



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία με θέμα:

**«Προσομοίωση της υπόγειας ροής στο κατάντι τμήμα της
λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη με τη χρήση του
μοντέλου PTC»**

Απέργη Μαρία

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής κ. Καρατζάς Γεώργιος (επιβλέπων)

Καθηγητής κ. Νικολαΐδης Νικόλαος

Δρ. Δόκου Ζωή

Χανιά, 2014

Περιεχόμενα

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο.....	7
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2	ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	7
1.3	Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	8
1.4	ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ.....	10
1.5	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ	11
1.6	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ-NΟΜΟΣ DARCY.....	14
1.7	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	15
1.8	ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	17
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	19
2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	19
2.1.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	19
2.1.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΟΙΛΙΑΡΗ.....	21
2.1.3	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	23
2.1.4	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	25
2.1.5	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ.....	26
2.1.6	ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	27
2.1.7	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ.....	31
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	33
3.1	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	33
3.2	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ.....	36
3.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PTC	37
3.3.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARGUS ONE.....	37
3.3.2	Ο ΚΩΔΙΚΑΣ PTC.....	39
3.3.3	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ PTC.....	39
3.3.4	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ PTC	41
3.3.5	ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	42
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο.....	44
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PTC	44
4.1.1	ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	44
4.1.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	48
4.1.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	49
4.1.4	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ	50
4.1.5	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	51

4.1.6	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	54
4.1.7	ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	55
4.1.8	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	56
4.1.9	ΠΗΓΕΣ	57
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο.....	60
5.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	60
5.2	ΡΗΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ	61
5.2.1	ΡΗΓΜΑΤΑ.....	61
5.2.2	ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ.....	66
5.3	ΠΗΓΕΣ.....	67
5.4	ΠΟΤΑΜΟΣ ΚΟΙΛΙΑΡΗΣ	68
5.5	ΘΑΛΑΣΣΑ.....	70
5.6	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	71
5.7	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΨΗ.....	74
5.8	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	76
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°.....	78
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°.....	80
7.1	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Καρατζά Γεώργιο και τη Δρ. Δόκου Ζωή για την καθοδήγησή τους και την πολύτιμη συμβολή τους σε κάθε φάση δημιουργίας της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου κ. Απέργη Νικόλαο που κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, μου προσέφερε τη βοήθειά του σε ότι χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιείται η προσομοίωση της υπόγειας ροής στο κατάντι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη για την χρονική περίοδο από το Μάρτιο του 2004 μέχρι τον Ιανουάριο του 2008. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη βρίσκεται στο Νομό Χανίων κι έχει έκταση 130 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Εκτείνεται από τους πρόποδες των Λευκών Ορέων μέχρι και την παράκτια ζώνη του Δήμου Αρμένων. Η προσομοίωση της υπόγειας ροής πραγματοποιείται μέσω του μοντέλου ARGUS ONE και συγκεκριμένα με τη βοήθεια του κώδικα PTC (Princeton Transport Code). Ο κώδικας PTC αποτελεί ένα υβριδικό τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών το οποίο έχει ως στόχο την προσομοίωση της υπόγειας ροής και των υπόγειων ρύπων.

Αρχικά, παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες και εξισώσεις που αφορούν γενικά στα υπόγεια ύδατα και στη μοντελοποίησή τους και δίνεται η γενική περιγραφή της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Εν συνεχεία, περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων στο μοντέλο PTC. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη διαδικασία της προσομοίωσης καθώς και τα συμπεράσματα που εξήλθαν.

Το κυριότερο συμπέρασμα από την προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη είναι η πολύ μεγάλη επάρκεια υδατικού δυναμικού στην περιοχή, κάτι που βασίζεται στον υψηλό βαθμό καρστικοποίησης του υδροφορέα και στην ύπαρξη μεγάλων ρηγμάτων αλλά και στο μέγεθος των κατακρημνισμάτων (βροχές και χιόνια) που δέχεται η εξεταζόμενη περιοχή και κυρίως τα Λευκά Όρη που αποτελούν τους κύριους τροφοδότες των πηγών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Οι πηγές της εξεταζόμενης περιοχής τροφοδοτούν την περιοχή με μεγάλες ποσότητες νερού, ιδίως δε οι πηγές του Στύλου οι οποίες παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη εκροή σε ετήσια βάση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται και ένα μελλοντικό σενάριο το οποίο αφορά τη δεκαετία 2008- 2018 και κατά το οποίο όλες οι παράμετροι παρέμειναν ίδιες με αυτές που εισήχθησαν κατά το ξεκίνημα της προσομοίωσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού, παρατηρείται ελάχιστη πτώση στάθμης του υδροφορέα η οποία δεν είναι σημαντική και το υδατικό δυναμικό παραμένει ιδιαίτερα πλούσιο.

ABSTRACT

Simulation of ground water flow of the Koiliaris river basin is described in this thesis. The study is for the period between March 2004 and January 2008 and focuses on the downstream part of the river basin. The Koiliaris river basin is located in the prefecture of Chania with a total area of 130 square kilometers. The spring which feeds into the Koiliaris River originates from the White Mountains and extends to the coastal zone of the municipality of Armenon. The ARGUS ONE software, more precisely the PTC code (Princeton Transport Code), has been used for this research. The PTC code is a three-dimensional finite element and finite difference groundwater flow and contaminant transport simulator.

In this documented work, initially a general description of the Koiliaris River basin is given. Background information and equations with respect to groundwater and its modeling approach are presented followed by details of the procedure used in importing data into the PTC model. Finally, results of the simulation process are presented and conclusions from the detailed study and results are drawn.

The key outcome of this research is the presence of sufficient water in the particular area, which is based on the high level of karstification of the aquifer and the existence of major faults in addition to the size of precipitation (weather conditions which are rain and snow), that comes to the area within which this research was conducted from the White Mountains. The study has shown that White Mountains are the main source giving to the springs of the Koiliaris river basin and supply the area with significant amount of water. This is pre-dominantly so especially with those originating from the town of Stylos, which is the source of the highest annual water flows.

Additionally, the current thesis attempts to present a future scenario via a projection for the years 2008 to 2018 based on the key assumption that all input parameters remain similar to those used for the baseline analysis. According to the results of this scenario, minimal drawdown of the aquifer has been observed, which is deemed insignificant as the amount of water presence is considered to be unaffected.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί το βασικότερο αγαθό που υπάρχει στην φύση και αποτελεί ίσως το σημαντικότερο παράγοντα για την επιβίωση του ανθρώπου. Μέχρι πρόσφατα γινόταν αλόγιστη χρήση του, βασιζόμενη στην εσφαλμένη εντύπωση ότι το νερό στον πλανήτη είναι απεριόριστο. Λόγω, όμως, της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού της γης σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές, τα αποθέματα πόσιμου νερού ελαττώθηκαν και σε κάθε περίπτωση οι ανάγκες για μεγαλύτερη ποσότητα νερού, είτε αυτό αφορά ύδρευση είτε άρδευση, αυξήθηκαν. Κατά συνέπεια, κρίνεται εξαιρετικά αναγκαία η βέλτιστη διάθεση των υδατικών πόρων και η ορθολογική χρήση τους, στοιχεία που είναι γνωστά με τον όρο Διαχείριση Υδάτινων Πόρων.

1.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

Με τον όρο υδάτινοι πόροι σε μία περιοχή, αναφέρονται τα επιφανειακά αλλά και τα υπόγεια ύδατα αυτής. Σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/EK, τα επιφανειακά ύδατα ορίζονται ως τα Εσωτερικά ύδατα εξαιρώντας τα υπόγεια ύδατα, τα Μεταβατικά ύδατα και τα Παράκτια. Ο όρος υπόγεια ύδατα αναφέρεται στις υδάτινες ποσότητες οι οποίες υπάρχουν στο υπέδαφος και στους διάφορους υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς (Καρατζάς, 2000).

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/EK, τα εσωτερικά ύδατα είναι το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων, αλλά και τα υπόγεια ύδατα τα οποία βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων. Τα μεταβατικά ύδατα είναι τα επιφανειακά υδάτινα συστήματα τα οποία βρίσκονται πλησίον στομίων ποταμών και είναι εν μέρει αλμυρά λόγω γειτνίασης με παράκτια ύδατα, αλλά ουσιαστικά επηρεάζονται από ρεύματα γλυκού νερού. Τα παράκτια ύδατα είναι τα επιφανειακά ύδατα τα οποία απέχουν προς την θάλασσα το πολύ ένα ναυτικό μίλι, από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από το οποίο μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων. Τα παράκτια ύδατα, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι το ανώτερο όριο των μεταβατικών υδάτων.

Οι σύγχρονες κοινωνίες χρησιμοποιούν το νερό για μεταφορές αγαθών, ρυπαντικών φορτίων, για την παραγωγή ενέργειας, για τη δημιουργία πρώτης ύλης και διαφόρων αγαθών, ακόμα και για ψυχαγωγία. Η χρήση των υδάτων είναι πολύ μεγάλη άρα κατά

συνέπεια εξίσου μεγάλη και η σημασία τους. Η χρήση τους για ύδρευση νοικοκυριών και βιομηχανιών, για άρδευση αλλά και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας καθιστά σαφές το πόσο εντατική είναι η χρήση τους αλλά και το πόσο σημαντικά είναι τα οφέλη της διαχείρισης των υδάτινων πόρων σε ανθρώπινο αλλά και σε οικονομικό επίπεδο. Στην Ελλάδα, το ποσοστό ετήσιας κατανάλωσης νερού στον αγροτικό τομέα φτάνει το 87% της συνολικής κατανάλωσης (Τάτσης,2007). Όπως και στις άλλες μεσογειακές χώρες η ζήτηση του νερού αυξάνει κατά τους θερινούς μήνες, τότε που η προσφορά (διαθεσιμότητα) είναι στα χαμηλότερα επίπεδά της.

Η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων, καθίσταται σαφές ότι είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς μείωση των αποθεμάτων ή ρύπανση αυτών λόγω έλλειψης επιστημονικής γνώσης και ανάλογων πρακτικών, θα επιφέρουν ζημιά στο οικοσύστημα και στον άνθρωπο, καθώς αποτελεί το βασικό αγαθό για την επιβίωσή του.

1.3 Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο υδρολογικός κύκλος ή διαφορετικά ο κύκλος του νερού, αφορά στην παρουσία του νερού στην επιφάνεια της γης και στο υπέδαφος και στον τρόπο κυκλοφορίας του. Η κατανόησή του είναι απαραίτητη για τη μελέτη των υπογείων υδάτων.

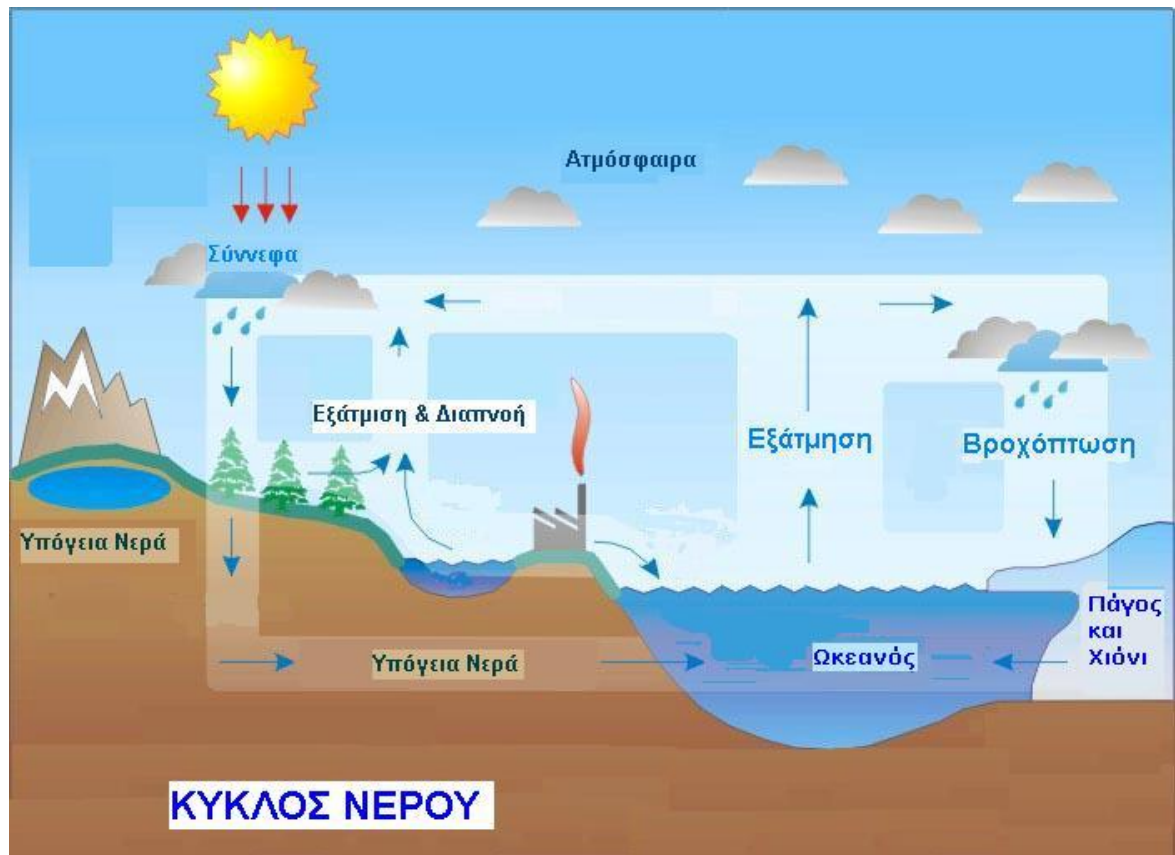
Το νερό στη γη βρίσκεται σε μία μόνιμη κίνηση αλλά και σε συνεχείς μεταβολές της μορφής του από υγρό σε πάγο ή αέρια μορφή και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού πραγματοποιείται εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια και η ζωή στη γη χωρίς αυτόν θα ήταν αδιανόητη.

Ο υδρολογικός κύκλος, καθώς πρόκειται για μία κυκλική διεργασία, δεν έχει αρχή. Έχει επικρατήσει ωστόσο να ξεκινάει από την θάλασσα. Ο ήλιος θερμαίνει το νερό στις θάλασσες και τους ωκεανούς και αυτό με την σειρά του εξατμίζεται, οπότε και δημιουργούνται υδρατμοί στην ατμόσφαιρα της γης. Εξάτμιση πραγματοποιείται και από τις λίμνες και τα ποτάμια. Υδρατμοί στην ατμόσφαιρα εμφανίζονται και από τη διαπνοή των φυτών, ωστόσο επειδή η εξάτμιση από το έδαφος δεν είναι εύκολα αντιληπτή έχει ονομαστεί εξατμισοδιαπνοή. Άλλη αιτία εμφάνισης υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι από τη μετατροπή μορίων από πάγους και χιόνια σε υδρατμούς, δηλαδή από την απευθείας μετατροπή από την στερεή μορφή σε αέρια, φαινόμενο που ονομάζεται εξάχνωση.

Τα ανοδικά ρεύματα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας, όπου λόγω της χαμηλής πίεσης που επικρατεί άρα σαν αποτέλεσμα και της χαμηλής θερμοκρασίας, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και μετατρέπεται σε σύννεφα. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται γιατί λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας ο αέρας δεν μπορεί πλέον να κρατήσει ολόκληρη τη μάζα των υδρατμών.

Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω από την υδρόγειο και κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης τα μόρια των υδρατμών συγκρούονται μεταξύ τους και τα σύννεφα μεγαλώνουν, οπότε και πέφτουν στη γη με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Η πιο συνήθης μορφή κατακρημνισμάτων είναι η βροχή, ωστόσο υπάρχουν και άλλες όπως οι πάγοι και τα χιόνια. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει στους ωκεανούς. Από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων που πέφτει στην στεριά, ένα σημαντικό μέρος πηγαίνει και αυτό στους ωκεανούς λόγω της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Το μεγαλύτερο μέρος της επιφανειακής απορροής πηγαίνει στους ωκεανούς μέσω των ποταμών με τη μορφή υδατορευμάτων. Επίσης, μέρος της επιφανειακής απορροής πηγαίνει στις λίμνες, οι οποίες μαζί με τα ποτάμια αποτελούν τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Το νερό των κατακρημνισμάτων μπορεί να βρει δίοδο και στο έδαφος μέσω της διήθησης σχηματίζοντας έτσι το υπόγειο νερό. Μέρος αυτού βρίσκει έξοδο προς τα επιφανειακά ύδατα και τους ωκεανούς, όπου γίνεται εκφόρτιση υπόγειου νερού. Αν το νερό αυτό βρει δίοδο στην επιφάνεια της γης, τότε εκφορτίζεται μέσω των πηγών. Σημαντική ποσότητα του νερού που έχει εισέλθει στο έδαφος, πηγαίνει ακόμα βαθύτερα και παραμένει στους υπόγειους υδροφορείς όπου εκεί μπορεί να παραμείνει για μεγάλα χρονικά διαστήματα και κινείται συνεχώς έως στην στιγμή που μέρος του θα ξαναεισέλθει στους ωκεανούς και θα ξαναρχίσει τον κύκλο του (Howard Perlman, USGS).



Εικόνα 1: Ο υδρολογικός κύκλος (<http://www.devat.gr>).

1.4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

Τα υπόγεια ύδατα εμφανίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στην ακόρεστη ζώνη και στην κορεσμένη ζώνη.

- Ακόρεστη ζώνη είναι η ζώνη του υπεδάφους όπου οι εδαφικοί πόροι καταλαμβάνονται από νερό και αέρα συγχρόνως.
- Στην κορεσμένη ζώνη, όλοι οι πόροι είναι πλήρεις ύδατος και βρίσκονται κάτω από υδροστατική πίεση. Η άνω επιφάνεια και όριο της κορεσμένης ζώνης είναι ο υδροφόρος ορίζοντας όπου η υδροστατική πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική (Καρατζάς, 2000).

Ο υδροφορέας είναι ένας υπεδάφιος σχηματισμός που περιέχει σημαντικές ποσότητες διαπερατών υλικών τα οποία είναι κορεσμένα με ύδωρ και προμηθεύουν με νερό

φρέατα και πηγές. Οι περισσότεροι υδροφορείς εκτείνονται σε μεγάλες εκτάσεις. Μπορεί κάποιος να τις θεωρήσει ως τεράστιες υπόγειες δεξαμενες.

Οι υδροφορείς ταξινομούνται ως ελεύθεροι και περιορισμένοι αναλόγως την θέση που βρίσκεται ο υδροφόρος ορίζοντας.

- Ο ελεύθερος υδροφορέας ή φρεάτιος, έχει ως ανώτερη επιφάνεια τον υδροφόρο ορίζοντα και η υδροστατική πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική (Καρατζάς, 2000). Οι μεταβολές της στάθμης του νερού στον ελεύθερο υδροφορέα εξαρτώνται από τη μεταβολή του όγκου του νερού που είναι αποθηκευμένο σε αυτόν. Οι ελεύθεροι υδροφορείς βρίσκονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, εκεί όπου δεν υπάρχει μεταξύ τους κάποιο στρώμα πετρωμάτων που να εμποδίζει την επαφή τους. Η τροφοδότηση ενός ελεύθερου υδροφορέα γίνεται είτε λόγω βροχής, είτε μέσω κάποιου ποταμού ή λίμνης. Η τροφοδοτήσή του γίνεται κατευθείαν από την επιφάνεια του εδάφους μέσω του φρεάτιου ορίζοντα (Fidelibus, 2003).
- Ο περιορισμένος υδροφορέας ή αρτεσιανός ή υπό πίεση, είναι κορεσμένος σε όλο το πάχος του και περιέχει νερό υπό πίεση η οποία είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Περιορίζεται στην άνω και κάτω επιφάνεια από αδιαπέρατα στρώματα (Καρατζάς, 2000).

Οι δύο κατηγορίες που αναφέρθηκαν είναι κατά κάποιο τρόπο εικονικές. Στην πραγματικότητα μπορεί να υπάρχει συνδυασμός των δύο, δηλαδή το ένα είδος υδροφορέα να παρουσιάζει κατά τόπους χαρακτηριστικά του άλλου (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

1.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν έναν υδροφορέα είναι :

- Το πορώδες (porosity), (n), που είναι το ποσοστό του πετρώματος ή του εδάφους που δεν καταλαμβάνεται από στερεά υλικά (κενοί πόροι) και ορίζεται ως

$$n = \frac{V_v}{V_0} \quad (1)$$

Όπου

V_v είναι ο όγκος των κενών

V_0 είναι ο συνολικός όγκος του δείγματος.

Το πορώδες επηρεάζεται από την κοκκομετρική σύνθεση, τη διάταξη των κόκκων και το σχήμα των κόκκων. Μια διαφορετική έκφραση του πορώδους είναι το ενεργό πορώδες (n_e), που είναι το ποσοστό των πόρων που είναι διαθέσιμο εφόσον ένα ποσοστό των πόρων i δεν επικοινωνεί μεταξύ τους. Ορίζεται ως

$$n_e = \frac{V_\gamma}{V_0} \quad (2)$$

Όπου

V_γ είναι ο όγκος του νερού που περιέχεται εντός των ενεργών πόρων και

V_0 είναι ο συνολικός όγκος του δείγματος.

- Η υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity) (K), η οποία είναι η έκφραση της ευκολίας ή της δυσκολίας με την οποία ένα ρευστό ρέει διαμέσου δομικών κενών ενός στερεού μέσου. Εξαρτάται από το πορώδες μέσο αλλά και από το ρευστό.
- Η διαπερατότητα (permeability) (k), η οποία καθορίζει την ικανότητα ενός εδαφικού σχηματισμού να άγει νερό. Δεν σχετίζεται καθόλου με το ίδιο το ρευστό και τις ιδιότητές του και είναι αποκλειστικά ιδιότητα του υλικού. Η εξίσωση που διέπει τη διαπερατότητα είναι :

$$k = \frac{K\mu}{\rho g} \quad (3)$$

Όπου

K η διαπερατότητα (L^2)

K η υδραυλική αγωγιμότητα (L/T)

ρ η πυκνότητα του ρευστού (M/L^3)

μ το ιξώδες του ρευστού ($M/L*T$)

g η επιτάχυνση της βαρύτητας (M/T^2)

- Η αποθηκευτικότητα (storativity) (S), που εκφράζει την σχέση μεταξύ των αλλαγών στην ποσότητα του αποθηκευμένου ύδατος σε έναν υδροφόρο και

των αλλαγών που πραγματοποιούνται στη στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας για περιορισμένο υδροφορέα ή στον υδροφόρο ορίζοντα για ελεύθερο υδροφορέα. Η αποθηκευτικότητα συναντάται αλλιώς με τον όρο συντελεστής αποθήκευσης (coefficient of storage) (Bear, 1988). Ο συντελεστής αποθήκευσης είναι αδιάστατο μέγεθος και κυμαίνεται από 0,0001 έως 0,01 για περιορισμένους υδροφορείς και από 0,15 έως 0,6 για ελεύθερους υδροφορείς (Καρατζάς, 2000).

- Η μεταβιβασιμότητα (transmissivity) (T), που εκφράζει την εξάρτηση της ικανότητας του υδροφορέα να μεταβιβάζει το υπόγειο νερό από το πάχος και τις υδραυλικές αγωγιμότητες των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που συναντώνται στον υδροφορέα. Εκφράζεται μέσα από την εξίσωση

$$T = Kb \quad (4)$$

Όπου

T η μεταβιβασιμότητα

K η μέση υδραυλική αγωγιμότητα

b το πάχος του υδροφορέα (Karanth, 1987).

- Η ομοιογένεια και η ισοτροπία ενός υδροφορέα, είναι έννοιες οι οποίες σχετίζονται με την υδραυλική αγωγιμότητά του. Όταν η υδραυλική αγωγιμότητα σε έναν υδροφορέα είναι ίδια σε όλα τα σημεία του τότε καλείται ομοιογενής, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ανομοιογενής. Όταν η υδραυλική αγωγιμότητα σε έναν υδροφορέα μεταβάλλεται ανάλογα με την κατεύθυνση τότε καλείται ανισότροπος, ενώ στην περίπτωση που δε μεταβάλλεται καλείται ισότροπος (Fidelibus, 2003).

