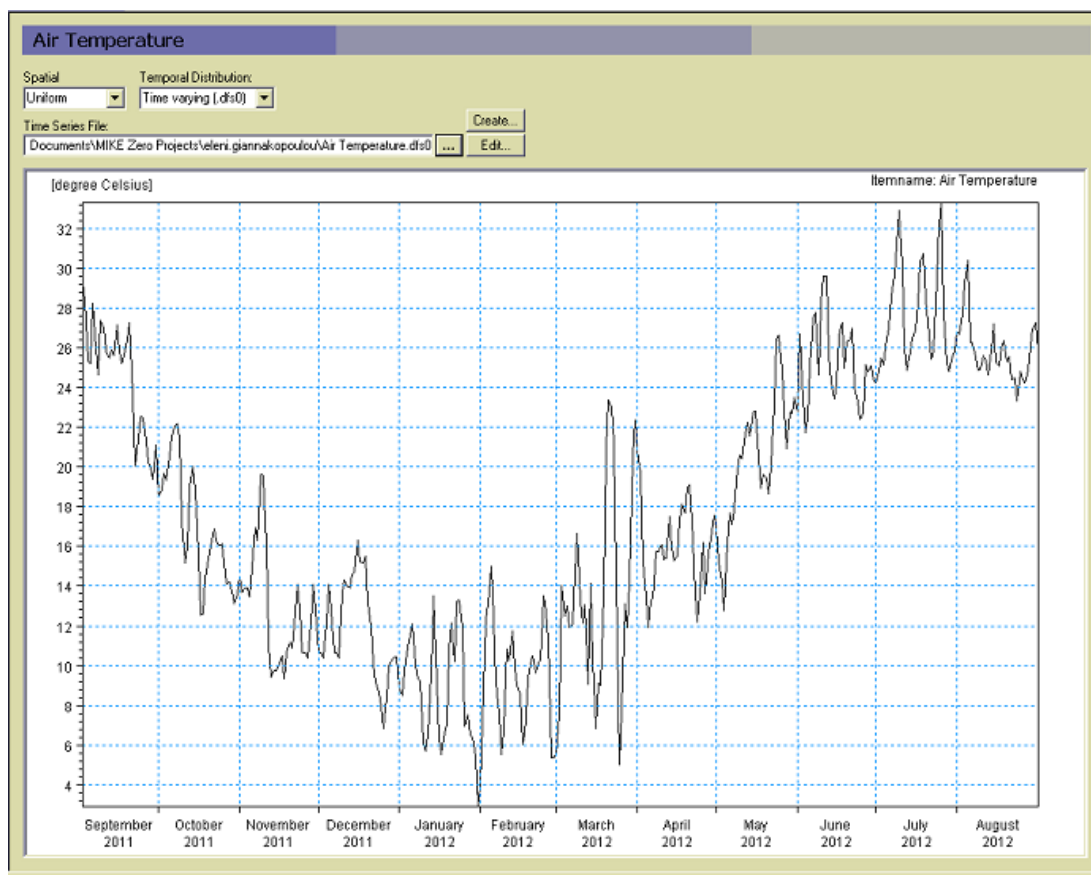
Στην περίπτωση μας, δεδομένα που αφορούν την εξίσωση της βροχοβαθμίδας για την λεκάνη απορροής του ποταμού Κερίτη και η τιμή του αντίστοιχου συντελεστή προσαρμογής (R^2) προήλθε από βιβλιογραφικά δεδομένα (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2010). Έτσι η τιμή του συντελεστή Precipitation Correction Lapse Rate καθορίστηκε στην τιμή 0.8385.

Συντελεστής επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε τον συντελεστή επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης «Net Rainfall Fraction», που αντιπροσωπεύει το καθαρό κλάσμα της βροχόπτωσης που διατίθεται για τη διήθηση και την επιφανειακή απορροή. Ουσιαστικά ο συντελεστής «Net Rainfall Fraction» χρησιμοποιείται από το μοντέλο MIKE SHE ως ένας εναλλακτικός τρόπος καθορισμού των απωλειών λόγω εξατμισοδιαπνοής, όταν η εξατμισοδιαπνοή δεν αποτελεί επιλογή προσομοίωσης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μας (DHI, 2007). Ενδεικτικές τιμές διακύμανσης του συγκεκριμένου συντελεστή στον Ελλαδικό χώρο, όπου έχουν υψηλές τιμές εξατμισοδιαπνοής, προσδιορίζονται μεταξύ των τιμών 0.15-0.4. Οι τιμές αυτές καθορίζουν ότι το 15-40% της βροχόπτωσης χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής. Στην παρούσα προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικές τιμές, που αναφέρονται στο κατάντη τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη (Λάλος, 2012). Συγκεκριμένα ο συντελεστής επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης «Net Rainfall Fraction» προσδιορίστηκε ίσος με 0.25.

Θερμοκρασία (Temperature)

Στα δεδομένα εισόδου του μοντέλου εισάγαμε επίσης τη μέση ημερήσια θερμοκρασία για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, εισήχθηκε χρονοσειρά θερμοκρασίας της μορφής (.dfs0) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1.5:



Εικόνα 5.1.5: Χρονοσειρά μέση ημερήσιας θερμοκρασίας

Κορεσμένη Ζώνη (SaturatedZone)

Εν συνεχεία παρατίθενται αναλυτικά οι κυριότεροι παράμετροι προσομοίωσης της κορεσμένης ζώνης με την δομή που εμφανίζονται στο πρόγραμμα εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω γίνεται μια αναλυτική αναφορά των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να χαρακτηρίσουν την κορεσμένη ζώνη προσομοίωσης. Οι τιμές των παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.1.

- **Κατώτερο όριο κορεσμένης ζώνης**

Τα όρια της κορεσμένης ζώνης καθορίζονται από το κατώτερο όριο αυτής. Συγκεκριμένα τα κατώτερο όριο χαρακτηρίζεται από τα γεωλογικά στρώματα, τον αριθμό των στρωμάτων καθώς και την ποιότητα νερού. Στην παρούσα εργασία, για την βέλτιστη εξαγωγή αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε κάθετος διαχωρισμός του εδάφους σε τρία διαφορετικά στρώματα ανάλογα

με τον συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, το πορώδες και την ένταση της μικροβιακής δραστηριότητας.

- **Οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα**

Η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα αποτελεί την συνάρτηση της ευκολίας με την οποία το νερό μπορεί να ρέει εντός του κορεσμένου με νερό εδάφους. Έτσι, οι τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας σε εδάφη με χονδρή άμμο είναι αρκετά υψηλές έως και 0.001 m/sec, ενώ στα πιο συμπυκνωμένα εδάφη (πηλός) οι τιμές κυμαίνονται έως και 5 τάξεις μεγέθους πιο χαμηλά (10^{-8} m/sec). Στο μοντέλο MIKESHE η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα είναι ισοτροπική στις διευθύνσεις x και y.

- **Κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα**

Όπως προαναφέρθηκε στην οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα, ομοίως και η κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα αποτελεί την συνάρτηση υψής του εδάφους καθώς και την ευκολία να ρέει το νερό μέσα στο έδαφος. Γενικά στα μοντέλα υπόγειας ροής, η κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα θεωρείται ότι είναι αριθμητικά 5-10 φορές χαμηλότερη από την οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα.

- **Ειδική απόδοση**

Σε έναν μη περιορισμένο υδροφορέα, η ειδική απόδοση ορίζεται ως ο όγκος του νερού που ελευθερώνεται κατά την ταπείνωση του φρεάτιου ορίζοντα ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα μείωσης της στάθμης. Η ειδική απόδοση είναι πολύ μεγαλύτερη από την ειδική αποθήκευση, η οποία ορίζεται ως ο όγκος νερού που απομακρύνεται από έναν υδροφορέα μετά από μείωση της πίεσης, ανά μονάδα όγκου του υδροφορέα και ανά μονάδα μείωσης του υδραυλικού ύψους.

- **Συντελεστής αποθήκευσης**

Συντελεστής αποθήκευσης ή αποθηκευτικότητα ορίζεται ως ο όγκος νερού που απομακρύνεται από έναν υδροφορέα ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας του υδροφορέα και ανά μονάδα μείωσης του υδραυλικού ύψους. Ο συντελεστής αυτός έχει σαν μονάδα μέτρησης 1/L.

- **Πορώδες**

Σε ένα πορώδες μέσο, το μεγαλύτερο μέρος του όγκου καταλαμβάνεται από σωματίδια του εδάφους και η πραγματική διαθέσιμη έκταση για τη ροή του νερού είναι πολύ μικρότερη από την προς μελέτη περιοχή. Η εν λόγω διάκριση είναι σημαντική κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής κατά την μεταφορά ουσιών. Το πορώδες αποτελεί το εμβαδόν διατομής που διατίθεται για ροή διαιρεμένο με την μελετώμενη διατομή. Αυτό συχνά αναφέρεται ως ενεργό πορώδες, δεδομένου ότι αφαιρεί τα νεκρά διαστήματα των πόρων που δεν είναι διαθέσιμα για ροή. Στη περίπτωση αυτή, το πορώδες είναι ίσο με την ειδική απόδοση. Οι τιμές του πορώδους πρέπει να κυμαίνονται από 0-1. Οι πιο συνηθισμένες τιμές είναι από 0.15-0.3 ανάλογα με την κοκκομετρική κατανομή.

- **Φαινομενική πυκνότητα**

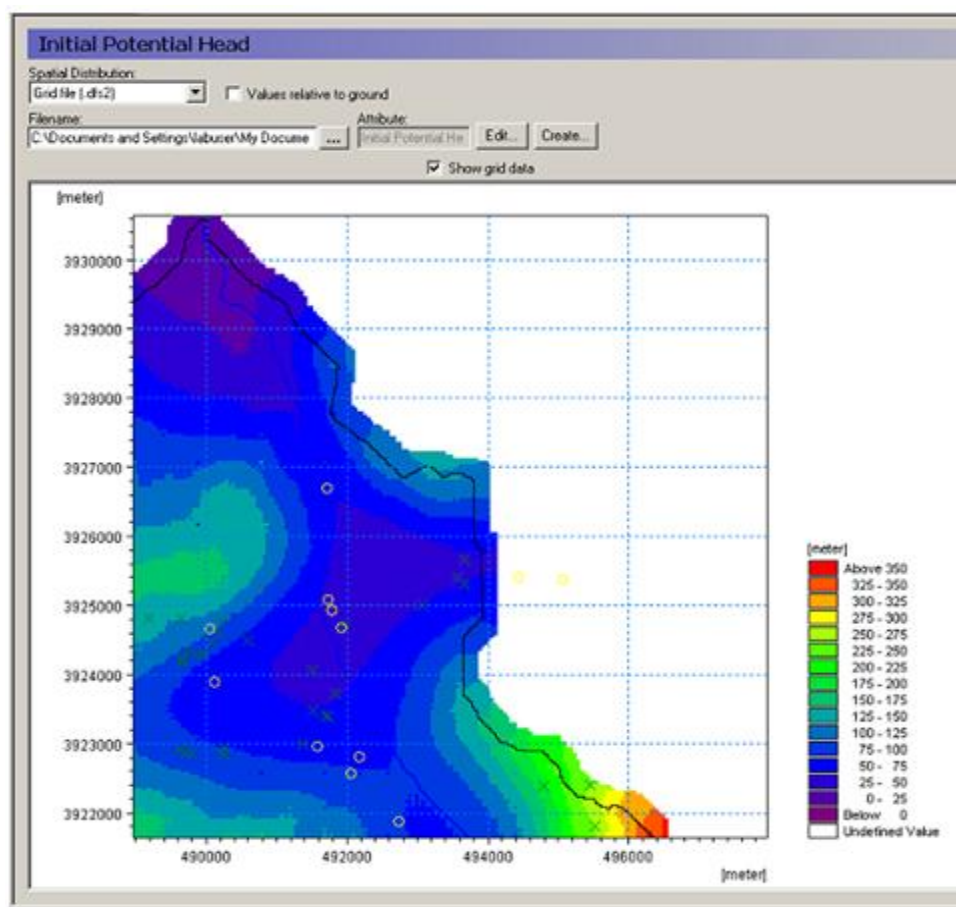
Η φαινομενική πυκνότητα είναι η μέση πυκνότητα του υλικού του εδάφους, συμπεριλαμβάνοντας και τον κενό χώρο. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της ρόφησης των διαλυμένων ουσιών όταν αποτελεί ενεργή επιλογή στη κορεσμένη ζώνη.

Πίνακας 5.1.1: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης

Παράμετροι Προσομοίωσης	Τιμές
Κατώτερο όριο κορεσμένης ζώνης	100m
Οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα	0.0015m/sec
Κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα	0.00015
Ειδική απόδοση	0.2
Συντελεστής αποθήκευσης	0.0001m ⁻¹
Πορώδες	0.3
Φαινομενική πυκνότητα	1700kg/m ³

Μια άλλη απαραίτητη παράμετρος εισαγωγής στο μοντέλο είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα κατά την χρονική περίοδο έναρξης της προσομοίωσης. Με βάση δεδομένα στάθμης υπογείου νερού από πηγάδια και γεωτρήσεις, και με τη χρήση της μεθόδου βέλτιστης παρεμβολής-Kriging, προσδιορίστηκε ο χάρτης με το εκτιμώμενο βάθος του υδροφόρου

ορίζοντα στην περιοχή μελέτης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.6 (αρχείο .dfs2), το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα ποικίλει φτάνοντας και τα 350m στην ορεινή περιοχή του μελετούμενου τμήματος της λεκάνης του Κερίτη.

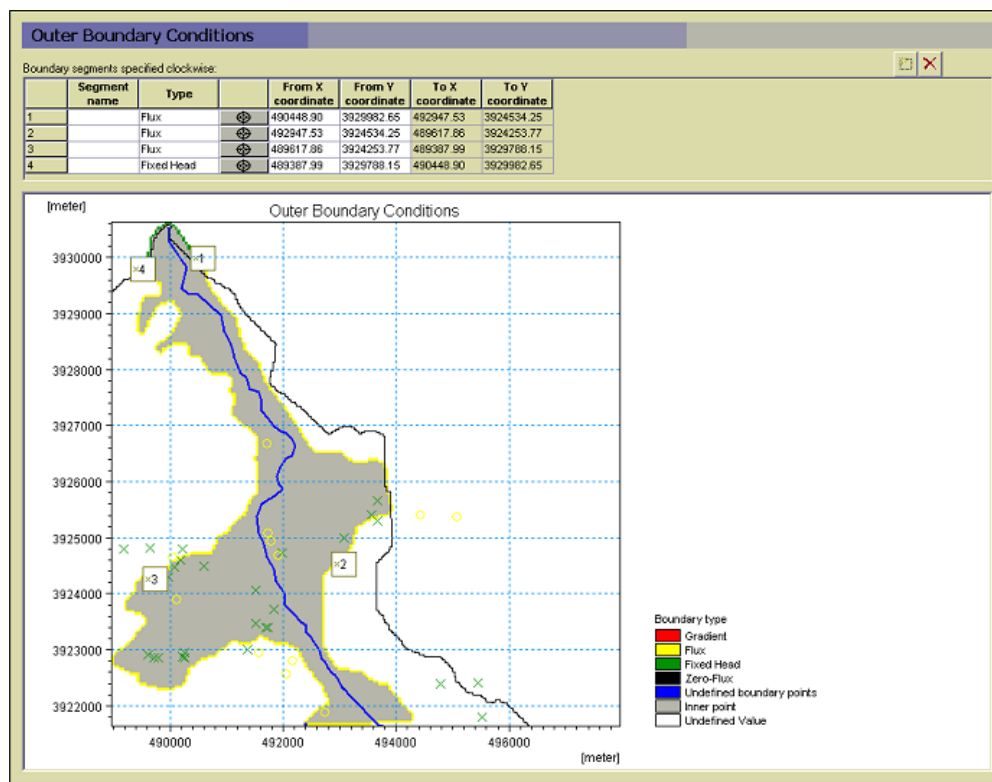


Εικόνα 5.1.6: Βάθος υδροφόρου ορίζοντα

Στη συνέχεια προσδιορισθηκαν οριακές συνθήκες ροής στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν 2 διαφορετικές οριακές συνθήκες σε 4 διαφορετικά τμήματα της εν λόγω περιοχής, όπως χαρακτηριστικά φαίνονται στην Εικόνα 5.1.7:

α) Χρονικά μεταβαλλόμενη οριακή συνθήκη ροής δευτέρου είδους (flux) από τα ορεινά της λεκάνης απορροής (Τμήματα 1-2, 2-3),

β) σταθερή οριακή συνθήκη πρώτου είδους ίση με $0 \text{ m}^3/\text{sec}$ στην θάλασσα (Τμήματα 3-4, 4-1).



