

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ

ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

<< Υδρολογική διερεύνηση της Λίμνης Κερκίνης με
εφαρμογή του Υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE >>



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ.ΗΡΑΚΛΗΣ ΧΑΛΚΙΔΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2014



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13069/1
Ημερ. Εισ.: 24/09/2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2014
ΑΡΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΩΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**<<Υδρολογική διερεύνηση της Λίμνης Κερκίνης με
εφαρμογή του Υδρολογικού μοντέλου MIKE SHE>>**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ.ΗΡΑΚΛΗΣ ΧΑΛΚΙΔΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2014

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

κ. ΧΑΛΚΙΔΗΣ ΗΡ.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

κ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Μ.

ΜΕΛΟΣ

κ. ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ Β.

ΜΕΛΟΣ

Περιεχόμενα

1.Υδρολογικές διεργασίες που διέπουν τη λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα.....	ΣΕΛ.5
1.1. Περιγραφή της λεκάνης απορροής.....	ΣΕΛ.5
1.2. Επιφάνεια νερού.....	ΣΕΛ.8
1.3. Εδαφικό νερό.....	ΣΕΛ.10
2.Προσέγγιση του μοντέλου.....	ΣΕΛ.15
2.1. Μοντέλο ρύθμισης του MIKE SHE.....	ΣΕΛ.19
2.1.1. Περιοχή προσομοίωσης και κελιά υπολογισμών.....	ΣΕΛ.19
2.1.2. Τοπογραφία- Ψηφιακό ομοίωμα εδάφους(DEM).....	ΣΕΛ.19
2.1.3. Κατακρημνίσματα.....	ΣΕΛ.20
2.1.4. Χρήση της γης.....	ΣΕΛ.21
2.1.4.1. Ρύθμιση της βλάστησης.....	ΣΕΛ.21
2.1.4.2. Επικαλυμμένες περιοχές	ΣΕΛ.25
2.1.4.3. Διοικητικές περιοχές άρδευσης.....	ΣΕΛ.26
2.1.5. Εξατμισοδιαπνοή (ET).....	ΣΕΛ.28
2.1.6. Επιφανειακή απορροή.....	ΣΕΛ.30
2.1.7. Ακόρεστη ροή.....	ΣΕΛ.32
2.1.8. Κορεσμένη ζώνη.....	ΣΕΛ.37
2.1.8.1. Αποστράγγιση.....	ΣΕΛ.37
2.1.8.2. Το γεωλογικό μοντέλο	ΣΕΛ.41
2.2. Ρύθμιση του μοντέλου MIKE 11	ΣΕΛ.45
2.2.1. Εγκατάσταση του δικτύου του ποταμού.....	ΣΕΛ.45

2.2.2. Δεδομένα διατομών.....	ΣΕΛ.56
2.2.3 Οριακές συνθήκες.....	ΣΕΛ.58
2.2.4 Υδροδυναμικές κατασκευές.....	ΣΕΛ.59
2.3 Εγκατάσταση μοντέλου βροχής - απορροής	ΣΕΛ.60
3. Υδρολογικό καθεστώς παρακολούθησης του δικτύου.....	ΣΕΛ.64
3.1. Δίκτυο παρακολούθησης της στάθμης των επιφανειακών υδάτων.....	ΣΕΛ.64
3.2. Δίκτυο παρακολούθησης υπόγειων υδάτων	ΣΕΛ.75
3.3 Μετεωρολογικός σταθμός του δικτύου.....	ΣΕΛ.76
4. Μοντέλο βαθμονόμησης και ανάλυση των επιπτώσεων των υδάτινων πόρων από αγροτικές δραστηριότητες.....	ΣΕΛ.78
5. Μοντέλο παραμετροποίησης και επιλογή των παραμέτρων βαθμονόμησης.....	ΣΕΛ.78
6. Συμπεράσματα.....	ΣΕΛ.91
7.Βιβλιογραφία	ΣΕΛ.93

1.Υδρολογικές διεργασίες που διέπουν τη λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα.

1.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα είναι μια διασυνοριακή λεκάνη (χάρτης 1.1) μοιρασμένη ανάμεσα στην Ελλάδα (36,5%), την Π.Γ.Δ.Μ. (9,5%), τη Σερβία (4%) και την Βουλγαρία (50%). Το ελληνικό τμήμα της λεκάνης καλύπτει μια έκταση 6.472 km² και αποτελεί μια από τις κυριότερες λεκάνες στο 11^ο υδατικό διαμέρισμα (Σχήμα1.1) της Ελλάδος σύμφωνα με το Νόμο 1739/87.

Για τους σκοπούς του παρόντος έργου μόνο ένα μικρό μέρος της υπο-λεκάνης του Αγγίτη (Σχήμα 1.2) περιλαμβάνεται στην περιοχή μελέτης. Ωστόσο, η συμβολή του στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα λαμβάνεται υπόψη ως πλευρική εισροή. Διοικητικά η λεκάνη ανήκει στο Νομό Σερρών της Περιφέρειας "Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης".



Σχήμα 1.1. Υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδος σύμφωνα με το Νόμο 1739/87



Χάρτης 1.1 Διασυννοριακή λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα.

Ο ποταμός Στρυμόνας και η Λίμνη Κερκίνη (μία τεχνητή λίμνη που τροφοδοτείται από τον Στρυμόνα, Εικόνα 1.1) είναι τα κύρια επιφανειακά υδατικά σώματα της λεκάνης τα οποία με τη σειρά τους θα συνεισφέρουν στον φυσικό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης [25]. Η Λίμνη Κερκίνη κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια του 1933-1936, κυρίως για την προστασία από τις πλημμύρες που προκαλούνταν από τον ποταμό Στρυμόνα. Σύντομα χρησιμοποιήθηκε ως δεξαμενή για το νερό άρδευσης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών ένα μοναδικό οικοσύστημα υγροτόπων έχει αναπτυχθεί στις ακτές της, το οποίο προστατεύεται από τη σύμβαση Ramsar και την κοινοτική νομοθεσία της ΕΕ.

Ο Ποταμός Στρυμόνας εκρέει στον Στρυμονικό κόλπο, του οποίου τα παράκτια οικοσυστήματα είναι πολύ σημαντικά για την αλιεία, τη βιοποικιλότητα και τον τουρισμό. Οι γεωργικές δραστηριότητες, οι οποίες αποτελούν την κύρια απειλή στα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα της λεκάνης, λαμβάνουν χώρα στο κατώτερο μέρος του (υψόμετρο μικρότερο από +100 m), το οποίο καλύπτει μια έκταση 100.000 εκταρίων.



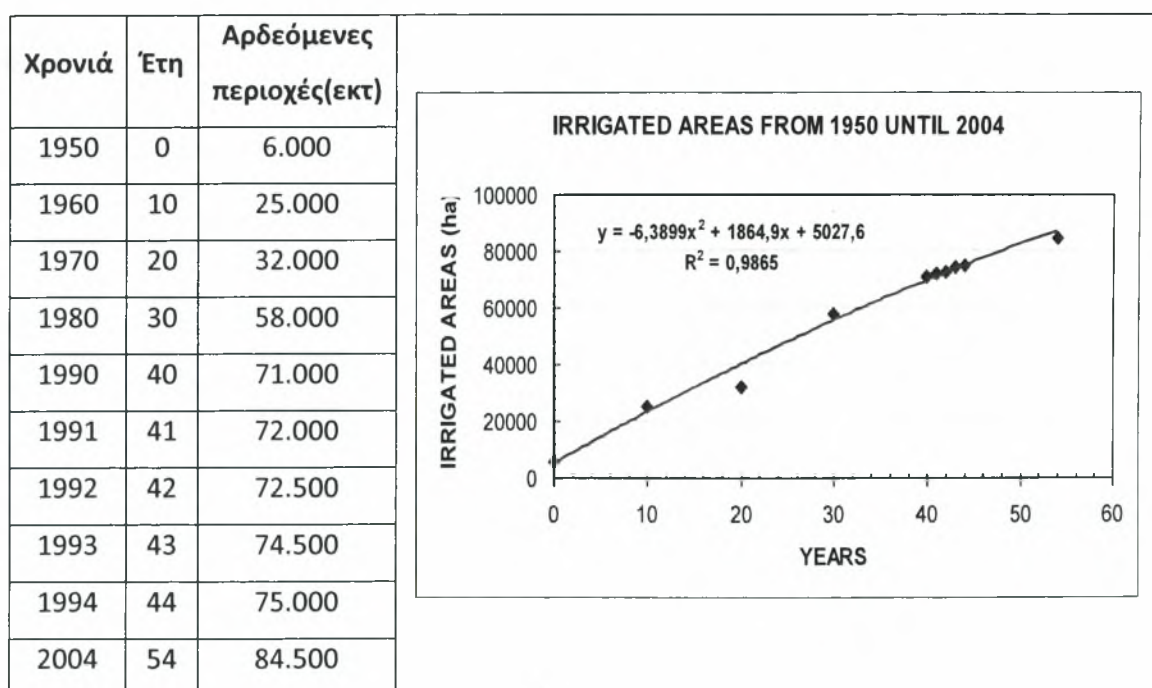
Εικόνα 1.1 Λίμνη Κερκίνη

Η άρδευση και αποστράγγιση της περιοχής αυτής πραγματοποιείται μέσα από ένα πυκνό δίκτυο αρδευτικών καναλιών και τάφρων αποστράγγισης. Η Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων και Υδατικών Πόρων Σερρών (ΔΕΒ Σερρών) είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των υδατικών πόρων στο γεωργικό τομέα μέσω διοικητικών και τεχνικών επιβλέψεων του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) και ενός από τους 10 Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ). Οι Αρχές αυτές είναι οργανισμοί αγρο-συνεταιριστικού χαρακτήρα που στοχεύει στη διαχείριση των εγγειοβελτιωτικών έργων και τη διανομή του αρδευτικού νερού.

1.2 Επιφάνεια νερού

Ο Ποταμός Στρυμόνας είναι η κύρια πηγή άρδευσης για την λεκάνη. Από τα 100.000 εκτάρια καλλιεργήσιμης γης τα 84.500 εκτάρια αρδεύονται. Τα 54.500 εκτάρια (64,5% του συνόλου των αρδευόμενων εκτάσεων) καλύπτουν τις ανάγκες άρδευσής τους απευθείας από τον Στρυμόνα και τη Λίμνη Κερκίνη [19], ενώ τα υπόλοιπα 30.000 εκτάρια από ρυάκια και φρεάτια άντλησης (υπόγεια ύδατα) [19].

Η διαχρονική αύξηση της αρδευόμενης έκτασης στο Στρυμόνα δίνεται στο σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3 Διαχρονική αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων στη λεκάνη του Στρυμόνα

Την περίοδο ανάμεσα στο Φθινόπωρο και την Άνοιξη όλη η συνολική ποσότητα του Στρυμόνα-αφού διασχίσει τα σύνορα Ελλάδος-Βουλγαρίας- εισρέει μέσα στην Λίμνη Κερκίνη. Η στάθμη του νερού της λίμνης ελέγχεται από τέσσερις Θυρίδες οι οποίες ελέγχουν επίσης την εισροή για την αποφυγή πλημμυρών στη χαμηλότερη περιοχή της λεκάνης (Περιοχή Αχινός) από τη μέγιστη παροχή του ποταμού, η οποία σήμερα έχει μειωθεί σε $200 \text{ m}^3 / \text{s}$ [9]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση της στάθμης του νερού στη λίμνη που προκαλεί ανεπιθύμητες μεταβολές στην υδροπερίοδο του οικοσυστήματος της. Η καθίζηση των φερτών υλών είναι επίσης ένας άλλος παράγοντας που προκαλεί τη σταδιακή αύξηση της στάθμης του νερού της λίμνης, μειώνοντας την ικανότητα του όγκου της λίμνης.

Κατάντη της λίμνης, ο Στρυμόνας διασχίζει την πεδιάδα για 77 χιλιόμετρα και εκρέει στον Στρυμονικό Κόλπο. Ο κόλπος είναι επίσης ο τελικός αποδέκτης όλων των επιφανειακών απορροών της λεκάνης.

Η ευρύτερη ορεινή περιοχή της λεκάνης (περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από +100 m) αποστραγγίζονται μέσα από μια σειρά χειμαρρων, είτε στην Λίμνη Κερκίνη ή στο Στρυμόνα (Χάρτης 1.2.).

Το δυτικό τμήμα της ορεινής περιοχής κάτω από την Λίμνη Κερκίνη αποστραγγίζεται μέσω ενός αριθμού χειμαρρων οι οποίοι εκρέουν ευθέως στον ποταμό Στρυμόνα.

Στα ανατολικά, το κύριο αποστραγγιστικό κανάλι, η Μπελίτσα, λαμβάνει σχεδόν όλες τις επιφανειακές απορροές τόσο από τις πεδινές όσο και από τις ορεινές περιοχές και τέλος, εκρέουν στον ποταμό Στρυμόνα (Χάρτης 1.2).

Το υπόλοιπο των ανατολικών ορεινών περιοχών εκρέουν μέσω του χειμάρρου Άγιος Ιωάννης και μέσω μικρών τάφρων αποστράγγισης απευθείας στο Ποταμό Στρυμόνα.

Η βόρεια και δυτική ορεινή περιοχή αποστραγγίζεται μέσα από μια σειρά χειμαρρων είτε απευθείας στο Στρυμόνα ποταμό είτε στη Λίμνη Κερκίνη.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, έπειτα από 11 χιλιόμετρα αφού ο Στρυμόνας διασχίσει τα Ελληνο-Βουλγαρικά σύνορα, ένα μέρος των εισροών του εκτρέπεται μέσω της θυρίδας "Υψιλον 1 (Y1)" σε τρία αρδευτικά δίκτυα (Χάρτης 1.3), ενώ η υπόλοιπη ποσότητα εκρέει στη Λίμνη Κερκίνη. Τρία ακόμη αρδευτικά δίκτυα λαμβάνουν νερό κατευθείαν από τη λίμνη, μέσω των δομών ελέγχου ροής

"Υψιλον 2 (Υ2)" και "Υψιλον 3 (Υ3)". Κατάντη της λίμνης την περίοδο των αρδεύσεων δεν ρέει νερό στον Ποταμό Στρυμόνα έως να ενωθεί με την τάφρο αποστράγγισης Μπελίτσα.

Εν τω μεταξύ, ο τελευταίος λαμβάνει το νερό αποστράγγισης από όλα τα παραπάνω δίκτυα άρδευσης (σχεδόν όλα τα δίκτυα που βρίσκονται στα ανατολικά του ποταμού Στρυμόνα) και τροφοδοτεί με νερό τρία αρδευτικά δίκτυα. Η περίσσεια του νερού από την Μπελίτσα εκρέει και πάλι στο Στρυμόνα ποταμό που με τη σειρά της χρησιμοποιείται από τα υπόλοιπα δίκτυα άρδευσης (Χάρτης 1.3. Και Πίνακας 1.1), κατάντη της Λίμνης Κερκίνης.

1.3 Εδαφικό νερό

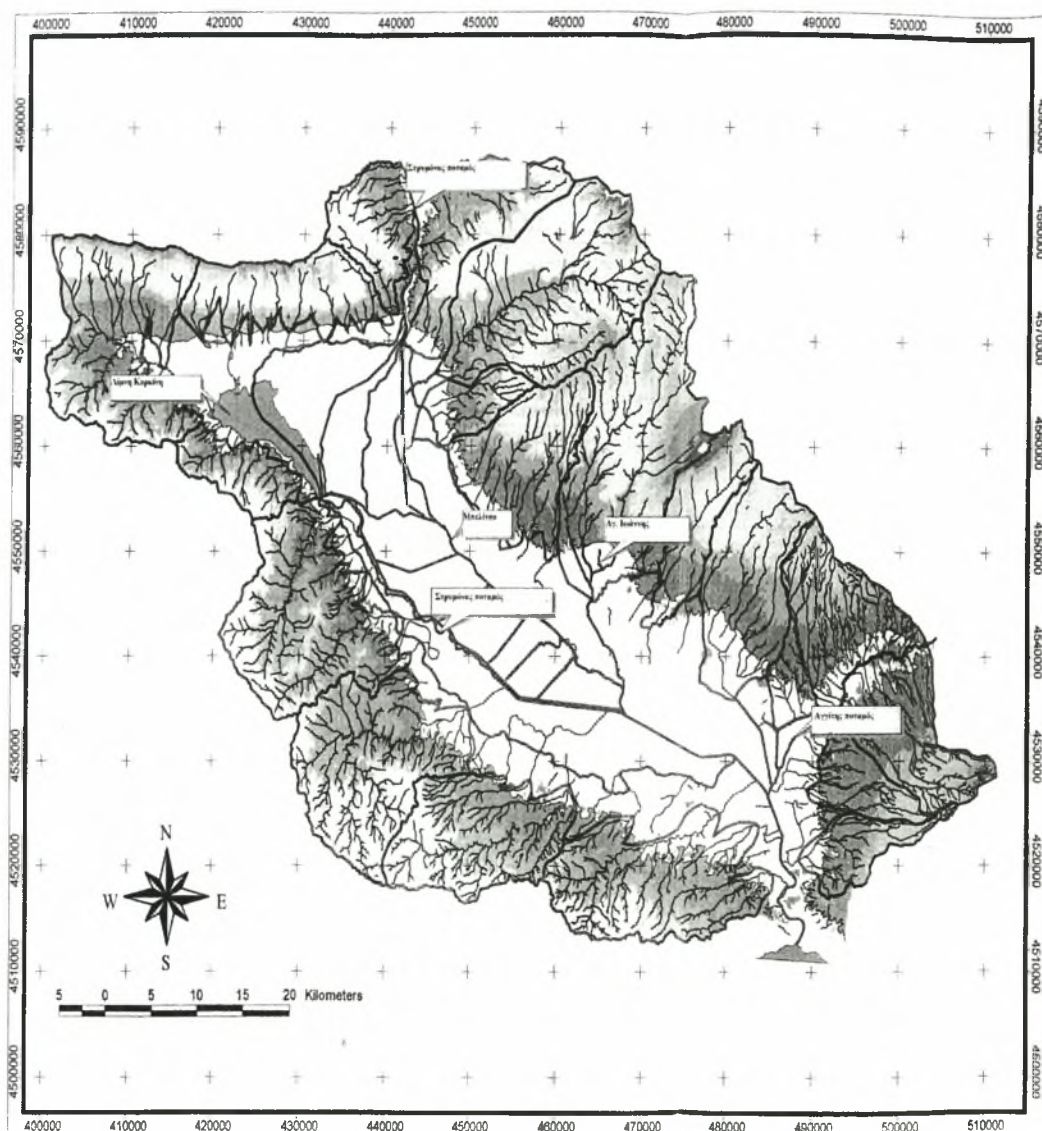
Η πεδιάδα των Σερρών είναι πιθανώς μια από τις πλουσιότερες στην Ελλάδα στον τομέα της διαθεσιμότητας των επιφανειακών υδάτων. Σε πολλές περιπτώσεις εδαφικές μελέτες στις περιοχές [5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18] έδειξαν ότι οι καλλιέργειες θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους για άρδευση άμεσα από την τριχοειδή ζώνη (βλ. χάρτη 1.4).

Λόγω των ανωτέρω, μαζί με τις πρώιμες κατασκευές της λίμνης Κερκίνης και τα εγχειοβελτιωτικά έργα που τη συνοδεύουν, η χρήση των υπογείων υδάτων αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με τη χρήση επιφανειακών υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα ποταμού.

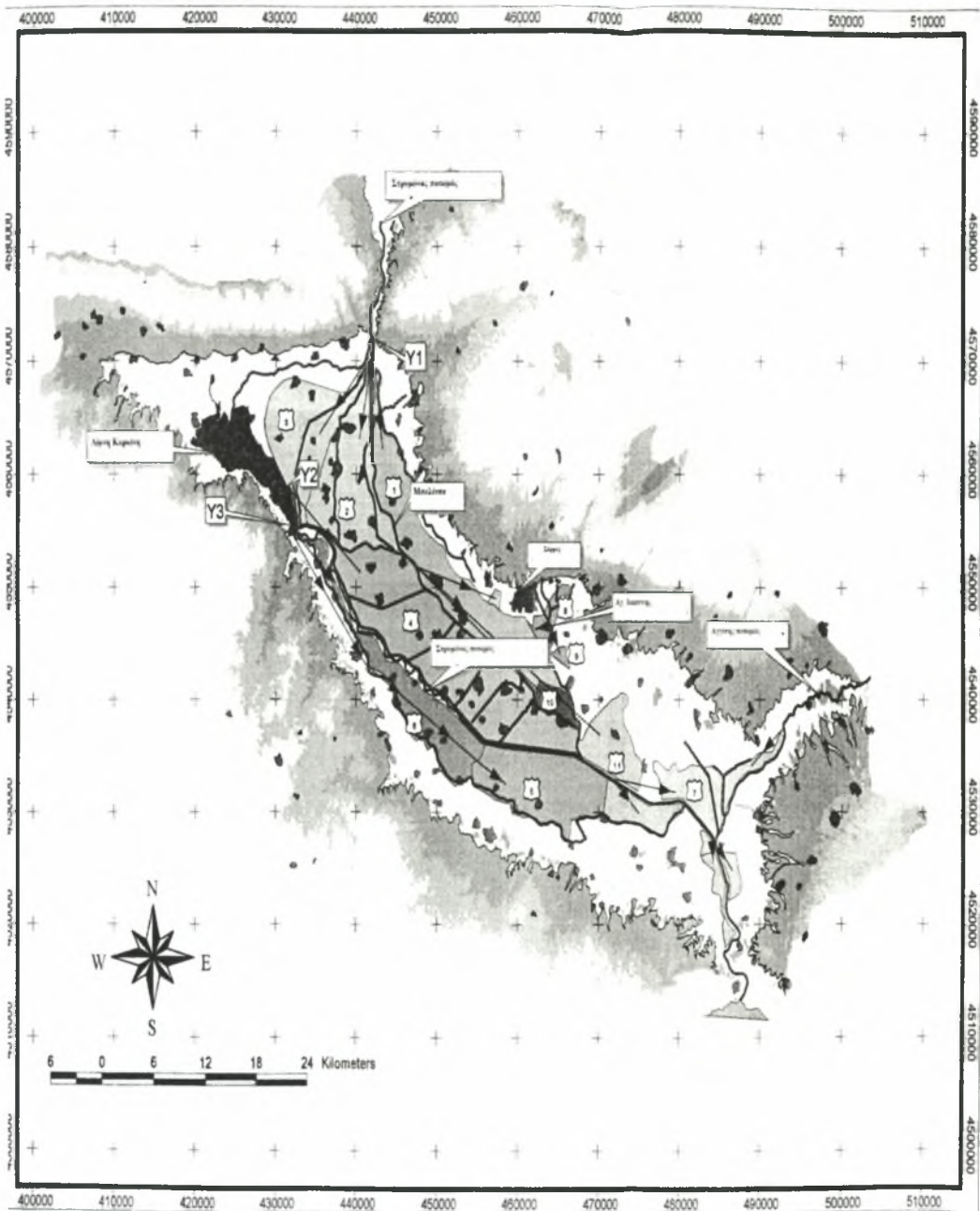
Για τον ίδιο λόγο και τα δεδομένα που σχετίζονται με το έδαφος του νερού είναι πολύ περιορισμένα.

Επί του παρόντος, η γεωργική έκταση που καλύπτει τις αρδευτικές ανάγκες της, χρησιμοποιεί τα υπόγεια ύδατα τα οποία βρίσκονται σε μέρη όπου τα συστήματα άρδευσης των επιφανειακών υδάτων δεν έχουν ακόμη κατασκευαστεί.

Εκτιμάται ότι το 25% των γεωργικών εκτάσεων αρδεύεται από φρεάτια άντλησης (21250 εκτάρια) και πηγές. (8750) .



Χάρτης 1.2. Προσδιορισμός της λεκάνης απορροής και αποστράγγισης στην ορεινή περιοχή του Στρυμόνα

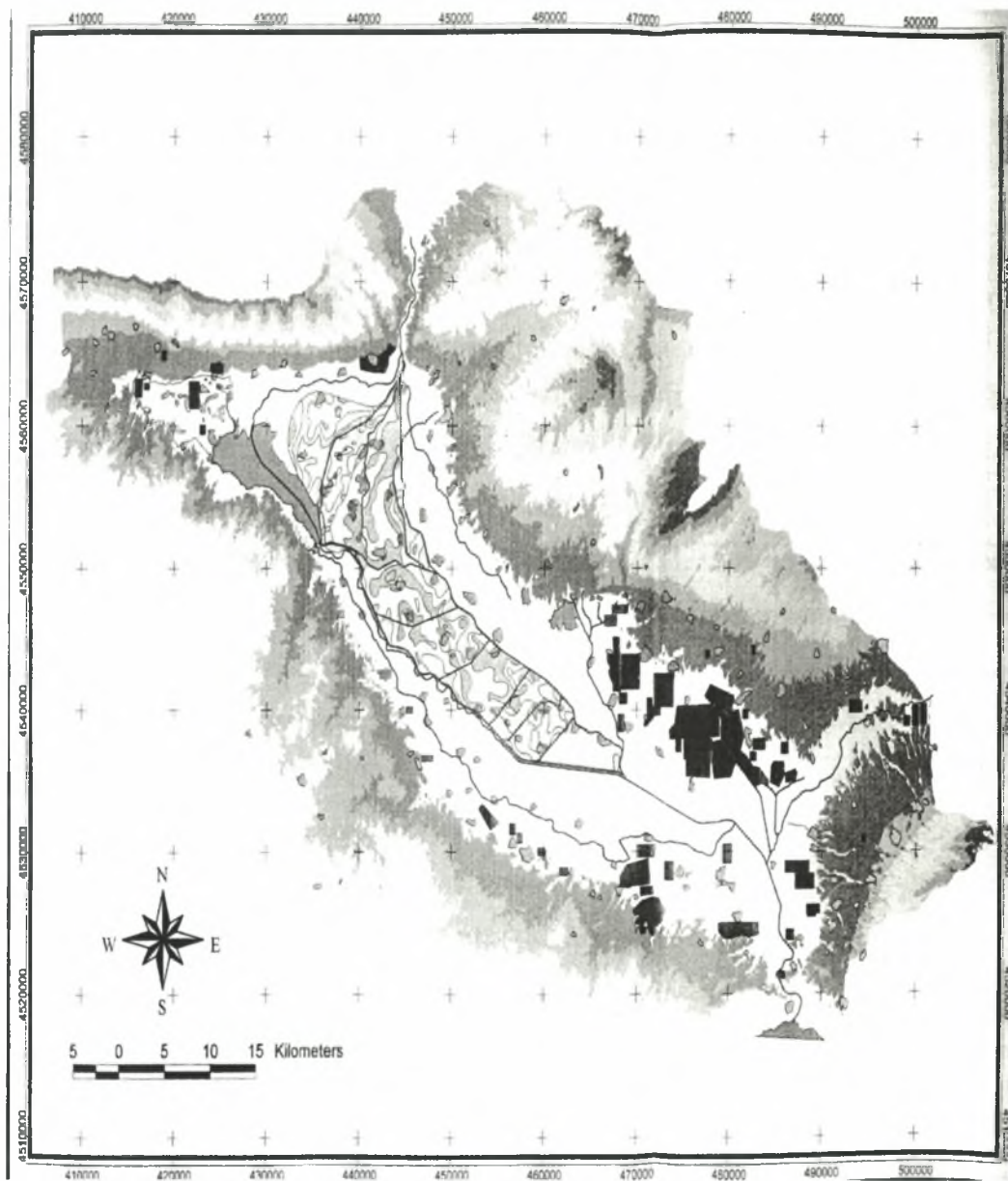


Χάρτης 1.3. Χωρική κατανομή των αρδευτικών δικτύων

Πίνακας 1.1 Διαχείριση αρδευόμενων περιοχών

Αρδευτικά δίκτυα που διαχειρίζεται ο Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ)				
	Αρδευτικό δίκτυο	Περιοχή(εκτ)	Πηγή υδάτων	Τύπου δικτύου
1	3 ^ο δίκτυο Σερρών (ΤΟΕΒ Σιδηροκάστρου)	7.360	Ποταμός Στρυμόνας	Σωλήνες
2	1 ^ο δίκτυο Σερρών (ΤΟΕΒ Ηράκλειας)	6.230	Ποταμός Στρυμόνας	Διώρυγες από σκυρόδεμα
3	Δυτική διώρυγα (ΤΟΕΒ Ηράκλειας)	4.930	Ποταμός Στρυμόνας	Χωμάτινες διώρυγες
4	2 ^ο δίκτυο Σερρών (ΤΟΕΒ Προβατά)	14.120	Λίμνη Κερκίνη	Χωμάτινες διώρυγες
5	4 ^ο δίκτυο Σερρών (ΤΟΕΒ Νιγρίτας)	6.430	Λίμνη Κερκίνη	Σωλήνες
6	Δημητρήσι (ΤΟΕΒ Στρυμονικού)	4.760	Λίμνη Κερκίνη	Σωλήνες
7	5 ^ο δίκτυο Σερρών (ΤΟΕΒ Δήμητρας)	3.760	Αγγίτης ποταμός και Ποταμός Στρυμόνας	Χωμάτινες και από σκυρόδεμα διώρυγες
8	Άγιος Ιωάννης (ΤΟΕΒ Αγίου Ιωάννη)	980	Πηγές Αγ. Ιωάννη	Διώρυγες και σωλήνες
9	(ΤΟΕΒ Νεοχωρίου)	320	Πηγές Αγ. Ιωάννη	Διώρυγες από σκυρόδεμα
10	(ΤΟΕΒ Νέου Σκοπού)	1.010	Τάφρος Μπελίτσας	Χωμάτινες διώρυγες
	Υποσύνολο	49.900		
Αρδευτικά δίκτυα που διαχειρίζεται ο Γενικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ)				
11a	Ψυχικό-Πεθυλένιο	2.030	Τάφρος Μπελίτσας	Χωμάτινες διώρυγες
11b	Πεθυλένιο-Γάζωρος	290	Τάφρος Μπελίτσας	Χωμάτινες διώρυγες
11c	Αχινός-Μαυροθάλασσα	1990	Ποταμός Στρυμόνας	Χωμάτινες διώρυγες
11d	Τραγίλος-Αηδονοχωριό	260	Ποταμός Στρυμόνας	Χωμάτινες διώρυγες
11e	Ευκαρπία-Νέα Κερδίλια	630	Ποταμός Στρυμόνας	Χωμάτινες διώρυγες
11f	Λευκώνας	200	Τάφρος Μπελίτσας	Χωμάτινες διώρυγες
	Υποσύνολο	5.400		
Αρδευτικά δίκτυα που διαχειρίζονται Τοπικοί Αυτοδιοικούμενοι Οργανισμοί				
12		2.000	Αγγίτης ποταμός και Ποταμός Στρυμόνας	
13		1.100	Τεχνητές λίμνες	
14		400	Τάφροι αποστράγγισης	
15		2.550	Πηγάδια άντλησης	
	Υποσύνολο	6.050		
Ιδιωτικά αρδευτικά συστήματα				
16		550	Αγγίτης ποταμός και Ποταμός Στρυμόνας	
17		750	Τεχνητές λίμνες	
18		200	Τάφροι αποστράγγισης	
19		18.800	Πηγάδια άντλησης	
	Υποσύνολο	20.300		
	Σύνολο	81.650*		

* ΠΗΓΗ: ΔΕΒ Σερρών (έτος 2000) [18].



