



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# **Διπλωματική Εργασία: Καθορισμός Ζωνών Προστασίας Πηγαδιών στην Περιοχή του Κάμπου Χανιών, με την χρήση Αναλυτικού Μοντέλου**

---

**Αλέξης Σταμπουλτζίδης ,Χανιά 2016**

Εξεταστική Επιτροπή:  
Καρατζάς Γεώργιος (επιβλέπων)  
Νικολαΐδης Νικόλαος  
Παρανυχιανάκης Νικόλαος

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Υπόγεια Νερά και Βασικές Εξισώσεις.....	6
1.2 Πηγές και Προέλευση Ρύπανσης.....	9
1.3 Σκοπός.....	12
1.4 Διάρθρωση εργασίας.....	13
2. Ζώνες προστασίας γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης (WHPA) ή (SPZ).....	14
2.1. Ζώνες προστασίας.....	14
2.1.1. Ζώνη επιρροής.....	14
2.1.2. Ζώνη συνεισφοράς.....	14
2.1.3. Ζώνες προστασίας.....	15
2.2. Μεθοδολογίες οριοθέτησης SPZs.....	17
2.3. Διεθνής και εγχώριες Νομοθεσίες-Εφαρμογές για WHPA.....	18
2.3.1. Ελληνική Νομοθεσία.....	18
2.3.2. Παραδείγματα Διεθνούς νομοθεσίας.....	20
2.3.3. Εφαρμογές Ζωνών Προστασίας Εγχώριες και Διεθνής.....	23
3. Μοντελοποίηση Υπόγειου Υδροφορέα.....	30
3.1. Εισαγωγή στην μοντελοποίηση.....	30
3.2. Σύγκριση Μαθηματικών Μοντέλων.....	31
3.3. Το μοντέλο WhAEM v3.2.1.....	31
4. Περιοχή Μελέτης.....	35
4.1. Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής.....	35
4.2. Υδρολογικά και Μετεωρολογικά Στοιχεία της Περιοχής.....	37

4.3. Γεωλογία της Περιοχής Μελέτης.....	38
5. Δεδομένα Εισόδου και Σενάρια του Μοντέλου.....	40
5.1 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο WhAEM.....	40
5.2 Βαθμονόμηση και επιλογή Σεναρίων.....	45
6. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	48
6.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των τριών σεναρίων .....	48
6.2 Ανάλυση ευαισθησίας.....	52
7. Συμπεράσματα-Προτεινόμενες Ενέργειες .....	54
Βιβλιογραφία.....	56

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή Καρατζά Γεώργιο για την δυνατότητα που μου πρόσφερε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον θέμα, την υπομονή και την συμβολή του κατά την διεξαγωγή της αργάσας.

Επίσης θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τη μεταδιδακτορικό Δρ. Δόκου Ζωή για την υπομονή και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σε όλη την διάρκεια της εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την Δρ. Ταπόγλου Ευδοκία και την μεταπτυχιακό Μοριανού Γιασεμή για βοήθεια τους και την φιλοξενία που μου πρόσφεραν στο εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής.

## Περίληψη

Οι υδατικοί πόροι είναι πηγή ζωής και επομένως η προστασία τους αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιβίωση των έμβιων όντων του πλανήτη μας. Το νερό που είναι διαθέσιμο για εκμετάλλευση από τον άνθρωπο είναι μόλις τα έξι χιλιοστά του συνολικού, με το 98% αυτού να προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς.

Η διπλωματική έχει σκοπό την αναβάθμιση της προστασίας που υπάρχει στα πηγάδια. Η υπάρχουσα προστασία βασίζεται σε εμπειρικά προσδιορισμένες ζώνες προστασίας οι οποίες πληρούν τις ανεπαρκείς εθνικές νομοθεσίες, όπως συμφώνα με μελέτες και εγχειρίδια όπως της Environmental Protection Agency Great Britain (EPA 2009) προτείνονται ποιο ανεπτυγμένες μεθόδους από τον καθορισμό ζώνης κυκλικής μορφής με καθορισμένη σταθερή ακτίνα. Η μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα εργασία αναφέρετε στην χρήση μαθηματικού αναλυτικού μοντέλου για την απεικόνιση των παραμέτρων που καθορίζουν τα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα η γεωλογία της περιοχής. Με σκοπό την τον καθορισμό ζωνών προστασίας, οι οποίες θα καταλαμβάνουν την επιφάνεια κοντά στο πηγάδι που το επηρεάζει. Ο καθορισμός των ζωνών από μαθηματικό μοντέλο βελτιώνει την ικανότητα να προβλέψει με μεγαλύτερη ακρίβεια την επιφάνεια που πρέπει να δεσμευτεί από κάθε ζώνη. Η κάθε ζώνη ανάλογα με τον χρόνο-διάνυσης που την χαρακτηρίζει έχει αντίστοιχες απαγορεύσεις, ως αναφορά την διεξαγωγή διεργασιών και τα απόβλητα που μπορούν να απορριφτούν στο εσωτερικό της κάθε ζώνης. Με επιθυμητό αποτέλεσμα την αναβάθμιση της νομικής προστασίας του υδροφορέα, υιοθετώντας προτάσεις από διεθνείς νομοθεσίες.

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη απορροής του Κερίτη που εντάσσεται στην ευρύτερη περιέχει του Κάμπου Χανίων ο οποίος καταλαμβάνει περίπου  $178 \text{ Km}^2$ . Περιέχει 19 κοινότητες που χρησιμοποιούν τα πηγάδια του υδροφορέα για χρήσεις αρδεύσεις και ύδρευσης, επίσης την λίμνη της Αγιάς και τον ποταμό Κερίτη που προσφέρουν στην βλάστηση της περιοχής. Οι απειλές στην περιοχή περιορίζονται στα νεκροταφεία και ελαιουργία της λεκάνης απορροής. Τέλος είναι σαφές ότι θα δοθεί προτεραιότητα στην προστασία του υδροφορέα, ωστόσο η σωστή χρήση του μοντέλου μπορεί να συνεισφέρει και στην οικονομία, εφόσον δεν δεσμεύονται χωρίς αιτία επιφάνειες εδάφους οι οποίες μπορούν να καλλιεργηθούν ή να αποφέρουν κέρδος στους κατοίκους της περιοχής (τουριστικά, βιομηχανικά).

## ABSTRACT

Underground water resources constitute the main source of our drinking water reserves and therefore investing in the preservation of unpolluted underground resources is a very worthwhile investment, especially since preservation costs tend to be much more cost-efficient than having to restore an aquifer to a former state.

In this research the preservation will be the focus, as it is a safer way to insure the protection of our aquifers since most polluted water supplies never return to their original state and returning from the polluted state to an acceptable to be consumable is time consuming and very expensive. The area in which the research is being carried out is at 'Kampos Chanion' which contains the basin of 'keritis' that extends in an area of approximately 178 Km<sup>2</sup>. The main threats that concern the purity of the water are the olive oil industries near or within the basin, cemeteries as well as urban waste from the town. With the increase in population due to tourism in the summer months, increased pumping rates as well as urban waste account for a threat increase that cannot be neglected. Higher pumping rates result in threat toward the aquifer sustainability, while untreated waste followed by misplacement may have high impact on the aquifer water quality resulting in high threat to the ecosystem.

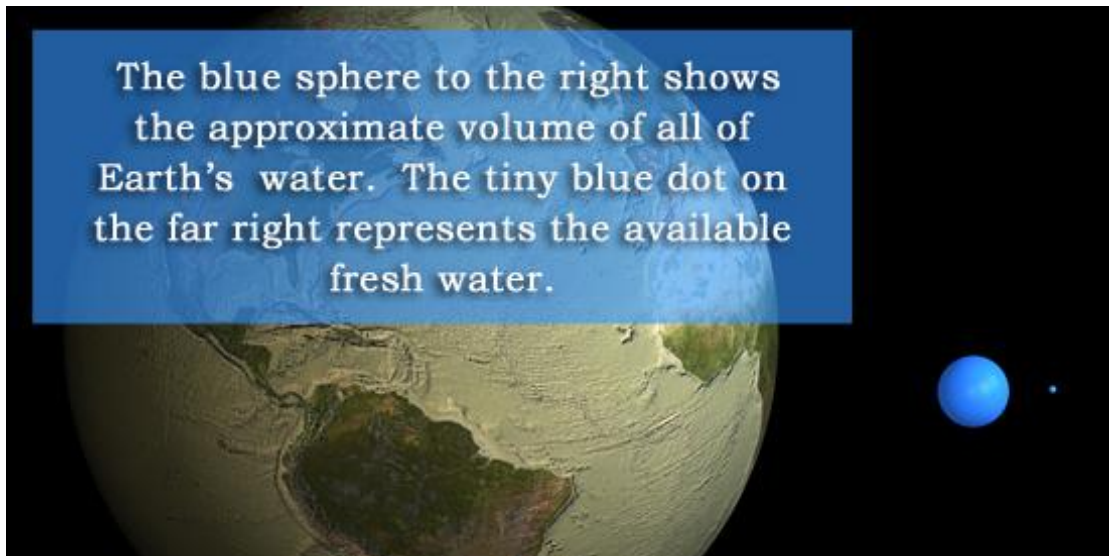
The methodology is based on the mathematical analytical model Wellhead Analytical Element Model (WhAEM), which can input a variety of geological and hydrological parameters for the model to delineate the optimal protection zones. These zones vary in their uses depending on the travel-time used for their delineation. They can be used as protection from pathogenic microorganisms up to insuring the well and aquifer sustainability according to their assigned travel-time, which is the time passed for the water from the boundaries of the zone to be pumped by the well.

The goal of this research is to delineate well head protection areas (WHPA) with a more diverse radius. They usually are a fixed radius around the well and only forbid potentially harmful industries in the area determined by empirical methods by local authorities. This and other similar projects indicate that when the aquifers parameters are taken in account, with the assistance of a mathematical model the zone can differ from the fixed radius circle by a respectable amount of square meters. Establishing that the priority is to protect the aquifer from threats, with the least negative impact to the community possible. Taking in consideration the results of this research and the existing local laws to reconstruct optimal laws for this basin.

# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Υπόγεια νερά και Βασικές Εξισώσεις

Το νερό όπως είναι γνωστό εδώ αρκετούς αιώνες είναι αναγκαίο για την ανάπτυξη ζωής, όλοι οι αρχαίοι πολιτισμοί που ευδοκίμησαν είχαν πρόσβαση σε πόσιμο νερό. Όμως πέρα από τον άνθρωπο είναι αναγκαίο και για την διατήρηση των οικοσυστημάτων, οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του ανθρώπου σε νερό παράλληλα με τις ανθρωπογενείς διεργασίες που το καθιστούν μη πόσιμο προκαλούν αυξανόμενα προβλήματα και απαιτούν την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων πάνω στον πλανήτη μας.



Εικόνα 1

(<http://physicsgg.me/2012/05/31/%CE%B2%CE%AF%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%BF-%CF%80%CF%8C%CF%83%CE%BF-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%8C%CE%BB%CE%BF-%CF%84%CE%BF-%CE%BD%CE%B5%CF%81%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B7%CF%82/>)

Ο συνολικός όγκος νερού που βρίσκεται στην γη έχει εκτιμηθεί στα  $1.4 \times 10^{18}$  κυβικά μέτρα μόνο το 2.7% από αυτό είναι γλυκό νερό δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς, επίσης το 2,1% από αυτό είναι παγωμένο οπότε για ανθρωπογενή χρήση μας μένει το 0,6% δηλαδή  $8,5 \times 10^{15}$  κυβικά μέτρα πόσιμου νερού, εδώ είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το 98% αυτού είναι υπόγειο νερό το οποίο στην μισή του ποσότητα είναι αποθηκευμένο κάτω από τα 800m όπου εκεί αλλοιώνεται η σύσταση του λόγω της επαφής του με άλατα και εξαιτίας του βάθους γίνονται ιδιαίτερα ακριβές οι διεργασίες που απαιτούνται για την εκμετάλλευση αυτών των ποσοτήτων υπόγειου νερού. (Λατινόπουλος 1998)

Το νερό ανανεώνεται χάρη στο φαινόμενο που ονομάζεται υδρολογικός κύκλος διαδικασία αυτή είναι μια αρκετά αργή ανακύκλωση στην οποία οι κύριες φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος κυρίως η εξάτμιση, κατακρήμνιση και η διήθηση .Το υδρολογικό ισοζύγιο χωρίζεται στα ισοζύγια επιφανειακών και υπόγειων νερών τα οποία είναι:

- Επιφανειακά  $\rightarrow P + (R_{in} - R_{out}) - E_{ab} - T_{ab} - I = \Delta S_{ab}$

- Υπόγεια  $\rightarrow I + (G_{in} - G_{out}) - E_{gr} - T_{gr} = \Delta S_{gr}$

- Συνολικό ισοζύγιο  $\rightarrow P - \Delta R - \Delta G - E - T = \Delta S$

$P$ =κατακρημνίσεις,  $R$ =επιφανειακή ροή,

$G$ =υπόγεια ροή,  $E$ =εξάτμιση,

$T$ =διαπνοή,  $\Delta S$ = αποθηκευτικότητα

(Καρατζάς Γ.,2003)

Για να ανακυκλωθούν τα  $8,5 \times 10^{15} m^3$  από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις οι οποίες φτάνουν τα  $46 \times 10^{12} m^3$  και καταλήγουν στο έδαφος που θεωρείται η βασική διεργασία που συνεισφέρει στην ανακύκλωση, εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 200 χρόνια για να ολοκληρωθεί η διαδικασία .Αν λάβουμε υπόψη μας ότι μόνο ένα μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων συνεισφέρουν στην ανανέωση των υπογείων νερών, υπολογίζεται ότι για την ανανέωση των υπογείων νερών χρειάζεται περίπου 300 χρόνια .(De Marsily,1986, Huisman and Olsthoorn,1983).

Υπόγεια ύδατα ορίζονται οι υδάτινες ποσότητες οι οποίες βρίσκονται μέσα στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι υπόγειοι υδροφορείς είναι δυο, ελεύθερος και περιορισμένος. Βασικές έννοιες και παράμετροι της υπόγειας ροής για την καλύτερη κατανόηση είναι :

- Ακόρεστη ζώνη ορίζεται η ζώνη του εδάφους στην οποία έχουμε την συνύπαρξη του νερού και του αέρα μέσα στους εδαφικούς πόρους , εκτός από περιπτώσεις πλημύρας που προσωρινά καταλαμβάνονται εξολοκλήρου από νερό. Υποζώνες της ακόρεστης ζώνης είναι η ζώνη εδαφικού ύδατος η οποία ξεκάνει από την επιφάνεια του εδάφους και τελειώνει στο τέλος του ριζικού συστήματος των φυτών, ενώ η ζώνη των τριχοειδών φαινομένων έχει εύρος από τον υδροφόρο ορίζοντα μέχρι το σημείο που παρατηρούνται τριχοειδή φαινόμενα.

- Κορεσμένη ζώνη ορίζεται η ζώνη η οποία όλοι οι εδαφικοί πόροι καλύπτονται πλήρως από νερό ,το ανώτερο όριο της ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας όπου η πίεση είναι ιση με την ατμοσφαιρική και στο κατώτερο όριο είναι ένα αδιαπέρατο ή ημιδιαπέρατο στρώμα.

- Υδροφορέας ορίζεται ένας σχηματισμός κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που περιέχει διαπερατά υλικά κορεσμένα με ύδωρ τα οποία προμηθεύουν αγωγούς και πηγές με νερό. Ελεύθερος υδροφορίας είναι εκείνος που η ανώτερη επιφάνεια του είναι ο



υδροφόρος ορίζοντας και η κατώτερη είναι ένα αδιαπέρατο ή ημιδιαπερατό στρώμα. Περιορισμένος είναι ένας υπό πίεση υδροφορέας που τα άνω και κάτω όρια του είναι αδιαπέρατα ή ημιδιαπερατά στρώματα.

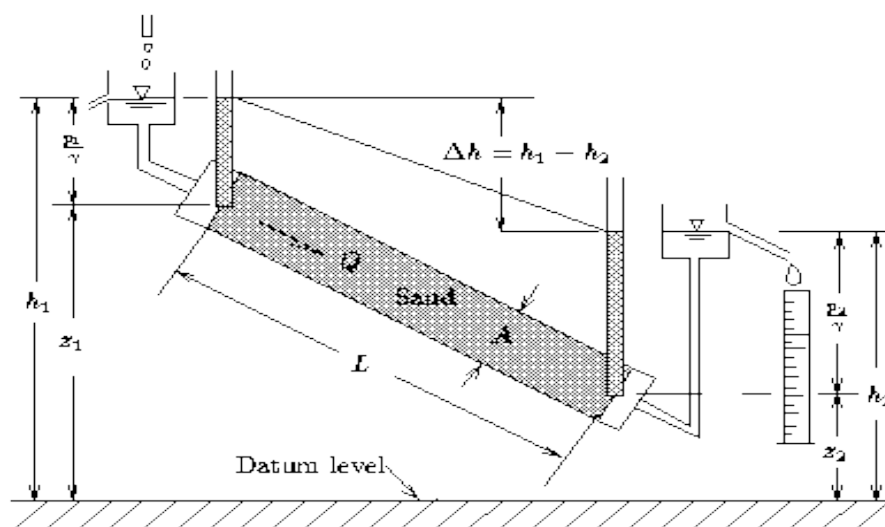
• Πορώδες ορίζεται το ποσοστό του υπεδάφιου σχηματισμού το οποίο καταλαμβάνεται από αέρα ή κενό και συμβολίζεται με  $n$ .

$$n = \frac{V_v}{V_0}$$

Όπου  $V_v$ ,  $V_0$  όγκος κενών και όγκος δείγματος αντίστοιχα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι η διάταξη των κόκκων, κοκκομετρική σύνθεση και το σχήμα των κόκκων. Μελετώντας τους παραπάνω παράγοντες καταλήγουμε σε έναν άλλο ορισμό για το πορώδες που συμπεριλαμβάνει τα παραπάνω το ενεργό πορώδες που ονομάζεται το ποσοστό των πόρων του εδάφους που επιτρέπουν την μόνιμη ροή του ρευστού και δεν το οδηγούν σε κάποια αδιέξοδο, συμβολίζεται  $n_e = \frac{V_Y}{V_0}$ . Όπου  $V_Y$  όγκος του νερού που μπορεί να στραγγιστεί λόγω της βαρύτητας.

• Υδραυλική αγωγιμότητα συμβολίζεται με  $K$  η οποία απορρέει από τον Νόμο του Darcy και είναι ανάλογος της ταχύτητας Darcy  $q = Q/A$  δηλαδή της ταχύτητας του ρευστού διαμέσου ενός πορώδους μέσου, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους της πορείας της ροής. Ο Νόμος του Darcy είναι ο εξής:  $Q/A = -K * \Delta h/L$



Εικόνα 1

[http://www.interpore.org/ref-mat\\_pub/mgfc-course/mgfc-darcy.html](http://www.interpore.org/ref-mat_pub/mgfc-course/mgfc-darcy.html)

Το  $\Delta h/L$  γράφεται και ως  $\Delta h/dl$  και ονομάζεται υδραυλική κλίση.  $\Delta h$ =διαφορά ή απώλεια φορτίου,  $L$ =μήκος ροής, το αρνητικό πρόσημο στην εξίσωση μας δείχνει ότι η κατεύθυνση της ροής είναι προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται το φορτίο. Η παραπάνω εκδοχή του Νόμου του Darcy ισχύει για τους αρτεσιανούς υδροφορείς οι οποίοι έχουν γραμμική

υδραυλική κλίση, στους ελεύθερους υδροφορείς λόγω της αλλαγής υδραυλικής κλίσης σε παραβολική από γραμμική χρησιμοποιούνται κάποιες στην εξίσωση του Darcy γνωστές ως παραδοχές Deruit και καταλήγουμε στην

$$q' = \frac{1}{2} * K \left( \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \right).$$

• Ταχύτητα διήθησης  $q_p$  λαμβάνει υπόψη ότι η ροή περιορίζεται μόνο στο χώρο που καταλαμβάνουν οι πόροι εντός του πορώδους μέσου σε αντίθεση με ταχύτητα Darcy και είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πορώδες και η συσχέτιση με την ταχύτητα Darcy είναι η εξής :

$$q_p = \frac{Q}{n * A} = \frac{q}{n}$$

• Συντελεστής Μεταβιβασιμότητας  $T$  ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο το νερό μεταβιβάζεται δια μέσου μοναδιαίου πλάτους και με μοναδιαία υδραυλική κλίση, με την μαθηματική εξίσωση  $T = K * b$ . (Καρατζάς Γ., 2003)

## 1.2 Πηγές και προέλευση ρύπανσης

Το φυσικό νερό περιέχει διάφορες διαλυμένες ή αδιάλυτες ουσίες, οι οποίες προέρχονται από την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον, ανθρωπογενής δραστηριότητες είτε από έναν συνδυασμό και των δυο. Παρατηρείτε φαινόμενο ρύπανσης όταν υπάρχουν μια ή περισσότερες ουσίες σε ικανή συγκέντρωση να δημιουργήσουν πρόβλημα υγείας μακροπρόθεσμο ή βραχυπρόθεσμο στον άνθρωπο, σε ζώα ή στο οικοσύστημα με το οποίο έρχεται σε επαφή. Τέτοιου είδους δείγματα φυσικού νερού θεωρούνται ακάθαρτα ή χαμηλής ποιότητας. Επίσης χαμηλής ποιότητας μπορούν να θεωρηθούν νερά τα οποία μετά από έλεγχο για συγκέντρωση από παθογόνους μικροοργανισμούς ικανή να προκαλέσει αρρώστιες στον πληθυσμό που χρησιμοποιεί το νερό για πόση, χαρακτηρίζεται μολυσμένο και ακατάλληλο για υδρευτικές και πιθανός αρδευτικές χρήσεις. (Λατινόπουλος, 1993)

Για την ταξινόμηση των πηγών ρύπανσης είναι καλύτερα να ταξινομούνται με σημείο αναφοράς την προέλευση τους: Βιομηχανικές δραστηριότητες, Αγροτικές δραστηριότητες, Οικιακές και αστικές δραστηριότητες, Ραδιενεργές δραστηριότητες, Φυσικές διεργασίες. Παρακάτω θα δοθεί μια συνοπτική περιγραφή, για λεπτομερή περιγραφή θα πρέπει να γίνει ανάδρομη σε ειδικές εργασίες. (Wilson et al., 1976, U.S. Environmental Protection Agency, 1990, Pye and Kelly, 1984)

### • Βιομηχανικές δραστηριότητες

Οι πιθανοί τρόποι ρύπανσης των υπόγειων νερών που οφείλονται σε βιομηχανικές διεργασίες είναι α) βιομηχανικά απόβλητα που εναποτίθενται στον αέρα, έδαφος, υπόγεια και επιφανειακά νερά, β) διαρροές και γ) ατυχήματα. Τα στερεά απόβλητα συνήθως οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής, τα υγρά απόβλητα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα διότι συνήθως περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων από οξέα ή οργανικές ενώσεις. Το πρόβλημα στην διάθεση υγρών αποβλήτων είναι κυρίως η έλλειψη μονάδων επεξεργασίας

για τον εξευγενισμό τους και την ορθή και με τους λιγότερους δυνατούς ενδεχομένους κινδύνους, με αποτέλεσμα να διατίθενται ακατέργαστα σε βαθιά πηγάδια ή στην επιφάνεια του εδάφους ακόμα και σε ποτάμια-ρέματα. Οι απειλές από ενδεχόμενες διαρροές αφορούν κυρίως το συστήματα μεταφοράς όπως αγωγοί ή τις δεξαμενές αποθήκευσης επικίνδυνων ουσιών. Ρύπανση από ατυχήματα έχει συνήθως ως αποτέλεσμα την εξάπλωση του ρύπου σε μεγάλη έκταση και την διείσδυση του στον υπόγειο υδροφόρα λόγο του μεγάλου κινδύνου για εκρήξεις ή φωτιές από τις υψηλές συγκεντρώσεις, ο τόπος του ατυχήματος ξεπλένεται με άπλετο νερό το οποίο προκαλεί τις παραπάνω συνέπειες.