Εικόνα 5.1.7: Οριοθέτηση οριακών συνθηκών ροής

Οι τιμές των οριακών συνθηκών προσδιορίστηκα έτσι ώστε να πετύχουμε καλό «fit» (ταίριασμα) μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων στάθμης από διάφορες γεωτρήσεις με αυτές των αποτελεσμάτων του μοντέλου (υδραυλικά ύψη). Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η βαθμονόμηση (calibration) της ροής των υπογείων υδάτων στην περιοχή μελέτης.

5.1.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο Μοντέλο MIKE SHE, Μοντελοποίηση Μεταφοράς Ρύπου στην Κορεσμένη Ζώνη

Παράλληλα με τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της κορεσμένης ζώνης, στη μηχανή προσομοίωσης της ποιότητας νερού (waterquality) του μοντέλου MIKESHE εισάγονται συγκεκριμένοι παράμετροι για την διεξαγωγή της προσομοίωσης μεταφοράς αγροχημικών στα υπόγεια ύδατα. Αναλυτικότερα, κληθήκαμε να καθορίσουμε την χρονική περίοδο και το χρονικό βήμα τα οποία ταυτίζονται με τα αντίστοιχα της προσομοίωσης της υπόγειας ροής. Ο χρόνος προσομοίωσης είναι για ένα χρόνο (Σεπτέμβριος 2011-Σεπτέμβριος 2012) με χρονικό βήμα 24hours.

Στη συνέχεια γίνεται επιλογή του είδους του ρύπου καθώς και των φυσικών ιδιοτήτων του. Πιο συγκεκριμένα, ο ρύπος μπορεί να βρίσκεται είτε σε διαλυμένη είτε σε προσροφώμενη μορφή. Αν είναι σε διαλυμένη μορφή τότε κινείται πιο εύκολα προς τα υπόγεια νερά, ενώ αν είναι στην προσροφώμενη μορφή, τότε η κίνησή του επηρεάζεται καθοριστικά από τον τύπο του εδάφους. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες παράμετροι που εισήχθησαν στην μηχανή προσομοίωσης ποιότητας νερού του μοντέλου MIKESHE.

- ❖ Θερμοκρασία αναφοράς, γίνεται επιλογή μιας μέσης θερμοκρασίας για την μελετώμενη περιοχή στους 20°C.
- ❖ Χαρακτηριστικά ρύπου, αν βρίσκεται σε προσροφώμενη ή διαλυμένη μορφή.
- ❖ Καμπύλη ισόθερμης ισορροπίας (Linear), η οποία αποτελεί την πιο απλή ισόθερμη και χαρακτηρίζεται από μια γραμμική σχέση μεταξύ της ποσότητας που προσροφάτε από το έδαφος και της συγκέντρωσης του διαλύτη.
- ❖ Τύπος κινητικής ισορροπίας (Hysterisis), εάν θεωρήσουμε ένα δείγμα εδάφους το οποίο είναι κορεσμένο και εφαρμόσουμε κάποια πίεση απορρόφησης, η καμπύλη που λαμβάνουμε από γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων περιεκτικότητας ύδατος και πίεσης ονομάζεται καμπύλη αποξήρανσης, ενώ εάν το δείγμα επανακορεσθεί, η λαμβανόμενη καμπύλη ονομάζεται καμπύλη ύγρανσης (Καρατζάς, 2012).
- ❖ Κλάσμα ισορροπίας ρόφησης: αποτελεί το κλάσμα της διαλυμένης ουσίας που προσροφάτε άμεσα με την χρήση της ισόθερμης ισορροπίας. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η τιμή 0.7.
- ❖ Συντελεστής Διαμήκους διασποράς (a_L) και Συντελεστής Εγκάρσιας διασποράς (a_T).
Ο λόγος του συντελεστή διαμήκους διασποράς ως προς τον συντελεστή εγκάρσιας διασποράς (a_L / a_T) μέσα σε έναν υδροφορέα παίζει σημαντικό ρόλο όσον αφορά το σχήμα της ζώνης ρύπανσης. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος, τόσο ευρύτερη είναι η ζώνη ρύπανσης. Αναλυτικότερα, ο ρύπος απλώνεται κατά μήκος του άξονα ροής λόγω της επιμήκους διασποράς και κάθετα προς τον άξονα ροής λόγω εγκάρσιας διασποράς.

Σημαντικός παράγοντας στις τιμές των δύο αυτών συντελεστών αποτελεί ο βαθμός ανομοιογένειας του εδάφους. Η διαφορά μεταξύ των τιμών είναι μια τάξη μεγέθους ($a_T = 0.1a_L$) (Καρατζάς, 2012). Στην μελετούμενη περιοχή με θεωρήσαμε τιμή διαμήκους διασποράς ίση με 15m, ενώ τιμή εγκάρσια διασποράς ίση με 1.5m

Οι παραπάνω παράμετροι προσδιορίστηκαν και εισήχθησαν στο μοντέλο με βάση βιβλιογραφική ανασκόπηση (Εικόνα 5.1.8).

Water Quality Sorption and Decay

Decay Processes

	Name	Species	Temperature Dependant Decay	Reference temperature	Temp-decay exponent	Water Content Dependant Decay	Water content decay exponent
1	Decay_1	Species_1	☒	20	1	☐	1
2	Decay_2	Species_2	☒	20	1	☐	1

Sorption Processes

	Name	Sorption Type	Species	Sorbed Species	Equilibrium Isotherm	Kinetic Type	Equilibrium Sorption Fraction	Sorption Bias Factor for Dual Porosity
1	Sorp_1	Equilibrium	Species_1	Species_2	Linear	Hysteresis	0.7	0

Εικόνα 5.1.8: Παράμετροι καθορισμού της προσρόφησης και αποδόμησης

Καθορισμός εδαφικού προφίλ

Στο μοντέλο MIKESHE, υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί ένα εννοιολογικό στρωματικό προφίλ παρόμοιο με αυτό των γεωλογικών στρωμάτων το οποίο στηρίζεται σε βασικές χημικές παραμέτρους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το δυναμικό οξειδοαναγωγής το οποίο γενικά δεν ακολουθεί τα γεωλογικά στρώματα και κατά συνέπεια παράμετροι ποιότητας νερού που σχετίζονται με την διαδικασία οξειδοαναγωγής να είναι αρκετά διαφορετικοί.

Σε πολλές περιπτώσεις, όπως και στην παρούσα εργασία, οι διάφορες παράμετροι της ποιότητας νερού δεν συναντώνται σε πανομοιότυπα στρώματα γιατί είναι πιθανόν δύο ή περισσότερες παράμετροι να διαφέρουν. Επίσης αξίζει να αναφέρουμε ότι συνήθως στα ανώτερα εδαφικά στρώματα η μικροβιακή δραστηριότητα είναι πιο έντονη σε σχέση με τα κατώτερα. Η μικροβιακή δραστηριότητα συμβάλει καταλυτικά στην γρήγορη αποδόμηση ρυπογόνων ουσιών όπως τα διάφορα γεωργικά φάρμακα. Προκειμένου λοιπόν να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια προσομοίωσης της μεταφοράς των αγροχημικών στην περιοχή μελέτης. Πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός του εδαφικού προφίλ σε στρώματα.

Κατά την προσθήκη των παραπάνω στρώματων που εμφανίζονται στο δενδροειδές διάγραμμα, απαιτείται ο καθορισμός του βάθους των στρώματων καθώς επίσης και παραμέτρων που αφορούν την αντίδραση (χημική διάσπαση) του μελετώμενου ρυπογόνου παράγοντα στα αντίστοιχα στρώματα ή εδαφικά βάθη που έχουν καθοριστεί. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο χρόνος ημιζωής και ο συντελεστής γραμμικής ρόφησης (linearsorptioncoefficient K_d).

Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία με χρήση βιβλιογραφικών αναφορών (Οικονόμου, 2012), η εδαφική ζώνη (ακόρεστη και κορεσμένη) διακριτοποιήθηκε σε 3 στρώματα. Το κατώτερο όριο του κάθε στρώματος συμπίπτει με την κορυφή του στρώματος που ακολουθεί. Αναλυτικότερα, το πρώτο στρώμα καθορίστηκε μέχρι το βάθος των 0.2m, το δεύτερο μέχρι το βάθος 1m και το τελευταίο μέχρι το όριο της κορεσμένης ζώνης που για την περιοχή ενδιαφέροντος οριοθετήθηκε στα 200 m. Η κάθετη διακριτοποίηση του εδαφικού βάθους, παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1.2.

Διεργασία Αποδόμησης (DecayProcess)

Για κάθε ένα από τα παραπάνω εδαφικά στρώματα, καθορίζεται ο χρόνος ημιζωής για τον κάθε ρύπο. Ως χρόνος ημιζωής ορίζεται ο χρόνος ή η περίοδος που απαιτείται για να διασπαστεί στο μισό η δραστική ουσία του ρυπογόνου παράγοντα. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι χαρακτηριστικό της κάθε χημικής ουσίας και μεταβάλλεται με το εδαφικό βάθος. Αναλυτικότερα, η μικροβιακή δραστηριότητα που συμβάλει στην διάσπαση του ρύπου, είναι αισθητά πιο έντονη στα πρώτα 0.2m του εδαφικού βάθους και μειώνεται σταδιακά στα κατώτερα στρώματα (Οικονόμου, 2012). Ο χρόνος ημιζωής μπορεί να κυμανθεί από εκατομμύρια χρόνια, όπου η αντίδραση διάσπασης δεν θα συμβεί ποτέ, έως και κλάσματα δευτερολέπτου όπου η αντίδραση πραγματοποιείται ακαριαία.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ως ρυπογόνος παράγοντας το αγροχημικό Methomyl/Lannate (εντομοκτόνο). Το Methomyl/Lannate είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα τα τελευταία χρόνια εντομοκτόνο το οποίο χρησιμοποιείται για την προστασία του φυλλώματος και των καρπών σε λαχανικά, μονοετής και δενδροειδής καλλιέργειας. Έχει την ικανότητα να απορροφάται από τα φυτά χωρίς όμως να γίνεται φυτοτοξικό και κατά συνέπεια επιβλαβές στο φυτό. Είναι προφανές ότι η ανεξέλεκτη χρήση του σε καλλιεργήσιμες περιοχές μπορεί να έχει σαν τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο, για τον λόγο αυτό μετά από έρευνες έχει οριστεί επιτρεπτό όριο ανίχνευσης κατάλοιπων του συγκεκριμένου

φυτοφαρμάκου στο πόσιμο νερό τα 0.0001mg/L. Οι τιμές του χρόνου ημιζώης, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία για το συγκεκριμένο εντομοκτόνο και για τα διάφορα εδαφικά βάθη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.2. Οι επιπτώσεις του αγροχημικού τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον έχουν τοξική δράση. Η τυχόν επαφή του ανθρώπου με τον ρύπο μπορεί να προκαλέσει από μέτριους ερεθισμούς στα μάτια και στο δέρμα έως και δυσλειτουργία σωματικών οργάνων. Η χρόνια έκθεση στο Methomyl/Lannate δεν προκαλεί χρωμοσωματικές διαφοροποιήσεις ή καρκινώματα. Όσον αφορά τις επιπτώσεις του στο περιβάλλον, εκτός από την μόλυνση λόγω τοξικότητας σε χλωρίδα και πανίδα, η εφαρμογή του φυτοφαρμάκου σε εδάφη διαπερατά όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μικρό βάθος, έχει σαν αποτέλεσμα τη ρύπανση των υπογείων υδάτων (Agricultural Products Company, 1992).

Διεργασία Ρόφησης (Sorption Process)

Όσον αφορά τις διεργασίες ρόφησης του ρύπου στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η γραμμική ισόθερμη ρόφηση. Η συγκεκριμένη ισόθερμη είναι η απλούστερη και μπορεί να περιγραφεί ως μια γραμμική σχέση μεταξύ του ποσού της διαλυμένης ουσίας που ροφήθηκε από το υλικό του εδάφους και της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης της ουσίας.

Οι τιμές του συντελεστή ρόφησης K_d που εισήχθησαν στο μοντέλο προσομοίωσης για κάθε στρώμα και για το μελετούμενο ρύπο Methomyl/Lannate, υπολογίστηκαν μετά από βιβλιογραφική έρευνα και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.2.

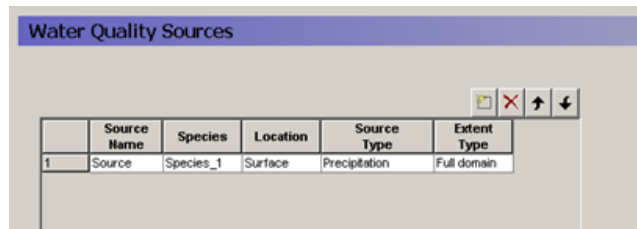
Πίνακας 5.1.2: Παράμετροι εδαφικού προφίλ ποιότητας νερού, ρόφησης-αποδόμησης

Βάθος υπεδάφους (m)	Χρόνος Ημιζώης (years)	Τιμές K_d (m³/gr)
0-0.2	0.0079	0.001174
0.2-1	0.0079	0.0001
1-200	0.1	$2.9 \cdot 10^{-5}$

Εφαρμογή ρύπου

Το μοντέλο MIKESHE είναι αρκετά ευέλικτο στον καθορισμό και την θέση εφαρμογής του ρύπου. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε ότι η εφαρμογή του μελετώμενου εντομοκτόνου πραγματοποιείται σε όλη την περιοχή μελέτης (fullmodeldomain) με ψεκασμό επιφάνειας όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.1.9. Ο λόγος που επιλέχθηκε η εφαρμογή του ρύπου να γίνει σε όλο το model domain ήταν για να προσδιοριστούν και να συγκριθούν

χωροχρονικά οι περιοχές που είναι πιο επιρρεπείς/ευάλωτες στη ρύπανση των υπογείων υδάτων κατά την χρήση αγροχημικών, για διάφορα σενάρια εφαρμογής. Η εφαρμογή του εντομοκτόνου θεωρήθηκε ότι έγινε την 3^η Σεπτεμβρίου 2011, ενώ η συγκέντρωση του φαρμάκου προσδιορίστηκε στα 3kg/m³, σύμφωνα με τις προδιαγραφές χρήσης του συγκριμένου εντομοκτόνου. Η συγκέντρωση εφαρμογής του εντομοκτόνου εισήχθη στο μοντέλο μέσω αρχείου χρονοσειρά τύπου dfs0.



