

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΥΟ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



ΙΩΑΝΝΗΣ Θ. ΣΜΥΡΗΣ

23/12/2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ <<ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ>>

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσομοίωση υπόγειου παράκτιου υδροφορέα με τη χρήση
δύο μοντέλων προσομοίωσης

Εκπόνηση: Σμύρης Θ. Ιωάννης
Επιβλέπων Καθηγητής: Μαντόγλου Αριστοτέλης
ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα έργων Υποδομής και Αγροτικής ανάπτυξης της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια της εμβάθυνσης <<Διαχείριση Υδατικών Πόρων>>

Την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας είχε ο καθηγητής ΕΜΠ Αριστοτέλης Μαντόγλου τον οποίο και θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για τη συνεργασία που είχαμε, την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την υπομονή που επέδειξε σε όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ Βασίλη Χριστέλη για τη βοήθεια που μου προσέφερε σε επιμέρους στάδια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ Γιώργο Κοψιάφτη για τη βοήθεια που μου προσέφερε στην εξοικείωση με τα χρησιμοποιηθέντα λογισμικά, και που με την υπομονή του, την καλή διάθεση και τις γνώσεις του συνέβαλε στην εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στους φίλους μου που βρέθηκαν στο πλευρό μου και με στήριξαν σε όλη την πορεία αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	11
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ.....	12
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWI.....	12
2.2.1 Εννοιολογικό μοντέλο	12
2.2.2 Προσεγγίσεις.....	13
2.2.3 Μαθηματικές εξισώσεις τουSWI.....	13
2.2.4 Διαδικασία επίλυσης.....	16
2.2.5 Τα σημεία tip και toe.....	17
2.2.6 Το αρχείο SWI.....	17
2.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	20
2.3.1 Παραδοχές για την προσομοίωση του υδροφορέα	20
2.3.2 Προσέγγιση Ghyben – Herzberg.....	21
2.3.3 Αναλυτικές σχέσεις.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	24
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ SWI ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	24
3.2.1 Ο υπό μελέτη υδροφορέας.....	24
3.2.2 Σενάρια άντλησης	25
3.2.3 Σενάριο μηδενικής άντλησης.....	25
3.2.4 Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών συνολικής άντλησης 1845 m ³ /d 29	
3.2.5 Σενάριο αύξησης της συνολικής άντλησης κατά 35,5%.....	31
3.2.6 Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 62%	32
3.2.7 Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 116%.....	34

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	35
3.3.1 Μοντελοποίηση υδροφορέα	35
3.3.2 Εφαρμογή διαφόρων σεναρίων άντλησης στην προσομοίωση του υδροφορέα.....	36
3.3.2.1 Σενάριο μηδενικής άντλησης.....	36
3.3.2.2 Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών άντλησης 1845m ³ /d	37
3.3.2.3 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 35,5%.....	38
3.3.2.4 Περίπτωση με συνολική αύξηση των πέντε αντλήσεων κατά 62% 39	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	41
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	41
4.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	41
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΟΝΤΕΛΟ	41
4.3.1 Σενάριο μηδενικής άντλησης.....	41
4.3.2 Σενάριο αρχικής άντλησης	42
4.3.3 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 35,5%.....	44
4.3.4 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 62%	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
5.1 ΣΥΝΟΨΗ.....	47
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΒΑΣΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΑ ΔΥΟ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	47
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	52

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1:	α) Διακριτοποίηση υδροφορέα σε κατακόρυφη διατομή υδροφορέα β) Κατανομή πυκνότητας για επιλογή προσομοίωσης με στρωματοποιημένη ροή γ) Κατανομή πυκνότητας για επιλογή προσομοίωσης με ροή μεταβλητής πυκνότητας (MarkBakker, FranzSchaars,2005).....	13
Σχήμα 2:	Απεικόνιση διακριτοποίησης του υδροφορέα σε ζώνες (MarkBakker,Frans Schaars,2005)	14
Σχήμα 3:	Απεικόνιση των σημείων tip και toe(Amy L. Roach 2011).....	17
Σχήμα 4:	Απεικόνιση της διάταξης ενός αρχείου SWI	19
Σχήμα 5:	Απεικόνιση της διάταξης ενός αρχείου SWI.	20
Σχήμα 6:	Απεικόνιση των ζωνών του υδροφορέα και της διεπιφάνειας.(Μαντόγλου 2004)	21
Σχήμα 7:	Οριακές συνθήκες και χωρική διακριτοποίηση του υδροφορέα ..	25
Σχήμα 8:	Απεικόνιση διεπαφής για $Cond=800 m^2 / d$ για συνθήκες μηδενικής άντλησης 26	
Σχήμα 9:	Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής κατά μήκος του υδροφορέα για τιμή του $Cond=1000 m^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης	26
Σχήμα 10:	Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής για $Cond=2000 m^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.....	27
Σχήμα 11:	Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond=800 m^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης	28
Σχήμα 12:	Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond=1000 m^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.....	28
Σχήμα 13:	Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond=2000 m^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης	29
Σχήμα 14:	Απεικόνιση της θέσης πέντε αντλήσεων που εισάγονται στον υδροφορέα 30	
Σχήμα 15:	Θέση της διεπαφής μετά την εφαρμογή συνολικής άντλησης $1845 m^3 / d$ για $Cond=800 m^2 / d$	30
Σχήμα 16:	Θέση της διεπαφής μετά την εφαρμογή συνολικής άντλησης $1845 m^3 / d$ για $Cond=1000 m^2 / d$	31
Σχήμα 17:	Απεικόνιση θέσης διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% με την τιμή του $Cond=500 m^2 / d$	32
Σχήμα 18:	Θέση της διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% για τιμή της παραμέτρου $Cond=1.000 m^2 / d$	32
Σχήμα 19:	Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 62% με την τιμή του $Cond=500 m^2 / d$	33

Σχήμα 20:	Απεικόνιση της θέσης διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης για τιμή του $Cond=1000 \text{ m}^2 / d$	33
Σχήμα 21:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφής και θέσης της διεπαφής για την περίπτωση αυξημένης άντλησης κατά 116%. ($Cond=500 \text{ m}^2 / d$)	34
Σχήμα 22:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της θέσης της διεπαφής με αυξημένη άντληση κατά 116% με τιμή του όρου $Cond=1000 \text{ m}^2 / d$	35
Σχήμα 23:	Απεικόνιση οριακών συνθηκών και χωρική διακριτοποίηση υδροφορέα	36
Σχήμα 24:	Απεικόνιση κατανομής ισοδυναμικών γραμμών σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.	37
Σχήμα 25:	Απεικόνιση των θέσεων των πέντε αντλήσεων που εισάγονται ..	37
Σχήμα 26:	Κατανομή ισοδυναμικών γραμμών σε δισδιάστατο επίπεδο για την περίπτωση προσομοίωσης με πέντε αντλήσεις $369 \text{ m}^3 / d$ η κάθε μία.	38
Σχήμα 27:	Απεικόνιση τιμών δυναμικού για την περίπτωση προσομοίωσης με συνολική αύξηση της άντλησης κατά 35,5%.	39
Σχήμα 28:	Απεικόνιση τιμών δυναμικού για την περίπτωση προσομοίωσης με συνολική αύξηση της άντλησης κατά 62%.	40
Σχήμα 29:	Απεικόνιση της διεπαφής για το σενάριο μηδενικής άντλησης(SWI)	42
Σχήμα 30:	Απεικόνιση της διεπιφάνειας για το σενάριο μηδενικής άντλησης(μοντέλο απότομης διεπιφάνειας)	42
Σχήμα 31:	Απεικόνιση της διεπαφής από το μοντέλο SWI για το σενάριο της αρχικής άντλησης	43
Σχήμα 32:	Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας από το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας για την περίπτωση της αρχικής άντλησης	43
Σχήμα 33:	Τρισδιάστατη αναπαράσταση της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% όπως προκύπτει από την προσομοίωση με το SWI.	44
Σχήμα 34:	Τρισδιάστατη αναπαράσταση της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% όπως προκύπτει από την προσομοίωση με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας.	45
Σχήμα 35:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας όπως αυτή προκύπτει από την προσομοίωση από το SWI για αύξηση της αρχικής άντλησης κατά 62%	45
Σχήμα 36:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της διεπιφάνειας όπως αυτή προκύπτει από την προσομοίωση μέσω του μοντέλου απότομης διεπιφάνειας για αύξηση της άντλησης κατά 62%	46
Σχήμα 37:	Τρισδιάστατη αναπαράσταση της θέσης της διεπαφής για συνολική άντληση $4400 \text{ m}^3 / d$ ($880 \text{ m}^3 / d$ σε κάθε πηγάδι).	46

Σχήμα 38:	Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$	48
Σχήμα 39:	Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 62% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$48
Σχήμα 40:	Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 116% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$49
Σχήμα 41:	Απεικόνιση κατανομής πιεζομετρικού φορτίου σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.49
Σχήμα 42:	Κατανομή ισοπιεζομετρικών γραμμών σε δισδιάστατο επίπεδο για την περίπτωση εισαγωγής πέντε αντλήσεων $369 \text{ m}^3 / d$ η κάθε μία.50
Σχήμα 43:	Κατανομή τιμών υδραυλικού φορτίου για την περίπτωση συνολικής αύξησης της άντλησης κατά 35,5%.....	50
Σχήμα 44:	Κατανομή τιμών πιεζομετρικού φορτίου για την περίπτωση συνολικής αύξησης της άντλησης κατά 62%.....	51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ενός πειραματικού παράκτιου υδροφορέα μέσω της προσομοίωσης του με δύο διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης. Συγκεκριμένα η πρώτη προσομοίωση του υδροφορέα βασίζεται στο μοντέλο SWI (SeaWaterIntrusion) ενώ η δεύτερη προσομοίωση βασίζεται στο μοντέλο απότομης διεπιφάνειας (sharp interface).

Και για τα δύο μοντέλα προσομοίωσης παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις που επιλύονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής τους και περιγράφονται οι παραδοχές και οι προσεγγίσεις που ισχύουν και χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο. Επίσης επεξηγούνται και αναλύονται οι όροι και οι παράμετροι οι οποίοι παίζουν ρόλο στη λειτουργία του κάθε μοντέλου.

Σε κάθε περίπτωση προσομοίωσης εξετάζονται διάφορα σενάρια άντλησης με σκοπό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σε ότι έχει να κάνει με τη συμπεριφορά του υδροφορέα στις συνθήκες και των δύο προσομοιώσεων. Τα σενάρια άντλησης εφαρμόστηκαν με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων από το κάθε μοντέλο και τη σύγκριση μεταξύ αυτών των αποτελεσμάτων.

Τα αρχεία εισόδου του SWI προετοιμάζονται με το λογισμικό PMWIN ενώ ο υπολογισμός του υδραυλικού φορτίου και η σχεδίαση της θέσης και της μορφής της διεπαφής έγινε μέσω της γλώσσας τεχνικού προγραμματισμού Matlab. Η σχεδίαση και η εφαρμογή του Μοντέλου απότομης διεπιφάνειας έγινε στο PMWIN όπου υπολογίστηκαν η τιμές του δυναμικού ϕ , ενώ ο υπολογισμός του πιεζομετρικού φορτίου και της μορφής της διεπιφάνειας έγιναν μέσω της γλώσσας Matlab.

ABSTRACT

The objective of this research is the study of an experimental coastal aquifer through simulation with two different simulation models. Specifically the first simulation of the aquifer was based on with the model SWI (Sea Water Intrusion) while the second simulation was based on a sharp interface model. For both simulation models mathematical equations were presented which are solved numerically. The assumptions and methodologies were described for each model. Also the terms and parameters specific to the details of each model were discussed and analyzed.

In each simulation case we tested, various scenarios of pumping in order to draw useful conclusions about the behavior of the aquifer in pumping conditions of both simulations. Various pumping scenarios were applied in order to extract results from each model and compared the results.

The input data of the SWI model were prepared using PMWIN software, while the calculation of hydraulic head and the design of the position and the shape of the interface was based on MATLAB. The design and the application of the sharp interface model was based on PMWIN. The values of the potential ϕ , were based on MODFLOW while the calculation of hydraulic head and the form of the interface was done with MATLAB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση ενός πειραματικού φρεάτιου παράκτιου υδροφορέα απλής και γνωστής γεωμετρίας με τη χρήση δύο διαφορετικών μοντέλων προσομοίωσης. Η προσομοίωση εκτελείται με το μοντέλο SWI και με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας (sharp interface). Για τη μελέτη του προβλήματος και πριν τη διαδικασία εκτέλεσης των προσομοιώσεων καθορίζονται τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα. Στη συνέχεια εφαρμόζονται μια σειρά από σενάρια άντλησης και στα δύο μοντέλα προσομοίωσης από τα οποία προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα με βάση τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από κάθε μοντέλο.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία διαρθρώθηκε σε πέντε κεφάλαια, ειδικότερα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική παρουσίαση του αντικειμένου και των στόχων της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζεται η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η συνοπτική παρουσίαση των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση του παράκτιου υδροφορέα. Παρουσιάζονται οι παραδοχές και οι προσεγγίσεις τις οποίες λαμβάνει υπ όψιν του το κάθε μοντέλο, παρουσιάζονται συνοπτικά οι μαθηματικές εξισώσεις που ισχύουν για κάθε μοντέλο. Γίνεται επίσης αναφορά στις υδρολογικές παραμέτρους των υπογείων νερών που παίζουν ρόλο στο κάθε μοντέλο καθώς και σε όρους που καθορίζουν τη λειτουργία του κάθε μοντέλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον υπό προσομοίωση παράκτιο υδροφορέα. Γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών του και των παραμέτρων που εισάγονται για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Γίνεται επίσης αναφορά στη χρήση όρων οι οποίοι όπως θα δούμε παίζουν ρόλο στην προσομοίωση με το SWI. Τέλος σε αυτό το κεφάλαιο εφαρμόζονται μια σειρά από περιπτώσεις άντλησεων και για τα δύο μοντέλα προσομοίωσης με σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς του υδροφορέα των οποίων τα αποτελέσματα θα αναλύσουμε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τα δύο μοντέλα. Η σύγκριση αυτή θα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή συγκεκριμένων σεναρίων άντλησης αλλά και με βάση μηδενικές συνθήκες άντλησης. Η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται σε μορφή διαγραμμάτων με την εφαρμογή της γλώσσας προγραμματισμού Matlab.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των προσομοιώσεων με το SWI. Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης που παίρνουμε από τα δύο μοντέλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση του παράκτιου υδροφορέα. Παρουσιάζονται οι παραδοχές και οι προσεγγίσεις τις οποίες λαμβάνει υπ όψιν του το κάθε μοντέλο, παρουσιάζονται συνοπτικά οι μαθηματικές εξισώσεις που ισχύουν για κάθε μοντέλο. Γίνεται επίσης αναφορά στις υδρολογικές παραμέτρους των υπογείων νερών που παίζουν ρόλο στο κάθε μοντέλο καθώς και σε όρους που καθορίζουν τη λειτουργία του κάθε μοντέλου.

2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWI

Το μοντέλο SWI έχει σαν στόχο τη μοντελοποίηση του φαινομένου της υφαλμύρινσης μέσω MODFLOW. Το κύριο πλεονέκτημα του πακέτου SWI είναι ότι κάθε υδροφορέας μπορεί να μοντελοποιηθεί με ενιαίο στρώμα των κελιών. Τα αρχεία που δημιουργούνται και εισάγονται από το λογισμικό MODFLOW ενός παράκτιου υδροφορέα μπορούν να τροποποιηθούν με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε για να προσομοιωθεί θαλάσσια διείσδυση στο μοντέλο αυτό με την προσθήκη ενός αρχείου εισόδου. Αυτό συμβαίνει διότι το πακέτο SWI δεν έχει τη δυνατότητα ούτε εισαγωγής δεδομένων-παραμέτρων ούτε της εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε δικό του γραφικό περιβάλλον.

2.2.1 Εννοιολογικό μοντέλο

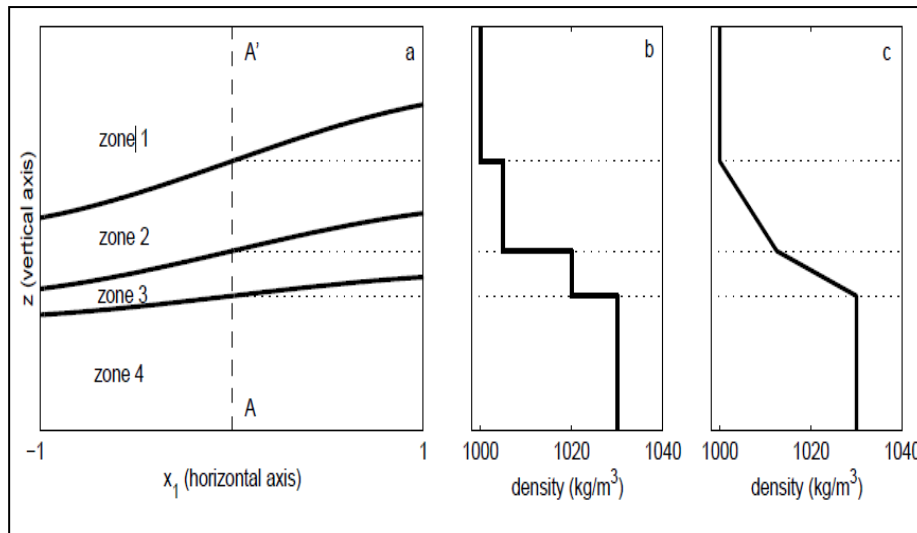
Το μοντέλο SWI επιβάλλει τα υπόγεια ύδατα σε κάθε υδροφορέα να διακριτοποιούνται κάθετα με έναν αριθμό από ζώνες οι οποίες οριοθετούνται από καμπύλες επιφάνειες.

Στο σχήμα 1(a) φαίνεται η κατακόρυφη διατομή ενός υδροφορέα όπου οιπαχιέςγραμμέςαντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες.

Η ανύψωση της κάθε επιφάνειας είναι μια μοναδική συνάρτηση των οριζόντιων συντεταγμένων. Το μοντέλο SWI παρέχει 2 επιλογές για την προσομοίωση υδροφορέα.

Η πρώτη είναι η επιλογή της στρωματοποιημένης ροής (stratified flow) . Με βάση αυτή την επιλογή η πυκνότητα του νερού είναι σταθερή σε κάθε ζώνη και ασυνεχής από ζώνη σε ζώνη.

Η δεύτερη επιλογή είναι αυτή της ροής μεταβλητής πυκνότητας οι επιφάνειες οριοθέτησης των ζωνών είναι iso επιφάνειες (επιφάνειες κατά μήκος των οποίων η πυκνότητα είναι σταθερή) . Οι επιλογές αυτές για την προσομοίωση του υδροφορέα αναπαριστώνται γραφικά στο σχήμα 1(b) και στο σχήμα 1(c).



Σχήμα 1: α) Διακριτοποίηση υδροφόρα σε κατακόρυφη διατομή υδροφόρα β) Κατανομή πυκνότητας για επιλογή προσομοίωσης με στρωματοποιημένη ροή γ) Κατανομή πυκνότητας για επιλογή προσομοίωσης με ροή μεταβλητής πυκνότητας (MarkBakker, FranzSchaars, 2005)

2.2.2 Προσεγγίσεις

Οι τέσσερις βασικές προσεγγίσεις που γίνονται κατά τη δημιουργία των αρχείων που χρησιμοποιούνται στο πακέτο SWI είναι η προσέγγιση Dupuit στην οποία ισχύει η παραδοχή οριζόντιας ροής. Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση στην ροή σε κάθετη κατεύθυνση δε λαμβάνεται υπόψη (Strack, 1989).

Η εξίσωση του ισοζυγίου μάζας, αντικαθίσταται από την εξίσωση συνέχειας της ροής στον υπολογισμό του πεδίου ροής (η Boussinesq προσέγγιση Oberbeck, Holzbecher, 1998). Οι επιπτώσεις της πυκνότητας δεν λαμβάνονται υπ όψιν μέσω του νόμου Darcy. Επιπτώσεις της διασποράς και διάχυσης δεν λαμβάνονται υπ όψιν.

Δεν επιτρέπεται αναστροφή, αναστροφή σημαίνει ότι το βαρύτερο νερό (αλμυρό) βρίσκεται πάνω από το γλυκό (ελαφρύτερο)

2.2.3 Μαθηματικές εξισώσεις του SWI.