Χάρτης 1.4. Αρδευόμενες εκτάσεις που τροφοδοτούνται από υπόγεια ύδατα και το επίπεδο της επιφάνειας υδάτων της πεδιάδας.

2. Προσέγγιση του μοντέλου

Λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των επιφανειακών υδάτων, την υποκείμενη κορεσμένη ζώνη και τον υδροφόρο ορίζοντα, καθώς και τη συνδυαστική χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα, έχει επιλεγεί για την προσομοίωση της υδρολογικής λειτουργίας της λεκάνης ένα ολοκληρωμένο σύστημα υδρολογικής προσομοίωσης, το MIKE SHE/MIKE 11.

Το MIKE SHE είναι ένα πλήρως κατανεμημένο, φυσικά βασιζόμενο, με πεπερασμένη διαφορά από το υδρολογικό μοντέλο συστήματος MIKE 11, το οποίο περιλαμβάνει μια αδιαμφισβήτητα, πεπερασμένη διαφορά υπολογισμού των ασταθών ροών σε ποταμούς και εκβολές ποταμών. Χρησιμοποιώντας το σύστημα μοντελοποίησης οι ακόλουθες σημαντικές διεργασίες ροής του νερού θα προσομοιώνονται ταυτόχρονα στη λεκάνη :

- Η απορροή από τις γύρω υπολεκάνες.
- Επιφανειακή απορροή και επιφανειακή αποθήκευση νερού
- Η διείδυση και η αποθήκευση στην ακόρεστη ζώνη
- Η δυναμική ανταλλαγή μεταξύ ακόρεστης ζώνης και υπόγειων νερών (επαναφόρτιση)
- Η δυναμική ανταλλαγή μεταξύ των υδροφόρων - ποταμών (διαρροή)
- Ροή των υπόγειων υδάτων, αποθήκευση και οι δυνατότητες των κεφαλών
- Απώλειες εξατμισοδιαπνοής
- Επιπτώσεις της αποστράγγισης
- Επιπτώσεις της κατανομής του αρδευτικού νερού.

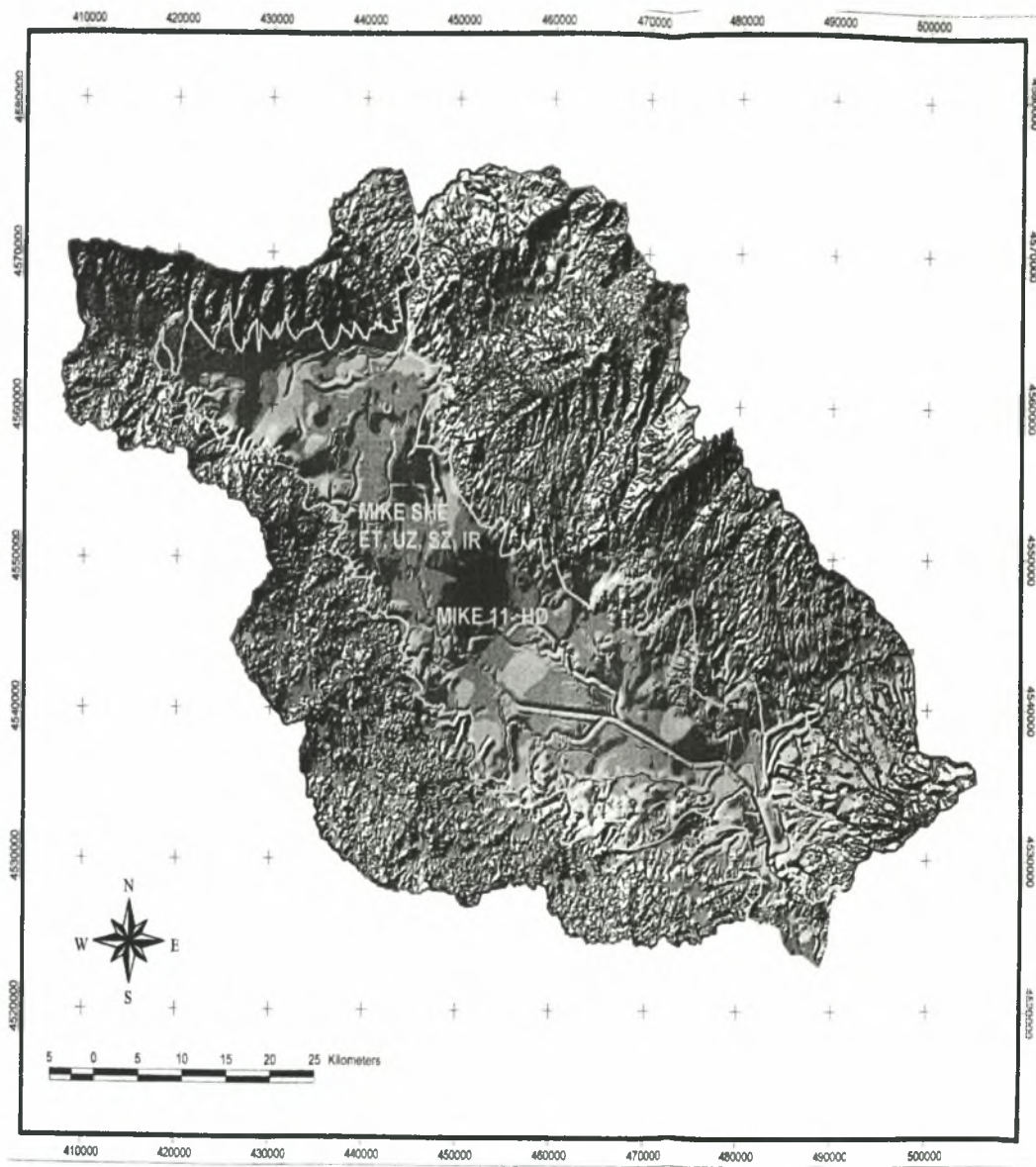
Το μοντέλο MIKE SHE/MIKE 11 αποτελείται από διάφορα στοιχεία (ενότητες) που προσομοιώνουν τις παραπάνω διαδικασίες. Οι ενότητες που θα χρησιμοποιηθούν στην λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, καθώς και την περιοχή όπου πρόκειται να εφαρμοστεί δίνονται στον Πίνακα 2.1 και το χάρτη 2.1 αντίστοιχα.

Πίνακας 2.1. Συστατικά του μοντέλου που εφαρμόζεται στην λεκάνη του Στρυμόνα

Συστατικά του μοντέλου	Εξομοιώνει	Πλήρως δυναμική σύζευξη	Διάσταση	Διέπουν την εξίσωση
MIKE 11 RR Rain - Runoff	Επιφανειακή απορροή και υπόγεια ύδατα	MIKE SHE SZ, OL	1 - D	NAM
MIKE SHE OL Overland flow	Επιφανειακή απορροή, βάθος νερού και βάθος αποθήκευσης	MIKE SHE SZ, UZ AND MIKE 11	2 - D	Εξίσωση Saint-Venants (συχνότητα κινηματικής προσέγγισης)
MIKE 11 HD	Πλήρης υδραυλική δυναμική ποταμών και καναλιών(ροή και στάθμη νερού)	MIKE SHE SZ, OL	1 - D	Εξίσωση Saint-Venants (συχνότητα δυναμικής προσέγγισης)
MIKE SHE UZ Unsaturated zone	Ροή και περιεκτικότητα σε νερό της ακόρεστης ζώνης, διήθηση και υπόγεια επαναφόρτιση	MIKE SHE SZ, OL	1 - D	Εξίσωση Richards
MIKE SHE ET Evapotranspiration	Εδαφική και ελεύθερη επιφανειακή εξάτμιση νερού, διαπνοή των φυτών	MIKE SHE UZ, OL	-	Εξίσωση Kristensen & Jensen
MIKE SHE SZ Saturated zone	Ροή και επίπεδο νερού της κορεσμένης ζώνης(υπόγεια ύδατα)	MIKE SHE UZ, OL AND MIKE 11	3 - D	Εξίσωση Boussinesqs
MIKE SHE IR Irrigation	Απαιτήσεις άρδευσης (έλλειμμα νερού στο έδαφος) και κατανομή (επιφανειακά νερά / υπόγεια νερά)	MIKE SHE SZ MIKE 11	-	-

Στις ορεινές περιοχές της λεκάνης, όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι πολύ περιορισμένες ένα συγκεντρωτικό υδρολογικό μοντέλο, το NAM που αποτελεί μονάδα του MIKE 11 θα πρέπει να εφαρμόζεται για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής, καθώς και τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων. Όλες οι γύρω υπολεκάνες διαχωρίστηκαν με τη χρήση GIS (Χάρτης 2.1) προκειμένου να εφαρμόζεται ξεχωριστά σε κάθε μία από αυτές το πρόγραμμα NAM.

Στον κάμπο (υψόμετρο μικρότερο από +100 m) της λεκάνης του Στρυμόνα θα πρέπει να εφαρμοστεί το πλήρες MIKE SHE / MIKE 11. Ως εκ τούτου, η περιοχή προσομοίωσης έχει διακριτοποιηθεί σε μια σειρά από υπολογιστικά κελιά για την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων που διέπουν. Η χωρική κλίμακα του MIKE SHE (μέγεθος δικτύου) θα επιλέγεται είτε για την αντιμετώπιση των περιφερειακών θεμάτων της λεκάνης είτε να γίνουν τοπικές λεπτομερείς μελέτες οι οποίες επικεντρώνονται σε ορισμένες περιοχές.

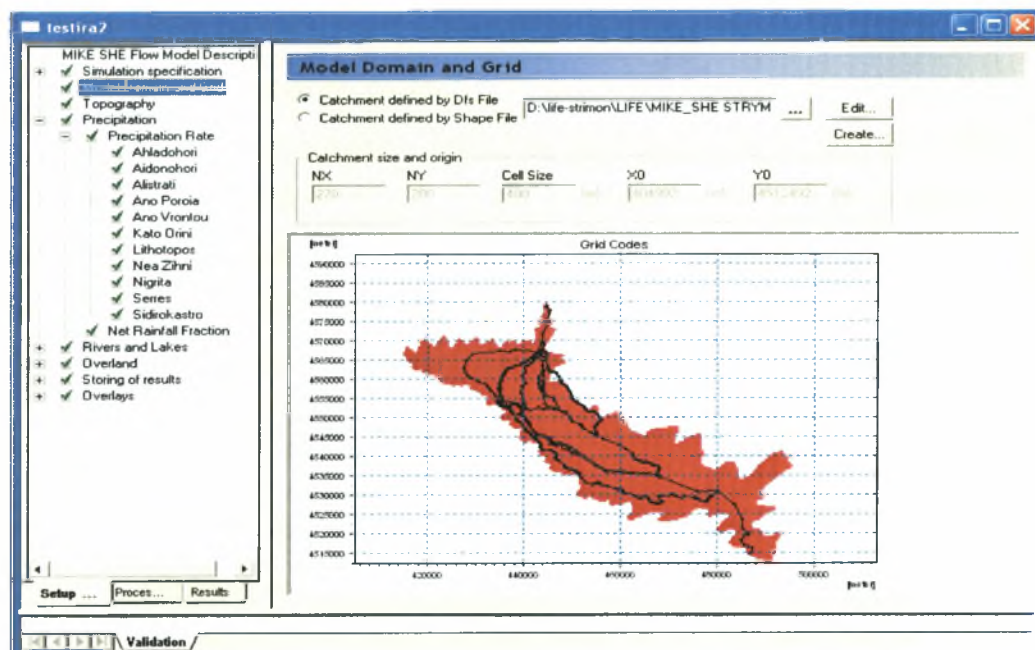


Χάρτης 2.1. Συστατικά του μοντέλου που εφαρμόζεται στην λεκάνη του Στριμόνα.

2.1 Ρύθμιση του μοντέλου MIKE SHE

2.1.1. Περιοχή προσομοίωσης και κελιά υπολογισμών

Η περιοχή στην οποία θα εφαρμοστεί το μοντέλο καταλαμβάνει το πεδινό μέρος (υψόμετρο μικρότερο από +100 m) της λεκάνης και περιλαμβάνει την ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη. Τα όρια της περιοχής μοντέλου παρατίθεται στο χάρτη 2.1. και στο Σχήμα 2.1. Η πρώτη επιλογή διακριτοποίησης έχει επιλεγεί να είναι μέγεθος κελιών 400 m x 400 m.



Σχήμα 2.1. Κύρια περιοχή όπως φαίνεται στο κουτί διαλόγου του MIKE SHE

2.1.2 Τοπογραφία- Ψηφιακό ομοίωμα εδάφους(DEM)

Η Τοπογραφία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεταβλητές στην MIKE SHE. Ορίζει την επιφάνεια αποστράγγισης για χερσαία ροή, καθώς και την ανώτατη επιφάνεια τόσο της ακόρεστης ζώνης (UZ) όσο και της κορεσμένης ζώνης (SZ).

Επιπλέον, και αρκετές άλλες παραμέτρους, όπως και τα όρια του υδροφόρου ορίζοντα, σε σχέση με την τοπογραφία μπορούν να προσδιοριστούν.

Η τοπογραφία στο μοντέλο της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα παρουσιάζεται από το Ψηφιακό Ομοίωμα Εδάφους (DEM) στη λεκάνη. Έχει κατασκευαστεί με την ψηφιοποίηση όλων των κατάλληλων δεδομένων σε σχέση με
Α) φυσικό και τεχνητό δίκτυο αποστράγγισης
Β) Ισοϋψείς καμπύλες και σημεία, χρησιμοποιώντας χάρτες κλίμακας 1:50.000 καθώς και 1:20.000. [5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]

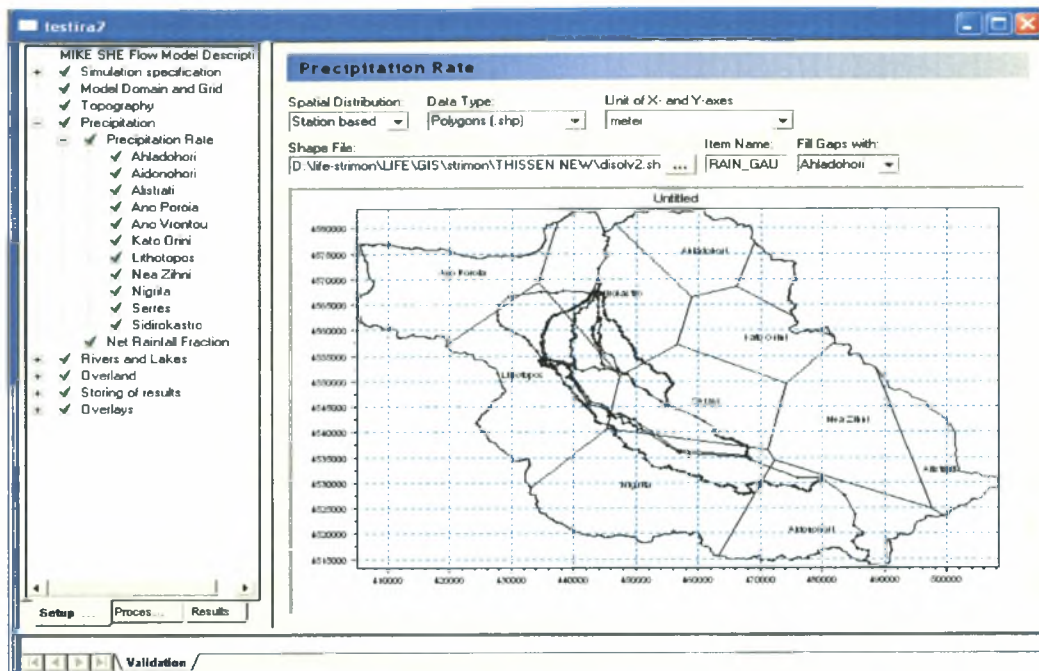
2.1.3. Κατακρημνίσματα

Το ποσοστό κατακρήμνισης αποτελεί την κινητήρια δύναμη για όλες σχεδόν τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου.

Χρησιμοποιώντας ημερήσια δεδομένα κατακρημνισμάτων από 11 σταθμούς κατακρημνισμάτων (Πίνακας 2.2), οι οποίοι πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Για τη χωρική κατανομή των κατακρημνισμάτων στη λεκάνη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Thiessen [22], διαιρώντας την περιοχή σε 11 πολύγωνα με ομοιόμορφες κατακρημνίσεις για κάθε ένα από αυτά (Σχήμα 2.2).

Πίνακας 2.2 Σταθμοί κατακρημνισμάτων στην λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα

	Τοποθεσία	γεωγραφικό πλάτος	γεωγραφικό μήκος.	υψόμετρο
1	Σέρρες	41° 05'	23° 32'	34
2	Κάτω Ορεινή	41° 12'	23° 36'	745
3	Άνω Βρόντου	41° 18'	23° 41'	1040
4	Νέα Ζύχνη	41° 02'	23° 50'	280
5	Αληστράτη	41° 04'	23° 58'	300
6	Αηδονοχώρι	40° 50'	23° 44'	212
7	Νιγρίτα	40° 55'	23° 30'	111
8	Λιθότοπος	41° 08'	23° 13'	50
9	Άνω Πορεία	41° 18'	23° 02'	395
10	Σιδηρόκαστρο	41° 14'	23° 24'	78
11	Αχλαδοχώρι	41° 20'	23° 33'	500



Σχήμα 2.2. Χωρική κατανομή κατακρημισμάτων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα σύμφωνα με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen.

2.1.4 Χρήση της γης

Το στοιχείο χρήσης της γης στο μοντέλο χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, τα οποία επηρεάζουν την υδρολογία της περιοχής μελέτης μας, περιλαμβανομένης και της διανομής της βλάστησης, πλακόστρωτους χώρους και αρδευόμενες διοικητικές περιοχές .

2.1.4.1. Ρύθμιση της βλάστησης

Η κατανομή της βλάστησης προστίθεται στο μοντέλο για την προσομοίωση της εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη.

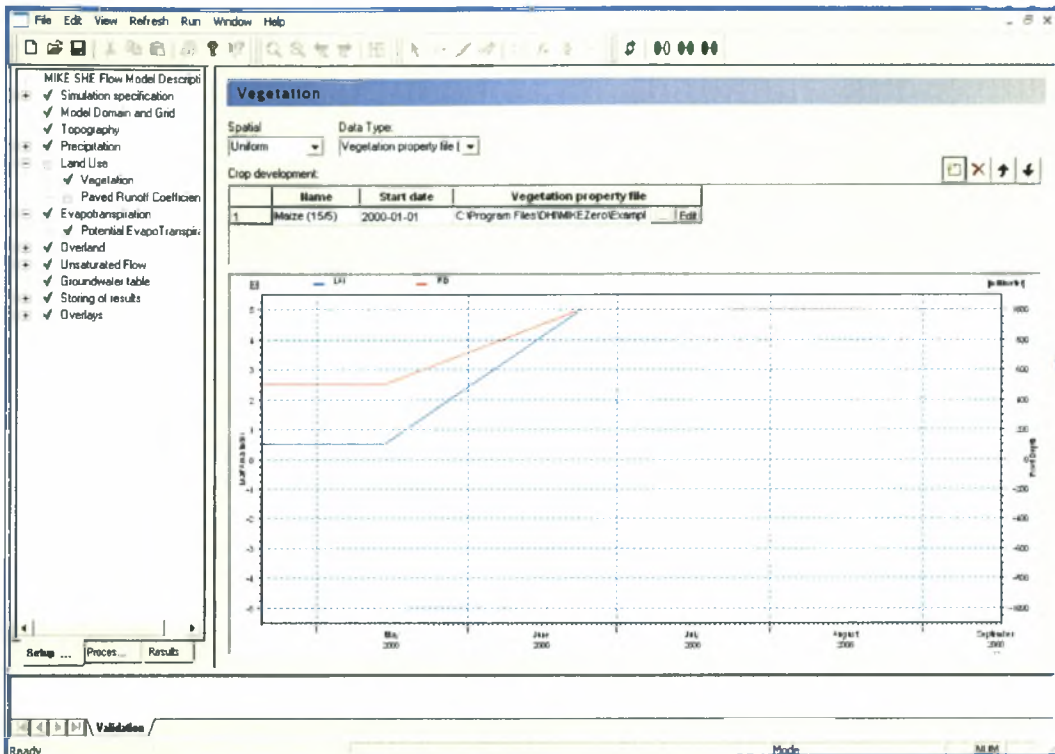
Δεδομένου ότι η περιοχή που διαμορφώνεται από το MIKE SHE καλύπτει μόνο τις γεωργικές περιοχές, η κατανομή της βλάστησης στην πραγματικότητα ταυτίζεται

με το πρότυπο καλλιέργειας στη λεκάνη. Το τελευταίο πρόκειται να προσδιορίζεται κάθε έτος κατά τη διάρκεια του Ιουλίου με δορυφορικές εικόνες.

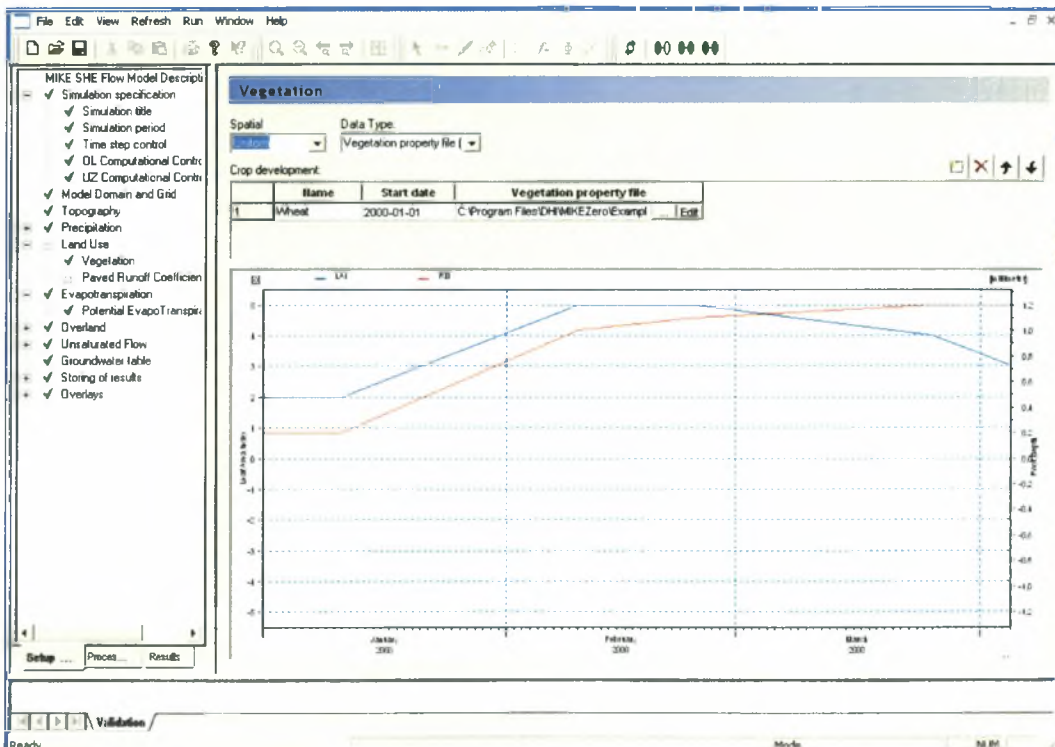
Τρεις ακόμη παράμετροι που σχετίζονται με τη διανομή της βλάστησης είναι **A) Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) , B) Βάθος ριζών (RD) και Γ) AROOT** , για κάθε καλλιέργεια που καλλιεργείται στην περιοχή-μοντέλο. Χρόνος για μεταβαλλόμενες τιμές των LAI και RD για τις κύριες καλλιέργειες στη λεκάνη του Στρυμόνα (Σχήματα 2.3 - 2.6.) έχουν βρεθεί [βάση δεδομένων του MIKE SHE] και φορτώνονται στο μοντέλο. Το AROOT είναι μια παράμετρος που περιγράφει την κατανομή της μάζας της ρίζας και ως εκ τούτου, το πώς η άντληση νερού διανέμεται με το βάθος εξαρτάται από την παράμετρο AROOT. Το MIKE SHE επιτρέπει για ένα καθορισμένο χρήστη, η χρονικά ανομοιόμορφη κατανομή της ρίζας καθορίζεται από το βάθος της ρίζας. Η κατανομή της ρίζας και η επακόλουθη διαπνοή γίνεται πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη όταν το AROOT προσεγγίζει το 0. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, η συνολική πραγματική διαπνοή τείνει να γίνει μικρότερη για υψηλότερες τιμές του AROOT επειδή το περισσότερο από το νερό τραβιέται από το ανώτερο στρώμα, το οποίο στη συνέχεια στεγνώνει γρηγορότερα. Η πραγματική διαπνοή, ως εκ τούτου, καθίσταται περισσότερο εξαρτώμενη από την ικανότητα του εδάφους να διεξάγει πάνω το νερό (τριχοειδής άνοδος) προς τα στρώματα με υψηλή ριζική πυκνότητα.

Ένα ρηχότερο βάθος ρίζας θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη διαπνοή από τα ανώτερα στρώματα στην ακόρεστη ζώνη επειδή ένα μεγαλύτερο ποσοστό των ριζών θα βρίσκεται στο άνω μέρος κατανεμημένο. Ωστόσο, και πάλι, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη πραγματική διαπνοή, εάν η ικανότητα του εδάφους να διεξάγουν το νερό πάνω είναι περιορισμένη.

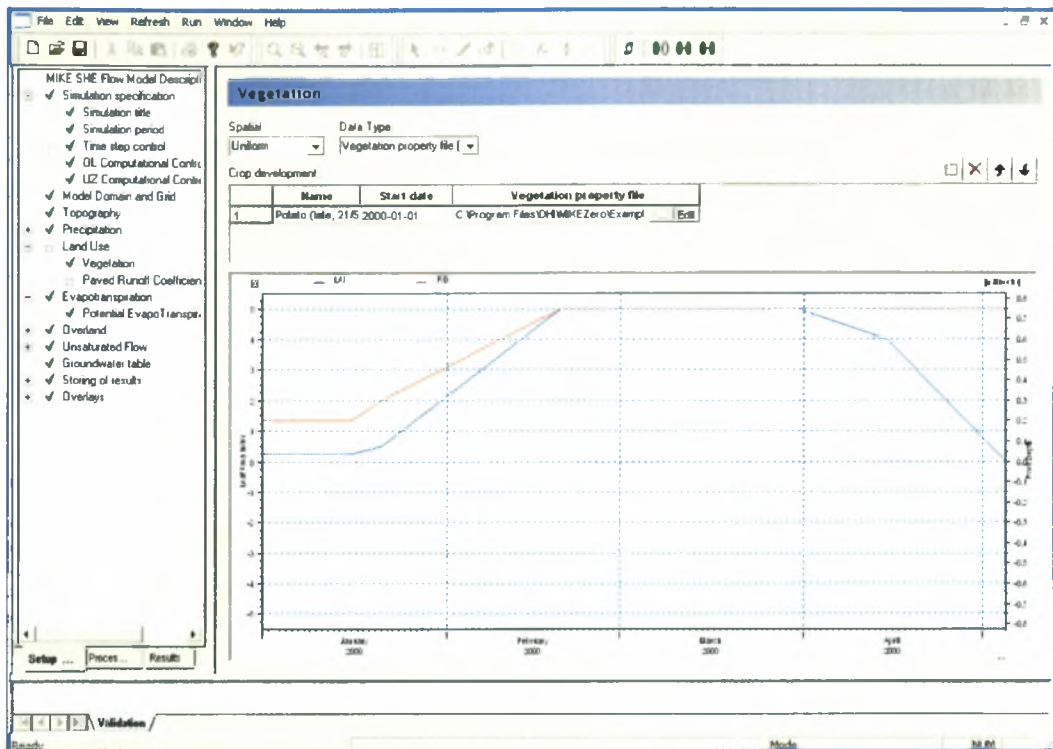
Έτσι οι παράγοντες AROOT και το βάθος ριζών είναι σημαντικές παράμετροι για την εκτίμηση πόσο νερό μπορεί να αντληθεί από την κατατομή του εδάφους κάτω από ξηρές συνθήκες. Στο μοντέλο λεκάνης του Στρυμόνα AROOT θα προσαρμοστεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης.



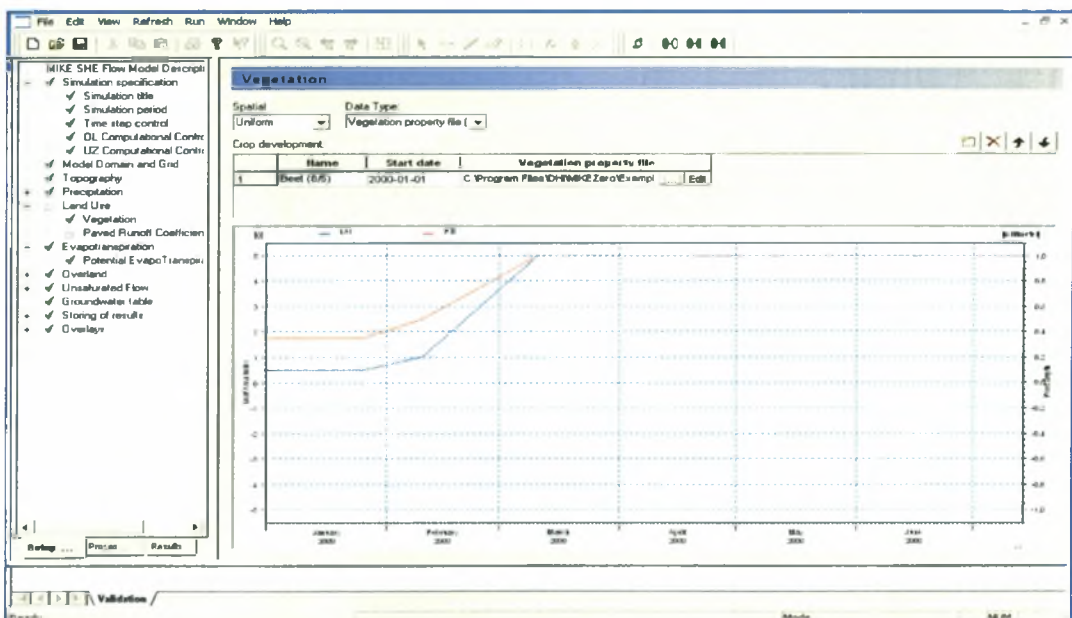
Σχήμα 2.3. Αραβόσιτος: Χρονική μεταβολή, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και κάθετο ριζικό βάθος (RD)



Σχήμα 2.4. Σιτάρι: Χρονική μεταβολή, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και κάθετο ριζικό βάθος (RD)



Σχήμα 2.5. Πατάτες: Χρονική μεταβολή, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και κάθετο ριζικό βάθος (RD)



Σχήμα 2.6. Ζαχαρότευτλα: Χρονική μεταβολή, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και κάθετο ριζικό βάθος (RD)

Η εκχύλιση των ριζών θεωρείται ότι διαφέρουν λογαριθμικά σε βάθος από :

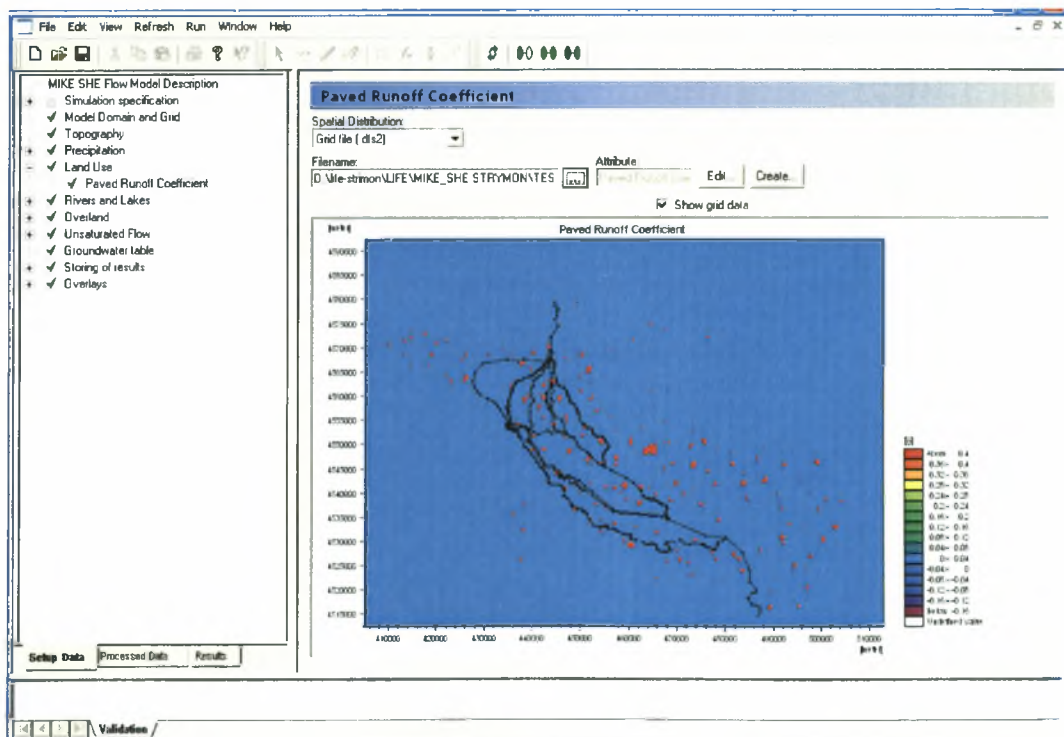
$$\log R(z) = \log R_0 - A \cdot \text{ROOT} \cdot z \quad (2.1)$$

όπου R_0 είναι η εκχύλιση της ρίζας στην επιφάνεια του εδάφους.