Οι κατηγορίες των βιομηχανικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται από ανόργανα και οργανικά απόβλητα. Τα ανόργανα είναι κυρίως μέταλλα σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά με μεγάλη τοξικότητα, άλατα, οξέα και βάσεις. Οι οργανικές ενώσεις που μπορούν να χαρακτηριστούν ως ρύποι είναι πολύ περισσότεροι από τις ανόργανες, συνήθως η απομάκρυνση τους από το νερό είναι αρκετά δύσκολη ειδικά σε ορισμένες οι οποίες είναι αδιάλυτες σε αυτό όπως φυτοφάρμακα και πετρελαιοειδή. Ωστόσο σήμερα υπάρχουν αμφιβολίες για το αν οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποκατάστασης είναι επαρκής για τέτοιου είδους ρύπανση από αδιάλυτες οργανικές ουσίες. Εκείνες που δεν παράγουν ιδιαίτερα τοξικά απόβλητα όπως βιομηχανίες τροφίμων, χαρτιού δεν δημιουργούν επιβάρυνση εκτός από την αύξηση που προκαλούν στο οργανικό φορτίο που δέχεται το έδαφος. (Travis and Doty, 1990 )

#### **• Αγροτικές δραστηριότητες**

Η ρύπανση που οφείλεται σε αγροτικές δραστηριότητες διαφέρει από τις υπόλοιπες κυρίως στο γεγονός ότι έχει μεγάλη επιφάνεια εξαπλώσεις του ρύπου σε αντίθεση με σημειακές πηγές. Μεγάλο κίνδυνο για τον υπόγειο υδροφόρα αποτελούν τα ζωικά λύματα, τα άλατα που εμπεριέχονται στο νερό άρδευσης και τα χημικά που παρατηρούνται λόγω χρήσης φυτοφαρμάκων ή άλλων ουσιών στους αγρούς. Στα εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και λιπάσματα περιέχονται οργανικές και ανόργανες ενώσεις του αζώτου, φωσφόρου και καλίου.Απο τις παραπάνω ουσίες μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας έχει το άζωτο που εμπεριέχεται στα λιπάσματα, λόγω της μεγάλης έκτασης στην οποία χρησιμοποιείται για την αύξηση της παραγωγικότητας. Επίσης αποτελεί ένα σύγχρονο πρόβλημα λόγω τις αναπτυγμένης γεωργίας στην Ελλάδα. (Kaufman, 1974, Strebel et al., 1989, Council for Agricultural Science and Technology, 1985, European Chemical Industry, Ecology & Toxicology Centre, 1988).

#### **• Αστικές και οικιακές ρυπογόνες πηγές**

Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες αστικά στερεά απορρίμματα και αστικά λύματα τα οποία εφόσον δεν διατίθενται σε έδαφος κατάλληλο και με την απαιτούμενη επεξεργασία από εξειδικευμένες μονάδες, αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τα υπόγεια ύδατα. Η αύξηση της

παραγωγής στερεών απορριμμάτων έχει δημιουργήσει την ανάγκη για εξέλιξη τεχνικών υγειονομικών ταφών απορριμμάτων για την μείωση του κινδύνου διάθεσης των απορριμμάτων. (Crawford & Smith, 1985)

Τα αστικά λύματα χρειάζονται επεξεργασία πριν την διάθεση τους και επιπλέον και επεξεργασία και ασφαλή διάθεση της λυματολάσπης η οποία είναι το κηρίο παραπροϊόν της επεξεργασίας των λυμάτων, από κατάλληλες μονάδες για την μείωση του κινδύνου στο ελάχιστο δυνατό. Σημαντικές αστικές ρυπογόνες δραστηριότητες θεωρούνται και τα αυτοκινητικά ατυχήματα που έχουν ως αποτέλεσμα την διαρροή χημικών στο έδαφος, η χρήση αλατιού στους δρόμους και οι διαρροές από αστικές αποχετεύσεις και βόθρους μεμονωμένων κατοικιών.

#### • Ραδιενεργές πηγές ρύπανσης

Η ρύπανση που παράγεται από ραδιενεργές πηγές ονομάζεται ραδιενεργά απόβλητα τα οποία περιέχουν ραδιενεργά χημικά στοιχεία χωρίς κανένα πρακτικό σκοπό. Οι βασικότερες πηγές αποβλήτων είναι :

- NORM: φυσικά προκύπτοντα ραδιενεργά απόβλητα όπως κάρβουνο πετρέλαιο και φυσικό αέριο, απόβλητα από μεταλλευτικές δραστηριότητες.
- Ιατρικά απόβλητα: χωρίζονται σε μικρού χρόνου ημιζωής και σε μέσου χρόνου ημιζωής .
- Βιομηχανικά απόβλητα :α)απόβλητα αρχής κύκλου ζωής)τέλους κύκλου ζωής, γ)σταθμών παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, δ)εγκαταστάσεων παραγωγής πυρηνικών όπλων και τέλος ε)άλλων πυρηνικών δραστηριοτήτων .

Τα συγκεκριμένα απόβλητα αποτελούν μεγάλο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις οπότε και είναι απαραίτητη η αποθήκευση τους σε ειδικά δοχεία που για εξασφαλίσουν την σταθερή μορφή των ουσιών αλλά και να εκπέμπουν την ελάχιστη δυνατή ποσότητα ραδιενέργειας στο περιβάλλον.(Ε. Γιδάράκος , Επικίνδυνα και τοξικά απόβλητα 2006 )

#### • Φυσικές πηγές ρύπανσης

Οι φυσικές διεργασίες που προκαλούν ρύπανση είναι α)το φαινόμενο της υφαλμύρισης β)κατακρημνίσεις ,γ) σημαντικές αλλαγές στην θεοκρασία, δ)εμπλουτισμός υπόγειων υδάτων από επιφανειακές ακάθαρτες πηγές.

Το φαινόμενο της υφαλμύρισης παρατηρείτε όταν το θαλασσινό νερό διεισδύει στον υδροφορέα σε εκείνη την περιοχή λόγω διαφοράς πίεσης την οποία συνήθως προκαλεί η υπεράντληση , οι κατακρημνίσεις της ατμόσφαιρας μεταφέρουν ουσίες στο έδαφος που είναι πιθανός ρυπογόνες, οι αλλαγές στην θερμοκρασίας μπορούν να απελευθερώσουν ουσίες δεσμευμένες σε γεωλογικούς σχηματισμούς και να μειώσουν την ποιότητα του νερού και τέλος η προσθήκη νερού από επιφανειακούς τροφοδότες όπως ποτάμια-λίμνες, έκτος χημικών ρυπογόνων ουσιών μπορούν να μεταφέρουν και μολυσματικές ουσίες όπως παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνοντας την χρησιμότητα του.(Φωτοπούλου,2014)

### 1.3 Σκοπός

Η εργασία έχει ως πρωταρχικό στόχο την προστασία της ποιότητας των υδάτων από πιθανές ρυπογόνες δραστηριότητες, για την διασφάλιση της χρησιμότητας του νερού και ιδιαίτερα του πόσιμου. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η πρόληψη είναι πολύ πιο οικονομική και με καλύτερα αποτελέσματα από την προσπάθεια επαναφοράς ενός υδροφορέα σε μια προηγούμενη ποιητική κατάσταση. Η αυξανόμενες απειλές προς τους υπόγειους υδροφορείς από ανθρωπογενής δραστηριότητες έχουν κρίνει αναγκαία την προστασία τους για να τηρηθεί η οδηγία 60/2000/ΕΚ για την ποιότητα των υδάτων.

Ο τρόπος με τον οποίο εξετάζετε σε αυτή την εργασία είναι η οριοθέτηση ζωνών προστασίας πηγαδιών, μέσω των οποίων κατηγοριοποιούνται οι δραστηριότητες που μπορούν να επιτραπούν αρκεί να βρίσκονται εκτός της ζώνης που υπόκειται η συγκεκριμένη δραστηριότητα. Η ζώνη ενός πηγαδιού είναι μια επιφάνεια στην οποία το νερό φτάνει στο πηγάδι από τις άκρες της επιφάνειας σε έναν συγκεκριμένο χρόνο ανεξάρτητα από το σχήμα της, αυτό ισχύει για κάθε ζώνη. Οι επιφάνειες προστασίας πηγαδιών (Well Head Protection Areas) όπως επίσης αναφέρονται χωρίζονται ανάλογα με τις δραστηριότητες που μπορούν να λάβουν μέρος εντός τους χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο ο υπόγειος υδροφορέας και η ποιότητα του. Επίσης όσο πιο επικίνδυνη είναι μια δραστηριότητα τόσο μεγαλύτερη απόσταση θα πρέπει να έχει από κάποιο πηγάδι.

Παράλληλα όμως με την προστασία των υπογείων νερών είναι στόχος να περιοριστούν όσο είναι αναγκαίο ορισμένες δραστηριότητες από τις επιφάνειες που ορίζουν οι ζώνες προστασίας και να μην γίνει κατάχρηση των περιορισμών με αποτέλεσμα πλήγμα στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Αυτό επιτυγχάνεται έχοντας μεγάλη βεβαιότητα για τις επιφάνειες προστασίας, πράγμα το οποίο είναι ιδιαίτερα δύσκολο λόγω της εξαρτήσεως αυτών από υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά τα οποία για να έχουν μια αξιόπιστη βεβαιότητα απαιτητέ πλήθος δοκίμων με αρκετή οικονομική επιβάρυνση, το πρόβλημα αυτό μας λύνουν εν μέρει τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να δώσουν μια καλή προσέγγιση της κατάστασης που επικρατεί στον υδροφορέα μας.

Στην Ελλάδα το κράτος ορίζει μια συγκεκριμένη ακτίνα για κάθε πηγάδι ως ζώνη προστασίας χωρίς να λάβει υπόψη τους υδρογεωλογικούς παράγοντες με αποτέλεσμα πιθανά λανθασμένη επιφάνεια προστασίας άλλοτε μεγαλύτερη ή μικρότερη από την απαιτούμενη, ανάλογα με γεωλογία, την κατεύθυνση ροής και την παροχή των πηγαδιών της περιοχής η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο Κάμπος Χανίων. Ως απώτερο στόχο της εργασίας είναι να προωθηθεί ο ορισμός των ζωνών προστασίας με επιστημονικές μεθόδους όπως η μοντελοποίηση για την εξασφάλιση τις βέλτιστης προστασίας των υδατικών πόρων αλλά και της οικονομικής ανάπτυξης της περιοχής.

#### 1.4 Διάρθρωση εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο εισάγετε ο αναγνώστης στο πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων, ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα της εποχής μας. Επίσης γίνεται μια σύντομη αναφορά σε παραμέτρους και βασικές εξισώσεις υπόγειας ροής για την περεταίρω διευκόλυνση του αναγνώστη. Τέλος αναφέρονται οι στόχοι της εργασίας και παρουσιάζεται η δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται σε βάθος επεξήγηση στον ουσιαστικό στόχο της εργασίας, την οριοθέτηση ζωνών προστασίας γεωτρήσεων(WHPA). Γίνεται επίσης αναφορά σε δημοσιεύσεις πάνω στο θέμα, στους ορισμούς που δίνονται και τα αποτελέσματα-συμπεράσματα τα οποία κατέληξαν. Η ολοκλήρωση του κεφαλαίου γίνεται με την παρουσίαση Ελληνικής, Ευρωπαϊκής και διεθνής νομοθεσίες που αφορούν τις ζώνες προστασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δυο είδη μοντέλων, αναλυτικό και προσεγγιστικό(μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων) , τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα καθενός, τις διαφορές και τις ομοιότητες. Όπως και μια γενικότερη αναφορά στα πλεονεκτήματα της μοντελοποίησης. Ενώ επίσης αναλύεται το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια πλήρης περιγραφή της περιοχής μελέτης ,όπου αναφέρονται υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα, κλιματολογικά , η γεωλογία και γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής.

Συνεχίζοντας παρουσιάζονται κατάσταση εισόδου που δόθηκαν στο μοντέλο τα σενάρια τα οποία έτρεξαν στο μοντέλο και επεξηγείται ο λόγος επιλογής τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται, τα αποτελέσματα που πρόέκυψαν ,η βαθμονόμηση και η ανάλυση ευαισθησίας .

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και ωφέλιμες υποδείξεις για την αναβάθμιση της νομοθεσίας όπου αυτές είναι αναγκαίες.

## **2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

### **Ζώνες προστασίας γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης (WHPA) ή (SPZ)**

#### **2. 1 Ζώνες προστασίας**

Έχοντας κάνει μια αναφορά πάνω στις ζώνες προστασίας στο παραπάνω κεφάλαιο, εδώ θα γίνει μια περεταίρω ανάλυση των εννοιών αυτών όσο και σε κάποιες που δεν προαναφέρθηκαν, για την διευκόλυνση και αποτελεσματικότερη κατανόηση του αναγνώστη.

##### **2. 1. 1. Ζώνη επιρροής**

Ονομάζεται γεωμετρικός τόπος που ορίζεται από την ακτίνα επιρροής, η οποία ξεκάνει από την παρειά της γεώτρησης έως το σημείο που η μεταβολή της στάθμης λόγω της παροχής άντλησης της γεώτρησης είναι αμελητέα. Όταν υπάρχει πάνω από μια γεώτρηση στο πεδίο ενδιαφέροντος υπάρχουν τρεις παράγοντες που συνεισφέρουν στην τελική πτώση στάθμης κοντά σε μια γεώτρηση, α) σχετική θέση των γεωτρήσεων στο πεδίο, β) η παροχή άντλησης και γ) τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του πεδίου ενδιαφέροντος. Σε ένα υδροφορέα με σύνθετα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά για να προσδιοριστούν οι βέλτιστες θέσεις και μέγιστες αντλήσεις γεωτρήσεων απαιτείται η χρήση μαθηματικών μοντέλων για την ακριβέστερη πρόβλεψη του πεδίου ροής και πως αυτό επηρεάζεται από τις γεωτρήσεις. (Ε. Φωτοπούλου, 2014 )

##### **2. 1. 2. Ζώνη συνεισφοράς**

Συναντάτε επίσης και ως ζώνη σύλληψης η οποία περιλαμβάνει τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, που επρόκειτο να καταλήξουν στην γεώτρηση για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Η περιοχή που ορίζεται αυτή η ζώνη έχει ένα ελλειψοειδές σχήμα με το μεγαλύτερο κομμάτι του να είναι ανάντι της κατεύθυνσης ροής σε σχέση με την γεώτρηση. Η λειτουργία της γεώτρησης προκαλεί ένα κώνο πτώσης στάθμης μεταβάλλοντας έτσι το πιεζομετρικό πεδίο ροής, τα όρια της ζώνης είναι οι κορυφές του κώνου πτώσης στάθμης. (Λατινόπουλος Π., 1999 )

### **2. 1. 3. Ζώνες προστασίας**

Ο όρος ζώνη προστασίας ορίζουμε την επιφάνεια για την οποία έχουν απαγορευτεί εντός τις διεργασίες που κρίθηκαν επικίνδυνες προς τον υπόγειο υδροφορέα και κατά συνέπεια τον άνθρωπο . Ο τρόπος αξιολόγησης της επικινδυνότητας έχει δυο παραμέτρους την επικινδυνότητα της ουσίας και τον χρόνο στον οποίο θα φτάσει στην γεώτρηση ενδιαφέροντος ,η αυξημένη επικινδυνότητα μιας ουσίας απαιτεί αύξηση στο ελάχιστο όριο χρόνου άφιξης στην πηγή άντλησης .Από τις άκρες μιας ζώνης προστασίας το νερό χρειάζεται τον ίδιο χρόνο για να φτάσει στο πηγάδι και να αντληθεί από αυτό ανεξάρτητα το σχήμα της ζώνης. (Ε. Φωτοπούλου, 2014 )

Οι ζώνες προστασίας χωρίζονται σε τέσσερεις κατηγορίες σύμφωνα με την EPA Great Britain, όμως τρεις είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κυρίως. (EPA Great Britain 2007 )

#### **• Ζώνη εσωτερικής προστασίας**

Η οποία αποσκοπεί στην προστασία από άκρως επικίνδυνες ουσίες και μερικούς παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα όρια της ζώνης αυτής καθορίζονται από υπολογιστικά μοντέλα υπόγειας ροής ,όπου για την περίπτωση αυτή κρίνεται απαραίτητο το χρονικό διάστημα των πενήντα ημερών ώσπου να φτάσει στην γεώτρηση από κάθε άκρο της ζώνης.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής κάποιου μοντέλου λόγω απουσίας των απαραίτητων υδρογεωλογικών στοιχείων που χρειάζονται, ορίζεται η ακτίνα της ζώνης στο ελάχιστο των πενήντα μέτρων από την γεώτρηση.

Τα τρία στοιχεία που καθορίζουν την ορθή οριοθέτηση της εσωτερικής ζώνης είναι :  
α)η χρήση για τους υπολογισμούς της μέγιστης παροχής άντλησης ανά ημέρα ,  
β)ελάχιστη απόσταση πηγαδιού από τα άκρα της ζώνης τα πενήντα μέτρα, γ)δεν λαμβάνονται υπόψη οι αλλοιώσεις στην σύσταση των ρίπων .  
(EPA Great Britain 2007 )



### •Ζώνη εξωτερικής προστασίας

Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με την παραπάνω ζώνη όμως αλλάζει ο ελάχιστος χρόνος στις τετρακόσιες μέρες , επειδή σε εδάφη με μεγάλο πορώδες και υδραυλική αγωγιμότητα τείνει να είναι αρκετά μικρή σε επιφάνεια χρησιμοποιούνταν ως ζώνη εξωτερικής προστασίας το 25% της ζώνης συνεισφοράς, πολλές φορές η ζώνη είναι πολύ μεγαλύτερη από το απαραίτητο έχοντας μέχρι και χρόνο άφιξης στην γεώτρηση εκατοντάδες χρονιά. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου υιοθετήθηκαν από την EPA Great Britain δυο παραδοχές για ελαχίστη ακτίνα γύρω από την γεώτρηση τα  $250m$  για τιμές μέγιστης άντλησης έως και  $2000 \frac{m^3}{day}$  και αντίστοιχα  $500m$  για μεγιστη αντληση μεγαλύτερη από  $2000 \frac{m^3}{day}$  ,χωρίς όμως να ξεπερνά την ζώνη σύλληψης. Παρατηρείτε ότι με την χρήση της συνολικής ποσότητας νερού, διαιρεμένη με τις 365 μέρες του χρόνου ως ημερήσια παροχή άντλησης έχουμε ποιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Ο χρόνος άφιξης των τετρακοσίων ημερών δίνει έμφαση στην αποφυγή μόλυνσης του νερού από ιούς (όπως η ηπατίτιδα Α) και παθογόνους μικροοργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στον άνθρωπο. Όμως για ουσίες που προέρχονται από πηγές ρύπανσης θα πρέπει ο χρόνος άφιξης για την εύρεση της κατάλληλης ζώνης να είναι στην τάξη μερικών ετών τουλάχιστον.

(EPA Great Britain 2007 )

### •Ζώνη προστασίας πηγής

Η ζώνη αυτή ταυτίζεται με την ζώνη συνεισφοράς και έχει δυο στόχους, να εξασφαλίσει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος έλλειψης υδατικών πόρων από τον υδροφορέα λόγω των αντλήσεων και την περίπτωση πηγών ρύπανσης αρκετά απομακρυσμένων όπου σε βάθος χρόνου θα μπορούσαν να προκαλέσουν υποτίμηση στην ποιότητα του νερού. Έχει παρατηρηθεί ότι ο καθορισμός ζωνών προστασίας πηγής για κάθε γεώτρηση δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς υπάρχουν κενά ανάμεσα στις ζώνες, ενώ αθροίζοντας όλες τις παροχές άντλησης στην περιοχή και καταλήγοντας σε μια συνολική ημερήσια παροχή όπως στην παραπάνω παράγραφο, έχει ποιο ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα. Τα παραπάνω εφαρμόζονται όταν ο υδροφορέας θεωρείτε επιβαρημένος δηλαδή οι αντλήσεις έχουν τιμές μεγαλύτερες ή ίσες με το 75% του εμπλουτισμού από όλες τις πηγές(επιφανειακές-υπόγειες). Ο χρόνος άφιξης που χρησιμοποιείται στα μοντέλα για τον καθορισμό αυτής της ζώνης είναι κατά ελαχίστη δέκα χρόνια, έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση ενός τέτοιου προβλήματος.

(EPA Great Britain 2009 )

## 2.2 Μεθοδολογίες οριοθετήσεις SPZs

Οι SPZ's παράγονται με τρεις μεθοδολογίες, οι οποίες διαφέρουν σε κόστος εφαρμογής, απαιτούμενη τεχνογνωσία, βεβαιότητα στις προβλέψεις τους και είναι οι ακόλουθες :

- Η μέθοδος με την οποία καθορίζετε μια ακτίνα γύρω από την γεώτρηση η οποία θεωρείτε και η ζώνη προστασίας. Αυτός ο τρόπος είναι ιδιαίτερα απλοϊκός και με πολύ χαμηλά έξοδα εφαρμογής, όμως είναι πολύ πιο αναξιόπιστα τα αποτελέσματα διότι δεν παράγεται από κάποια επιστημονική μέθοδο. Όμως σε μια παραλλαγή της μεθόδου χρησιμοποιούνται κάποιες βασικές εξισώσεις για τον συσχετισμό της απόστασης που θα καλύπτει η ζώνη με τον επιθυμητό χρόνο άφιξης που έχει επιλεχτεί. Γενικότερα δεν συνιστάται αυτός ο τρόπος παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα ή πόροι για την εφαρμογή μια από τις δυο επόμενες μεθόδους.

- Αναλυτικές μέθοδοι οι οποίες απαιτούν τον καθορισμό ορισμένων υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών όπως υδραυλική αγωγιμότητα, πορώδες, η μεταβιβασιμότητα, η υδραυλική κλίση και το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα. Εφόσον καθοριστούν τα παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξισώσεις οι οποίες προσομοιάζουν την υπόγεια ροή σε έναν αρκετά ικανοποιητικό βαθμό με αποτέλεσμα να μικραίνουν συνήθως οι ζώνες προστασίας στην επιφάνεια που καταλαμβάνουν. Χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις πεδίου, εξασφαλίζοντας μείωση της αβεβαιότητας όσο αναφορά την επιφάνεια των ζωνών προστασίας, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους εφαρμογής της απαραίτητης τεχνογνωσίας, των δεδομένων που πρέπει να συλλεχτούν τα οποία είναι τοπικού χαρακτήρα, τα παραπάνω κάνουν τις αναλυτικές μεθόδους να χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο πλήθος των περιπτώσεων εκτός σύνθετων περιπτώσεων που απαιτείται η παρακάτω κατηγορία μεθόδων.