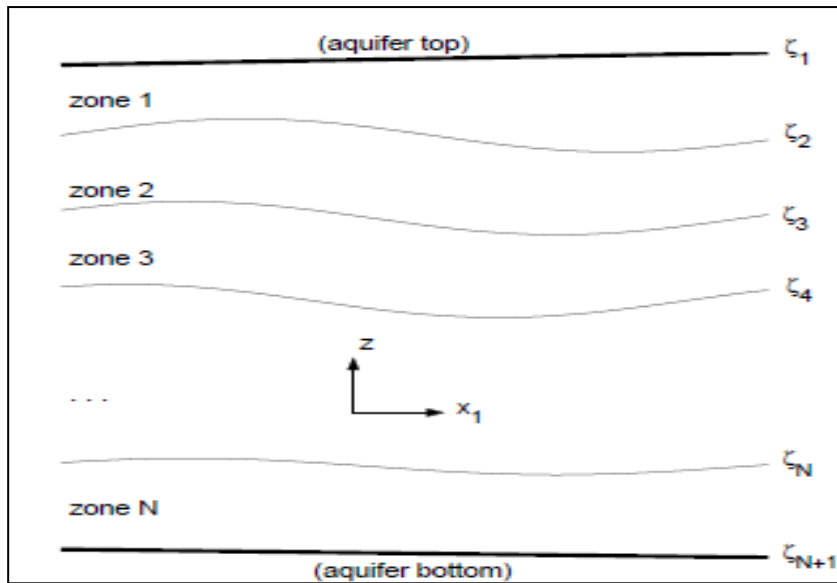
Όπως είπαμε και πιο πάνω τα υπόγεια νερά διακριτοποιούνται κάθετα σε διάφορες N ζώνες. Οι ζώνες και οι επιφάνειες είναι αριθμημένες από πάνω προς τα κάτω και μία ζώνη n οριοθετείται στην κορυφή από την επιφάνεια n .

Η ανύψωση της επιφάνειας n αντιπροσωπεύεται από μια συνάρτηση:

$$\zeta_n(\xi_1, \xi_2, \zeta)$$

ζ_n όπου είναι η ανύψωση μιας επιφάνειας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις τις οποίες χρησιμοποιεί το SWI όπως αυτές παρουσιάζονται και επεξηγούνται στο εγχειρίδιο "TheSeaWaterIntrusion (SWI) Packagemanual, Part I. Theoryandexamples" 2005.



Σχήμα 2: Απεικόνιση διακριτοποίησης του υδροφορέα σε ζώνες (MarkBakker, Frans Schaars, 2005)

Η τρισδιάστατη κατανομή πυκνότητας είναι γραμμένη σε αδιάστατη μορφή ως:

$$v = \frac{p - p_f}{p_f} \quad (2.1)$$

Η πυκνότητα του γλυκού νερού p_f ορίζεται ως $p(x, y, z)$

είναι η τρισδιάστατη κατανομή της πυκνότητας.

Οι εξαρτημένες μεταβλητές στη μαθηματική αυτή διατύπωση είναι τουδραυλικό φορτίο του γλυκού νερού στην κορυφή του υδροφορέα που

ονομάζεται: h_1 και η ανύψωση της επιφάνειας στην κορυφή του υδροφορέα.

Το διάνυσμα συνολικής οριζόντιας ροής κάτω από μία επιφάνεια p

$$U_i^p$$

Ονομάζεται: και είναι η καθετοποιημένη ροή ανάμεσα στο κάτω μέρος του υδροφορέα

και στην ανύψωση της επιφάνειας p και ορίζεται ως:

$$U_i^p = \int_{z_b}^{\zeta_p} q_i dz \quad (2.2)$$

Όπου ο δείκτης που εκφράζει τις δύο οριζόντιες συνιστώσες ενός

διανύσματος: q_i ορίζεται ως το ειδικό διάνυσμα εκκένωσης το οποίο

εκφράζεται σε σχέση με την κλίση του υδραυλικού φορτίου του h_f γλυκού νερού και δίνεται απ τον τύπο:

$$q_i = -K \partial_i h \quad \text{με } i=1,2 \quad (2.3)$$

Όπου: ∂_i ο όρος που αντιπροσωπεύει τη μερική διαφοροποίηση στην κατεύθυνση x_i και ορίζεται από τη σχέση:

$$\partial_i \frac{\partial}{\partial x_i} \quad \text{και } K \text{ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του γλυκού νερού.}$$

Εφόσον ισχύει η υπόθεση Dupuit για οριζόντια ροή τότε ο τύπος για το ειδικό διάνυσμα εκκένωσης θα είναι:

$$q_i = -k \partial_i h_n + k \partial_i \int_{\zeta_n}^z v(x_1, x_2, z') dz' \quad \text{με } i=1,2 \quad (2.4)$$

Όπου: h_n είναι το υδραυλικό φορτίο στην ανύψωση $z = \zeta_n$

Για την περίπτωση στην οποία η επιφάνεια **1** είναι στην κορυφή του υδροφορέα η εξίσωση συνέχειας της συνολικής ροής στον υδροφορέα μπορεί να γραφεί ως:

$$\partial_i U_i = -S \frac{\partial h_1}{\partial t} + \gamma \quad i=1,2 \quad (2.5)$$

Όπου $S[L^{-1}]$:είναι η ειδική αποθηκευτικότητα και $\gamma[L/T]$ είναι ένας όρος φόρτισης.

Ομοίως, η εξίσωση συνέχειας για τη ροή κάτω από την επιφάνεια p ($p = 2, \dots, N$) μπορεί να γραφεί ως:

$$\partial_i U_i = -n \frac{\partial \zeta_p}{\partial t} + \gamma_p \quad (2.6)$$

Όπου n είναι το αποτελεσματικό πορώδες και γ_p ένας όρος φόρτισης.

Ο συνδυασμός των εξισώσεων συνέχειας (2.5) και (2.6) και της εξίσωσης (2.4) έχει ως αποτέλεσμα τις εξισώσεις:

$$\partial_i [\sigma_1 \partial_i h_1] = S \frac{\partial h_1}{\partial t} - \gamma + R_1 \quad (2.7)$$

και

$$\delta_p \partial_i [\sigma_p \partial_i \zeta_p] = n \frac{\partial \zeta_p}{\partial t} - \gamma_p + R_p \quad \text{με } p=2, \dots, N \quad (2.8)$$

Η μεταβλητή σ_p ορίζεται ως η συνολική μεταφορικότητα στην επιφάνεια p και η δ_p μεταβλητή είναι το μέτρο της διακύμανσης της πυκνότητας μεταξύ των ζωνών. Ο όρος γ περιλαμβάνει τη διαρροή μεταξύ υδροφορέων όταν η ροή αναφέρεται σε σύστημα με πολλούς υδροφορείς. Για την περίπτωση προσομοίωσης με την επιλογή στρωματοποιημένης ροής τα μεγέθη δn , R_1 και R_p ορίζονται ως:

$$\delta_1 = v_1 \quad ,$$

$$\delta_n = v_n - v_{n-1} \quad \text{με } n=2, 3, \dots, N \quad (2.9)$$

$$R_p = -\partial_i [\sigma_p \partial_i h_1] - \sum_{n=1}^{p-1} \delta_n \partial_i [\sigma_p \partial_i \zeta_n] - \sum_{n=p+1}^N \delta_n \partial_i [\sigma_n \partial_i \zeta_n] \quad (2.10)$$

$$R_1 = -\sum_{n=1}^N \delta_n \partial_i [\sigma_n \partial_i \zeta_n] \quad (2.11)$$

Όπου v_n είναι η αδιάστατη πυκνότητα στη ζώνη n . Για την περίπτωση προσομοίωσης με την επιλογή της ροής με μεταβλητή πυκνότητα ως v ορίζεται η αδιάστατη πυκνότητα κατά μήκος της επιφάνειας n και η δn υπολογίζεται απο την εξίσωση 2.9 με μέση όμως αδιάστατη πυκνότητα μ_n στη ζώνη n η οποία δίνεται από τη σχέση:

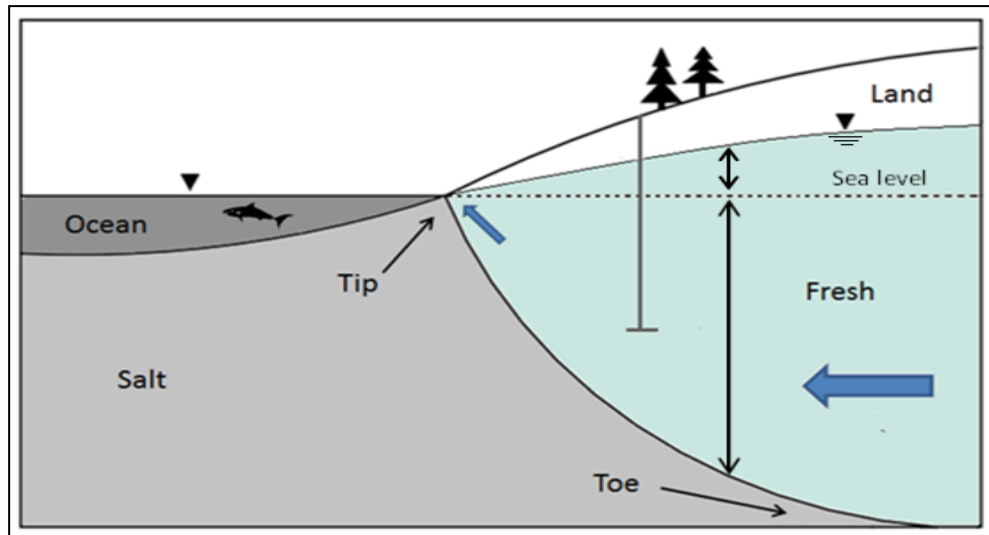
$$\mu_n = (v_n - v_{n-1})/2 \quad (2.12)$$

2.2.4 Διαδικασία επίλυσης

Κατά τη διαδικασία επίλυσης θα πρέπει οι αρχικές τιμές να είναι συγκεκριμένες για όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές σε κάθε υδροφορέα δηλαδή το υδραυλικό φορτίο του γλυκού νερού h_f στην κορυφή του υδροφορέα και ζ_n οι ανυψώσεις των επιφανειών 2 έως N σε κάθε υδροφορέα. Οι οριακές συνθήκες πρέπει να είναι καθορισμένες για το υδραυλικό φορτίο, την κλίση του υδραυλικού φορτίου ή το συνδυασμό αυτών των παραμέτρων κατά μήκος όλων των ορίων του μοντέλου, σε αυτό όμως θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στο κομμάτι της μελέτης του υδροφορέα.

2.2.5 Τα σημεία tip και toe

Αξίζει εδώ να αναφερθούμε στα σημεία tip(κορυφή) και toe(πόδι) για το λόγο του ότι είναι εκείνα τα σημεία η θέση των οποίων θα μας απασχολήσει σε επόμενες ενότητες. Το σημείο toe είναι εκείνο το σημείο όπου τα όρια της επιφάνειας βρίσκεται πολύ κοντά στο κάτω μέρος του υδροφορέα ενώ αντίστοιχα το σημείο tip είναι το σημείο όπου το όριο της επιφάνειας είναι κοντά στο πάνω μέρος του υδροφορέα. Στο σχήμα(3) φαίνεται η θέση των σημείων αυτών.



Σχήμα 3: Απεικόνιση των σημείων tip και toe (Amy L. Roach 2011)

2.2.6 Το αρχείο SWI

Για την προσομοίωση ενός υδροφορέα με το μοντέλο SWI, απαιτείται ένα επιπλέον αρχείο εισόδου, το αρχείο SWI. Η μορφή αλλά και οι παράμετροι όλων των υπόλοιπων αρχείων εισόδου περιγράφονται στο εγχειρίδιο MODFLOW2000 (Harbaugh 2000). Το αρχείο SWI περιέχει πληροφορίες σχετικά με την αρχική κατανομή της πυκνότητας στον υδροφορέα καθώς και τις παραμέτρους που καθορίζουν τη μεταβατική εξέλιξη της πυκνότητας, όπως συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Πιο κάτω θα δούμε ότι μέσω του αρχείου SWI μπορούμε και πρέπει να αποφασίσουμε αν η ροή προσομοιώνεται ως στρωματοποιημένη ροή ή μεταβλητής πυκνότητας. Επίσης το αρχείο SWI περιέχει τιμές δεδομένων για τις διάφορες ζώνες του υδροφορέα, τιμές δεδομένων για τις αρχικές θέσεις των επιφανειών με την τιμή της ανύψωσης να προσδιορίζεται σε κάθε κελί, καθώς και το είδος των πηγών.

Παρουσιάζεται η διάταξη του αρχείου που περιλαμβάνει τους όρους τα δεδομένα των οποίων εισάγονται κατά τη δημιουργία του αρχείου. Η αρίθμηση των δεδομένων δεν είναι τυχαία αλλά ακολουθεί τη σειρά με την οποία αυτά εισάγονται στο αρχείο το οποίο δημιουργούμε. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η διάταξη του αρχείου αλλά και τα ονόματα των όρων προέρχονται από το εγχειρίδιο "The Sea Water Intrusion (SWI) Package, Mark Bakker, Frans Schaars, 2005, σελ. 15."

Η διάταξη του αρχείου SWI είναι η εξής:

1. Δεδομένα: NPLN ISTRAT ISWIZT NPRN
2. Δεδομένα: TOESLOPE TIPSLOPE ZETAMIN DELZETA
3. Δεδομένα: NU

Για κάθε επιφάνεια και κάθε layer:

4. Δεδομένα: ZETA(NCOL,NROW)
5. Δεδομένα: SSZ(NCOL,NROW)
6. Δεδομένα: ISOURCE(NCOL,NROW)

Η περιγραφή των όρων έχει ως εξής:

NPLN: Ο αριθμός των επιφανειών. Αυτό ισούται με τον αριθμό των ζωνών μείον ένα.

ISTRAT: Ο όρος που υποδεικνύει την κατανομή πυκνότητας.

Αν το ISTRAT=0 τότε

η πυκνότητα κυμαίνεται γραμμικά μεταξύ των επιφανειών.

Αν ISTRAT=0 τότε η πυκνότητα είναι σταθερή μεταξύ των επιφανειών.

ISWIZT: Ο αριθμός μονάδων που απαιτείται από το αρχείο SWI για την παραγωγή του αρχείου με τα αποτελέσματα των ανυψώσεων

Αν **ISWIZT>0**, ο αριθμός της μονάδας καταγραφής για κάθε ανύψωση.

Αν **ISWIZT <0**, οι ανυψώσεις δεν θα καταγράφονται.

NPRN: Ο αριθμός των χρονικών βημάτων μεταξύ των καταγραφών των ανυψώσεων.

TOESLOPE: Η μέγιστη κλίση στα κελιά που αντιστοιχούν στο σημείο toe.

TIPSLOPE: Η μέγιστη κλίση στο κελί που αντιστοιχεί στο σημείο tip.

ZETAMIN: Ελάχιστο υψόμετρο μιας επιφάνειας προτού αυτή απομακρυνθεί από ένα κελί

DELZETA: Το υψόμετρο μιας επιφάνειας, όταν αυτή κινείται σε ένα διπλανό άδριο κελί

NU: Τιμές της αδιάστατης πυκνότητας

Αν **ISTRAT=1** Πυκνότητα σε κάθε ζώνη (NPLN+1).

Αν **ISTRAT=0** Πυκνότητα κατά μήκος κάθε επιφάνειας (NPLN τιμές)

ZETA: Οι αρχικές αυξήσεις των επιφανειών ανά σειρές και στήλες

SSZ: Το ενεργό πορώδες για όλα τα κελιά του υδροφορέα

ISOURCE: Όρος που έχει να κάνει με τον τύπο κάθε εξωτερικής πηγής. Ο όρος καθορίζεται από οποιαδήποτε εξωτερική παράμετρο (άντληση, τροφοδοσία, GHB κελιά).

Υπάρχουν τρεις επιλογές για τον όρο αυτό:

Αν **ISOURCE>0**:Οι πηγές είναι του ίδιου τύπου με το νερό στη ζώνη **ISOURCE**: Εάν η ζώνη δεν είναι παρούσα στο κελί, οι πηγές τοποθετούνται σε ζώνη στην κορυφή του υδροφόρου ορίζοντα.

Αν **ISOURCE = 0**:Οι πηγές αποτελούνται από νερό ίδιου τύπου όπως στην κορυφή του υδροφορέα.

Αν **ISOURCE <0**:Οι πηγές είναι του ίδιου τύπου με το νερό στη ζώνη που ορίζεται από τον όρο **ISOURCE**.Αυτή η επιλογή είναι χρήσιμη για τη μοντελοποίηση του πυθμένα του ωκεανού, όπου το νερό που διεισδύει είναι αλμυρό, αλλά το νερό που κατεισδύει είναι ίδιου τύπου με το νερό στην κορυφή του υδροφορέα.

Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζεται ένα αρχείο SWI το οποίο αναπαριστά τις τιμές των δεδομένων που προαναφέραμε

1	1	1	52	20
2	0.050000	0.050000	0.025000	0.250000
3	INTERNAL	1 (FREE)	-1	
4	0.000000	0.025000		
5	INTERNAL	1 (FREE)	-1	
6	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
7	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
8	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
9	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
10	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
11	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
12	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
13	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
14	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
15	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
16	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
17	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
18	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
19	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
20	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
21	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
22	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
23	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
24	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
25	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
26	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
27	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
28	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
29	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
30	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0
31	0	0	0	-5.0 -10.0 -15.0 -20.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0 -25.0

Σχήμα 4: Απεικόνιση της διάταξης ενός αρχείου SWI

36	CONSTANT	0.25		
37	INTERNAL	1 (FREE)	-1	
38	-3	-3	0	0
39	-3	-3	0	0
40	-3	-3	0	0
41	-3	-3	0	0
42	-3	-3	0	0
43	-3	-3	0	0
44	-3	-3	0	0
45	-3	-3	0	0
46	-3	-3	0	0
47	-3	-3	0	0
48	-3	-3	0	0
49	-3	-3	0	0
50	-3	-3	0	0

Σχήμα 5: Απεικόνιση της διάταξης ενός αρχείου SWI.

2.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Πρόκειται για ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης που εφαρμόζεται σε παράκτιους υδροφορείς το οποίο βασίζεται στη θεώρηση ότι η μετάβαση από το αλμυρό στο θαλασσινό νερό γίνεται απότομα. Ο όρος απότομη διεπιφάνεια όπως είδαμε και στον τίτλο αναφέρεται στο όριο μεταξύ της αλάτινης σφήνας(μέτωπο του θαλασσινού νερού που εισέρχεται σε τμήμα του υδροφορέα)και του γλυκού νερού(Σωτηροπούλου 2010). Με βάση αυτή τη θεώρηση το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης εξετάζει τη συμπεριφορά ενός υπόγειου παράκτιου υδροφορέα. Στις επόμενες υποενότητες πέρα από τις μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας εισάγονται και μια σειρά από χρήσιμες παραδοχές και όρους οι οποίοι θα διευκολύνουν την εκτέλεση της προσομοίωσης του υδροφορέα.

2.3.1 Παραδοχές για την προσομοίωση του υδροφορέα

Για την προσομοίωση του υδροφορέα μέσω του μοντέλου απότομης διεπιφάνειας θα χρειαστεί να εισάγουμε κάποιες παραδοχές με στόχο την απλοποίηση του προβλήματος της ροής των υπογείων νερών σε παράκτιο υδροφορέα ώστε να βγουν ορθά συμπεράσματα με βάση τα υπάρχοντα κάθε φορά δεδομένα (Παπαντωνίου 2003), οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής:

1. Παραδοχή της απότομης διεπιφάνειας ή αλλιώς του ευδιάκριτου ορίου (sharp interface), θεωρώντας ότι το μέτωπο αλμυρού νερού έχει πρακτικά σταθεροποιηθεί και δε μετακινείται.
2. Παραδοχή μόνιμης ροής (steady state), οπότε η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα αγνοείται.
3. Παραδοχή οριζόντιας ροής (υπόθεση Dupuit) για το γλυκό νερό ενώ το θαλασσινό θεωρείται ακίνητο.

Χρησιμοποιείται η σχέση των Ghyben-Herzberg για τον υπολογισμό της μορφής της διεπιφάνειας. Ο υδροφορέας είναι ισότροπος και ομογενής με οριζόντιο αδιαπέρατο πυθμένα (Παπαντωνίου 2003).

2.3.2 Προσέγγιση Ghyben – Herzberg

Οι Badhon-Ghyben και Herzberg, εξέτασαν τη διεπιφάνεια αλμυρού και γλυκού νερού σε παράκτιους υδροφορείς με σκοπό να βρουν τη σχέση που συνδέει το σχήμα και τη θέση της διεπιφάνειας με υδρολογικές παραμέτρους του υπόγειου νερού, (Cheng και Quazar (1999)). Στην περίπτωση φυσικής ισορροπίας (απουσία άντλησης), η διεπιφάνεια θεωρείται ακίνητη. Το θαλασσινό νερό εντός του υδροφορέα παραμένει ακίνητο και υπάρχει μόνιμη ροή γλυκού νερού προς τη θάλασσα (υπόθεση Dupuit για οριζόντια ροή).

