



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Κατεύθυνση:** Χημικών Μηχανικών/Μηχανικών Περιβάλλοντος

**«Εκτίμηση της ποιότητας των  
υπογείων υδάτων στις εντατικά  
καλλιεργήσιμες περιοχές του  
Κορινθιακού κόλπο.»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΒΑΤΙΚΙΩΤΗ ΙΩΑΝΝΗ**

*ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2022*



## **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών  
Περιβάλλοντος

**Κατεύθυνση:** Χημικών Μηχανικών/Μηχανικών Περιβάλλοντος

**«Εκτίμηση της ποιότητας των  
υπογείων υδάτων στις εντατικά  
καλλιεργήσιμες περιοχές του  
Κορινθιακού κόλπο.»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΒΑΤΙΚΙΩΤΗ ΙΩΑΝΝΗ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Καρατζάς Γεώργιος (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Κουργιαλάς Νεκτάριος

Νικολαΐδης Νικόλαος

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται μια προσπάθεια διερεύνησης της ρύπανσης που παρατηρείται από νιτρικά του υδροφόρου ορίζοντα, στο βόρειο-ανατολικό τμήμα του νομού Κορινθίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), και πιο συγκεκριμένα οι μέθοδοι Kriging και Inverse Distance Weighting (IDW). Διάφοροι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν στο Γεωγραφικό Σύστημα ως πληροφορίες, οι οποίοι ψηφιοποιήθηκαν προκειμένου να αποτυπωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το μορφολογικό υπόβαθρο της περιοχής. Στη περιοχή μελέτης, παρατηρήθηκε αυξημένη δραστηριότητα σε αγροτικές καλλιέργειες, οι οποίες αναμένονται να επιβαρύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα, λόγω, αφενός της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και αφετέρου άλλων καλλιεργητικών πρακτικών που προκαλούν ρύπανση που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Αυξημένη συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα, παρατηρείται στις περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν έντονη αγροτική δραστηριότητα.

Η παρούσα μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα πως ο λόγος που η οικιστική ανάπτυξη της περιοχής επιβαρύνει την ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, οφείλεται στην μη ύπαρξη κεντρικού αποχετευτικού συστήματος. Αυτό αφορά το βόρειο-ανατολικό τμήμα του νομού Κορινθίας. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών αποτέλεσε βασικό εργαλείο προκειμένου να εξακριβωθούν οι καλύτερες μέθοδοι για την διαχείριση των υδάτινων πόρων.

## **ABSTRACT**

The present work attempts to study the contamination of aquifers in the northeastern part of the Corinth region. For this purpose, a Geographic Information System (GIS) was used, specifically the Kriging and Inverse Distance Weighting (IDW) methods. Different topographic digitized maps were used as information in the Geographic System. Increased activity in agricultural crops was observed in the study area, which is expected to aggravate aquifers due to the use of fertilizers and pesticides and other polluting cultivation practices. This study concludes that the reason for aquifer pollution from residential development in the area is the lack of a central drainage system. This affects the northeastern part of the prefecture of Corinth. The Geographic Information System has been an important tool in determining the best methods for water resources management.

Key words: nitrates, Korinthos,

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Είναι χρέος μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Καρατζά Γεώργιο του Πολυτεχνείου Κρήτης που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με την παρούσα εργασία καθώς και με τον κ. Κουργιαλά Νεκτάριο, ο οποίος κατεύθυνε τις σκέψεις μου με τις πολύτιμες συμβουλές του.

Ευχαριστώ επίσης τον πατέρα μου Βατικίωτη Δημοσθένη και την μητέρα μου Γεωγουλάκη Μαρία για την στήριξη και την υπομονή τους όλο αυτό το διάστημα.. Ευχαριστίες και στους φίλους που δεν αναφέρονται τα ονόματά τους.

# Contents

1 Εισαγωγή.....	8
1.1 Το πρόβλημα της νιτρορύπανσης.....	8
1.2 Η επίδραση της νίτρο-ρύπανσης στο περιβάλλον.....	9
1.3 Σκοπός παρούσας μελέτης .....	9
1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση υδάτινων πόρων .....	10
1.4.1 Υπόγεια Ύδατα. ....	11
1.4.2 Η χημεία των υπόγειων υδάτων. ....	13
1.4.3 Υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. ....	13
1.4.4 Υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στις αγροτικές περιοχές. ....	14
1.4.5 Το νομοθετικό πλαίσιο. ....	16
1.4.6 Πιθανές λύσεις.....	19
1.5 Συναγωγή- Συμμεταφορά.....	20
1.6 Διάχυση.....	21
1.7 Μηχανική Διασπορά.....	22
1.8 Υδροδυναμική Διασπορά.....	23
1.9 Περιοχή Μελέτης.....	24
1.10 Χρήσεις γης.....	25
1.11 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	30
2 Μεθοδολογία.....	34
2.1 Γεωαναφορά.....	34
2.2 Εισαγωγή Στοιχείων Πηγαδιών.....	39
2.3 Μέθοδοι Τοπικών Εκτιμήσεων- IDW.....	46
2.3.1 Υλοποίηση Μεθόδου IDW.....	49
2.4 Μέθοδος-Kriging.....	56
2.4.1 Υλοποίηση Μεθόδου Kriging.....	60
4 Αποτελέσματα.....	67
5. Συμπεράσματα.....	68
Βιβλιογραφία.....	69

## 1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησης στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο μελέτης είναι η διερεύνηση της μόλυνσης από νιτρικά του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής του βόρειο-ανατολικού τμήματος του νομού Κορινθίας.

### 1.1 Το πρόβλημα της νιτρορύπανσης

Σύμφωνα με το άρθρο <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=250&language=el-GR> «Ως νιτρορύπανση ορίζεται η άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων, με σημαντικότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη υγεία και την υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων». Η νιτρορύπανση των υπόγειων και των επιφανειακών νερών έχει να κάνει με τη ρύπανση που προκαλείται λόγω του ότι υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών αλάτων. Ο κύριος λόγος της εμφάνισης αυτών των αλάτων είναι λόγω των αζωτούχων λιπασμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται στη γεωργία, των κτηνοτροφικών αποβλήτων, τα διάφορα οργανικά υπολείμματα κλπ.

Οι νιτρικές ενώσεις παρατηρούνται κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη γεωργική δραστηριότητα, γίνεται εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων και υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ζωικών αποβλήτων.

Όσων αφορά τα υπόγεια ύδατα οι νιτρικές ενώσεις εμφανίζονται ως αθροιστική συσσώρευση σε τέτοιο βαθμό που μερικές φορές είναι αδύνατη η ύδρευση. Σύμφωνα με την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα έχει οριστεί στα 50 mg/ αλλά και οι μικρότερες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 25 mg/l) μπορούν να δημιουργήσουν μακροχρόνια πρόβλημα στο πόσιμο νερό.

Επίσης οι προστιθέμενες ποσότητες ανόργανου αζώτου σε ανεπτυγμένες κυρίως περιοχές ξεπερνούν τις επιτρεπτές ποσότητες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διατηρούνται ρύποι στο έδαφος και κατά συνέπεια η περίσσεια ποσότητα να διεισδύει στους υπόγειους υδροφορείς (Patni, Masse, & Jui, 1998). Σύμφωνα με τους Follett & Hatfield παρατηρείται μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών στους υπόγειους υδροφορείς σε εδάφη που είναι αμμώδη παρά σε εδάφη που περιέχουν άργιλο (Follett & Hatfield, 2001).

Μεγάλο ρόλο παίζει και το υπέδαφος όπως και το είδος της καλλιέργειας στη νιτρορύπανση. Έτσι καλλιέργειες που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων αζώτου οδηγούν στην επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα με νιτρικά άλατα (Rao & Puttanna, 2000)

Η εποχή όπου εφαρμόζονται οι λυπάνσεις παίζει σημαντικό ρόλο στο ποσοστό έκπλυσης των νιτρικών. Έτσι κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων η εφαρμογή λιπασμάτων αζώτου έχουν σαν αποτέλεσμα να αυξάνουν τα ποσοστά έκπλυσης των νιτρικών αλάτων πριν καν αυτά απορροφηθούν από τα φυτά. Επίσης σύμφωνα με τους Follett & Hatfield, 2001 σημαντικό ρόλο έχει και ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται το λίπασμα. Η εφαρμογή του μέσω υδrolίπανσης έχει ως αποτέλεσμα να δεσμεύεται από τα φυτά ένα μεγάλο μέρος του λιπάσματος (80%) ενώ αν η διανομή λιπάσματος γίνεται περιστροφικά, δεσμεύεται η μισή ποσότητα (50%).

Επίσης άλλη αιτία της ύπαρξης νιτρικών εκτός από τα λιπάσματα είναι τα οργανικά υπολείμματα τα οποία παραμένουν στο έδαφος μόλις τελειώσει η συγκομιδή και οι βροχοπτώσεις είναι αυτές που συμβάλλουν στην διείσδυση νιτρικών στο έδαφος.

Άλλη αιτία ρύπανσης με νιτρικά σχετίζεται με τα απόβλητα των ζώων. Η διείσδυση αυτής της μορφής των ρύπων εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους, την βροχόπτωση, τη στράγγιση και την απόθεση.



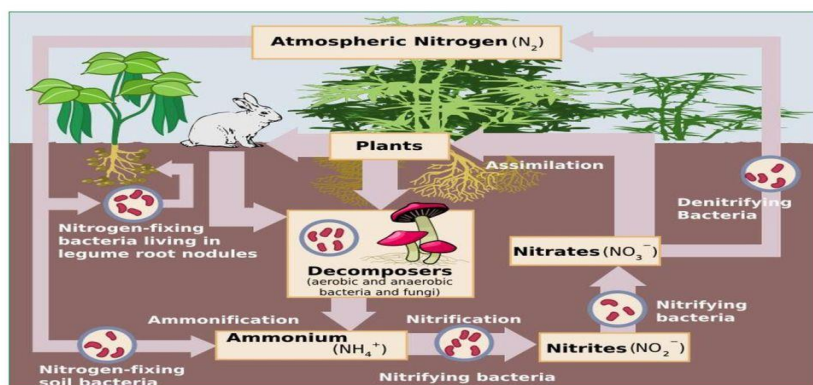
Επίσης σημαντική είναι και η ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία συμβάλλει σημαντικά στην επιβάρυνση του εδάφους και των υπόγειων υδροφορέων μέσω των υγρών αποβλήτων τα οποία διοχετεύονται σε καταβόθρες χωρίς την κατάλληλη εκκένωσή τους.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επιβάρυνση του δέλτα των ποταμών και των θαλάσσιων οικοσυστημάτων λόγω της αυξανόμενης συγκέντρωσης νατρίου τόσο στην επιφάνεια όσο και στα υπόγεια ύδατα.

## 1.2 Η επίδραση της νίτρο-ρύπανσης στο περιβάλλον

Παρά τη σπουδαιότητα του αζώτου στην ομαλή λειτουργία ενός οργανισμού καθώς και στην επιβίωσή του, η μεγάλη συγκέντρωση αυτού οδηγεί σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

## Κύκλος Αζώτου



Το μέρος εκείνο του αζώτου που δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά απορρέεται είτε μέσω του νερού είτε εισχωρεί σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους και καταλήγει στα υπόγεια ύδατα. Τόσο η κατείσδυση όσο και η απορροή των νιτρικών μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η θερμοκρασία, η υγρασία κλπ. (Μυλωνή, 2004). Επίσης η έκπλυση νιτρικών ιόντων στον υδροφόρο ορίζοντα μπορεί να προέλθει όταν υπάρχει πλεόνασμα της ποσότητας των αζωτούχων λιπασμάτων, όταν τα λιπάσματα αυτά δεν εφαρμόζονται στον κατάλληλο χρόνο για να καλυφθούν οι ανάγκες της καλλιέργειας, όταν υπάρχουν έντονες βροχοπτώσεις ή άρδευση.

## 1.3 Σκοπός παρούσας μελέτης

Με την παρούσα μελέτη θα γίνει προσπάθεια διερεύνησης κατά πόσο το πρόβλημα που προϋπήρχε σχετικά με την ρύπανση των υπόγειων υδάτων από νιτρικά, υφίσταται και σε ποιο βαθμό. Η ανάπτυξη των μεγάλων αστικών κέντρων και κατά συνέπεια η εξέλιξη του δευτερογενούς και τριτογενούς τομέα συνέβαλαν σημαντικά στη συρρίκνωση του γεωργικού τομέα και παράλληλα οδήγησαν σε μεγαλύτερη απαίτηση για γεωργικά προϊόντα το οποίο με τη σειρά του οδήγησε στην δημιουργία νέων μεθόδων και τεχνικών προκειμένου να ενισχυθεί η γονιμότητα του εδάφους. Τέτοιου είδους μέθοδοι οδήγησαν στη χρήση χημικών λιπασμάτων τα οποία κάθε άλλο παρά αύξησαν την ευφορία της γης και έτσι δημιουργήθηκε ένας φαύλος κύκλος που κατέληξε στην ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος.

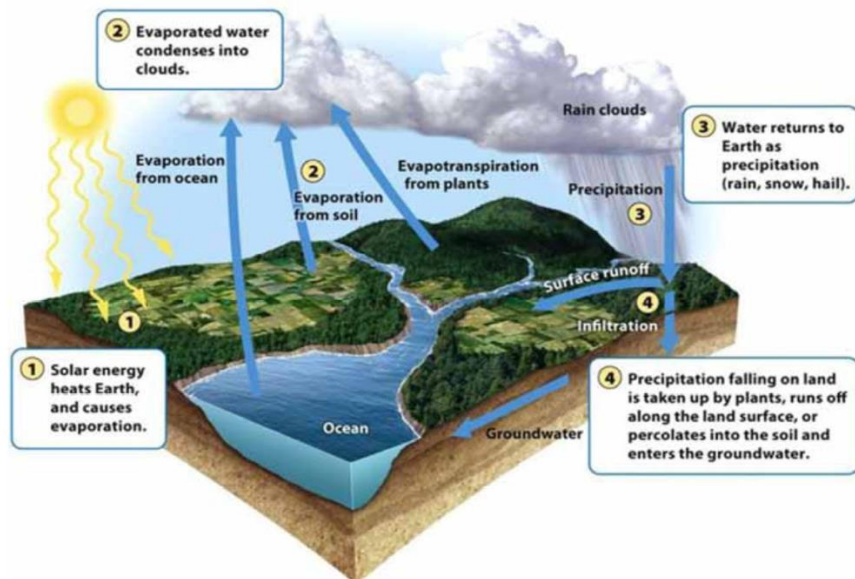
Με την παρούσα μελέτη επιδιώκεται μια συμπληρωματική μελέτη στις ήδη υπάρχουσες σχετικά με την νιτρορύπανση στο νομό Κορινθίας.

## 1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση υδάτινων πόρων

Το νερό αποτελεί ένα από τα βασικότερα συστατικά για την ανθρώπινη ζωή και απαντάται παντού στη φύση από τους ωκεανούς, του πάγους στους πόλους μέχρι και στο υπέδαφος. Είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος πόρος, μπορεί τα αποθέματα του να ανανεώνονται μέσα από τον υδρολογικό κύκλο ωστόσο υπάρχει άνιση κατανομή χώρου και χρόνου. Το νερό είναι αναγκαίο και απαραίτητο σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας, από την ανάγκη για επιβίωση μέχρι και την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών διαβίωσης, την βιομηχανία και την γεωργία. Από τις αρχές του 2000 έγιναν προσπάθειες για τόσο σε εθνικό όσο και σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για συνετή διαχείριση των υδάτινων πόρων, μέσω της οδηγίας πλαίσιο για τα νερά (2000/60/EK) και επιμέρους θυγατρικών οδηγιών. Ως στόχος είχε τεθεί η επίτευξη νερών καλής ποιότητας έως το 2015 τόσο για τις ανθρώπινες απαιτήσεις όσο και για αυτές των λοιπών οικοσυστημάτων ([www.ypen.gov.gr](http://www.ypen.gov.gr)).

Ο τρόπος με το οποίο γίνεται η ανανέωση των υδάτων ονομάζεται υδρολογικός κύκλος. Πρόκειται για ένα σύνολο διεργασιών (θερμοδυναμικές, την βροχόπτωση) που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα και αφορά την διαρκή ροή του νερού που συνοδεύεται από την αλλαγή της φυσικής κατάστασης του νερού, περνώντας και από τις τρεις γνωστές του φάσεις (Seinfeld & Pandis, 2016). Οι βασικές διεργασίες στον υδρολογικό κύκλο είναι οι εξής:

- Η εξάτμιση, η οποία προκαλείται λόγω της θέρμανσης από την ηλιακή ακτινοβολία στα νερά των ωκεανών και στα επιφανειακά νερά (λίμνες και ποτάμια).
- Η συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα οδηγεί στην επιστροφή νερού στη γη μέσω κατακρημνίσεων (π.χ. βροχόπτωση, χιονοπτώσεις).
- Η επιστροφή ροής νερού μέσω επιφανειακών (επιφανειακή απορροή) και υπόγειων νερών (εκφόρτιση) από το έδαφος στους ωκεανούς.
- Και τέλος, η εξατμισοδιαπνοή, όπου νερό εξατμίζεται από τα φύλλα των φυτών στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1: Απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου (πηγή: Seinfeld & Pandis, 2016).

Μία σύντομη περιγραφή του παραπάνω βιογεωχημικού κύκλου της εικόνας είναι η εξής: το νερό στην επιφάνεια με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας εξατμίζεται, σχηματίζονται υδρατμοί οι οποίοι με την σειρά τους δημιουργούν τα σύννεφα. Ανάλογα με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασίας πίεση κτλ) δημιουργούνται διαφορετικοί τύποι κατακρημνίσεων (χιόνι, βροχή, χαλάζι κτλ). Ορισμένες από αυτές μετακινούνται από τις περιοχές μεγάλου σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου και στη συνέχεια σε επιφανειακά υδάτινα σώματα (επιφανειακή απορροή). Ενώ άλλες εισχωρούν στο έδαφος και αποθηκεύονται ως υπόγεια ύδατα διαδικασία γνωστή ως εκφόρτιση ([www.groundwater.org](http://www.groundwater.org)).

