

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

« Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων »

Μεταπτυχιακή Εργασία

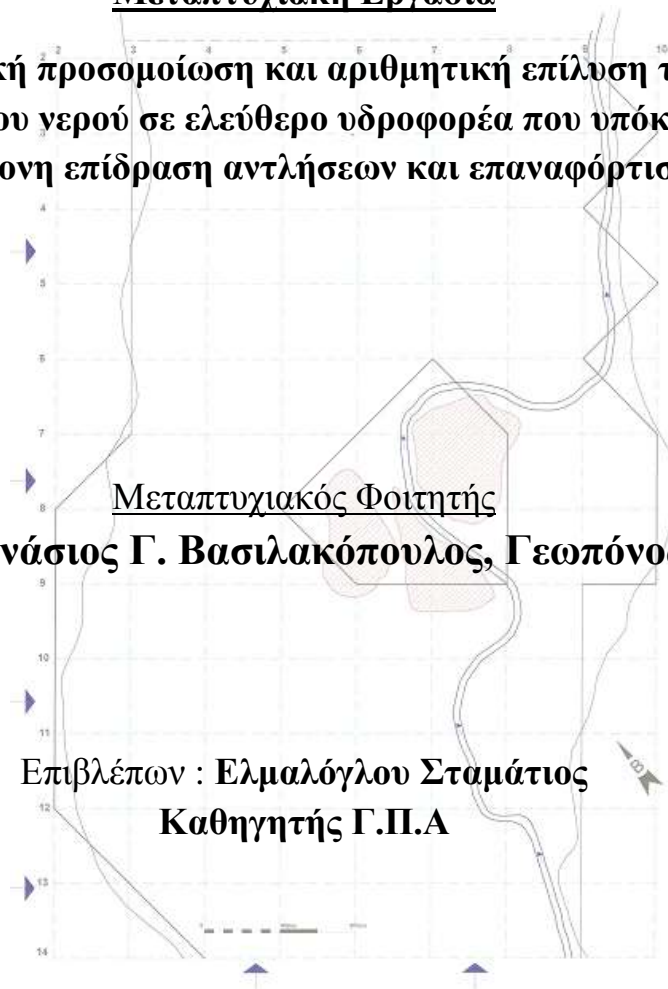
Μαθηματική προσομοίωση και αριθμητική επίλυση της ροής του υπόγειου νερού σε ελεύθερο υδροφορέα που υπόκειται σε σύγχρονη επίδραση αντλήσεων και επαναφόρτισης

Μεταπτυχιακός Φοιτητής

Αθανάσιος Γ. Βασιλακόπουλος, Γεωπόνος

Επιβλέπων : Ελμαλόγλου Σταμάτιος

Καθηγητής Γ.Π.Α



ΑΘΗΝΑ 2010

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

« Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων »

Μεταπτυχιακή Εργασία

Μαθηματική προσομοίωση και αριθμητική επίλυση της ροής του υπόγειου νερού σε ελεύθερο υδροφορέα που υπόκειται σε σύγχρονη επίδραση αντλήσεων και επαναφόρτισης

Μεταπτυχιακός Φοιτητής

Αθανάσιος Γ. Βασιλακόπουλος, Γεωπόνος

Επιβλέπων : Ελμαλόγλου Σταμάτιος, Καθηγητής Γ.Π.Α

Τριμελής Επιτροπή

Ελμαλόγλου Σταμάτιος, Καθηγητής Γ.Π.Α

Καραντούνιας Γεώργιος, Καθηγητής Γ.Π.Α

Σταμάτης Γεώργιος, Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α

ΑΘΗΝΑ 2010

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ολόψυχα όλους όσους με βοήθησαν, με οποιοδήποτε τρόπο, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον Καθηγητή μου στις προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές κ. Σταμάτη Ελμαλόγλου τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την καθοδήγηση και τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής κ. Γ. Καραντούνια Καθηγητή του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του ΓΠΑ και Γ. Σταμάτη Αναπλ. Καθηγητή του εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γενικού Τμήματος του ΓΠΑ για τις ιδιαίτερα χρήσιμες υποδείξεις τους κατά την εκπόνηση και τη σύνταξη της παρούσας εργασίας.

Τέλος ιδιαίτερα ευχαριστώ την οικογένειά μου που είναι πάντα δίπλα μου.

Βασιλακόπουλος Αθανάσιος
Αθήνα, Μάιος 2010

Ευχαριστίες	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	ii
Περίληψη	iv
Abstract	vi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την υδραυλική τους αγωγιμότητα	1
1.2. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων	2
1.3. Τύποι ροής νερού σε υδροφόρα στρώματα	3
1.4. Ισοζύγιο του νερού ενός υδροφόρου στρώματος	4
1.5. Εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων	5
2. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	8
2.1. Γεωλογία-Γεωμορφολογία-Υδρογεωλογία της μελετώμενης περιοχής.....	8
2.2. Επαναφόρτιση	15
2.3. Εκφόρτιση	17
3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	19
3.1. Εξίσωση Boussinesq.....	19
3.2. Τρόποι επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης του Boussinesq.....	20
3.3. Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Ελμαλόγλου, 2009).....	23
3.3.1. Βασικοί τύποι διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους β' τάξης.....	23
3.3.2. Η δομή των προσεγγίσεων των πεπερασμένων διαφορών	24
3.4. Ειδικά υπολογιστικά σχήματα για την εξίσωση του Boussinesq	27
3.4.1. Η μέθοδος A.D.I.	28
3.4.1.1. Γενικότητες.....	28
3.4.1.2. Αριθμητική λύση με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ADI (Alternative Direction Implicit) (πεπλεγμένη μέθοδος εναλλασσόμενων διευθύνσεων)	29
3.4.2. Ανάπτυξη της μεθόδου SOR.	34
4. ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	37
4.1. Αρχικές συνθήκες.....	37

4.2.	Οριακές συνθήκες.....	37
4.2.1.	Γενικότητες.....	37
4.2.2.	Το χωρικό πλέγμα.....	38
4.2.3.	Ειδικές οριακές συνθήκες του φυσικού προβλήματος	39
4.2.4	Σύνθεση των ορίων.....	44
5.	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	49
5.1.	Αριθμητικά αποτελέσματα	49
5.2.	Ευσαιθησία του μαθηματικού ομοιώματος	59
5.3.	Τροποποιήσεις των ορίων	67
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	Π1

Περίληψη

Η επίλυση διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν προβλήματα κίνησης του υπόγειου νερού σε υδροφόρους σχηματισμούς με αναλυτικές λύσεις δεν είναι πάντα δυνατή. Τα τελευταία χρόνια τόσο η αλματώδης ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών όσο και της αριθμητικής ανάλυσης επιτρέπουν την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων με τη βοήθεια των αριθμητικών μεθόδων.

Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας παρουσιάζονται δύο μαθηματικά ομοιώματα πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της κίνησης του υπόγειου νερού σε ένα ελεύθερο υδροφόρο στρώμα. Το ένα από τα δύο χρησιμοποιείται για την επίλυση του συγκεκριμένου φυσικού προβλήματος που είναι και το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο (εισαγωγή) της εργασίας αυτής, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τα υδροφόρα στρώματα, τους τύπους ροής και την εκμετάλλευσή τους. Ακόμη περιλαμβάνεται μία σύντομη αναφορά στους σημαντικότερους ερευνητές που έχουν επιλύσει προβλήματα υπόγειας ροής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το φυσικό πρόβλημα σε όλη του την έκταση. Υπάρχουν σαφείς αναφορές Γεωλογία – Γεωμορφολογία και Υδρογεωλογία της μελετώμενης περιοχής. Επίσης αναφέρονται οι διάφοροι τρόποι επαναφόρτισης και εκφόρτισης του υδροφόρου στρώματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται η εξίσωση της μη μόνιμης ροής του υπόγειου νερού του Boussinesq καθώς και οι διάφοροι τρόποι επίλυσης της. Δίνεται αναλυτική περιγραφή της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών. Ακόμη περιγράφονται αναλυτικά δύο διακριτικά σχήματα της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών που συνήθως χρησιμοποιούνται για την αριθμητική επίλυση προβλημάτων κίνησης του υπόγειου νερού σε υδροφόρους σχηματισμούς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βοηθητικές συνθήκες (αρχικές και οριακές) καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται στο μοντέλο για την καλύτερη προσέγγιση του στις πειραματικές παρατηρήσεις.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στην αξιοποίηση του μαθηματικού ομοιώματος καθώς και τη διαδικασία ελέγχου και σύγκλισης του. Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου ως προς τις υδραυλικές παραμέτρους του

υδροφορέα καθώς και διερεύνηση της ανταπόκρισης της πιεζομετρίας του υδροφόρου σε μεταβολή των εσωτερικών του ορίων.

Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πιο πάνω μελέτη, καθώς και η ακρίβεια και η δυνατότητα χρήσης των αριθμητικών μεθόδων σε προβλήματα υπόγειας ροής που δεν είναι δυνατό να επιλυθούν με αναλυτικές ή άλλες μεθόδους.

Στο παράρτημα, τέλος, δίνεται το λογικό διάγραμμα (FLOW CHART), τα δεδομένα του προγράμματος (INPUT) καθώς και κάποια αριθμητικά αποτελέσματα (OUTPUT).

Λέξεις κλειδιά: Προσομοίωση, Ελεύθερος υδροφόρος, Μαθηματικό μοντέλο, Πεπερασμένες διαφορές, Διαδοχική υπερχαλάρωση

Abstract

The resolution of differential equations that they describe problems of movement of underground water in water wagon shapings with analytic solutions are not every possible. In the past few year so much the swift growth of computers of what numerical analysis they allow the resolution of complicated problems with the help of numerical methods.

In the frames of development of present postgraduate work are presented two mathematic effigies of finite differences that are used for the study of movement of underground water in a free water wagon layer. One from the two it is used for the resolution of particular natural problem that is also the object of this work.

In the first chapter (import) this work, are presented in general elements for the geological shapings, the water wagon layers, the types of flow and their exploitation. Still is included a short report in the more important researchers that have solved problems of underground flow.

In the second chapter is presented the natural problem in all the extent. Exist explicit reports Geology - Geomorphology and Hydrogeology of studied region. Also are reported the various ways of recharge and [ekfortisis] water wagon layer.

In the third chapter are reported the equation of not permanent flow of underground water of Boussinesq as well as her various ways of resolution. Is given analytic description of method of finite differences. Still are described analytically two insignias forms of method of finite differences that are usually used for the numerical resolution of problems of movement of underground water in water wagon shapings.

In the fourth chapter are reported the auxiliary conditions (initial and marginal) as well as the way with which they are imported in the model for his better approach in the experimental observations.

The fifth chapter is reported in the exploitation of mathematic effigy as well as the process of control and his convergence. Are realised analysis of sensitivity of model as for the hydraulic parameters of water-bearign stratum as well as investigation of correspondence of [piezometrias] water wagon in change of his internal limits.

Finally are reported the conclusions that result from the above study, as well as the precision and the possibility of use of numerical methods in problems of

underground flow that it is not possible they are solved with analytic or other methods.

In the annex, finally, are given reasonable diagram (FLOW CHART), the data of program (INPUT) as well as certain numerical results (OUTPUT).

Keywords : Simulation, Unconfined aquifer, Mathematic model, Finite differences, Successive over-relaxation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάτω από την επιφάνεια του εδάφους το νερό βρίσκεται σε δύο ζώνες:

- Την ακόρεστη ζώνη, στην οποία οι πόροι του εδάφους είναι μερικά πληρωμένοι από νερό και μερικά πληρωμένοι από αέρα.
- Την κορεσμένη ζώνη, στην οποία όλοι οι πόροι του εδάφους είναι πληρωμένοι από νερό.

Γενικά η ακόρεστη ζώνη υπέρκειται της κορεσμένης και βρίσκεται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η κορεσμένη ζώνη περιορίζεται προς τα πάνω από αδιαπέρατα ή ημιδιαπερατά υπερκείμενα στρώματα ή όταν δεν υπάρχουν αυτά, από την ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού που καλείται φρεατική επιφάνεια ή στάθμη υπόγειου νερού.

Το υπόγειο νερό καθορίζεται σαν το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και που χαρακτηρίζεται από θετικές υδροστατικές πιέσεις. Συνήθως περιορίζεται από μία ανώτερη επιφάνεια όπου η πίεση του νερού είναι ίση με την ατμοσφαιρική και που διαχωρίζει μια κατώτερη κορεσμένη ζώνη από ανώτερη ακόρεστη. Με την επιφάνεια αυτή ταυτίζεται η στάθμη του υπόγειου νερού.

1.1. Διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την υδραυλική τους αγωγιμότητα

Υδροφορέας ή υδροφόρο στρώμα (aquifer, aqua=νερό, ferre=φέρω) [Todd 1959, Τερζίδης 1974] καλείται ένας γεωλογικός σχηματισμός ή στρώμα που περιέχει νερό και επιτρέπει σε σημαντική ποσότητα νερού να κινείται δια μέσου αυτού με κανονικές συνθήκες. Τα καλά υδροφόρα στρώματα αποτελούνται συνήθως από αλλουβιακές αποθέσεις άμμου και χαλικιών.

Αδιαπέρατο στρώμα (aquiclude) καλείται ένας γεωλογικός σχηματισμός που μπορεί να περιέχει νερό σε σημαντικές ποσότητες, δεν είναι όμως ικανός να μεταβιβάσει σημαντικές ποσότητες νερού (π.χ. ένα αργιλικό στρώμα).

Ημιδιαπερατό στρώμα (aquitard) καλείται ένα γεωλογικός σχηματισμός που μεταβιβάζει νερό σε πολύ μικρή ποσότητα σε σχέση με το υδροφόρο στρώμα. Εντούτοις για

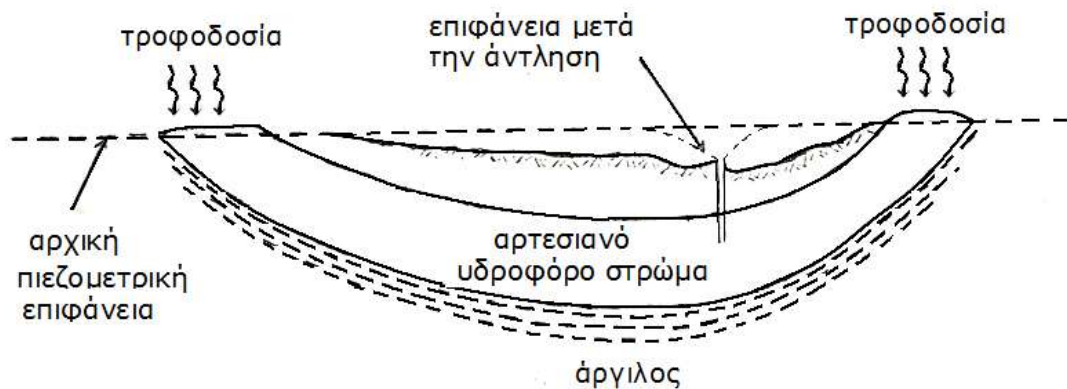
μια μεγάλη οριζόντια επιφάνεια, μπορεί να επιτρέψει το πέρασμα ικανών ποσοτήτων νερού μεταξύ προσκείμενων υδροφόρων στρωμάτων που χωρίζονται από το ημιδιαπερατό στρώμα.

Άνυδρο στρώμα (aquifuge) καλείται ο γεωλογικός αδιαπέρατος σχηματισμός που ούτε περιέχει ούτε μεταβιβάζει νερό.

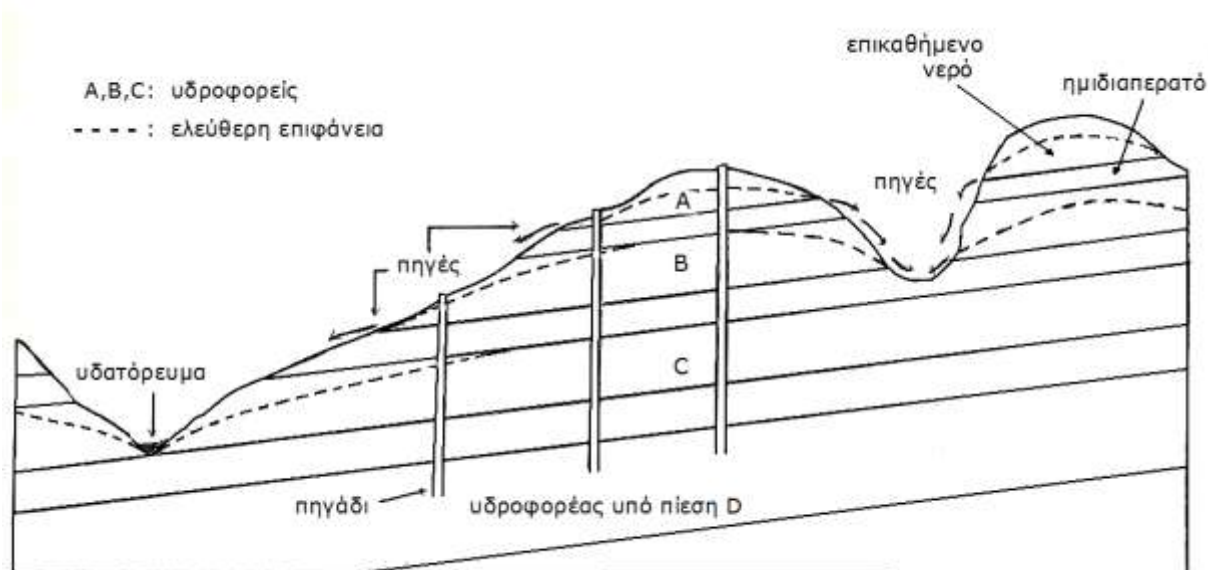
1.2. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων

Περιορισμένα (confined) ή υπό πίεση υδροφόρα στρώματα είναι εκείνα στα οποία το υπόγειο νερό είναι περιορισμένο υπό πίεση από αδιαπέρατα ή ημιδιαπερατά στρώματα. Το νερό μέσα σε ένα πηγάδι που εισχωρεί σ' ένα αρτεσιανό στρώμα, θα ανέβει πάνω από το υδροφόρο στρώμα και μπορεί να φτάσει πολλές φορές μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Η ονομασία «αρτεσιανό» προήλθε από την περιοχή Artois στη Φλάνδρα, όπου υπήρχαν ονομαστά πηγάδια από το 1100 π.Χ. στα οποία το νερό έφτανε μέχρι τη επιφάνεια του εδάφους. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται μια τυπική περίπτωση ενός αρτεσιανού στρώματος, όπου το νερό βρίσκεται υπό πίεση μέσα στο υδροφόρο στρώμα και φτάνει, δια μέσου του πηγαδιού, πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Υδροφόρα με ελεύθερη επιφάνεια ή φρεατικά υδροφόρα στρώματα είναι εκείνα στα οποία η επάνω επιφάνεια στη ζώνη κορεσμού βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση. Η επιφάνεια αυτή καλείται ελεύθερη ή φρεατική επιφάνεια. Το νερό ουδέποτε ανέρχεται πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια. Μια ειδική περίπτωση υδροφορέα με ελεύθερη επιφάνεια αποτελεί το επικαθήμενο υδροφόρο στρώμα. Αυτό συμβαίνει όταν ένα σχετικά μικρό αδιαπέρατο στρώμα ή ημιδιαπερατό στρώμα υποβαστάζει ένα στρώμα υπόγειων νερών που βρίσκεται πάνω από τη κύρια φρεατική επιφάνεια (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.1. Περίπτωση αρτεσιανού στρώματος με πηγάδι



Σχήμα 1.2. Τύποι υδροφόρων στρωμάτων

1.3. Τύποι ροής νερού σε υδροφόρα στρώματα

Το νερό ενός υδροφόρου στρώματος κινείται προς την κατεύθυνση του μικρότερου δυναμικού με ταχύτητα που είναι ανάλογη προς την κλίση του δυναμικού και την υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου στρώματος.

Η ροή του υπόγειου νερού μπορεί να διακριθεί:

- i. Σταθερή ή μόνιμη ροή, όταν οι εξαρτημένες μεταβλητές της είναι συναρτήσεις μόνο των συντεταγμένων του χώρου.
- ii. Ασταθή ή μη μόνιμη ροή, όταν οι εξαρτημένες μεταβλητές της είναι συναρτήσεις και του χρόνου.

1.4. Ισοζύγιο του νερού ενός υδροφόρου στρώματος

Ένα υδροφόρο στρώμα τροφοδοτείται με νερό με τους εξής τρόπους [Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία, 2007]:

1. Από κατείδυση (T_K) κατά άμεσο τρόπο, δηλαδή το νερό που κατεισδύει και φθάνει κατευθείαν στο υπόψη υδροφόρο στρώμα, στο νερό του οποίου προστίθεται.
2. Από επιφανειακά νερά (T_E) π.χ από νερά ποταμών τα οποία διηθούνται από την κοίτη, από νερά λιμνών, κλπ.
3. Από πλευρικές εισροές (T_π) δηλαδή από τα υπόγεια νερά του παράπλευρου υδροφόρου στρώματος κινούνται και έρχονται στο εξεταζόμενο.
4. Από υπερκείμενα υδροφόρα στρώματα (T_ν) το νερό με πολύ βραδύ ρυθμό περνά το ημιδιαπερατό στρώμα που χωρίζει δύο επάλληλα στρώματα και τροφοδοτεί το υποκείμενο.
5. Από τεχνική τροφοδοσία (T_T) που μπορεί να γίνει δια μέσου τάφρων, πηγαδιών, κλπ.
6. Από τροφοδοσία (T_α) από το ανάντη τμήμα του υδροφόρου.

Το νερό δε μένει μόνιμα στο υδροφόρο στρώμα αλλά εξέρχεται από αυτό με διάφορους τρόπους όπως:

1. Με απώλειες από τη εξατμισοδιαπνοή (A_E).
2. Με απώλειες προς τα επιφανειακά νερά με μορφή πηγών και αναβλύσεων (A_π).
3. Με απώλειες λόγω πλευρικών εκροών ($A_{\pi,εκ}$).
4. Με απώλειες λόγω διαφυγής προς υποκείμενα στρώματα (A_ν).
5. Με απώλειες από πηγάδια, γεωτρήσεις, υδρομαστευτικά έργα, κλπ., δηλαδή τεχνητές απώλειες από παρέμβαση του ανθρώπου (A_T).
6. Με απώλειες ($A_{\text{ποτ}}$) προς ποτάμια και λίμνες.
7. Με απώλειες (A_K) προς την κατάντη περιοχή.

Έτσι τελικά το ισοζύγιο του νερού ενός υδροφόρου στρώματος θα είναι :

$$T_{\kappa} + T_{\varepsilon} + T_{\pi} + T_{\nu} + T_{\tau} + T_{\alpha} = A_{\varepsilon} + A_{\pi} + A_{\pi\lambda} + A_{\nu} + A_{\tau} + A_{\kappa} + A_{\rho\sigma\tau} \pm \Delta Q$$

όπου:

ΔQ : η μεταβολή του όγκου του νερού του υδροφόρου στρώματος

T : η τροφοδοσία

A : οι απώλειες

1.5. Εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων

Από το απόθεμα του νερού, πάνω στη γη, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γεωργία, τις οικιακές και τις βιομηχανικές ανάγκες ένα ποσοστό 0,4% αποτελεί το διαθέσιμο επιφανειακό νερό των λιμνών και των ποταμών. Το υπόλοιπο 99,6% του γλυκού νερού αποτελείται από τα υπόγεια νερά (30,9%) και από τα νερά υπό μορφή πάγου (68,7%) και από άλλες μορφές νερού (έλη, εδαφικός πάγος κ.λ.π) [Gleick, P. H., 1996].

Ένα μέρος του αποθέματος των υπόγειων νερών δεν είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμο για λόγους τεχνικούς και οικονομικούς. Από την ποσότητα του υπόγειου νερού, ένα μέρος μπορεί να θεωρηθεί ως κατ' αρχήν εκμεταλλεύσιμο γιατί το υπόλοιπο βρίσκεται σε τόσο μεγάλο βάθος μέσα στη γη που η χρησιμοποίησή του να θεωρείται οικονομικά ασύμφορη. Υπολογίζεται ότι τα μη χρησιμοποιούμενα υπόγεια νερά είναι ένα ποσοστό 68% των συνολικών υπόγειων νερών. Το υπόλοιπο περίπου 32% είναι το νερό που βρίσκεται σε εκμεταλλεύσιμα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

Είναι χαρακτηριστικό ότι όσο αυξάνεται ο πληθυσμός της γης αντίστοιχα αυξάνονται και οι ανάγκες των ανθρώπων σε νερό. Επίσης αυξάνονται οι ανάγκες σε νερό στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και μάλιστα με πολύ γρήγορο ρυθμό. Έτσι είναι φανερή η ανάγκη έρευνας των υπόγειων υδροφορέων με τελικό σκοπό την εκμετάλλευσή τους.

Τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα είναι ένας πολύ καλός τρόπος αποθήκευσης των χειμερινών νερών, πολύ πιο καλός από τις τεχνητές λίμνες που δημιουργούνται από την τοποθέτηση φραγμάτων. Ένα άλλο πλεονέκτημα των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων είναι ότι μπορούν να εμπλουτιστούν με τη διοχέτευση σ' αυτά των χειμερινών επιφανειακών νερών.

Στη χώρα μας τα νερά των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων αποτελούν ένα σοβαρό κομμάτι του υπόγειου πλούτου μας. Το υπόγειο νερό πλεονεκτεί απέναντι στα μεταλλεύματα γιατί αξιοποιείται με εγχώρια κεφάλαια, δεν περνάει οικονομική κρίση από έλλειψη ζήτησης και το σπουδαιότερο δεν εξαντλείται (όπως τα μεταλλεύματα) αλλά το απόθεμά του συνεχώς αναπληρώνεται.

Η έρευνα των υπόγειων υδροφορέων γίνεται με επιτόπου μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού μέσα σε ειδικά για το σκοπό αυτό πηγάδια που λέγονται πιεζόμετρα παρακολούθησης. Δοκιμαστικές γεωτρήσεις επιτρέπουν την εκτίμηση των παραμέτρων (υδραυλικά χαρακτηριστικά) του υδροφόρου στρώματος. Στη συνέχεια είναι δυνατόν να φτιαχτούν από ειδικούς, μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους ή να δοθούν αναλυτικές λύσεις όπου είναι δυνατό.

Το 1856 ο Γάλλος Μηχανικός *Henri Darcy* [Darcy, 1856] ήταν ο πρώτος που έδωσε ένα μαθηματικό νόμο για τη ροή των υπόγειων νερών. Το 1870 ο Γερμανός *Adolph Thiem* [Thiem, 1870] έδωσε ένα τύπο για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών ενός υδροφόρου στρώματος, θεωρώντας ότι η ροή του νερού είναι μόνιμη. Το 1935 ο *C. Theis* [Bear, 1979] έδωσε μια λύση για τη μη μόνιμη ροή σε κλειστά υδροφόρα στρώματα. Επίσης ο *Hantush* και ο *Jacob* το 1955 μελέτησαν την κίνηση του υπόγειου νερού σε ημίκλειστα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. Αναλυτικές λύσεις δεν εξάγονται για πολύπλοκα φυσικά προβλήματα χωρίς παραδοχές και απλοποιήσεις οι οποίες δίνουν αποτελέσματα που απέχουν από τη πραγματικότητα. Με την αλματώδη ανάπτυξη τόσο των ηλεκτρονικών υπολογιστών όσο και της αριθμητικής ανάλυσης έχουν επιτευχθεί σημαντικές λύσεις της ροής του υπόγειου νερού [Ελμαλόγλου, 2009].

Έτσι είναι δυνατόν να γίνει μια εκτίμηση των δυνατοτήτων του υδροφορέα, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τη σύνταξη προγραμμάτων αντλήσεων και χρήσης του αντλούμενου νερού ανάλογα με τις τοπικές ανάγκες ή τις ανάγκες μιας μεγαλύτερης περιοχής. Οι μελέτες αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται σε μεγαλύτερα προγράμματα ανάπτυξης περιοχών και έχουν σαν σκοπό την όσο δυνατόν καλύτερη χρήση του νερού των υπόγειων στρωμάτων για τη διατήρηση του υδατικού ισοζυγίου και για λόγους κοινωνικούς, οικονομικούς, πολιτιστικούς κλπ.

Ένα βασικό στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία ενός αρδευτικού έργου είναι η γνώση της μεταβολής της πιεζομετρικής στάθμης του υπόγειου νερού κάτω από τις διάφορες συνθήκες εκμετάλλευσης του.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε με τη βοήθεια μιας μεθόδου πεπερασμένων διαφορών η μη μόνιμη ροή του νερού (μεταβολή της πιεζομετρικής στάθμης) σ' ένα ελεύθερο υδροφόρο στρώμα. Το υδροφόρο αυτό στρώμα είναι μέρος της κοιλάδας του ποταμού Arklow η οποία βρίσκεται στην Ανατολική πλευρά της Δημοκρατίας της Ιρλανδίας. [Mimides, 1977]. Από τη μαθηματική προσομοίωση αυτή πάρθηκαν αποτελέσματα που συγκρίθηκαν με υποθετικά πειραματικά δεδομένα του Δεκεμβρίου του 1974. (βλέπε παράγραφο 2.3.). Η σύγκριση αυτή έδειξε την καλή σύγκλιση του μαθηματικού μοντέλου. Η σύγκλιση ελέγχτηκε ακόμη με το ισοζύγιο του νερού του υδροφόρου στρώματος (βλέπε παράγραφο 5.1.).

Στη συνέχεια έγινε ανάλυση ευαισθησίας του μαθηματικού μοντέλου.

Κατόπιν αλλάχθηκαν υποθετικά τα εσωτερικά όρια και παρακολούθηθηκε κατά πόσο η αλλαγή αυτή επηρεάζει τη διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα την ίδια χρονική περίοδο. Τα αποτελέσματα αυτής της μαθηματικής προσομοίωσης χαρτογραφήθηκαν και αυτή η διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα φαίνεται στον αντίστοιχο χάρτη 6.

Η επίλυση των συστημάτων γραμμικών εξισώσεων που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών έγινε με τη βοήθεια Η/Υ. Το πρόγραμμα γράφτηκε σε γλώσσα FORTRAN 77.

2. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

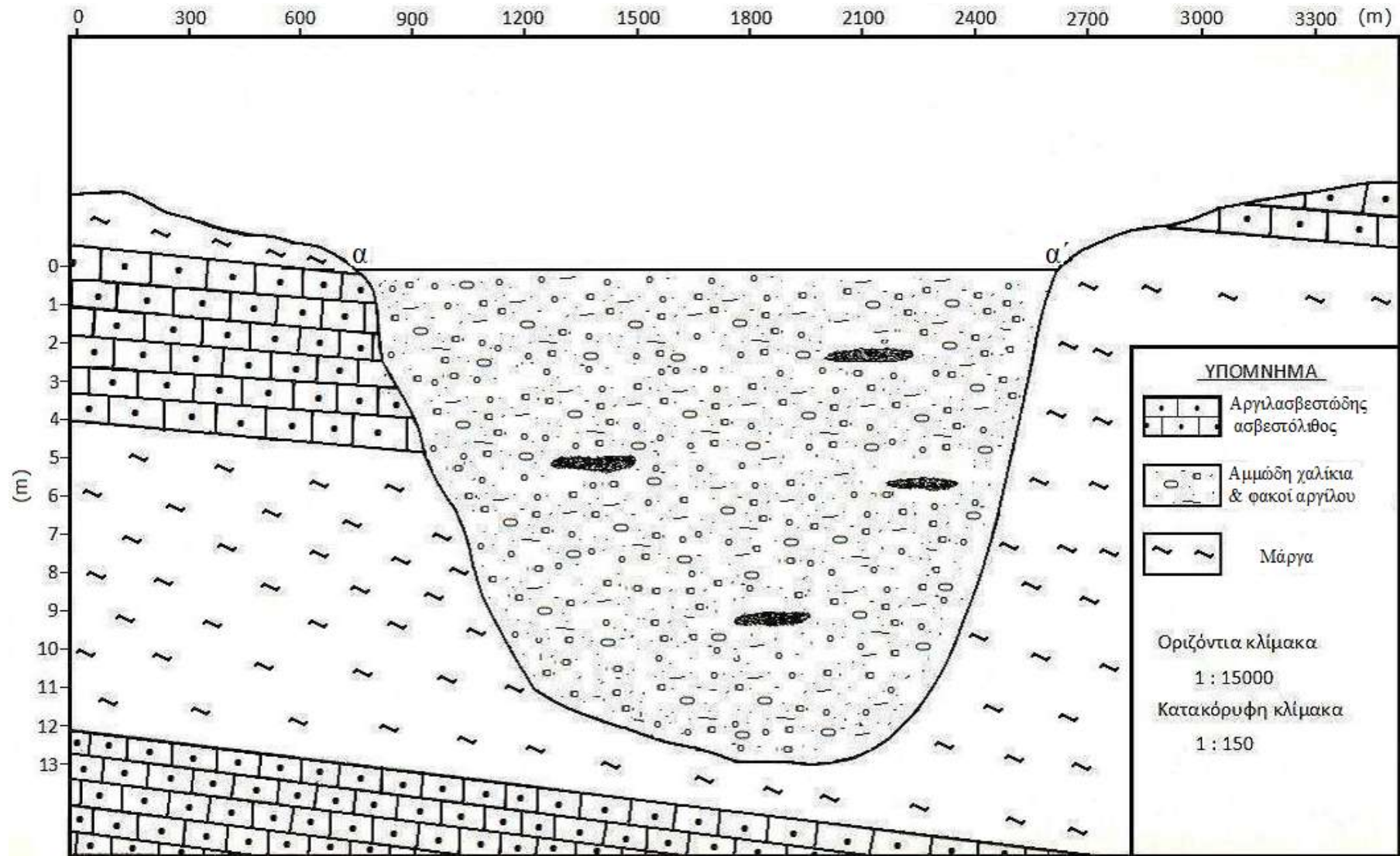
2.1. Γεωλογία-Γεωμορφολογία-Υδρογεωλογία της μελετώμενης περιοχής

Η υπό μελέτη τοποθεσία είναι ένα τμήμα μιας κοιλάδας που διαρρέεται από ένα ποτάμι το οποίο ρέει από νότιο-δυτικά προς βόρειο-ανατολικά, διασχίζοντας την κοιλάδα κατά μήκος. Το σχήμα της κοιλάδας και η θέση του ποταμού που τη διαρρέει φαίνονται στον τοπογραφικό χάρτη [Mimides, 1977]. Η συνολική έκταση της υπό μελέτη περιοχής είναι περίπου 14 km² (χάρτης 1).

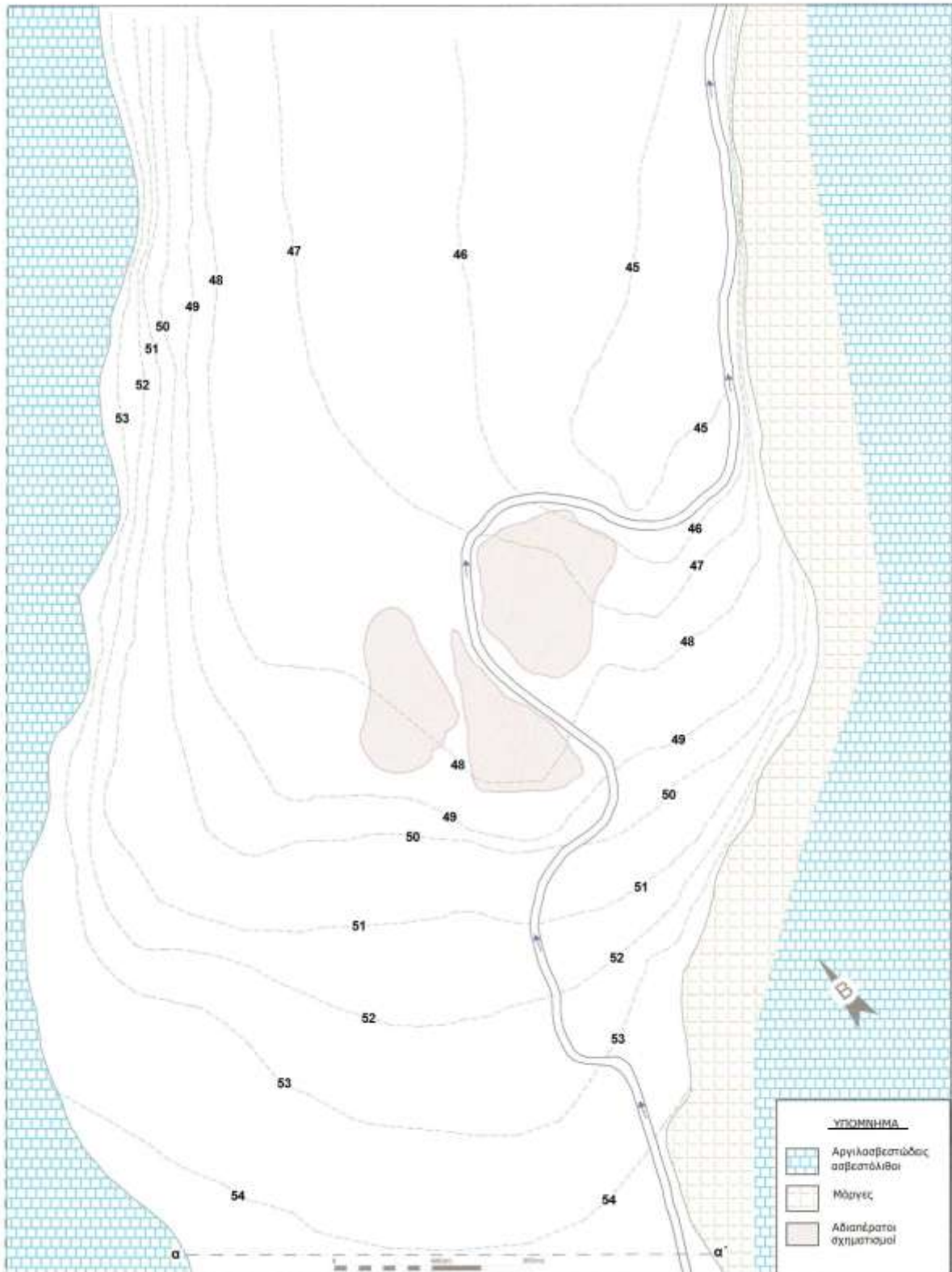
Στο σχήμα 2.1 δίνεται μια κατακόρυφη τομή της κοιλάδας κατά τη διεύθυνση **αα'** (βλ. χάρτη 1). Στο σχήμα 2.1 φαίνονται τρεις διαφορετικές γεωλογικές μονάδες:

- i. Ο αργιλασβεστώδης (μαργαϊκός ασβεστόλιθος)
- ii. Η μάργα
- iii. Η προσχωματική (αλλουβιακή) κοιλάδα που έχει διαβρώσει τις δύο προηγούμενες μονάδες και έτσι βρίσκεται ανάμεσά τους.