Η σχέση που συνδέει τη θέση της ακίνητης διεπιφάνειας με υδρολογικές παραμέτρους των υπόγειων νερών είναι:

$$h_s = \frac{r_f}{r_s - r_f} h_f = \delta \cdot h_f \quad (2.13)$$

$$\text{με } \delta = \frac{r_f}{r_s - r_f} \quad \text{και} \quad \Delta s = \frac{r_s - r_f}{r_f} \quad (2.14)$$

Όπου: r_f, r_s το ειδικό βάρος του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα και h_f απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας από τη στάθμη της θάλασσας. Όταν $r_f = 1.000 \text{ gr/m}^3$ και $r_s = 1.025 \text{ gr/m}^3$ τότε το $\delta = 40$ οπότε έχουμε $h_s = 40 h_f$.

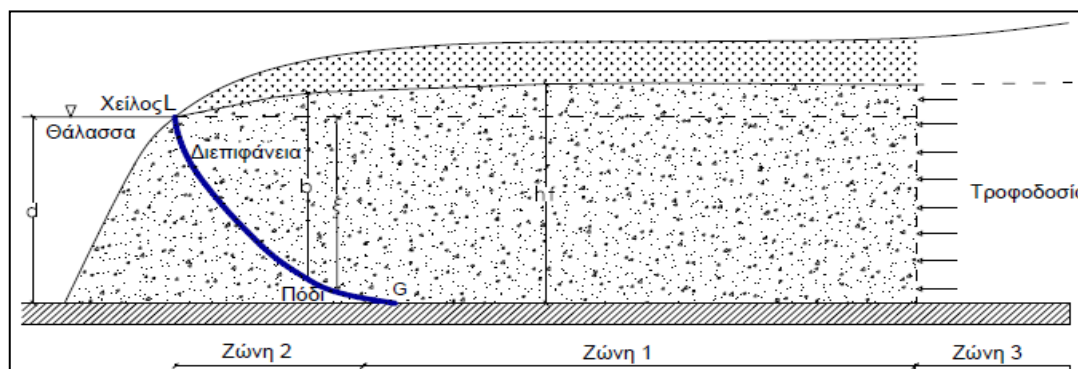
2.3.3 Αναλυτικές σχέσεις

Ο υπό μελέτη υδροφορέας ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 6 με τη μορφή πρόσοψης χωρίζεται σε 3 ζώνες με τα εξής χαρακτηριστικά:

Στη ζώνη 1 ο υδροφορέας συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ένας φρεάτιος υδροφορέας με αδιαπέρατο υπόβαθρο.

Στη ζώνη 2 το γλυκό νερό συνυπάρχει με το θαλασσινό. Η διεπιφάνεια αποτελεί το μεταξύ τους όριο με το γλυκό νερό να επιπλέει πάνω από το θαλασσινό αφού αυτό είναι ελαφρύτερο.

Στη ζώνη 3 περιλαμβάνεται η περιοχή πλευρικής τροφοδοσίας του υδροφορέα.



Σχήμα 6: Απεικόνιση των ζωνών του υδροφορέα και της διεπιφάνειας. (Μαντόγλου 2004)

Με βάση τις παραδοχές που έγιναν παραπάνω για μόνιμη και οριζόντια ροή η εξίσωση συνέχειας για τη ζώνη 1 στον φρεάτιο υδροφορέα προκύπτει:

$$\frac{\partial}{\partial x} (Kh_f \frac{\partial h_f}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (Kh_f \frac{\partial h_f}{\partial y}) = 0 \quad (2.15)$$

και για τη ζώνη 2:

$$\frac{\partial}{\partial x} (Kb \frac{\partial h_f}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (Kb \frac{\partial h_f}{\partial y}) = 0 \quad (2.16)$$

Στις εξισώσεις (2.15) και (2.16) αν συμπεριληφθούν οι όροι N (επιφανειακή τροφοδοσία) και Q_w τότε αυτές γίνονται (Μαντόγλου 2004):

$$\frac{\partial}{\partial x} (Kh_f \frac{\partial h_f}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (Kh_f \frac{\partial h_f}{\partial y}) + N - Q = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (Kb \frac{\partial h_f}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (Kb \frac{\partial h_f}{\partial y}) + N - Q = 0 \quad (2.18)$$

Στην περίπτωση του φρεάτιου υδροφορέα όπως φαίνεται και από το σχήμα 2-6 το πάχος του καθαρού νερού (b) και για τις δύο ζώνες είναι:

$$b = h_f \quad \text{ζώνη 1} \quad (2.19)$$

$$b = h_f - d + \xi \quad \text{ζώνη 2} \quad (2.20)$$

Το δυναμικό στις ζώνες 1 και 2 ενός παράκτιου-φρεάτιου υδροφορέα στην περίπτωση μόνιμης οριζόντιας ροής είναι (Cheng & Ouazar 1999):

$$\varphi_{\delta\xi} = \frac{1}{2} [h_f^2 - (1+\delta)d^2] \quad \text{ζώνη 1} \quad (2.21)$$

$$\varphi_{\alpha\rho} = \frac{(1+\delta)}{2\delta} (h_f - d)^2 \quad \text{ζώνη 2} \quad (2.22)$$

Το δυναμικό στη θέση όπου η διεπιφάνεια τέμνει τον υδροφορέα (σημείο G) δίνεται από τον τύπο (Μαντόγλου 2004):

$$\varphi_G = [\delta(1+\delta)/2]d^2 \quad (2.23)$$

Και επειδή $\Delta s = 0.025$ η τιμή του δυναμικού στο σημείο G θα ισούται με $\varphi_G = 8.0078m^2$

Ο συνδυασμός των εξισώσεων για το δυναμικό 2.21 και 2.22 μαζί με τις εξισώσεις συνέχειας 2.17 και 2.18 για μόνιμη και οριζόντια ροή μας δίνει τη διαφορική εξίσωση (Μαντόγλου 2002):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + N - Q = 0 \quad (2.24)$$

η οποία ισχύει για τις ζώνες 1 και 2 του υδροφορέα και είναι όμοια με την εξίσωση οριζόντιας ροής για ομογενή και ισότροπο περιορισμένο υδροφορέα η οποία είναι:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + N - Q = 0 \quad (2.25)$$

όπου φ είναι το πιεζομετρικό φορτίο (Παπαντωνίου 2003).

Η διαφορά μεταξύ των εξισώσεων 2.24 και 2.25 είναι ότι η πρώτη χρησιμοποιεί το δυναμικό ενώ η εξίσωση 2.25 χρησιμοποιεί το πιεζομετρικό φορτίο. Επίσης η εξίσωση 2.24 χρησιμοποιεί την υδραυλική αγωγιμότητα αντί της μεταφορικότητας την οποία χρησιμοποιεί η εξίσωση 2.25.

Με τη χρήση του PMWIN υπολογίζεται το υδραυλικό φορτίο σε συγκεκριμένα σημεία του υδροφορέα. Στην παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του δυναμικού έπειτα από την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης 2.24. Για αυτό το λόγο ο υδροφορέας εισάγεται ως περιορισμένος και η μεταφορικότητα (T) ορίζεται ίση με την υδραυλική αγωγιμότητα του φρεάτιου υδροφορέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούμε στον υπό προσομοίωση παράκτιο υδροφόρεα. Θα γίνει μία συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών του και των παραμέτρων που θα εισάγουμε για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Θα γίνει αναφορά στη χρήση όρων οι οποίοι όπως θα δούμε παίζουν ρόλο στην προσομοίωση με το SWI. Θα εφαρμόσουμε μια σειρά από περιπτώσεις αντλήσεων με σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς της διεπαφής του υδροφόρεα των οποίων τα αποτελέσματα θα αναλύσουμε.

3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ SWI ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.2.1 Ο υπό μελέτη υδροφορέας

Ο υδροφορέας που θα μελετήσουμε είναι φρεάτιος παράκτιος με μήκος $L_x=7000$ μέτρα, πλάτος $L_y=3000$ μέτρα και βάθος $d=25$ μέτρα. Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας ορίζεται σε $K=100\text{m/d}$ και η τροφοδοσία του γίνεται με δύο τρόπους όπως περιγράφεται παρακάτω.

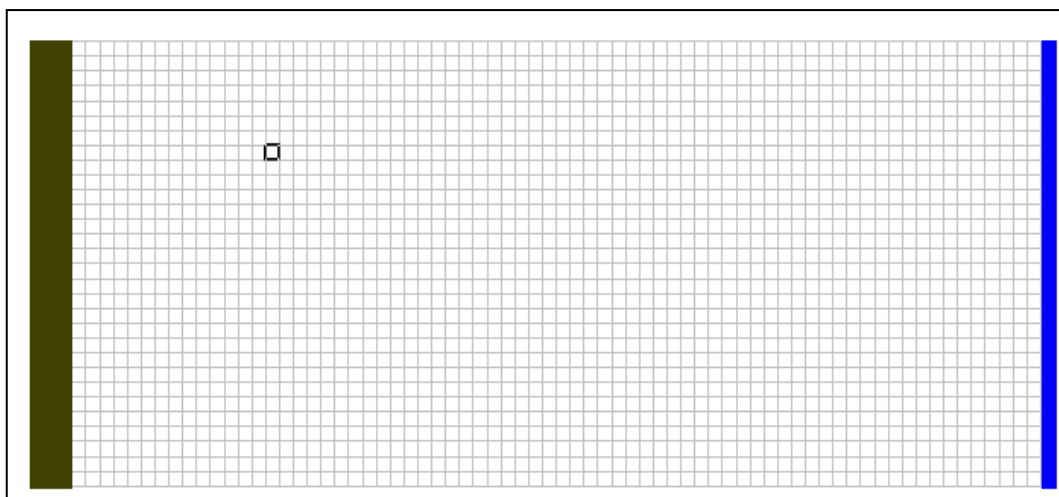
Η τροφοδοσία του γίνεται α) μέσω ετήσιας κατείσδυσης $N=0.00008\text{m/d}$ και β) μέσω πλευρικής εισροής με παροχή $Q=3698.6\text{m}^3/\text{d}$

Ο υδροφορέας διακριτοποιείται με 1 layer σε κελιά ίσων διαστάσεων 100×100 μέτρα και αναπαριστάται από ένα κάνναβο(mesh) 30 γραμμών (κατά τον άξονα x), 70 στηλών (στον άξονα y).

Για τον ορισμό των οριακών συνθηκών είναι απαραίτητο να εισάγουμε τρεις 3 επιπλέον στήλες από την πλευρά της θάλασσας. Επιπλέον θέτουμε μία στήλη από τη δεξιά πλευρά που απεικονίζει την πλευρική τροφοδοσία.

Το αρχικό υδραυλικό φορτίο για όλα τα κελιά του υδροφόρεα ορίζεται $0,05\text{m}$ όπου σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα κελιά τα οποία βρίσκονται στις τρεις επιπλέον στήλες που εισάγουμε από την πλευρά της θάλασσας.

Παρακάτω φαίνεται σε κάτοψη η διάταξη των κελιών του υπό μελέτη υδροφόρεα όπως μοντελοποιείται από το PMWIN. Με σκούρο πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι στήλες των κελιών από την πλευρά της θάλασσας ενώ με μπλε χρώμα απεικονίζεται η περιοχή πλευρικής τροφοδοσίας.



Σχήμα 7: Οριακές συνθήκες και χωρική διακριτοποίηση του υδροφορέα

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τη διαδικασία εκτέλεσης της προσομοίωσης μέσω του SWI τα αδιαπέρατα όρια δεν χρειάζεται να τεθούν στο PMWIN καθώς το SWI αναγνωρίζει τις περιοχές από την πάνω και κάτω πλευρά των ενεργών κελιών αυτόματα ως αδιαπέρατα τοιχώματα.

Το νέο στοιχείο εδώ είναι ότι στις τρεις στήλες που εισάγονται από την πλευρά της θάλασσας τα κελιά είναι της μορφής GHB (General Head Boundary). Είναι ημιπερατά κελιά τα οποία δεν είναι σταθερού υδραυλικού φορτίου και αντιπροσωπεύουν τον πυθμένα του ωκεανού όπου το νερό είναι αλμυρό. Πρακτικά στα GHB κελιά δίνεται μία αρχική τιμή στο υδραυλικό τους φορτίο καθώς και μία τιμή για την υδραυλική τους αγωγιμότητα η οποία εκφράζεται από τη μεταβλητή Cond. Η μεταβλητή Cond ορίζεται ως το γινόμενο Vcont επί τις διαστάσεις του ενός κελιού GHB (TheSeaWaterIntrusion (SWI) Package Manual Part I. MarkBakker 2005).

Όπου: V_{cont} = η κάθετη αντίσταση των κελιών GHB στην εξωτερική ροή του νερού προς τη θάλασσα (TheSeaWaterIntrusion (SWI) Package Manual Part I. MarkBakker 2005).

3.2.2 Σενάρια άντλησης

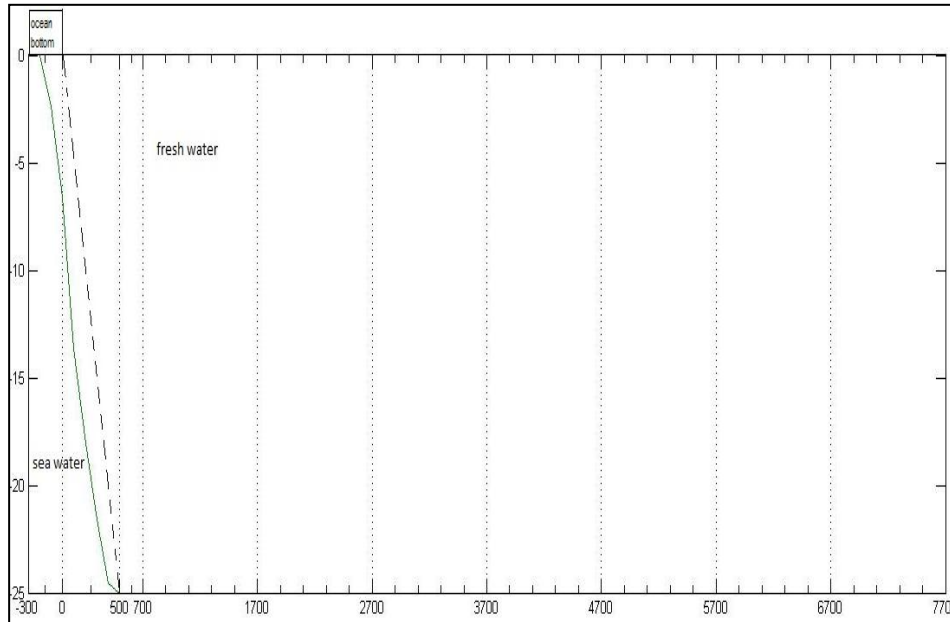
Για την προσομοίωση του υδροφορέα, θα εφαρμόσουμε τέσσερα σενάρια άντλησεων. Η μόνη παράμετρος που θα αλλάζουμε σε όλες τις περιπτώσεις θα είναι η τιμή της παραμέτρου Cond.

1. Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών συνολικής άντλησης $1845 \text{ m}^3/\text{d}$
2. Σενάριο αύξησης της συνολικής άντλησης κατά 35,5%.
3. Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 62%.
4. Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 116%.

3.2.3 Σενάριο μηδενικής άντλησης

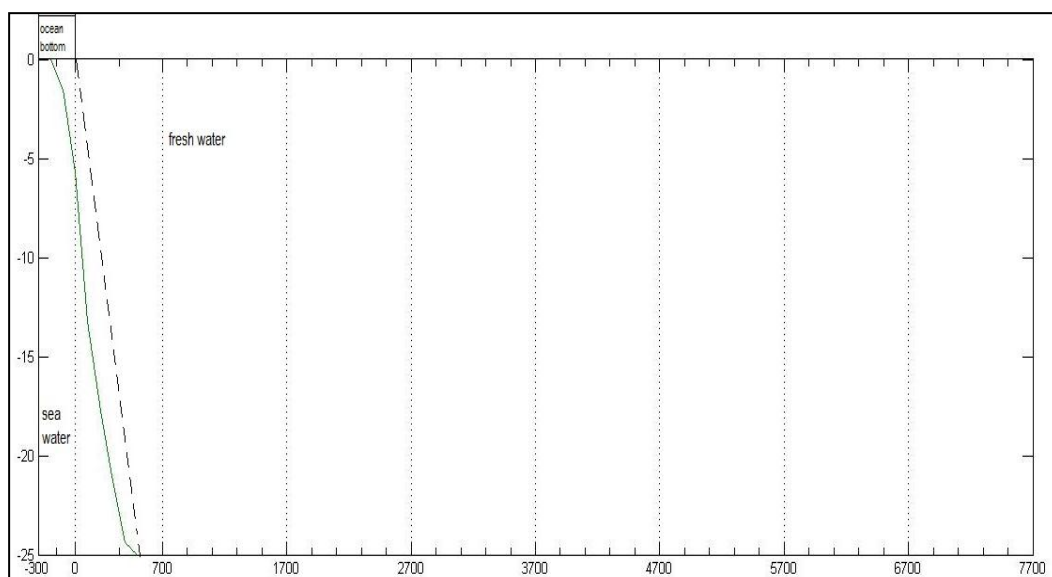
Αρχικά και πριν ξεκινήσουμε την εφαρμογή των σεναρίων άντλησης ο παράκτιος υδροφορέας θα μοντελοποιηθεί στο PMWIN χωρίς άντλήσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχήματα που δείχνουν τη συμπεριφορά της διεπαφής μέσα από τις τιμές των ανυψώσεων για συγκεκριμένες τιμές της παραμέτρου Cond. Η συνεχής πράσινη γραμμή απεικονίζει τη θέση της διεπαφής μετά από χρόνο προσομοίωσης 10.000 ημερών ενώ η διακεκομμένη απεικονίζει τις αρχικές τιμές των ανυψώσεων που δίνουμε στη διεπαφή. Το σχήμα 8 μας δείχνει τη θέση της διεπαφής για τιμή της παραμέτρου $Cond=800\text{m}^2/\text{d}$

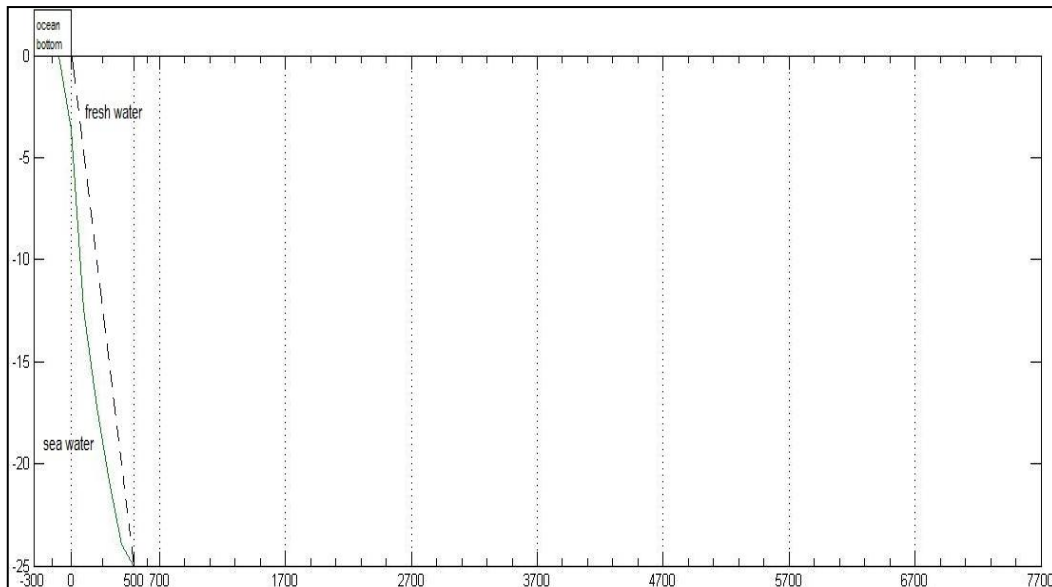


Σχήμα 8: Απεικόνιση διεπαφής για $Cond=800\text{m}^2/\text{d}$ για συνθήκες μηδενικής άντλησης

Το σχήμα 9 που φαίνεται παρακάτω απεικονίζει τη θέση της διεπαφής για περίπτωση αύξησης στην τιμή της παραμέτρου Cond η οποία ορίζεται σε $1000\text{m}^2/\text{d}$ ενώ στο σχήμα 10 απεικονίζεται η θέση της διεπαφής για τιμή της παραμέτρου $Cond=2000\text{m}^2/\text{d}$.