1.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ-NΟΜΟΣ DARCY

Ο Henry Darcy, Γάλλος μηχανικός υδραυλικής, μελέτησε το 1856 τη ροή του ύδατος διαμέσου οριζοντίων στρωμάτων άμμου και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός της ροής Q/A , διαμέσου πορώδους, είναι ανάλογος των απωλειών φορτίου, ανάλογος ενός συντελεστή K που χαρακτηρίζει το πορώδες υλικό και αντιστρόφως ανάλογος του μήκους πορείας της ροής. Η μαθηματική διατύπωση του νόμου του Darcy δίνεται στην εξίσωση (5).

$$\frac{Q}{A} = - \frac{K \Delta h}{L} \quad (5)$$

Όπου

Q η παροχή (L^3/T)

A η επιφάνεια (L^2)

K η υδραυλική αγωγιμότητα

L το μήκος της στήλης (L)

q η ταχύτητα του Darcy ή ειδική παροχή (L/T), όπου $q=Q/A$.

Το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η ταχύτητα της ροής είναι προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται το φορτίο, δηλαδή η ροή πραγματοποιείται από περιοχές υψηλότερου προς περιοχές χαμηλότερου υδραυλικού φορτίου. Η έκφραση $\Delta h/L$ συνήθως εμφανίζεται με τη γενική της μορφή ως $\Delta h/dL$ και ονομάζεται υδραυλική κλίση (hydraulic gradient).

Ο νόμος του Darcy, ισχύει για στρωτή ροή (laminar flow) και όχι για τυρβώδη ροή (turbulent flow), δηλαδή για αριθμούς Reynolds $Re < 1$ αλλά έχει παρατηρηθεί ότι ισχύει και για $Re=10$, όπου η ροή είναι και πάλι στρωτή με εξαίρεση τη ροή σε άργιλο, χωρίς να υπάρχει κάποιο σημαντικό σφάλμα. Όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα ο νόμος του Darcy μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς καμία προϋπόθεση αφού η ροή τους συμβαίνει με $Re < 1$ (Καρατζάς, 2000). Ο νόμος του Darcy δεν ισχύει για την ακόρεστη ζώνη λόγω της μονοφασικής ροής που επικρατεί εξαιτίας της παρουσίας αέρα σε αυτήν, αλλά κατά κανόνα δεν ισχύει ούτε στα καρστικά συστήματα λόγω των μεγάλων ταχυτήτων ροής που εμφανίζουν αλλά και της ανισοτροπίας και ανομοιογένειας που παρουσιάζουν (Datei, 1999). Επίσης, πρέπει να πληρούνται κατάλληλες προϋποθέσεις για την χρήση του στις περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη υδραυλική κλίση όπως για παράδειγμα κοντά σε γεωτρήσεις άντλησης και στις περιπτώσεις όπου υπάρχει τυρβώδης ροή όπως λόγου χάρη όταν υπάρχει βασάλτης ή ασβεστόλιθος με μεγάλα ανοίγματα (Καρατζάς, 2000).

1.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Το νερό αποτελεί μοναδικό φυσικό πόρο αν αναλογιστεί κανείς ότι αποτελεί βασικό αγαθό για την επιβίωση του ανθρώπου καθώς και ότι η ποσότητά του σε κάθε περιοχή παραμένει σχετικά σταθερή. Ωστόσο, καθώς η διαχείρισή του νερού, όπως και κάθε άλλου φυσικού αγαθού, βασίζεται σε τεχνοκρατικά κριτήρια αλλά και στην οικονομική ανάπτυξη κάθε χώρας, έχουν παρουσιαστεί αρκετά προβλήματα με το πέρασμα του χρόνου τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητα αυτού, φαινόμενο που παρατηρείται ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες περιοχές.

Το νερό το οποίο είτε προέρχεται από τη βροχή είτε από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στο έδαφος, αποτελούν τον κύριο παράγοντα μεταφοράς ουσιών σε αυτό. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και μέσω της ακόρεστης ζώνης μεταφέρεται στους υπόγειους υδροφορείς. Ανάλογα με τις συνθήκες της ροής που επικρατούν στον υπόγειο υδροφορέα, το νερό ακολουθεί διάφορες κατευθύνσεις. Έτσι, το ρυπασμένο νερό μπορεί με το πέρασμα του χρόνου να βελτιώσει την ποιότητά του μέσα στον υδροφορέα, είτε να οδηγηθεί προς φρεάτια, είτε να εξέλθει στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα, όπως είναι τα ποτάμια, οι λίμνες και η θάλασσα.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και των χρήσεων του νερού παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητάς του. Η αναγνώριση των αποτελεσμάτων αυτών χρειάστηκε πολλά χρόνια για να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο όπως και να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και ενέργειες. Λόγω της μεγάλης βιομηχανικής ανάπτυξης στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, παρατηρήθηκε μεγάλη εποχιακή μείωση οξυγόνου, γεγονός που οφειλόταν στην υπερφόρτωση των ποταμών από αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης (Αντωνόπουλος, 2001). Αυτό συνετέλεσε στη γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών των ποταμών, στην οποία μετέπειτα συνέβαλαν και άλλα προβλήματα όπως ο ευτροφισμός, η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και μικρορύπων, οξίνιση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών .

Στη δεκαετία του 1970, η αύξηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα ιζήματα των νερών των λιμνών και των ποταμών οδήγησε σε επιπλέον προβλήματα. Ιδιαίτερα ο υδράργυρος και ο μόλυβδος που αποτελούν τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα, προκάλεσαν την ανάγκη επέμβασης του ανθρώπου στις πηγές τους καθώς ακόμα και σήμερα διατηρούνται τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν. Η ύπαρξή τους είναι έως σήμερα φανερή στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα, προκαλώντας προβλήματα

στα ψάρια και γενικότερα στα οικοσυστήματα και στην υγεία του ανθρώπου (Αντωνόπουλος, 2001).

Άλλα σημαντικά προβλήματα ρύπανσης που παρατηρήθηκαν παγκοσμίως είναι:

- η παρουσία νιτρικών σε υπόγεια κι επιφανειακά νερά σε τιμές πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια, γεγονός που οφείλεται στην εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και στερεών αποβλήτων,
- η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου που οφείλεται στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα,
- η αύξηση της στάθμης της θάλασσας από το λιώσιμο των πάγων στους πόλους,
- η παρουσία έντονων πλημμυρών λόγω της αύξησης της ραγδιότητας των βροχών
- και η ερημοποίηση νέων εκτάσεων λόγω αλλαγής του κλίματος.

Ειδικότερα, στην Ελλάδα, τα φαινόμενα ρύπανσης των υδάτων παρατηρήθηκαν με διαφορετική ένταση και σε διαφορετικούς χρόνους από ότι συνέβη στη Βόρεια Ευρώπη. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν, όμως, και στην Ελλάδα έντονα προβλήματα ρύπανσης, φαινόμενο που οφείλεται στην απότομη αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα, στην ανεξέλεγκτη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στη γεωργία, στη μεταφορά ρύπων από άλλες περιοχές και στην έλλειψη συστηματικού ελέγχου. Αυτοί οι παράγοντες έφεραν την Ελλάδα αντιμέτωπη με προβλήματα δεύτερης και τρίτης γενιάς την στιγμή που ακόμα δεν έχουν αντιμετωπιστεί τα απλά προβλήματα ρύπανσης. Στην Ελλάδα, περίπου το 85% του νερού προς κατανάλωση χρησιμοποιείται για άρδευση, ενώ σχεδόν το 50% αυτού χάνεται κατά τη μεταφορά λόγω της κακής κατάστασης των αρδευτικών δικτύων ή λόγω ακατάλληλων τεχνικών. Ο αγροτικός τομέας, επίσης, έχει συνδράμει κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην υποβάθμιση των υπόγειων αλλά και των επιφανειακών νερών μέσω της χρήσης φυτοφαρμάκων, αγροχημικών κλπ. (Δερματας,-).

Άλλο σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης που εντοπίζεται στην Ελλάδα είναι η διείσδυση θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς. Με τον όρο διείσδυση του θαλασσινού νερού, εννοείται ο εμπλουτισμός του υπόγειου-γλυκού νερού με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Κύρια πηγή του άλατος του χλωριούχου νατρίου αποτελεί η θάλασσα, καθώς και τα κοιτάσματα ορυκτού άλατος. Το τελευταίο ωστόσο δεν παρατηρείται συχνά στην Ελλάδα. Η υφαλμύριση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπεράντληση των γεωτρήσεων οι οποίες βρίσκονται είτε κοντά είτε μακριά από παράκτιες περιοχές, αλλά και στην ακατάλληλη χωροθέτησή τους π.χ. πολύ κοντά στην ακτογραμμή. Σημαντικός λόγος

εμφάνισης της υφαλμύρισης είναι και η μείωση των βροχοπτώσεων, πρόβλημα που τείνει να αυξηθεί με τα χρόνια (Δασκαλάκη, 2008).

Η εκτίμηση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων γίνεται με μαθηματικές εξισώσεις και μοντέλα που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας και τους μετασχηματισμούς και τις αλληλεπιδράσεις με τα στερεά του εδάφους στην κορεσμένη και στην ακόρεστη ζώνη (Αντωνόπουλος, 2001).

Οι πηγές ρύπανσης των υπογείων υδάτων χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες :

- Σημειακές πηγές που είναι οι βιομηχανίες, οι χωματερές, τα φρεάτια, οι βιοτεχνίες, οι σταθμοί επεξεργασίας λυμάτων κλπ.
- Μη σημειακές πηγές που προέρχονται από τη γεωργία, τη διάβρωση πετρωμάτων, την εισροή θαλασσινού νερού όταν γίνονται υπεραντλήσεις σε παράκτιους υδροφορείς κλπ., και πρόκειται για εξαιρετικά πιο δύσκολα προβλήματα στο να αντιμετωπιστούν.

Οι σπουδαιότεροι ρύποι εδαφών και υπογείων νερών είναι οι εξής:

- Βαρέα μέταλλα όπως χαλκός, σίδηρος, μαγγάνιο, ραδιενεργά απόβλητα, αρσενικό, χρώμιο, μόλυβδος, κάδμιο.
- Συνθετικές οργανικές χημικές ουσίες όπως οργανικοί διαλύτες, βιομηχανικά απόβλητα, αντιβιοτικά, εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα.
- Παθογόνα μικρόβια που μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες όπως πχ. δυσεντερία.
- Νιτρικά ιόντα από λιπάσματα, βόθρους και υπονόμους.
- Άλατα από υφαλμύρωση, είσοδο της θάλασσας σε υπόγειους υδροφορείς η εκχιονισμό οδοστρωμάτων (Δερματάς,-).

1.8 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη κατά την περίοδο 2004-2008 και η μελέτη της υπόγειας ροής κατά την επόμενη δεκαετία, δηλαδή μέχρι το 2018. Στόχος είναι η μελέτη της επάρκειας του υδατικού δυναμικού στην περιοχή. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, αποτελεί μια περιοχή πλούσια σε νερό, με πηγές ιδιαίτερα σημαντικές οι οποίες τροφοδοτούνται κατά κύριο λόγο από τα Λευκά Όρη και έχουν πολύ μεγάλες εκροές. Η ύπαρξη μεγάλων ρηγμάτων στην περιοχή σε συνδυασμό με το μεγάλο ιδατικό ισοζύγιο καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα την προσομοίωση της περιοχής. Η προσομοίωση γίνεται με

χρήση του μοντέλου υπόγειας ροής ARGUS ONE και συγκεκριμένα τον κώδικα PTC. Τη δεκαετία 2008-2018 πραγματοποιήθηκαν διάφορα πιθανά σενάρια όμως λόγω προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν στο μοντέλο, τελικά στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το αποτέλεσμα ενός μελλοντικού σεναρίου. Στο σενάριο αυτό, θεωρείται ότι όλοι οι παράμετροι οι οποίοι εισήχθησαν την περίοδο 2004-2008 παραμένουν σταθεροί και την επόμενη δεκαετία χωρίς να υπάρξει μεταβολή στην τιμή τους.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

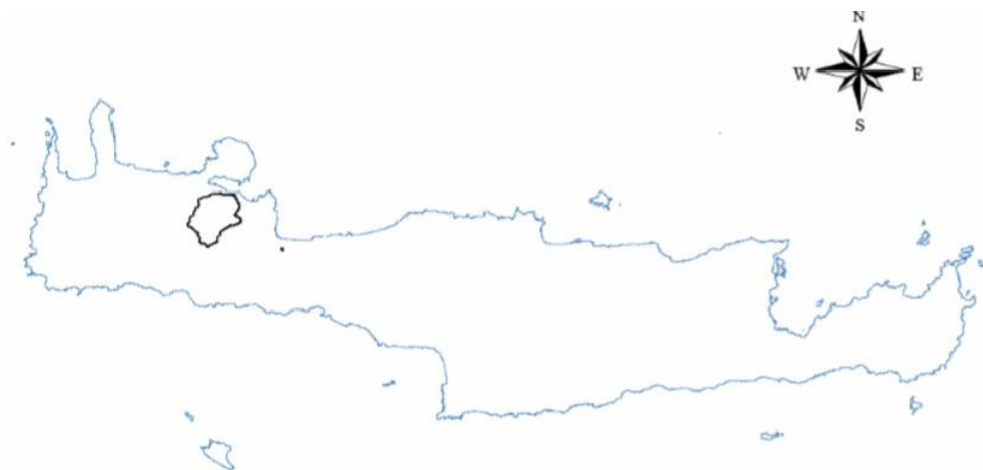
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

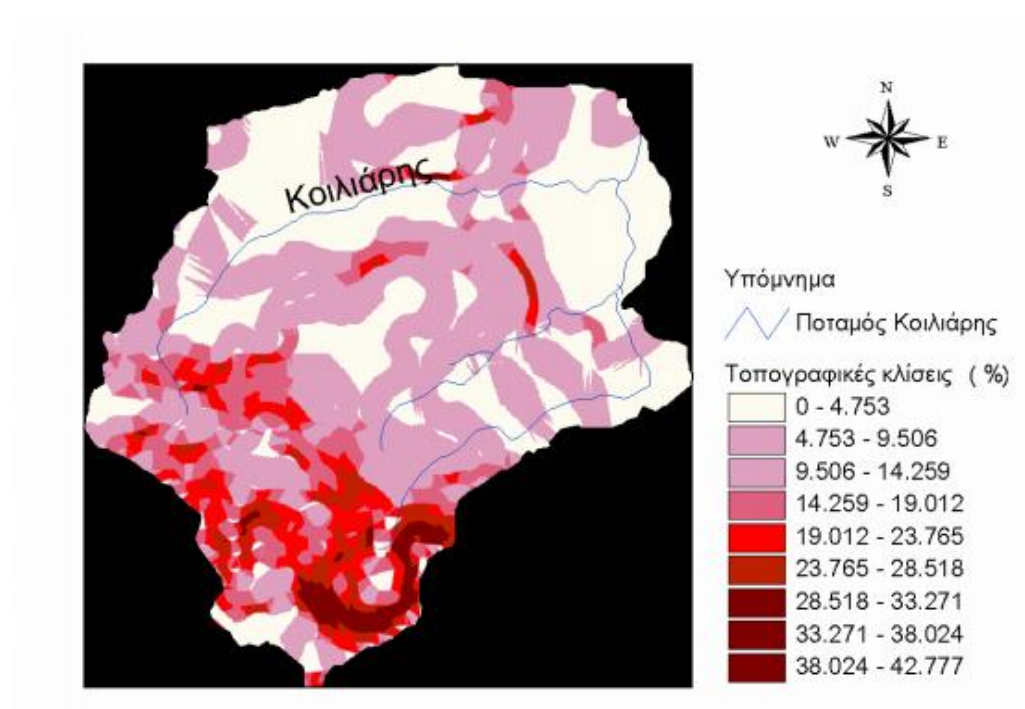
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη βρίσκεται στο Νομό Χανίων, 15 χμ. ανατολικά της πόλης των Χανίων και η έκταση που καταλαμβάνει είναι 130 τετραγωνικά χμ. Εκτείνεται από τους πρόποδες των Λευκών Ορέων μέχρι την παράκτια ζώνη του Δήμου Αρμένων. Ο ποταμός Κοιλιάρης, όπως και οι περισσότερες λεκάνες απορροής στο νομό Χανίων, τροφοδοτείται από τα Λευκά Όρη και το υδρογραφικό του δίκτυο έχει μήκος 36 χμ. Αποτελείται από 4 παραποτάμους, τους Κεραμιώτης, Αναβρέτης, Μυλαυλακός και Μανταμάς. Οι 2 πρώτοι χαρακτηρίζονται ως προσωρινά υδατορεύματα, ενώ οι 2 τελευταίοι χαρακτηρίζονται ως μόνιμα υδατορεύματα καθώς έχουν μόνιμη ροή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους και τροφοδοτούνται από τις πηγές του Στύλου. Αφού οι παραπόταμοι ενωθούν και μέχρι τις εκβολές του ποταμού Κοιλιάρη το μήκος του είναι 3,3 χμ.

Γενικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται ομαλή με μικρές τοπογραφικές κλίσεις της τάξεως του 12%. Ωστόσο, παρατηρείται και μία αρκετά μεγάλη κλίση της τάξεως του 43% στους πρόποδες των Λευκών Ορέων (Νικολαΐδης κ.α., 2010). Στην πεδινή περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη οι κλίσεις είναι πολύ μικρές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στην περιοχή των πηγών του Στύλου, έπειτα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση θεοδόλιχου η κλίση είναι της τάξεως του 1-2 % ενώ στο βόρειο τμήμα του ποταμού, στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου και συγκεκριμένα στο σημείο που ενώνονται όλοι οι παραπόταμοι του ποταμού Κοιλιάρη, η κλίση υπολογίστηκε ίση με 0,6% (Λίλλη, 2011). Το μεγαλύτερο υψόμετρο της λεκάνης απορροής εμφανίζεται στα 2041 μέτρα στα Λευκά Όρη (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

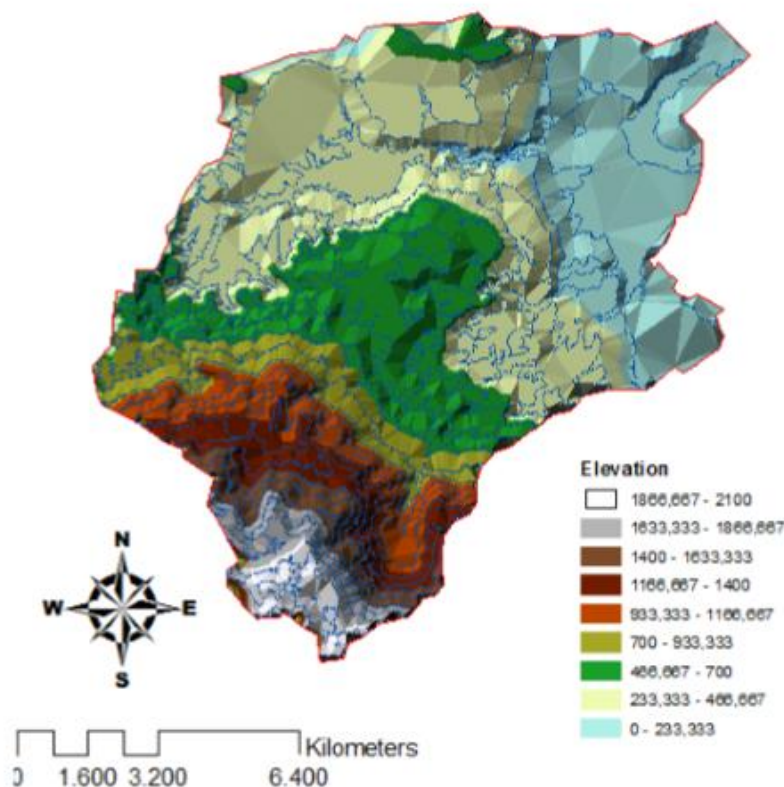
Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, ενώ στις εικόνες 3 και 4 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι τοπογραφικές κλίσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη και το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής με χρήση GIS.



Εικόνα 2: Γεωγραφική θέση λεκάνης απορροής Κοιλιάρη (Καλογεράκη, 2009).



Εικόνα 3 :Τοπογραφικές κλίσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (Χατζηθεοχάρους, 2005).



Εικόνα 4: Τοπογραφικό ανάγλυφο λεκάνης απορροής Κοιλιάρη (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

2.1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη απαντώνται κυρίως οι εξής γεωλογικοί σχηματισμοί:

- Ανθρακικά πετρώματα.

Τα ανθρακικά πετρώματα συναντώνται στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής δηλαδή στο νότιο τμήμα των κοινοτήτων Ράμνης, Κάμπων, Πλατυβόλα, Δρακόνα, Μελιδονίου, Καρών και την κοινότητα Ανωπόλεως.

Ανθρακικά πετρώματα συναντώνται και στο βόρειο- κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Τα καρστικά πετρώματα είναι πολύ υδροπερατά και απαρτίζονται από ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα. Ο ασβεστόλιθος

αποσαθρώνεται χημικά λόγω της επίδρασης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και τον σχηματισμό ανθρακικού οξέος σε συνδυασμό με το νερό. Έτσι δημιουργεί ασυνέχειες και κενά (δολίνες) (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

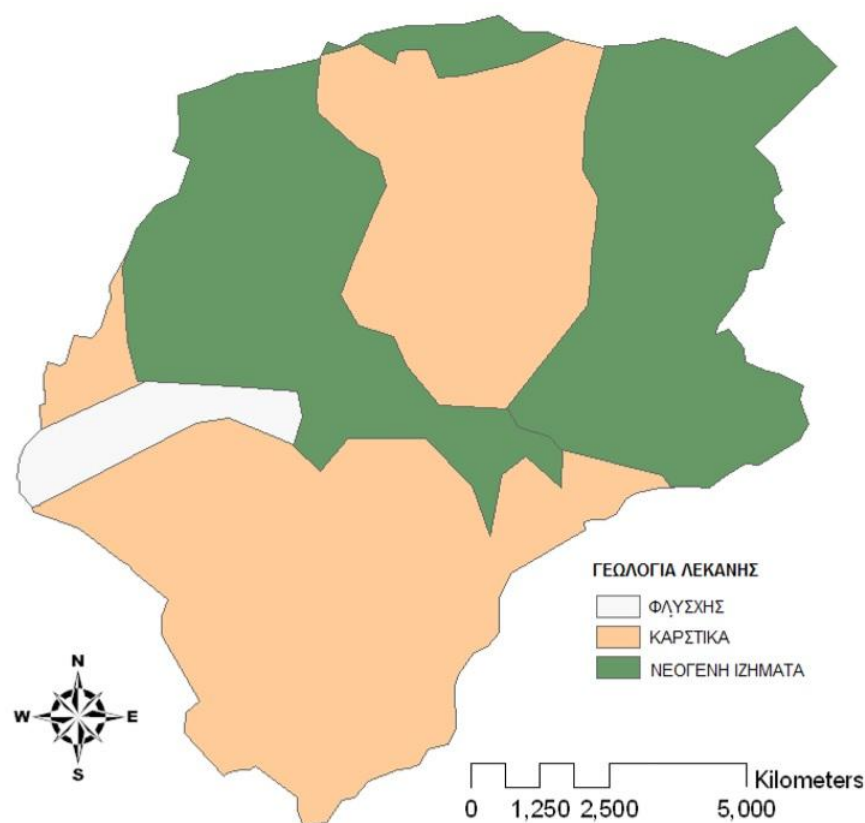
- Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.
Απαντώνται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής. Σε αυτό περιλαμβάνονται η κοινότητα Πεμονίων, Μαχαιρών, Παιδοχωρίου, Νέου χωριού και Καλυβών. Συναντώνται, επίσης, στο βόρειο τμήμα παραλιακά της λεκάνης αλλά και στο βορειοδυτικό. Είναι, επίσης, υδροπερατοί σχηματισμοί (Καλογεράκη, 2009).
- Φλύσχης.
Εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης και ειδικότερα στην κοινότητα της Δρακόνας-Θερίσου-Πλατυβόλα. Ο Φλύσχης απαρτίζεται κυρίως από μάργα, ψαμμίτη, αργιλικό σχιστόλιθο και ιλυόλιθο, ωστόσο μπορεί να εμφανιστούν και άργιλοι, ασβεστόλιθοι κ.α. (Καλογεράκη, 2009).

Τα ανθρακικά πετρώματα απαρτίζουν τους καρστικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή, οι οποίοι είναι έντονα υδροπερατοί. Λόγω των έντονων κατακρημνίσεων στην περιοχή και τη μεταφορά τους μέσω των μαργαικών ασβεστόλιθων δημιουργούνται υδροφορείς που τροφοδοτούν τις πηγές Στύλου, Ζούρμπου, Αρμένων, Αναβρετής κ.α. που εκφορτίζουν στη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη.