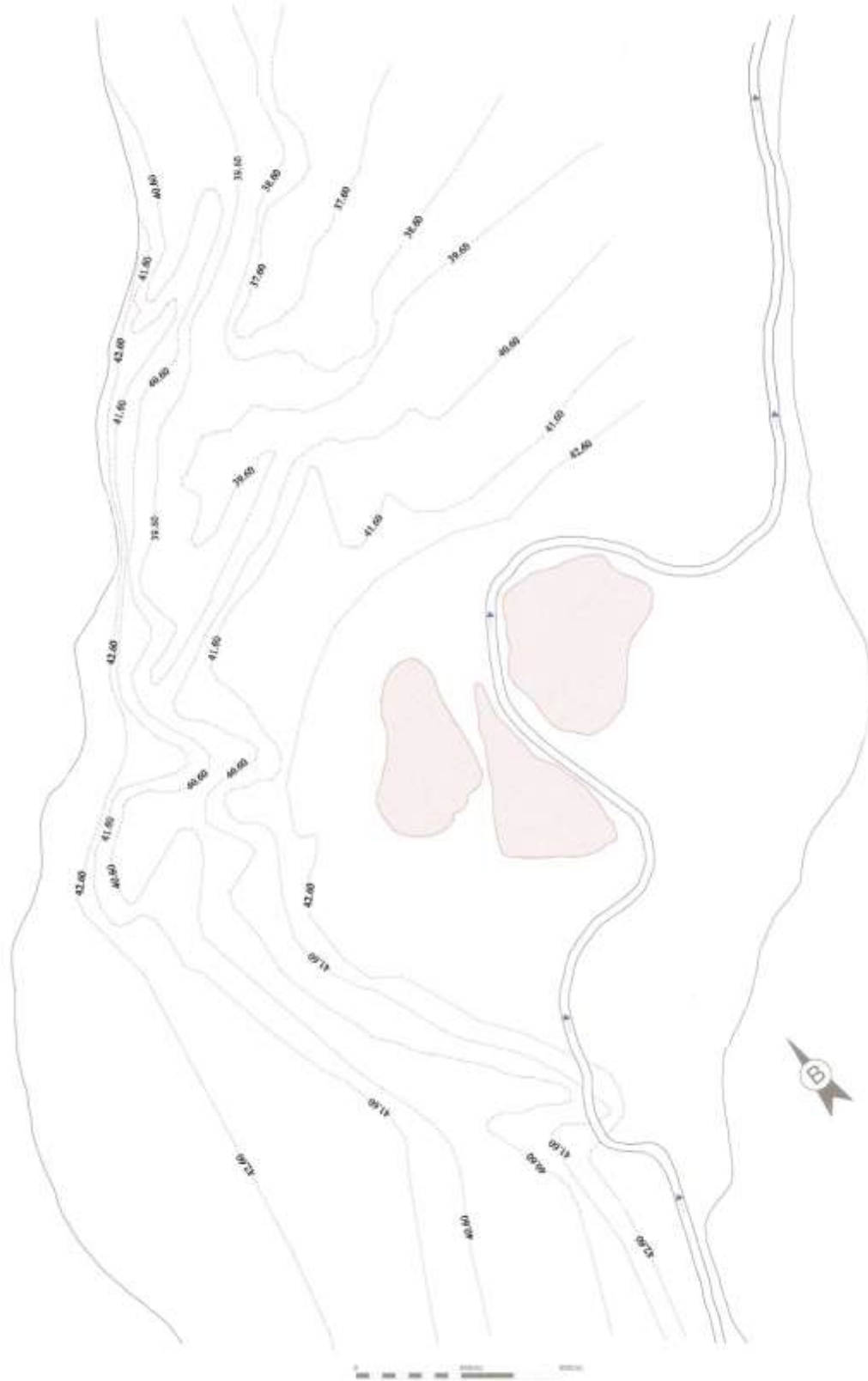
Όπως φαίνεται από το χάρτη 1, το σχήμα 2.1 και το χάρτη 2 η υπό μελέτη περιοχή είναι μια πεδινή και ρηχή γη. Το τυπικό της σχήμα είναι το ίδιο ακριβώς με το σχήμα ενός αλλουβιακού πεδίου. Οι κλιματολογικές συνθήκες είναι αρκετά ευνοϊκές για μια ποικιλία καλλιεργειών. Έτσι το νερό που αντλείται από τον υδροφορέα χρησιμοποιείται τόσο σαν νερό άρδευσης όσο και σαν νερό ύδρευσης. Πράγματι υπάρχουν τέσσερα πηγάδια εκφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα που εντοπίζονται στις θέσεις N, L, X, Y (χάρτης 3). Ακόμη υπάρχουν είκοσι ένα πιεζόμετρα παρακολούθησης και ελέγχου της στάθμης του υδροφορέα που βρίσκονται στις θέσεις A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M, O, P, Q, R, S, T, U, V και W (χάρτης 3). Το ποτάμι ρέει κατά τη διεύθυνση που αναφέρθηκε πιο πάνω (ΝΔ προς ΒΑ) ανάμεσα από μερικά τμήματα αδιαπέρατων σχηματισμών που βρίσκονται περίπου στο μέσο της μεγαλύτερης διάστασης της κοιλάδας. Αυτοί οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί φαίνονται ως γραμμοσκιασμένα σχήματα στον τοπογραφικό χάρτη 1.



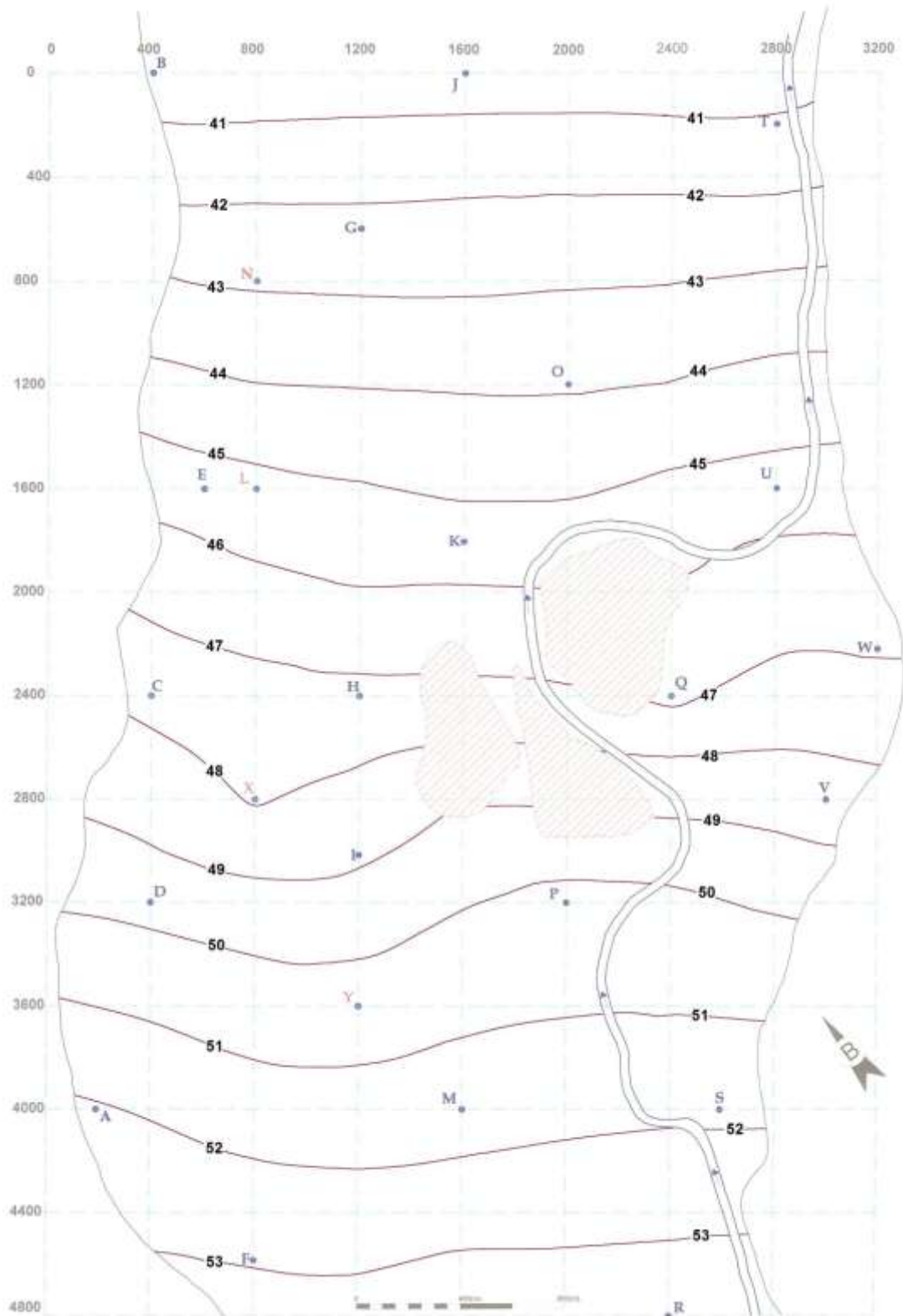
Σχήμα 2.1. Κατακόρυφη τομή της κοιλάδας κατά τη διεύθυνση αα΄



Χάρτης 1 – Τοπογραφικός χάρτης



Χάρτης 2 – Χάρτης υψών υποβάθρου



Χάρτης 3 – Χάρτης ισοπιεζομετρικών πειραματικών καμπύλων 31^{ης} Δεκεμβρίου 1974

Η προέλευση του υπόγειου νερού, η κίνηση του και τα διάφορα χημικά συστατικά (π.χ άλατα) που περιέχει εξαρτώνται, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά από το υπάρχον γεωλογικό υπόβαθρο. Τα διάφορα χαρακτηριστικά του υποβάθρου που επηρεάζουν την κίνηση του νερού είναι κυρίως το είδος και οι ιδιότητες των γεωλογικών μονάδων, η διασπορά τους, το πάχος τους και η δομή των διαπερατών, ημιπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών ανάμεσα στα οποία κινείται το νερό.

Στην περιοχή μελέτης, οι τρεις κυριότερες γεωλογικές ενότητες που αναφέρθηκαν πιο πάνω εμφανίζουν την πιο κάτω υδρογεωλογική συμπεριφορά:

- a. Ο αργιλασβεστώδης (μαργαϊκός) ασβεστόλιθος εμφανίζεται εδώ σαν ημιδιαπερατό στρώμα (aquitard).
- b. Η μάργα εμφανίζεται σαν ένα αδιαπέρατο στρώμα (aquiclude).
- c. Οι αλλουβιακές αποθέσεις στην περιοχή των οποίων αναπτύσσεται το μαθηματικό ομοίωμα αποτελούν ένα ελεύθερο υδροφόρο στρώμα. (aquifer).

Στη εργασία αυτή, για ευκολότερη μαθηματική προσομοίωση του φυσικού προβλήματος, θα αγνοηθεί η επίδραση του ποταμού στη σύνθεση του μαθηματικού ομοιώματος.

Το πάχος της αλλουβιακής κοιλάδας είναι μεταβλητό. Προσαρμόζοντας τον τοπογραφικό χάρτη στο χάρτη της δομής του χαλικώδους υποβάθρου (χάρτης 2) και με αφαίρεση των υψών του υποβάθρου από τα ύψη της επιφάνειας του εδάφους σε κάθε σημείο, βρίσκεται ότι το μεγαλύτερο πάχος της αλλουβιακής κοιλάδας εμφανίζεται κοντά στο ΒΔ όριο της περιοχής μελέτης. Ο χάρτης 3 δίνει τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες στις 31 Δεκεμβρίου 1974 που έχουν προκύψει από παρατηρήσεις στα 21 πιεζόμετρα (βλέπε πίνακα 1). Συγκρίνοντας την χωρική ανάπτυξη της πιεζομετρικής επιφάνειας με αυτή της δομής του υποβάθρου υπολογίζουμε τα κορεσμένα πάχη του υδροφορέα για τον κάθε κόμβο. Από τη σύγκριση αυτή διαπιστώνουμε επίσης ότι έχουμε μια διακύμανση του πάχους του υδροφορέα από 3,0 έως 13,0 μέτρα σε όλη την έκταση μας. Το μέσο κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος λαμβάνεται 5,8 m.

Οι αντλούμενες παροχές από τα πηγάδια που βρίσκονται μέσα στον υδροφορέα είναι $5166,4 \text{ m}^3/\text{day}$ για τα X και Y, ενώ για τα N και L είναι $2741,9 \text{ m}^3/\text{day}$ και $296,3 \text{ m}^3/\text{day}$ αντίστοιχα. Αυτές οι διαφορές στις αντλούμενες ποσότητες δείχνουν την ετερογενή σύσταση των ιζημάτων αυτού του υδροφορέα και τη διακύμανση των τιμών της υδραυλικής

αγωγιμότητας και της διοχετευτικότητας. Έτσι τα πιο παραγωγικά τμήματα του ελεύθερου ορίζοντα αναπτύσσονται στις αποθέσεις που αποτελούνται από χαλίκια και ιλυοαμμώδη υλικά. Σε μερικά σημεία εμφανίζονται ενδιαστρώσεις που είναι περιορισμένες και αποτελούνται από αποθέσεις ιλύος και αργίλου (σχήμα 2.1) και καταλαμβάνουν μικρή έκταση. Γενικά από τα πηγάδια άντλησης μπορούν μέσω των δοκιμαστικών αντλήσεων να προσδιορισθούν οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφόρου στρώματος (Ελμαλόγλου 2000).

Στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές της πιεζομετρικής στάθμης στα 21 πιεζόμετρα και τα 4 πηγάδια άντλησης την 31^η Δεκεμβρίου 1974.

Πίνακας 1. Τιμές της πιεζομετρικής στάθμης στα 21 πιεζόμετρα και τα 4 πηγάδια άντλησης την 31η Δεκεμβρίου 1974

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ	X (m)	Y (m)	H (m)
A	200	4000	52,07
B	400	0	40,44
C	400	2400	47,72
D	400	1600	49,67
E	600	3200	45,38
F	800	4600	52,95
G	1200	600	42,28
H	1200	2400	47,37
I	1200	3000	48,82
J	1600	0	40,49
K	1600	1800	40,4
M	1600	4000	51,58
O	2000	1200	43,86
P	2000	3200	50,24
Q	2400	2400	46,88
R	2400	4800	53,85
S	2600	4000	51,82
T	2800	200	41,1
U	2800	1600	45,31
V	3000	2800	48,56
W	3200	2200	46,95
N	800	800	42,86
L	800	1600	45,23
X	800	3600	47,92
Y	1200	3600	50,41

Η διακύμανση της στάθμης του νερού στα πιεζόμετρα δεν είναι υψηλή σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα (*παραδοχή*) οκτώ χρόνων (1969 – 1976). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ο γεωλογικός σχηματισμός έχει μέση έως υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα και διοχετευτικότητα. Από το χάρτη 3 προκύπτει ότι η μέση υδραυλική κλίση στον υδροφόρο έχει τιμή περίπου 0,28% και η κατεύθυνση της ροής του νερού είναι από ΝΔ προς ΒΑ.

Η αποθηκευτικότητα του υδροφόρου κυμαίνεται ανάμεσα στο 7 – 11% (*παραδοχή*).

2.2. Επαναφόρτιση

Η επαναφόρτιση του μελετούμενου υδροφορέα είναι αποτέλεσμα:

- a. Της κατείδυσης του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- b. Της εισόδου νερού στον υδροφορέα με εσωτερική ροή από τον ημιπερατό μαργαϊκό ασβεστόλιθο που βρίσκεται σε επαφή με τον υδροφορέα (υπόγεια ροή).
- c. Της εισόδου νερού στον υδροφορέα από το νοτιοδυτικό όριο (τα ανάντη).

Για μια λεπτομερή ανάλυση της επαναφόρτισης του μελετούμενου υδροφορέα παίρνουμε υπόψη ότι:

1. Η απευθείας διήθηση από επιφανειακά ποτάμια ρεύματα θεωρείται μηδαμινή.
2. Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ελεύθερος εκτός των σημείων εκείνων όπου υπάρχουν φακοί αργίλου. Η έκταση όμως αυτών των τοπικών σημείων είναι τόσο μικρή ώστε η επίδραση τους θεωρείται αμελητέα.
3. Τα διάφορα δεδομένα βροχόπτωσης, υπόγειας ροής από τον ημιπερατό μαργαϊκό ασβεστόλιθο και τροφοδοσίας από τα ανάντη που είναι διαθέσιμα καλύπτουν μια περίοδο 8 χρόνων.

Έτσι υπολογίζεται ότι ο μέσος όρος βροχόπτωσης της περιοχής είναι 21687 m³/day και οι αναλυτικές τιμές περιέχονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τιμές Βροχόπτωσης σε m^3/day για κάθε μήνα

Τιμές Βροχόπτωσης σε m^3/day για κάθε μήνα									
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	
Ιαν.	24413	26481	25226	26226	26668	28913	23820	21507	
Φεβ.	22710	24413	23584	23871	25168	26979	22516	19652	
Μαρ.	23574	23871	23320	23481	23516	25423	21549	17990	
Απρ.	23413	23657	22803	22829	22820	23177	20007	15974	
Μάιος	19530	19923	20058	20168	20387	22116	18168	14939	
Ιουν.	19303	19261	18971	18710	18200	20820	14761	13474	
Ιουλ.	18549	18710	18532	18633	18478	20633	14542	12516	
Αυγ.	19981	20013	19920	19829	19626	21200	16465	13474	
Σεπτ.	22490	22329	21990	22981	22481	24200	19413	13974	
Οκτ.	23406	23303	23278	23490	23574	25616	20923	16852	
Νοεμ.	24387	23962	24523	24116	24490	26726	21981	19492	
Δεκ.	25523	26126	25423	26133	26413	28303	23300	21324	
Μ.Ο	22273	22670	22302	22538	22651	24508	19787	16763	21687

Ο μέσος όρος της εισερχόμενης ποσότητας νερού με υπόγεια ροή κάθετα προς το ΝΔ όριο είναι $11618 m^3/day$ και οι αναλυτικές τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Εισερχόμενες ποσότητες νερού σε m^3/day κάθετα προς το ΝΔ όριο

Εισερχόμενες ποσότητες νερού σε m^3/day κάθετα προς το ΝΔ όριο									
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	
Ιαν.	13075	13720	13734	13635	13681	13787	13194	12928	
Φεβ.	13041	13048	13034	13047	13034	13047	13087	12914	
Μαρ.	13027	11957	12357	12361	12334	12387	12037	12228	
Απρ.	13034	11607	11568	11633	11647	11647	11514	11528	
Μάιος	11621	11581	11647	11227	11621	11647	10987	11514	
Ιουν.	10947	10934	10947	11249	10947	11297	10801	11068	
Ιουλ.	10207	10221	9521	9547	9547	9547	9587	9401	
Αυγ.	8794	8821	8781	8834	8834	8847	8860	8705	
Σεπτ.	10947	10934	11231	10934	10934	10947	11687	10801	
Οκτ.	11647	11621	11581	11621	11634	11647	11798	11528	
Νοεμ.	11634	11634	11621	11634	12054	11660	12387	12214	
Δεκ.	12684	13384	13384	13397	13774	13397	13087	12928	
Μ.Ο	11721	11622	11617	11593	11670	11654	11585	11480	11618

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τις τιμές της ποσότητας νερού, σε m^3/day , που μπαίνει στον υδροφορέα με ροή του νερού από το μαργαϊκό ασβεστόλιθο. Ο μέσος όρος της εισερχόμενης ποσότητας νερού κάθετα προς το ΒΔ όριο είναι $2852 m^3/day$.

Πίνακας 4. Κατ' εκτίμηση εισερχόμενες ποσότητες νερού σε m^3/day κάθετα προς το ΒΔ όριο

Κατ' εκτίμηση εισερχόμενες ποσότητες νερού σε m^3/day κάθετα προς το ΒΔ όριο									
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	
Ιαν.	3766	3797	3994	3950	3697	3822	3512	3208	
Φεβ.	3732	3863	4148	3692	3757	3793	3147	2709	
Μαρ.	3640	3708	3739	3522	3591	3533	2717	2157	
Απρ.	3612	3717	3389	3495	3488	3416	2313	2147	
Μάιος	3326	3273	3497	3149	3254	3109	2001	1814	
Ιουν.	2418	2549	2551	2472	2604	2535	1733	1704	
Ιουλ.	2180	1932	2198	2110	2142	2127	1720	1538	
Αυγ.	2134	1798	1900	2041	2203	2047	1735	1407	
Σεπτ.	2139	2282	1752	2077	2438	2102	2060	1656	
Οκτ.	3022	2881	2886	2702	2711	2694	2355	1723	
Νοεμ.	3410	3200	3115	3196	3414	3180	2504	1913	
Δεκ.	3697	4068	3940	3479	3830	3590	3470	2418	
Μ.Ο	3089	3089	3092	2990	3094	2995	2438	2032	2852

2.3 Εκφόρτιση

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκφορτιστεί ένας υδροφορέας. Οι τρόποι αυτοί κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. Φυσική εκφόρτιση

Συμβαίνει διαμέσου των επιφανειακών ρευμάτων, της εξατμισοδιαπνοής και της υπόγειας ροής νερού προς τα άλλα σημεία εκτός του υδροφορέα.

2. Τεχνητή εκφόρτιση

Συμβαίνει δια μέσου των παραγωγικών φρεάτων, και των τάφρων ή υπόγειων σωληνωτών αγωγών των τεχνητών στραγγιστικών δικτύων.

Η φυσική εκφόρτιση του μελετούμενου υδροφορέα από το ποτάμι δεν λαμβάνεται υπ' όψη γιατί το ποτάμι που διαρρέει την κοιλάδα για την απλοποίηση του προβλήματος θεωρείται ανενεργό. Φυσική εκφόρτιση έχουμε λόγω της υπόγειας ροής κάθετα στο ΒΑ όριο.

Η τεχνητή εκφόρτιση του μελετούμενου υδροφορέα είναι σημαντική και γίνεται με την εκμετάλλευση των πηγαδιών N, L, X, Y (χάρτης 3).

Οι συνολικές αποδόσεις των 4 πηγαδιών εκφόρτισης δίδονται, για 8 διαδοχικά χρόνια στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Συνολικές αντλούμενες παροχές νερού σε m³/day από τα 4 πηγάδια εκφόρτισης

Συνολικές αντλούμενες παροχές νερού σε m ³ /day από τα 4 πηγάδια εκφόρτισης									
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	
Ιαν.	11193	11097	11246	11163	11041	11164	11468	11356	
Φεβ.	11299	11197	11261	11476	11246	11287	11665	11151	
Μαρ.	11592	11492	11603	11481	11675	12177	11883	11590	
Απρ.	11693	12176	12479	12530	12348	12337	12475	12391	
Μαΐος	12699	13932	13310	13932	12848	14164	13028	13340	
Ιουν.	13962	16257	17080	16768	15012	17698	15202	16941	
Ιουλ.	15249	17577	17676	17941	16931	18530	17273	17341	
Αυγ.	16163	17380	17659	17970	16834	18310	16761	17431	
Σεπτ.	14119	13954	13979	14421	12848	14084	13366	13541	
Οκτ.	13017	13310	13359	12797	12371	12859	12310	12451	
Νοεμ.	12034	11781	11366	11858	11845	12151	11315	11946	
Δεκ.	11846	11187	11163	11530	11542	11395	11014	11436	
Μ.Ο	12905	13445	13515	13656	13045	13846	13147	13410	13371

3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1. Εξίσωση Boussinesq

Η ασταθής ή μη μόνιμη κίνηση του νερού στα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα περιγράφεται από την μη γραμμική μερική διαφορική εξίσωση η οποία καλείται εξίσωση του *Boussinesq* γιατί ο Γάλλος μηχανικός *Boussinesq* την πρωτοπαρουσίασε το έτος 1904. Μια μορφή της εξίσωσης που περιγράφει τη δισδιάστατη ροή διαμέσου ενός ελεύθερου υδροφόρου στρώματος είναι:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Sc \frac{\partial h}{\partial t} - Q(x, y, t) \quad (3.1)$$

όπου:

T_x και T_y : οι διοχετευτικότητες κατά τις x και y διευθύνσεις.

h : το πιεζομετρικό ύψος ή αλλιώς το υδραυλικό φορτίο.

Sc : ο συντελεστής αποθηκευτικότητας ή ειδική απόδοση του ελεύθερου υδροφόρου στρώματος

Q : η ποσότητα του εισερχόμενου ή εξερχόμενου στο υδροφόρο στρώμα νερού ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου, η οποία λαμβάνεται θετική στην περίπτωση επαναφόρτισης και αρνητική στην περίπτωση εκφόρτισης.

Οι βασικές παραδοχές που ισχύουν για την εξαγωγή της εξίσωσης (3.1) είναι:

- Το έδαφος είναι ανισότροπο. Για αυτό άλλωστε υπάρχουν διάφορες διοχετευτικότητες κατά τη x και y διεύθυνση.
- Το νερό είναι ασυμπίεστο.
- Η κίνηση του νερού είναι αργή.
- Ισχύει για κάθε στιγμή και θέση ο νόμος του *Darcy*.
- Η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι ίση με την κλίση της υπόγειας στάθμης.
- Η ροή είναι οριζόντια και ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία μιας κατακόρυφης διατομής.

Οι δύο τελευταίες παραδοχές είναι βασικές και είναι γνωστές σαν παραδοχές των *Dupuit – Forchheimer* (D-F) [*Dupuit*, 1863; *Forchheimer*, 1886].

Η εξίσωση αυτή όπως και άλλες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία έχουν εφαρμογή σε θέματα υπόγειας υδραυλικής, υπόγειας υδρολογίας και στραγγίσεων. Επειδή έχουμε να επιλύσουμε ένα φυσικό πρόβλημα χρειαζόμαστε εκτός από την κατάλληλη διαφορική εξίσωση και τις βοηθητικές συνθήκες του προβλήματος, δηλαδή τις αρχικές και τις οριακές συνθήκες.

Οι αρχικές συνθήκες καθορίζονται για κάθε πρόβλημα μη μόνιμης κίνησης του νερού. Εξάγονται από παρατηρήσεις και την εκτέλεση δεδομένων πειραμάτων στον αρχικό χρόνο του προβλήματος. Επίσης οι διάφοροι συντελεστές και τα εδαφικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά της περιοχής του προβλήματος πρέπει να είναι γνωστά και διαθέσιμα.

Με τη σωστή εκλογή των βασικών διαφορικών εξισώσεων και με τις κατάλληλες βοηθητικές συνθήκες το μαθηματικό ομοίωμα του φυσικού προβλήματος είναι έτοιμο να δώσει μια γενική λύση που να μας δίνει τα υδραυλικά φορτία σε όλη την έκταση του υδροφόρου στρώματος και για όλους τους χρόνους.

3.2. Τρόποι επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης του *Boussinesq*

Για να μελετήσουμε την κίνηση του νερού μέσα στα υδροφόρα στρώματα χρησιμοποιούμε συστήματα που μπορούν να την περιγράψουν δυναμικά και στατικά (μοντέλα). Γενικά έχουμε τις εξής κατηγορίες μεθόδων μελέτης της υπόγειας κίνησης του νερού:

- A. Τα αναλογικά μοντέλα
- B. Τα φυσικά μοντέλα
- C. Τις μαθηματικές μεθόδους

A. Τα αναλογικά μοντέλα ανήκουν στην κατηγορία των εργαστηριακών μοντέλων και στηρίζονται στη χρήση φυσικών φαινομένων διαφορετικών της κίνησης του νερού με την προϋπόθεση ότι ισχύουν για αυτά ανάλογοι νόμοι με αυτούς που ισχύουν και για την υπόγεια υδραυλική. Παραδείγματος χάριν αναφέρεται η αναλογία που υπάρχει ανάμεσα στον νόμο του Darcy και τον νόμο του Ohm.

Το πιο γνωστό αναλογικό μοντέλο είναι:

1. Το μοντέλο ιξώδους ροής (Helleshaw). Αυτό αποτελείται από δύο πλάκες παράλληλες που απέχουν 2-3 mm και οι οποίες μπορούν να τοποθετούνται οριζόντια ή κατακόρυφα. Έτσι

μελετάται η διαρροή νερού μέσα από χωμάτινα φράγματα ή η είσοδος θαλασσινού νερού σε παραλιακά υδροφόρα στρώματα ή ακόμη μονοδιάστατες ροές του νερού στο έδαφος ή προς κοντινές στραγγιστικές τάφρους [Βαλασσόπουλος, 1977].

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συσκευών Hele-shaw είναι:

- Η κίνηση του νερού παρατηρείται κατ' ευθείαν.
- Μπορούμε να μελετήσουμε μη μόνιμες καταστάσεις.
- Δίνεται αυτόματα η ελεύθερη επιφάνεια.
- Τα οριζόντια μοντέλα μπορούν να πάρουν κεκλιμένες θέσεις.

2. Το ηλεκτρικό μοντέλο συνεχούς τύπου. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται το Teledeltos [Luthin, 1965,] ένα είδος χαρτιού που είναι καλός αγωγός του ρεύματος. Με αυτό μελετώνται μόνιμες ροές, βρίσκονται οι ισοδυναμικές γραμμές και οι γραμμές ροής χωρίς όμως να έχουμε μεγάλη ακρίβεια και χωρίς να μπορούμε να δημιουργήσουμε την ελεύθερη επιφάνεια του κινούμενου νερού.

3. Το ηλεκτρικό μοντέλο ασυνεχούς τύπου (δίκτυα από ξεχωριστά σημεία). Σε αυτό το μοντέλο η άγνωστη συνάρτηση δυναμικού υπολογίζεται μόνο σε ορισμένα σημεία που αντιστοιχούν στους κόμβους των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Το μοντέλο αυτό δίνει πιο καλής ακρίβειας αποτελέσματα από το προηγούμενο μοντέλο [Βαλασσόπουλος, 1977].

B. Τα φυσικά μοντέλα ή μοντέλα άμμου είναι αληθινά μοντέλα υδροφόρων στρωμάτων και σε αυτά ισχύουν οι ίδιοι νόμοι που ισχύουν και στο υδροφόρο στρώμα. Η τεχνική της μεθόδου βασίζεται στην εμφάνιση των γραμμών ροής που μπαίνει από το πάνω τμήμα της συσκευής με τη βοήθεια κατάλληλων συσκευών τροφοδότησης με χρήση χρωστικής ουσίας. Αυτή η χρωστική παρασύρεται από το ρευστό που κινείται, το οποίο είναι συνήθως το νερό της βρύσης και σχηματίζει γραμμές ροής που φαίνονται εύκολα από τα διαφανή τοιχώματα της συσκευής. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον μελετητή να έχει μια καλή εποπτική εικόνα της κίνησης του νερού μέσα στη συσκευή [Prickett, 1975; Βαλασσόπουλος, 1977].

Τα κύρια πλεονεκτήματα των μοντέλων άμμου είναι:

- Κατασκευάζονται εύκολα.
- Το πιεζομετρικό ύψος στο μοντέλο παρακολουθείται εύκολα.
- Προσαρμόζονται καλά σε μελέτες προβλημάτων διασποράς και διάχυσης.

Παρ' ότι με τα μοντέλα αυτά έχουν μελετηθεί η διήθηση μέσα σε χωμάτινα φράγματα, η ροή κάτω από πασσαλοσανίδα και η ροή προς πηγάδια έχει βγει το συμπέρασμα ότι δίνουν πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

C. Οι μαθηματικές μέθοδοι, που είναι κυρίως αναλυτικές και αριθμητικές, είναι τα πιο σημαντικά μέσα για τη μελέτη των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων. Οι δύο περισσότερο διαδεδομένες αριθμητικές μέθοδοι είναι :

1. *Οι πεπερασμένες διαφορές* (finite difference method)
2. *Τα πεπερασμένα στοιχεία* (finite element method)

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών είναι η πιο δοκιμασμένη και η πιο συνηθισμένη στην επίλυση των παραβολικών εξισώσεων [Remson; Hornberger and Molz, 1971, Rushton, 1974a; Ελμαλόγλου και Κερκίδης, 1985; Ελμαλόγλου, 2009]. Στη μέθοδο αυτή η διακριτοποίηση του χώρου μελέτης γίνεται σε πλέγμα ορθογωνικής μορφής και η επίλυση των εξισώσεων γίνεται επάνω στους κόμβους του πλέγματος που μπορεί να είναι στο κέντρο κάθε κελιού (block centered grid) ή στις κορυφές (mesh centered grid). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με επιτυχία ακόμη και σε προβλήματα δυο ή τριών διαστάσεων. Γενικά όμως δεν θεωρείται η καταλληλότερη για πολύπλοκες γεωμετρικές ροής λόγω της δέσμευσης που θέλει τον κάρναβο να είναι ορθογωνικής μορφής. Σε ότι αφορά τις αριθμητικές τεχνικές που χρησιμοποιεί η μέθοδος αυτή είναι απλή, κατανοητή και από υπολογιστική άποψη άμεσα εφαρμόσιμη.

Κατά τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, το πεδίο εφαρμογής αντιμετωπίζεται σαν σύνολο υποπεριοχών (πεπερασμένα στοιχεία). Οι εξισώσεις επιλύονται στο εσωτερικό κάθε στοιχείου με τη μέθοδο των σταθμισμένων υπολοίπων. Στην συνέχεια η σύνθεση των επιμέρους στοιχείων οδηγεί στο αλγεβρικό πρόβλημα.

Τα πεπερασμένα στοιχεία σε αντίθεση με τις πεπερασμένες διαφορές, προσεγγίζουν καλύτερα ακανόνιστα όρια και εσωτερικές γεωλογικές δομές, όπως ρήγματα, ενώ ακόμη μπορούν να προσομοιάσουν καλύτερα σημειακές πηγές όπως είναι οι καταβόθρες, τις επιφάνειες διήθησης και τη μεταβαλλόμενη ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού. Μια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών υπολογίζεται μία τιμή του υδραυλικού φορτίου για κάθε κομβικό σημείο και αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή για το αντίστοιχο κελί. Αντίθετα στα πεπερασμένα στοιχεία το

υδραυλικό φορτίο ορίζεται πλήρως σε κάθε σημείο του στοιχείου με τη χρήση των συναρτήσεων παρεμβολής (interpolation functions).

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων έχει επί πλέον τα εξής πλεονεκτήματα [Prickett, 1975; Τζιμόπουλος, 1975; Καραμούζης, 1976]

- Το μέγεθος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί εύκολα να αλλάζει και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την πιο καλή παρακολούθηση ενός φυσικού φαινομένου.
- Με τα πεπερασμένα στοιχεία εξετάζεται χωρίς καμία δυσκολία το αν υπάρχει ή όχι ανομοιογένεια και ανισοτροπία στο πορώδες μέσο.
- Η μέθοδος είναι οικονομική όσον αφορά τον υπολογιστικό χρόνο.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων επειδή είναι αρκετά πολύπλοκη παρουσιάζει δυσκολία στη μαθηματική της ανάλυση. Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε για τη εργασία αυτή η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών.

3.3. Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Ελμαλόγλου, 2009)

3.3.1. Βασικοί τύποι διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους β' τάξης

Η γενική μορφή της διαφορικής εξίσωσης με μερικές παραγώγους β' τάξης της συνάρτησης δύο μεταβλητών $f(x_1, x_2)$ είναι:

$$\alpha \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} + b \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} + c \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} + d \frac{\partial f}{\partial x_1} + e \frac{\partial f}{\partial x_2} + Gf + R = 0 \quad (3.2)$$

Οι μεταβλητές (x_1, x_2) μπορεί να αναφέρονται και οι δύο στο χώρο (δηλ. $x_1 = x, x_2 = y$) ή στο χώρο και το χρόνο (δηλ. $x_1 = x, x_2 = t$).

Σύμφωνα με τη θεωρία των διαφορικών εξισώσεων διακρίνονται τρεις μεγάλες κατηγορίες της παραπάνω γενικής εξίσωσης ανάλογα με το πρόσημο της “διακρίνουσας” $\Delta = b^2 - 4ac$.

- (i) Αν $\Delta < 0$, η εξίσωση χαρακτηρίζεται ως *ελλειπτική (elliptic)*.
- (ii) Αν $\Delta > 0$ η εξίσωση χαρακτηρίζεται ως *υπερβολική (hyperbolic)*.
- (iii) Αν $\Delta = 0$ η εξίσωση χαρακτηρίζεται ως *παραβολική (parabolic)*.

Οι διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη μη μόνιμη κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος είναι γενικά παραβολικού τύπου (π.χ. *Boussinesq* κλπ).

3.3.2. Η δομή των προσεγγίσεων των πεπερασμένων διαφορών

Τα προβλήματα της *Γεωργικής και Περιβαλλοντικής Υδραυλικής* εκφράζονται στη γενικότητα τους από μη γραμμικές Μερικές Διαφορικές Εξισώσεις (*Nonlinear Partial Differential Equations*).

Η μη γραμμικότητα αυτών των εξισώσεων, αποτελεί τη βασική αιτία της δυσκολίας επίλυσης των εξισώσεων αυτών. Παρά τις συνεχείς προσπάθειες των Μαθηματικών για αναλυτικές λύσεις των εξισώσεων, οι εξισώσεις παραμένουν γενικά άλυτες εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις απλών γεωμετριών των πεδίων ροής.

Με την εμφάνιση όμως στα τέλη της δεκαετίας του '60 των ηλεκτρονικών υπολογιστών μεγάλης χωρητικότητας μνήμης και ταχύτητας εκτέλεσης πράξεων έγινε δυνατή σε πολλές περιπτώσεις η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων αυτών. Η βασική ιδέα της μεθοδολογίας αριθμητικής επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων είναι η αντικατάστασή τους με αλγεβρικές εξισώσεις οι οποίες επιλύονται με τη βοήθεια του Η/Υ μας δίνουν αριθμητικά τιμές της ζητούμενης μεταβλητής του πεδίου ροής σε διακεκριμένες θέσεις μέσα στο πεδίο ροής.