#### 1.4.1 Υπόγεια Ύδατα.

Για την καλύτερη κατανόηση του βασικού μέρους της παρούσας εργασίας θεωρείτε σκόπιμη η αναφορά ορισμένων ορισμών σχετικά με τα υπόγεια ύδατα. Ο ορισμός έχει αποδοθεί από τον νόμο 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση υδάτων – εναρμόνιση με την οδηγία 200/60/Εκ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000», δημοσιευμένος στο ΦΕΚ Α'280/9/12/2003. Σύμφωνα λοιπόν με αυτόν ως «*υπόγεια ύδατα*» ορίζεται η συνολική ποσότητα νερού κάτω από την επιφάνεια της ζώνης κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος και το υπέδαφος.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τα υπόγεια ύδατα αποτελούν την μεγαλύτερη δεξαμενή γλυκού νερού στον κόσμο, αποτελώντας το 97% των διαθέσιμων γλυκών νερών στη γη – χωρίς να υπολογίζονται οι πολικοί πάγοι. Ενώ, το υπόλοιπο 3% αποτελείται από τα επιφανειακά ύδατα (λίμνες, ποτάμια). Βοηθούν στην κάλυψη των αναγκών για ύδρευση, το 75% των κατοίκων εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης εξαρτώνται από αυτά για την

κάλυψη της ανθρώπινης ανάγκης για κατανάλωση, επιπλέον εξυπηρετούν στην βιομηχανία και στην γεωργία. Αποτελούν βασικό κομμάτι του υδρολογικού κύκλου και ρυθμιστικό παράγοντα για την διατήρηση των επιφανειακών υδάτων, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας εξασφαλίζοντας μόνιμη ροή. Στην Ευρώπη το 50% της ετήσιας ροής προέρχεται από τα υπόγεια ύδατα. Κατά τους θερινούς μήνες το νερό λιγοστεύει και το 90% της ροής σε μερικούς ποταμούς μπορεί να είναι υπόγειας διέλευσης (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν την πιο σημαντική πηγή των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. Μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Ινδία αναφέρει πως κάθε χρόνο 230 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα υπόγειων υδάτων αντλούνται για την άρδευση των γεωργικών περιοχών. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην καλή ποιότητα των υδάτων και στην ευκολία εξόρυξης. Στην ίδια μελέτη επισημαίνεται επίσης ότι τα υπόγεια ύδατα συνεισφέρουν σε ποσοστό 60% στις ανάγκες άρδευσης των γεωργικών περιοχών και κατά 85% στην κάλυψη των αναγκών για πόσιμο νερό (Rautaray et al., 2022).

Τα υπόγεια ύδατα ρέουν αργά στο έδαφος και οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας μπορεί να είναι μακροπρόθεσμες. Έτσι, αν μια μορφής ρύπανση πρωτοεμφανίστηκε πριν από κάποια χρόνια, ανεξάρτητα αν είναι γεωργικής, βιομηχανικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης μπορεί να παραμένει επικίνδυνη για την ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Για παράδειγμα σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε λιμενικές ή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις η απομάκρυνση των ρύπων καθίσταται δύσκολη και σε ορισμένες περιπτώσεις αδύνατη ακόμα και με την χρήση σύγχρονων μορφών τεχνολογίας. Η εμπειρία των τελευταίων δεκαετιών μαρτυρά ότι δεν είναι δυνατή η ολική αφαίρεση των ρυπογόνων πηγών, αλλά ακόμα κι αν υλοποιηθεί η μερική απομάκρυνση τους μπορούν να απελευθερών ρύπους εντός των υπόγειων υδάτων για μεγάλη χρονική περίοδο. Επιπλέον, τα υπόγεια ύδατα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και ως «κρυφοί» πόροι μεγαλύτερης ποσότητας των επιφανειακών και συνεπώς η πρόληψη της ρύπανσης τους αλλά και η παρακολούθηση και αποκατάστασή τους καθίσταται δυσκολότερη. Μελέτες δείχνουν ότι η ρύπανση των υδάτων από οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές αυξάνεται, είτε άμεσα (με την απόρριψη λυμάτων) είτε έμμεσα (λόγω αποστράγγισης από χωματερές). Επιπλέον, ενώ μέχρι πρόσφατα το μεγαλύτερο ποσοστό ρύπανσης των υπόγειων υδάτων ήταν αποτέλεσμα της ύπαρξης σημειακών πηγών, πλέον παρατηρείται η ανάπτυξη διάχυτων πηγών που επηρεάζουν όλο και περισσότερα τα υπόγεια ύδατα. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να αποτελούν οι μεγάλες συγκεντρώσεις από νιτρικά ιόντα, ξεπερνώντας τα όρια των αποδεκτών τιμών, σε ποσοστό που αγγίζει το ένα τρίτο των υπόγειων υδάτων της Ευρώπης (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Τέλος, η ρύπανση των υπόγειων υδάτων μπορεί να συνδυαστεί έντονα με την υποβάθμιση της ποιότητας υδάτινων και χερσαίων οικοσυστημάτων, ιδιαίτερα όταν οι ρύποι που βρίσκονται σε αυτά είναι δύσκολο να μετριάσουν την δράση τους. Δεδομένου ότι τα περισσότερα επιφανειακά υδάτινα συστήματα τροφοδοτούνται από τα υπόγεια γίνεται αντιληπτό πως η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων επηρεάζεται και συνδέεται έντονα με την αυτή των υπόγειων υδάτων. Ακόμη, μετά την παρατήρηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων μιας πιθανής μόλυνσης γίνεται σαφές ότι είναι προτιμότερη, από κάθε άποψη, η λήψη μέτρων για την πρόληψη και τον περιορισμό του κινδύνου μιας πιθανής ρύπανσης παρά η υιοθέτηση στρατηγικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της.

#### 1.4.2 Η χημεία των υπόγειων υδάτων.

Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων είναι δυνατόν να επηρεαστεί τόσο από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όσο και από φυσικούς παράγοντες. Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα των υπόγειων υδάτων είναι το πάχος του υδροφόρου στρώματος, η δομή, η περιεκτικότητα του σε μέταλλα, η ύπαρξη ή μη άμεσων πηγών ρύπων ή επιφάνεια του εδάφους καθώς και η παρουσία ή απουσία περιοριστικού στρώματος. Φαινόμενα ρύπανσης είναι περισσότερο σύνηθες να παρατηρηθούν σε μη περιορισμένα υδροφόρα στρώματα λόγω της γειτνίασης με πηγές ρύπων. Ο όρος «υδροφόρα στρώματα» αφορά έναν γεωλογικό σχηματισμό, ο οποίος στους πόρους και στα κενά του περιέχει μεγάλη ποσότητα νερού που μπορεί να μετακινηθεί εύκολα και να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για την κάλυψη των διάφορων αναγκών του. Ο χρόνος παραμονής του νερού εντός του υδροφόρου στρώματος είναι κάτι που επηρεάζει επίσης την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα να διαλυθούν ορυκτά. Ουσίες όπως το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, το χλωρίδιο και το θειικό άλας μπορούν επίσης να διαλυθούν στο νερό. Επιπλέον, ανάλογα με την σύσταση του υπεδάφους και τους χρόνους παραμονής μπορούν να εντοπιστούν και υψηλά επίπεδα αρσενικού, φθορίου, σιδήρου ακόμα και ραδιονουκλεϊδίων (Brands et al., 2016).

#### 1.4.3 Υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων.

Η ανθρώπινη δραστηριότητα επιδρά τόσο στην ποσότητα όσο και στη ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Οι δραστηριότητες που επηρεάζουν την ποιότητα των υδάτων σχετίζονται με την αστική ανάπτυξη (αστικοποίηση) τον τρόπο διαχείρισης και διάθεσης των αποβλήτων, οι εξορύξεις καθώς και πολλές γεωργικές δραστηριότητες συμπεριλαμβανομένης και της άρδευσης (Mirza Mohib et al., 2021).

Μελέτες έχουν καταφέρει να εντοπίσουν τις πιο κοινές χημικές ουσίες οι οποίες ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Σύμφωνα, με την βιβλιογραφία οι πιο συνηθισμένοι ρύποι των υπόγειων υδάτων είναι:

1. Τα βαρέα μέταλλα, παραδείγματα αυτών αποτελούν ο υδράργυρος, το παλλάδιο, το κάδμιο κ.ά.
2. Ανόργανες χημικές ενώσεις, όπως νιτρικά και φωσφορικά ιόντα (λ.χ.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ).
3. Τοξικές χημικές ενώσεις και στοιχεία, όπως αρσενικό ή σελήνιο κτλ.
4. Ραδιενεργές ουσίες.
5. Βακτήρια και ιοί.
6. Διάφορες οργανικές χημικές ενώσεις, όπως οι φαινόλες, τα απορρυπαντικά τα παρασιτοκτόνα, τα χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κτλ.

Η ρύπανση των υπόγειων υδάτων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας και της επέκτασης των πόλεων. Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων μπορεί να προκληθεί είτε από σημειακές πηγές ρύπων (βιομηχανίες, βιοτεχνίες, στα Χ.Υ.Τ.Α., στις κτηνοτροφικές

μονάδες κ.α.) είτε σε μη σημειακές πηγές στις οποίες ανήκουν οι αγροτικές δραστηριότητες, όπου κύρια πηγή παραγωγής και διοχέτευσης ρύπων στο υπέδαφος και στη συνέχεια στα υπόγεια ύδατα αποτελεί η χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων καθώς και η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων (Αντωνόπουλος Β., 2001).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Τσεχία θέλοντας να αξιολογηθεί πως τα Χ.Υ.Τ.Α. επηρεάζουν τα υπόγεια ύδατα, παρατηρήθηκε πως η ποιότητα των υπόγειων υδάτων δεν επηρεαζόταν αρνητικά από τα Χ.Υ.Τ.Α., αλλά κατά κύριο λόγο από την γεωργική χρήση των γειτονικών περιοχών (Podlasek et al., 2021). Συνεπώς, είναι εμφανής η μεγάλη επιρροή των γεωργικών περιοχών όπου γίνονται χρήσεις λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων αλλά και απόθεση ζωικών αποβλήτων.

#### 1.4.4 Υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στις αγροτικές περιοχές.

Θέμα που αναπτύσσεται και εξετάζεται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η ρύπανση των υπόγειων υδάτων, ως αποτέλεσμα των νιτρικών που εντοπίζονται στον υδροφόρο ορίζοντα στην βορειοανατολική περιοχή του νομού Κορινθίας. Βασική πηγή διοχέτευσης αυτών είναι τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται κατά κόρων στις αγροτικές περιοχές, όπως και η περιοχή μελέτης.

#### *Η σύσταση των λιπασμάτων*

Τα λιπάσματα αποτελούν ένα συνδυασμό από οργανικά και ανόργανα συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα, σε ορισμένες περιπτώσεις, για την σωστή ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών. Στο μίγμα των συστατικών που τα αποτελεί αυτά τα οποία κατέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ουσίες όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Σε μικρότερες συγκεντρώσεις στη χημική σύσταση των λιπασμάτων απαντώνται ουσίες όπως το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το ασβέστιο (Ca), το θείο (S) ενώ εντοπίζονται και κάποια ακόμα μικροθρεπτικά συστατικά (Αντωνόπουλος Β., 2001).

#### *Το πρόβλημα της νιτρορύπανσης.*

Σύμφωνα με άρθρο του ΥΠΕΝ «Ως νιτρορύπανση ορίζεται η άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων, με σημαντικότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη υγεία και την υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων»

Οι κυριότερες πηγές πρόκλησης νιτρορύπανσης προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, με τις αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες να αποτελούν τις κυριότερες αιτίες. Περιοχές οι οποίες εμφανίζουν αυξημένη γεωργική δραστηριότητα, έχουν και μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών ενώσεων, όπου γίνεται εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Επίσης, σε περιοχές όπου παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση ζωικών αποβλήτων παρουσιάζεται το ίδιο πρόβλημα.

Στα ύδατα της επιφάνειας, ιδιαίτερα σε λίμνες και κλειστούς κόλπους, η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε άφθονη ανάπτυξη υδρόβιας βλάστησης και φυτικών μικροοργανισμών (φυτοπλαγκτόν) στο νερό. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ευτροφισμός. Οι συνέπειες του ευτροφισμού περιλαμβάνουν τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα του νερού, την παραγωγή τοξινών στο νερό που σκοτώνουν τα ψάρια και την παραγωγή ενώσεων που προκαλούν δυσάρεστες οσμές στο νερό και συχνά επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία.

Στα υπόγεια ύδατα, που είναι και το αντικείμενο υπό μελέτη, η νιτρορύπανση εντοπίζεται κατά κύριο λόγο μέσω της αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών αλάτων. Ο κύριος λόγος δημιουργίας αυτού είναι η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρων στη γεωργία, τα κτηνοτροφικά απόβλητα και διάφορα άλλα οργανικά απόβλητα. Σε ορισμένες των περιπτώσεων μπορούν να φτάσουν σε επίπεδα τα οποία είναι απαγορευτικά για την χρήση του νερού για σκοπούς άρδευσης. Για την Ελληνική αλλά και την Διεθνή νομοθεσία τα όρια αυτά έχουν προβλεφθεί τα όρια αυτά των συγκεντρώσεων. Έτσι, ως οριακή τιμή παρουσιάζεται η συγκέντρωση των 50 mg/l, όμως ακόμα και συγκεντρώσεις της τάξεως των 25 mg/l μπορούν και είναι ικανές να εγείρουν ανησυχίες (<http://www.ypeka.gr>).

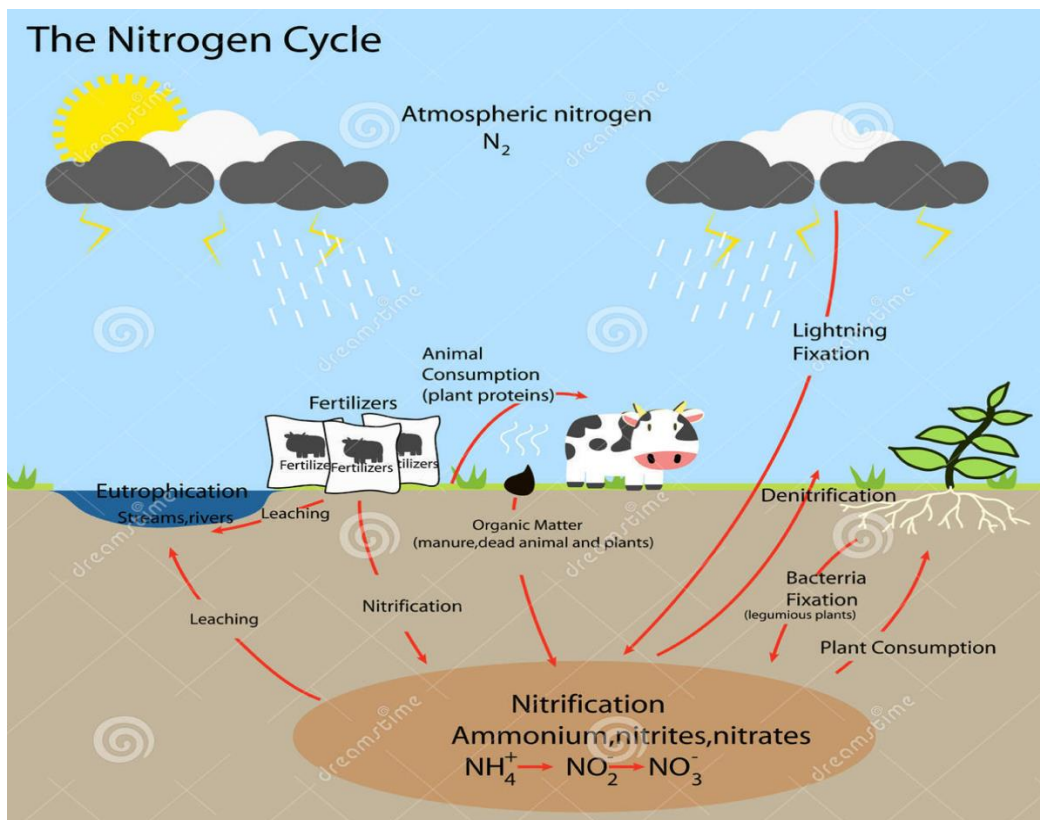
Επίσης οι προστιθέμενες ποσότητες ανόργανου αζώτου σε ανεπτυγμένες κυρίως περιοχές ξεπερνούν τις επιτρεπτές ποσότητες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διατηρούνται ρύποι στο έδαφος και κατά συνέπεια η περίσσεια ποσότητα να διεισδύει στους υπόγειους υδροφορείς (Patni, Masse, & Jui, 1998). Σύμφωνα με τους Follett & Hatfield παρατηρείται μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών στους υπόγειους υδροφορείς σε εδάφη που είναι αμμώδη παρά σε εδάφη που περιέχουν άργιλο (Follett & Hatfield, 2001). Μεγάλο ρόλο παίζει και το υπέδαφος όπως και το είδος της καλλιέργειας στη νιτρορύπανση. Έτσι, καλλιέργειες που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων αζώτου οδηγούν στην επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα με νιτρικά άλατα (Rao & Puttanna, 2000).

Άλλη αιτία των νιτρικών σχετίζεται με τα απόβλητα των ζώων. Η διείσδυση αυτής της

μορφής των ρύπων εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους, την βροχόπτωση, τη

στράγγιση και την απόθεση. Σημαντική είναι και η ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία συμβάλλει σημαντικά στην επιβάρυνση του εδάφους και των υπόγειων υδροφορέων μέσω των υγρών αποβλήτων τα οποία διοχετεύονται σε καταβόθρες χωρίς την κατάλληλη εκκένωσή τους. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επιβάρυνση του δέλτα των ποταμών και των θαλάσσιων οικοσυστημάτων λόγω της αυξανόμενης συγκέντρωσης νατρίου τόσο στην επιφάνεια όσο και στα υπόγεια ύδατα.





Εικόνα 2: Ο κύκλος του αζώτου.