2.1.4.2. Επικαλυμμένες περιοχές

Οι επικαλυμμένες περιοχές προστίθενται στο μοντέλο για την προσομοίωση της επιφανειακής απορροής. Λαμβάνοντας υπόψη την διακριτοποίηση της περιοχής-μοντέλου (μέγεθος πλέγματος 400 m x 400 m ήταν κατά κύριο λόγο επιλεγμένο), οι επικαλυμμένες περιοχές, στις οποίες πρόκειται να ανατεθούν μόνο οι οικισμοί της περιοχής-μοντέλου.

Ένας ενιαίος συντελεστής απορροής ίσος με 0.75 έχει αρχικά επιλεγεί για όλες τις παραπάνω περιοχές (σχήμα 2.7).



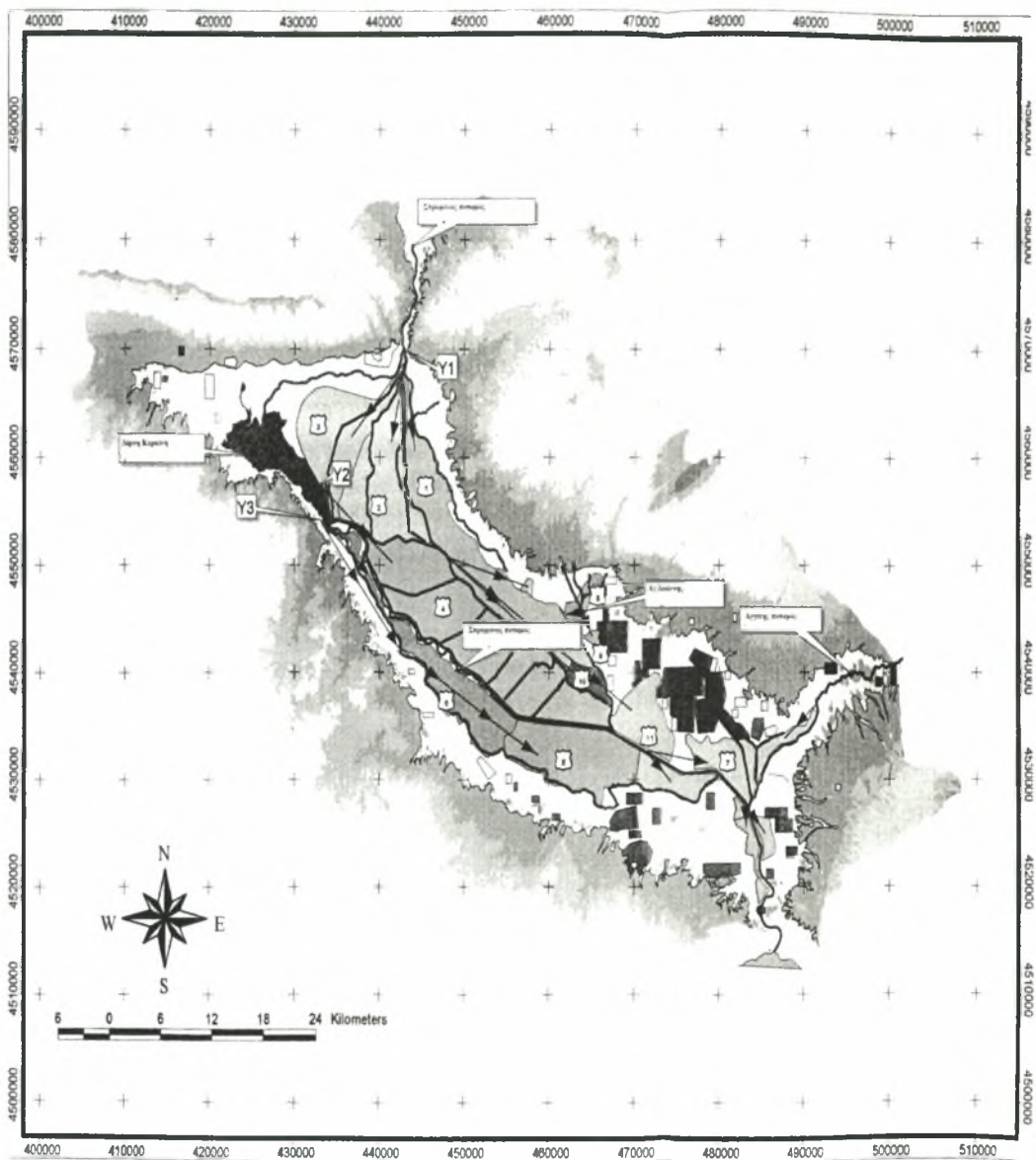
Σχήμα 2.7. Επικαλυμμένες περιοχές

2.1.4.3. Διοικητικές περιοχές άρδευσης

Στο MIKE SHE μια “διοικητική περιοχή άρδευσης” είναι η περιοχή που αρδεύεται από την ίδια πηγή νερού (π.χ. υπόγεια ύδατα, μια λίμνη, ένα ποτάμι).

Στη λεκάνη του Στρυμόνα οι κύριες αρδευτικές απαιτήσεις καλύπτονται από τον Ποταμό Στρυμόνα, τη Λίμνη Κερκίνη και την τάφρο αποστράγγισης της Μπελίτσας ενώ τα υπόλοιπα καλύπτονται από φρεάτια, δεξαμενές και μικρά πηγάδια (Χάρτης 2.2 και Πίνακας 1.1).

Βάση της τρέχουσας κατάστασης της λεκάνης έχουν αρχικά οριστεί 11 διοικητικές περιοχές άρδευσης.



Χάρτης 2.2 Διοικητικές περιοχές άρδευσης

2.1.5 Εξατμισοδιαπνοή (ET)

Στο MIKE SHE, οι διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής χωρίζονται και προσομοιώνονται με την ακόλουθη σειρά:

- Ένα μέρος της βροχής παρεμποδίζεται από την φυτοκάλυψη, μέρος του οποίου εξατμίζεται απευθείας.
- Το υπόλοιπο νερό φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, προκαλώντας είτε επιφανειακή απορροή είτε διεισδύει στην ακόρεστη ζώνη.
- Μέρος του νερού που διηθείται εξατμίζεται από το άνω τμήμα της ριζικής ζώνης ή προσλαμβάνεται από τα φυτά.
- Το υπόλοιπο του διηθούμενου νερού επαναφορτίζει τα υπόγεια ύδατα στην κορεσμένη ζώνη

Το πρωταρχικό μοντέλο ET βασίζεται σε εμπειρικά προερχόμενες εξισώσεις σύμφωνα με τους Kristensen και Jensen (1975) [8], των οποίων η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Royal Veterinary and Agricultural University (KVL) στη Δανία. Μια λεπτομερής περιγραφή των εξισώσεων που διέπουν τις παραπάνω παραμέτρους της ET δίνονται από το εγχειρίδιο χρήσης του MIKE SHE [8]

Ακόμη και αν η δυνητική Εξατμισοδιαπνοή (PET) (ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μπορεί να συμβεί ET) αποτελεί το βασικό στοιχείο για την εκτίμηση της πραγματικής, δεν μπορεί να υπολογιστεί από το MIKE SHE και θα πρέπει να εισαχθεί ως μια εξωτερική χρονοσειρά (με μονάδες π.χ. mm / ημέρα).

Για τους σκοπούς του παρόντος έργου και λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των μετεωρολογικών δεδομένων στη λεκάνη αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του Penman, όπως τροποποιήθηκε από τους Doorembos και Pruitt (1992), [19, 6]:

$$ET_r = c [WRn + (1 - W) * f(U) * (e_a - e_d)] \text{ mm/day} \quad (2.2)$$

όπου: W= θερμοκρασία και συντελεστής βαρύτητας που εξαρτάται από το υψόμετρο.

R_n = καθαρή ακτινοβολία σε mm/day ή $R_n = 0.75R_s - R_{nl}$, όπου R_s είναι η εισερχόμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος σε mm / ημέρα, είτε μετράται ή λαμβάνεται από $R_s = (0,25 + 0,50 n / N) R_a$. R_a είναι η επιπλέον επίγεια ακτινοβολία σε mm / ημέρα, n είναι η μέση πραγματική διάρκεια ηλιοφάνειας σε ώρες / ημέρα, R_{nl} είναι η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος σε mm / ημέρα και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, της $f(t)$, της πραγματικής πίεσης ατμών, $f(e_d)$ και της διάρκειας ηλιοφάνειας, $f(n / N)$, ή $R_{nl} = f(t) * f(n / N) * f(e_d)$ (όλες οι παραπάνω παράμετροι δίνονται από πίνακες)

$$f(U) = 0,27 * (1 + U/100) \quad (2.3)$$

με U = σε km / ημέρα μετράται σε ύψος 2 m

$e_a - e_d$ = έλλειμμα πίεσης υδρατμών, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της πίεσης ατμών κορεσμού

(e_a) η μέση θερμοκρασία σε mBar (δίνεται από πίνακες) και η πραγματική πίεση υδρατμών (e_d) σε mBar

όπου $e_d = e_a * RH_{mean}$ (2.4)

όπου RH_{mean} = μέση σχετική υγρασία

c = συντελεστής προσαρμογής για την αναλογία U_{day} / U_{night} , για RH_{max} και για R_s (δίνεται από τους πίνακες)

Η εκτίμηση της PET πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό των Σερρών, δεδομένου ότι είναι ο μόνος όπου καταγράφονται οι τιμές από τις απαιτούμενες παραμέτρους. Τα αποτελέσματα της PET θεωρείτε ότι είναι ομοιόμορφα σε ολόκληρη την πεδιάδα.

2.1.6 Επιφανειακή απορροή

Όταν το καθαρό ποσοστό βροχόπτωσης υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης του εδάφους, το νερό απορρέει στην επιφάνεια του εδάφους. Οι απώλειες λόγω της εξάτμισης και της διήθησης κατά μήκος της διαδρομής ροής καθορίζουν την ακριβή διαδρομή και την ποσότητα. Το μοντέλο Overland Flow της MIKE SHE χρησιμοποιώντας κατά προσέγγιση τις εξισώσεις του Saint Venant υπολογίζει τη ροή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους.

Χρησιμοποιώντας τριγωνικό καρτεσιανό επίπεδο συντεταγμένων (x,y) σε οριζόντιο επίπεδο θεωρούμε το επίπεδο της επιφάνειας του εδάφους να είναι $Z_g(x,y)$, το βάθος ροής (πάνω από την επιφάνεια του εδάφους) να είναι $h(x,y)$ και οι ταχύτητες ροής στις x - y διαστάσεις να είναι $u(x,y)$ και $v(x,y)$ αντίστοιχα. Θέτουμε i ότι είναι το πλέγμα για την επιφανειακή απορροή (καθαρή βροχόπτωση χωρίς την απορρόφηση). Έπειτα η εξίσωση διατήρησης της μάζας δίνεται ως ακολούθως

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) = i \quad (2.5)$$

Και η εξίσωση της συνέχειας

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{qu}{gh} \quad (2.6a)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{qv}{gh} \quad (2.6b)$$

Όπου S_f είναι η κλίση του πυθμένα ροής σε x - y διευθύνσεις και S_o η κλίση της επιφάνειας του εδάφους. Οι εξισώσεις αυτές είναι γνωστές σαν εξισώσεις (2.5), (2.6a) και (2.6b) St. Venant και όταν επιλυθούν αποδίδουν με πλήρως δυναμική περιγραφή ρηχής ελεύθερης επιφανειακής ροής (2 διαστάσεων)[8].

Τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής είναι:

- Ο αριθμός Manning N , το οποίο είναι ισοδύναμο με τον συντελεστή τραχύτητας Stickler.
- Ο αριθμός Manning $N=1/n$, όπου n είναι ο συντελεστής τραχύτητας Manning. Η εκτίμηση της παραμέτρου n δίνεται από πίνακες για διάφορα είδη καναλιών. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε την κανονική τιμή για μία πλημμυρική πεδιάδα που καλλιεργείται και υπάρχουν ώριμοι καλλιεργητικοί αγροί [28, 22]. Αυτή η κατηγορία ταιριάζει με την υπόθεσή μας, και η τιμή είναι $n = 0.04$ έτσι ο αριθμός Manning είναι $N = 25$.
- Η αποθήκευση από συγκράτηση νερού από τις επιφανειακές κοιλότητες . Χρησιμοποιείται για να μειώσει την ποσότητα του νερού που μπορεί να ρέει πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό που παγιδεύεται στην αποθήκευση κράτησης εξακολουθεί να είναι διαθέσιμο για τη διείσδυση στην ακόρεστη ζώνη και την εξατμισοδιαπνοή. Χρησιμοποιώντας αποθήκευση από συγκράτηση μπορούμε να προσομοιώσουμε το νερό που παγιδεύεται σε βαθουλώματα που είναι μικρότερα από ό, τι σε μια κυψελίδα. Στο μοντέλο λεκάνης του Στρυμόνα η αποθήκευση κράτησης ορίστηκε ίση με 2 mm έτσι ώστε το νερό να είναι σε θέση να ρέει ως επιφανειακή ροή, όταν το βάθος του νερού πάνω στην επιφάνεια υπερβαίνει τα 2 mm.
- Το αρχικό βάθος του νερού στην επιφάνεια του εδάφους (νερό από κατακλύσεις). Η κατανομή του βάθους του νερού στη Λίμνη Κερκίνη και το μηδέν για οποιοδήποτε άλλο κελί στην αρχή της προσομοίωσης χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του μοντέλου.

2.1.7 Ακόρεστη ροή

Η MIKE SHE επιτρέπει τρεις διαφορετικές επιλογές να χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της ακόρεστης ροής νερού:

A) Η πλήρης εξίσωση Richards, η οποία απαιτεί μια μορφή πίνακα ή λειτουργική σχέση τόσο για την καμπύλη εδαφικής υγρασίας όσο για την αγωγιμότητα.

B) Μια απλοποιημένη διαδικασία ροής βαρύτητας, η οποία θεωρείται με ενιαία κάθετη κλίση και αγνοεί τις τριχοειδείς δυνάμεις.

Γ) Μια απλή μέθοδος ισοζυγίου του νερού δύο στρωμάτων για ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες.

Για τους σκοπούς του προγράμματος η εξίσωση Richards έχει επιλεγεί:

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} - S \quad (2.7)$$

Όπου

$C = \frac{\partial \theta}{\partial \psi}$ είναι η κλίση της καμπύλης διατήρησης της υγρασίας του εδάφους

θ είναι η ογκομετρική υγρασία του εδάφους

S είναι ο όρος απόληψης ροής από τη ρίζα

$K(\theta)$ είναι η λειτουργία της υδραυλικής αγωγιμότητας

$\psi(\theta)$ είναι η καμπύλη διατήρησης της υγρασίας του εδάφους.

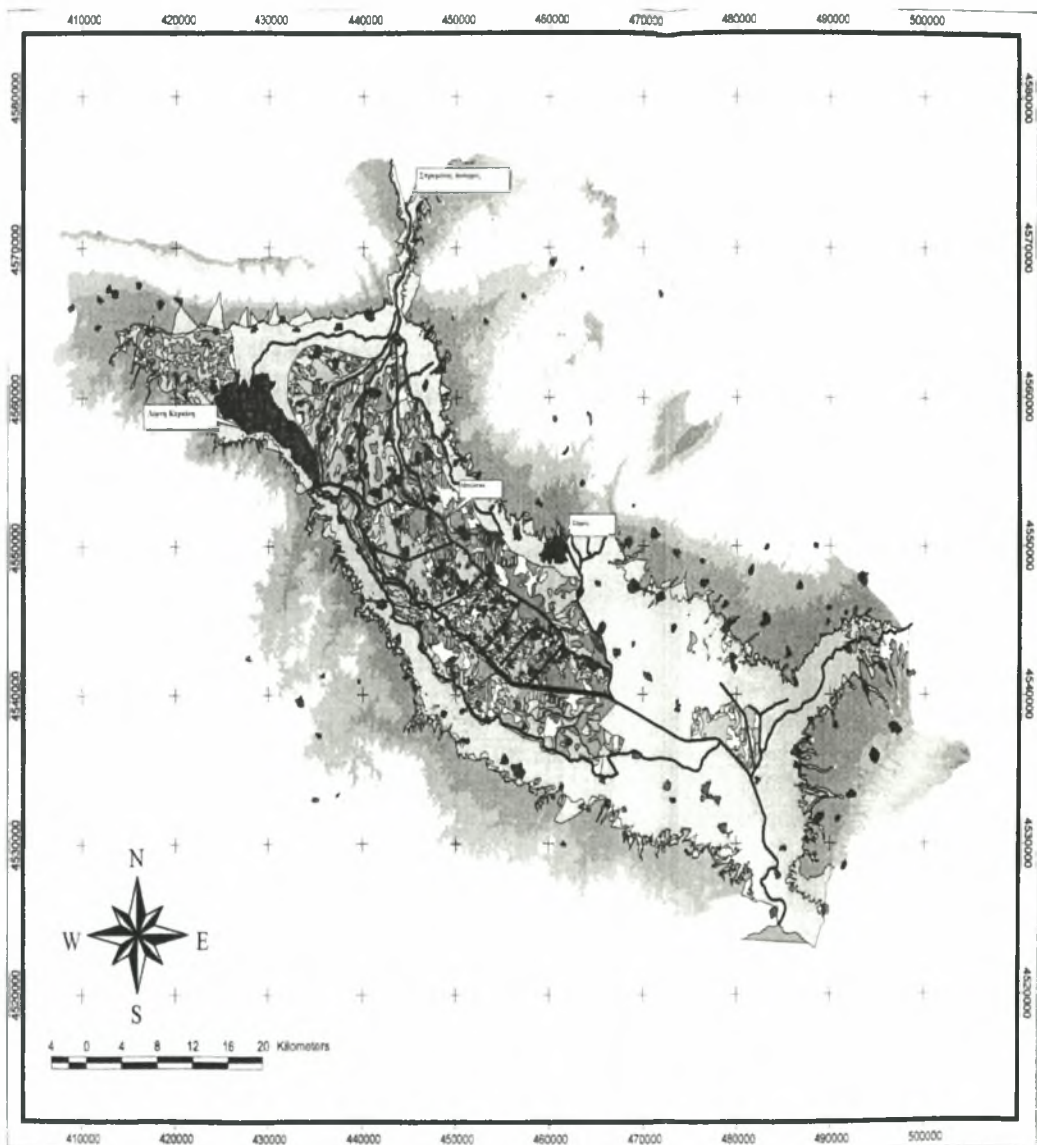
Οι όροι βύθισης στην εξίσωση (2.7) υπολογίζονται από την εκχύλιση ρίζας για την διαπνοή στο άνω μέρος της ακόρεστης ζώνης. Το ολοκλήρωμα της εξαγωγής της ρίζας σε όλο το βάθος του ριζικού συστήματος ισούται με τη συνολική πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η Άμεση εξάτμιση από το έδαφος υπολογίζεται μόνο για τον πρώτο κόμβο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης είναι αποθηκευμένα στο MIKE SHE για κάθε τύπο εδάφους.

Έντεκα τύποι εδάφους πιστοποιήθηκαν μετά από ανάλυση και συνδυασμό δεδομένων από προηγούμενες μελέτες του εδάφους στις περιοχές άρδευσης [5, 7,

9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18]. Οι τύποι εδάφους και η χωροταξική κατανομή τους δίνονται στον Χάρτη 2.3.

Για τις περιοχές εκτός των αρδευτικών δικτύων, όπου δεν ήταν διαθέσιμα δεδομένα υποθέτουμε ότι είναι πηλώδη εδάφη δεδομένου ότι αυτός ο τύπος είναι το κυρίαρχο σύμφωνα με τις προαναφερθείσες μελέτες.



Χάρτης 2.3. Χωρική κατανομή του εδάφους στην λεκάνη του Στρυμόνα

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πληροφορίες για τους παραπάνω τύπους εδάφους για α) την καμπύλη διατήρησης της υγρασίας του εδάφους και β) την υδραυλική αγωγιμότητα K , οι τιμές τους έχουν εκτιμηθεί με τη χρήση θεωρητικών τύπων.

Για την περίπτωση της λεκάνης του Στρυμόνα έχει χρησιμοποιηθεί ο τύπος του Van Genuchten.

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (2.8)$$

όπου

$\theta(\psi)$ περιεκτικότητα σε νερό εδάφους [L³/L³] στην κεφαλή πίεσης [L].

θ_s Υγρασία του εδάφους σε κορεσμό [L³/L³]

θ_r περιεκτικότητα σε υπολειμματική υγρασία εδάφους [L³/L³]

α = εμπειρική παράμετρος [1 / L]

n, m = εμπειρικές παράμετροι [-]

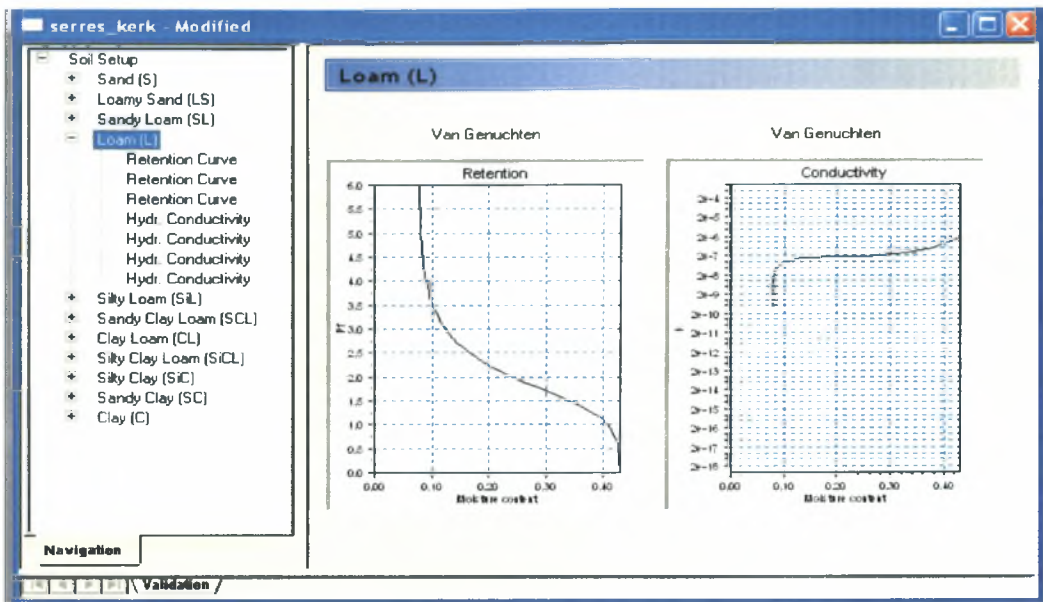
$m = 1 - 1/n$

Αντιπροσωπευτικές τιμές των $\theta_s, \theta_r, \alpha$ και n για κάθε τύπο εδάφους δίνεται στον πίνακα 2.3 [4, 1, 29].

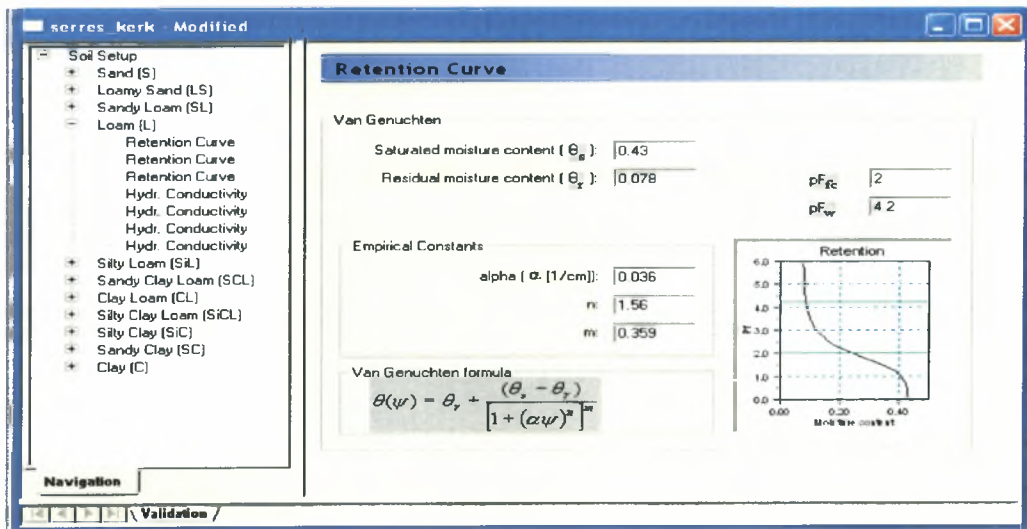
Πίνακας 2.3. Παράμετροι του τύπου του Van Genuchten

	Είδος εδάφους	θ_s	θ_r	α (cm ⁻¹)	n	K (cm/day)
1	Αμμώδες (S)	0.43	0.045	0.145	2.68	713
2	Πηλοαμμώδες (LS)	0.41	0.057	0.124	2.28	350
3	Αμμωπηλώδες(SL)	0.41	0.065	0.075	1.89	106
4	Πηλώδες (L)	0.43	0.078	0.036	1.56	25
5	Ιλυώδες (Si)	0.46	0.034	0.016	1.37	6
6	Ιλυοπηλώδες (SiL)	0.45	0.067	0.020	1.41	10.8
7	Αμμοαργιλοπηλώδες (SCL)	0.39	0.100	0.059	1.48	31.4
8	Αργιλοπηλώδες (CL)	0.41	0.095	0.019	1.31	6.24
9	Ιλυοαργιλοπηλώδες (SiCL)	0.43	0.089	0.010	1.23	1.68
10	Αμμοαργιλώδες (SC)	0.38	0.100	0.027	1.23	2.88
11	Ιλυοαργιλώδες (SiC)	0.36	0.070	0.001	1.09	0.48
12	Αργιλώδες (C)	0.38	0.068	0.001	1.09	4.80

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το MIKE SHE επιτρέπει τη χρήση αυτών των τύπων (βλέπε σχήματα 2.8 και 2.9.)



Σχήμα 2.8. Καμπύλες Διατήρησης και Αγωγιμότητας για πηλώδες τύπο εδάφους.



Σχήμα 2.9 Καμπύλες διατήρησης εφαρμόζοντας τον τύπο του Van Genuchten

2.1.8 Κορεσμένη ζώνη

Στο MIKE SHE η κορεσμένη ζώνη αποτελεί ένα από τα συστατικά ενός ολοκληρωμένου μοντέλου υπόγειων / επιφανειακών υδάτων. Η κορεσμένη ζώνη αλληλεπιδρά με όλα τα άλλα στοιχεία - την επιφανειακή ροή, ακόρεστη ροή, ροή του καναλιού, και την εξατμισοδιαπνοή και το μοντέλο τις χρησιμοποιεί ως απλές οριακές συνθήκες. Το MIKE SHE απαιτεί την διακριτοποίηση της προσομοιωμένης περιοχής με ένα ενιαίο πλέγμα. Ρυθμίζοντας την κορεσμένη ζώνη υδραυλικά περιλαμβάνει τα εξής :

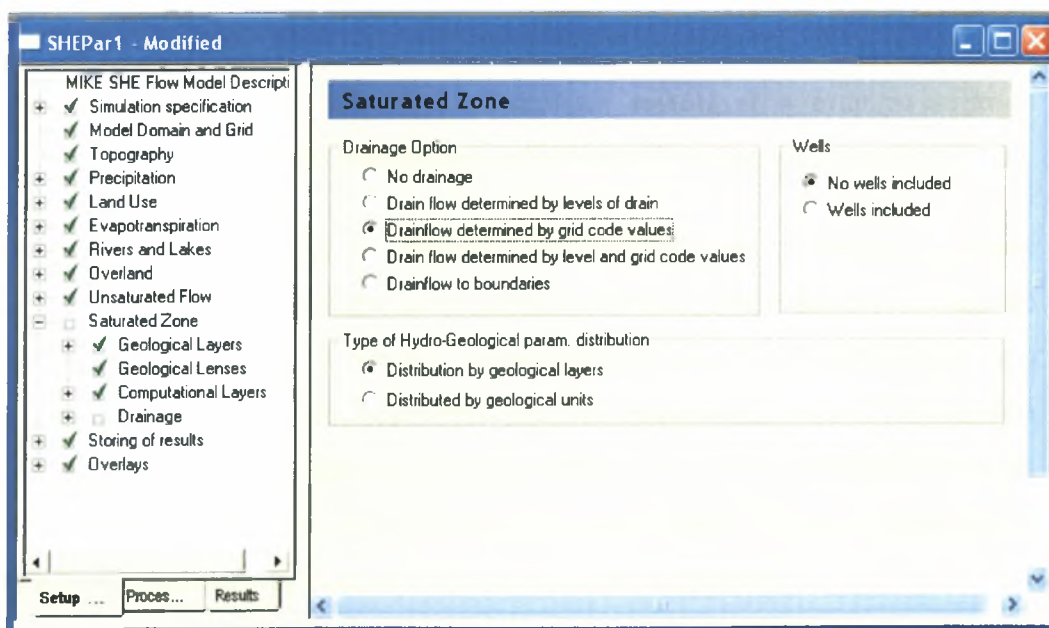
- Αποστράγγιση
- το γεωλογικό μοντέλο
- η κατακόρυφη αριθμητική διακριτοποίηση
- οι αρχικές συνθήκες, που θα πρέπει να καθορίζονται από το δίκτυο παρακολούθησης
- τις οριακές συνθήκες.