Δυτικά της πεδινής έκτασης του ποταμού Κοιλιάρη εντοπίζονται ρήγματα στα οποία εκφορτίζουν υφάλμυρες πηγές γι' αυτό και στις εκβολές του ποταμού Κοιλιάρη εμφανίζονται μεγάλες συγκεντρώσεις χλωριόντων. Εκτός από τα ρήγματα συναντώνται και γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από μαργαικούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους οι οποίοι προέρχονται από τη ζώνη Τριπόλεως (Λίλλη, 2011).

Οι κύριοι υδροφορείς της περιοχής είναι :

- Ο καρστικός υδροφορέας στο νότιο τμήμα της λεκάνης (Λευκά Όρη)
- Ο προσχωματικός υδροφορέας που εκτείνεται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης (Νικολαΐδης κ.α., 2010).



Εικόνα 5 : Γεωλογικοί σχηματισμοί στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλάρη (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

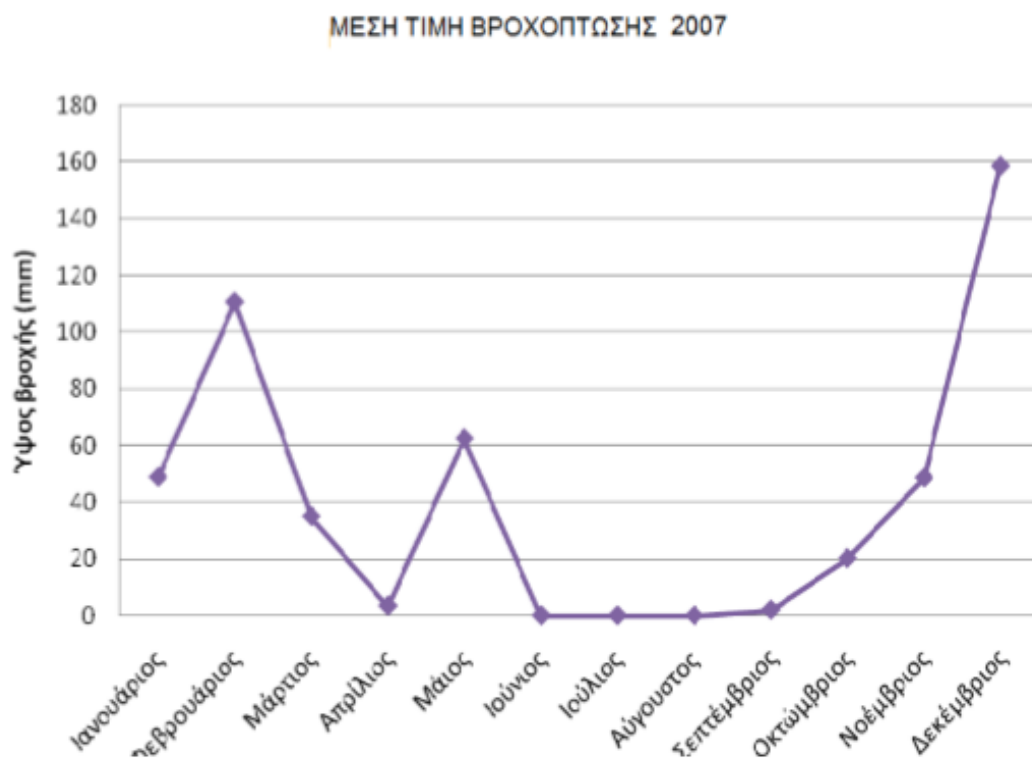
2.1.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το κλίμα της περιοχής είναι γενικά μεσογειακό, με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Πιο αναλυτικά:

- Ο χειμώνας ξεκινάει από το μήνα Νοέμβριο, το πρώτο ή το δεύτερο δεκαήμερο αυτού και διαρκεί μέχρι και το μήνα Μάρτιο.
- Η άνοιξη διαρκεί μόνο από Απρίλιο μέχρι αρχές Μαΐου και χαρακτηρίζεται από μικρές βροχοπτώσεις.
- Το καλοκαίρι ξεκινάει μέσα του μήνα Μαΐου και διαρκεί μέχρι και τέλος Σεπτεμβρίου και χαρακτηρίζεται από ελάχιστες βροχοπτώσεις.
- Το Φθινόπωρο αρχίζει τέλη Σεπτεμβρίου μέχρι αρχές Νοέμβρη.

Τα χιόνια αποτελούν σπάνιο φαινόμενο στην περιοχή. Τους μήνες Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο το κλίμα χαρακτηρίζεται ως υπέρξηρο σύμφωνα με την κλίμακα Lang και Gracani. Χιόνια παρατηρούνται στα ορεινά της εξεταζόμενης περιοχής και ειδικότερα στα Λευκά Όρη, που καλύπτονται με χιόνι γύρω στα μέσα Δεκεμβρίου, οπότε καλυμμένα με χιόνι εμφανίζονται τα υπερκείμενα υψώματα της λεκάνης απορροής. Σπάνια παρατηρούνται παγετοί στην περιοχή, ενώ χαλάζι πέφτει επίσης πολύ σπάνια και σε μικρό μέγεθος, οπότε τα δύο αυτά φαινόμενα δεν αποτελούν κίνδυνο για τυχόν ζημιές στην περιοχή.

Στην εικόνα 6, δίνεται διάγραμμα με τη μέση τιμή του ύψους των βροχοπτώσεων κατά το έτος 2007, σύμφωνα με μετρήσεις που αντλήθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας (ο οποίος βρίσκεται σε ύψος 150 μέτρων), (Νικολαΐδης κ.α., 2010).



Εικόνα 6: Μέση τιμή βροχόπτωσης για το έτος 2007 (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι οι μήνες Ιούνιος- Ιούλιος- Αυγустος- Σεπτέμβριος είναι οι πιο ξηροί με μέση τιμή ύψους βροχόπτωσης σχεδόν μηδέν, ενώ ο μήνας Δεκέμβριος φαίνεται να είναι ο πιο υγρός μήνας καθώς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή ύψους βροχόπτωσης κοντά στα 160 mm. Ο Απρίλιος φαίνεται επίσης να είναι ένας αρκετά ξηρός μήνας με μέσο ύψος βροχόπτωσης μεταξύ 0-5 mm.

Το κλίμα της περιοχής επηρεάζεται από δύο βασικούς παράγοντες :

- Τους βόρειους ανέμους που πνέουν στο Κρητικό πέλαγος, οι οποίοι είναι ισχυροί κατά το χειμώνα και ασθενείς κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου και
- Το Ιόνιο πέλαγος ως προς τη βροχερότητα, καθώς από εκεί έρχονται τα βροχερά νέφη (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

2.1.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Ο ποταμός Κοιλιάρης τροφοδοτείται κυρίως από το καρστικό ασβεστολιθικό σύστημα των Λευκών Ορέων. Ειδικότερα, ο Κοιλιάρης τροφοδοτείται από τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρυπαλίου και τους πλακώδεις ασβεστόλιθους και σε μικρότερο βαθμό από τους μαργαικούς ασβεστόλιθους του νεογενούς που βρίσκονται σε άμεση τεκτονική επαφή με το παλαιότερο καρστικό σύστημα (Καλογεράκη, 2009).

Ο ποταμός Κοιλιάρης τροφοδοτείται επίσης από τους μαργαικούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς, από τους οποίους υπάρχει άμεση απορροή. Οι πηγές που αναβλύζουν στην περιοχή εμφανίζονται στα σημεία επαφής των μαργαικών ασβεστόλιθων με τις αλλουβιακές προσχώσεις (Βοζινάκης, 2003, Κνιθάκης 1993).

Λόγω της περατότητας των πετρωμάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη σε συνδυασμό με τη γενική δομή των Λευκών Ορέων, δημιουργείται μία πληθώρα υπόγειων υδροφόρων στην περιοχή με πλούσιο υδατικό δυναμικό, στο οποίο συντελούν σε μεγάλο βαθμό και τα πλούσια κατακρημνίσματα που δέχεται το ορεινό συγκρότημα (Κνιθάκης, 1993).

Περισσότερα στοιχεία για την υδρογεωλογία της περιοχής παρουσιάζονται αναλυτικά στο πέμπτο κεφάλαιο.

2.1.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

Οι σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις για την υπό εξέταση περιοχή είναι

- Οι σημειακές πηγές ρύπανσης
- Οι μη σημειακές ή διάχυτες πηγές ρύπανσης
- Οι αντλήσεις υδατικών ποσοτήτων (υπόγεια νερά)

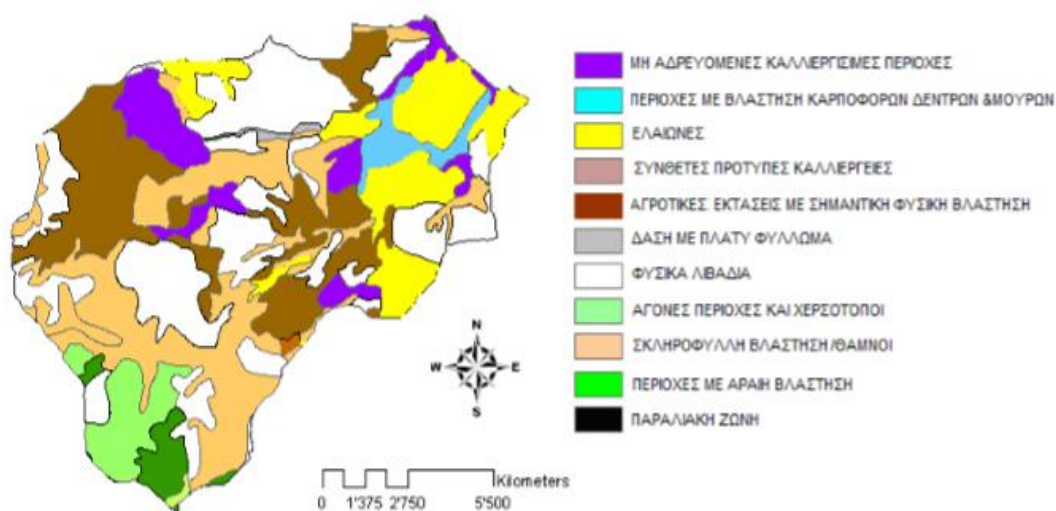
Ως σημειακές πηγές ρύπανσης ορίζονται τα αστικά λύματα, δηλαδή τα υγρά και στερεά απόβλητα των οικισμών, αλλά και τα υγρά απόβλητα από ελαιουργεία και άλλες βιοτεχνίες. Οι μη σημειακές πηγές ρύπανσης αντιστοιχούν στα φορτία από τη γεωργία και την κτηνοτροφία καθώς και την υγρή και ξηρή εναπόθεση.

Οι σημειακές πηγές στην λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη είναι οι οικισμοί: Μαλάξα, Χιλιμουδού, Τσάκιστρα, Γερόλακκος, Δρακόνα, Καρές, Θύμια, Μαχαιρί, Στύλος, Νέο Χωριό, Άπτερα, Κατωχώρι, Κοντοπούλα, Μελιδώνι κ.α..

Σημειακές πηγές, επίσης αποτελούνε και 6 ελαιουργεία που βρίσκονται στη λεκάνη.

Μη σημειακές πηγές ρύπανσης στη λεκάνη αποτελούν η γεωργία, η κτηνοτροφία, η ατμοσφαιρική εναπόθεση και η υγρή και ξηρή εναπόθεση (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

Στην εικόνα 7, δίνεται ο χάρτης μέσω GIS που απεικονίζει τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.



Εικόνα 7: Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής Κοιλιάρη μέσω GIS (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

2.1.6 ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και αποκατάστασης εδαφών του Πολυτεχνείου Κρήτης (24-05-04 έως 21-07-08), σε καμία από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη δεν παρατηρείται οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων (νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνία, φωσφορικά) και χλωριόντων να ξεπερνούν τα θεσμοθετημένα όρια. Τα μόνα αποτελέσματα που αξίζει να αναφερθούν είναι ότι στη γεώτρηση του Χαριτάκη η μετρούμενη συγκέντρωση NO_2 υπερβαίνει λίγο το όριο των 0,1 mg/lt και στην πηγή του Ζούρμπου οι συγκεντρώσεις ανιόντων CL κυμαίνονται μεταξύ 79,7-273 όταν το όριο είναι στα 250 mg/l. Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις αλλά και στα επιφανειακά σημεία οι μετρούμενες συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων είναι μέσα στα επιθυμητά όρια.

Στους πίνακες 2, 3, 4 και 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διεξήχθησαν από το εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και αποκατάστασης εδαφών του Πολυτεχνείου Κρήτης κατά την περίοδο 24-05-04 έως 21-07-08. Με κόκκινο αναπαρίστανται οι χημικές συγκεντρώσεις που είναι έστω και οριακά πιο πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια.

Ενδεικτικά, τα θεσμοθετημένα όρια για τις συγκεντρώσεις από την Ευρωπαϊκή Ένωση δίνονται στον πίνακα 1:

Πίνακας 1: Όρια συγκεντρώσεων όπως έχουν θεσμοθετηθεί από Ευρωπαϊκή Ένωση

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΟΡΙΑ (mg/l)
N_NO2	0,1
Na	20
Ca	100
Fe	0,3
Mg	30
Cl	250

Πίνακας 2: Μετρήσεις στις πηγές

ΠΗΓΕΣ	N-NO2 (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NH4 (mg/l)	P-PO4 (mg/l)	CL- (mg/l)
ΚΑΤΩΧΩΡΙ	0.01-0.09	0.98-20.67	0.10-0.11	0.02-0.18	36.58-90.69
ΣΤΥΛΟΥ	0.06-0.1	0-1.43	0-0.06	0.01-0.36	7.27-18.99
ΑΡΜΕΝΟΙ	0.01-0.06	0.19-4.46	0.14-0.07	0.01-0.12	4.36-19.84
ΖΟΥΡΜΠΟΣ	0.07	0.26-1.59	0.02-0.12	0.02-0.13	79.68-273.1

Πίνακας 3 :Μετρήσεις σε επιφανειακά σημεία

ΣΗΜΕΙΑ	N-NO2 (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NH4 (mg/l)	P-PO4 (mg/l)	CL- (mg/l)
ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΟΥ					
ΓΕΩΡΓΙΟΥ	0-0.006	0-1.99	0-0.07	0.01-0.14	7.75-27.07
ΑΝΑΒΡΕΤΗΣ	0.09	0.03-1.6	0.01-0.06	0.01-0.09	0.01-14.36

Πίνακας 4: Μετρήσεις σε γεωτρήσεις

ΠΗΓΑΔΙΑ	Na(mg/l)	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)	Fe(mg/l)
ΠΗΓΑΔΙ ΚΑΤΩΧΩΡΙ	23.36	123.86	5.86	0.56
ΠΗΓΑΔΙ ΚΑΜΠΟΙ	38.51	106.31	43.01	0.47
ΠΗΓΑΔΙ ΧΑΡΙΤΑΚΗ	29.24	156.73	10.94	0.68

Πίνακας 5: Μετρήσεις σε σημεία επιφανειακής απορροής

ΣΗΜΕΙΟ	CL(mg/l)	Na(mg/l)	Mg(mg/l)	Fe(mg/l)
ΓΕΦΥΡΑ ΚΟΙΛΙΑΡΗ	300.3	360.13	45.8	0.32

Στη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη, αν και λειτουργεί βιολογικός καθαρισμός δεν καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες για διαχείριση των αποβλήτων στην ευρύτερη περιοχή. Αυτό συμβαίνει λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένου αποχετευτικού δικτύου, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του οικισμού να διαθέτει στεγανοποιημένους βόθρους κι ένα μεγάλο ποσοστό κατοικιών να χρησιμοποιεί απορροφητικούς βόθρους (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

- Στεγανοποιημένος βόθρος είναι ένας υδατοστεγής υποδοχέας από σκυρόδεμα που έχει το πλεονέκτημα ότι απομονώνει τα λύματα στο έδαφος από τα έντομα και από τα υπόγεια νερά. Πρέπει να αδειάζεται περιοδικά.
- Απορροφητικός βόθρος είναι ένα κατακόρυφο σύστημα διάθεσης αποβλήτων στο υπέδαφος ύστερα από τουλάχιστον πρωτοβάθμια καθίζηση είτε από σηπτική δεξαμενή. Αποτελεί κίνδυνο όταν βρίσκεται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές γιατί υπάρχει πιθανότητα ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα, γι' αυτό πρέπει να βρίσκεται μακριά και προς τα κάτω από πηγές πόσιμου νερού και να μην εισχωρεί στα υπόγεια νερά. Ενδεικτικά πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 30 μέτρων από πηγές και πηγάδια που χρησιμοποιούνται για ύδρευση και από ακτές κολύμβησης και τουλάχιστον 15 μέτρα μακριά από σωληνώσεις υδραγωγείων. Ανεξάρτητα από τα παραπάνω όμως, είναι απαγορευτική η κατασκευή και χρήση απορροφητικών βόθρων σε περίπτωση διαπερατών εδαφών (Πανακούλια, 2009).

Στον πίνακα 6, παρουσιάζεται ο ολικός όγκος των αποβλήτων που παράγονται σε κάθε κοινότητα, αλλά και το ολικό άζωτο και ο ολικός φώσφορος που προέρχεται από τον όγκο κάθε κοινότητας.

Πίνακας 6: Ολικό άζωτο και ολικό φώσφορο που προέρχεται από τον όγκο κάθε κοινότητας ανά έτος.

ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ	ΚΑΤΟΙΚΟΙ	ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (m ³ /year)	ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ (kg/year)	ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΩΡΟΣ (kg/year)
ΔΡΑΚΩΝΑ	236	21240	849.6	169.92
ΚΑΜΠΟΙ	169	15210	608.4	121.68
ΜΑΔΑΡΟ	27	2430	97.2	19.44
ΤΣΑΚΙΣΤΡΑ	33	2970	118.8	23.76
ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΑ	147	13230	529.2	105.84
ΚΑΤΩΧΩΡΙ	237	21330	853.2	170.64
ΜΑΛΛΕΑ	178	16020	640.8	128.16
ΛΟΥΛΟΣ	157	14130	565.2	113.04
ΓΕΡΟΛΑΚΚΟΣ	210	18900	756	151.2
ΠΛΑΤΥΒΟΛΑ	50	4500	180	36
ΣΠΗΛΙΑΡΙΑ	47	4230	169.2	33.84
ΘΥΜΙΑ	58	5220	208.8	41.76
ΚΑΛΥΒΕΣ	1289	116010	4640.4	928.08
ΑΡΜΕΝΟΙ	384	34560	1382.4	276.48
ΚΑΡΕΣ	54	4860	194.4	38.88
ΜΑΧΑΙΡΩΝ	81	7290	291.6	58.32
ΝΙΟ ΧΩΡΙΟ	615	55350	2214	442.8
ΡΑΜΝΗ	120	10800	432	86.4
ΚΥΡΙΑΚΟΣΕΛΙΑ	46	4140	265.6	33.12
ΧΙΛΙΟΜΟΥΔΟΥ	47	4230	169.2	33.84
ΣΤΥΛΟΣ	309	27810	1112.4	222.48
ΠΡΟΒΑΡΔΑ	89	8010	320.4	64.08
ΣΑΜΩΝΑΣ	49	4410	176.4	35.28
ΦΑΡΑΓΓΙ	39	3510	140.4	28.08
ΚΑΛΑΜΙ	83	7470	298.8	59.76
ΑΠΤΕΡΑ	254	22860	914.4	182.88
ΜΕΛΙΔΟΝΙ	138	12420	496.8	99.36
ΠΑΙΔΟΧΩΡΙ	114	10260	410.4	82.08
ΠΕΜΟΝΙΑ	150	13500	540	108
ΣΥΝΟΛΑ			19476	3895.2

Τα συνολικά αστικά φορτία για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης είναι ολικό άζωτο 19476 kg/yr και ολικό φώσφορο 3895,2 kg/yr.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη λειτουργούν 6 ελαιοτριβεία με ολικό παραγόμενο όγκο αποβλήτων 10008 m³/yr, τα οποία περιέχουν 7606,8 κιλά αζώτου (TKN) και 5304,24 κιλά φωσφόρου το χρόνο (P₂O₅) (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

Συνοψίζοντας τα παραπάνω εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Το συνολικό φορτίο αζώτου για την λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη είναι 526 tn/yr.
- Το συνολικό φορτίο φωσφόρου αντίστοιχα ανέρχεται σε 124 tn/yr.
- Η μεγαλύτερη συνεισφορά σε άζωτο δηλαδή το 73% προκύπτει από τη κτηνοτροφία ενώ ένα 11% από τη γεωργία.
- Η μεγαλύτερη συνεισφορά σε φώσφορο προκύπτει από την κτηνοτροφία (56%) ενώ αμέσως μετά από τη γεωργία (35%).
- Σύμφωνα με τις μετρήσεις του πολυτεχνείου Κρήτης, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στη γεώτρηση των Μαχαιρών αλλά και στα ύδατα του ποταμού Κοιλιάρη είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια και κρίνονται ως εξαιρετικές.
- Η πηγή του Ζούρμπου από τον Ιούλιο του 2006 μέχρι και τον Σεπτέμβριο του 2008 έχει υψηλές συγκεντρώσεις CL^- , πάνω από το θεσμοθετημένο όριο από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Νικολαΐδης κ.α., 2010).

2.1.7 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη βρίσκονται πηγές με μεγάλη σημασία για την περιοχή λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού με την οποία τροφοδοτούν την περιοχή. Οι πηγές που συναντώνται στην περιοχή είναι όπως προαναφέρθηκαν εκείνες του Στύλου, του Ζούρμπου, και των Αρμένων. Η μόνη από τις τρεις αυτές πηγές που τροφοδοτεί τον ποταμό Κοιλιάρη είναι εκείνη του Στύλου (Κοκολογιάννη, 2012).

Εκτός από την αρδευτική χρήση, οι πηγές στη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη χρησιμοποιούνται για την ύδρευση στην ευρύτερη περιοχή, με εξαίρεση τις πηγές του Ζούρμπου οι οποίες κρίνονται ακατάλληλες για πόσιμο λόγω μεγάλης σκληρότητας. Ιδιαίτερα οι πηγές του Στύλου θεωρούνται το βασικό σημείο εκφόρτισης του καρστικού συστήματος της περιοχής και μία από τις κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του ποταμού Κοιλιάρη (Κοκολογιάννη, 2012). Οι πηγές του Στύλου χρησιμοποιούνται για την ύδρευση του ομώνυμου χωριού αλλά και της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Οι πηγές του Στύλου αναβλύζουν σε διάφορα σημεία και χωρίζονται σε κύριες και δευτερεύουσες αναβλύσεις. Οι κύριες, που είναι το Καβούσι και η Καράβα (Κνιθάκης, 1993), έχουν σε ετήσια βάση συνεχή ροή ενώ οι δευτερεύουσες πηγές, που είναι το Πηγάδι του

Λαγού και το Πηγάδι του Χαριτόκωστα, παρουσιάζουν διακοπές στη ροή τους η οποία διακόπτεται πλήρως κατά τη θερινή περίοδο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο χωριό Στύλος βρίσκονται οι εγκαταστάσεις της πολυμετοχικής εταιρείας ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. Α.Ε. (Εταιρεία Ανάπτυξης Αποκόρωνα), η οποία διαθέτει και εμφιαλώνει το νερό 'ΣΑΜΑΡΙΑ', το οποίο αντλείται από τις πηγές του Στύλου. Η ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. διαθέτει εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες του νερού 'ΣΑΜΑΡΙΑ' σε ετήσια βάση στο εμπόριο, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό. Το νερό 'ΣΑΜΑΡΙΑ' εκτός όλων είναι γνωστό και για την ποιότητά του, καθώς τον Φεβρουάριο του 2014 πήρε τη δεύτερη θέση στον παγκόσμιο διαγωνισμό Berkeley Springs για το καλύτερο εμφιαλωμένο νερό (<http://www.samariawater.gr>).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Η ευρεία χρήση των υπολογιστών τα τελευταία χρόνια καθώς και η ανάγκη για όσο γίνεται καλύτερη κατανόηση της ροής των υπογείων υδάτων, οδήγησε σε μια στρατηγική μελέτης που να συνδυάζει αυτά τα δύο στοιχεία. Αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας είναι η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που στόχο έχουν την καλύτερη προσομοίωση της υπόγειας ροής και την εξαγωγή ρεαλιστικών συμπερασμάτων.

Σύμφωνα με τους Anderson και Woessner (1992), ως μοντέλο ορίζεται μία διάταξη η οποία προσομοιώνει προσεγγιστικά μια υπάρχουσα πραγματική κατάσταση.