	Source Name	Species	Location	Source Type	Extent Type
1	Source	Species_1	Surface	Precipitation	Full domain

Εικόνα 5.1.9: Παράμετροι εφαρμογής ρύπου

Το επόμενο στάδιο της μοντελοποίησης αφορά το «τρέξιμο»/εκτέλεση του μοντέλου. Το μοντέλο MIKESHE διαθέτει ένα σετ εικονιδίων τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης σε δύο στάδια:

1. Το εικονίδιο PP, το οποίο ξεκινά την προεπεξεργασία των δεδομένων μετατρέποντάς τα σε δυαδική μορφή. Η προεπεξεργασία αυτή χαρακτηρίζεται απαραίτητη στη όλη διαδικασία προκειμένου να δημιουργηθεί το αριθμητικό μοντέλο.
2. Τα εικονίδια WM και WQ, τα οποία αποτελούν την έναρξη της τελικής διαδικασίας προσομοίωσης της ροής και της μεταφοράς ρύπου αντίστοιχα.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΕΝΑΡΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση διαφόρων υποθετικών σεναρίων εφαρμογής γεωργικών φαρμάκων, προκειμένου να καλυφθεί ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων με διαφοροποιημένες παραμέτρους σε σχέση τις αρχικές. Σκοπός της εφαρμογής των υποθετικών σεναρίων είναι η διεξαγωγή συγκριτικών αποτελεσμάτων χρήσιμων για την κατανόηση και την συμβολή καθενός από τους παράγοντες που εξετάζουμε στο πρόβλημα ρύπανσης του υφιστάμενου υπόγειου υδροφορέα. Επιπροσθέτως, αξίζει να αναφερθεί ότι τα σενάρια που θα αναλυθούν εκτενώς στο παρών κεφάλαιο έχουν ρεαλιστική βάση και πρακτική σημασία διότι επιλέχθηκαν να μελετηθούν βάσει των ιδιομορφιών της υπό μελέτη περιοχής και διάφορων άλλων κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που σχετίζονται άμεσα με τα αίτια ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο: ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ 10%

Στο υποθετικό αυτό σενάριο μελετάται η επίδραση της αύξησης του ποσοστού της βροχόπτωσης, κατά 10%, στις πραγματικές τιμές βροχής που έχουν καταγραφεί κατά τη χρονική περίοδο προσομοίωσης του μοντέλου (από Σεπτέμβριο 2011 έως Σεπτέμβριο 2012). Η σημασία της αύξησης του ποσοστού βροχόπτωσης γίνεται κατανοητή αν σκεφτούμε ότι η περιοχή της Δ. Κρήτης είναι αφενός μια από τις περιοχές της Ελλάδας με τα υψηλότερα ποσοστά βροχόπτωσης αφετέρου, σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες αναμένεται μια αύξηση του ρυθμού βροχόπτωσης στη συγκεκριμένη περιοχή επόμενα χρόνια (Τσάνης, 2011). Μια αύξηση της βροχόπτωσης της τάξης του 10% συνεπάγεται μια αύξηση της πιθανότητας παρουσίας ενός ρυπογόνου παράγοντα στην κορεσμένη ζώνη. Αναμένουμε λοιπόν να δούμε από τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου σεναρίου κατά πόσο η συμβολή της αύξησης της βροχόπτωσης είναι καταλυτικός παράγοντας στη μεταφορά του ρύπου στη κορεσμένη ζώνη.

6.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2^ο : ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΤΑ 10%

Εκτός από την αύξηση της βροχόπτωσης η οποία αποτελεί μία φυσική παρέμβαση στα δεδομένα του συγκεκριμένου προβλήματος υπάρχει και μια σειρά κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων που θα μπορούσαν να μεταβάλουν τις παραμέτρους που θεωρήσαμε ως προϋποθέσεις για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης. Επί παραδείγματι, έχει ενδιαφέρον

να μελετηθεί το υποθετικό σενάριο αύξησης της συγκέντρωσης του εφαρμοζόμενου αγροχημικού πέραν εκείνης που αντιστοιχεί στην ‘ορθή’ και σύμφωνα με τις προδιαγραφές του φαρμάκου. Το συγκεκριμένο σενάριο έχει πρακτική εφαρμογή αν σκεφτούμε ότι αρκετοί αγρότες πιστεύουν λανθασμένα ότι αυξάνοντας πολλές φορές τη δόση του γεωργικού φαρμάκου θα αυξήσουν και την προσδοκώμενη παραγωγή. Γι’ αυτό το λόγο κρίθηκε αναγκαίο να μελετήσουμε την συμπεριφορά του συγκεκριμένου αγροχημικού στην περίπτωση αύξησης της συγκέντρωσης εφαρμογής του κατά 10%, θα αξιολογηθεί έτσι η επιβάρυνση των υπογείων υδάτων και θα προσδιοριστούν χωροχρονικά οι περιοχές εκείνες που είναι πιο επιρρεπείς στη ρύπανση.

6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3^ο: ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΙΖΩΗΣ

Σε αυτό το υποθετικό σενάριο θα μελετηθεί η αύξηση του χρόνου ημιζωής του μελετώμενου αγροχημικού. Όπως είναι κατανοητό η αλλαγή του χρόνου ημιζωής προϋποθέτει την χρήση ενός διαφορετικού αγροχημικού, αφού ο χρόνος ημιζωής αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε ένα γεωργικό φάρμακο/δραστική ουσία. Αυτό όμως αποτελεί ένα σενάριο άκρως ρεαλιστικό, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα άλλο αγροχημικό με μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής. Στη προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το αγροχημικό diuron/Karmex το οποίο αποτελεί ένα ζιζανιοκτόνο με ευρεία χρήση σε καλλιεργήσιμες περιοχές όπως στα εσπεριδοειδή. Ο χρόνος ημι-ζωής του αγροχημικού αυτού, με βάση βιβλιογραφικές αναφορές είναι 90days για τα δύο πρώτα στρώματα (από 0-0.2 m και 0.2-1m), ενώ για το τρίτο στρώμα (1-200m) η τιμή του χρόνου ημι-ζωής είναι 1year. Η έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις του ζιζανιοκτόνου diuron, προκαλεί σχηματισμό μεθαιμοσφαιρίνης, ανωμαλίες στα μόρια μεταφοράς οξυγόνου του αίματος και της αιμοσφαιρίνης. Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος κατατάσσει το diuron ως καρκινογόνο μετά από μελέτες σε πειραματόζωα όπου παρατηρήθηκαν γενετικές βλάβες στην ανάπτυξη κυττάρων του μυελού των οστών, δυσλειτουργία ανοσοποιητικού συστήματος, γέννηση λιποβαρών εμβρύων λόγω της έκθεσης του πειραματόζωου στο ζιζανιοκτόνο (W.S.D.O.T, 2006).

6.4 ΣΥΝΔΙΑΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Στις προηγούμενες ενότητες του συγκεκριμένου κεφαλαίου μελετήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια που είναι πιθανόν να μεταβάλουν την συγκέντρωση του αγροχημικού στον υπόγειο

υδροφορέα της περιοχής μελέτης. Ενδέχεται όμως, η παρουσία αυτών των αλλαγών να παρουσιαστεί συνδυαστικά οπότε θα πρέπει να μελετηθεί και η κοινή επίδρασή τους στα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτό που θέλουμε να διαπιστώσουμε είναι κατά πόσον η συνδυαστική επίδραση των τριών παραπάνω σεναρίων αναμένεται να λειτουργήσει θετικά ή αρνητικά στη μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου ή εάν κάποιο από αυτά τα σενάρια θα λειτουργήσει ως κατασταλτικός παράγοντας για τα υπόλοιπα. Στη συνέχεια παρατίθενται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί που μπορεί να προκύψουν.

6.4.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 4^ο: Αύξηση Συγκέντρωσης Αγροχημικού και Βροχόπτωσης κατά 10%

Το σενάριο αυτό αποτελεί έναν συνδυασμό του 1^{ου} και του 2^{ου} σεναρίου. Εισήχθησαν στο μοντέλο οι τροποποιημένες χρονοσειρές βροχόπτωσης καθώς και η αυξημένη συγκέντρωση του αγροχημικού.

6.4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 5^ο: Αύξηση Χρόνου Ημιζωής και Βροχόπτωσης κατά 10%

Στην περίπτωση αυτή θα πραγματοποιηθεί ένας συνδυασμός του 1^{ου} και του 3^{ου} σεναρίου. Στο μοντέλο έγινε εισαγωγή της τροποποιημένης χρονοσειράς με τα νέα αυξημένα ύψη βροχόπτωσης, με την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (diuron/Karmex) με χρόνο ημιζωής (90days).

6.4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 6^ο: Αύξηση Χρόνου Ημιζωής και Συγκέντρωσης Αγροχημικού κατά 10%

Στο σενάριο αυτό γίνεται ένας συνδυασμός του 2^{ου} και του 3^{ου} σεναρίου. Στο μοντέλο προσομοίωσης έγινε εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (diuron/Karmex) με ταυτόχρονη αύξηση συγκέντρωσης εφαρμογής του κατά 10%, πέραν αυτής που καθορίζουν οι προδιαγραφές του φαρμάκου.

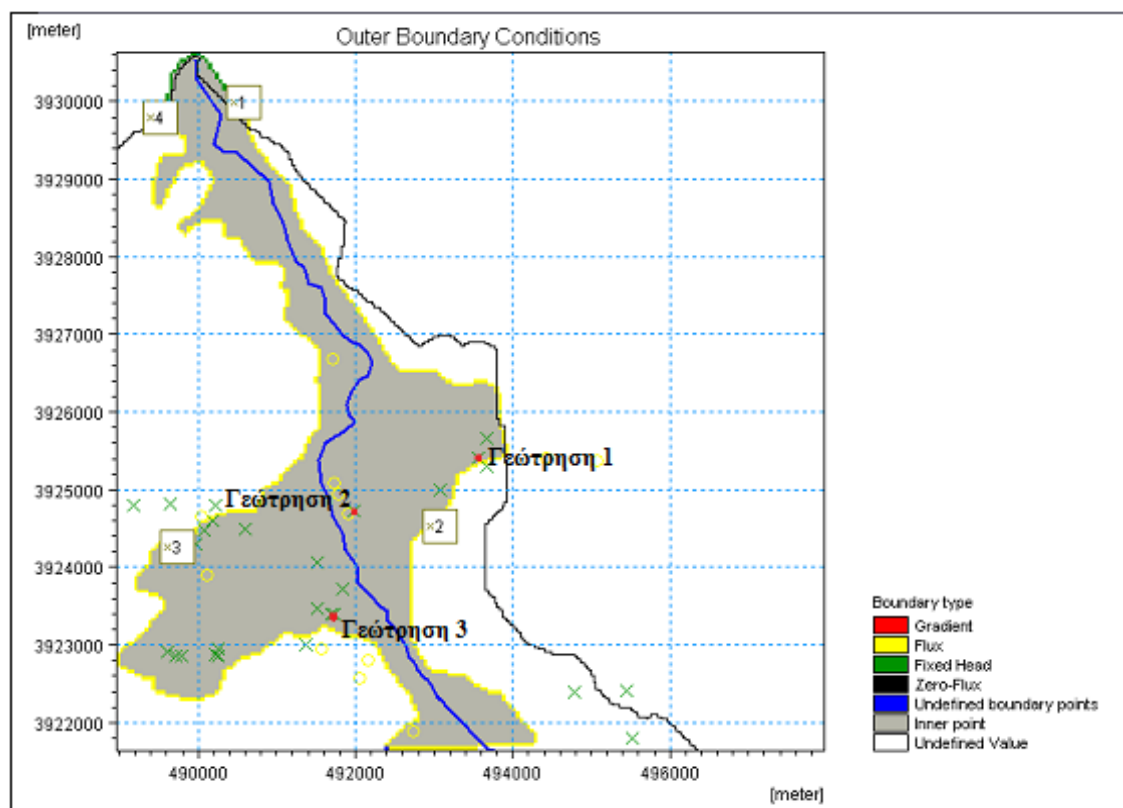
6.4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 7^ο: Αύξηση Χρόνου Ημιζωής, Βροχόπτωσης και Συγκέντρωσης Αγροχημικού κατά 10%

Στην περίπτωση αυτή γίνεται έλεγχος της συνδυαστικής συμβολής των παραπάνω σεναρίων. Αναλυτικότερα, υποθέτουμε αύξηση του χρόνου ημι-ζωής,εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (diuron/Karmex) με χρόνο ημι-ζωής 90days, αύξηση του ύψους βροχόπτωσης κατά 10%, καθώς και αύξηση της συγκέντρωσης αγροχημικού κατά 10% πέραν της προβεπόμενης από τις προδιαγραφές του φαρμάκου.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ

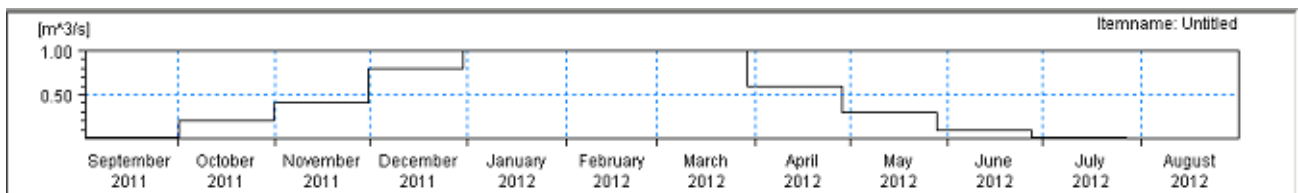
Για την σωστή βαθμονόμηση του μοντέλου προσδιορίστηκαν, μετά από αριθμό επαναλήψεων, οι τιμές οριζόντιας και κάθετης υδραυλικής αγωγιμότητας ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερο «ταίριασμα» μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων στάθμης υδραυλικού ύψους από τρεις γεωτρήσεις (Εικόνα 7.1.1) και των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Μια ακόμα σημαντική παράμετρος για την βαθμονόμηση (calibration) της ροής, αποτέλεσε η εισαγωγή οριακών συνθηκών, δηλαδή του ρυθμού εισροής των υπογείων υδάτων στην υπό μελέτη περιοχή.



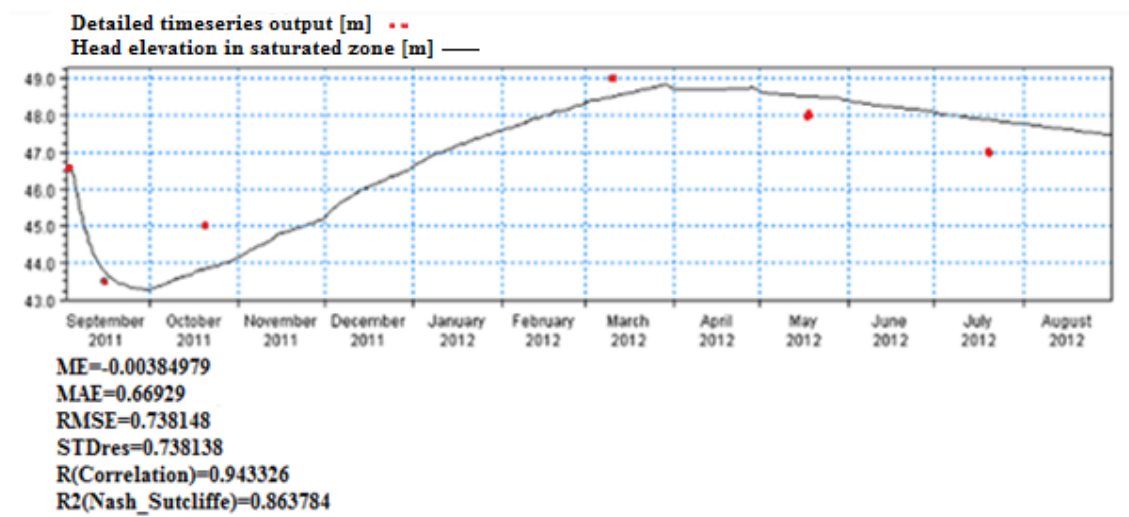
Εικόνα 7.1.1: Χάρτης απεικόνισης οριακών συνθηκών και γεωτρήσεων

Λόγω της εποχιακής διακύμανσης του ρυθμού εισροής των υδάτων στην περιοχή μελέτης, προσδιορίστηκε μέσω της διαδικασίας της βαθμονόμησης (επανειλημμένες δοκιμές προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση των υδραυλικών υψών στις τρεις