2.1.8.1. Αποστράγγιση

Η αποστράγγιση της επιφάνειας είναι μια ειδική οριακή κατάσταση στο MIKE SHE που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα φυσικά και τεχνητά συστήματα αποστράγγισης που δεν μπορεί να οριστεί στη ρύθμιση του MIKE 11. Η αποστράγγιση της επιφάνειας μπορεί να εφαρμόζεται μόνο στο ανώτερο στρώμα της ζώνης κορεσμού του μοντέλου. Το νερό που αφαιρείται από την κορεσμένη ζώνη με επιφανειακή αποστράγγιση οδηγείται στους γύρω στραγγιστικούς αγωγούς υδάτων.

Η ροή αποστράγγισης προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας έναν εμπειρικό τύπο, το οποίο απαιτείται, για κάθε κελί υπολογισμού, ένα επίπεδο αποστράγγισης και έναν χρονικά σταθερό παράγοντα διαρροής, που χρησιμοποιείται για την πορεία του νερού στην έξοδο του από το κελί. Τόσο το επίπεδο αποστράγγισης όσο και η σταθερά χρόνου μπορεί να προσδιοριστεί. Ένα τυπικό επίπεδο αποστράγγισης είναι 1m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και μία τυπική χρονική σταθερά είναι μεταξύ $1 \cdot 10^{-6}$ και $1 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

Το MIKE SHE απαιτεί επίσης ένα σύστημα αναφοράς για τη σύνδεση της αποστράγγισης με το κελί αποδέκτη, το οποίο μπορεί να είναι ένας κόμβος του ποταμού, ένα άλλο κελί υπολογισμού ή η οριακή συνθήκη ενός μοντέλου. Η υπολογιζόμενη ροή στράγγισης οδηγείτε στον αποδέκτη με την χρήση γραμμικής υπορουτίνας. Πολλές διαφορετικές επιλογές για τη δημιουργία του συστήματος αναφοράς είναι διαθέσιμα (σχήμα 2.10), οι οποίες επιλέγονται στο παράθυρο διαλόγου της κορεσμένης ζώνης.



Σχήμα 2.10. Παράθυρο επιλογών της κορεσμένης ζώνης

Ροή αποστράγγισης καθορισμένη από το επίπεδο της διαρροής.

Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα αναφοράς δημιουργείται αυτόματα, χρησιμοποιώντας την κλίση των αποστραγγίσεων, και υπολογίζεται από τα επίπεδα αποστράγγισης σε κάθε κελί. Έτσι, εφ' όσον βρεθεί μια καθοδική κλίση, η ροή αποστράγγισης θα συνεχιστεί μέχρι την διέλευση ενός ποταμού ή το όριο του μοντέλου. Στη συνέχεια, μια σύνδεση γίνεται από το δίκτυο ροής που δημιουργείται η αποστράγγιση στον κόμβο του ποταμού ή στα σύνορα του μοντέλου. Εάν υπάρχουν τοπικές κοιλάτες στα επίπεδα αποστράγγισης, οι κόμβοι SZ σε αυτές κοιλάτες μπορούν να γίνουν οι αποδέκτες για ένα ποσό ροής αποστράγγισης που παράγεται στους κόμβους. Αυτό συχνά έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας λίμνης σε τέτοιες τοπικές κοιλάτες.

Ροή αποστράγγισης καθορισμένη από το πλέγμα

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά όταν η τοπογραφία είναι πολύ επίπεδη, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε τεχνητές κοιλάτες ή όταν το σύστημα αποστράγγισης είναι πολύ καλά καθορισμένο, όπως σε γεωργικές εφαρμογές.

Σε αυτή τη μέθοδο, τα επίπεδα αποστράγγισης και οι σταθερές χρόνου ορίζονται όπως στην προηγούμενη μέθοδο. Ωστόσο, ένας χάρτης με κωδικό πλέγματος απαιτείται, ο οποίος χρησιμοποιείται για να συνδέσει τη ροή αποστράγγισης από όπου παράγεται με έναν παραλήπτη κόμβο. Τα επίπεδα αποστράγγισης εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ποσού της ροής αποστράγγισης που παράγεται σε κάθε κόμβο, αλλά η δρομολόγηση βασίζεται μόνο στις τιμές από το αρχείο κώδικα αποστράγγισης.

Ροή αποστράγγισης από το επίπεδο και τις τιμές του πλέγματος

Ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω επιλογές μπορούν επίσης να εφαρμοστούν. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα επιπλέον αρχείο τον <<κωδικό αποστράγγισης>> απαιτείται που περιέχει την κατανομή των δύο μεθόδων. Στα κελιά-μοντέλα με κωδικό τιμή 1 η δρομολόγηση της ροής αποστράγγισης θα υπολογίζεται με βάση τα επίπεδα αποστράγγισης. Στα κελιά-μοντέλα με κωδικό τιμή 2 η δρομολόγηση της ροής αποστράγγισης θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση τον <<κωδικό αποστράγγισης>>.

Ροή αποστράγγισης στα σύνορα

Η τέταρτη επιλογή απλά εξάγει αποστράγγιση του νερού από την περιοχή του μοντέλου.

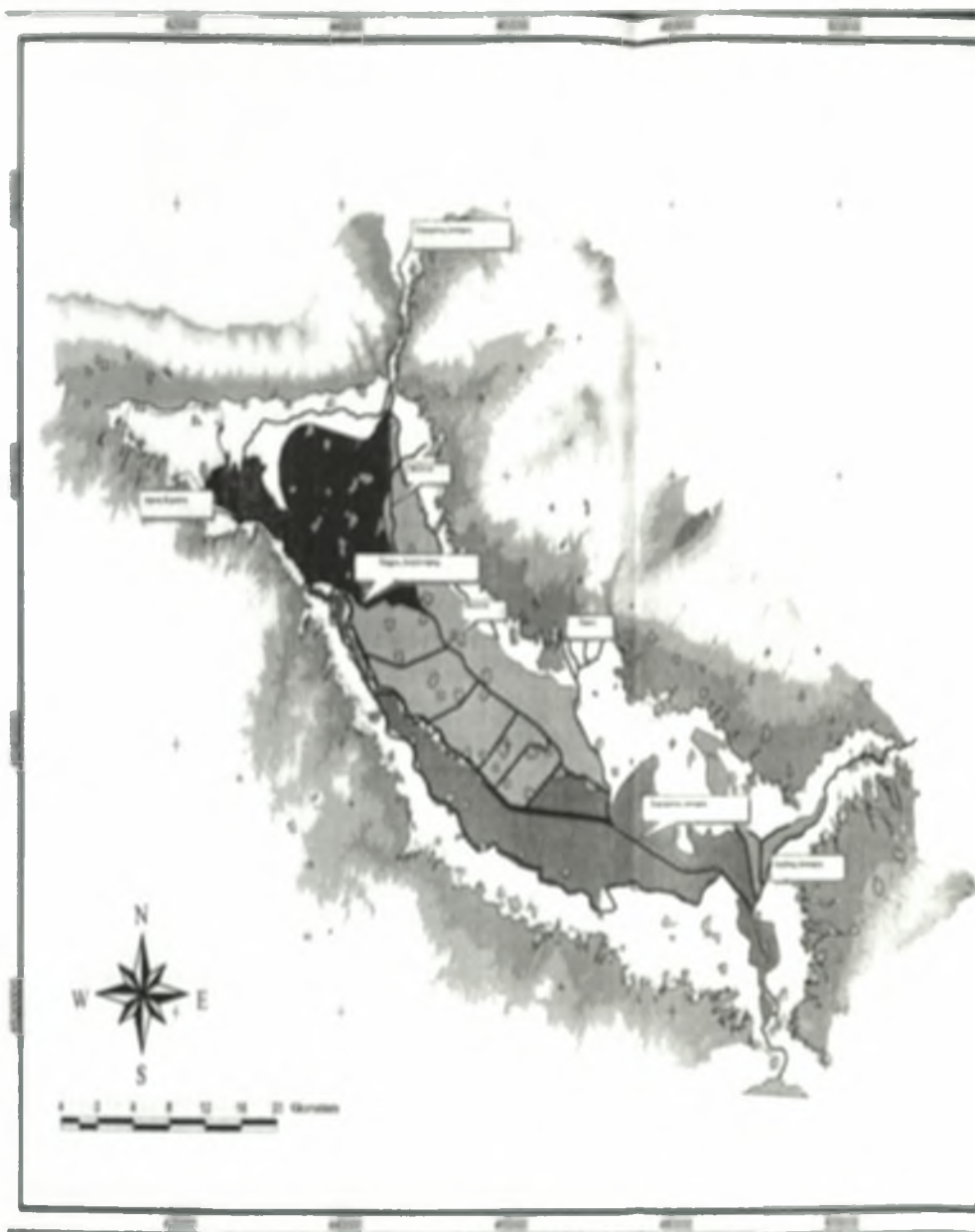
Στην περίπτωση της λεκάνης-μοντέλου του Στρυμόνα η τρίτη επιλογή "Ροή αποστράγγισης καθορισμένη από το πλέγμα" έχει επιλεγεί για την ροή αποστράγγισης από τις ρίζες στο ήδη αποστραγγιζόμενο μοντέλο (Χάρτης 2.4).

2.1.8.2. Το γεωλογικό μοντέλο

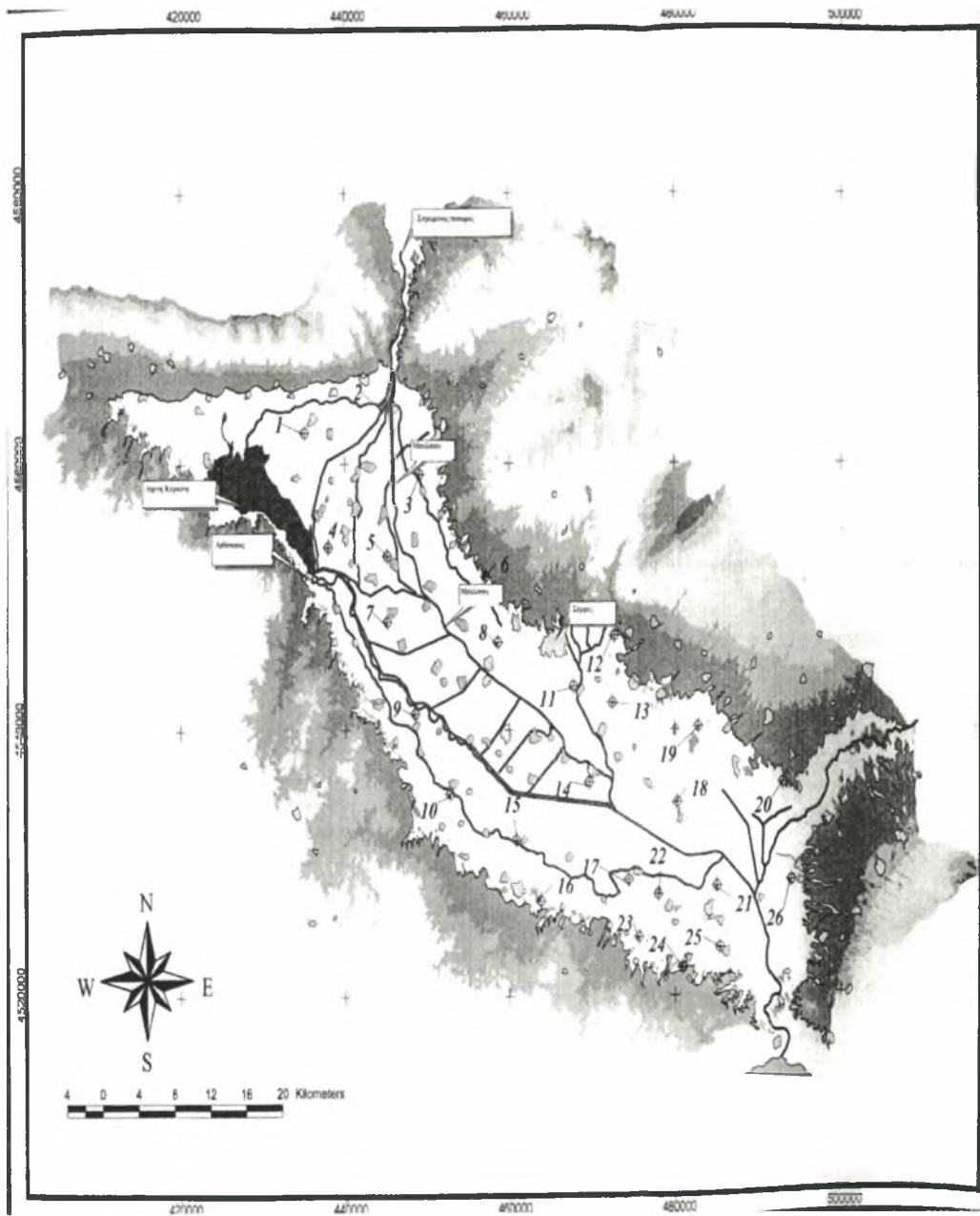
Η ανάπτυξη του γεωλογικού μοντέλου της λεκάνης με τη χρήση MIKE SHE είναι πιθανώς ένα από τα πιο δύσκολα και χρονοβόρα βήματα στη διαδικασία μοντελοποίησης. Ψηφιακοί χάρτες όλων των σημαντικών υδρολογικών παραμέτρων, καθώς και η γεωμετρία του υδροφόρου ορίζοντα θα πρέπει να είναι διαθέσιμοι.

Δυστυχώς, στην περίπτωση του μοντέλου της λεκάνης του Στρυμόνα δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τα ανωτέρω απαιτούμενα δεδομένα. Οποιαδήποτε προσπάθεια να αναπτυχθεί το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής θα πρέπει να βασίζεται στις πληροφορίες που προέρχονται α) από αντιπροσωπευτικούς αριθμούς από τα φρεάτια άντλησης στον κάμπο (Χάρτης 2.5, σχήμα 2.11), και β) από τη γεωλογική μελέτη της περιοχής [25].

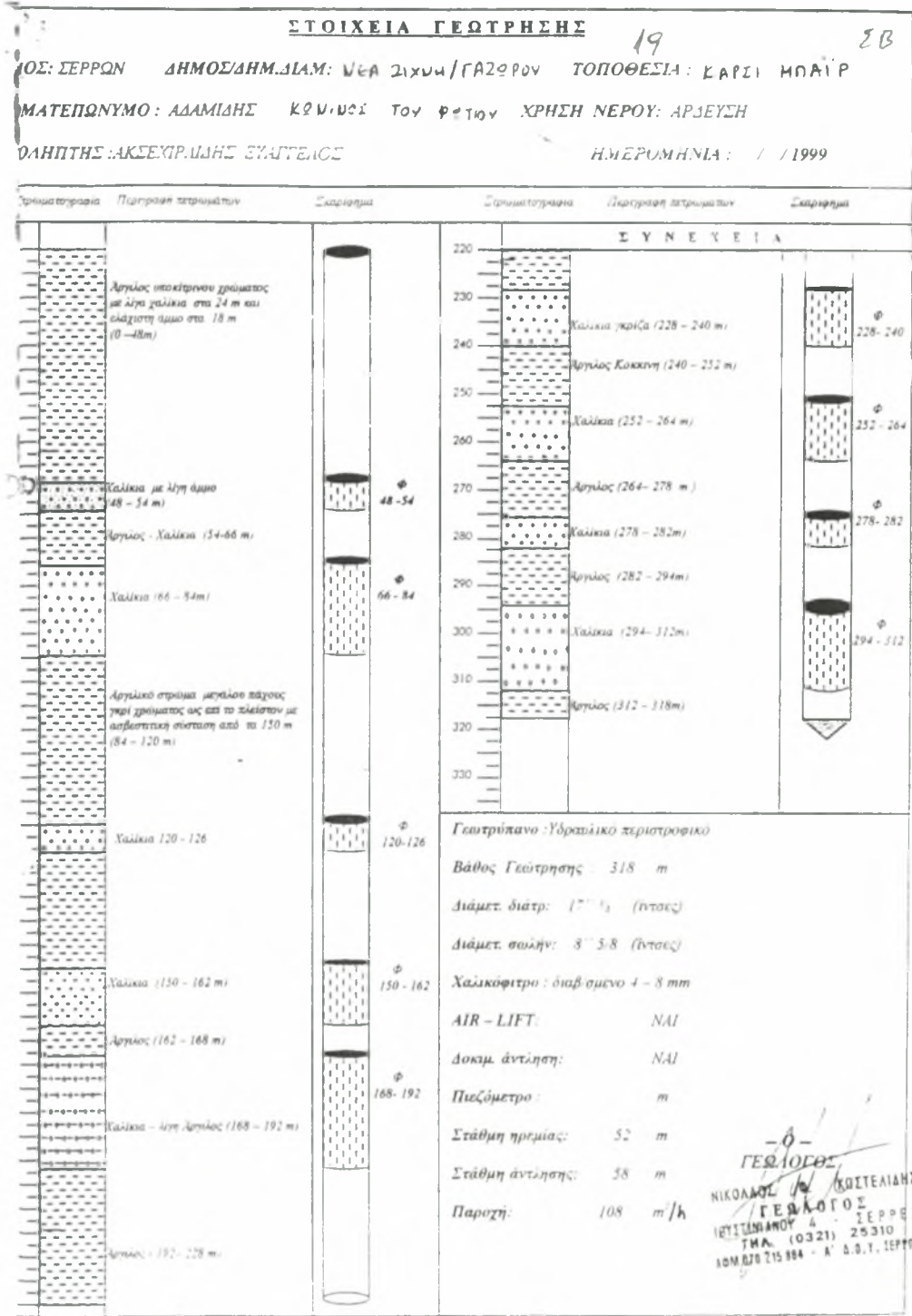
Ως πρώτο βήμα, ένας ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας με ομοιόμορφα κατανεμημένες στο χώρο υδραυλικές ιδιότητες (π.χ. αγωγιμότητα) θεωρήθηκε για όλο τον κάμπο. Κάτω από αυτό το υδροφόρο στρώμα θεωρήθηκε ένα αδιαπέραστο στρώμα πηλού.



Χάρτης 2.4. Ροή αποστράγγισης που προέρχεται από τη λεκάνη του Στριμόνα



Χάρτης 2.5. Αντιπροσωπευτικά φρεάτια άντλησης στη λεκάνη του Στρυμόνα



Σχήμα 2.11. Άντληση και διατομή του φρεατίου άρδευσης No.19 του χάρτη 2.5.

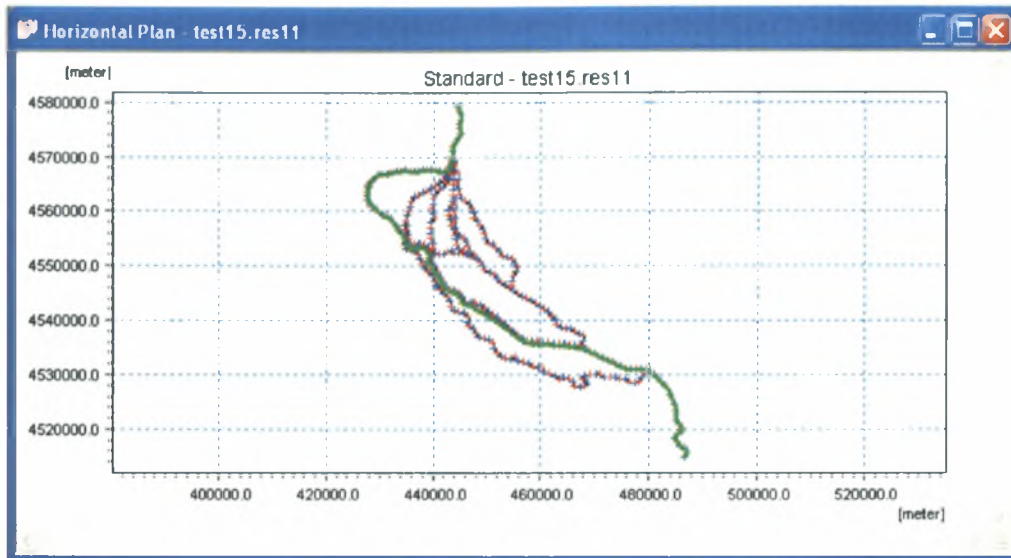
2.2. Ρύθμιση του μοντέλου MIKE 11

2.2.1 Εγκατάσταση του δικτύου του ποταμού

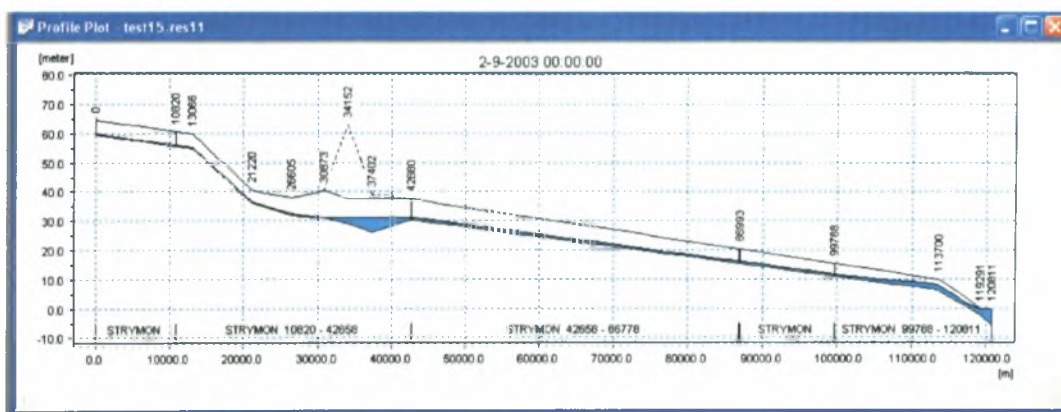
Ο Ποταμός Στρυμόνας, η Λίμνη Κερκίνη, καθώς και όλες οι μεγάλες αρδευτικές διώρυγες και τάφροι αποστράγγισης έχουν περιληφθεί στο μοντέλο προσομοίωσης MIKE 11 (χάρτης 2.6).

Πιο συγκεκριμένα, στο υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης του Ποταμού Στρυμόνα έχουν συμπεριληφθεί 10 κλάδοι. Όλοι οι κλάδοι που έχουν περιληφθεί στο μοντέλο αντλήθηκαν από το ψηφιακό ομοίωμα εδάφους (DEM) της λεκάνης που χρησιμοποιείται από το MIKE SHE. Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα, η θέση και η κλίση των κλάδων εξασφαλίζουν την πλήρη υδραυλική συμβατότητα μεταξύ των MIKE SHE και MIKE 11. Η οριζοντιογραφία των 10 κλάδων προσομοίωσης και η μηκοτομή του Ποταμού Στρυμόνα φαίνονται στα σχήματα 2.12 έως 2.26.

Το σημείο εκκίνησης για την προσομοίωση του δικτύου του ποταμού είναι η θέση όπου ο Ποταμός Στρυμόνας εισέρχεται στο Ελληνικό τμήμα της λεκάνης του. Η κλίση του πυθμένα του ποταμού, από τα σύνορα έως τη λίμνη (25 χλμ.), κυμαίνεται μεταξύ 0,8% και 1,2%. Κατάντη από τη Λίμνη Κερκίνη ο Ποταμός Στρυμόνας συνεχίζει για 77 χιλιόμετρα και κρατά μια κατεύθυνση από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά, πριν εκρεύσει στον Στρυμονικό Κόλπο (χάρτης 2.6). Το Σχήμα 2.12 δείχνει η οριζοντιογραφία του προσομοιωμένου δικτύου. Η πράσινη γραμμή είναι ο Ποταμός Στρυμόνας με την Λίμνη Κερκίνη. Η κατά μήκος τομή της κεντρικής γραμμής αυτού του κλάδου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.12. Οριζοντιογραφία της περιοχής προσομοίωσης με τους 10 κλάδους του υδραυλικού μοντέλου (η πράσινη γραμμή ο είναι Στρυμόνας).

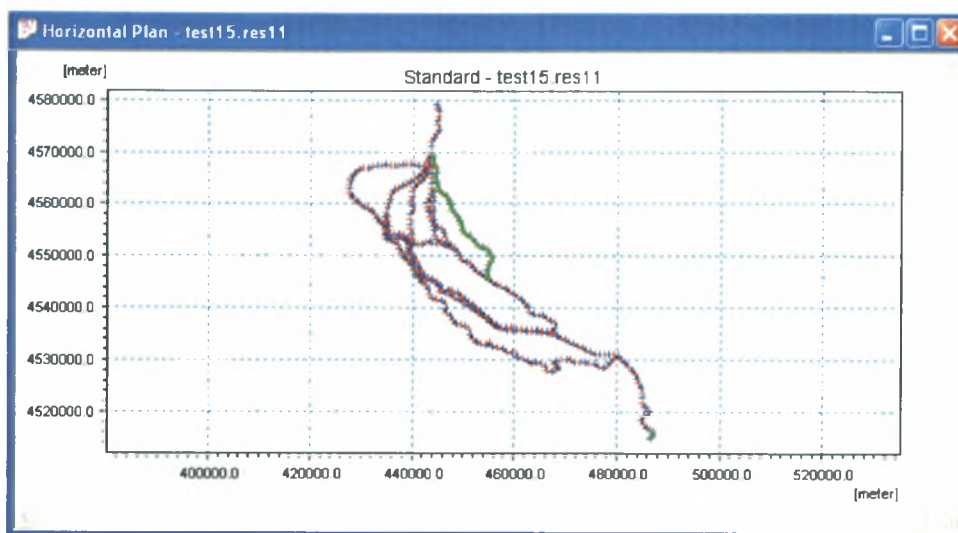


Σχήμα 2.13 Μηκοτομή του Ποταμού Στρυμόνα και της Λίμνης Κερκίνης όπως προσομοιώνονται στο μοντέλο MIKE11.

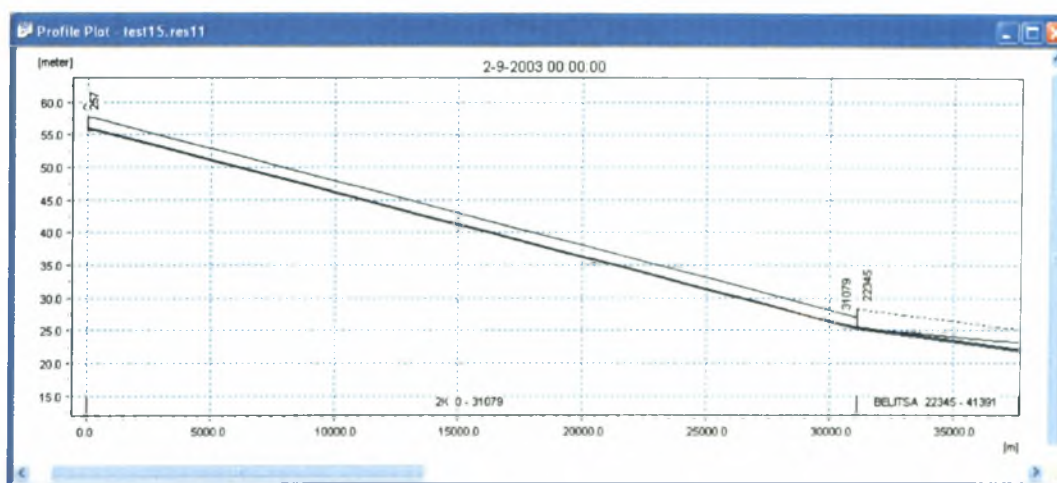
Η κατανομή των επιφανειακών υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς ξεκινά 11 χιλιόμετρα κατάντη των συνόρων. Υπάρχει μια δομή ελέγχου της ροής που ονομάζεται "Υψιλον 1 (Υ1)", η οποία κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου διανέμει περίπου $16 \text{ m}^3 / \text{s}$ από τα νερά του ποταμού, στις κεντρικές διώρυγες που ονομάζονται "2Κ", και στη διώρυγα εκτροπής "Τριμεριστής", η οποία με τη σειρά

της παροχετεύει με νερό τις διώρυγες "Δυτική", "Κεντρική" και "Ανατολική" (χάρτης 2.6).

Η "2Κ" διώρυγα έχει χωρητικότητα παροχέτευσης $7 \text{ m}^3 / \text{s}$ και προμηθεύει το αρδευτικό δίκτυο του Σιδηροκάστρου (χάρτης 2.2).

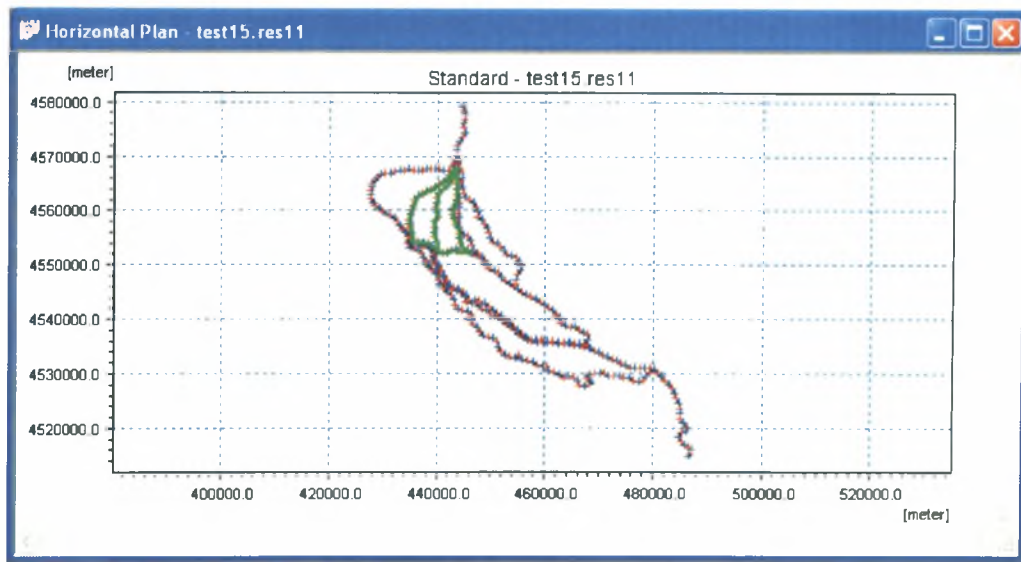


Σχήμα 2.14 Οριζοντιογραφία της "2Κ" διώρυγας(πράσινη γραμμή)

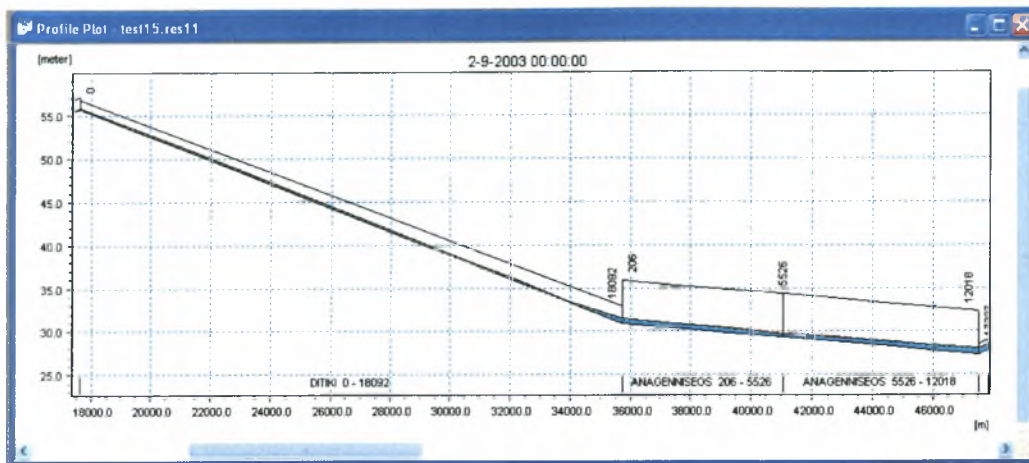


Σχήμα 2.15. Μηκοτομή της κεντρικής διώρυγας "2Κ".

