

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΠΕΔΙΟΥ»**

ΚΥΡΙΤΣΑΚΑΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005

Στους γονείς μου, τους φίλους μου
και στην ΕΝΩΤΙΚΗ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΑ που ήταν για μένα
το «μεγαλύτερο σχολείο»

Ευχαριστίες

Με το τέλος της διπλωματικής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνεργάστηκαν μαζί μου για την εκπόνηση αυτής της μελέτης και αυτούς που διαμόρφωσαν την προσωπικότητά μου. Συγκεκριμένα:

- Τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καρατζά για την επιλογή του θέματος που μου ανάθεσε, την βοήθειά του όλο το εξάμηνο και την υπομονή του
- Τον καθηγητή του τμήματος Μ.Π.Δ. κ. Νικολό για την παραχώρηση του προγραμματιστικού πακέτου και της μεθοδολογίας που ο ίδιος έχει αναπτύξει.
- Τον μεταπτυχιακό φοιτητή Καρτεράκη Στέφανο για την πολύτιμη βοήθεια του και την υπομονή που έδειξε
- Την φοιτήτρια και πολύ καλή μου φίλη Βασιλεία Αλεξοπούλου που συνεργαστήκαμε για το μεγαλύτερο (σχεδόν όλο δηλαδή) κομμάτι της διπλωματικής και όπου φαίνεται η συνεργασία μας απέδωσε καρπούς.
- Τους φοιτητές Κρητικό Δημήτρη , Τσάφου Φωτεινή ,Φουντούλη Γεώργιο και Χήτα Κατερίνα για την συμπαράστασή τους κατά την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής
- Τον φοιτητή Σγούρο Αντώνη για την παραχώρηση του μηχανήματος προβολής που ο ίδιος δημιούργησε
- Τον φοιτητή Πετρόπουλο Παναγιώτη για την παραχώρηση του φορητού του υπολογιστή
- Τους υπόλοιπους φίλους μου στα Χανιά (Ψηλέ, Βάγγο. Γιαννιέ, Γεωργία σε σας κυρίως αυτό αλλά όχι μόνο) για την υπομονή και κατανόηση που έδειξαν όλη την διάρκεια συγγραφής της Διπλωματικής.
- Τους συντρόφους μου στην Ενωτική

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|------------------|
| Περίληψη..... | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..... | 5 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 5 |
| 1.1.1 Οι εξισώσεις του συστήματος..... | 5 |
| 1.1.2 Μοντέλα ροής υπογείων υδάτων..... | 12 |
| 1.1.3 Οριακές συνθήκες..... | 16 |
| 1.2 Το Φαινόμενο της Υφαλμύρισης | 18 |
| 1.2.1 Ορισμός..... | 18 |
| 1.2.2 Μέτωπο της υφαλμύρισης..... | 19 |
| 1.2.3 Αναχαίτιση της υφαλμύρισης | 20 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ..... | 21 |
| 2.1 Φυσικό Περιβάλλον..... | 21 |
| 2.1.1 Μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία..... | 22 |
| 2.1.2 Γεωλογικά - Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους..... | 26 |
| 2.1.3 Οικοσυστήματα..... | 26 |
| 2.1.4 Γεωμορφολογία της περιοχής..... | 26 |
| 2.1.5 Βλάστηση της περιοχής..... | 26 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΙ.ΠΕ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ..... | 27 |
| <u>3.1 Λειτουργία του Argus Interface.....</u> | <u>27</u> |
| <u>3.2 Εξισώσεις του αλγόριθμου PTC.....</u> | <u>28</u> |
| 3.2.1 Εισαγωγή..... | 28 |
| 3.2.2 Ροή υπογείων υδάτων στις τρεις διαστάσεις..... | 29 |
| 3.2.3 Τρισδιάστατη μεταφορά ρύπων..... | 35 |
| 3.3 Εφαρμογή του μοντέλου PTC στην περιοχή μελέτης | 37 |
| 3.3.1 Διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και αποτελέσματα προσομοίωσης..... | 37 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.2 Εύρεση μετώπου υφαλμύρωσης στην περιοχή μελέτης..... | 41 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ | |
| ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ..... | 44 |
| 4.1 Ορισμός προβλήματος..... | 44 |
| 4.2 Έλεγχος γραμμικότητας υπόγειου υδροφορέα στην περιοχή | |
| ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου..... | 46 |
| 4.2.1 Εισαγωγή..... | 46 |
| 4.2.2 Έλεγχος γραμμικής συμπεριφοράς στην περιοχή μελέτης.. | 51 |
| 4.3 Η Μέθοδος βελτιστοποίησης Simplex..... | 51 |
| 4.3.1 Εισαγωγή..... | 51 |
| 4.3.2 Διαδικασία εφαρμογής –Αποτελέσματα..... | 54 |
| 4.4 Βελτιστοποίηση με χρήση μεθόδων νευρωνικών δελτίων..... | 63 |
| 4.4.1 Εισαγωγή..... | 63 |
| 4.4.2 Το χρησιμοποιημένο νευρωνικό δίκτυο..... | 76 |
| 4.4.3 Διαδικασία - Εφαρμογής στο πεδίο..... | 81 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 95 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 100 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη έχει σαν στόχο τον περιορισμό του μετώπου της υφαλμύρινσης στην περιοχή της ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου με μεθόδους βελτιστοποίησης.

Αρχικά η ροή των υπογείων στην περιοχή μελέτης προσομοιώθηκε για 2 χρόνια στο μοντέλο PTC. Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και προσομοίωσης περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 αναλυτικότερα. Στην συνέχεια βρίσκουμε το μέτωπο της υφαλμύρινσης με όλες τις γεωτρήσεις να αντλούν με τις μέγιστες παροχές και το συγκρίνουμε με το μέτωπο της υφαλμύρινσης όταν όλες οι γεωτρήσεις είναι κλειστές.

Διαπιστώνοντας ότι πράγματι υπάρχει πρόβλημα υφαλμύρινσης καθώς το μέτωπο της υφαλμύρινσης ήταν πολύ πιο μέσα στην ενδοχώρα από ότι έπρεπε να είναι, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι βελτιστοποίησης: α) η μέθοδος Simplex και β) η μέθοδος των νευρωνικών ακτινικών δικτύων συναρτήσεων βάσης (RBF).

Πρωτού χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι βελτιστοποίησης γίνεται ορισμός του προβλήματος βελτιστοποίησης και έλεγχος της γραμμικότητας ή μη γραμμικότητας της σχέσης παροχή άντλησης-υδραυλικό ύψος που σημαίνει ότι το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι ή όχι γραμμικό. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι : εύρεση της μέγιστης δυνατής παροχής άντλησης στις γεωτρήσεις με ταυτόχρονο περιορισμό του μετώπου της υφαλμύρινσης. Ο υδροφορέας αν και ελεύθερος εμφανίζει περίπου γραμμική συμπεριφορά άρα το πρόβλημα είναι γραμμικό.

Στην συνέχεια εφαρμόζονται οι δύο μέθοδοι βελτιστοποίησης. Η Simplex μέθοδος χρησιμοποιείται μία φορά λόγω γραμμικής συμπεριφοράς της συνάρτησης. Η μέθοδος των RBF δικτύων βασίζει την λειτουργία της στην ικανότητα του βιολογικού νέυρωνα του ανθρώπου να λαμβάνει κάποια ερεθίσματα, να τα αξιολογεί και να βγάζει συγκεκριμένα συμπεράσματα.

Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και εξάγονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

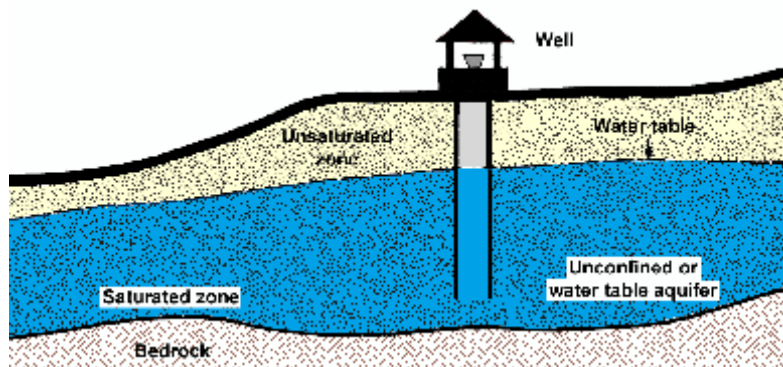
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.1 Οι εξισώσεις του συστήματος

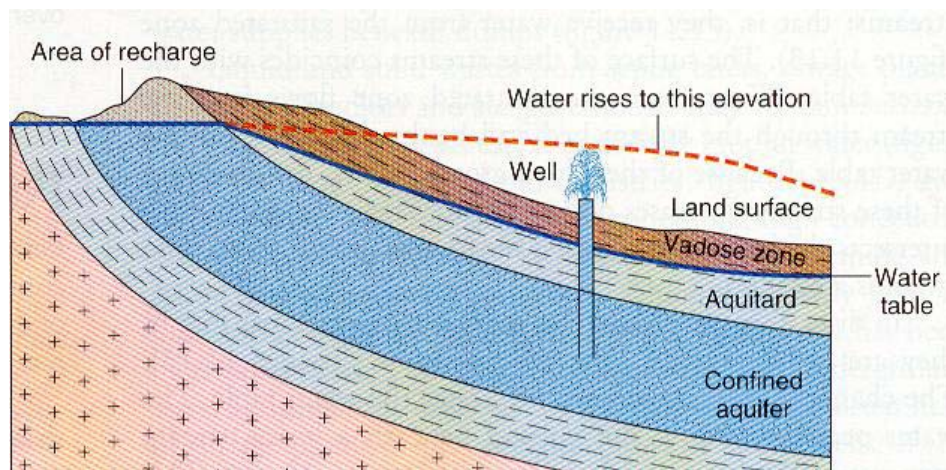
Ο όρος υπόγεια ύδατα αναφέρεται στις ποσότητες ύδατος που υπάρχουν στο υπέδαφος, στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Υπάρχουν δύο θεωρήσεις για τα συστήματα υπογείων υδάτων **η θεώρηση του υδροφορέα και η θεώρηση του συστήματος ροής.**

Ως υδροφορέα ορίζουμε έναν υπεδάφειο σχηματισμό που περιέχει σημαντικές ποσότητες διαπερατών υλικών κορεσμένων με ύδωρ και που προμηθεύουν φρέατα και πηγές με υδατικές ποσότητες. Η θεώρηση του υδροφορέα βασίζεται στην ταξινόμηση του υδροφορέα σε ελεύθερο και περιορισμένο. Ο περιορισμένος υδροφορέας καλύπτεται από ένα περιοριστικό στρώμα πορώδους υλικού που έχει σαν αποτέλεσμα να καθυστερεί την κίνηση του ύδατος ενώ ο ελεύθερος υδροφορέας έχει ως ανώτερη επιφάνειά του τον υδροφόρο ορίζοντα. Η θεώρηση αυτή βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση ανάλυσης της ροής προς τα πηγάδια άντλησης. Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή η ροή του υπόγειου ύδατος είναι πάντοτε οριζόντια μεταξύ των υδροφορέων και πάντα κάθετη μεταξύ των περιοριστικών στρωμάτων. Η ικανότητα ενός υδροφορέα να μεταφέρει ύδωρ εκφράζεται από την υδραυλική του διαπερατότητα. Το γινόμενο της διαπερατότητας επί το πάχος της κορεσμένης ζώνης ισούται με ένα χαρακτηριστικό μέγεθος γνωστό ως μεταβασιμότητα. Η μεταβασιμότητα ενός περιορισμένου ομογενούς υδροφορέα είναι σταθερή ενώ ενός ελεύθερου υδροφορέα είναι πάντα μεταβλητή χωρικά αφού το πάχος της κορεσμένης ζώνης εξαρτάται από το υδραυλικό ύψος του υδροφόρου ορίζοντα. Στην πραγματικότητα η διαπερατότητα και η μεταβιβασιμότητα είναι χωρικά μεταβλητές αφού οι υδροφορείς του πεδίου είναι πάντα ετερογενείς. Οι περιορισμένοι υδροφορείς με διαρροή μπορούν να προσομοιωθούν με μια ψευδό –τρισιδιάστατη προσέγγιση στην οποία η κάθετη ροή μέσα από τα περιοριστικά στρώματα αντιπροσωπεύεται από έναν όρο διαρροής που προσθέτει ή αφαιρεί ποσότητα ύδατος από υπερκείμενους ή υποκείμενους

υδροφορείς του περιορισμένου υδροφορέα με διαρροή. Η ποσότητα της διαρροής εξαρτάται από την υδραυλική κλίση του περιορισμένου υδροφορέα. . [Βιβλία 2],[Σημειώσεις 1]



Σχήμα 1.1 Ελεύθερος Υδροφορέας [Διπλωματική Εργασία Στεφανοπουλου Κυριάκου]



Σχήμα 1.1.2 Περιορισμένος Υδροφορέας [Διπλωματική Εργασία Στεφανοπουλου Κυριάκου]

Η γενική μορφή της εξίσωσης του συστήματος για την θεώρηση του υδροφορέα είναι:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + = S \frac{\partial h}{\partial t} - R + L \quad (1.1)$$

όπου

$$L = -K_z = \frac{h_{source} - h}{b}$$

Οι όροι στο αριστερό μέρος αντιπροσωπεύουν οριζόντια ροή μέσω του υδροφορέα όπου :

h : το υδραυλικό ύψος

T_x, T_y : οι συνιστώσες της μεταβιβασιμότητας

S : συντελεστής αποθηκευτικότητας

R : όρος εμπλουτισμού ή άντλησης που εδώ θεωρείται θετικό. Για άντληση $R = -W$

L : διαρροή του περιοριστικού στρώματος

K_z : Υδραυλική αγωγιμότητα

b : πάχος του υδροφορέα

h_{source} : υδραυλικό ύψος στο στρώμα που βρίσκεται στην άλλη πλευρά του περιοριστικού στρώματος

Παραδοχή : οι γραμμές ροής είναι οριζόντιες και οι ισοδύναμες γραμμές είναι κάθετες

Από την εξίσωση 1.1 λείπει η συνιστώσα στην διεύθυνση z . Αυτό γίνεται γιατί η μεταβιβασιμότητα στρογγυλοποιείται στο μέσο όρο στην κάθετη διεύθυνση γιατί θεωρούμε ότι πάντοτε περιγράφεται η δυσδιάστατη οριζόντια ροή σε έναν υδροφορέα.

Στην περίπτωση της θεώρησης συστήματος ροής δε χρειάζεται η ταυτοποίηση καθ'αυτών των υδροφορέων και των περιοριστικών στρωμάτων αλλά η κατασκευή της τρισδιάστατης κατανομής της ροής, της υδραυλικής αγωγιμότητας και των ιδιοτήτων της αποθηκευτικότητας σε κάθε σημείο του συστήματος. Η γενική εξίσωση του συστήματος ροής είναι :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (1.2)$$

όπου

K_x, K_y, K_z : συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας

S : ειδική αποθηκευτικότητα

R^* : γενικός όρος εμπλουτισμού ή άντλησης που στην εξίσωση θεωρείται θετικό(εμπλουτισμός) και δηλώνει την εισροή στο σύστημα ανά μονάδα όγκου υδροφορέα ανά μονάδα χρόνου . Για άντληση ισχύει $R^* = -W$. [Βιβλία 2]

Εξίσωση Boussinesq

Ισχύει ότι $T_x = K_x \cdot h$ και $T_y = K_y \cdot h$. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 1.1 προκύπτει η μη γραμμική εξίσωση Boussinesq:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + = S y \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad (1.3)$$

Το L είναι μηδέν και ο συντελεστής αποθήκευσης είναι ίσος με την ειδική αποθηκευτικότητα.

Επειδή ισχύει ότι :

$$\frac{\partial h^2}{\partial x} = 2h \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial h^2}{\partial y} = 2h \frac{\partial h}{\partial y}$$

Έτσι η εξίσωση 1.3 παίρνει την μορφή

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h^2}{\partial y} \right) + = 2Sy \frac{\partial h}{\partial t} - 2R \quad (1.4)$$

Η εξίσωση αυτή είναι μη γραμμική γιατί ο όρος h είναι υψωμένος στο τετράγωνο. Για την επίλυση της εξίσωσης έχουν αναπτυχθεί αριθμητικές μέθοδοι αλλά υπάρχει και καλύτερος τρόπος για να λυθεί το πρόβλημα γνωρίζοντας το πάχος του κορεσμένου υδροφορέα, η εξίσωση μπορεί να γραμμικοποιηθεί αποτελεσματικά σε ένα αριθμητικό μοντέλο. [Βιβλία 2]

Αριθμητικές μέθοδοι

Απλοποιώντας τις εξισώσεις 1.2 και 1.3 μπορούν να λυθούν αναλυτικά. Εκτός από εφαρμογές στην υδραυλική των πηγαδιών οι αναλυτικές λύσεις δε χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές. Σε πρακτικές εφαρμογές οι αριθμητικές λύσεις είναι πολύ πιο εύκολες στη χρήση από τις πιο σύνθετες αναλυτικές λύσεις.

Υπάρχουν 5 αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση του υπόγειου υδροφορέα : πεπερασμένων διαφορών, πεπερασμένων στοιχείων, ολοκληρωμένων πεπερασμένων διαφορών, η μέθοδος της ολοκληρωμένης οριακής εξίσωσης και η μέθοδος των αναλυτικών στοιχείων. Από αυτές οι δύο πρώτες είναι οι πλέον διαδεδομένες και οι δύο τελευταίες είναι σχετικά πρόσφατες συνεπώς λιγότερο διαδεδομένες για προβλήματα ροής υπογείων υδάτων.

Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λύνει μία ομάδα αλγεβρικών εξισώσεων που δημιουργούνται από προσέγγιση των μερικών διαφορικών εξισώσεων (εξίσωση του συστήματος, οριακές συνθήκες, αρχικές συνθήκες) οι οποίες αποτελούν μαθηματικό μοντέλο. Στις πεπερασμένες διαφορές και στα πεπερασμένα στοιχεία ενεργούν στο μαθηματικό μοντέλο και το μετατρέπουν σε μία μορφή που μπορεί να διαβαστεί εύκολα από υπολογιστή. Παράγεται έτσι μία ομάδα αλγεβρικών εξισώσεων που μπορεί να εκφραστεί μέσω πινάκων.

Η επιλογή ανάμεσα στα δύο μοντέλα εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος και από την προτίμηση του χρήστη. Οι πεπερασμένες διαφορές είναι πιο εύκολες στην κατανόηση και στον προγραμματισμό ενώ απαιτούν λιγότερα στοιχεία για την κατασκευή του πλέγματος. Τα πεπερασμένα στοιχεία είναι καλύτερα στην προσέγγιση των ορίων ακανόνιστου σχήματος από ότι οι πεπερασμένες διαφορές, είναι πιο εύκολα στο να προσαρμόσουν το μέγεθος των μεμονωμένων στοιχείων όπως και την τοποθεσία των ορίων διευκολύνοντας τη

διεύρυνση της επίδρασης που έχει στη λύση η διάταξη στο χώρο των κόμβων. Τα πεπερασμένα στοιχεία τέλος, διαχειρίζονται καλύτερα τα εσωτερικά όρια όπως οι ελαττωματικές ζώνες και μπορούν να προσομοιώνουν καλύτερα σημειακές πηγές ή καταβόθρες, επιφάνειες με διαρροή και κινούμενους υδροφόρους ορίζοντες από ότι οι πεπερασμένες διαφορές. Γενικά για όλους τους τύπους προβλημάτων η επιλογή μίας μεθόδου εξαρτάται καθαρά από τον χρήστη.

Έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών είναι μία ειδική περίπτωση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, οι μέθοδοι παρουσιάζουν διαφορές. Κυριότερη είναι η θεμελιώδης διαφορά φιλοσοφίας. Οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών υπολογίζουν μια τιμή για το υδραυλικό ύψος σε κάθε κόμβο που επίσης είναι το μέσο ύψος του κελιού γύρω από τον κόμβο αυτό. Δεν γίνεται καμιά υπόθεση για τον τρόπο που μεταβάλλεται το υδραυλικό ύψος από τον έναν κόμβο στον άλλο. Στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων όμως ορίζεται ακριβώς η μεταβολή του ύψους μέσα σε ένα στοιχείο με τη βοήθεια πολλαπλασιαστικών συναρτήσεων. [Βιβλία 2]

1.1.2 Μοντέλα ροής υπογείων υδάτων

Υπάρχουν πολλά είδη μοντέλων ροής υπογείων υδάτων. Υπάρχουν μοντέλα μεταβατικών ή σταθερών συνθηκών, για ελεύθερους ή περιορισμένους υδροφορείς, και μιας, δύο ή πολλών διαστάσεων. Για την κατασκευή θεμελιώδους μοντέλου είναι απαραίτητα τρία βήματα:

1. Ο καθορισμός των υδρογραφικών μονάδων

Πληροφορίες που περιέχονται σε γεωλογικούς χάρτες συνδυάζονται με δεδομένα της υδρογεωλογίας για να καθοριστούν οι υδρογραφικές μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Κατά τη διάρκεια κατασκευής του μοντέλου τα τοπικά συστήματα ροής, οι υδροφορείς και τα αδιαπέραστα στρώματα καθορίζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ως βάση των υδρογραφικών μονάδων.

2. Ο καθορισμός του υδατικού ισοζυγίου

Οι πηγές του συστήματος όπως και οι αναμενόμενες κατευθύνσεις ροής και τα σημεία εξόδου πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του μοντέλου. Οι εισροές περιέχουν υπόγεια εναπόθεση από βροχόπτωση, επιφανειακή ροή ή εναπόθεση από επιφανειακά νερά. Οι εκροές περιέχουν εξόδους από ανεξάντλητες πηγές, εναπόθεση σε ρέματα, εξατμισοδιαπνοή και άντληση. Υπόγεια ροή μπορεί να λαμβάνει χώρα τόσο στις εισροές όσο και στις εκροές. Το υδατικό ισοζύγιο όμως θα πρέπει να συγκεντρώνει την έκταση αυτών των ροών και να υπολογίζει τις αλλαγές στην αποθηκευτικότητα του υδροφορέα.

3. Ο καθορισμός του συστήματος της ροής.

Ο καθορισμός της ροής μπορεί να υπολογιστεί αποκλειστικά και μόνο σε φυσικά υδρολογικά δεδομένα αλλά για να είναι αξιόπιστο το μοντέλο. Το μοντέλο πρέπει να περιέχει πληροφορίες από την υδρογεωλογία της περιοχής. Για την κατασκευή του πλέγματος του αριθμητικού μοντέλου πρέπει να γίνει κατάταξη του μοντέλου όσον αφορά τη χωρική του διάταξη. Έτσι έχουμε τις εξής κατηγορίες μοντέλων:

- Δυσδιάστατα επιφανειακά (aquifer viewpoint)
- Δυσδιάστατα profile (flow system viewpoint)
- Ήμι-τρισδιάστατα (aquifer viewpoint)
- Τρισδιάστατα (flow system viewpoint)

Δυσδιάστατα επιφανειακά μοντέλα

Τα δυσδιάστατα επιφανειακά μοντέλα είναι κατάλληλα για να μελετήσουν τέσσερις διαφορετικούς τύπους υδροφορέων. Τους περιορισμένους υδροφορείς, τους περιορισμένους υδροφορείς με διαρροή, τους ελεύθερους και τους μεικτούς.

Περιορισμένοι υδροφορείς

Όταν προσομοιώνονται περιορισμένοι υδροφορείς, καθορίζεται η μεταβιβασιμότητα και ο συντελεστής αποθηκευτικότητας για κάθε κόμβο, κελί ή στοιχείο. Η μεταβολή στην μεταβιβασιμότητα μπορεί να αντιπροσωπεύει τις αλλαγές στην υδραυλική αγωγιμότητα ή το πάχος του υδροφορέα. Σε ένα δυσδιάστατο επιφανειακό μοντέλο η ανισορροπία στη μεταβιβασιμότητα παρουσιάζεται από τη διαφορά μεταξύ της

μεταβιβασιμότητας στις x και y κατευθύνσεις. Η υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να εκτιμηθεί από τη βιβλιογραφία ενώ οι τιμές της μεταβιβασιμότητας και του συντελεστή αποθηκευτικότητας από το τεστ άντλησης.

Περιορισμένοι υδροφορείς με διαρροή

Σε ένα σύστημα περιορισμένου υδροφορέα με διαρροή, το αδιαπέραστο στρώμα και ο παρακείμενος υδροφορέας που τροφοδοτεί τον περιορισμένο υδροφορέα δεν απεικονίζεται σαφώς στο μοντέλο αλλά εκπροσωπείται από έναν όρο διαρροής (leakance) ο οποίος ισούται με το λόγο της κάθετης υδραυλικής αγωγιμότητας (K_z) του αδιαπέραστου στρώματος ως προς το πάχος (b) αυτού.

$$\text{Leakance} = K_z / b$$

Πηγή νερού σε έναν περιορισμένο υδροφορέα με διαρροή είναι ή ένας άλλος περιορισμένος υδροφορέας ή ένας ελεύθερος ή ακόμη και επιφανειακά νερά.

Ελεύθεροι υδροφορείς

Στους ελεύθερους υδροφορείς χρησιμοποιούνται οι παραδοχές του Dupuit οι οποίες εξασφαλίζουν οριζόντια ροή με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν αλλαγές στο υδραυλικό ύψος σε σχέση με το βάθος. Χρησιμοποιώντας τις παραδοχές αυτές το τρισδιάστατο πρόβλημα μετατρέπεται σε δυσδιάστατο ή ακόμη και σε μονοδιάστατο. Το μοντέλο υπολογίζει τη στάθμη του υπόγειου νερού για κάθε κόμβο. Οι παραδοχές κάνει το μοντέλο είναι

- 1.Ο υδροφορέας είναι ομογενής και ισότροπος
- 2.Ο υδροφορέας όπως και το νερό είναι πρακτικά ασυμπίεστα
3. Η επιφάνεια του νερού βρίσκεται σε ηρεμία (δεν υπάρχει ροή)
- 4.Ο υδροφορέας κατά το χρονικό διάστημα που αντλείται, δεν επανατροφοδοτείται είτε από άμεσα είτε έμμεσα (υπερκείμενο ή υποκείμενο υδροφόρο στρώμα)
5. Ισχύει ο νόμος του Darcy

6. Υπάρχει μόνιμη ροή του νερού με τα συνεπακόλουθα όπως σταθερή πιεζομετρική επιφάνεια, σταθερή ακτίνα επίδρασης, σταθερές ταχύτητες ροής

7. Υπάρχει συναρμογή της επιφάνειας πτώσης στάθμης με τις εκατέρωθεν επιφάνειες του υπόγειου νερού και ειδικά με την επιφάνεια του νερού μέσα στο πηγάδι

8. Η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ροής είναι μηδενική ή αμελητέα σε σχέση με την οριζόντια και σαν συνέπεια αυτού σε όλα τα σημεία της κατακόρυφου η ταχύτητα είναι η ίδια

Η προσομοίωση απαιτεί πίνακες με τιμές για την υδραυλική αγωγιμότητα, το ενεργό πορώδες και το ύψος από ένα επίπεδο αναφοράς ή υπολογίζονται από τεστ άντλησης.

Μεικτοί υδροφορείς

Σε αυτά τα συστήματα υδροφορέα περιέχονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί που περιέχονται στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις. Ένας υδροφορέας μπορεί να διαφέρει χωροταξικά από έναν περιορισμένο σε έναν ελεύθερο ή και το αντίστροφο, σε κάθε περίπτωση όμως όλοι οι προαναφερθέντες πίνακες είναι απαραίτητοι.

Πηγή νερού σε έναν περιορισμένο υδροφορέα με διαρροή μπορεί να είναι είτε ένας άλλος περιορισμένος υδροφορέας είτε ένας ελεύθερος ή ακόμη και επιφανειακά νερά.

Ημι-τριδιάστατα μοντέλα

Ένα ημι-τριδιάστατο μοντέλο προσομοιώνει μια σειρά από υδροφορείς στους οποίους παρεμβάινουν αδιαπέραστα στρώματα. Όπως και στα δυσδιάστατα επιφανειακά μοντέλα με περιορισμένο υδροφορέα με διαρροή, τα αδιαπέραστα στρώματα δεν απεικονίζονται σαφώς σε ένα ημι-τριδιάστατο μοντέλο ούτε και το υδραυλικό ύψος. Η επίδραση των αδιαπέραστων στρωμάτων προσομοιώνεται από έναν όρο διαρροής L ο οποίος παρουσιάζει την κάθετη ροή ανάμεσα σε δυο υδροφορείς και είναι συνάρτηση της leakance και της διαφοράς του υδραυλικού ύψους κατά μήκος του αδιαπέραστου στρώματος. Όταν υπάρχει διαφορά τάξης μεγέθους μικρότερη από δυο ανάμεσα στην υδραυλική αγωγιμότητα του αδιαπέραστου στρώματος και του υδροφορέα τότε προτιμάται η χρήση του ημι-τριδιάστατου μοντέλου.

Τρισδιάστατα μοντέλα

Τα τρισδιάστατα μοντέλα οικειοποιούνται την προσέγγιση του συστήματος ροής και έχουν ουσιαστικά τα ίδια δεδομένα με ένα δυσδιάστατο επιφανειακό μοντέλο με τη μόνη διαφορά ότι οι παράμετροι πρέπει να είναι ξεχωριστοί για κάθε στρώμα του μοντέλου. Τα δυσδιάστατα profile ανήκουν σε μια ειδική κατηγορία μοντέλων, τα δεδομένα όμως είναι παρόμοια με τα δυσδιάστατα επιφανειακά και τα τρισδιάστατα. Αυτή η κατηγορία των μοντέλων χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει ελεύθερους υδροφορείς όταν η κάθετη κλίση του υδραυλικού ύψους είναι αρκετά μεγάλη. Τόσο οι πεπερασμένες διαφορές όσο και τα πεπερασμένα στοιχεία είναι αποτελεσματικά για να χρησιμοποιηθούν αλλά στην περίπτωση όπου έχουμε κίνηση της στάθμης του νερού τότε τα πεπερασμένα στοιχεία προτιμούνται. Επίσης τα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν παροδική απελευθέρωση νερού στα περιορισμένα στρώματα, στα οποία θεωρείται μια τιμή της ειδικής αποθηκευτικότητας. [Βιβλία 2]

1.1.3 Οριακές συνθήκες

Τύποι οριακών συνθηκών

Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούνται από τις εξισώσεις του συστήματος, τις οριακές συνθήκες και τις αρχικές συνθήκες. Οι οριακές συνθήκες είναι η μαθηματική δήλωση που καθορίζουν την εξαρτημένη μεταβλητή (στάθμη-head) ή την παράγωγο αυτής (ροή-flux) στα όρια της περιοχής του προβλήματος.