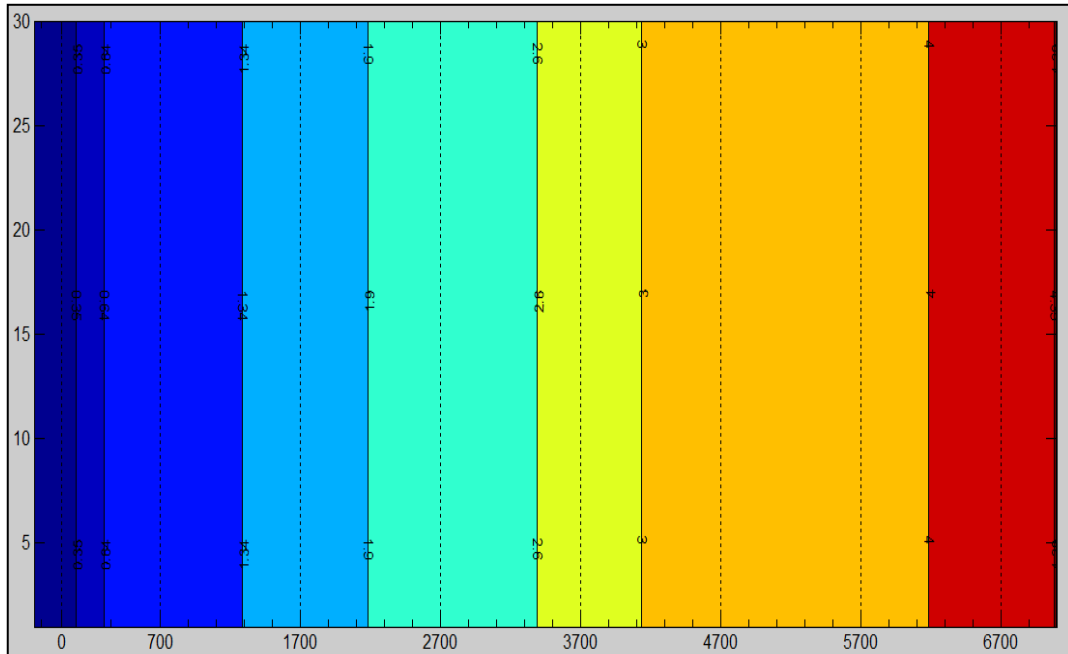
Σχήμα 9: Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής κατά μήκος του υδροφορέα για τιμή του $Cond=1000\text{m}^2/\text{d}$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης



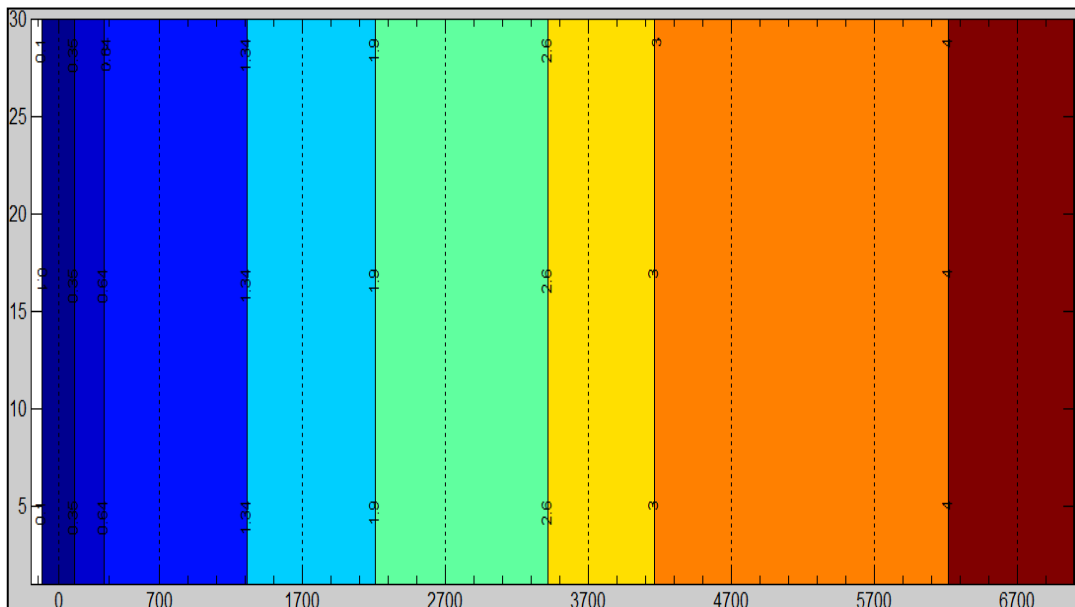
Σχήμα 10: Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής για $Cond=2000\text{ m}^2/d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης

Από τα αποτελέσματα που μας δίνουν τα διαγράμματα των τριών παραπάνω σχημάτων συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου $Cond$ το πάνω μέρος της διεπαφής μετακινείται προς τα δεξιά. Στην πρώτη περίπτωση όπου η $Cond=800\text{ m}^2/d$ το πάνω μέρος της διεπαφής βρίσκεται στα 175 μέτρα πίσω από την ακτή ενώ για την τρίτη περίπτωση όπου η παράμετρος $Cond=2000\text{ m}^2/d$ βρίσκεται 125 μέτρα πάλι πίσω από την ακτή. Αντίθετα κάτω μέρος της διεπαφής παραμένει στα 500 μέτρα από την ακτή και για οποιαδήποτε τιμή της $Cond$ δε μετακινείται.

Εκτός από την απεικόνιση της θέσης της διεπαφής έχει μια σημασία να εξετάσουμε πώς κατανέμονται οι τιμές του υδραυλικού φορτίου και για τις τρεις περιπτώσεις της τιμής της παραμέτρου Cond. Παρακάτω τα τρία σχήματα που παρουσιάζονται αναπαριστούν τα διαγράμματα κατανομής τιμών για το υδραυλικό φορτίο σε όλο το μήκος και πλάτος του υδροφορέα την περίπτωση μηδενικής άντλησης.



Σχήμα 11: Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond=800\text{ m}^2/d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης

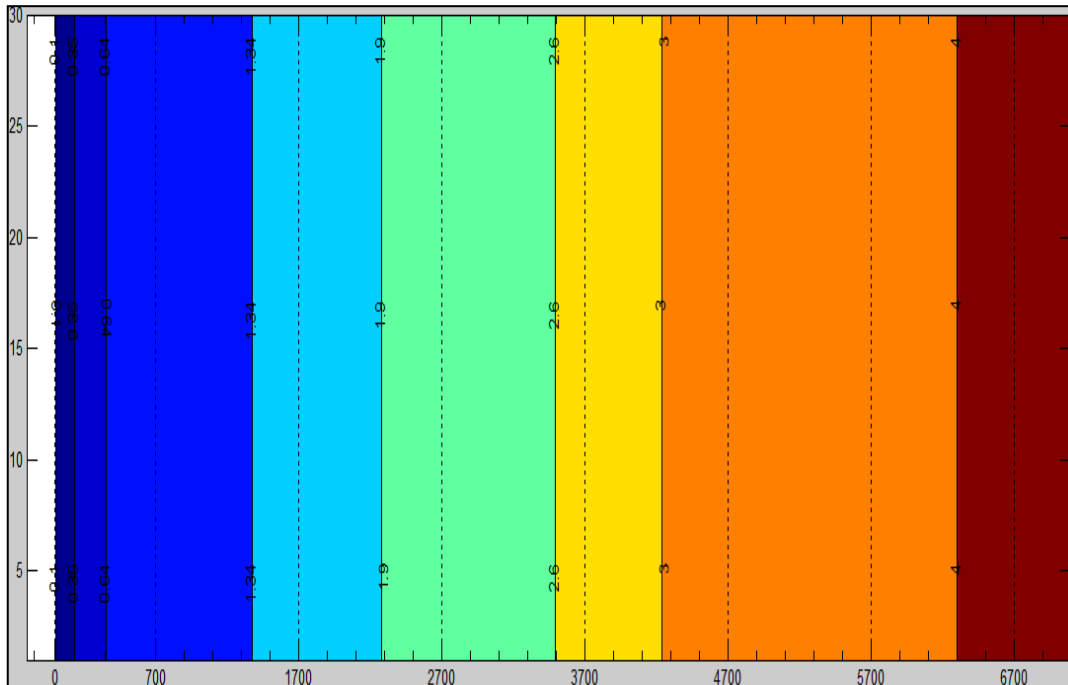


Σχήμα 12: Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond=1000\text{ m}^2/d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης

Βάσει των δύο παραπάνω σχημάτων συμπεραίνουμε πως δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση μεταξύ των τιμών του υδραυλικού φορτίου για τις περιπτώσεις

όπου η παράμετρος Cond παίρνει την τιμή $Cond = 800 \text{ m}^2 / d$ και $Cond = 1000 \text{ m}^2 / d$.

Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η διάταξη των ίδιων ενδεικτικών τιμών του υδραυλικού φορτίου με την τιμή της παραμέτρου $Cond = 2000 \text{ m}^2 / d$.

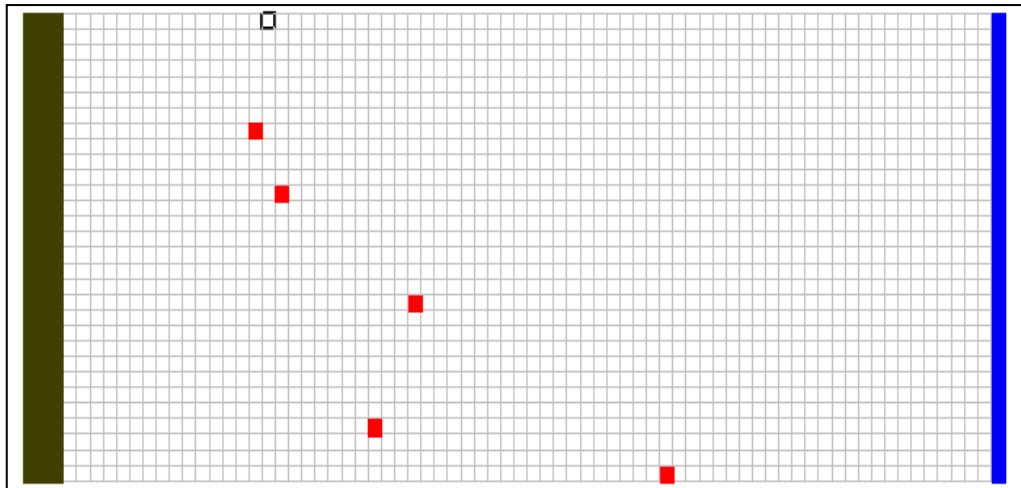


Σχήμα 13: Απεικόνιση ενδεικτικών τιμών υδραυλικού φορτίου για $Cond = 2000 \text{ m}^2 / d$ σε συνθήκες μηδενικής άντλησης

Απ' ότι μπορούμε να παρατηρήσουμε από τη διάταξη των ισοϋψών γραμμών που αντιπροσωπεύουν τις τιμές του υδραυλικού φορτίου εμφανίζεται μια σταδιακή μείωση των τιμών του υδραυλικού φορτίου στην τελευταία περίπτωση όπου η $Cond = 2000 \text{ m}^2 / d$ σε σχέση με τις δύο άλλες περιπτώσεις όπου θέσαμε μικρότερες τιμές στην παράμετρο Cond.

3.2.4 Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών συνολικής άντλησης $1845 \text{ m}^3 / d$

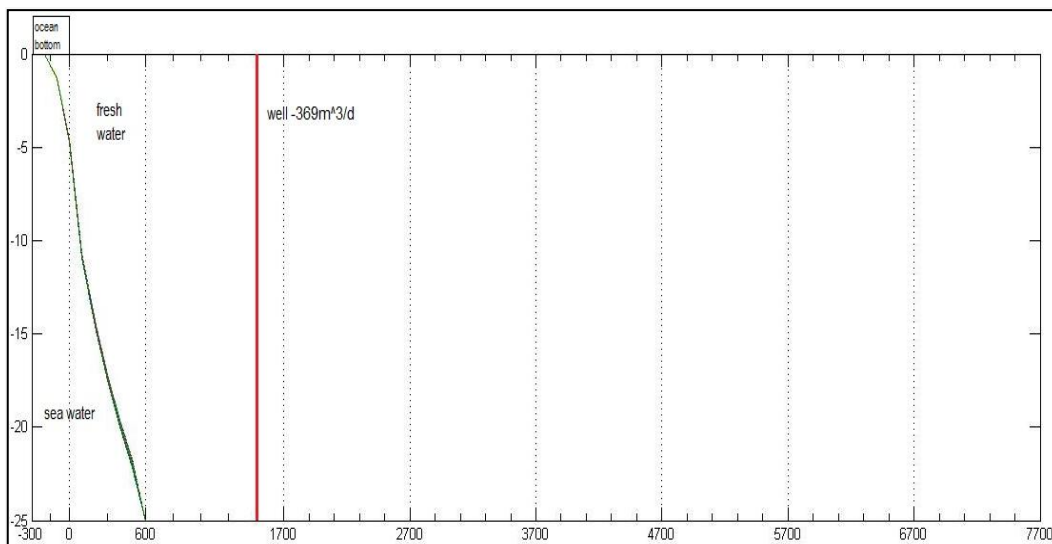
Στην περίπτωση αυτή στον υδροφορέα εισάγονται πέντε αντλήσεις με τη μορφή πηγαδιών των οποίων οι θέσεις φαίνονται στο σχήμα 14 ισούται με το 34,5% της συνολικής τροφοδοσίας του υδροφορέα. Τα πηγάδια φαίνονται στο σχήμα με το κόκκινο χρώμα.



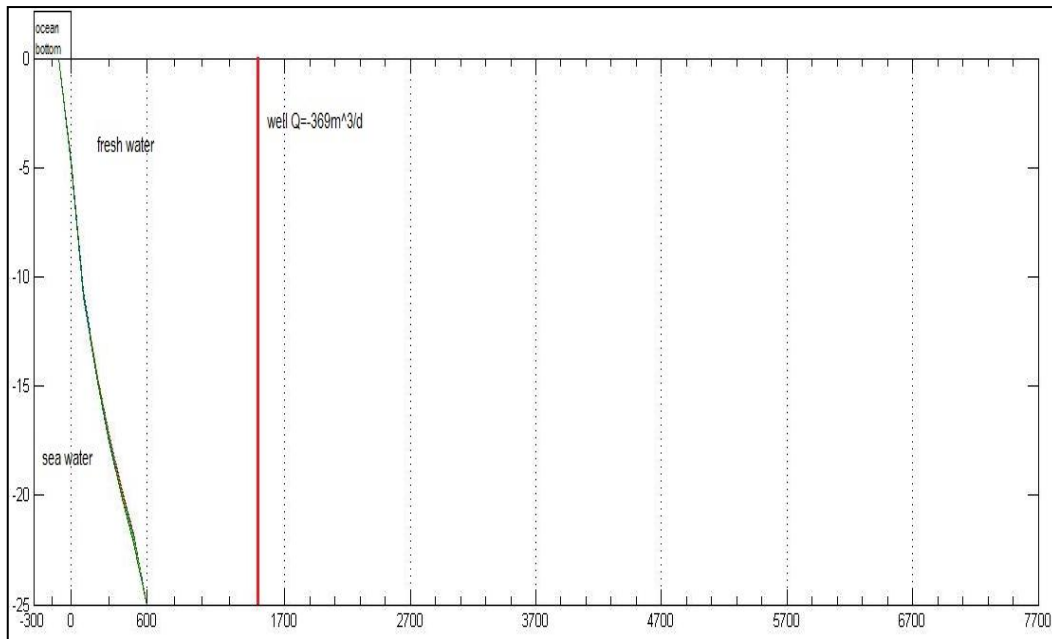
Σχήμα 14: Απεικόνιση της θέσης πέντε αντλήσεων που εισάγονται στον υδροφορέα

Ο υδροφορέας μοντελοποιείται με χρήση των ίδιων παραμέτρων όπως και στην περίπτωση μηδενικής άντλησης με τη διαφορά ότι εδώ εισάγονται πέντε αντλήσεις $-369\text{m}^3/\text{d}$ η κάθε μία με το κοντινότερο πηγάδι να βρίσκεται 1500 μέτρα από την ακτή. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχήματα που δείχνουν τα αποτελέσματα για τη θέση της διεπαφής μέσα από τις τιμές των ανυψώσεων για συγκεκριμένες τιμές της παραμέτρου Cond.

Τα διαγράμματα που φαίνονται στα σχήματα 15 και 16 αναπαριστούν τη θέση της διεπαφής όπως αυτή προκύπτει μετά την εισαγωγή πέντε αντλήσεων παροχής $369\text{m}^3/\text{d}$ η κάθε μία, με τη χρήση της τιμής $\text{Cond}=800\text{ m}^2/\text{d}$ για το σχήμα 15 και της τιμής $\text{Cond}=1000\text{m}^2/\text{d}$ για το σχήμα 16. Η κόκκινη γραμμή στα σχήματα αναπαριστά το κοντινότερο πηγάδι προς την ακτή.



Σχήμα 15: Θέση της διεπαφής μετά την εφαρμογή συνολικής άντλησης $1845\text{ m}^3/\text{d}$ για $\text{Cond}=800\text{ m}^2/\text{d}$

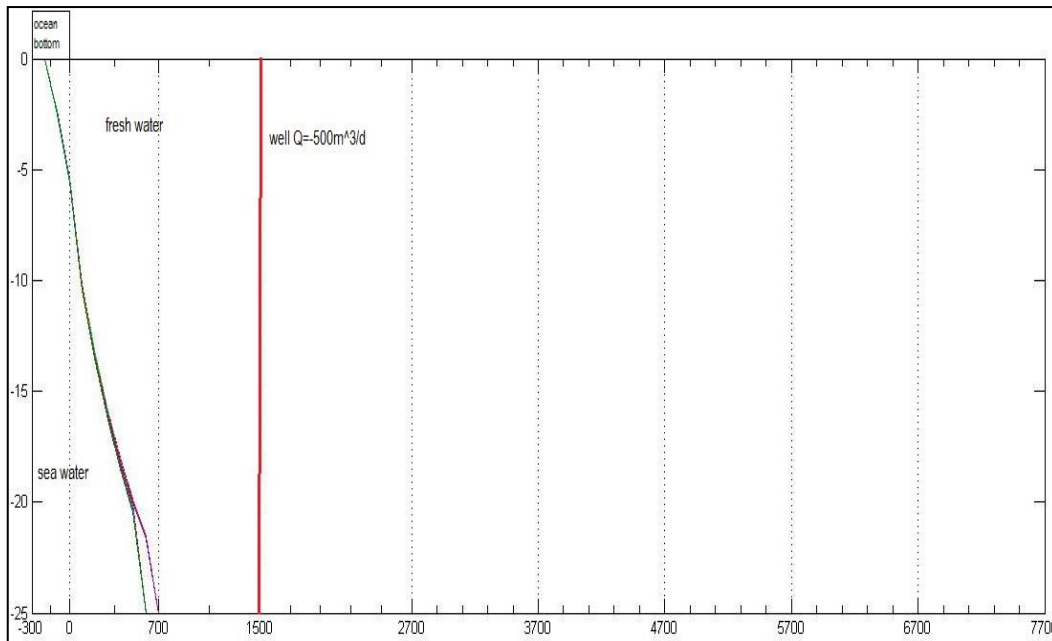


Σχήμα 16: Θέση της διεπαφής μετά την εφαρμογή συνολικής άντλησης $1845 \text{ m}^3 / \text{d}$ για $\text{Cond}=1000 \text{ m}^2 / \text{d}$

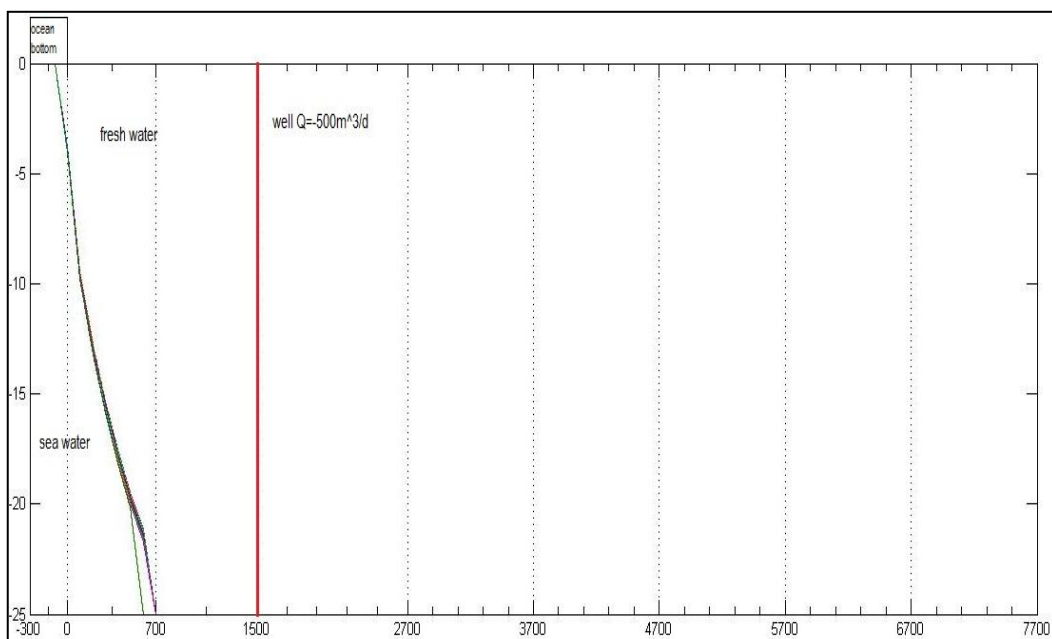
Στην περίπτωση των αρχικών αντλήσεων όπως θα πρέπει να συμπεράνουμε και από τα διαγράμματα των τεσσάρων παραπάνω εικόνων η αλλαγή του όρου Cond μέσω της αύξησης του δεν επηρεάζει τη θέση στην οποία καταλήγει η διεπαφή στον πυθμένα του υδροφορέα. Για τις δύο τιμές του όρου Cond για τις οποίες έγιναν οι προσομοιώσεις σε αυτή την περίπτωση η διεπαφή φτάνει στα 600 μέτρα από την ακτή. Αντίθετα το πάνω μέρος της διεπαφής φαίνεται να κινείται προς το εσωτερικό του υδροφορέα όσο αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου Cond .

