

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υδρογεωλογική Μελέτη με χρήση Μοντέλου
Προσομοίωσης του Β.Δ. Τμήματος του Νομού
Χανίων»

Ελένη Ν. Αθανασιάδου

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Π. Καρατζάς

Χανιά, Ιούλιος 2008

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Καρατζά Γεώργιο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για την καθοδήγηση που μου προσέφερε, την πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και για την άριστη συνεργασία του μαζί μου.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ, τον κ. Βοζινάκη Κωνσταντίνο, Γεωλόγο της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων & Υδάτινων Πόρων Χανίων για την προσφορά σημαντικών πληροφοριών και δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής.

Επίσης, ευχαριστώ τους κ. Τριχάκη Ιωάννη και κ. Κουργιαλά Νεκτάριο διδακτορικούς φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, για τη βοήθεια που μου προσέφεραν σχετικά με τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης και του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών.

Ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Νικολαΐδη Νικόλαο, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Παλαιολόγο Ευάγγελο και τον Καθηγητή κ. Γκέκα Βασίλειο (αναπληρωματικό μέλος της επιτροπής) του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τη καρδιά μου τους αγαπημένους μου γονείς που με στηρίζουν πάντα και ιδιαίτερα τον αδερφό μου, για όλες τις πολύτιμες συμβουλές του. Τέλος, ευχαριστώ πολύ όσους ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα.

Αφιερωμένο στο Γ.Π.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΟΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	11
2.1 Έννοια του μοντέλου	11
2.2 Χρήση του μοντέλου	12
2.3 Πρωτόκολλο μοντελοποίησης	13
2.4 Θεμελιώδεις εξισώσεις	16
2.5 Αριθμητικές μέθοδοι	19
2.6 Θεωρητικό μοντέλο	22
2.7 Οριακές συνθήκες – Αρχικές συνθήκες	31
3 ΜΟΝΤΕΛΟ PTC (PRINCETON TRANSPORT CODE)	35
3.1 Συνοπτική περιγραφή Argus ONE	35
3.2 Ορισμός	36
3.3 Θεμελιώδεις εξισώσεις	36
3.4 Λύση αλγόριθμου PTC	37
3.5 Τρισδιάστατη ροή υπόγειων νερών	38
4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	45
4.1 Γενικά στοιχεία της περιοχής Κισσάμου	45
4.2 Γεωλογία – υδρογεωλογία περιοχής Κισσάμου	47
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	53
5.1 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο	53
5.2 Δημιουργία πλέγματος - Εκτέλεση προγράμματος	68
5.3 Βαθμονόμηση μοντέλου	69
5.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων - Σχολιασμός	70
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	75

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΔΕΛΤΙΑ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Σ: ΔΕΛΤΙΑ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΩΝ	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1: Κατανομή του νερού στο πλανήτη [18].	9
Εικόνα 2: Βήματα εφαρμογής του μοντέλου [1].	15
Εικόνα 3: Απεικόνιση ειδών υδροφορέων [17].	16
Εικόνα 4: Υδρολογικός κύκλος νερού [17].	25
Εικόνα 5: Απεικόνιση πλέγματος πεπερασμένων διαφορών και πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων [9].	30
Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση των οριζόντιων πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων σε στοίβες, δημιουργώντας το τρισδιάστατο διαχωρισμό [4].	40
Εικόνα 7: Υδροφόρος ορίζοντας και συνθήκες κατακρήμνισης του ανώτερου ορίου [10].	44
Εικόνα 8: Φωτογραφία της Κρήτης από δορυφόρο της NASA.	45
Εικόνα 9: Αριστερά: Δήμος Κισσάμου, Δεξιά: Δήμος Μυθήμνης [26].	46
Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης κάμπου Χανίων.	52
Εικόνα 11: Περιβάλλον Argus ONE.	55
Εικόνα 12: Διαστρωμάτωση υδροφορέα της περιοχής μελέτης.	56
Εικόνα 13: Περιοχή της Κισσάμου μαζί με τις γεωτρήσεις και τις πηγές.	58
Εικόνα 14: Ισοϋψείς ανώτερου στρώματος.	59
Εικόνα 15: Οριακές συνθήκες 1 ^{ου} & 2 ^{ου} είδους.	61
Εικόνα 16: Οριακές συνθήκες 1 ^{ου} στρώματος.	62
Εικόνα 17: Οριακές συνθήκες 2 ^{ου} στρώματος.	62
Εικόνα 18: Οριακές συνθήκες 3 ^{ου} στρώματος.	63
Εικόνα 19: Οριακές συνθήκες 4 ^{ου} στρώματος.	63
Εικόνα 20: Υδραυλικές αγωγιμότητες 1 ^{ου} στρώματος μαζί με γεωλογικό χάρτη περιοχής.	65
Εικόνα 21: Υδραυλικές αγωγιμότητες 1 ^{ου} στρώματος.	66
Εικόνα 22: Υδραυλικές αγωγιμότητες 2 ^{ου} στρώματος.	66
Εικόνα 23: Υδραυλικές αγωγιμότητες 3 ^{ου} στρώματος.	67
Εικόνα 24: Υδραυλικές αγωγιμότητες 4 ^{ου} στρώματος.	67
Εικόνα 25: Τριγωνικό πλέγμα περιοχής μελέτης.	68
Εικόνα 26: Αρχικά υδραυλικά ύψη περιοχής μελέτης.	69
Εικόνα 27: Υδραυλικά ύψη υπογείου νερού (Καλοκαίρι).	72
Εικόνα 28: Υδραυλικά ύψη υπογείου νερού (Χειμώνας).	72
Εικόνα 29: Ταχύτητες υπογείου νερού (Καλοκαίρι).	73
Εικόνα 30: Ταχύτητες υπογείου νερού (Χειμώνας).	73

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της υπόγειας ροής του βορειοδυτικού τμήματος του Νομού Χανίων και η προσομοίωση αυτής με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου.

Τα υπόγεια νερά αποτελούν σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης ζωής, οπότε η μελέτη και κατανόηση της κατάστασής τους διευκολύνουν τον άνθρωπο, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για μετέπειτα αξιοποίησή τους.

Η εργασία χωρίζεται σε 6 κεφάλαια στα οποία παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για το αντικείμενο μελέτης, θεωρητικά στοιχεία του μοντέλου, ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του, χαρακτηριστικά της περιοχής, αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου και συμπεράσματα. Συγκεκριμένα:

- Στο Κεφ. 1, γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια των υπόγειων νερών, την αξία της χρήσης τους και τα προβλήματα που έχουν προκύψει από την ρύπανση και αλόγιστη κατανάλωσή τους.
- Στο Κεφ. 2, πραγματοποιείται μία περιγραφή της μοντελοποίησης της ροής των υπόγειων νερών. Εκεί αναλύονται βασικές έννοιες σχετικές με το αντικείμενο της μοντελοποίησης, των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, των τύπων των μοντέλων, του είδους των πλεγμάτων κτλ.
- Στο Κεφ. 3, περιγράφεται το μοντέλο προσομοίωσης των υπόγειων νερών. Παρατίθεται ο τρόπος λειτουργίας του μέσα από τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων και περασμένων διαφορών, που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των βασικών διαφορικών εξισώσεων της υπόγειας ροής.
- Στο Κεφ. 4, λαμβάνει χώρα η περιγραφή της υπό μελέτη περιοχής, όπου δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά: θέση, κλίμα, μορφολογία εδάφους κ.α. καθώς και σημαντικά στοιχεία που αφορούν στη γεωλογία και υδρογεωλογία της.

- Στο Κεφ. 5, παρουσιάζονται τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος. Εμφανίζονται τα γραφήματα της υπόγειας ροής, καθώς και της ταχύτητας με την οποία κινείται.
- Στο Κεφ. 6, πραγματοποιείται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση του υδροφορέα.

Γενικά, η περιοχή που μελετάται, κρίνεται ότι διαθέτει ικανοποιητική υδροφορία σε ορισμένα μέρη και όχι στο σύνολό της, με περιοχές μάλιστα στις οποίες υπάρχει μηδαμινή κινητικότητα του νερού άρα και ελάχιστο διαθέσιμο νερό για άντληση.

1 Εισαγωγή

Οι υδάτινοι πόροι αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα αγαθά των ανθρώπων, καθώς χάρη σε αυτούς είναι δυνατή η ζωή όλων των έμβιων οργανισμών στον πλανήτη. Παρά το γεγονός ότι αποτελούν ένα φυσικό αγαθό, δεν είναι ανεξάντλητοι, αντιθέτως αντιμετωπίζουν ιδιαίτερους κινδύνους στις μέρες μας και η χρήση τους χρίζει εξαιρετικής προσοχής.

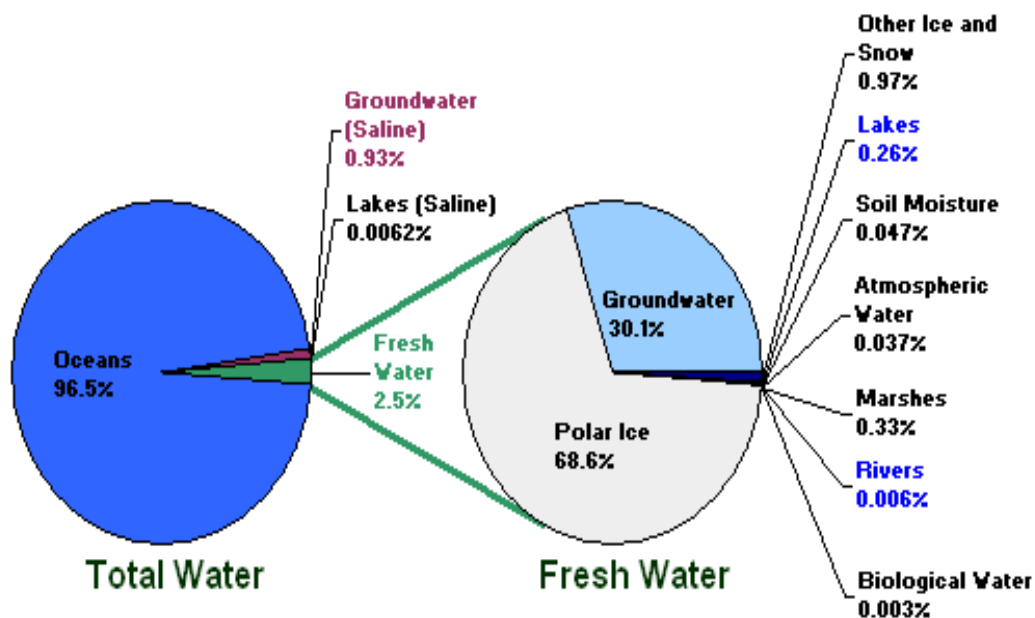
Η επιστήμη η οποία ασχολείται με τη μελέτη των υδάτων της γης σε όλες τις μορφές τους είναι αυτή της Υδρολογίας. Το αντικείμενο της Υδρολογίας σχετίζεται με την εμφάνιση, τη κυκλοφορία και διανομή του νερού, τις ιδιότητές του καθώς και την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον, στην οποία περιλαμβάνεται και η σχέση του με τους ζώντες οργανισμούς. Η Υδρολογία περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο ζωής του νερού στη γη και οι κλάδοι της είναι πολυάριθμοι: υδρολογία επιφανειακών νερών, υπόγειων νερών, υδρογεωλογία, υδρογραφία, υδραυλική κ.α. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα υπόγεια νερά, οπότε κατατάσσεται στον κλάδο της Υδρολογίας υπόγειων νερών [23].

Η χρήση των υδάτινων πόρων σχετίζεται άμεσα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ανάγκες. Σε διάφορους τομείς, όπως είναι η γεωργία και η βιομηχανία οι υδάτινοι πόροι αποτελούν το βασικό παράγοντα λειτουργίας και απόδοσής τους. Επιπλέον, σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, αποτελούν μέσο εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αποτελούν τη βάση για επαγγέλματα όπως είναι η αλιεία και ο τουρισμός. Το σημαντικότερο όμως είναι η παροχή του πόσιμου νερού και αυτού που προορίζεται για οικιακή χρήση. Όπως είναι φανερό, είναι αδύνατο να λειτουργήσει ο άνθρωπος σε καθημερινή βάση χωρίς τη χρήση αυτού του αγαθού.

Υπό τον όρο «υδάτινοι πόροι» περιλαμβάνονται η θάλασσα, οι πάγοι, τα υπόγεια νερά, το νερό των φυσικών λιμνών, των ποταμών και οι βροχοπτώσεις. Μια ευρύτερη διάκριση των υδάτινων πόρων, που συμπεριλαμβάνει και τα προαναφερθέντα, είναι τα *επιφανειακά νερά* και τα *υπόγεια νερά*. Οι επιφανειακοί πόροι είναι απολύτως διακριτοί, μια και

συγκεντρώνονται στις λεκάνες απορροής. Τα όριά τους είναι τοπογραφικά και μπορούν να χαραχθούν με τη βοήθεια τοπογραφικών χαρτών. Επίσης, το νερό ρέει προς την κατεύθυνση που κλίνει τοπογραφικά η μορφολογία. Αντίθετα, οι υπόγειοι υδατικοί πόροι (υδροφόροι) δεν είναι ευδιάκριτοι και συχνά ούτε διακριτοί ανάμεσά τους, με όρια φυσικά και όχι τοπογραφικά. Καθένας υδροφόρος μπορεί να έχει διαφορετικά χημικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά, να έχει διαφορετική πηγή ή περιοχή εμπλουτισμού και διαφορετική περιοχή εκφόρτισης. Επιπλέον, τα όρια των υπόγειων νερών δεν συμπίπτουν κατά κανόνα με αυτά των επιφανειακών [20].

Η Εικόνα 1 παρουσιάζει την ολική κατανομή των νερών του πλανήτη και στη συνέχεια αναλύει την κατανομή του «φρέσκου» νερού, όπου συμπεριλαμβάνονται και τα υπόγεια νερά. Το φαινόμενο που παρατηρείται είναι πως από το «φρέσκο» νερό, ένα μεγάλο ποσοστό (περίπου 30%) εντοπίζεται στα υπόγεια νερά ενώ σχεδόν το υπόλοιπο στους πόλους. Αυτό τα καθιστά βασική πηγή και σημαίνει ότι θα πρέπει να διαχειρίζονται με μεγάλη προσοχή και να προστατεύονται [17].



Εικόνα 1: Κατανομή του νερού στο πλανήτη [18].

Παρότι λοιπόν είναι εξαιρετική η σημασία των υδάτινων πόρων, ανθρώπινες ενέργειες όπως η αλόγιστη άρδευση και η υπέρμετρη άντληση, η υπέρμετρη χρήση λιπασμάτων – εντομοκτόνων καθώς και βιομηχανικά απόβλητα, διογκώνουν τα προβλήματα επάρκειας του νερού και έχουν σοβαρές συνέπειες όπως:

- ο Υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων.
- ο Ρύπανση των ποταμών, των παράκτιων περιοχών και των κλειστών κόλπων.
- ο Πρόσχωση των φραγμάτων.
- ο Παρουσίαση φαινομένων ευτροφισμού.
- ο Μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών.
- ο Υποβάθμιση των υγροτόπων [22].

Συγκεκριμένα για τα υπόγεια νερά, οι πηγές ρύπανσής τους μπορεί να είναι είτε σημειακές (βιομηχανίες, αστικά λύματα, χωματερές) είτε μη σημειακές (αγροτικές δραστηριότητες, εισροή θαλασσινού νερού). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα αστικά λύματα, όταν είναι ανεπεξέργαστα, προκαλούν υψηλή οργανική ρύπανση παρουσιάζοντας ευτροφικές συνθήκες στον υδροφόρα που θα δέχεται τα λύματα, ενώ η υπεράντληση των παράκτιων υδροφορέων οδηγεί στη διείσδυση του θαλασσινού νερού και στην αύξηση της αλατότητας των υπόγειων νερών [24].

Όπως είναι φανερό, καθίσταται αναγκαία η μελέτη και κατανόηση της κατάστασης των υδροφορέων, στοιχεία από τα οποία θα εξαχθούν πληροφορίες για εύρεση νέων πηγών νερού αλλά και σωστής διαχείρισης των ήδη υπαρχόντων.

2 Μοντελοποίηση ροής υπόγειων νερών

2.1 Έννοια του μοντέλου

Οι υδρολόγοι που ασχολούνται με τα υπόγεια νερά, συχνά έρχονται αντιμέτωποι με την απαίτηση της πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός συστήματος υπόγειου νερού. Βέβαια, η πρόβλεψη αυτή προδιαθέτει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου θεωρητικού μοντέλου, την επιλογή των παραμετρικών τιμών οι οποίες περιγράφουν τη χωρική ποικιλότητα εντός του υδροφορέα, τις χωρικές και προσωρινές υδρολογικές τάσεις που αναπτύσσονται καθώς και τις παρελθοντικές και μελλοντικές τάσεις στα επίπεδα του νερού. Έτσι, παρότι σε μερικά προβλήματα που αφορούν σε υπόγεια νερά, είναι ικανοποιητικές οι αποφάσεις που λαμβάνονται βάσει μηχανικών και γεωλογικών θεωρήσεων, σε άλλα πιο σύνθετα προβλήματα δεν είναι επαρκείς. Αυτό οδηγεί τους υδρολόγους στη δημιουργία και χρήση ενός *μοντέλου υπόγειων νερών* με στόχο την περιγραφή του φυσικού συστήματος.

Γενικότερα, μοντέλο χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε μέσο μπορεί να αναπαραστήσει μία προσέγγιση της κατάστασης του φυσικού συστήματος. Τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα *φυσικά μοντέλα*, με απευθείας προσομοίωση της υπόγειας ροής του νερού, τα οποία μπορεί να είναι εργαστηριακές στήλες άμμου.
- Τα *μαθηματικά μοντέλα*, με έμμεση προσομοίωση της ροής του νερού. Ένας πλήρης ορισμός εμπεριέχει τη γεωμετρία του συγκεκριμένου πεδίου, τα όριά του και τις εξισώσεις που εκφράζουν την ισορροπία του. Συγκεκριμένα γίνεται χρήση μίας βασικής εξίσωσης μέσω της οποίας αναπαρίστανται όλες οι φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σύστημα, χρησιμοποιώντας παράλληλα εξισώσεις που περιγράφουν τα υδραυλικά ύψη και τις ροές κατά μήκος των ορίων του μοντέλου, γνωστές και ως οριακές συνθήκες. Για προβλήματα όμως χρονικά εξαρτημένα, είναι απαραίτητη και μια εξίσωση που περιγράφει

την αρχική συνεισφορά των υδραυλικών υψών στο σύστημα, οι λεγόμενες αρχικές συνθήκες.

Τα μαθηματικά μοντέλα μπορεί να λυθούν είτε μέσω μίας *αναλυτικής λύσης*, είτε μέσω μίας *αριθμητικής*. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται η χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Συνήθως χρησιμοποιείται συχνότερα η αριθμητική λύση, καθώς οι αναλυτικές θεωρούνται περισσότερο απλουστευμένες και ακατάλληλες για την επίλυση ενός προβλήματος, ενώ οι αριθμητικές είναι ευκολότερες σε εφαρμογή τους. Να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι όσο πιο απλοποιημένες υποθέσεις χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση ενός μοντέλου, τόσο πιο περίπλοκο είναι το μοντέλο.

Το μαθηματικό μοντέλο επιλύεται στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας ένα σύνολο εντολών, δηλαδή τον *κώδικα*. Ο κώδικας είναι γενικός, στα σημεία που χρησιμοποιεί το μοντέλο ένα σύνολο οριακών και αρχικών συνθηκών, καθώς και ένα συγκεκριμένο κομβικό πλέγμα, ορισμένες παραμετρικές τιμές και υδρολογικές τάσεις. Το σημαντικό είναι ότι ο κώδικας γράφεται μία φορά, σε αντίθεση με το μοντέλο, του οποίου ο σχεδιασμός προσαρμόζεται σε κάθε εφαρμογή [1] [5].

2.2 Χρήση του μοντέλου

Τα μοντέλα παρέχουν ένα περιβάλλον με σκοπό τη σύνθεση των πληροφοριών που προέρχονται από το πεδίο και ελέγχουν κατά πόσο λειτουργεί αποτελεσματικά το σύστημα. Επιπρόσθετα, παρέχουν στο χρήστη αποτελέσματα σχετικά με τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα μέσα στον υδροφορέα. Βέβαια, παρουσιάζουν ένα μειονέκτημα, ότι καταναλώνουν αρκετό χρόνο στο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα να είναι ακριβά σε όρους χρόνου εργασίας. Παρά το γεγονός αυτό, είναι αληθές ότι η χρήση τους είναι ο καλύτερος τρόπος για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης στη πρόβλεψη για τις συνέπειες μιας ενέργειας που έχει προκληθεί στο πεδίο.

Έτσι, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται:

- ▶ Κατά μια κατανοητική έννοια για πρόσβαση στον έλεγχο των παραμέτρων σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

- Ως περιβάλλον για συγκέντρωση και οργάνωση των στοιχείων πεδίου και μορφοποίησης ιδεών για τις δυναμικές του συστήματος.

Στόχος τους είναι να εντοπίζουν τη τοποθεσία και τα χαρακτηριστικά των ορίων ενός υδροφορέα, να προσδιορίζουν την ποσότητα του νερού που υπάρχει μέσα στο σύστημα και την ποσότητα εμπλουτισμού του υδροφορέα, μέσα στο γεωλογικό περιβάλλον [1].

2.3 Πρωτόκολλο μοντελοποίησης

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του μοντέλου ξεκινά τη στιγμή που έχει αποφασισθεί η χρήση ενός αριθμητικού μοντέλου και έχει γίνει ο καθορισμός του σκοπού της μοντελοποίησης. Η διαδικασία των βημάτων που ακολουθούνται σε αυτή τη περίπτωση, ακολουθεί παρακάτω και παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 2:

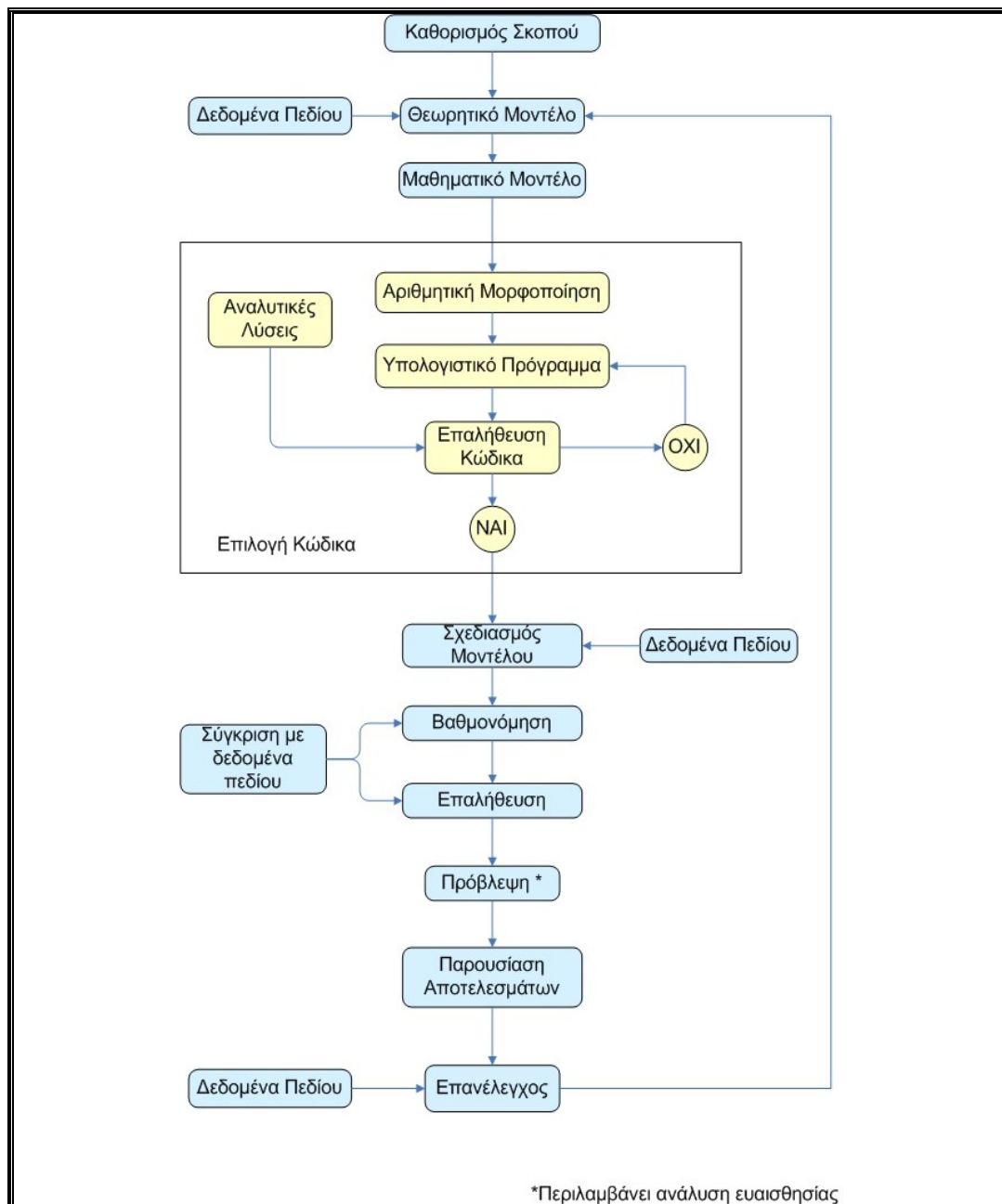
- ❖ *Προσδιορισμός του σκοπού του μοντέλου.* Γίνεται η επίλυση των θεμελιωδών εξισώσεων και επιλέγεται ο κώδικας που θα χρησιμοποιηθεί.
- ❖ *Δημιουργία θεωρητικού μοντέλου.* Γίνεται αναγνώριση ορίων και στοιχείων του πεδίου, τα οποία καθορίζουν την ισορροπία νερού, τις τιμές παραμέτρων του υδροφορέα και τις υδρολογικές τάσεις. Στο στάδιο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί και μία επίσκεψη στο πεδίο το οποίο είναι αρκετά σημαντικό, καθώς κρατάει το χρήστη προσγειωμένο με τα πραγματικά δεδομένα του πεδίου και μπορεί να τον βοηθήσει σε μελλοντικές αποφάσεις κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης.
- ❖ *Επιλογή της θεμελιώδους εξίσωσης και του υπολογιστικού κώδικα.* Ο κώδικας αποτελεί το πρόγραμμα το οποίο εμπεριέχει έναν αλγόριθμο που λύνει το μαθηματικό μοντέλο με αριθμητικό τρόπο. Τόσο η θεμελιώδης εξίσωση, όσο και ο κώδικας απαιτούν επιβεβαίωση. Η επιβεβαίωση της θεμελιώδους εξίσωσης ολοκληρώνεται μέσα από την ταυτοποίηση των δεδομένων που υπάρχουν στο πεδίο ή που έχουν

υπολογιστεί στο εργαστήριο, ενώ του κώδικα συγκρίνεται με την αριθμητική λύση που προκύπτει από το μοντέλο ή από άλλες αριθμητικές λύσεις.