Τα μοντέλα υπόγειας ροής διακρίνονται σε φυσικά ή αλλιώς αναλογικά και σε μαθηματικά μοντέλα. Τα φυσικά μοντέλα πραγματοποιούν απευθείας προσομοίωση της υπόγειας ροής, ενώ τα μαθηματικά μοντέλα προσομοιώνουν την υπόγεια ροή μέσω των αντίστοιχων εξισώσεων οι οποίες διέπουν τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην υπόγεια ροή. Τα μαθηματικά μοντέλα επιδέχονται είτε αναλυτική είτε αριθμητική λύση και δύναται να γίνει χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και στις δύο περιπτώσεις. Το μοντέλο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή αποτελείται από έναν κώδικα ο οποίος παρέχει το σύνολο των εντολών οι οποίες θα πραγματοποιηθούν για την επίλυση του μοντέλου και περιλαμβάνει ένα σύνολο αρχικών και οριακών συνθηκών, ένα δίκτυο κόμβων, τιμές παραμέτρων και υδρολογικές τάσεις για την υπό μελέτη περιοχή.

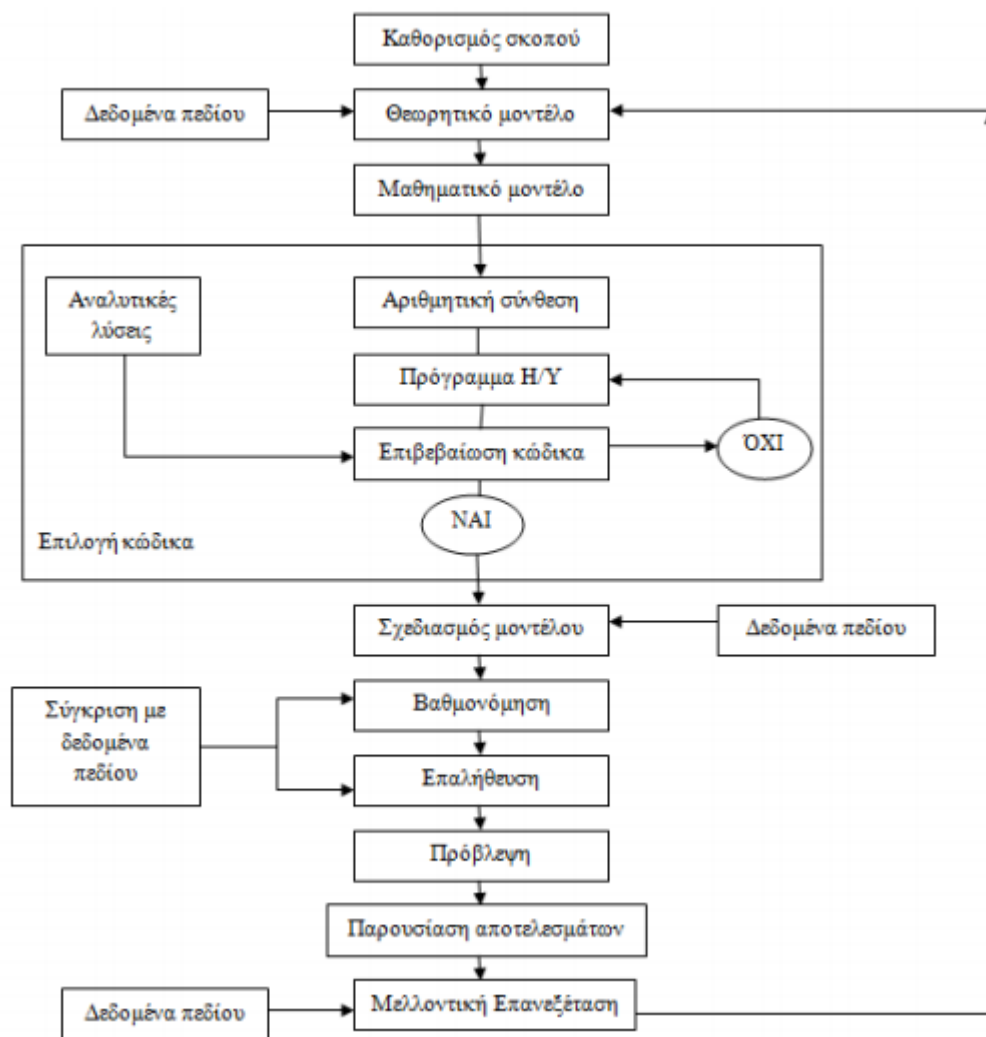
Στον πίνακα 7, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αναλυτικών και των μαθηματικών μοντέλων.

Πίνακας 7 :Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Αναλυτικών και των Αριθμητικών μοντέλων (USDA, 2007)

Αναλυτικά μοντέλα	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αποδοτικά όταν τα δεδομένα του συστήματος είναι σποραδικά ή αβέβαια	Περιορισμένα σε συγκεκριμένες ιδεατές συνθήκες με απλή γεωμετρία
Συμφέρουν οικονομικά	Μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμα σε προβλήματα πεδίου με σύνθετες οριακές συνθήκες
Εφαρμόσιμα για αρχικές εκτιμήσεις όσον αφορά την έκταση της ρύπανσης ή της άντλησης	Μπορεί να μην είναι ικανά να χειριστούν άμεσα χωρικές ή χρονικές διακυμάνσεις του συστήματος
Μία πρόχειρη εκτίμηση των δεδομένων εισαγωγής είναι δυνατή μέσω των υπαρχουσών πηγών δεδομένων	
Η εισαγωγή δεδομένων για κωδικές H/Y είναι συνηθώς απλή	
Αριθμητικά Μοντέλα	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εύκολος χειρισμός χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων του υδρογεωλογικού συστήματος	Η εξοικείωση με τα σύνθετα αριθμητικά προγράμματα μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή
Εύκολος χειρισμός πολύπλοκων οριακών συνθηκών	Τα σφάλματα λόγω αριθμητικής διασποράς μπορεί να είναι σημαντικά όσον αφορά τα μοντέλα μεταφοράς
Αντιμετωπίζουν χωρίς μεγάλη δυσκολία τρισδιάστατα προβλήματα. Μία πρόχειρη εκτίμηση των δεδομένων εισαγωγής είναι συχνά δυνατή μέσω των υπαρχουσών πηγών δεδομένων	Μπορεί να μην είναι ικανά να χειριστούν άμεσα χωρικές ή χρονικές διακυμάνσεις του συστήματος. Απαιτείται η εισαγωγή περισσότερων δεδομένων εισαγωγής, διαδικασία που μπορεί να αποδειχθεί χρονοβόρα
Η εισαγωγή δεδομένων για κώδικες H/Y είναι συχνά απλή	

Για τη μοντελοποίηση της υπόγειας ροής, υπάρχει μία συγκεκριμένη διαδικασία που ακολουθείται με την σειρά όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Anderson and Woessner, 1992):

- Καθορισμός του σκοπού του μοντέλου.
- Σχηματισμός ενός θεωρητικού μοντέλου.
- Επιλογή του κατάλληλου ηλεκτρονικού κώδικα και των αντίστοιχων εξισώσεων που διέπουν την κατάσταση που θα εξεταστεί.
- Σχεδιασμός του μοντέλου .
- Βαθμονόμηση.
- Ανάλυση ευαισθησίας της βαθμονόμησης του μοντέλου.
- Επαλήθευση του μοντέλου.
- Πρόβλεψη.
- Πρόβλεψη για την ανάλυση της ευαισθησίας.
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.
- Περαιτέρω ανάλυση με νέα δεδομένα πεδίου για το μέλλον.
- Επανασχεδιασμός του μοντέλου με χρήση των αποτελεσμάτων από την προαναφερθείσα ανάλυση.



Εικόνα 8: Πρωτόκολλο μοντελοποίησης υπόγειας ροής (Anderson and Woessner, 1992)

3.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Η βαθμονόμηση του μοντέλου αποτελεί την πιο σημαντική διαδικασία που πραγματοποιείται κατά τη μοντελοποίηση και συνήθως είναι μία χρονοβόρα διαδικασία.

Η βαθμονόμηση αποβλέπει στην ακριβή αναπαραγωγή των υδραυλικών υψών και των ροών του πεδίου. Κατά τη διάρκεια αυτής, δίνονται στο μοντέλο ένα σύνολο από

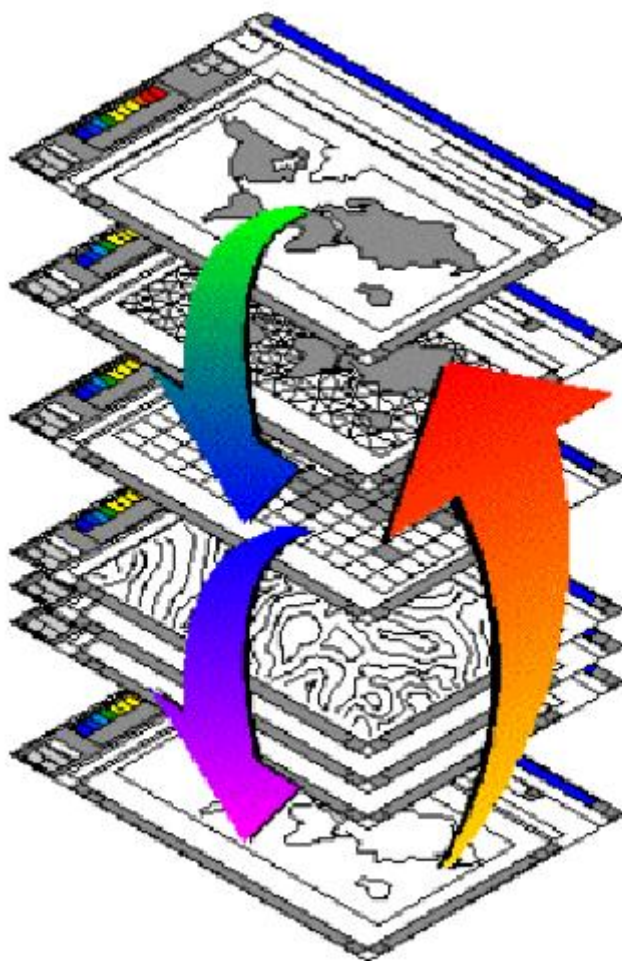
τιμές παραμέτρων και τάσεων οι οποίες προσεγγίζουν τις πραγματικές ροές και τα πραγματικά υδραυλικά ύψη που συναντώνται στο πεδίο της υπό εξέταση περιοχής. Η πιο συνήθης διαδικασία βαθμονόμησης είναι εκείνη της δοκιμής και σφάλματος (trial and error), αλλάζοντας κάθε φορά τις τιμές μέχρι το μοντέλο να προσεγγίσει με το βέλτιστο τρόπο την συμπεριφορά των υπογείων υδάτων του πεδίου (Anderson and Woessner, 1992).

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PTC

3.3.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARGUS ONE

Το πρόγραμμα ARGUS ONE είναι ένα προηγμένο γραφικό λογισμικό, το οποίο μπορεί να συνδυαστεί με αρκετούς κώδικες μοντελοποίησης υπόγειας ροής. Το ARGUS ONE είναι ένα πρόγραμμα εύκολο στην χρήση του και διαθέτει αρκετά χαρακτηριστικά που το κάνουν ευέλικτο και χρήσιμο για την κατασκευή μοντέλων GUI (Graphical- User- Interface- γραφικής αλληλεπίδρασης με τον χρήστη).

Το πρόγραμμα ARGUS ONE είναι ένα αρκετά χρήσιμο πρόγραμμα για τους σχεδιαστές μοντέλων, καθώς μπορεί με ευκολία να διαχειριστεί και να προετοιμάσει πληροφορίες που αφορούν την υπό μελέτη περιοχή και να χρησιμοποιηθούν μετέπειτα από το αριθμητικό μοντέλο υπόγειας ροής ως δεδομένα. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε διαφορετικά επίπεδα τα οποία ο χρήστης μπορεί να βλέπει και να επεμβαίνει, καθώς και να προχωράει στη δημιουργία νέων επιπέδων ως μαθηματικές ή λογικές σχέσεις άλλων επιπέδων.



Εικόνα 9: Τα επίπεδα του ARGUS ONE (ARGUS ONE USER'S GUIDE)

Η δημιουργία των επιπέδων στο ARGUS ONE, πραγματοποιείται από δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα ή από καμπύλες που σχεδιάζονται από τον χρήστη (Olivares, 1997).

3.3.2 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ PTC

Ο κώδικας του PTC είναι ένα υβριδικό τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών το οποίο στοχεύει στην προσομοίωση της υπόγειας ροής και των υπόγειων ρύπων. Το ολοκληρωμένο όνομα του είναι Princeton Transport Code και είναι αποτέλεσμα μελέτης αρκετών μελών του πανεπιστημίου του Princeton. Κύριες φιγούρες είναι οι Pinder και Gray οι οποίοι αρχικά δημιούργησαν το μοντέλο σε δύο διαστάσεις κι ο Babu ο οποίος εισήγαγε το μοντέλο στον τρισδιάστατο χώρο. Το PTC είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 77 (Babu et al, 1997).

3.3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ PTC

Το μοντέλο PTC χρησιμοποιεί μια σειρά μερικών διαφορικών εξισώσεων με στόχο την αναπαράσταση της υπόγειας ροής. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί είναι οι εξής:

- Όσον αφορά το υδραυλικό ύψος

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (6)$$

- Όσον αφορά τις ταχύτητες των υπογείων υδάτων στις κατευθύνσεις x,y και z

$$V_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}, V_y = -K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}, V_z = -K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (7)$$

- Όσον αφορά τη μεταφορά των ρύπων που περιγράφεται με την συγκέντρωση C,

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \left(D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} \left[D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right] - \left[V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] + Q(c^w - c) - \\ & \theta [1 + E(c)] \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται προέρχονται από την αρχή διατήρησης της μάζας και από την εξίσωση Darcy και η επίλυση τους στο μοντέλο PTC πραγματοποιείται με την σειρά την οποία δόθηκαν παραπάνω, δηλαδή αρχικά υπολογίζονται τα

υδραυλικά ύψη h , έπειτα οι ταχύτητες Darcy V_x , V_y , V_z και τελικά η συγκέντρωση του ρύπου c (Babu et al, 1997).

Η βασική εξίσωση για την περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός συστήματος υπόγειας ροής είναι η παρακάτω μερική διαφορική εξίσωση (9), η οποία προσδιορίζει το υδραυλικό ύψος και όπως δόθηκε παραπάνω για συντομία ο τελευταίος όρος της εξίσωσης αναγράφεται ως Q , δηλαδή :

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

(9)

Όπου :

h είναι το υδραυλικό ύψος (m)

K_{xx} η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση x (m/d)

K_{yy} η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση y (m/d)

K_{zz} η υδραυλική αγωγιμότητα στη διεύθυνση z (m/d)

S είναι ο ειδικός συντελεστής αποθηκευτικότητας (m^{-1})

Q_i ο όρος της πηγής ή της γεώτρησης στην θέση I (m^3/d)

δ είναι η συνάρτηση Dirac

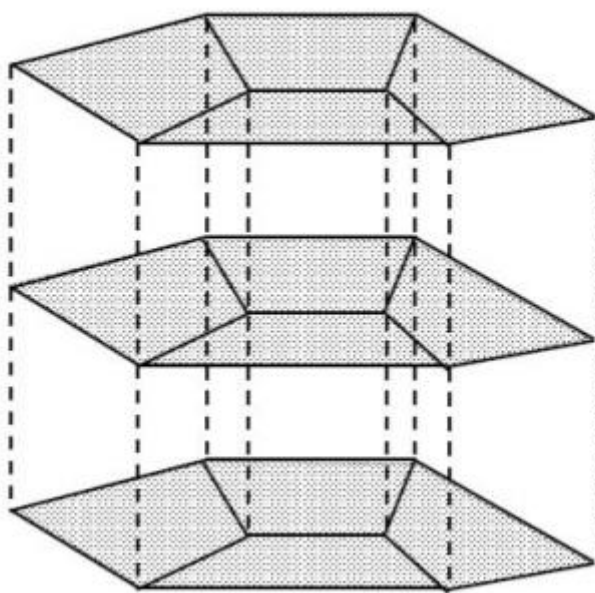
r ο αριθμός των σημείων των πηγαδιών ή των γεωτρήσεων .

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο PTC είναι οι βασικές και είναι ορισμένες κατά το ξεκίνημα χωρίς να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης.

Η βασική εξίσωση επιλύεται αριθμητικά από το PTC με την χρήση πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών (Babu et al, 1997).

3.3.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ PTC

Η επίλυση των παραπάνω διαφορικών εξισώσεων που χρησιμοποιούνται από το PTC, απαιτεί την χρήση αριθμητικών μεθόδων για την επίλυση πολύπλοκων φυσικών συστημάτων. Για τα φυσικά συστήματα σε κλίμακα πεδίου, λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας των τρισδιάστατων εξισώσεων που πρόκειται να επιλύσει το PTC, το ίδιο χρησιμοποιεί ένα μοναδικό διαχωριστικό αλγόριθμο ο οποίος μειώνει σημαντικά το υπολογιστικό φορτίο των εξισώσεων. Ο αλγόριθμος αυτός, χωρίζει το σύστημα σε σχεδόν παράλληλα οριζόντια στρώματα μέσα στα οποία γίνεται διακριτοποίηση των πεπερασμένων στοιχείων έτσι ώστε να επιτευχθεί η ακριβής απεικόνιση ακανόνιστων περιοχών. Τα στρώματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους κάθετα με μία διακριτοποίηση πεπερασμένων διαφορών. Το υβρίδιο αυτό μέσω του συνδυασμού πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων που διαθέτει καθορίζει τη δυνατότητα της διαδικασίας διαχωρισμού.



Εικόνα 10: Οριζόντιο δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων (Babu et al., 1997)

Κατά τη διάρκεια μίας επανάληψης καθορισμένου χρόνου, οι υπολογισμοί χωρίζονται σε δύο βήματα, εκ των οποίων στο πρώτο επιλύονται ανεξάρτητα οι οριζόντιοι διαχωρισμοί πεπερασμένων στοιχείων. Στο δεύτερο βήμα επιλύονται οι κάθετες εξισώσεις που συνδέουν τα στρώματα (Babu et al., 1997).

3.3.5 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το μοντέλο PTC δύναται να προσδιορίσει τριών ειδών οριακές συνθήκες.

- Το πρώτο είδος αφορά τις συνθήκες καθορισμένου υδραυλικού ύψους και είναι γνωστές και ως συνθήκες Dirichlet,
- Το δεύτερο είδος αφορά τις συνθήκες καθορισμένης ροής και είναι γνωστές και ως συνθήκες Neumann και
- Το τρίτο είδος αφορά τις διαρροές στο σύστημα.

Το μοντέλο PTC έχει ως προεπιλογή για τις οριακές συνθήκες μηδενικές τιμές, πράγμα που σημαίνει ότι θεωρεί τον υδροφορέα περιορισμένο με αδιαπέρατο πυθμένα και αδιαπέρατα στρώματα να τον περιβάλλουν. Η διαφορετική επιλογή ειδών και τιμών για τις οριακές συνθήκες στην υπό εξέταση περιοχή, η οποία πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, επιτρέπει στο μοντέλο να αναπαραστήσει διαφορετικές υδρογεωλογικές συνθήκες από τις προεπιλεγμένες (Babu et al, 1997).

3.3.5.1 1^ο ΕΙΔΟΣ –ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΥΨΟΣ

Η εισαγωγή του πρώτου τύπου οριακών συνθηκών πραγματοποιείται με την εισαγωγή του υδραυλικού ύψους σε κάθε κόμβο του πλέγματος της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο αυτόματα ορίζει τον πίνακα των κόμβων και των αντίστοιχών συντελεστών τους, οι οποίοι αποτελούν σταθερούς όρους.

3.3.5.2 2^ο ΕΙΔΟΣ –ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ ΡΟΗ

Για να οριστούν οι συνθήκες δευτέρου είδους, ο χρήστης του μοντέλου πρέπει απλά να ορίσει την ογκομετρική ροή σε ένα κόμβο έτσι ώστε να αναπαραστήσει τη ροή κατά μήκος του ορίου. Η ροή λόγω άντλησης εισάγεται επίσης μαθηματικά με τον ίδιο τρόπο.

3.3.5.3 3^ο ΕΙΛΟΣ-ΔΙΑΡΡΟΗ

Για την εισαγωγή των οριακών συνθηκών τρίτου τύπου, ο χρήστης εισάγει έναν όρο αγωγιμότητας διαρροής (leakage conductance), ο οποίος είναι στην ουσία η υδραυλική αγωγιμότητα προς την απόσταση. Ο όρος αυτός ολοκληρώνεται στην περιοχή έτσι ώστε να παραστεί η κάθετη διαρροή στο σύστημα υπόγειας ροής της υπό εξέταση περιοχής (Babu et al, 1997).

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PTC

4.1.1 ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η διαδικασία της προσομοίωσης ξεκίνησε εισάγοντας κάποια βασικά δεδομένα στο PTC. Όλες οι τιμές που εισήχθησαν είναι από προεπιλογή στις ίδιες μονάδες μέτρησης, οι οποίες είναι σε m για τις μονάδες μήκους και days για τη μονάδα χρόνου. Οποιαδήποτε τιμή η οποία δίνεται σε άλλη μονάδα μέτρησης έχει μετατραπεί στις προαναφερθείσες μονάδες.

Στο αρχικό στάδιο της προσομοίωσης, από την επιλογή PIE 's έγινε η επιλογή της εντολής 'edit project info' οπότε και άνοιξε ο πίνακας 'PTC configuration', ο οποίος αποτελείται από δύο καρτέλες, τις 'General' και 'Stresses'. Σε αυτές τις καρτέλες ορίστηκαν βασικές αρχικές συνθήκες που αφορούν τον υδροφορέα και τον κώδικα PTC.

The image shows a software window titled "PTC Configuration" with a green header bar and a red close button. It has two tabs: "General" (selected) and "Stresses".

General Tab Fields:

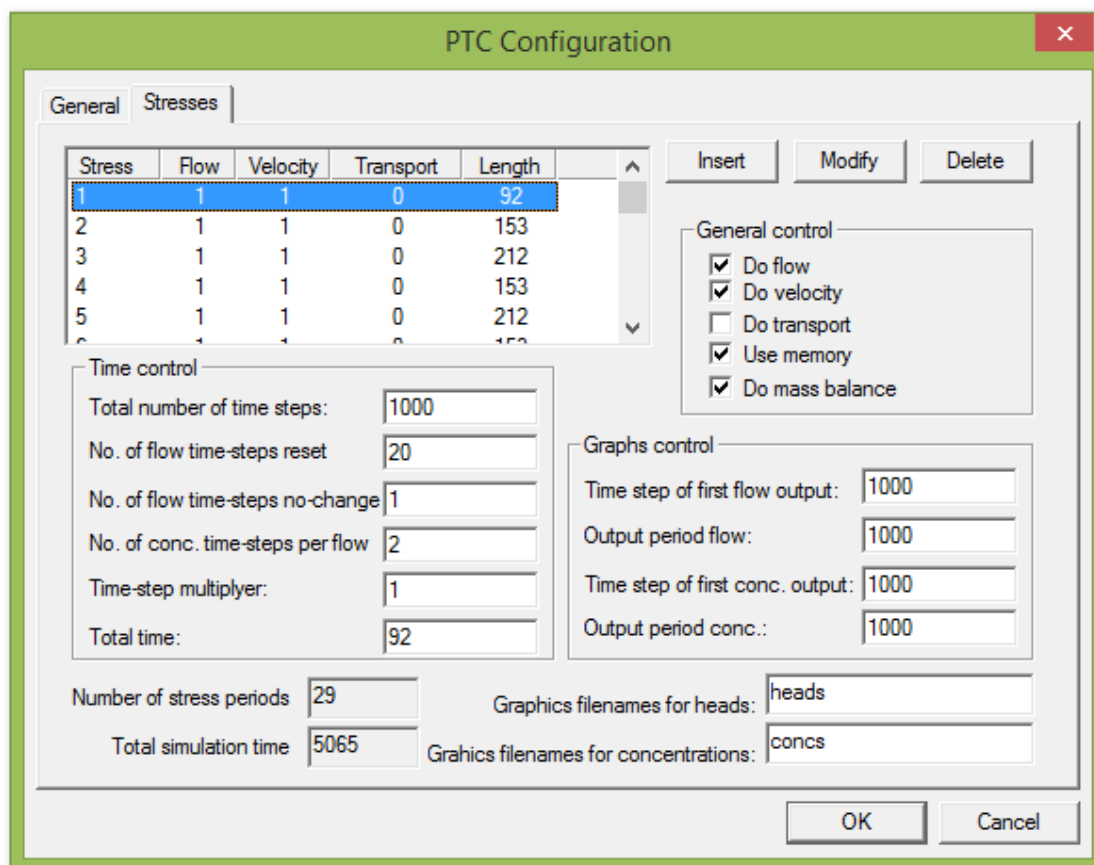
- Project title:** A text box containing "PTC Project".
- Mesh type:** Two radio buttons: "Triangular" (selected) and "Quadrilateral".
- Physical properties:** Two text boxes: "Molecular diffusion:" with value "0.0001" and "Upstream weight:" with value "1".
- Steady state criterion:** A text box with value "0.1".
- Use water table:** A checked checkbox.
- Number of iterations for watertable:** A text box with value "50".
- Convergence criterion:** A text box with value "0.001".
- Number of layers:** A text box with value "2".
- Layer list:** A table with two rows: "1" and "2". The first row is highlighted in blue.
- Buttons:** "Insert Layer" and "Delete Layer" buttons are located below the layer list.
- Output Control:** A group box containing eight checked checkboxes: "Echo nodal coordinates", "Echo interface elevations", "Echo boundary conditions", "Echo material properties", "Echo incidence list", "Echo infiltration flux", "Echo initial heads", and "Echo initial concentrations".
- Bottom Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons.