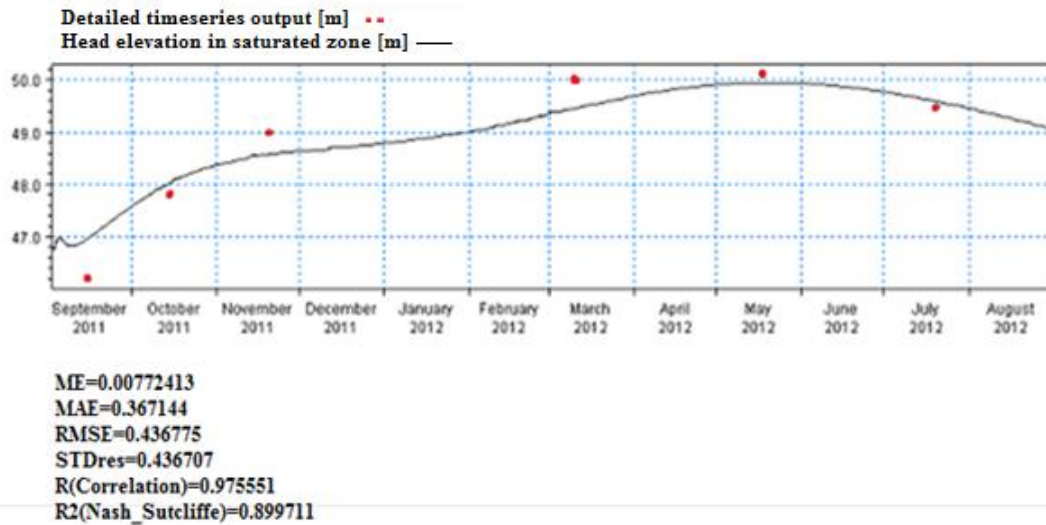
προαναφερόμενες γεωτρήσεις, με τις αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου στο χρόνο). Αναλυτικότερα, η εκτιμώμενη οριακή συνθήκη ροής του υπόγειου νερού που προσδιορίστηκε μέσω της διαδικασίας βαθμονόμησης, για τα τμήματα 1-2, 2-3 είναι χρονικά μεταβαλλόμενη και περιγράφεται γραφικά στην Εικόνα 7.1.2. Αντίστοιχα για τα τμήματα 3-4 και 4-1 προσδιορίστηκε σταθερή οριακή συνθήκη ίση με $0\text{m}^3/\text{sec}$. Μετά την «εκτέλεση» της προσομοίωσης της υπόγειας ροής και σύμφωνα με τις Εικόνες 7.1.3, 7.1.4 και 7.1.5 παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζουν πολύ μικρή απόκλιση από τις αντίστοιχες πραγματικές μετρήσεις στο χρόνο για τις τρεις μελετούμενες γεωτρήσεις. Αναλυτικότερα, ο συντελεστής συσχέτισης R για τις γεωτρήσεις 1, 2 και 3 είναι αντίστοιχα 0.94, 0.97 και 0.87.



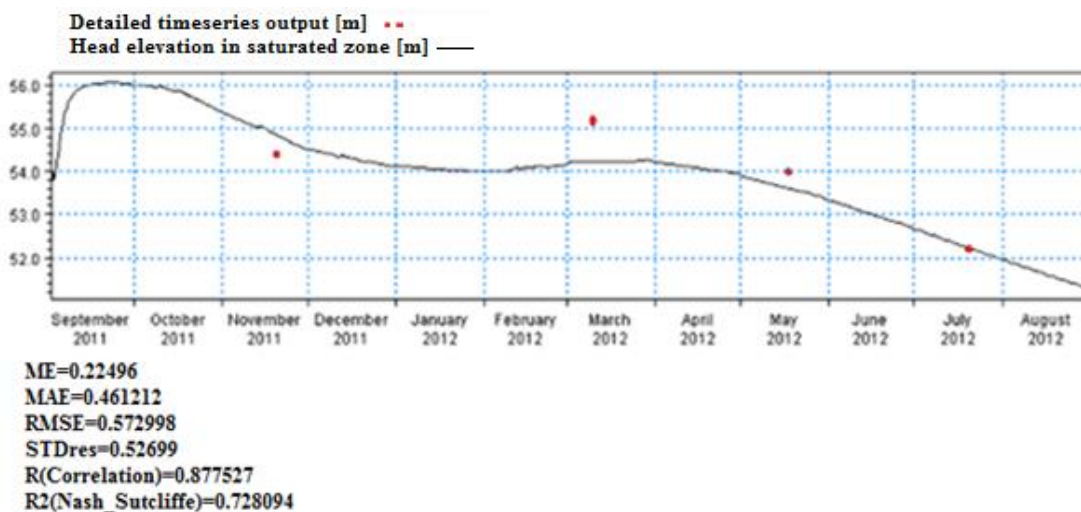
Εικόνα 7.1.2: Χρονοσειρά ρυθμού εισροής



Εικόνα 7.1.3: Σύγκριση μετρήσεων στάθμης στη Γεώτρηση 1 (κόκκινα σύμβολα) με τα αντίστοιχα υδραυλικά ύψη κατά τη διαδικασία προσομοίωσης



Εικόνα 7.1.4: Σύγκριση μετρήσεων στάθμης στη Γεώτρηση 2 (κόκκινα σύμβολα) με τα αντίστοιχα υδραυλικά ύψη κατά τη διαδικασία προσομοίωσης



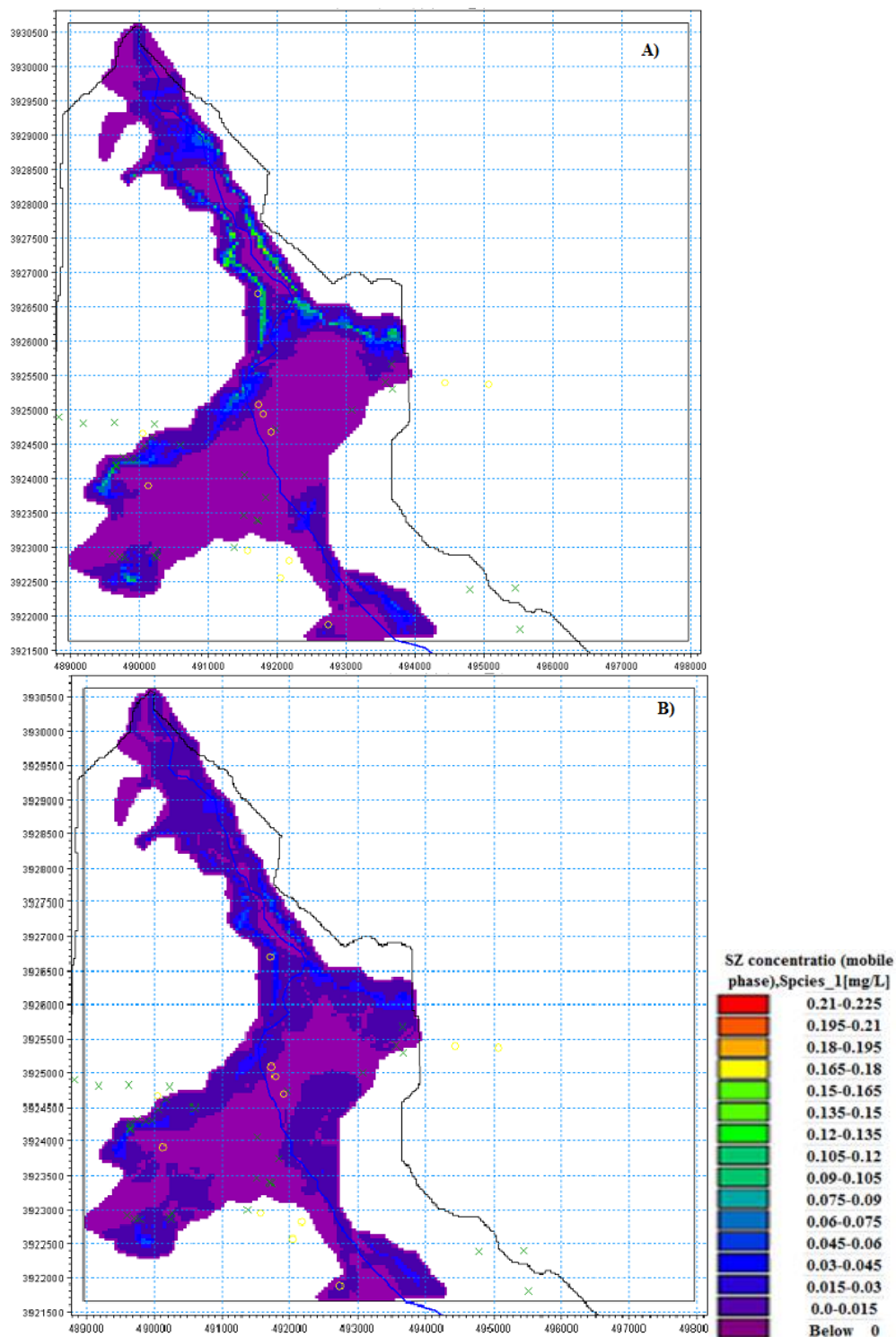
Εικόνα 7.1.5: Σύγκριση μετρήσεων στάθμης στη Γεώτρηση 3 (κόκκινα σύμβολα) με τα αντίστοιχα υδραυλικά ύψη κατά τη διαδικασία προσομοίωσης

7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΓΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΗ ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ-ΣΕΝΑΡΙΑ

Μετά την επιτυχή βαθμονόμηση της υπόγειας ροής ακολούθησε η προσομοίωση της μεταφοράς αγροχημικών στην περιοχή μελέτης. Όπως αναφέρθηκε στο 6^ο κεφάλαιο, στην παρούσα εργασία έγιναν κάποια υποθετικά σενάρια εφαρμογής αγροχημικών στην περιοχή μελέτης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το κάθε σενάριο ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης για κάθε σενάριο παρουσιάζονται σε μορφή δισδιάστατων χαρτών. Αναλυτικότερα, για κάθε ένα υποθετικό σενάριο παρουσιάζονται 2 χάρτες μεταφοράς του ρυπογόνου παράγοντα στην κορεσμένη ζώνη. Ο πρώτος χάρτης αφορά τη χωρική μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου τις πρώτες ημέρες μετά την εφαρμογή του, ενώ ο δεύτερος την χωρική μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου την τελευταία ημέρα της προσομοίωσης, δηλαδή μετά από ένα χρόνο. Σε αυτούς τους χάρτες οι σκούροι κόκκινο χρωματισμοί υποδηλώνουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπου, ενώ ο μωβ χρωματισμός (magenta) υποδηλώνει μηδενικές συγκεντρώσεις.

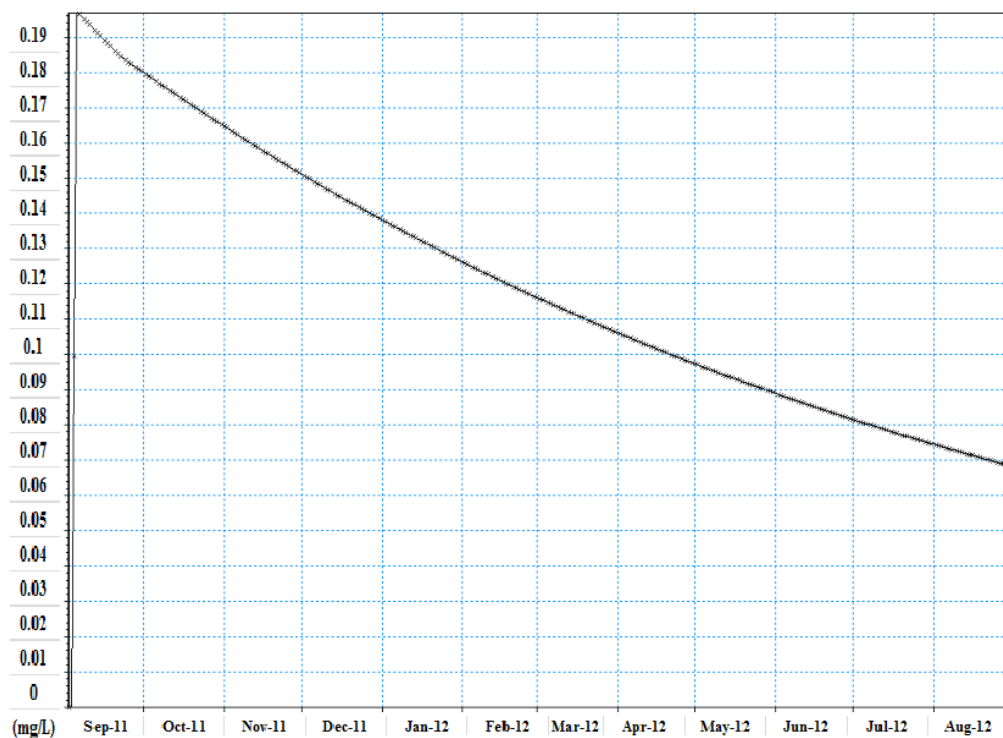
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρήθηκε κατά την εκτέλεση όλων των σεναρίων, ότι στο Βόρειο-ανατολικό τμήμα της μελετούμενης περιοχής, η συγκέντρωση του αγροχημικού παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Πιθανό αίτιο αυτών των αποτελεσμάτων αυτών είναι το γεγονός ότι το τμήμα αυτό βρίσκεται πιο κοντά στην θάλασσα καθώς και στο ποτάμι, συνεπώς ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πιο ψηλά και το βάθος της ακόρεστης ζώνης πιο μικρό, με αποτέλεσμα ο ρυθμός με τον οποίο ο ρύπος φτάνει στην κορεσμένη ζώνη να είναι σχετικά πιο μεγάλος απ' ό,τι στα πιο κεντρικά ή Νότια τμήματα της μελετούμενης περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε ένα σενάριο ξεχωριστά.

7.2.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης εφαρμογής ρύπου (Methomyl/Lannate) #7.1 (Βασικό σενάριο)



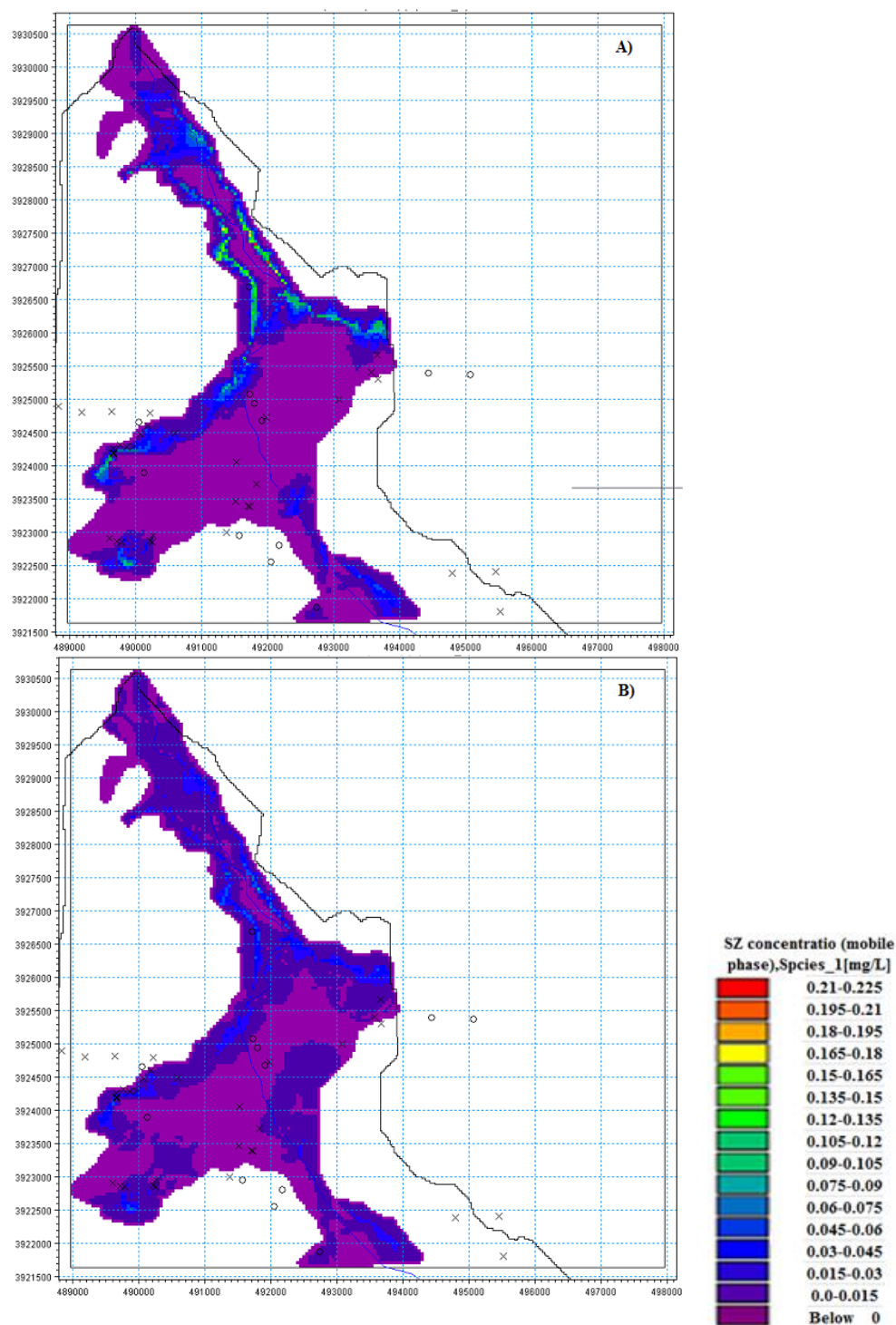
Εικόνα 7.2.1.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Οι τιμές συγκέντρωσης που κυμαίνονται μέσα στο χρονικό διάστημα προσομοίωσης για το βασικό σενάριο είναι από 0-0.195mg/l. Παρατηρούμε πως στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, η συγκέντρωση είναι αισθητά μεγαλύτερη από το υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης απορροής καθ'όλη την διάρκεια του πρώτου χρόνου από την εφαρμογή του αγροχημικού. Μετά τον ένα χρόνο προσομοίωσης παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης στα άκρα και μια μικρή αύξηση στο κεντρικό τμήμα. Μετά από έλεγχο στην τιμή συγκέντρωσης του αγροχημικού στα σημεία όπου έχουν τοποθετηθεί οι γεωτρήσεις 1, 2 και 3(Εικόνα 7.1.1), βρέθηκαν πάρα πολύ μικρές έως και μηδενικές συγκεντρώσεις (0-0.0003mg/L), γεγονός που επιτρέπει ακίνδυνα την άντληση νερού για χρήση ανθρώπινων δραστηριοτήτων είτε για άρδευση είτε για οικιακή χρήση. Στην Εικόνα 7.2.1.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης για το χρονικό διάστημα προσομοίωσης στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης, για το παρών σενάριο, όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