Η σωστή επιλογή των οριακών συνθηκών είναι ένα σημαντικό βήμα στην κατασκευή του μοντέλου. Σε προσομοιώσεις σταθερής κατάστασης (steady-state) τα όρια καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη μορφή της ροής. Από μελέτες που έγιναν (Franke et al,1987) εξάγεται το συμπέρασμα ότι η επιλογή των οριακών συνθηκών είναι το βήμα του μοντέλου προσομοίωσης που υπόκειται στα σοβαρότερα σφάλματα.

Τα φυσικά όρια των συστημάτων ροής υπογείων υδάτων σχηματίζεται από τη φυσική παρουσία ενός αδιαπέραστου στρώματος βράχου ή από ένα στρώμα επιφανειακού ύδατος. Άλλα όρια σχηματίζονται ως αποτέλεσμα υδρολογικών συνθηκών. Αυτά τα αόρατα υδραυλικά όρια περιλαμβάνουν υπόγεια χωρίσματα και ποτάμια.

Τα υδρογεωλογικά όρια εκφράζονται από τους τρεις ακόλουθους τύπους μαθηματικών συνθηκών:

Τύπος 1: Όρια καθορισμένου υδραυλικού ύψους (Συνθήκες Dirichlet) για τα οποία το υδραυλικό ύψος είναι δεδομένο.

Τύπος 2: Όρια καθορισμένης ροής (Συνθήκη Neumann) για τα οποία η παράγωγος της ροής (flux) κατά μήκος του ορίου είναι δεδομένη. Μια οριακή συνθήκη μηδενικής ροής (φράγμα) δίνεται τοποθετώντας τη σταθερή ροή ίση με μηδέν.

Τύπος 3: Όρια εξαρτημένης ροής από το υδραυλικό ύψος (συνθήκες Cauchy) για τα οποία η ροή κατά μήκος του ορίου υπολογίζεται με δεδομένη μια τιμή του υδραυλικού ύψους στο όριο. Αυτός ο τύπος οριακής συνθήκης καλείται μερικές φορές συνθήκη μικτού ορίου επειδή συσχετίζει τις οριακές τιμές της στάθμης με τη ροή. Υπάρχουν αρκετοί τύποι ορίων ροής εξαρτημένης από το υδραυλικό ύψος.

Η τοποθέτηση μιας οριακής συνθήκης στο πλέγμα εξαρτάται από το αν το χρησιμοποιούμενο πλέγμα είναι πεπερασμένων διαφορών ή πεπερασμένων στοιχείων. [Βιβλία 2]

1.2.2 Μέτωπο της υφαλμύρινσης

Το θαλασσίνο νερό επειδή είναι βαρύτερο τείνει να κινείται κάτω από το στρώμα του γλυκού νερού. Το γλυκό νερό όμως έχει υδραυλική κλίση που μειώνεται καθώς πλησιάζουμε προς την ακτή και έτσι ρέει προς τη θάλασσα. Αποτέλεσμα είναι η ορμή του νερού να εξισορροπεί την κατάσταση αντιστεκόμενη την κίνηση του αλμυρού νερού λόγω πυκνότητας. Αν δεν υπήρχε αυτή η δύναμη τότε το αλμυρό νερό θα συνέχιζε την πορεία του προς το εσωτερικό του υδροφορέα μέχρι να καταλάβει όλον τον υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Λόγω του εμπλουτισμού του υδροφορέα από τις βροχοπτώσεις αυτή η δύναμη του υδροφορέα θα υπάρχει πάντα και υπάρχει μία θέση ισορροπίας (μέτωπο υφαλμύρινσης) όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2.1. Μια απλή θεωρία που βοηθάει στην εύρεση του μετώπου της υφαλμύρινσης είναι η θεωρία των Ghyben – Hertzberg που υπολόγισαν το μέτωπο της υφαλμύρινσης από τη σχέση :

$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \approx 40h_f \quad (1.5)$$

Όπου:

h_s : η θέση της διεπιφάνειας κάτω από την στάθμη της θάλασσας

h_f : το υδραυλικό ύψος του νερού πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

ρ_f : η πυκνότητα του γλυκού νερού = 1 g/cm³

ρ_s ; η πυκνότητα του αλμυρού νερού = 1,025 g/cm³

Η συγκεκριμένη θεωρία , όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση ουσιαστικά αναφέρει ότι για κάθε μέτρο υδραυλικού ύψους του γλυκού νερού η διεπιφάνεια ωθείται 40 m προς τα κάτω. Σε περιοχές όμως που άντληση είναι πολύ μεγάλη το υδραυλικό ύψος του υδροφορέα μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα το θαλασσίνο νερό να εισχωρεί βαθιά μέσα στον υδροφορέα. Η σχέση Ghygen – Hertzberg είναι πολύ απλή , για ακριβέστερη προσέγγιση πρέπει να ληφθούν υπόψη η δυναμική κίνηση της υπόγειας ροής και η μεταφορά μάζας του άλατος. Για να βρεθεί η συγκέντρωση του άλατος στη μεταβατική ζώνη πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο μοντέλο μεταφοράς μάζας που να περιέχει εξισώσεις συμμεταφοράς και διασποράς. Αν όμως γίνεται προσομοίωση του υδροφορέα σε μικρή – τοπική κλίμακα τότε μπορούμε να χρησιμοποιείται η σχέση αυτή για τον υπολογισμό του μετώπου της υφαλμύρινσης για να απλοποιηθεί το πολύπλοκο τρισδιάστατο πρόβλημα σε πρόβλημα δύο διαστάσεων.[Δπλωματικές 1]

1.2.3 Αναχαίτιση της υφαλμύρωσης

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αναχαίτισης της υφαλμύρισης είναι η ομαλοποίηση της εξαντλητικής δραστηριότητας. Ο όγκος της άντλησης πρέπει το πολύ να ισούται με τον όγκο της φυσικής αναπλήρωσης ούτως ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο. Η βελτιστοποίηση της άντλησης με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης με παράλληλη ελαχιστοποίηση της διείσδυσης θαλασσινού νερού είναι απαραίτητο να συμβαίνει κάθε φορά ούτως ώστε να αναχαιτίζεται η υφαλμύρωση. Άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναχαίτιση της υφαλμύρωσης είναι η αναπλήρωση του υδροφορέα με εμπλουτισμό από πηγάδια. Το νερό που χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό είναι συνήθως επεξεργασμένο από λύματα. Αναπλήρωση επιτυγχάνεται και με άντληση του θαλασσινού νερού από την περιοχή της υφαλμύρισης για να περιορισθεί η εξάπλωση του φαινομένου προς το εσωτερικό των υδροφορέων με την προϋπόθεση της εύρεσης του τρόπου διάθεσης του θαλασσινού νερού που αντλείται. Τέλος, σε περιοχές που γνωρίζουμε από που διαφεύγει το γλυκό νερό, το φαινόμενο της υφαλμύρωσης μπορεί να αποφευχθεί τοποθετώντας φυσικά εμπόδια όπως χαμηλής διαπερατότητας τοίχοι, που εμποδίζουν τη ροή του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ2: ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.1.1 Μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα της Κρήτης είναι γενικά Μεσογειακό προς το Θαλάσσιο Μεσογειακό αλλά στα Ηπειρωτικά είναι Ηπειρωτικό Μεσογειακό. Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Κρήτη κυμαίνεται στους 14 με 15 °C . Από άποψη κλίματος το κλίμα της Κρήτης είναι γενικά ήπιο. Ο χειμώνας αρχίζει περί τα μέσα Δεκέμβρη και είναι αρκετά ήπιος. Οι πιο κρύοι μήνες του χρόνου είναι ο Φλεβάρης και ο Ιανουάριος όπου η θερμοκρασίες τους είναι αισθητά μικρότερες από τους επόμενους και προηγούμενους μήνες. Το καλοκαίρι είναι σχετικά δροσερό και διαρκεί τουλάχιστον 4 μήνες. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα παραθαλάσσια μέρη προς τα ηπειρωτικά.

Για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης της ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου υπάρχουν τα εξής χαρακτηριστικά(πηγή μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου Latitude 35⁰ και Longitude 25⁰):

Κατακρημνίσεις

Το ετήσιο ύψος βροχής είναι 485,5 mm. Η πορεία των βροχοπτώσεων παρουσιάζει ελάχιστο στους καλοκαιρινούς μήνες Αύγουστο και Ιούνιο (0,7 mm) και μέγιστο τον Ιανουάριο (91,7 mm). Χιονοπτώσεις είναι πολύ σπάνιο φαινόμενο στην περιοχή.

Άνεμοι

Οι επικρατούντες άνεμοι είναι βόρειοι αλλά υπάρχει και παρουσία νότιων ανέμων. Μέγιστες εντάσεις στην περιοχή φτάνουν τα 10 Beau forts. Ισχυροί άνεμοι εντάσεως 4 – 5 Beau forts πνέουν σχετικά συχνά στην περιοχή (43%). Οι πιο συχνοί από αυτούς είναι οι βορειοδυτικοί. Τους χειμερινούς μήνες επικρατούν οι νότιοι άνεμοι ενώ από τον Απρίλιο και μετά επικρατούν οι βορειοδυτικοί.

2.1.2 Γεωλογικά - Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους

2.1.2.1 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου επικρατούν νεογενείς αποθέσεις (κυρίως μάργες, αργυλοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Στην περιοχή μελέτης κοντά στο δήμο Αλικαρνασσού εμφανίζονται επίσης και ανθρακικοί σχηματισμοί του προνεογενούς.

Στην περιοχή ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον εμφανίζουν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι λόγω καρσικότητας και ρωγμών θεωρούνται υδροπερατοί. Αυτοί πρέπει να θεωρούνται ότι έχουν υδροφορείς μιας και οι υπόλοιποι σχηματισμοί είναι αδιαπέραστοι λόγω σύστασης και της κοκκομετρίας τους και δεν επιτρέπουν στο νερό της βροχής να διεισδύσει και να πάει στους υδροφορείς. Στην περιοχή της Καλλιθέας τα πετρώματα είναι νεογενείς αποθέσεις από φυλλώδεις μάργες, άργιλους, γύψους και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Υδροφορείς βρίσκονται σε περιοχές που επικρατούν οι γύψοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ενώ σε περιοχές που επικρατούν οι φυλλώδεις μάργες οι γεωτρήσεις έδειξαν μόνο πολύ μικρές παροχές.

Στην περιοχή μελέτης μας διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν δύο υδροφορείς ο ένας πάνω στον άλλο και κάθε υδροφορέας έχει κάποιες γεωλογικές διαφορές από τον άλλο.

Οι γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης μας είναι πολλές αλλά η παροχή με την οποία αντλούν οι περισσότερες από αυτές είναι πολύ μικρή οπότε δεν μεταβάλλουν τον υδροφορέα. Πέντε γεωτρήσεις όμως, που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης αντλούν με αρκετά μεγάλη παροχή με αποτέλεσμα να μεταβάλλουν τον υδροφορέα. Τα τρία από αυτά τα πηγάδια βρίσκονται στο χώρο της ΒΙ.ΠΕ. ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται στο δήμο νέας Αλικαρνασσού.

Στις επόμενες δύο σελίδες παρατίθενται : ο πίνακας που δείχνει τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για τις γεωτρήσεις, ο πίνακας που

δείχνει γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης καθώς και ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης .

Πίνακας 2.1.Γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης

| Αριθμός Γεώτρησης | Περιοχή | Ιδιοκτήτης | Βάθος (m) | Απόλυτο υψόμετρο (m) | Παροχή (m ³ /day) |
|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------|
| Γ.8 | ΒΙ.ΠΕ. | ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ | 108 | 82,5 | 1920 |
| Γ.4 | ΒΙ.ΠΕ | ΕΤΒΑ ΒΙΠΕ | 120 | 92,5 | 1920 |
| Γ.3 | ΒΙ.ΠΕ | Αφοί Κονιόρδου Α.Ε | 108 | 93 | 1920 |
| Γ.14 | Νέα Αλικαρνασσός | ΤΡΑΝΣ ΜΠΕΤΟΝ Α.Ε. | 25 | 36 | 480 |
| Γ.22 | Νέα Αλικαρνασσός | Δήμος Νέας Αλικαρνασσού | 25 | 22 | 576 |

Σημείωση: Η περιοχή στην γεώτρηση Γ.22 είναι ουσιαστικά το άθροισμα των παροχών των μικρών γεωτρήσεων που υπάρχουν στην περιοχή του δήμου Αλικαρνασσού και χρησιμοποιούνται από τον δήμο για να εξυπηρετήσουν δικές τους ανάγκες.

Οι γεωτρήσεις Γ.8 , Γ.4 ,Γ.3,Γ.14 είναι για βιομηχανική χρήση ενώ η γεωτρήση Γ.22 χρησιμοποιείται για πότισμα πάρκων και πρασίνου της περιοχής.

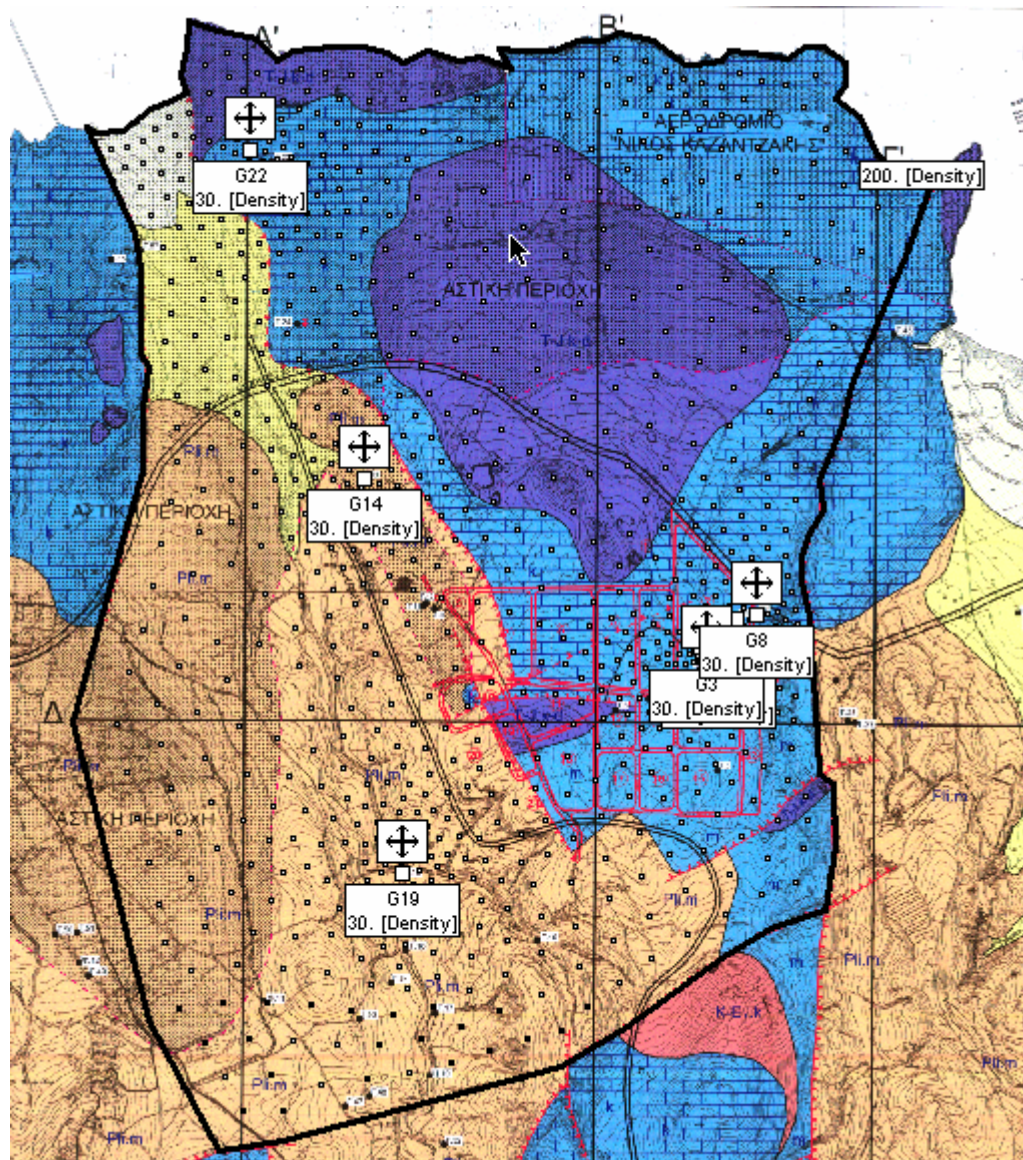
Πίνακας 2.2.Πετρώματα της περιοχής μελέτης και η υδραυλική τους αγωγιμότητα στο κατώτερο στρώμα(layer)

| Είδος Πετρώματος | Υδραυλική αγωγιμότητα(m/d) |
|---|----------------------------|
| Δολομιτικοί Ασβεστόλιθοι (Μωβ χρώμα) | 10,5 |
| Βιοκλαστικοί Ασβεστόλιθοι (Γαλάζιο) | 77,6 |

Πίνακας 2.3.Πετρώματα της περιοχής μελέτης και η υδραυλική τους αγωγιμότητα στο κατώτερο στρώμα(layer)

| Είδος Πετρώματος | Υδραυλική αγωγιμότητα(m/d) |
|---|----------------------------|
| Δολομιτικοί Ασβεστόλιθοι (Μωβ χρώμα) | 10,5 |
| Βιοκλαστικοί Ασβεστόλιθοι (Γαλάζιο) | 77,6 |
| Άμμοι ακτών (Άσπρο-Μπεζ) | 260 |

Σημείωση: Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας έχουν παρθεί από συγκεκριμένη βιβλιογραφία



Χάρτης 2.1:Γεωλογικός χάρτης της περιοχής με τα όρια της περιοχής μελέτης και τις θέσεις των πηγαδιών.

Σημείωση: Με τη μαύρη γραμμή ξεχωρίζει το όριο της περιοχής μελέτης.

Το πηγάδι Γ.19 αν και έχει αρκετά μεγάλη παροχή άντλησης δεν το υπολογίζουμε στην προσομοίωση γιατί βρίσκεται αρκετά μακριά από την ακτή.

2.1.2.2. Σεισμικότητα της περιοχής

Η Κρήτη από απόψεως σεισμικής επικινδυνότητας κατατάσσεται στην κατηγορία ΙΙΙ, σε σύνολο τεσσάρων για όλη τη χώρα.

2.1.2.3 Εδάφη

Τα εδάφη στο μεγαλύτερο μέρος τους είναι αποτέλεσμα δράσης των διεργασιών διάβρωσης. Το μητρικό πέτρωμα των εδαφών είναι ασβεστόλιθος (κυρίαρχο πέτρωμα στην περιοχή).

2.1.3 Οικοσυστήματα

Η δασική βλάστηση της παράκτιας περιοχής κατατάσσεται στην «Θερμομεσογειακή διάπλαση Ανατολικής Μεσογείου» και ένα μέρος της έκτασης προς τα ορεινά της ευρύτερης περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως «Μέσο-μεσογειακή διάπλαση της Αριάς» τύπος βαλκανικός της Μεσογείου.

2.1.4 Γεωμορφολογία της περιοχής

Η περιοχή έχει έντονο ανάγλυφο, υποβαθμισμένο όμως σε χαρακτηριστικά σημεία. Είναι πλούσιο σε χώνους(δολίνες) που οφείλονται στην ασβεστολιθική σύσταση των πετρωμάτων και της τεκτονικής τους. Έτσι η κατανομή των ορεινών όγκων με τη δαντελωτή μορφή των ακτών δημιουργούν συνθήκες μεγάλης ποικιλίας μικροτοπίων.

2.1.5 Βλάστηση της περιοχής

Το λιγοστό πεδινό έδαφος χαρακτηρίζεται από καλλιέργεια ελιάς, από μικρές άγονες ή χέρσες εκτάσεις και μικρή περιοχή γης υψηλής παραγωγικότητας(θερμοκήπια). Οι ορεινές εκτάσεις αποτελούμενες από ημιβραχώδη ή ασβεστολιθικά εδάφη χαρακτηρίζονται ως γυμνές εκτάσεις σε συνθήκες έντονης υποβάθμισης, ή κατάλοιπα παλαιότερων δασικών εκτάσεων.

Η βλάστηση στην περιοχή μελέτης έχει την ποικιλία της βλάστησης που υπάρχει και στην υπόλοιπη Κρήτη αλλά με μικρή οπτική ποιότητα. [Μελέτες 1,2]
,[Διπλωματικές1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΙ.ΠΕ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ARGUS INTERFACE

Το Argus interface είναι ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) ανεξάρτητο από μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση με χρήση αριθμητικών μεθόδων. Η μεγάλη ποικιλία μοντέλων που υποστηρίζει το Argus το κατατάσσει ως απαραίτητο εργαλείο για την μελέτη των υπογείων υδάτων. Το Argus χρησιμοποιείται ευρύτατα από Υδρολόγους για μελέτη της ροής των υπογείων υδάτων.

Το μοντέλο PTC που χρησιμοποιεί μεθόδους πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων για μελέτη υπογείων υδάτων και που χρησιμοποιούμε στην παρούσα διπλωματική για την προσομοίωση της υπόγειας ροής στην ΒΙ.ΠΕ. υποστηρίζεται από το Argus.

3.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ PTC

3.2.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια αναλύεται καλύτερα ο αλγόριθμος λειτουργίας PTC (Princeton Transport Code). Το PTC είναι γραμμένο σε γλώσσα Fortran 77 και χρησιμοποιεί το ακόλουθο σύστημα των μερικών διαφορικών εξισώσεων για να παρουσιάσει την ροή των υπογείων υδάτων που περιγράφεται από το υδραυλικό ύψος h ,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (3.1)$$

την ταχύτητα των υπόγειων υδάτων και στις 3 κατευθύνσεις ,

$$V_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad V_y = -K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}, \quad V_z = -K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3.2)$$

και τέλος τη μεταφορά ρύπων που περιγράφεται με τη συγκέντρωση τους C

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] - \left[V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] \\ & + Q(c^w - c) - \theta [1 + E(c)] \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Αυτές οι εξισώσεις προέρχονται από τους νόμους της διατήρησης της μάζας και του νόμου Darcy. Παρακάτω αναλύεται καλύτερα τι σημαίνει το κάθε σύμβολο και πως λύνεται η κάθε σχέση. Η λύση αυτών των εξισώσεων προχωρά με την

ακόλουθη σειρά: αρχικά λύνεται η 3.1 εξίσωση και βρίσκει τα υδραυλικά ύψη h μετά την 3.2 εξίσωση και βρίσκει τις ταχύτητες και στις 3 κατευθύνσεις και τέλος λύνει την 3.3 εξίσωση και βρίσκει την συγκέντρωση των ρύπων.

Για πραγματικά συστήματα σε κλίμακα πεδίου ο υπολογιστικός φόρτος που απαιτείται για την επίλυση αυτών των τρισδιάστατων εξισώσεων είναι μεγάλος. Για το λόγο αυτό το PTC χρησιμοποιεί ένα μοναδικό αλγόριθμο διαχωρισμού ο οποίος μειώνει σημαντικά τον υπολογιστικό φόρτο.

Ο αλγόριθμος αυτός περιλαμβάνει διαχωρισμό της περιοχής ελέγχου σε παράλληλα οριζόντια επίπεδα. Σε κάθε επίπεδο χρησιμοποιείται διακριτοποίηση πεπερασμένων στοιχείων [Pinder and Gray, 1977] για να παρουσιαστούν σε ορθή απεικόνιση πεδία με ακανόνιστο σχήμα. Τα επίπεδα συνδέονται κάθετα με διακριτοποίηση **πεπερασμένων διαφορών**. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σε δύο βήματα. Στο πρώτο όλες οι οριζόντιες πεπερασμένες διακριτοποιήσεις στοιχείων λύνονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Στο δεύτερο βήμα, επιλύονται οι κάθετες εξισώσεις οι οποίες συνδέουν τα επίπεδα μεταξύ τους. [Σημειώσεις 6]

3.2.2 Ροή υπογείων υδάτων στις τρεις διαστάσεις

3.2.2.1 Κύρια Εξίσωση

Το Ptc καθορίζει τα χαρακτηριστικά ροής ενός συστήματος υπόγειων υδάτων με την επίλυση μέσω της ακόλουθης μερικής διαφορικής εξίσωσης για τον υδραυλικό ύψος :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) = 0 \quad (3.4)$$

όπου

h : το υδραυλικό ύψος [L]

K_{xx} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη x οριζόντια διεύθυνση [LT^{-1}]

K_{yy} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη y οριζόντια διεύθυνση [LT^{-1}]

K_{zz} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη z κατακόρυφη διεύθυνση [LT^{-1}]

S : ο συντελεστής αποθηκευτικότητας [L^{-1}]

Q_i : είναι ο όρος πηγής/χώρος αποθήκευσης στη θέση i [L^3T^{-1}] (για αντλίες: θετικός σε περίπτωση εμπλουτισμού)

$\delta(\cdot)$: η συνάρτηση δέλτα του Dirac

r : ο αριθμός των σημείων πηγών-χώρων αποθήκευσης

Για ευκολία, ο τελευταίος όρος στη 3.1 εξίσωση συμβολίζεται ως Q . Η κύρια εξίσωση 3.1 λύνεται αριθμητικά από το `ptc` χρησιμοποιώντας μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων και διαφορών. [Σημειώσεις 6]

3.2.2.2 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων

Το PTC για να επιλύσει την εξίσωση 3.1 μετατρέπει τους όρους της εξίσωσης που περιέχουν παραγώγους σε x και y μεταβλητές χρησιμοποιώντας τη μέθοδο **πεπερασμένων στοιχείων**. Πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιούνται στο οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιούνται πολύ συχνά.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων υποθέτει ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός συναρτήσεων που δίνουν την ακριβή λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης που περιγράφει την ροή υπογείων υδάτων.

Μια πεπερασμένη μορφή προσέγγισης της σειράς αυτής είναι η εξής:

$$h(x, y, z, t) \sim \hat{h}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^N h_i(z, t) \omega_i(x, y) \quad (3.5)$$

όπου

h : το υδραυλικό ύψος [L]

\hat{h} : η σειρά που προσεγγίζει το h [L]

h_i : ένας απροσδιόριστος συντελεστής [L]

ω_i : μια συνάρτηση βάσης (ή παρεμβολής) (αδιάστατη) και

N : ο αριθμός των κόμβων στο πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.

Η προσεγγιστική σειρά 3.4 παρουσιάζει σωστά την κατάσταση όσο το N προσεγγίζει το άπειρο (το \hat{h} προσεγγίζει το h). Με προσεχτική επιλογή των συναρτήσεων βάσης ω_i ο απροσδιόριστος συντελεστής h_i γίνεται κύρια τιμή του υδραυλικού ύψους στους κόμβους με συντεταγμένες (x,y,z) . Ένα κλειδί στην υπολογιστική αποδοτικότητα της μεθόδου είναι η χρήση της συνεχούς τμηματικής συνάρτησης βάσης, που είναι μη μηδενική μόνο σε μια πολύ μικρή υποπεριοχή του συνολικού πεδίου. Παρόλο που υπάρχουν πολλοί τύποι συναρτήσεων βάσης, το PTC χρησιμοποιεί τμηματικές γραμμικές βασικές συναρτήσεις μεταξύ γειτονικών κόμβων πεπερασμένων στοιχείων.

Στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων παρατηρείται ότι παρόλο που ο διαφορικός τελεστής L ως προς h ισούται με το μηδέν, όταν λειτουργεί στη προσεγγιστική συνάρτηση παρουσιάζεται σφάλμα. Η εξίσωση 3.1 ξαναγράφεται με μαθηματικό τρόπο ως εξής:

$$L(h) = 0 \quad (3.6)$$

ενώ

$$L(\hat{h}) = R \quad (3.7)$$

όπου R το υπόλοιπο σφάλμα.