Εικόνα 11: Καρτέλα General στον πίνακα PTC Configuration του μοντέλου PTC.

Σε πρώτη φάση εισήχθησαν στην καρτέλα 'General', τα παρακάτω βασικά δεδομένα.

- Έγινε ο καθορισμός των εδαφικών στρωμάτων και χωρίστηκε σε 2 στρώματα (Number of layers). Ο λόγος που έγινε αυτός ο διαχωρισμός και δεν ορίστηκε ένα ενιαίο στρώμα είναι ότι είναι γνωστό ότι σε μεγάλα βάθη στην Κρήτη κυριαρχεί ο σχηματισμός του ασβεστόλιθου, ενώ πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους συναντώνται διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί. Με αυτό το διαχωρισμό, ουσιαστικά δόθηκε αυτή η πληροφορία στο μοντέλο ώστε μετέπειτα να εισαχθούν αντίστοιχα δεδομένα σε κάθε στρώμα και να γίνει ορθή προσομοίωση της εξεταζόμενης περιοχής με ύπαρξη μεγαλύτερης ακρίβειας. Η αρίθμηση των στρωμάτων γίνεται από το βαθύτερο στο πιο ρηχό στρώμα. Σε επόμενη παράγραφο περιγράφεται ακριβώς η διαδικασία διαχωρισμού των εδαφικών στρωμάτων.
- Τοποθετήθηκε το κριτήριο για σταθερή κατάσταση (steady state criterion) ίσο με 0,1. Σύμφωνα με αυτό η διαφορά μεταξύ των διαδοχικών χρονικών βημάτων ροής θα είναι ίση ή μικρότερη από 0,1 με στόχο να επιτευχθεί η σταθερή ροή.
- Επιλέχθηκε ο τύπος πλέγματος (mesh type). Οι επιλογές που δίνονται είναι δύο, τριγωνικός ή τετράγωνος, και ορίστηκε να είναι ο τριγωνικός(triangular) γιατί προσομοιώνει τις οριακές συνθήκες με μεγαλύτερη ακρίβεια, άρα είναι και πιο αξιόπιστος. Σε περίπτωση μη επιλογής πλέγματος, το PTC έχει ως αυτόματα προεπιλογή το τριγωνικό πλέγμα.
- Επιλέχθηκε η επιλογή water table η οποία καταδεικνύει ότι ο υδροφόρος στην υπό μελέτη περιοχή είναι ελεύθερος .

Σε επόμενη φάση εισήχθησαν στην καρτέλα 'Stresses' αρχικά δεδομένα αλλά και δεδομένα που αφορούν στον κώδικα PTC και ενδεχομένως να αλλάζουν έπειτα από την εκτέλεση κάποιας εργασίας. Η καρτέλα Stresses δίνεται στην εικόνα 12, όπως δίνεται στο μοντέλο PTC.



Εικόνα 12: Καρτέλα Stresses στον πίνακα PTC Configuration του μοντέλου PTC.

Αρχικά, ορίστηκε η χρονική περίοδος που πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση. Η προσομοίωση ξεκινάει από το Μάρτιο του 2004 και τελειώνει τον Ιανουάριο του 2008. Η περίοδος αυτή είναι χωρισμένη σε 9 χρονικές περιόδους, αναφερόμενες σε χειμώνα – καλοκαίρι εναλλάξ. Αναλυτικά, οι χρονικές περιόδους (stresses) είναι οι εξής :

1. Μάρτιος 2004-Μάιος 2004 (92 ημέρες)
2. Ιούνιος 2004- Οκτώβριος 2004 (153 ημέρες)
3. Νοέμβριος 2004-Μάιος 2005 (212 ημέρες)
4. Ιούνιος 2005-Οκτώβριος 2005 (153 ημέρες)
5. Νοέμβριος 2005-Μάιος 2006 (212 ημέρες)
6. Ιούνιος 2006-Οκτώβριος 2006 (153 ημέρες)
7. Νοέμβριος 2006-Μάιος 2007 (212 ημέρες)
8. Ιούνιος 2007-Οκτώβριος 2007 (153 ημέρες)
9. Νοέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008 (75 ημέρες)

Όπως φαίνεται παραπάνω, οι ημέρες που απαρτίζουν τη χειμερινή περίοδο είναι ίσες με 212 και οι ημέρες που απαρτίζουν το καλοκαίρι ορίστηκαν να είναι ίσες με 153. Εξαιρέσεις αποτελούν η πρώτη περίοδος (1) η οποία αφορά χειμερινή περίοδο και αποτελείται από 92 ημέρες και η ένατη περίοδος (9) η οποία αποτελείται από 75 ημέρες και αφορά επίσης χειμερινή περίοδο.

Οι εργασίες που επιλέχθηκαν να πραγματοποιηθούν κατά την εκτέλεση του μοντέλου είναι οι εξής :

- Do flow- πραγματοποίηση των εξισώσεων ροής
- Do velocity-πραγματοποίηση υπολογισμών για την ταχύτητα
- Use memory-χρησιμοποίηση της εικονικής μνήμης (πάντα τσεκαρισμένη)
- Do mass balance-πραγματοποίηση των εξισώσεων ισοζυγίου μάζας (πάντα τσεκαρισμένη).

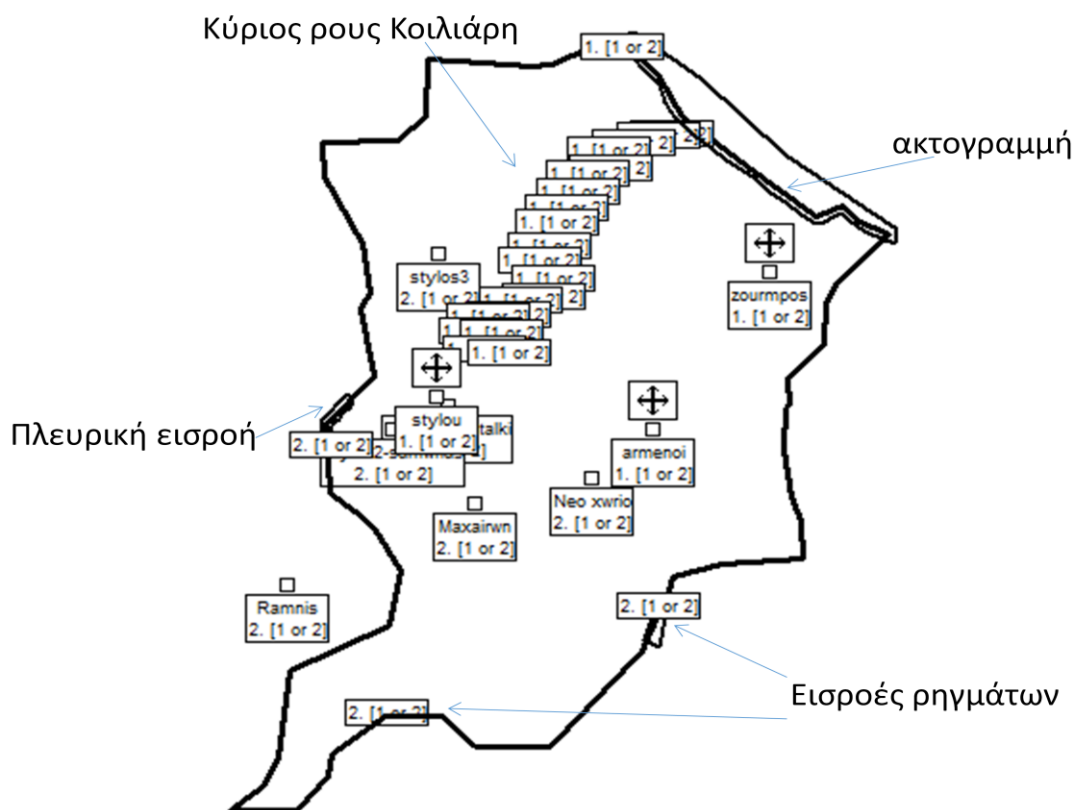
Η επιλογή Do transport που δίνεται, δεν τσεκαρίστηκε στην παρούσα εργασία καθώς αφορά τους υπολογισμούς εξισώσεων μεταφοράς, κάτι που εν προκειμένω δεν χρησιμοποιείται καθώς δεν υπάρχει μεταφορά ρύπου.

Ο συνολικός αριθμός των χρονικών βημάτων ορίστηκε να είναι ίσος με 1000 ('total number of time steps'), ο αριθμός των χρονικών βημάτων ροής πέρα από τον οποίο γίνεται επαναρίθμηση του μόντελου ορίστηκε να είναι ίσος με 20 ('No. of flow time-steps reset'), και ο αριθμός των χρονικών βημάτων ροής πέρα από τον οποίο δεν υπάρχει αλλαγή λόγω του πολλαπλασιαστή ορίστηκε ίσος με 1 ('No. of flow time-steps no-change'). Επίσης, ορίστηκαν ο αριθμός των χρονικών βημάτων συγκέντρωσης μέσα σε ένα χρονικό βήμα ροής ίσος με 2 ('No. of conc. Time-steps per flow'), ο πολλαπλασιαστής για κάθε χρονικό βήμα ίσος με 1 (Time step multiplier) και τέλος το συνολικό χρονικό διάστημα μελέτης ίσο με 5065 ημέρες .

4.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η οριοθέτηση της περιοχής της οποίας η προσομοίωση πραγματοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή του χάρτη της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη στο μοντέλο. Από αυτόν τον χάρτη επιλέχθηκε και σχεδιάστηκε με τα αντίστοιχα εργαλεία του μοντέλου (layers), το περίγραμμα της περιοχής που μελετήθηκε. Έτσι, δημιουργήθηκε το domain outline το οποίο περιέχει τα όρια της υπό εξέταση περιοχής.

Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε αυτό το κομμάτι της περιοχής και όχι ολόκληρη η λεκάνη απορροής, είναι γιατί το συγκεκριμένο κομμάτι είναι το προσχωματικό. Η υπόλοιπη λεκάνη απορροής αποτελείται είτε από καρστικά είτε από αδιαπέρατα πετρώματα. Η οριοθετημένη περιοχή περιέχει όλα τα στοιχεία που χρήζουν μελέτης και επηρεάζουν την ευρύτερη περιοχή (ποταμός Κοιλιάρης, πηγές, γεωτρήσεις). Επίσης, με αυτήν την οριοθέτηση μπόρεσε να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου, λόγω αποφυγής υπερπληθώρας δεδομένων που δεν χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας, άρα και η καλύτερη προσομοίωση της εξεταζόμενης περιοχής.

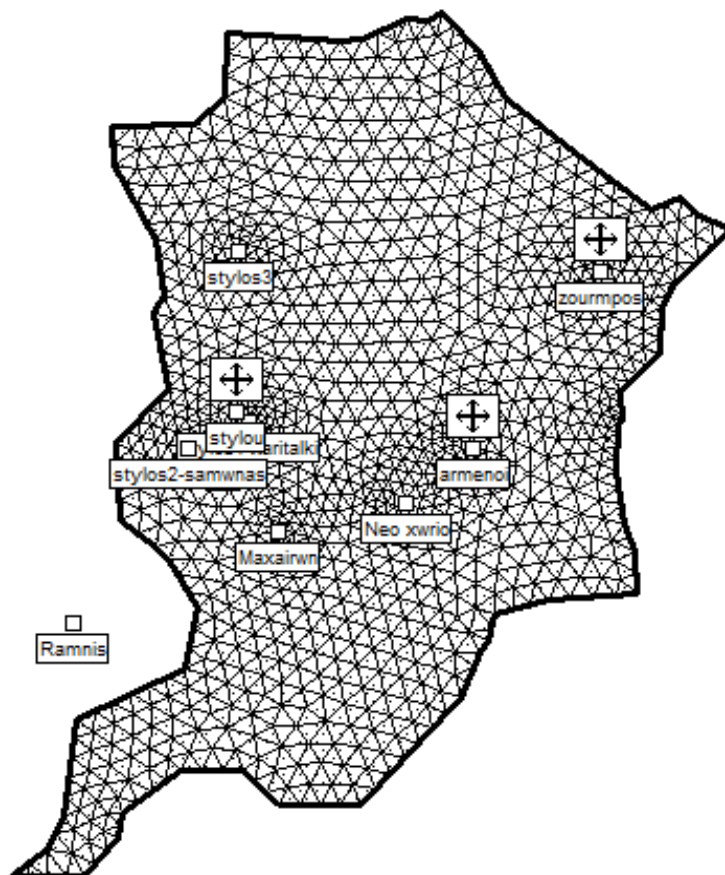


Εικόνα 13: Τα όρια της υπό εξέταση περιοχής.

4.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή του πλέγματος στο μοντέλο PTC στηρίζεται στη θεωρία των πεπερασμένων στοιχείων. Το Argus ONE student version επιτρέπει τη δημιουργία μέχρι 2000 στοιχείων. Επάνω στους κόμβους του πλέγματος πραγματοποιείται η επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου. Οι κόμβοι μπορούν να βρίσκονται στο κέντρο κάθε κελιού (block centered grid) ή στις κορυφές (mesh centered grid) (Σωτηροπούλου, 2010).

Το πλέγμα πρέπει γύρω από τις γεωτρήσεις και στις πηγές να είναι πιο πυκνό έτσι ώστε να επιλυθούν οι εξισώσεις του μοντέλου με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η παρούσα εργασία αποτελείται από 1078 κόμβους (nodes) και 1997 στοιχεία (elements). Στην εικόνα 14, φαίνεται το πλέγμα στην οριοθετημένη περιοχή. Στα πιο πυκνά σημεία βρίσκονται οι γεωτρήσεις και οι πηγές.



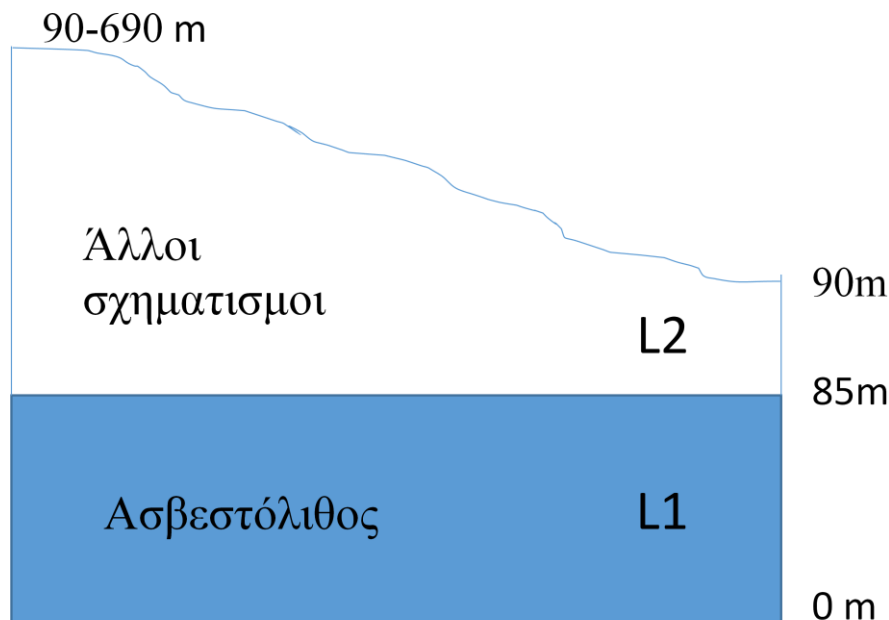
Εικόνα 14: Το πλέγμα όπως διαμορφώθηκε στην οριοθετημένη περιοχή μέσω του εργαλείου PTC mesh.

4.1.4 ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΛΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

Ο καθορισμός των υψομέτρων στην περιοχή πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή γεωλογικού χάρτη μέσω GIS στο μοντέλο PTC και στο αντίστοιχο layer, το elevation L2.

Ο διαχωρισμός του εδάφους της περιοχής έχει γίνει σε 2 στρώματα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ξεκινώντας με το κατώτερο που είναι στα 0 μέτρα (bottom elevation). Το δεύτερο στρώμα ορίζεται στην περιοχή από 85 μέτρα μέχρι το εκάστοτε ύψος που δίνεται μέσω του χάρτη των ισουψών. Ουσιαστικά, το επίπεδο της θάλασσας στην εξεταζόμενη περιοχή τοποθετήθηκε στα 90 και όχι στα 0 μέτρα, άρα οι τιμές όλων των υψομέτρων είναι αυξημένες κατά 90 μέτρα.

Στην εικόνα 15, δίνεται σχηματικά η περιγραφή της διαστρωμάτωσης που πραγματοποιήθηκε.



Εικόνα 15: Σχηματική περιγραφή εδαφικής διαστρωμάτωσης.

Από 0 μέχρι 85 μέτρα το έδαφος αποτελείται από ασβεστόλιθο και είναι το στρώμα 1 (L1). Στο στρώμα 2 (L2), συναντώνται διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αναλύονται στην επόμενη παράγραφο. Το ύψος του στρώματος L2, ξεκινάει από τα 85 μέτρα μέχρι τα αντίστοιχα υψόμετρα σε κάθε σημείο και κυμαίνεται από 90 μέχρι περίπου 690 μέτρα.

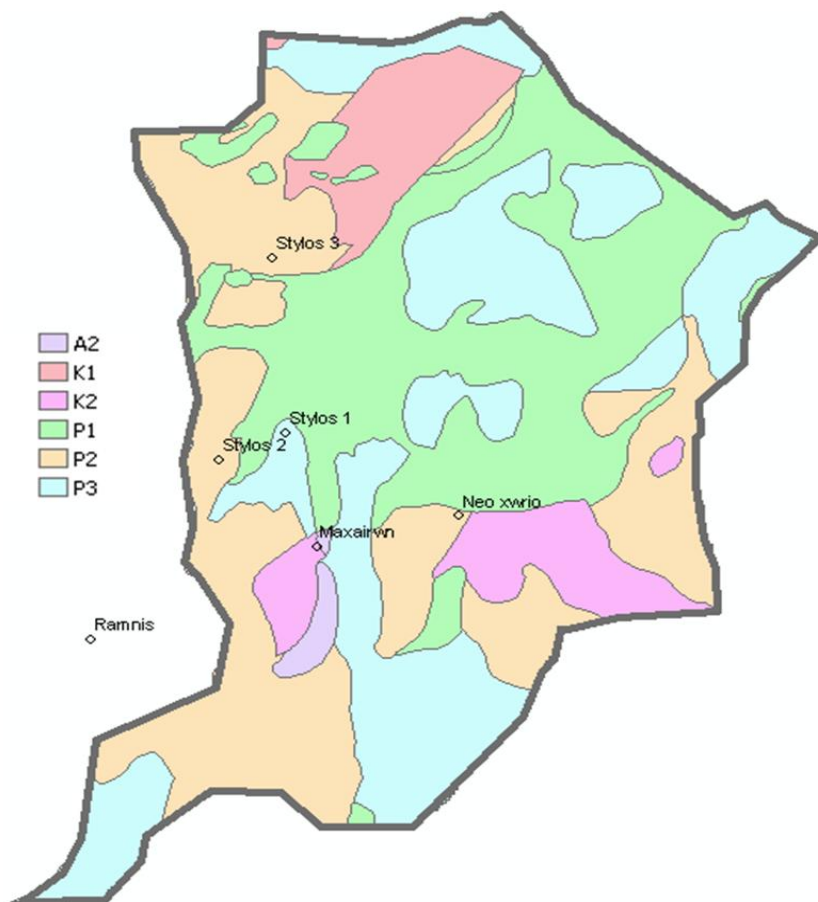
4.1.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Οι υδραυλικές αγωγιμότητες ορίστηκαν μέσω ενός ψηφιοποιημένου αρχείου GIS που εισήχθη στο layer conductivity. Είναι γνωστό ότι το νησί της Κρήτης αποτελείται σε μεγάλα βάθη κατά κύριο λόγο από ασβεστόλιθο, οπότε στο εδαφικό στρώμα L1 όπως αυτό ορίστηκε πιο πάνω, εισήχθη μία ενιαία τιμή 8,64 m/d, η οποία είναι η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του ασβεστόλιθου.

Στο δεύτερο εδαφικό στρώμα L2, ορίστηκαν οι υδραυλικές αγωγιμότητες των σχηματισμών που συναντώνται με τη βοήθεια του γεωλογικού χάρτη της περιοχής. Με την εντολή ‘allow intersection’ πριν εισαχθούν οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας, επιτράπηκε στο μοντέλο να καθορίσει μία ενιαία τιμή για όλο το στρώμα L2, έτσι ώστε να καθοριστεί σε όλους τους κόμβους μια συγκεκριμένη τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας και να αποτραπεί οποιοδήποτε σφάλμα του μοντέλου στα σημεία επαφής των κόμβων.

Στο εδαφικό στρώμα L2, εκτός από τις τιμές του εκάστοτε γεωλογικού σχηματισμού, ορίστηκε και μία ενιαία τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας, η οποία αντιστοιχεί σε 8,64 m/d και είναι όπως προαναφέρθηκε η τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας για τον σχηματισμό του ασβεστόλιθου. Ο λόγος εισαγωγής αυτής της ενιαίας τιμής, λειτουργεί σαν βοήθημα για το μοντέλο ώστε να μη μείνει κάποιο σημείο με μηδενική υδραυλική αγωγιμότητα, δηλαδή μη ορισμένη υδραυλική αγωγιμότητα, γεγονός που θα προκαλέσει σφάλμα κατά την εκτέλεσή του.

Στην εικόνα 16, δίνεται ο χάρτης της οριοθετημένης υπό μελέτη περιοχής με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται στην περιοχή, ο οποίος δημιουργήθηκε μέσω GIS. Στον πίνακα 8, αμέσως μετά εξηγούνται οι κωδικοί των γεωλογικών σχηματισμών.



Εικόνα 16: Γεωλογικοί σχηματισμοί στην οριοθετημένη περιοχή μέσω GIS.

Οι σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή, η κωδικοποίηση και οι υδραυλικές αγωγιμότητές τους με τιμές που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία φαίνονται στον πίνακα 8.

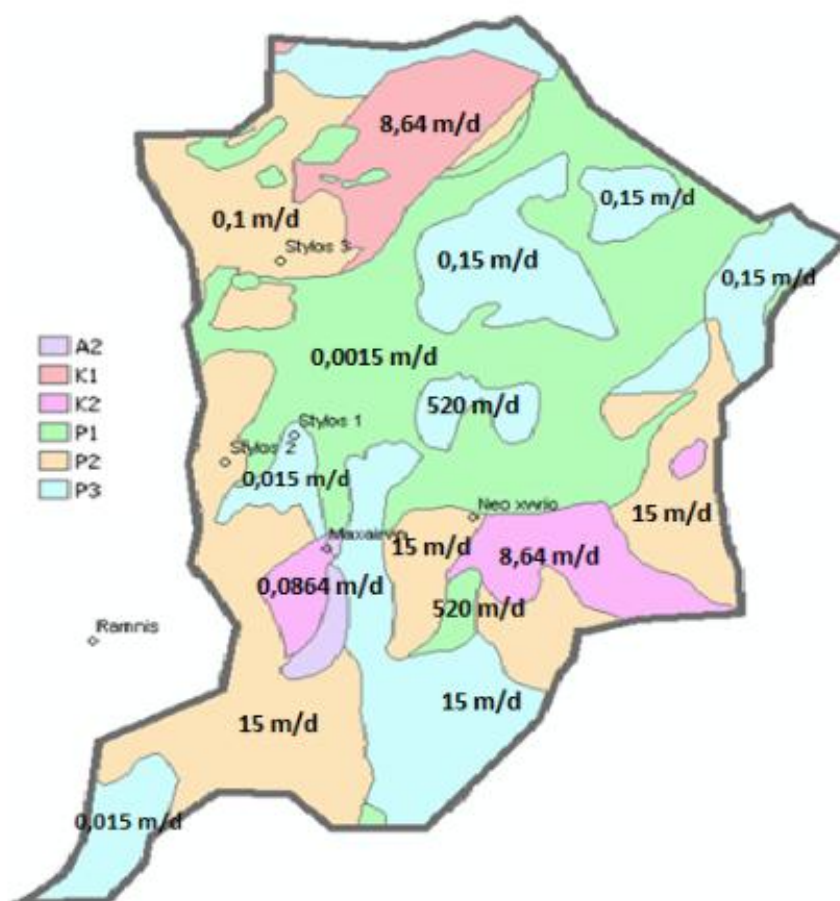
Πίνακας 8: Οι σχηματισμοί και οι υδραυλικές αγωγιμότητές τους.