#### 1.4.5 Το νομοθετικό πλαίσιο.

Λόγω της σημαντικότητας τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων καθώς και της εξάπλωσης του προβλήματος της υποβάθμισης τους έχει θεσπιστεί νομικό πλαίσιο που αποσκοπεί στην προστασία τους. Έχουν θεσπιστεί διάφορες επιμέρους Ευρωπαϊκές Οδηγίες που αποσκοπούν στην προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση, ως μέρος ενός πιο γενικού πλαισίου το οποίο είχε ήδη αναπτυχθεί από την δεκαετία του '90. Οι Οδηγίες που αφορούν τις αγροτικές περιοχές και αυτές που είναι εντατικά καλλιεργήσιμες είναι η Οδηγία για την Νιτρορύπανση, τα Φυτοπροστατευτικά Προϊόντα και για τα Βιοκτόνα. Σύμφωνα με την πρώτη Οδηγία επιδιώκεται μείωση και η πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων ως αποτέλεσμα των νιτρικών ιόντων από γεωργικές πηγές. Τα κράτη μέλη έχουν ως υποχρέωση να προσδιορίζουν τις ευπρόσβλητες ζώνες όλων των περιοχών, των οποίων τα ύδατα υφίστανται ή ενδέχεται να υποστούν νιτρορύπανση. Τέτοια είναι τα ύδατα τα οποία περιέχουν ή δύναται να περιέχουν περισσότερα από 50mg/l νιτρικών ιόντων. Η οδηγία αυτή αποτελεί ένα από τα βασικά μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία των υπόγειων υδάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Οι άλλες δύο οδηγίες αφορούν στην έγκριση, στη διάθεση στην αγορά, στην χρήση και στον έλεγχο, στις χώρες που ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση, των εμπορικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων και βιοκτόνων

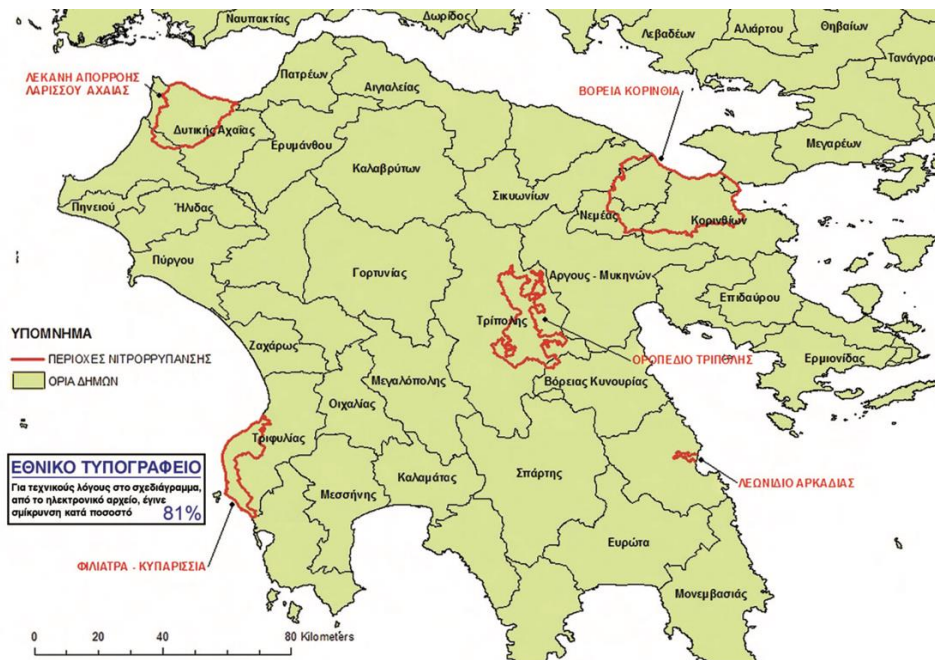


προϊόντων, σε αυτά κατατάσσονται τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα ή μυκητοκτόνα. Σε τέτοιου είδους προϊόντα έγκριση προς διάθεση στην αγορά δίνεται μόνο όταν δεν περιέχουν καμία επιβλαβή ουσία για την ανθρώπινη υγεία ή για τα υπόγεια ύδατα και δεν προκαλούν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η Ελληνική Νομοθεσία δεν θα μπορούσε να μην συμμορφωθεί και την Οδηγία 91/676/ΕΟΚ για την προστασία των υδάτων από την νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, βρίσκεται σε πλήρη εναρμόνιση με την Εθνική Νομοθεσία, βάσει της ΚΥΑ 1629/1335/1997 (ΦΕΚ Β' 519/25-6-1997). Η οδηγία αυτή, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, έχει ως στόχο την προστασία των υδάτων από την ρύπανση η οποία προκαλείται είτε με άμεσο είτε με έμμεσο τρόπο από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης. Αποτελεί υποχρέωση των κρατών μελών η λήψη μέτρων μεταξύ των οποίων είναι ο περιορισμός των υδάτων των οποίων η ποιότητα έχει υποβαθμιστεί ή ελλοχεύει ο κίνδυνος ρύπανσης τους χαρακτηρισμός ευπρόσβλητων περιοχών, θέσπιση κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής, θέσπιση προγραμμάτων για την πρόληψη και μείωση της νιτρορύπανσης. Απαιτείται επανεξέταση του χαρακτηρισμού των ευπρόσβλητων ζωνών τουλάχιστον ανά τέσσερα χρόνια (<https://ypen.gov.gr>).

#### *Ευπρόσβλητες ζώνες (ZEN).*

Μετά την ενσωμάτωση της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ (ΚΥΑ 1629/1335/1997) και με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθορίστηκαν για την Ελλάδα οι ζώνες που θεωρούνται ευπρόσβλητες από την νιτρορύπανση που προέρχεται από τις γεωργικές εργασίες. Οι περιοχές που ανήκουν στις ευπρόσβλητες ζώνες έχουν οριστεί με την έκδοση ΦΕΚ, και περιλαμβάνεται και η Βόρεια Κορινθία βάσει του ΦΕΚ 983/Β/23.04.2013. Οι καταστάσεις με τις περιοχές αυτές πρέπει να αναθεωρούνται κάθε τετραετία (<https://ypen.gov.gr>).



Εικόνα 3: χάρτης απεικόνισης της Βόρειας Κορινθίας ως ΖΕΝ (πηγή: ΦΕΚ 983/Β/23.04.2013).

### Προγράμματα δράσης.

Για τις 30 ευπρόσβλητες ζώνες έχουν θεσμοθετηθεί προγράμματα δράσης, βάσει της ΚΥΑ Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΓρΕΓΥ/38552/265/25.04.2019, με τίτλο «Προγράμματα Δράσης περιοχών που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες ζώνες από την νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης». Η εφαρμογή των προγραμμάτων δράσης σε συνδυασμό με τον έλεγχο των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, στο σύνολο της χώρας, με την βοήθεια του εθνικού προγράμματος παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων, δίνει την δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς να παρακολουθούν ανά πάσα στιγμή την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων δράσης (<https://ypen.gov.gr>).

### Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής.

Σύμφωνα με το άρθρο 4 της προαναφερθείσας Οδηγίας, έχει θεσπιστεί ο Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης. Ο κώδικας έχει θεσπιστεί και τροποποιηθεί μέσω υπουργικών αποφάσεων το 2015. Ο σκοπός του είναι να βοηθήσει τους γεωργούς να

υιοθετήσουν και να εφαρμόσουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους διαχείρισης των λιπασμάτων, ειδικότερα των αζωτούχων. Αποσκοπεί, λοιπόν στην:

- Αποτροπή της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, που δημιουργείται από την συσσώρευση νιτρικών λόγω της βαθιάς διήθησης ή της επιφανειακής απορροής.
- Παροχή σωστών οδηγιών για την ορθή διαχείριση των υδάτων, σε αυτά περιλαμβάνεται η ανάπτυξη συστημάτων άρδευσης, η εξοικονόμηση των υδάτων που σπαταλούνται κ.α.
- Διάθεση και διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας (<https://ypen.gov.gr>.)

#### 1.4.6 Πιθανές λύσεις.

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων αποτελεί αντικείμενο μελέτης και προβληματισμού σε διεθνές επίπεδο, λόγω της σημαντικότητας τους σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας. Έτσι, εκτός από την διαπίστωση της ύπαρξης και της αιτίας δημιουργίας της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων έχουν προταθεί και διάφορες μέθοδοι για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου. Αυτά μπορούν να είναι τα εξής:

- Ως πρακτική για την πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Για την αντιμετώπιση ή τον μετριασμό του φαινομένου της ρύπανσης των υδάτων (επιφανειακών – καταλήγοντας στα υπόγεια ύδατα – και υπόγειων υδάτων) συνίσταται η περιορισμένη χρήση συνθετικών ουσιών, όπως φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Σε αντικατάσταση αυτών προτείνεται η σωστή αναλογία στη χρήση συνθετικών και φυσικών λιπασμάτων. Ως φυσικό λίπασμα θεωρείται κάθε προϊόν το οποίο προκύπτει από την διαδικασία της κομποστοποίησης, γνωστό και ως κομπόστ. Άρα, θεωρείται αναγκαία και χρήσιμη η συνεργασία μεταξύ των κτηνοτρόφων/αγροτών και όσων διαχειρίζονται τα συστήματα άρδευσης ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή μείωση της ρύπανσης τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων. Φαίνεται να υπάρχει μία τάση για τον έλεγχο των γεωργικών εργασιών και την στροφή προς τους μεθόδους της συνήθους κηπουρικής. Με τον τρόπο αυτό προλαμβάνεται η ρύπανση μεγάλης έκτασης (Mirza Mohib et al., 2021)
- Ως μέτρο αντιμετώπισης προτείνεται η χρήση συστημάτων καθαρισμού του νερού, καθώς το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών σε πόσιμο νερό καλύπτεται από τα υπόγεια ύδατα. Η εγκατάσταση του συστήματος επεξεργασίας του νερού είναι χρήσιμο να τοποθετείται στην έξοδο, εκεί που απελευθερώνεται δηλαδή για ανθρώπινη χρήση. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την χρήση χημικών ιόντων, την ηλιακή απόσταξη, τον βρασμό, την διήθηση, απολύμανση του νερού με όζον. Επιπλέον, γίνεται και καθαρισμός από ενώσεις αρσενικού χρησιμοποιώντας τακτικά φίλτρα αφαίρεσης αρσενικού (Kumar et al., 2022).

### 1.5 Συναγωγή- Συμμεταφορά

Το φαινόμενο της Συναγωγής ή Συμμεταφοράς (Advection) περιγράφει την διαδικασία μεταφοράς των ρύπων με την ροή των υπογείων υδάτων και πιο συγκεκριμένα με την μέση ταχύτητα των υπογείων υδάτων. Η ποσότητα των ρύπων που μεταφέρονται είναι συνάρτηση της συγκέντρωσής τους στα υπόγεια ύδατα καθώς και της ποσότητας του νερού της υπόγειας ροής. Η μέση ταχύτητα με την οποία κινούνται οι ουσίες κατά πλάτος τομή του πορώδους υλικού ( $v_x$ ) είναι αυτή που λαμβάνεται υπ' όψη για τον υπολογισμό της μονοδιάστατης ροής μάζας, και είναι διαφορετική και μικρότερη από την μέση ταχύτητα που κινείται το νερό κατά μήκος μία γραμμή ροής. Το παραπάνω μέγεθος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$v_x = \frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl} \quad (2.1)$$

Όπου:

$v_x$ = μέση γραμμική ταχύτητα (L/T)

$K$ = υδραυλική αγωγιμότητα (L/T)

$n_e$ = ενεργό πορώδες

$dh/dl$ = υδραυλική κλίση (L/L)

Η μονοδιάστατη ροή μάζας,  $F_x$  λόγω οριζόντιας μεταφοράς είναι ίση με την ποσότητας του ύδατος που ρέει, πολλαπλασιασμένη με την συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_x = v_x n_e C \quad (2.2)$$

Η μονοδιάστατη εξίσωση οριζόντιας μεταφοράς είναι:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v_x \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.3)$$

## 1.6 Διάχυση

Ως 'διάχυση' ή 'μοριακή διάχυση' ορίζεται το φαινόμενο εξάπλωσης ουσιών στα υπόγεια νερά λόγω της διαφοράς της συγκέντρωσης. Η κίνηση συμβαίνει από τις περιοχές που η συγκέντρωση της ουσίας είναι μεγαλύτερη σε περιοχές που η συγκέντρωση είναι μικρότερη. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα ακόμα και σε περιπτώσεις που η ταχύτητα του υγρού είναι μηδενική. Η μάζα του υγρού που διαχύνεται είναι ανάλογη της διαφοράς (κλίσης) των συγκεντρώσεων και μπορεί να εκφραστεί από τον πρώτο νόμο του Fick ως εξής:

$$F = -D_d \frac{dC}{dx} \quad (2.4)$$

Όπου:

$F$  = ροή μάζας της διαλυμένης ουσίας ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου.

$D_d$  = σταθερά της διάχυσης ( $L^2/T$ )

$C$  = συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας ( $M/L^3$ )

$dC/dx$  = μεταβολή της συγκέντρωσης ( $M/L/L^3$ )

Το αρνητικό πρόσημο στον παραπάνω τύπο υπάρχει για να δείξει την κίνηση, που όπως προαναφέρθηκε, έχει κατεύθυνση από την μεγαλύτερη συγκέντρωση στην χαμηλότερη.

Για συστήματα όπου η συγκέντρωση αλλάζει με τον χρόνο, εφαρμόζεται ο δεύτερος νόμος του Fick και είναι ως εξής:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_d \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.5)$$

Όπου:

$\partial C/\partial t$  = αλλαγή της συγκέντρωσης με τον χρόνο ( $M/L^3/T$ )

Επειδή η ταχύτητα της διάχυσης στα πορώδη υλικά είναι πιο μικρή από το νερό, λόγω των μεγαλύτερων διαδρομών που ακολουθούν τα ιόντα της ουσίας του ρύπου χρησιμοποιείται η πραγματική σταθερά διάχυσης  $D^*$ .

$$D^* = \omega D_d \quad (2.6)$$

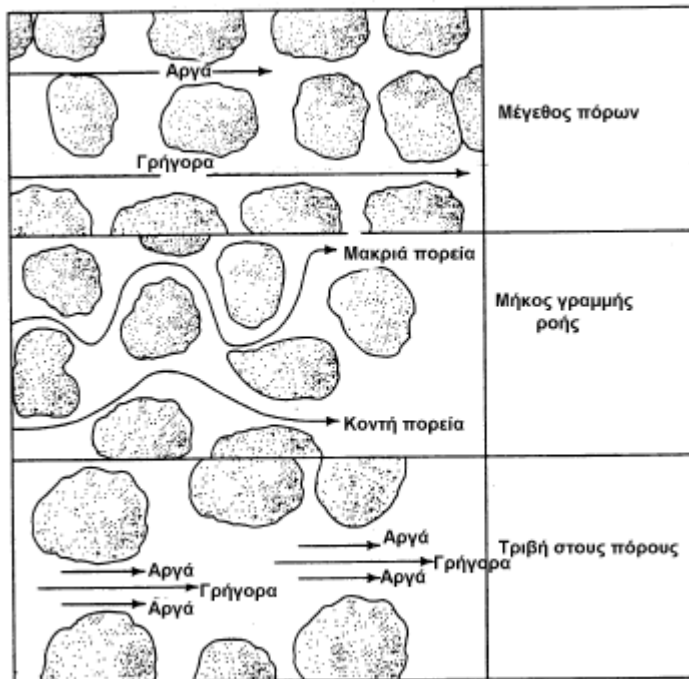
Όπου  $\omega$  είναι μία σταθερά που σχετίζεται με την στροφική ή ελικοειδή κίνηση (στρεβλότητα, tortuosity) (Bear 1972).

## 1.7 Μηχανική Διασπορά

Το φαινόμενο της μηχανικής διασποράς αποτελεί ουσιαστικά έναν μηχανισμό αραίωσης της συγκέντρωσης των ρύπων και επιτυγχάνεται μέσω της συνεχούς εξάπλωσης τους στον όγκο των υπόγειων υδάτων.

Η μηχανική διασπορά οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Στην διαφορά ταχύτητας στο κέντρο των πόρων από τα άκρα τους.
- Στην επιλογή μονοπατιών από κάποια μόρια του υγρού που έχουν μεγαλύτερο μήκος από κάποια άλλα.
- Στο μέγεθος των πόρων καθώς και στην ύπαρξη αδιεόδων.



Ο νόμος διάχυσης του Fick (2.2, 2.3) εκτός από την διάχυση, εκφράζει και το φαινόμενο της διασποράς. Με την παραδοχή ότι η ποσότητα της μηχανικής διασποράς είναι ανάλογη της μέσης γραμμικής ταχύτητας, τότε η ποσότητα της μηχανικής διασποράς μπορεί να εκφραστεί ως το γινόμενο της μέσης γραμμικής ταχύτητα πολλαπλασιασμένη με έναν συντελεστή, ο οποίος ονομάζεται συντελεστής δυναμικής διασποράς (dynamic dispersivity, ή απλά dispersivity), α και ισχύουν τα παρακάτω:

Συντελεστής επιμήκους μηχανικής διασποράς (coefficient of longitudinal mechanical dispersion) :  $\alpha_L$

Όπου:

$v_L$  = μέση γραμμική ταχύτητα στην  $L$  κατεύθυνση (L/T)

$\alpha_i$  = συντελεστής δυναμικής διασποράς (dynamic dispersivity) στην  $i$

κατεύθυνση (L)

Ένα ποσό της ουσίας εξαπλώνεται σε κατεύθυνση κάθετα προς την κατεύθυνση ροής. Αυτό συμβαίνει διότι, λόγω του πορώδους του μέσου, υπάρχουν διαδρομές οι οποίες δεν είναι παράλληλες προς την κατεύθυνση ροής. Γι' αυτό το λόγο εισάγεται ο παρακάτω συντελεστής:

Συντελεστής εγκάρσιας μηχανικής διασποράς (coefficient of transverse mechanical dispersion) =  $\alpha_j v_i$

Όπου:

$v_i$  = μέση γραμμική ταχύτητα στην  $i$  κατεύθυνση (L/T)

$\alpha_j$  = συντελεστής δυναμικής διασποράς, dynamic dispersivity, στην  $j$

κατεύθυνση (L)

### 1.8 Υδροδυναμική Διασπορά

Καθώς το φαινόμενο της μοριακής διάχυσης και της μηχανικής διασποράς, στην ροή των υπογείων υδάτων αποτελούν τις δύο αιτίες του ίδιου αποτελέσματος, και επί της ουσίας δεν διαχωρίζονται, η συνισταμένη τους ονομάζεται υδροδυναμική διασπορά και εκφράζεται από τις δύο παρακάτω εξισώσεις:

$$D_L = \alpha_L v_i + D^* \quad (2.7)$$

$$D_T = \alpha_T v_i + D^* \quad (2.8)$$

Όπου:

$D_L$  = Σταθερά Υδροδυναμικής Διασποράς παράλληλη στην κύρια κατεύθυνση ροής (διαμήκης), (longitudinal).