- Αριθμητικές μέθοδοι είναι τα υπολογιστικά συστήματα που μπορούν να διαχειριστούν σύνθετες καταστάσεις όπως εξισώσεις και χώρο-χρονικές μεταβολές. Παρέχουν την μεγαλύτερη βεβαιότητα στον καθορισμό των ζωνών προστασίας από τις παραπάνω μεθόδους, έχοντας την δυνατότητα να επιλύουν με την χρήση μερικών διαφορικών εξισώσεων προβλήματα με μεταβλητές χωρικά και χρονικά υδρογεωλογικές παραμέτρους και οριακές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνετε με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων όπου μια περιοχή μελέτης χωρίζετε σε

πεπερασμένους κύβους και εφαρμόζονται οι εξισώσεις ροής στον κάθε κύβο ξεχωριστά επομένως όσο περισσότεροι στον αριθμό οι κύβοι που χωρίζετε η περιοχή μελέτης αυξάνετε και η βεβαιότητα των αποτελεσμάτων. Τα παραπάνω ωστόσο καθιστούν την μέθοδο αυτή αρκετά ακριβή στην εφαρμογή και απαιτητική στο πλήθος δεδομένων , την ευχέρεια του χρήστη να διαχειρίζεται το υπολογιστικό σύστημα και την εμπειρία του από ανάλογες μελέτες . (EPA Great Britain 2007 )

## **2. 3 Διεθνής και εγχώριες Νομοθεσίες-Εφαρμογές για WHPA**

### **2.3.1 Ελληνική νομοθεσία**

Ο Νόμος 1739/87 «Για την διαχείριση των υδατικών πόρων» στην προσπάθεια του να καλύψει το κενό αυτό, αναφέρει σχετικά στις παραγράφους 1 έως 6 του Άρθρου 11 του Κεφαλαίου Ζ - *Διατήρηση και προστασία υδατικών πόρων*:

1. Η δέσμευση ορισμένης ποσότητας νερού με σκοπό την προστασία και τη διατήρηση του υδατικού οικοσυστήματος καθώς και την επίτευξη των ποιοτικών στόχων, που έχουν τεθεί με βάση τις ισχύουσες διατάξεις, λογίζεται ως χρήση και υπάγεται στις διατάξεις του νόμου αυτού.

Οι περιφερειακές υπηρεσίες διαχείρισης υδατικών πόρων καθορίζουν σε συνεργασία με τις υπηρεσίες των Υπουργείων Γεωργίας και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, τις ποσότητες νερού για την κάλυψη των αναγκών της χρήσης αυτής και μεριμνούν για την ένταξη τους στα προγράμματα ανάπτυξης των υδατικών πόρων.

2. Όσοι χρησιμοποιούν υδατικούς πόρους έχουν υποχρέωση να εφαρμόζουν μέσα και μεθόδους που εξασφαλίζουν την ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων μέσα στα όρια που καθορίζονται αρμοδίως.

3. Το είδος, ο τρόπος και η διαδικασία καθορισμού των ορίων ασφαλείας των ποσοτικών μεγεθών των υδατικών πόρων, καθώς και οι συνέπειες παράβασης των προστατευτικών αυτών διατάξεων ορίζονται με προεδρικό διάταγμα, που εκδίδεται ύστερα από πρόταση των Υπουργών Γεωργίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας. Τα παραπάνω, αν αφορούν ποιοτικές παραμέτρους, ορίζονται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160).

4. Αν κριθεί αναγκαίο, για τη διατήρηση ή αποκατάσταση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων σε ποσοτικά και ποιοτικά όρια που εξυπηρετούν το κοινό όφελος ή και τις προβλεπόμενες ανάγκες, να επιβληθούν περιορισμοί ή άλλα μέτρα στη χρήση τους, αυτοί επιβάλλονται από τους κατά περίπτωση νομάρχες, ύστερα από πρόταση των περιφερειακών υπηρεσιών διαχείρισης υδατικών πόρων. Μετά παρέλευση δύο μηνών από την υποβολή της πρότασης και εφόσον οι προτεινόμενοι περιορισμοί ή τα μέτρα δεν έχουν επιβληθεί, η πρόταση

υποβάλλεται στον Υπουργό Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, που εκδίδει κοινή σχετική απόφαση με τον κατά περίπτωση συναρμόδιο υπουργό.

5. Οι υδατικοί πόροι που προορίζονται για ύδρευση προστατεύονται από δραστηριότητες, οι οποίες απειλούν την ποιότητα τους, με τη λήψη μέτρων ή την εκτέλεση έργων. Οι σχετικές αποφάσεις εκδίδονται από τους Υπουργούς Εσωτερικών, Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων και Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, ή από τον αρμόδιο νομάρχη, εφόσον αφορά σε θέμα περιορισμένης κλίμακας και τοπικού χαρακτήρα μετά γνώμη της Π.Ε.ΥΔ. (Περιφερειακή Επιτροπή Υδάτων).

6. Σε περίπτωση που υδατικοί πόροι έχουν χαρακτηριστεί προστατευταίοι από ισχύουσες διατάξεις ή διεθνείς συμβάσεις, η κατά την παρ. 1 του άρθρου αυτού δέσμευση μπορεί να χαρακτηριστεί πρώτης προτεραιότητας με κοινή απόφαση των Υπουργών Γεωργίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας και να εξαιρεθεί από την εφαρμογή της παρ. 7 του άρθρου 9.

Παραπάνω παρατηρείτε μια ιδιαίτερα ασαφείς δομή των ενεργειών και των περιορισμών που πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή για την διασφάλιση ποιοτική και ποσοτική του υδροφορέα υπό εξέταση. Αυτό είναι αποτέλεσμα της εξάρτησης των παραπάνω οδηγιών κυρίως από υποκειμενικά ,εμπειρικά κριτήρια και όχι σε επιστημονικά κριτήρια. (προσδιορισμός ζωνών σύλληψης, αναγνώριση κριτηρίων οριοθέτησης, καθορισμός ζωνών προστασίας).

Ενδεικτικά παρατίθενται στη συνέχεια μια απλοϊκή προσέγγιση από τα σχετικά άρθρα 6 και 7 του Κεφαλαίου Α - Γενικές Διατάξεις της απόφασης του Νομάρχη Χαλκιδικής (280/25-5-99) με θέμα «Μέτρα προστασίας υδατικών πόρων Ν. Χαλκιδικής»:

6. Οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων και των πηγαδιών καθορίζονται όπως παρακάτω:

- (α) Από δημοτικές υδρευτικές-αρδευτικές γεωτρήσεις ή πηγές 600 μ.
- (β) Γεώτρηση από γεώτρηση 300 ± 5% μ.
- (γ) Γεώτρηση από πηγάδι 100 μ.
- (δ) Πηγάδι από πηγάδι 50 μ.
- (ε) Γεωτρήσεις και πηγάδια από πηγές 200 μ.
- (στ) Υδρευτικές γεωτρήσεις από χώρους διάθεσης στερεών αποβλήτων, βοθρολυμάτων και αποβλήτων γενικότερα 500 μ.
- (ζ) Οι ελάχιστες αποστάσεις που αναφέρονται στο άρθρο αυτό, επιτρέπεται να μειωθούν κατά 50% όταν πρόκειται για γεωργική εκμετάλλευση έκτασης πέντε (5) στρεμμάτων και πάνω υφιστάμενων θερμοκηπίων και υποχρεωτική μέθοδο άρδευσης τη στάγδην
- (η) Οι αποστάσεις των ιδιωτικών γεωτρήσεων από Δημοτικές υδρευτικές γεωτρήσεις μπορεί να αυξηθούν ανάλογα με τις συνθήκες της περιοχής και την κρίση της αρμόδιας υπηρεσίας

(θ) Γεωτρήσεις Δήμων που δεν αξιοποιούνται και δεν πρόκειται να αξιοποιηθούν, για συγκεκριμένους λόγους δε λαμβάνονται υπόψη στην εφαρμογή των μέτρων προστασίας, εφόσον τούτο επιβεβαιώνεται με σχετική απόφαση του Δημοτικού Συμβουλίου

Εξαιρείται από τις διατάξεις του άρθρου αυτού το αγρόκτημα της Ορμύλιας και διέπεται από τις διατάξεις της παραγρ. β του άρθρου 27 της παρούσης.

7. Απαγορεύεται η ανόρυξη γεωτρήσεων σε αποστάσεις:

(α) Στο βασικό εθνικό δίκτυο 60 μ. από τον άξονα της οδού και όχι λιγότερο των 40 μ από το όριο αυτής.

(β) Στο δευτερεύον εθνικό δίκτυο 45 μ. από τον άξονα της οδού και όχι λιγότερο των 30 μ. από το όριο αυτής.

(γ) Στο πρωτεύον επαρχιακό δίκτυο 35 μ. από τον άξονα της οδού

(δ) Στο Δημοτικό οδικό δίκτυο 10 μ από το όριο της οδού

(ε) Στο τριτεύον εθνικό οδικό δίκτυο 40 μ. από το όριο της οδού

(στ) Στο αγροτικό οδικό δίκτυο 7 μ. από το όριο της οδού.

Παραπάνω αναγνωρίζετε μια προσπάθεια για ποιο ξεκάθαρα κριτήρια πάνω στην οριοθέτηση ζωνών προστασίας, που όμως συνεχίζει να κυριαρχεί το εμπειρικό στοιχείο το οποίο κάνει αμφίβολη την εφαρμογή τους σε άλλη περιοχή μελέτης. Βέλτιστα θα εφαρμοστούν μαθηματικά μοντέλα για τον καθορισμό WHPA ,όπως αναλυτικές μέθοδοι οι οποίες είναι συνήθως οι καταλληλότερες, λόγω εύκολης εφαρμογής και μικρή απαίτηση σε δεδομένα σε σχέση με τα αριθμητικά μοντέλα που επιλέγονται όταν υπάρχει αφθονία αξιόπιστων δεδομένων και ο υδροφορέας είναι καίριας σημασίας ώστε οι κρατικές αρχές να χρηματοδοτήσουν μια τέτοια εφαρμογή.

### **2.3.2 Παραδείγματα Διεθνούς νομοθεσίας**

Όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο οι νομοθεσίες όσον αναφορά τις WHPA βρίσκονται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε διεθνές επίπεδο. Ο παρακάτω πίνακας της EPA Great Britain από το 2009 παρουσιάζει τους κανονες που πρέπει να τηρούνται στην οριοθέτηση ζωνών προστασίας με σαφώς ποιο επιστημονικά κριτηρια κατά πληροψηφια από της Ελλάδας.

**Πίνακας 1 Summary of protection zones in Europe, Australia and the USA  
(EPA Great Britain,2009)**

Country	Size	Inner Zone	Outer Zone	Relation to Catchment	Comment
England-Wales		50 days and 50 m minimum	400 days or minimum  25% of recharge catchment	Whole catchment	In karst aquifers, the aquifer source protection area may be also be mapped as the Inner Protection area.  Zones of Special Interest (i.e. surface water catchments located outside of aquifer outcrop area).
Ireland		100 days or 300 m		Whole catchment or 1,000 m	Karst – whole aquifer source protection area
Austria	<10m	60 days		Whole catchment (sub-divided  for large catchment areas,  based on radius of 2 km)	

Denmark	10m	60 days or 300 m		10–20 years	
France	<1 hectare	50 days		Whole catchment	
Holland		60 days (replaced by risk assessment)		100 years	
Germany	10–30 m (Zone I)	50 days (Zone II)		Whole catchment (subdivided  for large catchment areas  based on radius of 2 km) (Zone III)	
Hungary		20 days	182.5 days	5–50 years (hydrogeological protective zone)	
Italy	Minimum 10 m  (absolute guardianship zone)	180–365 days depending on vulnerability and hazard  (respect zone)		Whole catchment (protection zone)	
Portugal		20–60 m (inner)	50 days or 40–280 m  depending on aquifer  type (intermediate)	3,500 days or 350–2,400 m  depending on aquifer type  (outer)	Protection zone defined as larger of  distance or travel time zone.

Switzerland	10 m	Individually defined		Double size of middle zone	
Australia		50 m	10 years	Whole catchment	
USA		100–400 feet		Whole catchment (Well Head Protection Plan)	

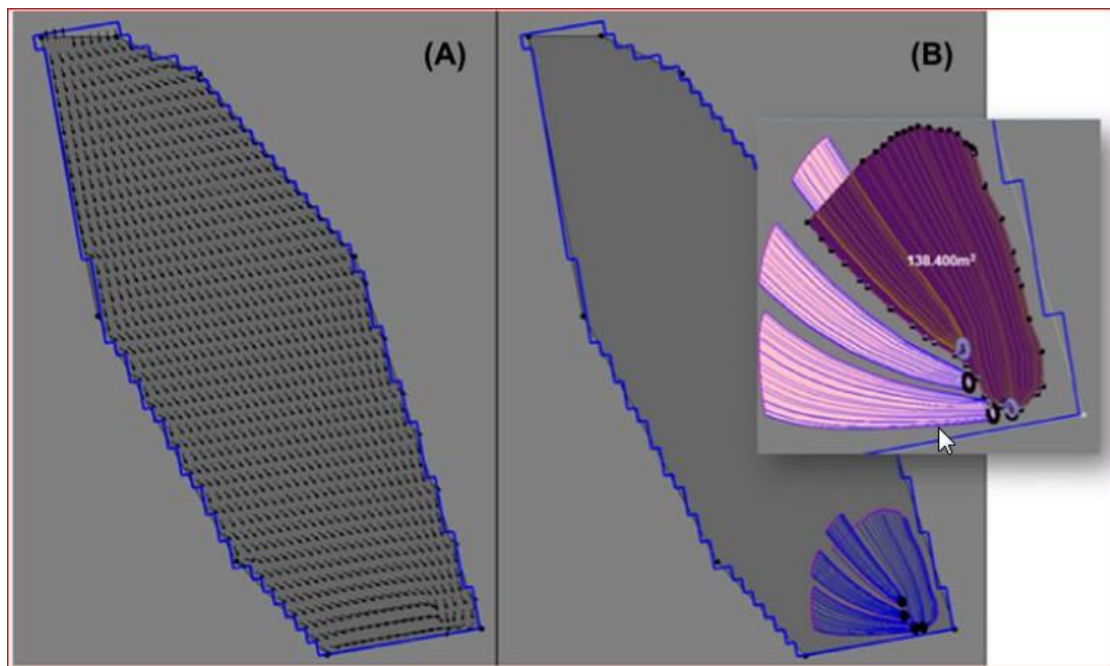
### 2. 3. 3. Εφαρμογές Ζωνών Προστασίας Εγχώριες και Διεθνής

Σε διεθνές επίπεδο γίνεται αξιολόγηση του προβλήματος σε σχέση με την σημαντικότητα του και επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος επίλυσης. Μέτρα παρόμοια με της Ελλάδας εφαρμόζονται μόνο σε απλές περιπτώσεις όπου είναι οικονομικά ασύμφορες εφαρμογές μοντέλων και η κατάσταση έχει αξιολογηθεί με μικρή επικινδυνότητα. Παρακάτω θα παρατεθούν δυο ζευγάρια εφαρμογών στον Ελλαδικό χώρο και μια διεθνή εφαρμογή, με σκοπό ίδιο με την παρούσα



εργασία ακολουθώντας όμως διαφορετικές μεθόδους για την παραγωγή τελικών ζωνών προστασίας.

- Ιδιαίτερα παρόμοια διαδικασία ακολουθείτε από την μελέτη στον υδροφορέα του Κρόκου στην δυτική Μακεδονία από την Maria C. Matiaki et al(2015 )με την υποστήριξη του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης. Το πρόβλημα ρύπανσης της περιοχής οφείλεται στις καλλιέργειες σιταριού για τις οποίες χρησιμοποιούνται φυτοφάρμακα, παρασιτοκτόνα προκαλώντας σημαντική ρύπανση του υδροφορέα. Η μεθοδολογία αποτελείται από έξι βήματα α) εύρεση υδρογεωλογικών παραμέτρων του εν λόγω υδροφορέα ,β)χρήσης γης για τον ορισμό των πηγών ρύπανσης, γ)εργαστηριακές αναλύσεις ποιότητας του νερού με έμφαση στα νιτρικά, δ)μοντελοποίηση του υδροφορέα με την χρήση του MODFLOW,ε)καθορισμός ζωνών προστασίας πηγών με την χρήση MODPATH,στ) τέλος παραθέτοντας μια ανάλυση επικινδυνότητας για τις αμφίβολες παραμέτρους. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα κατέληξαν σε υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$  , οι ζώνες προστασίας για τις πηγές είναι στην **εικόνα 3** , ενώ η ανάλυση ευαισθησίας έχει σχετικά μικρή επιρροή.

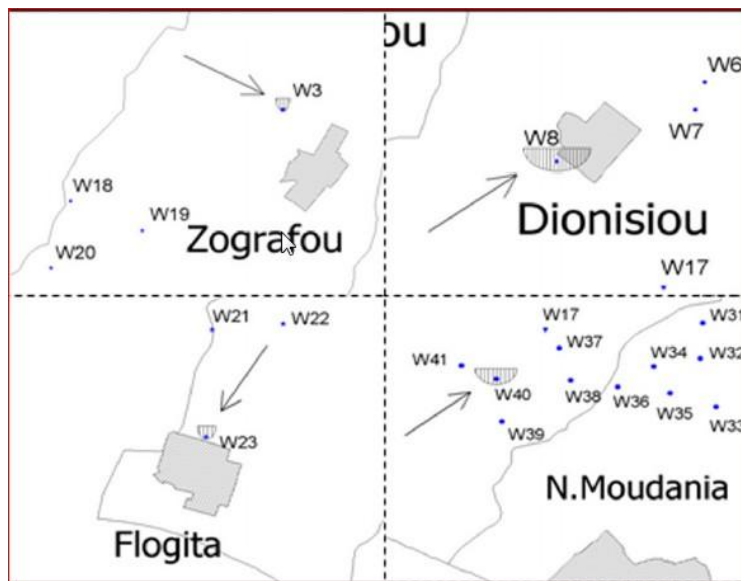


**Εικόνα 3**

(Maria C. Matiaki et al |2015 )

- Η επόμενη μελέτη από τον I.Siarkos et al(2014) αναφέρεται στον καθορισμό ζωνών προστασίας στην πεδινή περιοχή των Νέων Μουδανιανών και να προτείνει οικονομικά συμφέρουσες μεθόδους για να εφαρμοστούν. Στην περιοχή έχουν βρεθεί υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών σε δείγματα νερού, έχοντας 40 δημόσιες γεωτρήσεις στην νότια κυρίως περιοχή των Νέων Μουδανιανών είναι απαραίτητη

η κατασκευή ζωνών προστασίας. Ο τύπος του μοντέλου(αναλυτικό) μεθοδολογία που ακολουθείτε είναι παρόμοια με την παρούσα εργασία χρησιμοποιώντας την έννοια του χώρο-χρόνου για να καθοριστεί το σχήμα και το μέγεθος των ζωνών. Οι ζώνες που καθορίζονται είναι 4 και ο χώρο-χρόνος είναι 50 *ημέρες*, 2,5,12 χρόνια αντίστοιχα .Οι γεωτρήσεις που θα παρουσιαστούν είναι 4 εκ των οποίων 2 είχαν αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών(*W3, W23*) στους δυο έλεγχους που έγιναν, μάλιστα και τα δυο το *W23* δείχνουν να ξεπερνούν την προτεινόμενη μέγιστη συγκέντρωση(*25mg/l*) , ενώ το *W23* ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση(*50mg/l*). Η ζώνη που παρουσιάζεται στην **εικόνα 4** είναι των 2 ετών ,έπειτα γίνεται ένας υπολογισμός του κόστους ανά εκτάριο για τα 2 σενάρια που προτείνονται, με το πρώτο να αναφέρεται στην εξαγορά της γης εντός της ζώνης 2 ετών για την αποφυγή περεταίρω ρύπανσης ,ενώ το δεύτερο σενάριο προτείνει τον περιορισμό στην χρήση νερού σε καλλιέργειες ελιάς και βερίκοκων ενώ στις καλλιέργειες σιταριού κρίνεται απαραίτητο να εξαγοραστούν από το κράτος λόγω της χαμηλής τιμής και τις μεγάλης απαίτησης του σε νερό, φυτοφάρμακα και παρασιτοκτόνα .



**Εικόνα 4**

I.Siarkos et all(2014)

Για την σύγκριση των 2 σεναρίων καταλήγουμε στην σύγκριση του ετησίου κόστους, όπου για το δεύτερο σενάριο χρησιμοποιείται ένας χρονικός ορίζοντας 20 ετών και συντελεστής υποτίμησης 2% καθώς και κάποιες σταθερές που αφορούν την τιμή ανά εκτάριο της γης ,την ζημία των αγροτών που αναγκάζονται να περιοριστούν ή να διακόψουν ένα είδος καλλιέργειες. Από την σύγκριση καταλήγουμε στο δεύτερο σενάριο που είναι σαφώς περισσότερο οικονομικά ωφέλιμο όπως φαίνεται στην **εικόνα 5**.

Well ID number	Cultivated crop	Average cost of compulsory purchase (€/ha)	Total area (ha)	Total cost of Scenario A (€)
W <sub>3</sub>	Olive trees	32 760	0.871 [0.785–0.977]	<b>29 535</b> [26 497–33 352]
	Wheat	13 000	0.077 [0.060–0.102]	
W <sub>8</sub>	Olive trees	45 360	2.327 [2.035–2.727]	<b>105 553</b> [92 308–123 697]
W <sub>23</sub>	Wheat	80 000	1.227 [1.093–1.384]	<b>98 160</b> [87 440–110 720]
W <sub>40</sub>	Olive trees	45 360	4.105 [3.472–4.752]	<b>211 034</b> [182 321–240 382]
	Apricot trees	51 840	0.479 [0.479–0.479] <sup>a</sup>	

<sup>a</sup>For the sensitivity analysis of pumping rates, the apricot trees acreage in W<sub>40</sub> remains unchanged because of their (central) location inside the protection area (only olive trees are found in the perimeter of the corresponding Zone II).

Well ID number	Cultivated crop	Method	Area (ha)	Implementation cost (€/ha)	Total implementation cost in Zone II (€)
W <sub>3</sub>	Olive trees	B <sub>1</sub>	0.871 [0.785–0.977]	14 961	<b>13 328</b> [11 975–15 010]
	Wheat	B <sub>2</sub>	0.077 [0.060–0.102]	3 852	
W <sub>8</sub>	Olive trees	B <sub>1</sub>	2.327 [2.035–2.727]	14 961	<b>34 815</b> [30 445–40 799]
W <sub>23</sub>	Wheat	B <sub>2</sub>	1.227 [1.093–1.384]	3 852	<b>4 726</b> [4 210–5 331]
W <sub>40</sub>	Olive trees	B <sub>1</sub>	4.105 [3.472–4.752]	14 961	<b>87 310</b> [77 838–96 988]
	Apricot trees	B <sub>1</sub>	0.479 [0.479–0.479]	54 057	

**Εικόνα 5** I.Siarkos et al(2014)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έχει γίνει και ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων η οποία δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα σημαντικά. Έχοντας τα παραπάνω υπόψη η οριστική επιλογή σεναρίου εξαρτάται και από εξωγενείς παράγοντες όπως οι τοπικές νομοθεσίες που ισχύουν, την συμπεριφορά και γνώση των αγροτών ως προς την κατάσταση και τις τιμές της γης στην τοπική αγορά.