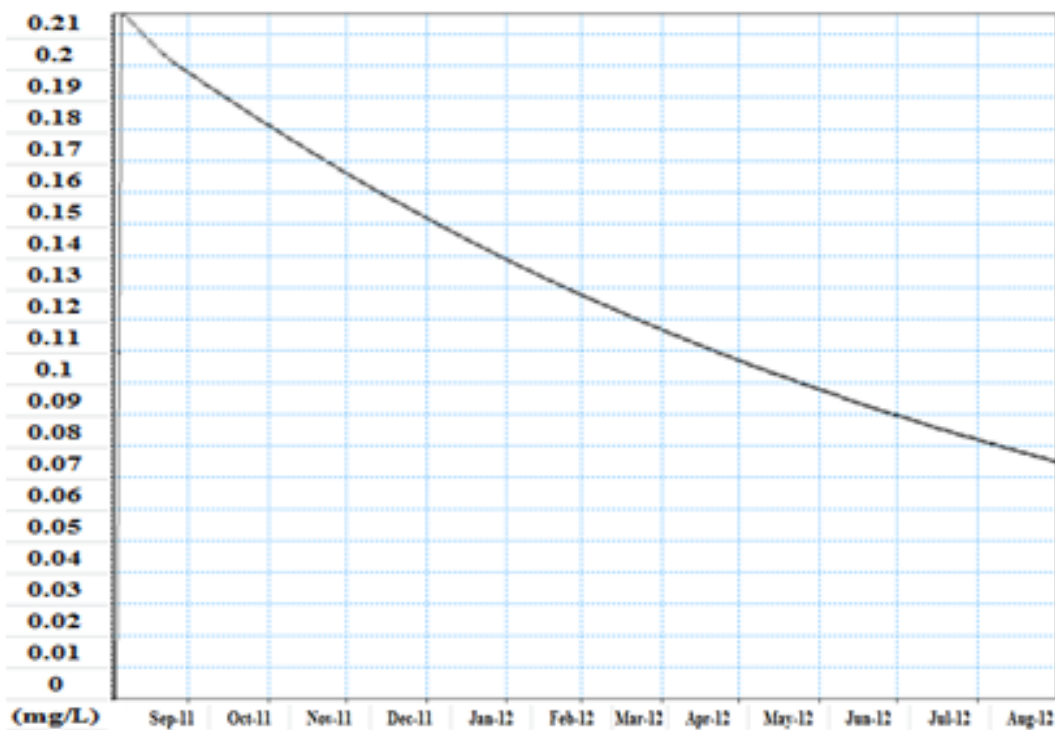
Εικόνα 7.2.1.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.2 Αποτελέσματα σεναρίου αύξησης βροχόπτωσης και συγκέντρωσης κατά 10%(Methomyl/Lannate) #7.2



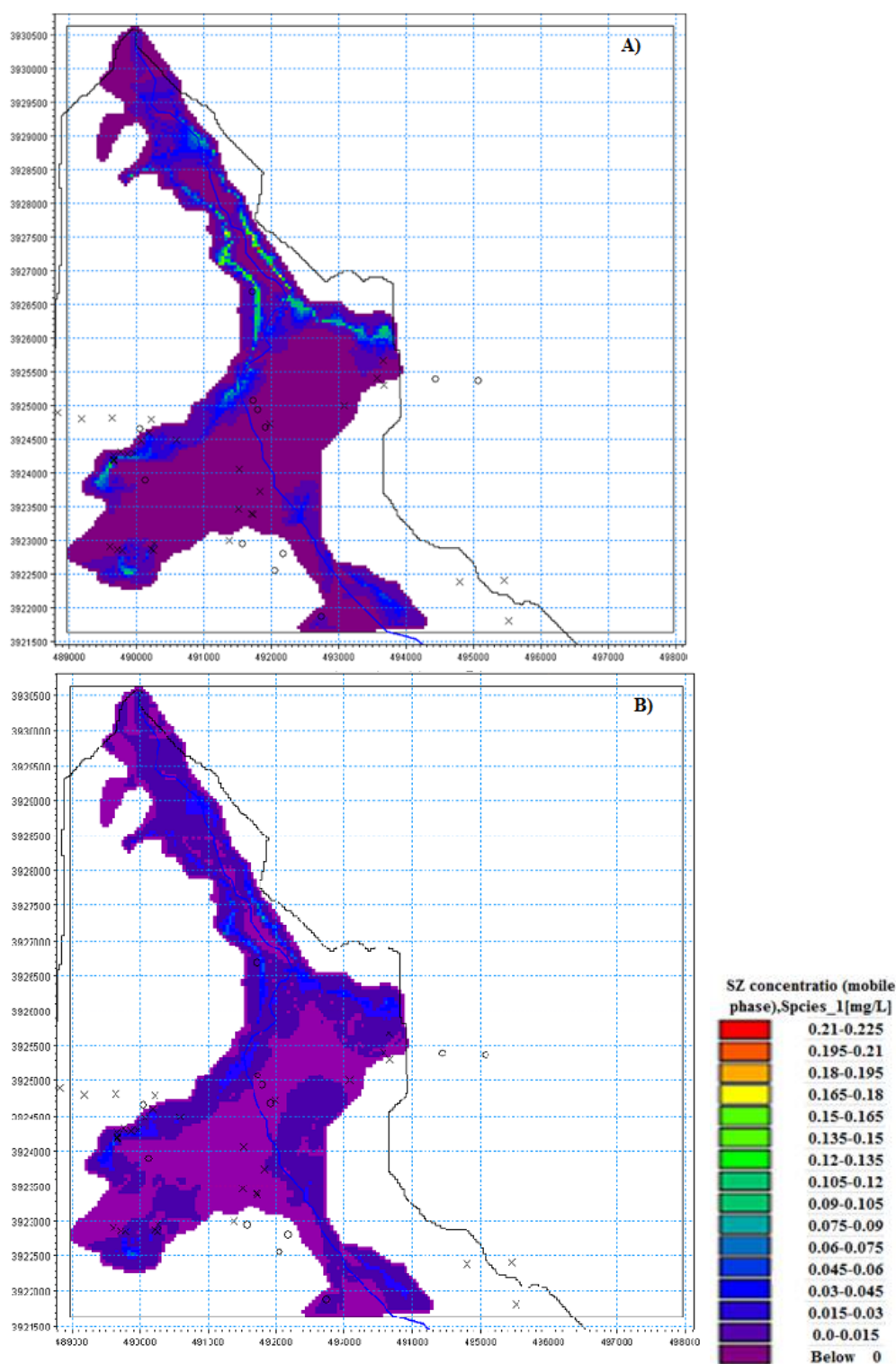
Εικόνα 7.2.2.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού με το βασικό, παρατηρούμε πως με την ταυτόχρονη αύξηση της συγκέντρωσης και της βροχόπτωσης κατά 10%, οι τιμές της συγκέντρωσης του αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη είναι αισθητά πιο υψηλές για τον ίδιο χρόνο προσομοίωσης. Στην αρχή της προσομοίωσης, για το σενάριο #7.2, οι τιμές της συγκέντρωσης του ρύπου κυμαίνονται από 0-0.225mg/L και έναν χρόνο μετά από 0-0.12mg/L, ενώ η μέγιστη τιμή που παρατηρήθηκε στο βασικό σενάριο (#7.1) αρχικά είναι στα 0.195mg/L και στο τέλος 0.09 mg/L. Στην εικόνα 7.2.2.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής συγκέντρωσης στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης απορροής, για το παρών σενάριο, όπου και σημειώθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



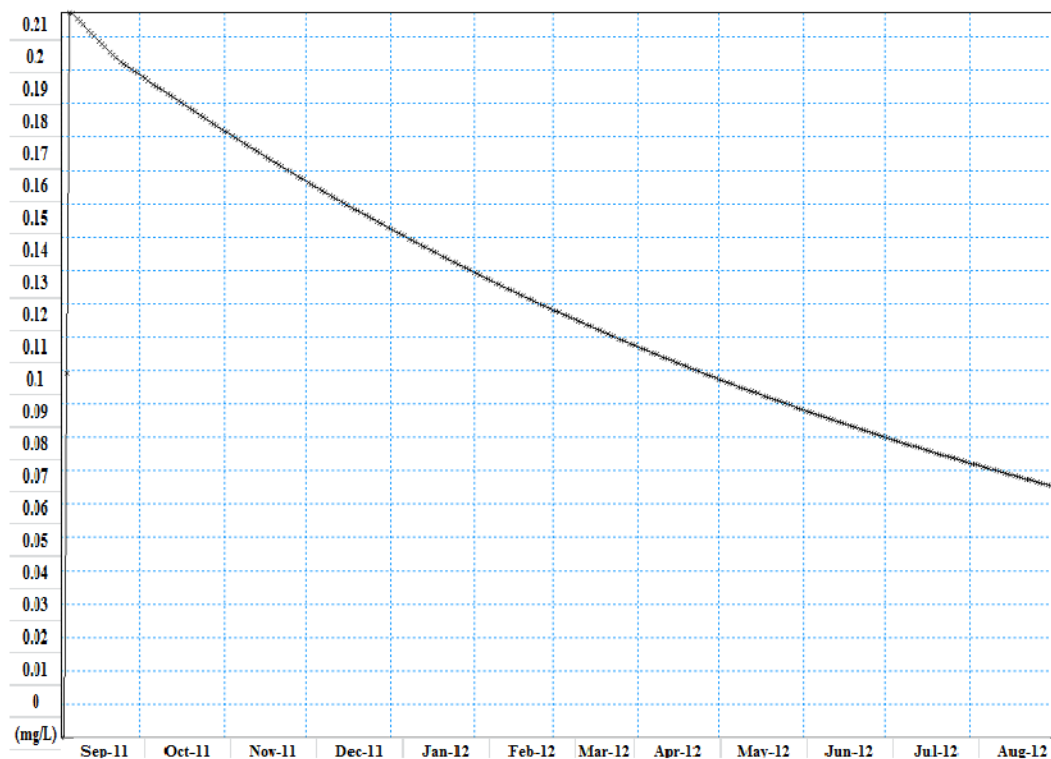
Εικόνα 7.2.2.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.3 Αποτελέσματα σεναρίου αύξησης συγκέντρωσης κατά 10% (Methomyl/Lannate) #7.3



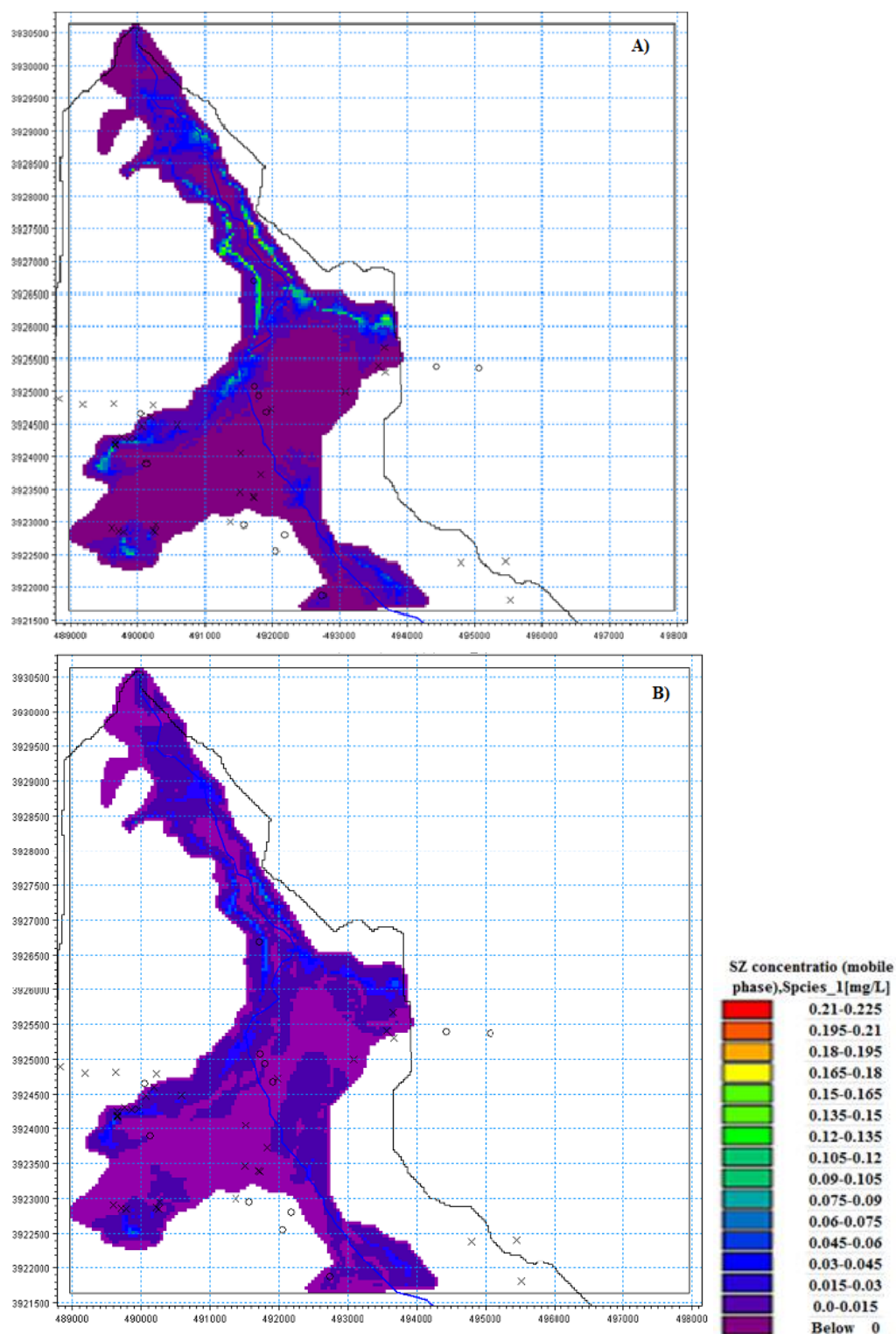
Εικόνα 7.2.3.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Στην εφαρμογή του σεναρίου με υποθετική αύξηση της συγκέντρωσης του αγροχημικού, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση έχει πιο υψηλές τιμές σε μικρότερο χρονικό διάστημα προσομοίωσης (Εικόνα 7.2.3.2) σε σχέση με το βασικό σενάριο (#7.1). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού στο τέλος της προσομοίωσης με το σενάριο #7.2, βλέπουμε πως οι τιμές της συγκέντρωσης του ρύπου είναι στα 0.15mg/L, ενώ στο σενάριο #7.2 η πιο υψηλή τιμή είναι στα 0.12 mg/L. Συμπεραίνουμε πως το ΒΑ τμήμα της υπομελέτη περιοχής, το παρών σενάριο, παρουσιάζει τις πιο υψηλές φορτίσεις εν συγκρίση με τα σενάρια #7.1 και #7.2. Στην Εικόνα 7.2.3.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο προσομοίωσης στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης, για το παρών σενάριο, όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