Είναι φανερό ότι οι αλγεβρικές αυτές εξισώσεις πρέπει να εκφράζουν ικανοποιητικά τη συνήθη ή μερική διαφορική εξίσωση ώστε η λύση τους να αντιπροσωπεύει με προσέγγιση, όσο είναι επιθυμητό μεγαλύτερη, τη λύση της διαφορικής εξίσωσης, δηλαδή η αντιπροσώπευση της διαφορικής εξίσωσης από τις αλγεβρικές εξισώσεις να είναι όπως λέγεται συνεπής.

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών βασίζεται σε αντικατάσταση των συνεχών παραγώγων της κύριας εξίσωσης του προβλήματος, με την σχετική μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κατά ένα μικρό αλλά πεπερασμένο διάστημα στον χώρο ή στον χρόνο.

Οι διαφορικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως σε φυσικά προβλήματα έχουν πρώτη, δεύτερης και τρίτης τάξης παραγώγου. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την προσέγγιση αυτών των παραγώγων αλλά χρησιμοποιείται κυρίως η διαδικασία ανάπτυξης των συναρτήσεων σε σειρές *Taylor*.

Θεωρούμε μια συνάρτηση $h(x)$ συνεχή και παραγωγίσιμη σε ένα διάστημα (α, β) και την αναπτύσσουμε με βάση τις γνώσεις μας από την ανάλυση σε σειρά *Taylor* κατά τη θετική φορά του άξονα:

$$h(x + \Delta x) = h(x) + \Delta x \frac{dh}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \cdot \frac{d^2 h}{dx^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \cdot \frac{d^3 h}{dx^3} + \dots \quad (3.3)$$

Η εξίσωση λύνεται ως προς $\frac{dh}{dx}$, οπότε έχουμε:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x + \Delta x) - h(x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (3.4)$$

όπου ο όρος $O(\Delta x)$ παριστάνει την προσέγγιση της παραγώγου.

Στην σειρά (3.3) παραλείπονται όλοι οι όροι από τη δεύτερη τάξη και επάνω, γι' αυτό το σφάλμα $O(\Delta x)$ λέγεται “σφάλμα αποκοπής πρώτης τάξης”, (*truncation error*).

Παραλείποντας το $O(\Delta x)$ στην σχέση (3.3) έχουμε την προσέγγιση της παραγώγου της h με πεπερασμένες διαφορές του τύπου “πρόσω διαφοράς”, (*forward difference*):

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x + \Delta x) - h(x)}{\Delta x} \quad (3.5)$$

Όμοια αναπτύσσοντας την $h(x)$ σε σειρά *Taylor*, κατά την αρνητική x - διεύθυνση έχουμε :

$$h(x - \Delta x) = h(x) - \Delta x \frac{dh}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \cdot \frac{d^2 h}{dx^2} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \cdot \frac{d^3 h}{dx^3} + \dots \quad (3.6)$$

Λύνοντας ως προς $\frac{dh}{dx}$ και παραλείποντας όμοια τον όρο $O(\Delta x)$ παίρνουμε αντίστοιχα την προσέγγιση “οπίσω διαφοράς”, (*backward difference*):

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x) - h(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad (3.7)$$

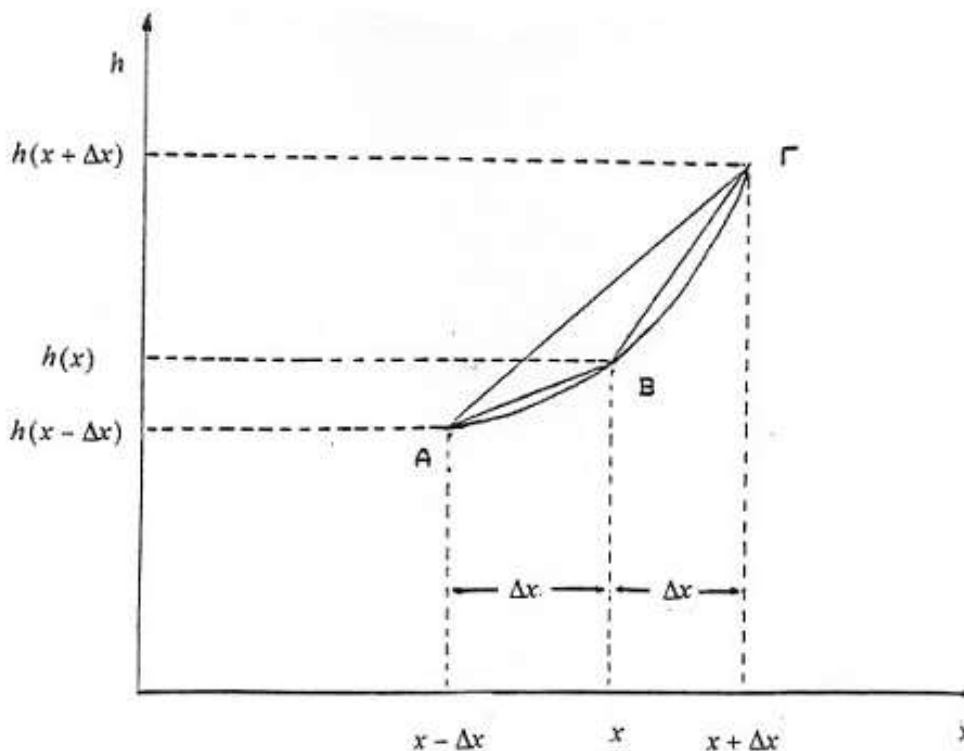
Αν η εξίσωση (3.6) αφαιρεθεί από την εξίσωση (3.3) θα έχουμε:

$$h(x + \Delta x) - h(x - \Delta x) = 2\Delta x \cdot \frac{dh}{dx} + \frac{2(\Delta x)^3}{3!} \cdot \frac{d^3 h}{dx^3} + \dots \quad (3.8)$$

Από την (3.8) καταλήγουμε στην προσέγγιση “κεντρικής διαφοράς”, (*central difference*):

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x + \Delta x) - h(x - \Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad (3.9)$$

Στην εξίσωση (3.9) το σφάλμα $O(\Delta x)^2$ λέγεται “σφάλμα αποκοπής δεύτερης τάξης”.



Σχήμα 3.1. Προσέγγιση πρώτης τάξης πεπερασμένων διαφορών

Το σχήμα (3.1) δείχνει τις προσεγγίσεις της παραγώγου $h'(x)$, στο σημείο B, όπως δίνονται αντίστοιχα από τις προσεγγίσεις “πρόσω διαφοράς”, “οπίσω διαφοράς” και “κεντρικής διαφοράς”.

Για να πάρουμε μια προσέγγιση της δεύτερης τάξης της h προσθέτουμε τις σχέσεις (3.3) και (3.6).

$$h(x + \Delta x) + h(x - \Delta x) = 2 \cdot h(x) + \frac{2(\Delta x)^2}{2!} \cdot \frac{d^2 h}{dx^2} + \dots \quad (3.10)$$

και καταλήγουμε στην προσέγγιση :

$$\frac{d^2 h}{dx^2} = \frac{h(x + \Delta x) - 2 \cdot h(x) + h(x - \Delta x)}{\Delta x^2} + O(\Delta x)^2 \quad (3.11)$$

με σφάλμα αποκοπής δεύτερης τάξης $O(\Delta x)^2$.

Στις πεπερασμένες διαφορές χρησιμοποιούμε τους παρακάτω συμβολισμούς:

$h(x) = h_i$, $h(x + \Delta x) = h_{i+1}$, $h(x - \Delta x) = h_{i-1}$ οπότε από τις σχέσεις (3.5), (3.7), (3.9) και (3.11) παίρνουμε τις αντίστοιχες σχέσεις:

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_i = \frac{h_{i+1} - h_i}{\Delta x} \quad (3.12)$$

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_i = \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta x} \quad (3.13)$$

$$\left(\frac{dh}{dx}\right)_i = \frac{h_{i+1} - h_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.14)$$

$$\left(\frac{d^2h}{dx^2}\right)_i = \frac{h_{i+1} - 2h_i + h_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.15)$$

Με την ανάπτυξη των προηγούμενων καταλήξαμε σε μια σειρά τύπων με τους οποίους προσεγγίζουμε τις παραγώγους πρώτης και δεύτερης τάξης με πεπερασμένες διαφορές .

Στην περίπτωση συναρτήσεων περισσότερων μεταβλητών π.χ. $h(x,y,t)$ η εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών οδηγεί πάλι στην αναζήτηση των διακεκριμένων τιμών $h_{i,j}^n$, όπου οι κάτω δείκτες εκφράζουν τη θέση του σημείου στο επίπεδο x,y και ο πάνω τη χρονική στιγμή.

Είναι φανερό ότι όσο αυξάνονται οι διαστάσεις του φυσικού προβλήματος, αυξάνεται παράλληλα και η ποικιλία των υπολογιστικών σχημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αφού οι τρόποι προσέγγισης των μερικών παραγώγων δεν είναι αναγκαστικά όμοιοι για όλες τις μεταβλητές. Σε κάθε περίπτωση τα βασικά ζητήματα τα οποία ενδιαφέρουν την αριθμητική λύση του προβλήματος είναι η επιλογή τρόπου προσέγγισης των όρων της διαφορικής εξίσωσης με πεπερασμένες διαφορές, η επιλογή των χωρικών βημάτων $\Delta x, \Delta y$ και του χρονικού βήματος Δt , καθώς και ο χειρισμός των οριακών συνθηκών.

3.4. Ειδικά υπολογιστικά σχήματα για την εξίσωση του Boussinesq

Υπάρχουν πολλά υπολογιστικά σχήματα πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιούνται στην επίλυση των εξισώσεων ροής του υπόγειου νερού με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Εκείνο που πρέπει υποχρεωτικά να εξετάζεται κατά την κρίση μιας τέτοιας μεθόδου ή κατά τη σύγκριση δύο διαφορετικών μεθόδων πεπερασμένων διαφορών είναι η σύγκλιση (convergence) και η ευστάθεια (stability) των αριθμητικών λύσεων [*Ελμαλόγλου, 2009*].

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών στην εξίσωση του Boussinesq καταλήγουμε σε διάφορα υπολογιστικά σχήματα που λύνουν την εξίσωση αυτή. Αυτά τα υπολογιστικά σχήματα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. Ρητές μέθοδοι (Explicit methods)
2. Πεπλεγμένες μέθοδοι (Implicit methods)

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν, το απλό ρητό υπολογιστικό σχήμα [*Remson Hornberger and Molz*; 1971, *Smith*, 1975], η ρητή μέθοδος εναλλασσόμενων διευθύνσεων (ADE) [*Bittinger, Duke and Longenbaugh*, 1967] και το ρητό υπολογιστικό σχήμα του Douglas [*Terzidis*, 1968]. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν η απευθείας πεπλεγμένη μέθοδος (Crank – Nicolson) [*Crank and Nicolson*, 1947], το σχήμα της απλής πεπλεγμένης μορφής (Laasonen) [*Laasonen*, 1949], το υπολογιστικό σχήμα των εναλλασσόμενων διευθύνσεων πεπλεγμένης μορφής (ADI) [*Peaceman and Rachford*, 1955] και η μέθοδος διαδοχικής υπερχαλάρωσης (SOR) [*Rushton*, 1974b].

Γενικά οι ρητές μέθοδοι έχουν μικρότερη ευστάθεια από τις πεπλεγμένες μεθόδους ιδιαίτερα σε μεγάλα χρονικά βήματα Δt ενώ η SOR μέθοδος είναι ευσταθής χωρίς όρους.

Στην εργασία αυτή γίνεται η ανάλυση δύο υπολογιστικών σχημάτων με αυξημένη ευστάθεια, της μεθόδου ADI και της μεθόδου SOR. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του φυσικού προβλήματος.

3.4.1. Η μέθοδος A.D.I.

3.4.1.1. Γενικότητες

Η μέθοδος ADI, από τα αρχικά των λέξεων Alternative Direction Implicit (πεπλεγμένης μέθοδος εναλλασσόμενων διευθύνσεων) πρωτοπαρουσιάστηκε το 1955 από τους *Peaceman* και *Rachford*.

Εκτός από το πλεονέκτημα της οικονομίας υπολογιστικού χρόνου η μέθοδος παρουσιάζει το πλεονέκτημα - κατά τη γνώμη των *Peaceman* και *Rachford* - της χρησιμοποίησης οποιουδήποτε βήματος Δt . Αυτό όμως δεν είναι απόλυτα σωστό. Εξαρτάται για κάθε περίπτωση εφαρμογής από διάφορους οριακούς παράγοντες.

Ο *Rushton* (1974a) έδειξε ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες η ADI μέθοδος μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα αν δεν ληφθούν οι σωστές προφυλάξεις. Τα σημαντικότερα από τα αίτια που οδηγούν σε λανθασμένα αποτελέσματα είναι:

1. Η απότομη μεταβολή στην αποφόρτιση όταν αρχίζει ή σταματά η άντληση σε ένα πηγάδι.
2. Το μέγεθος των βημάτων του δικτύωματος.

3. Τα εσωτερικά όρια (πηγάδια, ποτάμια, λίμνες).
4. Το ποσοστό της διαρροής.

Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα αν όμως ληφθούν οι σωστές προφυλάξεις μπορούμε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα.

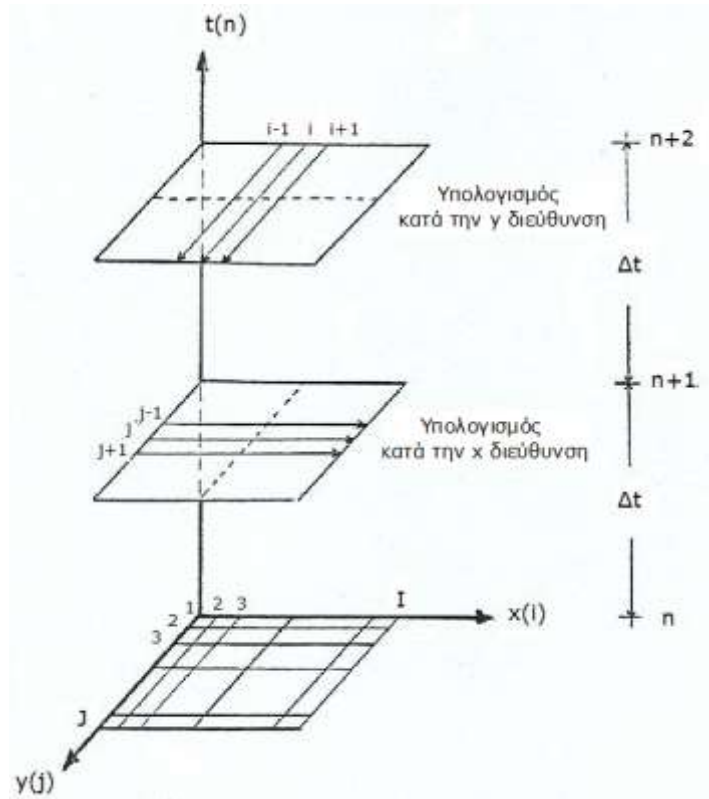
3.4.1.2. Αριθμητική λύση με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ADI

Για την εφαρμογή της μεθόδου παίρνουμε ένα δισδιάστατο δίκτυο που αποτελείται από I κόμβους κατά την x - διεύθυνση και από J κόμβους κατά την y - διεύθυνση (σχήμα 3.2). Για να κλείσει ένας πλήρης κύκλος της μεθόδου ADI χρειάζονται δύο βήματα υπολογισμών κατά τη διεύθυνση του χρόνου.

Στο πρώτο βήμα τα άγνωστα φορτία «ομαδοποιούνται» κατά μήκος γραμμών που έχουν σταθερό y (ή x). Στο δεύτερο βήμα τα φορτία ομαδοποιούνται πάνω σε γραμμές με x (ή y) σταθερό.

Αρχίζοντας την εφαρμογή της μεθόδου παραδεχόμαστε γνωστή τη λύση για την αρχική χρονική στιγμή $t=n\cdot\Delta t$ και χρησιμοποιούμε τα προχωρημένα επίπεδα χρόνου $n+1$ και $n+2$.

Θεωρούμε ότι η συνάρτηση $h(x,y,t)$ της εξίσωσης (3.1) είναι συνεχής και παραγωγίσιμη σε όλο το χρόνο εφαρμογής.



Σχήμα 3.2. Δισδιάστατο δίκτυο εναλλασσόμενων διευθύνσεων

Στο πρώτο βήμα εφαρμογής της μεθόδου ADI αντικαθιστούμε την παράγωγο δεύτερης τάξης ως προς x με μία πεπλεγμένη προσέγγιση διαφορών από άγνωστες τιμές του h στο $(n+1)$ επίπεδο χρόνου. Έτσι έχουμε:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{2}{x_{i+1} - x_{i-1}} \cdot \left[T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i+\frac{1}{2}, j}^{n+1} - T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i-\frac{1}{2}, j}^{n+1} \right] \quad (3.16)$$

Την παράγωγο δεύτερης τάξης ως προς y αντικαθιστούμε με μία ρητή προσέγγιση διαφορών από γνωστές τιμές του h στο αρχικό επίπεδο χρόνου (n) και έχουμε:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{2}{y_{i+1} - y_{i-1}} \cdot \left[T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i, j+\frac{1}{2}}^n - T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i, j-\frac{1}{2}}^n \right] \quad (3.17)$$

Έτσι από το πρώτο βήμα παίρνουμε για κάθε ευθεία παράλληλη προς τον x -άξονα $(I-2)$ εξισώσεις. Οι εξισώσεις αυτές σχηματίζουν ένα σύστημα που περιέχει $(I-2)$ άγνωστα φορτία των κόμβων μιας τυχαίας γραμμής j στο χρόνο $t = (n+1)\Delta t$ (σχήμα 3.2). Επειδή όμως έχουμε $(J-2)$ ευθείες παράλληλες προς τον άξονα $-x$ θα πρέπει να λύσουμε $(J-2)$ συστήματα

κάθε ένα από τα οποία περιέχει (I-2) αγνώστους. Η μήτρα των συντελεστών αυτών των συστημάτων είναι τριδιαγώνια και λύνεται με τον αλγόριθμο του *Thomas* [Remson et al., 1971]. Με αυτή τη διαδικασία γίνονται γνωστά τα φορτία σε όλους τους κόμβους του επιπέδου ($n+1$).

Για να προχωρήσουμε στο επόμενο επίπεδο χρόνου ($n+2$) αντικαθιστούμε την παράγωγο δεύτερης τάξης ως προς y με μια πεπλεγμένη προσέγγιση διαφορών από άγνωστες τιμές του h στο προχωρημένο επίπεδο ($n+2$), δηλαδή θα έχουμε τη σχέση

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} \cdot \left[T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} - T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+2} \right] \quad (3.18)$$

Την παράγωγο δεύτερης τάξης ως προς x , αντικαθιστούμε με μία ρητή προσέγγιση διαφορών από γνωστές τιμές του h στο επίπεδο ($n+1$). Έτσι έχουμε:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} \cdot \left[T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} - T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i-\frac{1}{2},j}^{n+1} \right] \quad (3.19)$$

Σ' αυτό το βήμα τα άγνωστα φορτία βρίσκονται σε ευθείες παράλληλες προς τον y - άξονα (σχήμα 3.2). Επειδή σε κάθε ευθεία έχουμε (J-2) κόμβους και το σύνολο των παράλληλων ευθειών είναι (I-2), θα πρέπει να λύσουμε (I-2) συστήματα. Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα περιέχει (J-2) άγνωστες τιμές φορτίων. Αυτές οι τιμές για κάθε ένα σύστημα αντιπροσωπεύουν όλα τα κομβικά φορτία κάθε ευθείας I στο χρόνο $t = (n+2)\Delta t$.

Έτσι συμπληρώνουμε ένα πλήρη κύκλο εφαρμογής της μεθόδου ADI.

Από την περιγραφή της μεθόδου φαίνεται ότι σε κάθε βήμα υπολογισμών κατά την έννοια της διεύθυνσης «χρόνος» γίνεται εναλλαγή των διευθύνσεων «χώρου» x και y . Το χρονικό βήμα Δt πρέπει να είναι το ίδιο και στο πρώτο και στο δεύτερο βήμα, δηλαδή ένας ολόκληρος κύκλος εφαρμογής διαρκεί $2\Delta t$.

Για το πρώτο βήμα, από τον αρχικό χρόνο $t = n\Delta t$ στο χρόνο $t = (n+1)\Delta t$, η διακριτική μορφή της εξίσωσης (3.1) θα είναι:

$$\begin{aligned} & \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} \cdot \left[T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} - T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{i-\frac{1}{2},j}^{n+1} \right] + \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} \cdot \left[T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i,j+\frac{1}{2}}^n - \right. \\ & \left. - T_y \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{i,j-\frac{1}{2}}^n \right] = Sc \frac{\partial h}{\partial t} - Q(x, y, t) \end{aligned}$$

ή

$$\begin{aligned}
& \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} \cdot [T_x \left(\frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{x_{i+1,j} - x_{i,j}} \right)^{n+1} - T_x \left(\frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{x_{i,j} - x_{i-1,j}} \right)^{n+1}] + \\
& + \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} \cdot [T_y \left(\frac{h_{i,j+1} - h_{i,j}}{y_{i,j+1} - y_{i,j}} \right)^n - T_y \left(\frac{h_{i,j} - h_{i,j-1}}{y_{i,j} - y_{i,j-1}} \right)^n] = \\
& = Sc \frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n}{\Delta t} - Q(x, y, t) \tag{3.20}
\end{aligned}$$

Για το δεύτερο βήμα, από τον χρόνο $t = (n+1)\Delta t$ στον χρόνο $t = (n+2)\Delta t$, η διακριτική μορφή της εξίσωσης (3.1) θα είναι:

$$\begin{aligned}
& \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} [T_x \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} - T_x \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{i-\frac{1}{2},j}^{n+1}] + \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} [T_y \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} - \\
& - T_y \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+2}] = Sc \frac{\partial h}{\partial t} - Q(x, y, t)
\end{aligned}$$

ή

$$\begin{aligned}
& \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} \cdot [T_x \left(\frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{x_{i+1,j} - x_{i,j}} \right)^{n+1} - T_x \left(\frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{x_{i,j} - x_{i-1,j}} \right)^{n+1}] + \\
& + \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} \cdot [T_y \left(\frac{h_{i,j+1} - h_{i,j}}{y_{i,j+1} - y_{i,j}} \right)^{n+2} - T_y \left(\frac{h_{i,j} - h_{i,j-1}}{y_{i,j} - y_{i,j-1}} \right)^{n+2}] = \\
& = Sc \frac{h_{i,j}^{n+2} - h_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} - Q(x, y, t) \tag{3.21}
\end{aligned}$$

Από την εξίσωση (3.20) έχουμε:

$$\begin{aligned}
& \frac{2T_x}{W1_i \cdot W3_i} \cdot h_{i-1,j}^{n+1} - \left[\frac{2T_x}{W1_i} \cdot \left(\frac{1}{W2_i} + \frac{1}{W3_i} \right) + \frac{Sc}{\Delta t} \right] \cdot h_{i,j}^{n+1} + \frac{2T_x}{W1_i \cdot W2_i} \cdot h_{i+1,j}^{n+1} = \\
& - \frac{2T_y}{R1_i \cdot R3_i} \cdot h_{i,j-1}^n + \frac{2T_y}{R1_i} \cdot \left(\frac{1}{R2_i} + \frac{1}{R3_i} \right) \cdot h_{i,j}^n - \frac{2T_y}{R1_i \cdot R2_i} \cdot h_{i,j+1}^n \\
& - Sc \frac{h_{i,j}^n}{\Delta t} - Q(x, y, t) \tag{3.22}
\end{aligned}$$

όπου

$$W1_i = x_{i+1,j} - x_{i-1,j} \quad \text{και} \quad R1_j = y_{i,j+1} - y_{i,j-1}$$

$$W2_i = x_{i+1,j} - x_{i,j} \quad \text{και} \quad R2_j = y_{i,j+1} - y_{i,j}$$

$$W3_i = x_{i,j} - x_{i-1,j} \quad \text{και} \quad R3_j = y_{i,j} - y_{i,j-1}$$

Τελικά η εξίσωση (3.20) γράφεται με τη μορφή:

$$a_i \cdot h_{i-1,j}^{n+1} + b_i \cdot h_{i,j}^{n+1} + c_i \cdot h_{i+1,j}^{n+1} = d_i \quad (3.23)$$

όπου

$$a_i = \frac{2T_x}{W1_i W3_i}$$

$$b_i = -\frac{2T_x}{W1_i} \left(\frac{1}{W2_i} + \frac{1}{W3_i} \right) - \frac{Sc}{\Delta t}$$

$$c_i = \frac{2T_x}{W1_i W2_i}$$

$$d_i = -\frac{2T_y}{R1_j R3_j} h_{i,j-1}^n + \frac{2T_y}{R1_j} \left(\frac{1}{R2_j} + \frac{1}{R3_j} \right) h_{i,j}^n - \frac{2T_y}{R1_j R2_j} h_{i,j+1}^n - \frac{Sc}{\Delta t} h_{i,j}^n - Q(x, y, t)$$

Η αντίστοιχη της (3.23) εξίσωση που προκύπτει από την (3.21) είναι:

$$a_j \cdot h_{i,j-1}^{n+2} + b_j \cdot h_{i,j}^{n+2} + c_j \cdot h_{i,j+1}^{n+2} = d_j \quad (3.24)$$

όπου

$$a_j = \frac{2T_y}{R1_j R3_j}$$

$$b_j = -\frac{2T_y}{R1_j} \left(\frac{1}{R2_j} + \frac{1}{R3_j} \right) - \frac{Sc}{\Delta t}$$

$$c_j = \frac{2T_y}{R1_j R2_j}$$

$$d_j = -\frac{2T_x}{W1_i W3_i} h_{i-1,j}^{n+1} + \left[\frac{2T_x}{W1_i} \left(\frac{1}{W2_i} + \frac{1}{W3_i} \right) - \frac{Sc}{\Delta t} \right] h_{i,j}^{n+1} - \frac{2T_x}{W1_i W2_i} h_{i+1,j}^{n+1} - Q(x, y, t)$$

Η εξίσωση (3.23) μπορεί να γραφεί σαν ένα σύστημα εξισώσεων:

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & & & & & \\ a_2 & b_2 & c_2 & & & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & & \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & & a_{N-2} & b_{N-2} & c_{N-2} \\ & & & & a_{N-1} & b_{N-1} & \\ & & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,j} \\ h_{2,j} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ h_{N-2,j} \\ h_{N-1,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_{N-2} \\ d_{N-1} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

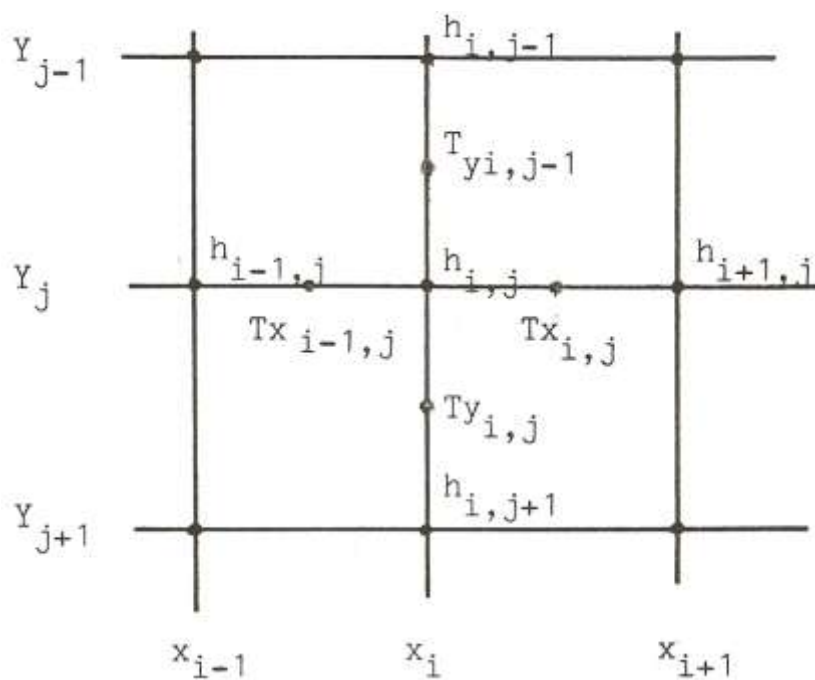
Η μήτρα των συντελεστών του συστήματος (3.25) είναι τριδιαγώνια και επιλυόμενη με τον αλγόριθμο του *Thomas* δίνει τις τιμές του $h_{i,j}$ όπου, $i = 1, 2, \dots, N-1$.

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να γραφεί και η εξίσωση (3.24) σαν ένα σύστημα εξισώσεων.

3.4.2. Ανάπτυξη της μεθόδου SOR.

Η μέθοδος SOR (successive over-relaxation) ή μέθοδος «διαδοχικής υπερχαλάρωσης», είναι μια μέθοδος «προς τα πίσω διαφοράς» (backward difference method) η οποία έχει καλή ευστάθεια [*Shaw and Southwell, 1941; Rushton, 1974b*].

Ας θεωρήσουμε το πλέγμα του παρακάτω σχήματος 3.3.



Σχήμα 3.3. Διευθέτηση δικτύου

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών η εξίσωση του *Boussinesq* γράφεται:

$$\begin{aligned} & \frac{2}{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}} \cdot [T_{x_{i,j}} \left(\frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{x_{i+1,j} - x_{i,j}} \right)^{n+1} - T_{x_{i-1,j}} \left(\frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{x_{i,j} - x_{i-1,j}} \right)^{n+1}] + \\ & + \frac{2}{y_{i,j+1} - y_{i,j-1}} \cdot [T_{y_{i,j}} \left(\frac{h_{i,j+1} - h_{i,j}}{y_{i,j+1} - y_{i,j}} \right)^{n+1} - T_{y_{i,j-1}} \left(\frac{h_{i,j} - h_{i,j-1}}{y_{i,j} - y_{i,j-1}} \right)^{n+1}] = Sc \frac{h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n}{\Delta t} - Q_{i,j} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Θέτοντας

$$W1_i = x_{i+1,j} - x_{i-1,j} \quad \text{και} \quad R1_j = y_{i,j+1} - y_{i,j-1}$$

$$W2_i = x_{i+1,j} - x_{i,j} \quad \text{και} \quad R2_j = y_{i,j+1} - y_{i,j}$$

$$W3_i = x_{i,j} - x_{i-1,j} \quad \text{και} \quad R3_j = y_{i,j} - y_{i,j-1}$$

Και κρατώντας στο α' μέλος όλα τα άγνωστα πιεζομετρικά φορτία της χρονικής στιγμής $t=(n+1)\Delta t$ η εξίσωση (3.26) γίνεται:

$$A_{i,j} \cdot h_{i+1,j}^{n+1} + B_{i,j} \cdot h_{i,j+1}^{n+1} + C_{i,j} \cdot h_{i-1,j}^{n+1} + D_{i,j} \cdot h_{i,j-1}^{n+1} - E_{i,j} \cdot h_{i,j}^{n+1} = -F_{i,j} - Q_{i,j} \quad (3.27)$$

$$\text{όπου : } A_{i,j} = \frac{2T_{x_{i,j}}}{W1_i W2_i}$$

$$B_{i,j} = \frac{2T_{y_{i,j-1}}}{R1_j R3_j}$$

$$C_{i,j} = \frac{2T_{x_{i-1,j}}}{W1_i W3_i}$$

$$D_{i,j} = \frac{2T_{y_{i,j}}}{R1_j R2_j}$$

$$E_{i,j} = A_{i,j} + B_{i,j} + C_{i,j} + D_{i,j} + \frac{Sc_{i,j}}{\Delta t}$$

$$F_{i,j} = \frac{Sc_{i,j}}{\Delta t} \cdot h_{i,j}^n$$

Ακόμη η εξίσωση (3.27) είναι δυνατό να γραφεί:

$$h_{i,j}^{n+1} = [A_{i,j} \cdot h_{i+1,j}^{n+1} + B_{i,j} \cdot h_{i,j+1}^{n+1} + C_{i,j} \cdot h_{i-1,j}^{n+1} + D_{i,j} \cdot h_{i,j-1}^{n+1} + F_{i,j} + Q_{i,j}] / E_{i,j} \quad (3.28)$$

Η τεχνική που χρησιμοποιείται στηρίζεται στη διαδοχική βελτίωση των τιμών του υπολογιζόμενου πιεζομετρικού ύψους $h_{i,j}$ μέχρι να συγκλίνουν στις αντίστοιχες τιμές που είναι διαθέσιμες από τις παρατηρήσεις. Στην πράξη όμως η τιμή του ύψους που δίνεται από

την εξίσωση (3.28) είναι μια υποτιμημένη τιμή. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται η τεχνική της λεγόμενης « υπερ – χαλάρωσης », με σκοπό να πετύχουμε καλύτερη σύγκλιση των τιμών του πιεζομετρικού ύψους.

Θεωρώντας ότι έχει συμπληρωθεί η m επανάληψη, άλλη μια προσέγγιση στην κατανομή του πιεζομετρικού ύψους πρόκειται να υπολογισθεί στην $(m+1)$ επανάληψη. Η αλλαγή στο πιεζομετρικό ύψος που δίδεται από την εξίσωση (3.28) θα είναι:

$$\Delta h(i, j, m+1:m) = [] / E_{i,j} - h_{i,j}^m$$

όπου οι παρενθέσεις $[]$ σημαίνουν την παράσταση στο δεξιό μέλος της εξίσωσης (3.28) που υπολογίζεται από τα πιεζομετρικά ύψη $h_{i,j}$ κατά τη m -οστή επανάληψη.

Στο σημείο αυτό θεωρείται ένας παράγοντας w , ο λεγόμενος «παράγοντας υπερχαλάρωσης» ή συντελεστής απάλυνσης, ώστε η νέα προσέγγιση στο πιεζομετρικό ύψος να είναι:

$$h_{i,j}^{m+1} = h_{i,j}^m + w \cdot \Delta h(i, j, m+1:m)$$

ή

$$h_{i,j}^{m+1} = (1-w) \cdot h_{i,j}^m + w \cdot [] / E_{i,j} \quad (3.29)$$

Αυτή η εξίσωση επιλύεται για κάθε κόμβο κυκλικά, δίνοντας διαδοχικά καλύτερες προσεγγίσεις στις τιμές των πιεζομετρικών υψών $h_{i,j}$. Η ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου εξαρτάται από τον παράγοντα « υπερχαλάρωσης », w . Για μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων, χρησιμοποιούνται διαδοχικά διάφορες τιμές του παράγοντα w από 1 έως 2 και εξετάζεται κάθε φορά η ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου. Από τη βιβλιογραφία φαίνεται ότι οι τιμές $w = 1,4$ και $w = 1,5$ είναι αυτές που δίνουν ικανοποιητικές ταχύτητες σύγκλισης για τις περισσότερες εφαρμογές και η παραπέρα αύξηση των τιμών αυτών δεν προσφέρει μεγάλο κέρδος στην ταχύτητα σύγκλισης της μεθόδου (*Rushton, 1974b*).

Η μέθοδος SOR που περιγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική επίλυση του φυσικού προβλήματος.

4. ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

4.1. Αρχικές συνθήκες

Για την επίλυση ενός φυσικού προβλήματος εκτός από τις εξισώσεις που περιγράφουν το πρόβλημα χρειάζονται οι αρχικές και οι οριακές συνθήκες.

Οι αρχικές συνθήκες δίνονται για τη χρονική στιγμή $t=0$, δηλαδή για την αρχή της επίλυσης του προβλήματος. Σε αυτή τη χρονική στιγμή όλες οι παράμετροι του προβλήματος πρέπει να είναι γνωστές από μετρήσεις ή από πειράματα ή από νομογραφήματα.

Σαν αρχική κατάσταση για ένα πρόβλημα υπόγειας υδραυλικής μπορεί να είναι η στάθμη του υπόγειου νερού στη σταθερή κατάσταση ή η στάθμη πηγαδιού ή ποταμού στον αρχικό χρόνο $t=0$.

Στο μελετούμενο φυσικό πρόβλημα στη χρονική στιγμή $t = 0$ ημέρες έχουμε $h = 40,4$ m σε όλη την έκταση του υδροφόρου στρώματος.

4.2. Οριακές συνθήκες

4.2.1. Γενικότητες

Οι οριακές συνθήκες περιγράφουν την κατάσταση στα γεωλογικά όρια και πρέπει να είναι γνωστές για κάθε πρόβλημα. Οι οριακές συνθήκες δίνουν τις τιμές των παραμέτρων πάνω στην περίμετρο των ορίων για όλη τη χρονική διάρκεια λύσης του προβλήματος. Οι οριακές συνθήκες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες [Βαλασσόπουλος, 1977].

a. Εσωτερικές οριακές συνθήκες

Είναι ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε σημεία εσωτερικά των περιοχών που μελετώνται. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να είναι :

1. Ένα οριακό φορτίο, π.χ. Οι διάφορες τιμές του φορτίου που παίρνονται κατά την άντληση ενός πηγαδιού.
2. Μια οριακή ροή, π.χ. Η παροχή άντλησης ενός πηγαδιού σε διαφορετικούς χρόνους.

3. Μια ελεύθερη επιφάνεια, π.χ. Η επιφάνεια ενός ποταμού ή μιας λίμνης.

Ένα εσωτερικό όριο μπορεί να βρίσκεται πάνω σε ένα κόμβο ή να έχει κάποια επίδραση στη γύρω του περιοχή.

b. Εξωτερικές οριακές συνθήκες

Είναι ειδικές συνθήκες που επικρατούν στην περίμετρο των ορίων μιας μελετούμενης περιοχής. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να είναι:

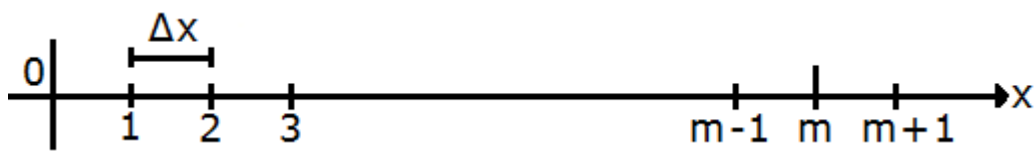
1. Το όριο σταθερού ύψους φορτίου. Εδώ ισχύει $h_{LM} = h_0 = ct^e$ για όλους τους κόμβους που βρίσκονται πάνω σε αυτό το όριο.