3.2.5 Σενάριο αύξησης της συνολικής άντλησης κατά 35,5%.

Στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε να αυξήσουμε τη συνολική άντληση κατά 35,5% της αρχικής. Στα σχήματα 17 και 18 παρουσιάζεται η θέση της διεπαφής για τις περιπτώσεις στις οποίες η παράμετρος Cond παίρνει τις τιμές $500 \text{ m}^2 / \text{d}$ και $1000 \text{ m}^2 / \text{d}$.



Σχήμα 17: Απεικόνιση θέσης διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% με την τιμή του $Cond=500 \text{ m}^2 / \text{d}$.



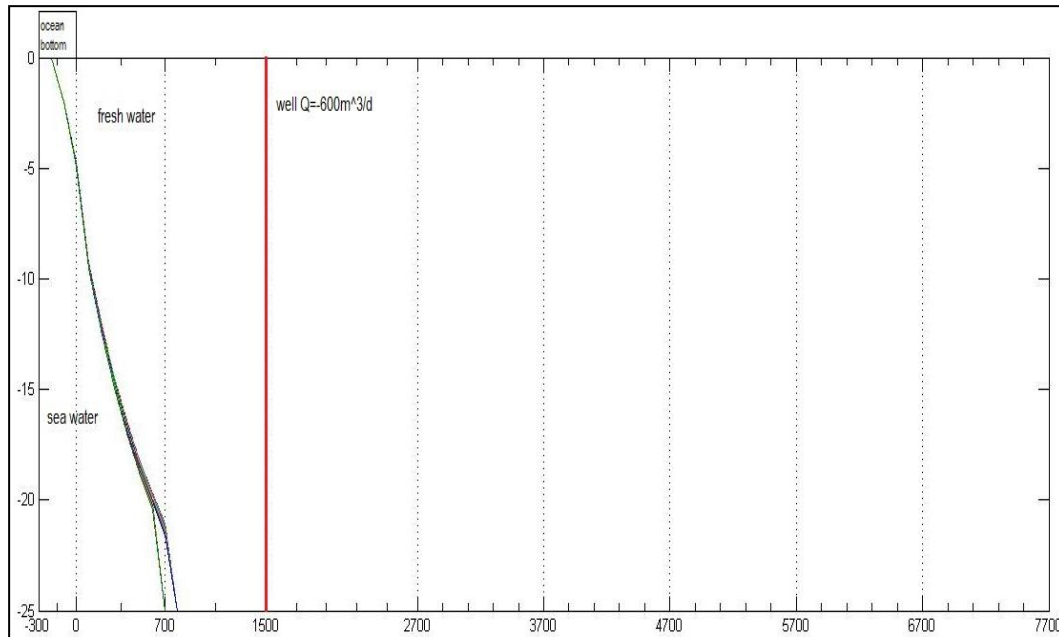
Σχήμα 18: Θέση της διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% για τιμή της παραμέτρου $Cond=1.000 \text{ m}^2 / \text{d}$.

Παρατηρούμε ότι με αύξηση της άντλησης κατά 35,5% η διεπαφή μετακινείται από τα 600 στα 700 μέτρα από την ακτή και για τις δύο τιμές της παραμέτρου $Cond$.

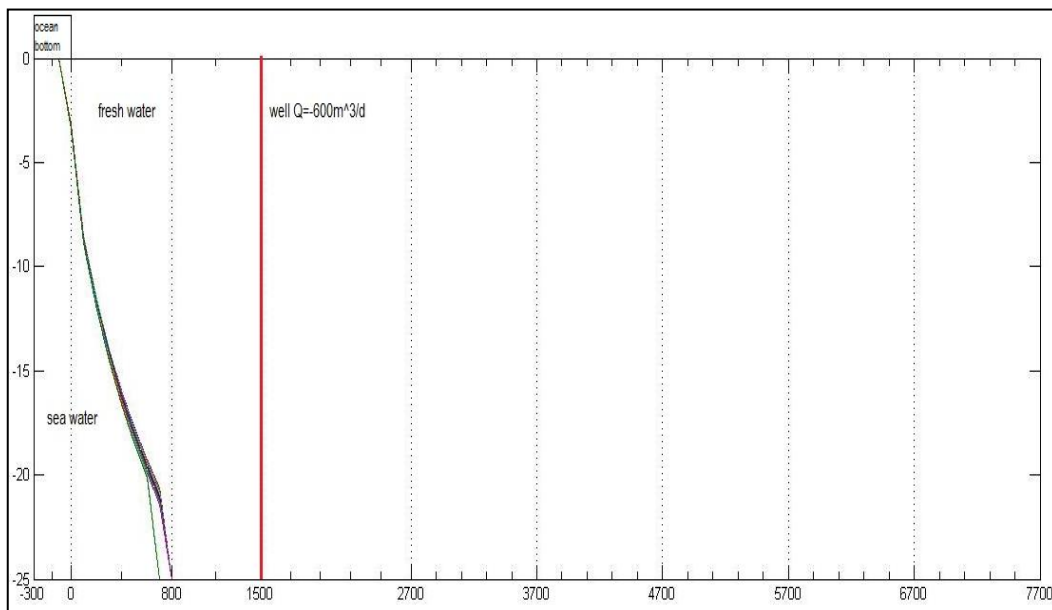
3.2.6 Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 62%.

Στο σενάριο αυτό επιλέγουμε να αυξήσουμε τη συνολική άντληση κατά 62% σε σχέση με την αρχική για κάποιες από τις περιπτώσεις με τις τιμές του όρου $Cond$ που δημιουργήσαμε. Στα σχήματα 19 και 20 παρουσιάζεται η θέση της διεπαφής για τις περιπτώσεις στις οποίες ο όρος $Cond$ παίρνει τις τιμές 500

m^2 / d και $1000 m^2 / d$ Βλέπουμε ότι για τη συγκεκριμένη τιμή της άντλησης η διεπαφή φτάνει μέχρι τα 800 μέτρα.



Σχήμα 19: Απεικόνιση της θέσης της διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 62% με την τιμή του $Cond=500 m^2 / d$



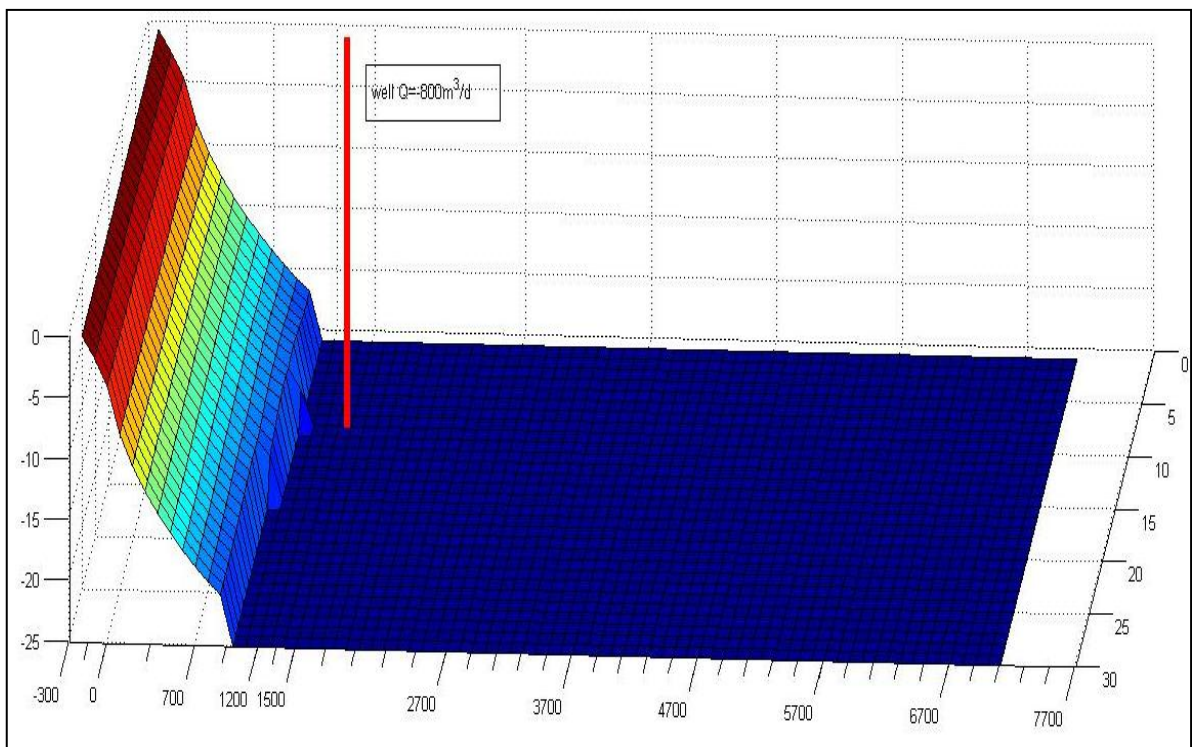
Σχήμα 20: Απεικόνιση της θέσης διεπαφής για την περίπτωση αύξησης της άντλησης για τιμή του $Cond=1000 m^2 / d$

3.2.7 Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 116%.

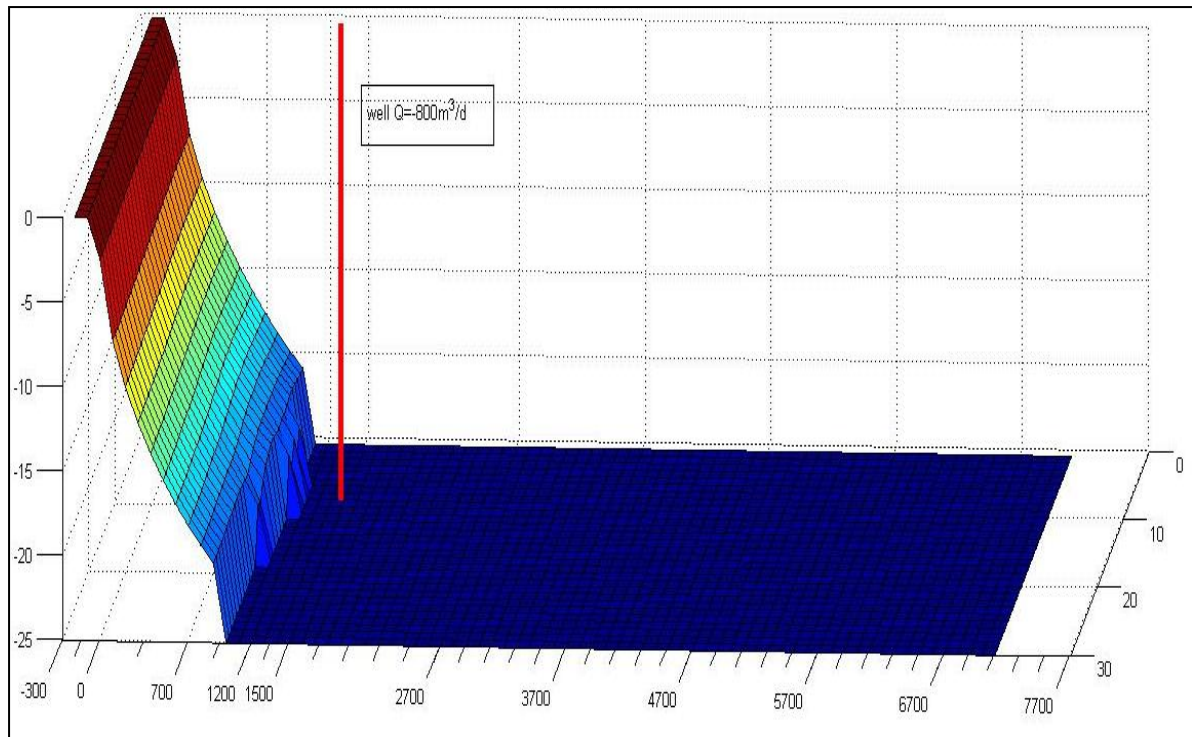
Στην περίπτωση αυτή αυξάνουμε τη συνολική άντληση κατά 116% της αρχικής για κάποιες από τις περιπτώσεις που δημιουργήσαμε.

Πρέπει εδώ να πούμε ότι για όλες τις περιπτώσεις των αυξημένων αντλήσεων επιλέξαμε να παρουσιάσουμε σχήματα που αναπαριστούν τη θέση της διεπαφής μόνο για τις περιπτώσεις όπου η παράμετρος Cond είναι $500\text{m}^2/\text{d}$ και $1000\text{m}^2/\text{d}$ επειδή είναι δύο περιπτώσεις στις οποίες εντοπίζεται διακριτή διαφορά σε σχέση με το πάνω μέρος της διεπαφής. Τα υπόλοιπα σχήματα των διαγραμμάτων για $\text{Cond}=800\text{m}^2/\text{d}$ θα τοποθετηθούν στο παράρτημα.

Όπως θα δούμε και στα σχήματα 21 και 22 για τη συγκεκριμένη αύξηση της άντλησης και για τις δύο περιπτώσεις των διαφορετικών τιμών του όρου Cond ($500\text{m}^2/\text{d}$, $1000\text{m}^2/\text{d}$) η διεπαφή πλησιάζει περισσότερο στο πιο κοντινό πηγάδι. Συγκεκριμένα η διεπαφή στον πυθμένα του υδροφορέα φτάνει στα 1200 μέτρα από την ακτή με το πηγάδι να βρίσκεται στα 1500 μέτρα. Επίσης στα δύο σχήματα απεικονίζεται η διαφορά θέσης όσον αφορά το πάνω μέρος της διεπαφής κάτι το οποίο οφείλεται στις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου Cond.



Σχήμα 21: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφής και θέσης της διεπαφής για την περίπτωση αυξημένης άντλησης κατά 116%. ($\text{Cond}=500\text{m}^2/\text{d}$)



Σχήμα 22: Τρισδιάστατη απεικόνιση της θέσης της διεπαφής με αυξημένη άντληση κατά 116% με τιμή του όρου $Cond=1000 m^2 / d$.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΟΤΟΜΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

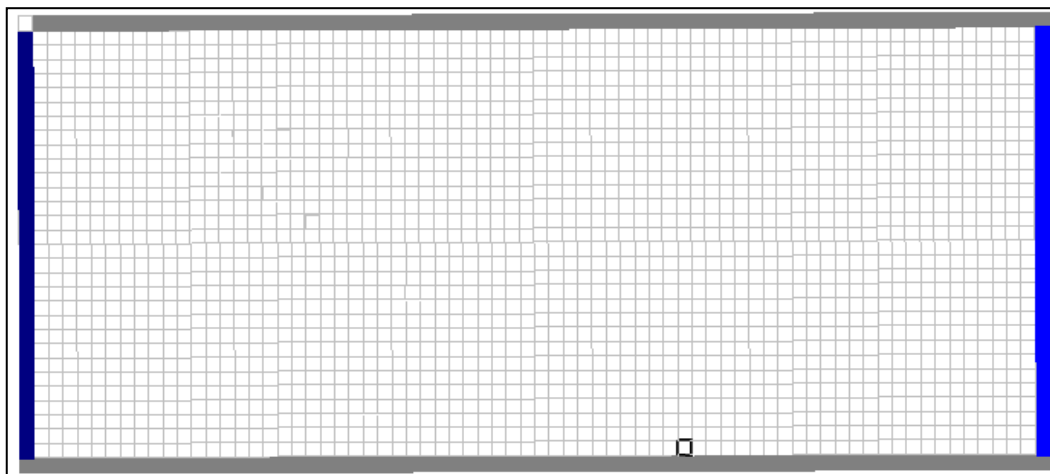
3.3.1 Μοντελοποίηση υδροφορέα

Ο υπό εξέταση υδροφορέας εδώ μοντελοποιείται μέσω του PMWIN με διαφορετικό όμως τρόπο σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο που επιλύθηκε από το SWI. Σε αυτή την περίπτωση ο υδροφορέας εισάγεται στο PMWIN ως περιορισμένος και η παράμετρος της μεταφορικότητας τίθεται ίση με την υδραυλική αγωγιμότητα ($T=100m/d$). Ο υδροφορέας έχει μήκος $L_x=7000m$, πλάτος $L_y=3000m$ με βάθος $d=25m$. Η τροφοδοσία του γίνεται α) μέσω ετήσιας κατείδυσης $N1=0.00008m/day$ και β) μέσω πλευρικής εισροής $Q_0=3698,6 m^3 / d$.

Με το PMWIN υπολογίζεται το υδραυλικό φορτίο σε συγκεκριμένα σημεία του υδροφορέα. Στην παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του δυναμικού έπειτα από την επίλυση της εξίσωσης 2.28. Έτσι ο υδροφορέας εισάγεται ως περιορισμένος και η μεταφορικότητα (T) ορίζεται ίση με την υδραυλική αγωγιμότητα του φρεατίου υδροφορέα.

Ο υδροφορέας διακριτοποιείται με 1 layer σε κελιά ίσων διαστάσεων 100 επί 100 και αναπαριστάται από ένα κάνναβο (mesh) 30 γραμμών (κατά τον άξονα x), 70 στηλών (κατά τον άξονα y). Για τον ορισμό των οριακών συνθηκών είναι απαραίτητο να εισάγουμε μία επιπλέον στήλη από την πλευρά της θάλασσας όπου τίθεται σταθερή τιμή δυναμικού ϕ ίσο με 0 m^2 (στήλη των κελιών με το σκούρο μπλέ χρώμα) και από μια γραμμή στην πάνω και κάτω πλευρά οι οποίες

εισάγονται ως αδιαπέρατα τοιχώματα(γραμμές κελιών με γκρί χρώμα). Σε όλα τα υπόλοιπα κελιά του υδροφορέα το δυναμικό τίθεται ίσο με $5 m^2$. Παρακάτω φαίνεται η κάτοψη του υπό μελέτη υδροφορέα όπως μοντελοποιείται από το PMWIN.