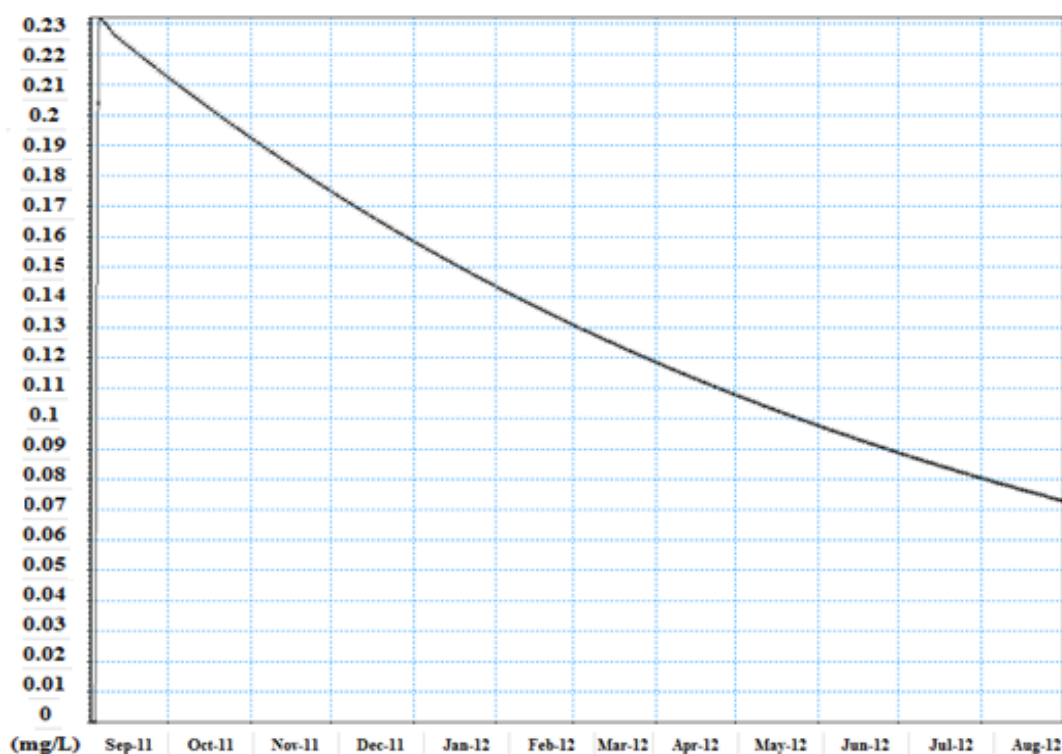
Εικόνα 7.2.3.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.4 Αποτελέσματα σεναρίου αύξησης βροχόπτωσης κατά 10%(Methomyl/Lannate) #7.4



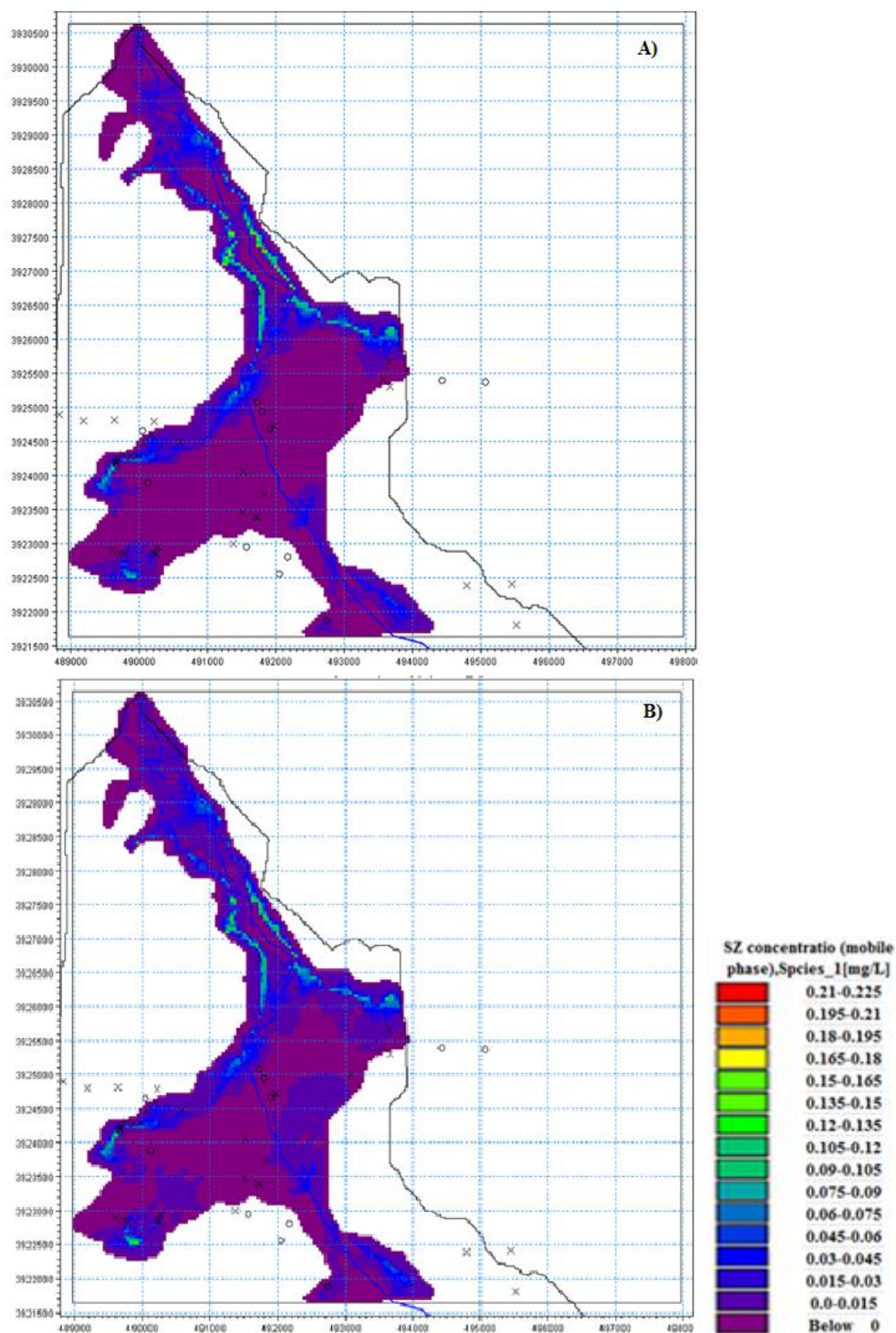
Εικόνα 7.2.4.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Με την υπόθεση της αύξησης της βροχόπτωσης, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις του αγροχημικού σε αισθητά μικρότερο χρονικό διάστημα προσομοίωσης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια (Εικόνα 7.2.4.2). Η μεγαλύτερη τιμή που σημειώθηκε στην λεκάνη απορροής, κυρίως στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης, κατά το σενάριο αυτό είναι της τάξης των 0.23mg/L, ενώ στο τέλος της προσομοίωσης, οι τιμές του ρύπου παρουσιάζουν σημαντική μείωση που κυμαίνεται από 0-0.075mg/L. Συγκρίνοντας όλα τα σενάρια για το αγροχημικό Methomyl/Lannate, το παρών σενάριο αγγίζει τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε μικρό χρονικό διάστημα, αλλά στο τέλος της προσομοίωσης παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές. Στην Εικόνα 7.2.4.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης, για το παρών σενάριο, όπου σημειώθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



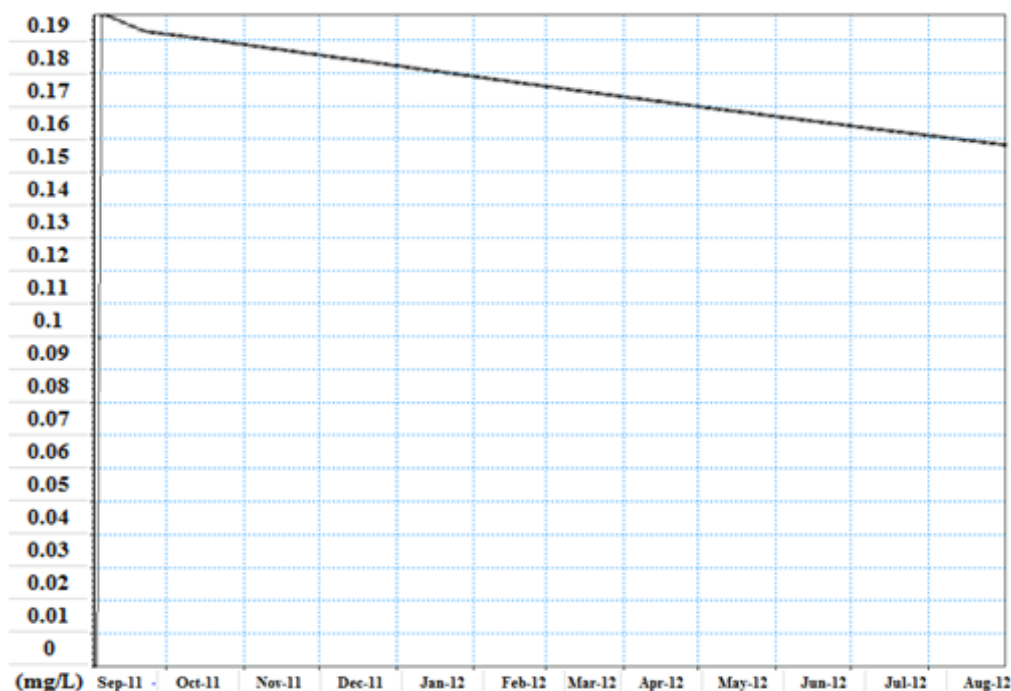
Εικόνα 7.2.4.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.5 Αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής αγροχημικού με χρόνο ημιζωής 90days (Diuron/Karmex) #7.5 (Βασικό σενάριο)



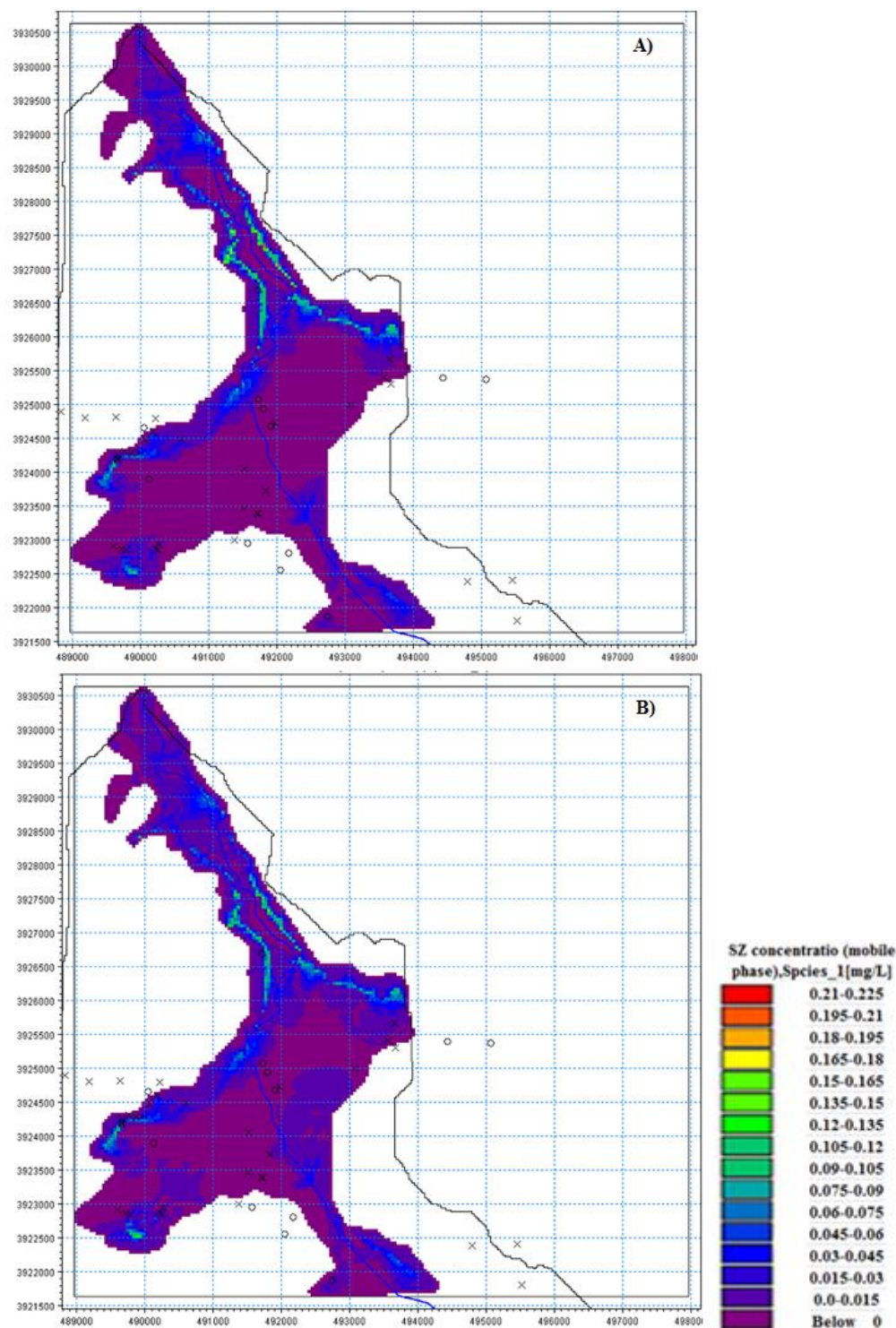
Εικόνα 7.2.5.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Παρατηρείται πως οι τιμές συγκέντρωσης μετά την εφαρμογή ρύπου στην κορεσμένη ζώνη κυμαίνονται από 0-0.21mg/L για τις πρώτες ημέρες προσομοίωσης. Μετά από έναν χρόνο προσομοίωσης, όπως είναι αναμενόμενο, η συγκέντρωση παρουσιάζει μικρές διαφοροποιήσεις με μέγιστη τιμή τα 0.165mg/L (Εικόνα 7.2.5.2). Συγκρίνοντας την εφαρμογή των δύο διαφορετικών ρύπων, υπολογίστηκαν οι ταχύτητες διασποράς του ρύπου για οριζόντια και για κάθετη μεταφορά. Υπολογίστηκε η ταχύτητα των δύο αγροχημικών για τις ίδιες περιπτώσεις με αποτέλεσμα, η ταχύτητα του πρώτου αγροχημικού (Methomyl/Lannate) για τις δύο διευθύνσεις να κυμαίνεται $7.27 \cdot 10^{-8}$ m/sec και $1.71 \cdot 10^{-7}$ m/sec ενώ η ταχύτητα του δεύτερου αγροχημικού (Diuron/Karmex) στα $4.85 \cdot 10^{-8}$ m/sec και $1.62 \cdot 10^{-7}$ m/sec αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι ο πρώτος ρύπος κινείται πιο γρήγορα απ'ότι ο δεύτερος για το ίδιο χρονικό διάστημα προσομοίωσης. Επίσης συμπεραίνουμε πως η ταχύτητα με την οποία ο ρύπος μεταφέρεται προς το κέντρο της λεκάνης είναι μεγαλύτερη από αυτήν που οδηγεί τον ρύπο προς την θάλασσα. Στην Εικόνα 7.2.5.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης στο BA τμήμα της περιοχής μελέτης, για το παρών σενάριο, όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