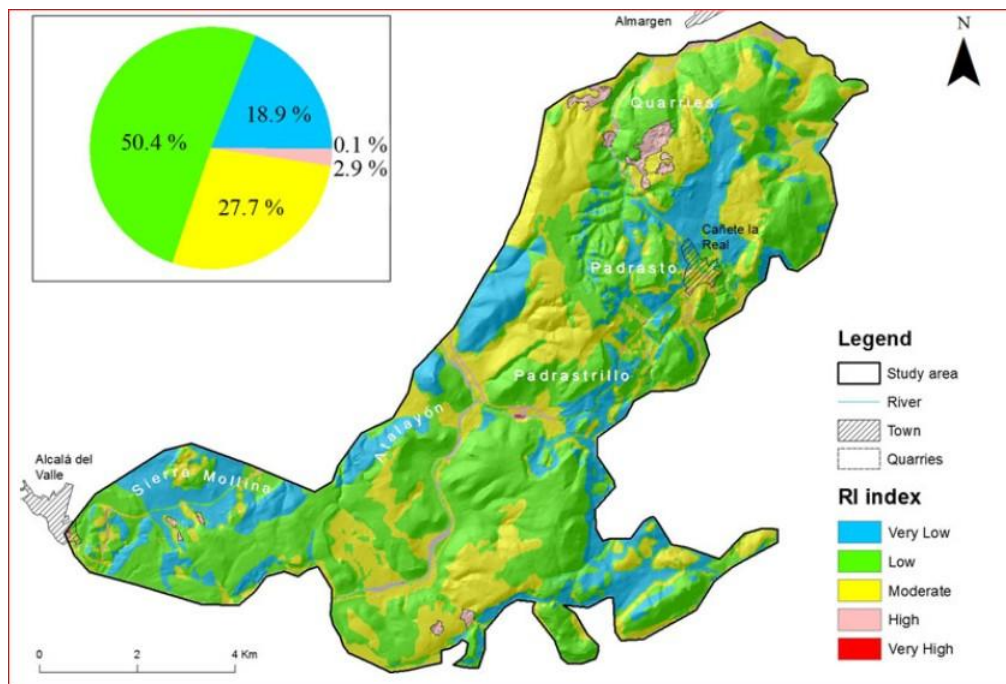
- Η διεθνής αναφορά γίνεται πάνω στην εργασία των A. Jimenez-Madrid, F. Carrasco-Cantos, C. Martinez-Navarrete πάνω στην προστασία υπογείων υδάτων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση με μια προτεινόμενη μεθοδολογία για την κατασκευή ζωνών προστασίας. Η περιοχή για την οποία εφαρμόζεται η μελέτη είναι η Sierra de Canete στην νοτιοδυτική Ισπανία, εντός της οποίας υπάρχει οροσειρά που καταλαμβάνει περίπου 55km<sup>2</sup> και παρατηρείται βροχόπτωση πάνω από 1000mm το χρόνο. Η μεθοδολογία δίνει έμφαση σε δυο παράγοντες τις πιθανές πηγές ρύπανσης και την ευαισθησία του υδροφορέα η οποία είναι ιδιαίτερα σύνθετη έννοια που απαιτεί μεγάλο πλήθος δεδομένων για τον προσδιορισμό της. Από τους δυο παραπάνω παράγοντες κατασκευάζονται αντίστοιχες κλίμακες πίεσης(IP Index)και ευαισθησίας(Vulnerability Index), όπου συσχετίζοντας τις καταλήγουμε στην κλίμακα επικινδυνότητας(Risk Index) δηλαδή σε ένα πινάκα όπως φαίνεται στην **εικόνα 6** .

Table 3 Risk index categories							
RI index		Vulnerability					Level of risk
		1	2	3	4	5	
Pressures	1	1	2	3	4	5	Very low
	2	2	4	6	8	10	Low
	3	3	6	9	12	15	Moderate
	4	4	8	12	16	20	High
	5	5	10	15	20	25	Very high

**Εικόνα 6**

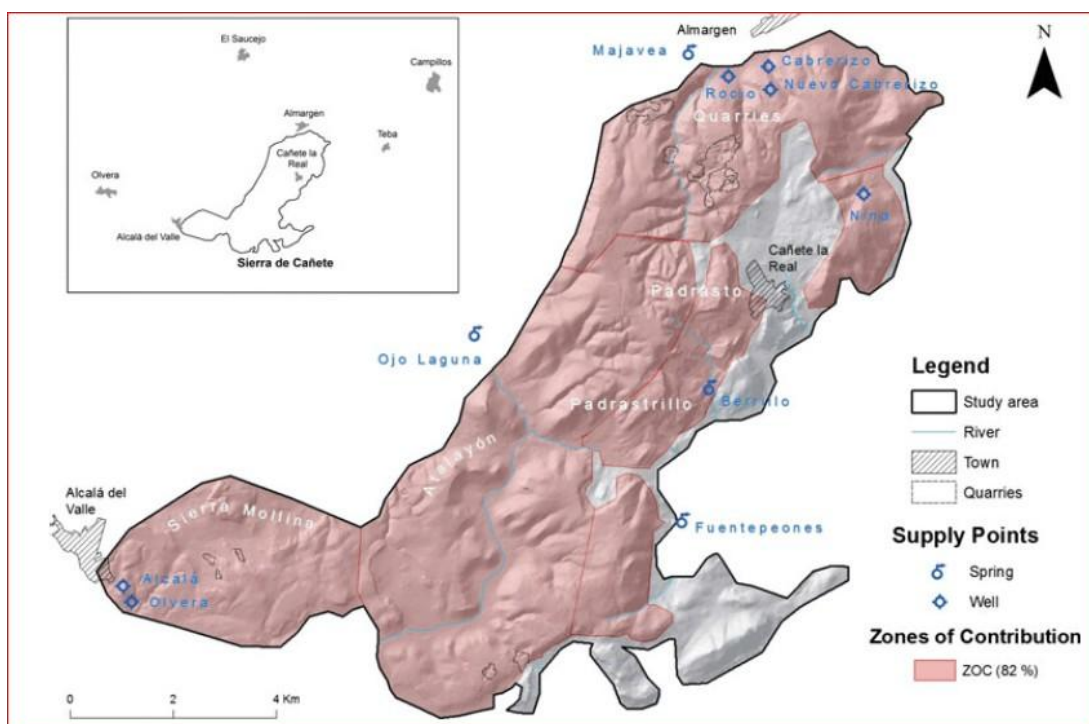
A. Jimenez-Madrid et al 2011

Βάση των IP Index και Vulnerability Index φτιάχνονται οι αντίστοιχοι χάρτες για την περιοχή και η συσχέτιση τους παράγει τον χάρτη επικινδυνότητας της περιοχής, οι ζώνες προστασίας θα έχουν κλίμακα ανάλογη της επικινδυνότητας από την οποία προέρχονται και είναι οι εξής: η υψηλή αντιστοιχεί με αυστηρούς περιορισμούς για την περιοχή η οποία βρίσκεται εντός WHPA, όπως τουλάχιστον ο χώρο-χρόνος για πιθανό ρύπο να είναι 60 ημέρες. Ζώνη μετρίων περιορισμών που βρίσκεται εντός WHPA απαιτείται να περιορίζει για τουλάχιστον χώρο-χρονική απόσταση από την γεώτρηση 4 χρόνια, ζώνη χαμηλών περιορισμών όπου είναι οι περιοχές με χαμηλό Risk Index, οι περιοχές χωρίς περιορισμούς λόγω πολύ μικρής επικινδυνότητας και τέλος οι περιοχές ενδεχόμενης ή μελλοντικής επικινδυνότητας που έχουν μεγάλο Risk Index όμως εκτός των ορίων της περιοχής συνεισφοράς των γεωτρήσεων που τροφοδοτούν καταναλωτές, προτείνονται προστατευτικά μέτρα εφόσον θα χρησιμοποιηθούν οι περιοχές για ανθρώπινη κατανάλωση. Από τον συνδυασμό του χάρτη επικινδυνότητας **εικόνα 7** και του χάρτη της κατανομής των γεωτρήσεων άντλησης, των πηγών και της ζώνης συνεισφοράς στην **εικόνα 8**.



Εικόνα 7

A. Jimenez-Madrid et al 2011

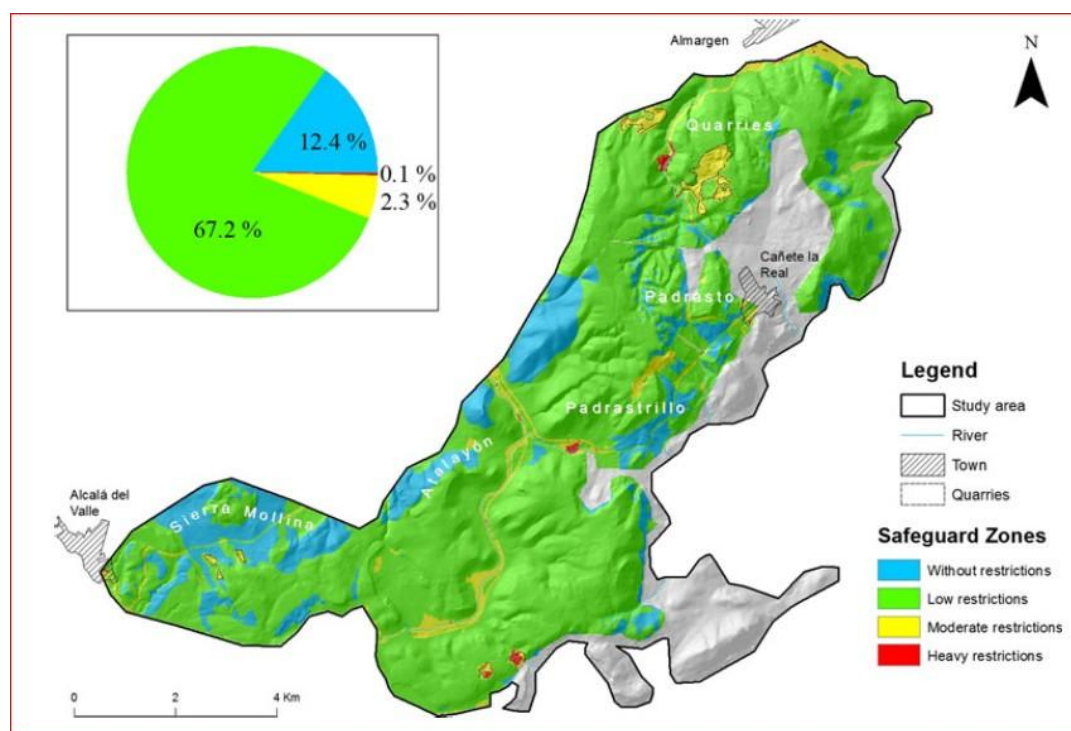


Εικόνα 8

A. Jimenez-Madrid et al, 2011



Παρακάτω στην **εικόνα 9** φαίνονται οι ζώνες προστασίας για την περιοχή σε σχέση με τους χάρτες επικινδυνότητας και των γεωτρήσεων άντλησης- ζώνης συνεισφοράς.



**Εικόνα 9** A. Jimenez-Madrid et al, 2011

Στο χάρτη παρατηρούμε 12,4% έκταση όπου δεν απαιτούνται περιορισμοί, 2,3% και 0,1% αντίστοιχα για μετρίου και υψηλούς περιορισμούς, ενώ δεν υπάρχουν μελλοντικές ζώνες προστασίας λόγω της απουσία υψηλής επικινδυνότητας εκτός της ζώνης συνεισφοράς από σημειακές πηγές-γεωτρήσεις στην περιοχή. Καταλήγοντας η μελέτη θέλει να προτείνει μια κοινή βάση για τις Ευρωπαϊκές χώρες για τον προσδιορισμό των ζωνών προστασίας, για όλα τα είδη υδροφορέα διότι παρατηρείται ότι οι νομοθεσίες είναι ανεπαρκείς σε πλήθος χωρών και περιπτώσεων αντίστοιχα, προωθώντας έτσι την ασφάλεια και σωστή διαχείριση ενός από τους κυριότερους φυσικούς πόρους του πλανήτη. ( A. Jimenez-Madrid et al, 2011)

### **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

#### **Μοντελοποίηση υπόγειου υδροφορέα**

##### **3.1 Εισαγωγή στην μοντελοποίηση**

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην μεταφορά ρύπων τα εμπειρικά τα οποία χαρακτηρίζονται από συμπερασματικές θεωρίες, τα καθορισμένα που ακολουθούν μια καθορισμένη μεθοδολογία(π.χ. ισοζύγια μάζας) εφαρμόσιμη στο πεδίο και τέλος τα στοχαστικά που βασίζονται στην θεωρία πιθανοτήτων και τυχαίων μεταβλητών. Η κατηγορία που αφορά την παρούσα εργασία είναι των καθορισμένων μοντέλων. Τα καθορισμένα μαθηματικά μοντέλα βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε προβλήματα υπόγειας ροής, λόγω της πολυπλοκότητας τους, που απαιτεί την επίλυση πλήθους διαφορικών εξισώσεων, πράγμα ιδιαίτερα χρονοβόρο και επίπονο χωρίς την βοήθεια υπολογιστή. Οι δυο γενικές κατηγορίες τους είναι αριθμητικά ή αναλυτικά όπως αναφέρθηκαν και στο κεφάλαιο 2, με τα αριθμητικά είναι μοντέλα που αγνοούν την κατακόρυφη ροη εμφανίζοντας υδρολογικούς χάρτες δυο διαστάσεων, διευκολύνοντας τους υπολογισμούς και μειώνοντας το πλήθος των δεδομένων εισαγωγής του μοντέλου σε σχέση με τα αριθμητικά. Τα αριθμητικά μοντέλα όμως υπερισχύουν στην ποιότητα των αποτελεσμάτων λόγω της μεθόδου που ακολουθούν, δηλαδή χωρίζοντας τον υδροφορέα σε μεγάλο πλήθος,

καταφέρνουν να προσομοιάζουν με σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια τον υδροφορέα με το αντίτιμο της μεγάλης απαίτησης δεδομένων εισαγωγής για την βαθμονόμηση του μοντέλου. Ακολουθεί μια ποιο αναλυτική σύγκριση των δυο ειδών μαθηματικών μοντέλων.(EPA Great Britain 2007)

### 3.2 Σύγκριση Μαθηματικών Μοντέλων

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα δυο είδη είναι ο τρόπος με τον οποίο κάνουν παραδοχές που αφορούν την ομοιογένεια, την ισορροπία και τις υπάρχουσες ταχύτητες ροής στον υδροφορέα.

Τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούν την μέθοδο της ψηφίδας χωρίζοντας τον υδροφορέα σε ψηφίδες ή κύβους όπου ο καθένας τους είναι ισότροπος και ομοιογενείς στο χώρο που καταλαμβάνει. Σε αντίθεση με τα αναλυτικά επεξεργάζονται τον υδροφορέα σε τρεις διαστάσεις, δίνοντας έτσι πολύ μεγάλη ακρίβεια στις προβλέψεις η οποία συσχετίζεται με το πλήθος των ψηφίδων που είναι χωρισμένος ο υδροφορέας. Τα παραπάνω καθιστούν τα αριθμητικά ανώτερα από άποψη ποιότητας αποτελεσμάτων, έχοντας όμως κόστος από τον αναγκαίο μεγάλο αριθμό δεδομένων για να καλυφτούν οι ανάγκες του μοντέλου όπως και έμπειρο χρήστη για την κατάλληλη χρήση του μοντέλου. Το αναγκαίο πλήθος των δεδομένων των αριθμητικών μοντέλων τα καθιστούν δύσκολη και ασύμφορη την εφαρμογή σε κάποιες περιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν οι πιθανοί κίνδυνοι στην περιοχή είναι μικρής επικινδυνότητας σε τέτοιες περιπτώσεις επιλέγονται τα αναλυτικά.

Αντίθετος τα αναλυτικά μοντέλα έχουν μικρότερο χρόνο για να παράγουν αποτελέσματα και απαιτούν πολύ λιγότερα δεδομένα. Κάνοντας έτσι την επιλογή τους ιδιαίτερα συμφέρουσα και σχεδόν προαπαιτούμενη για τις περισσότερες περιπτώσεις πριν την εφαρμογή ακριβότερων μοντέλων. Κυρίως λειτουργούν σε δυο διαστάσεις λόγω της απουσίας δεδομένων υδραυλικής αγωγιμότητας και της κατανομής της στην κατακόρυφη διεύθυνση, κάνοντας επίσης παραδοχές για την ισότροπα και ομοιογένεια. Αντιμετωπίζουν δυσκολία στην μοντελοποίηση παραπάνω από ένα παράλληλων επίπεδων ροής, ωστόσο παράγουν ζώνες προστασίας με ικανοποιητική ακρίβεια και με χαμηλό κόστος πράγμα που οδήγησε στην επιλογή ενός αναλυτικού μοντέλου για την παρούσα εργασία(WhAEMv3.2.1) το οποίο θα παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο. (EPA Great Britain 2007)

#### 3.3 Το μοντέλο WhAEM v3.2.1

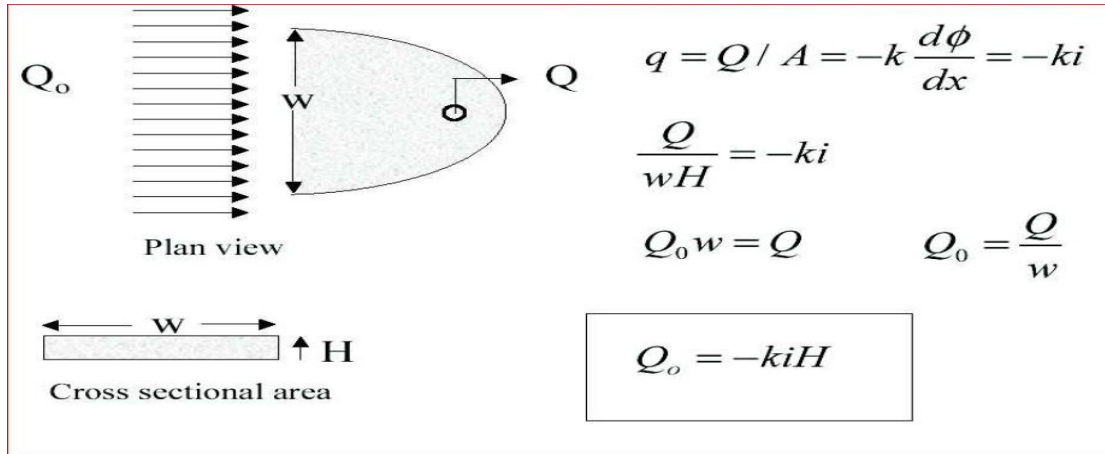
Το αναλυτικό μοντέλο αυτό έχει ως στόχο τον καθορισμό ζωνών προστασίας μέσω της μεθοδολογίας του χρόνου διανύσεως, δηλαδή ο παράγοντας που καθορίζει την κάθε ζώνη είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αντληθεί από το πηγάδι ένας ρύπος. Ο οποίος βάση των εξισώσεων που θα αναφερθούν παρακάτω μας ορίζει το τελικό σχήμα της ζώνης για τον χρόνο που επιλέχτηκε, το μοντέλο θα περιγράφει σε τρεις κατηγορίες α)απαιτούμενες παράμετροι εισόδου, β)εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ζωνών, γ) δυνατότητες προβολής αποτελεσμάτων.



Οι απαιτούμενες παράμετροι εισόδου εξυπηρετούν στην προσομοίωση της περιοχής μελέτης μέσω του μοντέλου. Αρχικά εισάγουμε μια γεωαναφερμένη περιοχή η οποία αντιστοιχεί στην περιοχή μελέτης, τοποθετούμε τις γεωτρήσεις της περιοχής με της συντεταγμένες και την παροχή της κάθε γεώτρησης, έπειτα καθορίζετε το αρχικό ύψος από την θάλασσα του υδροφορέα, το μέσο κορεσμένο βάθος του, η μέγιστη και ελάχιστη ισοδυναμική που παρατηρείτε, την μέση υδραυλική κλήση, το πορώδες και η γενική υδραυλική αγωγιμότητα . Τα παραπάνω αποτελούν απλές παραμέτρους, για να προσομοιωθούν ποιο σύνθετες παράμετροι όπως οι ανωμαλίες στην γεωλογία, οι λίμνες, τα ποτάμια και οι εισροές της περιοχής. Τα οποία εισάγονται στο μοντέλο με την χρήση γραμμών για την προσομοίωση της διαφοροποίησης στην γεωλογία δημιουργώντας πολύγωνα με διαφορετική υδραυλική αγωγιμότητα και μέσο υδραυλικό ύψος, ενώ για τα ποτάμια είναι μια σειρά από γραμμές όπου ορίζεται ένα υδραυλικό ύψος στην αρχή και στο τέλος της γραμμής, παρόμοια ορίζονται και οι λίμνες αντί ευθειών σχηματίζονται πολύγωνα με συγκεκριμένα υδραυτικά ύψοι που αντιστοιχούν στην στάθμη της λίμνης. Στο μοντέλο μας εκτός από τον ορισμό υδραυλικών υψών για ποτάμια, λίμνες και εισροές, δίνεται η δυνατότητα ποσοτικοποίησης μέσω των κυβικών μέτρων ανά μέτρο γραμμής. Όπου με θετικό πρόσημο δεσμεύει νερό από του υδροφορέα ενώ με αρνητικό προσφέρει, οι εισροές είναι το τελευταίο βήμα πριν την έναρξη της βαθμονόμησης, λόγο της αβεβαιότητας ή πλήρους έλλειψης στοιχείων για τον καθορισμό τους είναι η κυρία παράμετρος που βαθμονομείτε με δοκιμή και σφάλμα χρησιμοποιώντας μετρήσεις υδραυλικών υψών σε γεωτρήσεις άντλησης ή παρατήρησης για την σύγκριση μοντέλου-πεδίου. (Kraemer S.R. et all,2007)

Οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο WhAEM αντιστοιχούν στις μεθόδους υπολογισμού που προσφέρονται από το μοντέλο. Η αρχική και ποιο απλή μέθοδος είναι της αυθαίρετης ακτίνας η οποία σχηματίζει ένα κύκλο γύρω από τα επιλεγμένες γεωτρήσεις του οποίου η ακτίνα επιλέγεται εμπειρικά **Εξίσωση 1**, η επομένη επιλογή αναφέρετε στον υπολογισμό της ζώνης προστασίας μιας γεώτρησης βάση **Εξισώσεων** (αναλύονται παρακάτω) υπόγειας ροής και ορίζεται ως απλή ζώνη προστασίας. Ακόλουθη η επιλογή πολλαπλές ζώνες προστασίας όπου η μεθοδολογία δεν αλλάζει σε σχέση με την απλή ζώνη προστασίας, στις δυο παραπάνω μεθόδους ορίζεται για το μοντέλο συγκεκριμένη ποσότητα, διεύθυνση και κατεύθυνση ροής για τον υπολογισμό των ζωνών. Επίσης υπολογίζετε η αλλαγή στην ζώνη προστασίας στην περίπτωση που κάποια από τις γεωτρήσεις επηρεάζουν ή να επηρεάζονται από άλλες γειτονικές γεωτρήσεις. Μια ποιο γενική επιλογή για την συνολική κατασκευή όλων των ζωνών προστασίας για τον επιλεγμένο χρόνο παρέχεται από το μοντέλο και συσχετίζει όλα τα δεδομένα που του έχουν εισαχτεί για να παράγει αποτελέσματα, δείχνοντας επίσης διάγραμμα για την απόκλιση των μετρήσεων πεδίου με τα αποτελέσματα μοντέλων για ευκολία του χρηστή. Αρχικά οι εξισώσεις του μοντέλου προέρχονται από την εξίσωση του Darcy που έχει αναφερθεί στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο (στην παράγραφο 1.1) ,για κατασκευή των ζωνών ορίζεται μια αδιάστατη παράμετρος  $\tilde{T}$  αναφερόμενη στον χρόνο-διάνυσης του νερού η οποία χρησιμοποιείτε για να καθοριστεί το σχήμα της ζώνης προστασίας. Η πρώτη βοηθητική παράμετρος που καθορίζεται είναι το  $Q_0$  το οποίο αντιπροσωπεύει την παροχή άντλησης της εκάστοτε γεώτρησης ανά μέτρο του μέγιστου πλάτους της ζώνης επιρροής. Η έννοια του  $Q_0$  αναλύεται στην **εικόνα 10**.