2. Όριο μηδενικής ροής. Το όριο αυτό αποτελεί μια γραμμή ροής. Για ένα κόμβο m

$$\text{που βρίσκεται πάνω σε ένα τέτοιο όριο ισχύει: } \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_m = 0 \quad (4.1)$$

Θεωρούμε ένα φανταστικό ή εικονικό κόμβο, δηλαδή ένα διάστημα έξω από το όριο, τον κόμβο $m+1$ (σχήμα 4.1). Έτσι η εξίσωση (4.1) γράφεται σε μορφή των πεπερασμένων διαφορών :

$$\left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_m = \frac{h_{m+1} - h_{m-1}}{2\Delta x} = 0 \rightarrow h_{m+1} - h_{m-1} = 0 \rightarrow h_{m+1} = h_{m-1} \quad (4.2)$$



Σχήμα 4.1. Διάταξη πραγματικών και εικονικών κόμβων

4.2.2. Το χωρικό πλέγμα

Σε όλα τα υπολογιστικά σχήματα πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιούνται διακεκριμένα χωρικά βήματα Δx , Δy κατά τις δύο διευθύνσεις x , y . Αυτό επιβάλλει την ταξινόμηση της περιοχής του μελετούμενου προβλήματος σε ένα δίκτυο (κόμβους) σε κάθε

κόμβο του οποίου βρίσκεται η λύση της εξίσωσης και λαμβάνεται η τιμή του υδραυλικού φορτίου h .

Η κατασκευή αυτού του χωρικού πλέγματος γίνεται είτε με $\Delta x = \Delta y$ ή με $\Delta x \neq \Delta y$. Σε περιοχές όπου υπάρχουν πηγάδια άντλησης ή μεγάλες υδραυλικές κλίσεις το πλέγμα πυκνώνεται ώστε ακόμη και πάνω στην ίδια διεύθυνση να έχουμε διαφορετικά Δx ή Δy . Το αντίθετο συμβαίνει σε περιοχές του πλέγματος όπου δεν υπάρχει άντληση ή οι υδραυλικές κλίσεις είναι μικρές, δηλαδή εκεί το πλέγμα αραιώνεται.

Η διευθέτηση της μελετούμενης περιοχής σε κάρναβο (πλέγμα) εξυπηρετεί ακόμη και την ευκολότερη τροφοδότηση των δεδομένων. Έτσι σε κάθε κόμβο του δικτύου ή σε κάθε εσωτερικό τμήμα των γραμμών του δικτύου όλες οι παράμετροι παίρνουν διακεκριμένες τιμές και εισάγονται στα δεδομένα.

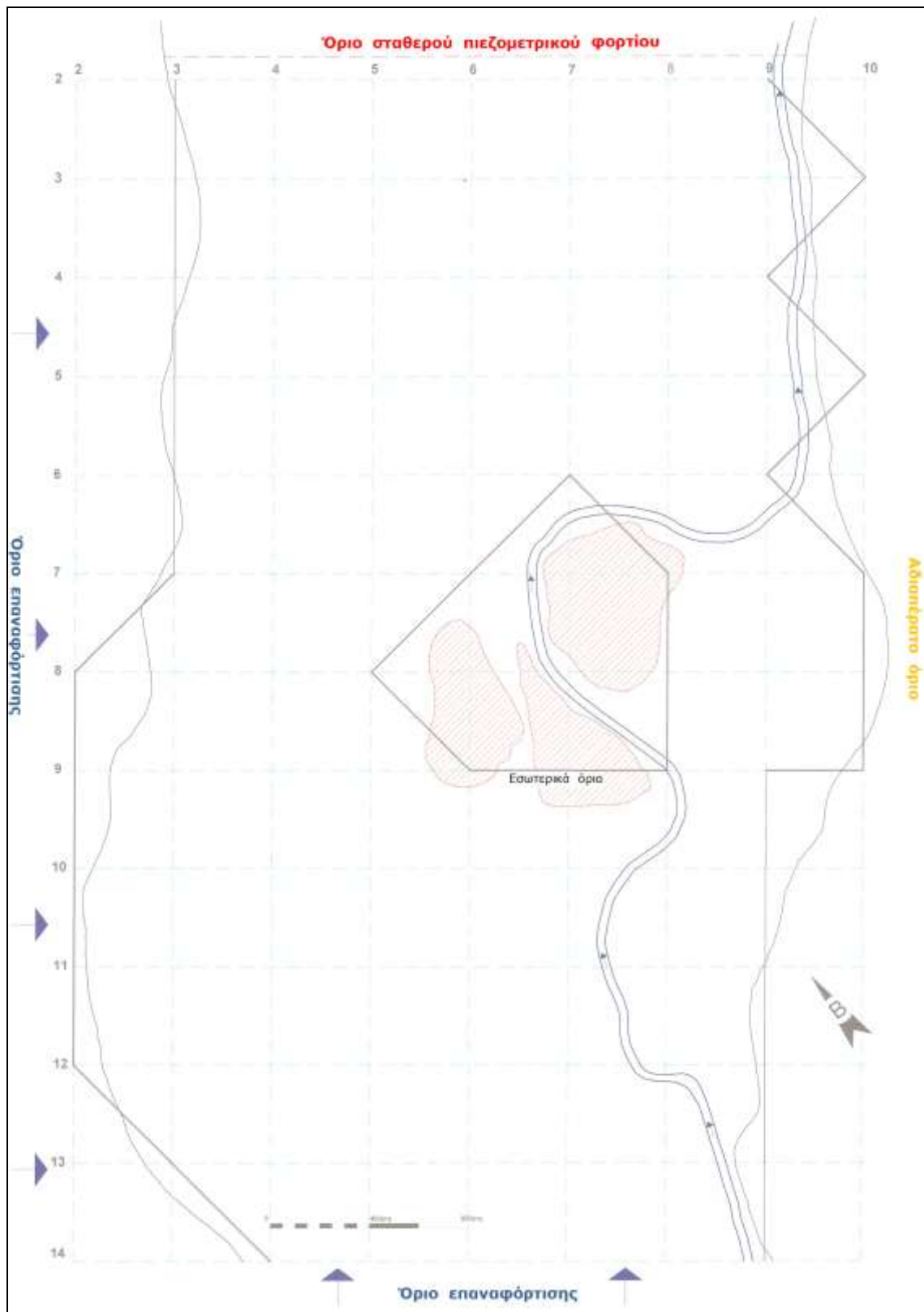
Το πλέγμα της μελετούμενης περιοχής του φυσικού προβλήματος έχει 9 επί 13 κόμβους που απέχουν 400 m ο ένας από τον άλλο. Έτσι ο κάθε κόμβος ονομάζεται σύμφωνα με τις συντεταγμένες « i » για τη διεύθυνση x και « j » για τη διεύθυνση y . Κατά αυτόν τον τρόπο όλοι οι κόμβοι μπορούν να καταγραφούν κάθε φορά που ζητείται, με αναφορά σε 2 αντίστοιχους αριθμούς στη θέση (i, j) που ανήκουν.

Η κορυφαία αριστερή γωνία του δικτυώματος είναι ο κόμβος (2,2) πράγμα που συνεπάγεται ότι η $i=1$ και $j=1$ δεν είναι μέρος του δικτυώματος όπως φαίνεται στο χάρτη 4.

4.2.3. Ειδικές οριακές συνθήκες του φυσικού προβλήματος

Ο μελετούμενος αλλούβιος υδροφορέας εμφανίζει δύο διαφορετικά είδη ορίων, όπως φαίνεται στο χάρτη 4. Το καθένα από αυτά τα όρια εξετάζεται ξεχωριστά γιατί παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

1. Το βόρειο-ανατολικό όριο θεωρείται ένα όριο σταθερού φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι κατά μήκος αυτού του ορίου θα έχουν μια σταθερή τιμή φορτίου σε όλους τους χρόνους επίλυσης. Αυτό το σταθερό ύψος δεν έχει καθοριστεί αυθαίρετα αλλά είναι το πραγματικό υψόμετρο του επιπέδου του νερού στις 31 Δεκεμβρίου 1974, όπως φαίνεται στο χάρτη 4.



Χάρτης 4 – Δίκτυο και όρια επαναφόρτισης του μαθηματικού μοντέλου

Στους εσωτερικούς κόμβους της μελετούμενης περιοχής οι τιμές του υδραυλικού φορτίου είναι μεγαλύτερες από ότι η σταθερή τιμή, οπότε δημιουργείται μια ροή προς τους κόμβους σταθερού φορτίου.

2. Τα άλλα όρια του υδροφόρου στρώματος, που είναι:

2α. Το νότιο–ανατολικό όριο. Είναι ένα αδιαπέρατο όριο γιατί σχηματίζεται από αδιαπέρατες γεωλογικές στρώσεις (μάργα). Το όριο αυτό αποτελεί μια γραμμή ροής γιατί το νερό ρέει κατά μήκος του.

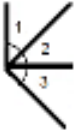







2β. Το νότιο–δυτικό όριο. Είναι ένα όριο κατά μήκος του οποίου παρατηρείται μια ροή νερού που επαναφορτίζει τον υδροφορέα. Το όριο αυτό περιλαμβάνει οκτώ κόμβους στους οποίους μοιράζεται μια συνολική ποσότητα $11618 \text{ m}^3/\text{day}$.

Η ποσότητα αυτή διαμοιράζεται στους επιμέρους κόμβους σύμφωνα με τα σχήματα τους που φαίνονται στο χάρτη 4. Ο πίνακας 6 δίνει τις αναλογίες επαναφόρτισης για κάθε κόμβο. Επίσης ο ίδιος πίνακας δίνει τα κλάσματα επαναφόρτισης – σε σχέση με το συνολικό ποσό – που δέχεται κάθε κόμβος. Το άθροισμα όλων των κλασμάτων είναι ίσο με τη μονάδα. Το καθένα από αυτά τα κλάσματα χρησιμοποιείται για την εύρεση της επαναφόρτισης, που οφείλεται στη ροή του νερού διαμέσου του ορίου αυτού.



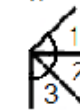
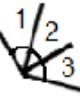
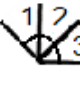
2γ. Το βόρειο–δυτικό όριο. Το όριο αυτό παρουσιάζει μια ιδιομορφία γιατί ένα τμήμα του αποτελείται από ημιπερατό αργιλλασβεστώδη ασβεστόλιθο και το υπόλοιπο αποτελείται από αδιαπέρατη μάργα. Κατά μήκος αυτού του ορίου συμβαίνει μια επαναφόρτιση που οφείλεται στη ροή του νερού μέσα στον ασβεστόλιθο και η οποία έχει μια μέση τιμή $2852 \text{ m}^3/\text{day}$. Ο πίνακας 7 δίνει τα σχήματα, τις αναλογίες και τα κλάσματα των κόμβων του ορίου αυτού.

Η μέση εκφόρτιση για τα αντλητικά πηγάδια είναι $13371 \text{ m}^3/\text{day}$. Ο πίνακας 8 δίνει το κλάσμα εκφόρτισης για κάθε πηγάδι. Τα κλάσματα αυτά χρησιμοποιούνται όπως και τα κλάσματα επαναφόρτισης, με τη διαφορά ότι έχουν αρνητικό πρόσημο που δηλώνει την έξοδο νερού από το υδροφόρο στρώμα.

Πίνακας 6. Κλάσματα επαναφόρτισης που αντιστοιχούν στους επιμέρους κόμβους του Νότιο – Δυτικού ορίου.

<u>Κόμβος</u>	<u>Αναλογία</u>	<u>Σχήμα</u>	<u>Κλάσμα</u>
(2 , 12)	3 / 4		$\frac{1244,8}{11618} = 0,10714$
(3 , 13)	4 / 4		$\frac{1659,7}{11618} = 0,14286$
(4 , 14)	3 / 4		$\frac{1244,8}{11618} = 0,10714$
(5 , 14)	4 / 4		$\frac{1659,7}{11618} = 0,14286$
(6 , 14)	4 / 4		$\frac{1659,7}{11618} = 0,14286$
(7 , 14)	4 / 4		$\frac{1659,7}{11618} = 0,14286$
(8 , 14)	4 / 4		$\frac{1659,7}{11618} = 0,14286$
(9 , 14)	2 / 4		$\frac{829,8}{11618} = 0,07143$
			<hr/> Σ 1,00

Πίνακας 7. Κλάσματα επαναφόρτισης που αντιστοιχούν στους επιμέρους κόμβους του Βόρειο – Δυτικού ορίου

<u>Κόμβος</u>	<u>Αναλογία</u>	<u>Σχήμα</u>	<u>Κλάσμα</u>
(3,2)	2 / 4		$\frac{118,8}{2852} = 0,04167$
(3,3)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(3,4)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(3,5)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(3,6)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(3,7)	5 / 4		$\frac{297,2}{2852} = 0,10417$
(2,8)	3 / 4		$\frac{178,3}{2852} = 0,0625$
(2,9)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(2,10)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(2,11)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(2,12)	3 / 4		$\frac{178,3}{2852} = 0,0625$
(3,13)	4 / 4	1	$\frac{237,7}{2852} = 0,08333$
(4,14)	3 / 4		$\frac{178,3}{2852} = 0,0625$
			Σ 1,00

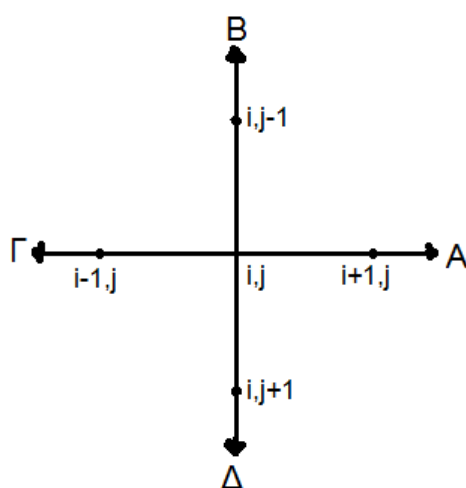
Πίνακας 8. Κλάσματα εκφόρτισης για τα πηγάδια

<u>Πηγάδι</u>	<u>Κόμβος</u>	<u>Κλάσμα</u>	
N	(4 , 4)	$\frac{2741,9}{13371}$	= 0,20506
L	(4 , 6)	$\frac{296,3}{13371}$	= 0,02216
X	(4 , 9)	$\frac{5166,4}{13371}$	= 0,38639
Y	(5 , 11)	$\frac{5166,4}{13371}$	= 0,38639
		Σ	<u>1,00</u>

4.2.4 Σύνθεση των ορίων

Η μέθοδος εισαγωγής των δεδομένων που αφορούν τους οριακούς κόμβους βασίζεται κυρίως στο γεωμετρικό σχήμα και τη θέση των κόμβων πάνω στα διάφορα όρια του υδροφόρου στρώματος.

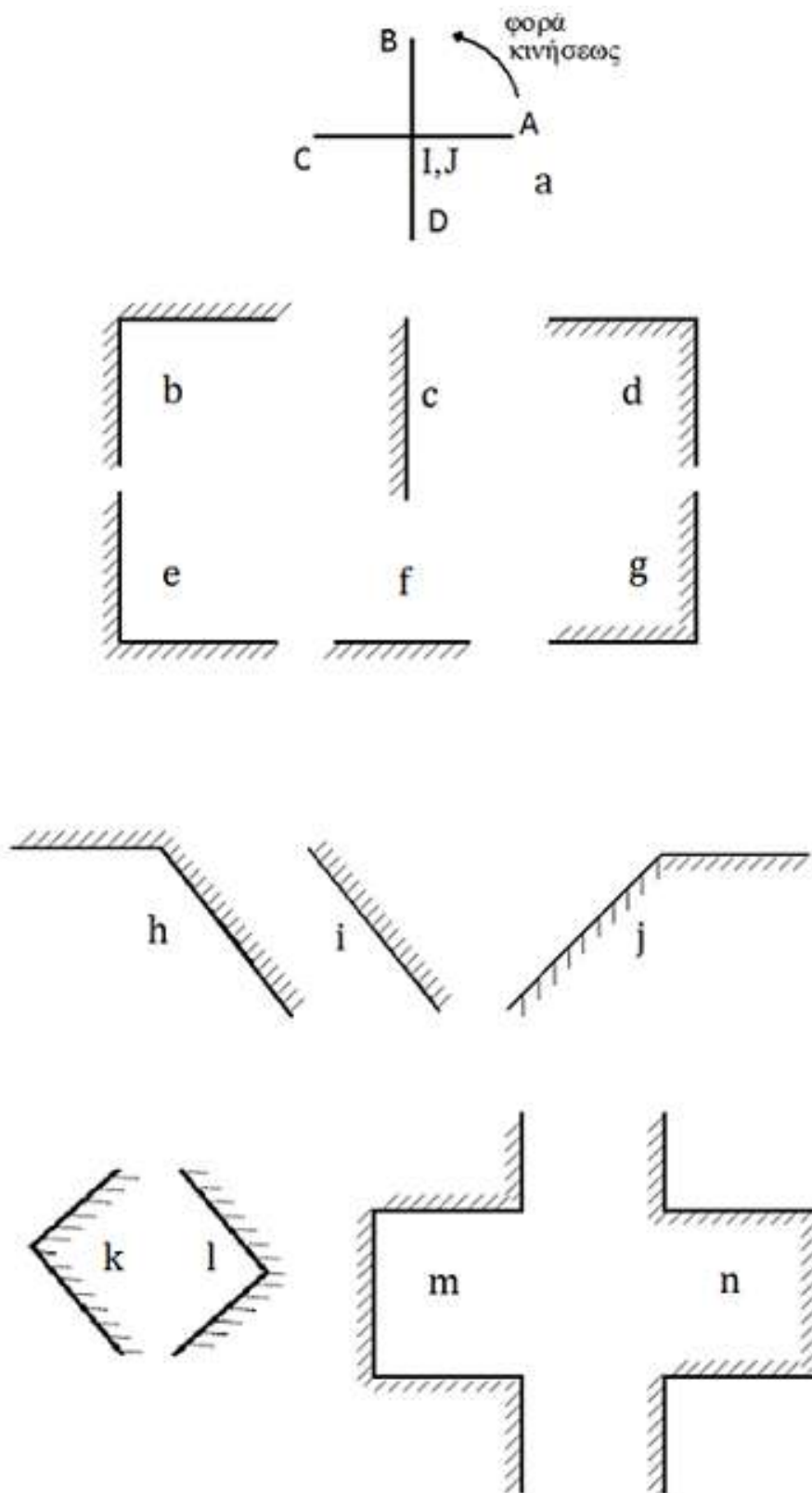
Ας θεωρήσουμε ένα κόμβο στο εσωτερικό του δικτυώματος ο οποίος έχει συντεταγμένες (i, j) . Η διεύθυνση που ορίζεται από τον κόμβο αυτό και τον κόμβο $(i+1, j)$, δεξιά του (i, j) ονομάζεται Α. Ακόμη η διεύθυνση που ορίζεται από τον κόμβο (i, j) και τον κόμβο $(i, j-1)$, πάνω από τον (i, j) , ονομάζεται Β ενώ εκείνη ανάμεσα στον (i, j) και τον $(i-1, j)$, αριστερά του (i, j) ονομάζεται Γ. Τέλος η διεύθυνση ανάμεσα στον (i, j) και τον $(i, j+1)$, κάτω του (i, j) ονομάζεται Δ, (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2. Σχήμα με το οποίο προσδιορίζονται οι συντελεστές, βάσει των οποίων υπολογίζονται οι τιμές της διοχετευτικότητας (T) και της αποθηκευτικότητας (S_c) στους οριακούς κόμβους

Έτσι λοιπόν κάθε κόμβος - οριακός ή όχι - εμφανίζει τέσσερις παραμέτρους, τις A , B , Γ , Δ , κάθε μια πάνω στην αντίστοιχη διεύθυνση.

Το σχήμα 4.3 δείχνει τα πιθανά σχήματα που μπορεί να έχουν τα όρια ενός υδροφόρου στρώματος μετά τη διευθέτηση του σε δίκτυο. Από τα σχήματα αυτά μόνο το m και το n δεν υπάρχουν στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Για κάθε ένα από τα σχήματα αυτά οι τιμές των συντελεστών A , B , Γ , Δ δίδονται στον πίνακα 9.



Σχήμα 4.3. Σχήματα Ακανόνιστων ορίων (Mimides, 1977)

Πολλαπλασιάζοντας τις αρχικές τιμές της διοχετευτικότητας με τους συντελεστές αυτούς στις ομόλογες διευθύνσεις πετυχαίνουμε να καθορίσουμε τις τιμές της διοχετευτικότητας των οριακών κόμβων του δικτύματος κατά τις διευθύνσεις A, B, Γ, Δ.

Πίνακας 9. Συντελεστές υπολογισμού της διοχετευτικότητας T στους οριακούς κόμβους

	A	B	Γ	Δ
b	0,5	0	0	0,5
c	1	0,5	0	0,5
d	1	1	0,5	0,5
e	0,5	0,5	0	0
f	0,5	1	0,5	0
g	1	0,5	0,5	1
h	0	0	0,5	1
i	1	1	0	0
j	0,5	1	1	0
k	0	1	1	1
l	0	0	1	0

Ο τρόπος με τον οποίο συντάσσεται ο πίνακας 9 είναι ο εξής:

- Όταν οι διευθύνσεις A, B, Γ, Δ, συμπίπτουν με τις γραμμές των τμημάτων τότε οι αντίστοιχοι συντελεστές παίρνουν την τιμή 0,5.
- Όταν οι διευθύνσεις A, B, Γ, Δ δεν συμπίπτουν με τις γραμμές των σχημάτων τότε οι διευθύνσεις που βρίσκονται στο εσωτερικό του δικτύματος παίρνουν την τιμή 1,0 ενώ αυτές που βρίσκονται εκτός του δικτύματος παίρνουν την τιμή 0.

Έτσι αν ένας συντελεστής είναι 0 τότε προς την αντίστοιχη διεύθυνση δεν διοχετεύεται νερό. Όταν έχει την τιμή 0,5 σημαίνει ότι διοχετεύεται νερό με το μισό της διοχετευτικότητας που αρχικά αντιστοιχούσε στον κόμβο αυτόν ενώ το υπόλοιπο διοχετεύεται προς άλλες – άχρηστες - για τον υδροφορέα διευθύνσεις. Φυσικά όταν η τιμή ενός συντελεστή είναι 1,0 τότε ολόκληρη η αρχική ποσότητα διοχετεύεται στον υδροφορέα.

Με παρόμοιο τρόπο κάνουμε την επεξεργασία για τον συντελεστή αποθηκευτικότητας του υδροφορέα. Ένας τέτοιος συντελεστής που δίνεται για τον κόμβο (i, j) επηρεάζει το

τετράγωνο ανάμεσα στους κόμβους $(i+1, j)$, $(i, j+1)$, $(i-1, j)$, $(i, j-1)$. Ανάλογα με το τμήμα του τετραγώνου αυτού που περικλείεται από το σχήμα του ορίου ο αρχικός συντελεστής αποθηκευτικότητας πολλαπλασιάζεται με τις τιμές 0,25 , 0,5 , 0,75 , 1,0. Αυτό σημαίνει ότι περικλείεται στο πλέγμα το $\frac{1}{4}$, το $\frac{1}{2}$, τα $\frac{3}{4}$ ή ολόκληρο το τετράγωνο γύρω από τον κόμβο (i, j) .

Ο πίνακας 10 δείχνει για τα διάφορα σχήματα τις τιμές με τις οποίες πολλαπλασιάζεται κάθε φορά ο αρχικός συντελεστής αποθηκευτικότητας.

Πίνακας 10. Συντελεστές υπολογισμού της αποθηκευτικότητας S_c στους οριακούς κόμβους

Μορφή	Παράγοντας πολ/σμου
b	0,25
c	0,5
d	0,75
e	0,25
f	0,5
g	0,75
h	0,375
i	0,5
j	0,625
k	0,75
l	0,25

5. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

5.1. Αριθμητικά αποτελέσματα

Με την τοποθέτηση των αρχικών και οριακών συνθηκών στο μαθηματικό μοντέλο είναι δυνατόν να ξεκινήσει η αξιοποίησή του.

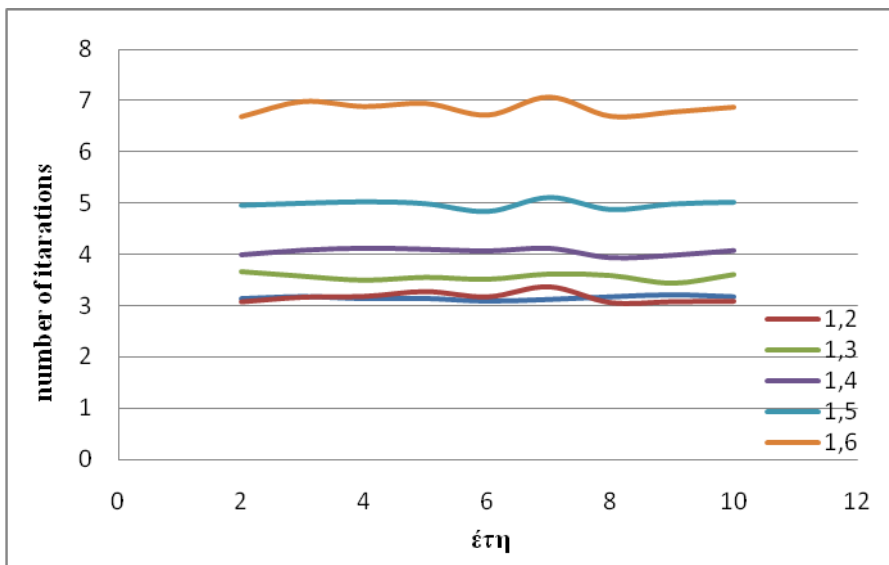
Πρώτη υπόθεση που έγινε είναι ότι η υδραυλική αγωγιμότητα και ο συντελεστής αποθηκευτικότητας έχουν την ίδια τιμή σε όλους τους κόμβους του δικτύωματος (χάρτης 4).

- Στο μαθηματικό μοντέλο πάρθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα $Ks = 410$ m/day και ο συντελεστής αποθηκευτικότητας $Sc = 0.09$.
- Το μέσο κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος ελήφθει ίσο με 5.8m και έτσι προέκυψε για τον κάθε κόμβο μια τιμή της διοχετευτικότητας ή μεταβιβαστικότητας $T_x = T_y = 2378$ m²/day.
- Η βροχόπτωση έχει μια μέση τιμή 21687 m³/day που μοιράζεται ίσα σε 117 κόμβους της περιοχής. Έτσι σε κάθε κόμβο αντιστοιχεί ένα κλάσμα $1/117=0,008547$ της συνολικής μηνιαίας βροχόπτωσης κάθε χρονιάς.

Πριν ξεκινήσει η αξιοποίηση του μαθηματικού μοντέλου έγινε έλεγχος της ταχύτητας σύγκλισης της μεθόδου SOR, δοκιμάζοντας 6 τιμές του συντελεστή υπερχαλάρωσης w . Από τα σχήματα 5.1 και 5.2 γίνεται κατανοητό ότι η τιμή $w = 1,1$ δίνει την καλύτερη ταχύτητα σύγκλισης. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την αριθμητική επίλυση του μαθηματικού μοντέλου.



Σχήμα 5.1. Σχέση παράγοντα υπερχαλάρωσης με το μέσο αριθμό επαναλήψεων



Σχήμα 5.2. Σχέση παράγοντα υπερχαλάρωσης με αριθμό επαναλήψεων για όλη τη χρονική περίοδο προσομοίωσης

Στη συνέχεια έγινε έλεγχος του ισοζυγίου του μαθηματικού μοντέλου. Από τον Πίνακα 11 φαίνεται ότι το ισοζύγιο είναι πολύ ικανοποιητικό ($< 0,6\%$).

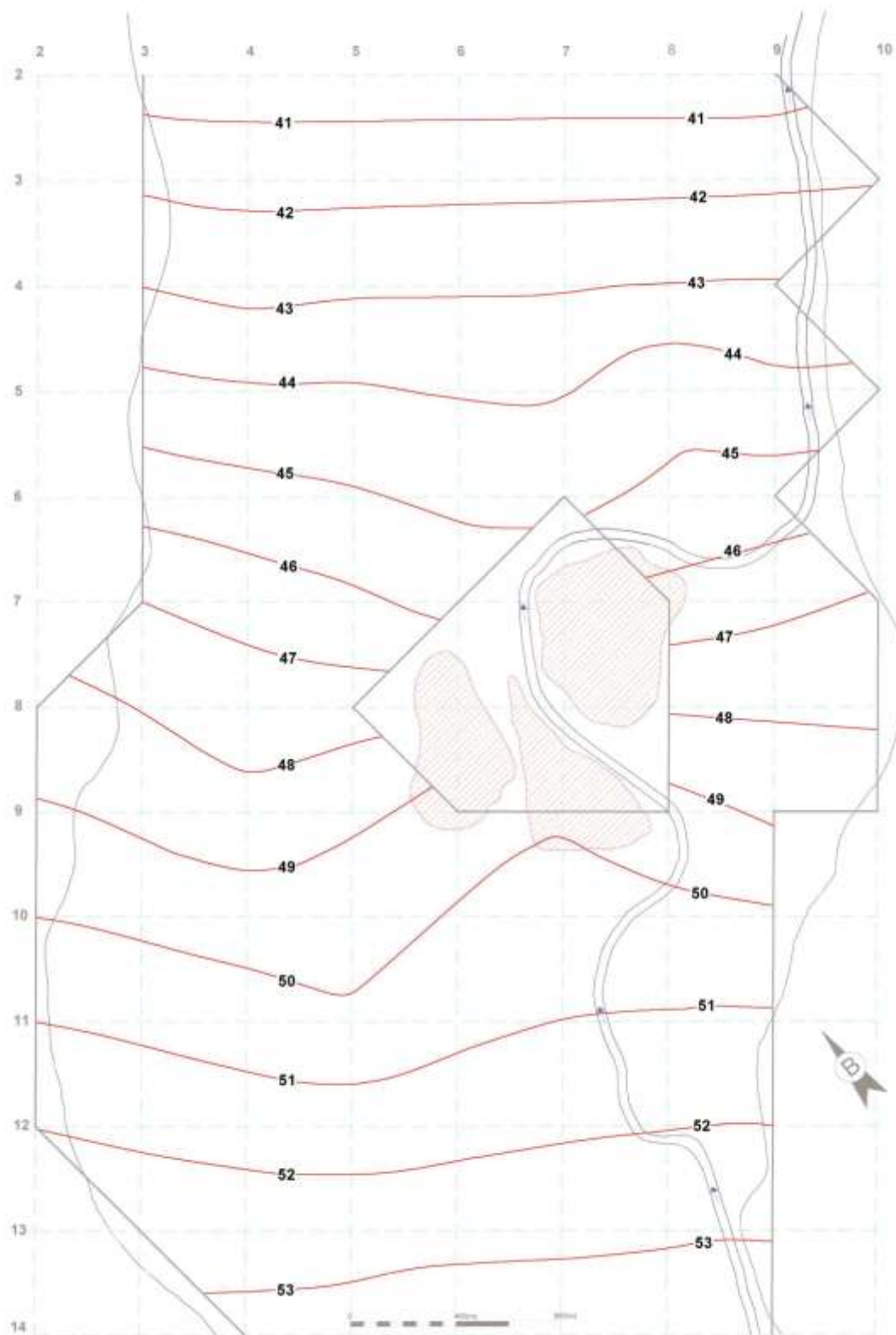
Πίνακας 11. Ισοζύγιο μαθηματικού μοντέλου

M³/DAY Sc=0,09	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	22273	22670	22302	22538	22651	24508	19787	16763
ΠΡΑΓΜΑΤ. ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	17133,1	17438,46	17155,4	17336,9	17423,8	18852,3	15220,8	12894,6
ΜΕΣΗ ΕΙΣΕΡΧ. ΠΟΣΟΤ. ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΒΑ ΟΡΙΟ	3089	3089	3092	2990	3094	2995	2438	2032
ΜΕΣΗ ΕΙΣΕΡΧ. ΠΟΣΟΤ. ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΝΑ ΟΡΙΟ	11721	11622	11617	11593	11670	11654	11585	11480
ΣΥΝΟΛΟ ΕΙΣΡΟΩΝ	31943,1	32149,46	31864,4	31919,9	32187,8	33501,3	29243,8	26406,6
ΜΕΣΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΒΑ ΟΡΙΟ	17984,9	18425,59	18319,5	18229	18476,6	19070,3	17664	15351,5
ΜΕΣΕΣ ΑΝΤΛΑΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤ. ΝΕΡΟΥ	12905	13445	13515	13656	13045	13846	13147	13410
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΟΩΝ	30889,9	31870,59	31834,5	31885	31521,6	32916,3	30811	28761,5
ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΣΡΟΩΝ-ΕΚΡΟΩΝ	1053,2	278,9	29,9	34,9	666,3	585,0	-1567,2	-2354,9
ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ	906,5	123,3	-130,5	-115,9	513,1	427,4	-1719,1	-2490
ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΜΟΝΤΕΛΟΥ	146,7	155,6	160,4	150,8	153,2	157,6	151,9	135,1
ΙΣΟΖΥΓΙΟ (%)	0,0046	0,0048	0,0050	0,0047	0,0048	0,0047	0,0052	0,0051

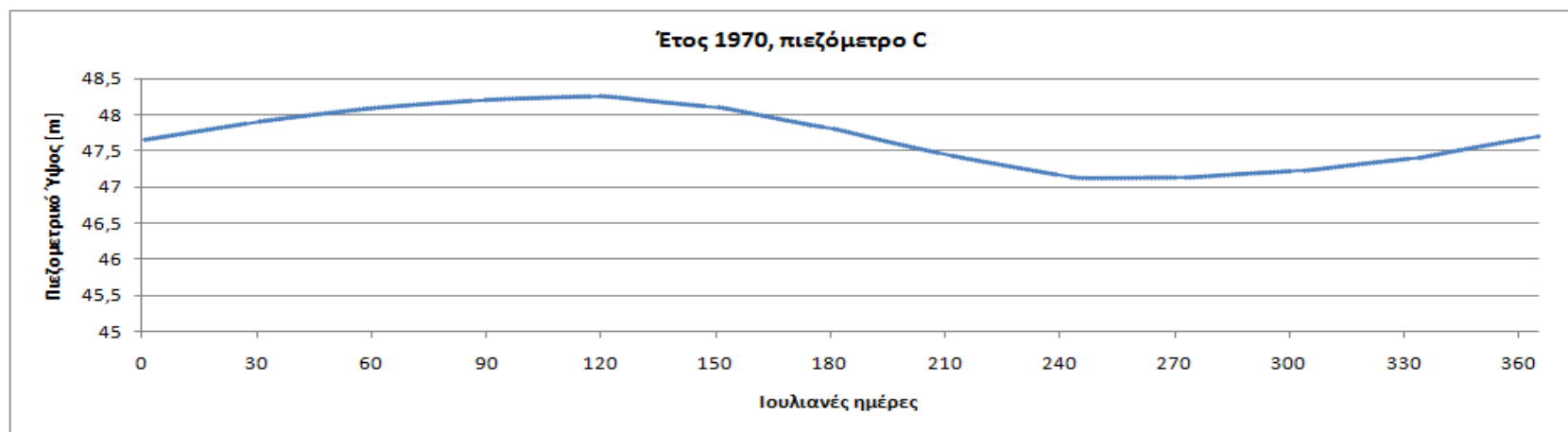
Ο χάρτης 5 δείχνει τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες που εξάγονται από τη μαθηματική προσομοίωση στις 31 Δεκεμβρίου 1974. Συγκρίνοντάς τον με το χάρτη 3 φαίνεται ότι οι αντίστοιχες ισοπιεζομετρικές καμπύλες πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους. Αρκετά εκτός από εκείνες των 47, 48 και 49 m στις οποίες παρατηρείται μια μικρή διαφορά. Η αιτία που οδηγεί στη διαφορά αυτή είναι ότι το σχήμα και το μέγεθος του δικτυώματος δε δίνει μια πολύ καλή προσέγγιση στο πραγματικό σχήμα των εσωτερικών αδιαπέρατων ορίων (χάρτης 4).

Στα σχήματα 5.3 έως 5.10 δίνεται η διακύμανση του πιεζομετρικού φορτίου τα έτη 1970, 1972, 1974 και 1976 στα πιεζόμετρα C και H. Από την παρατήρηση των σχημάτων προκύπτει ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα είναι συμβατά με τα δεδομένα εισόδου (Πίνακες 2, 3, 4 και 5). Και για τα τέσσερα παραπάνω έτη από 1/1 και μέχρι 30/4 περίπου που οι εισροές είναι μεγαλύτερες των εκροών το πιεζομετρικό φορτίο αυξάνεται. Ακολούθως έχουμε μείωση του πιεζομετρικού φορτίου μέχρι 30/9 περίπου λόγω μείωσης των εισροών και αύξησης των εκροών και στη συνέχεια εκ νέου αύξηση του πιεζομετρικού φορτίου μέχρι 31/12.

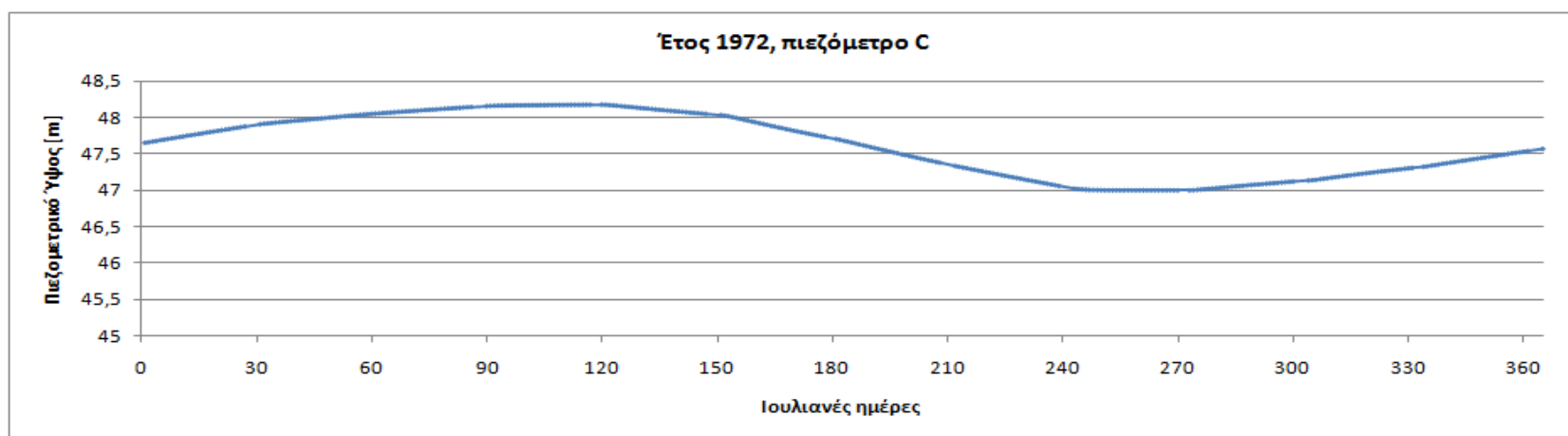
Στα σχήματα 5.11 και 5.12 παρουσιάζεται η διακύμανση του πιεζομετρικού φορτίου για το χρονικό διάστημα από 1^η Ιανουαρίου 1969 έως 31^η Δεκεμβρίου 1976, στα πιεζόμετρα C και H. Παρατηρούμε ότι προς το τέλος της χρονικής περιόδου έχουμε την πτώση του πιεζομετρικού φορτίου, το οποίο έρχεται σε απόλυτη συμφωνία με τα δεδομένα εισόδου (Πίνακες 2, 3, 4 και 5). Αυτή οφείλεται στη μείωση των εισερχομένων ποσοτήτων από το ΒΔ και ΝΔ όριο και της βροχόπτωσης, που παρουσιάζεται στα τελευταία έτη.