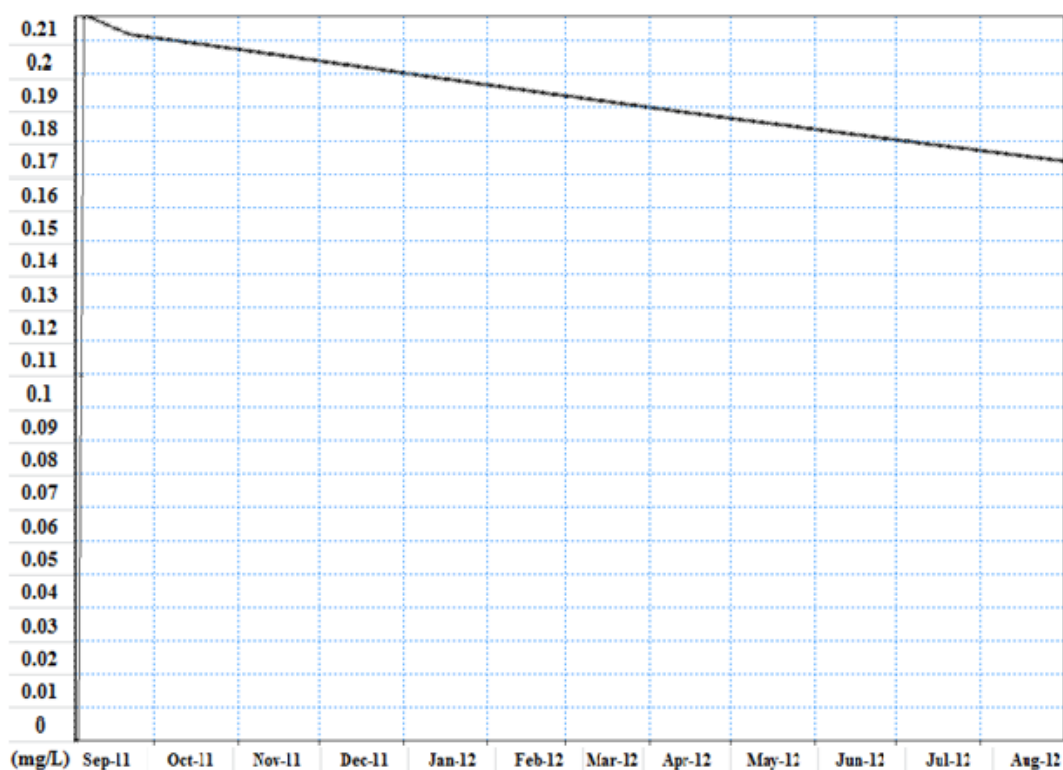
Εικόνα 7.2.5.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.6 Αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής αγροχημικού με χρόνο ημιζωής 90days και αύξηση βροχόπτωσης κατά 10%(Diuron/Karmex) #7.6



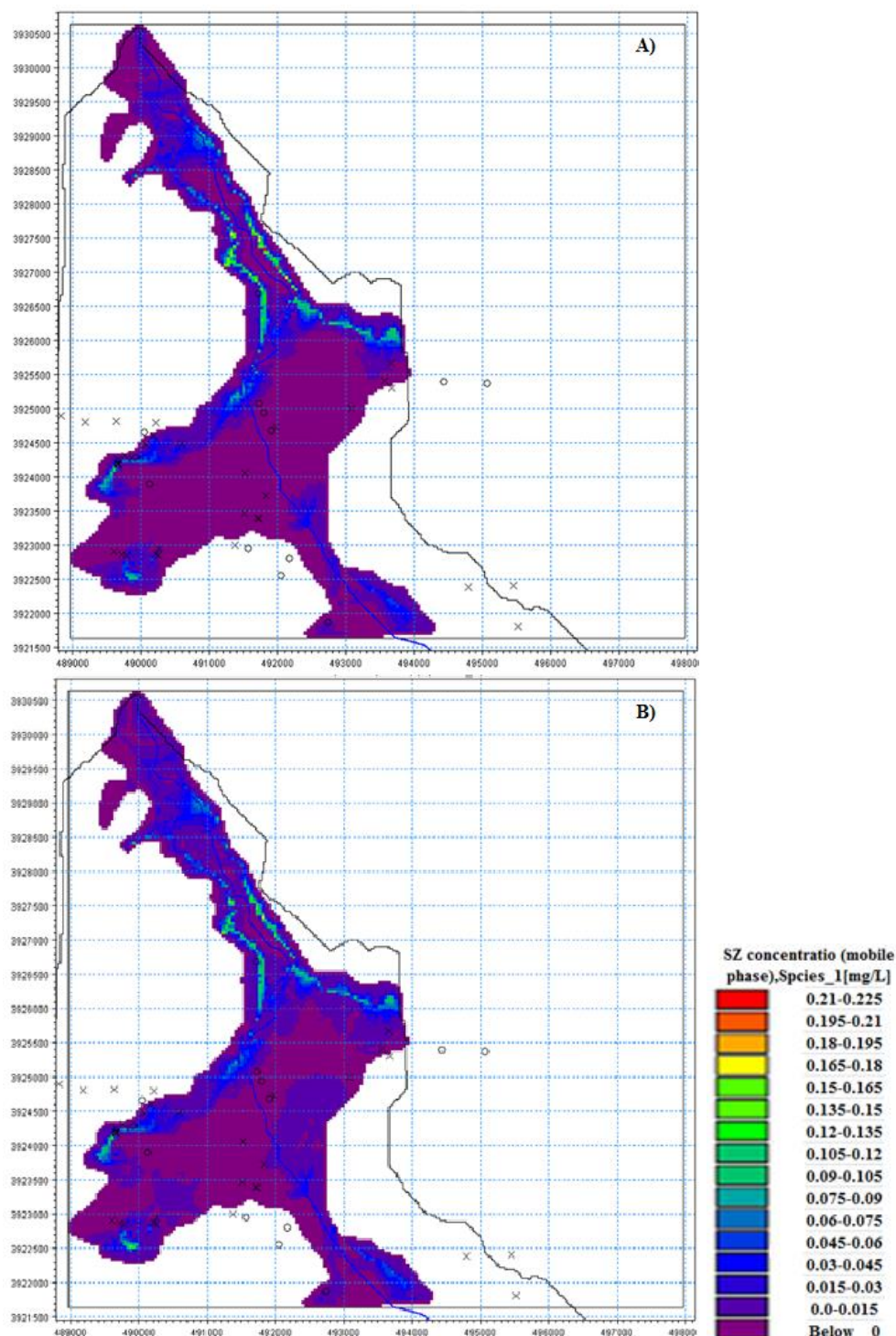
Εικόνα 7.2.6.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Με την αύξηση της συγκέντρωσης κατά 10% δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στην συγκέντρωση εφόσον οι μέγιστες αρχικές τιμές κυμαίνονται επίσης από 0.195-0.21mg/L, ενώ στο τέλος της προσομοίωσης από 0.15-0.165mg/L (Εικόνα 7.2.6.2). Ταυτόχρονα όμως παρατηρείται μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσης στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής με τιμές που φτάνουν τα 0.015mg/L που οφείλεται στο φαινόμενο της διασποράς του ρύπου. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής συγκέντρωσης για το χρονικό διάστημα προσομοίωσης, στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης όπου σημειώθηκαν και οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης.



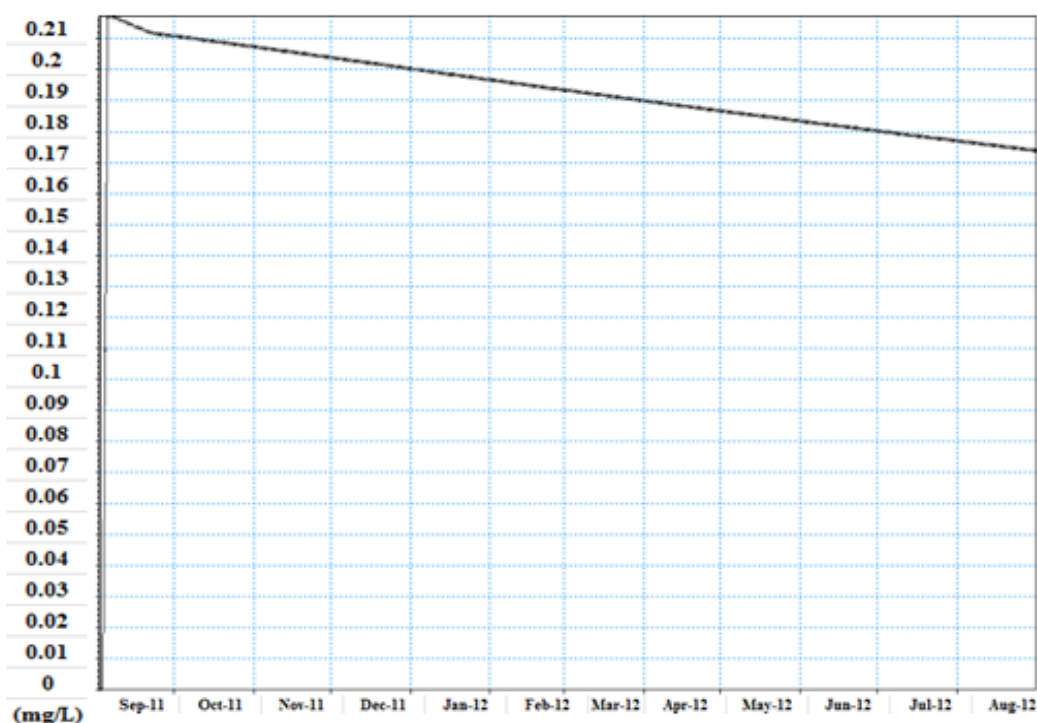
Εικόνα 7.2.6.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.7 Αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής αγροχημικού με χρόνο ημιζωής 90days και αύξηση συγκέντρωσης κατά 10%(Diuron/Karmex) #7.7



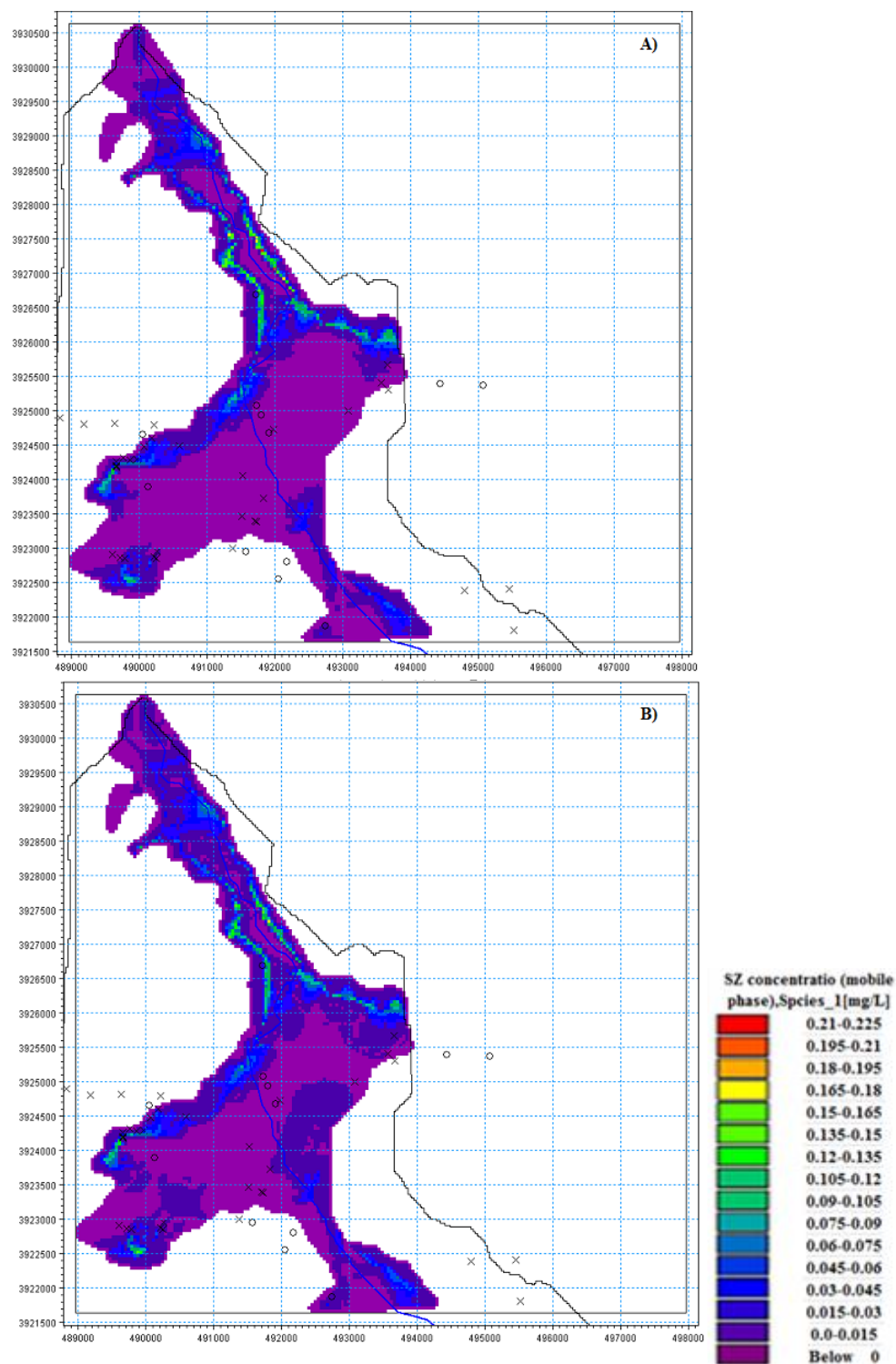
Εικόνα 7.2.7.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Με την αύξηση της συγκέντρωσης κατά 10% τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού συγκριτικά με τα σενάρια #7.5 και #7.6, παρουσιάζουν μέγιστες τιμές (0.21-0.225mg/L) αμέσως μετά την εφαρμογή ρύπου. Μετά από έναν χρόνο προσομοίωσης, οι τιμές της συγκέντρωσης έχουν σημειώσει μια μικρή μείωση με μέγιστες τιμές 0.18-0.195mg/L και ταυτόχρονη διασπορά του ρύπου στο κεντρικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής με τιμές που φτάνουν τα 0.15mg/L (Εικόνα 7.2.7.2). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της μεταβολής της συγκέντρωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο, στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης απορροής, όπου και σημειώθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης.