(Kraemer S.R. et al,2007)



Εικόνα 10 (Kraemer S.R. et al,2007)

Καταλήγοντας στην  $Q_0 = -kiH$

Εξίσωση 1

Όπου το  $k$  συμβολίζει την υδραυλική αγωγιμότητα, το  $H$  το κορεσμένο βάθος και το  $i$  την υδραυλική κλίση. Η παράμετρος  $\tilde{T}$  ορίζεται ως

$$\tilde{T} = \frac{T}{T_0}$$

Εξίσωση 2

$T$  είναι ο ελάχιστος χρόνος για την άντληση του νερού από μια γεώτρηση, ενώ  $T_0$  είναι μια παράμετρος καθορισμένη για κάθε γεώτρηση και ορίζεται ως εξής :

$$T_0 = \frac{nHQ}{2\pi Q_0^2}$$

Εξίσωση 3

Με το  $n$  συμβολίζεται το πορώδες, το  $H$  το κορεσμένο βάθος,  $Q$  η παροχή άντλησης και  $\pi=3,14$ .

Η μεθοδολογία του μοντέλου για την σχεδίαση των ζωνών προστασίας βασίζεται στην αδιάστατη παράμετρο  $\tilde{T}$  και την διακύμανση της.

Για τιμές της  $\tilde{T} \leq 0,1$  η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εξής :

$$R = 1.1543 \sqrt{\frac{(QT)}{(\pi Hn)}}$$

Εξίσωση 4

Η ζώνη προστασίας στην περίπτωση αυτή είναι κύκλος με ακτίνα ίση με  $R$  και κέντρο την γεώτρηση, όπου αυτή εξαρτάται από τον χρόνο  $T$  που θα επιλεξει ο χρήστης.

Όταν ισχύει  $0,1 < \tilde{T} \leq 1$  τότε η ζώνη ακόλουθη το κυκλικό σχήμα όμως το κέντρο της δεν είναι απαραίτητα η γεώτρηση, ενώ η εξίσωση της ακτίνας είναι:

$$R = L_S [1.161 + \ln (0.39 + \tilde{T})]$$

Εξίσωση 5

$L_S$  είναι η μέγιστη απόσταση προς την φορά της ροής που επηρεάζει την γεώτρηση για τον δεδομένο χρόνο  $\tilde{T}$ .

$$L_S = \frac{Q}{2\pi Q_0} \quad \text{Εξίσωση 6}$$

Ενώ η εκκεντρότητα  $\delta$  δίνεται από τον τύπο

$$\delta = L_S[0.00278 + 0.652\tilde{T}] \quad \text{Εξίσωση 7}$$

Τέλος όταν  $\tilde{T} > 1$  η ζώνη επιρροής έχει σχήμα που θυμίζει καράβι που περιγράφεται με την εξίσωση :

$$x = \frac{y}{\tan\left(\frac{y}{L_S}\right)} \quad \text{Εξίσωση 8}$$

Το  $y$  παίρνει τιμές σύμφωνα με τα όρια :

$$-\frac{Q}{2Q_0} < y < +\frac{Q}{2Q_0} \quad \text{Εξίσωση 9}$$

Το  $L_U$  είναι η μέγιστη απόσταση της ζώνης αναφερόμενη για την κατεύθυνση αντίθετη από εκείνη της ροής και δίνεται από :

$$L_U = L_S[\tilde{T} + \ln(e + \tilde{T})] \quad \text{Εξίσωση 10}$$

Όπου το  $e=2.718$  την σταθερά του Euler. (Kraemer S.R. et al,2007)

Καταλήγοντας παρατηρούμε ότι το σχήμα της ζώνης προστασίας εξαρτάται από την παροχή της γεώτρησης, υδραυλική αγωγιμότητα, το κορεσμένο βάθος του υδροφορέα και την υδραυλική κλίση σε συνδυασμό με της διαφοροποιήσεις των παραπάνω παραγόντων εντός της περιοχής μελέτης και τον χρόνο-διάνυσης που επιλέγεται.

Το WhAEM διευκολύνει τον χρήστη στην αξιολόγηση των παραγομένων ζωνών αρχικά εμφανίζοντας τρία παράθυρα με ποσοστά σφαλμάτων στις παραμέτρους εισόδου όπως και την πληροφορία ότι κάποια ή κάποιες γεωτρήσεις έχουν ξεραθεί για τις δεδομένες συνθήκες. Αφού τα ποσοστά αυτά είναι σε αποδεκτές τιμές παρουσιάζετε επίσης με τρίγωνο η απόκλιση της τιμής πεδίου από του μοντέλο για το προβλεπόμενο υδραυλικό ύψος, όπου το μέγεθος του τριγώνου καθορίζει το μέγεθος της απόκλισης ενώ το χρώμα αναφέρεται στην υποεκτίμηση με κόκκινο και στην υπερεκτίμηση με πράσινο, της τιμής του μοντέλου σε σχέση με του πεδίου. Υπάρχει η δυνατότητα προβολής διαγράμματος των μετρήσεων πεδίου στον άξονα X και του μοντέλου στον Y, εμφανίζεται επίσης η μέγιστη και ελάχιστη διαφορά υδραυλικών υψών, η μέση διαφορά και η μέση απόλυτη διαφορά(MAD) τους ενώ η τελευταία παράμετρος εφαρμογής που παρέχεται είναι η ριζά του μέσου αθροίσματος των τετραγώνων της απόλυτης διαφοράς για κάθε ζεύγος τιμών(RMSD). Τα παραπάνω διευκολύνουν την διαδικασία της βαθμονόμησης αφού οι κυριότεροι παράγοντες που κρίνουν την επιτυχία της είναι η μέση απόλυτη διαφορά και το RMSD, τα οποία έχουν αποδεκτές τιμές κάτω του 1,5m (με την μείωση των RMSD,MAD υποδεικνύεται μείωση της αβεβαιότητας των προβλέψεων του μοντέλου). Παράλληλα διευκολύνεται η ανάλυση πολλαπλών σεναρίων με την χρήση επιλογής αντιγραφής σεναρίου που επιτρέπει την αντιγραφή του βαθμονομημένου σεναρίου κρατώντας σταθερές παραμέτρους που

παρουσιάζουν δυσκολία στην εισαγωγή(υδραυλική αγωγιμότητα, συντεταγμένες γεωτρήσεων κτλ), ενώ παρατηρούνται εύκολα οι διαφορές στις τιμές RMSD και MAD από την προβολή του προαναφερθέντος διαγράμματος. Τέλος οι δυνατότητες να εξαρθούν στοιχεία, παράμετροι και ζώνες από το μοντέλο σε άλλα προγράμματα όπως GIS είναι μεγάλο πλεονέκτημα για την βέλτιστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων η οποία είναι περιορισμένη εντός του μοντέλου.

## **4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

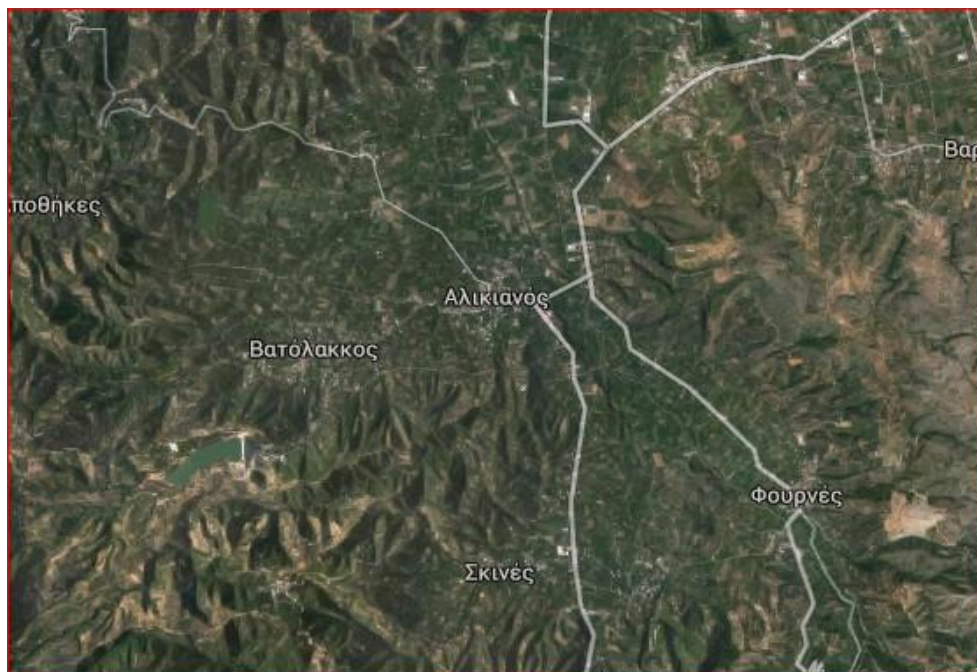
### **Περιοχή Μελέτης**

#### **4.1 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής**

Ο κάμπος Χανίων είναι στην ευρύτερη περιοχή που περιβάλλει τον ποταμό Κερίτη, η λεκάνη απορροής που περιβάλλει τον ποταμό έχει επιφάνεια  $178\text{Km}^2$  και υπάγεται στην επαρχία Κυδωνιάς του νομού Χανίων, σε απόσταση περίπου 15 Km από την πόλη των Χανίων. Τα όρια της λεκάνης είναι Βόρεια από το Γεράνι έως τον Πλατανιά και Νότια φτάνουν μέχρι τα Λευκά Όροι, ενώ ανήκει κυρίως στον δήμο Μουσουρών, σε μικρότερο ποσοστό στους δήμους Πλατανιά, Θερίσσου και Νέας

Κυδωνιάς, περιλαμβάνοντας 19 κοινότητες εντός της όπως μερικές από αυτές είναι Φουρνές, Βαττόλακος, Αλικιανός, Αγιά. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Η περιοχή μελέτης που μοντελοποιείτε είναι ένα κομμάτι της Λεκάνης Κερίτη που φαίνεται στην **Εικόνα 11**.



**Εικόνα 11**

**<https://www.google.gr/maps/@35.4538691,23.9145877,6297m/data=!3m1!1e3>**

Εκτείνεται περίπου στα  $25\text{Km}^2$  και περιέχει τις περιοχές Αγία, Βαττόλακος, Αλικιανός, Φούρνε, Σκίνες , Μυλωνιανά και ένα κομμάτι από το Βαρύπετρο. Κυρίαρχα στοιχεία της περιοχής είναι ο πόταμος Κερίτης που δίνει το όνομα στην Λεκάνη απορροής, ξεκινώντας από υψόμετρο 1900m στα Λευκά Όροι και καταλήγοντας στην θάλασσα στην κοινότητα του Πλατανιά, επίσης ξεχωριστή είναι και η λίμνη της Αγιάς που είναι στις προστατευόμενες περιοχές Nature 2000 (κωδικός:GR434006). Η πεδινή περιοχή κοντά στην λίμνη παρουσιάζει σημαντική δενδρώδεις ανάπτυξη, όπου παρατηρούνται ενδημικές φτέρες και συστάδες καστανιές. Οι κύριοι παραπόταμοι που αποτελούν τον χείμαρρο Κερίτη είναι Μεσικλιανός, Μαυρός, Σκινιανός, Βαρσαμιώτης και της Αγιάς οι οποίοι σε συνδυασμό με τον Κερίτη αποτελούν το πρωτεύον αποχετευτικό σύστημα της λεκάνης. Βλάστηση παρατηρείτε στο ημιορεινό λοφώδες τμήμα που βρίσκετε στο ενδιάμεσο του Νοτίου τμήματος της λεκάνης το οποίο αποτελείτε κυρίως από μέρος των Λεύκων Όρων ,ενώ το Βόρειο τμήμα είναι πεδινό με πλούσια βλάστηση και περιέχει την λίμνη της Αγιάς. (Καρατζάς, Νικολαΐδης ,2010)

Η λίμνη είναι τεχνίτη δημιουργήθηκε κατά την χρονολογία 1927-1928 πάνω σε έναν μικρό παραπόταμο του Κερίτη μέσω της κατασκευής φράγματος, οι εισροές προς την λίμνη προέρχονται από υπερχειλίσεις παραλινίων πηγών, από το υδατογραφικό δίκτυο και τα ανάντη ποταμιά ή ρέματα. Η οποία επιβαρύνετε με τις παρακάτω απώλειες κυρίως για

υδροληψία από Υ.Η.Σ./Δ.Ε.Η. την χειμερινή περίοδο , της τροφοδοσία του Ο.Α.ΔΥ.Κ., την εξάτμιση και τις απώλειες-διήθησης του πυθμένα της λίμνης. (Καρατζάς, Νικολαΐδης ,2010)

Η στάθμη της λίμνης εξαρτάται από τις υδρολογικές διακυμάνσεις και μεταβολές του ρυθμού άντλησης με την αλλαγή των εποχών, το υψηλότερο σημείο στάθμης είναι 38m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας ενώ το ύψος του πυθμένα είναι 34m, έτσι ένα μέσο ύψος θεωρείται τα 36m . Δυτικά της λίμνης η περιοχή του ποταμού Κερίτη χαρακτηρίζεται ως ποταμός που εμφανίζει παροδική ροή κάτι σύνηθες για Μεσογειακό ποταμό, το ανάντη μέρος του σε σχέση με την λίμνη της Αγιάς θεωρείται χείμαρρος ενώ κατάντη εφόσον η λίμνη υπερχειλίζει προσφέροντας αρκετό νερό για την ύπαρξη μόνιμης ροής για μικρά ωστόσο χρονικά διαστήματα και εκτάσεις. (Λιονής & Περλερός ,2001)

#### 4.2 Υδρολογικά και Μετεωρολογικά Στοιχεία της Περιοχής

Το γενικό κλίμα της Νοτιοανατολικής Κρήτης ορίζεται ως το ενδιάμεσο σε ερημόδεις Μεσογειακό και χερσαίο Μεσογειακό, με χαρακτηριστικό του την ηπιότητα ακόμα και κατά την διάρκεια του χειμώνα, λόγο της άφιξης θερμών και υγρών Νότιο Δυτικών αερίων μαζών. Το μεγαλύτερο κομμάτι του νομού Χανίων χαρακτηρίζεται από ήπιο χειμώνα καθώς είναι πεδινό και ημιορεινό κυρίως, λίγα ορεινά χωρία του νομού περνούν ψυχρό χειμώνα, το κλίμα για τις πεδινές περιοχές είναι έντονο θερμό-μεσογειακό ενώ για ορεινές και ημιορεινές εναλλάσσονται μεταξύ εντόνου μεσογειακού, ασθενούς μέσου-μεσογειακού και υπό-μεσογειακό. Ιδιαίτερα στην περιοχή μελέτης το κλίμα είναι Μεσογειακό με θερμό και ξηρό καλοκαίρι το οποίο διαρκεί περίπου πέντε μήνες(Μάιο με Σεπτέμβριο) ,ενώ Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο ο χειμώνας ο οποίος είναι ήπιος με βροχοπτώσεις κατά την διάρκεια του. Η θερμοκρασία με εξαίρεση το χωρίο Ζουρβά δεν πέφτει υπό το μηδέν και οι άνεμοι στην περιοχή είναι κυρίως Δυτικοί-Βορειοδυτικοί μέσης έντασης. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την ηλιοφάνεια η οποία καταλαμβάνει 70% των ημερών του χρόνου αιτιολογούν τον χαρακτηρισμό του κλίματος της εύκρατο Μεσογειακό και έντονα ξηροθερμικό. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Ως αναφορά την θερμοκρασία ο Φεβρουάριος είναι ο ψυχρότερος μηνάς του χρόνου, ο οποίος διαφέρει ελάχιστα από τον Ιανουάριο, σε ένα ήπιο χειμώνα διάρκειας περίπου τριών μηνών. Ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση μηνιαία θερμοκρασία  $25^{\circ}\text{C}$  ,ενώ ο ακολουθεί ο Αυγούστος με  $21,5^{\circ}\text{C}$  .Τα παραπάνω καθιστούν το κλίμα της Κρήτης ευνοϊκό για πληθώρα δραστηριοτήτων, πράγμα που οφείλεται στην κεντρική θέση του νησιού στην Ανατολική Μεσόγειο. Αντίθετος με τις παραπάνω πεδινές συνθήκες στις ορεινές κοινότητες ή χωρία οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι μεγαλύτερες με χαμηλότερες θερμοκρασίες τόσο καλοκαίρι όσο και τον χειμώνα. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Η μέση ατμοσφαιρική υγρασία κυμαίνεται από ελάχιστη τον Ιούνιο σε μέγιστη τον Δεκέμβριο, ενώ η μέση μηνιαία σχετική υγρασία μειώνετε από τα ανατολικά προς δυτικά. Το κλίμα της Κρήτης θεωρείται ιδιαίτερος ευχάριστο ακόμα υπό υψηλές θερμοκρασίες, λόγω της μικρής περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία, φαινόμενο έντονο στην Νοτιά Κρήτη. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Η μέση ετησία βροχόπτωση εμφανίζει μεγάλη ανισοκατανομή η οποία παρουσιάζει αύξηση στις κατευθύνσεις ανατολή προς δύση και νότο προς βορά. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση λαμβάνει μέγιστες τιμές τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο, ενώ ελάχιστες τον Ιούλιο και Αύγουστο οι οποίοι είναι ξηροί μήνες σε όλη την πεδινή Κρήτη. Ο μήνας με την μέγιστη τιμή μέσης βροχόπτωσης καταλαμβάνει το 25% της συνολικής ετησίας βροχόπτωσης, καθώς οι μέσες συνολικές ημέρες βροχόπτωσης στην Κρήτη ανέρχονται τις 90 ανά έτος. Ο παρακάτω πίνακας της **εικόνας 12** δείχνει μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις(mm), τις ημέρες βροχής ανά μηνά ,όπως και την εξάτμιση από παρατηρήσεις των τελευταίων 50 ετών. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Μήνες	Μέσες Μηνιαίες Βροχοπτώσεις (mm)	Ημέρες βροχής (days/month)	Εξάτμιση από εξατμισόμετρο (mm)
Ιανουάριος	176,4	15,3	35
Φεβρουάριος	137	14,3	40
Μάρτιος	119,5	10,5	67
Απρίλιος	52,8	7	117
Μάιος	9,9	3,4	175
Ιούνιος	5,8	0,9	235
Ιούλιος	0,9	0,5	246
Αύγουστος	4,9	0,6	207
Σεπτέμβριος	24,3	2,7	142
Οκτώβριος	82,1	7,8	81
Νοέμβριος	111,2	11,4	3
Δεκέμβριος	125,9	14,5	30
Έτος	850,7	88,9	1378

Εικόνα 22 (Λιονής & Περλερός ,2001)

Στο νησί γενικότερα επικρατούν βόρειοι και Βορειοδυτικοί άνεμοι όλη την διάρκεια του έτους. Η νηνεμία καλύπτει το 20% των ημερών του έτους στην πεδινή ανατολική Κρήτη, ενώ 30% στην ορεινή. Η μέγιστη μηνιαία ένταση παρατηρείται στην Σητεία και την Ιεράπετρα(5,82 και  $6,84 \frac{m}{s}$  αντίστοιχα), παράλληλα η ελάχιστη ένταση παρατηρείται στην Δυτική Κρήτη κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Στο νησί γενικότερα επικρατούν βόρειοι και Βορειοδυτικοί. (Λιονής & Περλερός ,2001)

Η ηλιοφάνεια της Κρήτης είναι ιδιαίτερα υψηλή με μέσο ετήσιο αριθμό ωρών 2700 ώρες για την βόρεια και 3000 για την νοτιά. Ο μέσος αριθμός ημερών με ηλιοφάνεια κυμαίνεται από 3 τον Ιανουάριο μέχρι 28 τον Ιούλιο για τις πεδινές περιοχές, ενώ μειώνονται οι αριθμοί κατά 30% για ορεινές. Η ομίχλη είναι σπάνιο φαινόμενο στην Κρήτη για παράδειγμα στους πεδινούς σταθμούς παρατηρείτε 1 μέρα ανά έτος με ομίχλη και στους ορεινούς περίπου 15. (Λιονής & Περλερός ,2001)

#### 4.3 Γεωλογία της Περιοχής Μελέτης

Η γεωμορφολογία της λεκάνης του Κερίτη χαρακτηρίζετε από τέσσερεις γεωλογικούς σχηματισμούς.

1. Τα ανθρακικά πετρώματα καταλαμβάνουν το νοτιοανατολικό κομμάτι της λεκάνης ,ενώ εκτείνονται ως τον κύριο ασβεστολιθικό όγκο των Λεύκων Όρεων .Γνώρισμα τους είναι η υψηλή υδροδιαπερατότητα που ευνοεί την δημιουργία για υπόγειους υδροφορείς, οι σχηματισμοί αυτοί δεν έχουν συγκεκριμένη στρώση με πάχος που ξεπερνά τα 500m.
2. Φυλλίτες-Χαλαζίτες είναι κυρίως μη υδροπερατοί, εξαιτίας αυτού αποτελούν όρια για την υπόγεια ροή. Εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και σε μικρότερο έκταση βόρεια της Αγιάς και του Κουφού.
3. Νεογενείς σχηματισμοί παρατηρούνται στο βορειοδυτικό κομμάτι της λεκάνης στις περιοχές του Γερανιού και Βρυσών. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι ανθρακικής προέλευσης σε συνδυασμό με ανθρακικό συνδετικό υλικό, με κύριο χαρακτηριστικό την καλή υδροπερατότητα τους.
4. Τεταρτογενείς σχηματισμοί οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του υδροφορέα στις περιοχές Αγιά, Αλικιανός, Βαττόλακος, Σκίνες, Κουφού έχοντας πάχος και υδροπερατότητα ικανά να στεγάσουν σεβαστές ποσότητες υπόγειου νερού. Αποτελούνται από αδρομελή κυρίως υλικά, αργίλους και άμμους, ενώ μπορούν να ομαδοποιηθούν με τους νεογενείς σχηματισμούς καθώς παρουσιάζουν παρόμοιες συμπεριφορές ως αναφορά την υπόγεια ροή. (Ταπόγλου Ε. 2010)

Συγκεκριμένα στην περιοχή ενδιαφέροντος οι πατρολογικοί σχηματισμοί που αναφέρουν οι Καρατζάς και Νικολαΐδης (2010). Παρουσιάζονται παρακάτω σε αντιστοιχία με τον γεωλογικό χάρτη της **εικόνας 13** με βάση την υδραυλική αγωγιμότητα τους .