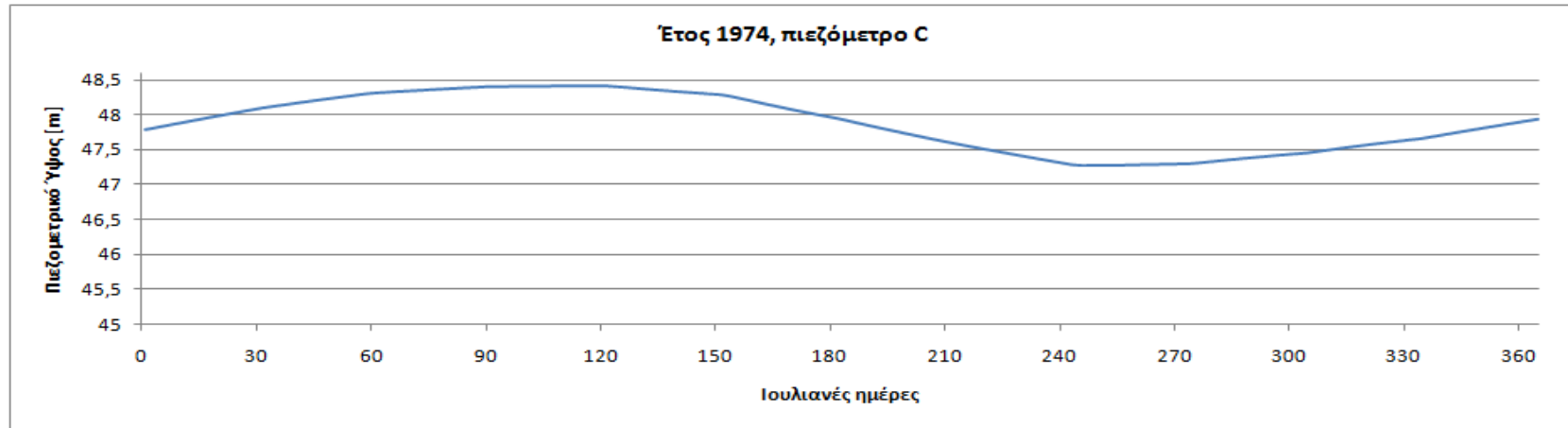
Χάρτης 5 – Χάρτης του μαθηματικού μοντέλου 31^{ης} Δεκεμβρίου 1974



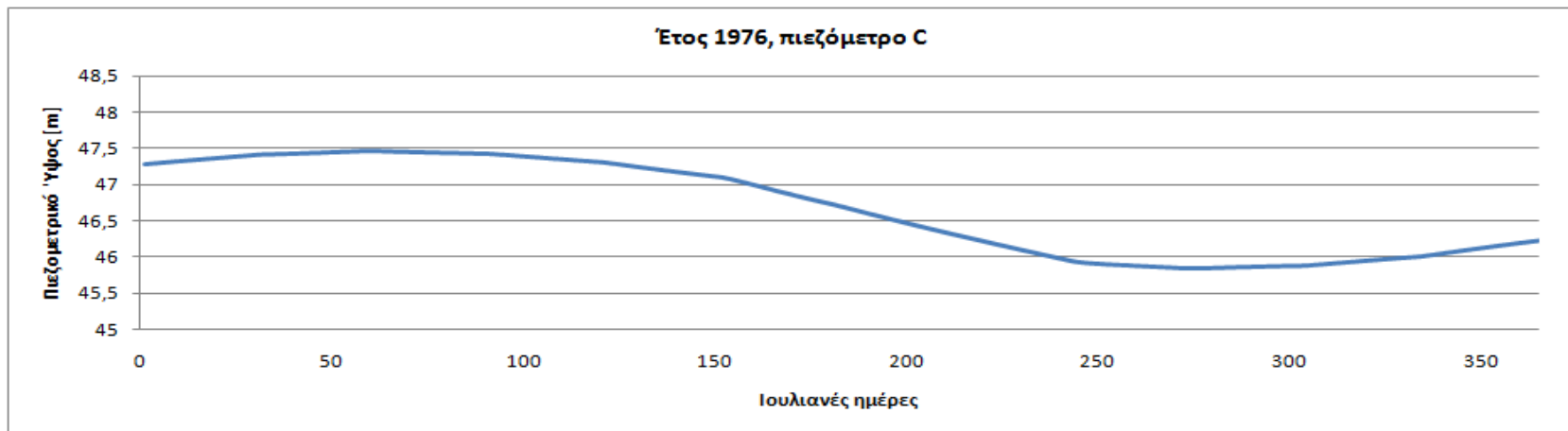
Σχήμα 5.3. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1970 στο πιεζόμετρο C



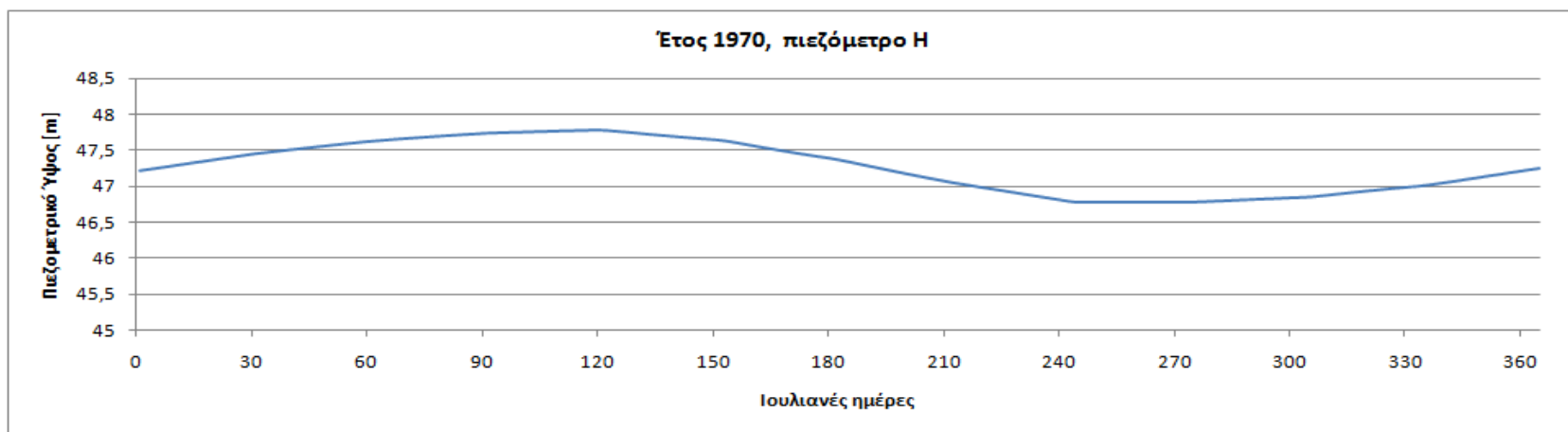
Σχήμα 5.4. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1972 στο πιεζόμετρο C



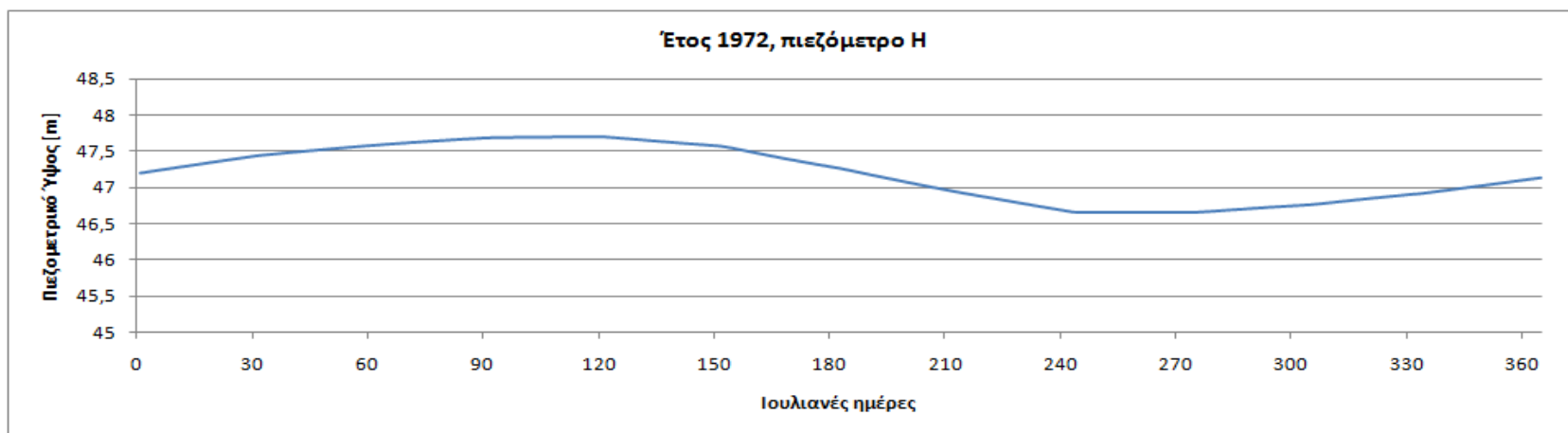
Σχήμα 5.5. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1974 στο πιεζόμετρο C



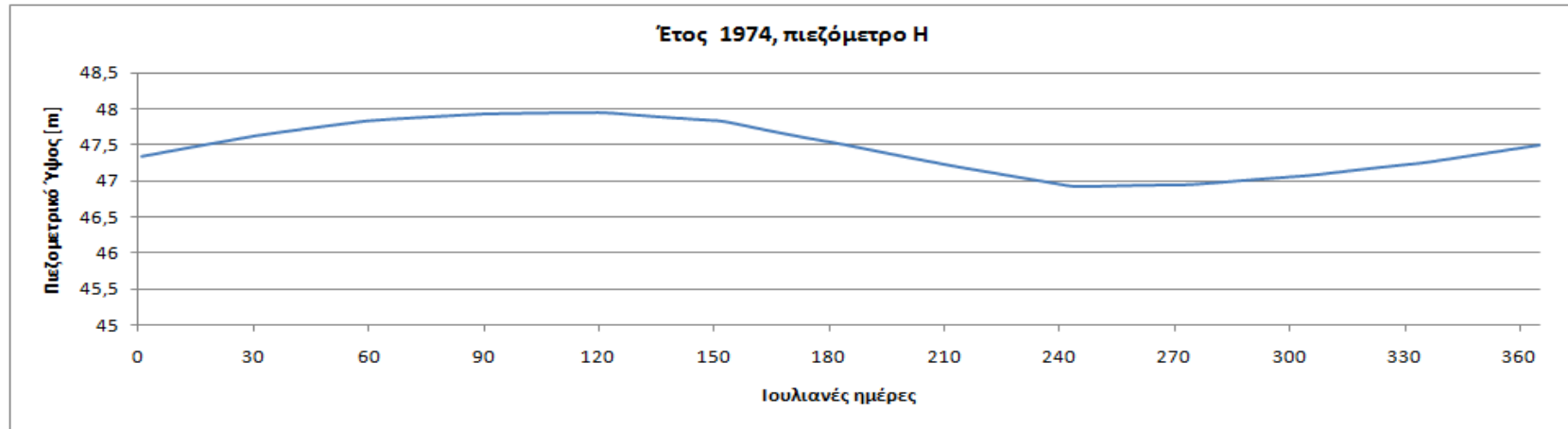
Σχήμα 5.6. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1976 στο πιεζόμετρο C



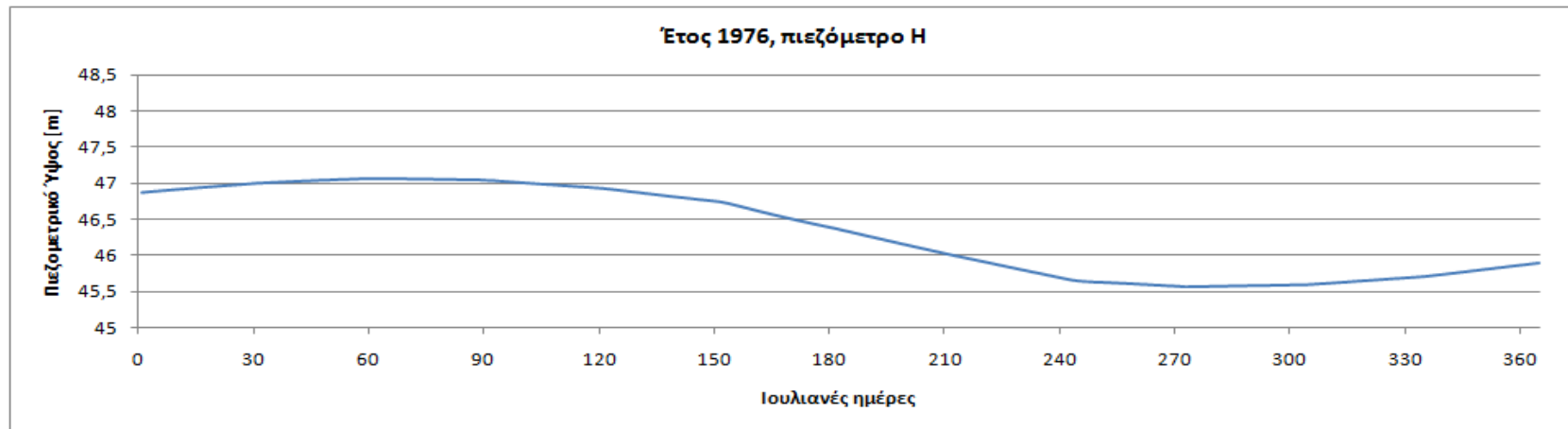
Σχήμα 5.7. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1970 στο πιεζόμετρο Η



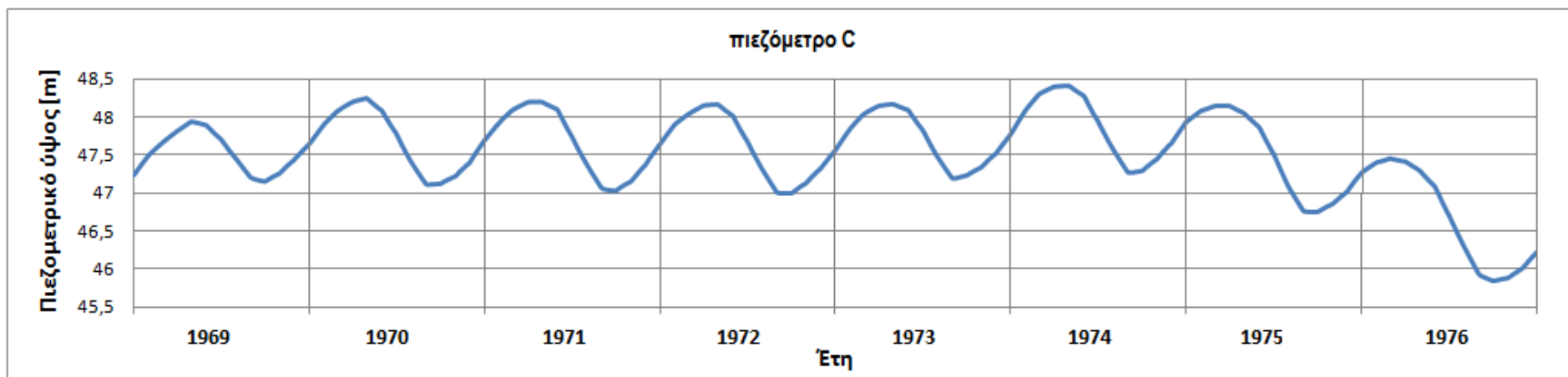
Σχήμα 5.8. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1972 στο πιεζόμετρο Η



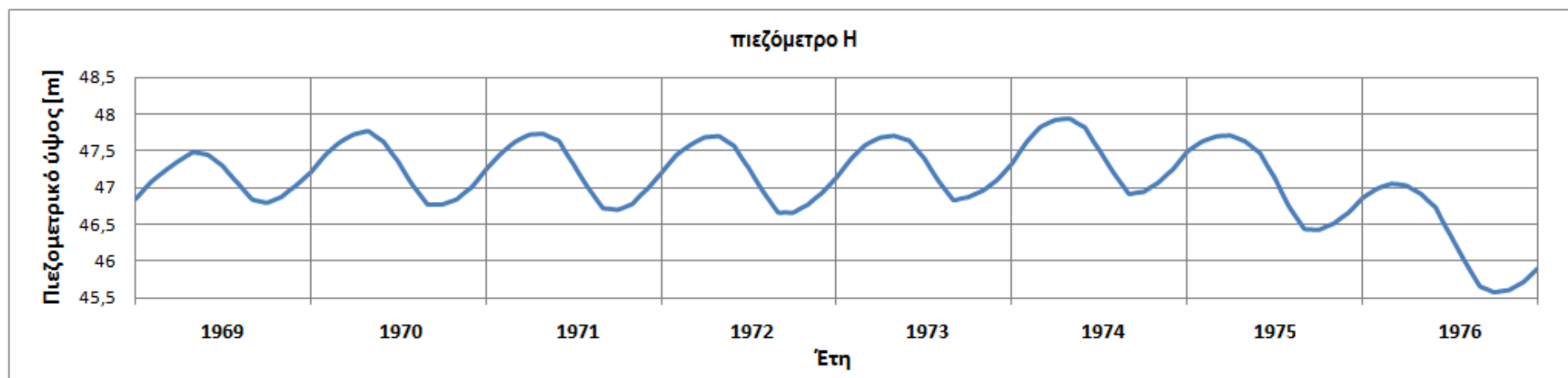
Σχήμα 5.9. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1974 στο πιεζόμετρο Η



Σχήμα 5.10. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο, κατά το έτος 1976 στο πιεζόμετρο Η



Σχήμα 5.11. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο κατά την περίοδο 1969-1976, στο πιεζόμετρο C



Σχήμα 5.12. Διακύμανση του πιεζομετρικού ύψους με το χρόνο κατά την περίοδο 1969-1976, στο πιεζόμετρο Η

5.2. Ευαισθησία του μαθηματικού ομοιώματος

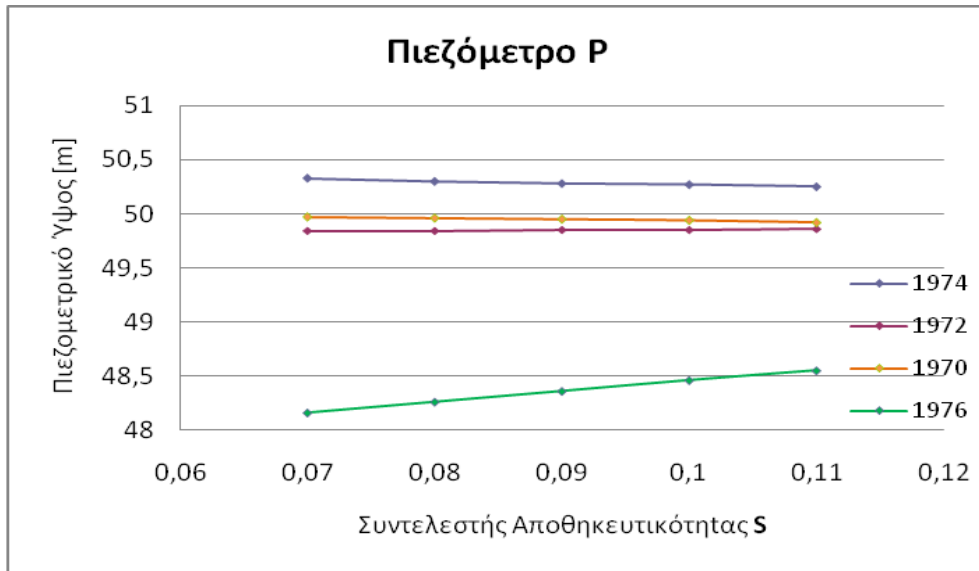
Η ευαισθησία του μαθηματικού μοντέλου ελέγχθηκε επιλύοντας το για διάφορες τιμές του συντελεστή αποθηκευτικότητας και του συντελεστή διοχετευτικότητας. Πρώτα κρατώντας το συντελεστή διοχετευτικότητας σταθερό ($2378 \text{ m}^2/\text{day}$) ο συντελεστής αποθηκευτικότητας αλλάχθηκε στις εξής τιμές $Sc = 0.07, 0.08, 0.09, 0.10$ και 0.11 .

Δεύτερον διατηρώντας το συντελεστή αποθηκευτικότητας σταθερό (0.09), ο συντελεστή διοχετευτικότητας αλλάχθηκε διαδοχικά στις εξής τιμές $T_x = T_y = 1850, 2114, 2378, 2642$ και $2906 \text{ m}^2/\text{day}$.

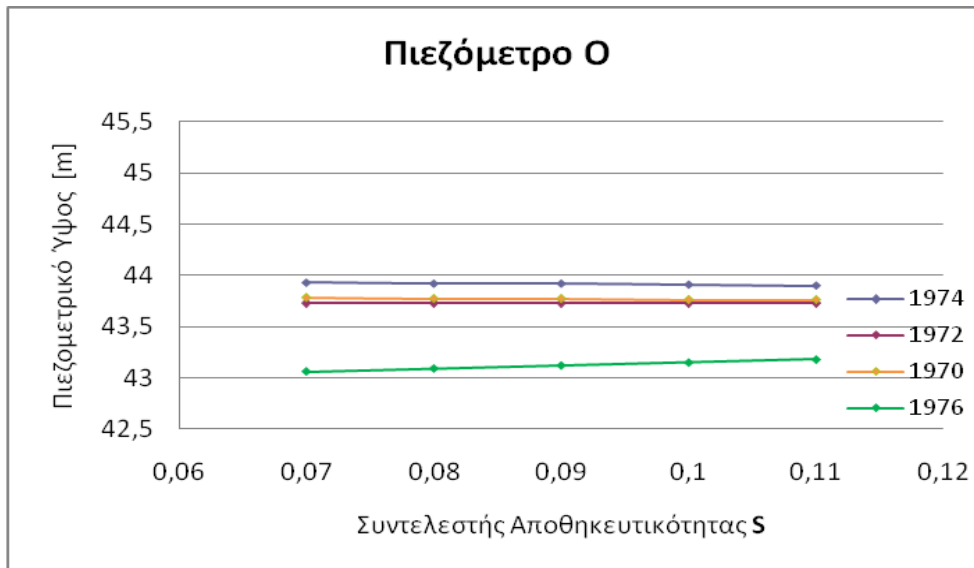
Και στις δύο περιπτώσεις η μεταβολή από τη μέση τιμή ήταν η ίδια $\pm 22,2\%$. Για την ανάλυση ευαισθησίας στο συντελεστή αποθηκευτικότητας Sc χρησιμοποιήθηκαν 6 πιεζόμετρα (P, O, M, H, D και C) και 4 χρονιές (1970, 1972, 1974 και 1976). Σε όλες τις περιπτώσεις πάρθηκαν τα πιεζομετρικά ύψη την 31^η Δεκεμβρίου.

Στα σχήματα 5.13 έως 5.18 δίνεται η γραφική παράσταση του συντελεστή αποθηκευτικότητας Sc ως προς το πιεζομετρικό ύψος στα 6 πιεζόμετρα. Η στατιστική επεξεργασία των σημείων αυτών έδειξε ότι τα σημεία αυτά αντιπροσωπεύονται από μία ευθεία γραμμή με εξίσωση :

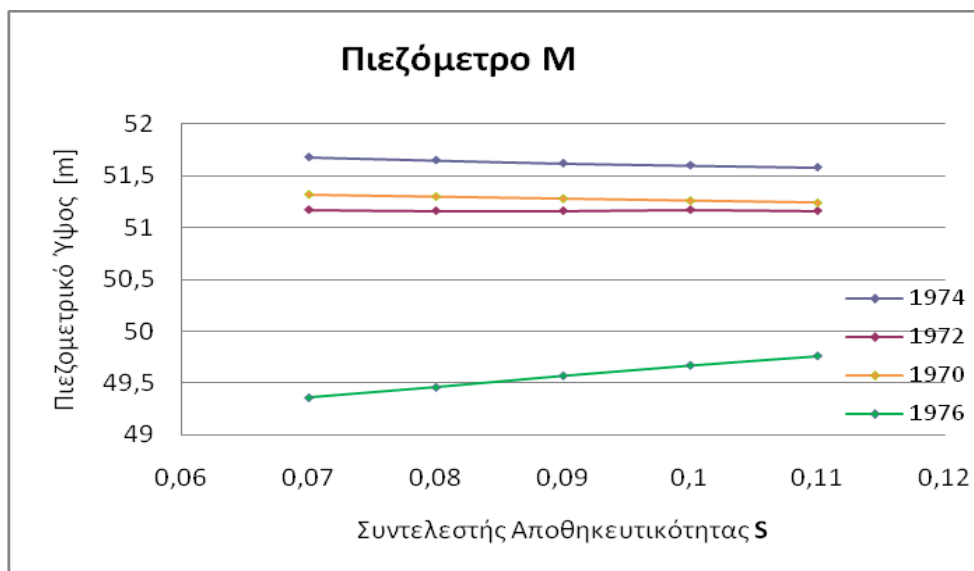
$$h = a \cdot Sc + b \quad (5.1)$$



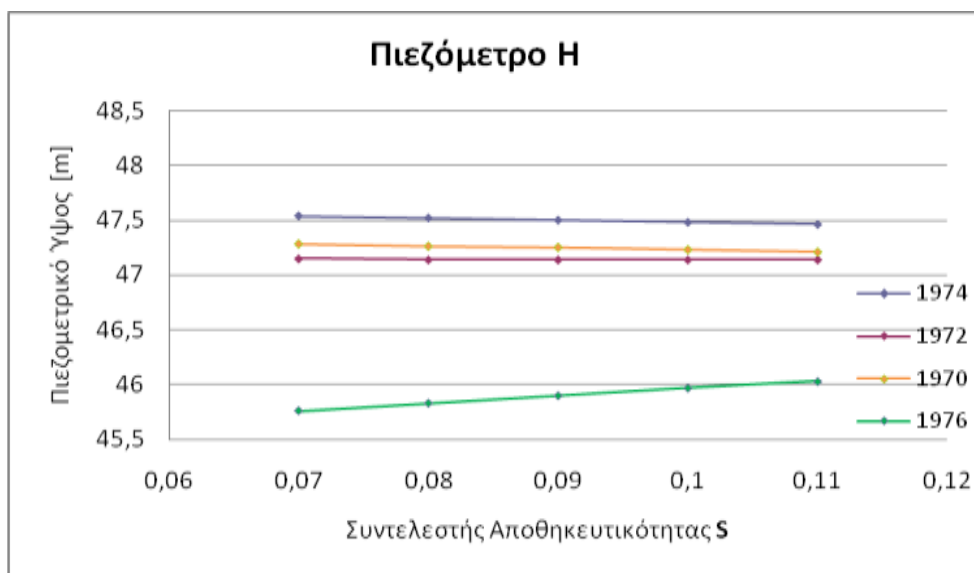
Σχήμα 5.13 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Ρ



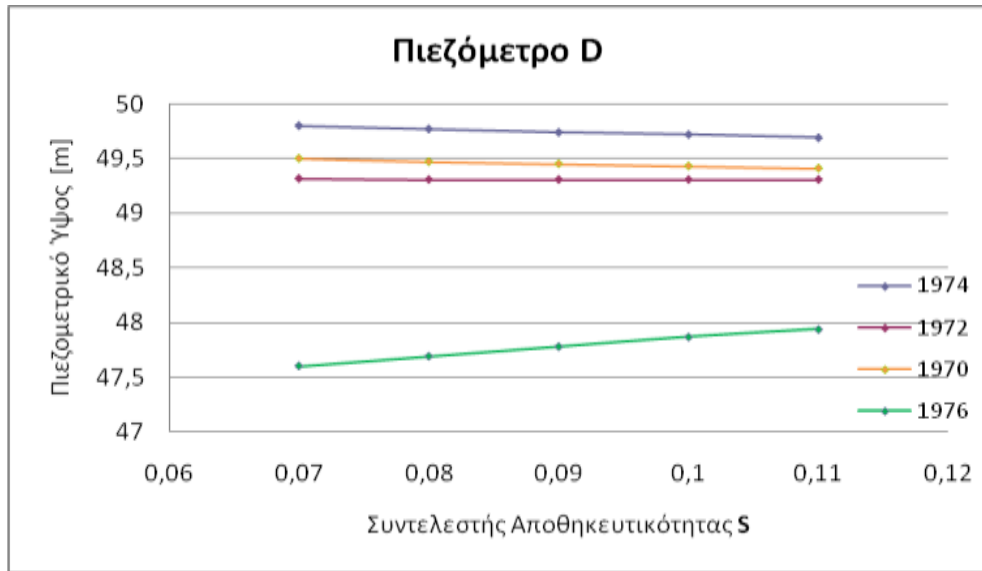
Σχήμα 5.14 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Ο



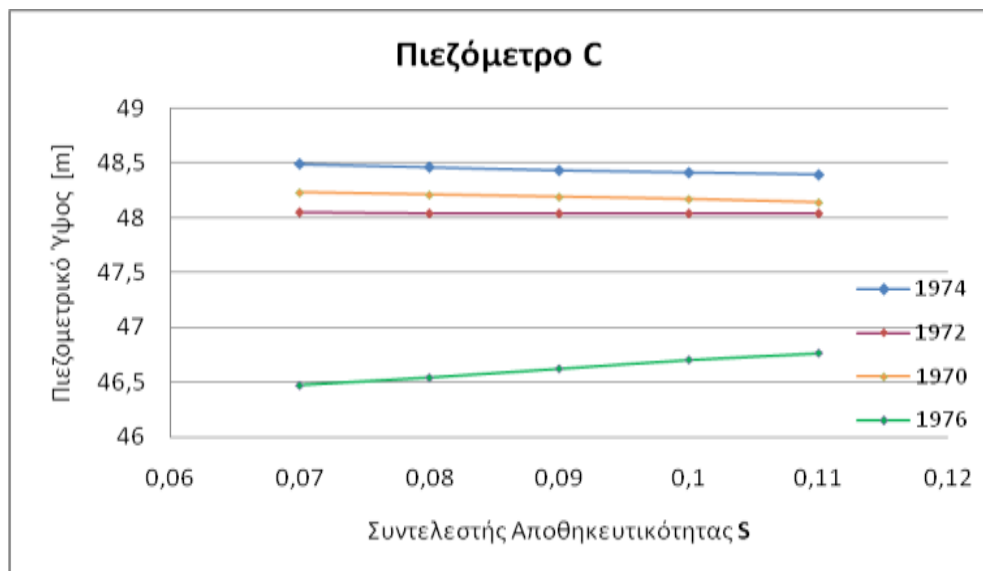
Σχήμα 5.15 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Μ



Σχήμα 5.16 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Η



Σχήμα 5.17 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο D



Σχήμα 5.18 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο C

Στον πίνακα 12 δίνονται οι σταθερές a και b και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r για όλες τις καμπύλες των σχημάτων 5.13 έως 5.18. Η πολύ καλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης επιβάλλει να δεχθούμε ότι το μαθηματικό μοντέλο δεν είναι ευπαθές στις μεταβολές του συντελεστή αποθηκευτικότητας.

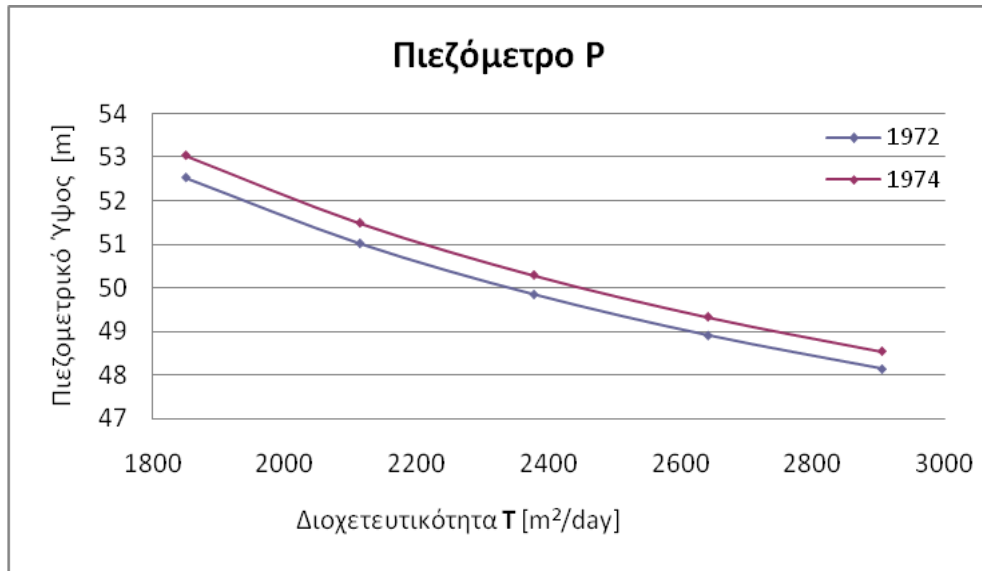
Πίνακας 12 Συντελεστές της σχέσης (5.1) και τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r

		Πιεζόμετρα					
		P	O	M	H	D	C
1970	a	-1,2	-0,5	-2	-1,7	-2,2	-2,2
	b	50,457	43,813	51,46	47,399	49,65	48,386
	r	0,986	0,945	1	0,995	0,996	0,996
1972	a	0,5	0	-0,1	-2	-0,2	-0,2
	b	49,803	43,73	51,173	47,68	49,33	48,06
	r	0,945	1	0,289	1	0,707	0,707
1974	a	-1,9	-0,7	-2,5	-0,2	-2,7	-2,5
	b	50,457	43,979	51,851	47,16	49,987	48,661
	r	0,985	0,971	0,994	0,707	0,998	0,994
1976	a	9,8	3	10,1	6,8	8,6	7,4
	b	47,476	42,85	48,655	45,286	47,002	45,952
	r	1	1	0,999	1	0,999	0,999

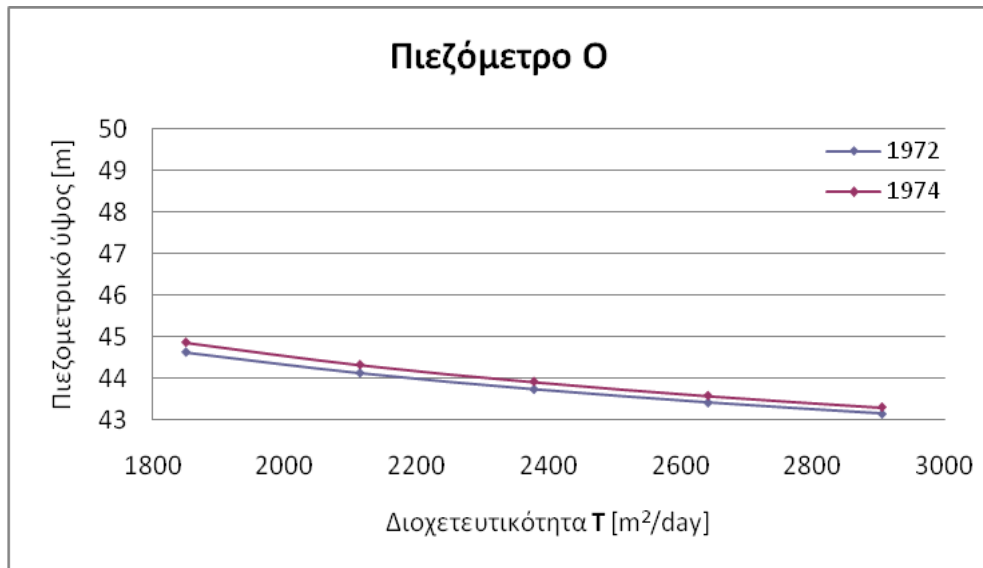
Για την ανάλυση ευαισθησίας στο συντελεστή διοχετευτικότητας ή μεταβιβατικότητας T χρησιμοποιήθηκαν 6 πιεζόμετρα (P, O, M, H, D και C) και 2 χρονιές (1972 και 1974). Σε όλες τις περιπτώσεις πάρθηκαν τα πιεζομετρικά ύψη την 31^η Δεκεμβρίου.