Σχήμα 23: Απεικόνιση οριακών συνθηκών και χωρική διακριτοποίηση υδροφορέα

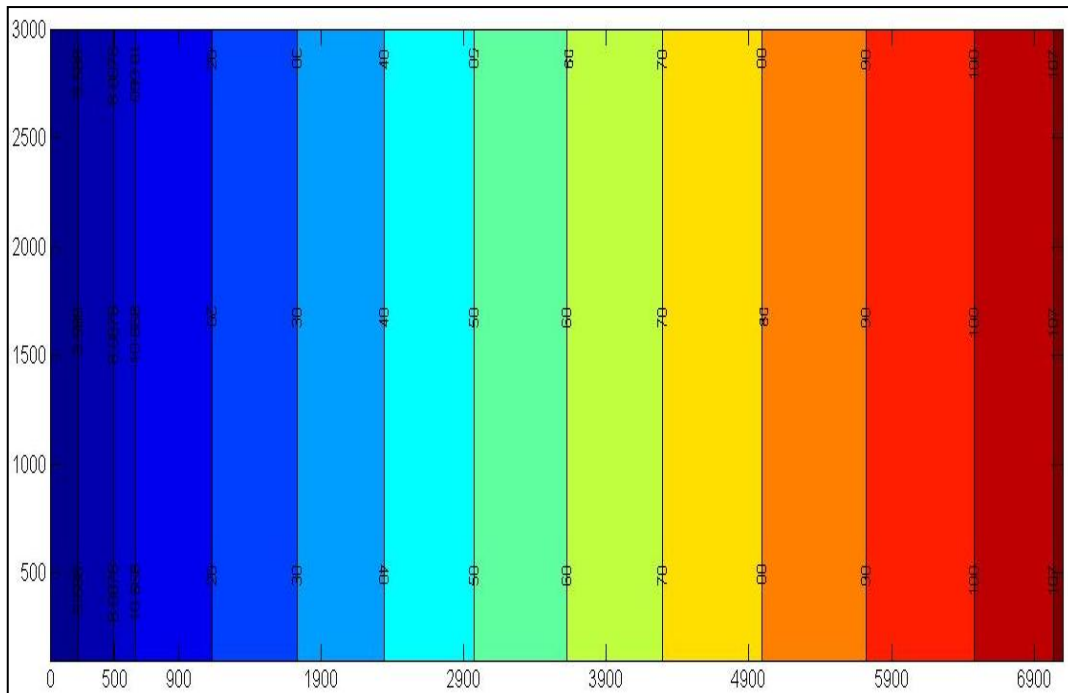
3.3.2 Εφαρμογή διαφόρων σεναρίων άντλησης στην προσομοίωση του υδροφορέα

Κατά τη διαδικασία προσομοίωσης του υδροφορέα θα εφαρμοστούν μια σειρά από σενάρια άντλησης στα οποία θα εξεταστεί η θέση και η συμπεριφορά της διεπιφάνειας αλμυρού και γλυκού νερού. Τα σενάρια άντλησης που θα εξετάσουμε παρακάτω είναι:

1. Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών συνολικής άντλησης $1845 m^3/d$.
2. Σενάριο αύξησης της συνολικής άντλησης κατά 35,5%.
3. Σενάριο αύξησης της άντλησης κατά 62%.

3.3.2.1 Σενάριο μηδενικής άντλησης

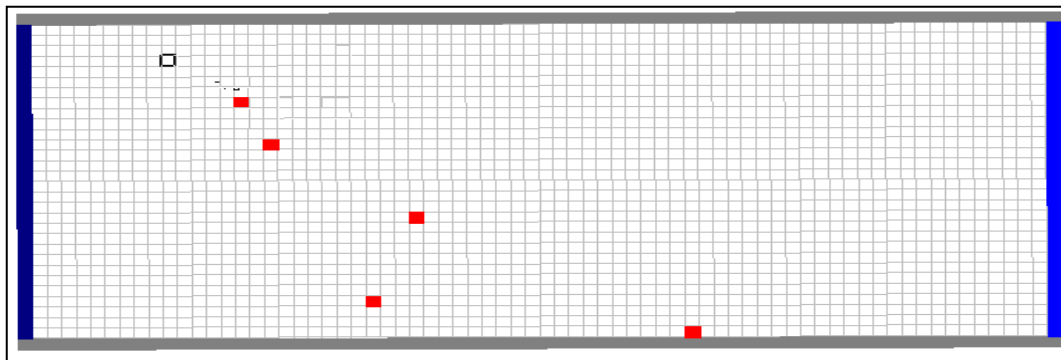
Αρχικά ο παράκτιος υδροφορέας θα μοντελοποιηθεί στο PMWIN σε συνθήκες μηδενικών αντλήσεων ώστε να εξετάσουμε τη θέση του φυσικού σημείου ισορροπίας της διεπιφάνειας. Στο σχήμα 24 παρατίθεται το διάγραμμα με την κατανομή των ισοδυναμικών γραμμών στο οποίο εμφανίζεται η γραμμή με δυναμικό $8.0078 m^2$ να απέχει 500 μέτρα από την αρχή των αξόνων. Έτσι προσδιορίζεται η θέση του σημείου G της αλάτινης σφήνας αφού αυτό είναι το σημείο με δυναμικό $8.0078 m^2$ από τις εξισώσεις του Strack, Cheng & Ouazar (1999). Πρέπει να σημειώσουμε ότι μαζί με τα διαγράμματα κατανομής του δυναμικού για τα σενάρια των αντλήσεων δημιουργήθηκαν και τα διαγράμματα κατανομής πιεζομετρικού φορτίου τα οποία παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 24: Απεικόνιση κατανομής ισοδυναμικών γραμμών σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.

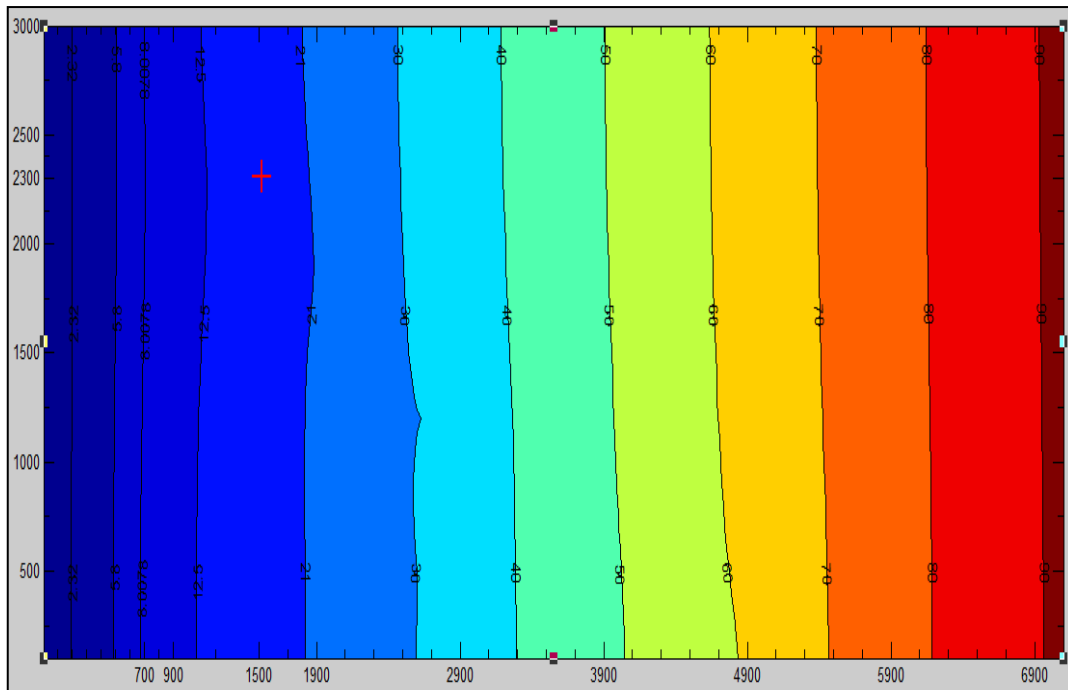
3.3.2.2 Σενάριο εισαγωγής πέντε πηγαδιών άντλησης $1845\text{m}^3/\text{d}$

Στην περίπτωση αυτή στον υδροφορέα εισάγονται πέντε αντλήσεις με τη μορφή πηγαδιών των οποίων οι θέσεις φαίνονται στο παρακάτω σχήμα με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 25: Απεικόνιση των θέσεων των πέντε αντλήσεων που εισάγονται.

Στο σχήμα 26 που παρουσιάζεται παρακάτω απεικονίζεται ο χάρτης των ισοδυναμικών γραμμών όπως αυτός προέκυψε από κατάλληλη επεξεργασία των αρχείων που δημιουργήθηκαν από την προσομοίωση. Η κόκκινη επισήμανση με σταυρό αναπαριστά τη θέση του κοντινότερου πηγαδιού προς την ακτή.

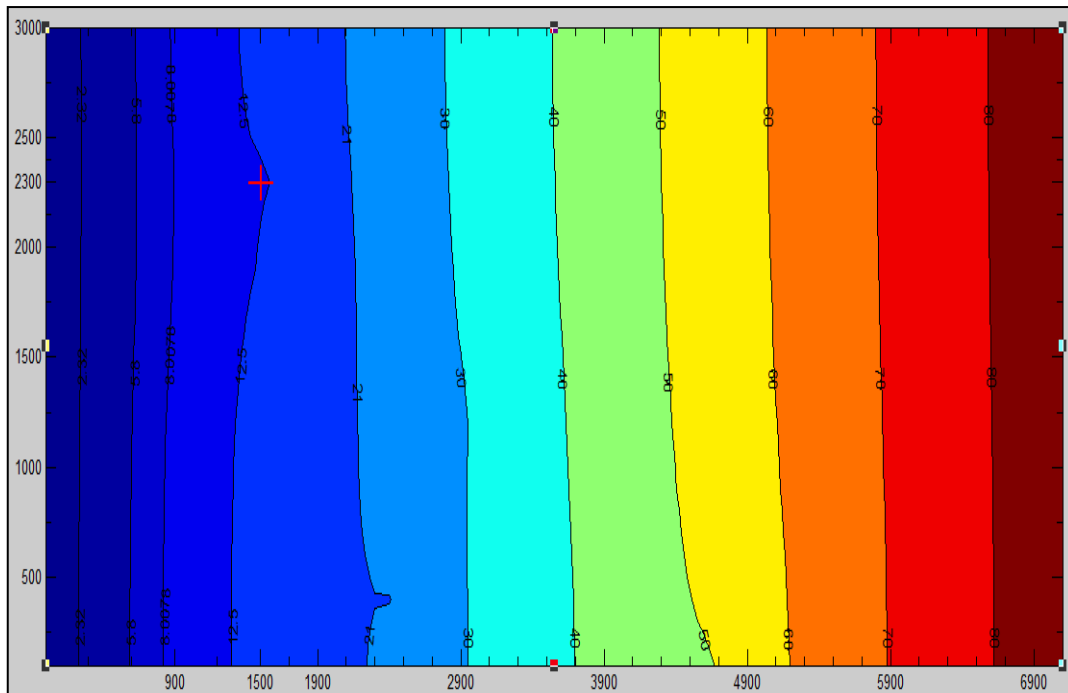


Σχήμα 26: Κατανομή ισοδυναμικών γραμμών σε διδιάστατο επίπεδο για την περίπτωση προσομοίωσης με πέντε αντλήσεις $369 \text{ m}^3 / \text{d}$ η κάθε μία.

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή των πέντε αντλήσεων η διεπιφάνεια έχει αρχίσει και μετακινείται προς τα δεξιά σε σχέση με την περίπτωση μηδενικών αντλήσεων. Αυτό φαίνεται από τη θέση της ισοδυναμικής γραμμής που αντιστοιχεί σε δυναμικό 8.0078 η οποία βρίσκεται σε απόσταση 700 μέτρων από την αρχή των αξόνων. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο G της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού έχει μετακινηθεί προς το εσωτερικό του υδροφορέα κατά 200 μέτρα σε σχέση με την περίπτωση των μηδενικών αντλήσεων.

3.3.2.3 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 35,5%

Στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε να αυξήσουμε την άντληση κατά 35,5% της αρχικής. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η αύξηση της άντλησης ισοκατανέμεται μεταξύ των πηγαδιών με αποτέλεσμα σε κάθε πηγάδι να αντιστοιχεί η τιμή άντλησης $500 \text{ m}^3 / \text{d}$. Με την εκτέλεση της προσομοίωσης έχουμε τα αποτελέσματα για τις τιμές του δυναμικού οι οποίες αναπαριστώνται στο σχήμα 27 με τη μορφή ισοδυναμικών γραμμών..



Σχήμα 27: Απεικόνιση τιμών δυναμικού για την περίπτωση προσομοίωσης με συνολική αύξηση της άντλησης κατά 35,5%.

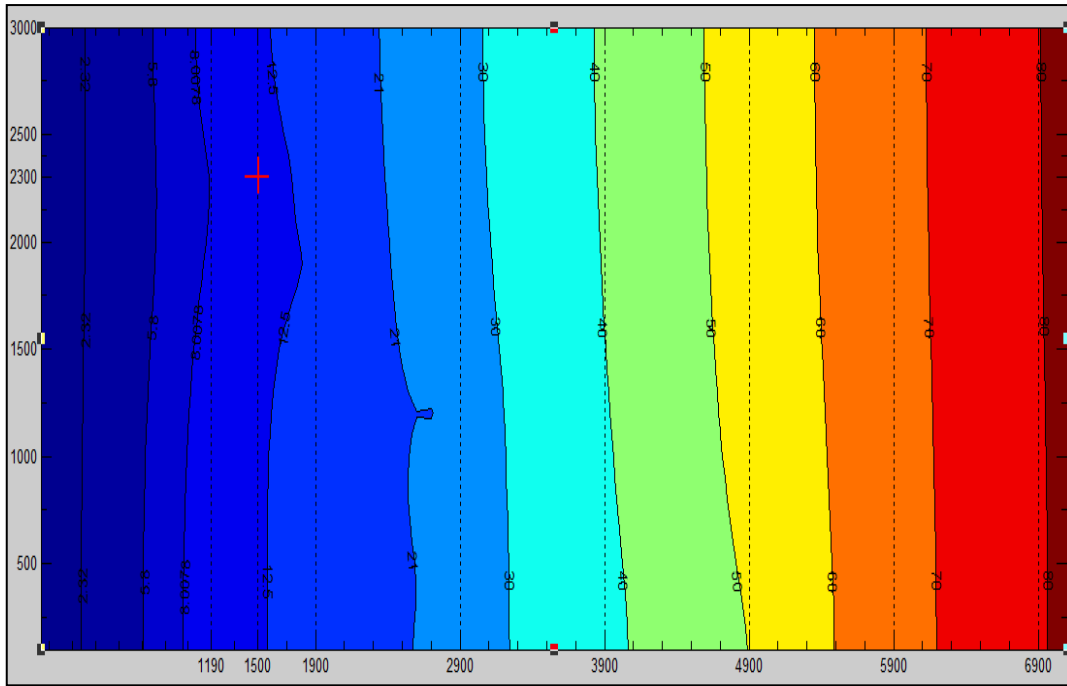
Από το διάγραμμα του σχήματος 27 μπορούμε να δούμε ότι η διεπιφάνεια γλυκού και αλμυρού νερού βρίσκεται στα 900 μέτρα. Κάτι τέτοιο οφείλεται στην αύξηση του ποσοστού άντλησης με ταυτόχρονη διατήρηση της τροφοδοσίας του υδροφορέα στην ίδια τιμή.

3.3.2.4 Περίπτωση με συνολική αύξηση των πέντε αντλήσεων κατά 62%

Η περίπτωση αυτή αποτελεί και την τελευταία στην εξέταση της προσομοίωσης του παράκτιου υδροφορέα με το συγκεκριμένο μοντέλο. Επιλέγουμε η κάθε άντληση να αυξηθεί στα 600m³/d ώστε να εξετάσουμε το πόσο ακόμη μπορεί να μετακινηθεί η διεπιφάνεια χωρίς να φτάσει στην απόσταση όπου βρίσκεται το πρώτο πηγάδι.

Τα αποτελέσματα μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης για την τελευταία περίπτωση φαίνονται στο σχήμα 28 όπου απεικονίζεται και αυτή τη φορά η θέση της Διεπιφάνειας σχέση με την ακτή αλλά και το πρώτο πηγάδι.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από το τελευταίο σχήμα μας δείχνει ότι η διεπιφάνεια φτάνει να απέχει 210 μέτρα από το πρώτο πηγάδι(1190 μέτρα από την ακτή)



Σχήμα 28: Απεικόνιση τιμών δυναμικού για την περίπτωση προσομοίωσης με συνολική αύξηση της άντλησης κατά 62%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τα δύο μοντέλα. Τα αποτελέσματα αφορούν τη θέση της διεπαφής για κάθε περίπτωση προσομοίωσης. Η σύγκριση αυτή θα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή συνθηκών μηδενικής άντλησης αλλά και από την εφαρμογή συγκεκριμένων σεναρίων άντλησης από πέντε πηγάδια. Τα αποτελέσματα αναπαριστώνται σε τρισδιάστατη μορφή διαγραμμάτων με την εφαρμογή της γλώσσας προγραμματισμού Matlab.

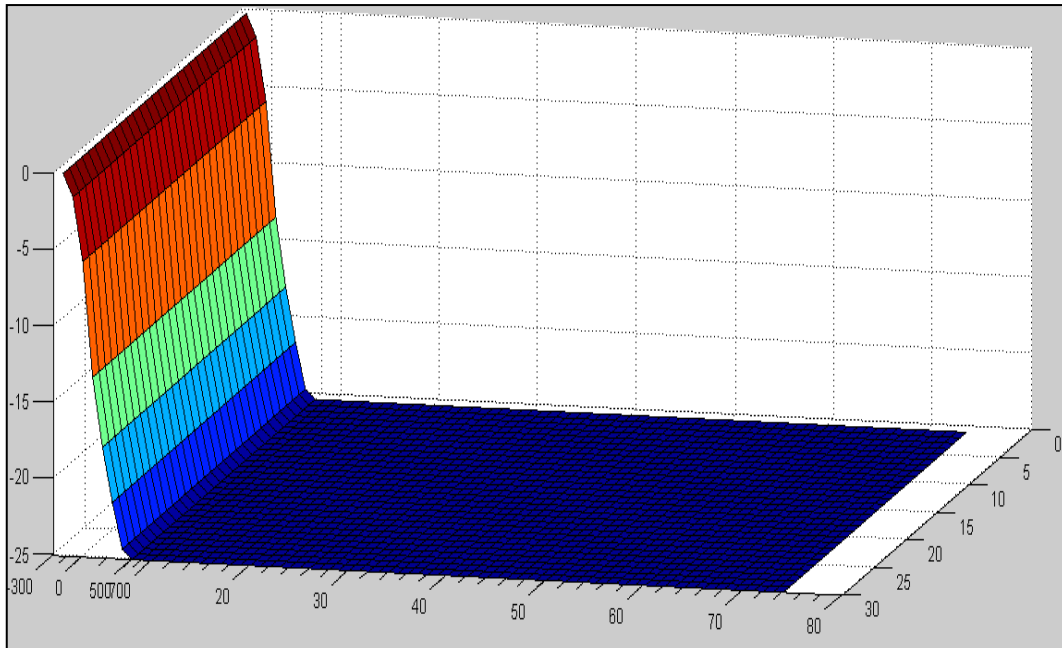
4.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Τα σενάρια άντλησης που θα εφαρμοστούν για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι συγκεκριμένα. Πρόκειται για το σενάριο συνθηκών μηδενικής άντλησης, το σενάριο αρχικής συνολικής άντλησης $1845 m^3 / d$ που αντιστοιχεί στο 34,8 % της συνολικής τροφοδοσίας, το σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 35,5% και τέλος το σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 62,6%. Πρέπει να επισημάνουμε ότι για όλα τα σενάρια άντλησης που θα εφαρμοστούν οι παροχές κατανέμονται ίσα μεταξύ των πέντε πηγαδιών.

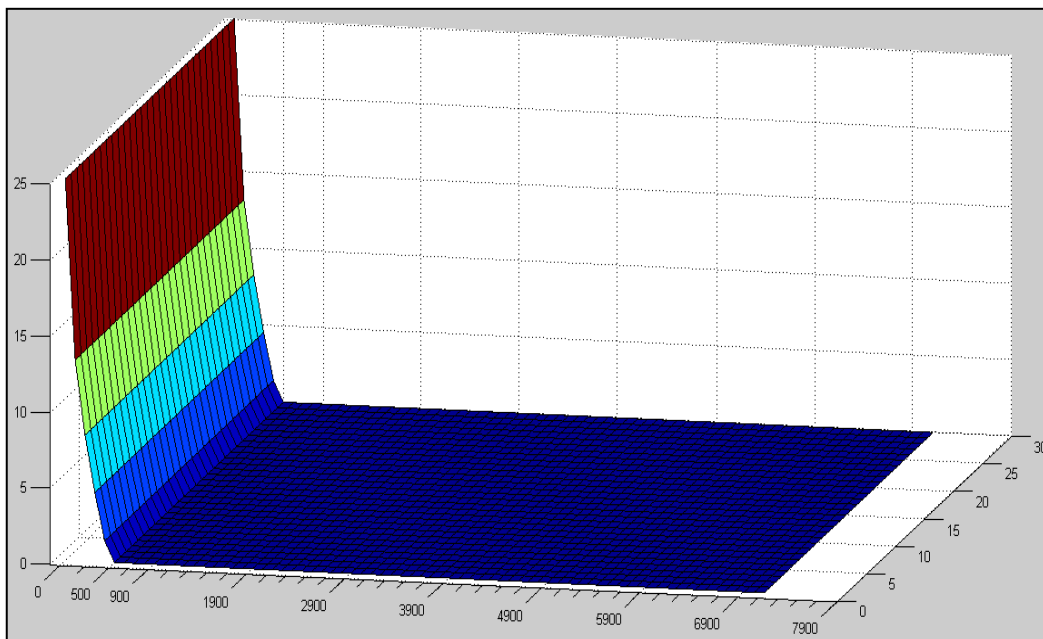
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΟΝΤΕΛΟ

4.3.1 Σενάριο μηδενικής άντλησης

Αρχικά θα συγκρίνουμε τη θέση της διεπαφής για την περίπτωση των μηδενικών αντλήσεων. Το σχήμα 29 αναπαριστά σε τρισδιάστατη μορφή τη θέση της διεπαφής για μηδενική άντληση όπως αυτή προέκυψε από την προσομοίωση με το SWI, ενώ στο σχήμα 30 φαίνεται η θέση της διεπιφάνειας που αντιστοιχεί στην προσομοίωση με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας.