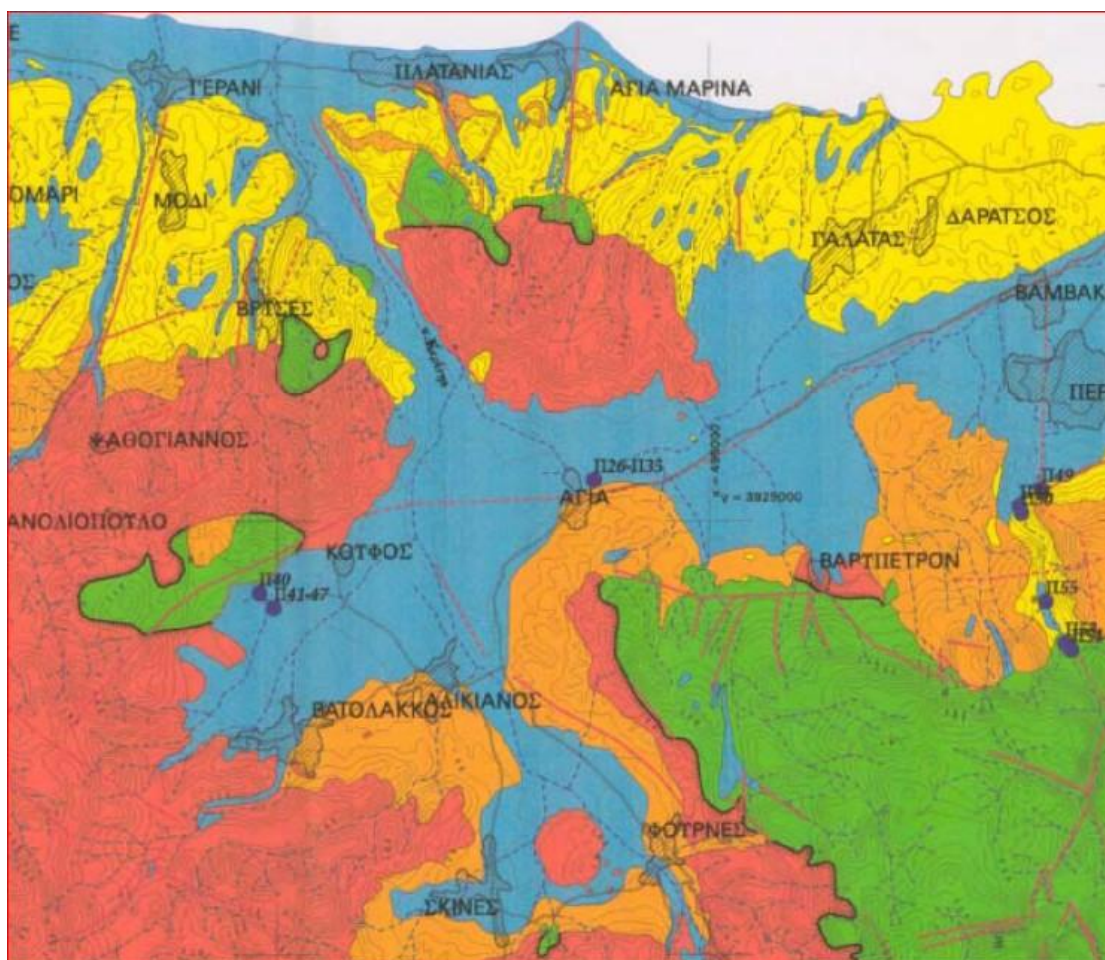
Αρχικά υπάρχουν πορώδεις μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μετρίας έως μικρής υδροπερατότητας, όπου η κυκλοφορία διεξάγεται μέσω πρωτογενούς πορώδους. Εκτείνεται κυρίως σε παρυφές ορεινών ασβεστολιθικών όγκων, οι οποίες εμφανίζονται στην **εικόνα 13** με πράσινο χρώμα και έχουν εκτιμώμενη υδραυλική αγωγιμότητα ίση με  $300 \frac{m}{day}$  .

Ακλουθούν οι πορώδεις προσχωματικοί μετρίας έως μικρής υδροπερατότητας που παρατηρούνται με πορτοκαλί χρώμα στον γεωλογικό χάρτη, με εκτιμώμενη υδραυλική αγωγιμότητα  $51,84 \frac{m}{day}$  .

Πορώδεις μη προσχωματικοί μικρής υδροπερατότητας ,στους οποίους εντάσσονται πλειοκενικές και μεσοκαινικές μάργες .Φαίνονται με χρώμα μπλε στην **εικόνα 13** και εκτιμώμενη υδραυλική αγωγιμότητα  $8,64 \frac{m}{day}$  .

Τέλος πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας, όπως σχηματισμοί του φλύσχη με υδροφορείς μικρού έως μέσου δυναμικού να αναπτύσσονται σε ορισμένα σημεία. Αναπαριστώνται με κόκκινο χρώμα και με εκτιμώμενη υδραυλική αγωγιμότητα  $8,6 \cdot 10^{-5} \frac{m}{day}$ .





Εικόνα 13 Καρατζάς Γ. και Νικολαΐδης Ν. (2010)

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Δεδομένα Εισόδου και Σενάρια του Μοντέλου

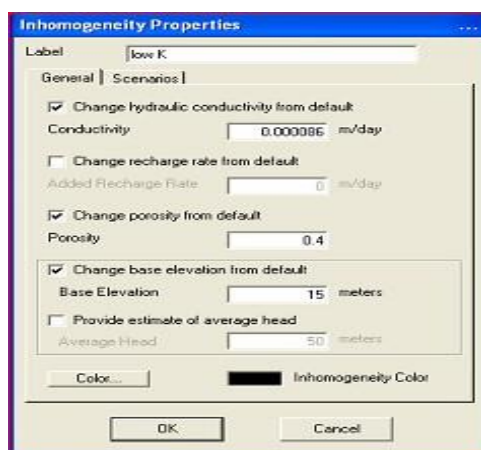
#### 5.1 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο WhAEM

Όπως έχει αναφερθεί στα παραπάνω κεφάλαια η προσομοίωση ενός υδροφορέα είναι ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία, το μοντέλο προσφέρει στην απλοποίηση του συστήματος λύνοντας πλήθος εξισώσεων σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα από τον άνθρωπο, κάνοντας παραδοχές που διευκολύνουν την διαδικασία επίλυσης. Οι κυριότερες

παράμετροι εισόδου για την προσομοίωση και λειτουργεί του μοντέλου παρατίθενται παρακάτω :

- Αρχικά πρέπει να τεθεί μια εικόνα που καθορίζει χρωματικά την περιοχή ανάλογα με την υδραυλική αγωγιμότητα, η οποία πρέπει να είναι γεωαναφερμένη ώστε να τοποθετηθεί στις σωστές συντεταγμένες στο περιβάλλον του μοντέλου.

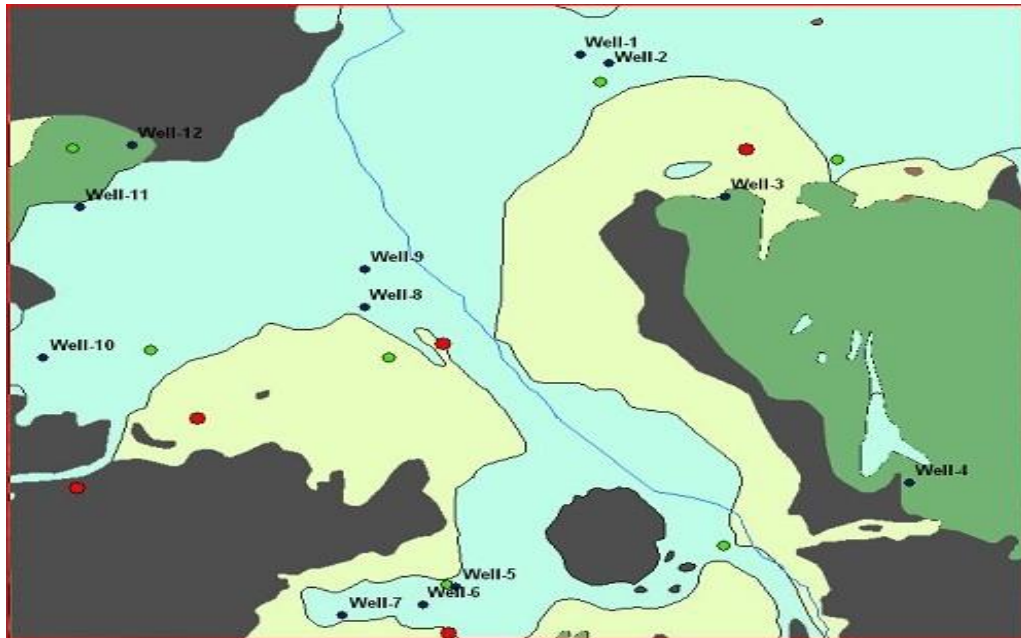
- Σαν δεύτερο βήμα περνάμε στον προσδιορισμό των γεωλογικών παραμέτρων, με κύριο χαρακτηριστικό την υδραυλική αγωγιμότητα η οποία μεταβάλλεται συμφώνα με την γεωαναφερμένη εικόνα. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 το μοντέλο προσφέρει την δυνατότητα ορισμού πολυγώνων τα οποία έχουν ξεχωριστή υδραυλική αγωγιμότητα όπως δείχνει το η **εικόνα 14**. Στην **εικόνα 14** φαίνονται τα διαφορετικά χρώματα που καθορίζουν τις διαφορετικές υδραυλικές αγωγιμότητες ως εξής: με γκρι εμφανίζονται οι πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί με υδραυλική αγωγιμότητα  $K = 8,6 \cdot 10^{-5} \frac{m}{day}$ , πράσινο χρώμα έχουν οι πορώδεις πλειοκαινικές και μειοκαινικές αποθέσεις με υδραυλική αγωγιμότητα  $K = 300 \frac{m}{day}$ , μπεζ χρώμα έχουν οι πορώδεις προσχωματικοί με  $K = 51,84 \frac{m}{day}$  και τέλος με γαλάζιο χρώμα οι πορώδεις μη προσχωματικοί μικρής υδροπερατότητας με  $K = 8,64 \frac{m}{day}$ . Επίσης ζητείται από το μοντέλο να δοθεί ένα αρχικό ύψος του υδροφορέα από την θάλασσα, το οποίο υπολογιστικέ παίρνοντας τις μετρήσεις απόλυτου ύψους νερού στις γεωτρήσεις και αφαιρώντας τις από το υψόμετρο του σημείου, από το οποίο έχει αφαιρεθεί η απόσταση για την εύρεση νερού στην κάθε γεώτρηση. Παίρνοντας τον μέσο όρο οριστικέ ένα μέσο αρχικό ύψος  $15m$ . Επίσης ορίζεται το μέσο πορώδες που ζητείται από το μοντέλο σε  $0,4$ . (Ταπόγλου Ε., 2010)



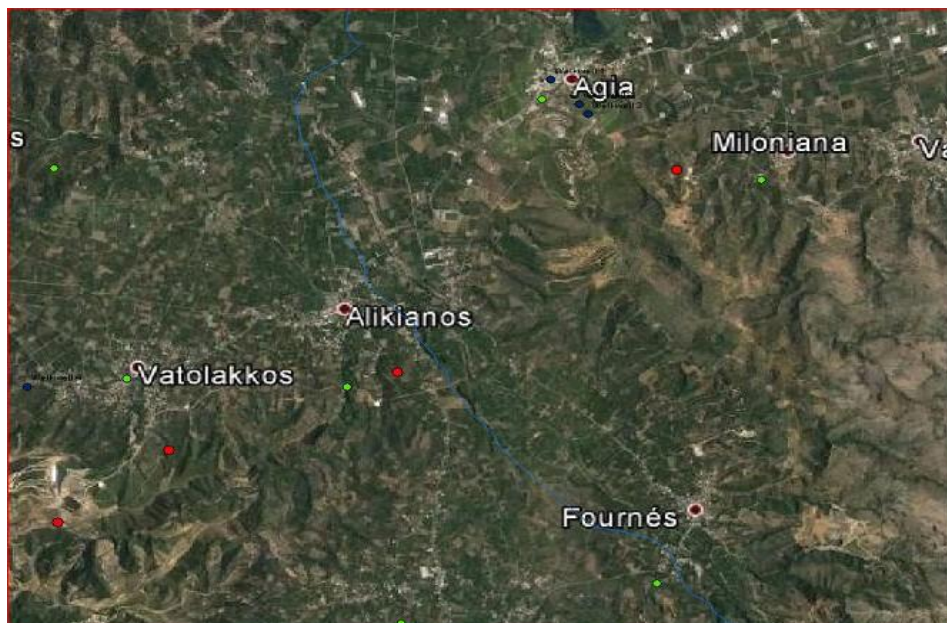
**Εικόνα 34 Ρυθμίσεις ανομοιογένειας**

- Ακολουθούν κάποιες υδρολογικές παράμετροι όπως: μέση υδραυλική κλίση του υδροφορέα που υπολογιστικέ παίρνοντας τον μέσο όρο των διάφορων της απόλυτης στάθμης γεωτρήσεων(σε ζευγάρια) διαιρεμένες από την απόσταση που τα χωρίζει. Το κορεσμένο βάθος υπολογιστικέ με παρόμοιο τρόπο με το μέσο ύψος από την θάλασσα ,παίρνοντας τον μέσο όρο από τα απολυτά ύψη νερού των γεωτρήσεων, ο οποίος υπολογιστικέ στα  $35m$ . Απαιτητέ επίσης ο καθορισμός της ελαχίστης και μεγίστης ισοδυνμικής καμπύλης που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης( $20m, 100m$ ). (Ταπόγλου Ε., 2010)

•Οι εισροές και εκροές από τον υδροφόρο είναι οι επόμενες παράμετροι που εισάγονται, πρώτα οι γεωτρήσεις τοποθετούνται βάση συντεταγμένων και ορίζετε η παροχή άντλησης που αντιστοιχεί στην κάθε μια, όπου εμφανίζονται αναλυτικά στον **πίνακα 2 και 3** (Ταπόγλου Ε. ,2010) , όπως και στις **εικόνες 15, 16**.



Εικόνα 15 Γεωλογία, γεωτρήσεις και Περιβαλλοντικές πιέσεις στην περιοχή μελέτης (καλοκαίρι)



Εικόνα 16 Γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης (χειμώνας)

**Πινάκας 2 Παροχές γεωτρήσεων για καλοκαιρινή περίοδο**

Όνομα γεώτρησης/Περιοχή(ιδιοκτήτης)	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)	Όνομα γεώτρησης/Περιοχή(ιδιοκτήτης)	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)
1.Αγιά (ΤΕΟΒ,Καλαμιώνας )	2994.5	7.Μεσοκέφαλα(ιδιώτης )	960
2.Αγιά (Κολυμπά, ΔΕΥΑΧ, Πλάτανος ,Νέα Γεώτρηση)	1618.16	8. Δυτικά του Κερίτη	720
3. Μυλωνιανά	12000	9.Δρεγιάδες(ΤΕΟΒ)	2640
4.Σκινας (κοινότητα)	2400	10.Μαργαρίτες(ΤΕΟΒ/ΟΑΔΥΚ)	3720
5. Σκίνες (κοινότητα)	3600	11.Πηγές Κουφού (ΤΕΟΒ)	5760
6. Σκίνες (ΟΑΔΥΚ)	3600	12.Σπήλιος (κοινότητα)	1920

**Πινάκας 3 Παροχές γεωτρήσεων χειμερινής περιόδου**

Όνομα γεώτρησης/Περιοχή(ιδιοκτήτης)	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)
1. Αγιά (Πηγή Καλαμιώνας)	1191
2.Αγιά(Πηγή Κολυμπά)	2622
3. Αγιά (Πλάτανος, ΔΕΥΑΧ, Νέα γεώτρηση)	2684
4.Μαργαριτες(κοινότητα)	1080

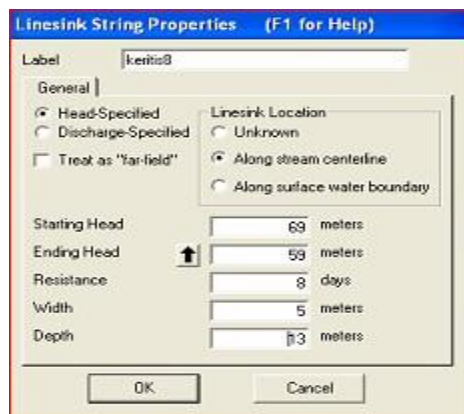
Κάποιες γεωτρήσεις έχουν ομαδοποιηθεί κατά την καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο λόγω μικρών παροχών .Έκτος των γεωτρήσεων η παράμετρος της ετησίας έντασης βροχής για τους χειμερινούς μήνες οριστικό στα  $0,000006 \frac{m}{day}$  , (Ταπόγλου Ε. ,2010)

ενώ τους θερινούς μήνες θεωρείτε αμελητέα. Τα παραπάνω ήταν σημειοκά ορισμένες ροές νερού, τα ποταμιά, οι λίμνες και οι υπόλοιπες αλληλεπιδράσεις όπως προσθήκες ή απώλειες νερού γίνονται με τις πληροφορίες που δίνονται στο κεφάλαιο 3, με γραμμές(linesinks) που αντιστοιχούν σε προσφορά νερού προς τον υδροφορέα ή την απομάκρυνση του. Ο Κερίτης αναπαρίσταται ως γραμμή με υδραυλικά ύψη περίπου μισό μέτρο κάτω από το υψόμετρο για τον χειμώνα, ένα μέτρο για το καλοκαίρι. Επίσης απαιτούνται το πλάτος, το βάθος και η αντίσταση(resistance) η οποία προσδιορίζει καταρχάς αν το ποτάμι συνεισφέρει στον υδροφορέα ή το αντίστροφο και την ευκολία της διεργασίας αυτής . Είναι αποτέλεσμα της διαίρεσης του κορεσμένου βάθους με την υδραυλική αγωγιμότητα κατά τον κάθετο στο επίπεδο άξονα και έχει μονάδα μέτρησης τον χρόνο, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα χαρακτηριστικά επιλογής των γραμμών ροής στην **εικόνα 17**. Ο τρόπος εισαγωγής λιμνών δεν διαφέρει ιδιαίτερα παρά μόνο στο σχήμα που είναι ένα πολύγωνο αντί για μια συνεχόμενη γραμμή .Συνεχίζοντας πρέπει να εισαχθούν οι εισροές που συντηρούν τον υδροφορέα κατά την διάρκεια του έτους, αυτές εισάγονται με την μορφή γραμμών που προσφέρουν κυβικά μέτρα νερού ανά μέτρο μήκους της γραμμής, οι οποίες μπορούν να καθορίζουν και την κατεύθυνση της ροής. Η **εικόνα 18** παρουσιάζει ένα χάρτη υδραυλικών υψών της περιοχής, βάση του οποίου προσαρμόστηκαν οι γραμμές

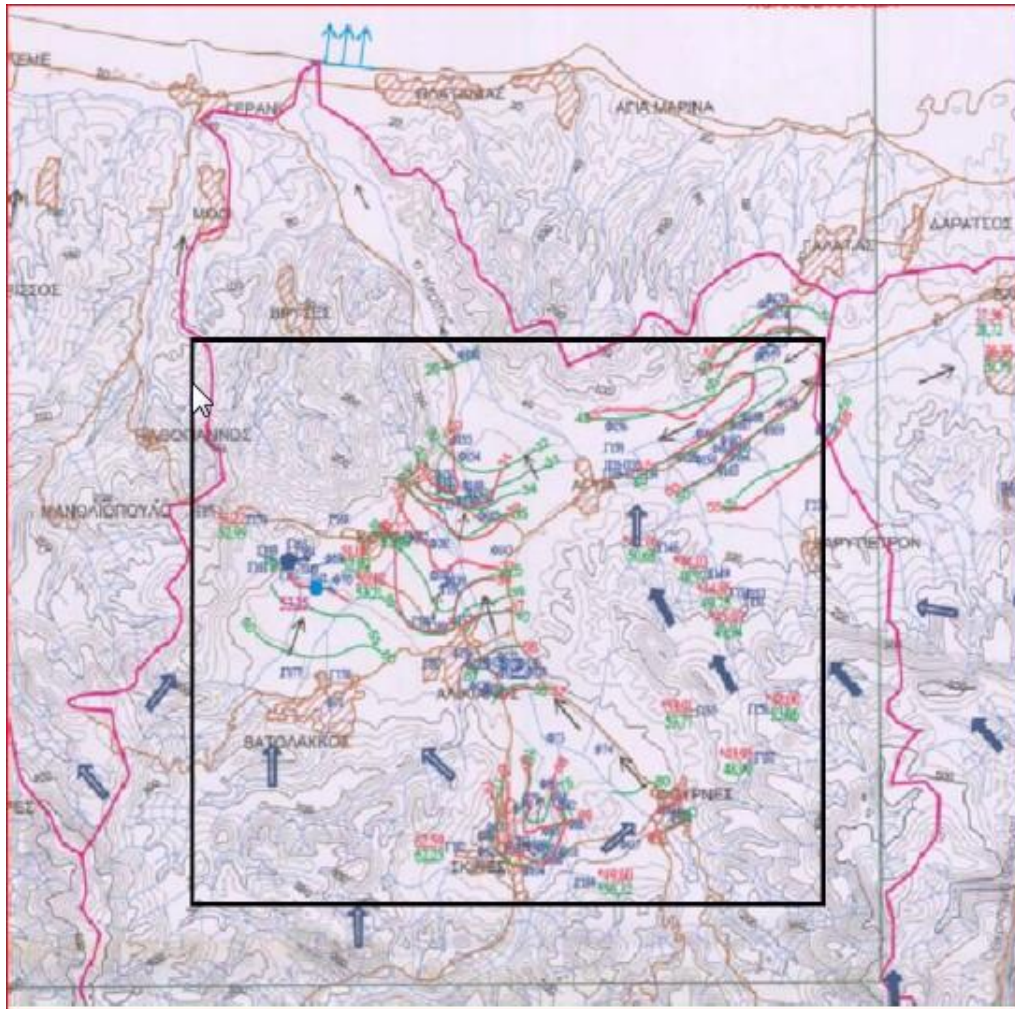


προσφοράς νερού στον υδροφορέα(linesinks) για να προσομοιωθεί στο βέλτιστο δυνατό η κατεύθυνση ροής του υδροφορέα.

•Τέλος οι πιθανές πηγές ρύπανσης φαίνονται με κύκλους πράσινου και κόκκινου χρώματος, τα νεκροταφεία και ελαιουργία αντίστοιχα. Τα ελαιουργία παράγουν απόβλητα με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με ιδιαίτερη προσοχή οι περιπτώσεις που ελαιουργία απειλούν κοντινές γεωτρήσεις. Αντίθετος τα νεκροταφεία είναι μικρού κινδύνου σε σχέση με τα ελαιουργία. Το μοντέλο επίσης δίνει την δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων σε προγράμματα όπως GIS που προσφέρουν καλύτερη απεικόνιση, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία.



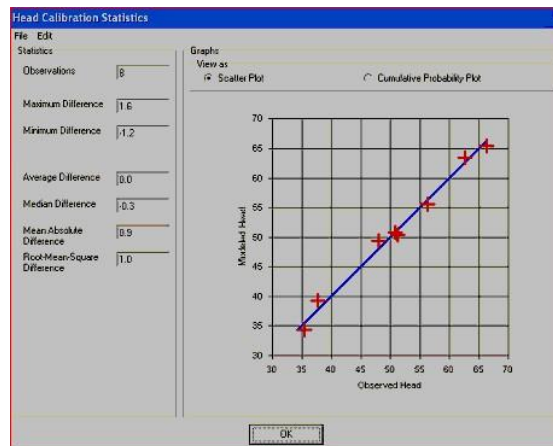
Εικόνα 17 Χαρακτηριστικά των γραμμών ροής(Linesinks)



**Εικόνα 18 Χάρτης υδραυλικών υψών (Ταπόγλου Ε., 2010)**

## 5.2 Βαθμονόμηση και επιλογή Σεναρίων

Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι απαραίτητη ώστε να ελεγχτεί κατά πόσο η απεικόνιση της περιοχής μελέτης προσεγγίζει την πραγματικότητα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μετρήσεις στάθμης νερού κυρίως από τις υπό εξέταση γεωτρήσεις, ονομάζονται στο μοντέλο ως σημεία επαλήθευσης (test points) εμφανίζοντας ένα τρίγωνο στο κέντρο τους. Το μέγεθος του τριγώνου εξαρτάται από την απόλυτη τιμή της απόκλισης ενώ το χρώμα του τριγώνου δείχνει υπερεκτίμηση από την πλευρά του μοντέλου για κόκκινο χρώμα, ενώ όταν είναι πράσινο είναι υποεκτίμηση. Το κύριο χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται στην βαθμονόμηση είναι σωστή προσαρμογή των γραμμών ροής (εισόδου στον υδροφορέα) στο μοντέλο, το οποίο μπορεί να ελεγχτεί από ένα διάγραμμα που κατασκευάζει το μοντέλο κατά την κατασκευή των ζωνών προστασίας και φαίνεται στην **εικόνα 19**.