Για να λυθεί η εξίσωση 3.4 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων πρέπει να προσπαθήσουμε να ελαχιστοποιήσουμε το υπόλοιπο σφάλμα R . Μπορούμε να το επιτύχουμε επιτυγχάνεται θεωρώντας αρχικά ένα πλήρες σύνολο συναρτήσεων w_j . Επιδιώκοντας το σφάλμα R να είναι ορθογωνικό σε όλες τις πιθανές τιμές του w_j , ουσιαστικά υποχρεώνουμε το R να τείνει στο μηδέν και έτσι λαμβάνεται η λύση της εξίσωσης (4). Δηλαδή πιο απλά ισχύει:

$$L(\hat{h}) = L(h) \quad \text{όταν } R=0 \quad (3.8)$$

Μετά από πράξεις καταλήγουμε στην σχέση:

$$\begin{aligned}
 & \iint_{\Omega} [K_{xx} (\sum_{j=1}^N h_j \frac{\partial \omega_j}{\partial x}) \frac{\partial \omega_i}{\partial x} + K_{yy} (\sum_{j=1}^N h_j \frac{\partial \omega_j}{\partial y}) \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \\
 & - \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial}{\partial z} \sum_{j=1}^N h_j \omega_j) \omega_j + S \frac{\partial}{\partial t} (\sum_{j=1}^N h_j \omega_j) \omega_i - Q \omega_i] dx dy \\
 & - \int_{\sigma} \left[K_{xx} \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} l_y \right] \omega_i d\sigma = 0
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

όπου:

$$i=1,2,\dots,N$$

Ω : η περιοχή ολοκλήρωσης που καλύπτει ολόκληρη την οριζόντια τομή της περιοχής ροής και l_x, l_y τα συνημίτονα κατεύθυνσης των γωνιών που σχηματίζονται μεταξύ του κανονικού ορίου σ (το $d\sigma$ αντιπροσωπεύει ένα μικρό μήκος του ορίου) και των αξόνων x και y . [Σημειώσεις 6]

3.2.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών

Χρησιμοποιώντας πίνακες και διανύσματα στήλης η εξίσωση 3.8 γράφεται ως εξής:

$$Ah + B \frac{\partial h}{\partial t} - v + f = 0 \tag{3.10}$$

όπου A και B είναι $(N \times N)$ τετραγωνικοί πίνακες και τα $h, \partial h / \partial t, v, f$ είναι διανύσματα στήλης μήκους N . Τα στοιχεία των A, B, v και f είναι:

$$A_{ij} = \iint_{\Omega} [K_{xx} \frac{\partial \omega_i}{\partial x} \frac{\partial \omega_j}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial \omega_i}{\partial y} \frac{\partial \omega_j}{\partial y}] dx dy \tag{3.11}$$

$$B_{ij} = \iint_{\Omega} S \omega_i \omega_j dx dy \tag{3.12}$$

$$f_i = -\iint_{\Omega} Q \omega_i dx dy - \int_{\sigma} [K_{xx} \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} l_y] \omega_i d\sigma \quad (3.13)$$

$$v_i = \sum_{j=1}^N [\iint_{\Omega} \frac{\partial}{\partial z} (K_{xx} \frac{\partial h_j}{\partial z}) \omega_i \omega_j dx dy] \quad (3.14)$$

3.2.2.4. Η Κάθετη Παράγωγος

Το βασικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου κώδικα είναι η χρήση ενός κεντρικού διαφορετικού σχεδίου για τις χωρικές παραγώγους στη z διεύθυνση της εξίσωσης 3.13. Η κάθετη διακριτοποίηση επιτυγχάνεται με την επανάληψη των οριζόντιων δικτύων πεπερασμένων στοιχείων σε επίπεδα, με τους κόμβους να βρίσκονται ο ένας πάνω στον άλλο (Βλέπε σχήμα παρακάτω). Αυτό σημαίνει ότι στην κάθετη διεύθυνση μια μονοδιάστατη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών μπορεί προσεγγίσει τη εξίσωση 3.13. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη k ως κάθετο δείκτη, όπου k=1 για το κατώτερο επίπεδο, η προσέγγιση μπορεί να γραφτεί σε μορφή πινάκων ως εξής:

$$v \cong C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1}) \quad (3.15)$$

όπου ο αρμονικός μέσος όρος των ιδιοτήτων των γειτονικών επιπέδων χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των στοιχείων του C_k^+ , κάθετου όρου μεταξύ των επιπέδων k και k+1, και C_k^- ως κάθετος όρος μεταξύ των επιπέδων k και k-1

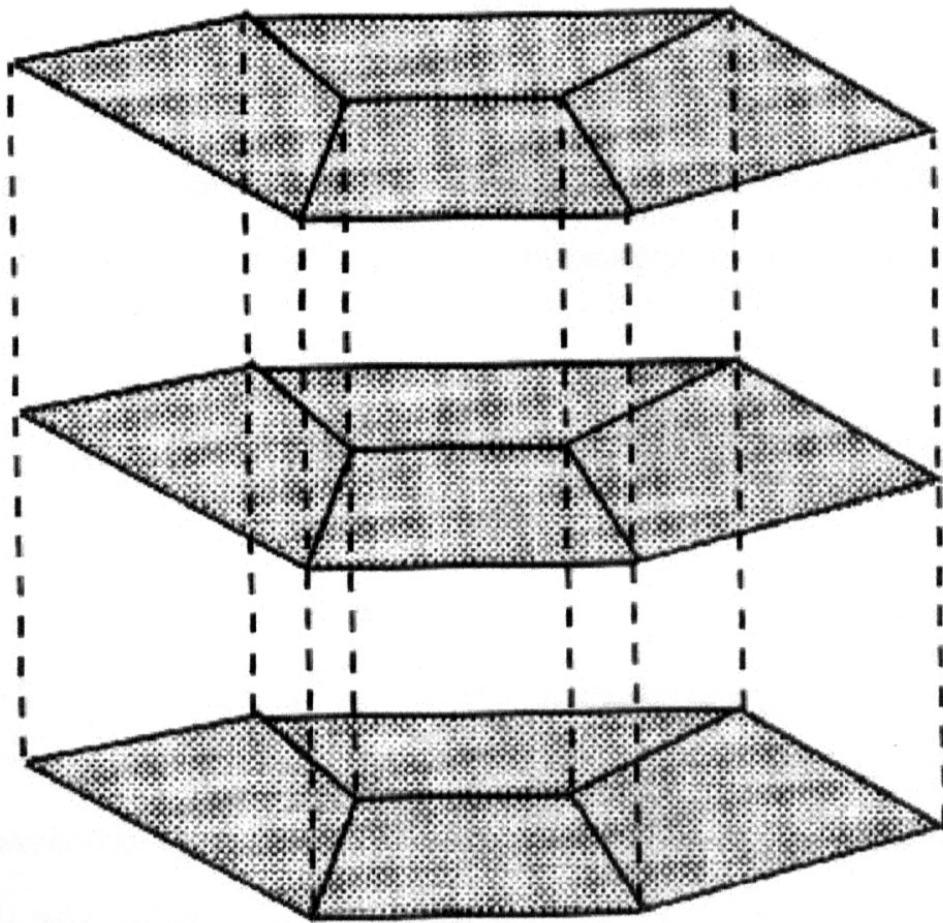
$$C_{ij,k}^{\pm} = \iint_{\Omega} \frac{2}{\Delta z_k [\Delta z_{k\pm 1} / (K_{zz})_k + \Delta z_k / (K_{zz})_{k\pm 1}]} \omega_i \omega_j dx dy \quad (3.16)$$

όπου (Δz_k) είναι το πάχος του k επιπέδου στο σημείο προσέγγισης. Ο αρμονικός μέσος όρος δίνει τις ρεαλιστικότερες ποσότητες στις ετερογενείς καταστάσεις που αντιμετωπίζονται συνήθως.

Με αντικατάσταση της εξίσωσης 3.15 στην 3.10 παράγεται η ακόλουθη έκφραση για ένα k επίπεδο:

$$A_k h_k + B_k \frac{\partial h_k}{\partial t} - [C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1})] + f_k = 0 \quad (3.17)$$

όπου το h_k αντιπροσωπεύει το διάνυσμα h των υδραυλικών υψών στο k^o επίπεδο, $k=1,2,\dots,M$, και M ο αριθμός των επιπέδων στην z κατεύθυνση. [Σημειώσεις 6]



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση των οριζόντιων πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων τα οποία είναι το ένα πάνω στο άλλο, παράγοντας τρισδιάστατη διακριτοποίηση. [Σημειώσεις 6]

3.2.3.5 Η Χρονική Παράγωγος

Η συνεπαγόμενη “προς τα πίσω” διαφορική προσέγγιση της χρονικής παραγώγου παρέχει την πιο ακριβή λύση για τα προβλήματα ροής υπογείων υδάτων, για ένα δεδομένο κόστος. Στην “προς τα πίσω” διαφορική απεικόνιση χρησιμοποιείται ένα 1ης τάξης σωστό πλάνο για την προσέγγιση της χρονικής παραγώγου και οι χωρικές παράγωγοι γράφονται πάνω στο νέο χρονικό επίπεδο. Εφαρμόζοντας το σχέδιο αυτό στη χρονική παράγωγο στην εξίσωση 3.16 για κάθε επίπεδο, προκύπτει η παρακάτω σχέση;

$$A_k h_k^{(t+\Delta t)} + \frac{(B_D)_k}{\Delta t} [h_k^{(t+\Delta t)} - h_k^t] - [C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1})]^{t+\Delta t} + f_k^t = 0 \quad (3.18)$$

Η εξίσωση 3.18 είναι η πλήρης διακριτοποίηση της 3.1 και μας παρέχει $M \times N$ εξισώσεις στους N αγνώστους της 3.4 πάνω σε κάθε ένα από τα M επίπεδα. [Σημειώσεις 6]

3.2.3 Τρισδιάστατη μεταφορά ρύπων

3.2.3.1 Βασικές Εξισώσεις

Η εξίσωση μεταφοράς ρύπων είναι η ακόλουθη

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] - \left[V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] \\ & + Q(c^w - c) - \theta [1 + E(c)] \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.19)$$

Οι όροι της διασποράς της εξίσωσης 3.19 καθορίζονται από τις σχέσεις (κατά Burnett και Frind [1987]):

$$\begin{aligned} D_{xx} &= (a_L V_x^2 + a_T V_y^2 + a_V V_z^2) / V + D_M \\ D_{yy} &= (a_T V_x^2 + a_L V_y^2 + a_V V_z^2) / V + D_M \\ D_{zz} &= (a_V V_x^2 + a_V V_y^2 + a_L V_z^2) / V + D_M \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$D_{yx} = D_{xy} = (a_L - a_T)V_x V_y / V$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (a_L - a_V)V_y V_z / V$$

$$D_{zx} = D_{xz} = (a_L - a_V)V_z V_x / V$$

όπου

D_M : ο συντελεστής μοριακής διάχυσης (γενικά μικρός) [L^2/T]

a_L : ο συντελεστής διαμήκους διασποράς [L]

a_T : ο συντελεστής οριζόντιας εγκάρσιας διασποράς [L]

a_V : ο συντελεστής κατακόρυφης εγκάρσιας διασποράς [L]

V : το μέτρο της ταχύτητας [L/T] ()

c : η χημική συγκέντρωση της ουσίας στο σημείο (x,y,z) τη χρονική στιγμή t [ML^{-3}]

θ : το πορώδες του υδροφορέα [αδιάστατο]

$E(c)$: η συνάρτηση που απεικονίζει τις ιδιότητες της χημικής προσρόφησης

Q : η ισχύς (πηγής/χώρου αποθήκευσης) της άντλησης [1/T]

$$(Q \equiv Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i))$$

Q_i : ο ρυθμός ογκομετρικής εγχύσης [$L^{-3}T^{-1}$] στο σημείο (x,y,z)

c^w : η συγκέντρωση του αντλούμενου υγρού στο σημείο (x_i, y_i, z_i)

$\delta()$: η συνάρτηση δέλτα του Dirac

Σε όλες τις περιπτώσεις άντλησης ρευστού από αντλία ($Q_i \leq 0$) υποθέτουμε ότι η συγκέντρωση του αντλούμενου (υγρού) νερού c^w στην αντλία ισούται με τη συγκέντρωση του υπόγειου ύδατος είναι ίσο με τη συγκέντρωση c . Συνεπώς για όλες τις αντλίες άντλησης ο όρος $Q(c^w - c)$ της εξίσωσης 3.19 ισούται με μηδέν. Ο κώδικας επομένως διατηρεί τον όρο που περιέχει το Q , στην εξίσωση 3.19, μόνο όταν η αντλία εμπλουτίζει τον υδροφορέα ($Q_i \geq 0$) με υγρό συγκέντρωσης c που στην συγκεκριμένη περίπτωση αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση του διαλύματος εμπλουτισμού. [Σημειώσεις 6]

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PTC ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.3.1 Διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και αποτελέσματα προσομοίωσης

Για να προσομοιωθεί η περιοχή της ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου με το PTC απαιτείται η εισαγωγή μιας σειράς στοιχείων που αφορούν τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν εκεί (υδραυλική αγωγιμότητα, διαρροή, βροχόπτωση, θέσεις των γεωτρήσεων άντλησης, παροχή των γεωτρήσεων άντλησης και χρονική διάρκεια προσομοίωσης). Μόλις εφαρμοστεί το PTC θα εμφανιστούν σε ένα αρχείο Word Pad τα υδραυλικά ύψη του κάθε κόμβου του πλέγματος(κάναβος) της περιοχής μελέτης.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων στο PTC είναι η ακόλουθη:

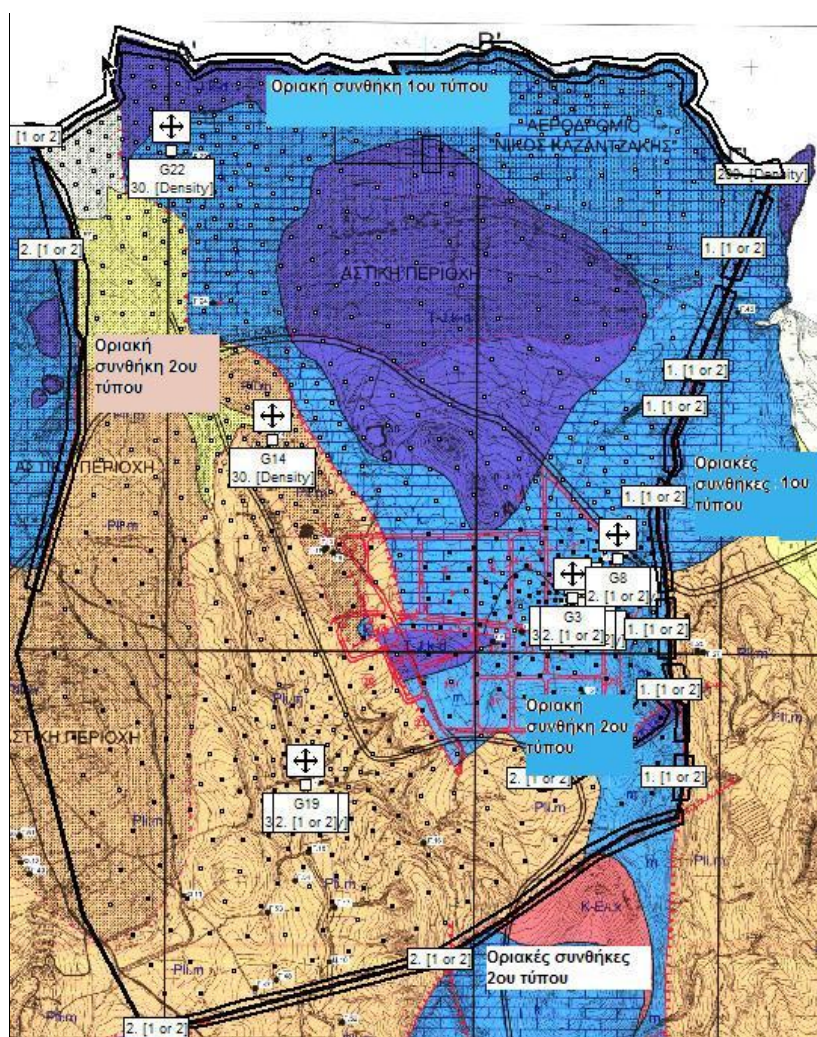
1.Εισαγωγή των χαρτών της περιοχής μελέτης. Ρυθμίζουμε την κλίμακα στο μοντέλο ούτως ώστε να αντιστοιχεί με τον χάρτη που έχουμε (1:10000). Ο χάρτης που εισάγουμε είναι υδρογεωλογικός και αναφέρει και τις γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης

2.Επιλογή του τριγωνικού κάναβου γιατί έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από τον δεύτερο που μπορούμε να επιλέξουμε(ορθογωνικό).

3.Καθορισμός των χρονικών παραμέτρων στην περιοχή μελέτης. Το μοντέλο θα τρέξει για 2 έτη χωρισμένα σε δύο περιόδους (χειμερινή-καλοκαιρινή) και η κάθε περίοδος διαρκεί 180 ημέρες.

4.Εισαγωγή του ορίου της περιοχής μελέτης στο μοντέλο όπως φαίνεται στον χάρτη 2.1 του προηγούμενου κεφαλαίου

5.Εισαγωγή των οριακών συνθηκών στα δύο επίπεδα του υδροφορέα. Κοντά στην θάλασσα θεωρείται οριακή συνθήκη πρώτου τύπου (υποδηλώνει σταθερό υδραυλικό ύψος) και θέτουμε το υδραυλικό ύψος ίσο με 30 m για όλη την περίοδο προσομοίωσης. Τοποθετούμε στις θέσεις που πρέπει, τις γεωτρήσεις που θεωρούμε ότι αντλούν περισσότερο και οι οποίες βρίσκονται στον πίνακα 2.1 στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι γεωτρήσεις αντλούν το ίδιο και στις δύο χρονικές περιόδους και αποτελούν οριακές συνθήκες δεύτερου τύπου. Στη συνέχεια ψηφοποιούνται οι ισουψείς του χάρτη για να εισάγουμε στο μοντέλο το ανάγλυφο της περιοχής με ακρίβεια. Στα απόλυτα υψόμετρα της περιοχής εισάγουμε 30 m επειδή θεωρούμε ως κατώτερο επίπεδο(bottom elevation) την αρχή του πρώτου επιπέδου (layer) που βρίσκεται 30 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Στον χάρτη 3.1 παρακάτω φαίνονται όλες οι οριακές συνθήκες που εισάγαμε στο μοντέλο και που έχουν παρθεί από έρευνα στο πεδίο.

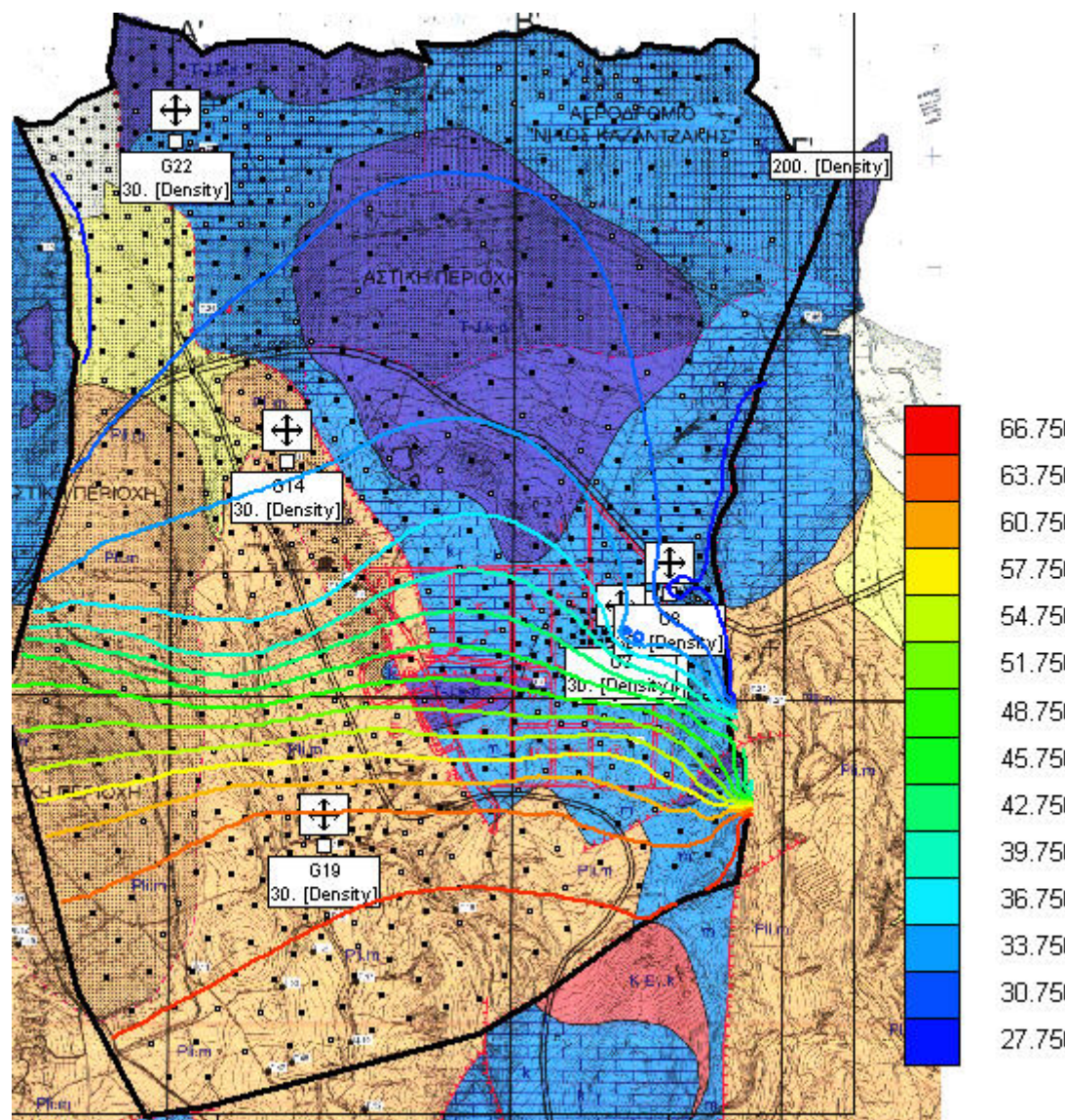


Χάρτης 3.1: Χάρτης της περιοχής με τις γεωτρήσεις της περιοχής και τις οριακές συνθήκες.

6.Εισαγωγή στο μοντέλο της υδραυλική αγωγιμότητας. Απαιτείται για την διαδικασία αυτή η διακριτοποίηση των επιμέρους υδρογεωλογικών ενοτήτων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.Στους χάρτες 2.1 και 3.1 μπορούμε από το χρώμα να ξεχωρίσουμε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Οι τιμές για κάθε γεωλογικό σχηματισμό δίνονται στους πίνακες 2.2 και 2.3

7.Εισαγωγή της βροχόπτωσης . Η βροχόπτωση επιρεάζει τα υπόγεια νερά άμεσα γιατί το κατακρυνιζόμενο νερό καταλήγει στους υδροφορείς με τη διεργασία της διήθησης. Σύμφωνα με την υδρογεωλογική μελέτη του Βόρειου νομού του Ηρακλείου του ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ. που έγιναν υπολογίστηκε ότι η βροχόπτωση είναι 0,00018 mm/d για την χειμερινή περίοδο μόνο όπου παρατηρούνται βροχοπτώσεις.

8.Δημιουργία του κάναβου. Ο κάναβος διαιρεί την περιοχή σε τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία. Σε κάθε κορυφή του τριγώνου υπάρχει ένας κόμβος. Το PTC υπολογίζει σε αυτούς τους κόμβους το υδραυλικό ύψος όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο αριθμός των κόμβων είναι 1047.



Χάρτης 3.3: Η προσομοίωση της υπόγειας ροής μετά πάροδο 2 ετών ,οι γεωτρήσεις αντλούν με τις μέγιστες παροχές τους

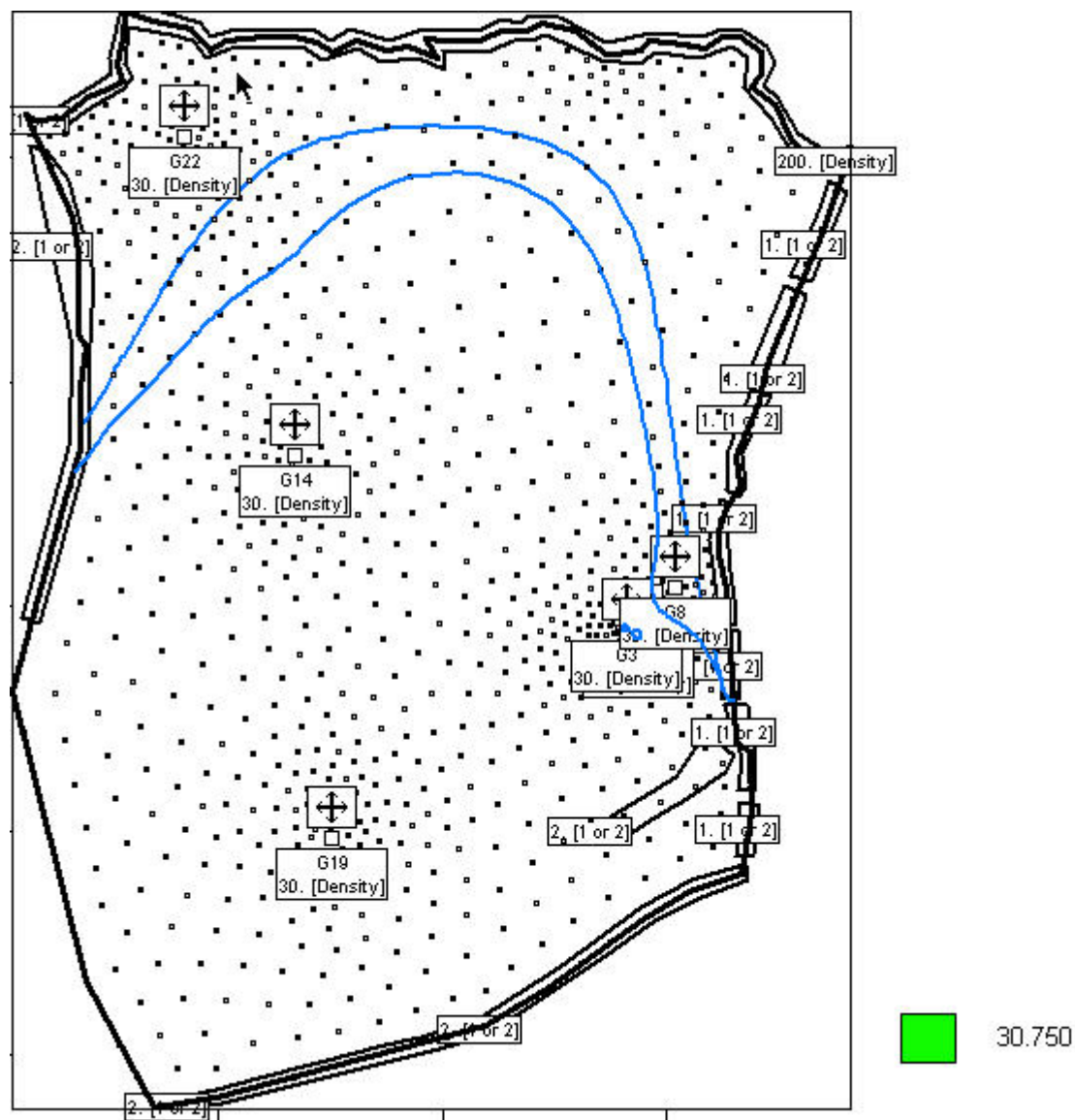
3.3.2 Εύρεση μετώπου υφαλμύρωσης στην περιοχή μελέτης

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση τη σχέση 1.5 (Ghygen - Herzberg) και γνωρίζοντας ότι το ύψος $h_s = 30$ m το $h_f = (30/40) \Rightarrow h_f = 0.75$ m.Επομένως το μέτωπο της υφαλμύρισης είναι $h = 30 + 0.75 \Rightarrow h = 30.75$ m. Αυτό το ύψος είναι η ένδειξη του μετώπου υφαλμύρωσης.

Οι γραφικές παραστάσεις στον χάρτη 3.3 έχουν σχεδιαστεί με τέτοια κλίμακα ούτως ώστε να είναι εμφανής η θέση του μετώπου της υφαλμύρισης .

Για να ελέγξουμε αν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα υφαλμύρισης στην περιοχή θα τρέξουμε το ίδιο μοντέλο με τα ίδια υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά αλλά μηδενίζοντας την παροχή άντλησης των γεωτρήσεων.

Αφού τρέξει το μοντέλο γίνεται σύγκριση των δύο γραφισμάτων των υδραυλικών υψών στον ίδιο χάρτη όπως φαίνεται παρακάτω στον χάρτη 3.4

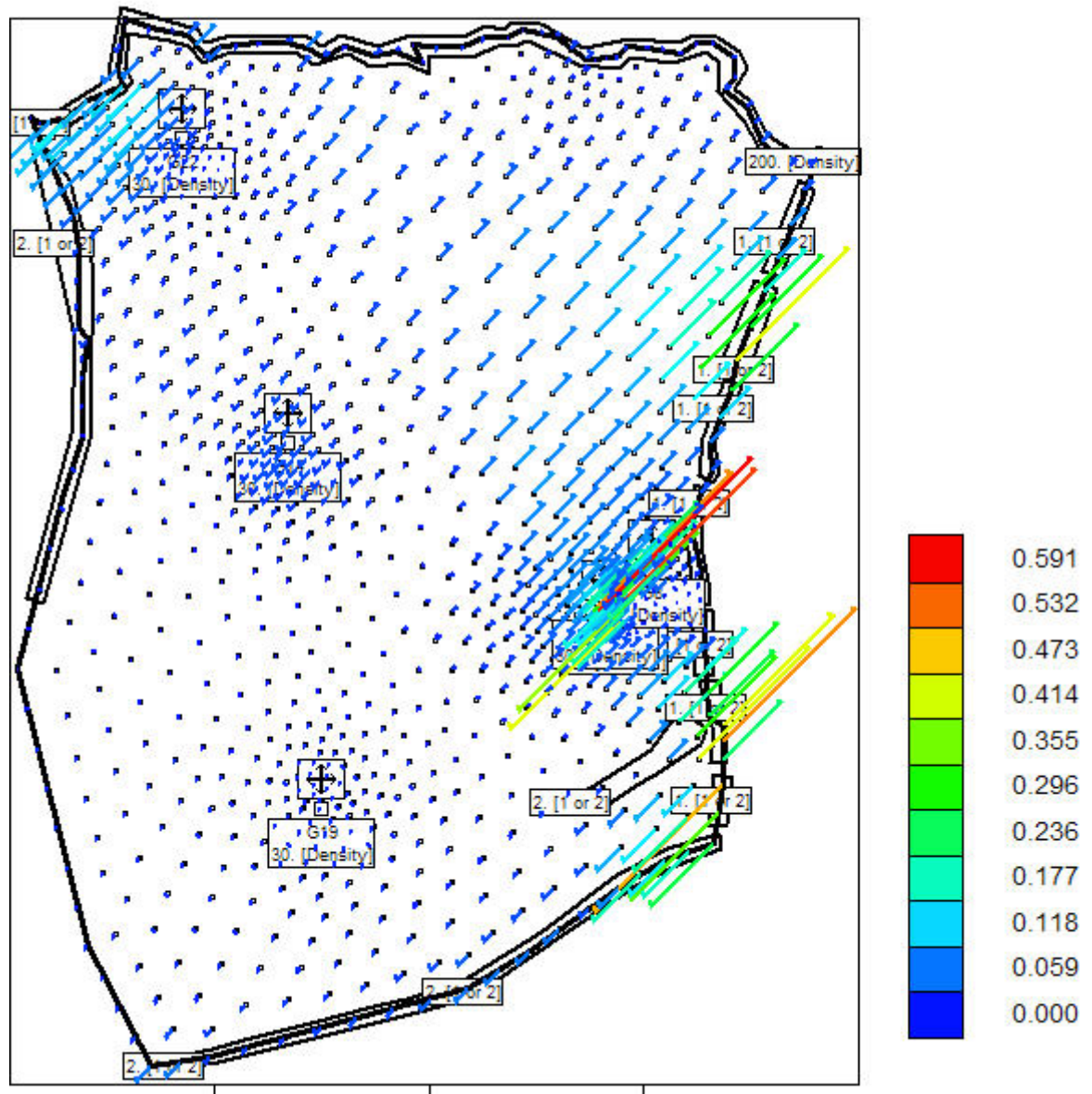


Χάρτης 3.4: Ταυτόχρονη παράθεση του μετώπου της υφαλμύρισης όταν οι γεωτρήσεις είναι όλες κλειστές και όλες ανοιχτές

Σημείωση: Από την εικόνα έχει αφαιρεθεί ο γεωλογικός χάρτης για να φαίνεται καλύτερα η διαφορά μεταξύ των μετώπων.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1.2.3. υπάρχουν πολλές μέθοδοι αναχαίτισης του μετώπου της υφαλμύρωσης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση μεθόδων βελτιστοποίησης και πιο συγκεκριμένα της μεθόδου Simplex

του προγραμματιστικού πακέτου Mat lab και των σύγχρονων μεθόδων βελτιστοποίησης με νευρωνικά. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά στις δύο αυτές μεθόδους αναλυτικά και στη συνέχεια γίνεται και η σύγκρισή των αποτελεσμάτων τους.