Στα σχήματα 5.19 έως 5.24 δίνεται η γραφική παράσταση του συντελεστή διοχετευτικότητας T ως προς το πιεζομετρικό ύψος στα 6 πιεζόμετρα. Η στατιστική επεξεργασία των σημείων αυτών έδειξε ότι τα σημεία αυτά αντιπροσωπεύονται από μία ευθεία γραμμή με εξίσωση :

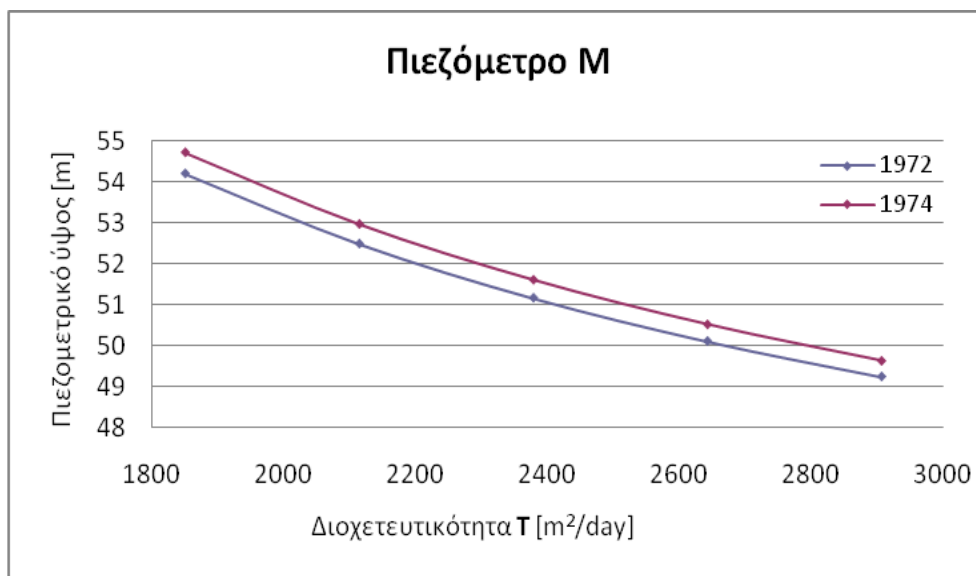
$$h = a \cdot T + b \quad (5.2)$$



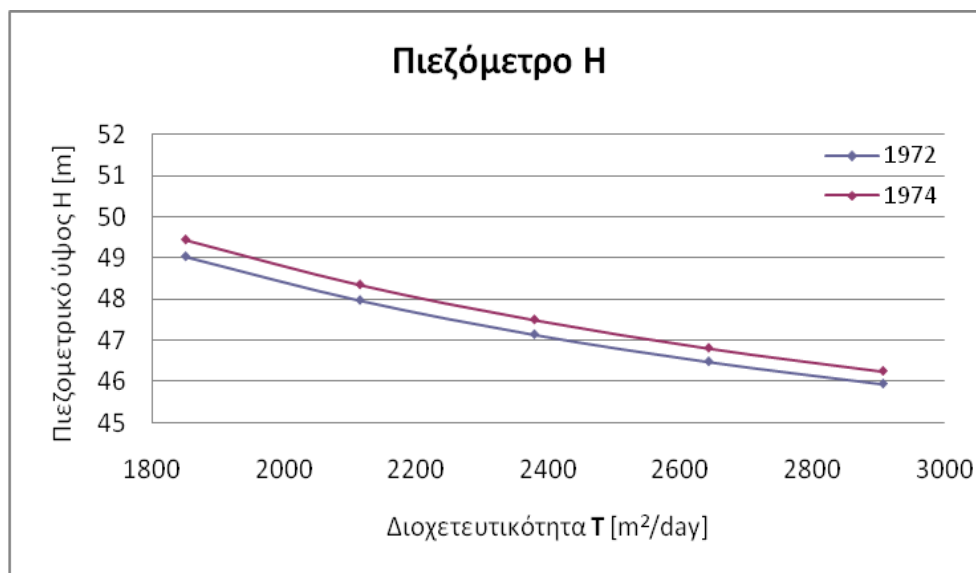
Σχήμα 5.19 Σχέση συντελεστή Διοχευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Ρ



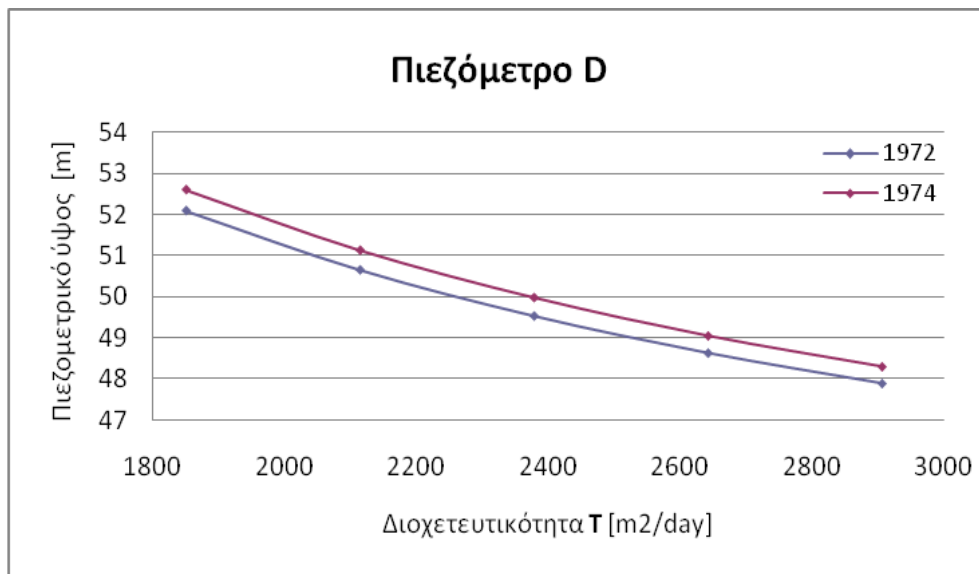
Σχήμα 5.20 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Ο



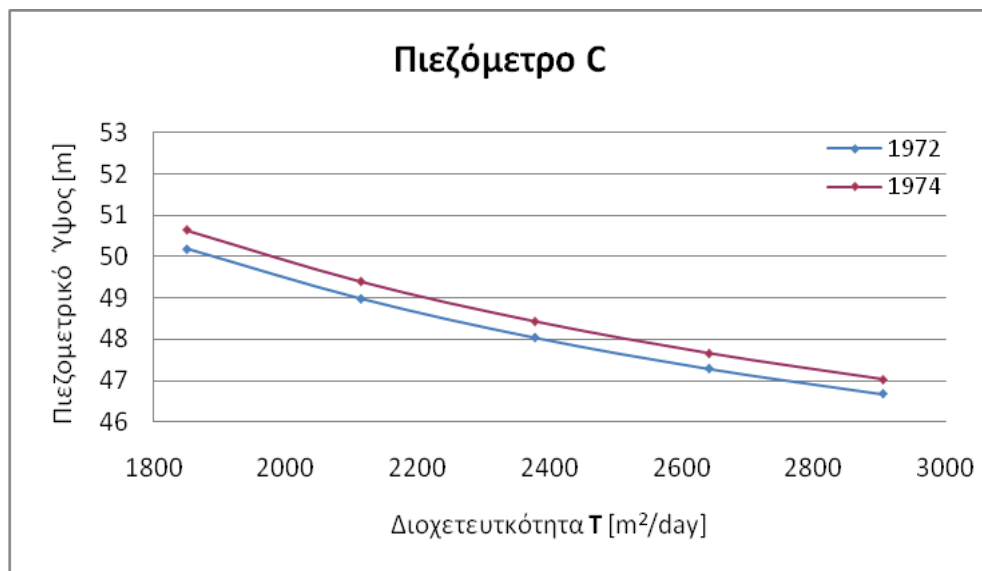
Σχήμα 5.21 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Μ



Σχήμα 5.22 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο Η



Σχήμα 5.23 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο D



Σχήμα 5.24 Σχέση συντελεστή αποθηκευτικότητας με το πιεζομετρικό ύψος, στο πιεζόμετρο C

Στον πίνακα 13 δίνονται οι σταθερές a και b και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r για όλες τις καμπύλες των σχημάτων 5.19 έως 5.23. Η πολύ καλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης επιβάλλει να δεχθούμε ότι το μαθηματικό μοντέλο δεν είναι ευπαθές στις μεταβολές του συντελεστή διοχετευτικότητας.

Πίνακας 13 Συντελεστές της σχέσης (5.2) και τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r

		Πιεζόμετρα					
		P	O	M	H	D	C
1972	a	-0,0042	-0,0015	-0,0048	-0,003	-0,004	-0,0034
	b	60,5	47,504	63,277	54,804	59,822	56,672
	r	0,991	0,992	0,991	0,992	0,991	0,991
1974	a	-0,0041	-0,0014	-0,0047	-0,0029	-0,0039	-0,0033
	b	59,899	47,11	62,562	54,804	59,154	56,062
	r	0,991	0,993	0,991	0,992	0,991	0,991

Κάνοντας σύγκριση των τιμών της σταθεράς a στους πίνακες 12 και 13 βγαίνει το συμπέρασμα ότι η εξίσωση (5.1) εμφανίζει μια πιο απότομη κλίση από την εξίσωση (5.2). Όμως η μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου για την ίδια μεταβολή $\pm 22,2\%$ στις υδραυλικές παραμέτρους Sc , T είναι μεγαλύτερη στα σχήματα 5.17 έως 5.22 από ότι στα σχήματα 5.11 έως 5.16. Αυτό από υδρογεωλογική άποψη σημαίνει ότι το μαθηματικό μοντέλο συμπεριφέρεται με μια μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς τις αλλαγές του συντελεστή διοχετευτικότητας.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία μπορούν να γίνουν παρόμοια διαγράμματα και για άλλους κόμβους του δικτύωματος στους οποίους αντιστοιχούν τα υπόλοιπα πιεζόμετρα.

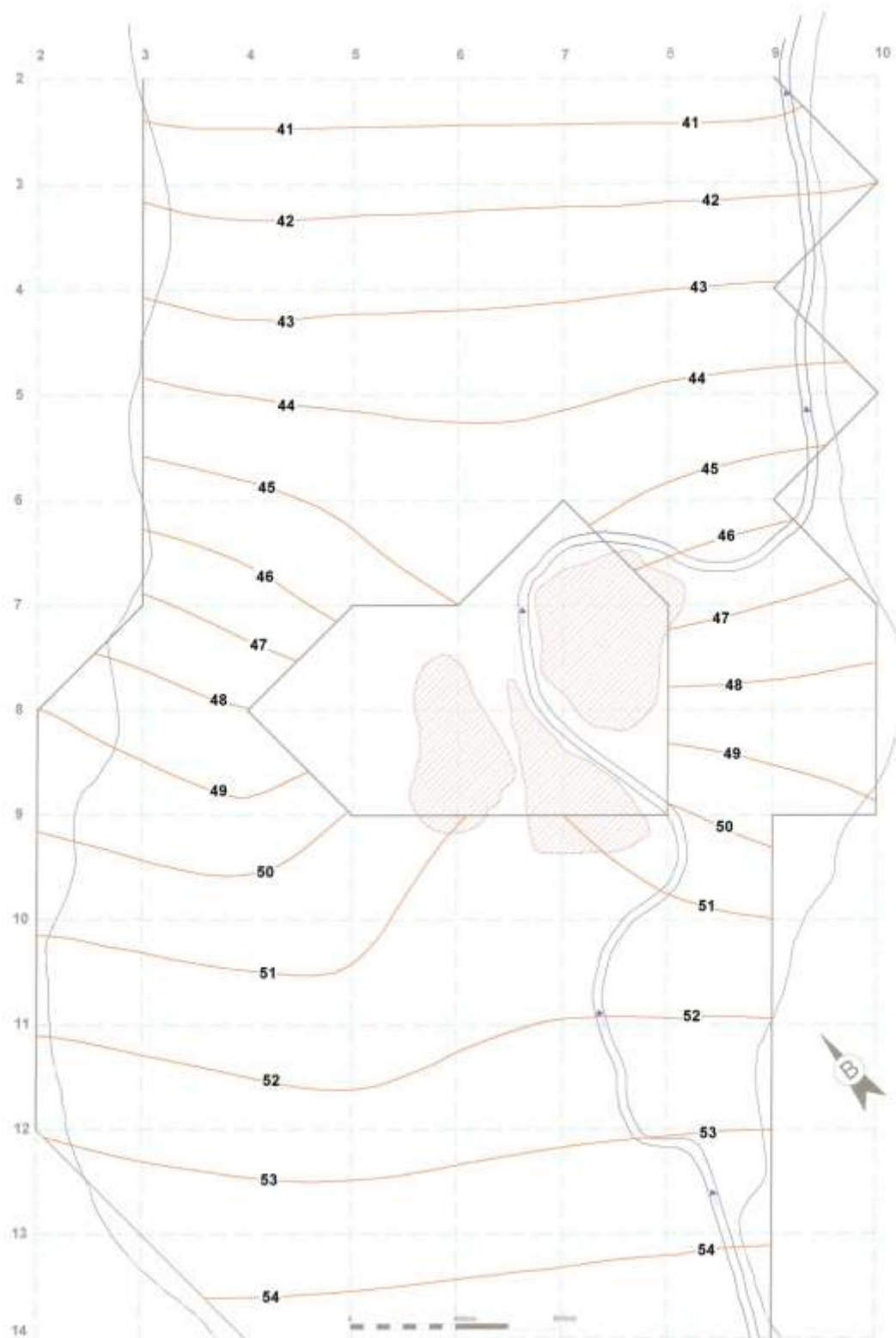
5.3. Τροποποιήσεις των ορίων

Μετά τη διαδικασία ελέγχου που περιγράφεται πιο πάνω, το επόμενο βήμα της εργασίας αυτής είναι η αλλαγή των εσωτερικών αδιαπέρατων ορίων του υδροφόρου στρώματος. Συγκεκριμένα έγινε μια επέκταση των εσωτερικών αδιαπέρατων ορίων προς τη ΒΔ περιοχή του υδροφόρου στρώματος, επέκταση που αφήνει μόνο ένα στενό πέρασμα στο

νερό κατά μήκος της ΒΔ περιοχής. Έτσι τα εσωτερικά αδιαπέρατα όρια δρουν σαν ένα φράγμα στην παραπέρα κίνηση του νερού.

Στο χάρτη 6 οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τα υπολογιζόμενα από το μοντέλο πιεζομετρικά ύψη τη 31^η Δεκεμβρίου του 1974. Συγκρίνοντας την ανάπτυξη των ισοπιεζομετρικών καμπύλων που προέκυψαν με την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου, με την ανάπτυξη των καμπυλών της δομής του υποβάθρου (χάρτης 2), βγαίνει το συμπέρασμα ότι υπάρχει άνοδος της στάθμης του νερού στην περιοχή που βρίσκεται μεταξύ ΝΔ ορίου και εσωτερικού αδιαπέρατου ορίου. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται άμεσα με την παρουσία των μαργαϊκών μαζών στην περιοχή. Τα γεωϋδραυλικά χαρακτηριστικά αυτών διαφοροποιούνται έντονα σε σύγκριση με αυτά των χαλαρών αποθέσεων.

Οι υδραυλικές κλίσεις κατά μήκος αυτής της περιοχής αυξάνονται. Αυτές οι απότομες κλίσεις είναι το αποτέλεσμα του ότι οι μεγάλες ποσότητες νερού εμποδίζονται να περάσουν κατά τη ροή τους ανάμεσα από στενότερες περιοχές κατά μήκος των δύο ορίων (εσωτερικών και εξωτερικών). Όταν το νερό περάσει αυτό τα δύο στενά περάσματα, ρέοντας προς τα ΒΑ, οι κλίσεις γίνονται ομαλότερες και τα πιεζομετρικά ύψη αποκτούν ξανά τιμές παραπλήσιες με τις τιμές του χάρτη 5 στους αντίστοιχους κόμβους.



Χάρτης 6 – Τροποποίηση εσωτερικών ορίων – Ισοπιζομετρικές καμπύλες

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία αυτή δείχνει με σαφή τρόπο ότι η χρήση αριθμητικών μεθόδων για την επίλυση μαθηματικών ομοιωμάτων προβλημάτων υπόγειας υδραυλικής δίνει αποτελέσματα από τα οποία μπορούν να προκύψουν αξιόλογα συμπεράσματα αν υπάρχουν διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα μιας περιόδου αρκετών ετών (8-10) και αν υπάρχουν αξιόπιστες τιμές της διοχετευτικότητας ή μεταβιβαστικότητας και του συντελεστή αποθηκευτικότητας για την περιοχή που μελετάται.

Από τα αριθμητικά αποτελέσματα γίνεται κατανοητό ότι η για οποιοδήποτε λόγο επέκταση των εσωτερικών αδιαπέρατων ορίων προκαλεί μια αύξηση του πάχους της κορεσμένης ζώνης πάνω από το χαλικώδες υπόβαθρο στο ανάντη τμήμα της ροής. Αυτό προκαλεί μείωση του βάθους της ελεύθερης επιφάνειας του νερού που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα καταστροφικά, στις καλλιέργειες που υπάρχουν στην περιοχή αυτή.

Το μαθηματικό μοντέλο εμφανίζει μια μικρή και όχι έντονη ανταπόκριση στις μεταβολές της αποθηκευτικότητας. Αντίθετα εμφανίζει μια χαρακτηριστική ευαισθησία στις αντίστοιχες μεταβολές της διοχετευτικότητας, που εφαρμόστηκαν.

Η μεγαλύτερη ακρίβεια στις τιμές της διοχετευτικότητας και του συντελεστή αποθηκευτικότητας που μπορούν να υπολογιστούν αν εφαρμοστούν στην περιοχή σε περισσότερες θέσεις δοκιμές άντλησης, θα μας επιτρέψουν να καταλήξουμε σε ακόμη πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

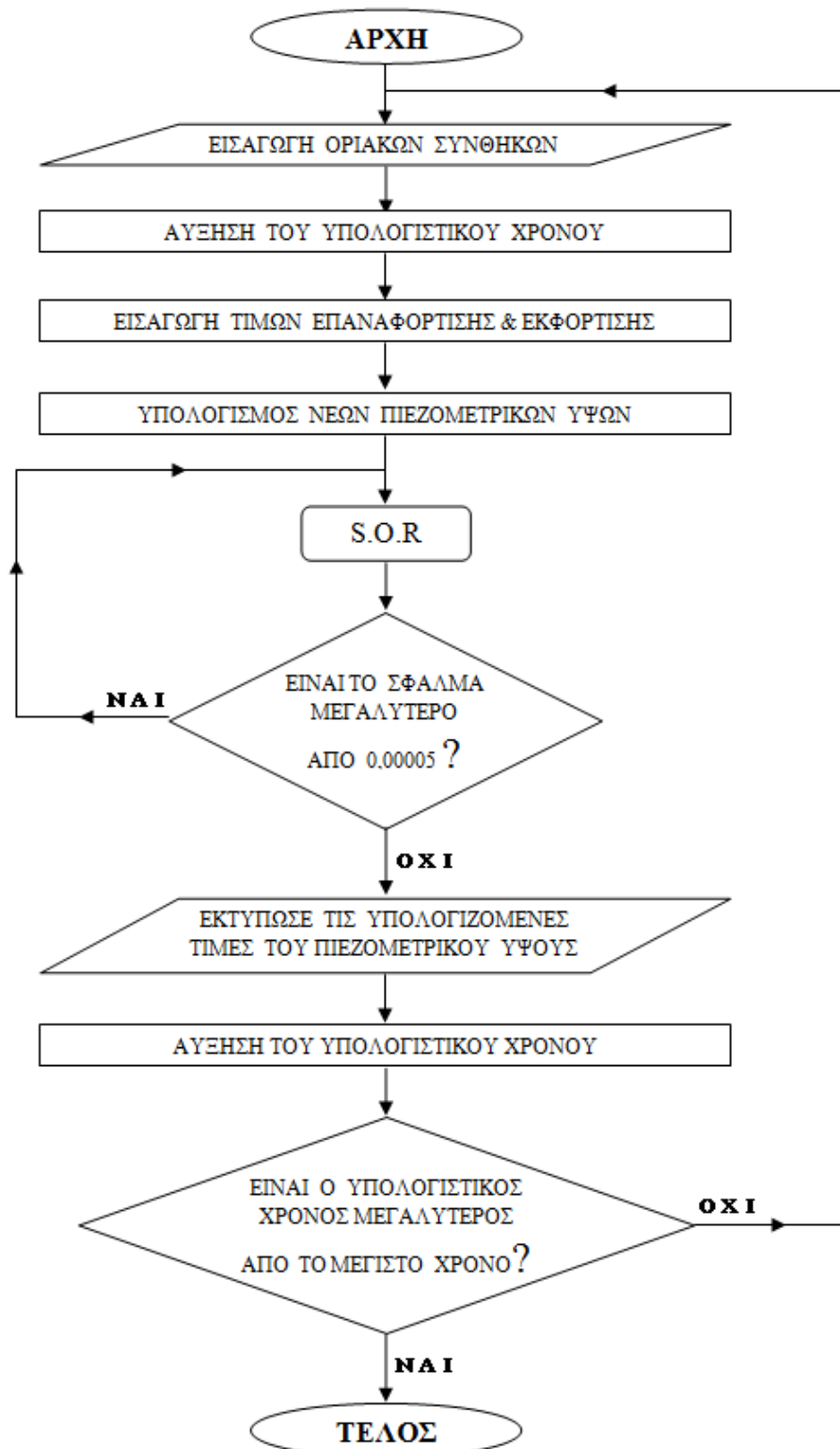
Τέλος με ένα πιο πυκνό χωρικό δίκτυο μπορεί κάποιος να πετύχει μια πιο καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του μαθηματικού ομοιώματος προς υπάρχοντα δεδομένα από παρατηρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

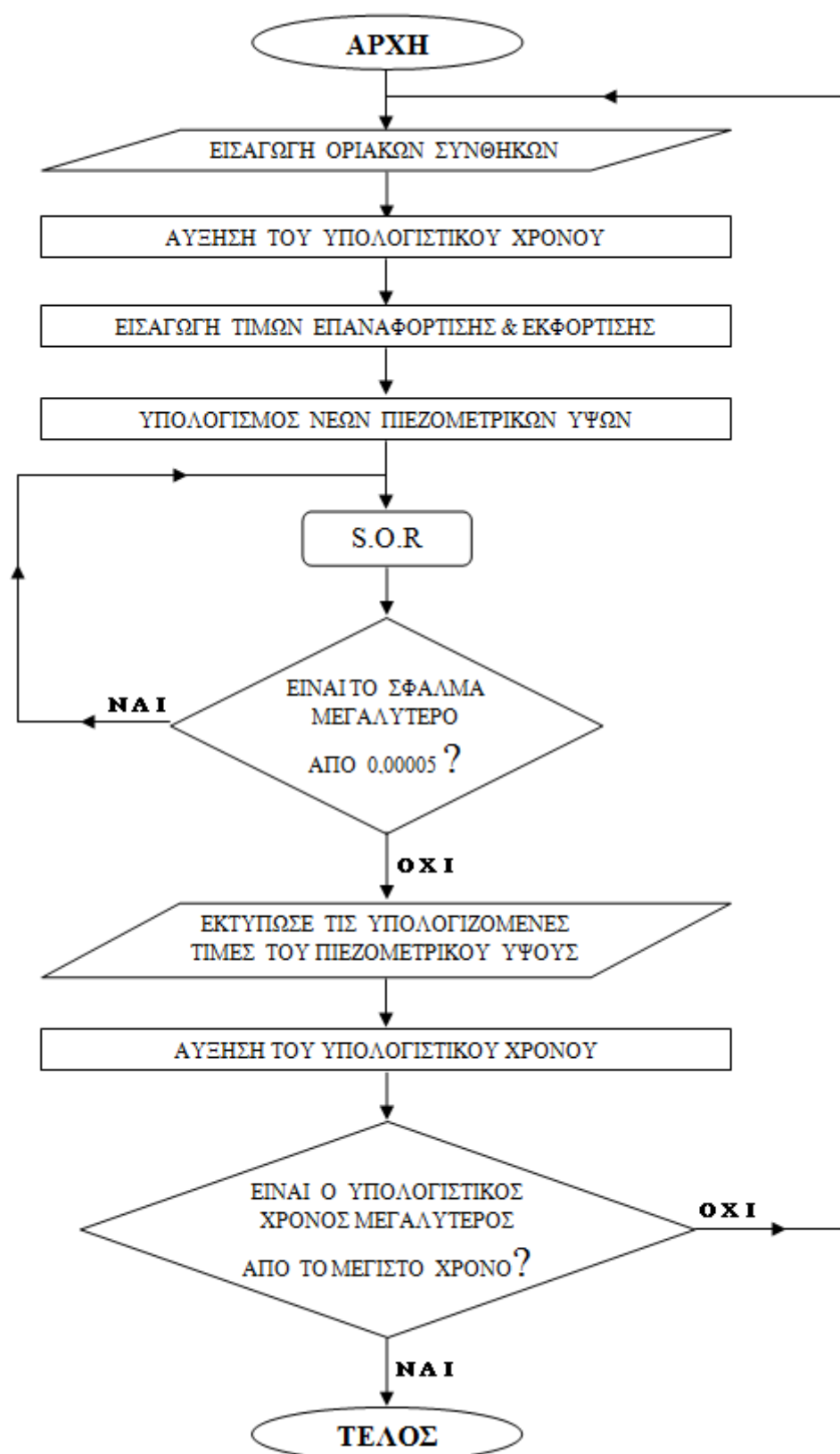
1. ΒΑΛΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ Δ., 1977, “Αριθμητική επίλυση της δισδιάστατης εξίσωσης στραγγίσεων του Boussinesq με το υπολογιστικό σχήμα ADI”, Διπλωματική μεταπτυχιακή διατριβή. Γεωπονική Σχολή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
2. BEAR J., 1979, “Hydraulics of Ground water”, Mc Graw-Hill.
3. BITTINGER M.W., DUKE H.R. and LONGENBAUGH R.A., 1967, “Mathematical simulations for better aquifer management”, extract of publication no. 72 of the I.A.S.H. Symposium of Haifa, pp. 509-519.
4. BOUSSINESQ J., 1904, “Recherches Theoriques sur l’ ecoulement des nappes d’ eau infiltrées dans le sol et sur le debit des sources ”, Journal de Mathematiques pures et Appliquees (5⁰ series)Vol. X, Sec. 1, p.p. 5-58.
5. CRANK J. and NICOLSON P., 1947, “A practical method for numerical integration of solutions of partial differential equations of heat-conduction type”, Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 43 p. 50.
6. DARCY H., 1856, “Les fontaines publiques de la ville de Dijon”, published by Dunod, Paris.
7. DUPUIT J., 1863, “Etudes Theoriques et Pratiques sur le Mouvement des Eaux (2nd ed.)”, published by Dunod, Paris.
8. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ, 2007, “Βασικές Αρχές Υδρογεωλογίας”, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Επιστημονικής και Αθλητικής Σπηλαιολογίας.
9. ΕΛΜΑΛΟΓΛΟΥ ΣΤ., ΚΕΡΚΙΔΗΣ Π., 1985, “ Αριθμητική επίλυση του προβλήματος της υπόγειας ροής σε ελεύθερο υδροφορέα κάτω από τη σύγχρονη επίδραση άντλησης από πηγάδι και ανεφοδιασμού από ποτάμι”, 2⁰ Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης. Ξάνθη 7-9/11.
10. ΕΛΜΑΛΟΓΛΟΥ ΣΤ. 2000, “Σημειώσεις για το εργαστήριο του μαθήματος Υδραυλική Υπογείων Υδάτων”, Εκδόσεις τυπογραφείου ΓΠΑ. Αθήνα.
11. ΕΛΜΑΛΟΓΛΟΥ Σ., 2009, “Αριθμητική Προσομοίωση Προβλημάτων Γεωργικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής”. Εκδόσεις Συμμετρία.

12. FORCHHEIMER P., 1886, "Über die Ergiebigkeit von Brunnenanlagen und Sickerschlitzten" Zeitschrift der Architekten und Ingenieur, Verein 32, No7, 539-564.
13. GLEICK, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.
14. ΚΑΡΑΜΟΥΖΗΣ Δ., 1976, "Επίλυση της εξίσωσης Boussinesq με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων", Μεταπτυχιακή διατριβή ειδικεύσεως. Γεωπονική Σχολή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
15. HANTUSH, M.S and C.E. JACOB, 1955. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, Am. Geophys. Union Trans., vol. 36, pp. 95-100.
16. LAASONEN P., 1949, "Über eine Methode zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung", Vol 81, p. 309.
17. LUTHIN N.J., 1965, "Drainage Engineering", John Wiley and Sons, Inc U.S.A.
18. MIMIDES T.M., 1977, "Digital computer model of the river Arklow alluvial aquifer, Irish Republic", M.Sc. Thesis University of Birmingham, Dept of Geological Sciences.
19. PEACEMAN D.W. and RACHFORD H.H., 1955, "The numerical solution of parabolic and elliptic differential equation", J. Soc. Indust. and Appl. Math. Volume 3, Issue 1, pp. 28-41.
20. PRICKETT A.T., 1975 "Modeling Techniques for Groundwater Evaluation", Advances in Hydrosience Vol 10, 141 pp. Academic Press.
21. REMSON I., HORNBERGER M.G., MOLZ J.F., 1971, "Numerical Methods in Subsurface Hydrology", J. Wiley and Sons, Inc U.S.A.
22. RUSHTON K.R., 1974a, "Critical analysis of the alternating direction implicit method of aquifer analysis", Journal of Hydrology, 21: 153-172.
23. RUSHTON K.R., 1974b, "Aquifer analysis using backward difference methods", Journal of Hydrology, 22: 253-269.
24. SHAW F.S. and SOUTHWELL R.V., 1941, "Relaxation methods applied to engineering problems. VII Problems relating to the percolation of fluids through porous materials". Proc. Roy. Soc. Lond., Vol. 178, No 972, 1-17.
25. SMITH D.G., 1975, "Numerical Solution of Partial Differential Equations", Oxford University Press.

26. TERZIDIS G.A., 1968, "Computational Schemes for the Boussinesq equation", .
Irrig. Drain. Div. Proc, ASCE, IR4, 381-389
27. ΤΕΡΖΙΔΗΣ Γ.Α., Θεσσαλονίκη 1974, " Εισαγωγή στα υπόγεια νερά", Μεταπτυχιακές σημειώσεις.
28. ΤΖΙΜΟΠΟΥΛΟΣ Χ., Θεσσαλονίκη 1975, "Εφαρμογή της μεθόδου Galerkin εις τα πεπερασμένα στοιχεία", Σεμινάριο Μεταπτυχιακού Τμήματος Εγγείων Βελτιώσεων.
29. THIEM A., 1870, " Über die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher, Schachtbrunnen und Filtergalerien. ", Journal für Gasbelenchtung und Wasser Versorgung, 13, No 7, p 450.
30. TODD D.K., 1959, " Ground Water Hydrology ", John Wiley, New York.

Παράρτημα

Διάγραμμα Ροής Προγράμματος

Παράρτημα

Διάγραμμα Ροής Προγράμματος

**** THANOS.OUT ****

* FAC = .70 *

XMESH = 8 YMESH = 12 TRANS.X = 2378.00 TRANS.Y = 2378.00 STORAGE COEFFICIENT = .090

INITIAL HEAD = 40.40 M. RECHARGE = .008547 OVER-RELAXATION FACTOR = 1.1

ERROR = .00005

X(1) = -400. X(2) = 0. X(3) = 400. X(4) = 800. X(5) = 1200. X(6) = 1600. X(7) = 2000. X(8) = 2400.

X(9) = 2800. X(10) = 3200. X(11) = 3600. X(

Y(1) = -400. Y(2) = 0. Y(3) = 400. Y(4) = 800. Y(5) = 1200. Y(6) = 1600. Y(7) = 2000. Y(8) = 2400.

Y(9) = 2800. Y(10) = 3200. Y(11) = 3600. Y(12) = 4000. Y(13) = 4400. Y(14) = 4800. Y(15) = 5200. Y(

WELLS THROUGHPUTS INFLOWS

I J FRACTION

INPUT GROUP 2

4 4 .20506

4 6 .02216

4 9 .38639

5 11 .38639

INPUT GROUP 3

3 2 .04167

3 3 .08333

3 4 .08333

3 5 .08333

3 6 .08333

3 7 .10417

2 8 .06250

2 9 .08333

2 10 .08333

2 11 .08333
 2 12 .06250
 3 13 .08333
 4 14 .06250
 INPUT GROUP 4
 2 12 .10714
 3 13 .14286
 4 14 .10714
 5 14 .14286
 6 14 .14286
 7 14 .14286
 8 14 .14286
 9 14 .07143

TRANSMISSIBILITY IN X DIRECTION

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
3	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
4	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
5	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
6	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
7	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
8	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
9	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
10	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
11	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
12	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
13	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
14	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03

TRANSMISSIBILITY IN Y DIRECTION

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
3	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
4	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
5	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
6	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
7	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
8	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
9	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
10	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
11	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
12	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
13	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03
14	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03	2.38E+03

STORAGE FACTORS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	9.00E-02	2.25E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	3.38E-02
3	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	2.25E-02
4	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	6.75E-02	9.00E-02
5	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	2.25E-02
6	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	6.75E-02	9.00E-02	6.75E-02	9.00E-02
7	9.00E-02	5.63E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	5.63E-02	9.00E-02	3.38E-02
8	3.38E-02	9.00E-02	9.00E-02	6.75E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	4.50E-02
9	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	5.63E-02	4.50E-02	6.75E-02	6.75E-02	2.25E-02
10	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02
11	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02
12	3.38E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02
13	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	9.00E-02	4.50E-02	9.00E-02
14	9.00E-02	9.00E-02	3.38E-02	4.50E-02	4.50E-02	4.50E-02	4.50E-02	2.25E-02	9.00E-02

RECHARGE VALUES

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
3	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
4	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
5	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
6	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
7	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
8	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
9	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
10	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
11	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
12	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
13	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03
14	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03	8.55E-03

FIXED HEADS

-1.0E+04 SIGNIFIES FREE HEAD -9.90E+01 IS NODE OUTSIDE BOUNDARY

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04
2	-1.00E+04	-9.90E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04
3	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01
4	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04
5	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01
6	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04
7	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01
8	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01
9	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01
10	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04
11	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04
12	-9.90E+01	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-1.00E+04	-9.90E+01	-1.00E+04

13 -1.00E+04-9.90E+01-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-9.90E+01-1.00E+04
 14 -1.00E+04-1.00E+04-9.90E+01-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-9.90E+01-1.00E+04
 15 -1.00E+04-1.00E+04-1.00E+04-9.90E+01-9.90E+01-9.90E+01-9.90E+01-9.90E+01-9.90E+01-9.90E+01-1.00E+04-1.00E+04

INITIAL VALUES OF HEAD

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	-9.90E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	4.05E+01	-9.90E+01
3	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01
4	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
5	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01
6	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
7	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01
8	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01
9	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01
10	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
11	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
12	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
13	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01
14	4.04E+01	-9.90E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	4.04E+01	-9.90E+01

BLOCK NO.= 1

31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
28	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
30	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
30	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
30	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9

30	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
31	21687.0	-13371.0	2852.0	11617.9
BLOCK NO.= 2				
31	24413.0	-11193.0	3766.0	13075.3
28	22710.0	-11299.0	3732.0	13041.0
31	23574.0	-11592.0	3640.0	13027.0
30	23413.0	-11693.0	3612.0	13034.0
31	19530.0	-12699.0	3326.0	11620.7
30	19303.0	-13962.0	2418.0	10946.6
31	18549.0	-15249.0	2180.0	10207.4
31	19981.0	-16163.0	2134.0	8794.1
30	22490.0	-14119.0	2139.0	10946.6
31	23406.0	-13017.0	3022.0	11646.6
30	24387.0	-12034.0	3410.0	11634.0
31	25523.0	-11846.0	3697.0	12684.0
BLOCK NO.= 3				
31	26481.0	-11097.0	3797.0	13720.0
28	24413.0	-11197.0	3863.0	13048.0
31	23871.0	-11492.0	3708.0	11957.4
30	23657.0	-12176.0	3717.0	11607.4
31	19923.0	-13932.0	3273.0	11580.8
30	19261.0	-16257.0	2549.0	10934.0
31	18710.0	-17577.0	1932.0	10220.7
31	20013.0	-17380.0	1798.0	8820.7
30	22329.0	-13954.0	2282.0	10934.0
31	23303.0	-13310.0	2881.0	11620.7
30	23962.0	-11781.0	3200.0	11634.0
31	26126.0	-11187.0	4068.0	13384.0
BLOCK NO.= 4				
31	25226.0	-11246.0	3994.0	13734.0
28	23584.0	-11261.0	4148.0	13034.0

31	23320.0	-11603.0	3739.0	12357.1
30	22803.0	-12479.0	3389.0	11567.5
31	20058.0	-13310.0	3497.0	11646.6
30	18971.0	-17080.0	2551.0	10946.6
31	18532.0	-17676.0	2198.0	9520.7
31	19920.0	-17659.0	1900.0	8780.8
30	21990.0	-13979.0	1752.0	11230.8
31	23278.0	-13359.0	2886.0	11580.8
30	24523.0	-11366.0	3115.0	11620.7
31	25423.0	-11163.0	3940.0	13384.0
BLOCK NO.= 5				
31	26226.0	-11163.0	3950.0	13635.3
28	23871.0	-11476.0	3692.0	13046.6
31	23481.0	-11481.0	3522.0	12360.6
30	22829.0	-12530.0	3495.0	11632.6
31	20168.0	-13932.0	3149.0	11226.6
30	18710.0	-16768.0	2472.0	11249.0
31	18633.0	-17941.0	2110.0	9546.6
31	19829.0	-17970.0	2041.0	8834.0
30	22981.0	-14421.0	2077.0	10934.0
31	23490.0	-12797.0	2702.0	11620.7
30	24116.0	-11858.0	3196.0	11634.0
31	26133.0	-11530.0	3479.0	13396.6
BLOCK NO.= 6				
31	26668.0	-11041.0	3697.0	13680.8
28	25168.0	-11246.0	3757.0	13034.0
31	23516.0	-11675.0	3591.0	12334.0
30	22820.0	-12348.0	3488.0	11646.6
31	20387.0	-12848.0	3254.0	11620.7
30	18200.0	-15012.0	2604.0	10946.6
31	18478.0	-16931.0	2142.0	9546.6

31	19626.0	-16834.0	2203.0	8834.0
30	22481.0	-12848.0	2438.0	10934.0
31	23574.0	-12371.0	2711.0	11634.0
30	24490.0	-11845.0	3414.0	12054.0
31	26413.0	-11542.0	3830.0	13773.2
BLOCK NO.= 7				
31	28913.0	-11164.0	3822.0	13786.5
28	26979.0	-11287.0	3793.0	13046.6
31	25423.0	-12177.0	3533.0	12386.5
30	23177.0	-12337.0	3416.0	11646.6
31	22116.0	-14164.0	3109.0	11646.6
30	20820.0	-17698.0	2535.0	11296.6
31	20633.0	-18530.0	2127.0	9546.6
31	21200.0	-18310.0	2047.0	8846.6
30	24200.0	-14084.0	2102.0	10946.6
31	25616.0	-12859.0	2694.0	11646.6
30	26726.0	-12151.0	3180.0	11659.9
31	28303.0	-11395.0	3590.0	13396.6
BLOCK NO.= 8				
31	23820.0	-11468.0	3512.0	13194.3
28	22516.0	-11665.0	3147.0	13086.5
31	21549.0	-11883.0	2717.0	12036.5
30	20007.0	-12475.0	2313.0	11514.3
31	18168.0	-13028.0	2001.0	10986.5
30	14761.0	-15202.0	1733.0	10801.0
31	14542.0	-17273.0	1720.0	9586.5
31	16465.0	-16761.0	1735.0	8859.9
30	19413.0	-13366.0	2060.0	11686.5
31	20923.0	-12310.0	2355.0	11797.8
30	21981.0	-11315.0	2504.0	12386.5
31	23300.0	-11014.0	3470.0	13086.5