**Εικόνα 19 Στατιστικά Βαθμονόμησης βάση υδραυλικών υψών(Καλοκαίρι)**

Κύριοι παράγοντες για την επαλήθευση της βαθμονόμησης είναι η μέση απόλυτη διαφορά των μετρήσεων ή Mean Absolute Difference(MAD) και η τετραγωνική ριζά του μέσου αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών ή Root Mean Square Difference(RMSD) στις μετρήσεις πεδίου και προβλέψεις μοντέλου. Η τιμή του MAD που είναι ικανοποιητική πρέπει να είναι μικρότερη από 1,5m ,ενώ η επιτυχία της βαθμονόμησης αυξάνετε αντίστροφος ανάλογα με την τιμή του MAD , για την οποία τιμές κοντά στην μονάδα προσδίδουν επιπλέον βεβαιότητα . Αντίστοιχα το RMSD απαιτητέ να προσεγγίζει το 2,0 ,ενώ έχει επίσης αντίστροφος ανάλογη σχέση με την αύξηση της βεβαιότητας των αποτελεσμάτων, καθώς ιδανικές τιμές θεωρούνται μικρότερες του 1,5 .

Τα σενάρια που θα συμπεριλήφθην στο μοντέλο είναι η καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδος ,λόγο της αδυναμίας του μοντέλου στην εναλλαγή παραμέτρων κατά την επίλυση. Επίσης παρουσιάσετε και ένα σενάριο όλου του έτους, που είναι ο μέσος όρος των παραμέτρων εισόδου των δυο προηγούμενων ,που λόγω του τρόπου δημιουργίας του τα παραγόμενα αποτελέσματα πρέπει να εξεταστούν με προσοχή. Το ετήσιο σενάριο εξετάζει 13 γεωτρήσεις σε λειτουργία ,τα 12 του καλοκαιριού συν το ένα στην περιοχή της Αγιάς το οποίο υπάρχει και στο χειμερινό σενάριο.

Εφόσον οι απαιτήσεις για μια αποδεκτή βαθμονόμηση έχουν επιτευχτεί για τα επιλεγμένα σενάρια, μπορούν να οριστούν οι χρόνοι διανύσεως που χαρακτηρίζουν τις ζώνες προστασίας. Η κάθε ζώνη σύμφωνα με την Environmental Protection Agency Great Britain(EPA) καθορίζετε από έναν συγκεκριμένο χρόνο ο οποίος ορίζει την λειτουργία της. Οι ζώνες που επιλέχθηκαν να είναι έξι, με τις δυο πρώτες 60 και 180 ημερών να είναι ιδιαίτερα αυστηρές ως αναφορά τις επιτρεπόμενες διεργασίες εντός τους, για τον λόγους προστασίας από παθογόνους μικροοργανισμούς κυρίως. Παρόμοιες είναι και η ζώνη του ενός χρόνου που έχει σκοπό την προστασία από παθογόνους με χρόνους ζωής μεγαλύτερους από 365 ημέρες ,οργανικούς βιοδιασπώμενους ρυπαντές με χρόνο για μείωση της περιεκτικότητας τους σε ασφαλές επίπεδα μεγαλύτερο από ένα έτος. Τα δυο χρονιά εξυπηρετούν στην προστασία από μη βιοδιασπώμενους ρυπαντές, δίνοντας αρχικά

χρόνο αντίδρασης στις αρμόδιες αρχές ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην μείωση της περιεκτικότητας σε ρυπογόνες ουσίες. Τα πέντε χρονιά αντίστοιχα αποσκοπούν στους ίδιους στόχους με την ζώνη των δυο ετών, προσδίδοντας όμως παραπάνω χρόνο οπότε μεγαλύτερη ασφάλεια για ουσίες με μεγαλύτερη επικινδυνότητα και ιδιαίτερα χαμηλό ή αμελητέο ρυθμό βιοδιάπασης. Τέλος η ζώνη των 10 ετών έχει στόχο την προστασία του πηγαδιού στον τομέα της βιωσιμότητας, δηλαδή αν το πηγάδι αντλεί περισσότερο νερό ετήσιος από αυτό που μπορεί να του προσφέρει ο υδροφορέας, ουσίες που δεν μπορούν να έρθουν σε επαφή με τον άνθρωπο ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις.

Τέλος συμπεριλαμβάνετε μια μελέτη ανάλυσης ευαισθησίας για τον καθορισμό των περαμάτων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου. Οι παράμετροι που εξεταστήκαν είναι υδραυλική αγωγιμότητα, κορεσμένο βάθος υδροφορέα, παροχές άντλησης, εισροές στον υδροφορέα, υδραυλικά ύψη και αντιστάσεις στο ποτάμι και στην λίμνη.

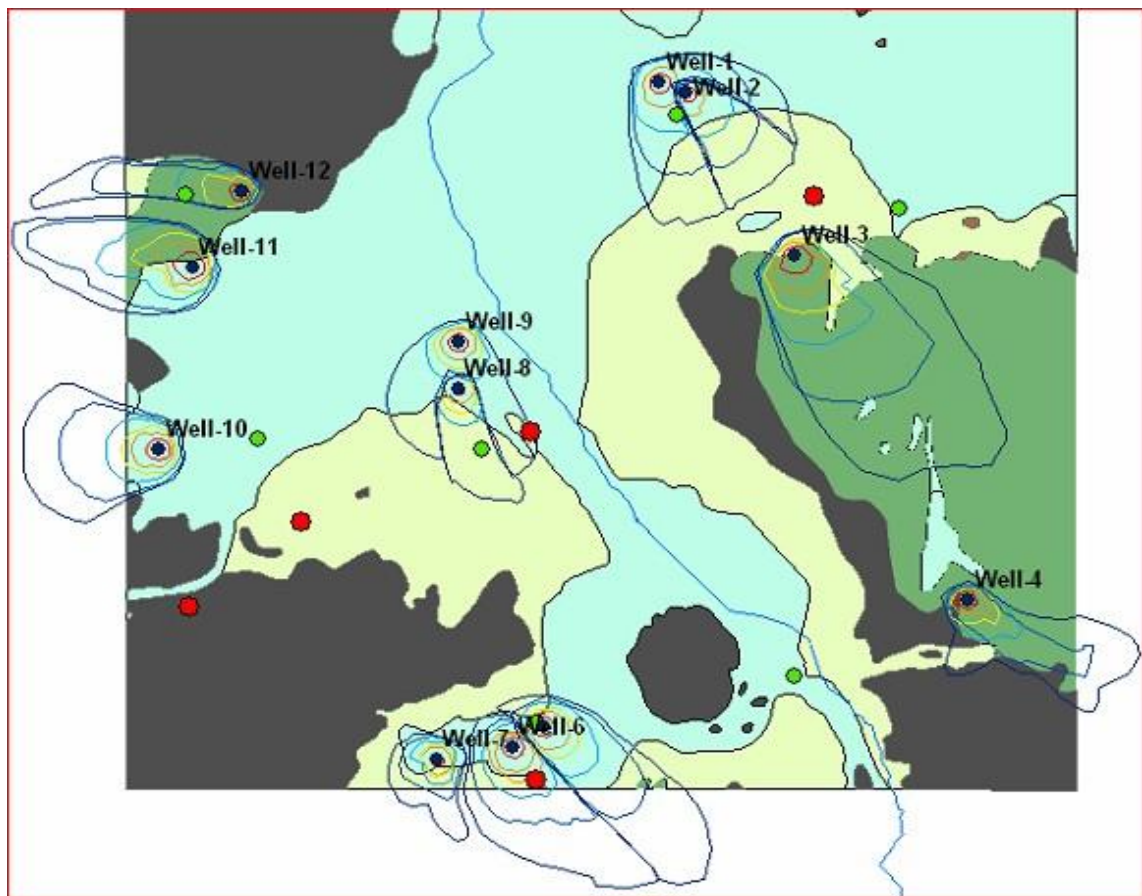


## 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

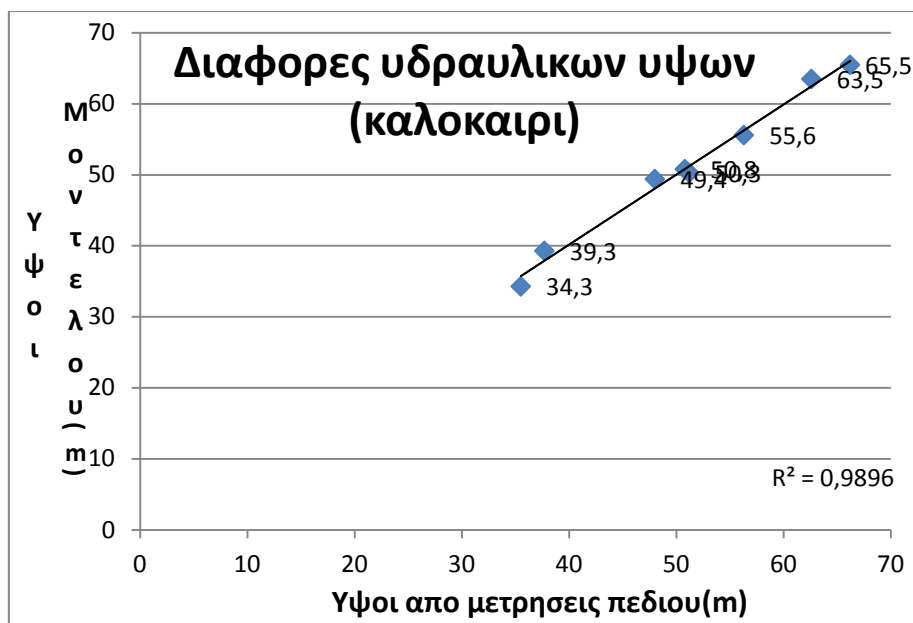
### Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

#### 6.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των τριών σεναρίων

- Το σενάριο του καλοκαιριού παρουσιάζει την μεγαλύτερη συνολική άντληση από τα άλλα δυο σενάρια. Οι γεωτρήσεις της **εικόνας 20** αντιστοιχούν στον **πίνακα 2** του 5<sup>ου</sup> κεφαλαίου, όπως και το διάγραμμα συσχέτισης παρατηρήσεων με τιμές του μοντέλου της **εικόνας 21**.



Εικόνα 20 Ζώνες επιρροής για καλοκαιρινή περίοδο

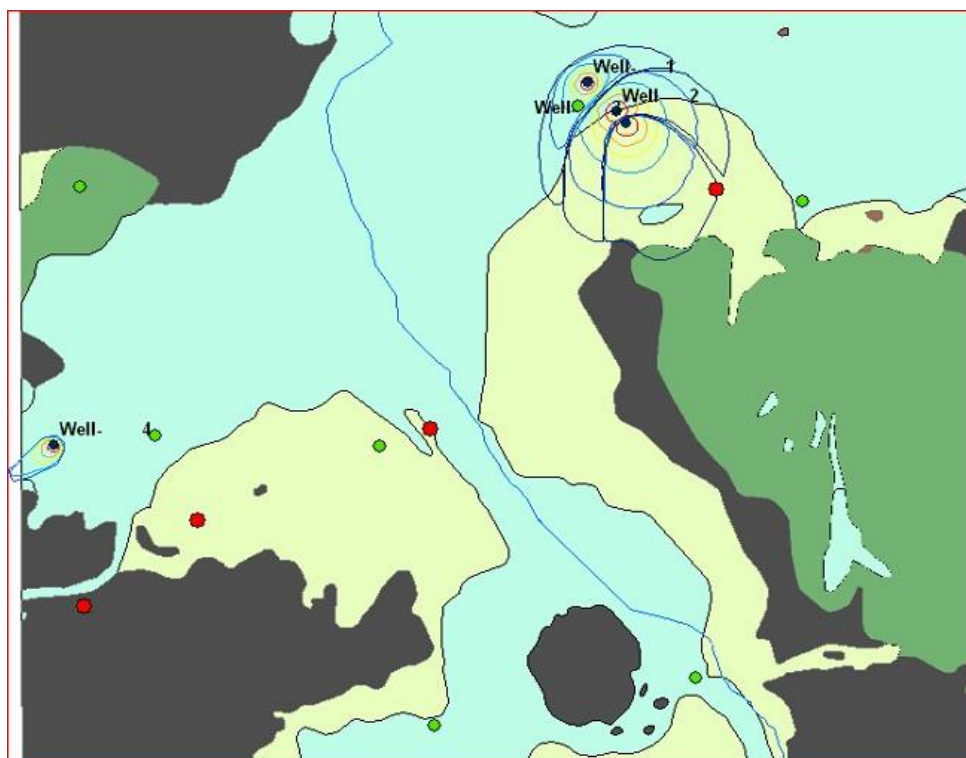


Εικόνα 21 Αποκλίσεις στα υδραυλικά ύψη πεδίου και μοντέλου σε μέτρα(m)

Οι ζώνες που εμφανίζονται στην εικόνα 20 χαρακτηρίζονται με κόκκινο και πορτοκαλί των 60 και 180 ημερών αντίστοιχα, οι οποίες απαιτούν τις αυστηρότερες απαγορεύσεις. Με κίτρινο μπορούμε να διακρίνουμε την ζώνη του ενός χρόνου με παρόμοια μέτρα προστασίας όπως οι δυο παραπάνω ζώνες, με πολύ μικρές διαφορές. Γαλάζιο χρώμα έχει το περίγραμμα της ζώνης δυο ετών η οποία δεν επιτρέπει την απόρριψη εντός της μη βιοδιασπώμενων ουσιών. Με μπλε χρώμα παρατηρείται η ζώνη των πέντε ετών η οποία αποτελεί ένα παράγοντα ασφάλειας της ζώνης των δυο ετών, προλαμβάνοντας πιθανές ρυπογόνες πηγές ιδιαίτερα όταν πρόκειται για αυξημένης επικινδυνότητας πηγές ρύπανσης. Τέλος με σκούρο μπλε χρώμα ορίζεται η ζώνη των δέκα ετών με σκοπό κυρίως τον έλεγχο της μακροχρόνιας βιωσιμότητας της γεώτρησης, σε δευτερεύον ρόλο την προστασίας από άκρος επικίνδυνες ουσίες ,οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές παρενέργειες και μεταφέρονται μέσω του υδροφορέα στον άνθρωπο.

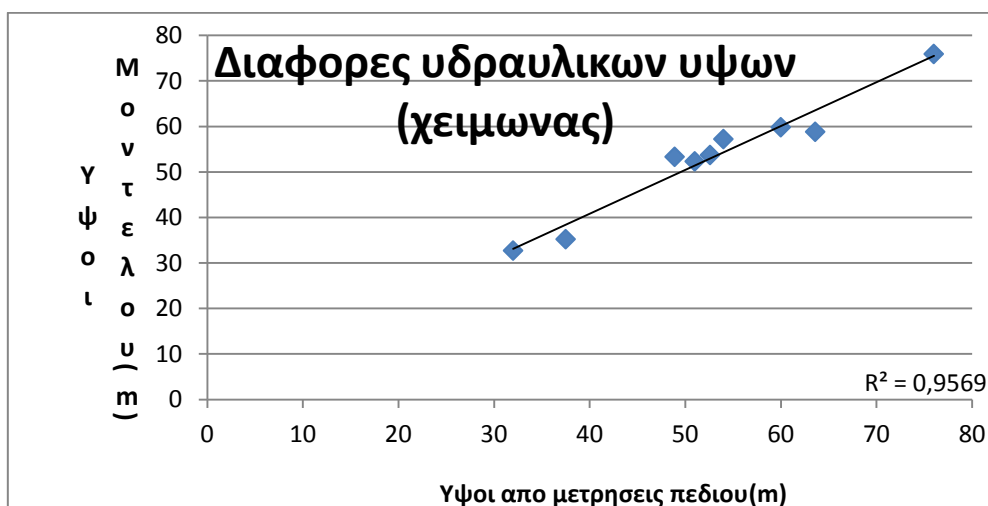
Τα αποτελέσματα του μοντέλου που επιλέχθηκαν για παρουσίαση έχουν  $MAD = 0,9$  και  $RMSD = 1.0$  , αρκετά ικανοποιητικές τιμές που συνιστούν στην μικρή αβεβαιότητα των υπολογισμών του μοντέλου. Οι γεωτρήσεις που διατρέχουν σοβαρό κίνδυνο είναι οι γεωτρήσεις 6 και 9 .Με την 6 να έχει ένα ελαιουργείο εντός της ζώνης των δυο ετών και σχεδόν της ζώνης του ενός έτους, συνεπώς απαιτητέ διερεύνηση για την εγγύηση της ποιότητας του νερού. Η γεώτρηση 9 έχει ελαιουργείο στην ζώνη των δέκα ετών που υποδηλώνει μικρότερο κίνδυνο από την γεώτρηση 6, ωστόσο πρέπει να δοθεί σημασία και στην γεώτρηση 9 στα επόμενα έτη. Οι γεωτρήσεις 1, 5, 8 και 12 έχουν νεκροταφεία εντός κάποιας από τις ζώνες προστασίας τους, έλεγχοι θα ήταν συνετό να γίνουν συντομότερα για τις γεωτρήσεις 1,12 και 5, τα οποία έχουν τα νεκροταφεία εντός των ζωνών δυο ετών για τα δυο πρώτα και ενός έτους αντίστοιχα. Η γεώτρηση 8 περιέχει νεκροταφείο εντός της ζώνης δέκα ετών το οποίο αποτελεί μικρό κίνδυνο για την γεώτρηση, ενώ ο έλεγχος για αυτήν μπορεί να καθυστερήσει σε σχέση με τα προηγούμενα.

- Το σενάριο του χειμώνα έχει σε λειτουργία τέσσερις γεωτρήσεις οι οποίες φαίνονται στην **εικόνα 22** και αντιστοιχούν στον **πίνακα 3** του 5<sup>ου</sup> κεφαλαίου .



**Εικόνα 22 Ζώνες Προστασίας για την χειμερινή περίοδο**

Η συσχέτιση των τιμών πεδίου και μοντέλου παρουσιάζεται στην **εικόνα 23** με την προσαρμογή να είναι υποδεέστερη της καλοκαιρινής περιόδου.



**Εικόνα 23 Αποκλίσεις στα υδραυλικά ύψη πεδίου και μοντέλου σε μέτρα(m)**

Οι παράμετροι της βαθμονόμησης έχουν τιμές  $MAD = 2.0m$  και  $RMSD = 2.6$  ,οι οποίες προσεγγίζουν της ικανοποιητικές τιμές με λιγότερη επιτυχία σε σχέση με το καλοκαιρινό σενάριο. Οι ζώνες της χειμερινής περιόδου αποσκοπούν κυρίως στην διερεύνηση των αλλαγών στην περιοχή της Αγίας, λόγω της συγκεντρωμένης άντλησης σε μικρή περιοχή του υδροφορέα. Η γεώτρηση 4 έχει σαφώς μικρότερη παροχή άντλησης τον χειμώνα οπότε

μικρότερες ζώνες προστασίας και δεν απειλείται από περιβαλλοντικές πιέσεις, συνεπώς μπορεί να αγνοηθεί. Κίνδυνο διατρέχουν οι γεωτρήσεις 1 και 3 , με την πρώτη να έχει νεκροταφείο εντός της ζώνης δυο ετών, ενώ την δεύτερη ελαιουργείο στην ζώνη των δέκα ετών. Παρόλο που τα ελαιουργία κρίνονται ποιο επικίνδυνα συνίσταται η προώθηση του έλεγχου της γεώτρησης 1 λόγω του μικρού χρόνου-διάλυσης του νερού από το νεκροταφείο στην γεώτρηση, ωστόσο σε βάθος χρόνου είναι απαραίτητος και ο έλεγχος στην γεώτρηση 3 για συνέπειες από το ελαιουργείο.

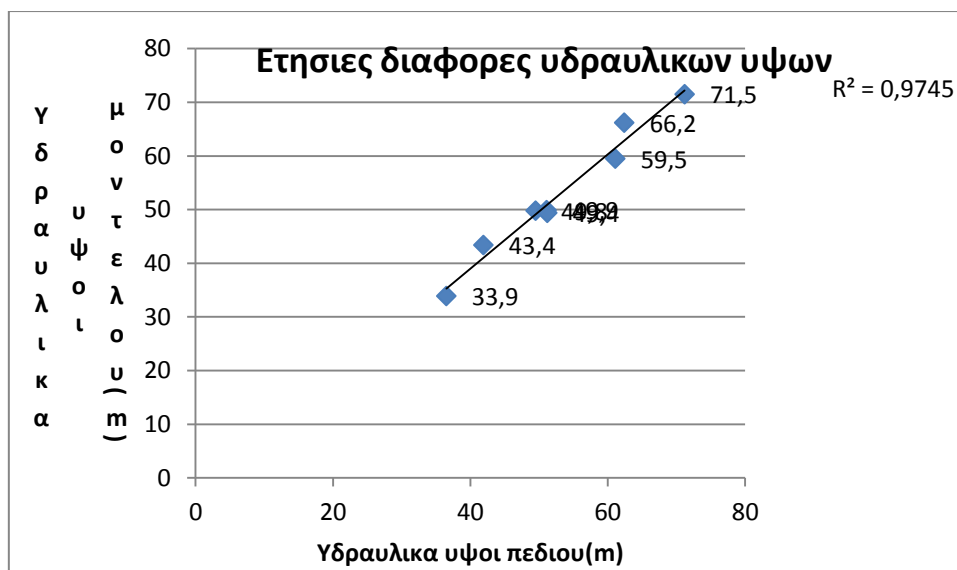
•Οι ζώνες προστασίας για το σενάριο όλου του έτους φαίνονται στην εικόνα 20 καθώς και τα αντίστοιχα πηγάδια στον **πίνακα 4**.