$D_T$  = Σταθερά Υδροδυναμικής Διασποράς κάθετα στην κύρια κατεύθυνση ροής (εγκάρσια), (transverse)

$\alpha_L$  = συντελεστής διαμήκης δυναμικής διασποράς (longitudinal dynamic dispersivity)

$\alpha_T$  = συντελεστής εγκάρσιας δυναμικής διασποράς (transverse dynamic dispersivity)

Στις περιπτώσεις που η ταχύτητα ροής ξεπερνάει κάποιο όριο η επίδραση της διάχυσης σταματάει να έχει σημαντική επίδραση στην εξάπλωση των ρύπανσης και τον κύριο ρόλο τον αποκτά η διασπορά. Για να εξεταστεί το πότε πρέπει η διάχυση να λαμβάνεται υπ' όψη, κριτήριο αποτελεί ο αριθμός Peclet:

$$Pe = \frac{v_x d}{D} \quad (2.9)$$

Όπου:

$v_x$  = η μέση γραμμική ταχύτητα

$d$  = η μέση διάμετρος των κόκκων του πορώδους υλικού

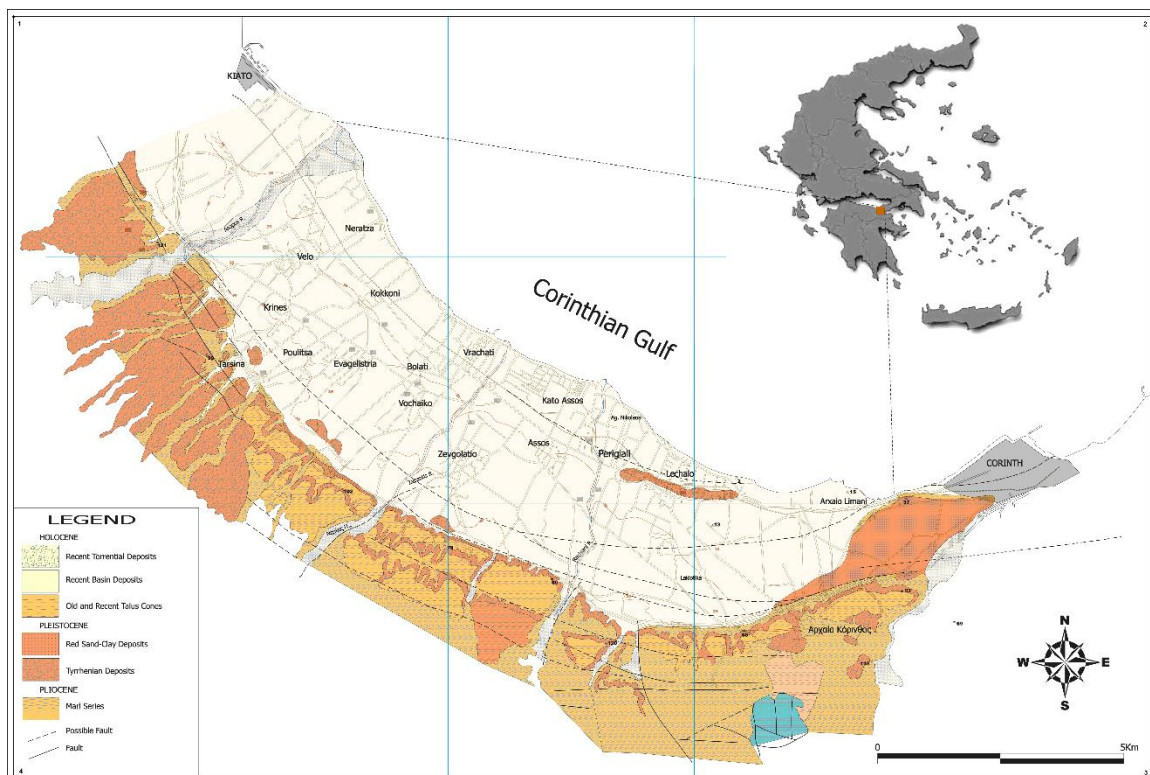
$D$  = ο συντελεστής της μοριακής διάχυσης.

Για περιπτώσεις που ο αριθμός Peclet είναι μικρότερος ή ίσος του 6 η επίδραση της διάχυσης είναι σημαντική και λαμβάνεται υπ' όψη στους υπολογισμούς εξάπλωσης του ρύπου. Στην αντίθετη περίπτωση η διασπορά παίζει τον κυρίαρχο ρόλο στην ανάμιξη του ρύπου και, άρα, μόνον αυτή λαμβάνεται υπ' όψη.

## 1.9 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται στο ΒΑ τμήμα του νομού Κορινθίας και οριοθετείτε στα βόρεια από τον Κορινθιακό κόλπο, στα ανατολικά από τον Ισθμό της Κορίνθου τον Σαρωνικό κόλπο και τον υδροκρίτη της λεκάνης του χειμάρρου Ξεριά, ενώ στα νότια και δυτικά από τους υδροκρίτες των υπόλοιπων υδρολογικών λεκανών (Ράχιανης, Ζαπάντη, Ασωπού, Ελισσώνα, Κυρίλλου, Σέλιανδρου) και συμπίπτει περίπου με τα διοικητικά όρια επτά πρώην «Καποδιστριακών» δήμων (Κορίνθου, Άσσου-Λεχαίου, Βόχας, Βέλου, Σικυωνίων, Τενέας και Νεμέας) του νομού Κορινθίας.





Εικόνα 4 Χάρτης περιοχής μελέτης

### 1.10 Χρήσεις γης

Με στόχο να εξεταστούν οι αιτίες της ρύπανσης των υπογείων υδάτων της περιοχής μελέτης είναι απαραίτητο να καταγραφούν αρχικά οι χρήσεις γης της παραπάνω περιοχής.

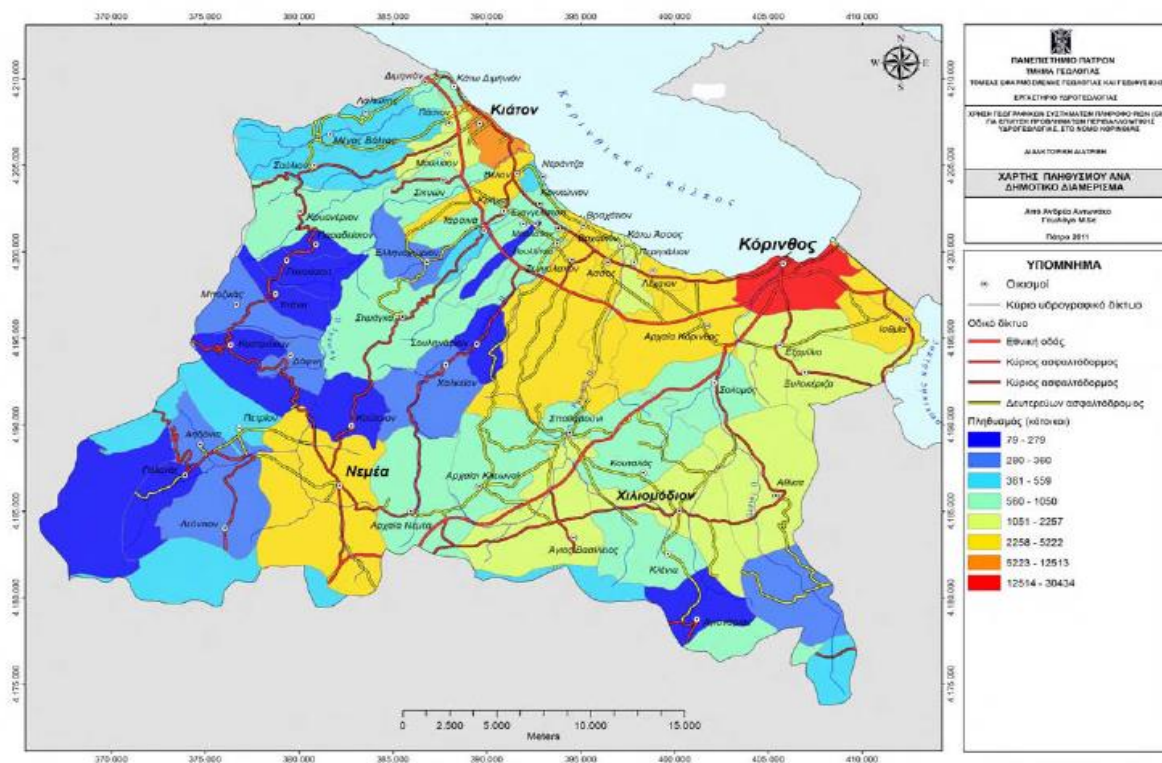
Η σύγκριση της κατανομής των παραγωγικών φορέων της περιοχής σε σχέση με τον εθνικό μέσο όρο μας δείχνει αυξημένη δραστηριότητα στον πρωτογενή τομέα (κατά 1,6% μεγαλύτερη από μέσο όρο της χώρας) και πολύ μεγαλύτερη δραστηριότητα στον δευτερογενή τομέα από αυτόν του μέσου όρου της χώρας καθώς τον ξεπερνάει κατά 26,7%. Αναλυτικά, η σύγκριση στον παρακάτω πίνακα:

	ΑΕΠ (Περιοχή έρευνας)	ΑΕΠ (Επικράτειας)	Απασχόληση
Πρωτογενής τομέας:	8,60%	7,00%	32,31%
Δευτερογενής τομέας:	48,90%	22,20%	18,85%
Τριτογενής τομέας:	42,50%	70,80%	48,84%

*Πίνακας 1. Κατανομή των παραγωγικών τομέων στην περιφερειακή Ενότητα Κορινθίας*

Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν από το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossart et al., 2000).

Στους πίνακες 1. και 2. παρουσιάζεται η κατανομή των χρήσεων γης ανά λεκάνη απορροής και ανά υδροφόρο σύστημα. Από τους πίνακες αυτούς φαίνεται ότι όλες οι λεκάνες απορροής καλύπτονται από καλλιέργειες σε ποσοστό από 50 έως 73 %. Αντίστοιχα τα κοκκώδη υδροφόρα συστήματα Βόχας, Αγίου Βασιλείου και Νεμέας καλύπτονται από καλλιέργειες σε ποσοστά 63 έως 95%.



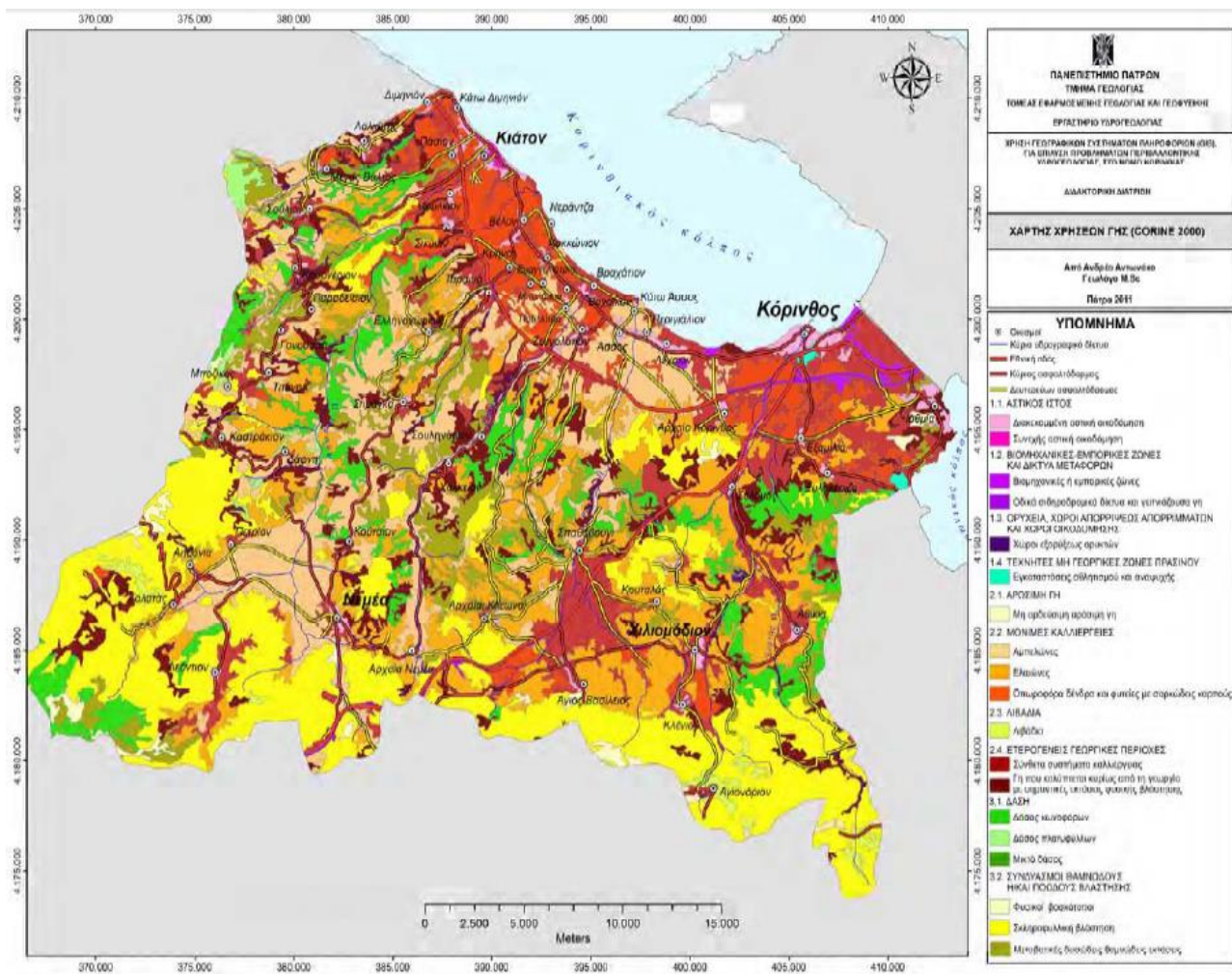
Εικόνα 5 Χάρτης κατανομής του πληθυσμού ανά Δημοτική κοινότητα



Χρήση γης (Corine land cover 2000)	Έκταση (Km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
Σκληροφυλλική βλάστηση	203,509	22,545
Ελαιώνες	147,457	16,336
Αμπελώνες	142,358	15,771
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	98,539	10,916
Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	73,721	8,167
Δάσος κανοφόρων	63,475	7,032
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	61,361	6,798
Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	61,068	6,765
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	18,630	2,064
Φυσικοί βοσκοτόποι	8,909	0,987
Λιβάδια	6,112	0,677
Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	5,505	0,610
Δάσος πλατυφύλλων	4,726	0,524
Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	2,956	0,327
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	1,458	0,162
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	1,179	0,131
Μικτό δάσος	0,687	0,076
Συνεχής αστική οικοδόμηση	0,654	0,072
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,370	0,041
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>902,672</b>	<b>100,000</b>

Πίνακας 2. Κατανομή των χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossart et al., 2000) στην περιοχή έρευνας.





Εικόνα 7 Χάρτης κατανομής των χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000

### 1.11 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), γνωστά ευρέως και ως G.I.S. Geographic Information Systems, είναι συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή τους είναι ψηφιακά συστήματα, ικανά να ενσωματώσουν, αποθηκεύσουν, προσαρμόσουν, αναλύσουν και παρουσιάσουν γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΓΣΠ είναι ένα εργαλείο, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά, ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα, να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο).

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα, όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται:

- Είτε στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, όπου τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα συσχετίζονται με τα χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.
- Είτε στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση

Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των GIS (integrated GIS concept) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα (που αποτελούν ουσιαστικά τον πυρήνα τους), το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια GIS.

Αναλυτικότερα ένα ΓΣΠ, ως σύστημα, αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

### 1. Εισαγωγή

Το τμήμα που είναι υπεύθυνο για τροφοδότηση του συστήματος με δεδομένα. Αυτά πρέπει να είναι σε ψηφιακή δομή και συνήθως προκύπτουν με ψηφιοποίηση αναλογικών δεδομένων (π.χ. τυπωμένοι χάρτες) ή με τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων με τη χρήση ψηφιακών μεθόδων αποτύπωσης χώρου (αποτύπωση με GPS, Τηλεπισκόπηση). Αυτό το στάδιο αφορά τόσο τη γεωγραφική όσο και την περιγραφική διάσταση των δεδομένων.

### 2. Επεξεργασία

Τα δεδομένα πρέπει να υποστούν εκείνη την επεξεργασία που τα καθιστά κατάλληλα για παραπέρα ανάλυση και χρήση. Αυτό μπορεί να αφορά την ορθή απόδοση του συστήματος συντεταγμένων, την δημιουργία σχέσεων μεταξύ των δεδομένων, τη διόρθωση σφαλμάτων, την μετάβαση από μια δομή σε μια άλλη.

### 3. Ανάλυση

Ο χρήστης - αναλυτής θέτει ερωτήσεις σύμφωνα με την δυνατότητα των ίδιων των δεδομένων. Οι ερωτήσεις μπορεί να είναι του τύπου : Πώς απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος; Πού βρίσκεται το Α; Που βρίσκεται το Α σε σχέση με το Β; Πόσο από το Α υπάρχει στην περιοχή Γ κ.τ.λ.

#### 4. Απόδοση

Η απόδοση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γίνεται σε αναλογικά μέσα με την οργάνωση της εκτύπωσης χαρτογραφικών προϊόντων ή με την απόδοση σε ψηφιακές πλατφόρμες είτε με τη χρήση του Διαδικτύου, μέσω διαδραστικών χαρτών (Web-based GIS), είτε μέσω εσωτερικών δικτύων οργανισμών μέσω εφαρμογών που υποστηρίζουν πολλαπλούς χρήστες με διακριτούς ρόλους (Enterprise GIS).

#### 5. Έλεγχος

Κάθε σύστημα οφείλει να έχει μηχανισμούς ανάδρασης (feedback), ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα και ακρίβεια των πληροφοριών. Αυτό μπορεί να γίνεται μέσω λογισμικού με διαδικασίες κανόνων επικύρωσης, με διαδικασίες ελέγχου ακρίβειας συντεταγμένων και γενικότερα με διαδικασίες ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων ανάλογα με τη φύση των δεδομένων.