Η διώρυγα εκτροπής "Τριμεριστής" διανέμει το νερό άρδευσης σε τρεις κατευθύνσεις και τροφοδοτεί με νερό το 1ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών, δηλαδή την πεδινή έκταση (6.230 εκτάρια) (χάρτης 2.2), μέσα από τα κανάλια "Κεντρική διώρυγα" και "Ανατολική διώρυγα" με μέγιστη παροχευτευτικότητα $3.8 \text{ m}^3 / \text{s}$ και $3.5 \text{ m}^3 / \text{s}$ αντίστοιχα. Επίσης, ο "Τριμεριστής" τροφοδοτεί με νερό τη "Δυτική διώρυγα" με μέγιστη παροχευτευτικότητα $1.8 \text{ m}^3 / \text{s}$ και αρδεύει την περιοχή "Χρυσχώραφα" (4.930 εκτάρια). Αυτή η περιοχή βρίσκεται μεταξύ του Ποταμού Στρυμόνα με τη Λίμνη Κερκίνη και της «Δυτικής διώρυγας» (χάρτης 2.2). Η μέγιστη παροχή του "Τριμεριστή" είναι περίπου $9.1 \text{ m}^3 / \text{s}$.



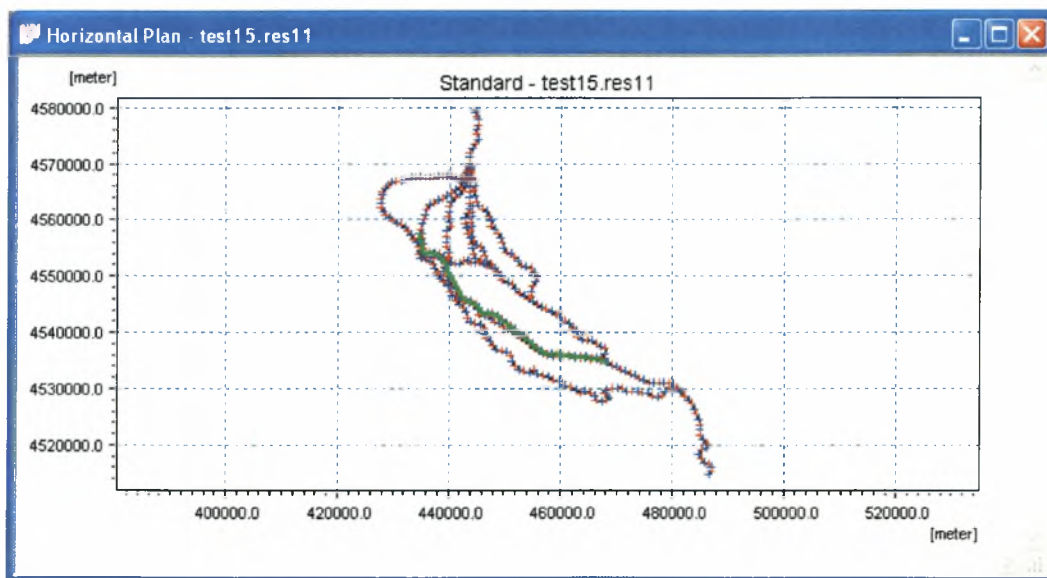
Σχήμα 2.16. Οι πράσινες γραμμές είναι η "Δυτική διώρυγα" αριστερά, η "Κεντρική διώρυγα" στη μέση και η "Ανατολική διώρυγα" στα δεξιά.



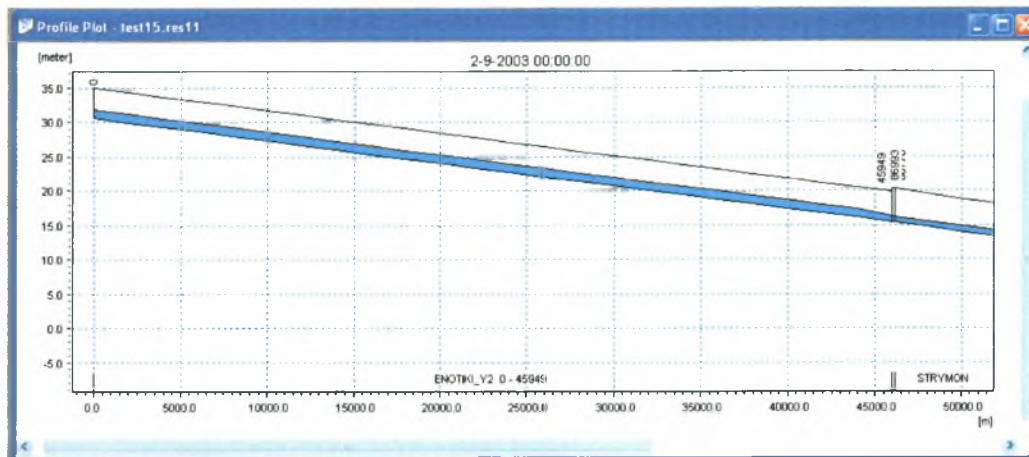
Σχήμα 2.17. Μηκοτομή της κεντρικής γραμμής της “Δυτική διώρυγας” και η τάφος αποστράγγισης “Αναγέννησης”.

Τα επόμενα δύο σημεία άντλησης αρδευτικού νερού βρίσκονται στη Λίμνη Κερκίνη.

Το πρώτο βρίσκεται στο “Υψιλον 2” (Υ2) και τροφοδοτεί με νερό τη διώρυγα που ονομάζεται “Ενωτική” (χάρτης 2.6), η οποία με τη σειρά της προμηθεύει με νερό το 2ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών, που καλύπτει μια έκταση 14.120 εκταρίων (χάρτης 2.2). Η ικανότητα παροχής της διώρυγας είναι περίπου $30 \text{ m}^3 / \text{s}$.

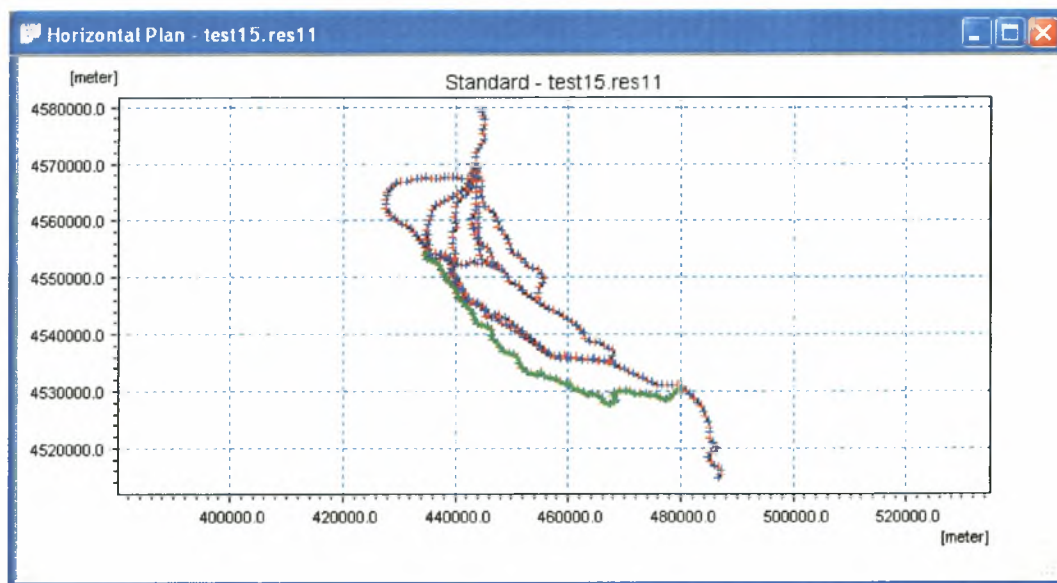


Σχήμα 2.18. Οριζοντιογραφία της “Ενωτικής διώρυγας”(πράσινη γραμμή).

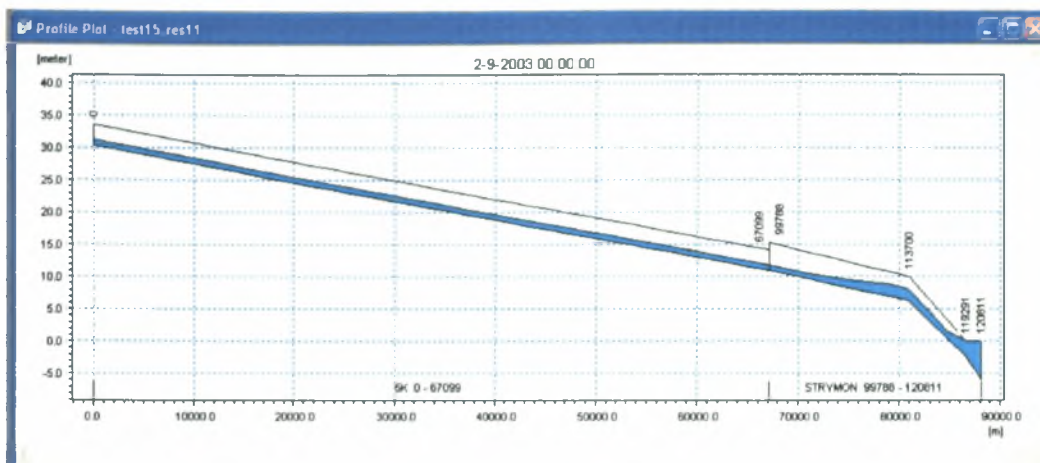


Σχήμα 2.19. Μηκτομή της κεντρικής γραμμής της “Ενωτικής διώρυγας”.

Το δεύτερο σημείο άντλησης νερού βρίσκεται στο “Υψιλον 3” (Υ3) και τροφοδοτεί με νερό τη διώρυγα “5Κ” (σχήματα 2.20, 2.21 και χάρτης 2.6) η οποία με τη σειρά της εφοδιάζει με νερό το 4ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών και το αρδευτικό δίκτυο “Δημητρήτσι”, που καλύπτει μια έκταση 6.430 εκτάρων και 4.760 εκτάρων αντίστοιχα (χάρτης 2.2). Η παροχή της “5Κ” είναι περίπου $12.5 \text{ m}^3 / \text{s}$.

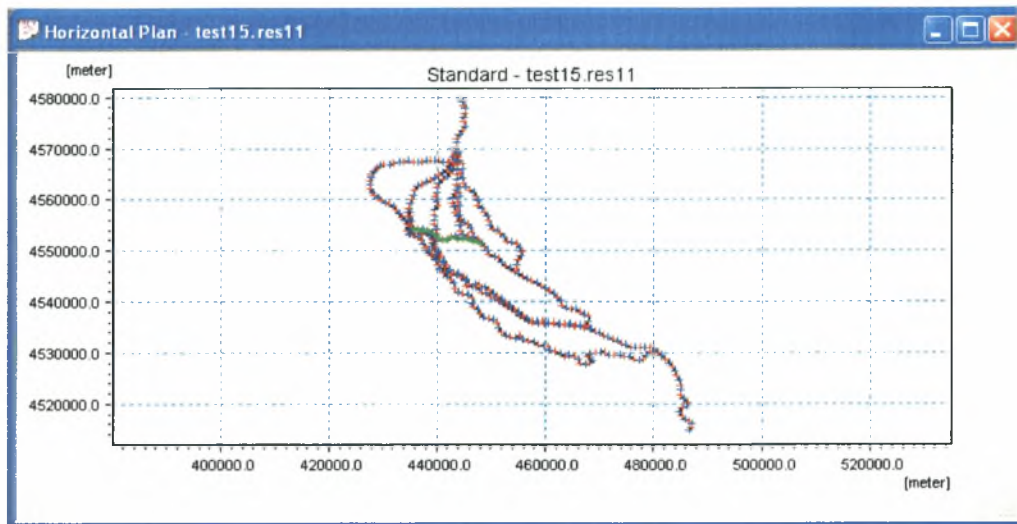


Σχήμα 2.20 Οριζοντιογραφία της διώρυγας “5Κ” (πράσινη γραμμή).

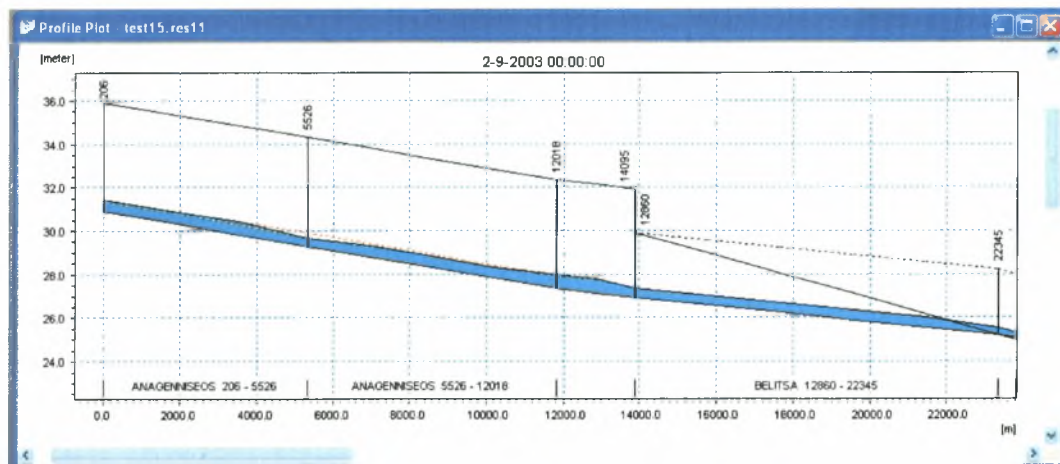


Σχήμα 2.21. Μηκοτομή της κεντρικής γραμμής του "5K"

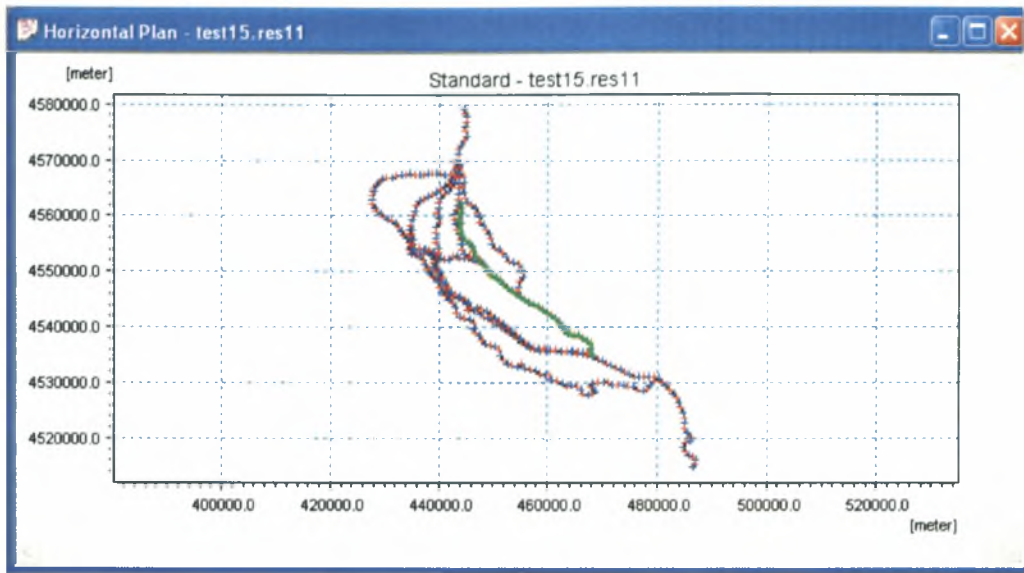
Οι αποστραγγιστικοί τάφροι που ονομάζονται "Αναγέννησης" και "Μπελίτσα" έχουν επίσης συμπεριληφθεί στο μοντέλο. Η διώρυγα "Αναγέννησης" στραγγίζει τις περιοχές του 1ου αρδευτικού δικτύου Σερρών και της περιοχής "Χρυσοχώραφα" με συνολικό εμβαδόν κάλυψης των 11.160 εκταρίων. Η διώρυγα "Αναγέννησης" ξεκινά από το φράγμα της Κερκίνης και εκρέει μέσα στην τάφρο "Μπελίτσα" (χάρτης 2.6). Στην πραγματικότητα, η τάφρος "Μπελίτσα" συλλέγει το νερό αποστράγγισης από ολόκληρη την περιοχή, ανατολικά του Ποταμού Στρυμόνα. Η τάφρος "Μπελίτσα" ξεκινά από την πόλη Σιδηρόκαστρο (βλ. χάρτη 2.6) και εκρέει στον Ποταμό Στρυμόνα στα νότια (βλ. χάρτη 2.6). Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, η "Μπελίτσα" γίνεται ο κύριος προμηθευτής των υδάτων του ποταμού Στρυμόνα. Η "Μπελίτσα" εκλύει υψηλές ποσότητες νερού αποστράγγισης και πολλά μικρά αρδευτικά δίκτυα χρησιμοποιούν αυτό το αποστραγγιζόμενο νερό κατευθείαν από την τάφρο της "Μπελίτσας" (χάρτης 2.6).



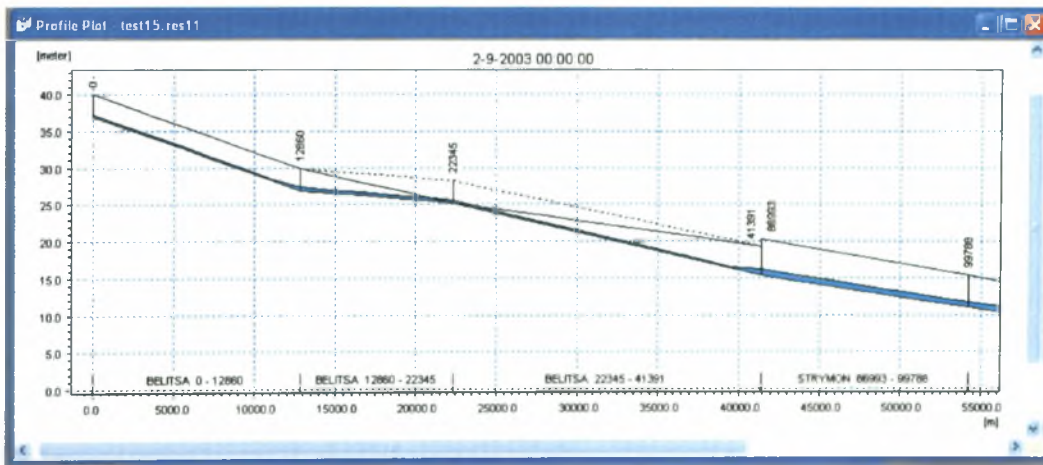
Σχήμα 2.22. Οριζοντιογραφία της τάφρου "Αναγέννησης" (πράσινη γραμμή).



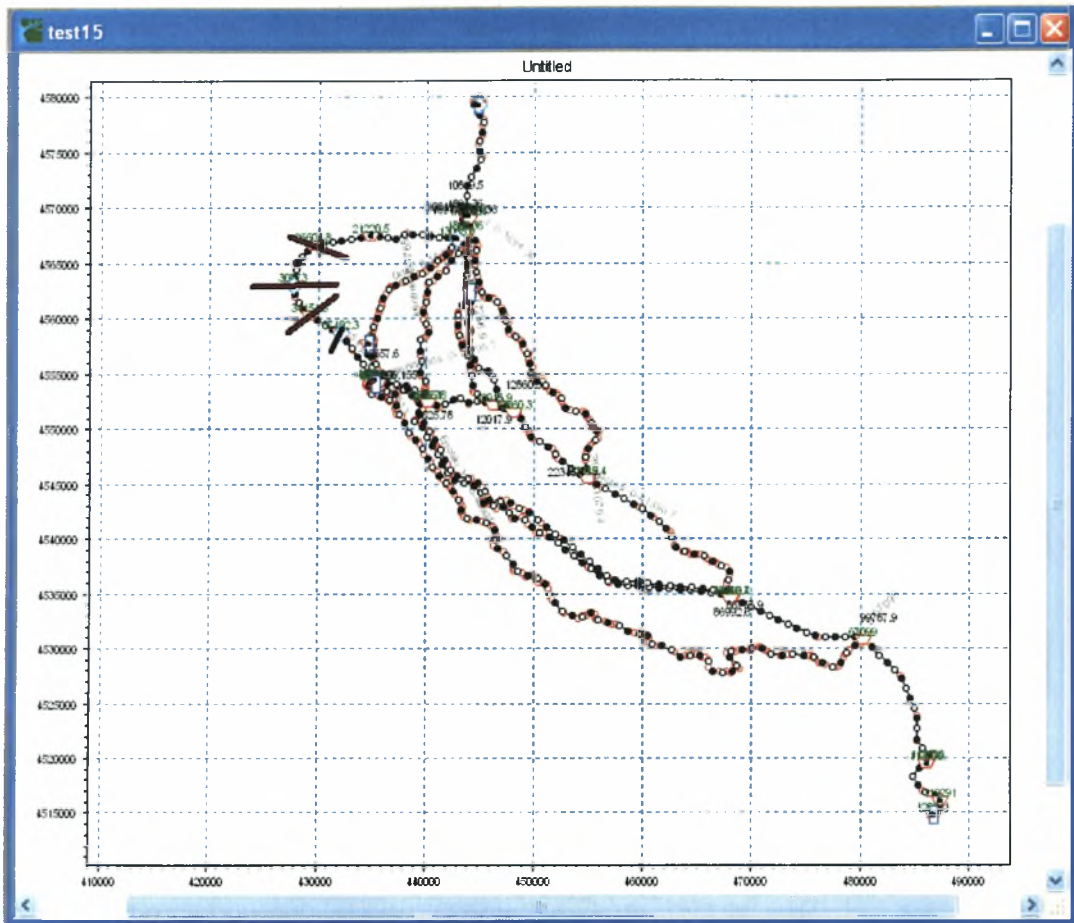
Σχήμα 2.23. Μηκοτομή της κεντρικής γραμμής της τάφρου "Αναγέννηση".



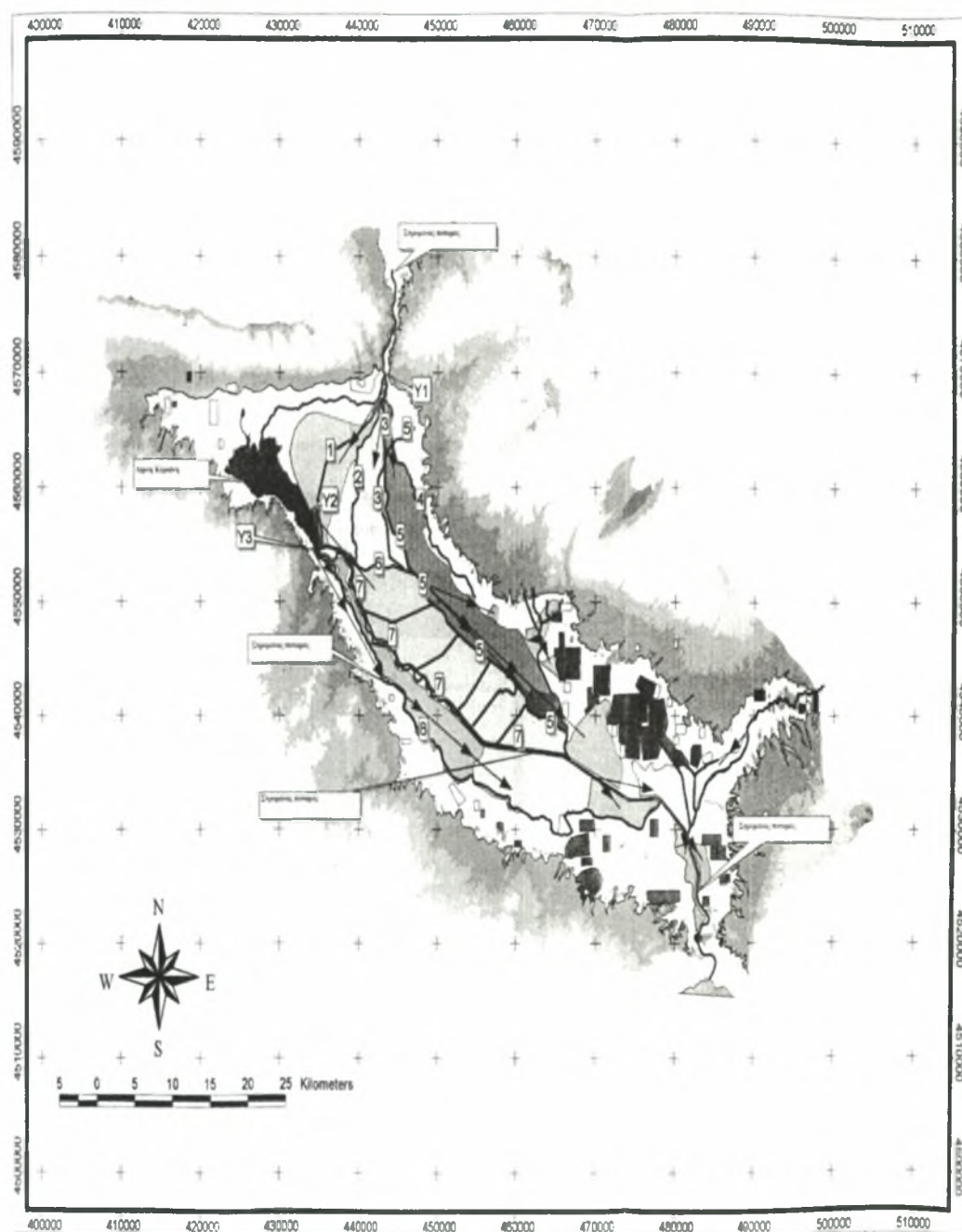
Σχήμα 2.24. Οριζοντιογραφία της τάφρου "Μπελίτσα" (πράσινη γραμμή).



Σχήμα 2.25. Μηκοτομή της κεντρικής γραμμής της τάφρου "Μπελίτσα"



Σχήμα 2.26. Κύριο υδατικό δίκτυο του Ποταμού Στρυμόνα στις πεδινές περιοχές των Σερρών.



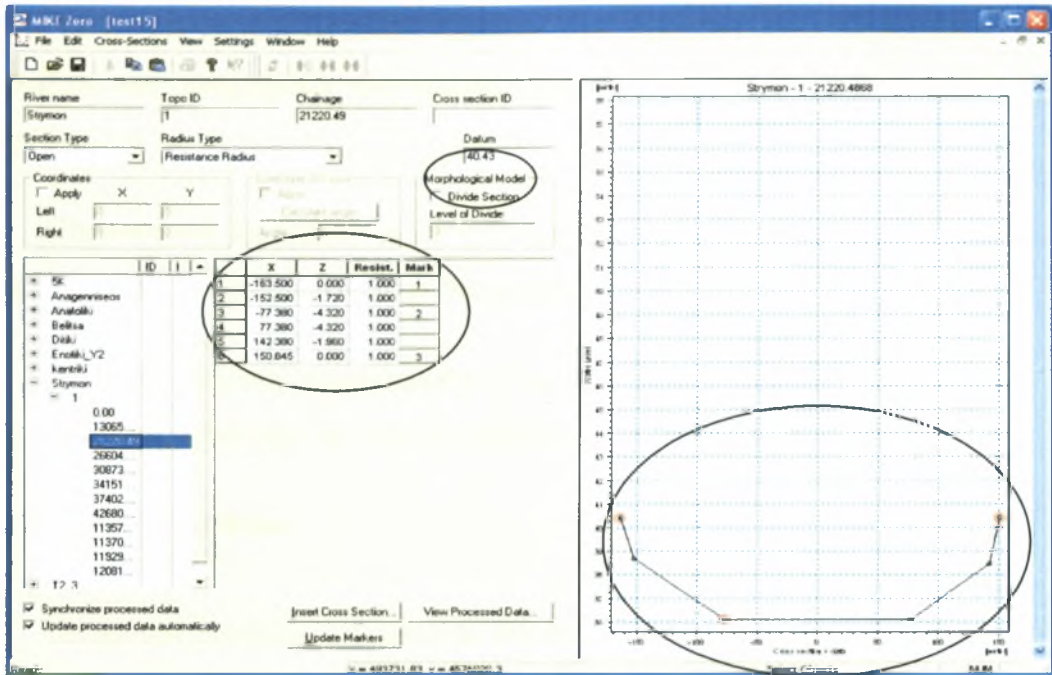
Χάρτης 2.6 Κύρια δίκτυα άρδευσης και αποστράγγισης της λεκάνης του Στριμόνα

2.2.2. Δεδομένα Διατομών

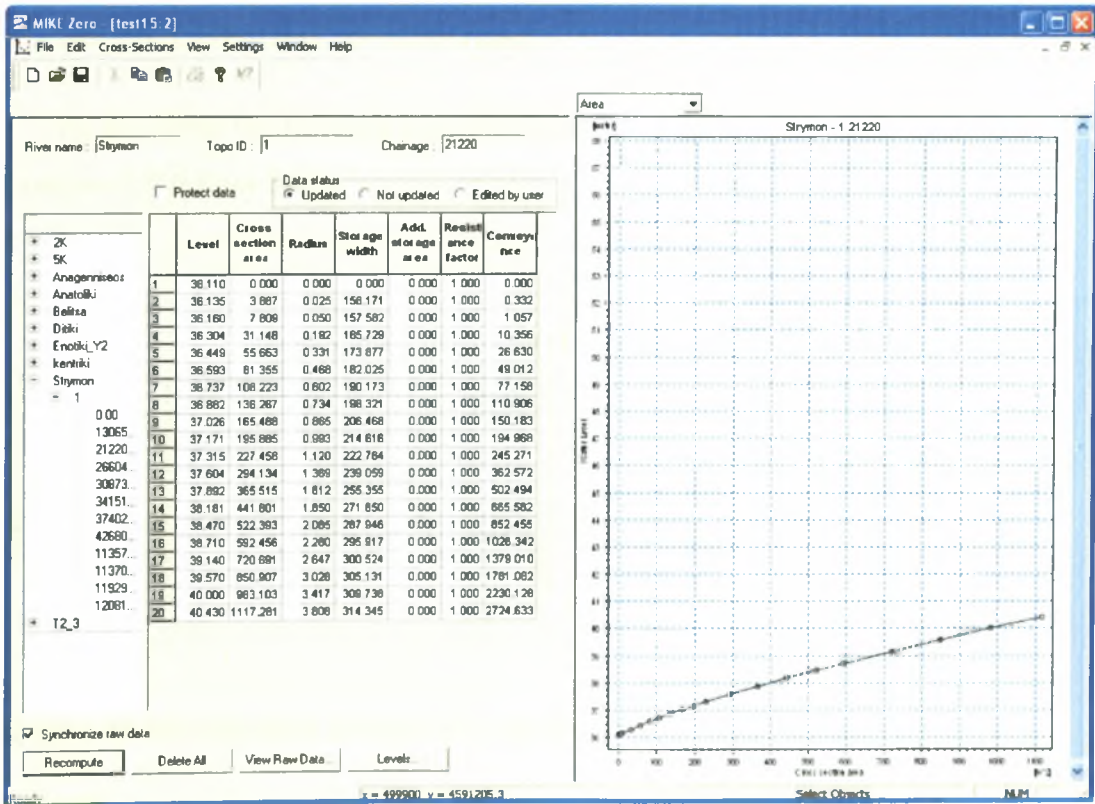
Η γεωμετρία κάθε κλάδου του ποταμού καθορίζεται από ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών διατομών. Οι διατομές και το υψόμετρό τους είναι σημαντικοί τόσο για τη παροχτευτικότητα όσο και την ικανότητα αποθήκευσης σε διαφορετικές θέσεις του συστήματος του ποταμού. Υπάρχουν δύο τρόποι της εμφάνισης των δεδομένων των διατομών, η απλή χρονική παράθεση των ανεπεξέργαστων δεδομένων (σχήμα 2.27) και η παράθεση επεξεργασμένων δεδομένων και παράγωγων αυτών (σχήμα 2.28). Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα περιγράφουν το σχήμα της διατομής. Η επεξεργασία των περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο προσομοίωσης (π.χ. υψόμετρο θέσης, περιοχή εγκάρσιας διατομής, το πλάτος της ροής, υδραυλική ακτίνα κ.τ.λ.).