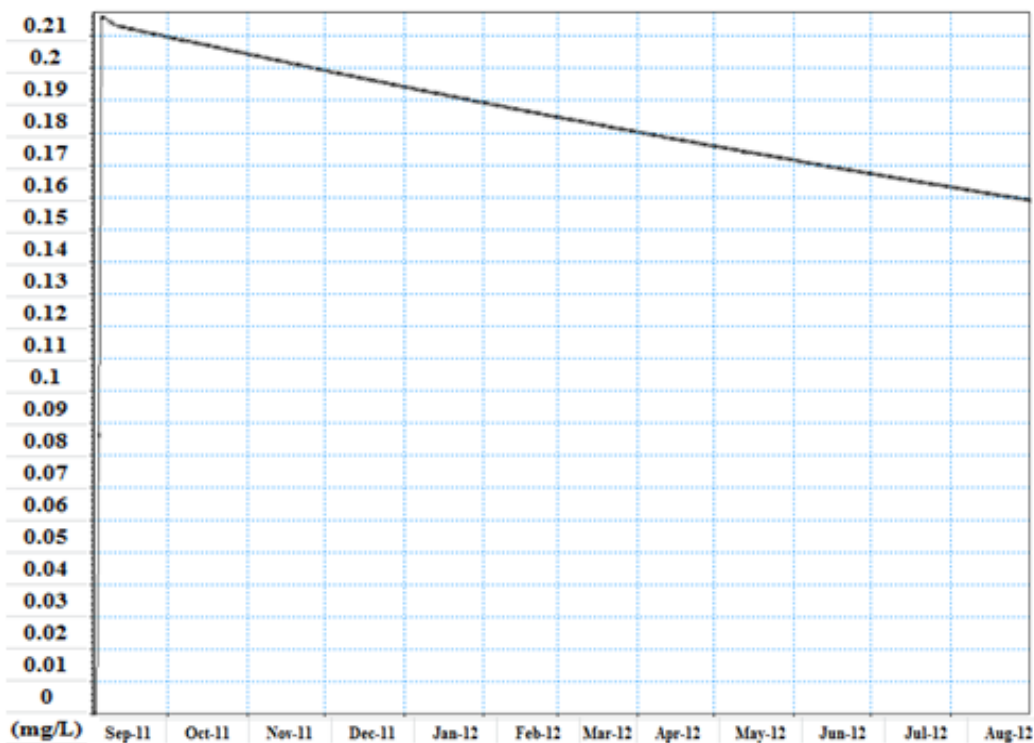
Εικόνα 7.2.7.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

7.2.8 Αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής αγροχημικού με χρόνο ημιζωής 90days, αύξηση συγκέντρωσης και βροχόπτωσης κατά 10% (Diuron/Karmex) #7.8



Εικόνα 7.2.8.1: Α) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη 2 μέρες μετά την εφαρμογή του. Β) Προσομοίωση της συγκέντρωσης αγροχημικού στην κορεσμένη ζώνη μετά από ένα χρόνο από την εφαρμογή του.

Με την ταυτόχρονη αύξηση της βροχόπτωσης και της συγκέντρωσης, η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης ρύπου είναι από 0.21-0.225mg/L, ενώ ένα χρόνο μετά την προσομοίωση η μέγιστη τιμή που σημειώθηκε ήταν στα 0.18mg/L. Συγκρίνοντας τα σενάρια για το αγροχημικό Diuron/Karmex μεταξύ τους (σενάρια #7.6, #7.7 και #7.8), η περίπτωση της αύξησης της συγκέντρωσης ρύπου, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης στο τέλος της προσομοίωσης. Από τα αποτελέσματα όμως του πρώτου (Methomyl/Lannate) και του δεύτερου ρύπου (Diuron/Karmex) για την ίδια περίπτωση, παρατηρήθηκε πως ο πρώτος ρύπος έχει πολύ πιο μικρές τιμές συγκέντρωσης που κυμαίνονται από 0.1-0.195mg/L, ενώ ο δεύτερος ρύπος από 0.21-0.18 mg/L. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των ταχυτήτων για τους δύο ρύπους στην περίπτωση, της ταυτόχρονης αύξησης της βροχόπτωσης και της συγκέντρωσης, ως προς τις δύο διευθύνσεις και βρέθηκε πως οι τιμές για τον πρώτο ρύπο (Methomyl/Lannate) είναι $4.85 \cdot 10^{-8}$ m/sec και $1.94 \cdot 10^{-7}$ m/sec, ενώ για τον δεύτερο ρύπο (Diuron/Karmex) $4.53 \cdot 10^{-8}$ m/sec και $1.94 \cdot 10^{-7}$ m/sec αντίστοιχα. Παρατηρείται πως και σ' αυτήν την περίπτωση ο πρώτος ρύπος έχει σχετικά μεγαλύτερη ταχύτητα. Στην Εικόνα 7.2.8.2 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης, για το παρών σενάριο.



Εικόνα 7.2.8.2: Μεταβολή συγκέντρωσης

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η ρύπανση των υπογείων υδάτων σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις παρουσιάζει μια ομοιόμορφη διασπορά του ρύπου που καθιστά την ποιότητα του νερού κατάλληλη στην μεγαλύτερη έκταση της μελετώμενης περιοχής. Επίσης, στα σημεία όπου είναι τοποθετημένες οι γεωτρήσεις 1, 2 και 3 (όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.1.1), η μορφολογία του εδάφους είναι τέτοια ώστε το βάθος της ακόρεστης ζώνης είναι μεγάλο και δεν αφήνει το περιθώριο στον ρύπο να φτάσει στην κορεσμένη ζώνη. Επομένως, η ποιότητα του νερού στο τμήμα της λεκάνης απορροής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις αυτές χαρακτηρίζεται κατάλληλη για άντληση. Βάση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας, το επιτρεπτό όριο ανιχνεύσιμης ποσότητας παρασιτοκτόνων σε πόσιμο νερό είναι στα 0.0001mg/L. Στα παραπάνω αποτελέσματα μετά την εφαρμογή όλων των σεναρίων, παρατηρήθηκαν τιμές συγκέντρωσης παρασιτοκτών μεγαλύτερες από το επιτρεπτό όριο σε λίγες περιοχές που αφορούν κυρίως την περιοχή γύρω από τον ποταμό Κερίτη καθώς και στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης απορροής, τμήματα τα οποία δεν διαθέτουν κάποια γεώτρηση άντλησης, γεγονός που δεν επηρεάζει την άντληση νερού στις υπάρχουσες γεωτρήσεις. Στους Πίνακες 7.1 και 7.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα εφαρμογής των παραπάνω σεναρίων για τους δύο διαφορετικούς ρύπους.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα συγκεντρώσεων εφαρμογής σεναρίων

Ρύπος	Χρόνος Ημι-ζωής (days)	Μέγιστη Συγκέντρωση στην αρχή της προσομοίωσης (mg/L)				Μέγιστη Συγκέντρωση στο τέλος της προσομοίωσης (mg/L)			
		#7.1/ #7.5	#7.2/ #7.6	#7.3/ #7.7	#7.4/ #7.8	#7.1/ #7.5	#7.2/ #7.6	#7.3/ #7.7	#7.4/ #7.8
		Εφαρμογή ρύπου/ Βασικό σενάριο	Αύξηση βροχόπτωσης	Αύξηση συγκέντρωσης	Αύξηση βροχόπτωσης και συγκέντρωσης	Εφαρμογή ρύπου/ Βασικό σενάριο	Αύξηση βροχόπτωσης	Αύξηση συγκέντρωσης	Αύξηση βροχόπτωσης και συγκέντρωσης
Methomyl/ Lannate	29	0.195	0.23	0.225	0.225	0.09	0.075	0.15	0.12
Diuron/ Karmex	90	0.21	0.21	0.225	0.21	0.165	0.165	0.195	0.18

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα ταχυτήτων εφαρμογής σεναρίων

Ρύπος	Χρόνος Ημι-ζωής (days)	Ταχύτητα (m/sec)	
		Εφαρμογή ρύπου/Βασικό σενάριο	Αύξηση βροχόπτωσης και συγκέντρωσης
Methomyl/Lannate	29	$7.27 \cdot 10^{-8}$ - $1.71 \cdot 10^{-7}$	$4.85 \cdot 10^{-8}$ - $1.94 \cdot 10^{-7}$
Diuron/Karmex	90	$4.85 \cdot 10^{-8}$ - $1.62 \cdot 10^{-7}$	$4.53 \cdot 10^{-8}$ - $1.94 \cdot 10^{-7}$

8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η διαχείριση του υδατικού δυναμικού καθώς και η εφαρμογή αγροχημικών καθιστά απαραίτητη την μελέτη της ροής στην κορεσμένη ζώνη. Βάση των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της ροής στη κορεσμένη ζώνη, καθώς και της μοντελοποίησης κοινών αγροχημικών, εκτιμήθηκε η ποιότητα του νερού στην περιοχή μελέτης με στόχο να κριθεί η καταλληλότητά του για άρδευση των τοπικών καλλιεργειών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση της ροής στην κορεσμένη ζώνη με βάση πραγματικές μετρήσεις στάθμης υπογείων υδάτων από γεωτρήσεις. Επίσης εφαρμόστηκαν υποθετικά σενάρια που αφορούν τυχόν τροποποιήσεις είτε στην φύση του αγροχημικού είτε σε καιρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, αυξήθηκαν τα ποσοστά της βροχόπτωσης κατά 10%, η συγκέντρωση του αγροχημικού κατά 10%, και μελετήθηκε η εφαρμογή διαφορετικών αγροχημικών με χρόνο ημιζωής 29 και 90 ημέρες αντίστοιχα. Με τον συνδυασμό των προαναφερθέντων σεναρίων, προέκυψαν συγκρίσιμα αποτελέσματα τόσο μεταξύ των δύο διαφορετικών ρύπων, όσο και μεταξύ των τροποποιήσεων των παραγόντων για τον ίδιο ρύπο.

Όσον αφορά την βαθμονόμηση του μοντέλου, τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά καθώς οι μετρήσεις των υδραυλικών υψών του μοντέλου σε συγκεκριμένες γεωτρήσεις παρουσιάζουν πολύ καλή συσχέτιση με τις αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου. Ενδεικτικά, οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης R για όλες τις περιπτώσεις κυμαίνονται από 0.87 έως 0.97.

Επιπροσθέτως, από τα γραφήματα απεικόνισης μεταβολής της συγκέντρωσης, παρατηρήθηκε πως με την αύξηση της συγκέντρωσης του αγροχημικού κατά 10%, οι τιμές της συγκέντρωσης στο τέλος της προσομοίωσης παρουσιάζουν τις υψηλές τιμές και για τους δύο ρύπους. Εξετάζοντας μεμονωμένα τους δύο ρύπους, η ταυτόχρονη αύξηση συγκέντρωσης και βροχόπτωσης για τον πρώτο ρύπο (Methomyl/Lannate), παρουσιάζει διακύμανση τιμών συγκέντρωσης αρκετά πιο υψηλή σε σχέση με το πρώτο σενάριο, όμως διαπιστώθηκε πως με την αύξηση του ύψους βροχής, οι τιμές της συγκέντρωσης αυξήθηκαν αισθητά τις πρώτες ημέρες προσομοίωσης αλλά μειώθηκαν έναν χρόνο μετά σημειώνοντας την μικρότερη διακύμανση τιμών. Τα αποτελέσματα για τον δεύτερο ρύπο (Diuron/Karmex), έδειξαν πως δεν

παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές στην συγκέντρωση του παρά μόνο στην περίπτωση της αύξησης της βροχόπτωσης όπου σημειώνονται και οι μικρότερες τιμές συγκέντρωσης.

Συγκρίνοντας τους δύο ρύπους μεταξύ τους, παρατηρήθηκε πως το αγροχημικό με τον μικρότερο χρόνο ημιζωής (Methomyl/Lannate) παρουσιάζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην συγκέντρωση και μικρές τιμές στο τέλος της προσομοίωσης, ενώ το δεύτερο αγροχημικό (Diuron/Karmex) παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις και μεγάλες τιμές στο τέλος της προσομοίωσης. Επιπλέον στον έλεγχο των ταχυτήτων, υπολογίστηκε πως το πρώτο αγροχημικό έχει ταχύτερη διασπορά προς κάθε διεύθυνση, ενώ οι ταχύτητες στην περίπτωση της ταυτόχρονης αύξησης της βροχόπτωσης και της συγκέντρωσης δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις. Διαπιστώνουμε έτσι, πως η ταχύτητα με την οποία ο ρύπος μεταφέρεται προς το κέντρο της λεκάνης απορροής είναι μεγαλύτερη από αυτήν που οδηγεί τον ρύπο προς την θάλασσα.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε γενικά ότικατά την εφαρμογή των δύο διαφορετικών αγροχημικών, πιο ακίνδυνο και κατάλληλο για χρήση σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις φαίνεται να είναι το εντομοκτόνοMethomyl/Lannate.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία

Anderson, M.P., and Woessner, W.W., 1992. Applied groundwater modeling, simulation of flow and advective transport. Academic Press, New York.

Bloschl, G., and Sivapalan, M., 1995. Scale issues in hydrological modeling. Hydrological Press

Brath, A., Montanari, A., Toth, E., 2002. Neural networks and non-parametric methods for improving real-time flood forecasting through conceptual hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences, 6, 627-639.

DHI, 2007. Mike SHE: an integrated hydrological modelling system. Documentation and users guide.

Giustolisi, O., and Laucelli, D., 2005. Improving generalization of artificial neural networks in rainfall -runoff modelling. Hydrological Sciences Journal.

Graham, D. N., and Butts, M. B., 2005. Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE in Watershed Models. Eds. V.P. Singh and D.K. Frevert.

Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrologic simulation models. Hydrological Sciences Journal.

Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., and Lane W. L., 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

Wauchope, R. D., Yeh, S., Linders, J. B. H. J., Kloskowski, R., Tanaka, K., Rubin, B., Unsworth, J. B. 2002. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. Pest management science.

Frana, A. S. 2012. Applicability of MIKE SHE to simulate hydrology in heavily tile drained agricultural land and effects of drainage characteristics on hydrology.

Model, F., and Report, E. 2002. FINAL MODEL EVALUATION REPORT EAA STORAGE RESERVOIRS – PHASE 1, (November).

Skovdal Christiansen, J., Thorsen, M., Clausen, T., Hansen, S., and Christian Refsgaard, J. 2004. Modelling of macropore flow and transport processes at catchment scale. Journal of Hydrology.

Almasri, M. N., and Kaluarachchi, J. J. 2007. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*.

Tsanis, I. K., Koutroulis, A. G., Daliakopoulos, I. N., and Jacob, D. 2011. Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. *Climatic Change*.

Ελληνική βιβλιογραφία

Καρατζάς, Γ., 2012. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Νικολαΐδης, Ν., Καρατζάς, Γ., 2010. Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τις Λεκάνες Απορροής των Ποταμών Κερίτη-Θερίσου και Κοιλιάρη. Χανιά.

Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.Δ.Υ.Κ.), 1998. Διαχειριστικό σχέδιο για τον υγρότοπο της Αγυιάς. Χανιά.

Παλαιολόγος, Ε., 2008. Σημειώσεις Παραδόσεων Υδρολογίας. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τσακίρης, Γ., 1995. Συμμετρία «Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία».

Τσακίρης, Γ., 2006. Συμμετρία «Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος II: Εγγειοβελτιωτικά έργα».

Αντωνόπουλος, Βασίλης, Γεωπονίας, Τμήμα, και Θεσσαλονίκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο. (n.d.). Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων.

Ευστρατιάδης, Α., 2006. Στρατηγικές και αλγόριθμοι πολυκριτηριακής βαθμονόμησης σύνθετων υδρολογικών μοντέλων. Κύκλος παρουσιάσεων ερευνητικών δραστηριοτήτων ΤΥΠΥΘΕ, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λιονής και Περλέρος, Αθήνα 2001, Υδρογεωλογική μελέτη του κάμπου Χανίων.

Λάλος, 2012, Διπλωματική Εργασία, «Προσομοίωση επιφανειακής απορροής με συνδυασμένη χρήση των μοντέλων MIKESHE/MIKE 11 στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κερίτη.»

Βοζινάκης, Κ., και Κουγιάννη Σ., 2004. Υδατικοί Πόροι Νομού Χανίων και Διαχείρισή τους. Χανιά.

Κουτούπα-Ρεγκάκου, Ε., Αθήνα 2008, Δίκαιο του Περιβάλλοντος.

Οικονόμου, Π. Λ., 2012. Διδακτορική Διατριβή με θέμα «Μελέτη των επιπτώσεων των ρύπων σε οργανοσμούς του εδάφους». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Διαδικτυακές πηγές

en.wikipedia.org/wiki/Hydrological_modelling

www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikeshe/Mshemain.htm

www.minenv.gr/nera

<http://www.enotes.com/topics/saturated-zone>

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>