- ❖ *Σχεδιασμός του μοντέλου.* Στο στάδιο αυτό γίνεται ο σχεδιασμός του πλέγματος, η επιλογή βημάτων χρόνου, ο προσδιορισμός οριακών και αρχικών συνθηκών, η επιλογή τιμών για τις παραμέτρους του υδροφορέα και των υδρολογικών τάσεων.
- ❖ *Βαθμονόμηση.* Ο σκοπός της βαθμονόμησης είναι να καθοριστεί ότι το μοντέλο είναι ικανό να αναπαραστήσει τα μετρούμενα στο πεδίο υδραυλικά ύψη και τις ροές. Επίσης πραγματοποιείται χρήση της μεθόδου δοκιμής και σφάλματος ή κάνοντας χρήση μίας αυτοματοποιημένης εκτίμησης των παραμέτρων του κώδικα.
- ❖ *Βαθμονόμηση ανάλυσης ευαισθησίας.* Πραγματοποιείται μία ανάλυση ευαισθησίας ώστε να γίνουν φανερές οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας του βαθμονομημένου μοντέλου. Η αβεβαιότητα διαφαίνεται στην αδυναμία καθορισμού της ακριβούς χωρικής συνεισφοράς των παραμετρικών τιμών καθώς και στον καθορισμό των οριακών συνθηκών και τάσεων.
- ❖ *Επιβεβαίωση μοντέλου.* Δημιουργείται μία επιπλέον επιβεβαίωση του μοντέλου, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο παραμετρικών τιμών και τάσεων με στόχο να γίνει αναπαράσταση μιας δεύτερης βάσης δεδομένων του πεδίου.
- ❖ *Πρόβλεψη.* Ανταπόκριση του συστήματος σε μελλοντικά συμβάντα. Δηλαδή το μοντέλο «τρέχει» για τις βαθμονομημένες τιμές των παραμέτρων και τάσεων, με εξαίρεση τις τάσεις οι οποίες αλλάζουν με τη πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζεται και σε αυτό το στάδιο η αβεβαιότητα, καθώς λαμβάνει χώρα η μελλοντική προσομοίωση της κατάστασης του πεδίου.
- ❖ *Μελλοντική ανάλυση ευαισθησίας.* Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της αβεβαιότητας των παραμετρικών τιμών κατά τη πρόβλεψη.
- ❖ *Παρουσίαση του σχεδιασμού και αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης.*
- ❖ *Επανελέγχος του μοντέλου.* Αρκετά χρόνια μετά τη μοντελοποίηση ολοκληρώνεται η μελέτη, καθώς συλλέγονται νέα δεδομένα πεδίου για

να καθορίσουν κατά πόσο η πρόβλεψη ήταν αληθής. Εάν η πρόβλεψη προκύψει ακριβής, τότε το μοντέλο είναι έγκυρο για το συγκεκριμένο πεδίο.

- ❖ *Επανασχεδιασμός του μοντέλου.* Πραγματοποιούνται αλλαγές στο θεωρητικό μοντέλο ή στις παραμέτρους του, εξαιτίας του επανελέγχου που γίνεται μετά από αρκετό χρονικό διάστημα [1].



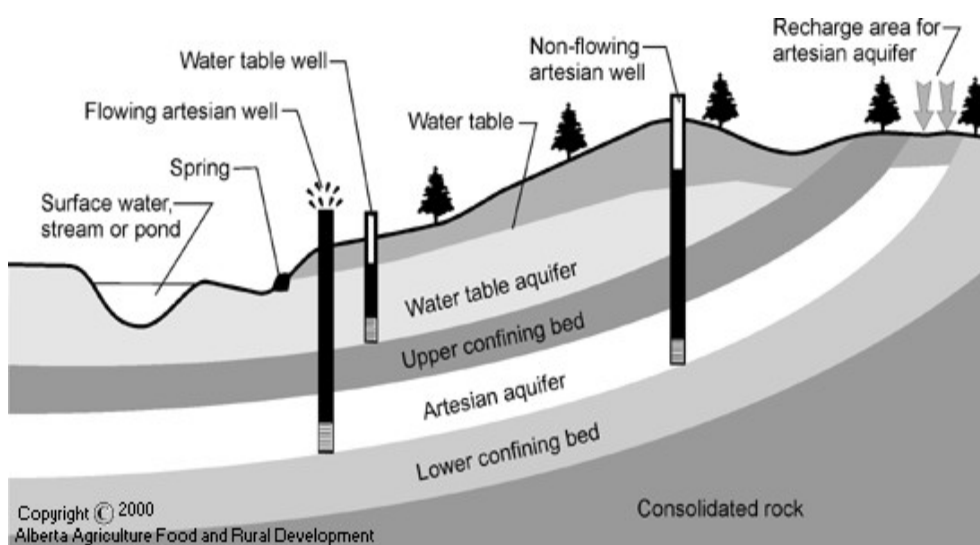
Εικόνα 2: Βήματα εφαρμογής του μοντέλου [1].

2.4 Θεμελιώδεις εξισώσεις

Ένα σύστημα υπόγειων νερών μπορεί να προσεγγιστεί μέσα από δύο θεωρητικές γωνίες, είτε από την προσέγγιση του υδροφορέα, είτε από τη προσέγγιση του συστήματος ροής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με τον όρο υδροφορέα εννοείται ένα σύστημα από πορώδες υλικό, ικανό να αποθηκεύει και να μεταφέρει ικανοποιητικές ποσότητες νερού στις γεωτρήσεις [1].

2.4.1 Προσέγγιση υδροφορέα

Σε αυτήν τη προσέγγιση, εμφανίζονται οι έννοιες του περιορισμένου και ελεύθερου υδροφορέα. Ένας περιορισμένος υδροφορέας, κείται κάτω από ένα περιορισμένο στρώμα το οποίο αποτελείται από πορώδες υλικό και αποτρέπει την κίνηση του νερού εντός αυτού, ενώ ένας μη περιορισμένος - ελεύθερος υδροφορέας, έχει ως ανώτερο όριό του τον υδροφόρο ορίζοντα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Απεικόνιση ειδών υδροφορέων [17].

Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για ανάλυση της ροής από πηγάδια άντλησης και αποτελεί βάση για πολλές αναλυτικές λύσεις, περιλαμβάνοντας αυτές του Thiem, Theis και Jacob. Στην προσέγγιση του υδροφορέα, η υπόγεια ροή θεωρείται αυστηρά οριζόντια μέσα στους υδροφορείς και αυστηρά κάθετη μέσα από τα περιορισμένα στρώματα. Η ικανότητα λοιπόν που διαθέτει ένας υδροφορέας να μεταφέρει νερό, ονομάζεται *υδραυλική αγωγιμότητα*. Εδώ, το μέγεθος της υδραυλικής αγωγιμότητας ολοκληρώνεται στη κάθετη διάσταση για να δώσει ένα μέσο όρο του χαρακτηριστικού της μεταφοράς, γνωστό και ως *μεταβιβασιμότητα*. Η μεταβιβασιμότητα ενός περιορισμένου υδροφορέα μπορεί να είναι συνεχής, στην περίπτωση που ο υδροφορέας είναι ομογενής και ομοιόμορφου πάχους, ενώ η μεταβιβασιμότητα ενός ελεύθερου υδροφορέα πάντα ποικίλει χωρικά, επειδή το πάχος κορεσμού εξαρτάται από το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα. Βέβαια, σε καταστάσεις πεδίου η υδραυλική αγωγιμότητα και η μεταβιβασιμότητα ποικίλουν, καθώς ο υδροφορέας είναι πάντα ετερογενής.

Η προσέγγιση του υδροφορέα χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει δισδιάστατα την οριζόντια ροή σε περιορισμένους και μη υδροφορείς. Οι περιορισμένοι με διαρροή υδροφορείς μπορούν να προσομοιωθούν, κάνοντας χρήση της τρισδιάστατης προσέγγισης, όπου η κάθετη ροή του περιορισμένου στρώματος αναπαριστάται με έναν όρο που συμβολίζει τη διαρροή και ο οποίος αφαιρεί ή προσθέτει νερό από τους υδροφορείς που βρίσκονται γύρω από αυτόν.

Μια γενική μορφή της θεμελιώδους εξίσωσης που αφορά στην προσέγγιση του υδροφορέα είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R + L \quad (2.1)$$

$$\text{με } L = -K'_z \frac{h_{\text{πηγής}} - h}{b'}$$

Όπου:

h = το υδραυλικό ύψος (L).

$h_{\text{πηγής}}$ = το υδραυλικό ύψος της πηγής που βρίσκεται στην άλλη μεριά του περιορισμένου στρώματος (L).

T_x, T_y = η μεταβιβασσιμότητα στη διεύθυνση x και y αντίστοιχα (L^2T^{-1}).

S = ο συντελεστής αποθηκευτικότητας (L^{-1}).

R = ένας θετικός όρος που αναπαριστά την επαναφόρτιση ($R = -W$, δείκτης απόρριψης, στη περίπτωση που λαμβάνει χώρα απόρριψη νερού) (LT^{-1}).

L = η διαρροή μέσα στο περιορισμένο στρώμα (LT^{-1}).

b' = το πάχος του περιορισμένου στρώματος (L) [1].

♦ Υποθέσεις Dupuit

Όταν η εξίσωση (2.1) εφαρμόζεται σε έναν ελεύθερο υδροφόρο, χρησιμοποιούνται οι υποθέσεις Dupuit. Συγκεκριμένα, ο Dupuit χρησιμοποίησε ένα σύνολο απλουστευμένων υποθέσεων με σκοπό να αναπτύξει μία θεωρία για την επεξεργασία των ελεύθερων ροών. Αυτές οι υποθέσεις ήταν αποτέλεσμα της παρατήρησης ότι το ύψος (slope) του υδροφόρου ορίζοντα είναι πολύ μικρό στις περισσότερες υπόγειες ροές. Η ουσία των υποθέσεων αυτών είναι, ότι θεωρούνται οι ισοδυναμικές επιφάνειες κάθετες και η ροή οριζόντια. Επίσης, για μικρές αυξήσεις του υδροφόρου ορίζοντα, το ύψος του είναι προσεγγιστικά ίσο με την υδραυλική κλίση σε όλα τα σημεία κάτω από τον υδροφόρο.

Να σημειωθεί ότι οι υποθέσεις Dupuit οι οποίες επίσης ονομάζονται και Dupuit-Forschhiemer, δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε περιοχές όπου η ροή είναι κάθετη, αλλά εφαρμόζονται όπου η κατεύθυνση της ροής είναι 1.5-2 φορές μεγαλύτερη από το πάχος του κορεσμένου στρώματος [10].

2.4.2 Προσέγγιση συστήματος ροής

Η προσέγγιση του συστήματος ροής εφαρμόζεται για την οριζόντια και κάθετη ροή μέσα στο υπό μελέτη σύστημα και επιτρέπει τη διαχείριση της ροής μέσα από ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτό που ενδιαφέρει σε αυτή τη προσέγγιση είναι κυρίως η κατασκευή της τρισδιάστατης

συνεισφοράς των υδραυλικών υψών, των υδραυλικών αγωγιμοτήτων και των συντελεστών αποθηκευτικότητας σε όλα τα μέρη του συστήματος και λιγότερο η αναγνώριση των υδροφορέων ή των περιορισμένων στρωμάτων.

Μια γενική μορφή της εξίσωσης που θεμελιώνει αυτή τη προσέγγιση είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (2.2)$$

Όπου:

K_x, K_y, K_z = η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση x, y και z αντίστοιχα (LT^{-1}).

S_s = η ειδική αποθηκευτικότητα (L^{-1}).

R^* = ένας θετικός όρος που καθορίζει τον όγκο του νερού που εισέρχεται στο σύστημα ανά μονάδα όγκου του υδροφορέα και ανά μονάδα χρόνου. Για την εκροή ισχύει $R^* = W$ (T^{-1}) [1].

2.5 Αριθμητικές μέθοδοι

Γενικά, οι αριθμητικές μέθοδοι θεωρούνται αρκετά πιο ουσιώδεις και με δυνατότητα της ευρείας χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προτιμούνται και χρησιμοποιούνται ευκολότερα σε σύγκριση με τις αναλυτικές μεθόδους. Οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση των υπόγειων νερών είναι οι ακόλουθες:

- ο Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών.
- ο Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.
- ο Η μέθοδος των ολοκληρωμένων πεπερασμένων διαφορών.
- ο Η μέθοδος της οριακής ολοκληρωτικής εξίσωσης.
- ο Η μέθοδος των αναλυτικών στοιχείων.

Να σημειωθεί ότι οι δύο πρώτες μέθοδοι, οι οποίες και συσχετίζονται μεταξύ τους, χρησιμοποιούνται ευρέως στην επίλυση προβλημάτων ροής,

ενώ οι δύο τελευταίες εξαιτίας του γεγονότος ότι αποτελούν νέες μεθόδους έχουν προς το παρόν περιορισμένη χρήση. Επίσης, η μέθοδος των ολοκληρωμένων πεπερασμένων διαφορών συσχετίζεται άμεσα με αυτή των πεπερασμένων στοιχείων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα μαθηματικό μοντέλο δημιουργείται σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα και προκύπτει από την επίλυση ενός συνόλου αλγεβρικών εξισώσεων, οι οποίες προέρχονται από την προσέγγιση των μερικών διαφορικών εξισώσεων (θεμελιώδης εξίσωση, αρχικές και οριακές συνθήκες). Προσεγγίζοντας λοιπόν διάφορες τεχνικές όπως είναι οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων και εφαρμόζοντάς τις στο μαθηματικό μοντέλο, μπορεί αυτό να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιλύεται εύκολα από έναν υπολογιστή. Το σύνολο δηλαδή των αλγεβρικών εξισώσεων που παράγονται μπορούν να εκφραστούν σαν μία πινακοποιημένη εξίσωση. Οι αριθμητικές μέθοδοι με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για την επίλυση αυτών των αλγεβρικών εξισώσεων που έχουν πάρει τη μορφή πίνακα. Καταλήγοντας, η διαδικασία επίλυσης διαθέτει ουσιαστικά δύο βήματα:

1. Εφαρμογή των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων στο αυθεντικό μαθηματικό μοντέλο.
2. Επίλυση της προκύπτουσας πινακοποιημένης εξίσωσης [1].

2.5.1 Πεπερασμένες διαφορές-Πεπερασμένα στοιχεία

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν τις πεπερασμένες διαφορές και τα πεπερασμένα στοιχεία είναι ιδιαίτερα γνωστά στη μοντελοποίηση της ροής και αποδίδουν ακριβή αποτελέσματα. Και οι δύο τύποι μοντέλων είναι ισοδύναμοι όσον αφορά στην ακρίβεια που παρέχουν, με τη διαφορά ότι η προσέγγιση των πεπερασμένων διαφορών θεωρείται περισσότερο πολύπλευρη [15].

Σύμφωνα με τον Gray (1984), τόσο η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών όσο και αυτή των πεπερασμένων στοιχείων διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία μπορεί να είναι επιθυμητά σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Παρά τις διαφωνίες που έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς για το

ποια από τις δύο μεθόδους είναι η καλύτερη, ο Gray υποστηρίζει ότι στη πραγματικότητα κάθε χρήστης προτιμάει εκείνη, με την οποία έχει προγραμματίσει καλύτερα!

Γενικότερα, στην επιλογή της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα πρόβλημα παίζει ρόλο:

- ✚ Το είδος του προβλήματος που είναι προς επίλυση.
- ✚ Ο σκοπός του χρήστη σε εκάστοτε περίπτωση.

Η μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών είναι ιδιαίτερα εύκολη στη κατανόηση και στο προγραμματισμό, καθώς εισάγονται λιγότερα δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα για την κατασκευή του πλέγματος των πεπερασμένων διαφορών.

Από την άλλη, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι περισσότερο ικανή στο να προσεγγίζει ακαθόριστα σχηματικά όρια από ό,τι είναι σε θέση να προσεγγίσουν οι πεπερασμένες διαφορές. Επιπλέον, είναι ευκολότερο να γίνει προσαρμογή του μεγέθους των στοιχείων και της τοποθεσίας των ορίων, ελέγχοντας έτσι την επίδραση που έχει ο κομβικός χώρος στη λύση του συστήματος. Με τα πεπερασμένα στοιχεία είναι καλύτερος ο χειρισμός των εσωτερικών ορίων, τα οποία μπορεί να αποτελούν ζώνες αστοχίας. Μάλιστα, μπορούν να προσομοιώνουν σημειακές πηγές και βυθίσματα, διαρροές και κινούμενους υδροφόρους ορίζοντες, σε αντίθεση με τις πεπερασμένες διαφορές.

Ωστόσο, παρά τις ομοιότητες που παρουσιάζουν οι δύο μέθοδοι, εντοπίζεται μία θεμελιώδης διαφορά στη φιλοσοφία τους. Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών υπολογίζει μία τιμή για το υδραυλικό ύψος κάθε κόμβου, η οποία παράλληλα αποτελεί το μέσο όρο του υδραυλικού ύψους του κελιού που περιβάλλει τον κόμβο και δεν πραγματοποιείται καμία υπόθεση σχετικά με τη διακύμανση των υδραυλικών υψών σε δύο διαφορετικούς κόμβους. Αντίθετα, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων προσδιορίζει με ακρίβεια την διακύμανση των υδραυλικών υψών μέσα σε κάθε στοιχείο, κάνοντας χρήση της μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής. Τα υδραυλικά ύψη υπολογίζονται για λόγους ευκολίας στους κόμβους, αλλά καθορίζονται παντού μέσα από βασικές συναρτήσεις [1].

2.6 Θεωρητικό μοντέλο

2.6.1 Ορισμός θεωρητικού μοντέλου

Το θεωρητικό μοντέλο αποτελεί μια αναπαράσταση ενός συστήματος υπόγειας ροής, συχνά στη μορφή ενός διαγράμματος ή ενός στρωματοποιημένου τμήματος. Το είδος του θεωρητικού μοντέλου είναι αυτό που θα καθορίσει τις διαστάσεις του αριθμητικού μοντέλου και τον σχεδιασμό του πλέγματος.

Κατά την κατασκευή ενός θεωρητικού μοντέλου, στόχος είναι να απλοποιηθεί το πρόβλημα στο πεδίο και να οργανωθούν τα δεδομένα που προέρχονται από αυτό, έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να αναλυθεί με έναν ευανάγνωστο τρόπο. Η απλοποίηση αυτή είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί, διαφορετικά δε θα ήταν εφικτή η ολοκληρωμένη αναπαράσταση του συστήματος πεδίου. Όσο πιο πολύ προσεγγίζει το θεωρητικό μοντέλο τη πραγματική κατάσταση του πεδίου, τόσο πιο ακριβές είναι. Βέβαια, ουσιώδες είναι να απλοποιείται το θεωρητικό μοντέλο όσο το περισσότερο γίνεται και παράλληλα να διατηρεί κάποια πολυπλοκότητα, ώστε να αναπαραστή επαρκώς τη συμπεριφορά του συστήματος. Είναι σημαντικό, να δημιουργηθεί ένα θεωρητικό μοντέλο το οποίο να αποτελεί μια αυθεντική αναπαράσταση των βασικών υδρολογικών καταστάσεων, γιατί μία μετέπειτα αποτυχία πρόβλεψης στο αριθμητικό μοντέλο, μπορεί συχνά να αποδοθεί σε λάθη που έγιναν κατά τη δημιουργία του θεωρητικού μοντέλου [1].

2.6.2 Δημιουργία θεωρητικού μοντέλου

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την κατασκευή του περιέχει δύο βασικά βήματα, τα οποία είναι να καθοριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος και να αναγνωριστούν τα όρια του μοντέλου. Γενικότερα, τα αριθμητικά μοντέλα απαιτούν οριακές συνθήκες, οπότε τα υδραυλικά ύψη και οι ροές πρέπει να οριστούν μέσα στα όρια του συστήματος και όταν είναι εφικτό τα φυσικά

υδρολογικά όρια του συστήματος να χρησιμοποιούνται και ως όρια του μοντέλου. Στη δημιουργία ενός θεωρητικού μοντέλου τρία βήματα ακολουθούνται:

- i. Καθορισμός των υδρογραφικών μονάδων.
- ii. Καθορισμός του ισοζυγίου του νερού.
- iii. Καθορισμός του συστήματος ροής [1].

► Υδρογραφικές μονάδες

Για τον καθορισμό των υδρογραφικών μονάδων ενός θεωρητικού μοντέλου επιστρατεύεται ένα πλήθος γεωλογικών πληροφοριών, οι οποίες περιέχουν γεωλογικούς χάρτες, στρωματοποιημένα τμήματα και πηγάδια, τα οποία συνδυάζονται με υδρογεωλογικές πληροφορίες. Στη μοντελοποίηση ενός συστήματος ροής, οι υδροφορείς και τα περιορισμένα στρώματα καθορίζονται κάνοντας χρήση της έννοιας των υδρογραφικών μονάδων, οι οποίες παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά από τον Maxey (1964) και επαναπροσδιορίστηκαν από τον Seaber (1988). Με απλά λόγια, οι υδρογραφικές μονάδες συνθέτουν γεωλογικούς σχηματισμούς με παρόμοιες υδρογεωλογικές ιδιότητες.

Πολλοί γεωλογικοί σχηματισμοί είναι δυνατόν να συνδυάζονται μέσα σε μία μόνο υδρογραφική μονάδα ή μπορεί να υποκατηγοριοποιούνται σε υδροφορείς και σε περιορισμένες μονάδες. Οι γεωλόγοι βασίζονται σε αυτού του είδους τις πληροφορίες, καθώς κατανοούν την ιστορία που αφορά στις αποθέσεις γεωλογικών σχηματισμών και είναι σε θέση να βοηθήσουν έτσι στην ανακατασκευή του περιβάλλοντος απόθεσης.

Στην ανάλυση αυτή είναι πολύ χρήσιμα και τα μοντέλα - φακοί (facies models). Αυτά αποτελούν μονάδες από υλικό με παραπλήσιες φυσικές ιδιότητες, τα οποία αποτέθηκαν σε παρόμοιο γεωλογικό περιβάλλον [1]. Σύμφωνα με την Anderson (1989) μάλιστα, η γνώση της ιστορίας απόθεσης που έχει μια περιοχή, μπορεί να φανεί χρήσιμη στη πρόβλεψη δημιουργίας ενός ιζηματογενούς τύπου, στη περίπτωση που δεν υπάρχουν πολλές γεωλογικές πληροφορίες.

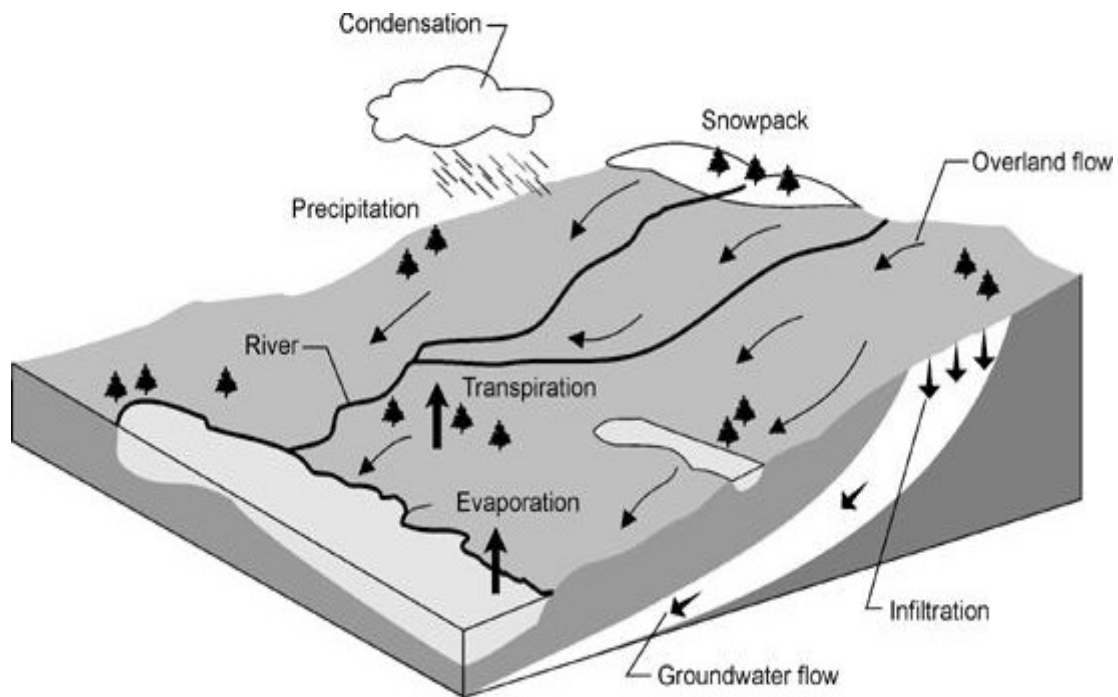
► Ισοζύγιο νερού

Οι πηγές με τις οποίες τροφοδοτείται με νερό το σύστημα σε συνδυασμό με τις αναμενόμενες κατευθύνσεις ροής και τα σημεία εξόδου, αποτελούν μέρη του θεωρητικού μοντέλου. Οι προβλεπόμενες από το πεδίο εισροές περιλαμβάνουν την επαναφόρτιση του υπόγειου νερού από τη βροχόπτωση, από την επιφανειακή ροή του νερού ή από τα επιφανειακά υδρόβια σώματα. Οι εκροές από την άλλη, αποτελούνται από νερά πηγών, από τη ροή των ποταμών, από την εξατμισοδιαπνοή και από την άντληση. Η υπόγεια ροή προκύπτει λοιπόν από τις εισροές και από τις εκροές (Εικόνα 4).

Το ισοζύγιο νερού πρέπει να προετοιμάζεται από τα δεδομένα του πεδίου, ώστε να συγκεντρώνει τις ποσότητες αυτών των ροών και τις αλλαγές στην αποθήκευση. Κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου, το προβλεπόμενο από το πεδίο ισοζύγιο του νερού συγκρίνεται με αυτό που υπολογίζεται από το μοντέλο [1].

► Σύστημα ροής

Η υδρογραφία δημιουργεί ένα περιβάλλον για τον θεωρητικό μοντέλο, με αποτέλεσμα οι υδρολογικές πληροφορίες να χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν την κίνηση του νερού εντός του συστήματος. Σε αυτή την ανάλυση, χρησιμοποιούνται υδρολογικές πληροφορίες σχετικές με τις κατακρημνίσεις, την εξάτμιση και την επιφανειακή απορροή του νερού, καθώς και δεδομένα υδραυλικών υψών και γεωχημικών πληροφοριών. Οι υπολογισμοί των υδραυλικών υψών είναι απαραίτητοι για την εκτίμηση της γενικής κατεύθυνσης της υπόγειας ροής, του μέρους επαναφόρτισης και της αντίστοιχης περιοχής της, καθώς και της σύνδεσης μεταξύ υδροφορέων και επιφανειακών συστημάτων νερού.



Εικόνα 4: Υδρολογικός κύκλος νερού [17].

Επίσης, ο καθορισμός του συστήματος της υπόγειας ροής μπορεί να βασίζεται εξ ολοκλήρου σε φυσικά υδρολογικά δεδομένα. Θεωρείται ορθό να χρησιμοποιούνται και γεωχημικά δεδομένα όπου είναι πιθανό, για την ενδυνάμωση του θεωρητικού μοντέλου. Τα χημικά δεδομένα του νερού χρησιμοποιούνται με στόχο να αναφέρουν τις κατευθύνσεις ροής, να αναγνωρίσουν τις πηγές και τις ποσότητες επαναφόρτισης καθώς και να εκτιμήσουν τα επίπεδα υπόγειας ροής, καθορίζοντας τα τοπικά, ενδιάμεσα και ευρείας περιοχής συστήματα ροής. Οι χημικές αναλύσεις, κλασικά περιλαμβάνουν συγκεντρώσεις πολλών κατιόντων, ανιόντων, θερμοκρασίας και pH. Ανάλογα βέβαια και με το σκοπό της χημικής μελέτης, η ανάλυση μπορεί επίσης να περιέχει ιχνευτικά μέταλλα, σταθερά ή ραδιογενή ισότοπα και οργανικά συστατικά [1].