Κάθε διατομή προσδιορίζεται μοναδικά από τα ακόλουθα τρία σημεία:

- **Όνομα ποταμού:** Το όνομα που δίνεται στους κλάδους του ποταμού ανεξαρτήτως μήκους.
- **Τοπογραφική ταυτότητα:** Τοπογραφικός προσδιορισμός ονόματος. Για όλους του κλάδους του ποταμού ανεξαρτήτως μήκους.
- **Χιλιομετρική θέση:** Χιλιομετρική θέση της διατομής του ποταμού (θετική κατεύθυνση προς τα κάτω).



Σχήμα 2.27. Διατομή από μετρήσεις υπαίθρου.



Σχήμα 2.28. Διατομή που προήλθε από επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα που αφορούν διατομές στο Στρυμόνα και τους υπόλοιπους κλάδους του, προέρχονται από προηγούμενες μελέτες [17, 24, 29] και επιτόπια έρευνα.

Πληροφορίες σχετικά με το ύψος (δεδομένο) από κάθε διατομή έχει εξαχθεί από το ψηφιακό ομοίωμα εδάφους της λεκάνης.

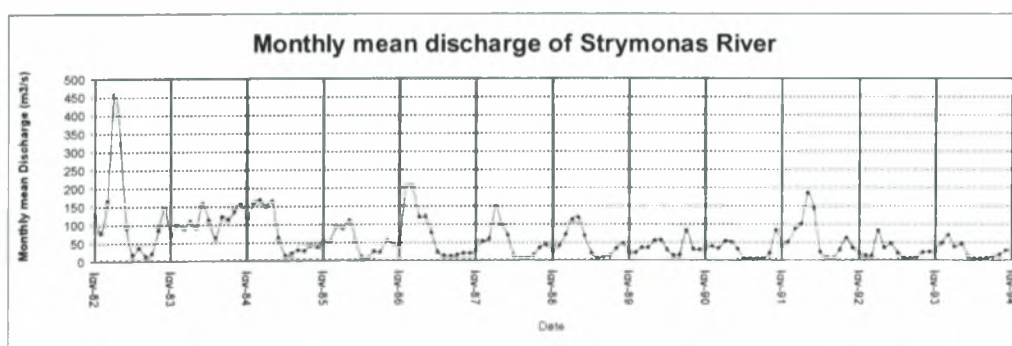
Η Λίμνη Κερκίνη προσομοιώθηκε ως μια ευρεία περιοχή του Ποταμού Στρυμόνα και οι διατομές της λίμνης εντάχθηκαν στο Ποταμό Στρυμόνα.

2.2.3 Οριακές συνθήκες

Οι οριακές συνθήκες καθορίζονται στα άνω και κάτω άκρα του υδρογραφικού δικτύου.

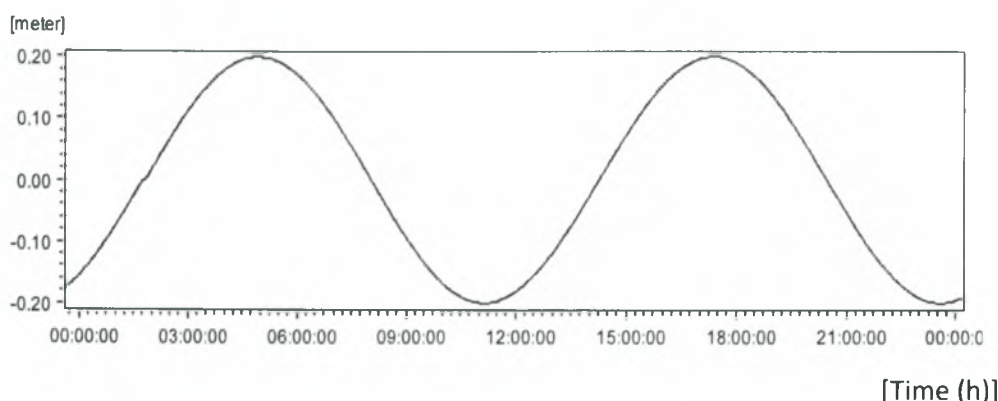
Επίσης, οι οριακές συνθήκες καθορίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις του υδρογραφικού δικτύου σαν πλευρική εισροή από τους χείμαρρους της ορεινής περιοχής που περιβάλλουν την κύρια περιοχή.

Στο άνω άκρο του Ποταμού Στρυμόνα δίνεται μια χρονοσειρά μέσω μηνιαίων παροχών [17] (σχήμα 2.29).



Σχήμα 2.29. Μηνιαία μέση απορροή στο άνω άκρο του ποταμού Στρυμόνα.

Στο κάτω μέρος του ποταμού Στρυμόνα μια κανονικοποιημένη ημιτονοειδή διακύμανση του βάθους του νερού που αντιπροσωπεύει το εύρος της παλίρροιας ($\pm 0,2$) στην Αμφίπολη, έχει γίνει δεκτή [29] (σχήμα 2.30).



Σχήμα 2.30 Εύρος των παλιρροιών ($= \pm 0.2\text{m}$)

Στο άνω άκρο της τάφρου αποστράγγισης της Μπελίτσας η επιφανειακή απορροή από υπο-λεκάνες απορροής έχει γίνει αποδεκτή ως οριακή συνθήκη. Η εισροή αυτή θα εκτιμηθεί κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης από το σύστημα μοντελοποίησης χρησιμοποιώντας το μοντέλο NAM (βλέπε επόμενες παραγράφους).

2.2.4 Υδροδυναμικές κατασκευές

Οι ακόλουθες κύριες υδραυλικές κατασκευές συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο MIKE 11 για την προσομοίωση της κατανομής του νερού στα αρδευτικά δίκτυα του Στρυμόνα.

1. Ένα φράγμα που βρίσκεται στο Στρυμόνα (βλέπε παράγραφο 2.2.1). Η κατασκευή αυτή εκτρέπει μέρος του νερού του Στρυμόνα στη διώρυγα εκτροπής για την παροχή νερού στη "2Κ" και τον "Τριμεριστή", ο οποίος είναι ο κύριος ρυθμιστής για τα τρία αρδευτικά κανάλια.
2. Ο κύριος ρυθμιστής "Τριμεριστής" (βλέπε παράγραφο 2.2.1). Η κατασκευή αυτή εκτρέπει το νερό για την «Κεντρική διώρυγα», την "Ανατολική διώρυγα" και τη "Δυτική διώρυγα» και στην πραγματικότητα αποτελεί τις τρεις θυρίδες νερού.
3. Ένα σύστημα τεσσάρων θυρίδων που βρίσκονται στο φράγμα της Κερκίνης (βλ. παράγραφο 2.2.1). Η κατασκευή αυτή ελέγχει το επίπεδο της Λίμνης Κερκίνης και εκτρέπει την περίσσεια του νερού στον Ποταμό Στρυμόνα.

4. Δύο θυρίδες νερού που βρίσκονται στο φράγμα της Κερκίνης (βλ. παράγραφο 2.2.1). Αυτές οι κατασκευές προμηθεύουν με νερό τα αρδευτικά κανάλια "5K" και την "Ένωτική διώρυγα".

2.3 Εγκατάσταση μοντέλου βροχής - απορροής

Η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στην περιοχή διερεύνησης (<100m υψόμετρο) είτε ως επιφανειακή απορροή είτε ως αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων από τις γύρω υπο-λεκάνες απορροής (βλέπε παράγραφο 1.2 και 1.2 χάρτης) προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο NAM το οποίο αποτελεί υπορουτίνα υπολογισμού του συστήματος βροχής - απορροής του μοντέλου MIKE11.

Οι βασικές απαιτήσεις εισόδου για την ενότητα NAM είναι οι εξής:

- Παράμετροι του μοντέλου
- Μετεωρολογικά δεδομένα
- Τα δεδομένα ροής ρυακιών για την βαθμονόμηση του μοντέλου και την πιστοποίηση του.

Παράμετροι του μοντέλου

Δεκαπέντε υπο-λεκάνες απορροής έχουν εντοπιστεί στη λεκάνη του Στρυμόνα. Το μοντέλο NAM χρησιμοποιείται για κάθε μία από αυτές και τα αποτελέσματα (απορροή και ανατροφοδότηση των υπόγειων υδάτων) έχουν εισαχθεί στο δίκτυο του ποταμού στο MIKE 11 και το MIKE SHE σε συγκεκριμένες θέσεις ως οριακές συνθήκες. (Σχήμα 2.31)

Catchment Definition

Catchment name 103

Rainfall runoff model type

Catchment area

Calibration plot

Catchment Overview

	Name	Model	Area	#ID
1	103	NAM	227.7	0
2	101	NAM	56	0
3	102	NAM	220.7	0
4	104	NAM	59.8	0
5	105	NAM	217.4	0
6	106	NAM	119.9	0
7	107	NAM	213.3	0
8	108	NAM	143.8	0
9	109	NAM	90.5	0
10	110	NAM	157.8	0
11	111	NAM	205.6	0

Σχήμα 2.31. Εισαγωγή υπολεκάνων στο NAM το οποίο είναι μοντέλο βροχής απορροής του MIKE 11

Στον Πίνακα 2.4 οι απαιτούμενες παράμετροι εισόδου μαζί με το εύρος των τιμών τους που εμφανίζονται.

Πίνακας 2.4 Οι κύριοι παράμετροι του NAM

Παράμετροι	Μονάδες	Εύρος
Μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό κατά την επιφάνεια αποθήκευσης - U_{max}	mm	10-20
Μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό κατά την ριζική αποθήκευση - L_{max}	mm	100-300
Συντελεστής επιφανειακής απορροής - CQOF		0.1-1.0
Χρονική σταθερά για την υπορουτίνα της ενδορροής-CKIF	hour	200-1000

Χρονική σταθερά για την υπορουτίνα της επιφανειακής απορροής- CK1,2	hour	10-50
Τιμή επίδρασης της ζώνης ριζοστρώματος για την επιφανειακή απορροή - TOF		0.0-0.99
Τιμή επίδρασης της ζώνης ριζοστρώματος για την ενδορροή- TIF		0.0-0.99
<i>Εδαφικό νερό</i>		
Τιμή επίδρασης της ζώνης ριζοστρώματος για την επαναπλήρωση του υπόγειου υδροφόρου - TG		0.0-0.99
Χρονική σταθερά για την υπορουτίνα της βασικής απορροής - CKBF	hour	1000-4000

Οι παραπάνω τιμές θα πρέπει να προσαρμόζονται για κάθε υπο-λεκάνη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης του ολοκληρωμένου μοντέλου επιφανείας / υπόγειων υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα.

Μετεωρολογικά δεδομένα

Εκτός από τις παραμέτρους του Πίνακα 2.4, το NAM απαιτεί χρονοσειρές από κατακρημνίσεις και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο προσομοίωσης.

Όσον αφορά τα κατακρημνίσματα χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες σειρές που χρησιμοποιήθηκαν στο MIKE SHE (βλ. παράγραφος 2.1.3 κα σχήμα 2.2).

Αντί για την τροποποιημένη μέθοδο του Penman που επιλέχθηκε για την αναφορική εξατμισοδιαπνοή στις πεδινές περιοχές, η μέθοδος Thornthwait [26] μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ορεινές περιοχές. Αυτή είναι:

$$E_p = 16 \cdot L_d \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (2.9)$$

Όπου:

E_p = δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm / μήνα)

T = μέση μηνιαία θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

I = ετήσιο δείκτη της θερμοκρασίας, που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5} \right)^{1.514}$$

$$\alpha = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

I_d = συντελεστής ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα του έτους.

Εφόσον η ημερήσια θερμοκρασία καταγράφεται σε όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς στην λεκάνη του Στρυμόνα η μέθοδος των πολύγωνων του Thiessen έχει επίσης γίνει δεκτή για τη χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής στις ορεινές περιοχές.

3. Υδρολογικό καθεστώς παρακολούθησης του δικτύου

3.1. Δίκτυο παρακολούθησης της στάθμης των επιφανειακών υδάτων

Το δίκτυο παρακολούθησης της στάθμης των επιφανειακών υδάτων περιλαμβάνει 12 αυτόματους σταθμηγράφους και κύριος στόχος του είναι να παρέχει επαρκή αριθμό δεδομένων χρονοσειρών του βάθους του νερού για τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο του υδραυλικού μοντέλου της λεκάνης απορροής. Επιπλέον, το δίκτυο παρακολούθησης περιλαμβάνει υδρομετρήσεις στις ίδιες θέσεις όπου οι σταθμηγράφοι έχουν εγκατασταθεί, προκειμένου να παραχθούν διαγράμματα βάθους - παροχής του νερού.

Ο τύπος της συσκευής που έχει επιλεγεί αποτελεί ένα προηγμένο ανιχνευτή καταγραφής δεδομένων. Είναι εντελώς αυτόνομη και διαθέτει έναν εσωτερικό καταγραφέα δεδομένων και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Χρησιμοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για την ανάλυση τόσο των βραχυπρόθεσμων όσο και των μακροπρόθεσμων τάσεων της στάθμης του νερού.

Χαρακτηριστικά:

- Διάμετρος 18,3 χιλιοστά
- Επί της οθόνης καταγραφέα δεδομένων - έως 1MB
- Μπαταρίες AA που μπορούν να αντικατασταθούν από το χρήστη.
- Υψηλής ποιότητας έξοδο γρήγορης σύνδεσης με καλώδιο (FEP ή πολυερεθάνη) Πλήρως αποσπώμενο.
- 4 επίπεδα αντιστάθμισης, συμπεριλαμβανομένης της αυτόματης βαρομετρικής αντιστάθμισης.
- Καλώδιο άμεσης ανάγνωσης
- Ικανότητα δικτύωσης και τηλεμετρίας
- Ακρίβεια πιστοποιημένη σύμφωνα με τα NIST-ανιχνεύσιμα πρότυπα.

Εξαρτήματα συστήματος:

Το κύριο σώμα της συσκευής περιλαμβάνει τα ακόλουθα συστατικά:

1. Αισθητήρας / Αναλογικά Ηλεκτρονικά (Εμπρός)
2. Ψηφιακά Ηλεκτρονικά (Μέση)
3. Διαχείριση ενέργειας / Θέση τοποθέτησης μπαταριών (Πίσω)



Ηλεκτρονικά

Εσωτερική καταγραφή δεδομένων

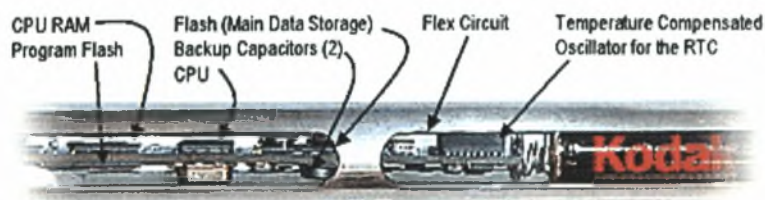
Υψηλής ακρίβειας πραγματικό ρολόι χρόνου

± 2 λεπτά / έτος πάνω από το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας.

Πεδίο αναβάθμισης του προϊόντος

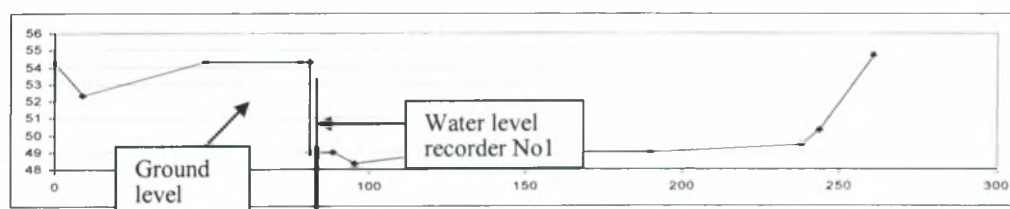
Δικτύωση και έξυπνη Ανάκτηση δεδομένων

Σύστημα αρχείων που επιτρέπει πολλαπλές αποθηκεύσεις ελέγχων.



Ένας εσωτερικός καταγραφέας δεδομένων (μνήμης 1 MB) χρησιμοποιείται σε πραγματικό χρόνο για την κατανομή και του μακροχρόνιου ελέγχου επιλεγόμενους ρυθμούς δειγματοληψίας από το χρήστη από 0,5 δευτερόλεπτα έως 7 ημέρες και μνήμη αποθήκευσης έως 220.000 σημεία δεδομένων (επίπεδο και τη θερμοκρασία). Για τη λεκάνη του Ποταμού Στρυμόνα, συσκευές δικτύου παρακολούθησης έχουν συσταθεί για να καταγράφουν τις μετρήσεις της στάθμης του νερού κάθε 5 λεπτά.

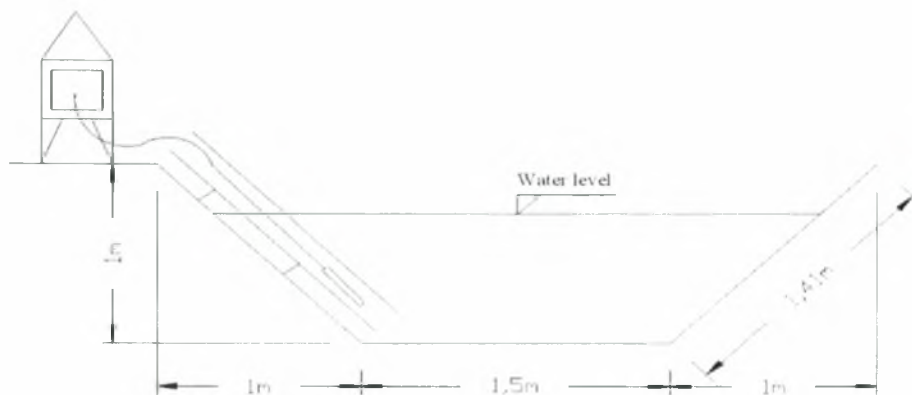
Για την κατανομή των 12 οργάνων (υπήρχαν 13 σταθμηγράφοι, αλλά ένας από αυτούς είναι εκτός λειτουργίας μετά από βανδαλισμό του) η λειτουργία του δικτύου των επιφανειακών υδάτων στη λεκάνη απορροής ελήφθη υπόψη. Ως εκ τούτου, τα όργανα είχαν καθοριστεί κατά την είσοδο και έξοδο είτε των φυσικών υδάτινων σωμάτων (π.χ. Ποταμός Στρυμόνας, η Λίμνη Κερκίνη, ποταμός Άγιος Ιωάννης κλπ) είτε την άρδευση και τα δίκτυα αποστράγγισης της λεκάνης απορροής. Ο πρώτος καταγραφέας επιπέδου του νερού έχει εγκατασταθεί στον Ποταμό Στρυμόνα ακριβώς ανάντη της δομής ελέγχου ροής "Υψιλον 1 (Υ1)" (χάρτης 2.1) με σκοπό την παρακολούθηση των εισροών του Ποταμού Στρυμόνα στη λεκάνη. Μια σχηματική διατομή του Ποταμού Στρυμόνα σε αυτή τη θέση φαίνεται στο σχήμα 3.1 [17].



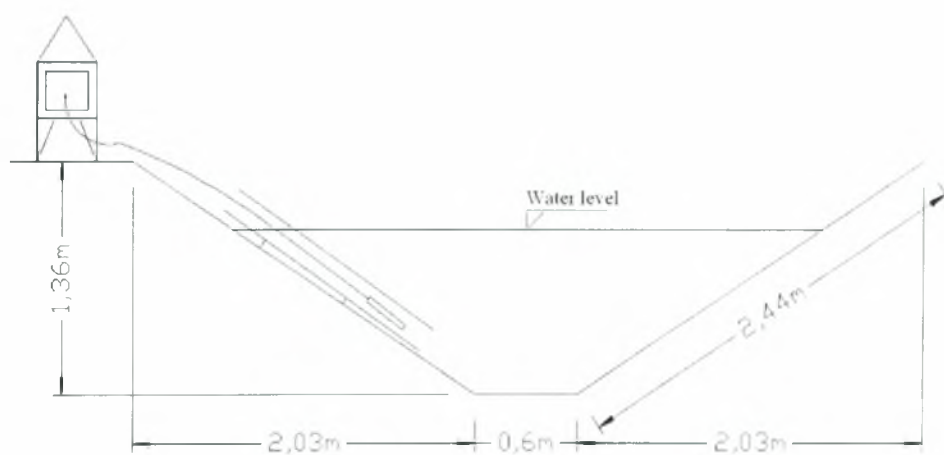
Σχήμα 3.1: Διατομές του Ποταμού Στρυμόνα κατά τον έλεγχο της ροής από τα όργανα στον "Υψιλον 1 (Υ1)"

Η δομή ελέγχου ροής "Υψιλον 1 (Υ1)" εκτρέπει το νερό από το Στρυμόνα στο κεντρική διώρυγα "2Κ" και στον "Τριμεριστή", ο οποίος με τη σειρά του εκτρέπει το νερό στις "Δυτική διώρυγα", "Κεντρική διώρυγα" και "Ανατολική διώρυγα" (χάρτης 3.2). Η "Κεντρική διώρυγα" και η "Ανατολική διώρυγα" τροφοδοτούν με νερό το 1ο αρδευτικό δίκτυο της πεδιάδας των Σερρών (6.230 εκτάρια) και η "Δυτική διώρυγα" αρδεύει την περιοχή "Χρυσόχώραφα" (4.930 εκτάρια) (χάρτης 3.2). Τρεις σταθμηγράφοι έχουν εγκατασταθεί στο ανώτερο άκρο του κάθε μια από τις παραπάνω διώρυγες με στόχο την παρακολούθηση των εκροών που παρέχονται

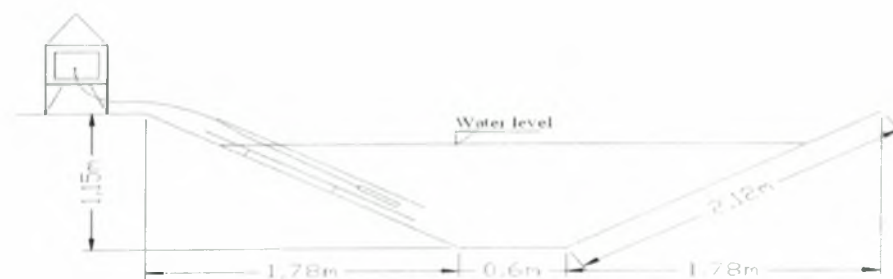
στις ανωτέρω αρδευόμενες περιοχές. Οι διατομές των τριών αυτών διωρύγων, όπου έχουν εγκατασταθεί τα όργανα, φαίνονται στα σχήματα 3.2 έως 3.4.



Σχήμα 3.2: Διατομή της “Δυτικής διώρυγας”

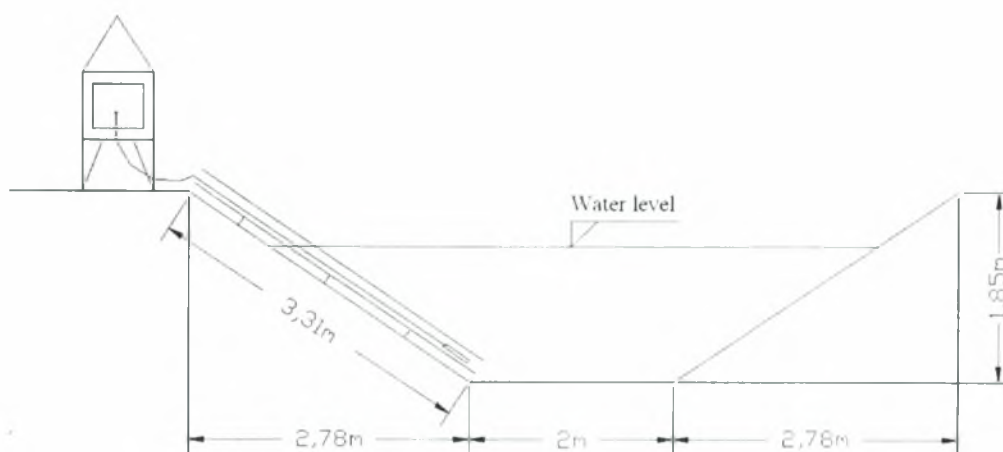


Σχήμα 3.3 Διατομή της “Κεντρικής διώρυγας”



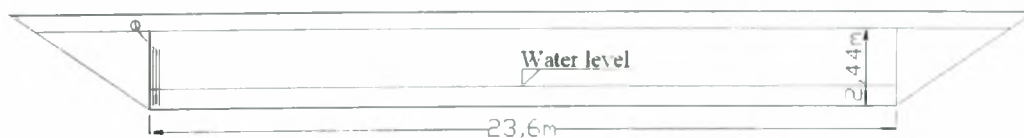
Σχήμα 3.4: Διατομή της “Ανατολικής διώρυγας”

Η διώρυγα " 2Κ" έχει μέγιστη παροχή $7 \text{ m}^3/\text{s}$ και προμηθεύει τα αρδευτικά δίκτυα της περιοχής Σιδηρόκαστρο (7.360 εκτάρια) (χάρτης 3.2). Ένας σταθμηγράφος (Νούμερο 5) έχει εγκατασταθεί περίπου 3 χλμ. κάτω από το άνω άκρο της διώρυγας και πριν συμβεί η κατανομή του νερού στις δευτεροβάθμιες διώρυγες. Η διατομή της "2Κ", όπου έχει εγκατασταθεί το όργανο δίνεται στο σχήμα 3.5.



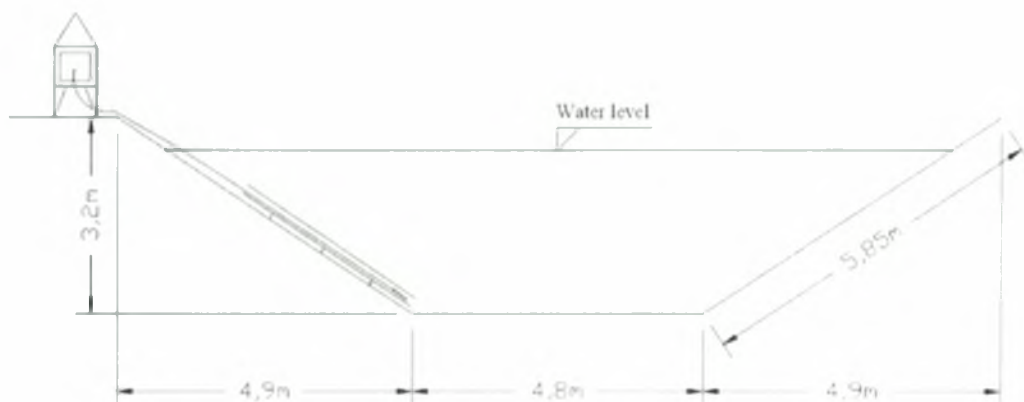
Σχήμα 3.5: Διατομή της διώρυγας "2Κ"

Ο έκτος σταθμηγράφος έχει εγκατασταθεί αμέσως κατάντη της "Υψιλον 2 (Υ2)" κάτω από τη γέφυρα της "Ενωτικής διώρυγας" (χάρτης 3.1). Η "Ενωτική διώρυγα" (χάρτης 3.2) τροφοδοτεί με νερό το 2ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών που καλύπτει μια έκταση 14.120 εκταρίων. Στο σχήμα 3.6 φαίνονται οι διατομές της διώρυγας "Ενωτική διώρυγα".



Σχήμα 3.6: Διατομή στη γέφυρα της "Ενωτικής διώρυγας"

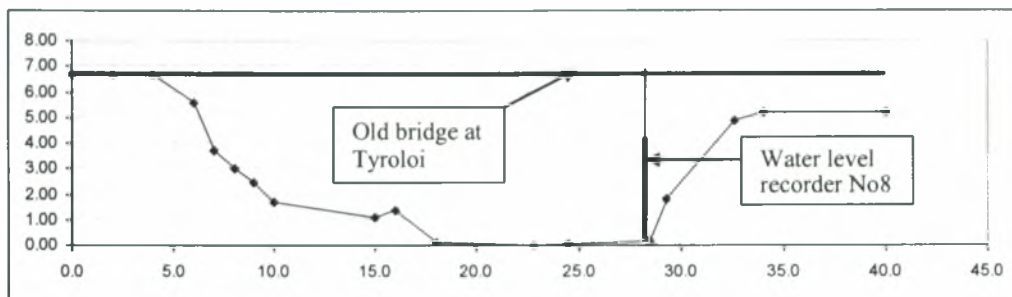
Ο έβδομος σταθμηγράφος έχει εγκατασταθεί κατάντη "Υψιλον 3 (Υ3)", μέσω της οποίας το νερό εκτρέπεται στη διώρυγα "5Κ". Η "5Κ" τροφοδοτεί με νερό το 4ο αρδευτικό δίκτυο Σερρών και το αρδευτικό δίκτυο "Δημητρήτσι", που καλύπτουν μια έκταση 6.430 εκτάρων και 4.760 εκτάρων αντίστοιχα (χάρτης 3.2). Στο σχήμα 3.7 φαίνονται οι διατομές της αρδευτικής διώρυγας "5Κ".



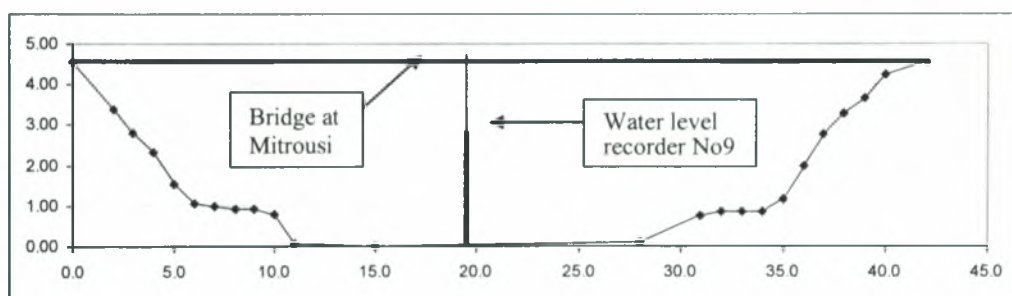
Σχήμα 3.7: Διατομή της διώρυγας "5Κ"

Οι όγδοος, ένατος και δέκατος σταθμηγράφοι βρίσκονται στην τάφρο αποστράγγισης "Μπελίτσα". Το όγδοο όργανο έχει εγκατασταθεί στην τάφρο της "Μπελίτσας" λίγο πριν την έξοδο της τάφρου "Αναγεννήσεως" (χάρτης 3.1), με στόχο την παρακολούθηση της ροής του νερού στο άνω άκρο του. Το ένατο όργανο έχει εγκατασταθεί κάτω από τη γέφυρα κοντά στα χωριά "Άνω Μητρούσι" και "Κάτω Μητρούσι" (χάρτης 3.1). Η ροή του νερού σε αυτό το σημείο έρχεται από την αποστράγγιση του νερού από το άνω ρεύμα των καλλιεργούμενων εκτάσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου προέρχεται κυρίως από τους ανάντη χειμάρρους.