Χάρτης 3.5: Οι ταχύτητες ροής στην περιοχή μελέτης μας όταν τα πηγάδια αντλούν με την μέγιστη παροχή

Σημείωση: Από την εικόνα έχει αφαιρεθεί ο γεωλογικός χάρτης για να φαίνεται καλύτερα η ταχύτητα ροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στόχος της βελτιστοποίησης είναι η εύρεση βέλτιστων τιμών (στην προκειμένη περίπτωση μέγιστων τιμών) άντλησης από τα πηγάδια ούτως ώστε να περιοριστεί το μέτωπο της υφαλμύρινσης χωρίς να χρειαστεί να σταματήσουν να αντλούν όλα τα πηγάδια(μπορεί να οριστεί ότι το μέτωπο της υφαλμύρινσης δεν πρέπει να εισέλθει σε τέτοιο βάθος μέσα στην ενδοχώρα ούτως ώστε να βλάπτονται οι πιο κοντά στην θάλασσα καλλιέργειες).

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα που υπάρχει στην περιοχή της ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου θα λάβουμε υπό όψιν για τον περιορισμό του μετώπου της υφαλμύρινσης τα ύψη σε κάποιους κόμβους που βρίσκονται μεταξύ των δύο μετώπων(γεωτρήσεις ανοιχτές και κλειστές) του χάρτη 3.4. Οι κόμβοι που επιλέχθηκαν είναι οι 834, 812, , 776, 758, 691, 587. Αυτοί οι κόμβοι είναι ουσιαστικά τα πηγάδια παρατήρησης .

Η νοητή καμπύλη που θα σχηματίζουν αυτοί οι κόμβοι είναι η επιτρεπτή θέση για την μετατόπιση του μετώπου υφαλμύρινσης προς την ενδοχώρα.. Θέτοντας διαφορετικά το πρόβλημα το υδραυλικό ύψος στους κόμβους αυτούς δεν πρέπει να ξεπεράσει το υδραυλικό ύψος των 30,75 m και αυτός θα είναι ο περιορισμός βελτιστοποίησης που έχουμε.

Τώρα πλέον μπορεί να γίνει συνολικός ορισμός του προβλήματος στην περιοχή μελέτης που είναι : Εύρεση των μέγιστων τιμών παροχής άντλησης των γεωτρήσεων που τηρεί τον περιορισμό του υδραυλικού ύψους των 30,75 m στα πηγάδια παρατήρησης 834,812,776,758,691,587 και δεν ξεπερνούν τις μέγιστες παροχές άντλήσεως από κάθε γεώτρηση(έχουν οριστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο)

Μαθηματικά ορισμένο το πρόβλημα είναι:

$$\max \sum_{i=1}^5 q_i$$

Subject to $H_{834}, H_{812}, H_{776}, H_{758}, H_{691}, H_{587} \geq 30.75$

and $0 \leq q_8 \leq 1920$

$0 \leq q_4 \leq 1920$

$0 \leq q_3 \leq 1920$

$0 \leq q_{22} \leq 576$

$0 \leq q_{14} \leq 480$

4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΙΠΕ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

4.2.1 Εισαγωγή

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης διακρίνονται σε γραμμικά και μη. Γραμμικά είναι αυτά τα προβλήματα που η σχέση των περιορισμών εμφανίζει γραμμική συμπεριφορά ενώ μη γραμμικά αυτά τα προβλήματα όπου δεν υπάρχει γραμμική συμπεριφορά στην αντικειμενική συνάρτηση και στις σχέσεις των περιορισμών.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μη γραμμικής συμπεριφοράς είναι οι ελεύθεροι υδροφορείς όπως ο υδροφορέας της ΒΙ. ΠΕ. Ηρακλείου. Η σχέση μεταξύ παροχής άντλησης και υδραυλικού ύψους σε μια συγκεκριμένη απόσταση από το πηγάδι είναι :

$$h = \sqrt{H^2 + \frac{\ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\pi K} * Q} \quad (4.1)$$

Όπου:

h : το υδραυλικό ύψος σε μια συγκεκριμένη απόσταση r από το πηγάδι

H: το υδραυλικό ύψος σε μία δεύτερη συγκεκριμένη απόσταση R

Q: παροχή άντλησης (ή εμπλουτισμού) στο πηγάδι

Η εξάρτηση του h από τη ρίζα δείχνει άμεσα ότι οι ελεύθεροι υδροφορείς δεν εμφανίζουν γραμμικότητα [Σημειώσεις 1].

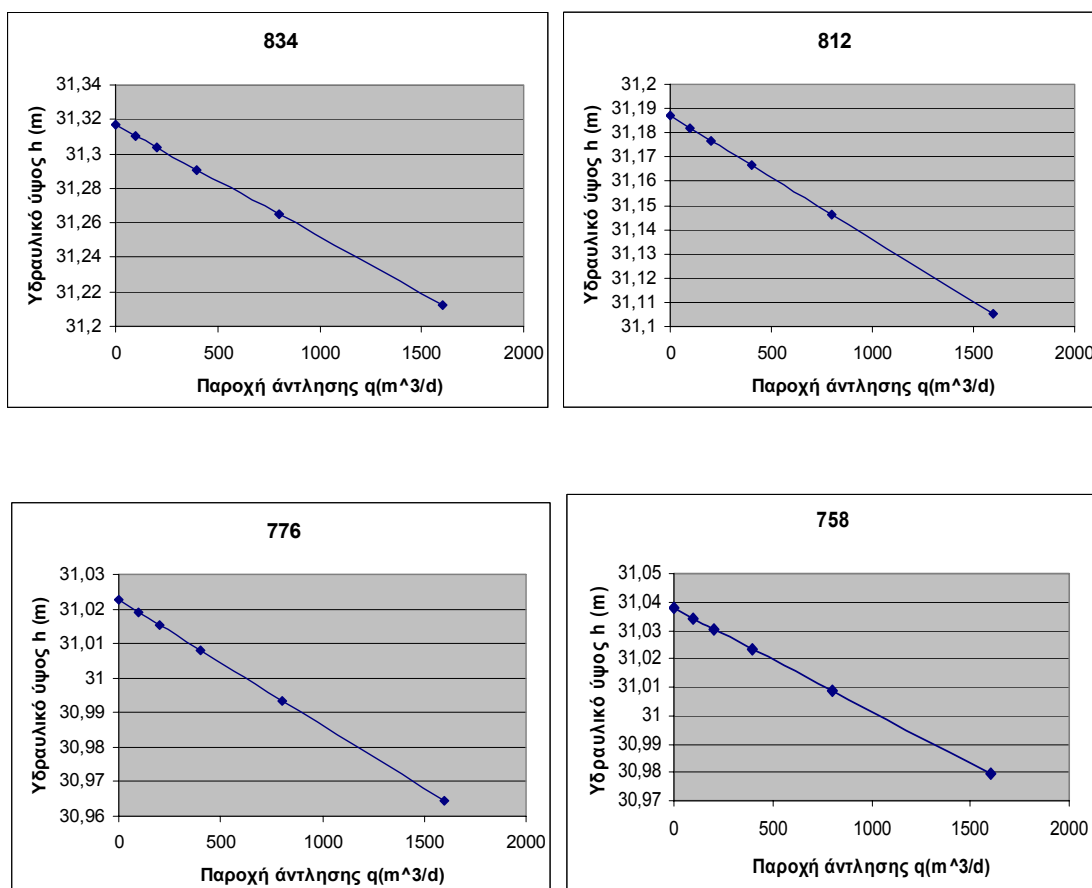
4.2.2 Έλεγχος γραμμικής συμπεριφοράς στην περιοχή μελέτης

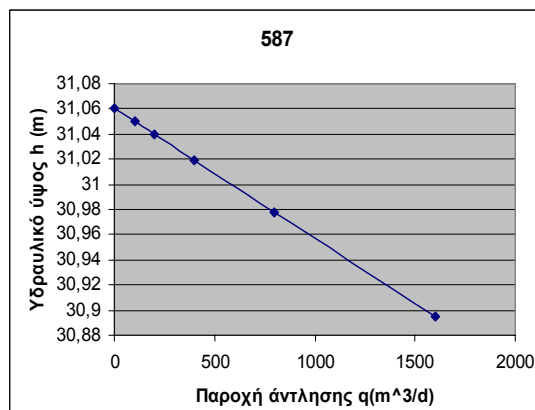
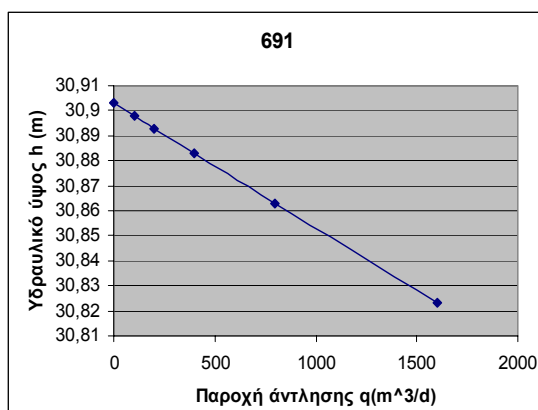
Παρόλο που ένας ελεύθερος υδροφορέας θεωρητικά εμφανίζει μη γραμμική συμπεριφορά, για λόγους ευκολίας μπορούμε να θεωρήσουμε το σύστημα γραμμικό αν εμφανίζει μια συμπεριφορά περίπου γραμμική. Αυτό ελέγχεται με τον τρόπο που αναφέρουμε παρακάτω:

Αρχικά μηδενίζουμε όλες τις γεωτρήσεις άντλησης της περιοχής μελέτης μας, και από το PTC mesh heads (το αρχείο που μας δίνει κάθε φορά που τρέχουμε το μοντέλο τα αντίστοιχα υδραυλικά ύψη) παίρνουμε το υδραυλικό ύψος για κάθε σημείο παρατήρησης. Στη συνέχεια ,παίρνουμε την κάθε μία από τις πέντε γεωτρήσεις της περιοχής ξεχωριστά και δίνουμε τις τιμές 100 200 400 800 1600 κρατώντας τις υπόλοιπες γεωτρήσεις κλειστές. Έτσι παίρνουμε για την κάθε γεώτρηση 5 διαφορετικά υδραυλικά ύψη στο κάθε σημείο παρατήρησης. Στο τέλος κάνουμε διαγράμματα με την μεταβολή του ύψους σε κάθε κόμβο συναρτήσει με το πόσο αντλεί η κάθε γεώτρηση(0 100 200 400 800 1600). Συνολικά τα διαγράμματα θα είναι 6 για κάθε γεώτρηση άντλησης άρα συνολικά 30. Αν τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές γραμμικότητα τότε ο υπόγειος υδροφορέας έχει γραμμική συμπεριφορά. Επειδή οι γεωτρήσεις Γ.8, Γ.4, Γ.3 είναι πολύ κοντά και αντλούν με την ίδια παροχή δεν χρειάζεται να γίνει γραμμικός έλεγχος και για τις τρεις αλλά μόνο για την μία από αυτές και επιλέγουμε έτσι να γίνει ο έλεγχος για την γεώτρηση Γ.8 που είναι λίγο πιο κοντά στην ακτή από τις άλλες δύο.

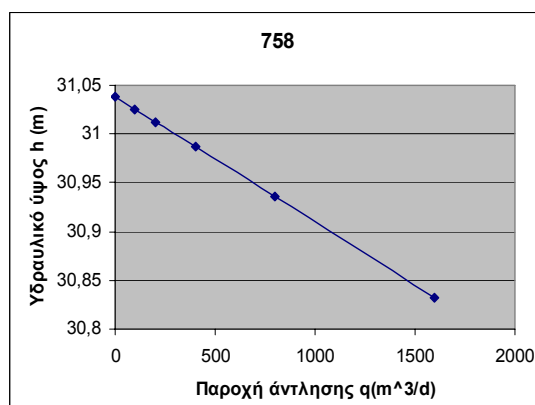
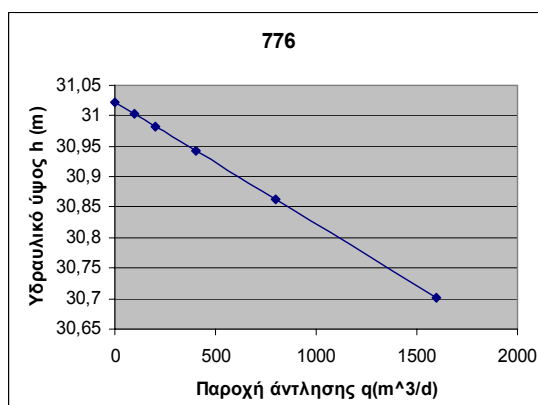
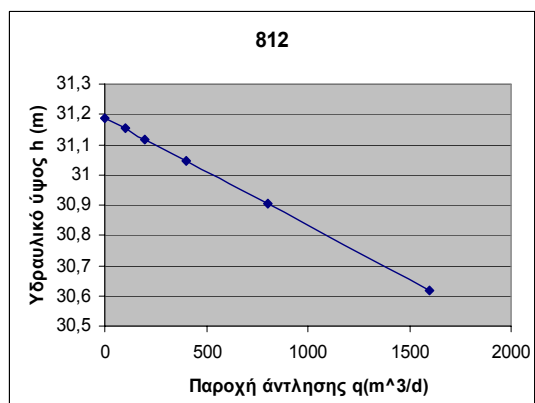
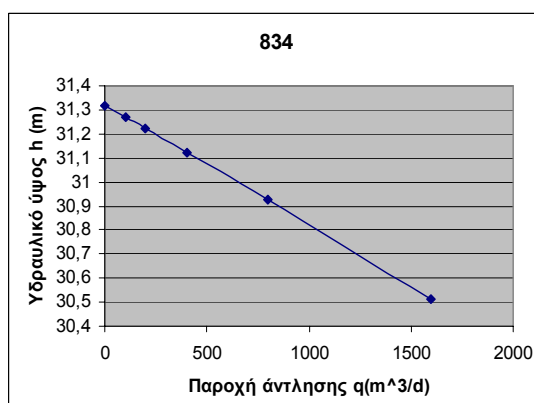
Ακολουθούν τα διαγράμματα του υδραυλικού ύψους συναρτήσει της ροής σε κάθε γεώτρηση.

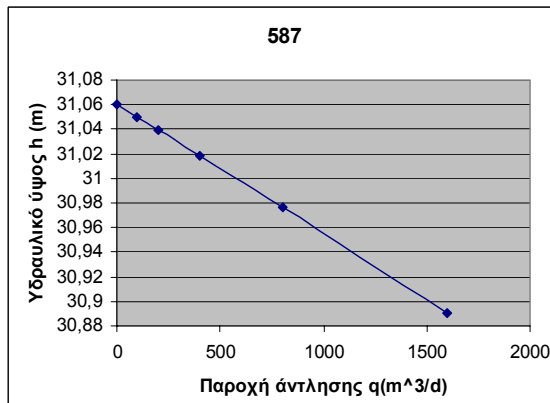
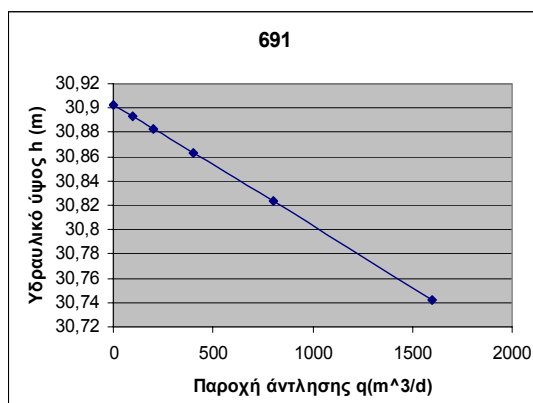
Γεώτρηση Γ.8



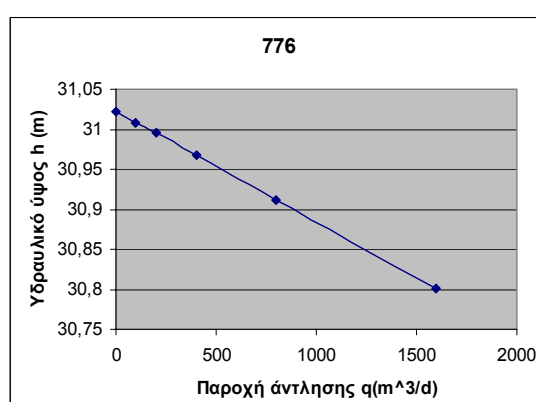
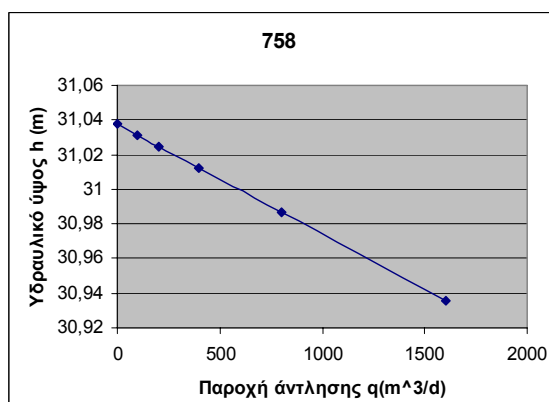
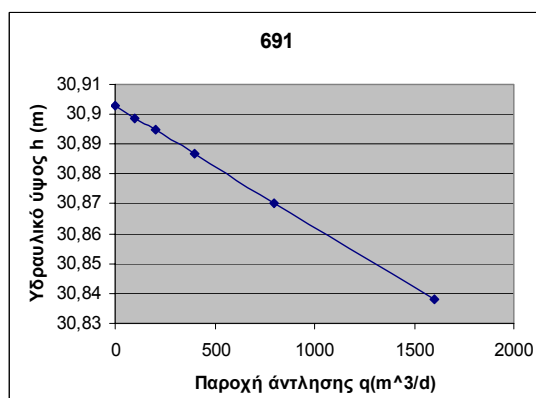
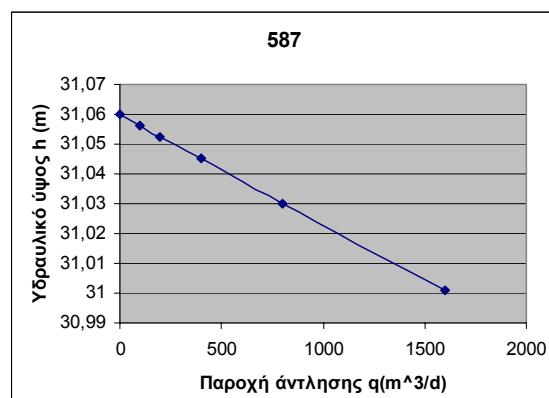


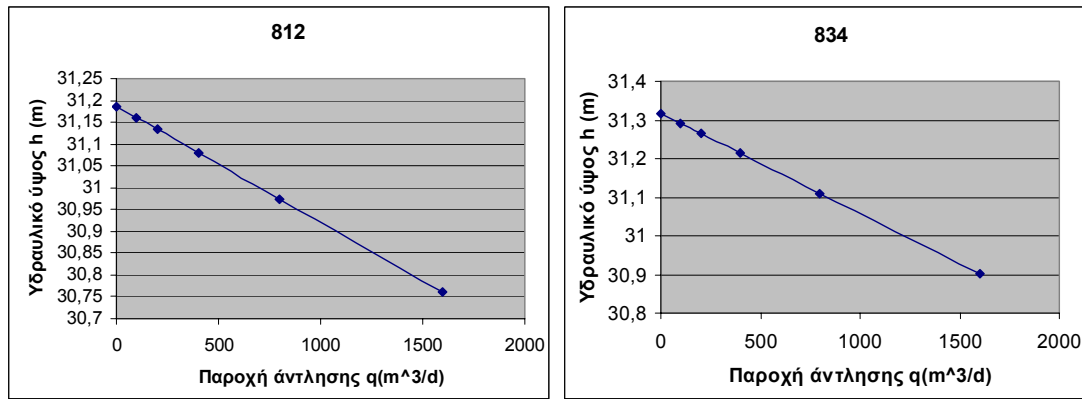
Γεώτρηση Γ.14





Γεώτρηση Γ.22





Βλέπουμε πως σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα η σχέση μεταξύ παροχής άντλησης και υδραυλικού ύψους είναι γραμμική ή σχεδόν γραμμική οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το σύστημα έχει **γραμμική συμπεριφορά**.

4.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ SIMPLEX

4.3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος Simplex αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού. Η μέθοδος ανακαλύφθηκε το 1947 από τον Αμερικανό G. Dantzig.

Η φιλοσοφία της μεθόδου είναι πολύ απλή. Ουσιαστικά δέχεται μια αρχική κορυφή ενός υπερπολυέδρου ως λύση του γραμμικού προβλήματος και βήμα βήμα βελτιώνει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, ώσπου σταματάει σε μια κορυφή του υπερπολυέδρου γιατί δεν υπάρχει εκεί άλλη καλύτερη λύση. Η λειτουργία της Simplex φαίνεται καλύτερα στο σχήμα 4.1 παρακάτω



Σχήμα 4.1 : Τρόπος λειτουργίας της μεθόδου Simplex

4.3.2 Διαδικασία εφαρμογής –Αποτελέσματα

Στο παρόν πρόβλημα η μέθοδος Simplex εκτελείται από το προγραμματιστικό πακέτου MAT LAB 7.0.4 προγραμματίζοντας έναν αλγόριθμο σε ένα M-file. Η μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο μία φορά καθώς θεωρούμε το πρόβλημα γραμμικό και αυτή θα θεωρηθεί λύση του προβλήματος (προϋπόθεση η τήρηση των περιορισμών). Αρχικά όμως τροποποιούμε το μαθηματικό πρόβλημα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Matlab. Το MAT LAB αναγνωρίζει μόνο προβλήματα ελαχιστοποίησης και όχι προβλήματα μεγιστοποίησης, περιορισμούς \leq και ο αλγόριθμος πρέπει να έχει την μορφή $Ax \leq b$ με $x \geq 0$ όπου τα x , b διανύσματα, A πίνακας και x το διάνυσμα της αντικειμενικής συνάρτησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το x είναι διάνυσμα 1×5 γιατί πέντε είναι οι τιμές των παροχών (μία για κάθε γεώτρηση). Επομένως πρέπει να δημιουργήσουμε τον πίνακα A που εδώ θα τον λέμε **response matrix (πίνακας ανταπόκρισης)** και θα είναι ένας 6×5 πίνακας και ένα διάνυσμα στήλη b 6×1 .

Η διαδικασία δημιουργίας του response matrix και του διανύσματος b καθώς και ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος ακολουθούν παρακάτω,

Η $\max \sum_1^5 q_i$ πρέπει μετασχηματιστεί σε $\min \sum_1^5 q_i$ και ο πίνακας και οι

περιορισμοί μετασχηματίζονται αντιστοίχως.

Αρχικά επιλέγουμε μια αρχική τυχαία πεντάδα τιμών Q_0

$\overrightarrow{Q_0} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix}$ όπου αντιστοιχούν σε πέντε τιμές στα πηγάδια άντλησης και με

αυτές τις τιμές «τρέχουμε» το μοντέλο και βρίσκουμε τα υδραυλικά ύψη στους προεπιλεγμένους κόμβους, δημιουργώντας το διάνυσμα H_0 .

$$H_0 = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H \\ H_5 \\ H_6 \end{bmatrix}$$

Στη συνέχεια δημιουργούμε το διάνυσμα Q_1 στο οποίο αυξάνουμε κατά ΔQ_1 (τιμή που εμείς καθορίζουμε αυθαίρετα) την τιμή Q_1 και έτσι προκύπτει το Q_{01} διάνυσμα

$$\overrightarrow{Q_{01}} = \begin{bmatrix} Q_1 + \Delta Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \quad \text{το οποίο εισάγουμε στο μοντέλο και αυτό βρίσκει έξι νέα}$$

$$\text{υδραυλικά ύψη } H_1 = \begin{bmatrix} H_{11} \\ H_{12} \\ H_{13} \\ H_{14} \\ H_{15} \\ H_{16} \end{bmatrix}$$

Ομοίως για το Q_2

$$\overrightarrow{Q_{02}} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 + \Delta Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \quad \text{το οποίο εισάγουμε στο μοντέλο και αυτό βρίσκει έξι νέα}$$

$$\text{υδραυλικά ύψη } H_2 = \begin{bmatrix} H_{21} \\ H_{22} \\ H_{23} \\ H_{24} \\ H_{25} \\ H_{26} \end{bmatrix}$$

Ομοίως για το Q_3

$$\overrightarrow{Q}_{03} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 + \Delta Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \text{ το οποίο εισάγουμε στο μοντέλο και αυτό βρίσκει έξι νέα}$$

$$\text{υδραυλικά ύψη } H_3 = \begin{bmatrix} H_{31} \\ H_{32} \\ H_{33} \\ H_{34} \\ H_{35} \\ H_{36} \end{bmatrix}$$

Ομοίως για το Q_4

$$\overrightarrow{Q}_{04} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 + \Delta Q_4 \\ Q_5 \end{bmatrix} \text{ το οποίο εισάγουμε στο μοντέλο και αυτό βρίσκει έξι νέα}$$

$$\text{υδραυλικά ύψη } H_4 = \begin{bmatrix} H_{41} \\ H_{42} \\ H_{43} \\ H_{44} \\ H_{45} \\ H_{46} \end{bmatrix}$$

Ομοίως για το Q_5

$$\overrightarrow{Q}_{05} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 + \Delta Q_5 \end{bmatrix} \quad \text{το οποίο εισάγουμε στο μοντέλο και αυτό βρίσκει έξι νέα}$$

$$\text{υδραυλικά ύψη } H_5 = \begin{bmatrix} H_{51} \\ H_{52} \\ H_{53} \\ H_{54} \\ H_{55} \\ H_{56} \end{bmatrix}$$

Έχουμε πλέον έξι διανύσματα H με διαφορετικές τιμές υδραυλικών υψών το καθένα σε κάθε κόμβο και έξι διανύσματα παροχών άντλησης με διαφορετικές τιμές για κάθε γεώτρηση το καθένα. Μπορούμε τώρα να δημιουργήσουμε το διάνυσμα $(\Delta H / \Delta Q)$ για κάθε διάνυσμα $Q_{1,2,3,4,5}$ και $H_{01,02,03,04,05}$ που θα ισούται με :

$$\overrightarrow{\frac{\Delta H_n}{\Delta Q_n}} = \begin{bmatrix} \frac{H'_{n,1} - H_1}{\Delta Q_n} \\ \frac{H'_{n,2} - H_2}{\Delta Q_n} \\ \frac{H'_{n,3} - H_3}{\Delta Q_n} \\ \frac{H'_{n,4} - H_4}{\Delta Q_n} \\ \frac{H'_{n,5} - H_5}{\Delta Q_n} \end{bmatrix} \quad \text{όπου το } n=1, \dots, 5$$

Τώρα πλέον είναι εύκολο να φτιαχτεί ο response matrix που θα έχει 5 στήλες που αντιστοιχούν σε κάθε $\Delta H_n / \Delta Q_n$. Ο response matrix πίνακας λοιπόν θα έχει 5 στήλες που δείχνουν τον αριθμό των γεωτρήσεων και 6 γραμμές που δείχνουν τον αριθμό των πηγαδιών παρατήρησης.

$$A = \left[\begin{array}{c} \overrightarrow{\Delta H_1} \quad \overrightarrow{\Delta H_2} \quad \overrightarrow{\Delta H_3} \quad \overrightarrow{\Delta H_4} \quad \overrightarrow{\Delta H_5} \\ \hline \Delta Q_1 \quad \Delta Q_2 \quad \Delta Q_3 \quad \Delta Q_4 \quad \Delta Q_5 \end{array} \right]$$

Κάθε στήλη του πίνακα αποτελείται από ένα διάνυσμα.

Ο περιορισμός για το υδραυλικό ύψος σε κάθε κόμβο αναφέρεται στο διάνυσμα $H \geq 30,75$ (σε μορφή πίνακα 6×1 και κάθε γραμμή η τιμή των υδραυλικών υψών ύψη στα έξι σημεία παρατήρησης). Ισχύει:

$$H \geq 30,75$$

$$H = H_o + \Delta H \geq 30,75 \Leftrightarrow$$

$$H_o + A\Delta Q \geq 30,75 \Leftrightarrow$$

$$H_o + A(Q - Q_o) \geq 30,75 \Leftrightarrow$$

$$H_o - AQ_o \geq 30,75 - AQ \Leftrightarrow$$

$$-AQ \leq H_o - 30,75 - AQ_o$$

Όπου:

H_o : Το διάνυσμα που περιέχει τις τιμές για κάθε ύψος στα πηγάδια παρατήρησης για το διάνυσμα Q_o

A : Ο πίνακας απόκρισης

Q_o : Το αρχικό διάνυσμα που επιλέχθηκε και περιέχει τις αυθαίρετες τιμές άντλησης για κάθε γεώτρηση

Έτσι προκύπτει πλέον η επιθυμητή μορφή που απαιτεί το Mat lab θεωρώντας το διάνυσμα $H_o - 30,75 - AQ_o = b$ και Q το διάνυσμα της αντικειμενικής συνάρτησης x .