2.6.3 Τύποι μοντέλων

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι διαχωρισμού των μοντέλων που αφορούν στην υπόγεια ροή του νερού. Έτσι, τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Μεταβαλλόμενα ή σταθερών συνθηκών
2. Περιορισμένου ή ελεύθερου υδροφορέα
3. Μονοδιάστατα, δισδιάστατα ή τρισδιάστατα

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του πλέγματος ενός αριθμητικού μοντέλου, ο πιο σχετικός διαχωρισμός βασίζεται στη διάσταση. Οπότε τα μοντέλα μπορούν να διαχωριστούν και ως εξής:

1. Δισδιάστατα επιφανειακά
2. Δισδιάστατα
3. Ημι-τρειςδιάστατα
4. Τρισδιάστατα

Δισδιάστατα επιφανειακά μοντέλα (προσέγγιση υδροφορέα)

Τα μοντέλα αυτά μπορεί να αναφέρονται σε τέσσερις τύπους υδροφορέων οι οποίοι είναι:

- **Οι περιορισμένοι υδροφορείς.** Οι συντελεστές μεταβιβασιμότητας και αποθηκευτικότητας καθορίζονται για κάθε κόμβο, κελί ή στοιχείο. Η μεταβολή στη μεταβιβασιμότητα μπορεί να αναπαριστά αλλαγές είτε στην υδραυλική αγωγιμότητα, είτε στο πάχος του υδροφορέα. Στη μεταβιβασιμότητα η ανισοτροπία του υδροφορέα αναπαρίσταται με τη διαφορά της μεταβιβασιμότητας στην διεύθυνση x και y (T_x και T_y αντίστοιχα).
- **Οι περιορισμένοι με διαρροή υδροφορείς.** Το αδιαπέρατο στρώμα και ο υδροφορέας που παρέχει τη διαρροή, δεν αναπαρίστανται

ξεχωριστά στο μοντέλο αλλά προσομοιώνονται με έναν όρο διαρροής που είναι ο ακόλουθος:

$$\text{Διαρροή} = \frac{\text{κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα}}{\text{πυκνότητα αδιαπέρατου στρώματος}} = \frac{k_z'}{b'}$$

Η πηγή νερού μπορεί να είναι κάποιος άλλος περιορισμένος υδροφορέας ή κάποιο επιφανειακό υδάτινο σώμα. Γενικότερα, το μοντέλο υποθέτει ότι το υδραυλικό ύψος της πηγής δε σχετίζεται με το χρόνο και ότι δεν γίνεται αποδέσμευση του νερού από την αποθήκευση, μέσα στο αδιαπέρατο στρώμα.

- **Οι ελεύθεροι υδροφορείς.** Μέσω των υποθέσεων Dupuit (βλέπε σελ16), διασφαλίζεται η οριζόντια ροή προϋποθέτοντας πως δεν υπάρχουν αλλαγές στο υδραυλικό ύψος καθώς μεγαλώνει το βάθος. Το μοντέλο υπολογίζει το υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού για κάθε κόμβο. Απαιτούνται πίνακες με τιμές καθορισμένης υδραυλικής αγωγιμότητας, ενεργού πορώδους και του υψομέτρου του επιπέδου αναφοράς.
- **Τα σύνθετα συστήματα υδροφορέων.** Πραγματοποιείται συνδυασμός των παραπάνω τύπων υδροφορέων. Ένας υδροφορέας μπορεί να ποικίλει χωρικά με ελεύθερες ή περιορισμένες συνθήκες ή και να υποστεί μετατροπή από περιορισμένες σε ελεύθερες συνθήκες έπειτα από άντληση.

Ημι-τρισεδιάστατα μοντέλα (προσέγγιση υδροφορέα)

Τα μοντέλα αυτά προσομοιάζουν μία αλληλουχία υδροφορέων με παρεμβάλλοντα αδιαπέρατα στρώματα. Εδώ, τα υδραυλικά ύψη των αδιαπέρατων στρωμάτων δεν υπολογίζονται και η επίδραση αυτών των στρωμάτων εξομοιώνεται μέσα από τον όρο διαρροής, ο οποίος αναπαριστά τη κάθετη ροή μεταξύ δύο υδροφορέων. Επίσης, δε λαμβάνεται υπόψη η αποδέσμευση νερού από την αποθήκευση μέσα στο αδιαπέρατο στρώμα,

ενώ υπολογίζεται κατευθείαν από το μοντέλο το ύψος της μονάδας που βρίσκεται στη κορυφή αυτού του στρώματος (ένας περιορισμένος συνήθως υδροφορέας).

Δισδιάστατα - Τρισδιάστατα μοντέλα (προσέγγιση συστήματος ροής)

Τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προσομοιάσουν ελεύθερους υδροφορείς όταν η κάθετη κλίση του υδραυλικού ύψους είναι σημαντική. Ο υδροφόρος ορίζοντας αποτελεί μέρος του ορίου σε ένα τέτοιο μοντέλο. Χρησιμοποιούνται επίσης για να αναπαραστήσουν τη μεταβαλλόμενη απελευθέρωση του νερού από τη φάση αποθήκευσης, μέσα στα αδιαπέρατα στρώματα, τα οποία περιλαμβάνουν τα περιορισμένα στρώματα ως μια στρώση με συγκεκριμένη τιμή ειδικής αποθηκευτικότητας [1].

2.6.4 Δημιουργία πλεγμάτων

Οι περισσότερες αριθμητικές μέθοδοι απαιτούν την ανάπτυξη ενός επιφανειακού πλέγματος. Οι παράμετροι που εισάγονται σε συνδυασμό με το πλέγμα δημιουργούν τη βάση πάνω στην οποία καθορίζεται το σύστημα υπόγειου νερού. Βέβαια, ο σχηματισμός και η εισαγωγή της βάσης είναι συγκεκριμένη για τον υπολογιστικό κώδικα που έχει επιλεγεί. Να σημειωθεί ότι, τα πολύ ορθά και πλησίον τοποθετημένα πλέγματα παράγουν αντιστοίχως και ακριβή αποτελέσματα. Ωστόσο, όσο πιο ορθά είναι τοποθετημένα τα πλέγματα, τόσο πιο πολύ χρόνο χρειάζεται ο υπολογιστής κατά την επίλυση. Ευτυχώς, εξαιτίας των τεχνολογικών επιτευγμάτων όσον αφορά στους υπολογιστές, ο χρόνος υπολογισμού δε αποτελεί πλέον σημαντικό πρόβλημα. Εφόσον δεν υπάρχει το θέμα του χρόνου και είναι διαθέσιμα και τα απαραίτητα δεδομένα, είναι προτιμότερο να υπάρχει μια ευρύτερη περιοχή μοντελοποίησης, με όρια που βασίζονται σε πραγματικά υδρολογικά όρια, από ό,τι σε τεχνητά [16].

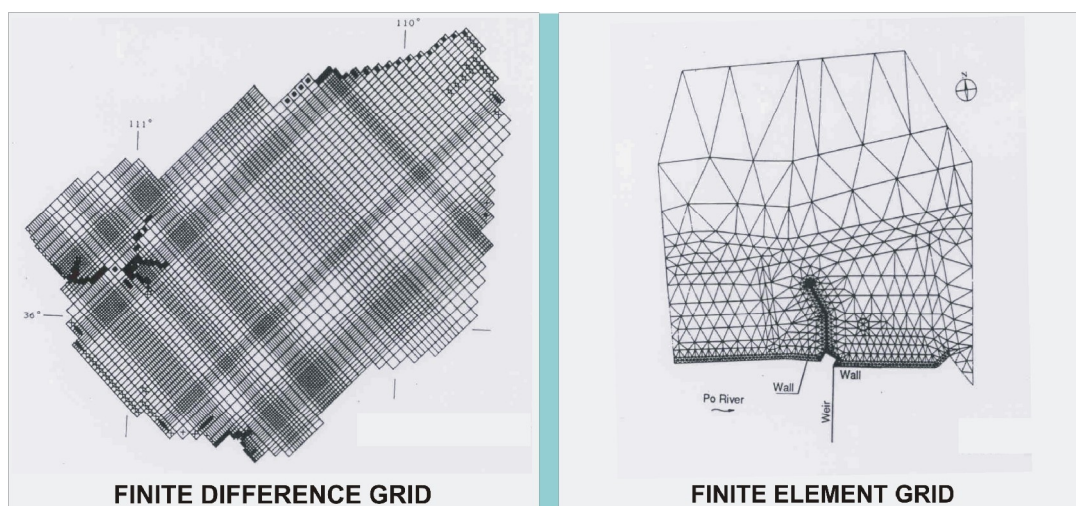
Πρέπει να ακολουθούνται κάποιες βασικές οδηγίες που συνοψίζονται παρακάτω:

- ◆ Εντοπισμός κόμβων πηγαδιών κοντά σε πηγάδια άντλησης ή δίπλα στο κέντρο του πεδίου των πηγαδιών.
- ◆ Ακριβής εντοπισμός ορίων. Για απομακρυσμένα όρια το πλέγμα μπορεί να επεκτείνεται, απλώς είναι καλό να αποφεύγεται η μεγάλη κατανομή χώρου.
- ◆ Η κατανομή του πλέγματος θα πρέπει να είναι σε κατάλληλη κλίμακα για το πρόβλημα. Θα πρέπει δηλαδή εμπεριέχει περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες χωρικές αλλαγές στη μεταβιβασιμότητα και τα υδραυλικά ύψη. Αυτές οι αλλαγές στο υδραυλικό ύψος τυπικά λαμβάνουν χώρα σε περιοχές επαναφόρτισης και μη ή μπορεί κάλλιστα να βρίσκονται κοντά σε πηγάδια άντλησης.
- ◆ Στοίχιση των αξόνων του πλέγματος σύμφωνα με τις μεγάλες διευθύνσεις της ανισοτροπίας.
- ◆ Οι ισχυρές κάθετες κλίσεις μέσα σε μια μοναδική κορεσμένη ζώνη πρέπει να συνοδεύονται από πολλαπλά στρώματα [16].

Η επιλογή ενός κώδικα πεπερασμένων διαφορών ή πεπερασμένων στοιχείων επηρεάζει τη δομή του πλέγματος.

Οι τύποι των *πλεγμάτων πεπερασμένων διαφορών* (Εικόνα 5) είναι οι ακόλουθοι:

- Το block-centered πλέγμα. Εδώ το πλέγμα σχηματίζεται από δύο σετ παράλληλων γραμμών που είναι ορθογώνια. Τα τετράγωνα (blocks) σχηματίζονται από αυτές τις γραμμές και ονομάζονται κελιά. Στο κέντρο κάθε κελιού υπάρχει ο κόμβος, το σημείο δηλαδή όπου το μοντέλο υπολογίζει τα υδραυλικά ύψη. Τα όρια της ροής εντοπίζονται πάντα στην άκρη κάθε block.
- Το mesh-centered πλέγμα. Επιλέγεται αυτός ο τύπος επειδή υπάρχουν λιγότερα ή και καθόλου δεδομένα για συγκεκριμένες περιοχές, οπότε υπάρχει ένα ενδιαφέρον σε μία ή σε μικρότερες περιοχές. Εδώ, τα όρια συμπίπτουν με τον κόμβο [1] [9].



Εικόνα 5: Απεικόνιση πλέγματος πεπερασμένων διαφορών και πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων [9].

Σε μεγάλους υπολογιστικούς κώδικες, τα μαθηματικά των πεπερασμένων διαφορών για τα όρια, επιλύονται ευκολότερα κάνοντας χρήση της block-centered προσέγγισης. Επίσης, στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των κόμβων που «πέφτουν» εκτός των ορίων της περιοχής μοντελοποίησης. Οι κόμβοι αυτοί ονομάζονται ανενεργοί κόμβοι, ενώ αυτοί που «πέφτουν» εντός της περιοχή ενεργοί.

Στα πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων (Εικόνα 5) δεν υπάρχουν ανενεργοί κόμβοι, καθώς τα στοιχεία τοποθετούνται ακριβώς πάνω στα όρια.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τη ροή των μοντέλων υπόγειων νερών κατηγοριοποιούνται σε αυτά που αποτελούν το φυσικό περιβάλλον του μοντέλου, δηλαδή τη γεωμετρία του, την πυκνότητα και την επέκταση της περιοχής σε κάθε υδρογραφική μονάδα ή σε υδρολογικά δεδομένα, που σημαίνει πληροφορίες υδραυλικών υψών και ροών, ιδιότητες υδροφορέα και υδρολογικές τάσεις.

Όσον αφορά στο πλέγμα, για την εισαγωγή των δεδομένων που προέρχονται από μετρήσεις στο πεδίο, πραγματοποιείται αρχικά μία ταύτιση με τις παραμετρικές τιμές στη κλίμακα του μοντέλου. Οι ιδιότητες του υδροφορέα πρέπει να αναφέρονται σε κάθε υδρογραφική μονάδα που αναγνωρίζεται στο θεωρητικό μοντέλο. Επιπλέον, απαιτείται εισαγωγή τιμών για κάθε κόμβο, κελί ή στοιχείο και τα δεδομένα στο πεδίο είναι διάσπαρτα [1].

2.7 Οριακές συνθήκες – Αρχικές συνθήκες

2.7.1 Οριακές συνθήκες

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μοντελοποίησης είναι ο προσδιορισμός των οριακών συνθηκών. Οι συνθήκες αυτές, δεν αφορούν μόνο στα φυσικά εξωτερικά όρια του μοντέλου, που μπορεί να είναι κάποιο αδιαπέρατο στρώμα πετρώματος ή επιφάνεια νερού, αλλά και στα αποκαλούμενα εσωτερικά υδρολογικά όρια (σημεία εξαγωγής, αυλάκια, κτλ.). Στο μοντέλο είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν όσα περισσότερα δεδομένα σχετίζονται με ροές (επαναφορτίσεις), τα οποία επηρεάζουν τα υδραυλικά ύψη και τα επίπεδα του υπόγειου νερού. Οι υδραυλικές παράμετροι σε ένα μοντέλο, χωρίς τα δεδομένα ροών, είναι αδύνατον να καθοριστούν στη διαδικασία βαθμονόμησης [8].

Η μη ορθή εισαγωγή των οριακών και των αρχικών συνθηκών μπορεί να αποτελέσει στη μοντελοποίηση αιτία σοβαρού σφάλματος. Βασικά, υπάρχουν 7(επτά) τύποι οριακών συνθηκών με τέσσερις να είναι οι πλέον γνωστές:

1. Οριακές συνθήκες συνεχούς υδραυλικού ύψους (μέρος οριακών συνθηκών καθορισμένου υδραυλικού ύψους).
2. Οριακές συνθήκες καθορισμένου υδραυλικού ύψους.
3. Οριακές συνθήκες γραμμής ή επιφάνειας ποταμού (μέρος οριακών συνθηκών καθορισμένης ροής).
4. Οριακές συνθήκες καθορισμένης ροής.
5. Οριακές συνθήκες ροής εξαρτώμενες από το υδραυλικό ύψος.
6. Οριακές συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας (με χαρακτηριστική αυτή του υδροφόρου ορίζοντα).
7. Οριακές συνθήκες επιφάνειας διαρροής (μέρος οριακών συνθηκών ελεύθερης επιφάνειας) [6].

Οριακές συνθήκες καθορισμένου υδραυλικού ύψους (Συνθήκες Dirichlet)

Η οριακή αυτή συνθήκη λαμβάνει χώρα όποτε είναι ικανό το υδραυλικό ύψος να καθοριστεί ως μια συνάρτηση χώρου και χρόνου πάνω σε μια οριακή επιφάνεια ενός συστήματος υπόγειου νερού. Η συνθήκη αυτή διαθέτει ένα σημαντικό «φυσικό» χαρακτηριστικό που επηρεάζει τα μοντέλα υπόγειας ροής, παρέχοντας σε αυτά μια πηγή νερού.

Οριακές συνθήκες καθορισμένης ροής (Συνθήκες Neumann)

Μια άλλη γενική συνθήκη εμφανίζεται όταν η παράγωγος του υδραυλικού ύψους (flux) σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της επιφάνειας του ορίου καθορίζεται ως συνάρτηση χώρου και χρόνου. Μάλιστα, σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν οριακές συνθήκες χωρίς ροή, τότε και η παράγωγος είναι μηδέν.

Οριακές συνθήκες ροής εξαρτώμενες από υδραυλικό ύψος (Συνθήκες Cauchy)

Σε κάποιες περιπτώσεις η παράγωγος του υδραυλικού ύψους μέσα σε μέρος της επιφάνειας του ορίου, προϋποθέτει αλλαγές στο υδραυλικό ύψος εντός του υδροφορέα. Μάλιστα, θεωρούνται και σύνθετες συνθήκες, καθώς συσχετίζουν τα όρια των υδραυλικών υψών με τα όρια ροής.

Οριακές συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα

Στα φυσικά συστήματα, ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ιδιαίτερα σημαντικός και τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα ορίων, οπότε και η προσομοίωσή του απαιτεί αρκετή φροντίδα και μπορεί να χαρακτηρίζεται από οριακές συνθήκες διαφορετικές μεταξύ τους. Έτσι, είναι πιθανό να θεωρηθεί ως:

1. Ελεύθερη επιφάνεια ορίου επαναφόρτισης, όπου είτε η επαναφόρτιση είναι μηδενική και ο υδροφόρος ορίζοντας αποτελεί την επιφάνεια ενός

ρυακίου, είτε η επαναφόρτιση παίρνει συγκεκριμένη τιμή και ο υδροφόρος ορίζοντας δεν αποτελεί ούτε δυναμική επιφάνεια ούτε επιφάνεια ρυακίου.

2. Οριακή συνθήκη επαναφόρτισης που είναι δίπλα σε κάποια επιφάνεια ξηράς, με πιθανότητες ελλείψεων εξαιτίας της εξάτμισης και της διαπνοής.
3. Οριακή συνθήκη καθορισμένου υδραυλικού ύψους σε σταθερών συνθηκών μοντέλα [6].

2.7.2 Αρχικές συνθήκες

Ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών σημαίνει καθορισμό της συνεισφοράς του υδραυλικού ύψους μέσα στο σύστημα στη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Αυτά τα συγκεκριμένα ύψη θεωρούνται ύψη αναφοράς και ο χρόνος που αναπαριστάται από αυτά τα ύψη, χρόνος αναφοράς. Για λόγους ευκολίας, ο χρόνος αναφοράς συνήθως καθορίζεται μηδενικός και το χρονικό πλαίσιο (εκφρασμένο σε δευτερόλεπτα, μέρες, χρόνια) υπολογίζεται από τον αρχικό χρόνο.

Κατά την εφαρμογή των οριακών συνθηκών σημειώνεται ότι:

- ◆ Σε ένα μοντέλο φυσικού συστήματος υπόγειας ροής σε ισορροπία, ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών απαιτεί αρχικά υδρολογικά δεδομένα σχετικά με τα αρχικά επίπεδα νερού. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι συχνά απαραίτητο να εξαχθεί μια σταθερής κατάστασης προσομοίωση της περιόδου πριν την άντληση και τα συμπεράσματα να χρησιμοποιηθούν ως αρχική συνθήκη για την προσομοίωση της μεταβαλλόμενης κατάστασης.
- ◆ Στην περίπτωση όπου το φυσικό σύστημα δε βρίσκεται σε ισορροπία, μια προηγούμενη περίοδος ισορροπίας πρέπει να αναγνωριστεί ώστε να οριστούν οι αρχικές συνθήκες. Επίσης όλες οι ακόλουθες τάσεις πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο προσομοίωσης με στόχο να προβλεφθούν οι τιμές του απόλυτων υψών που θα λάβουν χώρα μελλοντικά.

- ◆ Χρησιμοποιώντας την υπέρθεση ως μέρος της στρατηγικής μοντελοποίησης, απλοποιείται ή και αποφεύγεται η ανάγκη καθορισμού των αρχικών συνθηκών. Βέβαια, η υπέρθεση προβλέπει μόνο τις αλλαγές στα επίπεδα νερού σχετικές με συγκεκριμένες τάσεις στη μελέτη, χωρίς να προβλέπει τα απόλυτα ύψη και μπορεί να εφαρμοστεί σαν μέθοδος αποκλειστικά σε συστήματα που ανταποκρίνονται γραμμικά (ή σχεδόν γραμμικά) στις τάσεις [6].

3 Μοντέλο PTC (Princeton Transport Code)

3.1 Συνοπτική περιγραφή Argus ONE

Το πρόγραμμα Argus ONE είναι ένα ανεξάρτητο και προχωρημένο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), το οποίο χρησιμεύει για μοντελοποίηση, χρησιμοποιώντας παράλληλα τις αριθμητικές μεθόδους. Γενικότερα, αποτελεί ένα λογισμικό ανάπτυξης περιβάλλοντος και παρέχει τα αυτοματοποιημένα μηχανικά εργαλεία που είναι απαραίτητα στη μοντελοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργεί πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών, καθορίζει, διαχειρίζεται και εφαρμόζει οριακές και αρχικές συνθήκες, καθώς και παραμέτρους στο πλέγμα. Επιπλέον, εξάγει πληροφορίες από οποιαδήποτε αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιεί ο χρήστης και οπτικοποιεί τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης [3].

Το πρόγραμμα Argus ONE GIS υποστηρίζει στην αγορά ένα μεγάλο αριθμό μοντέλων υπόγειας ροής. Οι επαγγελματίες υδρολόγοι, οι οποίοι χρησιμοποιούν δικά τους μοντέλα, βρίσκουν ιδιαίτερα εύκολο την ανάπτυξη της δικής τους γραφικής διεπαφής μεταξύ του χρήστη και του προγράμματος (GUIs), χρησιμοποιώντας αυτό το λογισμικό.

Μερικά τέτοια προγράμματα που έχουν δημιουργηθεί και ασχολείται το καθένα με συγκεκριμένο αντικείμενο είναι το MODFLOW, το PTC, το NAPL, το SUTRA, το HST3D, το FEMWATER, το CFEST κτλ.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έχει χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα PTC για τη μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης [18].

3.2 Ορισμός

Το μοντέλο PTC (Princeton Transport Code), μέσω μερικών διαφορικών εξισώσεων περιγράφει τη ροή των υπόγειων νερών και την μεταφορά ρύπων. Γενικότερα, έχει σχεδιαστεί με σκοπό να χρησιμοποιείται από πρακτικούς υδρολόγους, παρά γι'αυτούς που ασχολούνται θεωρητικά με το αντικείμενο και καταπιάνεται με αριθμητικές μεθόδους και βιβλιογραφία που αναφέρεται σε πηγές ύδατος. Παράλληλα, το μοντέλο παραλείπει λεπτομέρειες που αφορούν στην ανάπτυξη εξισώσεων και στην ανάλυση του σφάλματος [4].

3.3 Θεμελιώδεις εξισώσεις

Το μοντέλο PTC χρησιμοποιεί το ακόλουθο σύστημα των μερικών διαφορικών εξισώσεων, το οποίο στοχεύει στην αναπαράσταση της υπόγειας ροής με χρήση του υδραυλικού ύψους, h :

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

Με χρήση τις συνιστώσες της ταχύτητας του υπόγειου νερού:

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

Οι παραπάνω εξισώσεις είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής της Αρχής Διατήρησης της Μάζας και του νόμου του Darcy. Για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων γίνεται το ακόλουθο: λύνεται αρχικά η εξίσωση (3.1)

ως προς το υδραυλικό ύψος, h και υπολογίζονται έπειτα οι ταχύτητες του Darcy V_x , V_y , V_z από την εξίσωση (3.2) [4].

3.4 Λύση αλγόριθμου PTC

Για να λυθεί το παραπάνω σύστημα εξισώσεων (3.1) και (3.2) για περίπλοκα φυσικά συστήματα, είναι απαραίτητο γενικότερα να εφαρμοστούν οι αριθμητικές μέθοδοι. Όσον αφορά σε συστήματα στο πεδίο, η υπολογιστική προσπάθεια που απαιτείται για την αριθμητική επίλυση των τρισδιάστατων εξισώσεων είναι μεγάλη. Το μοντέλο αυτό όμως εφαρμόζει ένα μοναδικό χωριστικό αλγόριθμο για επίλυση των εξισώσεων σε τρεις διαστάσεις, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό αρκετά τον υπολογιστικό φόρτο.

Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει διαχωρισμό της περιοχής μέσα στην οποία υπάρχουν προσεγγιστικά παράλληλα και οριζόντια στρώματα. Μέσα σε κάθε στρώμα ένα διακριτό πεπερασμένο στοιχείο χρησιμοποιείται για ακριβή αναπαράσταση των μη καθορισμένων πεδίων, ενώ τα στρώματα ενώνονται κάθετα μεταξύ τους μέσω των πεπερασμένων διαφορών. Αυτό το υβριδικό πάντρεμα των μεθόδων των πεπερασμένων στοιχείων με αυτές των πεπερασμένων διαφορών, παρέχει την ευκαιρία να εφαρμοστεί η χωριστική μέθοδος. Στη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρόνου όλοι οι υπολογισμοί χωρίζονται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα τα οριζόντια πεπερασμένα στοιχεία επιλύνονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο ενώ στο δεύτερο, οι εξισώσεις της κάθετης διεύθυνσης οι οποίες συνδέουν τα στρώματα μεταξύ τους, λύνονται επίσης.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν η χωριστική μέθοδος και τα πλεονεκτήματά της με μεγαλύτερη λεπτομέρεια [4].

3.5 Τρισδιάστατη ροή υπόγειων νερών

3.5.1 Θεμελιώδης εξίσωση

Το μοντέλο PTC προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος υπόγειου νερού μέσω της επίλυσης ως προς το υδραυλικό ύψος της ακόλουθης μερικής διαφορικής εξίσωσης:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} \\ + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(x - x_i) \delta(z - z_i) = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Όπου, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μεγέθη εκφραζόμενα με μονάδες μήκους (L), χρόνου (T) και μάζας (M):

- h : το υδραυλικό ύψος (L)
- K_{xx} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση x (LT^{-1})
- K_{yy} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση y (LT^{-1})
- K_{zz} : η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση z (LT^{-1})
- S : ο συντελεστής ειδικής αποθηκευτικότητας (L^{-1})
- Q : η παροχή (πηγάδια, (L^3T^{-1}))
- δ : η συνάρτηση Δέλτα
- r : ο αριθμός σημειακών πηγών

Για λόγους απλούστευσης, ο τελευταίος όρος της σχέσης (3.3) θα χρησιμοποιείται ως Q .

Η παραπάνω θεμελιώδης εξίσωση (3.3) λύνεται αριθμητικά από το μοντέλο PTC το οποίο χρησιμοποιεί μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι και εφαρμόζονται πάνω στην εξίσωση (3.3) [4].

3.5.2 Εφαρμογή μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων

Το χωριστικό σχήμα που χρησιμοποιεί το μοντέλο PTC με στόχο να δώσει λύση στην εξίσωση (3.3), περιλαμβάνει προσέγγιση των όρων της εξίσωσης που περιέχουν τα διαφορικά z και y , μέσω της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων. Να σημειωθεί ότι τα πεπερασμένα στοιχεία στην οριζόντια διάσταση χρησιμοποιούνται ευρέως [13].

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων υποθέτει ότι υπάρχει ένα μη πεπερασμένο σύνολο συναρτήσεων τα οποία αναπαριστούν με ακρίβεια τη λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης που περιγράφει την υπόγεια ροή.