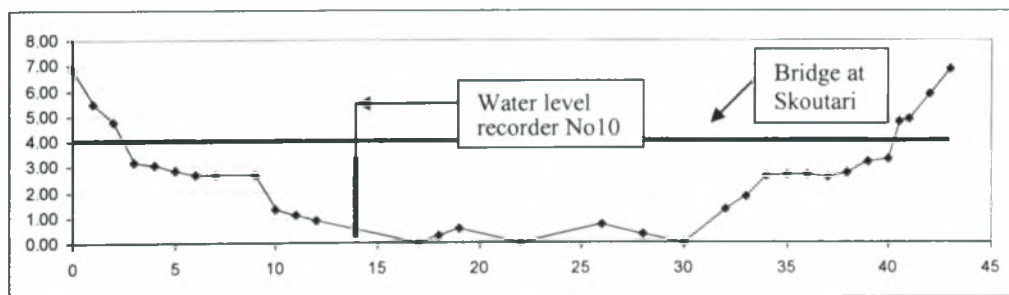
Ο δέκατος σταθμηγράφος βρίσκεται κάτω από τη γέφυρα του χωριού "Σκουτάρι". Στη θέση αυτή, το καθεστώς ροής στην τάφρο της "Μπελίτσας" μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις των ένατου και δέκατου καταγραφέντων στάθμης νερού. Η διατομή της τάφρου "Μπελίτσα" που έχουν εγκατασταθεί τα παραπάνω εργαλεία παρουσιάζονται στα σχήματα από 3.8 έως 3.10.



Σχήμα 3.8: Διατομή στην τάφρο της “Μπελίτσας” όπου ο 8^{ος} καταγραφέας στάθμης του νερού έχει εγκατασταθεί

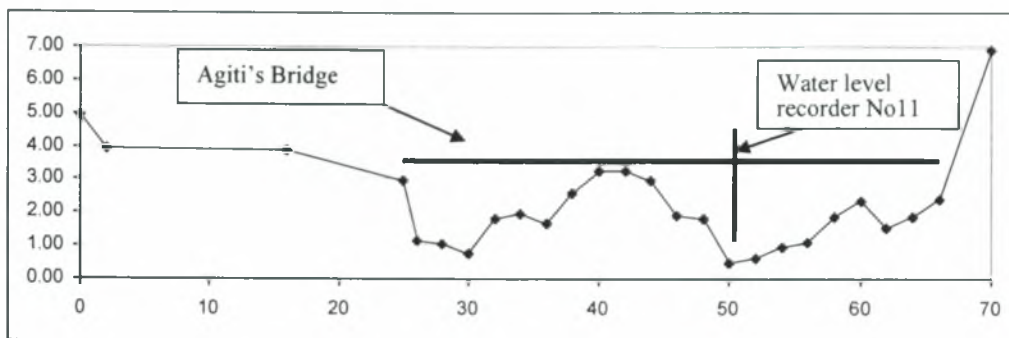


Σχήμα 3.9: Διατομή στην τάφρο της “Μπελίτσας” όπου ο 9^{ος} καταγραφέας στάθμης του νερού έχει εγκατασταθεί



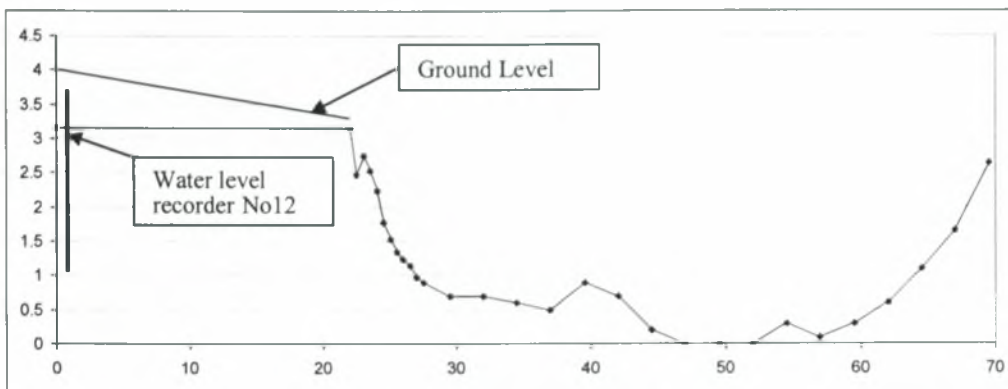
Σχήμα 3.10: Διατομή στην τάφρο της “Μπελίτσας” όπου ο 10^{ος} καταγραφέας στάθμης του νερού έχει εγκατασταθεί

Ο εντέκατος σταθμηγράφος έχει εγκατασταθεί στον ποταμό “ Αγγίτη” κοντά στο Σιδηροδρομικό Σταθμό της “Αγγίστας” (χάρτης 3.1). Σε αυτό το σημείο η καθαρή εισροή του «Αγγίτη» στην λεκάνη μπορεί να εκτιμηθεί. Η διατομή του ποταμού, όπου έχει εγκατασταθεί το εργαλείο φαίνεται στο σχήμα 3.11.

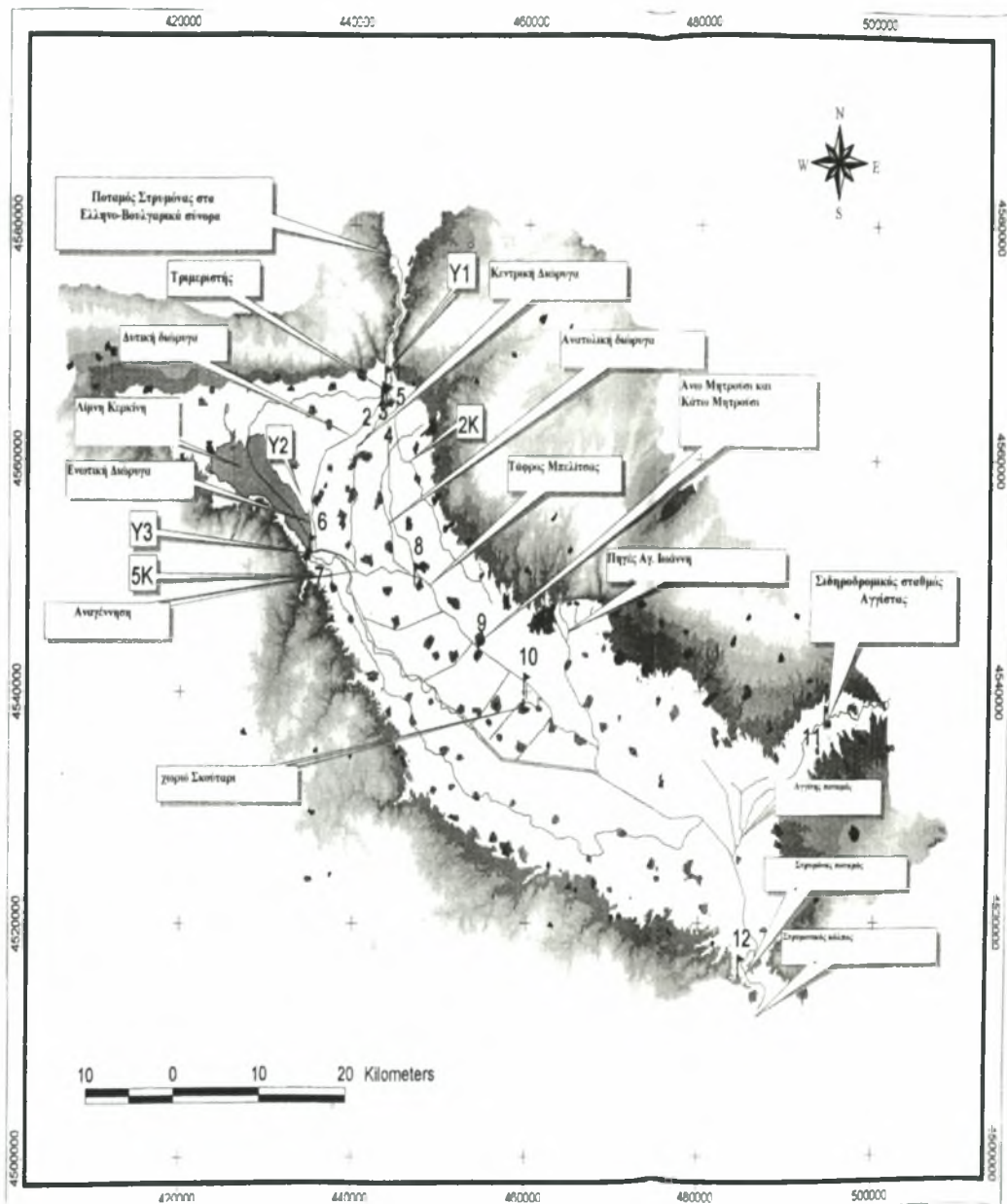


Σχήμα 3.11: Διατομή στον Αγγίτη ποταμό στο σιδηροδρομικό σταθμό της “Αγγίστας”.

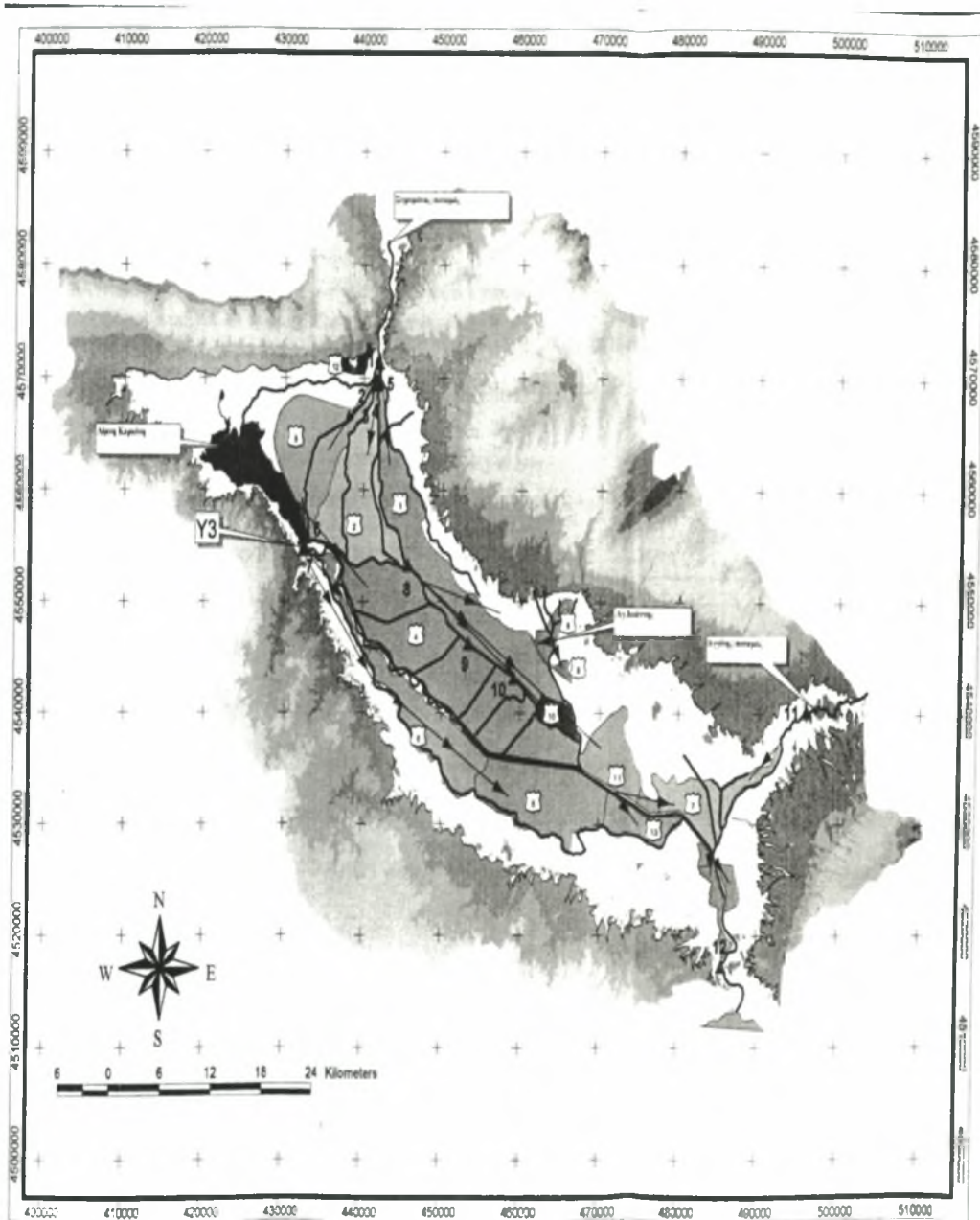
Ο τελευταίος σταθμηγράφος (12^{ος}) έχει εγκατασταθεί 2 χιλιόμετρα πάνω από την έξοδο του Στρυμόνα στον Στρυμονικό κόλπο με στόχο την παρακολούθηση της συνολικής απορροής της λεκάνης του Στρυμόνα στη θάλασσα. Αυτός ο καταγραφέας θα λειτουργεί μέχρι την ολοκλήρωση του πρωτότυπου σταθμού εκροής. Η διατομή του Ποταμού Στρυμόνα στη θέση αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Διατομή στην τάφρο της “Μπελίτσας” όπου ο 10^{ος} καταγραφέας στάθμης του νερού έχει εγκατασταθεί.



Χάρτης 3.1. Δίκτυο παρακολούθησης των επιφανειακών υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα.



Χάρτης 3.2. Δίκτυα παρακολούθησης των επιφανειακών υδάτων και αρδευτικά δίκτυα στην λεκάνη του Στρυμόνα.

3.2 Δίκτυο παρακολούθησης υπόγειων υδάτων

Ο κύριος στόχος του δικτύου παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων είναι να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και το πιεσομετρικό ύψος στην λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα.

Για το σκοπό αυτό ένα πλήθος από 24 φρεάτια (σχήμα 3,13), ομοίμορφα κατανεμημένα στη λεκάνη, έχουν επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

1. Την γεωλογία της λεκάνης απορροής. Στην περίπτωση της λεκάνης του Στρυμόνα υπάρχει ένα πλήθος από γεωλογικούς φακούς, κροκάλες, αλλουβιακές αποθέσεις και φερτά υλικά. Για το λόγο αυτό για την υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης, οι γεωλογικοί φακοί υποτίθεται ότι αποτελούν ένα ενιαίο υδροφόρο ορίζοντα [24-26].
2. Την κατάσταση των φρεατίων. Ελήφθη φροντίδα προκειμένου τα φρεάτια παρακολούθησης να είναι σε χρήση, καθώς επίσης και το γεωλογικό τους τμήμα και τα χαρακτηριστικά τους να είναι γνωστά.
3. Η πρόσβαση στα φρεάτια να είναι ελεύθερη για την ομάδα ελέγχου ανά πάσα στιγμή του έτους.



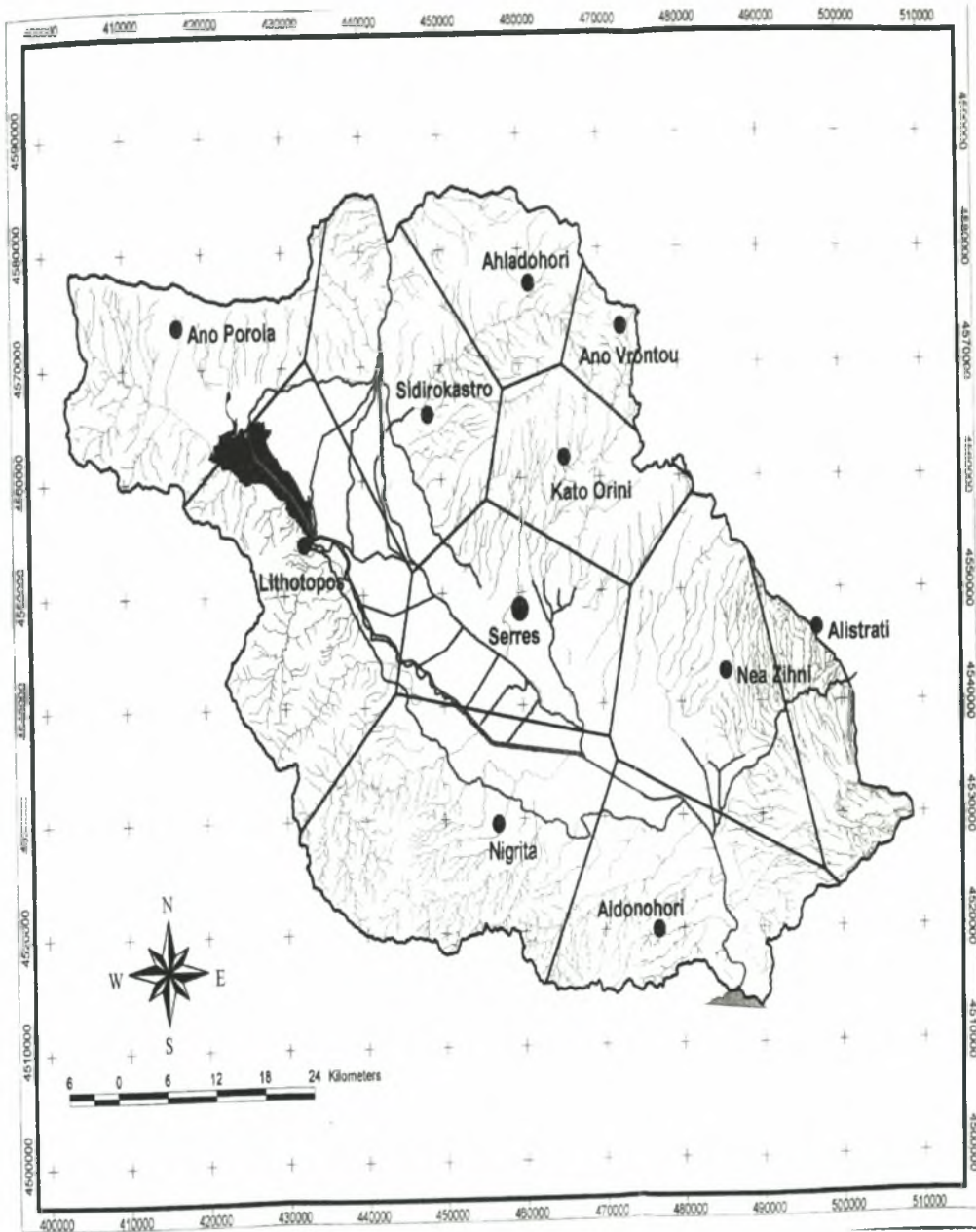
Σχήμα 3.13. Χωρική κατανομή των πηγαδιών παρακολούθησης της λεκάνης του Στρυμόνα

3.3 Μετεωρολογικός σταθμός του δικτύου

Ο σκοπός του μετεωρολογικού σταθμού του δικτύου είναι να παρέχει στοιχεία που σχετίζονται με τα κατακρημνίσματα και όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής στη Λεκάνη του Στρυμόνα.

Δέκα σταθμοί κατακρημνισμάτων και ένας μετεωρολογικός, που περιλαμβάνονται στο παραπάνω δίκτυο, παρέχουν καθημερινές μετρήσεις (Πίνακας 2.2).

Για τη χωρική κατανομή των κατακρημνισμάτων στη λεκάνη επιλέχθηκε η μέθοδος του Thiessen, διαιρώντας την περιοχή σε 11 πολύγωνα (χάρτης 3.3).



Χάρτης 3.3. Μετεωρολογικοί σταθμοί στην λεκάνη απορροής του ποταμού Στρυμόνα.

4. Μοντέλο βαθμονόμησης και ανάλυση των επιπτώσεων των υδάτινων πόρων από αγροτικές δραστηριότητες

Τα κατανεμημένα υδρολογικά μοντέλα είναι εργαλεία που δίνουν την δυνατότητα να ελέγχεται η διακύμανση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, παρέχοντας στοιχεία για κάθε σημείο του πλέγματος που προσομοιώνεται. Συχνά οι εφαρμογές του μοντέλου απαιτούν αρκετές χιλιάδες σημεία στο πλέγμα, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από αρκετές παραμέτρους και μεταβλητές. Με αυτό τον τρόπο τα κατανεμημένα μοντέλα διαφέρουν θεμελιωδώς από τα ενιαία μοντέλα, όπου μια λεκάνη θεωρείται ως μία μονάδα που χαρακτηρίζεται από μερικές δεκάδες παραμέτρους και μεταβλητές. Έτσι, ο αριθμός των παραμέτρων και των μεταβλητών σε ένα κατανεμημένο μοντέλο είναι συχνά δύο ή τρεις τάξεις υψηλότερες από ό,τι θα ήταν για ένα ενιαίο μοντέλο της ίδιας περιοχής. Προφανώς αυτό δημιουργεί διαφορετικές απαιτήσεις ανάμεσα στα ενιαία και τα κατανεμημένα μοντέλα όσον αφορά τις διαδικασίες παραμετροποίησης, βαθμονόμησης και αξιολόγησης.

5. Μοντέλο παραμετροποίησης και επιλογή των παραμέτρων βαθμονόμησης

Ένα κατανεμημένο σύστημα υδρολογικού μοντέλου, όπως το MIKE SHE περιλαμβάνει δυνητικά μεγάλο αριθμό παραμέτρων που καθορίζεται από το χρήστη κατά την εγκατάσταση του μοντέλου. Ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους μπορούν να εκτιμηθούν από δεδομένα του πεδίου, π.χ. γεωλογικές περιγραφές από τις γεωλογικές τιμές, ανάλυση των δοκιμών άντλησης, χάρτες του προφίλ του εδάφους, ανάλυση του εδάφους (υφή, πυκνότητα, καμπύλες κατακράτησης), και χάρτες βλάστησης. Ωστόσο, πλήρη στοιχεία του πεδίου σπανίως είναι διαθέσιμα για να υποστηρίξουν πλήρως τις προδιαγραφές όλων των παραμέτρων του μοντέλου. Επιπλέον, ορισμένοι παράμετροι του μοντέλου είναι περισσότερο εννοιολογικής φύσεως και δεν μπορούν να εκτιμηθούν άμεσα από τα δεδομένα του πεδίου.

Στο μοντέλο παραμετροποίησης, τα διαθέσιμα δεδομένα του πεδίου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των σχετικών με τον χώρο πρότυπων τιμών

των παραμέτρων για να περιγράψουν τις πιο σημαντικές διακυμάνσεις. Αυτό γίνεται συχνά με τον καθορισμό ενός εννοιολογικού μοντέλου με τις κατάλληλες κατηγορίες παραμέτρων για τις γεωλογικές ενότητες, τους τύπους εδάφους, τους τύπους βλάστησης κλπ. Για κάθε κατηγορία, ορισμένες παράμετροι αξιολογούνται άμεσα από τα δεδομένα του πεδίου, ενώ άλλες παράμετροι μπορεί να υπόκειται σε βαθμονόμηση. Η πρόκληση είναι να διαμορφωθεί ένα σχετικά απλό μοντέλο παραμετροποίησης ώστε να παρέχει ένα καλά ορισμένο πρόβλημα βαθμονόμησης, αλλά την ίδια στιγμή να το κρατήσει αρκετά σύνθετο, προκειμένου να συλλάβει τη μεταβλητότητα των βασικών χωρικών παραμέτρων του μοντέλου.

Οι Refsgaard και Storm τονίζουν ότι η διαδικασία αυστηρής παραμετροποίησης είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου να αποφευχθούν μεθοδολογικά προβλήματα στις επόμενες φάσεις της βαθμονόμησης και επικύρωσης του μοντέλου[31]. Στην παραμετροποίηση, οι σχετικές με τον χώρο κατανομές των τιμών των παραμέτρων ορίζονται έτσι ώστε μια δεδομένη παράμετρος να αντικατοπτρίζει μόνο τη σημαντική και συστηματική μεταβολή που περιγράφεται στα διαθέσιμα δεδομένα του πεδίου, όπως αποδεικνύεται από την πρακτική της χρησιμοποίησης αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων για μεμονωμένους τύπους εδάφους, τύπους βλάστησης ή γεωλογικά στρώματα. Έτσι, η διαδικασία παραμετροποίησης μειώνει αποτελεσματικά τον αριθμό των ελεύθερων παραμέτρων συντελεστών που πρέπει να προσαρμοστούν στη μετέπειτα διαδικασία βαθμονόμησης. Τα ακόλουθα σημεία είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη στο πλαίσιο της διαδικασίας παραμετροποίησης [31]:

- Οι κατηγορίες παραμέτρων (τύποι εδάφους, τύποι βλάστησης, κλιματολογικές ζώνες, γεω-λογικά στρώματα, κλπ.) θα πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να γίνεται εύκολα και με αντικειμενικό τρόπο, η σύνδεση των τιμών των παραμέτρων.
- Θα πρέπει σαφώς να αξιολογούνται ποιες παράμετροι μπορούν να εκτιμηθούν από τα δεδομένα του πεδίου μόνο και ποια χρειάζονται κάποιο είδος βαθμονόμησης.
- Ο αριθμός των πραγματικών παραμέτρων βαθμονόμησης θα πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, τόσο από πρακτική όσο και μεθοδολογική άποψη.

Ο Refsgaard στην εργασία του [32], υποδιαίρεσε τη λεκάνη απορροής των 440 km² σε τετράγωνα πλέγματος των 500 X 500 m² και οι Vazquez και Feyen, υποδιαίρεσαν τη λεκάνη απορροής των 586 km², με ανάλυση 600 X 600 m² [39]. Τεστ ευαισθησίας έγιναν από τον Refsgaard στην εργασία του [32] χρησιμοποιώντας το μοντέλο (βαθμονόμησε και επικύρωσε σε πλέγμα 500 m) με πιο διευρυμένα πλέγματα: 1000, 2000 και 4000 m. Τα αποτελέσματα των τεσσάρων μοντέλων προσομοίωσης της απορροής για ολόκληρη τη λεκάνη έδειξαν ότι τα μοντέλα των 500 μ. και 1000 μ διαφέρουν μόνο οριακά.

Στο έργο “Life Strymon” το μοντέλο της κύριας περιοχής των 1510 km² υποδιαιρέθηκε σε πλέγματα με ανάλυση 400 X 400 m². Η μικρότερη υποδιαίρεση για μεγαλύτερη έκταση από τους συνδυασμούς που προέρχονται από την βιβλιογραφία εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχει ανάγκη για τη βαθμονόμηση του μεγέθους του πλέγματος.

Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται περίπου από ένα ελάχιστο όριο 0 μέτρων στο νότιο τμήμα με ανώτατο όριο τα 100 μέτρα στη γύρω περιοχή. Οι συντελεστές τραχύτητας για τις διώρυγες βασίστηκαν σε τιμές από τη βιβλιογραφία.

Η αποστράγγιση ξεκινά όταν το επίπεδο του νερού ανεβαίνει πάνω από το ύψος της αποστράγγισης και είναι ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ του επιπέδου του νερού και του βάθους αποστράγγισης. Το βάθος αποστράγγισης των 1,5 m προήλθε από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων (ΔΕΒ) ως η πλέον κατάλληλη για την περιοχή αποστράγγισης. Επίσης ο Sahoo και άλλοι (2005) χρησιμοποίησαν βάθος αποστράγγισης 1m. Έτσι, το βάθος αποστράγγισης των 1,5 m αποφασίστηκε να μην συμπεριληφθεί στη διαδικασία βαθμονόμησης. Το βάθος αποστράγγισης έχει μεγαλύτερη επιρροή για την ύφεση του υδρογραφήματος [32].

Από την άλλη πλευρά, η σταθερά χρόνου αποστράγγισης ή ο συντελεστής αποστράγγισης έχει βαθμονομηθεί. Αυτή η παράμετρος καθορίζει την ταχύτητα της αποστράγγισης και κυρίως επηρεάζει την κορυφή του υδρογραφήματος [30].

Η επίδοση του μοντέλου κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης και επικύρωσης μπορούν να αξιολογηθούν τόσο ποιοτικά, βάση οπτικών γραφικών τεχνικών, όσο και ποσοτικά, με βάση κάποια στατιστικά μέτρα. Σε αυτή τη μελέτη,

και οι δύο μέθοδοι συνενώθηκαν, αλλά με έμφαση στην στατιστική εκτίμηση της απόδοσης του μοντέλου. Μια πρώτη ιδέα της ακρίβειας των αποτελεσμάτων βασίστηκε σε οπτική επιθεώρηση γραφική αναπαράσταση τους, ενώ στη συνέχεια υπολογίστηκαν στατιστικές παράμετροι για τις προσομοιώσεις. Τα στατιστικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι το Μέσο Σχετικό Τετραγωνικό Σφάλμα [Relative Root Mean Square Error (RRMSE)], ο συντελεστής προσδιορισμού [Coefficient of Determination (CD)], ο συντελεστής απόδοσης [Coefficient of Efficiency (EF)] και το μέσο απόλυτο σφάλμα [Mean Absolute Error (ABSERR)].

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{n}}} \dots \quad 0 \leq RRMSE$$

$$ABSERR = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad 0 \leq ABSERR$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad 0 < CD \leq +\infty$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad -\infty < EF \leq 1$$

όπου P_i είναι η i -στη προσομοιωμένη τιμή, O_i είναι η i -στη τιμή παρατήρησης, \bar{O} η μέση τιμή παρατήρησης, n ο αριθμός παρατηρήσεων καθ' όλη την περίοδο.

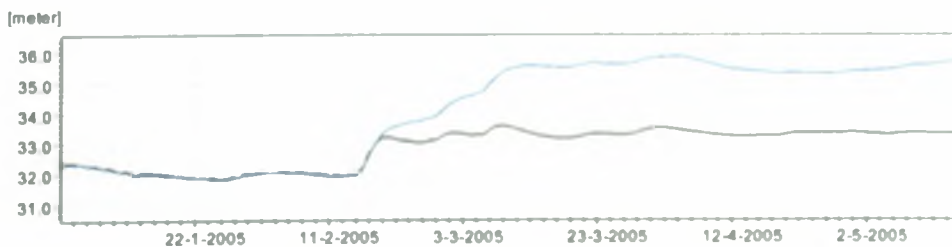
Το ισοζύγιο μάζας του νερού στη λεκάνη του Στρυμόνα, εκτός από την επιφάνεια του νερού, εξαρτάται επίσης από την εξατμισοδιαπνοή και την ανταλλαγή του νερού μεταξύ των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων σωμάτων. Το εγκατεστημένο δίκτυο παρακολούθησης του Στρυμόνα δίνει τις κατάλληλες μετρήσεις, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν αβεβαιότητες και να τεθούν οι σωστές παράμετροι για τα επιφανειακά υδάτινα σώματα. Οι μετρήσεις της λίμνης

για τις παραμέτρους των υπόγειων υδάτων και της εξατμισοδιαπνοής οδηγεί στις τεχνικές μοντελοποίησης της ανάλυσης ευαισθησίας, της βαθμονόμησης και της επικύρωσης των παραμέτρων του μοντέλου.