Αναφορικά με τις δομές δεδομένων μπορούμε να αναφέρουμε ότι σε ένα ΓΣΠ τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται με δύο βασικές δομές: την διανυσματική δομή και τη ψηφιδωτή δομή. Σε όλα τα ΓΣΠ οι δύο δομές αποδίδονται ταυτόχρονα σε κοινές απεικονίσεις, ενώ πολλά λογισμικά GIS προσφέρουν την δυνατότητα μετάβασης από τη μία δομή στην άλλη. Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά των δύο δομών δεδομένων έχουν ως κάτωθι:

##### 1. Διανύσματα (Vector).

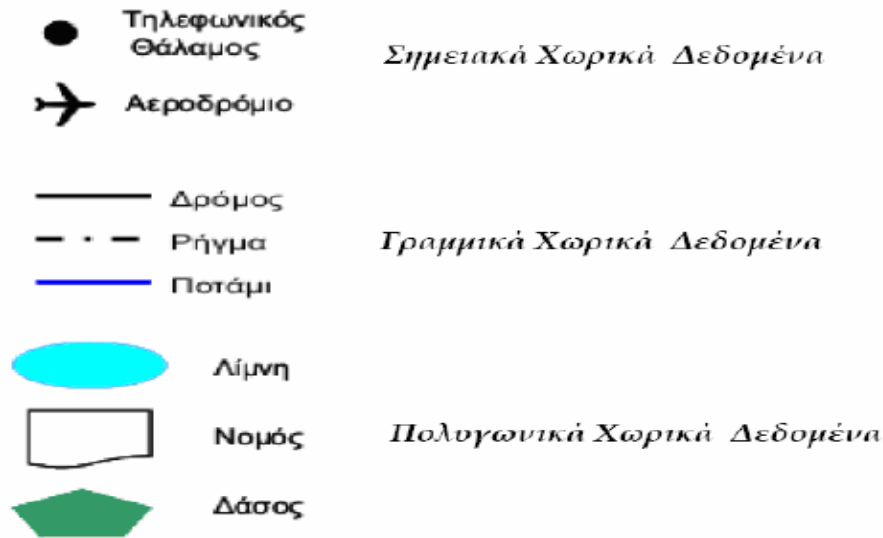
Όλα τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με τρεις βασικούς τύπους γεωμετριών: σημεία, γραμμές, πολύγωνα. Έτσι για την απόδοση της θέσης μια πόλης σε ένα χάρτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σημείο, για την αποτύπωση του οδικού δικτύου μια γραμμή αποτελούμενη από πολλές κορυφές και για την αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας ένα πολύγωνο. Στην ουσία τα πάντα αναπαρίστανται από γραμμές. Το σημείο είναι μια γραμμή μηδενικού μήκους, ενώ το πολύγωνο είναι μια ακολουθία γραμμών με αρχή και τέλος την ίδια κορυφή. Η γεωμετρία που θα υιοθετηθεί για το συμβολισμό ενός αντικειμένου εξαρτάται από την κλίμακα απεικόνισης και το σκοπό της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Έτσι π.χ. σε μια πολύ μεγάλη κλίμακα (1:1000) τα κτίσματα αποτυπώνονται ως πολύγωνα, ενώ σε μικρότερες κλίμακες (1:10.000) είναι ορθότερο να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρία του σημείου. Τέλος, κάθε γεωμετρία συνδέεται με μια σχέση 1-1 με μια εγγραφή σε ένα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.

##### 2. Ψηφιδωτά (Raster).

Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο, το οποίο αποτυπώνεται, χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους, η κατανομή του θορύβου) ή σε περιπτώσεις που στο ΓΣΠ θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Οι ψηφιδωτές δομές δεδομένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες σύνδεσης με περιγραφικά χαρακτηριστικά. Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο στην δομή των δεδομένων ενός ΓΣΠ αποτελεί η τοπολογία. Στη γεωπληροφορική ως τοπολογία εννοούμε το σύνολο των γεωμετρικών κανόνων που πρέπει να ακολουθεί η γεωγραφική πληροφορία ανάλογα με την φύση της. Έτσι για παράδειγμα, εάν η πληροφορία είναι τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών, τότε τα πολύγωνα που τα αναπαριστούν θα πρέπει να ακολουθούν μεταξύ άλλων τους κανόνες: δεν επιτρέπεται η αλληλοεπικάλυψη και επιβάλλεται η ταύτιση των ορίων. Σε άλλες περιπτώσεις και για την ίδια γεωγραφική περιοχή ο κανόνας μπορεί να ισχύει αντίθετα. Π.χ. στην περίπτωση που το χαρακτηριστικό που απεικονίζεται είναι τα οικοδομικά τετράγωνα, δεν επιτρέπεται η ταύτιση των ορίων.



### Δεδομένα με μορφή διανύσματος (shp)



(Πηγή: Καρατζάς, 2011)

### Διανυσματικό - πολυγωνικό αρχείο (shp) & μετατροπή του σε αρχείο μορφής κανάβου (raster-grid)



(Πηγή: Καρατζάς, 2011)

Τα τελευταία χρόνια, όπως προαναφέρθηκε, τα ΓΣΠ παρουσιάζουν ευρεία διάδοση, στην οποία συνέβαλε το γεγονός ότι οι εταιρείες λογισμικού κατάφεραν να αναπτύξουν εκδόσεις φιλικές προς τους χρήστες τους μέσω του γραφικού περιβάλλοντος, όπως επίσης και η δημιουργία και διάθεση αξιόπιστων ψηφιακών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτά (ψηφιακοί χάρτες), και τέλος η αυξημένη υπολογιστική ισχύς των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (desktop PCs) η οποία απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία τους.

Τα κυριότερα γεωγραφικά δεδομένα που υποστηρίζονται από το GIS και θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα παρακάτω:

- Τα σχηματικά αρχεία (shapefiles)

Τα σχηματικά αρχεία (shapefiles) είναι διανυσματικού τύπου αρχεία τα οποία γίνεται να τροποποιηθούν-επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος ArcView. Το κάθε shapefile μπορεί να περιέχει μόνο από ένα είδος δεδομένων (μόνο σημεία ή μόνο γραμμές ή μόνο πολύγωνα). Τα παραπάνω αρχεία χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή χωρικών δεδομένων με άλλα λογισμικά χωρικής διαχείρισης.

- Ψηφιδωτά αρχεία (grids)

Τα αρχεία αυτά αποτελούνται από ψηφιδωτά (raster) δεδομένα, κατάλληλα για να περιγράψουν γεωγραφικά φαινόμενα τα οποία διαφέρουν συνεχώς στον χώρο, όπως το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

- Εικόνες

Οι εικόνες (π.χ. αεροφωτογραφίες, σαρωμένες εικόνες κ.α.) μπορούν να προστεθούν στο ArcGIS και μετά από την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να αποτελέσουν ιδανικό υπόβαθρο για την παραγωγή σχηματικών αρχείων.

## 2 Μεθοδολογία

### 2.1 Γεωαναφορά

Ως Γεωαναφορά (Georeference) ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία προσδίδονται πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες επιθυμητού συστήματος αναφοράς συντεταγμένων σε μία ψηφιακή εικόνα που έχει προέλθει από σάρωση ενός αναλογικού χάρτη ή μίας αεροφωτογραφίας σε συσκευή σαρωτή (scanner). Στην παρούσα διπλωματική, το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε είναι το επίσημο σύστημα αναφοράς της χώρας το ΕΓΣΑ'87 (Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987).

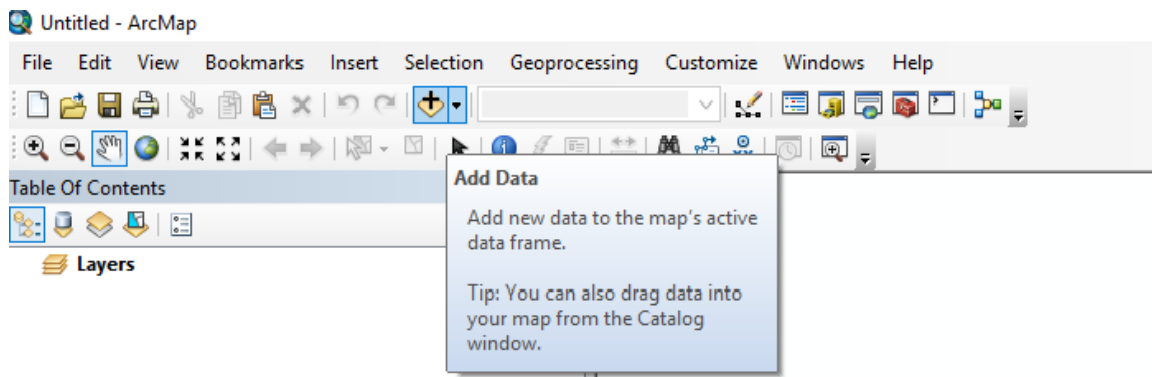
Η εικόνα που προκύπτει εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία ονομάζεται γεωαναφερόμενη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρτογραφικών πληροφοριών σε διανυσματική μορφή με την διαδικασία της ψηφιοποίησης σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ή να συνδυαστεί με ήδη υπάρχοντα ψηφιακά γεωαναφερόμενα δεδομένα για την δημιουργία χαρτοσύνθεσης ή την γεωγραφική ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων, με προϋπόθεση την ύπαρξη ενός κοινού συστήματος γεωγραφικής αναφοράς. («ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ – ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΧΑΡΤΗ», Ευάγγελου Ι. Φιλιππίδη Δρ. Δασολόγου–Περιβαλλοντολόγου)

Όσον αφορά την διαδικασία της γεωαναφοράς, σε αυτή την διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η πλέον διαδεδομένη μέθοδος η οποία προβλέπει την χρήση κοινών σημείων αναφοράς. Αυτά τα κοινά σημεία αναφοράς, είναι τα

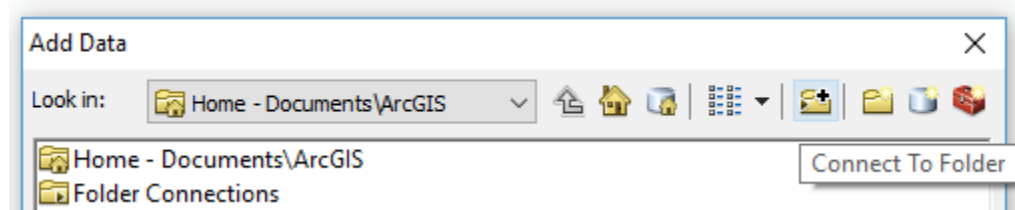
τέσσερα άκρα του χάρτη των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές, καθώς, υπάρχουν πλέον υπηρεσίες που παρέχουν τις παραπάνω πληροφορίες.

Εμείς χρησιμοποιήσαμε την διαδικασία της γεωαναφοράς ώστε να προσαρμόσουμε στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 τον χάρτη της περιοχής μελέτης μας.

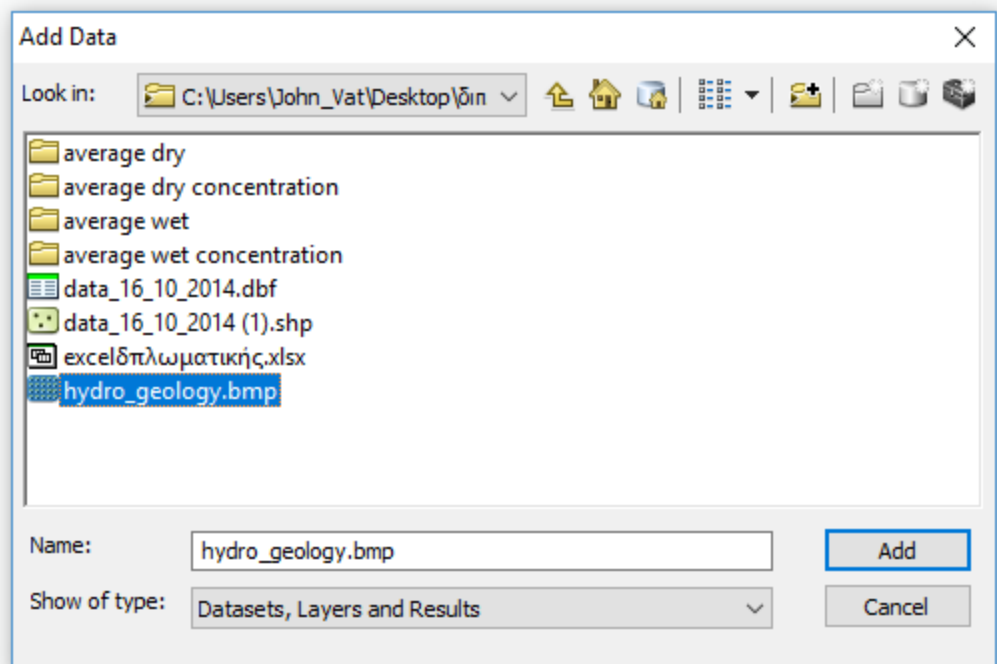
Αρχικά, η πρώτη μας ενέργεια θα είναι να φορτώσουμε τον χάρτη μας στο ArcMap. Η διαδικασία ξεκινάει επιλέγοντας το εικονίδιο 'Add Data' όπως φαίνεται παρακάτω:



Στην συνέχεια, στο παράθυρο που μας ανοίγει επιλέγουμε 'Connect to Folder' και βρίσκουμε τον φάκελο στον οποίο βρίσκεται ο χάρτης μας.

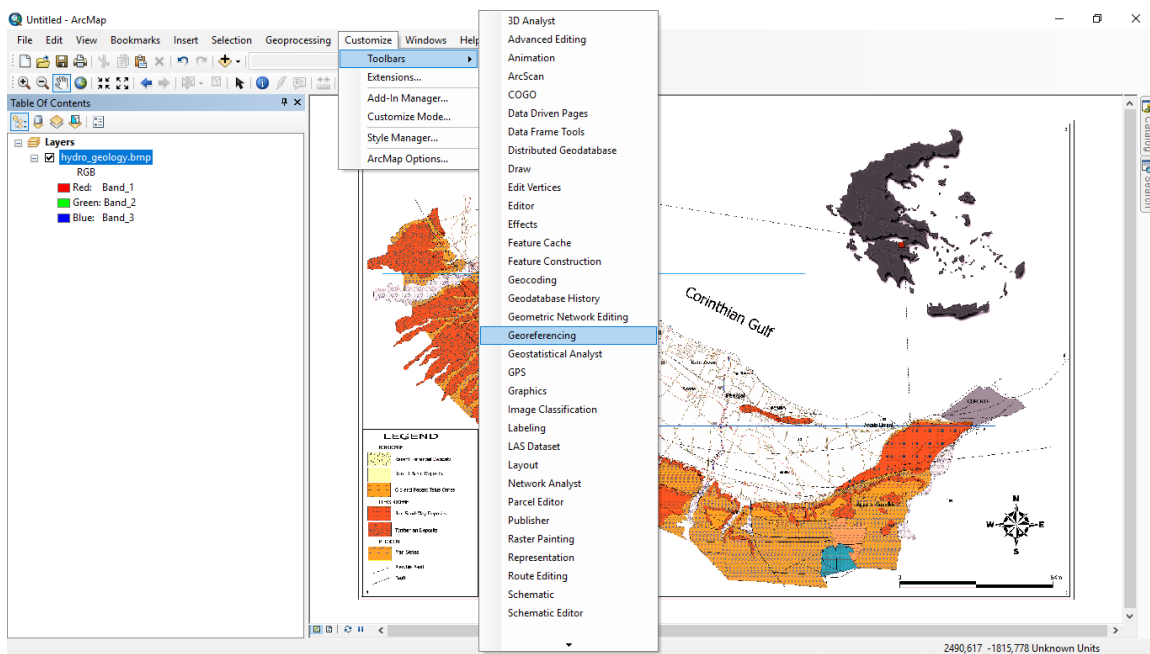


Κάνουμε δεξί κλικ στον φάκελο και πατάμε 'OK'. Τέλος επιλέγουμε τον χάρτη και πατάμε 'Add'.

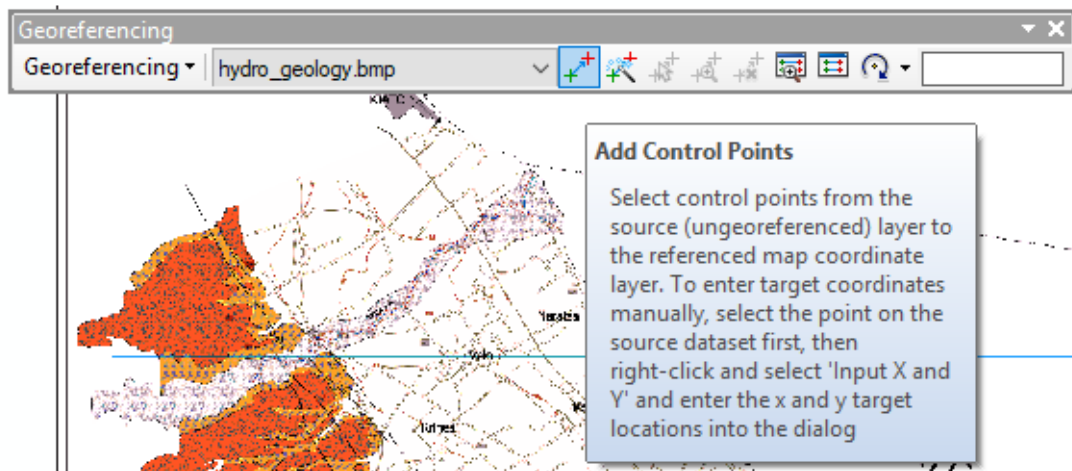


Πλέον, έχουμε φορτώσει τον χάρτη μας και μπορούμε να προχωρήσουμε στην βασική διαδικασία της γεωαναφοράς ώστε να του προσδώσουμε συντεταγμένες.

Το πρώτο βήμα είναι να ενεργοποιήσουμε το toolbar του 'Georeferencing' κάνοντας αριστερό κλικ στο 'Customize', επιλέγοντας την επιλογή 'toolbars' και κάνοντας αριστερό κλικ στο 'Georeferencing', όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

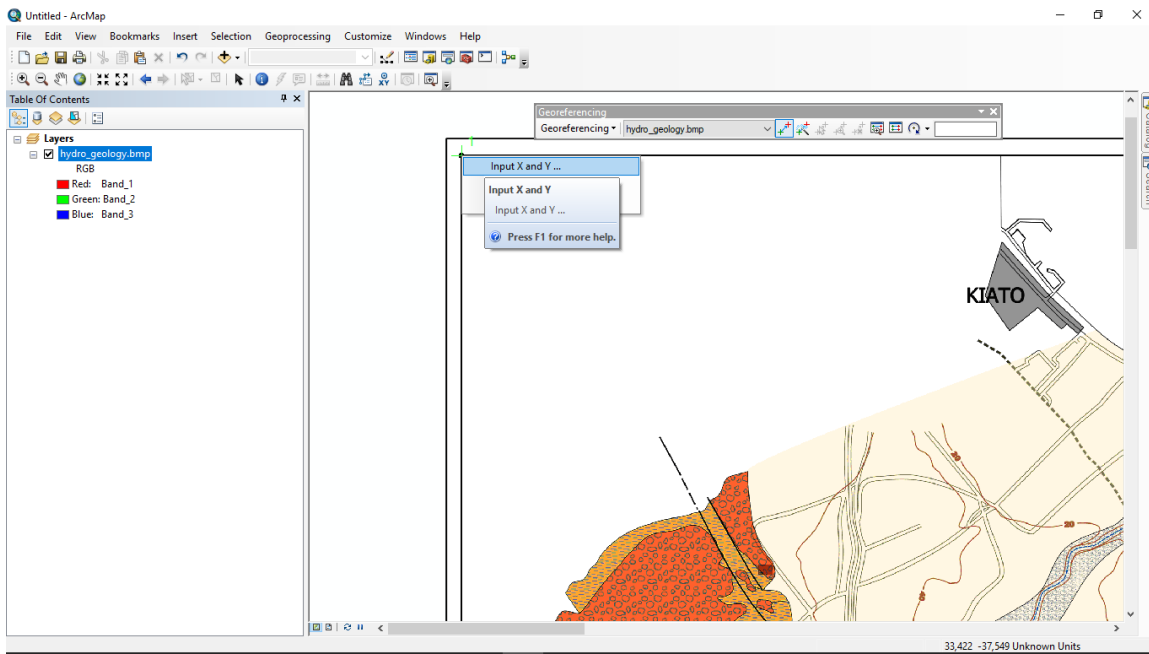


Το αποτέλεσμα που θα έχει η παραπάνω ενέργεια θα είναι να εμφανίζεται στην οθόνη μας το παρακάτω toolbar:



Για να ξεκινήσουμε την εισαγωγή των συντεταγμένων, επιλέγουμε από το toolbar του Georeferencing το 'Add Control Points' (βλ. παραπάνω εικόνα).