Μια προσεγγιστικά πεπερασμένη μορφή της σειράς είναι:

$$h(x, y, z, t) \approx \hat{h}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^N h_i(z, t) w_i(x, y) \quad (3.4)$$

Όπου:

- h : το υδραυλικό ύψος (L)
- $\hat{h}$: η προσεγγιστική σειρά του ύψους (L)
- h_i : ένας μη καθορισμένος παράγοντας (L)
- w_i : μια βασική συνάρτηση
- N : ο αριθμός των κόμβων στο πεπερασμένου στοιχείου πλέγμα

Η προσεγγιστική σειρά (3.4) παρέχει μια ακριβή αναπαράσταση καθώς το N προσεγγίζει το άπειρο. Με μια προσεκτική επιλογή των βασικών συναρτήσεων w_i , ο ακαθόριστος παράγοντας h_i μετατρέπεται σε τιμές ύψους στους κόμβους με συντεταγμένες (x, y, z) . Ένα κλειδί στην υπολογιστική επάρκεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, είναι η χρήση βασικών συνεχών συναρτήσεων, οι οποίες είναι διάφορες του μηδενός, και αφορούν μόνο μια μικρή περιοχή του συνολικού πλέγματος. Το μοντέλο PTC χρησιμοποιεί βασικές γραμμικές συναρτήσεις ανάμεσα σε κόμβους πεπερασμένων στοιχείων, παρά το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι βασικών συναρτήσεων.

Στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων όταν ο διαφορικός χειριστής L ενεργεί πάνω στο υδραυλικό ύψος h είναι ίσος με το μηδέν, όταν ενεργεί

πάνω στη προσεγγιστική συνάρτηση ένα λάθος προκύπτει. Η μαθηματική έκφραση της σχέσης (3.4) είναι η ακόλουθη:

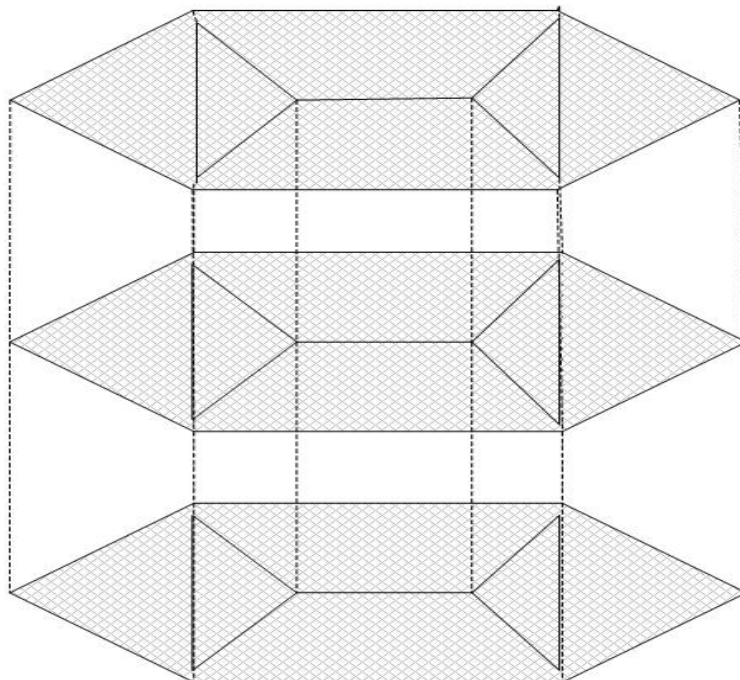
$$L(h) = 0 \quad (3.5)$$

$$\text{Ενώ } L\left(\hat{h}\right) = R \quad (3.6)$$

Όπου R είναι το υπολειμματικό σφάλμα.

Με στόχο να λύσουμε την εξίσωση (3.4) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, κάνουμε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιήσουμε το υπολειμματικό σφάλμα R. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το να θεωρήσουμε ένα πλήρες σύστημα συναρτήσεων w_j . Εάν έπειτα αναγκάσουμε το R να είναι ορθογωνικό σε όλες τις πιθανές τιμές του w_j , αναγκάζουμε στη πραγματικότητα το R να είναι μηδέν και έτσι επιτυγχάνεται μια λύση της εξίσωσης (3.4). Εκφράζοντας αυτό με άλλο τρόπο έχουμε:

$$L\left(\hat{h}\right) = L(h) \quad (3.7) \quad \text{όταν το } R=0 \text{ [4].}$$



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση των οριζόντιων πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων σε στοίβες, δημιουργώντας το τρισδιάστατο διαχωρισμό [4].

3.5.3 Οριακές συνθήκες

Το μοντέλο PTC περιλαμβάνει τρεις τύπους οριακών συνθηκών στην εξίσωση ροής. Οι τρεις αυτές συνθήκες, που έχουν προαναφερθεί, είναι του Dirichlet (σταθερό υδραυλικό ύψος), του Neumann (σταθερή ροή) και η τρίτου τύπου συνθήκη (διαρροή). Βέβαια οι οριακές συνθήκες μπορούν να διαμορφώνονται από το χρήστη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η προεπιλεγμένη οριακή συνθήκη για όλα τα όρια είναι μηδενικής ροής, το οποίο προϋποθέτει έναν περιορισμένο υδροφορέα με αδιαπέρατη βάση και πλευρές. Για να μπορέσει λοιπόν ο χρήστης να αναπαραστήσει διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες, πρέπει να επιλέξει διαφορετικές οριακές συνθήκες μέσα στο πεδίο.

■ Σταθερό υδραυλικό ύψος (1^{ου} τύπου)

Οι συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους καθορίζονται προσδιορίζοντας τους κόμβους με σταθερές τιμές των υδραυλικών υψών. Ο κώδικας παραγωγίζει απευθείας τις σειρές και στήλες στον παραγοντικό πίνακα που συνδέεται με αυτούς τους κόμβους. Στην περίπτωση λοιπόν, που οι κόμβοι σταθερού υδραυλικού ύψους απαλειφθούν από την εξίσωση του πίνακα, τότε μένουν $(N \times M - N_c)$ εξισώσεις με $(N \times M - N_c)$ αγνώστους, όπου N_c είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων με οριακές συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους.

■ Σταθερή ροή (2^{ου} τύπου)

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων παρέχει έναν απλουστευμένο τρόπο ορισμού των οριακών συνθηκών της ροής. Με εφαρμογή του Green Θεωρήματος ένας οριακός όρος γράφεται ως εξής:

$$-\int_{\sigma} \left[K_{zz} \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} l_z + K_{yy} \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} l_y \right] w_1 d\sigma = -\int_{\sigma} q_n w_1 d\sigma \quad (3.8)$$

Όπου q_n η κανονική ροή σε μία μονάδα επιφάνειας (μήκος x ύψος) του κάθετου ορίου σ (LT^{-1}). Όταν η ροή q_n θεωρείται συνεχής κατά μήκος ενός στοιχείου μήκους L η ολοκλήρωση της εξίσωσης (3.8) θα δώσει την κομβική κατανομή. Έτσι, ο χρήστης είναι αναγκαίο να συγκεκριμενοποιήσει την ογκομετρική ροή ενός κόμβου, ώστε να αναπαραστήσει τη ροή κατά μήκος ενός ορίου. Οι ροές, εξαιτίας της άντλησης, εμφανίζονται μαθηματικά με τον ίδιο τρόπο.

☛ Τρίτου τύπου συνθήκη

Οι οριακές συνθήκες της διαρροής δίνονται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q = k_L (h_{j,L}^t - h_{j,k}^t) \quad (3.9)$$

Όπου:

- ☛ $h_{j,k}^t$ = το άγνωστο υδραυλικό ύψος στον κόμβο j στο επίπεδο k στο χρόνο t (L).
- ☛ $h_{j,L}^t$ = το αντίστοιχο υδραυλικό ύψος στο σημείο αναφοράς της διαρροής (πχ. υψόμετρο μιας λίμνης) (L).
- ☛ k_L = η αγωγιμότητα της διαρροής (υδραυλική αγωγιμότητα δια απόσταση) (T^{-1}).

Ο όρος της αγωγιμότητας ολοκληρώνεται επιφανειακά, για να αναπαραστήσει την κάθετη ροή. Βέβαια, όταν ο χρήστης καθορίζει καταλλήλως την παράμετρο k_L , οποιαδήποτε άλλη διαρροή μπορεί να καθορισθεί [4].

3.5.4 Συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα

Η επιβολή του υδροφόρου ορίζοντα ή οριακών συνθηκών ελεύθερου υδροφορέα απαιτεί την εισαγωγή δύο οριακών συνθηκών, που εφαρμόζονται στο επίπεδο νερού του ανώτερου στρώματος.

Μια σχηματική απεικόνιση της κατάστασης που εμπεριέχει έναν κινητό υδροφόρο ορίζοντα, που υπόκειται σε διήθηση μεγέθους $R(x,y,t)$ εμφανίζεται Εικόνα 7. Το καθορισμένο ύψος του ανώτερου ορίου της περιοχής της ροής θα δινόταν από $z=z_{M+1}(x,y,t)$ και το πραγματικό ύψος του υδροφόρου ορίζοντα θα δινόταν από $z=z_{WT}(x,y,t)$.

Η πρώτη οριακή συνθήκη δηλώνει ότι τα επίπεδα νερού του ανώτερου στρώματος (h_M) καθορίζουν το πάχος του υδροφορέα στο ανώτερο στρώμα ($z_{WT}-z_M$). Αντίστοιχα, σε κάθε κόμβο απαιτείται:

$$(z_{WT})_i = (h_M) \quad (3.10)$$

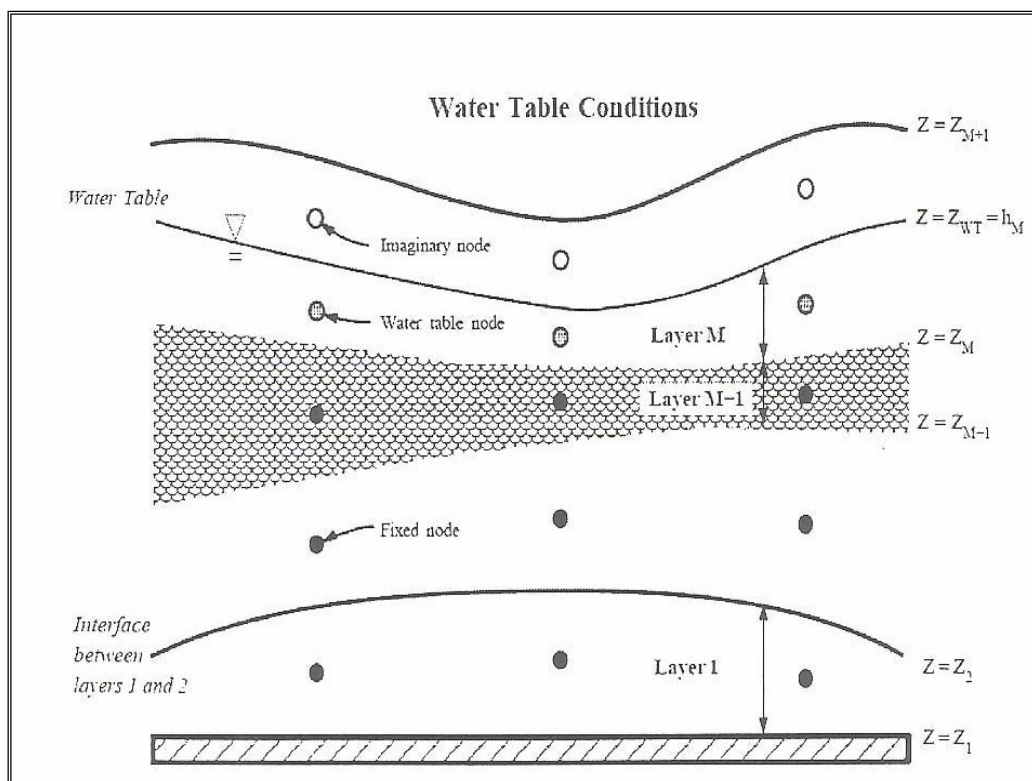
Θεωρείται στο παρόν μοντέλο ότι ο υδροφόρος ορίζοντας τοποθετείται πάντοτε στο ανώτερο στρώμα ($k=M$). Βέβαια, όταν το πρόγραμμα υπολογίζει τα υδραυλικά ύψη στο ανώτερο στρώμα, ελέγχει εάν οι κομβικές τιμές του h_M βρίσκονται μέσα στην κλίμακα των υψομέτρων που δίνεται από τη σχέση:

$$z_M \leq h_M \leq z_{M+1} \quad (3.11)$$

Το μοντέλο PTC παράγει ένα μήνυμα στην περίπτωση που παραβιάζεται η συνθήκη (3.11). Τυπώνει την κομβική τοποθεσία και το ανώτερο πάχος σχετικά με αυτή την παραβίαση. Έτσι τερματίζεται η εκτέλεση. Να σημειωθεί, ότι η (3.11) πρέπει να ικανοποιείται επίσης από τις συνθήκες των αρχικών υψών. Από τη στιγμή που το z_{WT} καθορίζει το πάχος του ανώτερου στρώματος, το οποίο είναι παρόν στον πίνακα των συντελεστών, η ισότητα (3.10) εισάγει τη μη-γραμμικότητα στη λύση των εξισώσεων του συστήματος ροής.

Η δεύτερη οριακή συνθήκη του υδροφόρου ορίζοντα περιγράφει τη μεταβαλλόμενη αντίδραση του υδροφόρου ορίζοντα στη διήθηση. Συμβολίζοντας με S_y την ειδική απόδοση κοντά στον υδροφόρο ορίζοντα τότε οι σχετικές με αυτή τη κατάσταση εξισώσεις δίνονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$S_y \frac{\partial h}{\partial t} + K \frac{\partial h}{\partial z} = R \quad (3.11)$$



Εικόνα 7: Υδροφόρος ορίζοντας και συνθήκες κατακρήμνισης του ανώτερου ορίου [10].

Οι επιφάνειες που εμφανίζονται με $z=z_1$, $z=z_2$, κτλ είναι καθορισμένα όρια στο χώρο και καθορίζουν τα στρώματα. Να σημειωθεί επίσης ότι στην Εικόνα 7 ο μεταβαλλόμενος υδροφόρος ορίζοντας $z=z_{WT}$ πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση $z_M \leq h_M \leq z_{M+1}$ [4].

4 Χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

4.1 Γενικά στοιχεία της περιοχής Κισσάμου

Η περιοχή της Κισσάμου (Εικόνα 8) ανήκει διοικητικά στο νομό Χανίων, που βρίσκεται στο δυτικό άκρο της Κρήτης και είναι ο δεύτερος μετά το νομό Ηρακλείου σε έκταση και πληθυσμό νομός της. Η Κίσαμος καταλαμβάνει το βορειοδυτικό τμήμα του νομού, με έδρα του δήμου το Καστέλι (ή Κίσαμος) και αποτελεί τη δυτική είσοδο της Κρήτης από την Πελοπόννησο. Δυτικά και βόρεια βρέχεται από το Κρητικό Πέλαγος. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι οι δύο κάθετες προς τη βόρεια ακτή χερσόνησοι της Γραμβούσας και του Ροδωπού, που σχηματίζουν τον κόλπου της Κισσάμου.



Εικόνα 8: Φωτογραφία της Κρήτης από δορυφόρο της NASA

Η μορφολογία του εδάφους της περιοχής χαρακτηρίζεται από τις έντονες πτυχώσεις με βαθιές κοιλάδες σε διαδοχικές λοφώδεις και ορεινές μάζες. Κυριαρχεί το ορεινό έδαφος κατά 48%, ενώ το πεδινό τμήμα και η εύφορη γη (17%) βρίσκεται στο μεγαλύτερο μέρος της στο βόρειο δυτικό τμήμα. Παράλληλα, στη περιοχή υπάρχουν αρκετά φαράγγια, όπως του Σηρικαρίου, της Ρόκκας και των Τοπολίων.

Επιπρόσθετα, στη βόρεια και δυτική πλευρά της περιοχής δεσπόζουν εντυπωσιακές παραλίες του κόλπου Κισσάμου, της Φαλάσαρνας, του Σφηναρίου και του Ελαφονησίου. Τη γενική μορφολογία της συμπληρώνουν οι ποταμοί και οι χείμαρροι, που καταλήγουν στις βόρειες και δυτικές ακτές της.

Στο βόρειο παραλιακό τμήμα της περιοχής Κισσάμου επικρατεί κλίμα Μεσογειακό Χερσαίο, με την ευνοϊκή επίδραση της θάλασσας, η οποία εξασθενεί με την απομάκρυνση από τις ακτές και την αύξηση του υψομέτρου. Στο δυτικό και στο νοτιοδυτικό τμήμα της (Πλάτανος-Σφηνάρι-Λιβιάδια-Χρυσοσκαλίτισσα) επικρατεί κλίμα Μεσογειακό ήπιο θαλάσσιο, με έντονη την ευνοϊκή επίδραση της θάλασσας. Σημαντικό στοιχείο για την περιοχή αποτελεί επίσης το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες της θάλασσας στις νότιες ακτές κατά την χειμερινή περίοδο είναι σχεδόν ίδιες με τις θερμοκρασίες της θάλασσας στην βόρεια Ευρώπη το καλοκαίρι [25].



Εικόνα 9: Αριστερά: Δήμος Κισσάμου, Δεξιά: Δήμος Μυθήνης [26]

Να σημειωθεί, ότι ο νομός Χανίων είναι ο πλουσιότερος σε υδάτινο δυναμικό νομός της Κρήτης. Ετησίως, οι κατακρημνίσεις ανέρχονται σε $2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ νερού, με μέσο ύψος βροχής 1100 mm/έτος (Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης). Από αυτά, το 55% επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή τα $1,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ /έτος. Το 15% απορρέει επιφανειακά, δηλαδή $0,35 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ νερού/έτος. Το 30% απορρέει υπόγεια, δηλαδή $0,75 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ έτος, με μεγάλη χρονική υστέρηση στην απορροή του [19].

Η περιοχή της δυτικής Κισσάμου έχει έκταση περίπου 135 km^2 . Ο πληθυσμός της ανέρχεται περίπου σε 15.000 κατοίκους. Συγκεκριμένα, οι δήμοι της Κισσάμου και της Μηθύμνης (όπως φαίνεται στην Εικόνα 9) είναι οι περιοχές με τις οποίες ασχολείται στη συνέχεια η παρούσα διπλωματική εργασία [26].

4.2 Γεωλογία – υδρογεωλογία περιοχής Κισσάμου

4.2.1 Καταγραφή υψομέτρων

Η περιοχή της Κισσάμου αποτελείται ουσιαστικά από τρεις επιμέρους ζώνες, την ορεινή, την ημιορεινή και τη χαμηλή ζώνη. Η πρώτη, αποτελείται από απόλυτα υψόμετρα που φτάνουν μέχρι και τα 400m και άνω και συμπεριλαμβάνει το νότιο κομμάτι της υπό μελέτης περιοχής (τμήμα Λευκών Όρων), καθώς και το ορεινό κομμάτι του ακρωτηρίου της Γραμβούσας. Η ημιορεινή ζώνη εξαπλώνεται σε υψόμετρα από 200 έως 400m. Η χαμηλή ζώνη εκτείνεται από 0m υψόμετρο, δηλαδή το υψόμετρο της ακτογραμμής, έως και 200m. Εδώ συμπεριλαμβάνεται φυσικά ο κόλπος Κισσάμου και ο όρμος Λιβιάδια με πλάτος ακτής έως και 1km.

4.2.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά - Στρωματογραφία

Τα γεωλογικά πετρώματα από τα οποία αποτελείται η περιοχή της Κισσάμου μπορούν να χωριστούν σε 4 ευρύτερες κατηγορίες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

● Φυλλίτες – Χαλαζίτες

Όπως διακρίνεται και από τον γεωλογικό χάρτη της Εικόνα 10, οι σχηματισμοί των φυλλιτών – χαλαζιτών, εμφανίζονται με μωβ χρώμα και αποτελούν κατώτερο κάλυμμα, σε σχέση με τους υπόλοιπους γεωλογικούς σχηματισμούς. Είναι κατά βάση πρωτογενείς σχηματισμοί, οι οποίοι δομούν την περιοχή της Γραμβούσας και ένα μικρό κομμάτι του νοτιοδυτικού και βορειοανατολικού τμήματος του χάρτη.

● Σχηματισμοί Τρίπολης – Πίνδου

Οι σχηματισμοί Τρίπολης, βρίσκονται κατά κανόνα πάνω από το γεωλογικό στρώμα των φυλλιτών – χαλαζιτών και αποτελούνται από επιμέρους κομμάτια, τα οποία είναι:

1. Μία κατώτερη αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά, που εμπεριέχει δολομιτικούς ασβεστόλιθους (πράσινο χρώμα, Εικόνα 10).
2. Το κύριο ασβεστολιθικό σύστημα (επίσης πράσινο χρώμα, Εικόνα 10).
3. Ο φλύσχης (κόκκινο χρώμα, Εικόνα 10), που εμφανίζεται μάλιστα κεντρικά στην υπό μελέτη περιοχή, συγκεκριμένα στη Πολυρρήνια μέχρι και τις Λουσακιές.

Οι σχηματισμοί της Πίνδου κείτονται είτε πάνω από το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης της Τρίπολης, είτε κατευθείαν πάνω από τη Φυλλιτική – Χαλαζιτική

ενότητα. Εμφανίζονται οι σχηματισμοί αυτοί στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης και αποσπασματικά, παρατηρώντας την κυριαρχία του φλύσχη, καθώς και μερικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

• Νεογενείς Σχηματισμοί

Οι νεογενείς σχηματισμοί παρατηρούνται κυρίως στο κεντρικό τμήμα (άσπρο χρώμα, Εικόνα 10) και στο βορειοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα του χάρτη (κίτρινο χρώμα, Εικόνα 10). Δηλαδή καλύπτουν το κομμάτι της ενδότερης ζώνης του κόλπου της Κισσάμου. Αποτελούνται κυρίως από μάργες, μαργαϊκούς ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

• Τεταρτογενείς Σχηματισμοί

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί επίσης καλύπτουν τις ίδιες περιοχές με τους νεογενείς με πρόσθετη την παραλιακή ζώνη του κόλπου Κισσάμου. Αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, άργιλο, χαλίκια, άμμο, κροκάλες.

4.2.3 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Το τεκτονικό κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών, όπως προαναφέρθηκε βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος από τους υπόλοιπους σχηματισμούς και αποτελεί στεγανό γεωλογικό σχηματισμό, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει διέλευση του υπόγειου νερού μέσα του. Ωστόσο, υπάρχουν φορές που παρατηρείται υδροφορία μέσα στο στρώμα εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής της περιοχής, που σημαίνει ότι λόγω ρηγμάτων επιτρέπεται η κίνηση του νερού.

Στην ενότητα της Τρίπολης, όπου υπάρχουν οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες, επιτρέπεται η κίνηση του νερού διαμέσου τους και τα πετρώματα αυτά αποτελούν αρκετά υδροπερατούς σχηματισμούς. Η ανθρακική σειρά

που υπάρχει, επίσης διαθέτει υψηλή υδροπερατότητα και μάλιστα μαζί με την έντονη καρστικοποίησή της και τη ρηξιγενή τεκτονική της περιοχής προκαλεί την ανάπτυξη ιδιαίτερα υδροφόρων στρωμάτων. Τέλος, ο φλύσχος που συναντάται και στην ενότητα της Πίνδου, αποτελεί έναν αρκετά στεγανό σχηματισμό.

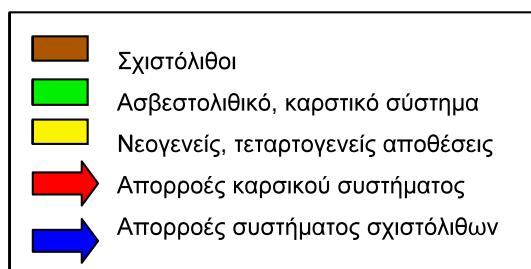
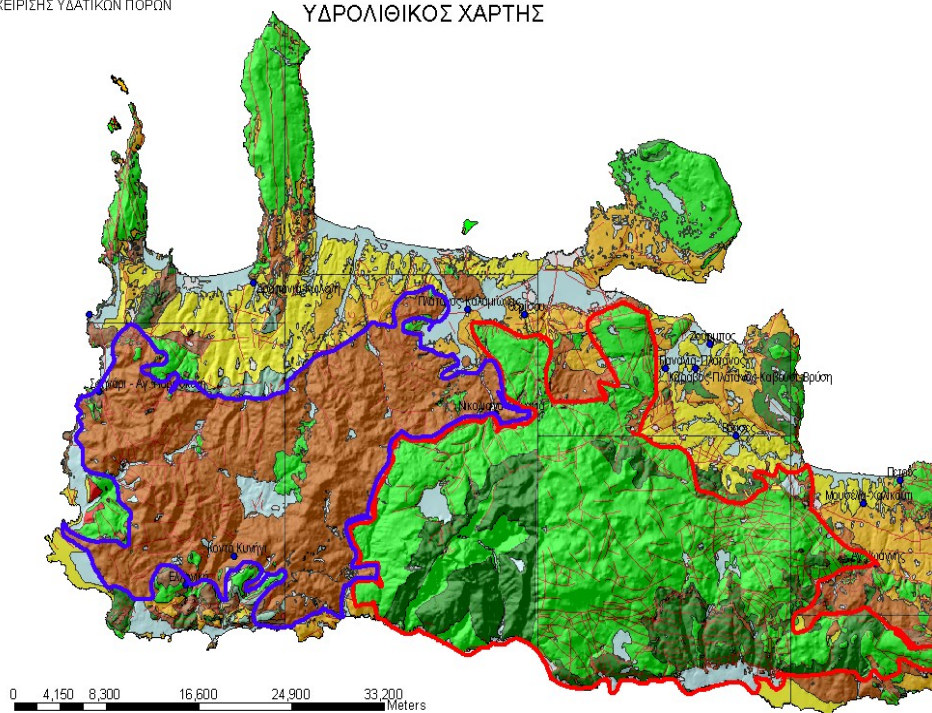
Στο νεογενές και τεταρτογενές κάλυμμα, που εμφανίζονται και στον υδρολιθικό χάρτη της σελ 46, οι μάργες και οι άργιλοι παρουσιάζουν μια στεγανότητα, ενώ ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και άμμοι, θεωρούνται ημιπερατοί έως και υδροπερατοί.

Γενικότερα, νότια παρατηρούνται καρστικές ενότητες Μηθύμνης – Κωλένη και πηγών Πλατάνου ομοίως δυτικά και ανατολικά καρστικές ενότητες Μηθύμνης – Κωλένη, με αποτέλεσμα να προκαλούν την δημιουργία καρστικών υδροφορέων. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης διακρίνεται μια ασθενής υδροφορία νεογενών αποθέσεων Μηθύμνης, οι οποίες αποθέσεις είναι ημιπερατές έως και διαπερατές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπόγεια υδροφορία εξαρτάται από τις εξής βασικούς παράγοντες:

- Το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών.
- Την υπεδάφια έκτασή τους.
- Τα υπάρχοντα ρήγματα [21].

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ



5 Αποτελέσματα μοντελοποίησης

5.1 Εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο

5.1.1 Layers

Η έννοια των στρωμάτων «Layers», εμφανίζεται αρχικά κατά τη χρήση του προγράμματος Argus ONE. Το πρόγραμμα αυτό συσχετίζει διαφορετικές μεταβλητές στο πλέγμα σε σύνολο, ή σε συγκεκριμένα στοιχεία ή κόμβους μέσα από τη χρήση των επιπέδων «Layers».