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ
			m/d
P1	Προσχωματικό	Αλλουβιακές προσχώσεις	200
K1	Καρστικό	Ασβεστόλιθοι	8,64
P2	Προσχωματικό	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος	0,15
P3	Προσχωματικό	Μάργες	0,15
A2	Αδιαπέρατο	Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι	0,5
K2	Καρστικό	Ασβεστόλιθοι	8,64

Οι υδραυλικές αγωγιμότητες, όπως συνηθίζεται, θεωρούνται ίδιες στις διευθύνσεις x και y και μία τάξη μεγέθους μικρότερης στην κατεύθυνση z .

Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, σε κάθε ζώνη δεν υφίσταται η ίδια τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας για τον εκάστοτε γεωλογικό σχηματισμό. Η κάθε ζώνη ανάλογα με τις απαιτήσεις της προσομοίωσης έχει τροποποιημένη τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας, η οποία κυμαίνεται σε ένα εύρος μέχρι 2 τάξεις μεγέθους πάνω ή κάτω σε σχέση με τις δοθείσες όπως φάνηκαν στον πίνακα 8.

Στην εικόνα 17, δίνεται ο χάρτης της οριοθετημένης υπό μελέτη περιοχής με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται στην περιοχή και τις υδραυλικές αγωγιμότητές τους όπως διαμορφώθηκαν μετά τη διαδικασία της βαθμονόμησης.



Εικόνα 17: Οι τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας σε κάθε ζώνη γεωλογικού σχηματισμού μετά τη βαθμονόμηση.

4.1.6 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα βροχομετρικά δεδομένα στην περιοχή αντλήθηκαν από τις μετρήσεις του σταθμού των Καλυβών κατά την περίοδο 2003-2007 και την χρονιά 2007-2008 από τις μετρήσεις του σταθμού Σαμωνά, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 380 μέτρων. Θεωρήθηκε ότι το 30% των μετρήσεων της βροχοπτώσης σε κάθε χρονική περίοδο είναι αυτό που διηθείται στο έδαφος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βροχομετρικά δεδομένα που εισήχθησαν σε κάθε χρονική περίοδο (stress). Οι τιμές είναι σε m/day και όχι σε mm/day όπως δόθηκαν σαν δεδομένα στο χρήστη, αφού όπως προαναφέρθηκε όλες οι τιμές στο PTC λαμβάνονται σε μέτρα.

Πίνακας 9: Τιμές βροχόπτωσης σε κάθε χρονική περίοδο .

STRESSES	RAIN m/d
1	0,0003
2	0,000002
3	0,00066
4	0,000066
5	0,00081
6	0,00522
7	0,00525
8	0,00129
9	0,00075

4.1.7 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι οριακές συνθήκες περιγράφουν την υδραυλική επικοινωνία της υπό μελέτη περιοχής με τον περιβάλλοντα υδρογεωλογικό χώρο. Το σύστημα που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία τροφοδοτείται από εισροές στα δυτικά, στα νοτιοανατολικά και στα νότια της περιοχής. Οι οριακές συνθήκες όλων των ειδών μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Εισήχθησαν δύο ειδών οριακές συνθήκες:

➤ **Οριακές συνθήκες 1^{ου} είδους – συνθήκες σταθερού υδραυλικού φορτίου.**

Αυτές οι συνθήκες απαιτούν την ύπαρξη απεριόριστης ποσότητας νερού. Το ποτάμι και η θάλασσα αποτελούν συνθήκες 1^{ου} είδους.

Η θάλασσα αλλά και ο ποταμός Κοιλιάρης, σχεδιάστηκαν με ιδιαίτερη προσοχή έχοντας ανοιχτό τον αντίστοιχο χάρτη. Η θάλασσα έχει υδραυλικό ύψος 90 μέτρα.

Το ποτάμι σχεδιάστηκε κόμβο-κόμβο με τη βοήθεια του ανοιχτού χάρτη, στο αντίστοιχο layer του μοντέλου (BC FLOW L2). Τα υδραυλικά ύψη του ποταμού ορίστηκαν ανάλογα με το υψόμετρο σε κάθε κόμβο αφαιρώντας 2 μέτρα για τη χειμερινή περίοδο και 2,5 μέτρα για την θερινή, λόγω της πτώσης στάθμης που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου.

➤ **Οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους-συνθήκες σταθερής ροής.**

Αυτό το είδος οριακών συνθηκών πλεονεκτεί έναντι του πρώτου καθώς δεν προκαλεί αλλοιώσεις στο σύστημα υπόγειας ροής που προσομοιώνεται. Τα πηγάδια καθώς και οι πλευρικές εισροές από παρακείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς που καθορίστηκαν για την προσομοίωση του συστήματος είναι 2^{ου} είδους. Το ίδιο ισχύει και για τα ρήγματα στην περιοχή. Τα πηγάδια που συναντώνται στην περιοχή είναι και άρδευσης και ύδρευσης εκτός από το Νέο Χωριό που είναι μόνο για ύδρευση. Επομένως, για τα πηγάδια που είναι για μικτή χρήση κατά την θερινή περίοδο ορίστηκε η τιμή άντλησής τους να είναι ίση με το 30% της χειμερινής. Στο Νέο Χωριό που είναι μόνο για ύδρευση η τιμή είναι η ίδια και στις δύο περιόδους (χειμώνα-καλοκαίρι).

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι και οι πηγές αποτελούν οριακές συνθήκες δευτέρου είδους, στην παρούσα εργασία όμως ορίστηκαν ως πρώτου είδους κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Ο λόγος εξηγείται στην αντίστοιχη παράγραφο παρακάτω.

Στον πίνακα 10, δίνονται σε σύνοψη οι οριακές συνθήκες και το είδος τους όπως εισήχθησαν στο μοντέλο.

Πίνακας 10: Συνοπτικά οι οριακές συνθήκες και το είδος τους, όπως ορίστηκαν στο PTC.

ΟΡΙΑΚΗ ΣΥΝΘΗΚΗ	ΕΙΔΟΣ
Θάλασσα	1ο είδος
ποτάμι	1ο είδος
πηγές	1ο είδος
πηγάδια	2ο είδος
πλευρικές εισροές	2ο είδος

4.1.8 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Τα αρχικά υδραυλικά ύψη των γεωτρήσεων που βρίσκονται στην εξεταζόμενη περιοχή, αντλήθηκαν από μετρήσεις που πραγματοποίησε το Πολυτεχνείο Κρήτης κατά την ημερομηνία 26-2-2004.

Στον πίνακα 11, φαίνονται τα αρχικά υδραυλικά ύψη των γεωτρήσεων όπως μετρήθηκαν, τα υδραυλικά ύψη μετά την πρόσθεση με τα 90 μέτρα που είναι το βάθος του υδροφορέα και η χρήση της κάθε γεώτρησης. Στα κενά σημεία όσον αφορά στην χρήση τους, δεν υπάρχουν δεδομένα για το είδος της χρήσης και θεωρήθηκαν ως μεικτές γεωτρήσεις (ύδρευση και άρδευση).

Πίνακας 11: Οι γεωτρήσεις, τα υδραυλικά ύψη τους πριν και μετά την πρόσθεση με τα 90 μέτρα και οι χρήσεις τους.

ΠΗΓΑΔΙΑ	Υ.Υ.(μέτρα)	Υ.Υ.+90 μέτρα	ΧΡΗΣΗ
Ν.ΧΩΡΙΟ	93,5	183,5	ύδρευση
ΡΑΜΝΗΣ	51,7	141,7	μεικτή
ΧΑΡΙΤΑΚΗ	17,8	107,8	
ΣΑΜΩΝΑΣ	126,1	216,1	μεικτή
ΣΤΥΛΟΣ3	18,9	108,9	

Στο μοντέλο εισήχθησαν τα δεδομένα της δεύτερης στήλης, τα οποία αποτελούν τα αρχικά υδραυλικά ύψη των γεωτρήσεων (initial heads). Η γεώτρηση του Ραμνή κατά τη διαδικασία οριοθέτησης της περιοχής τοποθετήθηκε εκτός.

4.1.9 ΠΗΓΕΣ

Στη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη συναντώνται 3 σημαντικές πηγές, η πηγή του Ζούρμπου, η πηγή του Στύλου και η πηγή των Αρμένων. Αυτές οι πηγές είναι σημαντικές λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού που εκρέουν.

Στη λεκάνη απορροής υπάρχει και η πηγή του Κατοχωρίου, η οποία κατά τη διαδικασία οριοθέτησης της περιοχής που εξετάζεται τοποθετήθηκε εκτός.

Στον πίνακα 12, φαίνονται οι εκροές των πηγών σε ημερήσια βάση.

Πίνακας 12: Οι εκροές των πηγών σε ημερήσια βάση

ΠΗΓΕΣ	ΠΑΡΟΧΕΣ(m ³ /d)	
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ
Αρμένων	113.000	39.200
Ζούρμπου	113.000	39.200
Στύλου	302.500	105.000

Οι πηγές του Στύλου αποτελούν τον κύριο τροφοδότη της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, ενώ η δική τους φόρτιση πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο από τα Λευκά Όρη.

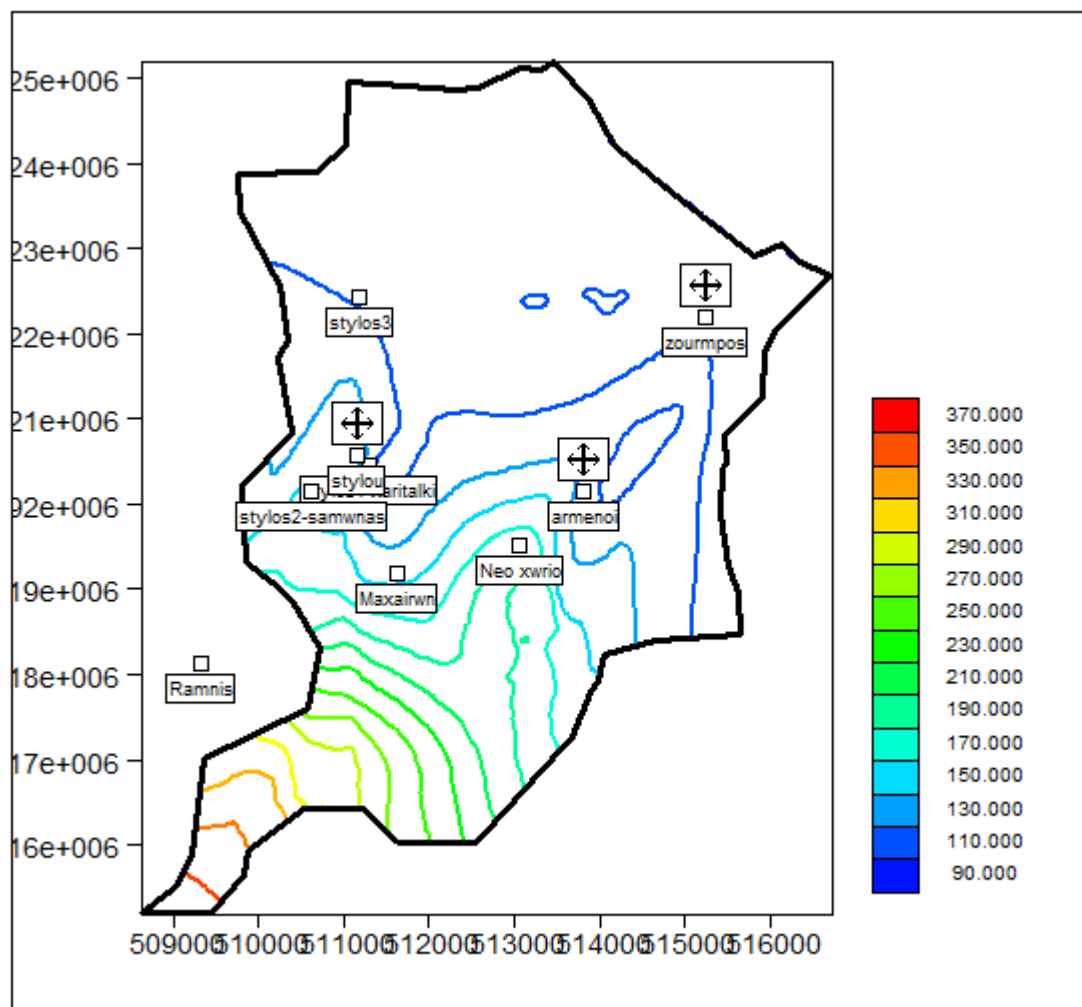
Λόγω της μεγάλης εκροής νερού των πηγών και της δυσκολίας του μοντέλου να ανταποκριθεί σε τόση μεγάλη ποσότητα νερού που απορρέει σημειακά, οι πηγές εισήχθησαν στο μοντέλο σαν οριακές συνθήκες πρώτου είδους, δηλαδή με σταθερό υδραυλικό φορτίο έναντι δευτέρου είδους που θα εισάγονταν κανονικά. Τα υδραυλικά ύψη τους ορίστηκαν ανάλογα με το υψόμετρο του σημείου που βρίσκονται. Αυτή η κίνηση έγινε ουσιαστικά, για να μπορέσει το μοντέλο να ανταποκριθεί και να συνεχιστεί η σωστή βαθμονόμησή του.

Οι πηγές τελικά εισήχθησαν στο μοντέλο σαν σημεία με τα υδραυλικά ύψη σε m σχεδόν στην επιφάνεια του εδάφους, όπως φαίνονται στον πίνακα 13.

Πίνακας 13: Τα υδραυλικά ύψη με τα οποία εισήχθησαν οι πηγές στο μοντέλο σαν οριακές συνθήκες πρώτου είδους σε m.

ΠΗΓΕΣ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΨΗ (m)
ΑΡΜΕΝΩΝ	118,484
ΖΟΥΡΜΠΟΥ	105,32
ΣΤΥΛΟΥ	127,98

Στην εικόνα 18, δίνεται σε γράφημα μέσω του μοντέλου PTC η εικόνα των αρχικών υδραυλικών υψών μετά την εισαγωγή τους.



Εικόνα 18:Γράφημα με τα αρχικά υδραυλικά ύψη (m) μέσω PTC.

4.1.9.1 ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο μοντέλο εισήχθησαν ενιαίες τιμές για την αποθηκευτικότητα και το πορώδες. Η αποθηκευτικότητα ορίστηκε ίση με 0,2 και το πορώδες αντίστοιχα, επίσης, ίσο με 0,2.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης πραγματοποιείται ένα πλήθος επαναλήψεων του μοντέλου, ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από τον στόχο της ανάλυσης, την πολυπλοκότητα του συστήματος το οποίο εξετάζεται και από τη διάρκεια της χρονικής περιόδου κατά την οποία υπάρχουν δεδομένα. Βασικά επιλέγεται μία συγκεκριμένη χρονική περίοδος και τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε αυτήν χρησιμοποιούνται προς βελτίωση των αρχικών εκτιμήσεων. Οι εκτιμήσεις αυτές αφορούν τις εισροές και τις εκροές, τον καθορισμό των οριακών συνθηκών και τις ιδιότητες του υδροφορέα. Η βαθμονόμηση φτάνει στο τέλος της όταν επιτευχθεί μια ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων του μοντέλου (Karanth, 1987).

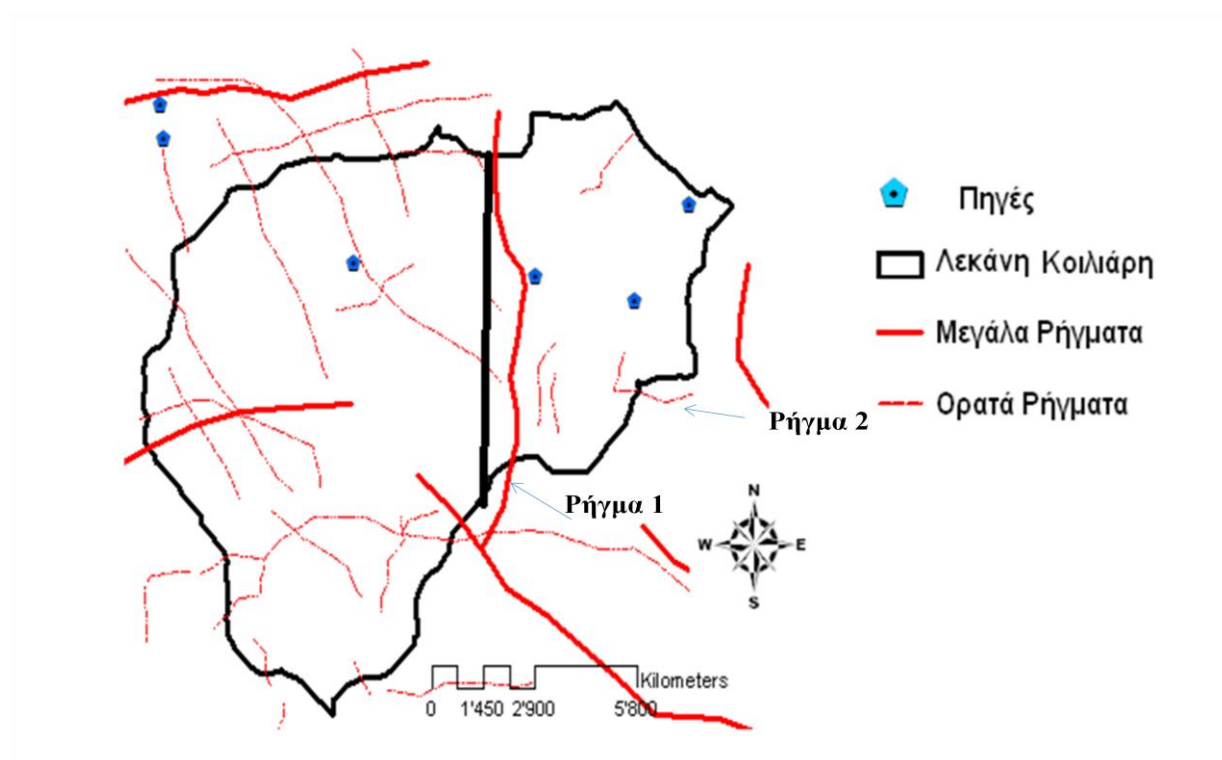
Η διαδικασία της βαθμονόμησης ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία κατά την οποία συναντήθηκαν αρκετά βασικά εμπόδια μέχρις ότου να γίνει η ορθή προσομοίωση του υδρολογικού συστήματος της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Η ύπαρξη μεγάλων ρηγμάτων, οι μεγάλες ποσότητες εκροής νερού των πηγών και το γεγονός ότι κάποιες από τις γεωτρήσεις στην περιοχή είναι ιδιωτικές κάτι που καθιστούσε δύσκολο το να γνωρίζει κανείς τις ακριβείς τιμές άντλησης, ήτανε μόνο κάποια από τα σημεία που έκαναν ιδιαίτερα δυσχερή τη διαδικασία βαθμονόμησης. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έως ότου επιτευχθεί συμφωνία μεταξύ τιμών μοντέλου και πεδίου ήτανε πάρα πολλές. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα από το Μάρτιο του 2004 έως τον Ιανουάριο του 2008. Η βαθμονόμηση έγινε σε δύο πηγάδια, αυτά του Νέου Χωριού και του Χαριτάκη. Στο καθένα τα αρχικά δεδομένα αφορούσαν σε 9 μετρήσεις, δηλαδή ουσιαστικά στις 9 χρονικές περιόδους όπως ορίστηκαν κατά την εισαγωγή δεδομένων, οι οποίες παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο 4^ο κεφάλαιο. Η διαδικασία της βαθμονόμησης ολοκληρώθηκε όταν οι μετρήσεις πεδίου των δύο γεωτρήσεων ήρθαν πολύ κοντά με τις τιμές του μοντέλου.

5.2 ΡΗΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ

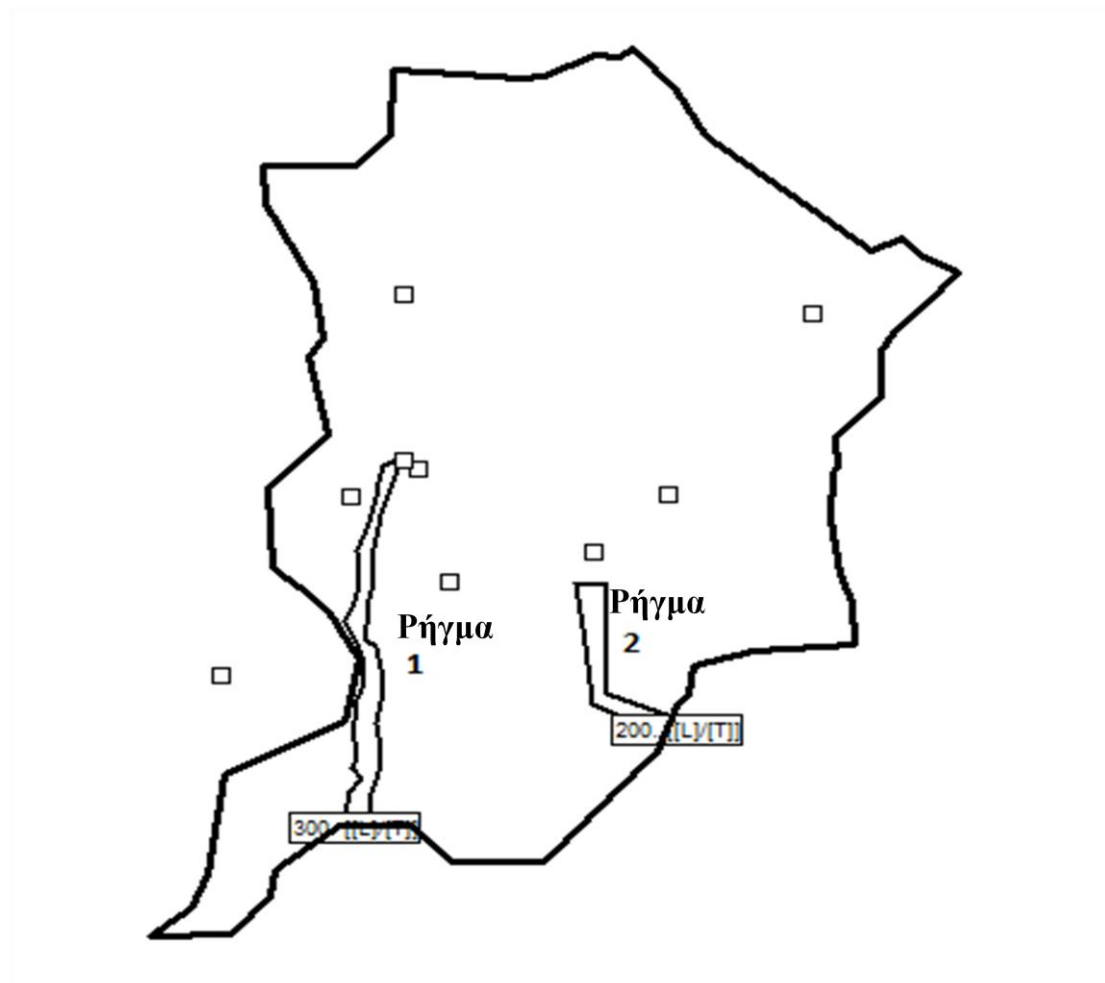
5.2.1 ΡΗΓΜΑΤΑ

Από μελέτες παλαιότερων ετών είναι γνωστή η ύπαρξη ρηγμάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, τα οποία δίνουν μεγάλες ποσότητες νερού στην περιοχή. Το μοντέλο PTC στερείται δυνατότητας άμεσης προσομοίωσης των ρηγμάτων γι' αυτό στην παρούσα διπλωματική τα ρήγματα εισήχθησαν με πολύ μεγάλες υδραυλικές αγωγιμότητες και πολύ μεγάλες ποσότητες νερού ως πλευρικές εισροές. Με αυτό τον τρόπο καταδείχθηκε η πολύ μεγάλη ποσότητα νερού που τροφοδοτεί το υπόγειο υδρολογικό σύστημα της περιοχής. Στόχος ήταν γνωρίζοντας τις εκροές των πηγών, οι οποίες όπως δόθηκαν στον πίνακα 12 έχουν πολύ μεγάλες τιμές, να εξισορροπηθούν οι εισροές και οι εκροές νερού στον υπόγειο υδροφορέα (ισοζύγιο νερού).