Στην συνέχεια κάνουμε zoom στο πρώτο σημείο και κάνουμε αριστερό και στην συνέχεια δεξί κλικ. Επιλέγουμε 'Input X and Y' όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και εισάγουμε τις συντεταγμένες του σημείου.



Με τον ίδιο τρόπο συνεχίζουμε να προσθέτουμε συντεταγμένες και στις υπόλοιπες τρεις γωνίες του χάρτη μας.

Οι συντεταγμένες που εισαγάγαμε στον χάρτη μας είναι οι εξής (η αρίθμηση ξεκινάει από την πάνω αριστερή γωνία και συνεχίζει με την φορά του ρολογιού):

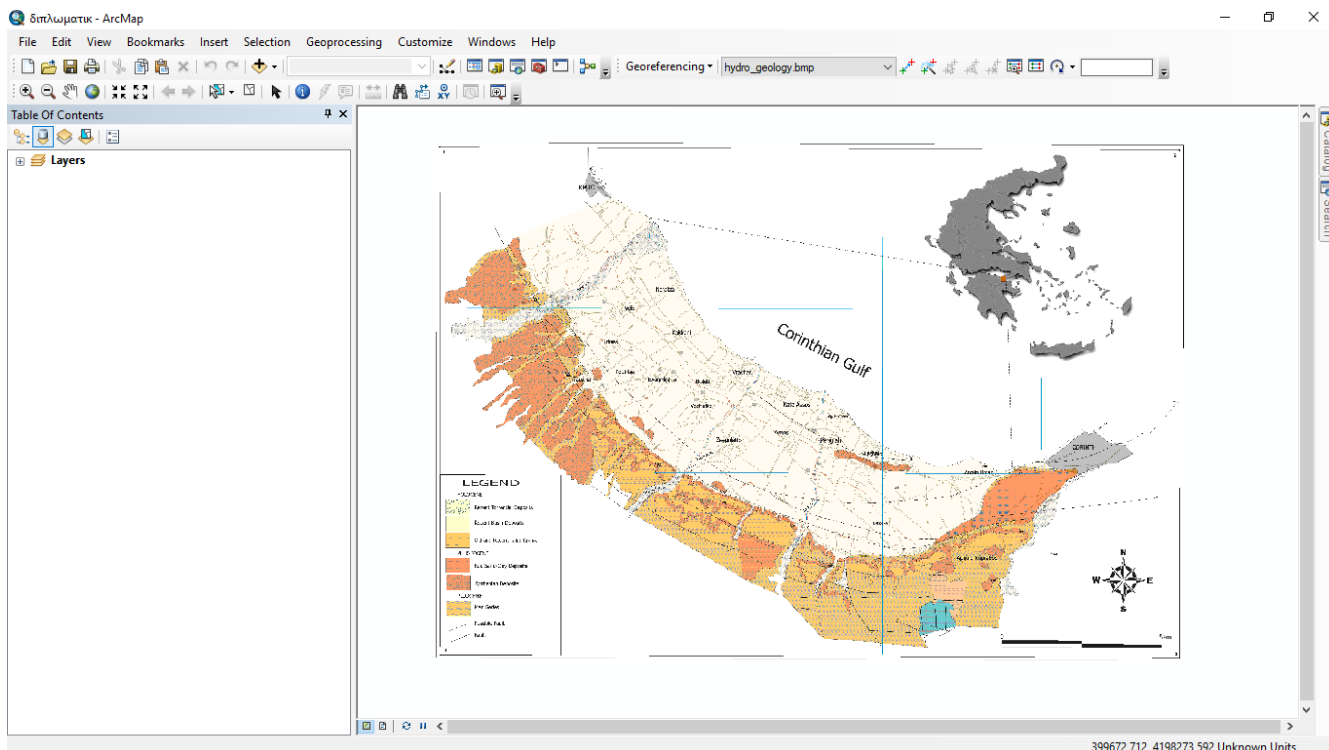
Σημείο 1: X=385493.846 Y=4208574.204

Σημείο 2: X= 408430.469 Y=4208483.56

Σημείο 3: X=408457.663 Y=4192743.185

Σημείο 4: X=385504.723 Y=4192833.829

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο γεωαναφερμένος χάρτης μας και στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας φαίνονται οι συντεταγμένες του σημείου που δείχνει το ποντίκι:



Εικόνα 8. Γεωαναφερμένος χάρτης περιοχής μελέτης

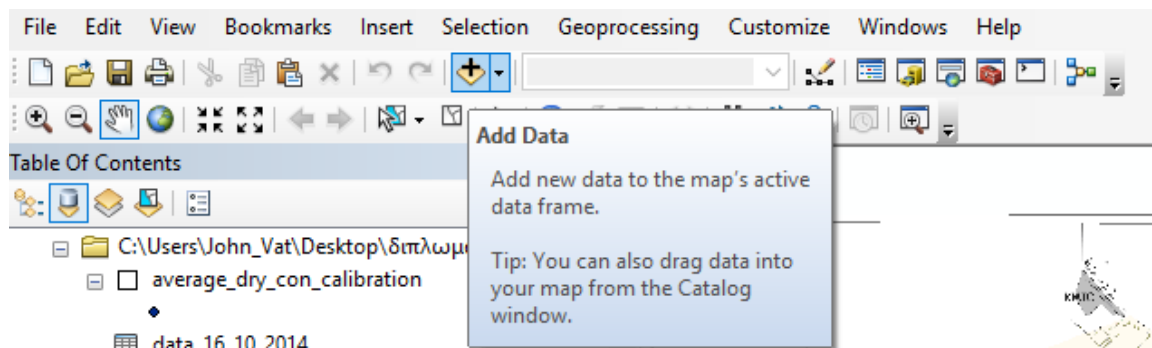
## 2.2 Εισαγωγή Στοιχείων Πηγαδιών

Στην συνέχεια, θα εισάγουμε στον χάρτη μας στοιχεία από πηγάδια της περιοχής μελέτης από τα οποία έχουμε πληροφορίες για την στάθμη των υπογείων υδάτων τους κατά την υγρή περίοδο των χειμερινών μηνών και για την ξηρή περίοδο των καλοκαιρινών μηνών, καθώς και για την συγκέντρωση σε νιτρικά κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο. Με την εισαγωγή των στοιχείων των πηγαδιών θα οδηγηθούμε στην δημιουργία νέων χαρτών, όπου ο καθένας θα περιέχει ξεχωριστές πληροφορίες για την κάθε παραπάνω κατηγορία.

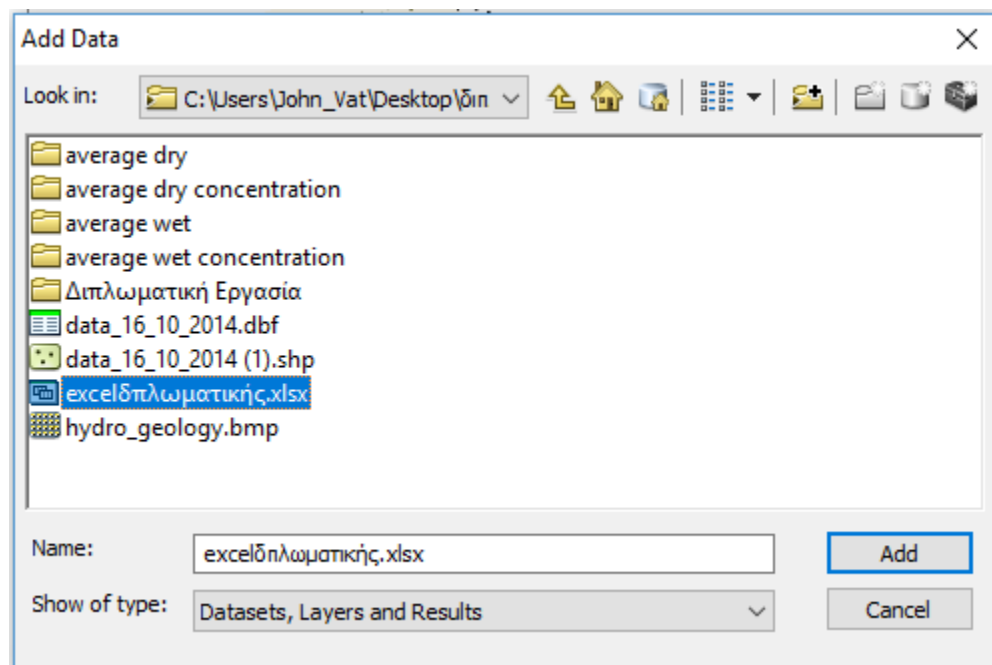
Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν από την βάση δεδομένων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το οποίο είχε εγκατεστημένα πηγάδια μελέτης σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας την περίοδο του 2000- 2008, με στόχο την παρακολούθηση της μόλυνσης των υπογείων υδάτων. Η παραπάνω βάση δεδομένων εμπλουτίστηκε με στοιχεία από το Εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και βρίσκεται σε ένα αρχείο excel.

Η διαδικασία εισαγωγής του αρχείου excel στο πρόγραμμα ArcMap έχει ως εξής:

Αρχικά κάνουμε αριστερό κλικ στην επιλογή 'Add Data' όπως φαίνεται παρακάτω:



Στην συνέχεια από την επιλογή 'Look in' βρίσκουμε το αρχείο που θέλουμε να εισάγουμε, το επιλέγουμε και πατάμε 'Add'.



Μετά την παραπάνω επιλογή, στην στήλη 'Table of Contents' θα έχουν εισαχθεί τα δεδομένα μας. Για να μετατρέψουμε τα παραπάνω δεδομένα σε shapefile και να τα εμφανίσουμε στο χάρτη της περιοχής μελέτης θα πρέπει να κάνουμε δεξί κλικ στο αρχείο που μόλις έχουμε εισάγει και, στην συνέχεια, να επιλέξουμε 'Display XY Data'. Στο παράθυρο που θα μας ανοίξει στο πεδίο 'X Field' θα επιλέξουμε την 'X\_ΕΓΣΑ'87' και στο πεδίο 'Y Field' θα επιλέξουμε 'Y\_ΕΓΣΑ'87' όπως φαίνεται παρακάτω:



Display XY Data

A table containing X and Y coordinate data can be added to the map as a layer

Choose a table from the map or browse for another table:

data\_16\_10\_2014

Specify the fields for the X, Y and Z coordinates:

X Field: X\_ΕΓΣΑ87

Y Field: Y\_ΕΓΣΑ87

Z Field: <None>

Coordinate System of Input Coordinates

Description:

Unknown Coordinate System

☐ Show Details

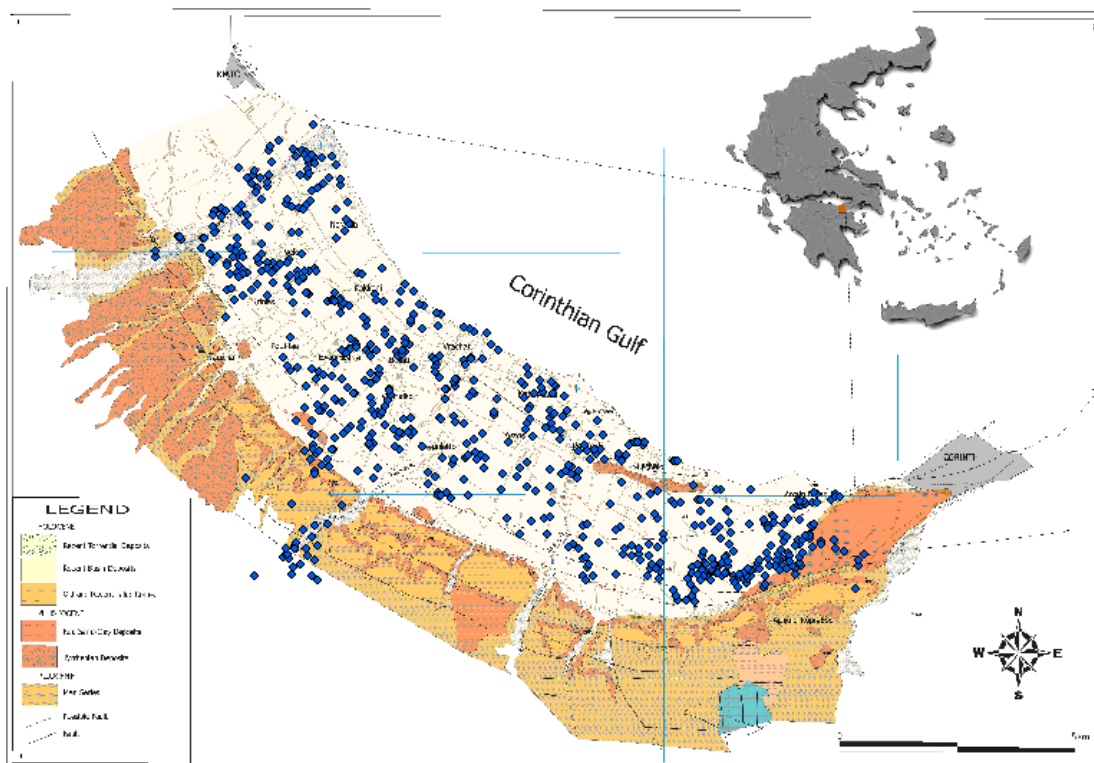
Edit...

☒ Warn me if the resulting layer will have restricted functionality

[About adding XY data](#)

OK Cancel

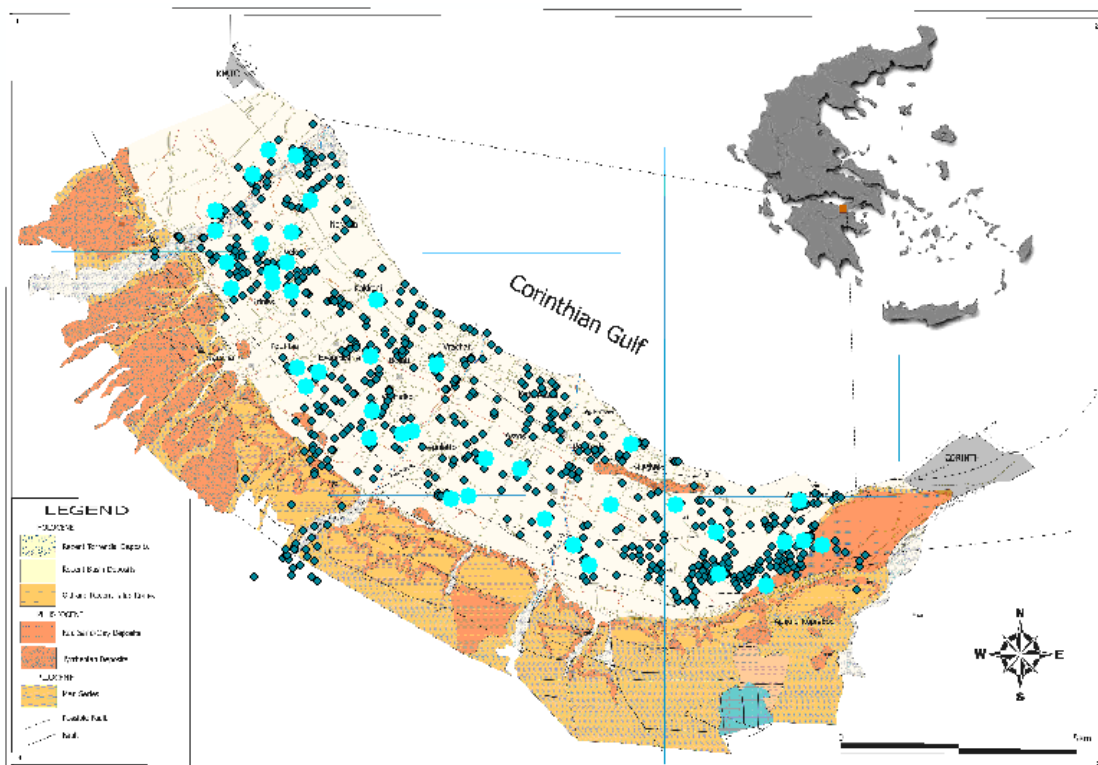
Πατώντας 'OK' θα εμφανιστεί ο χάρτης με τα πηγάδια μελέτης.