Διαφορετικά είδη πληροφορίας αποθηκεύονται σε διαφορετικούς τύπους επιπέδων. Οι τύποι των «Layers» είναι:

- i. «*Domain*». Βασικό αντικείμενο του προγράμματος με το οποίο καθορίζεται το περίγραμμα της περιοχής μελέτης.
- ii. «*Mesh*». Σχηματίζεται το πλέγμα.
- iii. «*Grid*». Σχηματίζεται το πλέγμα με τετράγωνα «blocks».
- iv. «*Information*». Συσχετίζει μεταβλητές (διαπερατότητα κτλ) στο mesh, τοποθετώντας τις είτε πάνω στον κόμβο είτε στο στοιχείο, ή στο grid τοποθετώντας τις πάνω στα τετράγωνα.
- v. «*Maps*». Εισαγωγή ψηφιοποιημένου χάρτη, εξαγωγή του περιγράμματος της περιοχής μελέτης, χρήση του χάρτη ως αναφορά και για δημιουργία γραφικών.
- vi. «*Data*». Εισαγωγή δεδομένων που δημιουργήθηκαν από άλλα προγράμματα, εν προκειμένου του PTC.

Έτσι το πρόγραμμα Argus ONE δημιουργεί ένα περιβάλλον με επτά βασικά επίπεδα (Εικόνα 11): τα «Domain Outline» «Density» «TriMesh» «QuadMesh» «Grid» «Data» «Maps». Ωστόσο, απαιτούνται και άλλα στρώματα τα οποία δημιουργούνται μέσα από τη διεπαφή με το μοντέλο (PTC GUI), όταν επιλέγεται από το menu «Pies» το «New PTC project». Αυτά είναι:

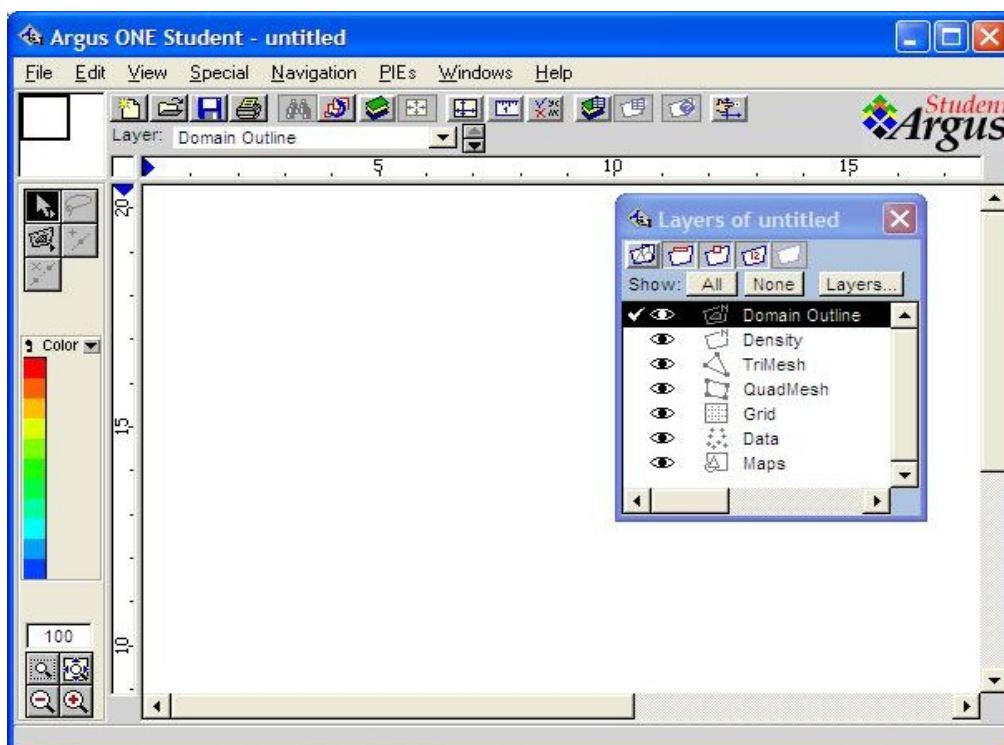
- *PTC Domain Outline*. Τύπος Domain. Καθορίζει τη περιοχή μοντελοποίησης και είναι μια γραφική αναπαράστασή της (σε πλαίσιο). Γενικά, είναι ένα κλειστό πολύγωνο, προσεγγίζοντας τον πραγματικό χάρτη της περιοχής.
- *PTC Mesh Density*. Τύπος Information. Η μεταβλητή «Density» καθορίζει τον επιθυμητό μέσο όρο πλευρών των στοιχείων του πλέγματος, όταν παράγονται αυτόματα από το πρόγραμμα.
- *PTC Mesh*. Τύπος TriMesh ή QuadMesh. Δημιουργεί πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων με τρίγωνα ή τετράγωνα στοιχεία.
- *PTC Data*. (Βλέπε vi).
- *Maps*. (Βλέπε v).
- *PTC Output Graphs*. Τύπος Maps. Δημιουργεί γραφικά από το PTC Data για τα υδραυλικά ύψη και τις συγκεντρώσεις.
- *Rain*. Τύπος Information. Καθορίζει τη διήθηση της βροχής στο ανώτερο στρώμα (βροχόπτωση).
- *Bottom Elevation*. Τύπος Information. Καθορίζει τα υψόμετρα στο κατώτερο στρώμα.

Τα ακόλουθα στρώματα συσχετίζονται με τον αριθμό των επιπέδων που ορίζει ο χρήστης και είναι όλα τύπου Information.

- *Elevation L1*. Καθορίζει το υψόμετρο του συγκεκριμένου στρώματος.
- *Conductivity L1*. Καθορίζει τις αγωγιμότητες στη x, y και z διάσταση.
- *Initial Heads L1*. Εισάγει τις αρχικές συνθήκες ροής (ύψη).
- *Storativity L1*. Εισάγει την αποθηκευτικότητα.
- *BC Flow L1*. Καθορίζει τις οριακές συνθήκες για τη ροή.
- *Dispersivity L1*. Καθορίζει τη διασπορά στη x, y και z διάσταση.
- *Porosity L1*. Εισάγει το πορώδες.
- *Adsorption L1*. Καθορίζει την προσρόφηση.
- *Initial Concentration L1*. Εισάγει τις αρχικές συνθήκες για τη μεταφορά (συγκεντρώσεις).
- *BC Transport L1*. Εισάγει τις οριακές συνθήκες για τη μεταφορά.
- *BC Leakage L1*. Εισάγει τις οριακές συνθήκες για τη διαρροή.

Τα παρακάτω στρώματα είναι τύπου Data.

- *PTC xvelocities*. Εισάγεται η συνιστώσα V_x , της ταχύτητας V που δίνεται από το πρόγραμμα για επεξεργασία.
- *PTC yvelocities*. Εισάγεται η συνιστώσα V_y , της ταχύτητας V που δίνεται από το πρόγραμμα για επεξεργασία [12].



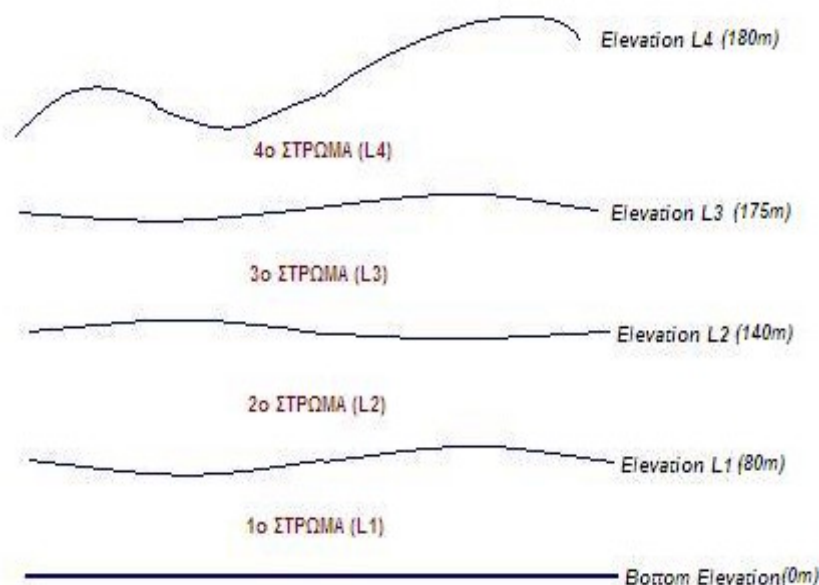
Εικόνα 11: Περιβάλλον Argus ONE

5.1.2 Καθορισμός γενικών παραμέτρων

Κατά την εκκίνηση της εισαγωγής των δεδομένων, δημιουργήθηκε αρχικά ένα νέο project, με την επιλογή PIEs - New PTC project. Κάνοντας αυτή την επιλογή εμφανίστηκε το παράθυρο «PTC Configuration» με τις επιλογές «General» και «Stresses».

Στο κομμάτι «General» επιλέχθηκε ο τριγωνικός τύπος πλέγματος, η χρήση του υδροφόρου ορίζοντα και εισήχθησαν 4 στρώματα τα οποία απαρτίζουν τον υδροφορέα, ξεκινώντας με το 1^ο στρώμα ως κατώτερο μέχρι

το 4^ο ως ανώτερο. Η επιλογή της συγκεκριμένης στρωματοποίησης (Εικόνα 12) προέκυψε από τα δεδομένα των γεωτρήσεων που αφορούσαν στο βάθος που έφταναν. Επίσης ορίστηκε κριτήριο 0.22m, σύμφωνα με το οποίο θα προσεγγίζει τη σταθερή κατάσταση. Αντίστοιχα, στο κομμάτι «Stresses» καθορίστηκαν αρχικά οι δύο περίοδοι μελέτης του συστήματος. Η πρώτη περίοδος αφορά στο καλοκαίρι (Απρίλιο - Οκτώβριο) και η δεύτερη στο χειμώνα (Νοέμβριο - Μάρτιο). Επίσης, στο «General control» επιλέχθηκε αρχικά η ροή και έπειτα η ταχύτητα για την εκτέλεση του προγράμματος, ενώ στο «Time control» επιλέχθηκε ο αριθμός των βημάτων που θα κάνει το πρόγραμμα για κάθε περίοδο, στη συγκεκριμένη περίπτωση 200 βήματα.



Εικόνα 12: Διαστρωμάτωση υδροφορέα της περιοχής μελέτης.

5.1.3 Καθορισμός πεδίου μελέτης

Για τον καθορισμό της περιοχής μελέτης έγινε αρχικά εισαγωγή του γεωλογικού χάρτη της περιοχής της Κισσάμου. Ο χάρτης αυτός μαζί με τα δεδομένα των ισοϋψών, των γεωτρήσεων και των πηγών, εισήχθηκε στο μοντέλο με τη μορφή των shapefiles. Τα shapefiles αποτελούν σχηματικά

αρχεία, που περιέχουν γεωγραφικά δεδομένα σημείων, γραμμών ή πολυγώνων. Δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο με χρήση του προγράμματος γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcView GIS 9.2, ειδικότερα με το Arc Map στο οποίο γίνεται ανάλυση χαρτών. Μάλιστα, στο Arc Map έγινε πρώτα γεωαναφορά του χάρτη, δηλαδή η εισαγωγή των συντεταγμένων για τις τέσσερις άκρες του. Να σημειωθεί ότι θα μπορούσε η γεωαναφορά να γίνει, χρησιμοποιώντας έναν ήδη γεωαναφερμένο χάρτη, έτσι ώστε ο ένας να ταυτιστεί με τον άλλο.

Η εισαγωγή του χάρτη πραγματοποιείται στο «Maps» επίπεδο, μέσα από την επιλογή File-Place image και ο ορισμός της περιοχής γίνεται στο επίπεδο «PTC Domain Outline». Η περιοχή της Κισσάμου διαθέτει στην έκτασή της πολυάριθμες γεωτρήσεις, κάποιες από τις οποίες ομαδοποιήθηκαν, με αποτέλεσμα να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα από συνολικά 24 γεωτρήσεις (αριθμημένες σύμφωνα με δελτία απογραφής γεωτρήσεων της διεύθυνσης Γεωλογίας-Υδρολογίας). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα που έχουν καταγραφεί από πηγές που υπάρχουν στην περιοχή (Εικόνα 13).

Η ομαδοποίηση που έγινε στις παροχές ορισμένων γεωτρήσεων, πραγματοποιήθηκε επειδή το μοντέλο παρουσίασε πρόβλημα κατά την εκτέλεσή του, όπως διαπιστώθηκε μετέπειτα, στο στάδιο δημιουργίας του πλέγματος, καθώς τα στοιχεία ξεπερνούσαν τον επιτρεπόμενο αριθμό. Για τον ίδιο λόγο έγινε ομαδοποίηση και στις πηγές, συγκεκριμένα στις πηγές Κωλένη (S18-24) όπως εντοπίζεται και στην Εικόνα 13. Επίσης, στη γεώτρηση 1, έχει συμπεριληφθεί και η παροχή δύο πηγών που βρίσκονταν εκεί, και για τις δύο περιόδους.

- ♦ **Υψόμετρο.** Οι τιμές των «Elevation» καθορίστηκαν σύμφωνα με τα βάθη στα οποία καταγράφηκε ότι βρίσκονται οι 24 γεωτρήσεις. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, δημιουργήθηκαν τέσσερα στρώματα και αντίστοιχα τέσσερα υψόμετρα αυτών των στρωμάτων (Εικόνα 12). Ξεκινώντας από το κατώτερο στο ανώτερο, το «Elevation L1» πήρε τιμή 80m, το L2 140m και το L3 175m. Η τιμή του υψομέτρου για το στρώμα L3 καθορίστηκε στα 175m επειδή στα 180m είναι η οριακή συνθήκη που καθορίζει την ακτογραμμή (5.1.5) και επιπλέον για να μην υπάρξει πρόβλημα κατά την επίλυση εξισώσεων που πραγματοποιεί το μοντέλο. Για το «Elevation L4» εισήχθηκε η τιμή 0m και εκεί φαίνονται όλες οι ισοϋψείς, εφόσον αναφέρεται στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Να σημειωθεί, ότι στις τιμές των ισοϋψών προστέθηκε πάλι η τιμή 180m, για να συμβαδίζει με τα υπόλοιπα δεδομένα (Εικόνα 14).



5.1.5 Οριακές συνθήκες

Αρχικά, ορίστηκαν οι οριακές συνθήκες στο βόρειο κομμάτι, κατά μήκος της ακτογραμμής του κόλπου της Κισσάμου αλλά και κατά μήκος των δυτικών παραλίων. Η οριακή συνθήκη και για τις δύο περιοχές ορίστηκε ως 1^{ου} τύπου, δηλαδή σταθερού υδραυλικού ύψους, με τιμή 0m και για τις δύο περιόδους. Βέβαια, αργότερα η τιμή αυτή μετατράπηκε σε 180m, εφόσον ως επίπεδο αναφοράς λήφθηκαν τα 180m υπό του επιπέδου της θάλασσας (Εικόνα 15).

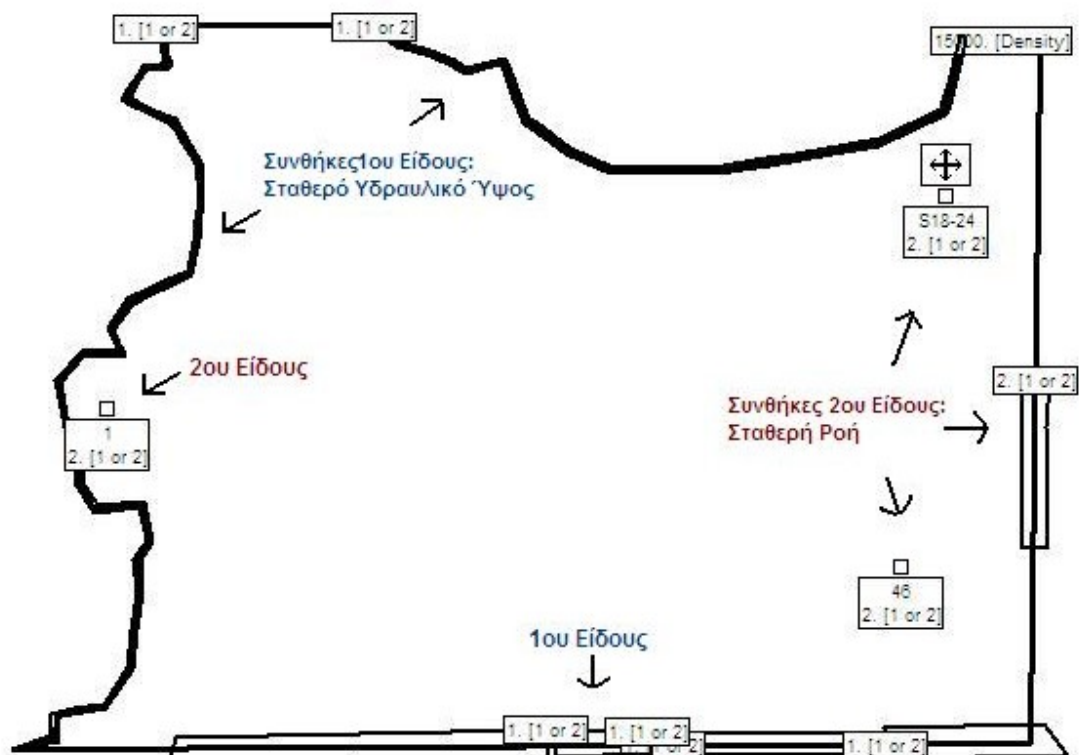
Όσον αφορά στο νότιο κομμάτι του πεδίου ορισμού, καθορίστηκαν οριακές συνθήκες 1^{ου} τύπου πάλι. Συγκεκριμένα, νότια καθορίστηκαν 4 συνθήκες με τιμή υδραυλικού ύψους σχετικές με τα αρχικά υδραυλικά ύψη των κοντινών γεωτρήσεων. Αυτό γίνεται, γιατί αναμένεται και εισροή νερού από νότια, που βρίσκεται άλλωστε και η οροσειρά των Λευκών Ορέων, δικαιολογώντας έτσι τα επίπεδα νερού που καταγράφονται αρχικά στις γεωτρήσεις. Να σημειωθεί ότι για τη καλοκαιρινή περίοδο το υδραυλικό ύψος είναι 10m λιγότερο από τη χειμερινή και για τις τέσσερις συνθήκες, καθώς λαμβάνεται υπόψη η βροχόπτωση που δέχονται τα υπόγεια νερά κατά το χειμώνα (Εικόνα 15).

Επιπλέον, στο ανατολικό κομμάτι αρχικά δεν ορίστηκε κάποια οριακή συνθήκη. Αργότερα (θα εξηγηθεί στην ενότητα 5.3) δημιουργήθηκε η ανάγκη για τον καθορισμό μιας 2ου τύπου οριακής συνθήκης, δηλαδή σταθερής ροής, που θα τροφοδοτεί με νερό συγκεκριμένης παροχής, τη περιοχή της Κισσάμου (Εικόνα 15).

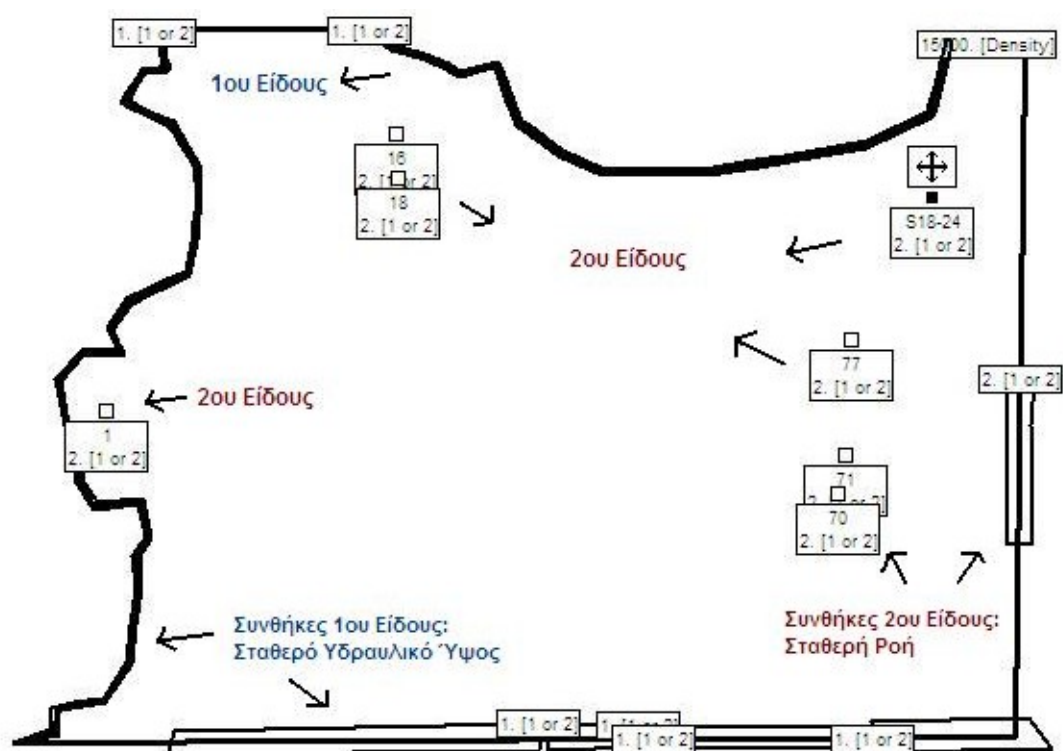
Επιπρόσθετα, όπως προαναφέρθηκε, ανάλογα με το βάθος στο οποίο παρατηρήθηκαν οι γεωτρήσεις δημιουργήθηκαν τα τέσσερα στρώματα και αυτό για να υπάρχει καλύτερη ακρίβεια στην καταγραφή της κατάστασης του υδροφορέα. Βέβαια, κάθε γεώτρηση, τοποθετήθηκε και στο αντίστοιχο επίπεδο «BC Flow» (Εικόνα 16 - Εικόνα 17 - Εικόνα 18 - Εικόνα 19) όπου καταγράφηκε και έπειτα στο πεδίο ορισμού «Domain Outline». Έτσι, οι γεωτρήσεις θεωρήθηκαν 2^{ου} τύπου οριακές συνθήκες, με τιμή παροχής μόνο κατά τη καλοκαιρινή περίοδο, εφόσον τότε μόνο λαμβάνει χώρα η άντληση.

Αντιστοίχως για τις πηγές, οι ομαδοποιημένες πηγές θεωρήθηκαν 2^{ου} τύπου οριακές συνθήκες, με παροχή τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι,

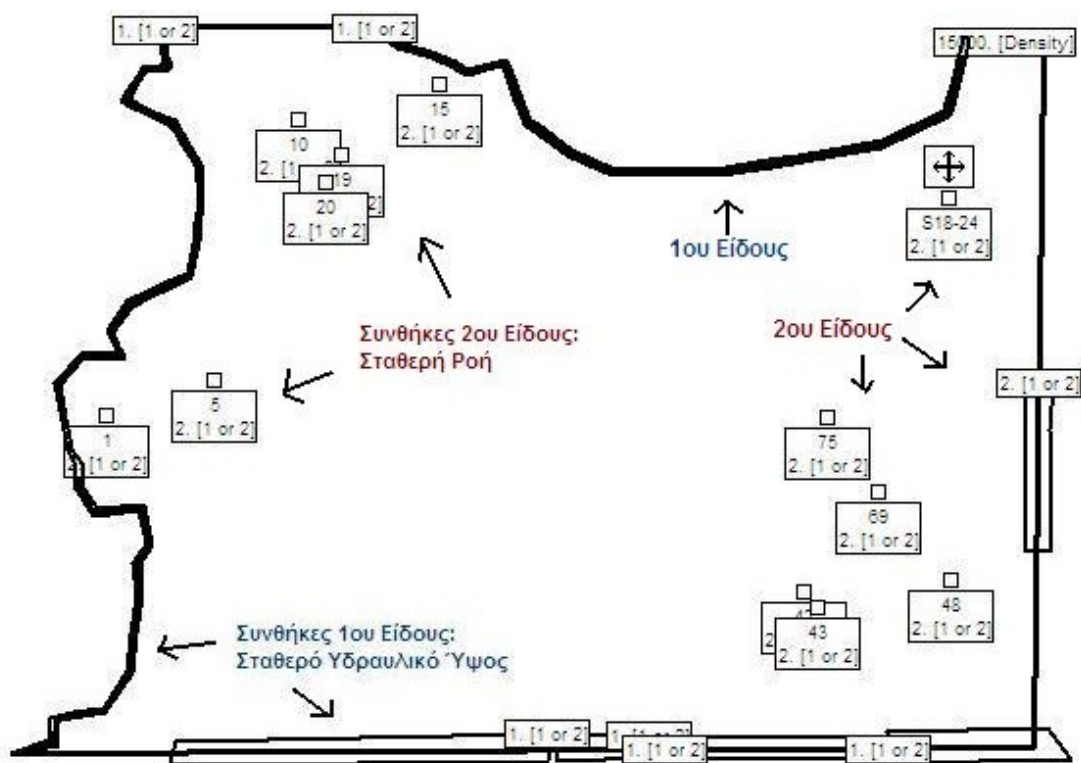
61



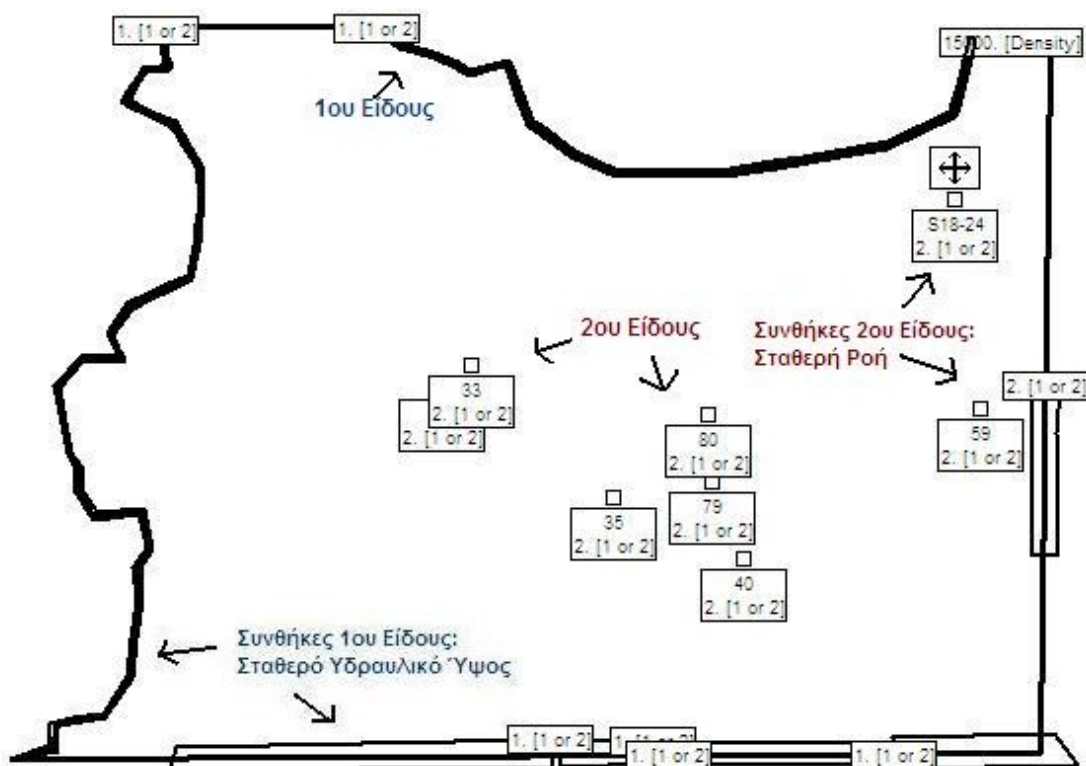
Εικόνα 16: Οριακές συνθήκες 1^{ου} στρώματος.



Εικόνα 17: Οριακές συνθήκες 2^{ου} στρώματος.



Εικόνα 18: Οριακές συνθήκες 3^{ου} στρώματος.



Εικόνα 19: Οριακές συνθήκες 4^{ου} στρώματος.