Στην εικόνα 19, δίνεται η μορφή της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη με τα ρήγματα που τη διέπουν. Με παχιά μαύρη γραμμή δίνεται η ευθεία οριοθέτησης, που από εκεί και δεξιά είναι η περιοχή που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στην εικόνα 20, δίνεται μέσω του μοντέλου PTC η εικόνα των ρηγμάτων όπως τοποθετήθηκαν στην υπό εξέταση περιοχή.



Εικόνα 19: Τα γεωλογικά ρήγματα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (Νικολαΐδης, 2010) .



Εικόνα 20: Τα γεωλογικά ρήγματα όπως τοποθετήθηκαν στην οριοθετημένη περιοχή μέσω του μοντέλου PTC.

5.2.1.1 ΡΗΓΜΑ 1

Το ρήγμα στα αριστερά (Ρήγμα 1) είναι το κύριο ρήγμα που τροφοδοτεί με άφθονο νερό την εξεταζόμενη περιοχή και εκφορτίζεται στις πηγές του Στύλου. Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης ήταν αυτό στις αλλαγές του οποίου ανταποκρινόταν άμεσα η υπό εξέταση περιοχή, κάτι που οφείλεται στην μεγάλη ποσότητα νερού που το διαρρέει καθώς και στη μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα. Η υδραυλική αγωγιμότητα μέσα στο ρήγμα ορίστηκε τελικά στα 300 m/d έπειτα από πολλές αυξομειώσεις που δοκιμάστηκαν στο μοντέλο. Το ρήγμα τοποθετήθηκε μόνο στο

χαμηλότερο εδαφικό στρώμα (L1) κατά τη διάρκεια προσομοίωσης καθώς ήταν γνωστή η ύπαρξη του ρήγματος σε μεγάλο βάθος χωρίς να είναι ορατό.

Έχοντας σαν γνώμονα το υδραυλικό ύψος στη γεώτρηση του Χαριτάκη αλλά και τις τιμές των υπομέτρων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, σε μεγάλες αυξήσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας υπήρχε μεγάλη αύξηση στο υδραυλικό ύψος της συγκεκριμένης γεώτρησης σε σχέση με το αρχικό υδραυλικό ύψος. Σημαντική ήταν η αύξηση του υδραυλικού ύψους και στο υπόλοιπο σύστημα. Επίσης, υπήρχε απότομη αύξηση της ταχύτητας του υπόγειου νερού που έφτανε μέχρι τα 30 m/d.

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας στα 300 m/d ορίστηκε ως η βέλτιστη τιμή ώστε να καταδειχθεί με αυτό τον τρόπο στο μοντέλο PTC η ύπαρξη αυτού του μεγάλου ρήγματος αλλά και σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες να γίνει η βέλτιστη συμφωνία τιμών μοντέλου και πεδίου.

Ταυτόχρονα εφαρμόστηκαν οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους στο σημείο εισροής του ρήγματος στην περιοχή μελέτης. Στην εικόνα 21, φαίνονται οι εισροές του ρήγματος όπως ορίστηκαν μετά το πέρας της βαθμονόμησης στο μοντέλο σε m³/d.

Contour Information

Please enter value for this contour:

OK Cancel

Contour is: Closed
Number of vertices: 7
Contour area: 25789.9
Contour perimeter: 743.099

Contour name:

Icon: None

Parameter	Value	Units
BC Type L1	2	1 or 2
BC Stress1	50000	
BC Stress2	15000	
BC Stress3	50000	
BC Stress4	20000	
BC Stress5	30000	
BC Stress6	20000	
BC Stress7	30000	
BC Stress8	500	
BC Stress9	20000	

Εικόνα 21: Εισροές στο ρήγμα 1 σε m³/d.

5.2.1.2 ΡΗΓΜΑ 2

Το δεύτερο ρήγμα (Ρήγμα 2) είναι μικρότερο, ορίστηκε με υδραυλική αγωγιμότητα 200 m/d και επεκτείνεται μέχρι τη γεώτρηση του Νέου Χωριού, προσομοιώνοντας την εκφόρτιση των πηγών των Αρμένων. Το ρήγμα είναι ορατό και εισήχθη και στα δύο εδαφικά στρώματα (L1, L2).

Κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης το εν λόγω ρήγμα εξισορρόπησε τη ροή του νερού γύρω από τη γεώτρηση του Νέου Χωριού. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που συναντήθηκαν κατά τη βαθμονόμηση ήταν ότι η ροή του υπόγειου νερού γύρω από τη γεώτρηση ήταν εξαιρετικά έντονη δίνοντας την αίσθηση ότι η γεώτρηση του Νέου Χωριού έδινε συνεχώς νερό στην τριγύρω περιοχή χωρίς να φαίνεται από πού τροφοδοτείται η ίδια η γεώτρηση. Η απάντηση δόθηκε με την προσομοίωση του 2^{ου} ρήγματος στην περιοχή..

Οι εισροές στο ρήγμα μετά τη βαθμονόμηση ορίστηκαν όπως φαίνονται στην εικόνα 22 του μοντέλου. Είναι όπως και στο μεγάλο ρήγμα 2ου είδους και σε m³/d.

Contour Information

i Please enter value for this contour:

OK

Cancel

Contour is: Closed

Number of vertices: 6

Contour area: 87321.7

Contour perimeter: 1365.44

Contour name:

Icon: None

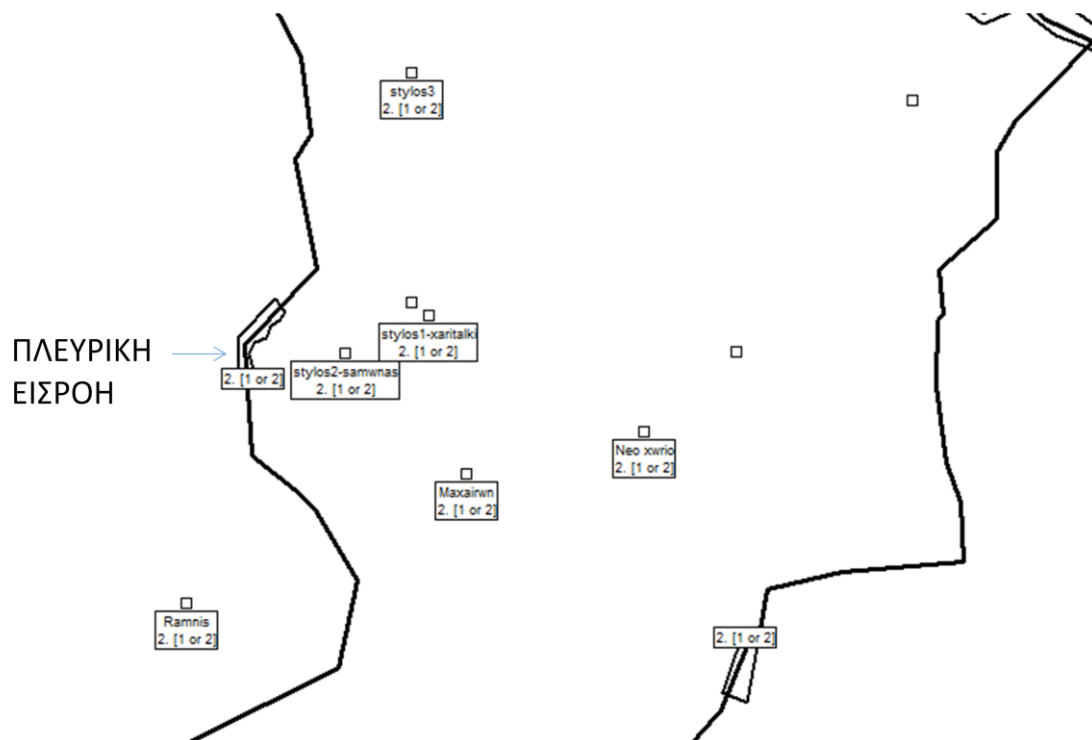
Parameter	f_x	Value	Units
BC Type L1		<input type="text" value="2"/>	1 or 2
BC Stress1		10000	
BC Stress2		3000	
BC Stress3		10000	
BC Stress4		3000	
BC Stress5		10000	
BC Stress6		3000	
BC Stress7		10000	
BC Stress8		3000	
BC Stress9		10000	

Εικόνα 22:Εισροές στο ρήγμα 2 σε m^3/d .

Το βασικό συμπέρασμα το οποίο είχε γίνει ήδη προφανές κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, είναι ότι οι εισροές του μεγάλου ρήγματος (προσομοίωση εκφόρτισης πηγών Στύλου) επηρεάζουν περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο παράγοντα την υπόγεια ροή του συστήματος στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Αυτό συμβαίνει λόγω του μεγάλου μεγέθους του, της πολύ μεγάλης τιμής υδραυλικής αγωγιμότητας αλλά κυρίως των μεγάλων εισροών νερού που δίνει στον υδροφορέα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οποιεσδήποτε άλλες παρεμβάσεις πραγματοποιούνταν στο μοντέλο από τον χρήστη να μη βρίσκουν μεγάλη ανταπόκριση εν αντιθέσει με τις αλλαγές στο εν λόγω ρήγμα οι οποίες μετέβαλαν σε μεγάλο βαθμό όλες τις παραμέτρους του συστήματος σε ολόκληρη τη λεκάνη.

5.2.2 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ

Οι πλευρικές εισροές στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη έρχονται μέσω των ρηγμάτων και με μια ακόμα πλευρική εισροή αριστερά της γεώτρησης του Χαριτάκη, η οποία τοποθετήθηκε στο σημείο αυτό με βάση υδρογεωλογικές μελέτες της περιοχής και την εμπειρία των ειδικών.



Εικόνα 23: Κάτοψη της εξεταζόμενης περιοχής με την εικόνα της πλευρικής εισροής.

Οι εισροές σε κάθε περίοδο όπως προέκυψαν μετά τη βαθμονόμηση είναι στην εικόνα 24, σε m^3/d . Οι εισροές εδώ είναι, όπως και των ρηγμάτων, $2^{\text{ου}}$ είδους.

Contour Information

Please enter value for this contour: OK

Cancel

Contour is: Closed

Number of vertices: 11

Contour area: 99049.6

Contour perimeter: 1853.87

Contour name:

Icon: None

Parameter	Value	Units
BC Type L1	2	1 or 2
BC Stress1	20000	
BC Stress2	6000	
BC Stress3	20000	
BC Stress4	6000	
BC Stress5	15000	
BC Stress6	100	
BC Stress7	500	
BC Stress8	1500	
BC Stress9	100	

Εικόνα 24: Εισροές νερού σε κάθε χρονική περίοδο για την πλευρική εισροή σε m^3/d .

Πριν οριστούν οι παραπάνω τελικές εισροές, είχανε υποστεί πολλές αυξομειώσεις είτε μόνες τους είτε σε συνδυασμό με τις εισροές των ρηγμάτων και τις υδραυλικές αγωγιμότητες του συστήματος, όμως σε κάθε περίπτωση τα νέα υδραυλικά ύψη ήτανε σε πολύ μεγάλη απόκλιση από τα πρότυπα.

5.3 ΠΗΓΕΣ

Οι πηγές, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, λόγω της μεγάλης εκροής νερού δυσκόλεψαν αρκετά τη διαδικασία βαθμονόμησης. Μετά από πολλές αλλαγές στις υδραυλικές αγωγιμότητες του συστήματος, μεγάλες αυξήσεις στις πλευρικές εισροές της τάξεως μέχρι και του $1.000.000 \text{ m}^3/\text{d}$, αλλαγές στις αντλήσεις γεωτρήσεων οι οποίες λόγω του ότι είναι ιδιωτικές άφηναν το περιθώριο διαφορετικής προσέγγισης των τιμών άντλησής τους ακόμα και μείωση των ίδιων των εκροών στο $1/3$ της δεδομένης τιμής, ήτανε φανερό ότι λόγω της τεράστιας εκροής νερού των πηγών το μοντέλο δεν μπορούσε καν να τρέξει.

Η τελευταία προσπάθεια που έγινε αφορούσε σε μία έξοδο νερού με τις τιμές της εκροής στο χαμηλό στρώμα εδάφους (L1). Στην ουσία οι πηγές τοποθετήθηκαν σαν σημεία διοχέτευσης μεγάλης ποσότητας νερού, δηλαδή σαν σημεία που έδιναν νερό στο ανώτερο στρώμα (L2) ώστε να λειτουργήσει μεταξύ τους το ισοζύγιο νερού. Η τελευταία αυτή προσπάθεια στάθηκε και πάλι αποτυχημένη για να οδηγήσει το μοντέλο να τρέξει.

Τελικά, οι πηγές ορίστηκαν, όπως προαναφέρθηκε, σε πρώτου είδους συνθήκες με σταθερό υδραυλικό ύψος, το οποίο ορίστηκε από το υψόμετρο της εκάστοτε πηγής με μία μικρή διαφορά της τάξης του εκατοστού και όχι οριακά με την τιμή του υψομέτρου για λόγους ευαισθησίας του μοντέλου. Η διαδικασία της βαθμονόμησης ωστόσο έγινε κανονικά προσπαθώντας να επιτευχθεί η ισορροπία στο ισοζύγιο του νερού με βασικό δεδομένο τις τεράστιες εκροές των πηγών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρης.

5.4 ΠΟΤΑΜΟΣ ΚΟΙΛΙΑΡΗΣ

Ο ποταμός Κοιλιάρης σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του χάρτη ο οποίος απεικονίζει τον κύριο ρου και τους παραποτάμους του. Έχοντας από κάτω τον χάρτη, σχεδιάστηκε ο ποταμός στο ανώτερο εδαφικό στρώμα L2, με ιδιαίτερη προσοχή σχεδιάζοντας οριακές συνθήκες σε διπλανούς κόμβους δείχνοντας έτσι την πορεία του ποταμού. Οι οριακές συνθήκες αυτές χαρακτηρίζονται από το υδραυλικό ύψος του ποταμού στον εκάστοτε κόμβο και από το είδος της οριακής συνθήκης, δηλαδή το 1^ο είδος. Το υδραυλικό ύψος σε κάθε οριακή συνθήκη δόθηκε σε σχέση με το υψόμετρο στον εκάστοτε κόμβο και ειδικότερα -2 μέτρα σε σχέση με το υψόμετρο κατά την χειμερινή περίοδο και -2,5 μέτρα από την αντίστοιχη υψομετρική τιμή για την θερινή περίοδο, μόνο για το κομμάτι μεταξύ των πηγών του Στύλου και της παράκτιας ζώνης, το οποίο διαθέτει μόνιμη ροή. Στην εικόνα 25, δίνονται οι τιμές του υδραυλικού ύψους σε m σε έναν τυχαίο κόμβο που βρίσκεται στον κύριο ρου του ποταμού.

Contour Information

i

Please enter value for this contour:

Contour is: Closed

Number of vertices: 4

Contour area: 29543.2

Contour perimeter: 697.507

Contour name:

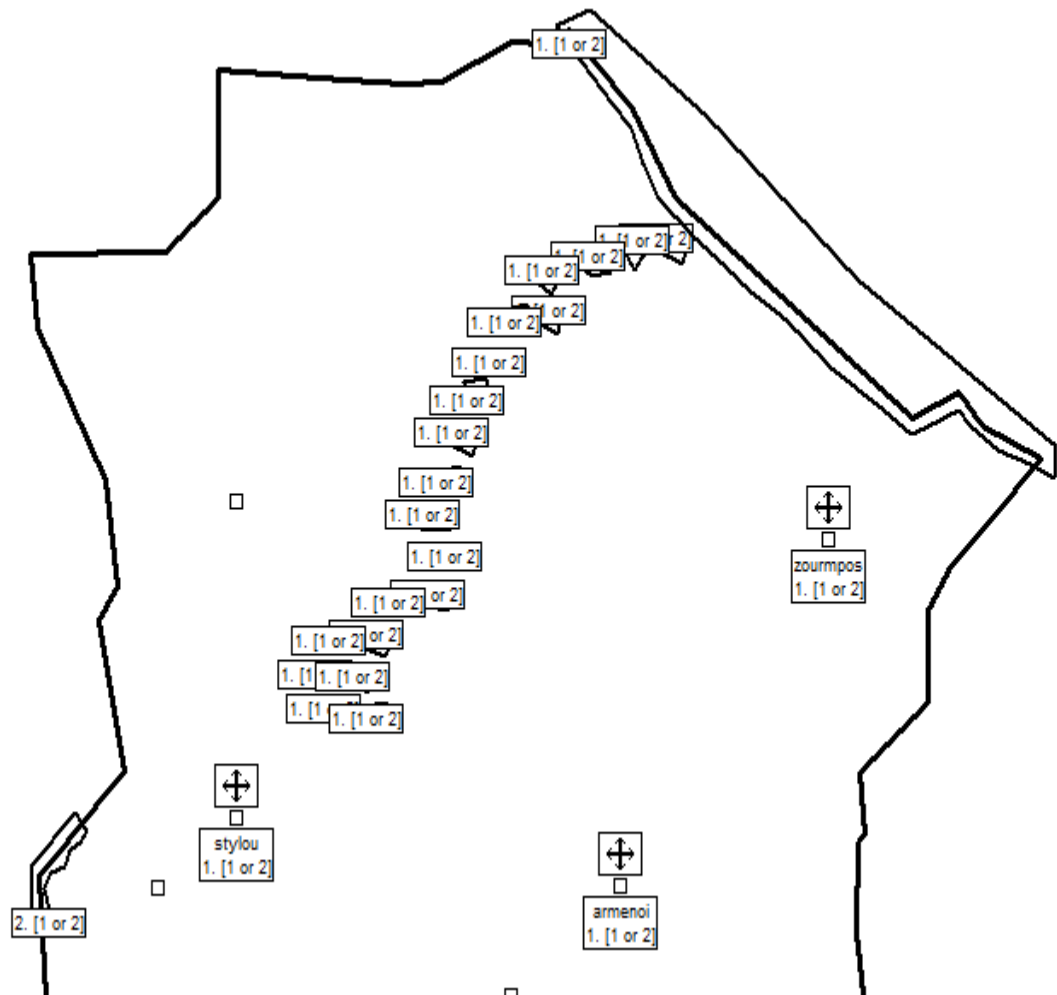
Icon: None

Parameter	f _x	Value	Units
BC Type L2	1		1 or 2
BC Stress1		112.4	
BC Stress2		111.9	
BC Stress3		112.4	
BC Stress4		111.9	
BC Stress5		112.4	
BC Stress6		111.9	
BC Stress7		112.4	
BC Stress8		111.9	
BC Stress9		112.4	

Εικόνα 25: Υδραυλικό ύψος ποταμού Κοιλάρη σε έναν τυχαίο κόμβο σε m.

5.5 ΘΑΛΑΣΣΑ

Η θάλασσα σχεδιάστηκε σαν οριακή συνθήκη 1^{ου} είδους, με τη βοήθεια του χάρτη και στα 2 στρώματα του μοντέλου. Το υδραυλικό ύψος της θάλασσας σε κάθε χρονική περίοδο είναι ίσο με 90 μέτρα. Στην εικόνα 26, δίνεται η θέση του ποταμού στην οριοθετημένη περιοχή, η θέση των πηγών και της θάλασσας.



Εικόνα 26: Παρουσίαση της περιοχής μελέτης με την θέση των πηγών, του ποταμού Κουλιάρη και της θάλασσας.

5.6 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Οι δύο γεωτρήσεις οι οποίες βαθμονομήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η γεώτρηση του Χαριτάκη και η γεώτρηση του Νέου Χωριού. Στους πίνακες 14 και 15, παρουσιάζονται οι τιμές μετά τη βαθμονόμηση και οι αρχικές τιμές των υδραυλικών υψών για καθεμία από τις γεωτρήσεις.

Πίνακας 14: Τα υδραυλικά ύψη στη γεώτρηση του Νέου Χωριού μετά τη διαδικασία βαθμονόμησης στο PTC.

Νέο Χωριό

stresses	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	ΑΡΧΙΚΟ Υ.Υ. (m)	Υ. Υ. ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ (m)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΙΜΩΝ (m)
3	Νοέμβριος 2004 - Μάιος	180	181	1
	2005			
4	Ιούνιος 2005 -	182,4	180,58	-1,82
	Οκτώβριος 2005			
5	Νοέμβριος 2005 - Μάιος	179,3	180,22	0,92
	2006			
6	Ιούνιος 2006 -	177,6	179,78	2,18
	Οκτώβριος 2006			
7	Νοέμβριος 2006 - Μάιος	178,5	179,68	1,18
	2007			
8	Ιούνιος 2007 -	181,3	179,59	-1,71
	Οκτώβριος 2007			
9	Νοέμβριος 2007 -	179	179,49	0,49
	Ιανουάριος 2008			

Πίνακας 15: Τα υδραυλικά ύψη στη γεώτρηση του Χαριτάκη μετά τη διαδικασία βαθμονόμησης στο PTC.

Χαριτάκη

stresses	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	ΑΡΧΙΚΟ Υ.Υ. (m)	Υ. Υ. ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ (m)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΙΜΩΝ (m)
3	Νοέμβριος 2004 -	117,8	117,45	-0,35
	Μάιος 2005			
4	Ιούνιος 2005 -	120,3	118,31	-1,99
	Οκτώβριος 2005			
5	Νοέμβριος 2005 -	117,9	119,03	1,13
	Μάιος 2006			
6	Ιούνιος 2006 -	115,8	119,63	3,83
	Οκτώβριος 2006			
7	Νοέμβριος 2006 -	115,7	119,79	4,09
	Μάιος 2007			
8	Ιούνιος 2007 -	118,3	119,93	1,63
	Οκτώβριος 2007			
9	Νοέμβριος 2007 -	114,3	120,06	5,76
	Ιανουάριος 2008			

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΝΕΟΥ ΧΩΡΙΟΥ

Οι βαθμονομημένες τιμές του μοντέλου για τη γεώτρηση του Νέου Χωριού, είναι πολύ κοντά στις πραγματικές με διαφορές από 0,49 η μικρότερη έως 2,18 μέτρα η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή. Σε γενικές γραμμές η βαθμονόμηση στο Νέο Χωριό δεν παρουσίασε πρόβλημα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ανταποκρινόταν άμεσα στις αλλαγές των παραμέτρων του συστήματος. Το RMSE (Root Mean Square Error) που υπολογίστηκε για τη γεώτρηση του Νέου Χωριού είναι ίσο με 0,85 m και το NRMSE (Normalised Root Mean Square Error) υπολογίστηκε ίσο με 0,0094.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΧΑΡΙΤΑΚΗ

Το μοντέλο μετά τη βαθμονόμηση της γεώτρησης του Χαριτάκη έδωσε τιμές υδραυλικού ύψους αρκετά κοντά με τις τιμές του πεδίου εκτός από τις χρονικές περιόδους 6, 7 και 9 όπου παρατηρούνται κάπως πιο μεγάλες διαφορές οι οποίες

κυμαίνονται από 3,83 μέτρα έως 5,76 μέτρα κατά απόλυτη τιμή. Η γεώτρηση του Χαριτάκη ήτανε αρκετά προβληματική κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησής της, καθώς δεν ανταποκρινόταν σε αλλαγές των παραμέτρων του συστήματος από την αρχή.

Πραγματοποιήθηκαν πάρα πολλές δοκιμές με τις δεδομένες αρχικές τιμές σαν στόχο και η γεώτρηση του Χαριτάκη δεν έδειχνε να αντιδρά.