Σχήμα 29: Απεικόνιση της διεπαφής για το σενάριο μηδενικής άντλησης(SWI)



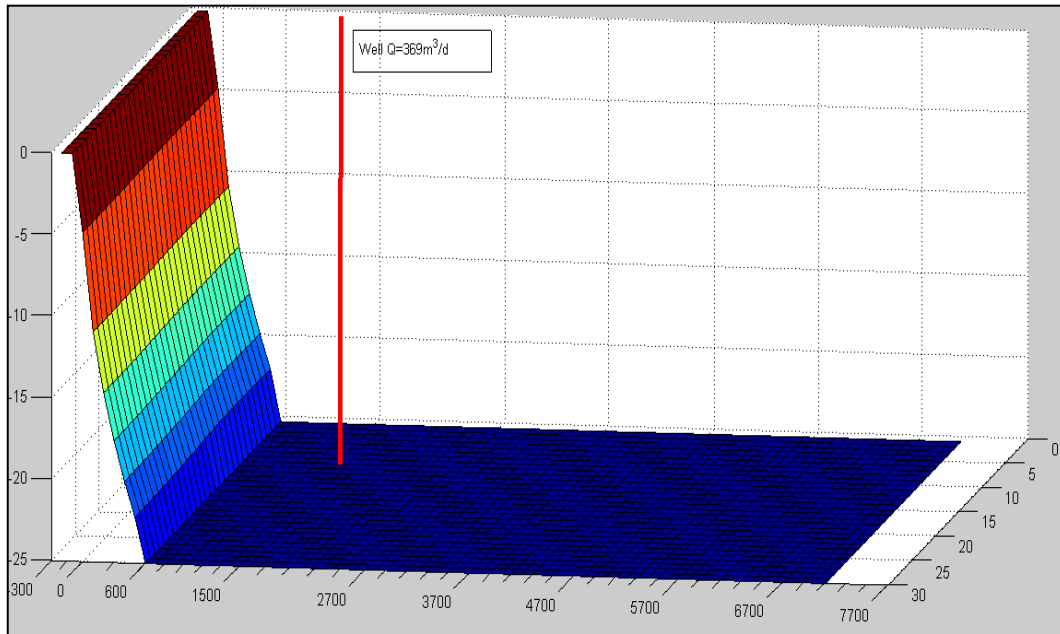
Σχήμα 30: Απεικόνιση της διεπιφάνειας για το σενάριο μηδενικής άντλησης(μοντέλο απότομης διεπιφάνειας)

Βάσει των παραπάνω εικόνων και για τις δύο προσομοιώσεις η θέση της διεπαφής φτάνει στην ίδια θέση που όπως φαίνεται είναι 500 μέτρα από την ακτή.

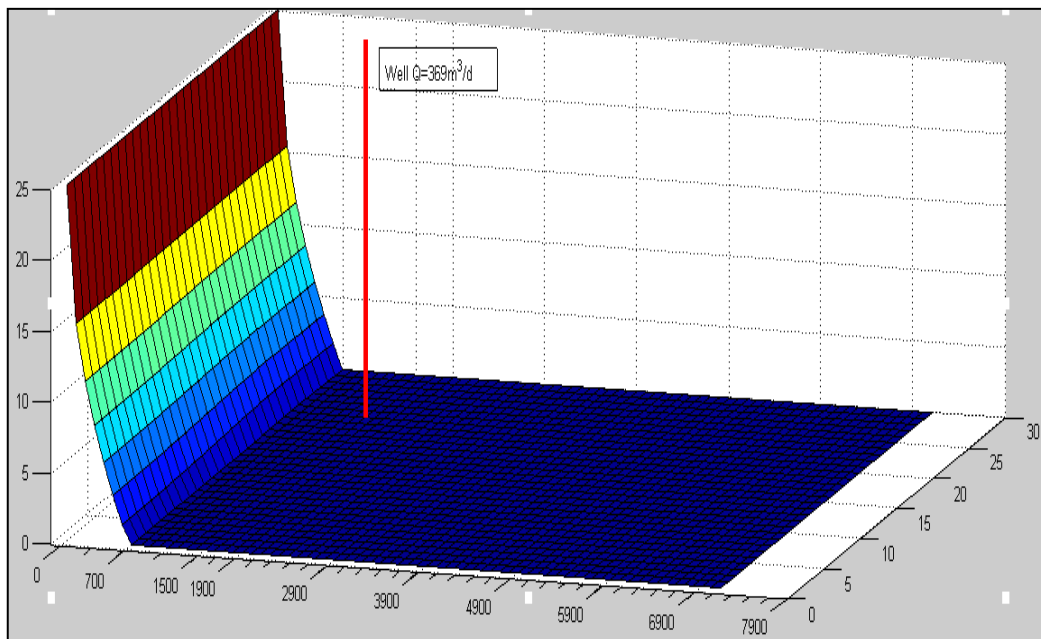
4.3.2 Σενάριο αρχικής άντλησης

Στην περίπτωση του σεναρίου αρχικής άντλησης ίσης με το 34,8% της συνολικής τροφοδοσίας (άντληση $1845 \text{ m}^3 / \text{d}$), οι θέσεις της διεπαφής για την

περίπτωση προσομοίωσης με το SWI και την περίπτωση προσομοίωσης με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας φαίνονται στα σχήματα 31 και 32 αντίστοιχα.



Σχήμα 31: Απεικόνιση της διεπαφής από το μοντέλο SWI για το σενάριο της αρχικής άντλησης



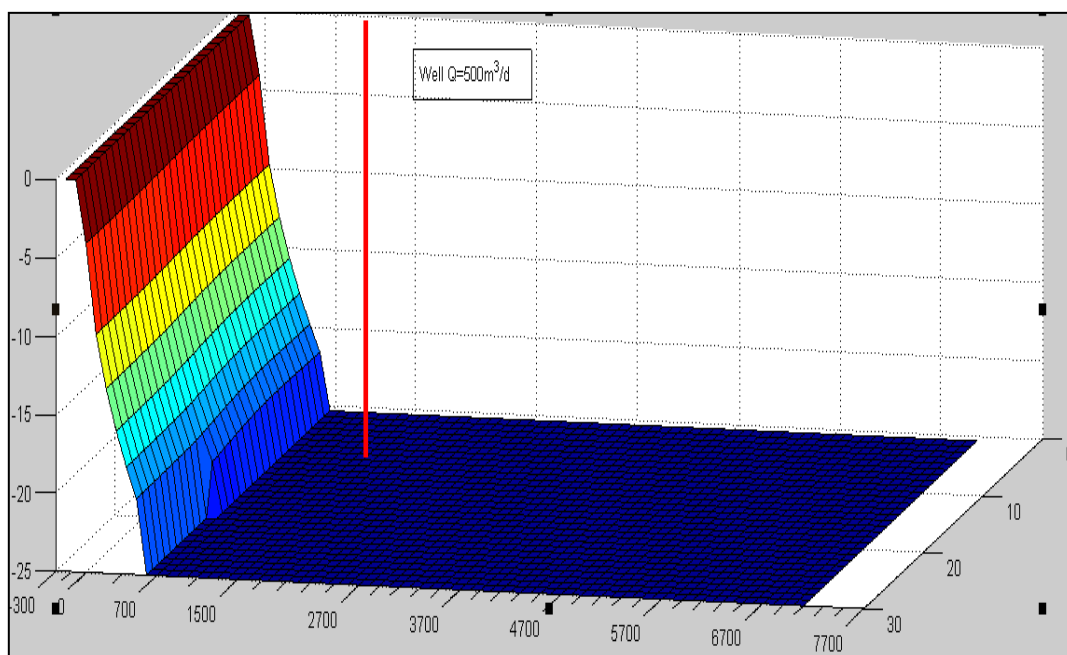
Σχήμα 32: Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας από το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας για την περίπτωση της αρχικής άντλησης

Από την αναπαράσταση των δύο παραπάνω σχημάτων παρατηρούμε ότι η θέση της διεπαφής στην περίπτωση της προσομοίωσης του υδροφορέα με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας βρίσκεται πιο μπροστά σε σχέση με τη θέση της διεπαφής όταν αυτός προσομοιώνεται με το SWI. Συγκεκριμένα η διεπαφή προχωρά στα 600 μέτρα ενώ για την περίπτωση εκτέλεσης της προσομοίωσης με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας η θέση της βρίσκεται στα 700 μέτρα από την ακτή.

4.3.3 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 35,5%

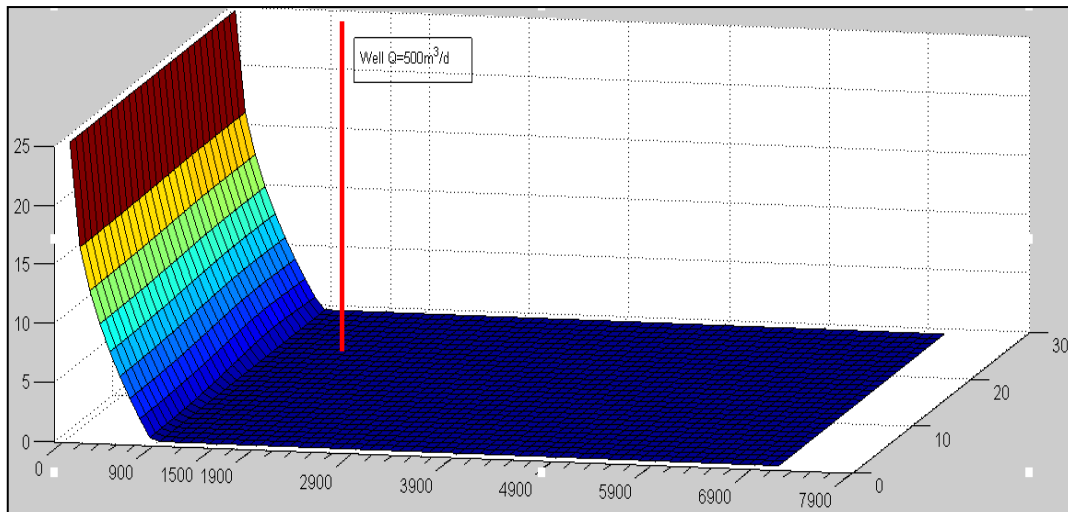
Όπως θα δούμε και στα παρακάτω σχήματα για την περίπτωση όπου η συνολική άντληση από τον υδροφορέα αυξάνεται κατά 35,5 % σε σχέση με την αρχική, η διεπιφάνεια όταν ο υδροφορέας προσομοιώνεται με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας προχωρά ακόμη περισσότερο συγκριτικά με τη θέση στην οποία βρίσκεται η διεπιφάνεια στην περίπτωση προσομοίωσης με το SWI.

Στο σχήμα 33 φαίνεται η θέση και η μορφή της διεπιφάνειας για την περίπτωση της προσομοίωσης μέσω του SWI η οποία φτάνει στα 700 μέτρα από την ακτή.



Σχήμα 33: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% όπως προκύπτει από την προσομοίωση με το SWI.

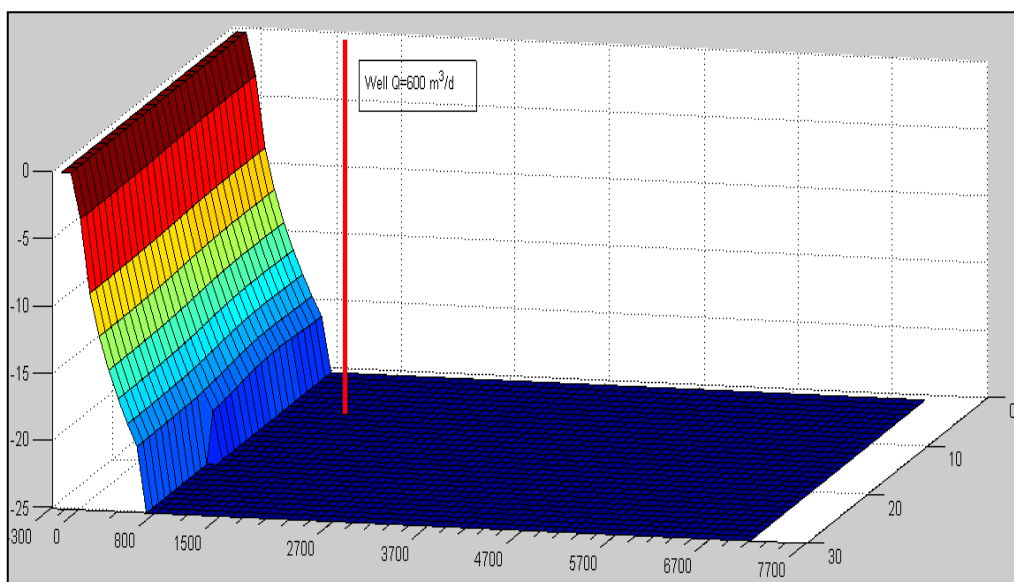
Στο σχήμα 34 αναπαριστάται η θέση της διεπαφής για την περίπτωση της προσομοίωσης με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας. Η διεπιφάνεια έχει προχωρήσει στα 900 μέτρα από την ακτή.



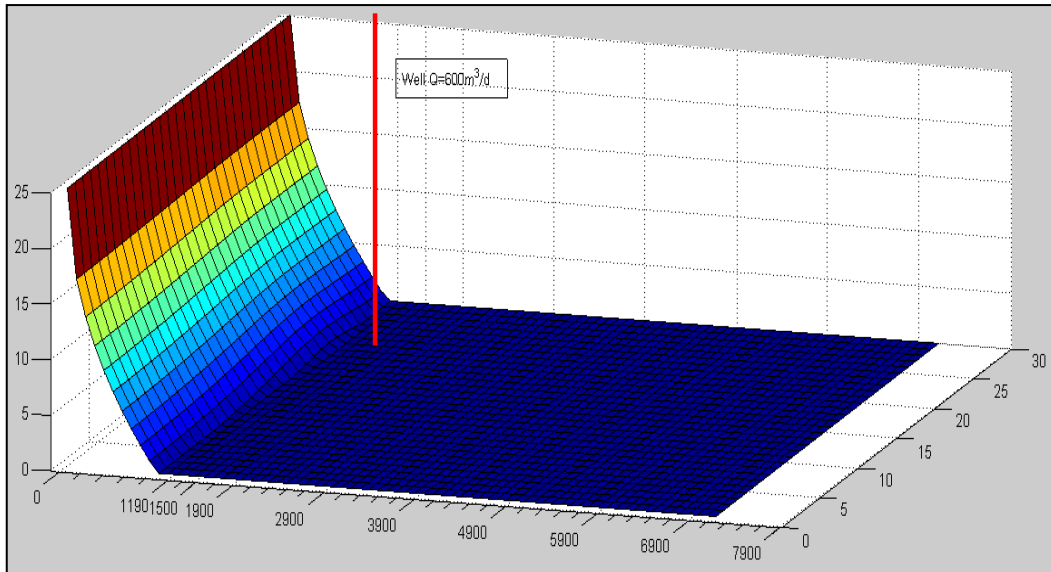
Σχήμα 34: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% όπως προκύπτει από την προσομοίωση με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας.

4.3.4 Σενάριο αύξησης της αρχικής άντλησης κατά 62%

Με την εφαρμογή αυτής της περίπτωσης άντλησης όπως θα δούμε και από τα σχήματα που ακολουθούν πρέπει να συμπεράνουμε ότι όσο οι τιμές της άντλησης από τον υδροφορέα αυξάνονται, η διαφορά μεταξύ των θέσεων της διεπιφάνειας για την επιλογή προσομοίωσης μέσω του μοντέλου απότομης διεπιφάνειας και την επιλογή του SWI αντίστοιχα, θα αυξάνεται. Τα σχήματα 35 και 36 αναπαριστούν την αύξηση της διαφοράς που προαναφέραμε. Στο σχήμα 35 η διεπιφάνεια φτάνει στα 800 μέτρα από την ακτή ενώ στο σχήμα 36 φτάνει στα 1190 μέτρα, (210 μέτρα από το πρώτο πηγάδι)

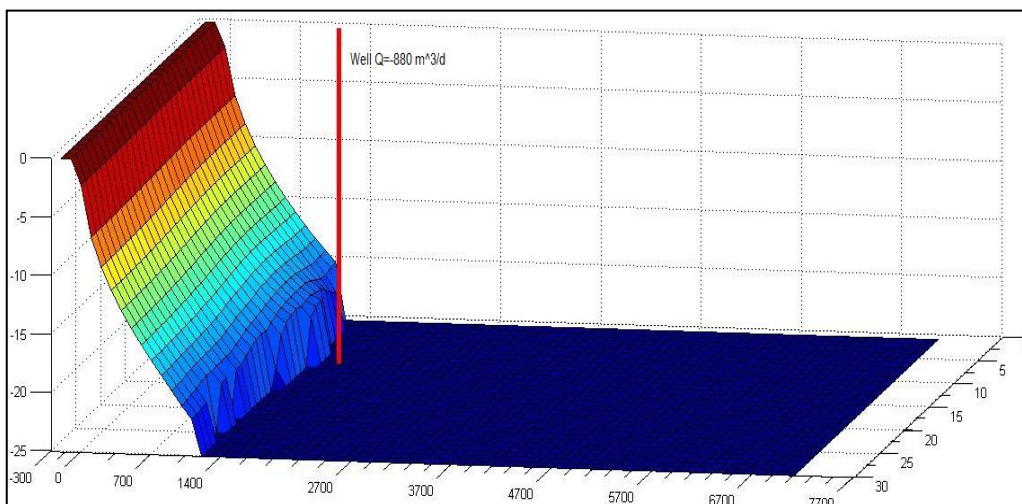


Σχήμα 35: Τρισδιάστατη απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας όπως αυτή προκύπτει από την προσομοίωση από το SWI για αύξηση της αρχικής άντλησης κατά 62%



Σχήμα 36: Τρισδιάστατη απεικόνιση της διεπιφάνειας όπως αυτή προκύπτει από την προσομοίωση μέσω του μοντέλου απότομης διεπιφάνειας για αύξηση της άντλησης κατά 62%

Το σενάριο άντλησης αυτό αποτελεί το τελευταίο σενάριο κατά το οποίο θα μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του κάθε μοντέλου στον υδροφόρα. Με δοκιμές που πραγματοποιήσαμε αυξάνοντας σταδιακά την τιμή των αντλήσεων πέραν της τιμής $600\text{m}^3/\text{d}$ για την περίπτωση προσομοίωσης μέσω του μοντέλου απότομης διεπιφάνειας είδαμε ότι η θέση της διεπιφάνειας βρίσκεται δεξιότερα από τη θέση του πρώτου πηγαδιού το οποίο βρίσκεται στα 1500 μέτρα από την ακτή. Με τις αντίστοιχες δοκιμές αύξησης της άντλησης που πραγματοποιήσαμε για την περίπτωση προσομοίωσης μέσω του SWI διαπιστώνουμε ότι για τιμές άντλησης μεγαλύτερες από $880\text{m}^3/\text{d}$ σε κάθε πηγάδι η θέση της διεπιφάνειας ξεπερνά κατά πολύ τη θέση του πρώτου (Σχήμα 37).



Σχήμα 37: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της θέσης της διεπιφάνειας για συνολική άντληση $4400\text{m}^3/\text{d}$ ($880\text{m}^3/\text{d}$ σε κάθε πηγάδι).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΥΝΟΨΗ

Είναι σημαντικό προτού παρουσιάσουμε τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από την εκτέλεση των προσομοιώσεων στον υπόγειο υδροφορέα να συνοψίσουμε τα βασικά σημεία της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Όπως αναφέραμε και στην αρχή σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς ενός πειραματικού παράκτιου υδροφορέα μέσω της προσομοίωσης του με δύο διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης. Αφού ορίστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη υδροφορέα και εισήχθησαν οι υδραυλικές του παράμετροι στο λογισμικό PMWIN ξεκίνησε η διαδικασία των προσομοιώσεων.