5.1.6 Άλλες παράμετροι - Υδραυλική αγωγιμότητα

Για τις τιμές του συντελεστή της αποθηκευτικότητας «Storativity» και του πορώδους «Porosity» επιλέχθηκαν οι προεπιλεγμένες από το μοντέλο. Όσο αφορά τη διασπορά «Dispersivity», την απορρόφηση «Adsorption», τις αρχικές συγκεντρώσεις «Initial Concentrations», τη μεταφορά ρύπου «BC Transport» και τη διαρροή «BC Leakage», δε ορίστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία, εφόσον δεν επήλθε εκτέλεση του προγράμματος για μεταφορά μάζας.

Εν αντιθέσει ορίστηκαν οι αρχικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, στα αρχικά υδραυλικά ύψη «Initial Heads» εισήχθησαν οι τιμές της στάθμης του νερού (όπως εμφανίζονται στα δελτία απογραφής) πάντα αυξημένες κατά 180m.

◆ Υδραυλική Αγωγιμότητα (Conductivity)

Η υδραυλική αγωγιμότητα παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη παρούσα εργασία, καθώς είναι αυτή που καθορίζει τη κίνηση του νερού μέσα από τα γεωλογικά στρώματα. Όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 4.2 υπάρχει μια ιδιαίτερη γεωλογία της περιοχής της Κισσάμου η οποία και ήταν αδύνατο να παραληφθεί κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο. Έτσι, στις αγωγιμότητες κάθε στρώματος, εισήχθησαν οι τιμές της κίνησης του υπόγειου νερού για κάθε γεωλογικό στρώμα που υπάρχει στο συγκεκριμένο βάθος, όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 20 π. χ οι αγωγιμότητες του 1^{ου} στρώματος μαζί με τον γεωλογικό χάρτη. Για την δημιουργία τους, βασικό εργαλείο ήταν η χρήση του γεωλογικού χάρτη (Εικόνα 10), όπου είναι φανερά τα όρια κάθε γεωλογικού στρώματος.

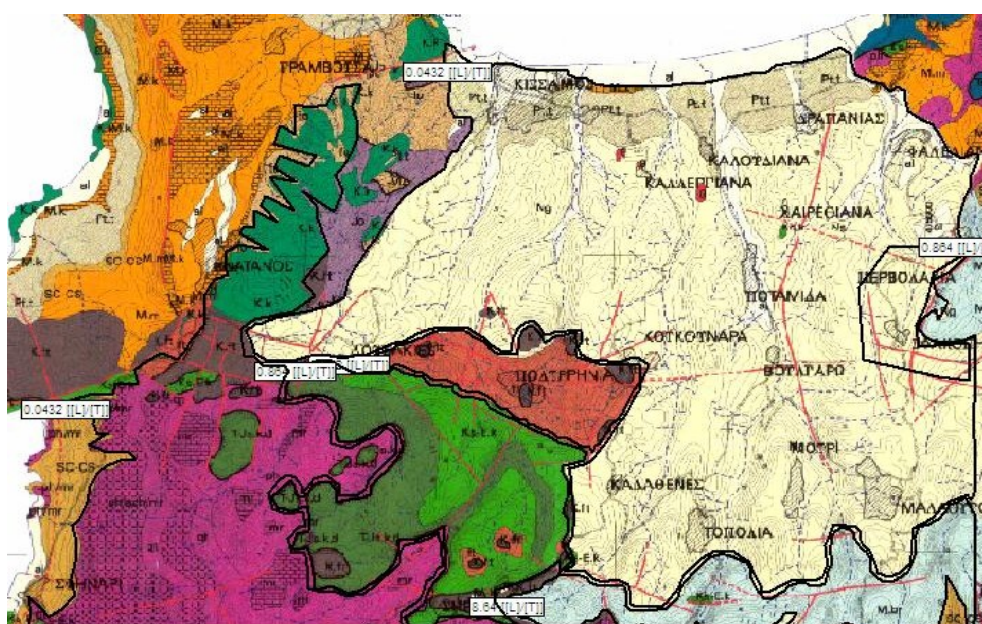
Οι τιμές της υδραυλική αγωγιμότητας που εισήχθησαν στο μοντέλο παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά τη βαθμονόμηση (βλέπε 5.3) έγινε στα ανατολικά εισαγωγή ακόμη μίας τιμής υδραυλικής αγωγιμότητας, συγκεκριμένα 0.864m/d, εφόσον υπήρχαν υψηλές στάθμες νερού στη περιοχή. Αυτό σημαίνει, ότι υπήρχε κίνηση του υπόγειου

νερού σε όλα τα γεωλογικά στρώματα, από όπου και αντλούνταν κατά τη καλοκαιρινή περίοδο.

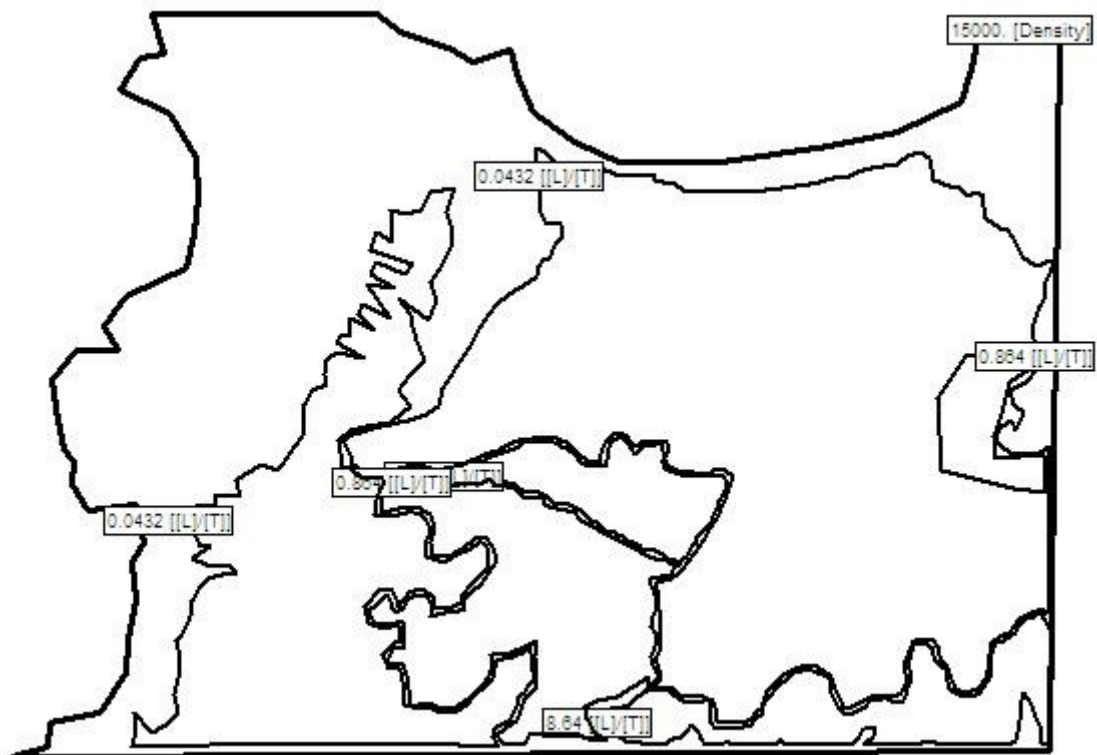
Στις Εικόνα 21, Εικόνα 22, Εικόνα 23 και Εικόνα 24 παρουσιάζονται οι υδραυλικές αγωγιμότητες του κάθε στρώματος και είναι εμφανές το γεγονός ότι κάθε στρώμα αποτελείται από διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι και επηρεάζουν την υπόγεια ροή. Να σημειωθεί ότι στην Εικόνα 24 παρατηρείται μικρή στρωματοποίηση του υδροφορέα, οπότε και εισήχθηκε μια γενική τιμή της αγωγιμότητας, συγκεκριμένα 8.64 m/d.

Πίνακας 1: Τιμές αγωγιμότητας πετρωμάτων περιοχής Κισσάμου.

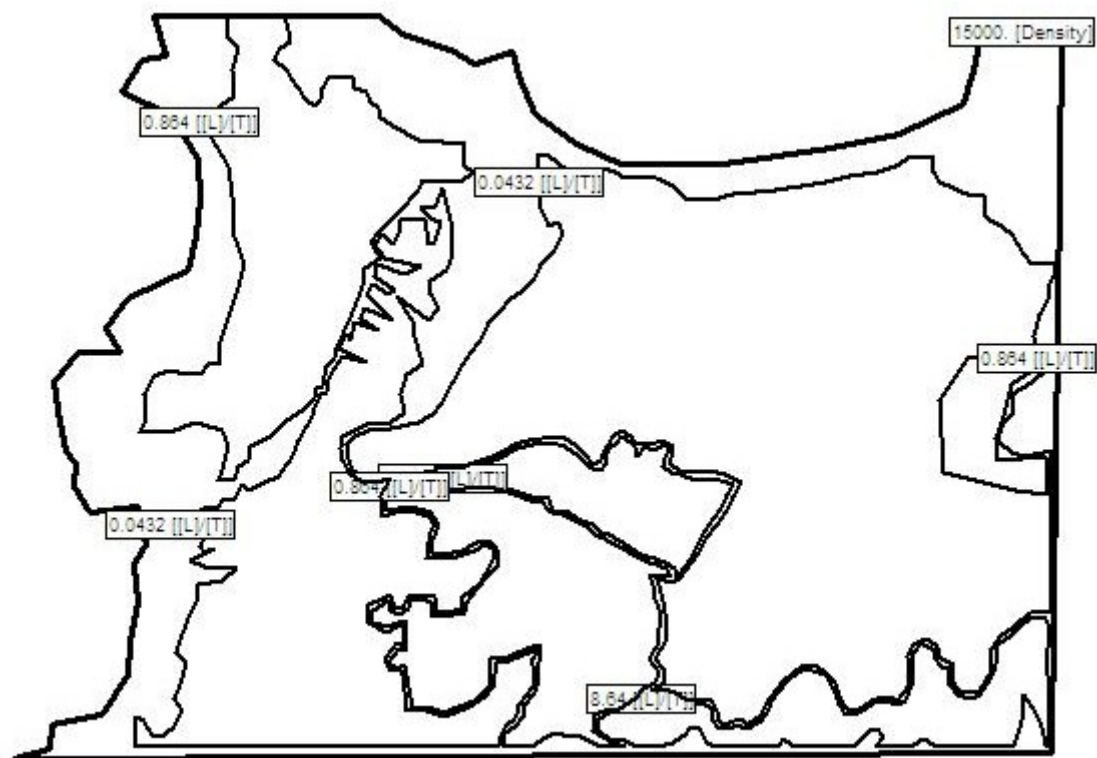
Είδος Πετρώματος	Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/d)
Μάργες	0,0432
Σχιστόλιθοι	0,00864
Φυλλίτες - Χαλαζίτες	0,0432
Φλύσχης	0,432
Τρίπολη - Πίνδος	0,864
Τοπόλια	8,64



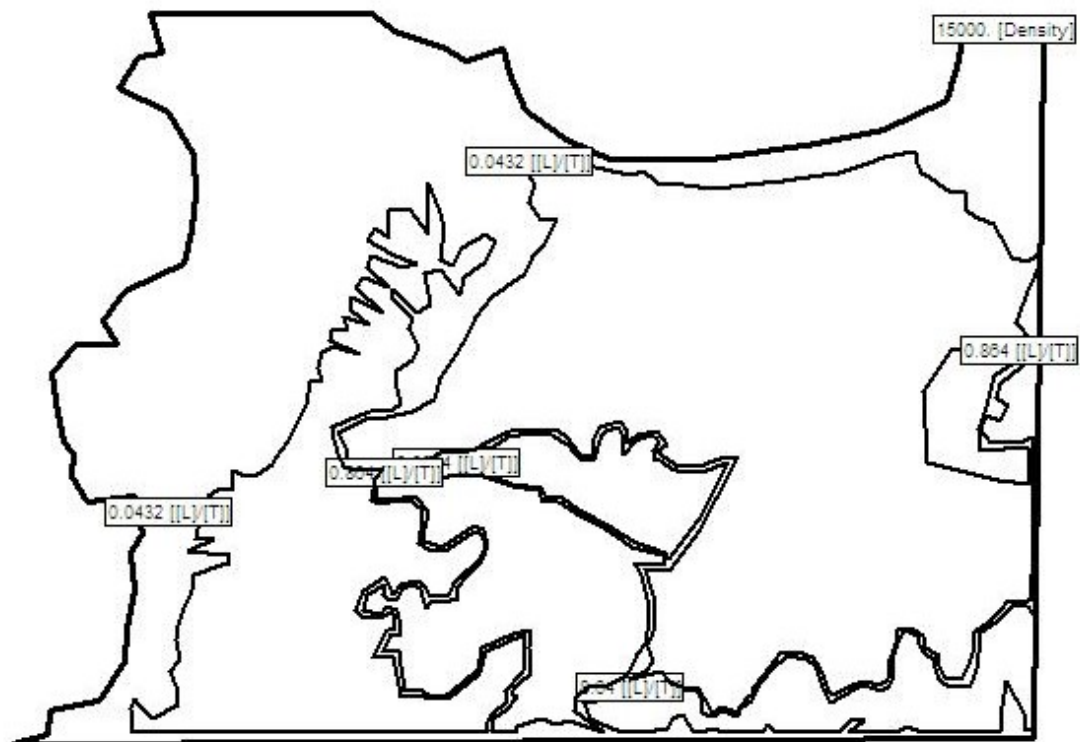
Εικόνα 20: Υδραυλικές αγωγιμότητες 1^{ου} στρώματος μαζί με γεωλογικό χάρτη περιοχής.



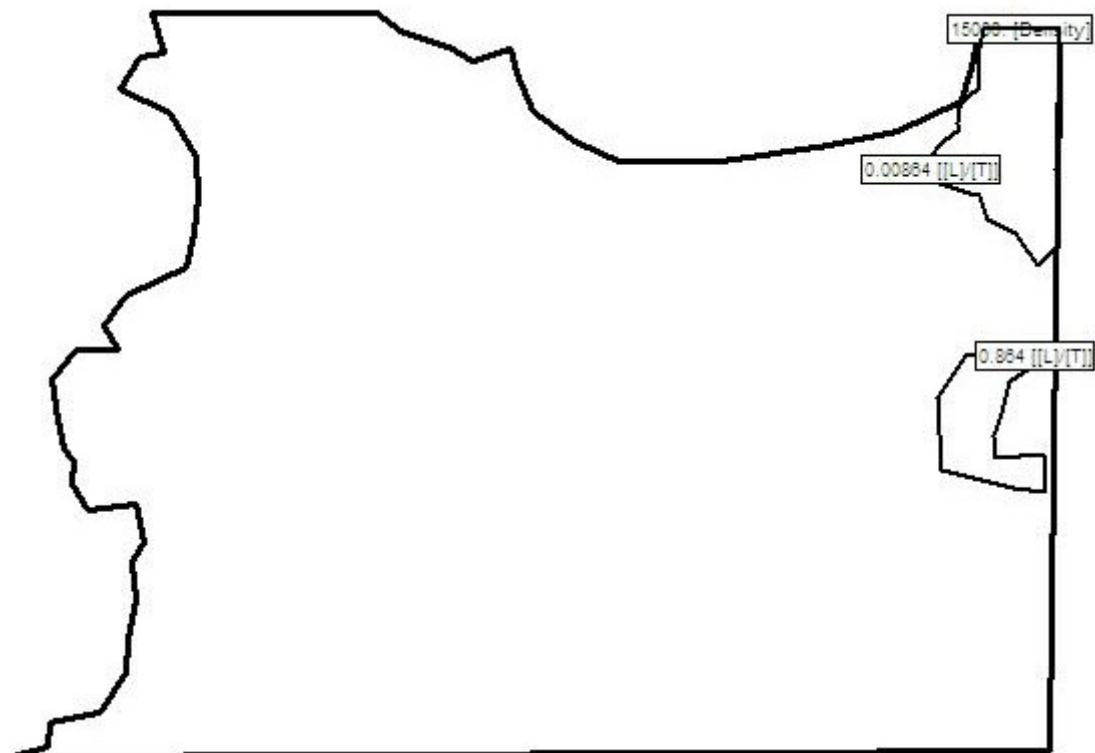
Εικόνα 21: Υδραυλικές αγωγιμότητες 1^{ου} στρώματος.



Εικόνα 22: Υδραυλικές αγωγιμότητες 2^{ου} στρώματος.



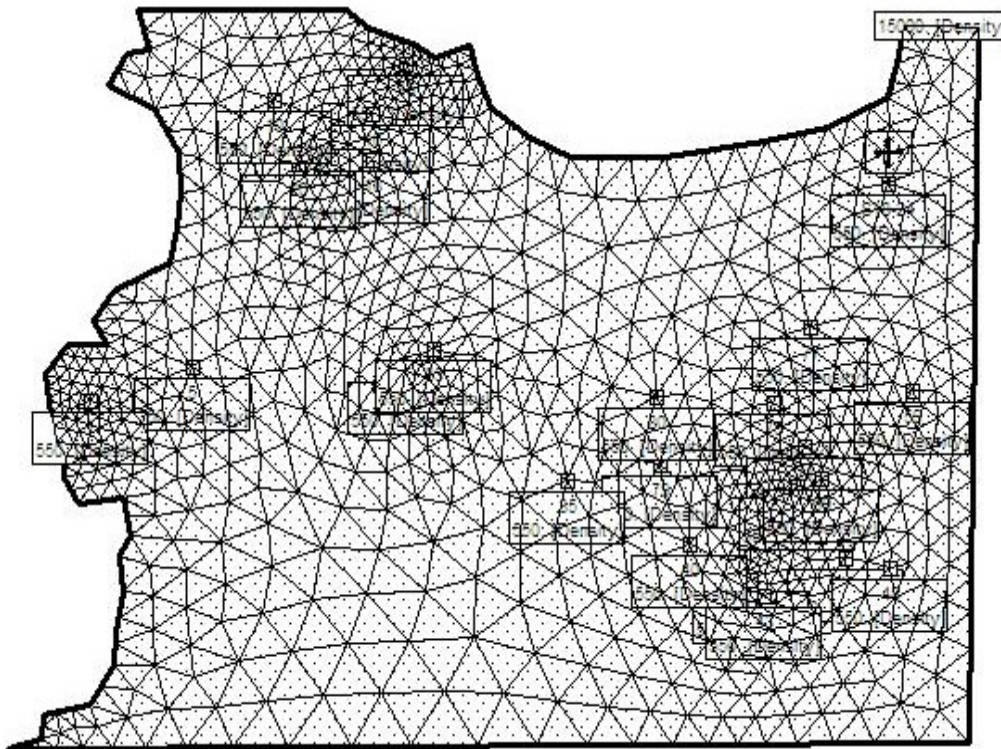
Εικόνα 23: Υδραυλικές αγωγιμότητες 3^{ου} στρώματος.



Εικόνα 24: Υδραυλικές αγωγιμότητες 4^{ου} στρώματος.

5.2 Δημιουργία πλέγματος - Εκτέλεση προγράμματος

Εφόσον λοιπόν έγινε η τοποθέτηση του συνόλου των γεωτρήσεων και των πηγών από όλα τα στρώματα στο πεδίο ορισμού «Domain Outline», ακολούθησε η δημιουργία του πλέγματος. Αυτή έλαβε χώρα έχοντας επιλεγμένο το επίπεδο «PTC Mesh» και μετά από δοκιμές στα density του περιγράμματος και των γεωτρήσεων, προέκυψε ένας τριγωνικός κάναβος, με 1873 μάλιστα στοιχεία (Εικόνα 25). Παρατηρείται βέβαια, μία πύκνωση του πλέγματος γύρω από τις γεωτρήσεις και πηγές, καθώς εκεί πραγματοποιείται η άντληση του νερού.



Εικόνα 25: Τριγωνικό πλέγμα περιοχής μελέτης.

Ακολούθησε έπειτα η εκτέλεση του προγράμματος, η οποία πραγματοποιήθηκε μέσα από το menu «PIEs» με την εντολή «Run PTC».

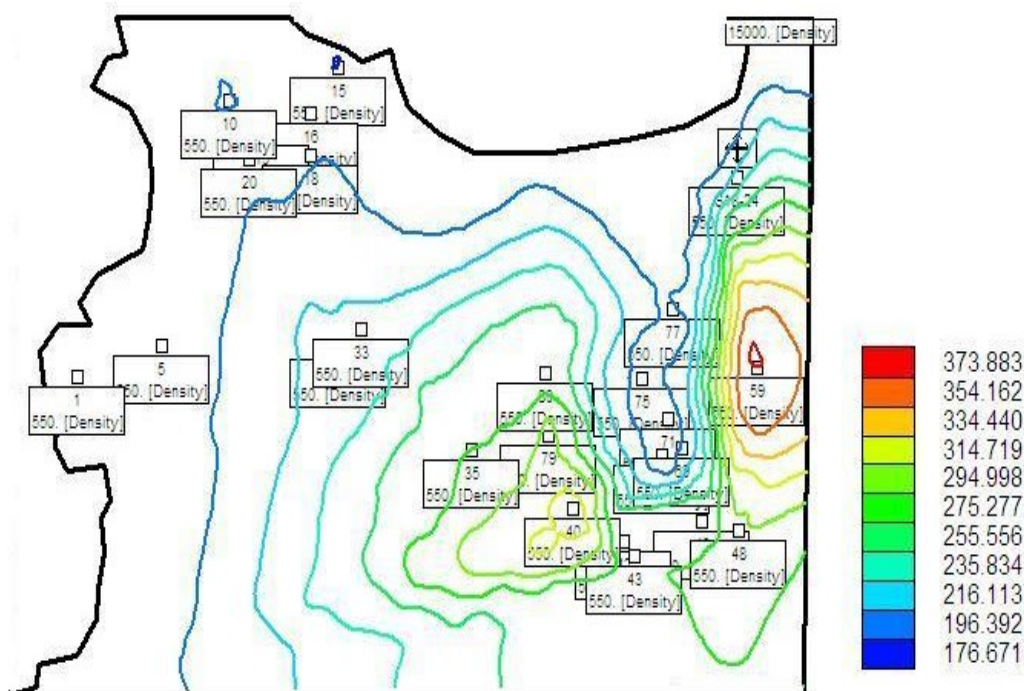
5.3 Βαθμονόμηση μοντέλου

Κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου πραγματοποιούνταν σύγκριση μεταξύ των αρχικών τιμών των υδραυλικών υψών (Εικόνα 26) με τις τιμές των υψών που προέκυψαν από την εισαγωγή των δεδομένων.

Συγκεκριμένα, χρειάστηκε να μεταβληθούν οι οριακές συνθήκες 1^{ου} τύπου (νότια) και οι 2^{ου} τύπου (ανατολικά) που είχαν τοποθετηθεί, καθώς εμφανίζονταν αρκετά υψηλότερες οι πραγματικές στάθμες του νερού κοντά στις γεωτρήσεις, από αυτές που εμφάνιζε το μοντέλο.

Επίσης, κάποιες αλλαγές έλαβαν χώρα στις υδραυλικές αγωγιμότητες, συγκεκριμένα στο ανατολικό κομμάτι του χάρτη (Εικόνα 20), εισήχθηκε μία υψηλή τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας, καθώς στη γεώτρηση που υπάρχει εκεί (Γ59) παρατηρήθηκε ιδιαίτερα ανεβασμένη στάθμη νερού.

Γενικότερα, οι σπουδαιότεροι παράμετροι στους οποίους επήλθαν κάποιες αλλαγές κατά τη βαθμονόμηση ήταν οι οριακές συνθήκες και η υδραυλική αγωγιμότητα. Τελικά, πραγματοποιήθηκε αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση των πραγματικών υδραυλικών υψών, που εμφάνιζαν σε στοιχεία απογραφής οι γεωτρήσεις.



Εικόνα 26: Αρχικά υδραυλικά ύψη περιοχής μελέτης.

5.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων - Σχολιασμός

Η μοντελοποίηση ολοκληρώθηκε μέσα από τα γραφήματα ροής των υδραυλικών υψών και των ταχυτήτων του υπόγειου νερού της περιοχής της Κισσάμου. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για δύο περιόδους, την καλοκαιρινή και τη χειμερινή, ώστε να εμφανιστούν τυχόν διαφορές ανάμεσά τους.

♦ Θερινή περίοδος (Απρίλης - Οκτώβρης)

Κατά τη θερινή περίοδο, παρατηρούνται οι γραμμές ροής του υπόγειου νερού, όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 27. Συγκρίνοντας τα υδραυλικά ύψη με τα αρχικά της Εικόνα 26, διακρίνουμε ότι έχουν προσεγγιστεί ικανοποιητικά κατά τη διαδικασία προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, ο υδροφορέας διαθέτει υψηλότερες στάθμες κοντά στην γεώτρηση Γ59, όπως και στις γεωτρήσεις Γ40, Γ42 και Γ43. Υψηλές στάθμες υπόγειου νερού παρατηρούνται επίσης, στα ανατολικά όρια του πεδίου ορισμού, μια προσπάθεια εξήγησης αυτού θα δοθεί στο κεφάλαιο 6.

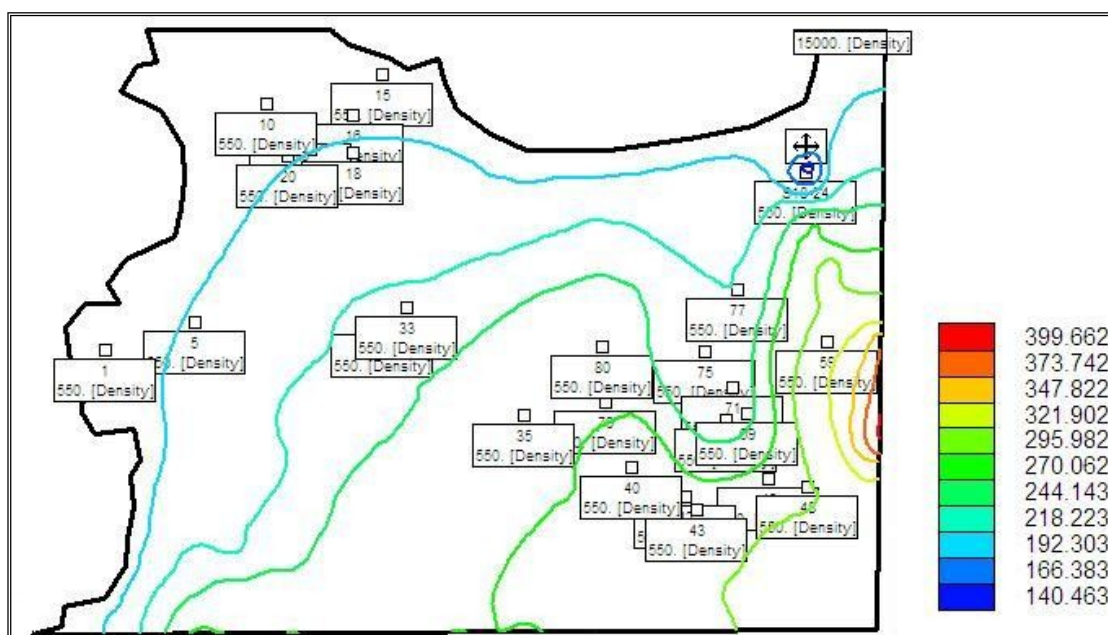
Όσο αφορά στην ταχύτητα με την οποία κινείται το υπόγειο νερό, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29, η υψηλότερη τιμή αγγίζει τα 7cm ημερησίως. Υπάρχει μια έντονη κινητικότητα νερού σε ολόκληρο το ανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης (από νότο έως και βορρά), καθώς και παραλιακά, στο κόλπο της Κισσάμου, και στις δυτικές ακτές αλλά με μικρότερες σαφώς ταχύτητες κίνησης. Το αξιοσημείωτο εδώ είναι ότι υπάρχει από μηδαμινή έως και ελάχιστη κινητικότητα νερού στο κέντρο της περιοχής μελέτης, κάτι βέβαια που ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της γεωλογίας του συγκεκριμένου τμήματος (μάργες – πέτρωμα χαμηλής διαπερατότητας). Επίσης, φαίνεται να υπάρχει μία επικοινωνία του νερού από την περιοχή Τοπόλια (νοτιοανατολικό κομμάτι) μέχρι και τη περιοχή όπου υπάρχουν Φυλλίτες (βλέπε Εικόνα 10). Αυτή η επαφή επιτυγχάνεται μέσα από τα πετρώματα της Τρίπολης (υψηλής διαπερατότητας πέτρωμα), με αποτέλεσμα το νερό να βρίσκει έπειτα διέξοδο βόρεια ή στη ανατολική μεριά της περιοχής. Επίσης, εμφανίζεται ένα

«σκάσιμο» στις πηγές Κωλένη και υψηλές ταχύτητες σε εκείνο το σημείο, όπως αναμενόταν.