**Πινάκας 4 Γεωτρήσεις-Παροχές για το ετήσιο σενάριο**

Όνομα Γεώτρησης/Περιοχή(ιδιοκτήτης)	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)	Όνομα Γεώτρησης /Περιοχή(ιδιοκτήτης)	Παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /day)
1.Αγιά (ΤΕΟΒ,Καλαμώνας )	2093	8.Μεσοκέφαλα(ιδιώτης )	490
2.Αγιά (Κολυμπά)	1580	9. Δυτικά του Κερίτη	360
3.Πλάτανος, ΔΕΥΑΧ, Νέα γεώτρηση	1832	10.Δρεγιάδες(ΤΕΟΒ)	1320
4. Μυλωνιανά	6000	11.Μαργαρίτες(ΤΕΟΒ/ΟΑΔΥΚ)	2400
5.Σκίνας (κοινότητα)	1200	12.Πηγές Κουφού (ΤΕΟΒ)	2880
6. Σκίνες (κοινότητα)	1800	13.Σπήλιος (κοινότητα)	960
7. Σκίνες (ΟΑΔΥΚ)	1800		

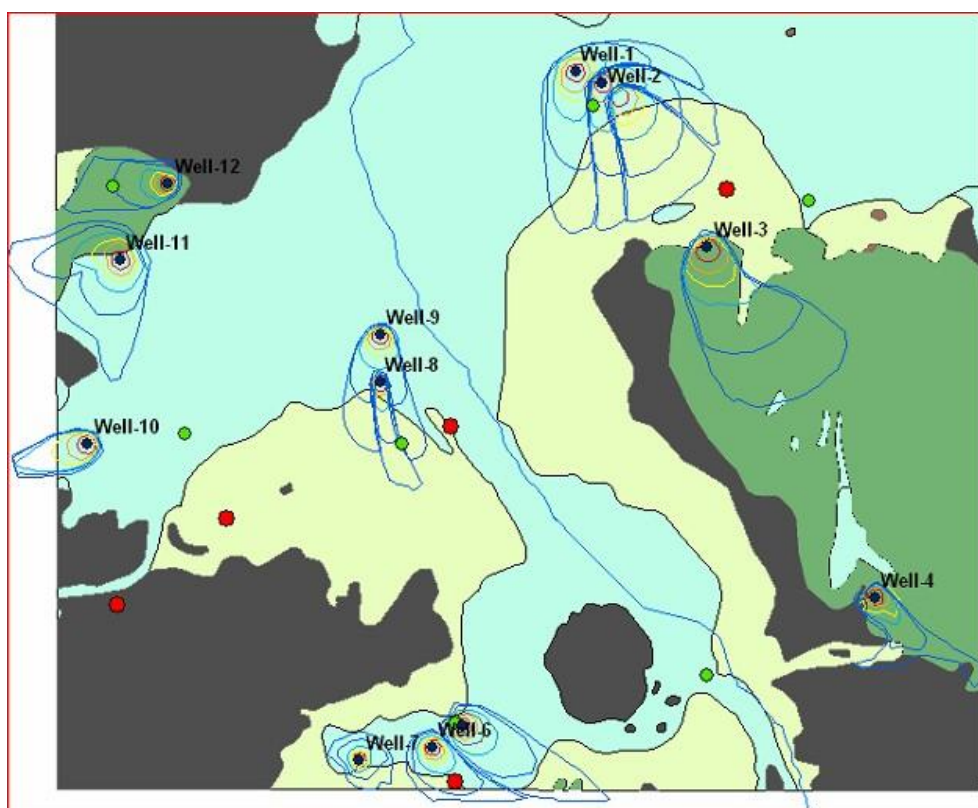
Στην **εικόνα 24** παρουσιάζεται η απόκλιση των τιμών πεδίου και μοντέλου για ετησία περίοδο εφαρμογής.

Οι παράμετροι βαθμονόμησης έχουν τιμές  $MAD = 1.6m$  και  $RMSD = 2.0$  ,οι οποίες σε συνδυασμό με το διάγραμμα της **εικόνας 24** υποδεικνύουν μικρή αβεβαιότητα στα αποτελέσματα. Το σενάριο αυτό έχει παρόμοιο σκοπό με το χειμερινό, δηλαδή ορίζοντας ζώνες οι οποίες θα ληφθούν υπόψη εφόσον καταλαμβάνουν περισσότερο εμβαδό από την καλοκαιρινή ή χειμερινή περίοδο. Το σενάριο αυτό δίνετε να καθορίσει ζώνες σε περίπτωση που είχε την βέλτιστη αβεβαιότητα σε σχέση με τα προηγούμενα, διότι η μέγιστη παροχή άντλησης για την κάθε γεώτρηση παρατηρείτε σε ένα από τα δυο παραπάνω σενάρια .



Εικόνα 24 Αποκλίσεις στις ετήσιες μετρήσεις πεδίου και μοντέλου

Στην **εικόνα 25** παρατηρούμε τις γεωτρήσεις στις οποίες πρέπει να παρακολουθούνται είναι οι 7, 13 και η 2. Όπως αναφέρθηκε και στο καλοκαιρινό σενάριο η γεώτρηση 7 είναι εκείνη που πιθανός κινδυνεύει περισσότερο, λόγω του ελαιουργείου εντός της πενταετής ζώνης το οποίο είναι κοντά στην ζώνη των δυο ετών. Οι υπόλοιπες γεωτρήσεις διατρέχουν ελάχιστο και μικρό κίνδυνο αντίστοιχα , αφού έχουν νεκροταφεία στις ζώνες των δυο και ενός έτους.



Εικόνα 25 Ζώνες προστασίας γεωτρήσεων για ετήσιο σενάριο

Μέσο του γεωγραφικού συστήματος επεξεργασίας πληροφοριών GIS μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της ζώνης επίδρασης/επιρροής θεωρώντας ότι η ζώνη των δέκα ετών μπορεί να αποτελέσει μια ικανοποιητική αρχική εκτίμηση. Οι ζώνες των γεωτρήσεων 3 έως 12 πηγάζουν από το καλοκαιρινό σενάριο, ενώ οι 1 και 2 από το χειμερινό σενάριο. Η ζώνη επίδρασης της γεώτρησης 2 αποτελείται από τα άθροισμα των ζωνών επίδρασης των γεωτρήσεων 2 και 3 (χειμερινό σενάριο) για την περεταίρω προστασία του των κοντινών γεωτρήσεων και της λίμνης της Αγίας . Δυο από τις παραμέτρους που καθορίζουν τις διαστάσεις της ζώνης είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνει και η περίμετρος της , στον παρακάτω **πίνακα 5** παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες ζώνες επίδρασης όπως και οι επιφάνειες και περίμετροι που αντιστοιχούν στην κάθε μια.

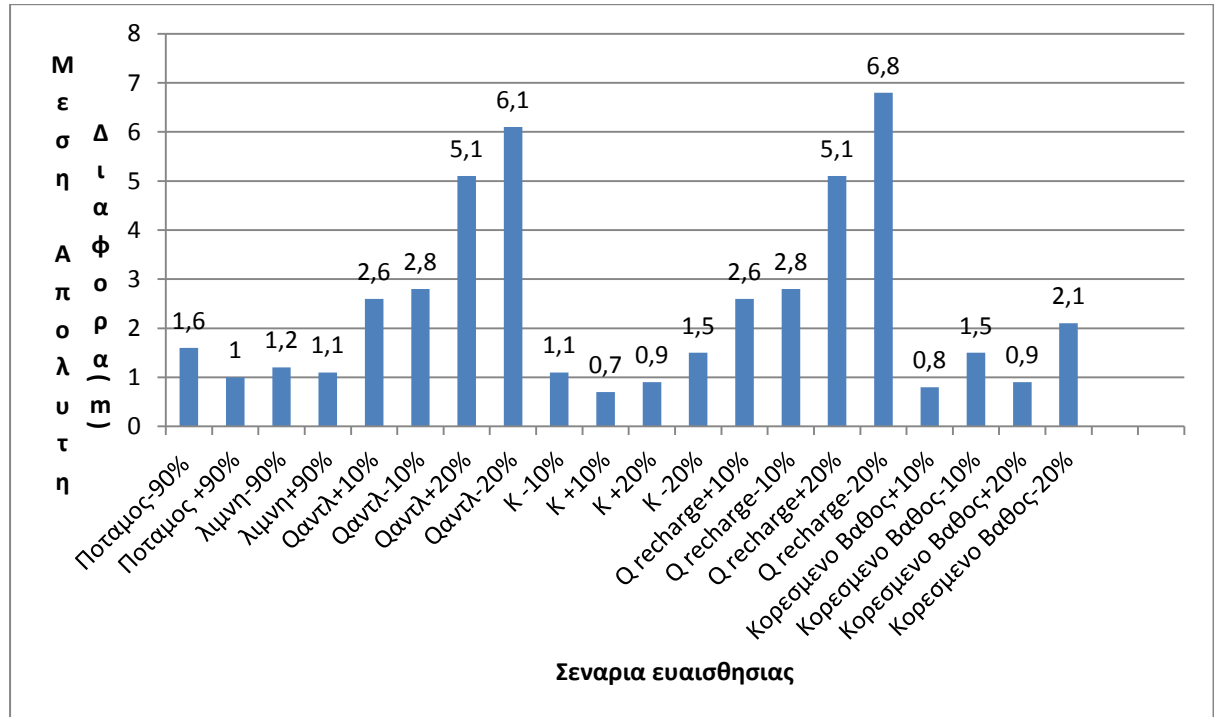
**Πίνακας 5 Επιφάνεια και Περίμετρος της εκτιμώμενης ζώνης επίδρασης των γεωτρήσεων**

Γεωτρήσεις	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Περίμετρος (m)
1	358995	3505
2	1225298	4000
3	2165373	5773
4	728020	4145
5	923074	4507
6	892531	4215
7	302896	2360
8	334335	2598
9	608687	4693
10	867421	3489
11	847319	3719
12	433163	3673

## 6.2 Ανάλυση ευαισθησίας

Η βεβαιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου, ένας αποτελεσματικός τρόπος έλεγχου είναι η μεταβολή των κυριών παραμέτρων εισόδου για την αξιολόγηση των δυο κυριών παραμέτρων βαθμονόμησης MAD και RMSD. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την ανάλυση ευαισθησίας είναι οι παροχές άντλησης, υδραυλικές αγωγιμότητες ,κορεσμένο βάθος, παροχές ανεφοδιασμού του υδροφορέα και τέλος τα υδραυλικά ύψη και αντίσταση του ποταμού και της λίμνης. Οι μεταβολές που επιλέχθηκαν για τις παραμέτρους είναι της τάξεως  $\pm 10\%$  με  $\pm 20\%$  εκτος από το ποταμι και την λιμνη , διоти χρειαστικαν μεταβολες 90% για να παρατηρηθούν αλλαγές στο MAD και στο RMSD. Στην **εικόνα 26** παρατηρούμε την διακύμανση της μέσης απόλυτης διαφοράς υδραυλικών υψών για κάθε σενάριο που εισήχθηκε στο μοντέλο. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στις τιμές του MAD εμφανίζονται για τις μεταβολές των παροχών άντλησης και των εισερχόμενων υδάτων στον υδροφορέα κατά 20% , το οποίο ήταν κάτι αναμενόμενο. Ακολουθούν αντίστοιχα οι μεταβολές κατά 10% για τις παραπάνω παραμέτρους, που είναι και οι τελευταίες που επηρεάζουν σημαντικά την βαθμονόμηση. Οι επόμενες παράμετροι επηρεάζουν σε ελάχιστο βαθμό με την εξαίρεση της μείωσης κατά 20% του κορεσμένου βάθους. Η μείωση των υδραυλικών υψών και της αντίστασης του ποταμού κατά 90%, η μείωση κατά 10% του κορεσμένου βάθους και αντίστοιχα κατά 20% στην υδραυλική αγωγιμότητα συντελούν σε μια αύξηση

της αβεβαιότητας. Οι υπόλοιπες παράμετροι που παρουσιάζονται δεν επηρεάζουν αρνητικά την βαθμονόμηση με μερικές μεταβολές να έχουν θετικά αποτελέσματα ενώ οι υπόλοιπες αμελητέα.



Εικόνα 46 Μέση απολυτή διαφορά υδραυλικών υψών για τα Σενάρια της ανάλυσης ευαισθησίας

## 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Συμπεράσματα-Προτεινόμενες Ενέργειες

Συνοψίζοντας το 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατηρούμε ότι οι γεωτρήσεις της καλοκαιρινής περιόδου έχουν μεγαλύτερη συνολική παροχή άντλησης από την χειμερινή περίοδο, ενώ στην πλειοψηφία της σε σύγκριση με την ετησία προσομοίωση. Οι παράμετροι βαθμονόμησης MAD και RMSD της καλοκαιρινής περιόδου προσδίδουν την μικρότερη αβεβαιότητα σε σχέση με τα άλλα δυο σενάρια, έχοντας επίσης την καλύτερη προσαρμογή όπως φαίνεται στο διάγραμμα της **εικόνας 21** σε σύγκριση με τα διαγράμματα των **εικόνων 23,24**. Το χειμερινό σενάριο έχει μέτρια προσαρμογή δεδομένων σε σχέση με της προβλέψεις του μοντέλου, ωστόσο επειδή διαφοροποιούνται οι παροχές άντλησης στον υδροφορέα σε σημαντικό βαθμό συνιστάτε να χρησιμοποιηθεί για ασφάλεια. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιπλέον παράγοντας ασφάλειας και να τεθεί σε εφαρμογή εφόσον υποδεικνύει απειλή προς κάποια ή κάποιες γεωτρήσεις, στα όποια τα άλλα σενάρια δεν προβλέπουν κίνδυνο. Το σενάριο που συνδυάζει χειμώνα-καλοκαίρι είναι αρχικά λιγότερο αξιόπιστο λόγω της δημιουργίας του ως μέσο όρο των παραμέτρων εισόδου των άλλων δυο, κάτι που έγινε αναγκαστικά καθώς το μοντέλο δεν παρέχει την δυνατότητα να μεταβάλει τις παραμέτρους εισόδου καθώς “τρέχει” το πρόγραμμα. Εξαιτίας των παραπάνω το ετήσιο σενάριο μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση που υποδεικνύει απειλή προς κάποια ή κάποιες γεωτρήσεις, η όποια δεν συμπεριλαμβάνετε στα άλλα σενάρια. Με γνώμονα τα παραπάνω οι βέλτιστες ζώνες προστασίας ορίζονται για τις γεωτρήσεις 3 έως 12 του **πινάκα 2** (5<sup>ο</sup> κεφάλαιο) να ακολουθούν την μορφή του καλοκαιρινού σεναρίου, ενώ για τις γεωτρήσεις 1 έως 3 του **πινάκα 3** (5<sup>ο</sup> κεφάλαιο) οι ζώνες του χειμερινού σεναρίου κρίνονται ότι παρέχουν μεγαλύτερη προστασία, σημαντική εφόσον οι γεωτρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται σε ένα ποσοστό και για ύδρευση. Η ανάλυση ευαισθησίας μας παρέχει πληροφόρηση για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αβεβαιότητα του μοντέλου, με οκτώ από αυτές να έχουν μεγάλη επιρροή πάνω στην αβεβαιότητα των σεναρίων όπως διακρίνετε στο διάγραμμα της **εικόνας 26**. Η αύξηση ή μείωση στις παροχές άντλησης των γεωτρήσεων, στην ποσότητα των εισερχόμενων υδάτων στον υδροφορέα κατά 20% και 10% εμφανίζει την μεγαλύτερη μεταβολή στην τιμή της MAD, όπως και η μείωση κατά 20% στο κορεσμένο βάθος του υδροφορέα. Ακολουθούν μικρές διαφοροποιήσεις για την μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας κατά 20%, του κορεσμένου βάθους κατά 10% και των υδραυλικών υψών του ποταμού και της αντίστασης του κατά 90%, καθώς οι υπόλοιπες παράμετροι είναι αμελητέοι για τις μεταβολές που



εξεταστήκαν. Από την ανάλυσης ευαισθησίας συμπεραίνεται ότι για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου θα πρέπει να εγγυηθεί μια αβεβαιότητα μικρότερη του 10% για τις μετρήσεις των δυο παραμέτρων που επηρεάζουν ακραία τις παραμέτρους βαθμονόμησης . Επίσης για το κορεσμένο βάθος είναι απαραίτητη μια μεγίστη αβεβαιότητα 10%, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι μπορούν να αρκестούν σε μια μεγίστη αβεβαιότητα 20%, έκτος των υψών και αντιστάσεων του ποταμού και λίμνης που η μεγίστη αβεβαιότητα ορίζεται στο 90%. Κρατώντας τις τιμές της αβεβαιότητας στις προαναφερθέντες παραμέτρους κοντά στις προτεινόμενες θα έχουν ως αποτέλεσμα αύξηση στην ποιότητα των αποτελεσμάτων που ορίζει το μοντέλο και το αντίστροφο. Καταλήγοντας θα προταθεί το σενάριο του καλοκαιριού για τις γεωτρήσεις 3 έως 12 του **πίνακα 3**, ενώ για 1 έως 3 του **πίνακα 4** προτείνονται οι ζώνες προστασίας του χειμερινού σεναρίου. Στην καλοκαιρινή περίοδο οι γεωτρήσεις που απαιτούν ενέργειες για την εξασφάλιση της προστασίας τους είναι κυρίως η γεώτρηση 6 που έχει ένα ελαιουργείο στην ζώνη του ενός έτους, για το οποίο προτείνεται να αρχίσουν οι διαδικασίες για έλεγχοι στην ποιότητα του νερού μέχρι το επόμενο έτος . Επίσης προτείνεται έλεγχος για την χημική κατάσταση των απόβλητων που παράγει η όποια εφόσον δεν πλήρη της νόμιμες απαιτήσεις(συγκεντρώσεων) πρέπει να αναγκάζετε από την αρμόδια αρχή να πληρώσει πρόστιμο βασισμένο σε προτάσεις όπως "ο Ρυπαίνον Πληρώνει" , για το χρονικό διάστημα που αδυνατεί να επεξεργάζεται ή να προωθεί σε κατάλληλες μονάδες επεξεργασίας τα απόβλητα που παράγει, συμμορφώνοντας την εγκατάσταση του για την μείωση του πιθανού κινδύνου στους υδάτινους πόρους της περιοχής. Λόγο του μεγέθους της ενδεχόμενης απειλής προς τη συγκεκριμένη γεώτρηση προτείνεται περεταίρω έρευνα ,με ποιο ανεπτυγμένες μεθόδους μοντελοποίησης όπως κάποιο αριθμητικό μοντέλο. Οι γεωτρήσεις 5 και 12 επίσης έχουν νεκροταφεία όντος των ζωνών ενός και δυο ετών αντίστοιχα, που όμως αποτελούν μικρό κίνδυνο έτσι μπορούν να γίνουν κάποιοι έλεγχοι στις γεωτρήσεις στα επόμενα δυο χρονιά χωρίς να υπάρχει κίνδυνος σοβαρής ρύπανσης. Τέλος για το καλοκαίρι η γεώτρηση 9 θα ήταν συνετό να ελεγχτεί στα επόμενα πέντε χρονιά, διότι ένα ελαιουργείο βρίσκεται εντός της δεκαετής ζώνης του. Οι γεωτρήσεις που θα ακολουθούσουν τις ζώνες το χειμερινού σεναρίου δείχνουν κίνδυνο για την γεώτρηση 1 και 3. Με το επίπεδο επικινδυνότητας σχετικά μικρό και για τις δυο γεωτρήσεις, στην γεώτρηση 1 υπάρχει νεκροταφείο εντός της ζώνης δυο ετών, ενώ στο 3 ελαιουργείο στην ζώνη των δέκα ετών. Οι ενέργειες για την προστασία των γεωτρήσεων είναι κυρίως έλεγχοι για την ποιότητα στα επόμενα δυο έτη για την 1 , ενώ μέσα στα επόμενα πέντε για την 3. Τέλος στην εφαρμογή των ζωνών προστασίας καθορισμένες από το μοντέλο θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι ελάχιστες ακτίνες που έχουν οριστεί από την EPA Great Britain και αναφέρονται ποιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 2 για την εξασφάλιση της απαιτούμενης προστασίας των γεωτρήσεων.

## **Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική βιβλιογραφία :**

Γιδαράκος Ε. , Επικίνδυνα και τοξικά απόβλητα Διαχείριση και Επεξεργασία 2006

Καρατζάς Γ.(2003). ,Σημειώσεις μαθήματος Ροής Υπόγειων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Καρατζάς Γ., Νικολαΐδης, Ν. ,2010 Ειδικό σχέδιο διαχείρισης υδατικών πόρων για τις λεκάνες απορροής των ποταμών Κερίτη-Θερίσου και Κοιλιάρη.

Λατινόπουλος Π., "Συνδυασμένη χρήση μεθόδων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης για το σχεδιασμό έργων αναβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών", Τελική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος, ΠΕΝΕΔ 89, ΥΒΕΤ, 1993.

Λατινόπουλος Π., "Υδραυλική των υπόγειων ροών", Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., 1998.

Λατινόπουλος Π., "Προστασία και εξυγίανση των υπόγειων νερών", Διδακτικές σημειώσεις, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα ειδίκευσης «Προστασία περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη», Α.Π.Θ., 1999.

Ταπόγλου Ε. ,Διαχείριση Υδροφορέα με χρήση Μοντέλου 3-D στην ευρύτερη Περιοχή των Πηγών Αγιάς, 2010 Προπτυχιακή Διπλωματική , Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης

Φωτοπούλου Ε. ,Διδακτορική Διατριβή: Διερεύνηση εφαρμογής τεχνικών οριοθέτησης ζωνών προστασίας υδρογεωτρήσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, 2014

### **Διεθνής Βιβλιογραφία:**

A. Jimenez-Madrid, F. Carrasco-Cantos, C. Martinez-Navarrete, Protection of groundwater intended for human consumption: a proposed methodology for defining safeguard zones, 2011

- Carey M., Hayes P., Renner A., 2009. *Groundwater Protection Zones- Review of Methods*, Environmental Protection Agency Great Britain.
- Council for Agricultural Science and Technology, Agriculture and Groundwater Quality, Report No. 103, 1985.
- Crawford J.F. and P.G. Smith, "Landfill Technology", Butterworths, London, 1985
- European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre, "Nitrate and drinking water", ECETOC Technical Report NO 27, 1988.
- De Marsily G., "Quantitative Hydrogeology", Academic Press, Inc., London, 1986
- Huisman L., T.N. Olsthoorn, "Artificial groundwater recharge", Pitman Publishing Inc., London, 1983.
- Kraemer S.R., Haitjema H.M., Kelson V.A., 2007. Working with WhAEM 2000 Capture Zone Delineation for a City Wellfield in a Valley Fill Glacial Outwash Aquifer Supporting Wellhead Protection, Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC
- Kaufman W.J., "Chemical pollution of groundwaters", Journal AWWA, 152-159, March 1974
- Maria C. Matiaki, Ilias Siarkos & Konstantinos L. Katsifarakis , Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Numerical modeling of groundwater flow to delineate spring protection zones. The case of Krokos aquifer Greece , 2015
- Pye V.I., J.Kelley, "The extent of groundwater contamination in the United States", Groundwater Contamination, Studies in Geophysics, National Academy Press, Washington D.C., 23-33, 1984.
- Stebel O., W.H.M. Duynisveld and J. Boettcher, "Nitrate pollution of groundwater in Western Europe", Agriculture, Ecosystems and Environment, 26, 189-214, 1989.
- Travis C.C. and C.B. Doty, "Can contaminated aquifers at Superfund Sites be remediated?", Environ. Sci. Technol., 24(10), 1464-1466, 1990.
- U.S. Environmental Protection Agency, Ground water, Volume I: Ground water and contamination, EPA/625/6-90/016a, 1990.
- Wilson J.L., R.L. Lenton and J. Porraw (Eds), "Groundwater pollution: Technology, economics and management", MIT, Dep. Civil Eng., Rep. TR 208, 1976.

Ιστοσελίδες:

<http://physicsgg.me/2012/05/31/%CE%B2%CE%AF%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%BF-%CF%80%CF%8C%CF%83%CE%BF-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%8C%CE%BB%CE%BF-%CF%84%CE%BF-%CE%BD%CE%B5%CF%81%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B7%CF%82/>

[http://www.interpore.org/ref-mat\\_pub/mgfc-course/mgfc-darcy.html](http://www.interpore.org/ref-mat_pub/mgfc-course/mgfc-darcy.html)

<https://www.google.gr/maps/@35.4538691,23.9145877,6297m/data=!3m1!1e3>