Στον επόμενο πίνακα παρατίθεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε (και εξηγήθηκε παραπάνω) στο συγκεκριμένο πρόβλημα για την εύρεση του response matrix και του διανύσματος b .

Οι τιμές που μπαίνουν στο Q είναι με τη σειρά για οι παροχές άντλησης στις γεωτρήσεις Γ.8 ,Γ.4,Γ.3 ,Γ.22 ,Γ.14

| Αρχικό διάνυσμα Q0 |
|---------------------------|
| 1500 |
| 1500 |
| 1500 |
| 400 |
| 300 |

| Αρχικό υδαυλικό ύψος H0 |
|--------------------------------|
| 30,6151975 |
| 30,6323966 |
| 30,6752805 |
| 30,7566063 |
| 30,5817256 |
| 30,4903204 |

Το Q₁ διάνυσμα

| Διάνυσμα Q1 |
|----------------------|
| 1500+100=1600 |
| 1500 |
| 1500 |
| 400 |
| 300 |

| Υδραυλικό ύψος H1 |
|--------------------------|
| 30,6083497 |
| 30,6271428 |
| 30,6716026 |
| 30,7529309 |
| 30,5767394 |
| 30,4799878 |

$\Delta Q_1=100$

Το Q_2 διάνυσμα

| Διάνυσμα Q_2 |
|----------------------|
| 1500 |
| 1500-200=1300 |
| 1500 |
| 400 |
| 300 |

$$\Delta Q_2 = -200$$

| Υδραυλικό ύψος H_2 |
|----------------------|
| 30,6375708 |
| 30,6491620 |
| 30,6864390 |
| 30,7668016 |
| 30,5942805 |
| 30,5134944 |

Το Q_3 διάνυσμα

| Διάνυσμα Q_3 |
|----------------------|
| 1500 |
| 1500 |
| 1500+200=1700 |
| 400 |
| 300 |

$$\Delta Q_3 = -200$$

| Υδραυλικό ύψος H_3 |
|----------------------|
| 30,5901759 |
| 30,6136503 |
| 30,6627918 |
| 30,7451798 |
| 30,5676574 |
| 30,4644192 |

Το Q_4 διάνυσμα

| Διάνυσμα Q_4 |
|--------------------|
| 1500 |
| 1500 |
| 1500 |
| 400+150=550 |
| 300 |

$$\Delta Q_4 = 150$$

| Υδραυλικό ύψος H_4 |
|----------------------|
| 30,5739099 |
| 30,5910876 |
| 30,6538740 |
| 30,7467253 |
| 30,5754545 |
| 30,4845936 |

Το Q_5 διάνυσμα

| Διάνυσμα Q_5 |
|-------------------|
| 1500 |
| 1500 |
| 1500 |
| 400 |
| 300+80=380 |

$\Delta Q_5 = 80$

| Υδραυλικό ύψος H_5 |
|----------------------|
| 30,5736444 |
| 30,6033035 |
| 30,6589006 |
| 30,7461616 |
| 30,5735426 |
| 30,4816435 |

Ο response matrix πίνακας A θα είναι:

| $\Delta H_1/\Delta Q_1$ | $\Delta H_2/\Delta Q_2$ | $\Delta H/\Delta Q_3$ | $\Delta H_4/\Delta Q_4$ | $\Delta H_5/\Delta Q_5$ |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| -6,8478E-05 | -0,000111866 | -0,000125108 | -0,000275251 | -0,000519414 |
| -5,2538E-05 | -8,3827E-05 | -9,37315E-05 | -0,000275393 | -0,000363664 |
| -3,6779E-05 | -5,57925E-05 | -6,24435E-05 | -0,00014271 | -0,000204749 |
| -3,6754E-05 | -5,09765E-05 | -5,71325E-05 | -65873E-05 | -0,000130559 |
| -4,9862E-05 | -6,27745E-05 | -7,0341E-05 | -4,18073E-05 | -0,000102287 |
| -0,000103326 | -0,00011587 | -0,000129506 | -3,81787E-05 | -0,000108461 |

Και το $b = H_0 - 30,75 - A Q_0$ θα είναι:

| $b = H_0 - H_{ref} - A * Q_0$ |
|---|
| 0,6308975 |
| 0,4758966 |
| 0,2926805 |
| 0,2999063 |
| 0,1618256 |
| 0,3198204 |

Πλέον αφού καταρτίστηκε και ο response matrix και το b μπορούμε πλέον να δημιουργήσουμε τον αλγόριθμο.

Η βασική εντολή στο Mat lab για την επίλυση του προβλήματος με την Simplex μέθοδο είναι η **[q,fval]=linprog(f,-A,b,[],[],LB,UB)**

Όπου:

q: οι μεταβλητές απόφασης

fval: το διάνυσμα της αντικειμενικής συνάρτησης

f: το διάνυσμα της αντικειμενικής συνάρτησης

linprog: η εντολή για να εκτελέσει το matlab τον γραμμικό προγραμματισμό

A: ο πίνακας απόκρισης (response matrix)

b: $H_0 - 30,75 - AQ_0$ όπως ορίστηκε από πριν

[]: πίνακας και διάνυσμα περιορισμού ισότητας(είναι δύο φορές στην εντολή για να ισχύει και για τα δύο)

LB: δηλώνει το κατώτερο επιτρεπτό όριο που μπορεί να πάρουν οι τιμές των

$$\text{παροχών άντλησης LB} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

UB: δηλώνει το ανώτερο όριο που μπορεί να πάρουν οι τιμές των παροχών άντλησης

$$\text{στο συγκεκριμένο πρόβλημα UB} = \begin{bmatrix} 1920 \\ 1920 \\ 1920 \\ 576 \\ 480 \end{bmatrix} \quad \text{που κατά σειρά αντιστοιχούν στις}$$

γεωτρήσεις Γ.8, Γ.4, Γ.3, Γ.22, Γ.14

Το αρχείο M-file που γραφτηκε για να τρέξει στο Matlab για να προκύψουν τα αποτελέσματα είναι το αρχείο SimplexG1.m :

```

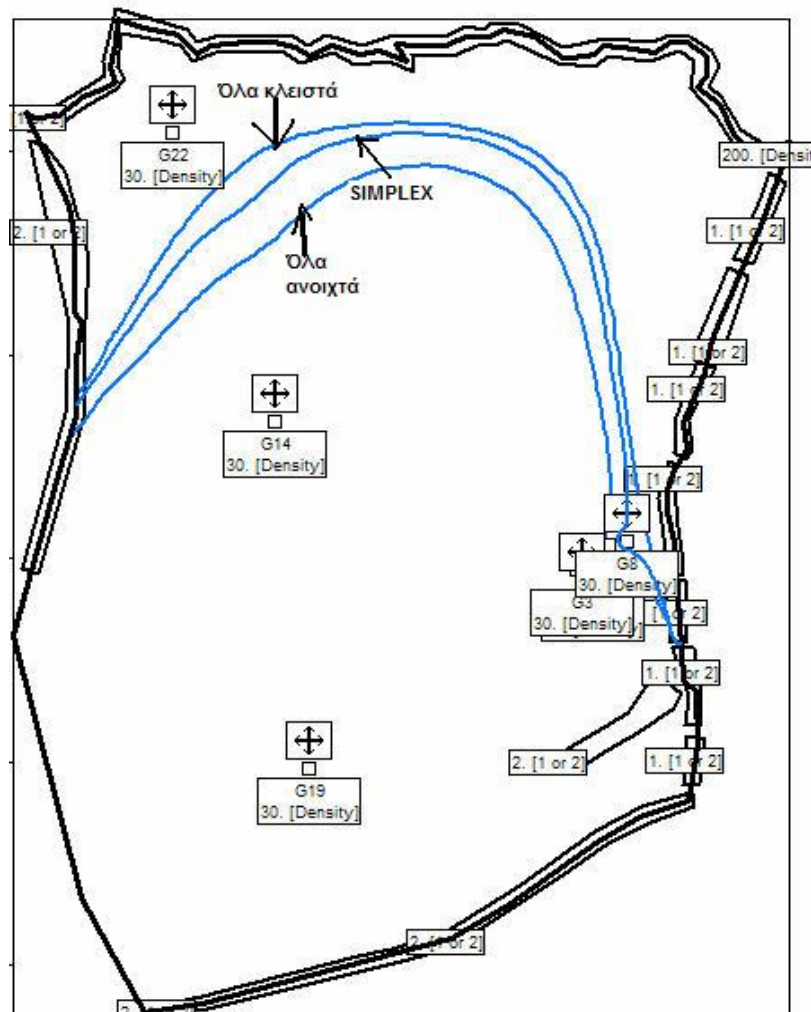
1 % Προβλημα γραμμικου programmatismou
2 %Euresi beltistis paroxis gia ta pigadia tis BIPE-Irakleiou
3 %Orizetai h antikeimenikh sunartisi
4 f=[-1;-1;-1;-1;-1];
5 % Orizetai o periorismos anisotitas A*q>=b
6 A=[-0.000068478 -0.000111866 -0.000125108 -0.000275251 -0.000519414
7     -0.000052538 -0.000083827 -0.0000937315 -0.000275393 -0.000363664
8     -0.000036779 -0.0000557925 -0.0000624435 -0.00014271 -0.000204749
9     -0.000036754 -0.0000509765 -0.0000571325 -0.0000658733 -0.000130559
10    -0.000049862 -0.0000627745 -0.000070341 -0.0000418073 -0.000102287
11    -0.000103326 -0.00011587 -0.000129506 -0.0000381787 -0.000108461];
12 b=[0.6308975;0.4758966;0.2926805;0.2999063;0.1618256;0.3198204];
13 % Dinontai oi maximum kai minimum times tis parametrou q
14 LB=zeros(5,1);
15 UB=[1920;1920;1920;576;480];
16 % EFARMOZETAI I METHODOS SIMPLEX
17 [q,fval]=linprog(f,-A,b,[],[],LB,UB);
18 % EKSAGONTAI OI VELTISTOI RYTHMOI ANTILISIS
19 % GIA TA 5 PIGADIA
20 q
21 Q=sum(q)
22
23
24

```

Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν είναι:

| Γεώτρηση | Βέλτιστη λύση SIMPLEX(m3/day) |
|-----------|----------------------------------|
| Γ.8 | 1920 |
| Γ.4 | 534,5 |
| Γ.3 | 0 |
| Γ.22 | 576 |
| Γ.14 | 0 |
| ΣQ | 3030,5 |

Βάζουμε αυτές τις τιμές στο μοντελο PTC και συγκρίνουμε την καμπύλη του υδραυλικού ύψους από την λύση της Simplex με αυτήν όταν οι γεωτρήσεις είναι κλειστές και αυτήν όταν οι γεωτρήσεις είναι ανοιχτές και αντλούν με την μέγιστη δυνατή παροχή . Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στον χάρτη 4.1 προκύπτει ο παρακάτω χάρτης:



Χάρτης 4.1 :Σύγκριση γεωτρήσεις κλειστές-ανοιχτές Simplex-ανοιχτές γεωτρήσεις με μέγιστη παροχή άντησης

Από τον χάρτη βλέπουμε πως το μέτωπο της υφαλμύρινης όταν οι γεωτρήσεις αντλούν σύμφωνα με τις τιμές παροχής που ορίστηκαν από την Simplex έχει περιοριστεί πολύ σε σχέση με το μέτωπο της υφαλμύρινης όταν οι γεωτρήσεις αντλούν με τη μέγιστη παροχή. Επείσης παρατηρούμε ότι το μέτωπο της υφαλμύρινης πλησιάζει κατά πολύ το επιθημητό μέτωπο (γεωτρήσεις κλειστές).

4.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

4.4.1 Εισαγωγή

4.4.1.1 Η Τεχνητή νοημοσύνη ως επιστήμη

ΟΡΙΣΜΟΙ

“ΤΝ είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών , που ασχολείται με τη σχεδίαση ευφυών υπολογιστικών συστημάτων ,δηλαδή συστημάτων που επιδεικνύουν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά ” (BARR &FEIGENBAUM)

“Η προσπάθεια να κατασκευάσουμε υπολογιστές με διανοητική ικανότητα με την πλήρη έννοια του όρου” (HAUGELAND)

“Η μελέτη του πώς να κάνουμε τους υπολογιστές να κάνουν πράγματα που αυτή τη στιγμή οι άνθρωποι τα κάνουν καλύτερα” (RICH & KNIGHT)

“Η μελέτη των υπολογιστών που καθιστούν εφικτή την αντίληψη τη λογική σκέψη και την αντίδραση” (WINSTON)

“Ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την αυτοματοποίηση της ευφυούς συμπεριφοράς ” (LUGER & STUBBLEFIELD).[Βιβλία 1]

Επομένως μπορούμε να συνοψίσουμε από τους παραπάνω ορισμούς ότι :

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την υλοποίηση προγραμμάτων που είναι ικανά να μιμηθούν τις ανθρώπινες γνωστικές ικανότητες εμφανίζοντας χαρακτηριστικά που αποδίδουμε στην ανθρώπινη συμπεριφορά όπως η επίλυση προβλημάτων και η μάθηση.

Άμεση συνέπεια αυτού είναι ότι η τεχνητή νοημοσύνη είναι εξελισσόμενος τομέας που προσπαθεί να μετατρέψει τις μηχανές που η τεχνολογία έχει προσφέρει στον άνθρωπο σε μηχανές που θα είναι πιο εύχρηστες (δεν θα απαιτούν ειδικές γνώσεις) , θα μαθαίνουν από τα λάθη τους και θα επιλύουν δύσκολα καθημερινά προβλήματα.

Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν για την τεχνητή νοημοσύνη απέδωσαν καρπούς σε πολλές πτυχές της επιστήμης όπως:

Απόδειξη θεωρημάτων

Επεξεργασία φυσικής γλώσσας

Τεχνητή όραση

Μηχανική μάθηση

Σχεδιασμός ενεργειών και χρονοπρογραμματισμός

Αυτόνομα robot

Έμπειρα συστήματα και συστήματα γνώσης

4.4.1.2. Η Εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης(Ιστορική εξέλιξη)

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει κληρονομήσει τεχνικές από άλλες επιστήμες όπως τα μαθηματικά, η ψυχολογία ,η γλωσσολογία και φυσικά η επιστήμη των υπολογιστών. Η εξέλιξη της επιστήμης παρουσιάζεται περιληπτικά παρακάτω:

Το πρώτο από τα πολλά βήματα που έγιναν έγινε από τον Αριστοτέλη το 350 π.Χ. που μίλησε για ορθή σκέψη, την αναντίρρητη διαδικασία συλλογισμού.Ο Boole το 1854 ήταν ο πρώτος που έθεσε τις βάσεις της προτασιακής λογικής. Το 1943 έγινε από τους Warren McCulloch και Walter Pitts η πρώτη εργασία στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης που συσχέτιζε τους βιολογικούς νευρώνες του εγκεφάλου με απλά υπολογιστικά στοιχεία και πρότεινε ένα μοντέλο τεχνητών νευρώνων που μαθαίνει και υπολογίζει κάθε υπολογίσιμη συνάρτηση. Το 1950 ο Alan Turing που θεωρείται πατέρας της τεχνητής νοημοσύνης εμπνεύστηκε μία δοκιμασία η οποία ονομάστηκε Turing Test. Βασίζεται σε μια σειρά από ερωτήσεις που υποβάλει κάποιος στον άνθρωπο και στον υπολογιστή ταυτόχρονα χωρίς να γνωρίζει εκ των προτέρων ποιος είναι τι. Αν στο τέλος ο εξεταστής δεν μπορεί να καταλάβει ποιος είναι τι τότε ο υπολογιστής θεωρείται ευφυής. Αυτό το τεστ θεωρείται ακόμα και σήμερα το καλύτερο μέτρο σύγκρισης της φυσικής με την τεχνητή νοημοσύνη αν και για την υλοποίησή του απαιτείται η συμμετοχή πολλών επιστημονικών περιοχών όπως η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας, η αναπαράσταση της γνώσης και η αυτοματοποιημένη συλλογιστική για τη χρήση της αποθηκευμένης πληροφορίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το 1951 δύο μεταπτυχιακοί φοιτητές του μαθηματικού τμήματος του Princeton οι Marvin Minsky και Dean Edmonds

υλοποίησαν το πρώτο νευρωνικό δίκτυο με 40 νeurών es, το SNARC. Η επόμενη δουλειά έγινε από τους Newell και Simon ο γενικός επιλυτής προβλημάτων (GPS) ένα πρόγραμμα που έλυνε περιορισμένο αριθμό προβλημάτων ακολουθούμενο την ανθρώπινη προσέγγιση. Ήταν το πρώτο πρόγραμμα που ακολουθούσε τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης. Το 1963 ο McCarthy ίδρυσε το εργαστήριο της τεχνητής νοημοσύνης στο Stanford. Εκεί υλοποιήθηκε το πρώτο robot το SHAKEY. Την δεκαετία του 70 αναπτύχθηκαν συστήματα που περιείχαν απαιτούμενη γνώση ώστε να συμπεριφέρονται ως άνθρωποι ειδικοί σε διάφορα θέματα. Τα συστήματα αυτά ονομάστηκαν έμπειρα μικροσυστήματα αναπτύχθηκε μία νέα γλώσσα προγραμματισμού η PROLOG η οποία βασιζόταν στη λογική. Από τη δεκαετία του 80 και μετά περάσαμε στη μοντέρνα φάση της τεχνητής νοημοσύνης όπου με χρήση της γλώσσας PROLOG δημιουργήθηκαν συστήματα που βασίστηκαν στη γνώση και την εμπορική εκμετάλλευση όπως για παράδειγμα το πρόγραμμα 5ης γενιάς των Ιαπώνων που εκτελούσε εκατομμύρια λογικά συμπεράσματα το δευτερόλεπτο που είχε σαν σκοπό την πλήρη επικοινωνία με τον άνθρωπο.

Σήμερα βρισκόμαστε στην μεταμοντέρνα περίοδο της τεχνητής νοημοσύνης όπου υπάρχουν σημαντικές εξελίξεις σε εφαρμογές πάνω στη ρομποτική, την μηχανική όραση τη μηχανική μάθηση και το σχεδιασμό ενεργειών. Ο σχεδιασμός ενεργειών έχει εφαρμοστεί στην βιομηχανία, σε αποστολές στο διάστημα, σε αντιμετώπιση κρίσεων. Υπάρχουν συστήματα αναγνώρισης φωνής, τα οποία κάνουν κρατήσεις για αεροπορικές θέσεις τηλεφωνικά βρίσκοντας παράλληλα τη βέλτιστη πτήση με κριτήριο το κόστος και το χρόνο (πρόγραμμα PEGASUS) ή δίνουν διάφορες πληροφορίες γενικού ενδιαφέροντος. Τέλος, υπάρχουν ακόμα και συστήματα ρομποτικής που οδηγούν αυτοκίνητα , διεξάγουν ιατρικές διαγνώσεις και ρυθμίζουν την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε πολυσύχναστους δρόμους.[Βιβλία 1]

4.4.1.3 Προσεγγίσεις της Τεχνητής νοημοσύνης

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις της τεχνητής νοημοσύνης. Η **κλασική ή συμβολική προσέγγιση** που βασίζεται στην κατανόηση των νοητικών διεργασιών και ασχολείται με τη προσομοίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης προσεγγίζοντας την με **αλγόριθμους και συστήματα που βασίζονται στη γνώση** και η **μη συμβολικές μέθοδοι** που βασίζονται στη μίμηση της βιολογικής λειτουργίας του εγκεφάλου και που προσεγγίζουν το θέμα με τα λεγόμενα νευρομορφικά ή **νευρωνικά δίκτυα**.

4.4.1.3. Συμβολική Προσέγγιση

Οι αλγόριθμοι αναζήτησης σε συνδυασμό με την αναπαράσταση της γνώσης συνθέτουν τον πυρήνα κάθε εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης.

Η τυποποίηση της περιγραφής ενός προβλήματος διευκολύνει την λύση του επομένως η τυποποίηση των βημάτων επίλυσης διευκολύνει την αυτοματοποίηση δηλαδή την υλοποίηση του τρόπου λύσης σ' ένα υπολογιστικό σύστημα. Η αυτοματοποίηση επιτυγχάνεται μέσω συγκεκριμένων βημάτων (αλγορίθμων) που πρέπει να εφαρμοστούν για λυθεί το πρόβλημα. Οι αλγόριθμοι αυτοί ονομάζονται αλγορίθμοι **αναζήτησης**. Ο αριθμός των αλγορίθμων αυτών είναι πολύ μεγάλος λόγω του γεγονότος ότι ο καθένας από αυτούς έχει διαφορετική πολυπλοκότητα.

Οι αλγόριθμοι αναζήτησης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τους τυφλούς και τους ευριστικούς. Οι πρώτοι διατάσσουν το μέτωπο αναζήτησης του αλγορίθμου βάσει της χρονικής διάρκειας των νέων καταστάσεων δηλαδή εφαρμόζονται σε προβλήματα όπου δεν έχουμε κάποια συγκεκριμένη πληροφορία και αναζητούν λύση από το πλήθος όλων των υπαρκτών λύσεων. Οι δεύτεροι διατάσσουν το μέτωπο αναζήτησης σύμφωνα με κάποια κριτήρια που αξιολογούν τις καταστάσεις ως καλύτερες ή χειρότερες. Βασικό μειονέκτημα των αλγορίθμων τυφλής αναζήτησης είναι ότι επειδή ψάχνουν σ' ένα πολύ μεγάλο χώρο αναζήτησης δεν επαρκούν για μεγάλους χώρους καταστάσεων. Πλεονέκτημα των αλγορίθμων ευριστικής αναζήτησης είναι ότι κάνουν μία αξιολόγηση της κατάστασης για πιο γρήγορη λύση. Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι πολλές φορές η αξιολόγηση των καταστάσεων δεν γίνεται με τα σωστότερα κριτήρια και επομένως δεν έχουμε πάντα τη βέλτιστη λύση.

Η φυσική γλώσσα είναι ο κυριότερος τρόπος **αναπαράστασης γνώσης** για τον άνθρωπο. Όμως κρίνεται ακατάλληλη για τα υπολογιστικά συστήματα λόγω της πολυπλοκότητας της γλώσσας. Για την τεχνητή νοημοσύνη πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μονοσήμαντος τυποποιημένος συμβολισμός ο οποίος θα πρέπει να μπορεί να συνδυαστεί κατάλληλα με μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων που υλοποιούνται από τη στρατηγική αναζήτησης και από τη συλλογιστική.

Η αναπαράσταση της γνώσης για την τεχνητή νοημοσύνη έχει ακριβώς την ίδια λογική με τις αναπαραστάσεις της γνώσης στον άνθρωπο. Συνδυάζει δηλαδή μεθόδους λογικής με δομημένες αναπαραστάσεις γνώσεις, με αναπαραστάσεις με

κανόνες και μεθόδους συλλογιστικής για να οδηγηθεί σένα τελικό συμπέρασμα. Τέλος, στη συμβολική προσέγγιση υπάρχει πολλές φορές η ανάγκη να λαμβάνονται αποφάσεις ακόμα και αν υπάρχει μία ατελής πληροφορία. Αυτή ονομάζεται **αβέβαιη ή ασαφής γνώση**. Αβέβαιη γνώση είναι η έλλειψη ακριβούς πληροφορίας για την λήψη απόφασης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που είναι πολλή πιθανή η προσέγγιση του προβλήματος γίνεται με χρήση πιθανοτήτων. Ασαφής γνώση είναι η γνώση που σχετίζεται με την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας και οφείλεται σε μη-ακριβή δεδομένα. Η ασαφής λογική είναι ένα υπερσύνολο της κλασικής λογικής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση για την αντιμετώπιση της ασάφειας χρησιμοποιείται η ασαφής συλλογιστική που αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων με χρήση ασαφών κανόνων. [Βιβλία 1]

4.4.1.4 Μη.Συμβολική Προσέγγιση

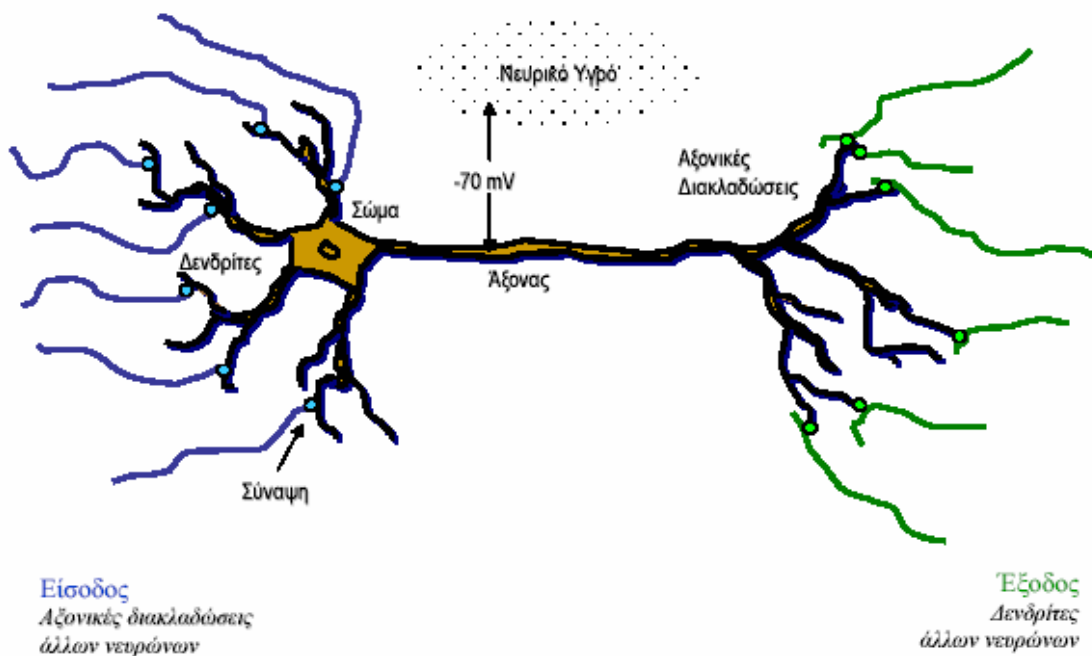
Οι μη συμβολικές μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης προσομοιώνουν τις βιολογικές διεργασίες όπως την διαδικασία εξέλιξης των ειδών ή τη λειτουργία του εγκεφάλου. Αυτές οι τεχνικές είναι οι **γενετικοί αλγόριθμοι** και τα **νευρωνικά δίκτυα**.

ΓΕΝΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Η φύση έχει έναν ισχυρό μηχανισμό εξέλιξης των ειδών. Αν το περιβάλλον μεταβάλλεται τότε ο κάθε οργανισμός μεταβάλλεται κι αυτός και εξελίσσεται με την πάροδο των γενιών. Σε κάθε γενιά υπάρχει ένας συγκεκριμένος πληθυσμός οργανισμών του οποίου τα άτομα εξελίσσονται ανάλογα με τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Αν όμως δεν αντέξουν στις μεταβολές τα άτομα του οργανισμού τότε ο οργανισμός εξαφανίζεται. Αυτή είναι η θεωρία της εξέλιξης που χρησιμοποιείται και σε μία κατηγορία αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων που ονομάζονται γενετικοί αλγόριθμοι.

ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η δομική μονάδα του εγκεφάλου είναι ο νευρώνας. Ένας βιολογικός νευρώνας αποτελείται από τον πυρήνα του τους δενδρίτες μέσω των οποίων λαμβάνει σήματα από τους γειτονικούς νευρώνες και τον άξονα που είναι η έξοδος του νευρώνα και το μέσο σύνδεσής του με άλλους νευρώνες. Σε κάθε δενδρίτη υπάρχει ένα απειροελάχιστο κενό που ονομάζεται σύναψη. Η ικανότητα μάθησης και μνήμης του ανθρώπου οφείλεται στην ικανότητα των συνάψεων να μεταβάλουν την αγωγιμότητά τους. Αν και ο χρόνος απόκρισης των βιολογικών νευρώνων είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου εντούτοις ο εγκέφαλος είναι σε θέση να λαμβάνει πολύπλοκες αποφάσεις εκπληκτικά γρήγορα και αυτό οφείλεται στην υπολογιστική ικανότητα του εγκεφάλου η πληροφορία να διαμοιράζεται σ' όλο του τον όγκο. Πρόκειται για ένα παράλληλο και καταναμημένο υπολογιστικό σύστημα.. Η επιθυμία να μοντελοποιηθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος δημιούργησε τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. [Βιβλία 1]



Σχήμα 4.2: Ο βιολογικός νευρώνας του εγκεφάλου του ανθρώπου[Σημειώσεις3]

Τεχνητός Νευρώνας

Ο τεχνητός νευρώνας είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο μέρη του οποίου αντιστοιχούν με αυτά ενός βιολογικού νευρώνα. Ένας τεχνητός νευρώνας δέχεται κάποια σήματα εισόδου (x_1, x_2, \dots, x_n) που αντιστοιχούν σε συνεχείς μεταβλητές. Κάθε τέτοιο σήμα εισόδου μεταβάλλεται από μία τιμή βάρους (weight) ο ρόλος της οποίας είναι ο αντίστοιχος της σύναψης του βιολογικού εγκεφάλου. Το σώμα του τεχνητού νευρώνα χωρίζεται σε δύο μέρη τον αθροιστή (sum) ο οποίος προσθέτει τα επηρεασμένα από τα βάρη σήματα εισόδου και παράγει την ποσότητα S , και τη συνάρτηση ενεργοποίησης ή κατωφλιού (activation or function) ένα μη γραμμικό φίλτρο το οποίο διαμορφώνει την τελική τιμή του σήματος εξόδου y σε συνάρτηση με την ποσότητα S .