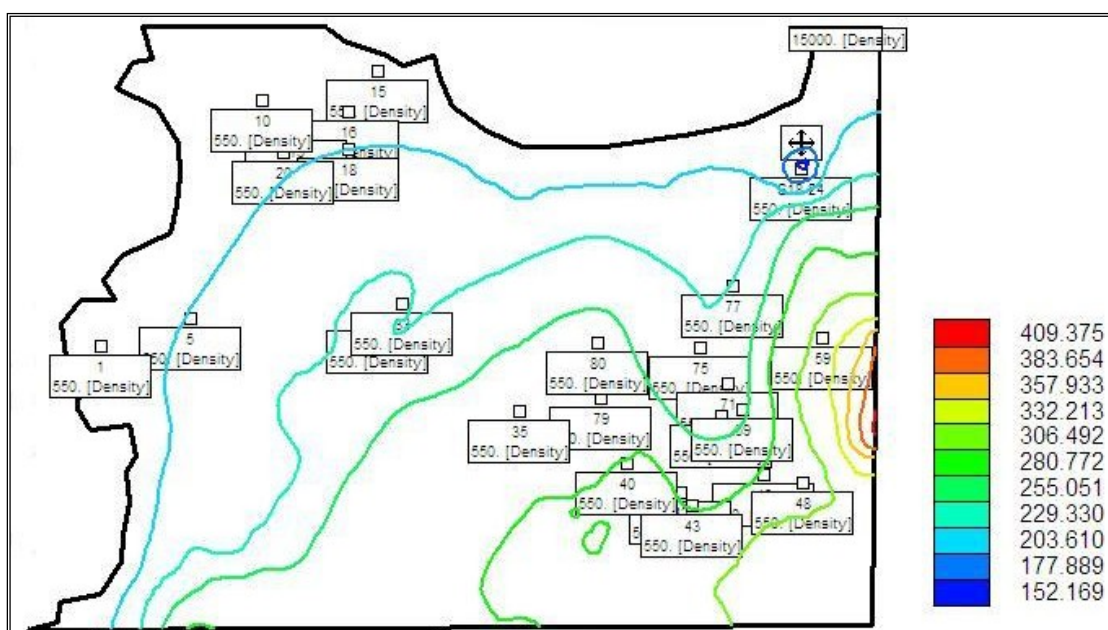
♦ *Χειμερινή περίοδος (Νοέμβρης – Μάρτης)*

Κατά τη χειμερινή περίοδο, παρατηρούνται ελάχιστες μεταβολές, τόσο στα υδραυλικά ύψη όσο και στις ταχύτητες του υπόγειου νερού (Εικόνα 28, Εικόνα 30), συγκριτικά με τα αποτελέσματα της θερινής περιόδου. Συγκεκριμένα, οι στάθμες νερού διαφοροποιούνται ελαφρώς και οι ταχύτητες διαθέτουν κάπως μεγαλύτερη δυναμική, στα ίδια βέβαια σημεία. Είναι εμφανές λοιπόν ότι ο υδροφόρας παρουσιάζει σχεδόν το ίδιο προφίλ στις στάθμες και ταχύτητες του υπόγειου νερού στις δύο περιόδους του χρόνου.

Α. Γραφήματα υδραυλικών υψών υπογείου νερού για τις 2 περιόδους

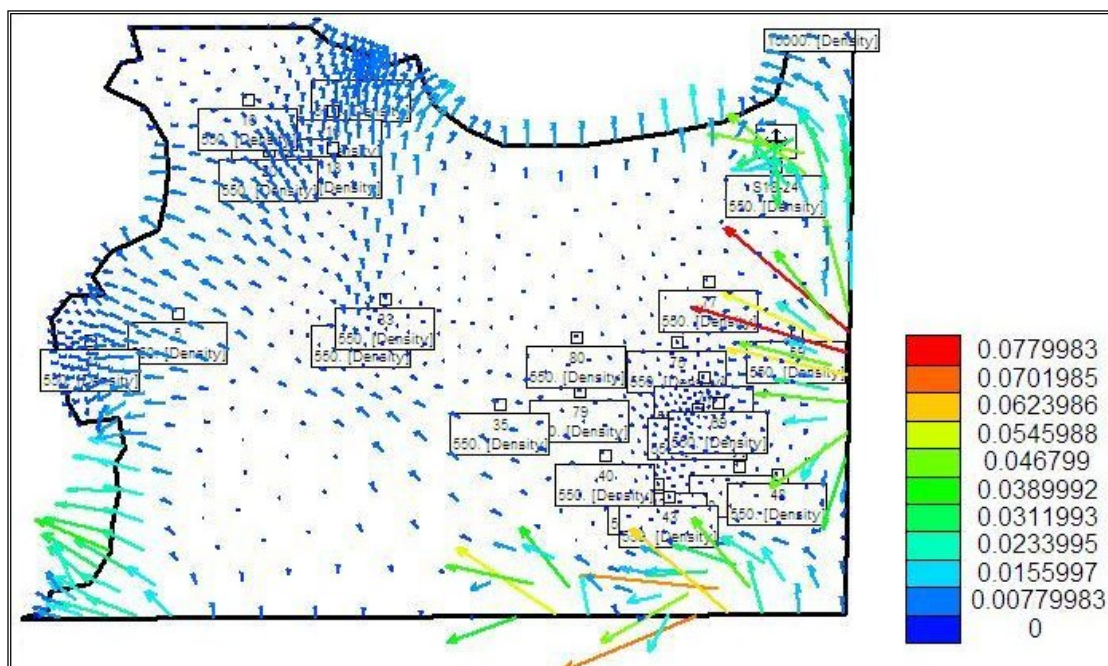


Εικόνα 27: Υδραυλικά ύψη υπογείου νερού (Καλοκαίρι).

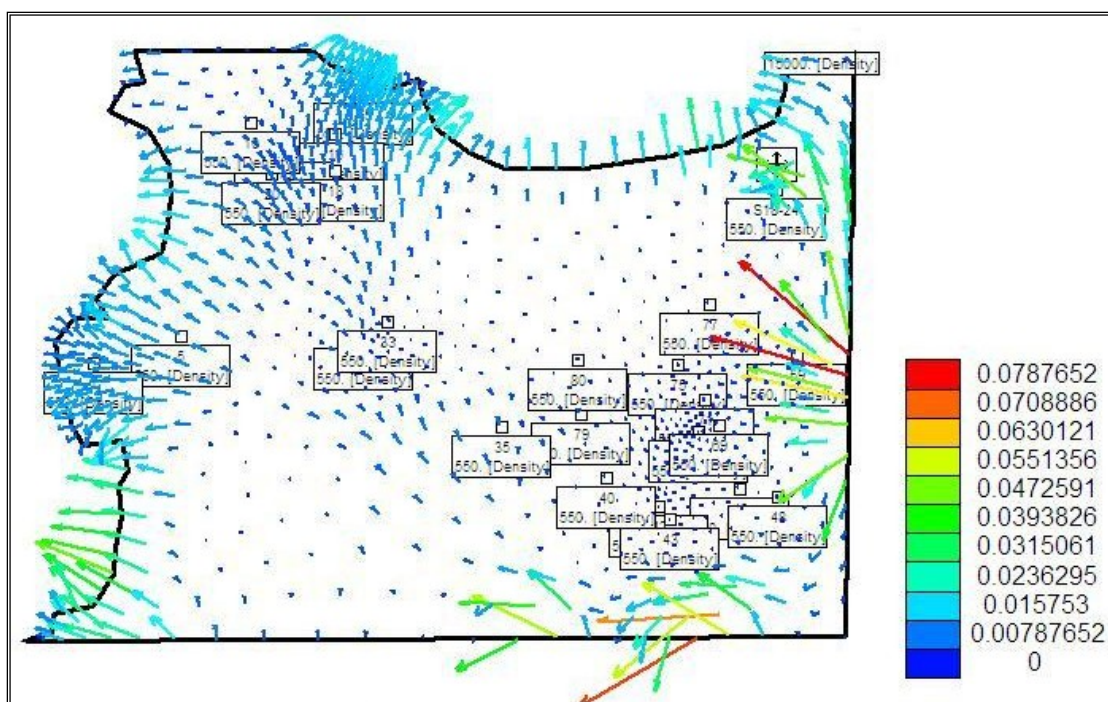


Εικόνα 28: Υδραυλικά ύψη υπογείου νερού (Χειμώνας).

Β. Γραφήματα ταχυτήτων υπογείου νερού για τις 2 περιόδους



Εικόνα 29: Ταχύτητες υπογείου νερού (Καλοκαίρι).



Εικόνα 30: Ταχύτητες υπογείου νερού (Χειμώνας)

6 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η περιοχή που μελετήθηκε, συγκεκριμένα η ευρύτερη περιοχή της Κισσάμου, φαίνεται να εμφανίζει υδροφορία τοπικά και όχι σε όλη της την έκταση. Αυτό επιβεβαιώθηκε μέσα από τα γραφήματα της σελ 77 & 78, τα οποία παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για κατανόηση της ροής των υπόγειων νερών της περιοχής. Στη παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε η προσπάθεια υδρογεωλογικής μελέτης του συγκεκριμένου τμήματος του νομού Χανίων, με αποτελέσματα τα οποία προσομοίωσαν σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό τη πραγματική κατάσταση του υδροφορέα.

Ειδικότερα, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη προσομοίωση της στάθμης και της ταχύτητας του υπόγειου νερού της ευρύτερης περιοχής της Κισσάμου, καταδεικνύουν μία ανομοιογενή κυκλοφορία του νερού, καθώς σε πολλά σημεία παρατηρείται αδυναμία κίνησής του.

Όσον αφορά στα υδραυλικά ύψη του υπόγειου νερού, υψηλές στάθμες παρατηρούνται να υπάρχουν γύρω από τις γεωτρήσεις, που σημαίνει ότι πολύ σωστά τοποθετήθηκαν εκεί ώστε να ικανοποιούν ανάγκες άντλησης για άρδευση κτλ. Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια, να πραγματοποιηθεί διάνοιξη και άλλων γεωτρήσεων, λόγω χάρη ανάμεσα στις γεωτρήσεις Γ5 και Γ20 (Εικόνα 27), καθώς εμφανίζονται ανάμεσά τους ίδιες στάθμες νερού. Επίσης, παρατηρήθηκαν πολύ μικρές διαφορές στα υδραυλικά ύψη για τις δύο περιόδους (καλοκαίρι - χειμώνας), για τις οποίες έγινε η εκτέλεση του μοντέλου, παρά το γεγονός ότι τη χειμερινή περίοδο λόγω βροχοπτώσεων, διηθείται περισσότερο νερό στον υδροφορέα.

Η κινητικότητα του υπόγειου νερού, έγινε εμφανής μέσα από τα γραφήματα των ταχυτήτων και κατέστησε ξεκάθαρα την ανομοιογένεια της κατάστασης του υδροφορέα. Υψηλές ταχύτητες, εμφανίζονται σε όλη την ανατολική μεριά. Συγκεκριμένα, στην Γ59 (Εικόνα 29) δικαιολογείται η υψηλή στάθμη του νερού, καθώς εκεί εμφανίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης του νερού. Αυτό το αξιοσημείωτο γεγονός, το οποίο δε λαμβάνει χώρα στις γειτονικές γεωτρήσεις (Γ69, Γ77 κτλ) υποψιάζει τον παρατηρητή πως συνεισφέρεται νερό εκτός λεκάνης παρατήρησης. Δηλαδή, διευρύνεται η

λεκάνη και πιθανόν να λαμβάνει νερό και από παρακείμενη εκτός ορίων υπολεκάνη, πιθανόν του δήμου Κολυμπαρίου που συνορεύει με το δήμο της Μηθύμνης. Η ιδιαίτερα μεγάλες ταχύτητες του νερού σε αυτή τη περιοχή, επιτρέπουν τη δημιουργία περισσότερων γεωτρήσεων, ώστε να αξιοποιείται το νερό που βρίσκεται υπογείως.

Να σημειωθεί ότι υψηλές ταχύτητες νερού εμφανίζονται και στο νότιο κομμάτι, καθώς αυτό τροφοδοτείται με νερό από την οροσειρά των Λευκών Όρεων και δικαιολογεί τις στάθμες των παρακείμενων γεωτρήσεων (Γ45, Γ43 κτλ). Βέβαια, ο γεωλογικός σχηματισμός (υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας) που υπάρχει στη περιοχή, τα Τοπόλια, βοηθούν ώστε αυτή η τροφοδοσία που δέχεται η περιοχή από την οροσειρά να μεταδοθεί και ευρύτερα.

Επιπρόσθετα, στις Εικόνα 29 & Εικόνα 30, διαφαίνεται ελάχιστη κινητικότητα νερού κεντρικά, στις περιοχές Καλλεργιανά και Καλουδιανά, όπου εκεί όπως διαπιστώνεται και από τον γεωλογικό χάρτη (σελ 52) υπάρχει έντονα η παρουσία του πετρώματος της μάργας, μέσα από το οποίο κινείται δύσκολα το νερό, καθώς διαθέτει χαμηλή διαπερατότητα. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη περιοχή νότια από τις Λουσακιές, με εμφάνιση εδώ του τεκτονικού καλύμματος των Φυλλιτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι παραπάνω περιοχές να παρουσιάζουν χαμηλή έως και καθόλου κίνηση νερού, οπότε να μη χρησιμοποιούνται ως περιοχές τοποθέτησης γεωτρήσεων. Ωστόσο, ανάμεσα τους διαφαίνεται μια μικρή κινητικότητα του νερού που καταλήγει τόσο στον κόλπο της Κισσάμου, όσο και στα δυτικά παράλια. Η κινητικότητα αυτή προέρχεται πιθανόν από μια επικοινωνία του γεωλογικού στρώματος των Τοπολίων με το γεωλογικό σχηματισμό της Τρίπολης.

Επίσης, φαίνεται μια μεγάλη κινητικότητα νερού στη περιοχή όπου είναι ομαδοποιημένες οι πηγές Κωλένη. Αυτό είναι φυσιολογικό, καθώς από αυτές γίνεται άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού και αξιοποίησή τους σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ένα ακόμη συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από τη μοντελοποίηση της περιοχής, είναι σύμφωνα με το υψόμετρο που βρίσκεται ο παρατηρητής να είναι σε θέση να γνωρίζει το βάθος στο οποίο μπορεί να βρει νερό. Αυτή είναι μια χρήσιμη πληροφορία, η οποία τον καθιστά ικανό να τη χρησιμοποιήσει για διάφορους σκοπούς (ιδιωτική χρήση, δημόσια κτλ). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι η γεώτρηση Γ77 βρίσκεται σε υψόμετρο 100m ενώ

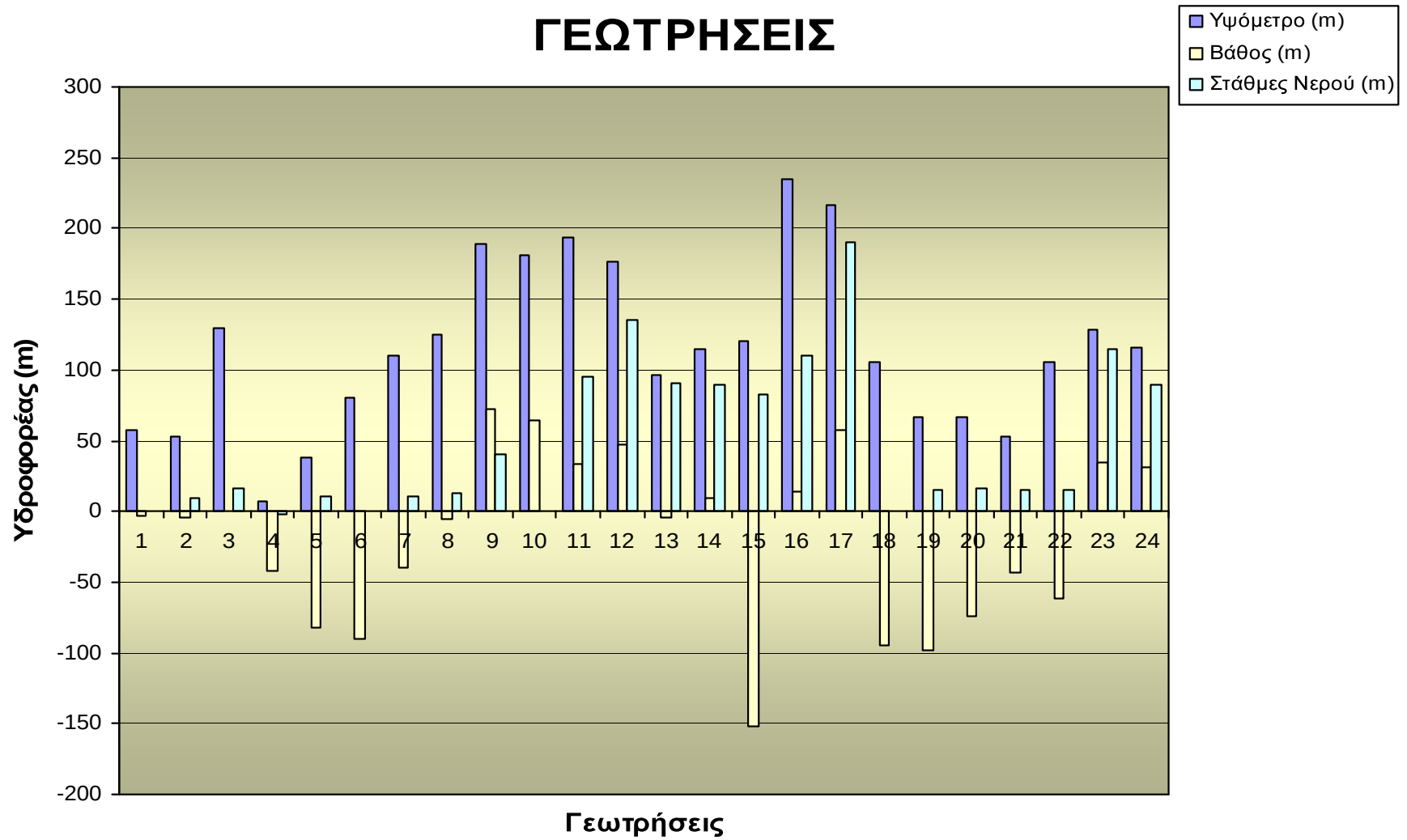
το υδραυλικό ύψος νερού είναι 30m, οπότε το νερό εντοπίζεται στα 70m από την επιφάνεια του εδάφους. Ερευνώντας μια περιοχή με πολύ υψηλό υψόμετρο, π.χ. 600m στην οποία παρατηρείται σύμφωνα με την Εικόνα 27 στάθμη νερού 100m, γίνεται αντιληπτό ότι το νερό μπορεί να βρεθεί σε βάθος 500m από την επιφάνεια του εδάφους, γεγονός που δικαιολογεί γιατί δεν υπάρχουν γεωτρήσεις σε εκείνη τη περιοχή (Σηρικάρι).

Γενικότερα, η υδρογεωλογική μελέτη μιας περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντική, παρέχοντας σε διάφορους φορείς (ιδιώτες, τοπικούς δήμους, πολιτεία) πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση των υπογείων νερών. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν έπειτα με σκοπό τη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης του υδροφορέα, τη λήψη κατάλληλων μέτρων για τη διαχείριση των ποσοτήτων νερού που αντλούνται, ακόμα και διάνοιξη νέων πηγών νερού.

Παράρτημα Α: Γεωτρήσεις

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ				
Αριθμός	Όνομα	Υψόμετρο (m)	Βάθος (m)	Στάθμες Νερού (m)
1	Γ1	57,23	60	0
2	Γ5	52,74	57	9
3	Γ10	129,71	130	16
4	Γ15	7,51	50	-2
5	Γ16	38,38	120	10
6	Γ18	80,35	170	-
7	Γ19	110,32	150	11
8	Γ20	124,61	130	13
9	Γ32	188,65	116	40
10	Γ33	180,71	116	-
11	Γ35	193,17	160	95
12	Γ40	176,83	130	135
13	Γ42	96,11	100	91
14	Γ43	114,8	105	90
15	Γ46	120,37	272	83
16	Γ48	234,51	220	110
17	Γ59	216,99	160	190
18	Γ69	105	200	-
19	Γ70	67,12	165	15
20	Γ71	66,24	140	16
21	Γ75	52,96	96	15
22	Γ77	105,07	167	15
23	Γ79	128,93	94	115
24	Γ80	115,87	85	90

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ



Παράρτημα Β: Δελτία απογραφής γεωτρήσεων

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ Ε.Ε. & Γ.Δ.
Δ/ΝΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΓΕΩΤΡ. & ΜΑΘ. ΟΜ/ΤΩΝ

A/A: Г1

ΑΡΙΘΜ. ΕΡΓΟΥ: ΚΑ 9481721

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Δήμος:	Κισσάμου	Χάρτης:	Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000
Δημοτικό Διαμέρισμα:	Πλάτανος - Φαλάσαρνα	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία:	Αγ. Φώτιος	Απολ.Υψομ. Repere (Z):	57,23
Όνομ/μο Ιδιοκτήτη:	Κοινότητα	Χρονολογία κατασκευής:	

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΣΟΛΗΝΟΣΗ Βάθος: 60 μ. ΑΝΤΑΙΑ (vai - όχι) 1. ΠΟΜΟΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΑΛΛΗ d=4"
 Διάμετρ.: 8" Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ (vai - όχι) Βάθος τοποθέτησης:
 Βάθος: 58 μ.
 Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Σε χρήση	x	Άρδευση	x
Ανεκμετάλλευτη		Υδρευση	
Εγκαταλελειμένη		Άλλη χρήση:	
Αντλούμενη παροχή:	50,00	m^3/h	
Αρδευόμενη επιφάνεια:		στρέμματα	
Είδος καλλιέργειας:			
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:			
Είδος υδροφορέα:			

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ

ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
υ	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

[illegible]

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

0,08

Χανιά 14/05/1998
Ο Απογραφέας

Μ.Λιονής - Β. Περλέρος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ									
Δήμος:	Κισσάμου			Χάρτης:	Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000				
Δημοτικό Διαμέρισμα:	Πλάτανος - Φαλάσαρνα			Χ=	Ψ=				
Τοποθεσία:	Αγ. Φώτιος - Πατέλα			Απολ.Υψομ. Repere (Z):	52,74				
Όνομ/μο Ιδιοκτήτη:	Κοινότητα			Χρονολογία κατασκευής:	1966				
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ									
ΣΩΛΗΝΩΣΗ	Βάθος:	57 μ.	ΑΝΤΛΙΑ	☐ ναι	(ναι - όχι)				
	Διάμετρ.:	8"		☐ 2	1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΑΛΛΗ d=4"				
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ	☐ όχι	(ναι - όχι)		☐ Α	Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ				
Βάθος :	μ.			Βάθος τοποθέτησης:					
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:	☐ όχι								
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ					ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ				
Σε χρήση	☒ Χ	Άρδευση	☒ Χ		ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ			
Ανεκμετάλλευτη	☐	Υδρευση	☐		μ				
Εγκαταλελειμένη		Άλλη χρήση:			8,0	Ψαμμίτης (Αμμόλιθος)			
Αντλούμενη παροχή:	70,00	m ³ /h							
Αρδευόμενη επιφάνεια:		στρέμματα							
Είδος καλλιέργειας:									
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:		m ³							
Είδος υδροφορέα:									
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜ/ΣΙΑ - ΧΗΜΙΣΜΟΣ						
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΥΨΟΜ. μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL ⁻ mg/l	ΗΛ. ΑΓ μs			
14.05.1998	43,32	9,42							
23.04.1999					354,5	1500			
18.10.1999					347,4	1485			
20.04.2000					333,2	1450			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:					R ↑ 0,15 ↓ E	Χανιά 14/05/1998 Ο Απογραφέας			
Τομή ΥΕΒ 182 Την περίοδο της απογραφής είχε βγει η αντλία και ήταν εφικτή η μέτρηση στάθμης						Μ.Λιονής - Β. Περίλερος			

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ																		
Δήμος:		Κισσάμου		Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 / 1:20000														
Δημοτικό Διαμέρισμα:		Γραμβούσας		Χ=		Ψ=												
Τοποθεσία:		Καρεφιλιάνα		Απολ. Ύψομ. Repere (Z):		124,61												
Ονομ/μο Ιδιοκτήτη:		Καστανοπουλάκη		Χρονολογία κατασκευής:														
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ																		
<u>ΣΩΛΗΝΩΣΗ</u>		Βάθος:	130 μ.	<u>ΑΝΤΛΙΑ</u>	☐ ναι	(ναι - όχι)												
		Διάμετρο:	8"		☐ 2	1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΑΛΛΗ d=3"												
<u>ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ</u>		☐ ναι	(ναι - όχι)		☐ Α	Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ												
Βάθος :		122 μ.		Βάθος τοποθέτησης:														
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:		☐ ναι		(ναι - όχι)														
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ					ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ													
Σε χρήση ☒ x Άρδευση ☒ x Ανεκμετάλλευτη ☐ Υδρευση ☐ Εγκαταλελειμένη ☐ Άλλη χρήση: ☐ Αντλούμενη παροχή: 30,0 m ³ /h Άρδευόμενη επιφάνεια: στρέμματα Είδος καλλιέργειας: Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού: m ³ Είδος υδροφορέα:					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ</th> <th style="width: 10%;">μ</th> <th style="width: 80%;">ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>110,0</td> <td></td> <td>ασβεστόλιθοι</td> </tr> <tr> <td>??</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ	μ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	110,0		ασβεστόλιθοι	??		
ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ	μ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ																
110,0		ασβεστόλιθοι																
??																		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ																		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ															
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΎΨΟΜ μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL - mg/l	ΗΛ. ΑΓ. μs												
13/6/1998	111,47**	13,14				739												
21/10/1998	111,48	13,13																
23/4/1999	111,54**	13,07			99,3	870												
18/10/1999	111,53	13,08			106,3	830												
20/4/2000	111,53	13,08			113,4	870												
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:							R ↑ 0,08 ↓ E	Χανιά 13/6/1998 Ο Απογραφέας Β. Περλέρος-Κ. Παυλόπουλος										
TDS = 338, S = 0.1																		
**Μέτρηση από πιεζ/τρο																		