*Εικόνα 9. Πηγάδια μελέτης στην περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου*

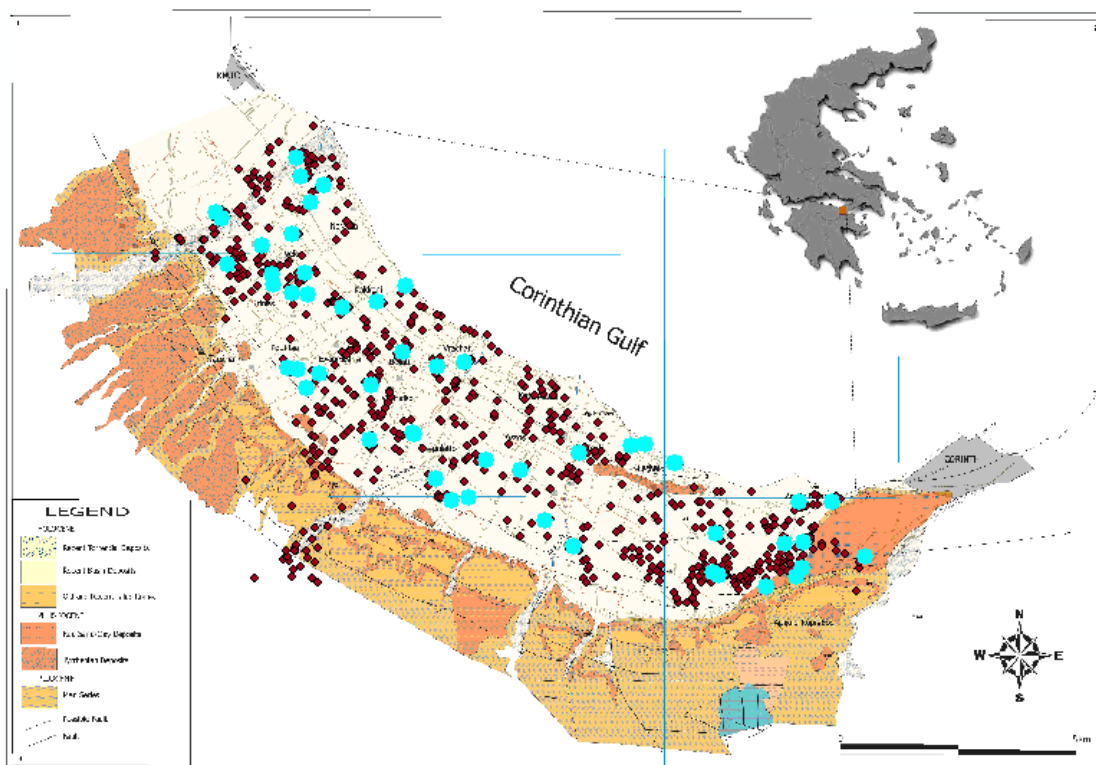
Στην συνέχεια θα δημιουργήσουμε άλλους τέσσερις χάρτες που θα απεικονίζουν τα πηγάδια με στοιχεία για την στάθμη του νερού την υγρή περίοδο, την ξηρή περίοδο, την συγκέντρωση των νιτρικών την υγρή περίοδο και την ξηρή περίοδο (εικόνες 10, 11, 12, 13).





Εικόνα 11. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται τα πηγάδια από τα οποία συλλέχθηκαν στοιχεία για την στάθμη του νερού την ξηρή περίοδο.





Εικόνα 13. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται τα πηγάδια από τα οποία συλλέχθηκαν στοιχεία για την συγκέντρωση νιτρικών την υγρή περίοδο.

### 2.3 Μέθοδοι Τοπικών Εκτιμήσεων- IDW

Οι Μέθοδοι Τοπικών Εκτιμήσεων είναι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται με στόχο την εκτίμηση της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε μια συγκεκριμένη θέση, βάση στοιχείων των οποίων προέρχονται από σημεία που βρίσκονται στην «γειτονιά» του, δηλαδή σε σχετικά κοντινή απόσταση από το υπό εξέταση σημείο. Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι εφ' όσον η εκτίμηση βασίζεται σε τιμές χαρακτηριστικών από σημεία που βρίσκονται κοντά στο υπό εκτίμηση σημείο, είναι πιθανότερο να διαφανούν όποιες διαφοροποιήσεις υπάρχουν σε αυτή την περιοχή. Από την άλλη μεριά, αποτελεί μειονέκτημα ότι η διαδικασία καθορισμού της περιοχής εκτίμησης που θεωρείται ως «γειτονιά», δεν είναι προκαθορισμένη.

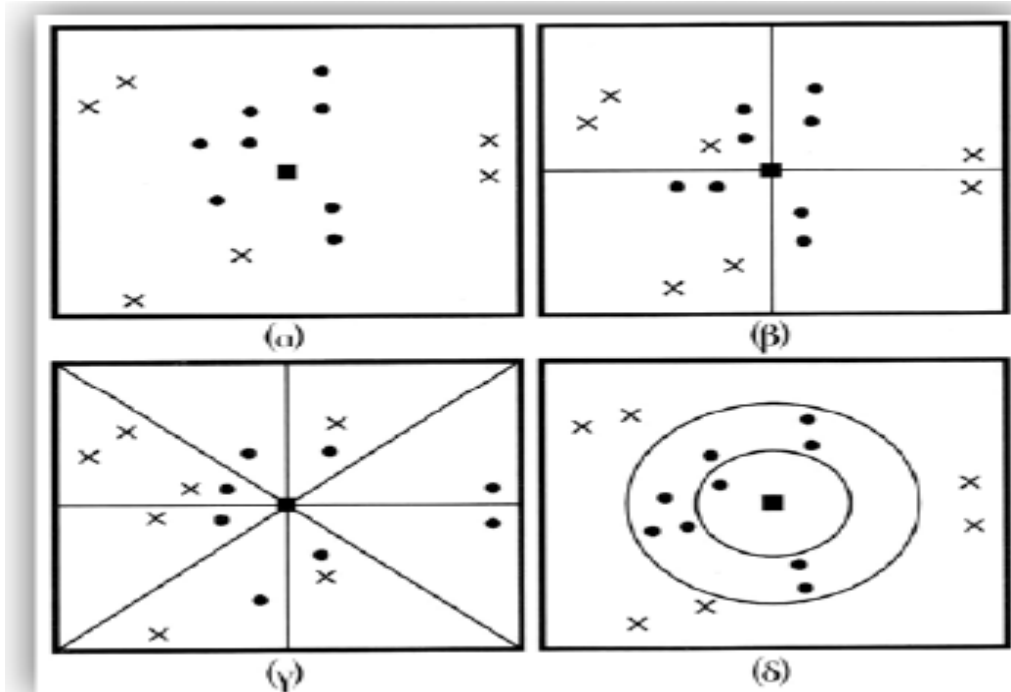
Η διαδικασία χωρικής παρεμβολής είναι η παρακάτω:

- Αρχικά, χρειάζεται να καθορίσουμε την έκταση γύρω από το υπό εξέταση σημείο, την οποία θα αποδεχθούμε ως περιοχή εκτίμησης ή γειτονιά.
- Στην συνέχεια, πρέπει να καταλήξουμε στον αριθμό των σημείων βάση των τιμών των οποίων θα γίνει η εκτίμηση.
- Έπειτα, θα πρέπει να επιλέξουμε τα σημεία αυτά από το σύνολο των σημείων της περιοχής μελέτης.

- Τέλος, θα πρέπει να επιλέξουμε την μαθηματική συνάρτηση την οποία εκφράζει με το μικρότερο σφάλμα την διαφοροποίηση της τιμής του μεγέθους που εξετάζουμε.

Τα πρώτα δύο βήματα πραγματοποιούνται ταυτόχρονα, καθώς η επιλογή του αριθμού σημείων συνεπάγεται και τον καθορισμό της περιοχής εκτίμησης. Το αρνητικό είναι ότι η παραπάνω διαδικασία είναι, σε μεγάλο βαθμό, αυθαίρετη και υποκειμενική και, συνεπώς, απαραίτητη προϋπόθεση για την διεξαγωγή καλών συμπερασμάτων αποτελεί η καλή γνώση της περιοχής μελέτης καθώς και των σημείων. Στην περίπτωση που υπάρχει πλήθος στοιχείων στο σύνολο της έκτασης της περιοχής μελέτης ή αν η τιμή δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις δεν είναι απαραίτητο να επιλεγούν πολλά σημεία για την εκτίμηση.

Το επόμενο βήμα, εφ' όσον έχει επιλεγεί το πόσα σημεία θα χρησιμοποιηθούν, είναι το να καθοριστεί ποια σημεία θα είναι αυτά. Η επιλογή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους και ο καθένας από αυτούς έχει τα θετικά και τα αρνητικά του. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τέσσερις διαδικασίες επιλογής σημείων.



Εικόνα 14. Διαδικασίες επιλογής σημείων στις μεθόδους Τοπικών Εκτιμήσεων (πηγή: Καρατζάς, Γ., 2011)

Στο σχήμα 14. απεικονίζεται ο πρώτος τρόπος επιλογής σημείων, όπου το κριτήριο επιλογής είναι η απόσταση. Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στο υπό εκτίμηση σημείο είναι και αυτά που θα επιλεγθούν. Το μειονέκτημα στον παραπάνω τρόπο επιλογής είναι ότι αν τα σημεία με την μικρότερη απόσταση δεν προέρχονται από διαφορετικές κατευθύνσεις αλλά από την ίδια τότε η εκτίμηση στην οποία θα καταλήξουμε θα είναι εσφαλμένη.

Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, η δεύτερη διαδικασία προβλέπει το να χωρίσουμε την περιοχή σε τέσσερα τεταρτημόρια έχοντας ως κέντρο το υπό εξέταση σημείο και στην συνέχεια να επιλέξουμε τον ίδιο

αριθμό σημείων σε κάθε τεταρτημόριο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι τα σημεία που επιλέγονται δεν προέρχονται από μία και μόνο κατεύθυνση, αλλά από διαφορετικές και, συνεπώς, το αποτέλεσμα θα μπορεί να θεωρηθεί πιο αξιόπιστο από της πρώτης μεθόδου. Όμως, με τα κριτήρια της παραπάνω περίπτωσης υπάρχει το ενδεχόμενο επιλογής σημείων των οποίων η απόστασή τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από σημεία που έχουν απορριφθεί.

Έτσι, για να αποφευχθεί το παραπάνω μειονέκτημα της προηγούμενης μεθόδου, ως τρίτη επιλογή μπορούμε πρώτα να επιλέξουμε τον αριθμό των σημείων που επιθυμούμε και στην συνέχεια να να διαχωρίσουμε την περιοχή μελέτης σε ίσο αριθμό τμημάτων με τον αριθμό σημείων που προκαθορίσαμε. Στο σχήμα 14.γ βλέπουμε μία περίπτωση όπου έχουν επιλεγεί οχτώ σημεία και συνεπώς η περιοχή μελέτης έχει διαιρεθεί σε οχτώ τμήματα. Παρ' ότι η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται πιο αξιόπιστη από τις δύο προηγούμενες, υπάρχει και εδώ περίπτωση να εξαχθούν μη ακριβή αποτελέσματα για τα υπό εξέταση σημεία που βρίσκονται στα άκρα της περιοχής μελέτης.

Στην τελευταία μέθοδο, η διαδικασία προβλέπει την δημιουργία μιας κυκλικής επιφάνειας, η οποία θα περιλαμβάνει όλα τα σημεία που θα ληφθούν υπ' όψιν (σχήμα 14.δ). Αρχικά, ορίζεται ο αριθμός των σημείων που επιθυμούμε και στην συνέχεια υπολογίζεται μία ακτίνα ικανή ώστε ο κύκλος να περικλύει τον αριθμό σημείων που προεπιλέξαμε.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής των σημείων, το επόμενο βήμα των Μεθόδων Τοπικών Εκτιμήσεων είναι η εκτίμηση της τιμής του υπό εξέταση μεγέθους. Τα πακέτα λογισμικώ GIS προσφέρουν διάφορες επιλογές Μεθόδων Τοπικών Εκτιμήσεων. Στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθεί μία από τις συνηθέστερες, η Inverse Distance Weighting (IDW). Η παραπάνω μέθοδος συναντάται και με αρκετούς διαφορετικούς τίτλους, όπως η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα, η μέθοδος κινητού μέσου όρου των παρατηρήσεων με βάρη (Spatial Moving Average), Modified Separd's Method, κ.α.).

Στην παραπάνω μέθοδο, αρχικά επιλέγουμε ένα αριθμό σημείων, τα οποία θα βρίσκονται στην μικρότερη απόσταση από το υπό εξέταση σημείο και μέσα σε μία δεδομένη ακτίνα (μπορούμε να επιλέξουμε και το σύνολο των σημείων που θα περικλείονται από την έκταση του σχηματιζόμενου κύκλου). Έχοντας ως στόχο την αποφυγή ακραίων τιμών, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε έναν μη αντιπροσωπευτικό μέσο όρο, είναι προτιμότερο να επιλέγεται μεγάλος αριθμός σημείων για τις εκτιμήσεις μας. Από την αντίθετη πλευρά, στην προσπάθεια εξομάλυνσης του μέσου όρου μπορεί να οδηγηθούμε σε αποτελέσματα που να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που οι τιμές της 'γειτονιάς' αυτών των σημείων απομακρύνονται από τον μέσο όρο. Γι' αυτό το λόγο, αποδίδουμε βάρη στα σημεία που συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς μας, όπου το κάθε βάρος αντιπροσωπεύει την σημαντικότητα του σημείου στους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται. Το βάρος που αποδίδεται στο κάθε σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογο με το σημείο στο οποίο γίνεται η παρεμβολή. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλέξουμε τη σχέση που συνδέει το σημείο με την απόσταση να είναι είτε γραμμική είτε εκθετική, ώστε να αυξάνεται η επιρροή των κοντινότερων σημείων στην εξαγωγή συμπερασμάτων- εκτιμήσεων.

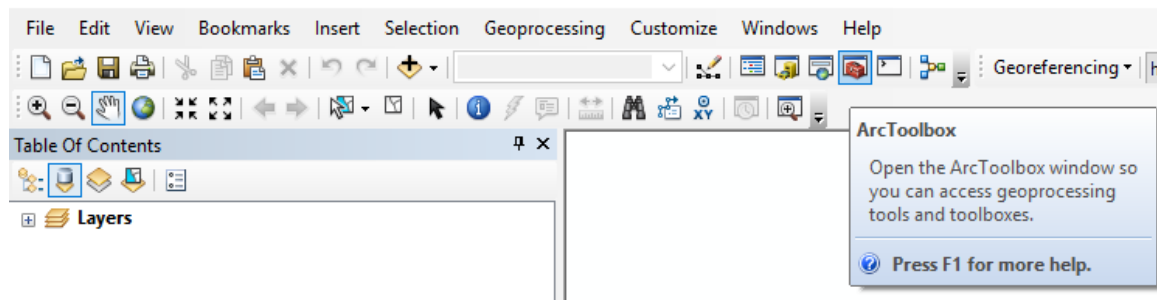


### 2.3.1 Υλοποίηση Μεθόδου IDW

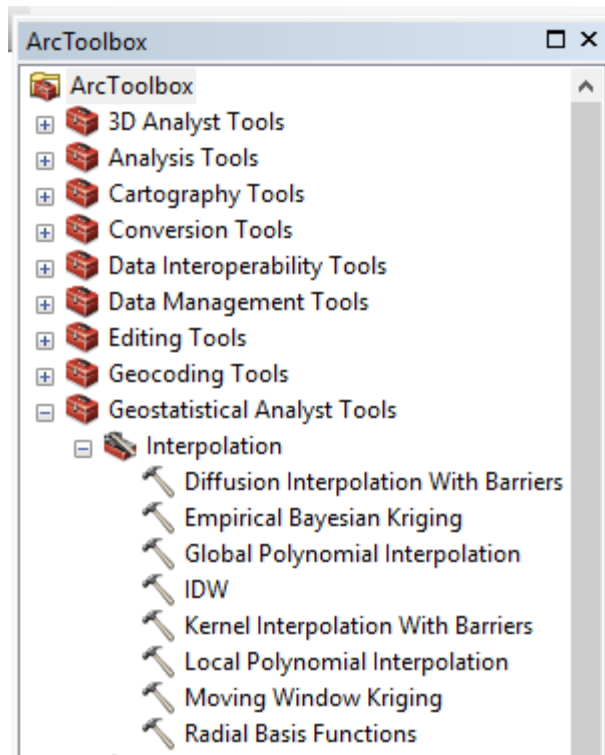
Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μέθοδος IDW θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα την υγρή και την ξηρή περίοδο καθώς και η συγκέντρωση των νιτρικών τις παραπάνω περιόδους.

Για την παραπάνω μέθοδο θα χρησιμοποιήσουμε τους τέσσερις χάρτες που έχουμε δημιουργήσει που αφορούν τις παραπάνω κατηγορίες.

Το πρώτο βήμα είναι να ανοίξουμε το 'Arc Toolbox'.

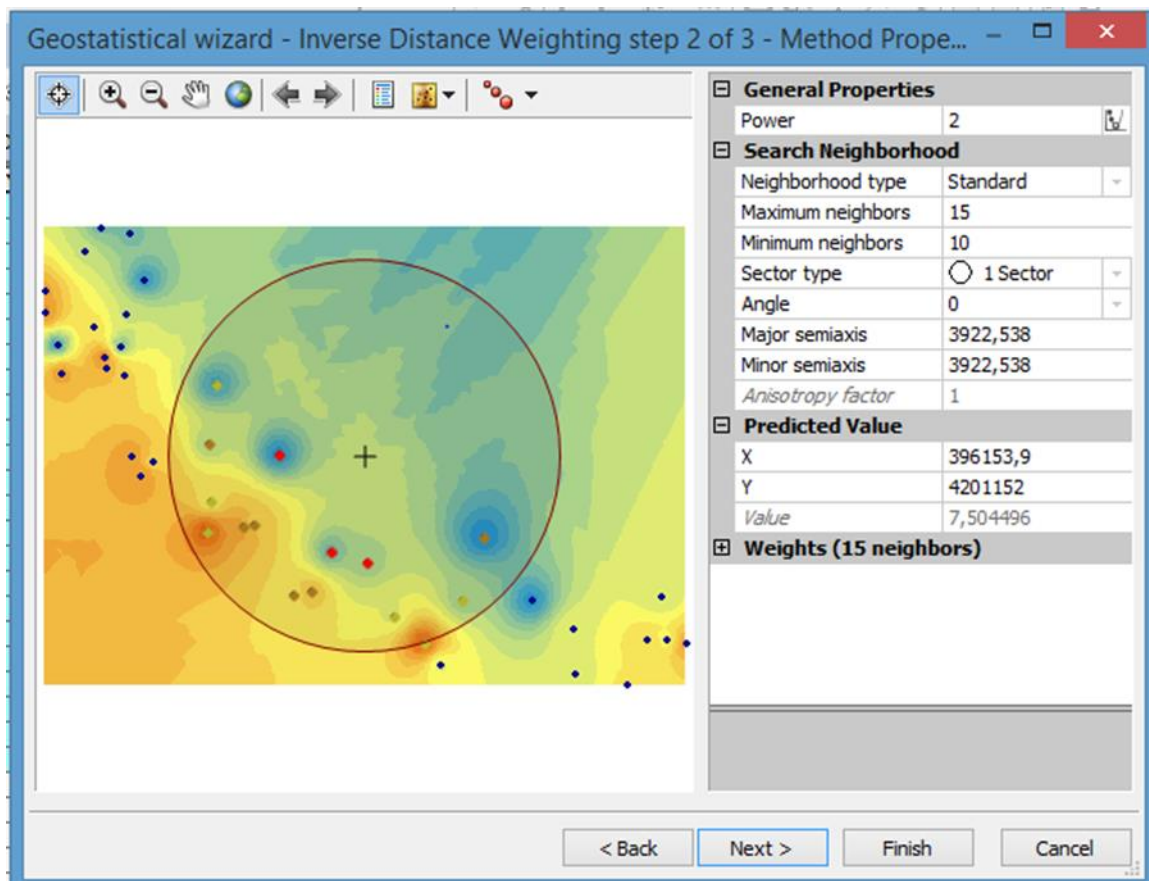


Στην συνέχεια από ακολουθώντας την διαδρομή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα κάνουμε αριστερό κλικ στην επιλογή IDW.