Για την προσομοίωση με το SWI εξετάστηκε η θέση της διεπιφάνειας στις περιπτώσεις αλλαγής της παραμέτρου Cond. Για κάθε περίπτωση προσομοίωσης εξετάστηκε η συμπεριφορά του υδροφορέα με βάση τα διάφορα σενάρια άντλησης που εφαρμόστηκαν σε αυτόν. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αναπαραστάθηκαν με τη μορφή δισδιάστατων και τρισδιάστατων διαγραμμάτων όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3 και 4. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων τα οποία προέκυψαν από τη χρήση των δύο μοντέλων πραγματοποιήθηκε η σύγκριση της θέσης της διεπιφάνειας μεταξύ των προσομοιώσεων με το SWI και με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας.

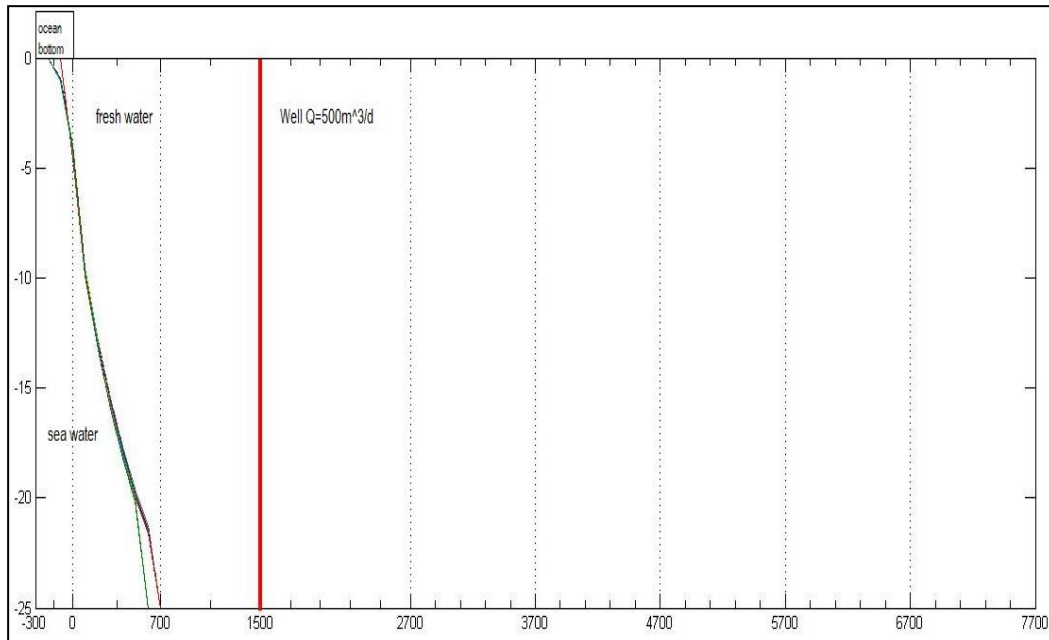
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΒΑΣΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΑ ΔΥΟ ΜΟΝΤΕΛΑ

Από την εκτέλεση των προσομοιώσεων με το SWI για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις άντλησης που εξετάσαμε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η παράμετρος Cond (Conductance) καθορίζει τη θέση του σημείου της διεπαφής που τέμνει την επιφάνεια της θάλασσας. Από τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την προσομοίωση με το SWI και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την προσομοίωση με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας προκύπτει το συμπέρασμα ότι σε συνθήκες μηδενικής άντλησης και για τα δύο μοντέλα προσομοίωσης, η διεπαφή βρίσκεται στις ίδιες θέσεις.

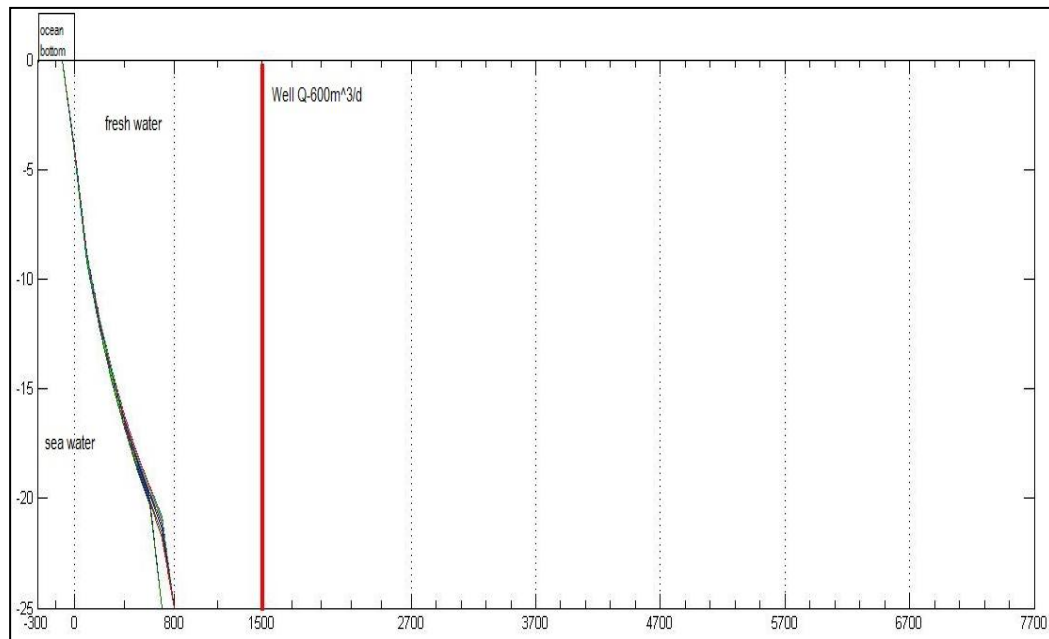
Με την εφαρμογή των σεναρίων άντλησης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι μέσω της προσομοίωσης με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας, η διεπιφάνεια μετακινείται περισσότερο προς το εσωτερικό του υδροφορέα σε σχέση με τη θέση της διεπιφάνειας που προκύπτει από την προσομοίωση με το μοντέλο SWI. Το τελευταίο αυτό συμπέρασμα ισχύει και για τα τρία κοινά σενάρια άντλησης τα οποία εφαρμόσαμε στις προσομοιώσεις με τα δύο μοντέλα.

Επίσης σαν συνέχεια του παραπάνω συμπεράσματος, εξετάζοντας τα δύο τελευταία τρισδιάστατα διαγράμματα του τέταρτου κεφαλαίου παρατηρούμε ότι η μέσω της προσομοίωσης με το SWI η μέγιστη άντληση που μπορούμε να εφαρμόσουμε στον υδροφορέα χωρίς αυτός να υφαλμυρωθεί είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη άντληση που μπορεί να εφαρμοστεί στον υδροφορέα για προσομοίωση με το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας. Κάτι τέτοιο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο απότομης διεπιφάνειας είναι πιο συντηρητικό σε σχέση με το μοντέλο SWI.

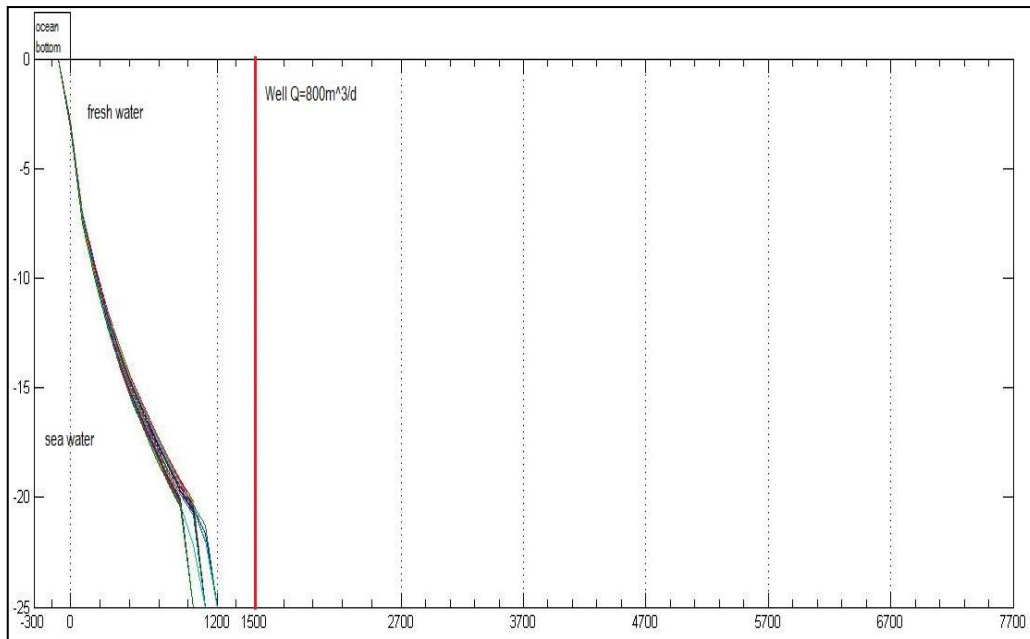
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



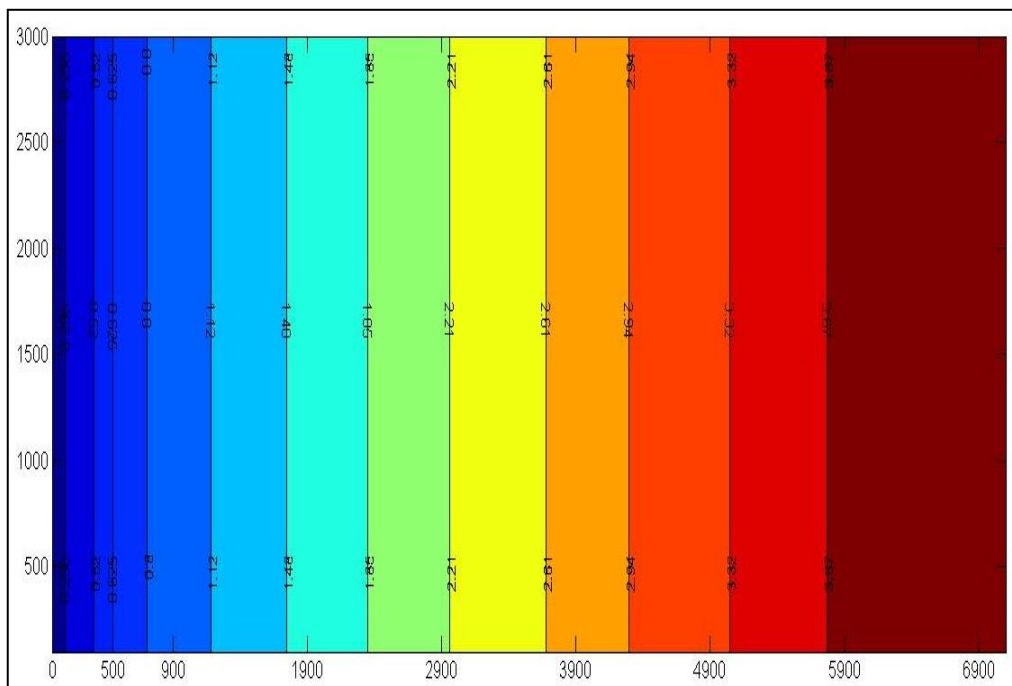
Σχήμα 38: Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 35,5% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$



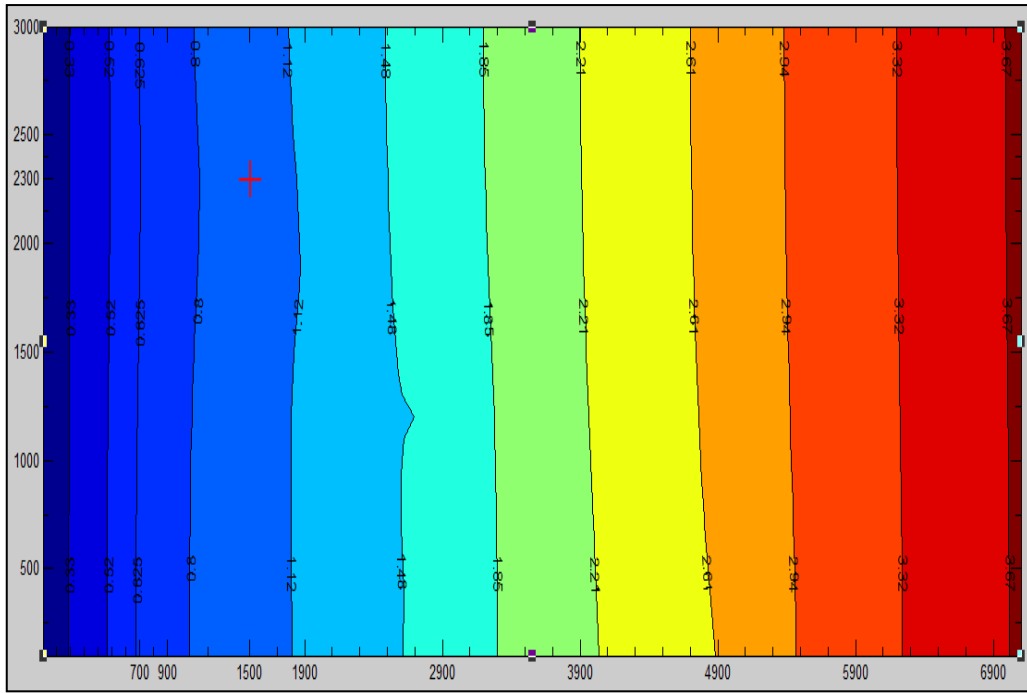
Σχήμα 39: Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 62% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$



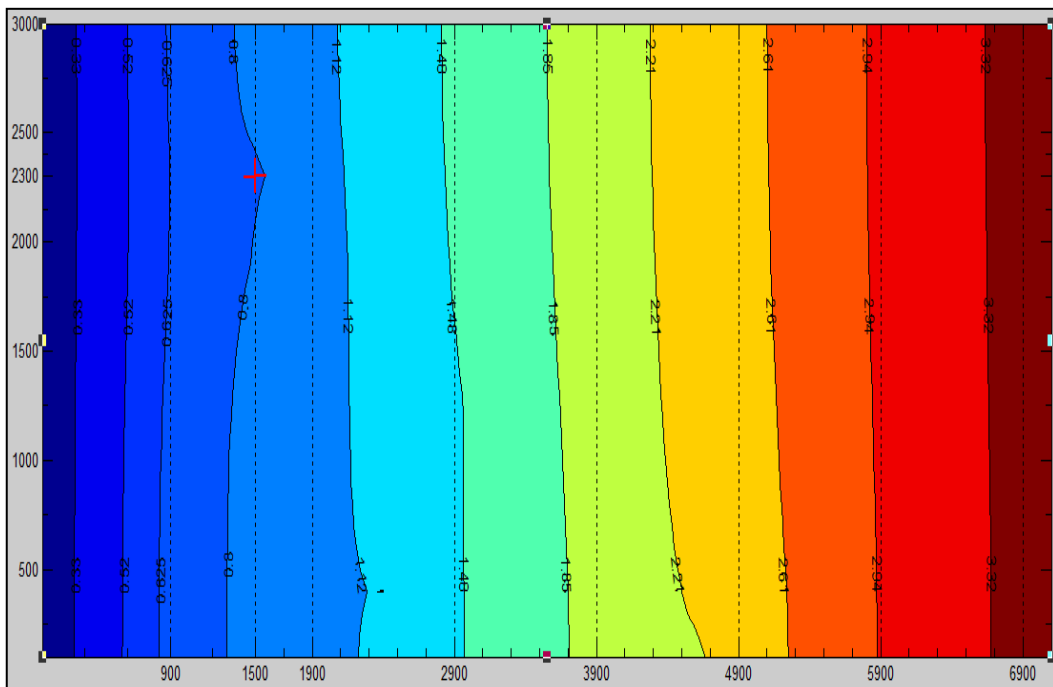
Σχήμα 40: Απεικόνιση της θέσης της διεπιφάνειας για την περίπτωση αύξησης της άντλησης κατά 116% με την τιμή της παραμέτρου $Cond=800 \text{ m}^2 / d$



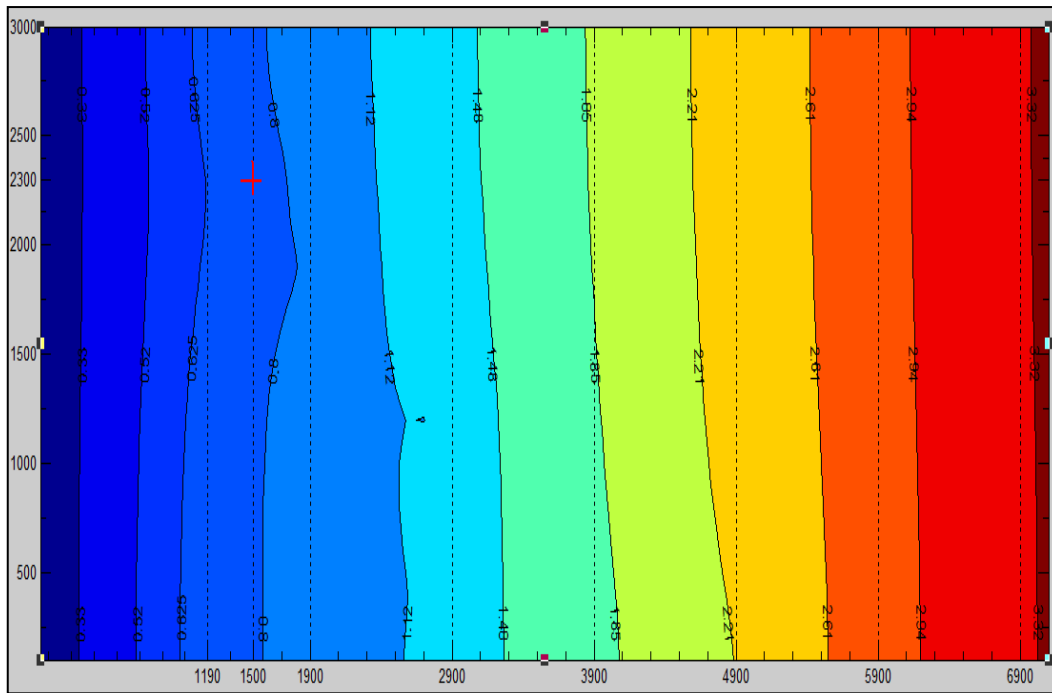
Σχήμα 41: Απεικόνιση κατανομής πιεζομετρικού φορτίου σε συνθήκες μηδενικής άντλησης.



Σχήμα 42: Κατανομή ισοπιεζομετρικών γραμμών σε διαδιάστατο επίπεδο για την περίπτωση εισαγωγής πέντε αντλήσεων $369 \text{ m}^3 / \text{d}$ η κάθε μία.



Σχήμα 43: Κατανομή τιμών υδραυλικού φορτίου για την περίπτωση συνολικής αύξησης της άντλησης κατά 35,5%.



Σχήμα 44: Κατανομή τιμών πιεζομετρικού φορτίου για την περίπτωση συνολικής αύξησης της άντλησης κατά 62%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λατινόπουλος Π.Δ., “Υδραυλική των υπόγειων Ροών” . Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 1986.
2. Νάνου Γιάνναρου Α., “Εισαγωγή στα υπόγεια νερά” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1999.
3. Παπαντωνίου Μ., “Διαχείριση παράκτιων υδροφορέων-Βελτιστοποίηση Αντλήσεων”, Διπλωματική Εργασία Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών, Αθήνα 2003.
4. Σωτηροπούλου Κ., “Προσομοίωση του υπόγειου παράκτιου υδροφορέα της Μεσαρίας στη Σαντορίνη” Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2010.
5. Τερζίδης Γ.Α., “Εφαρμοσμένη Υδραυλική”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 1997.
6. Bakker Mark. “Analytic Solutions for interface flow in combined, confined and semi confined coastal aquifer. 2005
7. Bakker Mark –Frans Schaars “How to become a Jedi Master in Modeling Sea Water Intrusion with Modflow- SWI. 2010
8. Bakker Mark- Frans Schaars. “The Sea Water Intrusion (SWI) Package manual, Part I. Theory and examples. 2005.
9. Harbaugh W. Arlen, Edward R. Banta, Mary C. Hill, Michael Mc Donald. “Modflow 2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model Guide to Modularization concepts and the Ground Water Flow Process” 2000.
10. Harbaugh W. Arlen, “An Integrated Modeling Environment for the simulation of Ground Water flow ,Transport and Reactive Processes.2012
11. Cheng A. H. and Quazar D. , “Analytical Solutions” in “Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers-concepts, Methods and Practices” J Bear Kluwer Academic Publishers. 1999
12. Mantoglou A., Papantoniou M., Gianouloupoulos P., “Management of Coastal aquifers based on nonlinear optimization and evolutionary algorithms. 2004
13. Roach L. Amy., “Evaluation of a Dispersive Correction Factor for the Interface Solution Simulated with the SWI Package. 2011.