*Στάθμη άντλησης

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ						
Δήμος:	Μηθύμνης	Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 / 1:20000				
Δημοτικό Διαμέρισμα:	Τοπόλεια	Χ=	Ψ=			
Τοποθεσία:	Καφανανιά	Απολ. Ύψομ. Repere (Z):	114,8			
Όνομ/μο Ιδιοκτήτη:	Σιροκάκης	Χρονολογία κατασκευής:	1998			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ						
ΣΩΛΗΝΩΣΗ	Βάθος: 105 μ.	ΑΝΤΛΙΑ	☒ ναι (ναι - όχι)			
	Διάμετρο: 8"		☐ 1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΑΛΛΗ d=4"			
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ	☒ ναι (ναι - όχι)		☐ Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ			
Βάθος :	100 μ.	Βάθος τοποθέτησης:				
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:	☒ ναι (ναι - όχι)					
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ		ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ				
Σε χρήση	☒ Χ	Αρδευση	☒ Χ			
Ανεκμετάλλευτη	☐	Υδρευση	☒ Χ			
Εγκαταλελειμένη	☐	Άλλη χρήση:				
Αντλούμενη παροχή:	50,0 m ³ /h					
Αρδευόμενη επιφάνεια:	στρέμματα					
Είδος καλλιέργειας:						
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:	m ³					
Είδος υδροφορέα:						
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΎΨΟΜ μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL - PPM	ΗΛ. ΑΓ. μs
26/8/1998	24,50	90,30				
21/10/1998	26,31	88,49				
24/4/1999	20,59	94,21				
18/10/1999	26,71	88,09				
20/4/2000	βουλβο	20,41				
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:			R ↑ 0,26 ↓ E		Χανιά 26/8/1998 Ο Απογραφέας Μ.Λιονής-Κ.Παυλόπουλος	

*Στάθμη άντλησης

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ									
Δήμος:		Μηθύμνης		Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 / 1:20000					
Δημοτικό Διαμέρισμα:		Ποταμίδα		Χ=		Ψ=			
Τοποθεσία:		Ποταμίδα		Απολ.Υψομ. Repere (Z):		52,96			
Όνομ/μο Ιδιοκτήτη:		Κοινότητα		Χρονολογία κατασκευής:		1990			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ									
ΣΩΛΗΝΩΣΗ		Βάθος:	96 μ.	ΑΝΤΛΙΑ	☐ ναι	(ναι - όχι)			
		Διάμετρ.:	10"		☐ 2	1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΆΛΛΗ d=6"			
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ		☐ ναι	(ναι - όχι)		☐ Α	Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΆΛΛΗ			
Βάθος :		μ.		Βάθος τοποθέτησης:					
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:		☐ ναι							
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ					ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ				
Σε χρήση ☐ χ					Άρδευση ☐ χ				
Ανεκμετάλλευτη ☐					Υδρευση ☐				
Εγκαταλελειμένη					Άλλη χρήση:				
Αντλούμενη παροχή:		100,00		m^3/h					
Αρδευόμενη επιφάνεια:					στρέμματα				
Είδος καλλιέργειας:									
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:					m^3				
Είδος υδροφορέα:									
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜ/ΣΙΑ - ΧΗΜΙΣΜΟΣ						
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΥΨΟΜ. μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL PPM	ΗΛ. ΑΓ μs			
17/5/1998	35,65	17,31							
21/10/1998	37,48	15,48							
28/4/1999	34,75	18,21							
19/10/1999	44,93	8,03							
20/4/2000	37,09	15,87							
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Τομή ΥΕΒ 301					R ↑ 0,13 ↓ E		Χανιά 17/05/1998 Ο Απογραφέας Μ.Λιονής - Β. Περίλερος		

*Στάθμη άντλησης

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ									
Δήμος:		Μηθύμνης		Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 / 1:20000					
Δημοτικό Διαμέρισμα:		Χαιρεθιανά		Χ=		Ψ=			
Τοποθεσία:		Ρέχτρα		Απολ. Ψωμ. Repere (Z):		105.07			
Ονομ/μο Ιδιοκτήτη:		Κοινότητα		Χρονολογία κατασκευής:		1986			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ									
ΣΩΛΗΝΩΣΗ		Βάθος:	167 μ.	ΑΝΤΛΙΑ	☐ ναι	(ναι - όχι)			
		Διάμετρ.:	10"		☐ 2	1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. d=4"			
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ		☐ ναι	(ναι - όχι)		☐ Α	Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ			
Βάθος:		145 μ.		Βάθος τοποθέτησης:		124 m			
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:		☐ ναι							
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ					ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ				
Σε χρήση		☒ Χ	Άρδευση	☒ Χ	ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ		ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		
Ανεκμετάλλευτη		☐	Υδρευση	☐	μ				
Εγκαταλελειμμένη		☐	Άλλη χρήση:	☐	167.0		Ασβεστόλιθοι		
Αντλούμενη παροχή:		140,00	m ³ /h						
Αρδευόμενη επιφάνεια:		στρέμματα							
Είδος καλλιέργειας:									
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:		m ³							
Είδος υδροφορέα:		καρστικός							
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜ/ΣΙΑ - ΧΗΜΙΣΜΟΣ				167.0		
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΨΩΜ. μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL ⁻ mg/l	ΗΛ. ΑΓ μs			
13/5/1998	90,35	14,72							
21/10/1998	95,10*	9,97*							
28/4/1999	89,56	15,51							
19/10/1999	95,39*	9,68*			53,2	580			
20/4/2000	91,69	13,38							
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:					R ↑ 0,3 ↓ E		Χανιά 13/05/1998 Ο Απογραφάς Μ.Λιονής - Β. Περίερος		
Τομή ΥΕΒ 258									
Παροχή πειρ. άντλησης 127m ³ /h - πτώση στάθμης 0,5 m									

*Στάθμη άντλησης

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ									
Δήμος:	Κισσάμου			Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 / 1:20000					
Δημοτικό Διαμέρισμα:	Κουκουνάρα			Χ=		Ψ=			
Τοποθεσία:	Χαρχαλιανά			Απολ.Υψομ. Repere (Z):		115,87			
Όνομ/μο Ιδιοκτήτη:	- Κοινοτική			Χρονολογία κατασκευής:					
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ									
ΣΩΛΗΝΩΣΗ	Βάθος:	85 μ.	ΑΝΤΛΙΑ	☐ ναι	(ναι - όχι)				
	Διάμετρ.:	10"		☐ 1	1. ΠΟΜΩΝΑ 2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ 3. ΑΛΛΗ d=6"				
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ	☐ ναι	(ναι - όχι)		☐ Α	Α. ΗΛΕΚΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Β. ΠΕΤΡ/ΚΙΝΗΤΗ Γ. ΑΛΛΗ				
	Βάθος:	70 μ.			Βάθος τοποθέτησης:				
Δυνατότητα μέτρησης στάθμης:				☐ ναι	(ναι - όχι)				
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ					ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ				
Σε χρήση	☒ x	Άρδευση	☒ x	ΒΑΘΟΣ-ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ		ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ			
Ανεκμετάλλευτη	☐	Υδρευση	☐	μ					
Εγκαταλελειμένη	☐	Άλλη χρήση:							
Αντλούμενη παροχή:	70,00	m ³ /h							
Αρδευόμενη επιφάνεια:	στρέμματα								
Είδος καλλιέργειας:									
Εκτίμηση ετήσιας αντλ. ποσότητας νερού:				m ³					
Είδος υδροφορέα:									
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΑΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ				
	ΒΑΘΟΣ μ	ΑΠ. ΥΨΟΜ μ	ΑΕΡΑ °C	ΝΕΡΟΥ °C	CL - mg/l	ΗΛ. ΑΓ. μs			
26/8/1998	34,15*	81,72*		23,0		842			
21/10/1998	34,18*	81,69*							
28/4/1999	21,95	93,92			70,9	860			
19/10/1999	31,06	84,81			99,3	1030			
20/4/2000	34,79	81,08			78,0	860			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: S = 0.2					R ↑ 0,1 ↓ E		Χανιά 26/8/1998 Ο Απογραφέας Μ.Λιονής-Κ.Παυλόπουλος		

*Στάθμη άντλησης

Παράρτημα C: Δελτία απογραφής πηγών

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ Ε.Ε. & Γ.Δ.
Δ/ΝΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΓΕΩΤΡ. & ΜΑΘ. ΟΜ/ΤΩΝ

A/A: Π2

ΑΡΙΘΜ. ΕΡΓΟΥ: ΚΑ 9481721

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ		
Όνομασία:	Ποταμός Α	Ιδιοκτήτης:
Δήμος:	Κισσάμου	Χάρτης Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 /1:20000
Δημ. Διαμέρισμα:	Πλάτανος	Χ=
Τοποθεσία:	Ποταμός	Ψ=
		Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ): 0,02
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
☐ Επιφάνειας	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη
☐ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή
☒ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλλείπουσα
☒ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη	
Άλλη:	Δυνατότητα μέτρησης παροχής: ☐ όχι	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ		
☐ Υδρομάστευση	☐ Αρδευση έκταση (στρέμματα):	
☐ Συλλεκτήρια	Είδος καλλιέργειας:	
☐ Αγωγός	☐ Ύδρευση (κάτοικοι):	
☐ Αντληση	☐ Κτηνοτροφία Είδος:	
☒ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλαια):	
Παροχή:	1000 m ³ /h	☐ Ιαματική
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.:	13940. μS	Άλλη χρήση:
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση		
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ		
Σχηματισμός του πρώτου φλύσχη της Πίνδου όπου επικρατούν οι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι 		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Η Ηλ. Αγωγιμότητα μεταβάλλεται προς την θάλασσα από 13940 μS 17700 μS. Η Ηλ. Αγωγιμότητα της θάλασσας στην περιοχή αυτή είναι 60500 μS Η πηγή εκδηλώνεται μέσα από ασβεστόλιθους της Πίνδου στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας		Χανιά 14/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Περίερος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ		
Όνομασία: Ποταμός Β	Ιδιοκτήτης: Δημόσιο	
Δήμος: Κισσάμου	Χάρτης Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2 /1:20000	
Δημ. Διαμέρισμα: Πλάτανος	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία: Ποταμός	Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ):	0.03
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
☐ Επιφής	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη
☐ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή
☒ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλλείπουσα
☒ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη	
Άλλη:	Δυνατότητα μέτρησης παροχής: ☐ όχι	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ		
☐ Υδρομάστευση	☐ Άρδευση έκταση (στρέμματα):	
☐ Συλλεκτήρια	Είδος καλλιέργειας:	
☐ Αγωγός	☐ Ύδρευση (κάτοικοι):	
☐ Αντληση	☐ Κτηνοτροφία Είδος:	
☒ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλια):	
Παροχή: 300 m ³ /h	☐ Ιαματική	
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.: 15670 μS	Άλλη χρήση:	
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση		
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ		
 Σχηματισμός του πρώτου φλύσχη της Πίνδου όπου επικρατούν οι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Η Ηλ. Αγωγιμότητα μεταβάλλεται προς την θάλασσα από 13940 μS μέχρι 17700 μS. Η Ηλ. Αγωγιμότητα της θάλασσας στην περιοχή αυτή είναι 60500 μS Η πηγή εκδηλώνεται μέσα από ασβεστολίθους της Πίνδου στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας		Χανιά 14/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Περίερος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ

Όνομασία: *Κωλένη Α* Ιδιοκτήτης: *Δημόσιο*
Δήμος: *Μηθύμνης* Χάρτης: Αρ.Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000
Δημ. Διαμέρισμα: *Δραπανιάς* Χ= Ψ=
Τοποθεσία: *Κωλένη* Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ): *12,36*

ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ

☐ Επαφής
☒ Υπερπλήρωσης
☐ Παράκτια
☐ Υποθαλάσσια

ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

☐ Καθορισμένη
☒ Μέτωπο
☐ Διάχυτη
☐ Μετατοπισμένη

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

☒ Μόνιμη
☐ Εποχιακή
☐ Διαλλείπουσα

Άλλη: δευτερογενής από μετάνγνιση

Δυνατότητα μέτρησης παροχής: ☐ *όχι*

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

☐ Υδρομάστευση
☐ Συλλεκτήρια
☐ Αγωγός
☒ Αντληση
☐ Ανεκμετάλλευτη

☒ : Αρδευση έκταση (στρέμματα):

Είδος καλλιέργειας:

☒ : Ύδρευση (κάτοικοι):

☐ Κτηνοτροφία Είδος:
(κεφάλια):

Παροχή κατ' εκτίμηση: *80 m³/h*

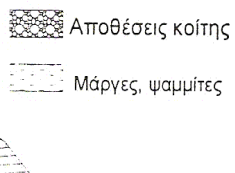
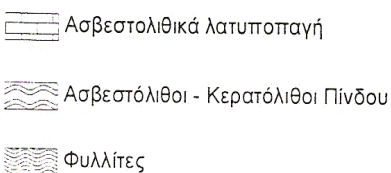
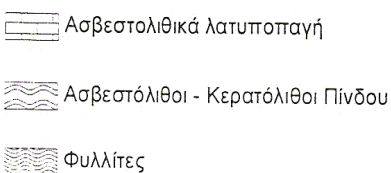
☐ Ιαματική

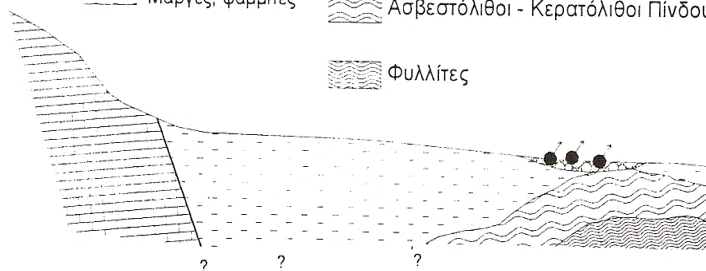
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.: *575.00 μS*

Άλλη χρήση:

1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ

 Αποθέσεις κοίτης  Ασβεστολιθικά λατυποπαγή
Μάργες, ψαμμίτες  Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου
Φυλλίτες



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

TDS = 514 S = 0,0 mg/l

Θερμοκρασία 16,3 C

Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις

Χανιά 13/05/1998

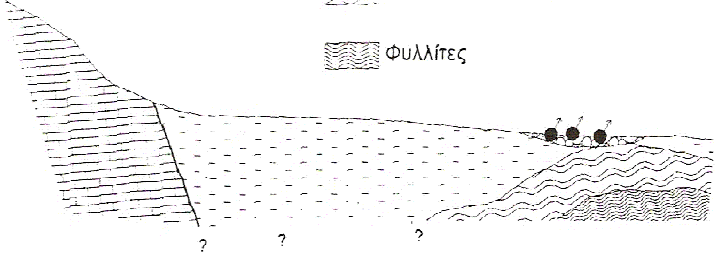
Ο Απογραφέας

Μ. Λιονής - Β. Περίερος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ			
Όνομασία	Κωλένη Β	Ιδιοκτήτης:	Δημόσιο
Δήμος :	Μηθύμνης	Χάρτης: Αρ.Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000	
Δημ. Διαμίσμα:	Δραπανιάς	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία:	Κωλένη	Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ):	12,99
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
☐ Επαφής	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη	
☒ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή	
☐ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλλείπουσα	
☐ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη		
Άλλη, δευτερογενής από μετάνιση		Δυνατότητα μέτρησης παροχής: ☐ Όχι	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ			
☐ Υδρομάστευση	☒ Αρδευση έκταση (στρέμματα):		
☐ Συλλεκτήρια	Είδος καλλιέργειας:		
☐ Αγωγός	☒ Ύδρευση (κάτοικοι):		
☒ Αντληση	Κτηνοτροφία Είδος:		
☐ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλια):		
Παροχή και εκτίμηση:	90 m ³ /h	☐ Ιαματική	
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.:	560,00 μS	Άλλη χρήση:	
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση			
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ			
Αποθέσεις κοίτης Μάργες, ψαμμίτες Ασβεστολιθικά λατυποπαγή Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου Φυλλίτες			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: TDS = 511 S = 0,0 mg/l Θερμοκρασία 16,3 C Εκδήλωση ιζητών μέσα από προσχώσεις		Χανιά 13/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Περίερος	

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ		
Όνομασία:	Κωλένη Γ	Ιδιοκτήτης:
Δήμος:	Μηθύμνης	Χάρτης:
Δημ. Διαμέρισμα:	Δραπανιάς	Χ=
Τοποθεσία:	Κωλένη	Ψ=
		Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ):
11,22		
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
☐ Επαφής	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη
☒ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή
☐ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλλείπουσα
☐ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη	
Άλλη: δευτερογενής από μετάγγιση		Δυνατότητα μέτρησης παροχής:
		όχι
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ		
☐ Υδρομάστευση	☒ Αρδευση έκταση (στρέμματα):	
☐ Συλλεκτήρια	Είδος καλλιέργειας:	
☐ Αγωγός	☒ Ύδρευση (κάτοικοι):	
☒ Αντληση	Κτηνοτροφία Είδος:	
☐ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλια):	
Παροχή κατ' εκτίμηση:	100 m ³ /h	☐ Ιαματική
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη:	575.00 μS	Άλλη χρήση:
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση		
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ		
 Αποθέσεις κοίτης  Μάργες, ψαμμίτες  Ασβεστολιθικά λατυποπαγή  Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου  Φυλλίτες 		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: TDS = 490 S = 0,0 mg/l Θερμοκρασία 16,3 C Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις		Χανιά 13/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Πετλέρος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ

Όνομασία: Κωλένη Δ
Δήμος: Μηθύμνης
Δημ. Διαμέρισμα: Δραπανιάς
Τοποθεσία: Κωλένη
Ιδιοκτήτης: Δημόσιο
Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000
Χ= Ψ=
Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ): 11,25

ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ

☐ Επαφής
☒ Υπερπλήρωσης
☐ Παράκτια
☐ Υποθαλάσσια

ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

☐ Καθορισμένη
☒ Μέτωπο
☐ Διάχυτη
☐ Μετατοπισμένη

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

☒ Μόνιμη
☐ Εποχιακή
☐ Διαλλείπουσα

Άλλη: δευτερογενής από μετάγγιση

Δυνατότητα μέτρησης παροχής: ☐ όχι

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

☐ Υδρομάστευση
☐ Συλλεκτήρια
☐ Αγωγός
☒ Αντληση
☐ Ανεκμετάλλευτη

☒ Αρδευση έκταση (στρέμματα):

Είδος καλλιέργειας:

☒ Ύδρευση (κάτοικοι):

☐ Κτηνοτροφία Είδος:
(κεφάλια):

☐ Ιαματική

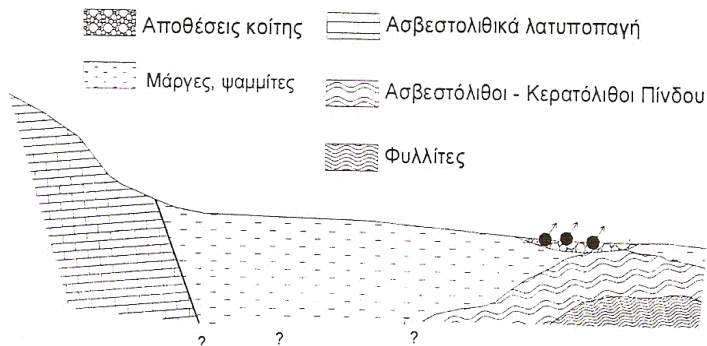
Άλλη χρήση:

Παροχή κατ' εκτίμηση: 120 m³/h

Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.: 557,00 μS

1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

TDS = 501 S = 0,0 mg/l

Θερμοκρασία 16,3 C

Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις

Χανιά 13/05/1998

Ο Απογραφέας

Μ. Λιονής - Β. Περίερος

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ			
Όνομασία:	Κωλένη Ε	Ιδιοκτήτης:	Δημόσιο
Δήμος:	Μηθύμνης	Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000	
Δημ. Διαμέρισμα:	Δραπανιάς	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία:	Κωλένη	Απόλυτο Υψομετρο (Ζ):	12,96
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
☐ Επαφής	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη	
☒ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή	
☐ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλείπουσα	
☐ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη		
Άλλη: δευτερογενής από μετάνιιση		Δυνατότητα μέτρησης παροχής:	☐ όχι
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ			
☐ Υδρομάστευση	☒ Αρδευση έκταση (στρέμματα):	Είδος καλλιέργειας:	
☐ Συλλεκτήρια			
☐ Αγωγός	☒ Ύδρευση (κάτοικοι):		
☒ Αντληση	☐ Κτηνοτροφία Είδος:		
☐ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλια):		
Παροχή κατ' εκτίμηση:	800 m ³ /h	☐ Ιαματική	
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.:	552,00 μS	Άλλη χρήση:	
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση			
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ			
Αποθέσεις κοίτης Μάργες, ψαμμίτες Ασβεστολιθικά λατυποπαγή Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου Φυλλίτες			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:		Χανιά 13/05/1998	
TDS = 508 S = 0,0 mg/l		Ο Απογραφέας	
Θερμοκρασία 16,7 C			
Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις			
		Μ. Λιονής - Β. Περίλερος	

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ			
Όνομασία:	Κωλένη ΣΤ	Ιδιοκτήτης:	Δημόσιο
Δήμος :	Μηθύμνης	Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000	
Δημ. Διαμέρισμα:	Δραπανιάς	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία:	Κωλένη	Απόλυτο Υψόμετρο (Ζ):	8,01
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
☐ Επαφής	☐ Καθορισμένη	☒ Μόνιμη	
☒ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐ Εποχιακή	
☐ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐ Διαλλείπουσα	
☐ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη		
Άλλη: δευτερογενής από μετάνγιση		Δυνατότητα μέτρησης παροχής:	☐ όχι
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ			
☐ Υδρομάστευση	☒ Αρδευση έκταση (στρέμματα):		
☐ Συλλεκτήρια	Είδος καλλιέργειας:		
☐ Αγωγός	☒ Ύδρευση (κάτοικοι):		
☒ Αντληση	Κτηνοτροφία Είδος:		
☐ Ανεκμετάλλευτη	(κεφάλια):		
Παροχή κατ' εκτίμηση:	150 m ³ /h	☐ Ιαματική	
Ηλεκτρ. Αγωγιμότητα:	800,00 μS	Άλλη χρήση:	
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση			
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ			
Αποθέσεις κοίτης Ασβεστολιθικά λατυποπαγή Μάργες, ψαμμίτες Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου Φυλλίτες			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: TDS = 722 S = 0,1 mg/l Θερμοκρασία 16,7 C Μέτρηση στάθμης ροής από reper 0,64 m. Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις		Χανιά 13/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Πετλέρος	

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΠΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΠΗΓΗΣ			
Ονομασία:	Κωλένη Ζ	Ιδιοκτήτης:	Δημόσιο
Δήμος :	Μηθύμνης	Χάρτης: Αρ. Σχ. 9.1 και 9.2/ 1:20000	
Δημ. Διαμέρισμα:	Δραπανιάς	Χ=	Ψ=
Τοποθεσία:	Κωλένη - .	Απόλυτο Υψομετρο (Ζ):	8,08
ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΗΣ	ΜΟΡΦΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
☐ Επαφής	☐ Καθορισμένη	☒ Χ	Μόνιμη
☒ Υπερπλήρωσης	☒ Μέτωπο	☐	Εποχιακή
☐ Παράκτια	☐ Διάχυτη	☐	Διαλείπουσα
☐ Υποθαλάσσια	☐ Μετατοπισμένη		
Άλλη: δευτερογενής από μετάγγιση		Δυνατότητα μέτρησης παροχής:	☐ όχι
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ			
☐ Υδρομάστευση	☒ Χ	Αρδευση έκταση (στρέμματα):	
☐ Συλλεκτήρια		Είδος καλλιέργειας:	
☐ Αγωγός	☒ Χ	Υδρευση (κάτοικοι):	
☒ Αντληση	☐	Κτηνοτροφία Είδος:	
☐ Ανεκμετάλλευτη		(κεφάλια):	
Παροχή κατ' εκτίμηση:	120 m ³ /h	☐	Ιαματική
Ηλεκτρ. Αγωγιμότη.:	788,00 μS	☐	Άλλη χρήση:
1. Μόνιμη χρήση 2. Περιοδική χρήση 3. Ευκαιριακή χρήση			
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΤΟΜΗΣ			
 Αποθέσεις κοίτης  Ασβεστολιθικά λατυποπαγή  Μάργες, ψαμμίτες  Ασβεστόλιθοι - Κερατόλιθοι Πίνδου  Φυλλίτες			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: TDS = 716 S = 0,1 mg/l Θερμοκρασία 17,2 C Εκδήλωση πηγών μέσα από προσχώσεις		Χανιά 13/05/1998 Ο Απογραφέας Μ. Λιονής - Β. Πετλέρος	

Βιβλιογραφία

- [1] M. P. Anderson, W. W. Woessner, *Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport*, Academic Press, 2002
- [2] M. P. Anderson, *Hydrogeologic Facies Models to Delineate Large Scale Spatial Trends in Glacial and Glaciofluvial Sediments*, Geol. Soc. of Amer. Bull., 1989
- [3] *Argus ONE, User's Guide*, Argus Holdings, 1994-1997
- [4] D. K. Babu, G. F. Pinder, A. Niemi, D. P. Ahlfeld, S. A. Stothoff, *Chemical Transport by Three – Dimensional Groundwater Flows*, 84-WR-3, 1997
- [5] J. Bear, M. S. Beljin, R. R. Ross, *Fundamentals of Ground–Water Modeling*, EPA/540/S-92/005, 1992
- [6] O. L. Franke, T. E. Reilly, G. D. Bennet, *Techniques of Water – Resources Investigations of the USGS, Definition of Boundary and Initial Conditions in the Analysis of Saturated Groundwater Flow Systems – An Introduction*, U. S. Government Printing Office, 1987
- [7] W. G. Gray, *Comparison of Finite Difference and Finite Element Methods*, NATO ASI Series, 1984
- [8] C. P. Kumar, *Pitfalls and Sensitivities in Groundwater Modeling*, National Institute of Hydrology paper, 2003
- [9] C. P. Kumar, *Introduction to Groundwater Modeling*, National Institute of Hydrology presentation, 2003

- [10] M. A. Marino, J. N. Luthin, *Developments in Water Science, Seepage and Groundwater*, Elsevier Science Publishers B.V., 1982
- [11] G. B. Maxey, *Hydrostratigraphic Units*, Journal of Hydrology, 1964
- [12] J. L. Olivares, *Argus ONE-PTC interface, v. 2.2, User's guide*
- [13] G. F. Pinder, W. G. Gray, *Finite Element Simulation in Surface and Subsurface Hydrology*, Academic Press, 1977
- [14] P. R. Seaber, *Hydrostratigraphic Units*, 1988
- [15] K. Spitz, J. Moreno, *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*, John Wiley & Sons. Inc., 1996
- [16] T. Strickland, *Technical Manual for Ground Water Investigations, Ground Water Flow and Fate and Transport Modeling*, OEPA, 2007
- [17] Alberta Government site, *Understanding Groundwater*, 1995-2007
- [18] Argus Holdings site, *Argus ONE, Open Numerical Enviroments*, 1992-2006
- [19] Κ. Βοζινάκης, Σ. Κουγιάννη, *Υδάτινοι Πόροι Νομού Χανίων και Διαχείρισή τους*, αναφορά Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων, 2004
- [20] Γ. Καλλέργης, *Διαχείριση ή Σοφή Χρήση των Υπόγειων Νερών*, αναφορά Παν/μίου Πατρών, Τμήματος Γεωλογίας, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας-Τεχνικής Γεωλογίας
- [21] Κ. Κοσκινά, *Υδρογεωλογική Μελέτη και Μοντελοποίηση του Υπόγειου Υδροφορέα της Ευρύτερης Περιοχής Κόλπου Κισσάμου – Χανίων*, μεταπτυχιακή εργασία, 2004

- [22] Μ. Μαντζάρα, *Η δύναμη του νερού*, άρθρο περιοδικού Monumenta, 2007
- [23] Ι. Γ. Σακκά, *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Αϊβάζη, 2004
- [24] Κ. Φυτιανός, *Ρύπανση Υδάτινων Πόρων*, παρουσίαση ημερίδας, 2008
- [25] Ιστοσελίδα Αναπτυξιακής Α.Ε. Νομού Χανίων, *Δήμος Κισσάμου*, 2006
- [26] Ιστοσελίδα Δήμου Χανίων, *Δήμος Κισσάμου*

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.