BLOCK NO.= 9

31	21507.0	-11356.0	3208.0	12927.6
28	19652.0	-11151.0	2709.0	12914.3
31	17990.0	-11590.0	2157.0	12227.6
30	15974.0	-12391.0	2147.0	11527.6
31	14939.0	-13340.0	1814.0	11514.3
30	13474.0	-16941.0	1704.0	11067.7
31	12516.0	-17341.0	1538.0	9401.0
31	13474.0	-17431.0	1407.0	8705.2
30	13974.0	-13541.0	1656.0	10801.0
31	16852.0	-12451.0	1723.0	11527.6
30	19492.0	-11946.0	1913.0	12214.3
31	21324.0	-11436.0	2418.0	12927.6

INITIAL STEADY STATE HEADS

VALUES OF HEAD AT .00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.58	41.48	41.52	41.55	41.58	41.62	41.67	41.75
4	-99.00	42.52	42.23	42.46	42.53	42.58	42.66	42.73	-99.00
5	-99.00	43.70	43.53	43.50	43.46	43.47	43.65	43.78	43.86
6	-99.00	44.85	44.63	44.47	44.25	44.13	44.59	44.82	-99.00
7	-99.00	46.11	45.71	45.43	44.88	-99.00	45.69	46.01	46.41
8	47.39	46.96	46.59	46.58	-99.00	-99.00	47.09	47.05	47.07
9	47.97	47.66	47.04	47.65	48.44	48.87	48.41	47.97	47.60
10	48.81	48.61	48.37	48.47	48.94	49.25	49.22	49.15	-99.00
11	49.71	49.53	49.28	48.85	49.55	49.88	50.00	50.04	-99.00
12	50.65	50.45	50.29	50.21	50.45	50.67	50.79	50.85	-99.00
13	-99.00	51.24	51.17	51.19	51.32	51.46	51.58	51.64	-99.00
14	-29.28	-99.00	51.89	51.98	52.10	52.23	52.34	52.42	-99.00

BLOCK NO.= 1 YEAR NO.= 1

MONTH= 1	NO.DAYS= 31	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.229	44.628	45.708	46.957	46.589	46.581	47.661	47.042	48.854	16557.39
6	10.00	42.232	44.635	45.716	46.968	46.599	46.590	47.673	47.053	48.866	16584.89
7	20.00	42.236	44.642	45.726	46.980	46.610	46.600	47.686	47.065	48.879	16613.07
7	31.00	42.240	44.650	45.735	46.992	46.622	46.611	47.699	47.078	48.893	16641.40
MONTH= 2	NO.DAYS= 28	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.241	44.651	45.736	46.993	46.623	46.613	47.700	47.079	48.894	16644.44
6	10.00	42.244	44.657	45.744	47.002	46.632	46.621	47.711	47.089	48.905	16666.75
7	20.00	42.247	44.664	45.752	47.012	46.642	46.631	47.722	47.100	48.917	16691.10
6	28.00	42.250	44.669	45.759	47.020	46.650	46.639	47.731	47.109	48.927	16710.28
MONTH= 3	NO.DAYS= 31	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.250	44.670	45.760	47.022	46.651	46.640	47.732	47.110	48.928	16713.00
6	10.00	42.253	44.675	45.767	47.030	46.659	46.648	47.741	47.119	48.938	16733.20
6	20.00	42.256	44.681	45.774	47.039	46.667	46.656	47.751	47.129	48.949	16753.99
7	31.00	42.259	44.687	45.782	47.048	46.677	46.665	47.761	47.139	48.961	16777.15
MONTH= 4	NO.DAYS= 30	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.259	44.688	45.783	47.049	46.678	46.666	47.762	47.141	48.962	16779.67
6	10.00	42.262	44.693	45.789	47.057	46.685	46.673	47.771	47.149	48.972	16798.10
6	20.00	42.264	44.698	45.796	47.065	46.693	46.681	47.780	47.158	48.982	16817.11
6	30.00	42.267	44.703	45.802	47.073	46.701	46.688	47.788	47.166	48.992	16835.75
MONTH= 5	NO.DAYS= 31	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.267	44.704	45.803	47.074	46.701	46.689	47.789	47.167	48.993	16838.09
6	10.00	42.270	44.709	45.809	47.081	46.708	46.696	47.797	47.175	49.002	16855.20
6	20.00	42.272	44.713	45.815	47.089	46.716	46.703	47.806	47.183	49.011	16872.75
6	31.00	42.274	44.718	45.821	47.096	46.723	46.711	47.814	47.192	49.021	16891.12
MONTH= 6	NO.DAYS= 30	FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9									
2	1.00	42.275	44.719	45.822	47.097	46.724	46.711	47.815	47.193	49.022	16893.29
5	10.00	42.277	44.723	45.827	47.103	46.730	46.717	47.822	47.200	49.030	16907.89
6	20.00	42.279	44.727	45.832	47.110	46.737	46.724	47.830	47.207	49.039	16924.36

6 30.00 42.281 44.732 45.838 47.117 46.743 46.730 47.837 47.215 49.048 16940.44
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.281 44.732 45.839 47.118 46.744 46.731 47.838 47.216 49.048 16942.46
 5 10.00 42.283 44.736 45.843 47.124 46.750 46.737 47.845 47.222 49.056 16956.10
 5 20.00 42.285 44.740 45.848 47.130 46.756 46.743 47.851 47.229 49.064 16970.14
 6 31.00 42.287 44.744 45.854 47.137 46.762 46.749 47.859 47.236 49.072 16986.32
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.288 44.745 45.854 47.137 46.763 46.750 47.860 47.237 49.073 16988.24
 5 10.00 42.289 44.748 45.859 47.143 46.768 46.755 47.866 47.243 49.080 17001.03
 5 20.00 42.291 44.752 45.863 47.148 46.774 46.760 47.872 47.249 49.087 17014.17
 6 31.00 42.293 44.756 45.869 47.155 46.780 46.766 47.879 47.257 49.095 17029.32
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.293 44.757 45.869 47.156 46.781 46.767 47.880 47.257 49.096 17031.09
 5 10.00 42.295 44.760 45.873 47.161 46.786 46.772 47.885 47.263 49.103 17043.09
 5 20.00 42.297 44.763 45.878 47.166 46.791 46.777 47.891 47.269 49.110 17055.40
 5 30.00 42.298 44.767 45.882 47.171 46.796 46.782 47.897 47.275 49.116 17067.55
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.299 44.767 45.882 47.172 46.797 46.783 47.898 47.275 49.117 17069.27
 5 10.00 42.300 44.770 45.886 47.177 46.801 46.787 47.903 47.281 49.123 17080.63
 5 20.00 42.302 44.773 45.890 47.182 46.806 46.792 47.909 47.286 49.130 17092.25
 5 31.00 42.303 44.777 45.895 47.187 46.811 46.797 47.914 47.292 49.136 17104.43
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.304 44.777 45.895 47.187 46.812 46.797 47.915 47.292 49.137 17106.00
 4 10.00 42.305 44.780 45.898 47.192 46.816 46.801 47.920 47.297 49.142 17115.47
 5 20.00 42.306 44.783 45.902 47.196 46.820 46.806 47.925 47.302 49.148 17126.51
 5 30.00 42.308 44.786 45.906 47.201 46.825 46.810 47.930 47.307 49.154 17137.36
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21687.0 -13371.0 2852.0 11617.9
 2 1.00 42.308 44.786 45.906 47.201 46.825 46.811 47.931 47.308 49.155 17138.86
 4 10.00 42.309 44.788 45.910 47.205 46.829 46.814 47.935 47.312 49.160 17147.79
 4 20.00 42.311 44.791 45.913 47.209 46.833 46.818 47.939 47.316 49.165 17156.97
 5 31.00 42.312 44.794 45.917 47.214 46.837 46.823 47.944 47.322 49.171 17167.93

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.62	41.52	41.56	41.59	41.62	41.66	41.71	41.79
4	-99.00	42.61	42.31	42.54	42.61	42.66	42.74	42.81	-99.00
5	-99.00	43.82	43.66	43.62	43.57	43.58	43.75	43.89	43.97
6	-99.00	45.03	44.79	44.63	44.39	44.26	44.73	44.97	-99.00
7	-99.00	46.34	45.92	45.62	45.05	-99.00	45.86	46.20	46.61
8	47.66	47.21	46.84	46.82	-99.00	-99.00	47.31	47.27	47.29
9	48.25	47.94	47.32	47.93	48.74	49.17	48.69	48.22	47.83
10	49.12	48.91	48.67	48.77	49.25	49.55	49.52	49.44	-99.00
11	50.04	49.85	49.60	49.17	49.87	50.20	50.31	50.35	-99.00
12	50.98	50.77	50.62	50.54	50.78	50.99	51.11	51.17	-99.00
13	-99.00	51.58	51.50	51.52	51.65	51.79	51.90	51.97	-99.00
14	-29.28	-99.00	52.22	52.31	52.43	52.56	52.66	52.74	-99.00

BLOCK NO.= 2 YEAR NO.= 2

MONTH= 1	NO.DAYS= 31	FLows= 24413.0	-11193.0	3766.0	13075.3						
4	1.00	42.335	44.800	45.920	47.219	46.844	46.826	47.952	47.361	49.210	17211.99
12	10.00	42.409	44.854	45.978	47.294	46.920	46.888	48.041	47.483	49.334	17514.10
13	20.00	42.455	44.913	46.044	47.378	47.000	46.961	48.135	47.578	49.433	17761.31
13	31.00	42.492	44.972	46.115	47.465	47.083	47.039	48.230	47.671	49.533	17977.82
MONTH= 2	NO.DAYS= 28	FLows= 22710.0	-11299.0	3732.0	13041.0						
3	1.00	42.493	44.976	46.121	47.472	47.089	47.045	48.238	47.676	49.539	17981.54
11	10.00	42.507	45.010	46.164	47.526	47.141	47.095	48.299	47.734	49.603	18046.43
12	20.00	42.522	45.045	46.210	47.583	47.196	47.147	48.362	47.796	49.673	18134.37
10	28.00	42.535	45.072	46.245	47.628	47.238	47.188	48.412	47.844	49.727	18209.34
MONTH= 3	NO.DAYS= 31	FLows= 23574.0	-11592.0	3640.0	13027.0						
3	1.00	42.534	45.075	46.249	47.634	47.244	47.194	48.418	47.845	49.729	18224.78
11	10.00	42.545	45.105	46.288	47.681	47.288	47.238	48.469	47.890	49.781	18335.24

12 20.00 42.559 45.138 46.329 47.731 47.336 47.285 48.524 47.944 49.844 18450.13
 12 31.00 42.576 45.171 46.372 47.784 47.387 47.336 48.583 48.002 49.911 18571.16
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 23413.0 -11693.0 3612.0 13034.0
 3 1.00 42.576 45.174 46.376 47.789 47.392 47.340 48.588 48.005 49.915 18580.53
 10 10.00 42.586 45.199 46.407 47.828 47.429 47.377 48.632 48.046 49.965 18662.91
 11 20.00 42.599 45.226 46.442 47.871 47.471 47.418 48.679 48.093 50.020 18756.30
 11 30.00 42.611 45.252 46.475 47.912 47.511 47.458 48.725 48.139 50.074 18849.76
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19530.0 -12699.0 3326.0 11620.7
 4 1.00 42.601 45.251 46.476 47.913 47.511 47.458 48.726 48.125 50.060 18818.07
 8 10.00 42.568 45.237 46.467 47.904 47.500 47.452 48.713 48.097 50.034 18650.91
 9 20.00 42.550 45.223 46.455 47.891 47.487 47.442 48.698 48.081 50.017 18541.10
 9 31.00 42.539 45.210 46.442 47.876 47.473 47.429 48.682 48.066 49.998 18465.22
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 19303.0 -13962.0 2418.0 10946.6
 4 1.00 42.525 45.206 46.439 47.872 47.469 47.427 48.677 48.043 49.975 18441.15
 11 10.00 42.477 45.168 46.400 47.819 47.419 47.388 48.616 47.966 49.898 18270.04
 11 20.00 42.447 45.129 46.355 47.762 47.366 47.342 48.553 47.905 49.835 18128.14
 11 30.00 42.425 45.093 46.312 47.709 47.317 47.296 48.494 47.849 49.778 18012.27
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18549.0 -15249.0 2180.0 10207.4
 4 1.00 42.410 45.087 46.307 47.702 47.309 47.290 48.485 47.821 49.750 17986.63
 12 10.00 42.360 45.037 46.249 47.628 47.233 47.223 48.398 47.713 49.638 17783.38
 13 20.00 42.325 44.984 46.184 47.547 47.154 47.150 48.307 47.622 49.540 17596.47
 13 31.00 42.294 44.929 46.116 47.462 47.073 47.073 48.214 47.531 49.441 17418.35
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19981.0 -16163.0 2134.0 8794.1
 4 1.00 42.284 44.924 46.110 47.455 47.065 47.066 48.204 47.508 49.417 17411.11
 12 10.00 42.249 44.881 46.055 47.383 46.991 46.999 48.118 47.405 49.300 17300.93
 13 20.00 42.223 44.833 45.993 47.302 46.913 46.925 48.024 47.310 49.187 17172.84
 14 31.00 42.198 44.782 45.926 47.215 46.829 46.844 47.924 47.212 49.069 17031.15
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22490.0 -14119.0 2139.0 10946.6
 4 1.00 42.216 44.781 45.922 47.210 46.827 46.840 47.920 47.239 49.094 17047.07
 8 10.00 42.252 44.775 45.906 47.187 46.817 46.823 47.904 47.264 49.114 17147.84
 8 20.00 42.263 44.769 45.894 47.171 46.805 46.810 47.888 47.256 49.105 17195.69

7 30.00 42.266 44.764 45.885 47.158 46.793 46.798 47.875 47.243 49.093 17208.85
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23406.0 -13017.0 3022.0 11646.6
 4 1.00 42.278 44.767 45.886 47.159 46.795 46.798 47.877 47.261 49.111 17231.76
 9 10.00 42.317 44.791 45.907 47.188 46.821 46.816 47.912 47.309 49.157 17372.18
 10 20.00 42.340 44.815 45.933 47.221 46.851 46.840 47.948 47.343 49.190 17473.68
 10 31.00 42.357 44.839 45.959 47.254 46.881 46.867 47.983 47.376 49.223 17552.04
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 24387.0 -12034.0 3410.0 11634.0
 4 1.00 42.368 44.843 45.963 47.259 46.886 46.871 47.990 47.396 49.243 17575.99
 10 10.00 42.409 44.881 46.005 47.313 46.939 46.916 48.051 47.471 49.315 17744.40
 11 20.00 42.437 44.921 46.051 47.370 46.993 46.965 48.112 47.533 49.373 17889.21
 11 30.00 42.458 44.957 46.095 47.422 47.043 47.012 48.169 47.586 49.425 18010.57
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 25523.0 -11846.0 3697.0 12684.0
 3 1.00 42.463 44.962 46.100 47.429 47.049 47.017 48.176 47.596 49.434 18037.22
 11 10.00 42.493 45.005 46.150 47.490 47.106 47.070 48.242 47.661 49.503 18217.20
 12 20.00 42.519 45.050 46.203 47.556 47.168 47.128 48.315 47.729 49.580 18382.53
 13 31.00 42.544 45.096 46.260 47.626 47.234 47.191 48.391 47.804 49.665 18543.46

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.76	41.64	41.65	41.67	41.69	41.73	41.78	41.87
4	-99.00	42.85	42.54	42.72	42.75	42.79	42.86	42.93	-99.00
5	-99.00	44.12	43.92	43.84	43.76	43.75	43.92	44.06	44.15
6	-99.00	45.36	45.10	44.89	44.63	44.46	44.93	45.17	-99.00
7	-99.00	46.72	46.26	45.93	45.32	-99.00	46.10	46.44	46.87
8	48.11	47.63	47.23	47.19	-99.00	-99.00	47.58	47.54	47.56
9	48.72	48.39	47.80	48.34	49.12	49.52	48.99	48.52	48.12
10	49.60	49.37	49.12	49.20	49.64	49.91	49.85	49.76	-99.00
11	50.53	50.32	50.06	49.66	50.28	50.57	50.66	50.70	-99.00
12	51.52	51.27	51.09	51.00	51.20	51.38	51.49	51.55	-99.00
13	-99.00	52.11	52.00	51.99	52.09	52.22	52.32	52.39	-99.00

14 -29.28 -99.00 52.77 52.83 52.93 53.04 53.14 53.22 -99.00

BLOCK NO.= 3 YEAR NO.= 3

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26481.0 -11097.0 3797.0 13720.0

4 1.00 42.554 45.102 46.266 47.633 47.242 47.198 48.401 47.824 49.686 18570.68
 12 10.00 42.594 45.152 46.326 47.708 47.317 47.268 48.488 47.923 49.798 18781.39
 13 20.00 42.626 45.206 46.393 47.792 47.398 47.346 48.583 48.018 49.910 18983.12
 14 31.00 42.657 45.264 46.465 47.883 47.486 47.430 48.685 48.118 50.029 19184.36

MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 24413.0 -11197.0 3863.0 13048.0

3 1.00 42.658 45.267 46.471 47.890 47.492 47.436 48.693 48.125 50.036 19184.82
 11 10.00 42.669 45.301 46.516 47.948 47.547 47.490 48.758 48.187 50.109 19237.83
 12 20.00 42.684 45.336 46.563 48.009 47.606 47.546 48.826 48.254 50.184 19323.59
 10 28.00 42.697 45.364 46.600 48.056 47.651 47.590 48.879 48.306 50.242 19400.99

MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23871.0 -11492.0 3708.0 11957.4

3 1.00 42.695 45.367 46.604 48.061 47.656 47.595 48.884 48.307 50.244 19403.48
 9 10.00 42.698 45.388 46.635 48.099 47.692 47.632 48.925 48.343 50.282 19444.35
 10 20.00 42.706 45.412 46.665 48.137 47.729 47.669 48.965 48.383 50.321 19507.97
 10 31.00 42.716 45.436 46.697 48.174 47.766 47.705 49.005 48.423 50.361 19585.90

MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 23657.0 -12176.0 3717.0 11607.4

3 1.00 42.711 45.437 46.699 48.178 47.768 47.708 49.008 48.415 50.353 19589.73
 7 10.00 42.705 45.448 46.715 48.196 47.782 47.724 49.023 48.417 50.353 19613.34
 8 20.00 42.707 45.460 46.729 48.212 47.797 47.740 49.039 48.430 50.367 19651.58
 8 30.00 42.711 45.471 46.743 48.227 47.811 47.754 49.054 48.445 50.382 19695.20

MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19923.0 -13932.0 3273.0 11580.8

4 1.00 42.693 45.467 46.741 48.225 47.807 47.752 49.050 48.415 50.352 19655.78
 10 10.00 42.637 45.432 46.706 48.181 47.759 47.714 48.997 48.332 50.275 19410.94
 10 20.00 42.604 45.395 46.665 48.133 47.712 47.671 48.944 48.277 50.226 19226.72
 11 31.00 42.579 45.358 46.623 48.084 47.665 47.627 48.893 48.227 50.182 19076.01

MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 19261.0 -16257.0 2549.0 10934.0

4 1.00 42.554 45.350 46.618 48.077 47.656 47.621 48.883 48.183 50.138 19039.84
 12 10.00 42.475 45.285 46.546 47.986 47.562 47.543 48.776 48.038 50.000 18752.69

13 20.00 42.425 45.217 46.467 47.888 47.467 47.456 48.669 47.929 49.895 18500.21
12 30.00 42.387 45.155 46.392 47.797 47.380 47.375 48.572 47.834 49.803 18289.38
MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18710.0 -17577.0 1932.0 10220.7
4 1.00 42.371 45.146 46.383 47.786 47.369 47.365 48.558 47.802 49.771 18251.37
13 10.00 42.303 45.069 46.293 47.673 47.259 47.268 48.431 47.658 49.628 17954.91
14 20.00 42.252 44.988 46.196 47.553 47.144 47.162 48.300 47.529 49.496 17676.65
14 31.00 42.207 44.907 46.097 47.430 47.028 47.051 48.167 47.400 49.361 17407.84
MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20013.0 -17380.0 1798.0 8820.7
4 1.00 42.206 44.900 46.088 47.420 47.018 47.041 48.156 47.392 49.353 17393.78
13 10.00 42.182 44.845 46.018 47.331 46.936 46.963 48.058 47.303 49.249 17253.39
14 20.00 42.154 44.787 45.943 47.237 46.846 46.877 47.951 47.201 49.126 17087.95
15 31.00 42.125 44.725 45.864 47.135 46.749 46.784 47.836 47.089 48.991 16902.29
MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22329.0 -13954.0 2282.0 10934.0
4 1.00 42.155 44.725 45.860 47.129 46.748 46.779 47.834 47.138 49.038 16922.75
8 10.00 42.223 44.730 45.853 47.123 46.759 46.774 47.841 47.210 49.097 17072.22
8 20.00 42.248 44.736 45.855 47.125 46.764 46.774 47.846 47.224 49.102 17152.05
8 30.00 42.259 44.741 45.857 47.127 46.766 46.774 47.847 47.226 49.097 17183.35
MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23303.0 -13310.0 2881.0 11620.7
3 1.00 42.267 44.744 45.859 47.129 46.768 46.775 47.850 47.237 49.108 17203.80
9 10.00 42.298 44.767 45.881 47.158 46.793 46.793 47.881 47.274 49.139 17321.00
9 20.00 42.317 44.790 45.905 47.188 46.819 46.815 47.913 47.303 49.165 17403.79
9 31.00 42.331 44.811 45.928 47.217 46.845 46.838 47.944 47.331 49.190 17466.97
MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 23962.0 -11781.0 3200.0 11634.0
4 1.00 42.347 44.815 45.932 47.221 46.851 46.841 47.951 47.360 49.219 17487.64
10 10.00 42.396 44.854 45.974 47.275 46.909 46.888 48.015 47.450 49.305 17650.50
11 20.00 42.426 44.893 46.021 47.333 46.965 46.940 48.080 47.516 49.365 17790.34
11 30.00 42.448 44.930 46.065 47.387 47.016 46.988 48.137 47.571 49.417 17906.13
MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26126.0 -11187.0 4068.0 13384.0
4 1.00 42.457 44.937 46.072 47.396 47.024 46.994 48.147 47.589 49.434 17949.81
12 10.00 42.510 45.000 46.142 47.485 47.104 47.064 48.243 47.684 49.533 18230.87
13 20.00 42.551 45.065 46.218 47.580 47.191 47.145 48.346 47.782 49.640 18475.42

14 31.00 42.588 45.131 46.298 47.679 47.285 47.233 48.455 47.886 49.757 18704.76

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.79	41.66	41.67	41.68	41.70	41.73	41.78	41.88
4	-99.00	42.90	42.59	42.74	42.77	42.79	42.87	42.94	-99.00
5	-99.00	44.16	43.95	43.86	43.78	43.76	43.93	44.07	44.16
6	-99.00	45.41	45.13	44.91	44.64	44.47	44.94	45.18	-99.00
7	-99.00	46.77	46.30	45.96	45.34	-99.00	46.11	46.45	46.88
8	48.17	47.68	47.28	47.23	-99.00	-99.00	47.60	47.55	47.57
9	48.79	48.46	47.89	48.40	49.17	49.55	49.02	48.53	48.14
10	49.67	49.43	49.19	49.27	49.69	49.94	49.87	49.79	-99.00
11	50.62	50.39	50.13	49.76	50.34	50.62	50.70	50.73	-99.00
12	51.63	51.36	51.17	51.08	51.27	51.44	51.54	51.60	-99.00
13	-99.00	52.23	52.10	52.08	52.18	52.30	52.40	52.46	-99.00
14	-29.28	-99.00	52.90	52.96	53.05	53.16	53.25	53.34	-99.00

BLOCK NO.= 4 YEAR NO.= 4

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 25226.0 -11246.0 3994.0 13734.0

3	1.00	42.590	45.136	46.305	47.687	47.292	47.241	48.465	47.894	49.766	18716.51
12	10.00	42.610	45.180	46.361	47.757	47.359	47.305	48.543	47.970	49.855	18836.08
13	20.00	42.632	45.226	46.420	47.832	47.432	47.375	48.628	48.053	49.954	18974.77
14	31.00	42.656	45.276	46.484	47.913	47.509	47.450	48.719	48.142	50.060	19129.24

MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 23584.0 -11261.0 4148.0 13034.0

3	1.00	42.657	45.279	46.489	47.920	47.515	47.456	48.727	48.149	50.069	19130.71
11	10.00	42.670	45.311	46.532	47.975	47.568	47.506	48.789	48.210	50.137	19184.81
12	20.00	42.684	45.345	46.577	48.034	47.624	47.560	48.854	48.273	50.207	19267.28
10	28.00	42.696	45.372	46.612	48.078	47.666	47.601	48.904	48.322	50.260	19340.73

MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23320.0 -11603.0 3739.0 12357.1

3	1.00	42.694	45.374	46.616	48.083	47.671	47.606	48.909	48.322	50.261	19341.96
---	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	----------

9 10.00 42.693 45.391 46.641 48.114 47.702 47.640 48.942 48.352 50.295 19373.46
 10 20.00 42.698 45.410 46.668 48.145 47.734 47.672 48.977 48.388 50.334 19427.93
 10 31.00 42.707 45.430 46.695 48.178 47.767 47.705 49.013 48.425 50.374 19496.94
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22803.0 -12479.0 3389.0 11567.5
 3 1.00 42.699 45.431 46.696 48.180 47.768 47.707 49.014 48.413 50.363 19492.22
 7 10.00 42.681 45.431 46.700 48.183 47.769 47.714 49.013 48.399 50.350 19465.39
 7 20.00 42.674 45.431 46.703 48.184 47.771 47.718 49.013 48.398 50.349 19461.09
 7 30.00 42.672 45.431 46.704 48.185 47.772 47.721 49.013 48.399 50.350 19470.34
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20058.0 -13310.0 3497.0 11646.6
 4 1.00 42.663 45.429 46.702 48.183 47.769 47.719 49.010 48.383 50.334 19445.84
 9 10.00 42.634 45.408 46.681 48.158 47.740 47.693 48.979 48.336 50.289 19298.72
 9 20.00 42.617 45.387 46.657 48.130 47.712 47.666 48.949 48.304 50.258 19187.29
 10 31.00 42.602 45.365 46.632 48.101 47.683 47.639 48.918 48.273 50.228 19094.54
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 18971.0 -17080.0 2551.0 10946.6
 4 1.00 42.565 45.357 46.627 48.094 47.673 47.634 48.906 48.205 50.161 19052.37
 12 10.00 42.457 45.283 46.547 47.991 47.559 47.543 48.778 48.012 49.974 18702.99
 13 20.00 42.394 45.205 46.455 47.875 47.446 47.440 48.651 47.878 49.847 18403.70
 13 30.00 42.348 45.132 46.367 47.768 47.344 47.344 48.535 47.764 49.738 18157.66
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18532.0 -17676.0 2198.0 9520.7
 4 1.00 42.338 45.123 46.357 47.756 47.332 47.333 48.521 47.743 49.717 18122.92
 13 10.00 42.285 45.048 46.269 47.646 47.226 47.237 48.399 47.616 49.585 17856.85
 14 20.00 42.240 44.971 46.174 47.528 47.115 47.132 48.270 47.491 49.448 17598.89
 15 31.00 42.198 44.891 46.075 47.405 46.998 47.020 48.134 47.359 49.302 17340.76
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19920.0 -17659.0 1900.0 8780.8
 4 1.00 42.195 44.885 46.067 47.394 46.988 47.011 48.122 47.349 49.290 17325.97
 13 10.00 42.167 44.827 45.993 47.300 46.900 46.928 48.017 47.249 49.175 17176.62
 14 20.00 42.137 44.765 45.914 47.199 46.805 46.837 47.903 47.140 49.046 17002.28
 15 31.00 42.105 44.700 45.830 47.091 46.703 46.739 47.783 47.022 48.908 16807.34
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 21990.0 -13979.0 1752.0 11230.8
 4 1.00 42.137 44.699 45.825 47.084 46.701 46.733 47.779 47.075 48.959 16817.95
 8 10.00 42.198 44.692 45.807 47.062 46.704 46.723 47.774 47.146 49.024 16921.42

9 20.00 42.217 44.687 45.798 47.051 46.700 46.716 47.767 47.153 49.029 16963.72
 8 30.00 42.222 44.684 45.791 47.043 46.694 46.708 47.760 47.148 49.023 16965.74
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23278.0 -13359.0 2886.0 11580.8
 3 1.00 42.230 44.686 45.793 47.045 46.695 46.709 47.763 47.159 49.033 16992.20
 9 10.00 42.266 44.714 45.818 47.081 46.722 46.727 47.800 47.196 49.065 17133.35
 9 20.00 42.289 44.741 45.846 47.116 46.751 46.750 47.837 47.228 49.090 17230.19
 10 31.00 42.305 44.765 45.873 47.150 46.781 46.776 47.872 47.259 49.117 17304.16
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 24523.0 -11366.0 3115.0 11620.7
 4 1.00 42.326 44.771 45.877 47.155 46.788 46.780 47.880 47.296 49.154 17331.37
 11 10.00 42.388 44.818 45.929 47.220 46.860 46.840 47.959 47.410 49.261 17545.54
 12 20.00 42.425 44.867 45.987 47.291 46.929 46.903 48.037 47.491 49.335 17728.29
 11 30.00 42.452 44.912 46.040 47.356 46.992 46.962 48.106 47.559 49.398 17877.36
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 25423.0 -11163.0 3940.0 13384.0
 4 1.00 42.458 44.918 46.047 47.365 46.999 46.969 48.115 47.570 49.408 17911.26
 12 10.00 42.499 44.976 46.113 47.449 47.072 47.034 48.204 47.652 49.494 18135.79
 13 20.00 42.535 45.036 46.184 47.537 47.153 47.108 48.301 47.741 49.594 18340.11
 14 31.00 42.568 45.096 46.258 47.629 47.240 47.190 48.403 47.838 49.704 18538.39

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.78	41.65	41.65	41.67	41.69	41.73	41.77	41.86
4	-99.00	42.87	42.57	42.72	42.75	42.78	42.85	42.92	-99.00
5	-99.00	44.13	43.92	43.84	43.75	43.74	43.91	44.05	44.13
6	-99.00	45.37	45.10	44.88	44.61	44.45	44.91	45.15	-99.00
7	-99.00	46.72	46.26	45.92	45.31	-99.00	46.07	46.41	46.84
8	48.11	47.63	47.24	47.19	-99.00	-99.00	47.55	47.51	47.53
9	48.73	48.40	47.84	48.35	49.12	49.50	48.97	48.49	48.09
10	49.61	49.38	49.14	49.22	49.64	49.89	49.82	49.74	-99.00
11	50.56	50.34	50.08	49.70	50.29	50.56	50.65	50.68	-99.00
12	51.57	51.30	51.12	51.02	51.21	51.38	51.49	51.55	-99.00

13 -99.00 52.17 52.04 52.02 52.12 52.24 52.34 52.40 -99.00
 14 -29.28 -99.00 52.84 52.90 52.99 53.10 53.19 53.27 -99.00

BLOCK NO.= 5 YEAR NO.= 5

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26226.0 -11163.0 3950.0 13635.3
 3 1.00 42.571 45.102 46.265 47.638 47.248 47.198 48.413 47.848 49.715 18563.90
 12 10.00 42.599 45.153 46.328 47.717 47.322 47.269 48.500 47.931 49.811 18755.10
 13 20.00 42.627 45.208 46.396 47.801 47.403 47.347 48.594 48.022 49.917 18946.98
 14 31.00 42.656 45.265 46.468 47.891 47.489 47.431 48.694 48.121 50.031 19145.25
 MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 23871.0 -11476.0 3692.0 13046.6
 3 1.00 42.654 45.268 46.473 47.897 47.495 47.437 48.701 48.123 50.035 19138.31
 11 10.00 42.655 45.292 46.509 47.942 47.540 47.482 48.752 48.170 50.093 19147.57
 11 20.00 42.662 45.318 46.545 47.989 47.586 47.529 48.805 48.224 50.157 19198.29
 10 28.00 42.670 45.339 46.575 48.027 47.622 47.564 48.847 48.266 50.206 19253.89
 MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23481.0 -11481.0 3522.0 12360.6
 3 1.00 42.671 45.342 46.578 48.031 47.627 47.569 48.852 48.271 50.212 19255.84
 9 10.00 42.676 45.360 46.604 48.063 47.660 47.603 48.890 48.311 50.256 19295.85
 10 20.00 42.684 45.380 46.632 48.098 47.695 47.637 48.928 48.350 50.298 19355.44
 11 31.00 42.694 45.402 46.661 48.135 47.731 47.673 48.968 48.390 50.341 19429.12
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22829.0 -12530.0 3495.0 11632.6
 4 1.00 42.685 45.403 46.663 48.137 47.732 47.675 48.969 48.376 50.327 19426.86
 7 10.00 42.668 45.407 46.671 48.146 47.735 47.682 48.973 48.360 50.311 19407.07
 7 20.00 42.664 45.411 46.677 48.152 47.739 47.688 48.977 48.361 50.311 19407.60
 6 30.00 42.663 45.414 46.681 48.157 47.743 47.693 48.981 48.364 50.314 19419.44
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20168.0 -13932.0 3149.0 11226.6
 4 1.00 42.648 45.410 46.679 48.154 47.739 47.690 48.977 48.339 50.289 19388.88
 10 10.00 42.603 45.380 46.648 48.114 47.697 47.656 48.928 48.267 50.218 19194.85
 10 20.00 42.575 45.347 46.611 48.070 47.653 47.616 48.879 48.216 50.167 19046.14
 11 31.00 42.554 45.314 46.573 48.023 47.609 47.575 48.829 48.167 50.119 18921.78
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 18710.0 -16768.0 2472.0 11249.0
 4 1.00 42.525 45.307 46.567 48.016 47.599 47.568 48.818 48.114 50.065 18879.73

12 10.00 42.434 45.235 46.488 47.916 47.492 47.479 48.698 47.946 49.905 18548.99
 13 20.00 42.377 45.160 46.400 47.808 47.386 47.382 48.580 47.823 49.790 18261.60
 13 30.00 42.335 45.091 46.317 47.707 47.290 47.291 48.473 47.718 49.691 18021.75
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18633.0 -17941.0 2110.0 9546.6
 4 1.00 42.320 45.082 46.308 47.696 47.278 47.282 48.459 47.688 49.662 17988.86
 13 10.00 42.258 45.008 46.220 47.586 47.169 47.184 48.334 47.547 49.516 17717.38
 14 20.00 42.211 44.929 46.124 47.467 47.055 47.076 48.202 47.416 49.374 17454.06
 15 31.00 42.168 44.849 46.024 47.342 46.936 46.963 48.064 47.282 49.226 17192.46
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19829.0 -17970.0 2041.0 8834.0
 4 1.00 42.164 44.842 46.015 47.331 46.926 46.953 48.052 47.270 49.212 17178.21
 13 10.00 42.136 44.785 45.943 47.239 46.838 46.869 47.948 47.169 49.094 17029.60
 14 20.00 42.107 44.725 45.864 47.139 46.742 46.777 47.835 47.059 48.964 16855.08
 15 31.00 42.077 44.660 45.781 47.032 46.640 46.678 47.715 46.941 48.824 16659.60
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22981.0 -14421.0 2077.0 10934.0
 4 1.00 42.108 44.660 45.776 47.026 46.639 46.673 47.712 46.992 48.874 16681.67
 8 10.00 42.174 44.661 45.766 47.013 46.648 46.669 47.715 47.065 48.938 16841.50
 8 20.00 42.198 44.665 45.765 47.010 46.650 46.668 47.715 47.078 48.944 16927.95
 8 30.00 42.208 44.668 45.765 47.009 46.650 46.666 47.713 47.078 48.939 16963.21
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23490.0 -12797.0 2702.0 11620.7
 4 1.00 42.224 44.671 45.766 47.010 46.653 46.667 47.717 47.106 48.967 16983.35
 9 10.00 42.273 44.700 45.794 47.048 46.693 46.696 47.764 47.178 49.034 17125.85
 10 20.00 42.300 44.729 45.827 47.090 46.733 46.730 47.810 47.225 49.076 17232.33
 10 31.00 42.319 44.758 45.860 47.131 46.771 46.765 47.855 47.267 49.115 17315.86
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 24116.0 -11858.0 3196.0 11634.0
 4 1.00 42.331 44.762 45.865 47.136 46.777 46.769 47.861 47.287 49.135 17338.23
 10 10.00 42.372 44.804 45.911 47.196 46.834 46.817 47.928 47.365 49.207 17498.22
 11 20.00 42.401 44.846 45.960 47.257 46.892 46.869 47.994 47.429 49.267 17637.56
 11 30.00 42.423 44.884 46.006 47.313 46.944 46.918 48.054 47.486 49.320 17755.51
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26133.0 -11530.0 3479.0 13396.6
 4 1.00 42.430 44.890 46.012 47.321 46.952 46.924 48.062 47.499 49.332 17790.21
 12 10.00 42.468 44.941 46.071 47.394 47.019 46.987 48.142 47.579 49.419 18018.75

13 20.00 42.500 44.995 46.135 47.473 47.094 47.057 48.230 47.663 49.517 18223.32
 14 31.00 42.530 45.050 46.204 47.558 47.175 47.135 48.325 47.754 49.625 18419.52