Υπάρχουν τρεις τυπικές περιπτώσεις για τη συνάρτηση ενεργοποίησης :

1. Η βηματική συνάρτηση (step) η οποία δίνει στην έξοδο αποτελέσματα (συνήθως 1) μόνο αν η τιμή που υπολογίζει ο υπολογιστής είναι μεγαλύτερη από μία τιμή του κατωφλιού T .
2. Η συνάρτηση πρόσημου (sign) η οποία δίνει στην έξοδο αρνητική (ή θετική) πληροφορία αν η τιμή που υπολογίζει ο αθροιστής είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την τιμή του κατωφλιού.
3. Η σιγμοειδής συνάρτηση (sigmoid) που εκφράζεται από τη σχέση:

$$\Phi(S) = 1 / (1 + e^{-aS})$$

όπου

a : συντελεστής ρύθμισης της ταχύτητας μετάβασης μεταξύ των ασυμπτωτικών τιμών.

Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι σημαντική γιατί παρέχει μη γραμμικότητα στο νευρώνα κάτι που είναι απαραίτητο στη μοντελοποίηση μη γραμμικών φαινομένων.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι συστήματα επεξεργασίας δεδομένων που αποτελούνται από ένα πλήθος τεχνητών νευρώνων σε δομές παρόμοιες με αυτές του εγκεφάλου. Συνήθως οι τεχνητοί νευρώνες είναι οργανωμένοι σε μία σειρά από στρώματα ή επίπεδα (layers). Το πρώτο από αυτά τα επίπεδα ονομάζεται επίπεδο εισόδου (input layer) και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων. Στη συνέχεια μπορεί να υπάρχουν ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα επίπεδα και τέλος υπάρχει ένα επίπεδο εξόδου (output layer).

Οι νευρώνες των διαφόρων στρωμάτων είναι ή πλήρως ή μερικώς συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Πλήρως συνδεδεμένοι είναι εκείνοι που συνδέονται με όλους τους νευρώνες του επόμενου επιπέδου ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση είναι μερικώς συνδεδεμένοι. Όταν δεν υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων προηγούμενου και επόμενου επιπέδου (όταν η ροή πληροφορίας είναι μιας κατεύθυνσης) τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χαρακτηρίζονται με απλή τροφοδότηση (feedforward) σε αντίθετη περίπτωση τα δίκτυα χαρακτηρίζονται με ανατροφοδότηση (feedback). Αν και ορισμένες φορές τα δίκτυα ανατροφοδότησης είναι πολύ χρήσιμα στην πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιούνται δίκτυα απλής τροφοδότησης. [Βιβλία 1]

Μάθηση και Ανάκλαση

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα πραγματοποιούν δύο βασικές λειτουργίες : τη μάθηση και την ανάκλαση. Μάθηση είναι η διαδικασία κατά την οποία τροποποιείται η τιμή βάρους του δικτύου ώστε δοθέντος του διανύσματος εισόδου να παραχθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εξόδου. Ανάκλαση είναι η διαδικασία του υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου για συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου και τιμές βαρών.

Υπάρχουν 3 είδη μάθησης στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα:

1. Μάθηση υπό επίβλεψη : Δίνονται ζευγάρια διανυσμάτων εισόδου- επιθυμητής εξόδου. Αρχικά με την τρέχουσα κατάσταση βαρών παράγει μία έξοδο που διαφέρει από την επιθυμητή. Η διαφορά αυτή ονομάζεται σφάλμα και γίνεται αναπροσαρμογή των βαρών.
2. Βαθμολογημένη μάθηση: Η έξοδος χαρακτηρίζεται καλή ή κακή με βάση μία αριθμητική κλίμακα και τα βάρη αναπροσαρμόζονται ανάλογα με αυτό το χαρακτηρισμό.

3.Μάθηση χωρίς επίβλεψη: Η απόκριση του δικτύου βασίζεται στην ικανότητα του να αυτοοργανώνεται

Στην πράξη στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιείται η μάθηση υπό επίβλεψη. Για να χρησιμοποιηθεί ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο πρέπει πρώτα να εκπαιδευτεί για να μάθει. Η μάθηση συνίσταται στον προσδιορισμό των κατάλληλων συντελεστών βάρους, ώστε το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο να εκτελεί τους επιθυμητούς υπολογισμούς, και πραγματοποιείται με τη βοήθεια αλγορίθμων που είναι γνωστοί ως κανόνες μάθησης ή αλγόριθμοι εκπαίδευσης. Ο ρόλος των συντελεστών βάρους μπορεί να ερμηνευτεί ως αποθήκευση γνώσης, η οποία παρέχεται μέσω παραδειγμάτων. Με αυτόν τον τρόπο τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μαθαίνουν το περιβάλλον τους, δηλαδή το φυσικό μοντέλο που παρέχει τα δεδομένα.

Βασικά Χαρακτηριστικά των νευρωνικών δικτύων:

Τέσσερα είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που είναι συνδεδεμένα με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.:

1.Η ικανότητα τους να μαθαίνουν πολύ γρήγορα μέσω παραδειγμάτων: Οργανώνουν την πληροφορία των δεδομένων εισόδου σε χρήσιμες μορφές.

2.Η δυνατότητα θεώρησής τους ως κατανεμημένη μνήμη και μνήμη συσχέτισης: Τα συστήματα αυτά κατανέμουν την πληροφορία σ' όλα τα βάρη της συνδεσμολογίας τους και γι' αυτό χαρακτηρίζονται και μνήμες συσχέτισης. Μία μνήμη συσχέτισης χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι αποθηκεύει την πληροφορία συσχετίζοντας αποθηκευμένα δεδομένα μεταξύ τους. Η ανάκληση της πληροφορίας γίνεται μετά με βάση το περιεχόμενο και όχι την διεύθυνση όπως στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

3.Η μεγάλη τους ανοχή σε σφάλματα: Η κακή λειτουργία ή η καταστροφή ενός νευρώνα δεν είναι ικανή να διαταράξει σημαντικά τη λειτουργία τους αφού η πληροφορία δεν είναι καταχωρημένη σ' ένα μόνο σημείο αλλά σε όλο τον νευρώνα.

4.Η ικανότητά τους για αναγνώριση προτύπων: Δεν επηρεάζονται από ελλιπή ή με θόρυβο δεδομένα. Όταν ένα νευρωνικό δίκτυο αναγνωρίζει συνθήκες και καταστάσεις, απαιτείται ένας μόνο κύκλος λειτουργίας του για να την προσδιορίσει.

Πλεονεκτήματα των Νευρωνικών Δικτύων

- Η συμπαγής παράλληλα κατανεμημένη δομή και η ικανότητα μάθησης των νευρωνικών δικτύων, κάνουν δυνατή την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, τα οποία σπάνε σε μικρότερα έργα, που αναλαμβάνουν τα νευρωνικά δίκτυα ανάλογα με τις δυνατότητές τους.
- Η χρήση των Νευρωνικών Δικτύων παρέχει τις ακόλουθες χρήσιμες ιδιότητες Σχεδιασμός Εισόδου-Εξόδου.

Ένα συνηθισμένο παράδειγμα μάθησης που καλείται επιβλεπόμενη μάθηση, εμπλέκει μεταβολή των synaptic βαρών του Νευρωνικού Δικτύου, εφαρμόζοντας ένα σύνολο δειγμάτων εξάσκησης ή παραδείγματα έργων. Κάθε παράδειγμα αποτελείται από ένα μοναδικό σήμα εισόδου και την επιθυμητή απόκριση. Η εξάσκηση του δικτύου επαναλαμβάνεται για πολλά παραδείγματα, μέχρι το δίκτυο να φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση, όπου πλέον δεν γίνονται αλλαγές στα βάρη. Έτσι το δίκτυο μαθαίνει από τα παραδείγματα, κατασκευάζοντας ένα σχεδιασμό εισόδου-εξόδου για το πρόβλημα στο χέρι.

- Προσαρμοστικότητα.

Τα Νευρωνικά Δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τα βάρη τους στις αλλαγές του περιβάλλοντός τους. Μερικές φορές οι προσαρμογές οδηγούν σε μείωση της απόδοσης του συστήματος, γι' αυτό θα πρέπει να είναι επαρκείς δίλημμα σταθερότητας-πλαστικότητας.

- Αποδεικτική Απόκριση.

Ένα Νευρωνικό Δίκτυο σχεδιάζεται για να παρέχει πληροφορίες όχι μόνο για το συγκεκριμένο υπόδειγμα που επιλέγεται αλλά και για την εμπιστοσύνη στην απόφαση που παίρνεται. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του συστήματος.

- Συναφής Πληροφορία.

Η γνώση αναπαριστάται από την πολύ δομημένη και ενεργή κατάσταση του Νευρωνικού Δικτύου.

- Υλοποιησιμότητα σε VLSI.

Η συμπαγής παράλληλη φύση του Νευρωνικού Δικτύου, κάνει δυνατή την υλοποίηση του σε VLSI τεχνολογία, έτσι ώστε τα νευρωνικά δίκτυα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

- Ομοιομορφία Ανάλυσης και Σχεδιασμού.

Η έννοια είναι ότι ο ίδιος συμβολισμός χρησιμοποιείται σε όλα τα πεδία που περιέχουν εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων. Αυτό το χαρακτηριστικό υποδηλώνεται με διαφορετικούς τρόπους :

- Οι νευρώνες παριστάνουν ένα συστατικό συνηθισμένο σε όλα τα νευρωνικά δίκτυα.

Αυτή η ιδιότητα κάνει δυνατό το διαμοιρασμό θεωριών και αλγορίθμων εκμάθησης σε διαφορετικές εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων. Ρυθμιστικά (αναδρομικά) δίκτυα μπορούν να κατασκευαστούν μέσω μιας αμιγούς ολοκλήρωσης από modules.

- Αναλογία με Νευροβιολογία.

Ο σχεδιασμός νευρωνικών δικτύων γίνεται σε αναλογία με τον εγκέφαλο. Οι νευροβιολόγοι βλέπουν τα νευρωνικά δίκτυα σαν αντικείμενο έρευνας για την εξήγηση νευροβιολογικών φαινομένων. Ομοίως οι μηχανικοί βλέπουν στη νευροβιολογία για νέες ιδέες για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων. [Βιβλία 1]

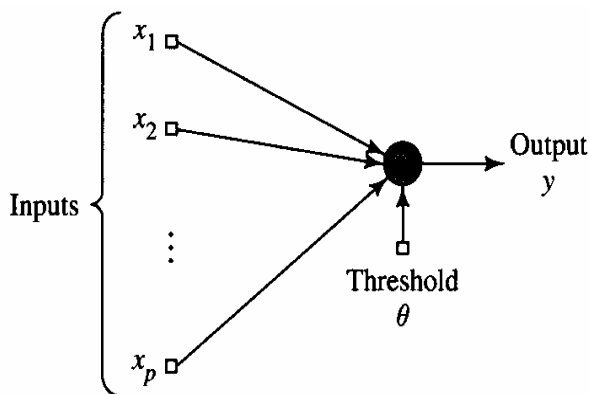
Μορφές Νευρωνικών δικτύων

1. Δίκτυα με απλή τροφοδότηση

Η πιο απλή μορφή νευρωνικών δικτύων. Σ ' αυτά υπάρχει ένα δίκτυο εισόδου ένα δίκτυο εξόδου και προαιρετικά ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα στάδια-επίπεδα. Στα δίκτυα με απλή τροφοδότηση χρησιμοποιούνται μέθοδοι μάθησης με επίβλεψη.

Percetron

Η πιο απλή προσέγγιση τεχνητών νευρωνικών δικτύων . Πρόκειται για έναν τεχνητό νευρώνα που χρησιμοποιεί ως συνάρτηση κατωφλιού τη βηματική συνάρτηση. Η λογική αυτής της μεθόδου συνίσταται στην επιλογή κατάλληλων τιμών βαρών ώστε δεδομένου ενός διανύσματος εισόδου να παραχθεί η επιθυμητή έξοδος.



Σχήμα 4.3: Δίκτυο Percetron [Σημειώσεις3]

Κανόνας Δέλτα

Αποτελεί γενίκευση του αλγόριθμου εκπαίδευσης του perceptron με την έννοια ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα τα οποία όμως δεν έχουν και κρυφά επίπεδα.

2. Ανάστροφη μετάδοση λάθους

Η πιο γνωστή μέθοδος εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων πολλών επιπέδων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή με βάση τη διάδοση του σφάλματος προς τα πίσω γίνεται ένας υπολογισμός της συνεισφοράς του κάθε βάρους των νευρώνων στο συνολικό σφάλμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να πάρει τιμή στα όρια που έχει θέσει ο χρήστης. Όλη η διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί σαν μία αναζήτηση του ολικού ελάχιστου της συνάρτησης του σφάλματος, η οποία έχει σαν παραμέτρους τις τιμές των βαρών. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δίκτυο δεν αποδίδει τα αναμενόμενα γιατί πέφτει σε τοπικά ελάχιστα.

3. Νευρωνικά δίκτυα με ανατροφοδότηση

Λόγω των βρόχων οι νευρώνες αυτοί παράγουν σε κάθε κύκλο λειτουργίας που εξαρτώνται όχι μόνο από την έξοδο του προηγούμενου επιπέδου αλλά και από την έξοδο του εαυτού τους από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας. Η προσθήκη βρόχων κάνει σαφώς πιο πολύπλοκη την λειτουργία τους αλλά βοηθάει στο να μάθουν τα δίκτυα πιο γρήγορα και να αποφευχθούν τα λάθη.

Δίκτυα Hopfield

Ο πιο γνωστός τύπος δικτύων με ανατροφοδότηση. Ο κάθε νευρώνας συνδέεται με όλους τους υπόλοιπους ενώ οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων είναι αμφίδρομες και

έχουν συμμετρικά βάρη. Όλοι οι νευρώνες λειτουργούν σαν είσοδοι και εξοδοι του δικτύου. Οι νευρώνες είναι απλοί perceptron με συνάρτηση ενεργοποίησης τη συνάρτηση πρόσημου +1 ή -1. Στα επίπεδα εισόδου και εξόδου απλά διατηρούν την αρχική τους τιμή ενώ οι υπολογισμοί γίνονται μόνο στο επίπεδο Hopfield. Η μεταβολή των βαρών δίνεται από τη σχέση: $\Delta w_{ij} = (2 \cdot x_i - 1) \cdot (2 \cdot x_j - 1)$ όπου οι μεταβλητές αυτές θα έχουν την τιμή 0 ή 1.

Από τη σχέση υπολογισμού των βαρών και τις δυνατές τιμές των x προκύπτει ότι τα βάρη ενισχύονται όταν η έξοδος ενός νευρώνα είναι η ίδια με την είσοδο ενώ διαφορετικά εξασθενούν. Αυτό που μαθαίνει ένα δίκτυο Hopfield είναι ένα ή περισσότερα διανύσματα εισόδου και το δίκτυο να λειτουργεί σαν μνήμη συσχέτισης. Το δίκτυο θα ισορροπήσει στο κοντινότερο διάνυσμα από το σύνολο των διανυσμάτων που εκπαιδεύτηκε.

6. Δίκτυο Kohonen

Όλα τα δίκτυα που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα χρησιμοποιούν για την εκπαίδευση τους μεθόδους μάθησης υπό επίβλεψη. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί μάθηση χωρίς επίβλεψη. Ένα δίκτυο Kohonen αποτελείται από ένα πλήθος νευρώνων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κάποια γεωμετρική τοπολογία. Κάθε σημείο εισόδου συνδέεται με τους υπόλοιπους νευρώνες και επηρεάζει τους “γειτονικούς νευρώνες” τότε θετικά και τότε αρνητικά ενώ τους απομακρυσμένους δεν τους επηρεάζει καθόλου. Έτσι με τη διαδικασία της γειτνίασης ορισμένες περιοχές στο χάρτη αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένη κατηγορία των εισόδων του δικτύου. Τόσο η μεταβολή των βαρών όσο και το μέγεθος της γειτονιάς μειώνονται με την πάροδο του χρόνου έως ότου φτάσουν σε πολύ μικρές τιμές και τότε το σύστημα να θεωρείται εκπαιδευμένο. [Βιβλία 1]

Εφαρμογές Τεχνητών νευρωνικών δικτύων

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σ' ένα πλήθος από εφαρμογές όπως ο σχεδιασμός ενεργειών ο χρονοπρογραμματισμός, η διάγνωση λαθών σε δορυφορικές επικοινωνίες, η αναγνώριση υπογραφών και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη τιμής μιας μετοχής. Χρησιμοποιείται επίσης σε προγράμματα οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων και σε υπολογιστές παλάμης που δέχονται εντολές χειρόγραφα.

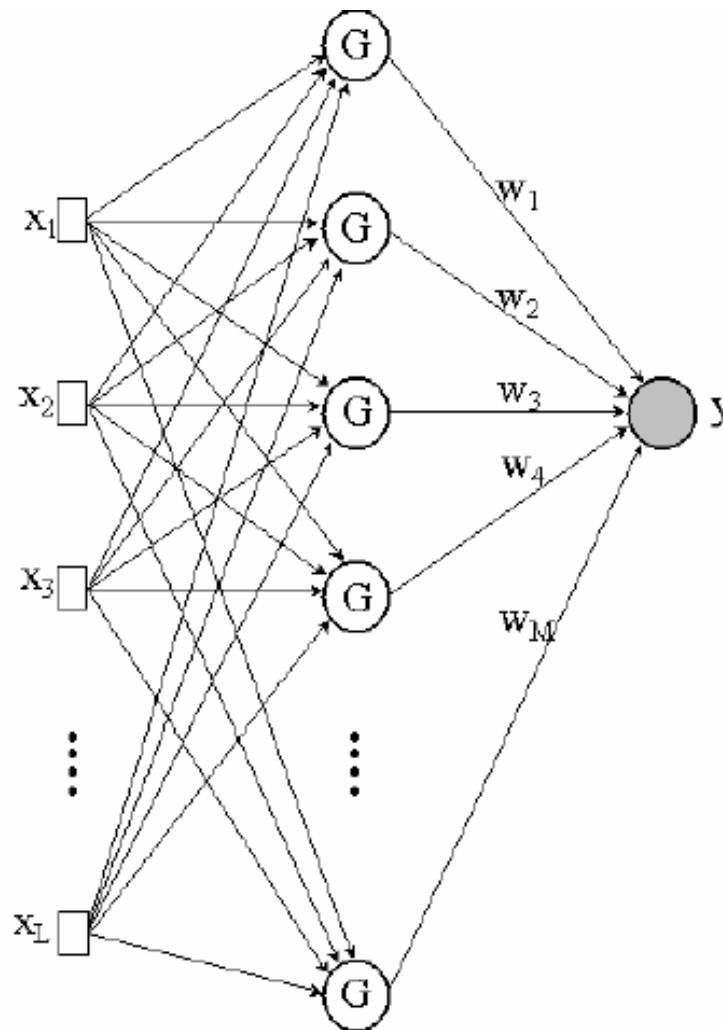
Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου που βασίζονται στην ασαφή λογική με κύριο στόχο τη συνάρτηση συγγένειας. Το πιο γνωστό εμπορικό σύστημα τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι το PAPNET το οποίο κάνει διάγνωση σε αποτελέσματα του τεστ Παπανικολάου. Τα δίκτυα Kohonen έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε προγράμματα υπαγόρευσης. [Βιβλία 1]

4.4.2 Το χρησιμοποιημένο νευρωνικό δίκτυο.

4.4.2.1 Εξισώσεις του RBF νευρωνικού δικτύου

Το είδος των νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιήθηκε είναι τα **Νευρωνικά Δίκτυα Συναρτήσεως Βάσης Ακτινικού Τύπου** ή **Radial Basis Function Neural Networks** (RBF Neural Networks) . Τα RBF αποτελούν μία διαφορετική προσέγγιση στο σχεδιασμό των σύγχρονων νευρωνικών δικτύων, καθώς «βλέπουν» το σχεδιασμό σαν ένα πρόβλημα καμπυλωτό σε έναν πολυδιάστατο χώρο. Η εκπαίδευση του δικτύου ουσιαστικά, ισοδυναμεί με την εύρεση μιας επιφάνειας σε ένα πολυδιάστατο χώρο που προβάλλει το «καλύτερο αποτέλεσμα» των δεδομένων εξάσκησης με το κριτήριο του «καλύτερου αποτελέσματος» να υπολογίζεται με κάποια στατιστική σημασία και η στρατηγική που ακολουθείται να είναι ισοδύναμη με τη χρήση αυτής της πολυδιάστατης επιφάνειας. Η ικανότητα πρόγνωσης ενός RBF νευρωνικού δικτύου εξαρτάται από την μορφή της επιφάνειας απόκρισης, τον αριθμό των κρυμμένων ενοτήτων, την επιλεγόμενη ενέργεια ενεργοποίησης και το πόσο επαρκή είναι τα δεδομένα που παίρνει από το χρήστη. Σε γενικές γραμμές τα RBF είναι τριών στρωμάτων (στρώμα εισόδου, κρυφό στρώμα, στρώμα εξόδου), όπως φαίνονται στο σχήμα 4.4, πλήρως συνδεδεμένα προς τα μπρος(από το στρώμα εισόδου προς το στρώμα εξόδου), τα οποία εκτελούν έναν μη γραμμικό προγραμματισμό από το στρώμα εισόδου ($[x_1, \dots, x_L]$) προς το κρυφό στρώμα ($[G_1, \dots, G_M]$) και έναν γραμμικό προγραμματισμό από το κρυφό στρώμα προς το στρώμα εξόδου (y) με L τον αριθμό των στοιχείων εισόδου και M τον αριθμό των στοιχείων στο κρυφό στρώμα και y την μοναδική λύση που προκύπτει στα σημεία εξόδου. Αφού μόνο ένα στοιχείο προκύπτει στα σημεία εξόδου οι συνδέσεις του προηγούμενου στρώματος με αυτό (w_1, \dots, w_M) είναι οι μόνες προσαρμοσμένες παράμετροι. Τα στοιχεία στο κρυφό στρώμα είναι συνδεδεμένα με τα αυτοαποκαλούμενα κέντρα RBF νευρωνικών δικτύων, τα c_i $i=1, M$. (κάθε νεύρωνας του κρυφού στρώματος έχει το δικό του κέντρο c_i). Η επιλογή τους αποτελεί

σημαντικό παράγοντα για την ικανότητά τους να προβλέπουν και για την στρατηγική του δικτύου. Η πιο σηνυθισμένη επιλογή είναι να θέσουμε $M=N$ όπου N ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης . Όμως για μια μεγάλη περιοχή δεδομένων(που σημαίνει μεγάλο M) θα προκαλέσει στους υπολογιστές μεγάλο κόστος και θα απαιτήσει πολύ μεγάλη μνήμη. Η προτεινόμενη λύση είναι να θέσουμε $M<N$ δηλαδή ο αριθμός των νευρώνων να είναι μικρότερος από την συνολική περιοχή δεδομένων που προκαλεί λιγότερο υπολογιστικό κόστος και κέρδος όσο αναφορά την στρατηγική του δικτύου.[Δημοσιεύσεις 1]



Σχήμα 4.4:Νευρωνικό δίκτυο RBF[Δημοσιεύσεις 1]

Στην δική μας περίπτωση θεωρήσαμε $M=N$ και δίνοντας τα στοιχεία εισόδου $[x_1, \dots, x_L]$ παίρνουμε το αποτέλεσμα $Y(x)$ Σύμφωνα με τη σχέση:

$$y(x) = \sum_{i=1}^M w_i * G(x, c_i) = \sum w_i * G(\|x - c_i\|) \quad (4.2)$$

Και η συνάρτηση G είναι ακτινικού τύπου συνάρτηση βάσης(RBF)

$$G(u,\sigma)=\exp(-u^2/\sigma^2) \quad (4.3)$$

όπου:

σ : είναι το σταθερό εύρος της συνάρτησης RBF[Δημοσιεύσεις 1]

4.4.2.1 Εκπαίδευση του δικτύου RDF

Οι παράμετροι λοιπόν που πρέπει να εκπαιδευτούν στο κρυφό στρώμα είναι, όπως είναι κατανοητό, τα κέντρα c_i και τα εύρη των συναρτήσεων σ_i ενώ οι τιμές των παραμέτρων w πρέπει να εκπαιδευτούν στο στρώμα εξόδου. Ο νευρώνας μπορεί να εκπαιδευτεί με δύο διαφορετικούς τρόπους: την απευθείας εκμάθηση και την εκμάθηση με αλληλεπίδραση. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε η απευθείας εκμάθηση. Η απευθείας εκμάθηση βασίζεται στην τυποποίηση σε μορφή πινάκων των βασικών εξισώσεων. Η παρουσίαση του δικτύου με N αριθμό δεδομένων εκπαίδευσης επιτρέπει την δημιουργία πίνακα απόκρισης(response matrix) ο οποίος θα είναι και τετραγωνικός αν $M=N$. Κάθε γραμμή στον response matrix αντιστοιχεί σε ένα παράδειγμα εκπαίδευσης και κάθε στήλη σε ένα κέντρο c_i . Έτσι προκύπτει η πινακοποιημένη μορφή του προβλήματος:

$$G(N \times M) w(M \times 1) = y(N \times 1) \quad (4.4)$$

Αν τώρα $M=N$ τότε ο response matrix G μπορεί να αναστραφεί και να γίνει:

$$G=Q R \quad (4.5)$$

όπου:

Q : πίνακας απόκρισης $(N \times M)$ και ισχύει για αυτόν η σχέση $Q^T Q = \text{diag}(1,1,\dots,1)$ (4.6)

R : πίνακας απόκρισης $(M \times M)$

Στη συνέχεια με απλή αντικατάσταση της 4.5 και 4.6 στην 4.4 προκύπτει:

$$R(M \times M) w(M \times 1) = Q^T(M \times N) y(N \times 1) \quad (4.7) \text{ [Δημοσιεύσεις 1]}$$

4.4.2.3 Εξισώσεις Γεννητικών Αλγόριθμων

Στην παρούσα διπλωματική τα νευρωνικά δίκτυα RBF χρησιμοποιήθηκαν για να επιταχύνουν ουσιαστικά την εύρεση λύσης σε γεννητικούς αλγόριθμους γι'αυτο στη συνέχεια θα εξηγήσουμε πως λειτουργεί συνοπτικά ένας γεννητικός αλγόριθμος σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης :

$$\text{Min} = f(X) \quad (4.8)$$

X: διάνυσμα παραμέτρων που σχηματίζει ένα χρωμόσωμα

f: συνάρτηση ελαχιστοποίησης

Μία υποψήφια λύση μπορεί να έχει τη μορφή:

$$X_{i,G}, i=1, \dots, N_p, G=1, \dots, \text{mgens} \quad (4.9)$$

G: κάθε γενιά

Mgens: μέγιστος αριθμός γενιών

Η βασική ιδέα των γεννητικών αλγόριθμων είναι η μετάλλαξη κάθε ατόμου του πληθυσμού με την πρόσθεση του διανύσματος σταθμισμένων διαφορών μεταξύ δύο τυχαίων μελών του πληθυσμού σε τρίτο μέλος του πληθυσμού (διάνυσμα) που καλείται δότης. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται για όλα τα μέλη του πληθυσμού.

Η διαδικασία μετάλλαξης ξεκινά με μια τυχαία επιλογή τριών ατόμων που σχηματίζουν μία τριάδα. Στην τριάδα αυτή ένα μέλος επιλέγεται τυχαία ως δότης(donor) και τα άλλα δύο μέλη επιλέγονται για τη μετάλλαξή του. Έτσι παράγεται το i-οστό διαταραγμένο άτομο ως ακολούθως:

$$V_{i,G+1} = X_{r3,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G}) \quad (4.10)$$

όπου:

F: παράμετρος στάθμισης που εισάγεται στην εξίσωση από τον χρήστη παίρνει τιμές από $F \in [0, 1 +]$ (4.11) και ελέγχει την ενίσχυση διαταραχής που προστίθεται από τον δότη.

$$r1, r2, r3 \in \{1 \dots N_p\} \text{ και } r1 \neq r2 \neq r3 \neq i \quad (4.12)$$

Τα $r1 \dots r3$ τυχαία διανύσματα λύσεων (χρωμοσώματα) ανάμεσα στις υποψήφιες λύσεις της τρέχουσας γενιάς. Το διαταραγμένο άτομο $V_{i,G+1}$ συγκρίνεται με το με το αρχικό μέλος του πληθυσμού $X_{i,G}$ μετά διασταυρώνονται και έτσι προκύπτει ο ενδιάμεσο πληθυσμός των δοκιμαστικών διανυσμάτων $U_{i,G+1}$.

$$\text{Αν } X_{i,G} = (x_{1,i,G}, \dots, x_{n,i,G})^T \quad V_{i,G} = (v_{1,i,G}, \dots, v_{n,i,G})^T \quad U_{i,G} = (u_{1,i,G}, \dots, u_{n,i,G})^T \quad (4.13)$$

Τότε

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} v_{i,G+1} \\ x_{j,i,G} \end{cases} \text{ αντίστοιχα αν ισχύει ή όχι η σχέση } \text{rand}_j \leq C_r \quad (4.14)$$

όπου :

$j=1, \dots, n$: τυχαίος δείκτης επιλεγμένος από ένα από τα μέλη του πληθυσμού .

C_r : παράμετρος διασταύρωσης ορισμένη από το χρήστη.

Τα άτομα της επόμενης γενιάς επιλέγονται από:

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} \\ X_{i,G} \end{cases} \text{ αντίστοιχα αν ισχύει ή όχι η σχέση } f(U_{i,G+1}) \leq f(X_{i,G}) \quad (4.15)$$

[Δημοσιεύσεις 2]

4.4.2.4 Επιτάχυνση της λειτουργίας του Γενετικού αλγόριθμου με την βοήθεια των RBF νευρωνικών δικτύων.