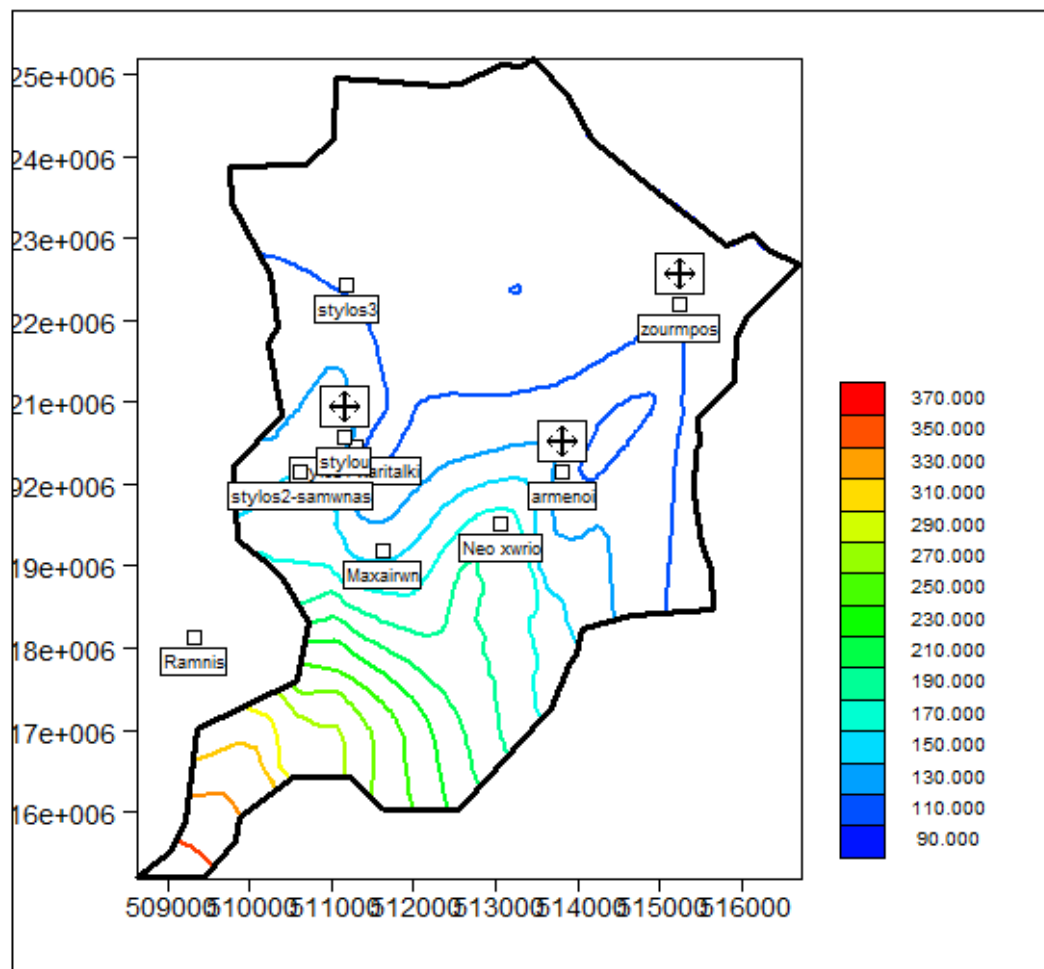
Σε αυτό το σημείο έγινε η διαπίστωση για τη γεώτρηση του Σαμωνά η οποία εξήλθε από το υπό εξέταση σύστημα, καθώς διαπιστώθηκε ότι βρίσκεται σε διαφορετικό υδροφορέα από αυτόν που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική λόγω του παραδόξου σε τόσο κοντινή απόσταση με τη γεώτρηση του Χαριτάκη, η διαφορά των υδραυλικών υψών τους να είναι περίπου στα 100 μέτρα.

Τελικά, καταληκτικές τιμές για τη γεώτρηση του Χαριτάκη είναι οι παραπάνω και ο λόγος που στις τρεις χρονικές περιόδους 6, 7 και 9 η διαφορά μεταξύ των τιμών μοντέλου και πεδίου είναι σχετικά μεγάλη, είναι λόγω της ύπαρξης του μεγάλου ρήγματος το οποίο βρίσκεται πολύ κοντά στην εν λόγω γεώτρηση. Η μεγάλη ποσότητα νερού με την οποία τροφοδοτεί το σύστημα διατηρεί το υδραυλικό ύψος της γεώτρησης του Χαριτάκη σε υψηλά επίπεδα. Το RMSE (Root Mean Square Error) που υπολογίστηκε για τη γεώτρηση του Χαριτάκη είναι ίσο με 5,3 m και το NRMSE (Normalised Root Mean Square Error) υπολογίστηκε ίσο με 0,196.

5.7 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΨΗ

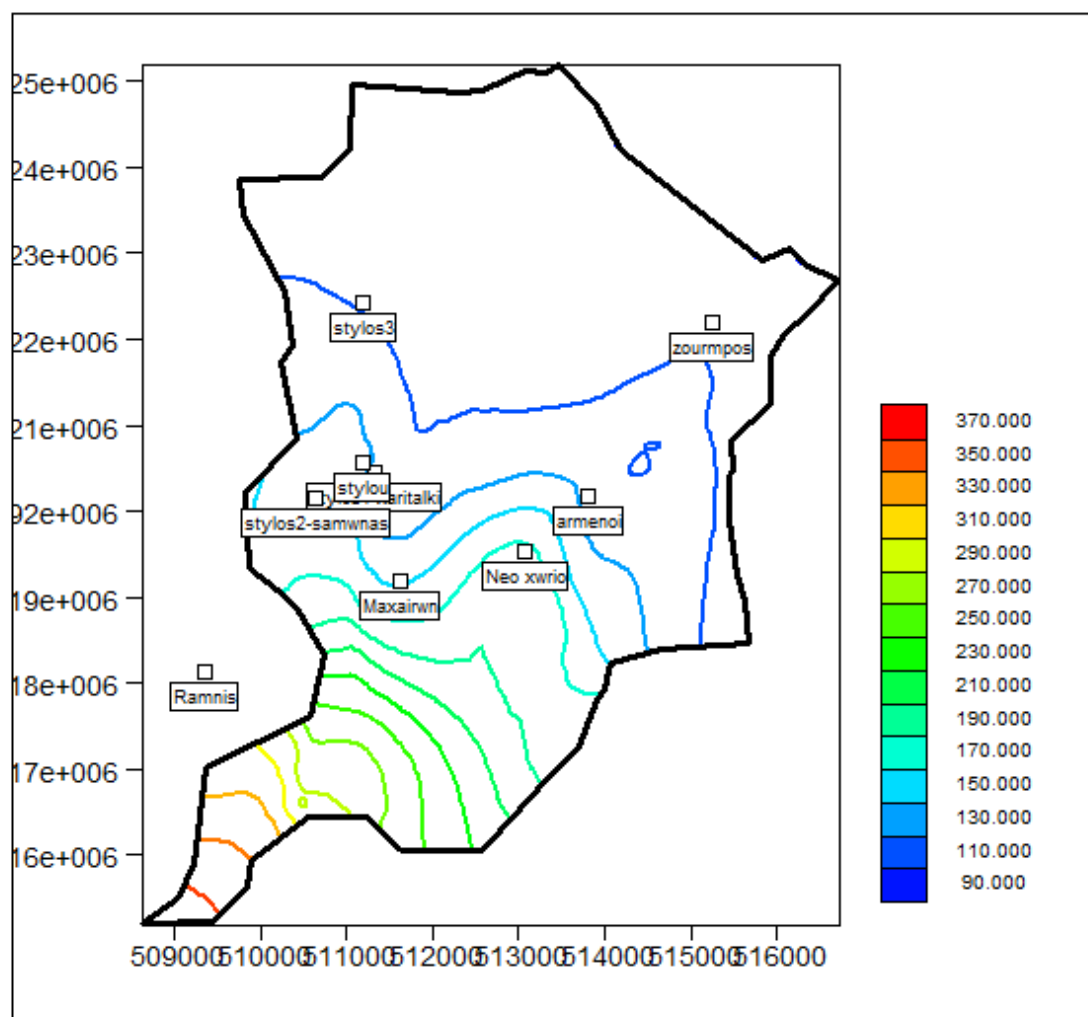
Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ένα σενάριο για το μέλλον. Στο σενάριο αυτό για τη δεκαετία 2008-2018 παρέμειναν ίδιες οι παράμετροι που εισήχθησαν αρχικά στο σύστημα αλλά και οι παράμετροι μετά τη βαθμονόμηση.

Τα υδραυλικά ύψη στην περιοχή την χρονική περίοδο Νοέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008 (περίοδος 9) δίνονται στην εικόνα 27.



Εικόνα 27: Υδραυλικά ύψη στην εξεταζόμενη περιοχή μετά το πέρας της χρονικής περιόδου Νοέμβριος 2007- Ιανουάριος 2008 (περίοδος 9)

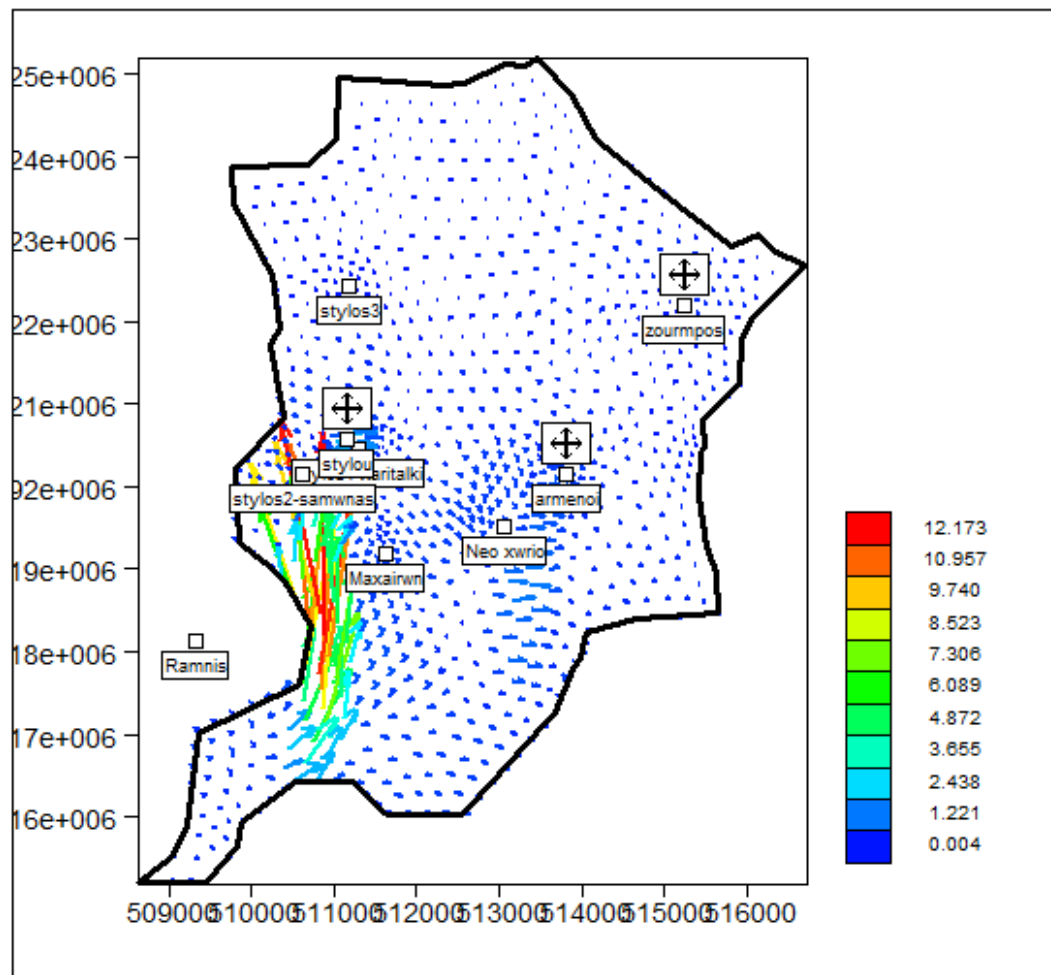
Τα υδραυλικά ύψη την χρονική περίοδο Νοέμβριος 2017-Ιανουάριος 2018, δηλαδή την επόμενη δεκαετία μετά την προσομοίωση είναι στο γράφημα που φαίνεται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28: Υδραυλικά ύψη στην εξεταζόμενη περιοχή μετά το πέρας της χρονικής περιόδου Νοέμβριος 2017- Ιανουάριος 2018 (περίοδος 29)

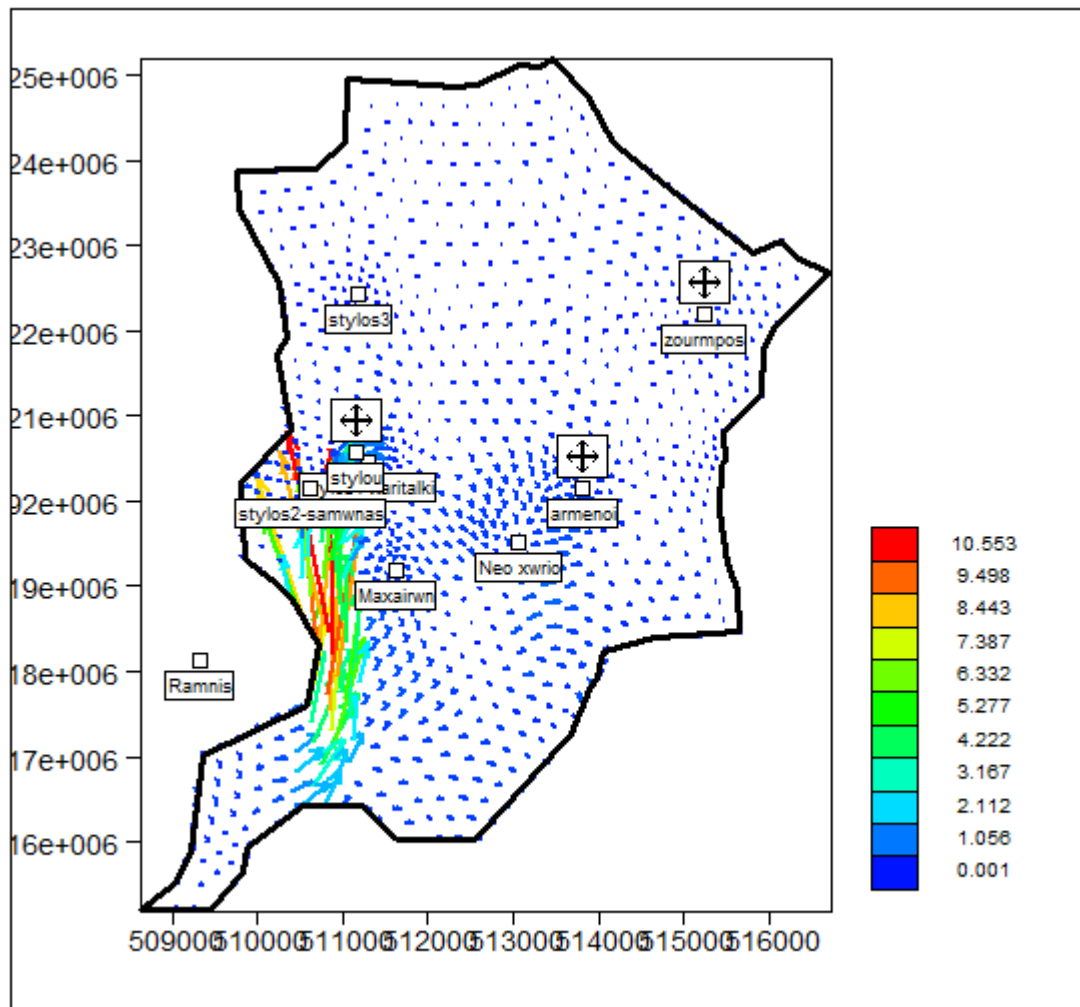
5.8 ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι ταχύτητες της υπόγειας ροής φαίνονται στο γράφημα της εικόνας 29, κατά την περίοδο Νοέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008 (περίοδος 9).



Εικόνα 29: Ταχύτητες υπόγειας ροής μετά το πέρας της χρονικής περιόδου Νοέμβριος 2007-Ιανουάριος 2008 (περίοδος 9).

Οι ταχύτητες της υπόγειας ροής μετά το πέρας της δεκαετίας, δηλαδή την περίοδο Νοέμβριος 2017-Ιανουάριος 2018, φαίνονται στο γράφημα στην εικόνα 30.



Εικόνα 30: Ταχύτητες υπόγειας ροής μετά το πέρας της χρονικής περιόδου Νοέμβριος 2017-Ιανουάριος 2018 (περίοδος 29).

Οι πιο μεγάλες ταχύτητες και στις δύο χρονικές περιόδους συναντώνται στην εκροή του μεγάλου ρήγματος. Η μεγαλύτερη ταχύτητα μετά το πέρας της περιόδου Νοέμβριος 2017- Ιανουάριος 2018 ξεπερνάει κατά λίγο τα 10,5 m/d και συναντάται στην εκροή του μεγάλου ρήγματος (Ρήγμα 1). Όπως φαίνεται και από το παραπάνω γράφημα το μεγάλο ρήγμα κάτω αριστερά τροφοδοτεί την περιοχή γύρω από τη γεώτρηση του Χαριτάκη αλλά και τη γεώτρηση του Νέου Χωριού κατά ένα ποσοστό. Η γεώτρηση του Χαριτάκη τροφοδοτείται, επίσης, από τις εισροές στα αριστερά της, όχι φυσικά σε τόσο μεγάλο βαθμό όσο από το μεγάλο ρήγμα. Η γεώτρηση του Νέου Χωριού τροφοδοτείται σε μεγαλύτερη κλίμακα από τις εισροές του μικρότερου ρήγματος κάτω δεξιά (Ρήγμα 2). Όπως φαίνεται στις εικόνες 29 και 30, το μεγάλο ρήγμα τροφοδοτεί επίσης με νερό και τις πλούσιες πηγές του Στύλου.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του υπόγειου υδροφορέα κατάντη της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, δηλαδή στο προσχωματικό κομμάτι της λεκάνης. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος ARGUS ONE και συγκεκριμένα του κώδικα PTC, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και της μεταφοράς των υπόγειων ρύπων.

Μετά το πέρας της προσομοίωσης αλλά και κατά τη διάρκεια αυτής προέκυψε το συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγάλη ποσότητα ύδατος στον υπόγειο υδροφορέα της περιοχής που μελετάται, ο οποίος περιλαμβάνει το προσχωματικό κομμάτι της περιοχής μελέτης. Στην ευρύτερη περιοχή συναντάται ιδιαίτερη καρστικότητα και πολλά ρήγματα. Ωστόσο δύο είναι εκείνα που τροφοδοτούν τη λεκάνη απορροής στο μεγαλύτερο βαθμό. Εξαιρετικής σημασίας είναι το μεγάλο ρήγμα (Ρήγμα 1), νοτιοδυτικά της υπό εξέταση περιοχής, το οποίο εκρέει μεγάλες ποσότητες νερού και τροφοδοτεί την πηγή του Στύλου αλλά και τη γεώτρηση του Χαριτάκη. Ωστόσο το εν λόγω ρήγμα τροφοδοτεί με νερό και επηρεάζει όλη τη λεκάνη απορροής και όχι μόνο τοπικά. Οποιαδήποτε μικρή αλλαγή είτε στην υδραυλική αγωγιμότητα που χρησιμοποιήθηκε για να το προσομοιώσει είτε στην ποσότητα του νερού που εκφορτίζεται από αυτό σε ημερήσια βάση προκαλεί μεταβολές και επηρεάζει τα υδραυλικά ύψη όλης της περιοχής μελέτης κι όχι μόνο την περιοχή γύρω από το σημείο εκφόρτισης. Το Ρήγμα 1, τροφοδοτεί με νερό τον υδροφορέα όλης της περιοχής άρα και τις πηγές και τις γεωτρήσεις που βρίσκονται σε αυτόν. Το Ρήγμα 2, το οποίο είναι ορατό, εκφορτίζει στην πηγή των Αρμένων και οι οποιεσδήποτε μεταβολές των ημερήσιων εκροών του και των υδραυλικών αγωγιμοτήτων των σχηματισμών που το απαρτίζουν επηρεάζουν τα υδραυλικά ύψη της περιοχής κυρίως τοπικά του σημείου εκφόρτισης και σε κοντινές αποστάσεις από αυτή.

Οι εκροές των πηγών που υπάρχουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη είναι τεράστιες, πράγμα που σημαίνει ότι οι εισροές στην περιοχή είναι εξίσου μεγάλες. Παρατηρήθηκε ότι οι εισροές μέσω των ρηγμάτων και της πλευρικής εισροής αγγίζουν μέχρι και τα 50.000 m³ /d σε κάθε κόμβο από τον οποίο εισρέει το νερό. Η κινητικότητα του νερού και η αφθονία του στον υδροφορέα της εξεταζόμενης περιοχής είναι εξαιρετικά μεγάλες και προκαλούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Μετά το πέρας της δεκαετίας 2008- 2018, κατά την οποία όλες οι παράμετροι παρέμειναν ίδιες όπως εισήχθησαν κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης, το υδατικό δυναμικό στην περιοχή μελέτης παρέμεινε εξίσου πλούσιο. Παρουσιάστηκε μία πολύ μικρή πτώση στάθμης η οποία δεν είναι σημαντική, ενώ οι ταχύτητες του υπόγειου νερού παρουσίασαν μια πτώση της τάξεως του 1,5 έως 2 m/d. Τέλος, η αφθονία του υδατικού δυναμικού στην εξεταζόμενη περιοχή οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη ρηγμάτων και προέρχεται από τα κατακρημνίσματα (βροχές και χιόνια) στην περιοχή των Λευκών Ορέων, στο ορεινό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- ❖ Οδηγία 2000/60/EK, Για τη θέσπιση πλαισίου Κοινοτικής Δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων
- ❖ Καρατζάς Γ., Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2000
- ❖ Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., Τεχνική Υδρολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο , 1999.
- ❖ Τάτσης Λ., Κοινοτική Νομοθεσία για την Προστασία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2007
- ❖ Αντωνόπουλος Β., Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2001
- ❖ Δερματάς Δ., Ρύπανση του Εδάφους και των Υπόγειων Υδροφορέων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
- ❖ Δασκαλάκη Α., Η ένταση της υφαλμύρινσης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2008
- ❖ Νικολαΐδης Ν., Καρατζάς Γ., Κουσουρής Θ., Κουργιαλάς Ν., Σταμάτη Φ., Μωραΐτης Δ., Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τις λεκάνες απορροής των ποταμών Κερίτη-Θερίσου και Κοιλιάρη, Χανιά, 2010
- ❖ Λίλλη Μ., Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Εκτίμηση της Διάβρωσης και της Αστοχίας του Πρανούς του Ποταμού Κοιλιάρη, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2011

- ❖ Χατζηθεοχάρους Κ., Υδρογεωχημική Μελέτη του Ποταμού Κοιλιάρη, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005
- ❖ Καλογεράκη Β., Διαχειριστική Μελέτη Υδατικών Πόρων στη Λεκάνη Απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009
- ❖ Βοζινάκης Κ., Υδατικοί Πόροι Νομού Χανίων και Διαχείρισή τους, Υπουργείο Γεωργίας-Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, Χανιά, 2004
- ❖ Κνιθάκης Μ., Έκθεση επί των Αποτελεσμάτων Ιχνηθέτησης στην Περιοχή των Πηγών του Στύλου Χανίων ΙΓΜΕ, Ρέθυμνο, 1993
- ❖ Πανακούλια Σ., Αποκεντρωμένη Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων από ξενοδοχειακές Μονάδες στο Βόρειο άξονα της Κρήτης, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009
- ❖ Κοκολογιάννη Α., Μέλετη Επιφανειακών Νερών στην Περιοχή του Στύλου Αποκορώνου, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά, 2012
- ❖ Σωτηροπούλου Κ., Προσομοίωση του Υπόγειου Παράκτιου Υδροφορέα της Μεσαρίας στην Σαντορίνη, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2010

Ξένη βιβλιογραφία

- ❖ Bear J., Dynamics of Fluids in Porous Media, Republication, Dover Publications, New York, 1988
- ❖ Fidelibus M.D., Idrogeologia applicata, (Appunti), Sezione di Ingegneria Geotecnica e Geoambientale, Politecnico di Bari, 2003

- ❖ Karanth K.R., Groundwater Assesment Development and Management, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Delhi, 1987
- ❖ Datei C., Idraulica, Edizioni Cortina, Padova, 1999
- ❖ Anderson M.P. and Woessner W.W., Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press, California, 1992
- ❖ Olivares J.L., Argus ONE- PTC interface v.2.2 user's guide
- ❖ Babu D.K., Pinder G.F., Niemi A., Ahfield D.P., Stothoff S.A., Chemical Transport by Three-Dimensional Groundwater Flows, Princeton University, 1997

Ιστοσελίδες

- ❖ Ο Υδρολογικός Κύκλος, Γεωλογική Υπηρεσία Η.Π.Α., ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html> , (7-7-2014)
- ❖ Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Τρικάλων, ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ <http://www.deyat.gr/nero-kai-fysi>, (17-7-2014)
- ❖ Επιτραπέζιο Νερό ΣΑΜΑΡΙΑ, ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ <http://www.samariawater.gr>, (17-7-2014)