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.75	41.63	41.64	41.66	41.69	41.72	41.77	41.87
4	-99.00	42.83	42.53	42.70	42.74	42.77	42.85	42.92	-99.00
5	-99.00	44.08	43.88	43.81	43.74	43.73	43.90	44.04	44.13
6	-99.00	45.31	45.05	44.85	44.59	44.43	44.90	45.14	-99.00
7	-99.00	46.65	46.20	45.88	45.28	-99.00	46.06	46.40	46.82
8	48.03	47.56	47.17	47.13	-99.00	-99.00	47.53	47.49	47.51
9	48.64	48.32	47.75	48.29	49.07	49.46	48.94	48.46	48.07
10	49.52	49.30	49.06	49.15	49.58	49.85	49.79	49.71	-99.00
11	50.47	50.26	50.01	49.63	50.23	50.52	50.61	50.64	-99.00
12	51.48	51.23	51.05	50.96	51.16	51.34	51.45	51.51	-99.00
13	-99.00	52.09	51.97	51.97	52.07	52.20	52.30	52.37	-99.00
14	-29.28	-99.00	52.77	52.84	52.94	53.05	53.16	53.24	-99.00

BLOCK NO.= 6 YEAR NO.= 6

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26668.0 -11041.0 3697.0 13680.8
 4 1.00 42.538 45.056 46.211 47.566 47.183 47.142 48.335 47.771 49.644 18446.63
 12 10.00 42.576 45.111 46.277 47.650 47.264 47.217 48.429 47.871 49.756 18657.38
 13 20.00 42.609 45.169 46.349 47.740 47.351 47.300 48.530 47.971 49.870 18864.84
 14 31.00 42.641 45.231 46.426 47.836 47.443 47.390 48.637 48.076 49.991 19075.74
 MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 25168.0 -11246.0 3757.0 13034.0
 3 1.00 42.641 45.235 46.432 47.844 47.450 47.397 48.646 48.081 49.997 19081.77
 11 10.00 42.655 45.273 46.483 47.908 47.510 47.455 48.716 48.146 50.070 19166.16
 12 20.00 42.672 45.314 46.536 47.974 47.574 47.517 48.789 48.218 50.149 19279.00
 10 28.00 42.687 45.346 46.576 48.025 47.623 47.565 48.846 48.273 50.210 19375.24
 MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23516.0 -11675.0 3591.0 12334.0

3 1.00 42.684 45.348 46.580 48.030 47.627 47.569 48.851 48.272 50.210 19369.57
 9 10.00 42.680 45.365 46.607 48.063 47.659 47.602 48.886 48.300 50.242 19368.23
 10 20.00 42.684 45.384 46.633 48.097 47.691 47.635 48.922 48.336 50.281 19401.89
 11 31.00 42.692 45.404 46.660 48.131 47.725 47.668 48.960 48.374 50.322 19458.38
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22820.0 -12348.0 3488.0 11646.6
 3 1.00 42.686 45.405 46.662 48.133 47.726 47.670 48.962 48.366 50.314 19454.38
 7 10.00 42.674 45.409 46.671 48.144 47.733 47.680 48.970 48.362 50.310 19435.04
 7 20.00 42.671 45.413 46.678 48.152 47.741 47.689 48.978 48.368 50.316 19436.32
 6 30.00 42.672 45.417 46.684 48.159 47.748 47.696 48.985 48.375 50.322 19448.43
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20387.0 -12848.0 3254.0 11620.7
 3 1.00 42.665 45.415 46.683 48.157 47.746 47.695 48.983 48.366 50.313 19424.22
 8 10.00 42.642 45.398 46.666 48.137 47.726 47.678 48.960 48.336 50.286 19291.43
 8 20.00 42.626 45.380 46.647 48.115 47.705 47.659 48.937 48.314 50.264 19194.52
 9 31.00 42.614 45.362 46.627 48.092 47.684 47.639 48.913 48.291 50.243 19115.79
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 18200.0 -15012.0 2604.0 10946.6
 4 1.00 42.592 45.356 46.622 48.087 47.676 47.635 48.905 48.251 50.203 19073.70
 12 10.00 42.518 45.298 46.561 48.009 47.596 47.567 48.813 48.124 50.080 18771.98
 12 20.00 42.471 45.238 46.492 47.924 47.513 47.492 48.720 48.028 49.986 18519.71
 12 30.00 42.437 45.182 46.426 47.845 47.437 47.420 48.634 47.945 49.902 18313.21
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18478.0 -16931.0 2142.0 9546.6
 4 1.00 42.415 45.174 46.418 47.835 47.426 47.411 48.622 47.904 49.862 18283.10
 13 10.00 42.344 45.103 46.336 47.731 47.318 47.318 48.499 47.749 49.702 18016.61
 14 20.00 42.294 45.028 46.245 47.616 47.207 47.214 48.370 47.620 49.563 17762.71
 15 31.00 42.252 44.951 46.148 47.496 47.093 47.105 48.237 47.490 49.422 17514.99
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 19626.0 -16834.0 2203.0 8834.0
 4 1.00 42.249 44.945 46.140 47.486 47.083 47.096 48.226 47.481 49.411 17503.61
 13 10.00 42.227 44.894 46.074 47.402 47.002 47.019 48.131 47.390 49.305 17378.87
 13 20.00 42.202 44.840 46.003 47.312 46.916 46.935 48.029 47.290 49.186 17228.43
 14 31.00 42.175 44.782 45.928 47.215 46.823 46.846 47.920 47.183 49.059 17056.60
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 22481.0 -12848.0 2438.0 10934.0
 4 1.00 42.211 44.783 45.924 47.210 46.824 46.841 47.919 47.243 49.116 17081.84

8 10.00 42.290 44.794 45.925 47.212 46.848 46.849 47.940 47.341 49.205 17274.93
 8 20.00 42.322 44.808 45.936 47.225 46.866 46.862 47.958 47.372 49.229 17392.57
 7 30.00 42.337 44.820 45.948 47.238 46.880 46.874 47.972 47.388 49.240 17455.17
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23574.0 -12371.0 2711.0 11634.0
 3 1.00 42.344 44.823 45.950 47.241 46.883 46.876 47.976 47.398 49.249 17475.75
 9 10.00 42.371 44.848 45.976 47.273 46.913 46.900 48.011 47.437 49.287 17597.86
 10 20.00 42.389 44.872 46.003 47.306 46.944 46.928 48.047 47.472 49.322 17691.73
 10 31.00 42.404 44.896 46.031 47.340 46.975 46.957 48.084 47.507 49.358 17769.47
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 24490.0 -11845.0 3414.0 12054.0
 3 1.00 42.411 44.900 46.035 47.346 46.980 46.961 48.090 47.519 49.371 17795.20
 11 10.00 42.447 44.940 46.079 47.402 47.030 47.004 48.151 47.582 49.433 17962.93
 11 20.00 42.474 44.981 46.126 47.461 47.084 47.052 48.214 47.642 49.493 18106.27
 11 30.00 42.495 45.017 46.170 47.515 47.135 47.100 48.274 47.697 49.551 18228.16
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 26413.0 -11542.0 3830.0 13773.2
 4 1.00 42.502 45.023 46.176 47.523 47.142 47.106 48.282 47.709 49.564 18263.98
 12 10.00 42.540 45.075 46.236 47.598 47.210 47.169 48.364 47.790 49.655 18498.85
 13 20.00 42.573 45.130 46.301 47.680 47.287 47.241 48.456 47.877 49.759 18709.65
 14 31.00 42.604 45.187 46.372 47.768 47.370 47.321 48.554 47.973 49.873 18912.88

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.80	41.67	41.68	41.69	41.71	41.75	41.80	41.89
4	-99.00	42.91	42.60	42.77	42.80	42.82	42.90	42.97	-99.00
5	-99.00	44.20	43.99	43.91	43.82	43.81	43.97	44.12	44.21
6	-99.00	45.46	45.19	44.97	44.70	44.53	45.00	45.24	-99.00
7	-99.00	46.84	46.37	46.03	45.41	-99.00	46.17	46.52	46.95
8	48.26	47.77	47.37	47.32	-99.00	-99.00	47.68	47.64	47.65
9	48.89	48.55	47.97	48.50	49.28	49.67	49.12	48.63	48.23
10	49.78	49.55	49.30	49.38	49.81	50.07	50.00	49.91	-99.00
11	50.75	50.53	50.26	49.87	50.47	50.75	50.84	50.87	-99.00

12 51.79 51.52 51.32 51.22 51.42 51.59 51.70 51.76 -99.00
 13 -99.00 52.40 52.27 52.25 52.35 52.47 52.57 52.64 -99.00
 14 -29.28 -99.00 53.09 53.15 53.24 53.35 53.45 53.53 -99.00

BLOCK NO.= 7 YEAR NO.= 7

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 28913.0 -11164.0 3822.0 13786.5
 4 1.00 42.612 45.195 46.380 47.778 47.380 47.331 48.566 47.990 49.892 18955.21
 13 10.00 42.655 45.258 46.456 47.870 47.471 47.418 48.670 48.098 50.014 19250.83
 14 20.00 42.694 45.326 46.539 47.971 47.569 47.513 48.781 48.209 50.140 19527.12
 14 31.00 42.731 45.397 46.627 48.078 47.673 47.614 48.900 48.326 50.273 19797.46
 MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 26979.0 -11287.0 3793.0 13046.6
 3 1.00 42.732 45.402 46.634 48.087 47.681 47.622 48.909 48.333 50.282 19804.18
 11 10.00 42.749 45.444 46.689 48.156 47.748 47.687 48.985 48.407 50.365 19907.11
 12 20.00 42.769 45.490 46.748 48.228 47.818 47.756 49.065 48.487 50.452 20043.34
 10 28.00 42.785 45.525 46.793 48.284 47.872 47.809 49.126 48.547 50.519 20158.08
 MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 25423.0 -12177.0 3533.0 12386.5
 3 1.00 42.778 45.527 46.797 48.289 47.876 47.815 49.131 48.539 50.511 20152.97
 9 10.00 42.766 45.543 46.823 48.320 47.904 47.846 49.161 48.555 50.533 20149.04
 10 20.00 42.767 45.561 46.848 48.350 47.933 47.877 49.194 48.586 50.569 20184.42
 11 31.00 42.774 45.580 46.874 48.383 47.965 47.909 49.230 48.622 50.611 20245.57
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 23177.0 -12337.0 3416.0 11646.6
 3 1.00 42.771 45.580 46.875 48.384 47.966 47.910 49.231 48.621 50.611 20229.77
 6 10.00 42.762 45.579 46.878 48.389 47.972 47.917 49.238 48.627 50.618 20163.92
 6 20.00 42.758 45.579 46.881 48.394 47.978 47.923 49.243 48.634 50.624 20131.44
 5 30.00 42.756 45.579 46.883 48.398 47.982 47.928 49.247 48.639 50.628 20118.14
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 22116.0 -14164.0 3109.0 11646.6
 4 1.00 42.738 45.576 46.882 48.396 47.978 47.927 49.244 48.608 50.597 20097.93
 10 10.00 42.690 45.550 46.856 48.362 47.937 47.895 49.198 48.529 50.522 19944.01
 10 20.00 42.664 45.522 46.824 48.323 47.898 47.860 49.155 48.481 50.478 19823.07
 10 31.00 42.645 45.494 46.791 48.283 47.860 47.824 49.113 48.440 50.441 19724.07
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 20820.0 -17698.0 2535.0 11296.6

4 1.00 42.610 45.486 46.785 48.276 47.849 47.818 49.101 48.375 50.377 19684.67
 12 10.00 42.509 45.415 46.707 48.176 47.737 47.727 48.977 48.188 50.198 19354.27
 13 20.00 42.449 45.339 46.618 48.066 47.627 47.626 48.854 48.058 50.077 19068.85
 13 30.00 42.406 45.269 46.533 47.963 47.528 47.533 48.744 47.950 49.975 18832.95
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20633.0 -18530.0 2127.0 9546.6
 4 1.00 42.394 45.260 46.524 47.951 47.517 47.523 48.731 47.925 49.951 18800.05
 13 10.00 42.337 45.186 46.436 47.842 47.411 47.428 48.609 47.794 49.815 18539.83
 14 20.00 42.292 45.109 46.342 47.724 47.300 47.323 48.479 47.667 49.677 18287.33
 15 31.00 42.250 45.030 46.244 47.602 47.183 47.212 48.343 47.536 49.530 18035.18
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21200.0 -18310.0 2047.0 8846.6
 4 1.00 42.249 45.024 46.235 47.591 47.173 47.202 48.331 47.528 49.521 18016.82
 13 10.00 42.224 44.966 46.162 47.499 47.087 47.119 48.229 47.434 49.410 17854.39
 14 20.00 42.195 44.906 46.084 47.400 46.993 47.028 48.118 47.326 49.281 17671.12
 15 31.00 42.165 44.841 46.001 47.294 46.892 46.930 47.998 47.210 49.142 17468.80
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 24200.0 -14084.0 2102.0 10946.6
 4 1.00 42.202 44.842 45.997 47.288 46.892 46.926 47.997 47.272 49.203 17491.34
 8 10.00 42.282 44.848 45.993 47.283 46.913 46.930 48.012 47.372 49.292 17670.91
 8 20.00 42.312 44.858 45.999 47.290 46.927 46.939 48.024 47.399 49.310 17774.21
 8 30.00 42.325 44.866 46.006 47.298 46.935 46.946 48.033 47.409 49.314 17822.69
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 25616.0 -12859.0 2694.0 11646.6
 4 1.00 42.339 44.870 46.009 47.302 46.939 46.948 48.037 47.432 49.336 17850.67
 10 10.00 42.386 44.906 46.045 47.347 46.984 46.983 48.090 47.501 49.400 18028.90
 10 20.00 42.415 44.941 46.084 47.396 47.030 47.023 48.143 47.553 49.447 18164.14
 11 31.00 42.437 44.975 46.124 47.444 47.075 47.064 48.195 47.602 49.493 18275.78
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 26726.0 -12151.0 3180.0 11659.9
 4 1.00 42.447 44.981 46.129 47.451 47.081 47.070 48.202 47.619 49.510 18304.21
 11 10.00 42.489 45.027 46.181 47.516 47.143 47.123 48.273 47.696 49.583 18498.12
 11 20.00 42.520 45.074 46.236 47.583 47.205 47.180 48.345 47.765 49.648 18666.51
 11 30.00 42.544 45.117 46.286 47.644 47.263 47.235 48.410 47.828 49.709 18810.12
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 28303.0 -11395.0 3590.0 13396.6
 4 1.00 42.555 45.123 46.293 47.652 47.272 47.242 48.420 47.848 49.729 18846.45

12 10.00 42.604 45.182 46.361 47.736 47.352 47.314 48.513 47.949 49.837 19101.71
 13 20.00 42.642 45.244 46.434 47.828 47.438 47.395 48.615 48.048 49.949 19333.32
 14 31.00 42.677 45.307 46.512 47.925 47.531 47.484 48.723 48.153 50.070 19555.81

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.83	41.70	41.72	41.73	41.76	41.80	41.85	41.95	
4	-99.00	42.98	42.68	42.84	42.87	42.90	42.98	43.05	43.05	-99.00
5	-99.00	44.29	44.09	44.00	43.92	43.91	44.09	44.24	44.33	
6	-99.00	45.58	45.31	45.09	44.82	44.65	45.14	45.39	45.39	-99.00
7	-99.00	46.98	46.51	46.17	45.54	-99.00	46.35	46.70	47.15	
8	48.42	47.92	47.53	47.48	-99.00	-99.00	47.88	47.84	47.86	
9	49.05	48.72	48.15	48.68	49.48	49.88	49.34	48.85	48.45	
10	49.95	49.72	49.48	49.57	50.01	50.28	50.21	50.13	49.90	
11	50.92	50.70	50.44	50.07	50.67	50.96	51.05	51.09	49.90	
12	51.94	51.68	51.50	51.41	51.61	51.79	51.90	51.97	49.90	
13	-99.00	52.55	52.43	52.43	52.53	52.66	52.77	52.84	49.90	
14	-29.27	-99.00	53.24	53.31	53.41	53.53	53.63	53.72	49.90	

BLOCK NO.= 8 YEAR NO.= 8

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23820.0 -11468.0 3512.0 13194.3

3 1.00 42.676 45.310 46.517 47.930 47.536 47.489 48.730 48.158 50.077 19534.81
 11 10.00 42.677 45.330 46.549 47.974 47.580 47.530 48.782 48.210 50.142 19474.07
 12 20.00 42.683 45.353 46.583 48.022 47.626 47.574 48.838 48.266 50.209 19471.70
 12 31.00 42.691 45.378 46.620 48.072 47.673 47.620 48.896 48.323 50.279 19504.10

MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 22516.0 -11665.0 3147.0 13086.5

3 1.00 42.689 45.379 46.622 48.075 47.676 47.623 48.900 48.324 50.281 19490.97
 9 10.00 42.681 45.384 46.636 48.095 47.698 47.646 48.925 48.349 50.316 19437.42
 10 20.00 42.679 45.392 46.651 48.117 47.720 47.669 48.953 48.378 50.356 19418.24
 8 28.00 42.680 45.399 46.663 48.135 47.738 47.687 48.975 48.400 50.386 19418.34

MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21549.0 -11883.0 2717.0 12036.5
 3 1.00 42.677 45.398 46.663 48.136 47.739 47.688 48.977 48.399 50.386 19404.29
 6 10.00 42.664 45.393 46.663 48.136 47.743 47.695 48.980 48.403 50.394 19336.17
 6 20.00 42.657 45.389 46.662 48.137 47.745 47.699 48.982 48.407 50.399 19294.53
 5 31.00 42.653 45.386 46.662 48.138 47.747 47.701 48.983 48.410 50.402 19270.75
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 20007.0 -12475.0 2313.0 11514.3
 3 1.00 42.646 45.384 46.660 48.136 47.745 47.700 48.981 48.399 50.391 19247.75
 9 10.00 42.619 45.362 46.639 48.110 47.720 47.681 48.951 48.363 50.354 19110.86
 10 20.00 42.600 45.339 46.615 48.080 47.693 47.656 48.919 48.332 50.321 19004.43
 9 30.00 42.587 45.319 46.592 48.053 47.667 47.632 48.889 48.304 50.291 18923.40
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 18168.0 -13028.0 2001.0 10986.5
 3 1.00 42.579 45.315 46.588 48.048 47.662 47.628 48.883 48.290 50.277 18892.89
 11 10.00 42.544 45.277 46.546 47.996 47.613 47.584 48.826 48.227 50.211 18695.21
 12 20.00 42.517 45.236 46.499 47.940 47.559 47.534 48.764 48.167 50.146 18525.12
 12 31.00 42.494 45.196 46.451 47.881 47.503 47.480 48.701 48.105 50.078 18370.22
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 14761.0 -15202.0 1733.0 10801.0
 4 1.00 42.470 45.187 46.443 47.872 47.492 47.471 48.688 48.060 50.033 18314.83
 12 10.00 42.386 45.111 46.358 47.767 47.381 47.373 48.565 47.899 49.870 17916.44
 13 20.00 42.329 45.030 46.262 47.652 47.267 47.265 48.439 47.768 49.738 17567.97
 13 30.00 42.284 44.953 46.170 47.542 47.161 47.163 48.320 47.651 49.617 17272.82
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 14542.0 -17273.0 1720.0 9586.5
 4 1.00 42.261 44.943 46.160 47.529 47.146 47.151 48.304 47.604 49.570 17234.30
 13 10.00 42.181 44.858 46.058 47.404 47.013 47.030 48.156 47.417 49.374 16890.28
 14 20.00 42.123 44.766 45.945 47.265 46.876 46.899 48.001 47.257 49.200 16554.80
 15 31.00 42.071 44.670 45.826 47.118 46.734 46.762 47.839 47.097 49.024 16222.93
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 16465.0 -16761.0 1735.0 8859.9
 4 1.00 42.072 44.663 45.816 47.107 46.723 46.751 47.826 47.092 49.017 16211.57
 13 10.00 42.054 44.605 45.739 47.010 46.633 46.662 47.720 46.998 48.904 16075.87
 14 20.00 42.028 44.542 45.658 46.907 46.534 46.566 47.604 46.886 48.768 15899.72
 15 31.00 41.997 44.475 45.571 46.796 46.428 46.463 47.479 46.762 48.620 15693.40
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 19413.0 -13366.0 2060.0 11686.5

4 1.00 42.028 44.475 45.566 46.790 46.426 46.457 47.476 46.810 48.666 15715.53
 9 10.00 42.093 44.476 45.555 46.777 46.431 46.447 47.477 46.876 48.722 15864.69
 9 20.00 42.117 44.479 45.552 46.773 46.431 46.443 47.477 46.886 48.728 15937.19
 8 30.00 42.126 44.481 45.551 46.772 46.430 46.439 47.476 46.885 48.726 15959.50
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 20923.0 -12310.0 2355.0 11797.8
 4 1.00 42.138 44.484 45.552 46.774 46.432 46.441 47.479 46.904 48.745 15981.29
 9 10.00 42.174 44.507 45.575 46.802 46.463 46.464 47.514 46.955 48.793 16114.85
 9 20.00 42.195 44.530 45.600 46.834 46.492 46.490 47.548 46.990 48.823 16209.79
 9 31.00 42.210 44.552 45.626 46.864 46.521 46.516 47.581 47.020 48.850 16282.12
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 21981.0 -11315.0 2504.0 12386.5
 4 1.00 42.221 44.556 45.629 46.869 46.526 46.519 47.587 47.041 48.870 16303.46
 10 10.00 42.259 44.591 45.667 46.916 46.576 46.562 47.642 47.113 48.941 16457.44
 11 20.00 42.284 44.626 45.710 46.968 46.626 46.609 47.700 47.171 48.999 16589.89
 11 30.00 42.303 44.659 45.750 47.017 46.673 46.653 47.753 47.223 49.053 16700.90
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 23300.0 -11014.0 3470.0 13086.5
 3 1.00 42.310 44.665 45.756 47.025 46.680 46.659 47.761 47.234 49.065 16736.66
 12 10.00 42.352 44.720 45.817 47.103 46.746 46.717 47.844 47.310 49.142 16966.10
 12 20.00 42.386 44.775 45.881 47.184 46.819 46.784 47.930 47.390 49.226 17167.30
 13 31.00 42.418 44.831 45.948 47.266 46.897 46.857 48.020 47.476 49.318 17358.13

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.68	41.56	41.58	41.60	41.62	41.65	41.70	41.78
4	-99.00	42.70	42.42	42.58	42.61	42.64	42.72	42.78	-99.00
5	-99.00	43.90	43.71	43.64	43.56	43.56	43.72	43.85	43.93
6	-99.00	45.08	44.83	44.63	44.38	44.23	44.68	44.91	-99.00
7	-99.00	46.39	45.95	45.63	45.04	-99.00	45.79	46.12	46.53
8	47.72	47.27	46.90	46.86	-99.00	-99.00	47.23	47.18	47.19
9	48.33	48.02	47.48	47.99	48.75	49.12	48.60	48.13	47.74
10	49.19	48.98	48.75	48.84	49.26	49.51	49.44	49.36	-99.00

11 50.12 49.92 49.68 49.32 49.90 50.17 50.26 50.29 -99.00
 12 51.12 50.87 50.70 50.61 50.81 50.98 51.08 51.14 -99.00
 13 -99.00 51.72 51.61 51.60 51.71 51.83 51.92 51.98 -99.00
 14 -29.28 -99.00 52.39 52.46 52.55 52.66 52.76 52.84 -99.00

BLOCK NO.= 9 YEAR NO.= 9

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21507.0 -11356.0 3208.0 12927.6

3 1.00 42.416 44.834 45.953 47.272 46.902 46.862 48.026 47.476 49.319 17355.32
 10 10.00 42.418 44.858 45.986 47.313 46.942 46.902 48.071 47.516 49.366 17377.43
 11 20.00 42.427 44.883 46.020 47.356 46.983 46.943 48.120 47.563 49.421 17430.85
 12 31.00 42.438 44.910 46.056 47.401 47.027 46.986 48.171 47.613 49.480 17504.61

MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 19652.0 -11151.0 2709.0 12914.3

3 1.00 42.439 44.911 46.058 47.403 47.030 46.989 48.174 47.620 49.488 17489.91
 9 10.00 42.437 44.915 46.069 47.418 47.051 47.010 48.196 47.652 49.528 17442.85
 10 20.00 42.436 44.922 46.082 47.437 47.072 47.032 48.220 47.679 49.565 17430.72
 8 28.00 42.437 44.928 46.093 47.453 47.088 47.048 48.239 47.700 49.591 17434.42

MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 17990.0 -11590.0 2157.0 12227.6

3 1.00 42.432 44.927 46.093 47.452 47.088 47.049 48.239 47.694 49.586 17412.38
 6 10.00 42.410 44.913 46.084 47.442 47.081 47.046 48.230 47.682 49.580 17298.01
 6 20.00 42.396 44.901 46.074 47.431 47.072 47.040 48.220 47.674 49.576 17219.54
 6 31.00 42.387 44.890 46.064 47.421 47.063 47.032 48.210 47.666 49.570 17162.91

MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 15974.0 -12391.0 2147.0 11527.6

4 1.00 42.378 44.887 46.061 47.418 47.060 47.030 48.206 47.651 49.555 17136.13
 10 10.00 42.345 44.859 46.033 47.385 47.024 46.998 48.167 47.598 49.501 16963.14
 11 20.00 42.323 44.830 46.000 47.347 46.986 46.963 48.125 47.555 49.454 16821.43
 10 30.00 42.307 44.804 45.969 47.310 46.951 46.929 48.085 47.515 49.410 16708.91

MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 14939.0 -13340.0 1814.0 11514.3

4 1.00 42.295 44.799 45.965 47.305 46.945 46.924 48.078 47.494 49.389 16680.89
 11 10.00 42.253 44.756 45.916 47.245 46.884 46.871 48.010 47.412 49.306 16477.95
 12 20.00 42.222 44.710 45.863 47.180 46.822 46.812 47.940 47.341 49.234 16296.22
 12 31.00 42.195 44.664 45.808 47.114 46.758 46.751 47.868 47.271 49.162 16127.69

MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 13474.0 -16941.0 1704.0 11067.7
 4 1.00 42.159 44.655 45.800 47.105 46.745 46.742 47.854 47.202 49.094 16085.69
 13 10.00 42.055 44.576 45.709 46.991 46.615 46.631 47.712 46.991 48.884 15715.14
 14 20.00 41.992 44.489 45.605 46.863 46.486 46.510 47.570 46.838 48.731 15380.19
 14 30.00 41.944 44.408 45.506 46.742 46.368 46.397 47.438 46.707 48.599 15093.57
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 12516.0 -17341.0 1538.0 9401.0
 4 1.00 41.935 44.399 45.495 46.729 46.355 46.385 47.423 46.687 48.578 15053.00
 13 10.00 41.882 44.317 45.397 46.608 46.239 46.275 47.290 46.551 48.430 14744.81
 14 20.00 41.835 44.232 45.292 46.479 46.114 46.156 47.146 46.410 48.270 14441.73
 15 31.00 41.789 44.143 45.180 46.341 45.982 46.028 46.993 46.260 48.097 14135.13
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 13474.0 -17431.0 1407.0 8705.2
 4 1.00 41.784 44.135 45.171 46.328 45.970 46.017 46.979 46.245 48.081 14113.60
 13 10.00 41.750 44.068 45.085 46.220 45.867 45.918 46.857 46.125 47.938 13909.73
 14 20.00 41.714 43.995 44.992 46.102 45.754 45.808 46.724 45.995 47.783 13680.30
 15 31.00 41.677 43.918 44.892 45.976 45.632 45.690 46.582 45.854 47.616 13428.95
 MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 13974.0 -13541.0 1656.0 10801.0
 4 1.00 41.709 43.916 44.885 45.967 45.629 45.682 46.576 45.908 47.667 13425.68
 10 10.00 41.768 43.897 44.853 45.930 45.615 45.652 46.555 45.963 47.708 13441.66
 11 20.00 41.780 43.880 44.827 45.901 45.591 45.624 46.527 45.948 47.681 13402.89
 11 30.00 41.779 43.862 44.803 45.873 45.564 45.595 46.497 45.919 47.641 13330.48
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 16852.0 -12451.0 1723.0 11527.6
 4 1.00 41.790 43.864 44.803 45.872 45.565 45.595 46.498 45.936 47.657 13352.50
 7 10.00 41.821 43.875 44.811 45.881 45.579 45.603 46.512 45.969 47.683 13467.60
 7 20.00 41.837 43.886 44.821 45.893 45.590 45.611 46.524 45.983 47.693 13531.99
 7 31.00 41.846 43.896 44.830 45.904 45.600 45.619 46.536 45.993 47.699 13567.18
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 19492.0 -11946.0 1913.0 12214.3
 3 1.00 41.853 43.899 44.833 45.907 45.604 45.622 46.540 46.004 47.709 13597.75
 10 10.00 41.884 43.929 44.864 45.944 45.639 45.653 46.580 46.050 47.755 13775.65
 10 20.00 41.906 43.959 44.898 45.984 45.677 45.688 46.623 46.092 47.798 13913.26
 10 30.00 41.923 43.987 44.930 46.022 45.713 45.722 46.664 46.131 47.840 14021.51
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21324.0 -11436.0 2418.0 12927.6

3	1.00	41.931	43.992	44.935	46.028	45.719	45.727	46.671	46.145	47.854	14056.79
11	10.00	41.971	44.039	44.987	46.093	45.778	45.780	46.742	46.218	47.931	14285.37
12	20.00	42.002	44.088	45.044	46.162	45.843	45.841	46.817	46.291	48.009	14483.91
13	31.00	42.031	44.137	45.103	46.235	45.912	45.907	46.896	46.367	48.094	14668.69

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	-99.00
3	-99.00	41.46	41.36	41.40	41.43	41.46	41.50	41.54	41.62	
4	-99.00	42.28	42.03	42.23	42.29	42.34	42.42	42.48	-99.00	
5	-99.00	43.31	43.17	43.14	43.11	43.13	43.29	43.41	43.49	
6	-99.00	44.34	44.14	44.00	43.81	43.71	44.13	44.34	-99.00	
7	-99.00	45.47	45.10	44.85	44.36	-99.00	45.12	45.41	45.77	
8	46.63	46.23	45.91	45.91	-99.00	-99.00	46.39	46.35	46.36	
9	47.17	46.90	46.37	46.90	47.63	48.03	47.60	47.19	46.85	
10	47.97	47.79	47.58	47.68	48.11	48.38	48.35	48.29	-99.00	
11	48.85	48.68	48.45	48.09	48.70	49.00	49.10	49.14	-99.00	
12	49.81	49.59	49.44	49.37	49.58	49.77	49.88	49.94	-99.00	
13	-99.00	50.41	50.32	50.33	50.45	50.59	50.69	50.75	-99.00	
14	-29.28	-99.00	51.07	51.17	51.28	51.40	51.51	51.58	-99.00	

BLOCK NO.= 9 YEAR NO.= 10

MONTH= 1 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21507.0 -11356.0 3208.0 12927.6

3	1.00	42.035	44.143	45.110	46.243	45.919	45.913	46.905	46.376	48.103	14697.05
11	10.00	42.069	44.196	45.170	46.320	45.986	45.974	46.986	46.449	48.179	14895.01
12	20.00	42.101	44.250	45.235	46.400	46.059	46.042	47.072	46.529	48.262	15083.86
13	31.00	42.130	44.305	45.301	46.481	46.136	46.115	47.160	46.613	48.352	15271.60

MONTH= 2 NO.DAYS= 28 FLOWS= 19652.0 -11151.0 2709.0 12914.3

3	1.00	42.133	44.308	45.306	46.486	46.142	46.120	47.167	46.623	48.362	15267.03
11	10.00	42.143	44.332	45.340	46.529	46.189	46.166	47.217	46.682	48.428	15298.03
11	20.00	42.153	44.359	45.377	46.574	46.235	46.212	47.270	46.737	48.492	15361.39

9 28.00 42.162 44.380 45.405 46.610 46.271 46.247 47.310 46.778 48.540 15420.67
 MONTH= 3 NO.DAYS= 31 FLOWS= 17990.0 -11590.0 2157.0 12227.6
 3 1.00 42.158 44.381 45.407 46.613 46.274 46.250 47.313 46.775 48.537 15405.69
 8 10.00 42.143 44.381 45.415 46.622 46.286 46.267 47.325 46.784 48.553 15342.36
 8 20.00 42.137 44.383 45.423 46.632 46.298 46.280 47.337 46.798 48.573 15316.81
 8 31.00 42.136 44.387 45.431 46.643 46.309 46.293 47.351 46.813 48.592 15314.20
 MONTH= 4 NO.DAYS= 30 FLOWS= 15974.0 -12391.0 2147.0 11527.6
 3 1.00 42.127 44.385 45.430 46.643 46.308 46.293 47.349 46.800 48.579 15293.73
 8 10.00 42.101 44.371 45.417 46.629 46.291 46.279 47.331 46.767 48.547 15171.61
 9 20.00 42.087 44.356 45.402 46.611 46.273 46.263 47.312 46.746 48.524 15081.56
 8 30.00 42.077 44.342 45.387 46.594 46.256 46.247 47.293 46.728 48.503 15017.55
 MONTH= 5 NO.DAYS= 31 FLOWS= 14939.0 -13340.0 1814.0 11514.3
 4 1.00 42.066 44.339 45.384 46.591 46.252 46.244 47.288 46.709 48.484 14994.42
 10 10.00 42.029 44.307 45.350 46.548 46.208 46.207 47.238 46.644 48.421 14833.30
 10 20.00 42.005 44.274 45.312 46.502 46.164 46.166 47.188 46.594 48.372 14697.40
 11 31.00 41.985 44.241 45.272 46.455 46.118 46.123 47.138 46.545 48.324 14575.03
 MONTH= 6 NO.DAYS= 30 FLOWS= 13474.0 -16941.0 1704.0 11067.7
 4 1.00 41.949 44.232 45.266 46.448 46.107 46.116 47.126 46.478 48.258 14537.26
 12 10.00 41.851 44.163 45.188 46.350 45.992 46.019 47.001 46.284 48.066 14204.28
 13 20.00 41.793 44.088 45.098 46.238 45.879 45.914 46.877 46.149 47.935 13909.39
 13 30.00 41.750 44.017 45.011 46.133 45.777 45.816 46.763 46.036 47.822 13661.44
 MONTH= 7 NO.DAYS= 31 FLOWS= 12516.0 -17341.0 1538.0 9401.0
 4 1.00 41.741 44.008 45.002 46.121 45.765 45.806 46.750 46.017 47.804 13624.63
 13 10.00 41.693 43.936 44.915 46.015 45.662 45.709 46.632 45.896 47.673 13349.04
 14 20.00 41.651 43.860 44.822 45.900 45.552 45.604 46.504 45.772 47.532 13081.27
 15 31.00 41.610 43.782 44.723 45.778 45.435 45.491 46.369 45.639 47.379 12812.24
 MONTH= 8 NO.DAYS= 31 FLOWS= 13474.0 -17431.0 1407.0 8705.2
 4 1.00 41.606 43.775 44.715 45.767 45.425 45.482 46.356 45.626 47.364 12794.20
 13 10.00 41.575 43.715 44.639 45.671 45.334 45.394 46.248 45.520 47.238 12620.24
 14 20.00 41.544 43.652 44.558 45.567 45.234 45.298 46.131 45.404 47.100 12423.15
 15 31.00 41.511 43.584 44.470 45.455 45.127 45.194 46.004 45.280 46.952 12206.27

MONTH= 9 NO.DAYS= 30 FLOWS= 13974.0 -13541.0 1656.0 10801.0
 4 1.00 41.544 43.582 44.463 45.447 45.124 45.187 46.000 45.335 47.004 12206.19
 9 10.00 41.606 43.571 44.441 45.423 45.122 45.168 45.992 45.404 47.060 12250.66
 10 20.00 41.623 43.562 44.425 45.406 45.111 45.153 45.978 45.402 47.049 12242.18
 10 30.00 41.625 43.553 44.412 45.390 45.096 45.136 45.962 45.387 47.025 12199.11
 MONTH= 10 NO.DAYS= 31 FLOWS= 16852.0 -12451.0 1723.0 11527.6
 4 1.00 41.637 43.555 44.413 45.391 45.098 45.136 45.964 45.405 47.043 12224.02
 8 10.00 41.672 43.573 44.429 45.410 45.122 45.154 45.989 45.450 47.082 12362.40
 8 20.00 41.690 43.591 44.447 45.433 45.144 45.173 46.014 45.476 47.106 12451.71
 9 31.00 41.703 43.608 44.467 45.456 45.166 45.192 46.039 45.499 47.127 12514.04
 MONTH= 11 NO.DAYS= 30 FLOWS= 19492.0 -11946.0 1913.0 12214.3
 3 1.00 41.711 43.612 44.471 45.461 45.170 45.196 46.044 45.511 47.139 12547.32
 11 10.00 41.745 43.649 44.510 45.508 45.216 45.237 46.096 45.569 47.197 12749.47
 11 20.00 41.770 43.686 44.553 45.559 45.264 45.282 46.152 45.623 47.255 12913.19
 11 30.00 41.791 43.720 44.593 45.607 45.311 45.327 46.205 45.674 47.311 13046.85
 MONTH= 12 NO.DAYS= 31 FLOWS= 21324.0 -11436.0 2418.0 12927.6
 4 1.00 41.799 43.726 44.599 45.615 45.317 45.333 46.213 45.689 47.326 13084.69
 12 10.00 41.842 43.780 44.659 45.689 45.386 45.395 46.294 45.773 47.415 13336.18
 13 20.00 41.877 43.835 44.724 45.769 45.461 45.466 46.381 45.856 47.507 13559.29
 14 31.00 41.909 43.892 44.793 45.852 45.541 45.542 46.472 45.945 47.605 13770.16

VALUES OF HEAD AT 31.00 DAYS

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-99.00	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50
3	-99.00	41.39	41.30	41.34	41.37	41.40	41.44	41.48	41.56
4	-99.00	42.16	41.91	42.11	42.18	42.23	42.31	42.37	-99.00
5	-99.00	43.13	42.99	42.96	42.94	42.96	43.12	43.24	43.32
6	-99.00	44.08	43.89	43.77	43.59	43.51	43.91	44.11	-99.00
7	-99.00	45.14	44.79	44.56	44.11	-99.00	44.85	45.12	45.47
8	46.23	45.85	45.54	45.54	-99.00	-99.00	46.04	46.01	46.02
9	46.74	46.47	45.95	46.48	47.18	47.57	47.18	46.80	46.48

10 47.51 47.33 47.12 47.22 47.64 47.91 47.90 47.84 -99.00
11 48.37 48.19 47.97 47.61 48.21 48.51 48.62 48.65 -99.00
12 49.32 49.09 48.94 48.86 49.07 49.26 49.38 49.44 -99.00
13 -99.00 49.90 49.80 49.82 49.93 50.07 50.17 50.23 -99.00
14 -29.28 -99.00 50.55 50.65 50.76 50.88 50.98 51.06 -99.00