Η όλη ιδέα είναι να αντικαταστήσουμε το κόστος των ακριβών εκτιμήσεων των δοκιμαστικών διανυσμάτων με προσεγγίσεις και παράλληλα να μην αλλάζει η ανθεκτικότητα της μεθόδου των γενετικών αλγόριθμων. Κατά την διάρκεια δηλαδή των αξιολογήσεων, κάθε δοκιμαστικό διάνυσμα λύσεων να έχει προαξιολογηθεί χρησιμοποιώντας το προσεγγιστικό μοντέλο. Αν το δοκιμαστικό διάνυσμα προαξιολογηθεί σαν λιγότερο κατάλληλο από το υπάρχων διάνυσμα λύσεων του πληθυσμού της αντίστοιχης γενιάς τότε δεν χρειάζεται παραπέρα αξιολόγηση, αυτό απορρίπτεται και το υπάρχων διάνυσμα μεταφέρεται στην επόμενη γενιά. Αν πάλι το δοκιμαστικό διάνυσμα έχει προαξιολογηθεί περισσότερο κατάλληλο από το υπάρχων διάνυσμα τότε μία επαναξιολόγηση του επί δοκιμή διανύσματος ακολουθεί και επανασυγκρίνεται με το υπάρχων διάνυσμα. Αν το επί δοκιμή διάνυσμα είναι ακόμα και τώρα καταλληλότερο από το υπάρχων τότε το αντικαταστεί στην επόμενη γενιά διαφορετικά το υπάρχων διάνυσμα μεταφέρεται στην επόμενη γενιά. Στην πράξη ένας πολύ μικρός αριθμός διανυσμάτων επαναξιολογείται και επανασυγκρίνεται με το υπάρχων διάνυσμα. Στις δύο πρώτες γενιές όλα τα διανύσματα λύσεων αξιολογούνται επακριβώς (όπως στον γενετικό

αλγόριθμο) και μόνο αξιολογημένα επακριβώς δοκιμαστικά διανύσματα μπορούν να επιλεγθούν για να μεταφερθούν στην επόμενη γενιά ούτως ώστε κάθε πληθυσμός των επόμενων γενιών να συγκρίνεται άμεσα με κάποια πλήρως αξιολογημένα διανύσματα. Με αυτό τον τρόπο τουλάχιστον το ένα εκ των συγκρινόμενων διανυσμάτων θα είναι σίγουρα πλήρως αξιολογημένο και έτσι δεν χάνεται η ανθεκτικότητα της μεθόδου των γεννητικών αλγορίθμων. Τα αποτελέσματα κάθε αξιολόγησης και το χρωμόσωμα(καλύτερη λύση γενιάς) είναι αποθηκευμένα σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Για να επιτευχθεί το τοπικό προσεγγιστικό μοντέλο μόνο τα καταλληλότερα «άτομα» ενός πληθυσμού αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται για να επανεκπαιδεύσουν το RDF νευρωνικό δίκτυο. Έτσι το προσεγγιστικό μοντέλο χρησιμοποιεί μόνο την χρήσιμη πληροφορία του προσεγγιστικού μοντέλου για να επιλύσει την εφαρμογή. Η πρόβλεψη λοιπόν αντικαθιστά την επακριβή αξιολόγηση μόνο για τις πιο αδύναμες λύσεις και έτσι αποφεύγονται οι αξιολογήσεις που δεν χρειάζονται και μειώνεται το λειτουργικό κόστος. [Δημοσιεύσεις 2]

Στην διπλωματική αυτή χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MA_D.E.V.A. που υλοποιεί τον αλγόριθμο χρησιμοποιώντας γλώσσα Visual Basic, διαθέτει γραφικό περιβάλλον και μπορεί να καλεί εξωτερικά προγράμματα για τον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης κάθε υποψήφιας λύσης. Σε περίπτωση περιορισμών εφαρμόζονται οι συναρτήσεις τιμωρίας (penalty functions).

4.4.3 Διαδικασία - Εφαρμογή στο πεδίο

Στην περιπτωσή μας, το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι η εύρεση των μέγιστων τιμών παροχής άντλησης με περιορισμό στα πηγάδια παρατήρησης που επιλέχθηκαν το υδραυλικό ύψος να είναι μεγαλύτερο από 30,75 m.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό, ο γεννητικός αλγόριθμος ξεκινά με μία τυχαία σειρά λύσεων αυθαίρετα που τηρούν όμως τους περιορισμούς. Οι λύσεις αυτές εισάγονται στο μοντέλο προσομοίωσης PTC και έτσι αυτό εξάγει αποτελέσματα για τα υδραυλικά ύψη. Τα αποτελέσματα αυτά στην συνέχεια αξιολογούνται από πρόγραμμα που καλείται μετά το PTC και εξάγεται η συνάρτηση προσαρμογής της κάθε λύσης. Χρησιμοποιώντας στην συνέχεια ο αλγόριθμος τους τελεστές που του έχουν οριστεί από τον χρήστη παράγει την επόμενη γενιά λύσεων. Αυτή η διαδικασία

εξακολουθεί να γίνεται για όσες γενιές ορίσει ο χρήστης. Από την αμέσως επόμενη γενιά ενεργοποιείται το δίκτυο RDF και εκτελείται η διαδικασία που αναφέραμε στην παράγραφο 4.3.2.4.

Πρέπει να γίνει μία άμεση σύνδεση των αρχείων του γεννητικού αλγόριθμου με το αρχείο PTC της προσομοίωσης, για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ του PTC μοντέλου και του αλγόριθμου. Πρώτα από όλα πρέπει το PTC αρχείο να λειτουργήσει σε batch mode για να μην χρειαστεί να τρέξει μέσω Argus όπου τα δεδομένα εισάγονται από τον χρήστη κάθε φορά που τρέχει το μοντέλο με διαφορετικά δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση του “run_ptc.bat” αρχείου που είναι το εκτελέσιμο αρχείο του PTC μοντέλου.

Η διαδικασία δόμησης του προβλήματος και η εισαγωγή συγκεκριμένων παραμέτρων όσο και η εξαγωγή αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση των ακόλουθων αρχείων ASCII:

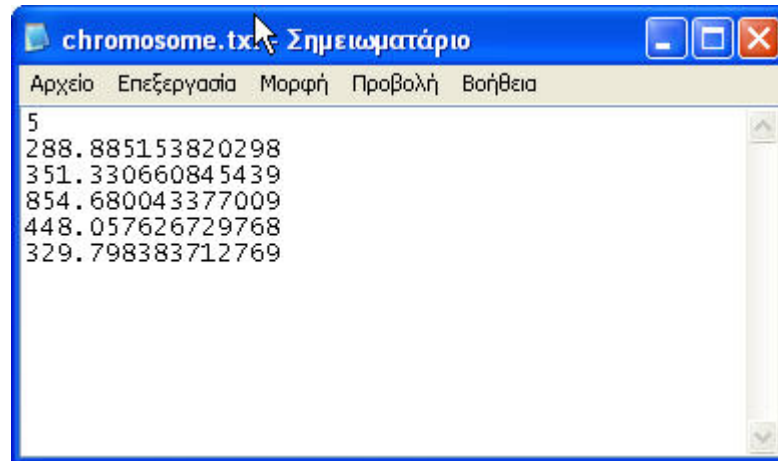
- Chromosome.txt
- Initialize.txt
- Nodes.txt
- Execut.txt
- Current best.txt
- Fitness.txt
- OBSERVE.txt
- Dokgen.txt
- Evaluation.txt
- Case.txt

Αναλυτικότερα:

Αφού ορίσαμε το πως ο αλγόριθμος θα διαβάσει απ’ευθείας το PTC από μόνος του χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, πρέπει να ορίσουμε και πως το PTC θα διαβάζει τα αρχεία του γεννητικού χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω:

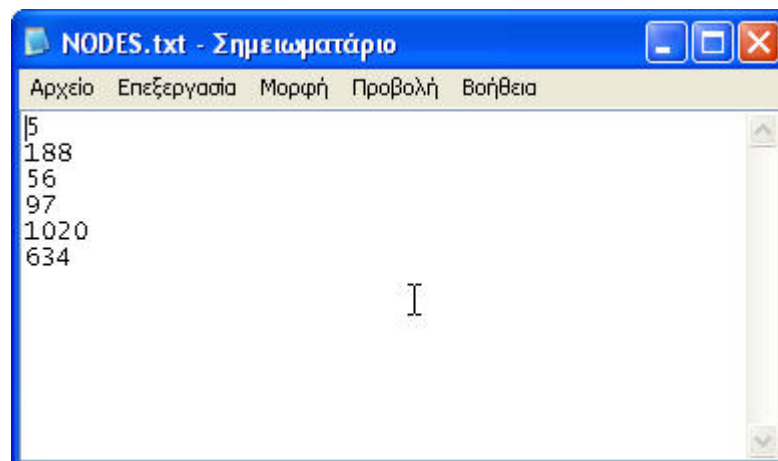
Το αρχείο **Chromosome.txt** δημιουργείται από τον αλγόριθμο και περιέχει μία πιθανή πεντάδα λύσεων που τηρούν τον περιορισμό και με μία σειρά

δαδικασιών εξάγει το αποτέλεσμα της αντικειμενικής συνάρτησης στο αρχείο **fitness.txt** . Το αρχείο Chromosome.txt πρέπει να τροποποιηθεί για δημιουργηθεί το αρχείο “pumping” που είναι αρχείο αναγνώρισημο από το PTC και του δίνει έτσι την δυνατότητα να «διαβάσει» κάποια δεδομένα χωρίς την χρήση του Argus.



Σχήμα 4.5: Το αρχείο chromosome.txt του προβλήματός μας

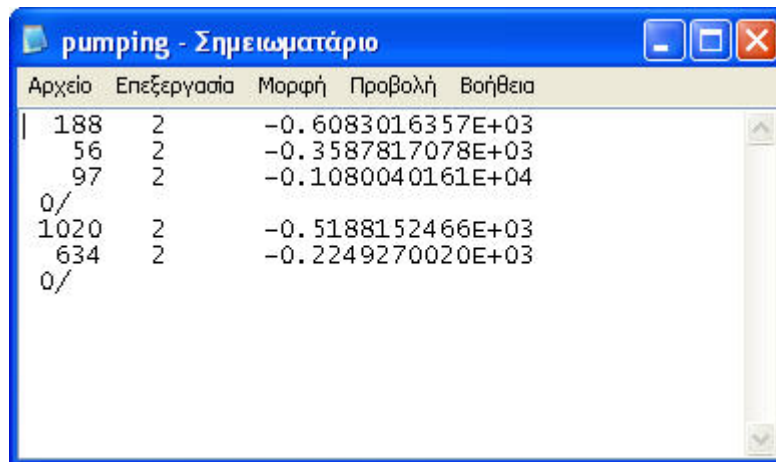
Με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Fortran επιτυγχάνεται η κατάλληλη τροποποίηση στο Chromosome.txt και να προκύψει ένα αρχείο pumping. Πριν όμως φτιαχτεί ο αλγόριθμος της Fortran δημιουργείται και το αρχείο **Nodes.txt** που αναγράφει τα πέντε σημεία της κάνναβου που βρίσκονται οι γεωτρήσεις.



Σχήμα 4.6: Το αρχείο Nodes.txt για την περιοχή μελέτης μας με σειρά γεωτρήσεων Γ.8 , Γ.4, Γ.3, Γ.22, Γ.14

Το αρχείο pumping πρέπει να έχει συγκεκριμένη μορφή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.7 , δηλαδή να περιέχει τον αριθμό του κόμβου όπου βρίσκεται η κάθε γεωτρηση μετά αφήνωντας τρία κενά πρέπει να περιέχεται ο αριθμός 2

(δηλώνει την οριακή συνθήκη των γεωτρήσεων) , μετά αφήνοντας τρία κενά την παροχή άντλησης που αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο όπως διαβάστηκε από το Chromosome.txt στο τέλος για να «κλείσει» το αρχείο το 0/.



| Αρχείο | Επεξεργασία | Μορφή | Προβολή | Βοήθεια |
|--------|-------------|-------------------|---------|---------|
| 188 | 2 | -0.6083016357E+03 | | |
| 56 | 2 | -0.3587817078E+03 | | |
| 97 | 2 | -0.1080040161E+04 | | |
| 0/ | | | | |
| 1020 | 2 | -0.5188152466E+03 | | |
| 634 | 2 | -0.2249270020E+03 | | |
| 0/ | | | | |

Σχήμα 4.7: Το αρχείο pumping

Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί η αντικειμενική συνάρτηση και να εισαχθούν από τον χρήστη οι περιορισμοί για να μπουν στην αντικειμενική συνάρτηση η οποία είναι :

$$\min f = w_1 \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^5 q_i} \right) + w_2 \sum_{k=1}^6 g(k) + w_3 \quad (4.16)$$

Ο γεννητικός είναι τεχνική ελαχιστοποίησης οπότε στο πρώτο κομμάτι της συνάρτησης (ουσιαστικά είναι ο βασικός όρος της αντικειμενικής συνάρτησης)

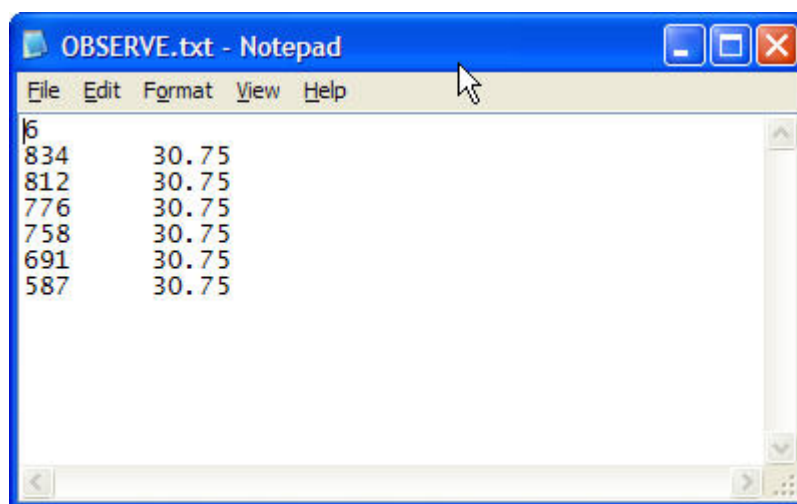
ανιστρέφουμε τον όρο $\sum_{i=1}^5 q_i$ σε $1/\sum_{i=1}^5 q_i$ γιατί ελαχιστοποιώντας το

$1/\sum_{i=1}^5 q_i$ ουσιαστικά μεγιστοποιείται το $\sum_{i=1}^5 q_i$.

Ο δεύτερος όρος είναι η συνάρτηση περιορισμών που εισάγεται στην αντικειμενική συνάρτηση παίρνοντας την μορφή ποινής γιατί όπως ο αλγόριθμος δεν δέχεται συναρτήσεις περιορισμών. Τα w_1 και w_2 είναι αριθμητικοί τελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για να μετατρέψουν τις δύο συναρτήσεις σε ίδια τάξη μεγέθους. Ο w_3 όρος προστίθεται στην αντικειμενική συνάρτηση σε περίπτωση

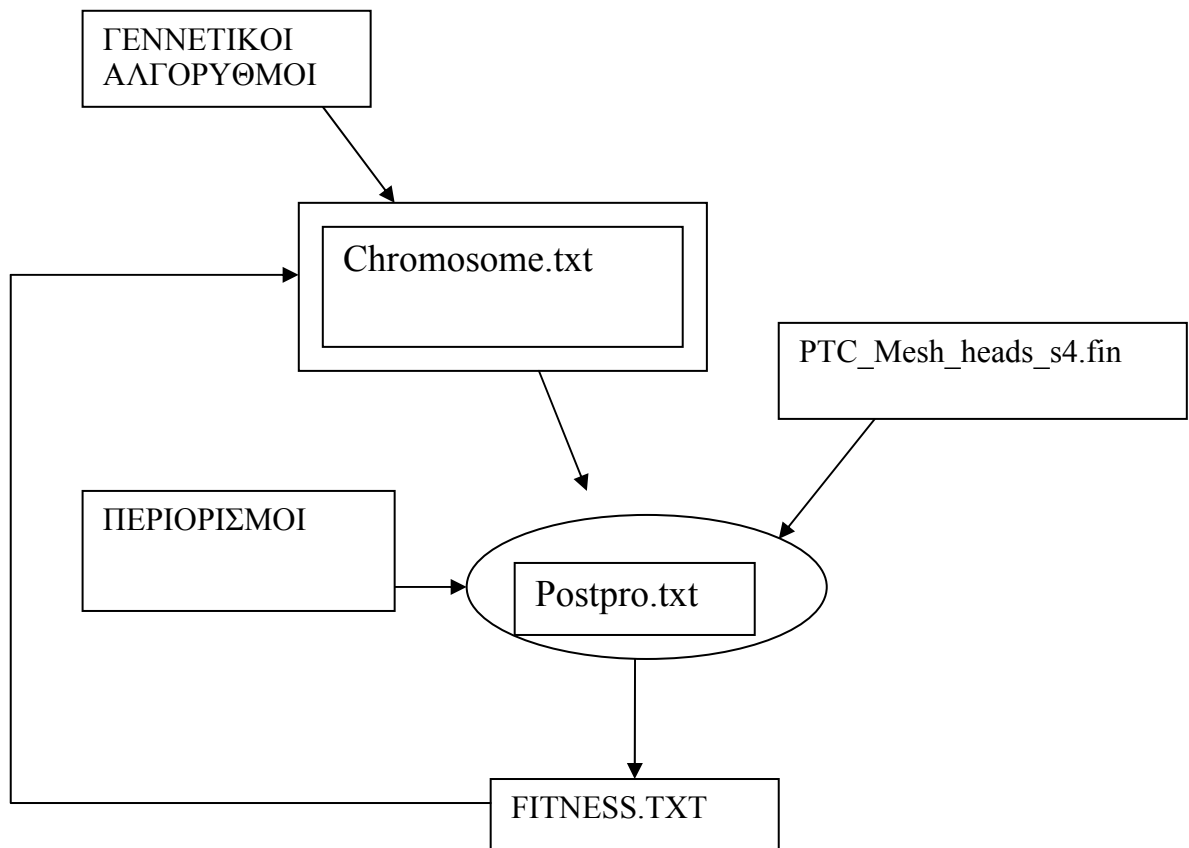
παραβίασης των περιορισμών ώστε να «τιμωρούνται» οι λύσεις που παραβιάζουν τον περιορισμό.

Η αντικειμενική συνάρτηση προγραμματίζεται σε γλώσσα Fortran σε αρχείο που ονομάζεται “postpro.exe” το οποίο διαβάζει τα αρχεία Chromosome.txt το PTC_Mesh_heads_s4.fin(αρχείο εξόδου του PTC που παρατηθούνται τα υδραυλικά ύψη όλων των κόμβων του πλέγματος στην περιοχή μελέτης) και το αρχείο **OBSERVE.txt**, που περιέχει τον αριθμό των πηγαδιών παρατήρησης και το ελάχιστο υδραυλικό ύψος που επιτρέπεται να έχουν όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8.

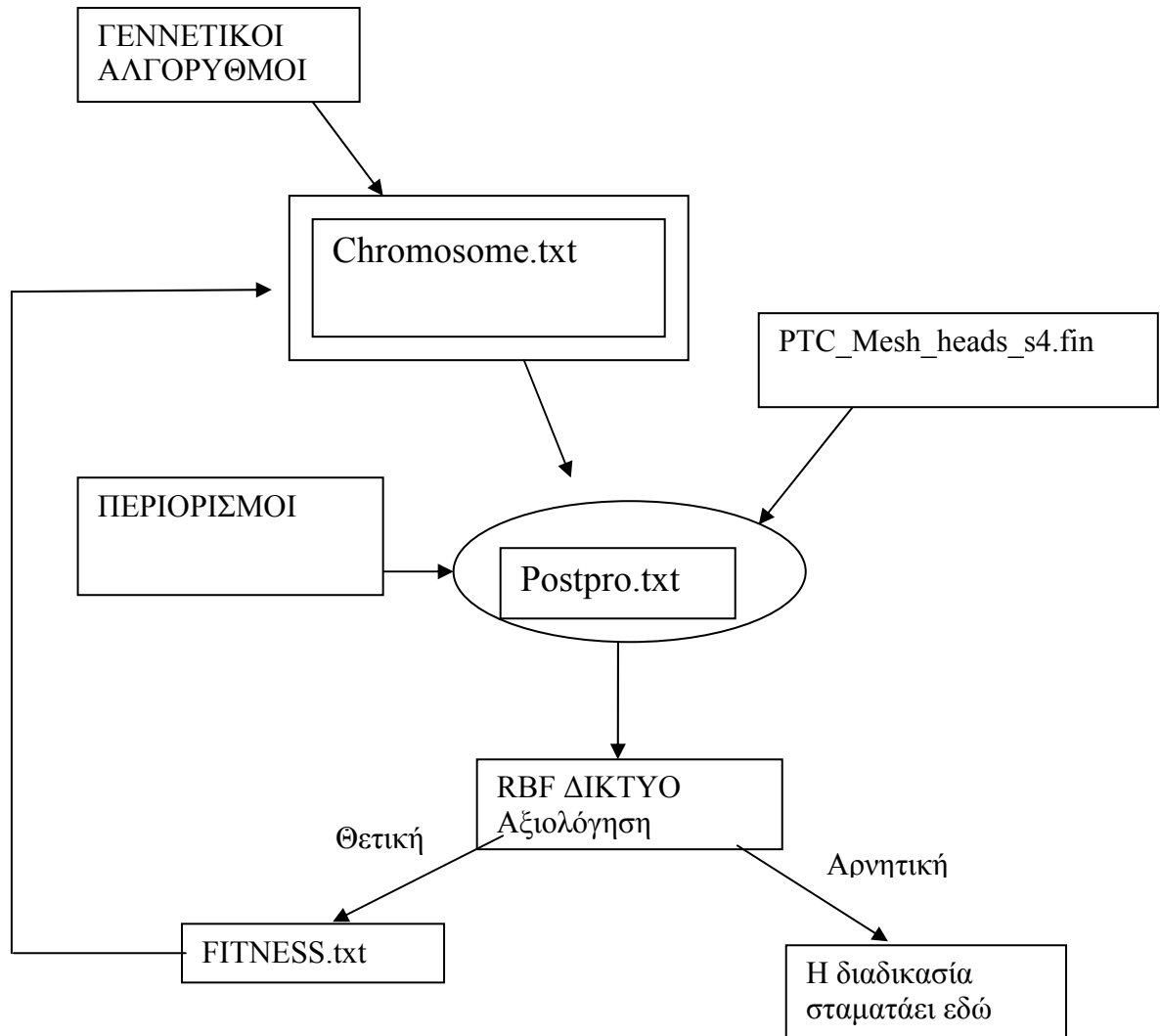


Σχήμα4.8: Το αρχείο OBSERVE.txt για την περιοχή μελέτης

Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος για όλους τους κόμβους και σύγκριση των υδραυλικών υψών τους με τον περιορισμό 30.75 m. Σε όσους κομβους δεν τηρείται ο περιορισμός καταχωρείται μία μεταβλητή g_i όσο μεγαλύτερη είναι η παραβίαση του περιορισμού τόσο μεγαλύτερη μεγαλύτερη είναι η μεταβλητή. Όλες οι επιμέρους τιμές προστίθονται και προκύπτει το $\sum_{k=1}^6 g(k)$. Ορίζουμε τις παραμέτρους $w_1=10000$ και $w_2=10$ ενώ το $w_3=5$ και προστίθεται μόνο αν παραβιάζεται ένας περιορισμός. Τέλος, ορίζουμε στην Fortran τα αποτελέσματα να τα εξάγει στο αρχείο fitness.txt. Στα σχήματα παρακάτω φαίνεται όλη διαδικασία ορισμού του προβλήματος και της αντικειμενικής συνάρτησης.

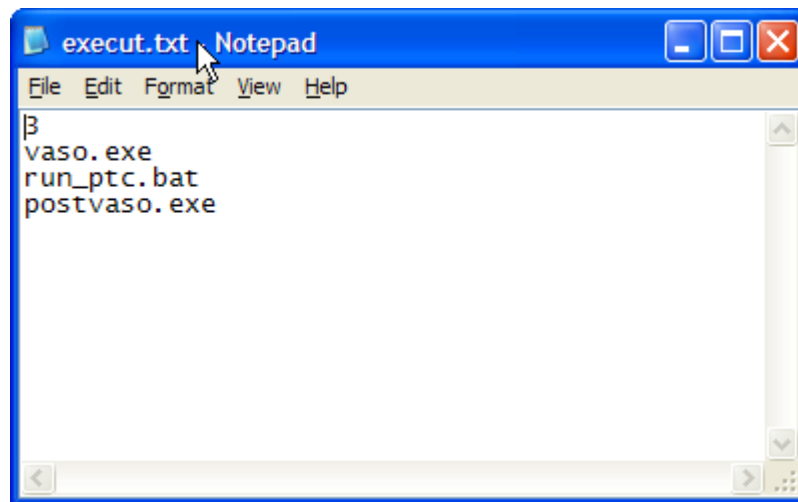


Σχήμα 4.9:Λειτουργία γεννητικού αλγόριθμου

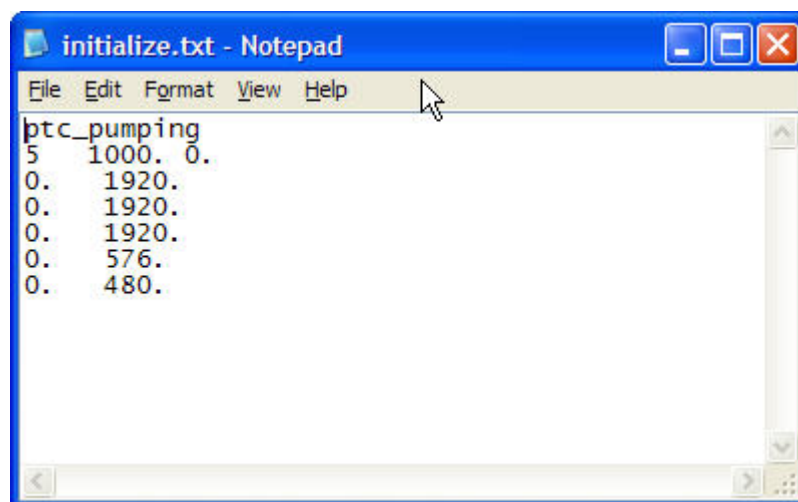


Σχήμα 4.10:Λειτουργία γεννητικού αλγόριθμου με δίκτυο RBF

Πρέπει να δημιουργηθούν από τον χρήστη τα αρχεία **execut.exe** και **Initialize.txt** για να μπορεί ο αλγόριθμος να τρέχει. Το **execut.exe** περιέχει όλες τις εργασίες που γίνονται για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος (Σχήμα 4.11) ενώ το **Initialize.txt** περιέχει τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές παροχής που μπορούν να πάρουν οι γεωτρήσεις άντλησης.(Σχήμα 4.12)

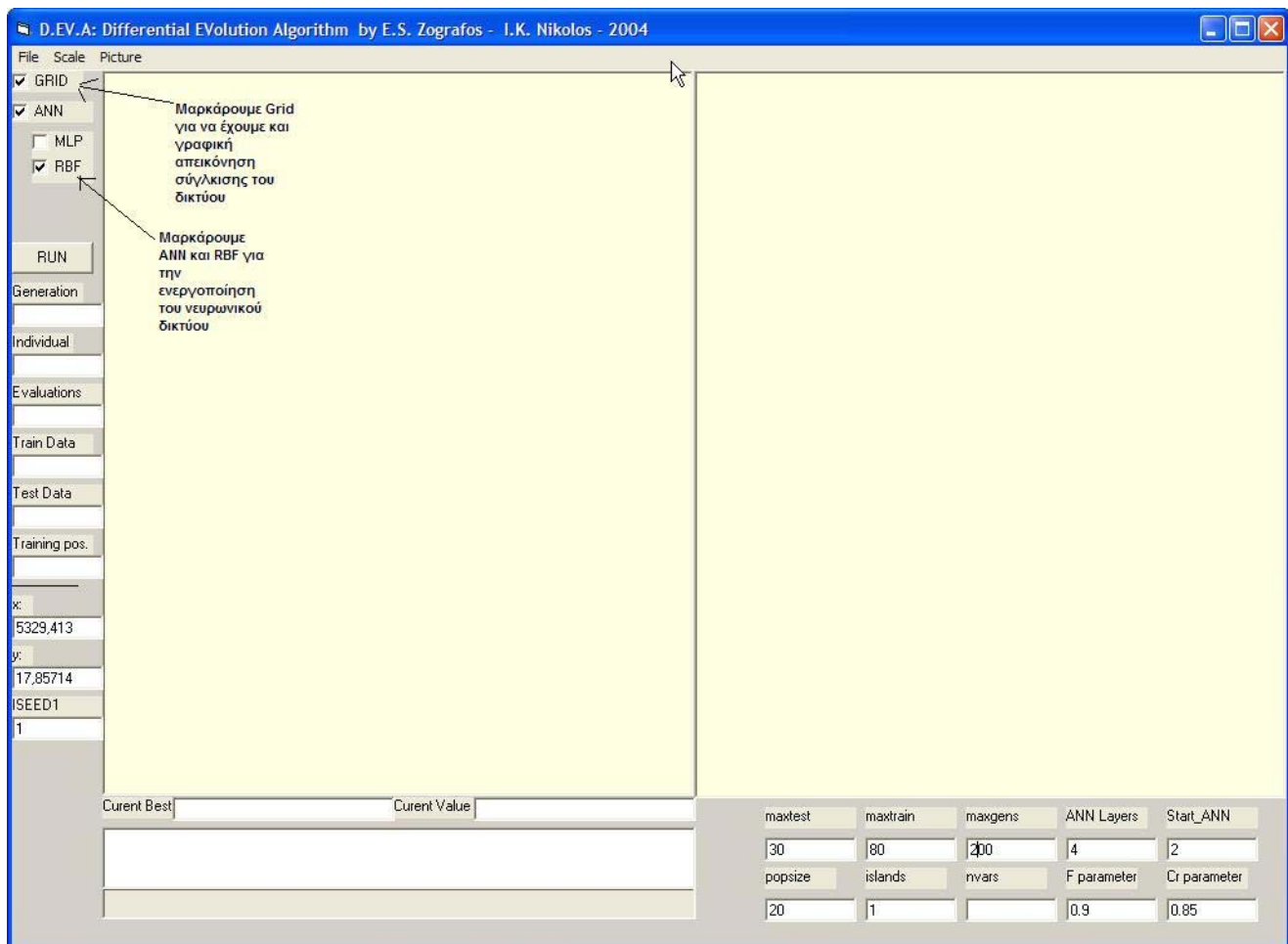


Σχήμα 4.11: Το αρχείο execut.txt όπου φαίνονται οι εργασίες που γίνονται για να τρέξει ο αλγόριθμος (vaso.txt. =prepro.exe και postvaso.exe=postpro.exe)



Σχήμα 4.12: Το αρχείο Initialize.txt

Πλέον μπορεί ο αλγόριθμος να τρέξει για τις γενιές και τον αριθμό των ατομων κάθε γενιάς που εμείς θα του ορίσουμε (εδώ ήταν 200 γενιές και 20 άτομα κάθε γενιά) στο γραφικό του περιβάλλον όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.13. Εμείς καθορίζουμε επίσης τις παραμέτρους $C_r=0.85$ και $F=0.9$, τον αριθμό των νησίδων (islands) που εδώ είναι ίσος με μονάδα, τον αριθμό της γενιάς στην οποία ενεργοποιείται ο RBF αλγόριθμος (Start ANN) που εδώ είναι 2 (ξεκινά η ενεργοποίηση του δικτύου την δεύτερη γενιά) και τον μέγιστο αριθμό γενιών όπου ο νεύρωνας μπορεί να εκαιδεύεται που εδώ ορίστηκε στις ογδόντα γενιές.