Ο κύριος όγκος επιφανειακών υδάτων, τον οποίο ανταλλάσσει το νερό με το σύστημα υπόγειων υδάτων της λεκάνης του Στρυμόνα, είναι η Λίμνη Κερκίνη. Έτσι, η βασική παράμετρος για τη βαθμονόμηση ήταν ο συντελεστής διαρροής της λίμνης Κερκίνης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος "δοκιμή και σφάλμα". Οι τιμές του συντελεστή διαρροής που ελέγχθηκαν είναι $8 \cdot 10^{-8}$, $1 \cdot 10^{-7}$, $3 \cdot 10^{-7}$, $4 \cdot 10^{-7}$ και $8 \cdot 10^{-7}$.

Η εκροή από το φράγμα της Λίμνης Κερκίνης προσομοιώθηκε προκειμένου να διατηρηθεί η στάθμη του νερού της λίμνης, όπως υπολογίστηκε.

Το ποσό του συντελεστή διαρροής από απορροή για τις τιμές $8 \cdot 10^{-7}$ και $4 \cdot 10^{-7}$ ήταν αρκετά μεγάλο και η στάθμη του νερού της λίμνης, ήταν χαμηλότερη από ό, τι υπολογίστηκε, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές του συντελεστή διαρροής για τις τιμές $8 \cdot 10^{-8}$, $1 \cdot 10^{-7}$ και $3 \cdot 10^{-7}$ ήταν απότομα υψηλές για τη στάθμη του νερού της λίμνης, όπως φαίνεται στα επόμενα 5 σχήματα (5.1 έως 5.5) και τους στατιστικούς υπολογισμούς που παράγει το MIKE SHE.



Σχήμα 5.1. Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή διαρροής = $8 \cdot 10^{-8}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή διαρροής = $8 \cdot 10^{-8}$

ME = 1.22567

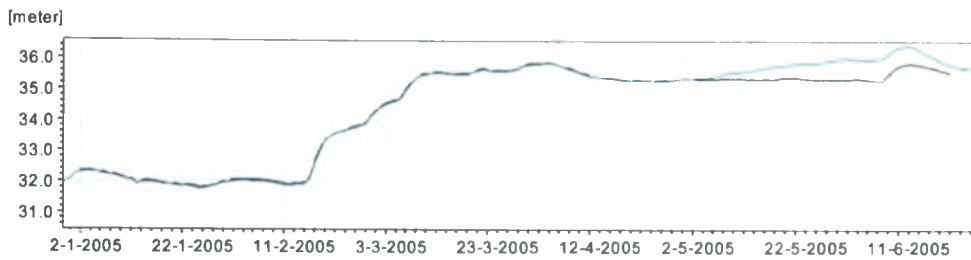
MAE = 1.24836

RMSE = 1.61399

STDres = 1.05009

R (Correlation)=0.957414

R2 (Nash Sutcliffe) = 0.00874



Σχήμα 5.2 Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή διαρροής = $4 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή διαρροής = $4 \cdot 10^{-7}$

ME = 0.106571

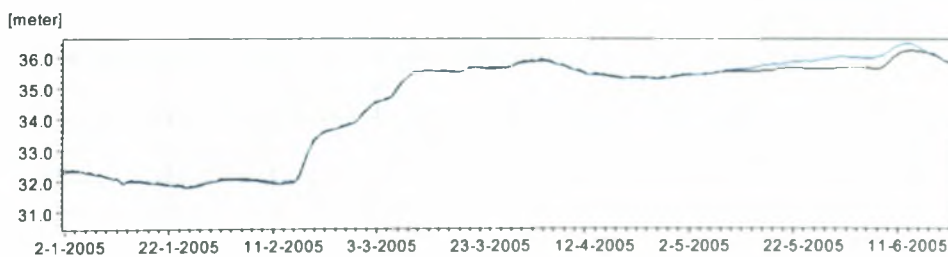
MAE = 0.149095

RMSE = 0.259739

STDres = 0.236869

R (Correlation)=0.991283

R2 (Nash Sutcliffe) = 0.974887



Σχήμα 5.3 Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή διαρροής = $3 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή διαρροής = $3 \cdot 10^{-7}$

ME = 0.00770456

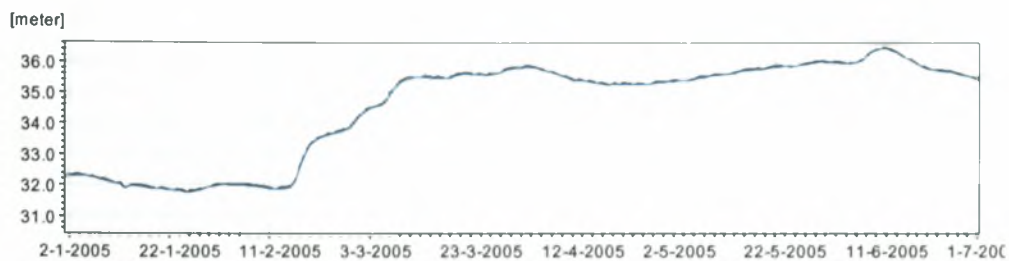
MAE = 0.0423322

RMSE = 0.0584749

STDres = 0.0579651

R (Correlation)=0.999568

R2 (Nash Sutcliffe) = 0.99880



Σχήμα 5.4. Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή διαρροής = $8 \cdot 10^{-8}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή διαρροής = $8 \cdot 10^{-8}$

ME = 0.0029944

MAE = 0.030518

RMSE = 0.034401

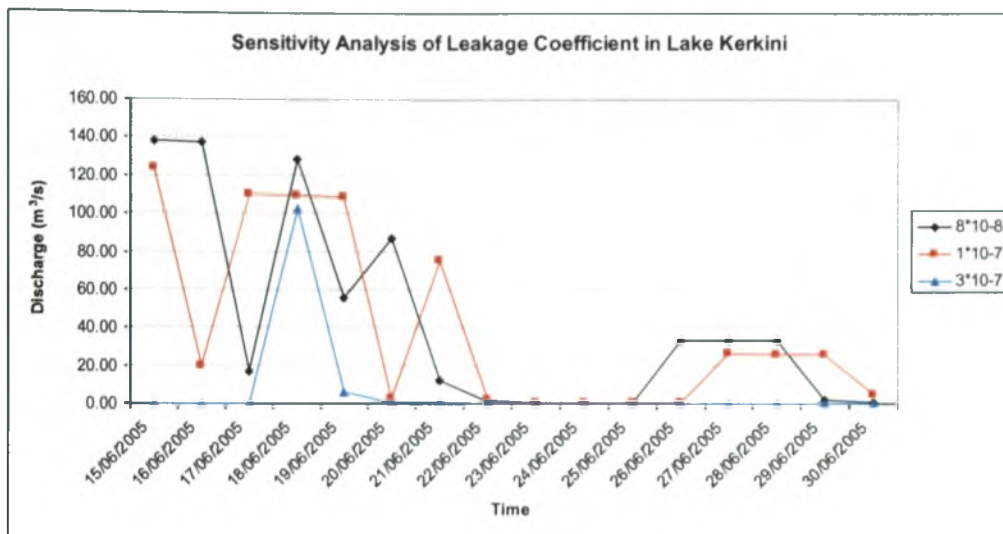
STDres = 0.016940

R (Correlation)=0.99996

R2 (Nash Sutcliffe) = 0.99959

Πολύ σημαντική πληροφορία που λήφθηκε από τις τοπικές αρχές ήταν ότι μετά τις 20 Ιουνίου για την καλοκαιρινή περίοδο δεν υπάρχει καμία εκροή από το φράγμα, προκειμένου να κρατηθεί το νερό στη λίμνη για αρδευτικούς σκοπούς. Αυτή η συμβουλή βοήθησε να απορριφθούν οι τιμές του συντελεστή διαρροής $8 \cdot 10^{-8}$ και $1 \cdot 10^{-7}$ διότι με αυτές τις τιμές η εκροή συνέβη κατάντη του φράγματος της λίμνης Κερκίνης όπως φαίνεται στο σχήμα 5.

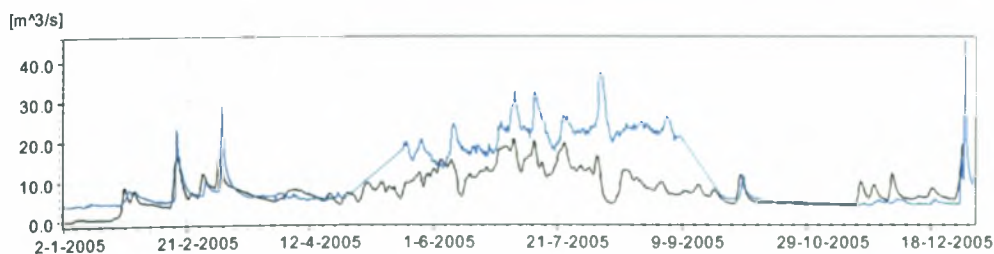
Έτσι, η πλέον κατάλληλη τιμή για τον συντελεστή διαρροής στη Λίμνη Κερκίνη είναι η τιμή $3 \cdot 10^{-7}$.



Σχήμα 5.5 Διαρροή όπως συνέβη κατάντη του φράγματος στη Λίμνη Κερκίνη

Μια άλλη παράμετρος που έχει βαθμονομηθεί είναι η σταθερά χρόνου αποστράγγισης ή του συντελεστή αποστράγγισης. Αυτή η παράμετρος καθορίζει την ταχύτητα της αποστράγγισης και επηρεάζει κυρίως την κορυφή του υδρογραφήματος όπως αναφέρθηκε από τους Feyen και Vazquez [30].

Οι τιμές του συντελεστή αποστράγγισης που ελέγχθηκαν είναι $7 \cdot 10^{-8}$, $1 \cdot 10^{-7}$, $3 \cdot 10^{-7}$, $5 \cdot 10^{-7}$ και $7 \cdot 10^{-7}$. Η πιο σημαντική περίοδος για τη βαθμονόμηση είναι όταν ξεκινά η άρδευση. Έτσι υπάρχουν δύο στατιστικές περιόδους, μία για την περίοδο άρδευσης και μία για ολόκληρη την περίοδο.

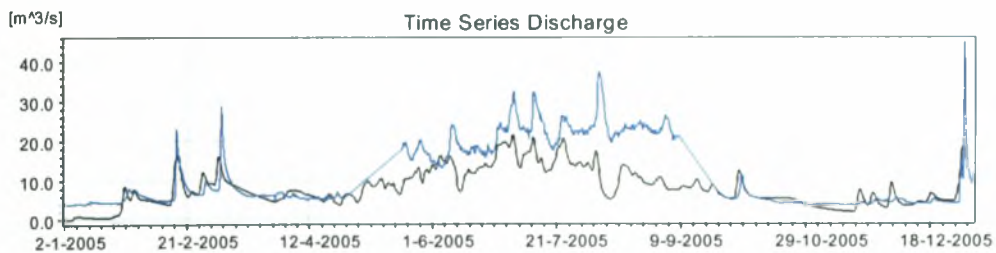


Σχήμα 5.6 Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή αποστράγγισης = $7 \cdot 10^{-8}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή αποστράγγισης = $7 \cdot 10^{-8}$

23/5/2005 - 30/7/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.505
Μεγ. θετική διαφορά	10.624 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-28.512 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	357554428.4 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	244630070.8 M ³
Σφάλμα τιμής	-31.582 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	45.284 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	20.339 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-55.085 %

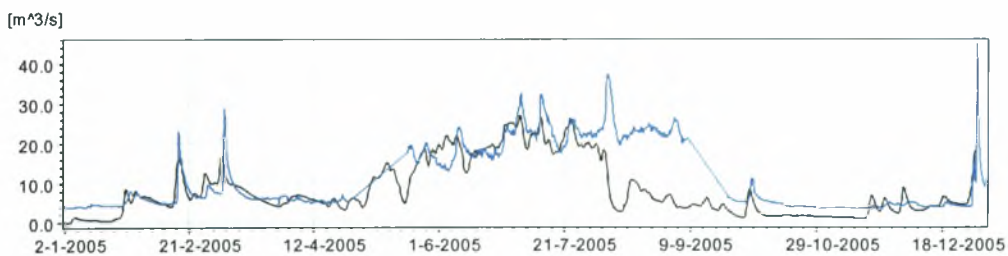
1/1/2005 - 31/12/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.538
Μεγ. θετική διαφορά	9.158 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-28.512 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	3.51E+08 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	2.37E+08 M ³
Σφάλμα τιμής	-32.557 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	37.28 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	20.339 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-45.441 %



Σχήμα 5.7. Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή αποστράγγισης = $1 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή αποστράγγισης = $1 \cdot 10^{-7}$

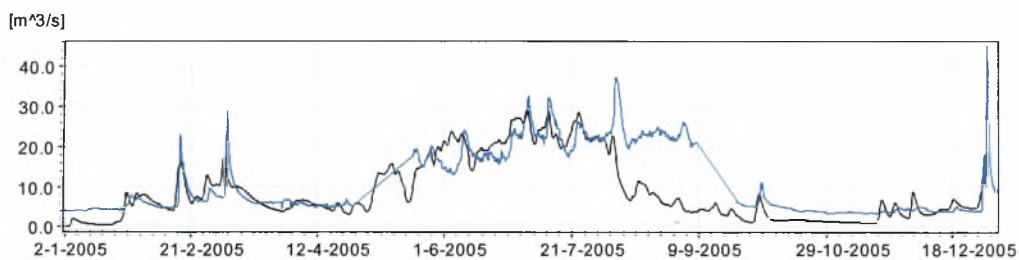
23/5/2005 - 30/7/2005		1/1/2005 - 31/12/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.365	Συντελεστής συσχέτισης R2	0.627
Μεγ. θετική διαφορά	2.979 m ³ /s	Μεγ. θετική διαφορά	8.709 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-13.573 m ³ /s	Μεγ. αρνητική διαφορά	-27.543 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	119448473.2 M ³	Τιμή παρατήρησης	3.51E+08 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	85072134.46 M ³	Τιμή υπολογιζόμενη	2.43E+08 M ³
Σφάλμα τιμής	-28.779 %	Σφάλμα τιμής	-30.599 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	32.687 m ³ /s	Μέγιστη τιμή παρατήρησης	37.28 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	21.461 m ³ /s	Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	21.461 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-34.345 %	Σφάλμα κορυφής	-42.434 %



Σχήμα 5.8. Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή αποστράγγισης = $3 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή αποστράγγισης = $3 \cdot 10^{-7}$

23/5/2005 - 30/7/2005		1/1/2005 - 31/12/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.345	Συντελεστής συσχέτισης R2	0.531
Μεγ. θετική διαφορά	8.765 m ³ /s	Μεγ. θετική διαφορά	9.155 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-8.05 m ³ /s	Μεγ. αρνητική διαφορά	-28.881 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	119448473.2 M ³	Τιμή παρατήρησης	3.51E+08 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	118079027.1 M ³	Τιμή υπολογιζόμενη	2.53E+08 M ³
Σφάλμα τιμής	-1.146 %	Σφάλμα τιμής	-27.939 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	32.687 m ³ /s	Μέγιστη τιμή παρατήρησης	37.28 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	27.14 m ³ /s	Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	27.14 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-16.969 %	Σφάλμα κορυφής	-27.199 %

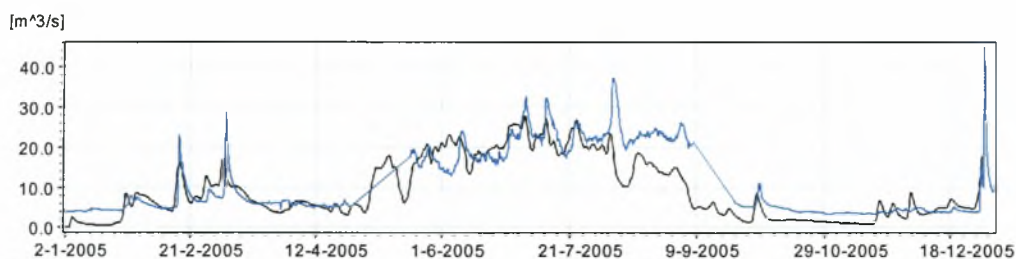


Σχήμα 5.9 . Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή αποστράγγισης = $5 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή αποστράγγισης = $5 \cdot 10^{-7}$

23/5/2005 - 30/7/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.859
Μεγ. θετική διαφορά	10.631 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-14.699 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	211655523.8 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	205677164.1 M ³
Σφάλμα τιμής	-2.825 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	32.687 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	29.11 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-10.944 %

1/1/2005 - 31/12/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.588
Μεγ. θετική διαφορά	10.631 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-22.721 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	3.51E+08 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	2.74E+08 M ³
Σφάλμα τιμής	-21.978 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	37.28 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	29.11 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-21.916 %



Σχήμα 5.10. Εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή αποστράγγισης = $7 \cdot 10^{-7}$ (μαύρη γραμμή), με δεδομένα χρονοσειράς (μπλε γραμμή).

Στατιστικοί υπολογισμοί για τον συντελεστή αποστράγγισης = $7 \cdot 10^{-7}$

23/5/2005 - 30/7/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.302
Μεγ. θετική διαφορά	9.984 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-7.17 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	119448473.2 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	123954327.7 M ³
Σφάλμα τιμής	3.772 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	32.687 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	27.92 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-14.582 %

1/1/2005 - 31/12/2005	
Συντελεστής συσχέτισης R2	0.753
Μεγ. θετική διαφορά	9.984 m ³ /s
Μεγ. αρνητική διαφορά	-21.89 m ³ /s
Τιμή παρατήρησης	3.51E+08 M ³
Τιμή υπολογιζόμενη	2.89E+08 M ³
Σφάλμα τιμής	-17.713 %
Μέγιστη τιμή παρατήρησης	37.28 m ³ /s
Μέγιστη υπολογιζόμενη τιμή	27.92 m ³ /s
Σφάλμα κορυφής	-25.106 %

Η πιο κατάλληλη τιμή για το συντελεστή αποστράγγισης είναι η $3 \cdot 10^{-7}$ επειδή δίνει τη χαμηλότερη τιμή σφάλματος που είναι -1.146% εφόσον το πιο σημαντικό για την προσομοίωση είναι να υπολογιστεί το ισοζύγιο μάζας του νερού.

Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, αναπτύχθηκε το υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα και της Λίμνης Κερκίνης, χρησιμοποιώντας το σύστημα υδρολογικής προσομοίωσης MIKE SHE/MIKE 11.

Με το σύστημα αυτό, πέραν των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, του υδρογραφικού της δικτύου και των κλιματικών παραμέτρων, κατέστη δυνατόν να εισαχθούν στο ομοίωμα και χαρακτηριστικά που αφορούν στην υφιστάμενη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων, των αρδεύσεων και της στράγγισης. Η σύνθεση και η χωρική κατανομή των καλλιεργειών, τα βλαστικά τους στάδια και οι μέθοδοι άρδευσης, οι αρδευτικές διώρυγες και οι στραγγιστικοί τάφροι, καθώς και οι απολήψιμες ποσότητες νερού από τον Στρυμόνα, την Κερκίνη και τους υπόγειους υδροφορείς, όπως και οι ποσότητες νερού που διοχετεύονται στα αρδευτικά δίκτυα, εισάχθηκαν, χωρικά και χρονικά κατανεμημένα, στο σύστημα και προσομοιώθηκε η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης.

Οι αυξημένες δυνατότητες του MIKE SHE/MIKE 11, το καθιστούν ένα δυναμικό εργαλείο για την προστασία και διαχείριση των υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκαν οι αρδευτικές ανάγκες, χωρικά και χρονικά κατανεμημένες, στη λεκάνη του Στρυμόνα, σε συνδυασμό με τις απολήψιμες ποσότητες νερού από κάθε αρδευτικό δίκτυο και η αποδοτικότητα των αρδευτικών δικτύων, χρονικά κατανεμημένη στη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερης σημασίας, για την εξοικονόμηση νερού υπό τις υφιστάμενες συνθήκες, ενώ μπορεί να συμβάλλει στον καθορισμό ποσοτικών στόχων, ως προς τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αρδευτικών δικτύων.

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα του συστήματος αποτελεί η δυνατότητα προσομοίωσης της άντλησης νερού από τους υπόγειους υδροφορείς για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Κατά αυτόν τον τρόπο, πέραν της εκτίμησης των πιέσεων που ασκούνται στα υπόγεια ύδατα, δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης της συνδυασμένης χρήσης επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού σε μία λεκάνη απορροής.

Εκτός από τον χώρο της διαχείρισης του αρδευτικού νερού, το MIKE SHE/MIKE 11 μπορεί να αποτελέσει ισχυρό εργαλείο διαχείρισης των υδάτινων

οικοσυστημάτων, μέσω της εκτίμησης της υδροπεριόδου τους, υπό διαφορετικές συνθήκες διαχείρισης των υδάτων στη λεκάνη απορροής τους. Στο υδρολογικό ομοίωμα της λεκάνης του Στρυμόνα, η προσομοίωση της στάθμης της Κερκίνης ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική, επιτρέποντας τη διερεύνηση της χωρικής και χρονικής κατανομής του βάθους του νερού μέσα στη λίμνη. Η πληροφορία αυτή, σε συνδυασμό με τη γνώση της επιθυμητής υδροπεριόδου των ενδιαιτημάτων, επιτρέπει την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των πιέσεων που ασκούνται σε αυτά από την υφιστάμενη διαχείριση της στάθμης της λίμνης.

Έπιπλέον, ως ιδιαίτερα θετικό χαρακτηριστικό του συστήματος θα πρέπει να αναφερθεί και το πλήθος των επιλογών που προσφέρει στον χρήστη, όσον αφορά στον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων (ισοζύγια σε επίπεδο λεκάνης απορροής ή υποπεριοχές αυτής, χάρτες με την χωρική και χρονική κατανομή ή χρονοσειρές αυτής σε ένα συγκεκριμένο σημείο των προς διερεύνηση παραμέτρων). Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η πλήρης ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, η συνεργασία μεταξύ επιστημόνων από διαφορετικούς χώρους, καθώς και η μεταφορά ακριβούς πληροφορίας, σε απλουστευμένη μορφή, στους αρμόδιους φορείς λήψης αποφάσεων. Ακόμη μέσω του MIKE SHE γίνεται η διερεύνηση της τιμής του συντελεστή στράγγισης άρα το μοντέλο βοηθάει στη διερεύνηση πρακτικών παραμέτρων οι οποίοι είναι δύσκολο να μετρηθούν.

Σκοπός της μελέτης ήταν η βαθμονόμηση των παραμέτρων του και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων βροχής-απορροής MIKE-SHE.

Γίνεται αντιληπτό από τα ανωτέρω, ότι το σύστημα MIKE SHE/MIKE11, είναι σε θέση να συμπεριλάβει και να αναπαραστήσει σχεδόν πλήρως, τόσο τα δομικά στοιχεία της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα (ανάγλυφο, έδαφος, υδρογραφικό δίκτυο, χρήσεις γης), όσο και την υφιστάμενη διαχείριση του αρδευτικού νερού. Η ρύθμιση του συστήματος επέτρεψε την ποσοτικοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των φυσικών οικοσυστημάτων και των αγροοικοσυστημάτων από την υφιστάμενη διαχείριση των τελευταίων. Ταυτόχρονα όμως έδωσε και τη δυνατότητα διερεύνησης λύσεων αλλά και της αξιολόγησης ως προς την αποτελεσματικότητα αυτών για τον μετριασμό των προβλημάτων που έχουν επέλθει από την αλληλεπίδραση των οικοσυστημάτων και αγροοικοσυστημάτων στην περιοχή.

6.Βιβλιογραφία

1. Αντωνόπουλος, Β. 1996. Ακόρεστη ροή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 138.
2. Αντωνόπουλος, Β. 1996. Ποιότητα και ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 138.
3. Μπαρτζούδης Γ. 1995. Εγγυοβελτιωτικά έργα στην πεδιάδα των Σερρών. Σελ. 57 - 82. Αειφόρος διαχείριση του νερού της λίμνης Κερκίνης. Διαλέξεις μαθημάτων, Σέρρες, στις 25-29 Σεπτεμβρίου 1995. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων / Υγροτόπων (EKBY), Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, του Υπουργείου Μακεδονίας-Θράκης (δημοσίευση MedWet). Σελ.144.
4. Carsel, R.F. and R.S. Parrish, 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. Water Resources Research, 24. 755-769 p.
5. Χατζηγιαννάκης, Στ. 1985 Μελέτη εδάφους της περιοχής της Κερκίνης. Υπουργείο Γεωργίας. Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων. Σίνδος - Θεσσαλονίκη. Σελ. 57.
6. Χατζηγιαννάκης, Στ. 1999. Περιγραφή της παράκτιας ζώνης του Στρυμονικού κόλπου και του κόλπου της Ιερισσού. Κουτράκης, Ε., Λαζαρίδου, Ε. (Συντάκτες). Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας - ΕΘΙΑΓΕ, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων / Υγροτόπων (LIFE 96 ENV). Νέα Πέραμος, Καβάλα. Σελ. 5-31
7. Chow, V. T. 1959. Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill. Tokyo. 680 p.
8. Danish Hydraulic Institute (DHI) Software. 2003. MIKE SHE User Guide. 316 p.
- 9 Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων 1962 Προμελέτη της πεδιάδας Σερρών -Μελέτη του εδάφους. . Τόμος 1. Γραφείο Υδραυλικών Έργων - Τμήμα Μελετών. Αθήνα. Σελ. 90.
10. Υπουργείο Γεωργίας. 1963. Μελέτη του εδάφους του 2ου αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας των Σερρών. Τόμος 1. Γραφείο Εγγείων Βελτιώσεων. Θεσσαλονίκη. Σελ. 96.
11. Υπουργείο Γεωργίας. 1963. Ολοκλήρωση και αναβάθμιση της μελέτης του 1ου αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας των Σερρών. Αγρο-τεχνική και Αγρο-οικονομική μελέτη. Τόμος 1. Θεσσαλονίκη. Σελ. 107.

12. Υπουργείο Γεωργίας. 1969. Μελέτη του εδάφους Μεγαλοχώρι -. Χρυσοχώραφα της πεδιάδας των Σερρών. Τόμος 1. Γραφείο Εγγείων Βελτιώσεων. Σέρρες. Σελ. 27.
13. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. 1985. Οριστική μελέτη εγγειοβελτιωτικών έργων στην περιοχή της λίμνης Κερκίνης. Αγρο-τεχνική μελέτη. Τόμος Α. Γραφείο Υδραυλικών Έργων - (1η ΔΕΚΕ). Σέρρες. Σελ. 49.
14. Υπουργείο Γεωργίας. 1986. Μελέτη του εδάφους του 5ου αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας των Σερρών. Γραφείο Εγγείων Βελτιώσεων. Αθήνα. Σελ. 66.
15. Υπουργείο Γεωργίας. 1987. Μελέτη του εδάφους του κεντρικού τμήματος του 5ου αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας των Σερρών. Γραφείο Εγγείων Βελτιώσεων. Αθήνα. Σελ. 44.
16. Υπουργείο Γεωργίας. 1987. Μελέτη εδάφους των Μύρκινος, Παλαιοκώμη και Καΐναρτζά, του 5^{ου} αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας των Σερρών. Γραφείο Εγγείων Βελτιώσεων. Αθήνα. Σελ. 63.
17. Μερτζιάνης, Χρ. 1994. Study Case of Flood Waves at Strymonas River. M.Sc. διατριβή. Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 133 (μέσα στο Chalkidis I, Papadimos D, Mertzianis Ch. 2004. Strymonas Basin Integrated Surface Water & Groundwater Model, Phase I, Input Data and Model Set up. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY): Thermi - Greece. 56p.)
18. Μίσιου, Μ. 1996. Εισροή -Υπόλοιπο εκροής της τεχνητής λίμνης Κερκίνης στην αρδευτική περίοδο 1996 Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων. Σελ. 30.
19. Μίσιου, Μ. 2001. Ετήσια έκθεση. Δεδομένα των δομών λειτουργίας άρδευσης, τα στατιστικά στοιχεία καλλιέργειας και διανομής νερού στα αρδευτικά δίκτυα, το έτος 2000. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Σερρών, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων. Σελ.5.
20. Παπαζαφειρίου, Ζ. 1984. "Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Σελ. 484
21. Παπαζαφειρίου, Ζ. και Αντωνόπουλος, Β. 1990. "Υδραυλική Περιβάλλοντος", Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Σελ. 270.
22. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. 2001. "Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων", Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Σελ 394.

23. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ.2001. Διαχείριση υδρολογικής έρευνας και υδάτινων πόρων. Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 52.
24. Ψιλοβίκος, Α., Α. Αλμπανάκης και Ε. Παπαφιλίππου-Πέννου. 1992. Research of Lake Kerrkini's and Strymonas River bands illuviation problem and deal with proposals. Επιτροπή Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Σελ.205 (μέσα στο Chalkidis I, Papadimos D, Mertzianis Ch. 2004. Strymonas Basin Integrated Surface Water & Groundwater Model, Phase I, Input Data and Model Set up. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY): Thermi - Greece. 56p.)
25. Ψιλοβίκος, Α. 1994. Study - Research of environmental impacts from protected areas constructions at upstream and downstream of Strymonas River at Lake Kerkini at torrents and at the plain area of Serres. Τόμος 2. Επιτροπή Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. (μέσα στο Chalkidis I, Papadimos D, Mertzianis Ch. 2004. Strymonas Basin Integrated Surface Water & Groundwater Model, Phase I, Input Data and Model Set up. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY): Thermi - Greece. 56p.)
26. Σπυρόπουλος, Αθ.. και Γκαντίδης Ν. 1990. Μελέτη του εδάφους στην περιμετρική ζώνη της λίμνης Κερκίνης. Ημερίδα για την προστασία και τη διαχείριση των ελληνικών υγροτόπων. Θεσσαλονίκη . Σελ.305-309
27. Τζιμόπουλος Χρ. 1995. Γεωργική Υδραυλική Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. Τόμος 1. Σελ.164
28. Vereecken, H., J. Maes, J. Feyer and P. Darius. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. Soil Science. Vol.148. 389-403.
29. Vouvalidis, K. 1998. Morphological, sedimentologic, oceanographic fermentations and anthropogenetic interventions witch contribute in development of estuary system of Strymonas River. Doctoral thesis. School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki. 198 p.
30. Feyen, L., R. Vazquez, K. Christianes, O. Sels and J. Feyen. 2000. Application of a distributed physically-based hydrological model to a medium size catrchment. Hydrology & Earth System Sciences, 4(1): p.47-63.

31. Refsgaard, J.C., B. Storm. 1996. Construction, calibration and validation of hydrological models. In Abbott, M.B., Refsgaard, J.C. (Eds.), *Distributed Hydrological Modelling*. Kluwer Academic, pp.41-54.

32. Refsgaard, J.C. 1997. Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 198: 69-97.

33. Sooroshian, S., and V.K. Gupta. 1995. Model Calibration. In: *Computer Models of Watershed Hydrology*, V.P. Singh, (Ed). Water Resources Publications, Colorado, USA, 23-68.

34. Vazquez, R.F., and J.Feyen. 2003. Effect of potential evapotranspiration estimates on effective parameters and performance of the MIKE SHE-code applied to a medium-size catchment. *Journal of Hydrology*, 270:309-327.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000122949