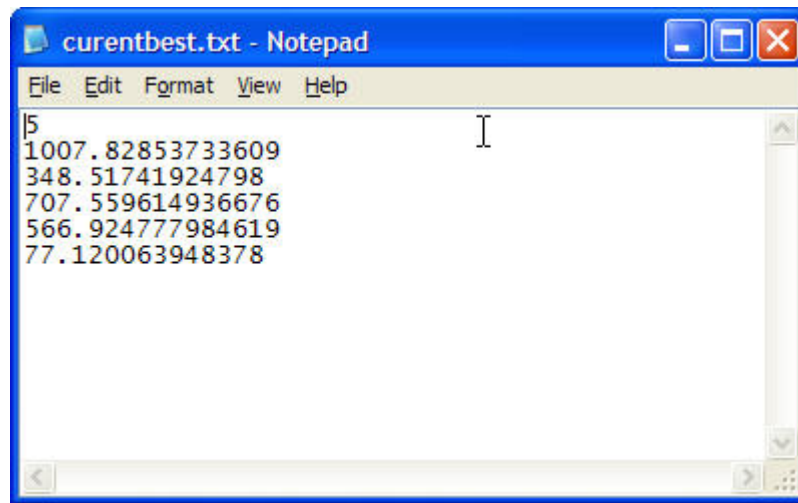


Σχήμα 4.13:Γραφικό περιβάλλον MA_DEVA πριν την έναρξή του αλγορίθμου.

Η διαδικασία για την εύρεση της μέγιστης δυνατής παροχής άντλησης ολοκληρώνεται περίπου 11 ώρες μετά. Όλη την διάρκεια που ο αλγόριθμος «τρέχει», εμφανίζονται στο δεξί μέρος του γραφικού περιβάλλοντος ο αριθμός της γενιάς(Generation) που αξιολογείται, ο αριθμός του συγκεκριμένου ατόμου της γενιάς που αξιολογείται(Individual), ο αριθμός της αξιολόγησης (evaluation) ο αριθμός των δεδομένων εκπαίδευσης(training data),ο αριθμός των δεδομένων υπό δοκιμή (test data), η καλύτερη μέχρι αυτή τη στιγμή λύση(Current best) και η λύση που προκύπτει από το συγκεκριμένο άτομο αυτής της γενιάς(Current value) που αξιολογείται όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.15. Στο τέλος κάθε γενιάς εμφανίζεται στο γράφιμα η καλύτερη και η χειρότερη λύση κάθε γενιάς

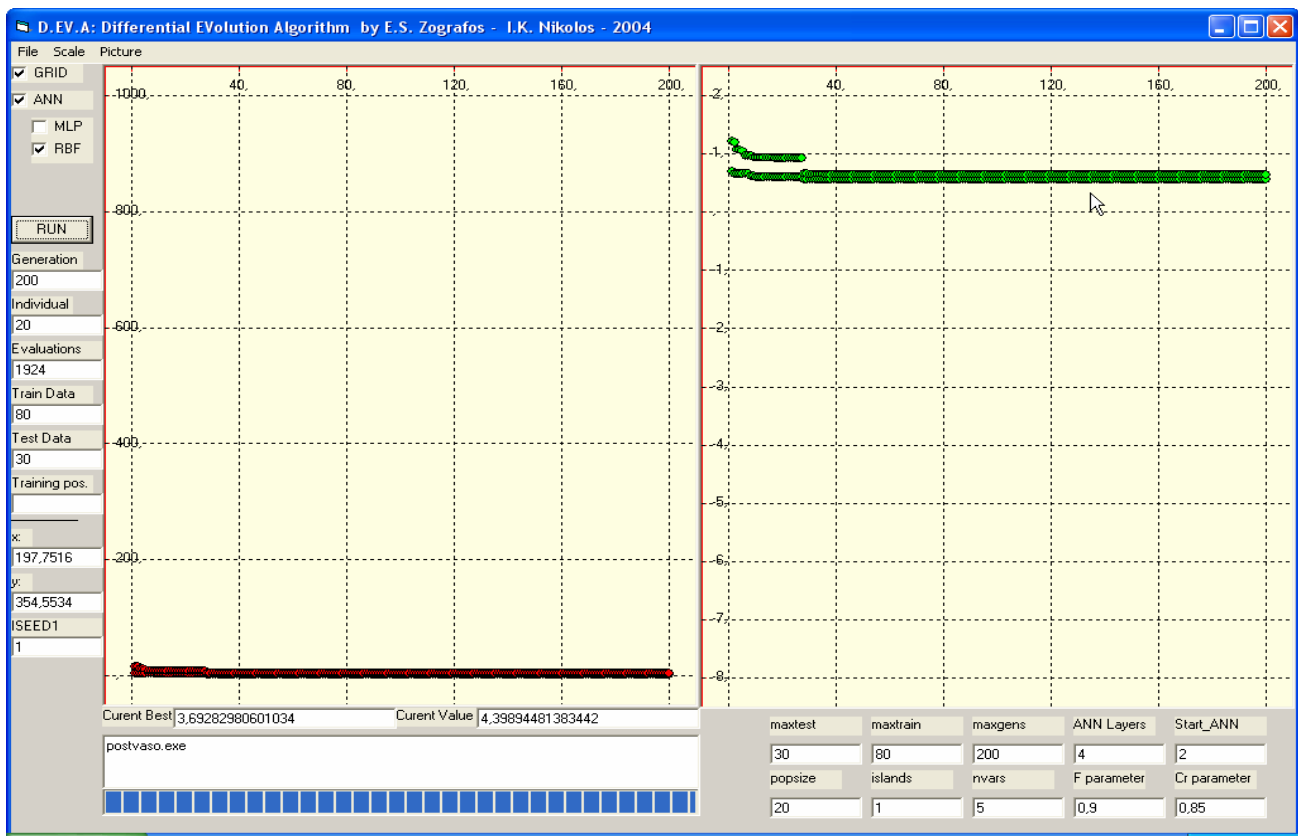
Τις καλύτερες λύσεις για κάθε πηγάδι (current best) ο MA_DEVA τις αποθηκεύει σε ένα αρχείο με το όνομα currentbest.txt. ενώ τη λύση της αντικειμενικής συνάρτησης την δίνει στο αρχείο fitness.txt Κάθε καλύτερη λύση που

βρίσκει ο αλγόριθμος, αντικαθιστά την προηγούμενη καλύτερη σε αυτό το αρχείο. Η βέλτιστη λύση μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία θα βρίσκεται σε αυτό το αρχείο. Μετά το τέλος της διαδικασίας οι βέλτιστες λύσεις φαίνονται στο σχήμα 4.14



Σχήμα 4.14: Το αρχείο currentbest με τις βέλτιστες λύσεις

Στο παρακάτω σχήμα 4.15 φαίνεται η ολοκληρωμένη διαδικασία στο γραφικό περιβάλλον. Το γραφήμα σύγκλισης υπάρχει στο γραφικό περιβάλλον για να ελεγχουμε αν ο αλγόριθμος συγκλίνει προς τη βέλτιστη λύση και αν συγκλίνει σε πια γενιά συγκλίνει (στην συγκεκριμένη περίπτωση βλέπουμε ότι σύγκλιση επιτυγχάνεται στην 40 περίπου γενιά)



Σχήμα 4.15: Τελευταίο Βήμα της διαδικασίας αξιολόγησης του αλγόριθμου.

Όπως αναμενόταν και φαίνεται και στο σχήμα 4.15 ο αριθμός των αξιολογήσεων δεν είναι $20 \times 200 = 4000$ που θα έκανε ο γεννητικός αλγόριθμος (20 αξιολογήσεις για κάθε γενιά επί 200 γενιές) αλλά μόνο 1924 και αυτό γιατί το δίκτυο RBF ενεργοποιήθηκε μετά την δεύτερη γενιά και όσα άτομα είχε κρίνει από την διαδικασία της εκπαίδευσής του ότι δεν περιέχουν την βέλτιστη λύση τα απέκλειε χωρίς περαιτέρω αξιολόγηση.

Το αρχείο **dokgen.txt** (σχήμα 4.16) γράφει αναλυτικά με τη σειρά τον αριθμό της γενιάς την καλύτερη μέχρι τότε λύση, την χειρότερη μέχρι τότε λύση τον πληθυσμό της γενιάς και τον αριθμό των αξιολογήσεων που έγιναν μέχρι εκείνη την γενιά

```
dokgen.txt - Notepad
File Edit Format View Help
38, 3. 69353602103045, 4. 50431541155026, 20, 341
39, 3. 69353602103045, 4. 50431541155026, 20, 348
40, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 357
41, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 368
42, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 377
43, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 385
44, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 396
45, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 401
46, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 404
47, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 415
48, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 423
49, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 432
50, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 440
51, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 448
52, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 453
53, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 461
54, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 470
55, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 474
56, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 484
57, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 492
58, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 501
59, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 512
60, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 520
61, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 526
62, 3. 69353602103045, 4. 45108570783974, 20, 536
63, 3. 69353602103045, 4. 43260911700099, 20, 544
64, 3. 69353602103045, 4. 43260911700099, 20, 557
65, 3. 69353602103045, 4. 43260911700099, 20, 565
66, 3. 69353602103045, 4. 43260911700099, 20, 571
67, 3. 69353602103045, 4. 41184924867119, 20, 579
68, 3. 69353602103045, 4. 41184924867119, 20, 585
69, 3. 69353602103045, 4. 41184924867119, 20, 596
70, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 604
71, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 616
72, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 625
73, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 633
74, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 640
75, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 655
76, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 662
77, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 672
78, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 680
79, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 691
80, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 701
81, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 710
82, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 717
83, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 729
84, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 736
85, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 748
86, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 757
87, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 764
88, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 776
89, 3. 69353602103045, 4. 3701260017128, 20, 788
```

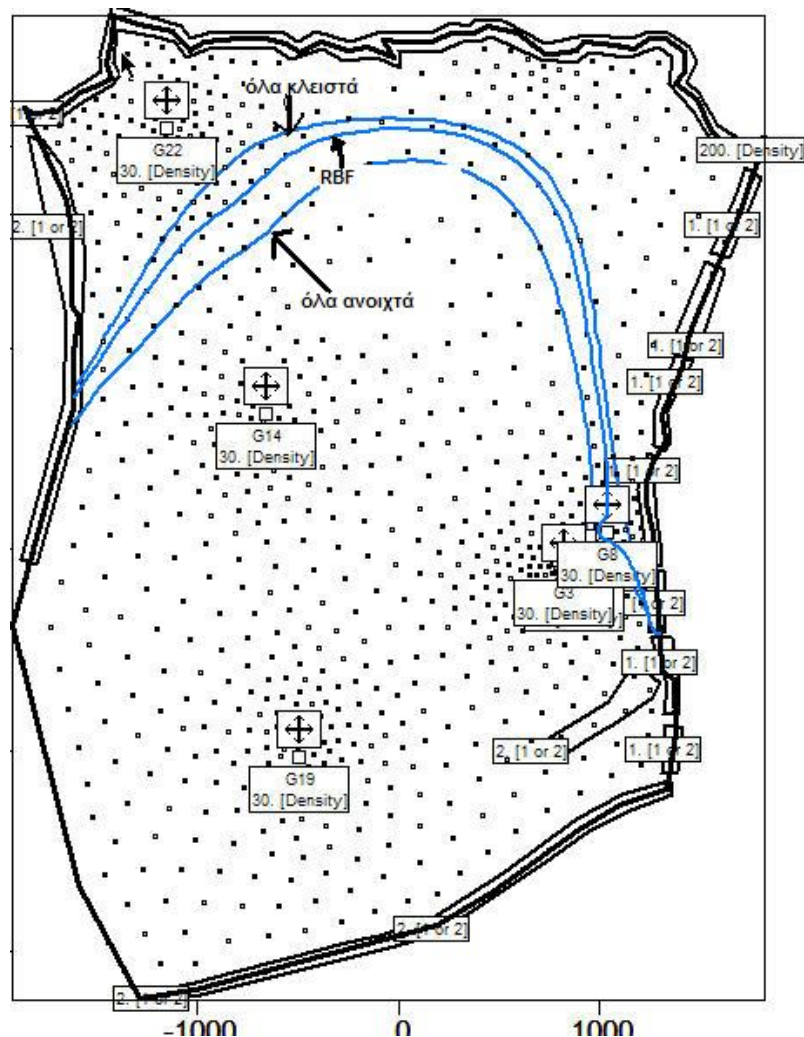
Σχήμα 4.16: Το αρχείο dokgen.txt

Όπως φαίνεται στο αρχείο αυτό από την 38 γενιά έχει ήδη το δίκτυο συγκλίνει σε μια συγκεκριμένη λύση. Θα μπορούσαμε δηλαδή να τρέχαμε το πρόγραμμα μόνο για 38 γενιές και να είχαμε τα ίδια αποτελέσματα πολύ πιο γρήγορα 1.5 περίπου ώρες.

Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν είναι:

| Γεώτρηση | Βέλτιστη λύση RBF ANN |
|-----------|--------------------------|
| Γ.8 | 1008 |
| Γ.4 | 348 |
| Γ.3 | 707,5 |
| Γ.22 | 567 |
| Γ.14 | 77 |
| ΣQ | 2707,5 |

Βάζουμε αυτές τις τιμές στο μοντελο PTC και συγκρίνουμε την καμπύλη του υδραυλικού ύψους από την λύση της Simplex με αυτήν όταν οι γεωτρήσεις είναι κλειστές και αυτήν όταν οι γεωτρήσεις είναι ανοιχτές και αντλούν με την μέγιστη δυνατή παροχή . Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στον χάρτη 5.1



Χάρτης 5.1 :Σύγκριση γεωτρήσεις κλειστές-ανοιχτές RBF ANN -ανοιχτές γεωτρήσεις με μέγιστη παροχή άντησης

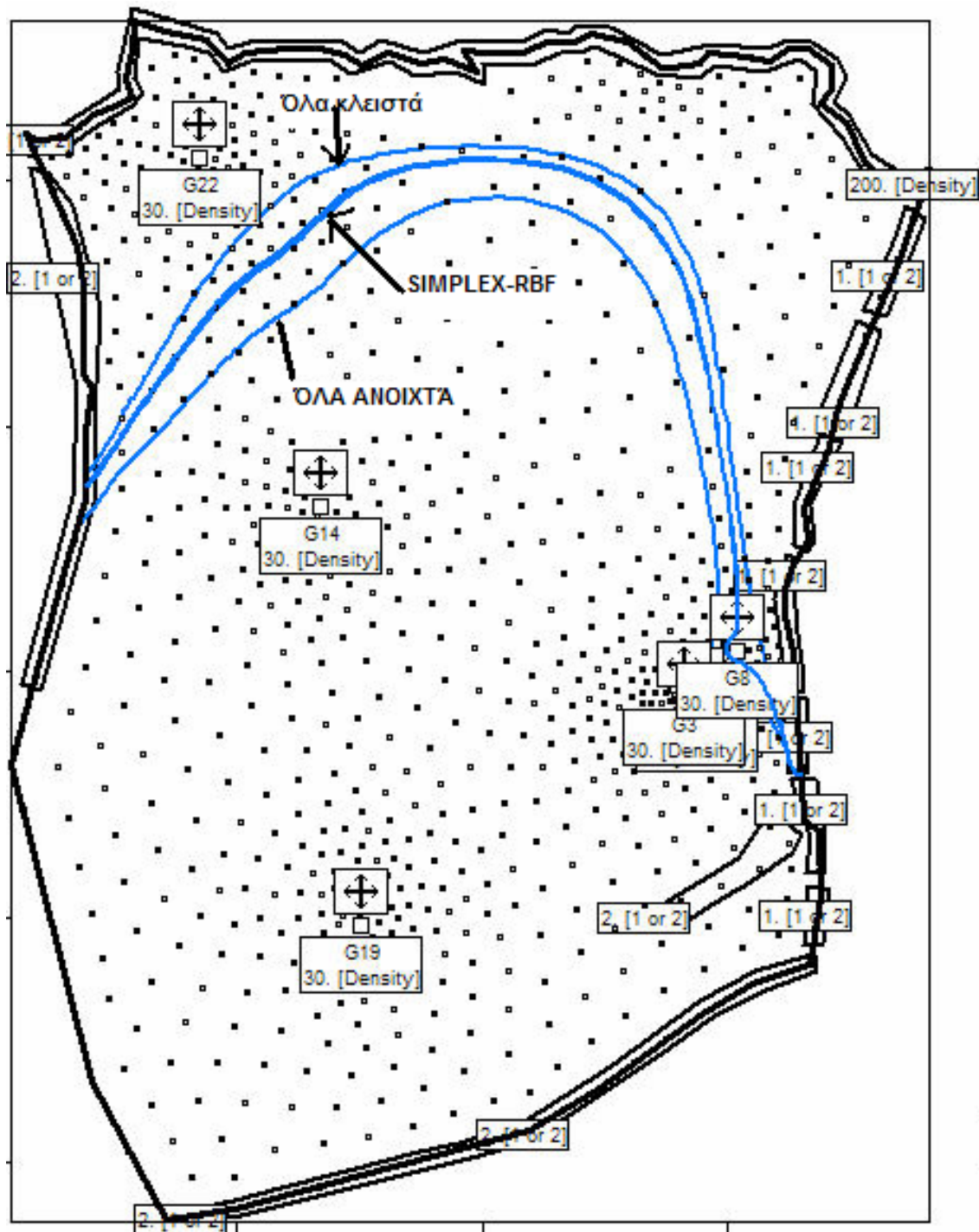
Από τον χάρτη βλέπουμε πως το μέτωπο της υφαλμύρισης όταν οι γεωτρήσεις αντλούν σύμφωνα με τις τιμές παροχής που ορίστηκαν από την RBF Neural Network έχει περιοριστεί πολύ σε σχέση με το μέτωπο της υφαλμύρισης όταν οι γεωτρήσεις αντλούν με τη μέγιστη παροχή. Επείσης παρατηρούμε ότι το μέτωπο της υφαλμύρισης πλησιάζει κατά πολύ το επιθημητό μέτωπο (γεωτρήσεις κλειστές).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρατείνεται ο πίνακας 5.1 με τα αποτελέσματα και ο χάρτης 5.1 με τα υδραυλικά ύψη των δύο μεθόδων για να μπορέσει να επιτευχθεί μία ουσιαστική σύγκριση μεταξύ αυτών.

5.1 Πίνακας Αποτελεσμάτων

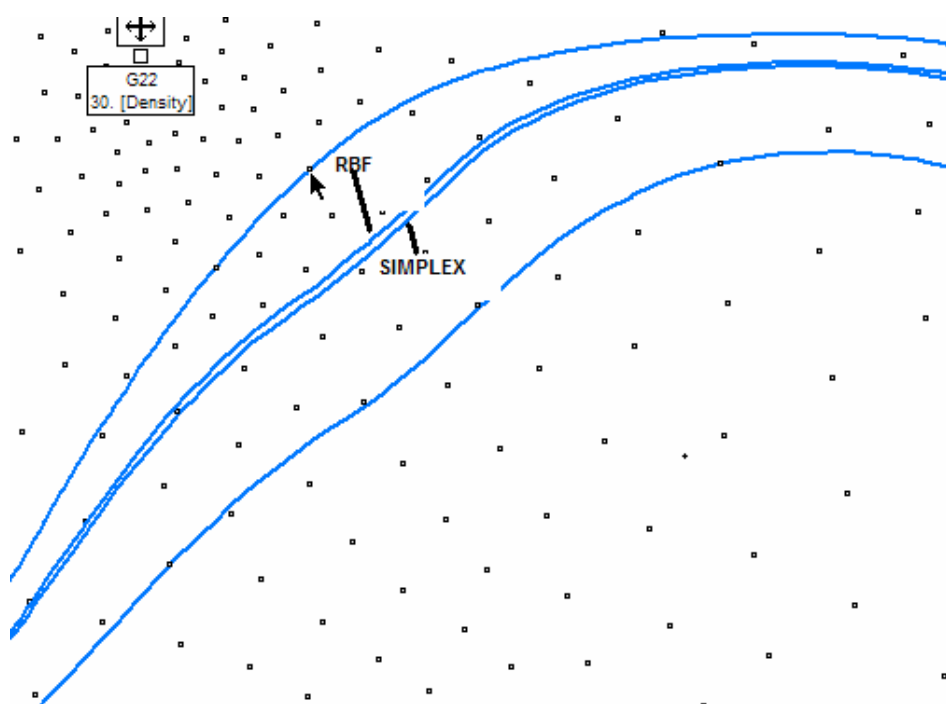
| Γεώτρηση | Βέλτιστη λύση SIMPLEX(m3/day) | Βέλτιστη λύση RBF ANN |
|-----------------|--|----------------------------------|
| Γ.8 | 1920 | 1008 |
| Γ.4 | 534,5 | 348 |
| Γ.3 | 0 | 707,5 |
| Γ.22 | 576 | 567 |
| Γ.14 | 0 | 77 |
| ΣQ | 3030,5 | 2707,5 |



Χάρτης 5.1: Σύγκριση υδραυλικών υψών όταν οι γεωτρήσεις είναι : όλες κλειστές – όλες ανοιχτές RBF-Simplex- όλες ανοιχτές και αντλούν με την μέγιστη παροχή

Οι διαφορές των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων είναι:

- Η Simplex μέθοδος όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.1 μας δίνει μεγαλύτερη συνολική παροχή άντλησης από την μέθοδο των RBF δικτύων 3031 – 2707, 5
- Η Simplex μεγιστοποιεί την άντληση στην γεωτρήση Γ.8 ενώ το RBF δίκτυο επιτρέπει στην γεωτρήση Γ.8 άντληση μόνο 1008 m³/day
- Η Simplex στην γεωτρήση Γ.4 επιτρέπει άντληση 534,5 m³/day ενώ το δίκτυο RBF 348 m³/day
- Η Simplex κλείνει τις γεωτρήσεις Γ.3 και Γ.14 ενώ το δίκτυο RBF στην μία επιτρέπει άντληση 707,5 m³/day και στην άλλη 77 m³/sec
- Στην γεωτρήση Γ.22 ουσιαστικά και οι δύο μέθοδοι γίνουν ίδια λύση
- Η Simplex μέθοδος περιορίζει λόγω λιγότερο το μέτωπο της υφαλμύρισης από ότι η μέθοδος RBF όπως φαίνεται στον μεγενθυμένο χάρτη 5.2



Χάρτης 5.2:Μεγενθυμένος χάρτης στην περιοχή όπου το δίκτυο RBF έχει καλύτερη περιβαλλοντικά λύση από τη μέθοδο Simplex

Επομένως όσο αναφορά τα αποτελέσματα που μας έδωσαν μπορούμε να πούμε ότι:

- Και οι δύο μέθοδοι είναι αξιόπιστες για τον περιορισμό του μετώπου της υφαλμύρυνσης
- Η μέθοδος Simplex παρόλο που μεγιστοποιεί την πρώτη γεώτρηση μηδενίζει την παροχή σε δύο από τις υπόλοιπες γεωτρήσεις που αυτό συνιστάται γενικά να αποφεύγεται καθώς οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για κάποιες ανάγκες σε νερό από τον δήμο και τα εργοστάσια της περιοχής.
- Το RBF νευρωνικό δίκτυο δεν μηδενίζει κανένα πηγάδι οπότε είναι μία λύση που συνιστάται πιο πολύ για την εξυπηρέτηση των αναγκών της περιοχής παράλληλα με την μείωση του μετώπου της υφαλμύρυνσης.
- Αυτό που προξενεί εντύπωση είναι η διαφορά των λύσεων των δύο μεθόδων στις γεωτρήσεις Γ.8 και Γ.3. Αν αθροίσουμε τις τιμές των παροχών που μας δίνει η RBF μέθοδος στις γεωτρήσεις Γ.8 και Γ.3 βλέπουμε ότι η συνολική παροχή είναι περίπου ίση με την παροχή άντλησης στη γεώτρηση Γ.8 της Simplex μεθόδου που σημαίνει ότι το δίκτυο RDF είναι σύστημα πιο «εύρωστο» από την Simplex.
- Το RDF νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιήσαμε όπως επισημάνσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ουσιαστικά προσεγγίζει τον γεννητικό αλγόριθμο. Πιθανόν ο γεννητικός αλγόριθμος να βγάλει ακόμα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Εξετάζοντας μία άλλη παράμετρο την χρονική διάρκεια εφαρμογής των δύο μεθόδων μπορούμε να πούμε:

- Η Simplex απαιτεί ελάχιστο χρόνο για να επιτύχει την βελτιστή της λύση ενώ το δίκτυο RDF χρειάστηκε 11,5 ώρες για να επιτύχει λύση αρχικά, αλλά μπορεί να επιτύχει λύση και σε 1,5 ώρες.
- Η Simplex απαιτεί όμως την συνεχή παρέμβαση του χρήστη ο οποίος πρέπει να διαμορφώσει τον πίνακα απόκρισης τρέχοντας συνεχώς το PTC ο ίδιος μέσα από το Argus, μία διαδικασία που είναι και χρονοβόρα(30-40 λεπτά) αλλά κυρίως επίπονη . Το RDF όμως παρόλο που χρειάζεται παραπάνω ώρα για την υλοποίησή του, δεν χρειάζεται καμία παρέμβαση από τον χρήστη παρα μόνο οι ελάχιστες παρεμβάσεις πριν «τρέξει», που

αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (ολόκληρη η διαδικασία 10 λεπτά περίπου).

Συνολικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η λύση της Simplex είναι η βέλτιστη λύση εξετάζοντας μόνο τις τιμές των παροχών . Η λύση όμως των RDF δικτύων είναι και αυτή αρκετά αξιόπιστη, δεδομένου ότι η παρέμβαση του χρήστη είναι ουσιαστικά ανύπαρκτη. Με την βελτίωση των τεχνητών νευρωνικών μοντέλων στο άμεσο μέλλον τα δίκτυα αυτά θα είναι πολύ χρήσιμα στην διαχείριση των υπογείων υδάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

1. Βλαχάβας Ιωάννης, Κεφάλας Πέτρος, Βασιλειάδης Νικόλαος, Ρεφανίδης Νικόλαος, Κόκκορας Φώτιος, Σακελλαρίου Ηλίας, *Τεχνητή νοημοσύνη, Εκδόσεις Γαρταγάνη, 2002*
2. Mary P. Anderson, William W. Woessner, *Applied Groundwater Modeling, Academic Press, 1992.*
3. Ι. Τσακίρης , *Υδατικοί Ποροι Ι : Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, 1995*

Σημειώσεις:

1. Καρατζάς Γεώργιος, *Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, 2002.*
2. D.K. Babu, G. F. Pinder, A. Niemi, D.P. Ahlfield, S.A. Stothoff, *Chemical Transport by Three Dimensional Groundwater Flows, 1997*
3. Ρεφανίδης Νικόλαος , *Νευρωνικά Δίκτυα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρων Εκδόσεις 2004*
4. Κ. Διαμανταράς, *Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, Εκδόσεις ΤΕΙ πληροφορικής Θεσσαλονίκης , 2004*
5. Patrick van de Smart, *An introduction to Neural Networks, Press Of University of Amstredam 1996*
6. Research Center for Groundwater Remediation Design., *An Introduction to PTC Using Argus Interface*

Δημοσιεύσεις:

1. Ioannis Nikolos, *Inverse design of Aerodynamic shapes using Differential evolution coupled with Artificial Neural Network,*

Design Optimization International Conference March 31 - April 2 2004 , Athens Greece

2. Ioannis Nikolos, Eleftherios Zografos. *Inverse design coupled with Artificial Neural Network, Design Optimization of Aerodynamic shapes using Differential evolution, International Conference March 31 - April 2 2004 , Athens Greece*
3. Shreedhar Maskey , Yonas B. Dibike, Andreja Jonoski ,Dimitri Solomatine , *Groundwater Model Approximation with Artificial Neural Network for Selecting Optimum Pumping Strategy for Plume Removal, University of Delft Netherlands 2004*
4. C. Zaheer , G. Bai , *Application of Neural Network for Water quality Management,Lowland Technology International 2003*

Διπλωματικές Εργασίες:

1. Τριχάκης Ιωάννης , *Προσομοίωση της υπόγειας ροής και προσδιορισμός της ζώνης υφαλμύρινσης στην περιοχή της ΒΙ. ΠΕ. Ηρακλείου., Πολυτεχνείο Κρήτης 2004*

Μεταπτυχιακές διατριβές:

1. Καρτεράκης Στέφανος, *Διαχείριση των υπογείων υδάτων με μεθόδους προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, Πολυτεχνείο Κρήτης 2005*

Μελέτες:

1. *Υδρογεωλογική Μελέτη Βόρειου νομού Ηρακλείου*
2. *Υδρογεωλογική μελέτη για τον καθορισμό των οριακών συνθηκών μαθηματικής προσομοίωσης στην Περιοχή ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου.*