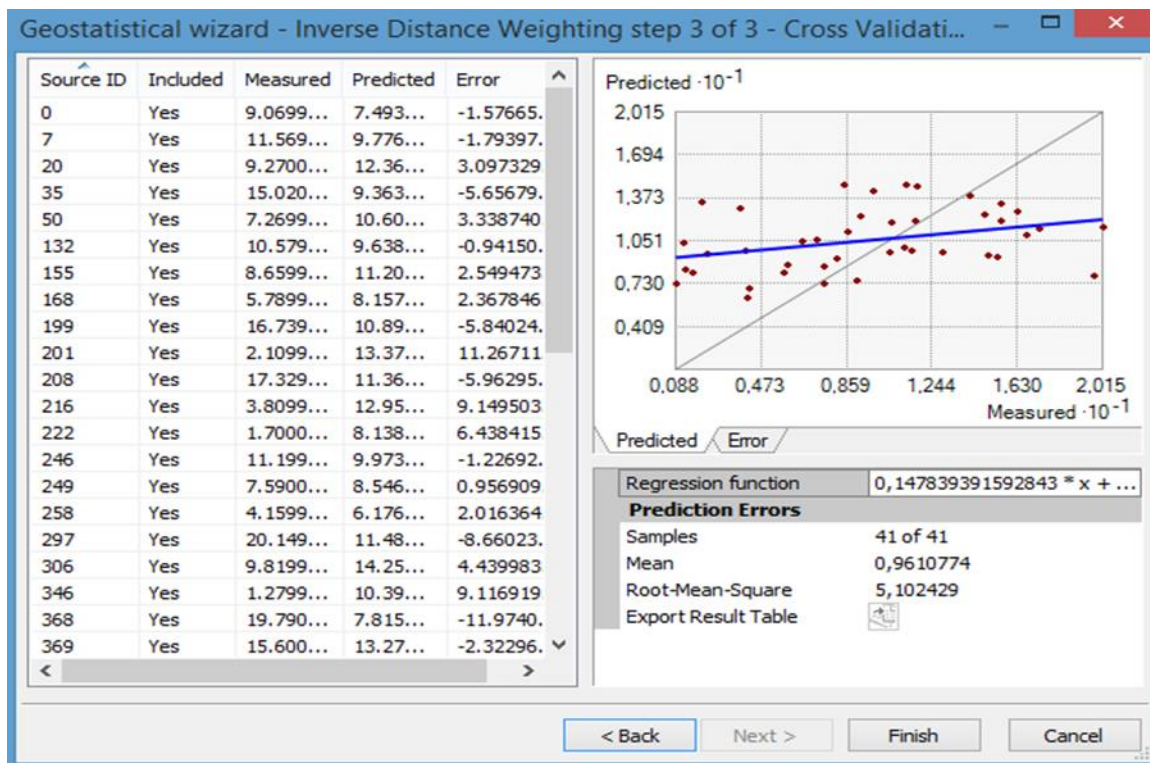


Στην συνέχεια από το παράθυρο που μας ανοίγει, στο πεδίο 'Input features' επιλέγουμε τον πίνακα που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και στο πεδίο 'Z value field' την στήλη αυτού του αρχείου που περιέχει τα στοιχεία με βάση τα οποία θέλουμε να οδηγηθούμε σε εκτίμηση.

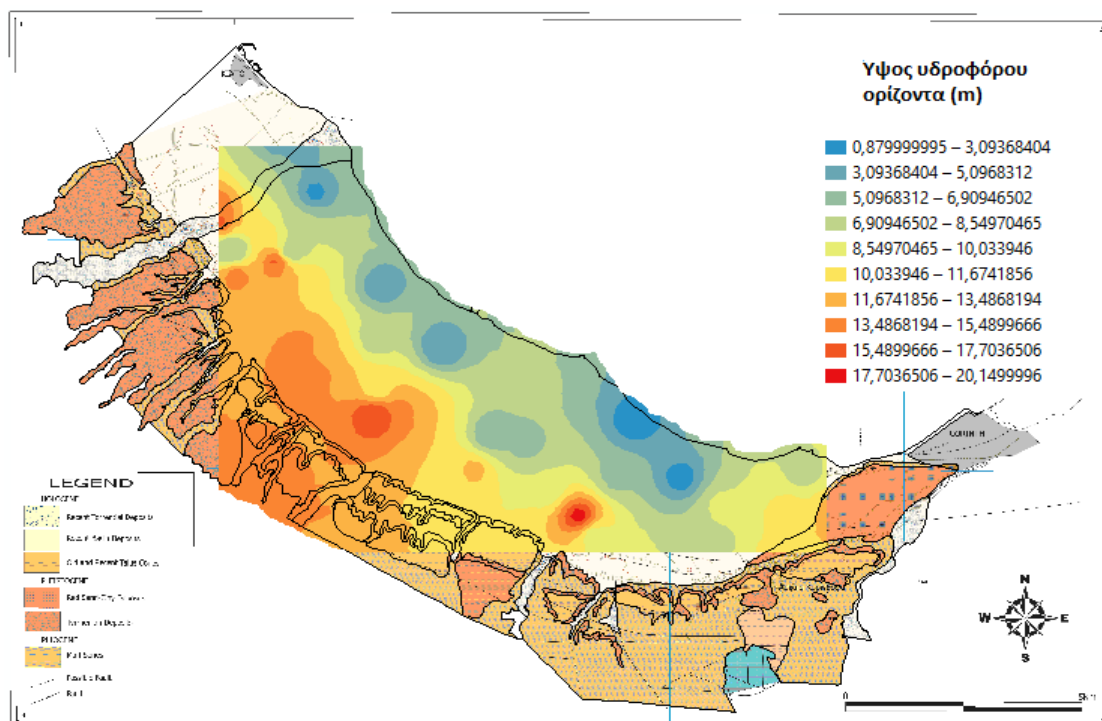
Έπειτα καθορίζουμε τις παραμέτρους της μεθόδου IDW, όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα.



Πατώντας 'Next >' οδηγούμαστε στο τελευταίο παράθυρο της διαδικασίας IDW όπου μας παρουσιάζονται στοιχεία για τον μέσο όρο και το σφάλμα της εκτίμησης που πραγματοποιήθηκε.



Πατώντας 'Finish' έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία και μας δίνεται το τελικό αποτέλεσμα. ΜΕ τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω διαδικασία προέκυψε ο χάρτης με την εκτίμηση της στάθμης του νερού την υγρή περίοδο (εικ. 15).



Εικόνα 15. Χάρτης ύψους υδροφόρου ορίζοντα κατά την υγρή περίοδο

Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία τρεις φορές, και επιλέγοντας τις ίδιες παραμέτρους κάθε φορά δημιουργήσαμε και τους υπόλοιπους τρεις ζητούμενους χάρτες (εικόνα 16, 17 ,18).







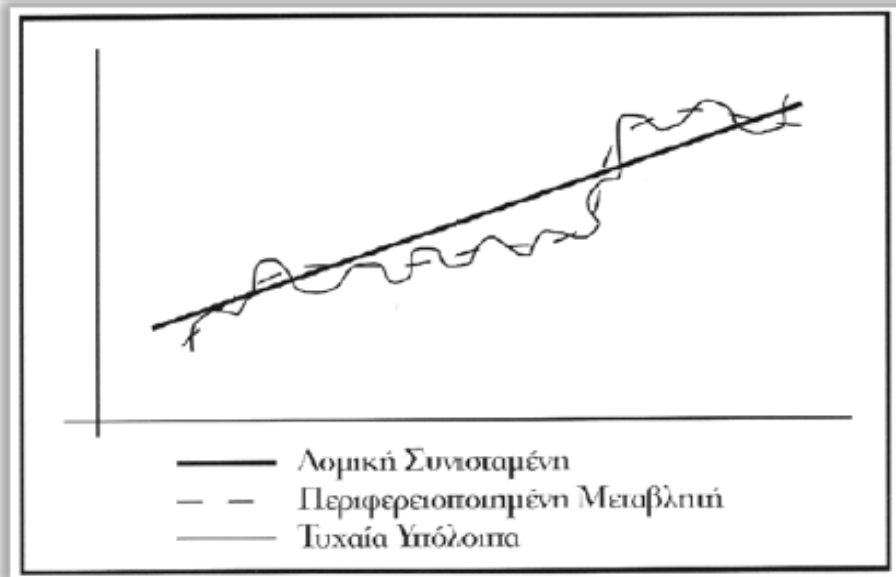


Ο ρυθμός μεταβολής της ζητούμενης μεταβλητής εκφράζεται από την ημιδιακύμανση, η οποία μας δείχνει το πόσο είναι εξαρτημένες χωρικά οι τιμές των μεταβλητής που απέχουν μεταξύ τους μία συγκεκριμένη απόσταση. Η παραπάνω αποδοχή ονομάζεται 'εσωτερική υπόθεση'.

Ο υπολογισμός της ημιδιακύμανσης για διαφορετικές αποστάσεις  $h$ , οι οποίες είναι πολλαπλάσιες κάποιου ορισμένου βήματος, δημιουργούν ένα διάγραμμα που ονομάζεται ημιμεταβλητόγραμμα ή βαριόγραμμα (semivariogram).

Για την κατανόηση της χρησιμότητας του βαριογράμματος στον τομέα της χωρικής παρεμβολής, θα ανατρέξουμε στην θεωρία των περιφερειοποιημένων μεταβλητών (regionalized variable theory), η οποία υποθέτει ότι η χωρική διαφοροποίηση μιας οποιασδήποτε μεταβλητής μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των εξής τριών βασικών συνισταμένων (Burrough and McDonell, 1998) (εικόνα 19):

- α) Τη δομική συνιστάμενη, η οποία έχει μια σταθερή μέση τιμή ή «τάση»,
- β) Μια τυχαία αλλά χωρικά συσχετισμένη συνιστάμενη, γνωστή και ως περιφερειοποιημένη (regionalized) μεταβλητή, και
- γ) Ένα μη χωρικά συσχετισμένο τυχαίο θόρυβο ή ένα υπόλοιπο τυχαίο σφάλμα.



Εικόνα 19. Απεικόνιση της χωρικής διαφοροποίησης μιας μεταβλητής (πηγή: Καρατζάς, Γ., 2011)

Συνεπώς, η τιμή της μεταβλητής  $Z$  σε κάθε σημείο  $s_i$  υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$S(i) = m(s_i) + u(s_i) + \varepsilon$$

Όπου

$m(s_i)$ : είναι μια αιτιοκρατική συνάρτηση που περιγράφει τη δομική συνισταμένη της  $Z$  στο σημείο  $s_i$ .

$U(s_i)$ : είναι ένας στοχαστικός όρος που εκφράζει τα υπόλοιπα από την  $m(s_i)$  που μεταβάλλονται τοπικά, αλλά είναι χωρικά συσχετισμένα, δηλαδή την περιφερειοποιημένη μεταβλητή, και

$\varepsilon$ : είναι τα χωρικά ανεξάρτητα σφάλματα που ακολουθούν μια κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν

Αν υποθεθεί ότι η παραπάνω εξίσωση εκφράζει μια ενδογενή (intrinsic) στάσιμη χωρική διαδικασία, εφόσον οι δομικές επιπτώσεις (π.χ. η μέση τιμή στην περιοχή μελέτης) μπορούν να εξηγηθούν, η εναπομείνασα διασπορά είναι ομοιογενής ως προς τη διαφοροποίηση της, έτσι ώστε οι διαφορές μεταξύ σημείων του δείγματος είναι απλά μια συνάρτηση της απόστασης μεταξύ τους. Συνεπώς η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να πάρει την εξής μορφή:

$$S(i) = m(s_i) * \gamma(h) + \varepsilon$$

Το  $\gamma(h)$ , από τις τιμές του οποίου προκύπτει και το βαριόγραμμα, υπολογίζονται από τον εξής τύπο:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \cdot \sum_{s_i-s_j}^n (Z(s_i) - z(s_i + h))^2$$

Όπου,

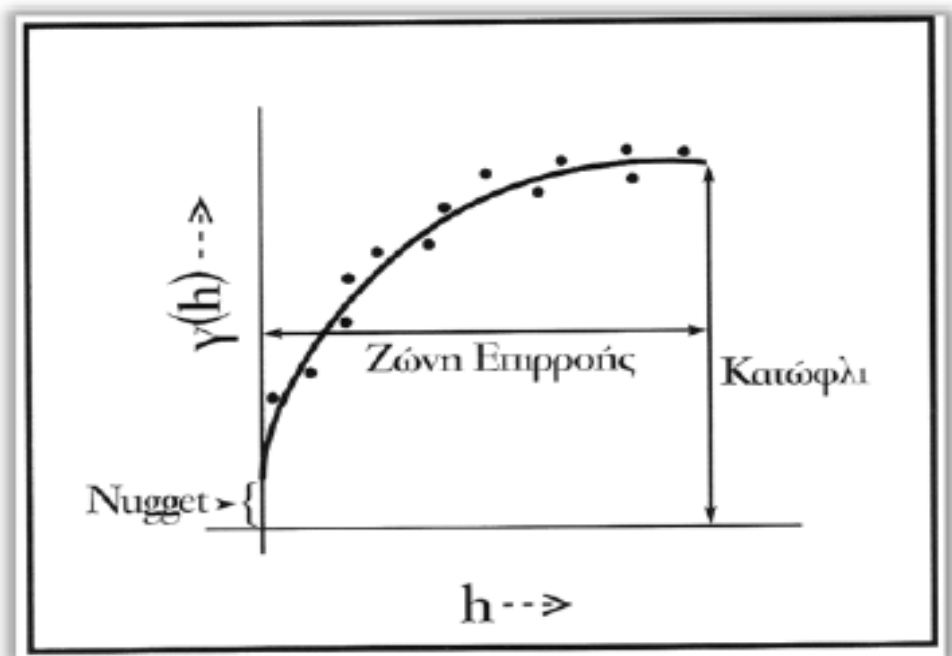
$$\sum_{s_i-s_j}^n (Z(s_i) - z(s_i + h))^2$$

το άθροισμα για όλα τα ζευγάρια των παρατηρούμενων σημείων που απέχουν μεταξύ τους διάστημα  $h$  και,

$n(h)$  = ο αριθμός των προαναφερθέντων ζευγαριών.

Η μεταβολή του  $h$  παράγει ένα σύνολο τιμών, με βάση τις οποίες σχηματίζεται το δειγματικό ή πειραματικό βαριόμετρο (εικόνα 20).

Βέβαια, στην πραγματικότητα, όταν τα σημεία του δείγματος στην περιοχή μελέτης έχουν ακανόνιστη κατανομή, σπάνια θα υπάρχουν αρκετές παρατηρήσεις που η διανυσματική απόσταση μεταξύ τους θα είναι ακριβώς  $h$ , με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μια σειρά από διαστήματα και η εκτίμηση να γίνεται με βάση τις αποστάσεις που βρίσκονται μέσα στα όρια αυτών των διαστημάτων, δηλαδή να είναι κοντά στο  $h$ . Στην περίπτωση αυτή καθορίζονται όρια ανοχής για την απόσταση ή/και την κατεύθυνση.



Εικόνα 20. Διαγραμματική απεικόνιση δειγματικού ή πειραματικού βαριογράμματος (πηγή: Καρατζάς, Γ., 2011).

Εξετάζοντας την παραπάνω εικόνα 3.3, παρατηρούνται τα εξής:

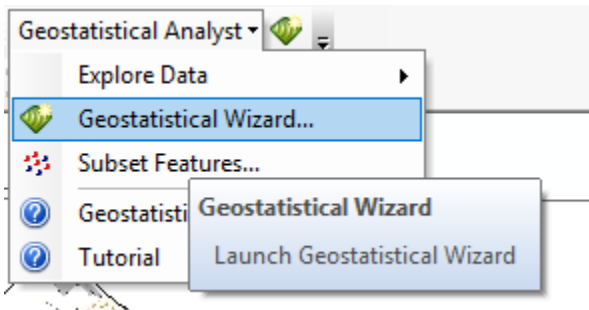
- Καθώς οι τιμές του  $h$  αυξάνουν, η τιμή της  $\gamma(h)$  αυξάνεται ασυμπτωτικά προς ένα ανώτερο όριο που ονομάζεται κατώφλι (sill). Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλες αποστάσεις δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση μεταξύ των σημείων, αφού οι εκτιμήσεις της διαφοράς της διασποράς παραμένει σταθερή, καθώς η απόσταση των σημείων διαφοροποιείται.
- Η καμπύλη της  $\gamma(h)$  αυξάνεται μέχρι να φτάσει στο κατώφλι, οπότε λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της σε μια απόσταση που ορίζει τη ζώνη επιρροής (range), η οποία με τη σειρά της καθορίζει το χώρο εντός του οποίου οι μεταξύ των σημείων διαφοροποιήσεις είναι χωρικά εξαρτημένες. Έτσι, εντός της ζώνης επιρροής όσο πιο κοντά είναι δυο σημεία, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ομοιότητα τους. Επιπλέον, αν ένα σημείο εκτός δείγματος απέχει από ένα σημείο του δείγματος απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν που ορίζει η ζώνη επιρροής, η συνεισφορά του στην χωρική παρεμβολή είναι αμελητέα.
- Η εκτιμηθείσα καμπύλη  $\gamma(h)$  δεν περνά από την αρχή των αξόνων, αλλά τέμνει τον κάθετο άξονα σε ένα σημείο με θετική τιμή. Μολονότι θεωρητικά ισχύει ότι  $\gamma(0) = 0$ , δειγματικά σφάλματα και μικρής κλίμακας μεταβλητότητα συχνά οδηγούν σε δειγματικές τιμές, όπου κοντινά σημεία παρουσιάζουν διαφορές. Επομένως, θετική τιμή  $\gamma(h)$  με  $h \rightarrow 0$  είναι μια εκτίμηση του  $\epsilon$ , δηλαδή του μη-χωρικού θορύβου ή υπόλοιπου, που είναι γνωστό ως nugget. Βέβαια, στην περίπτωση που το βαριόγραμμα παρουσιάζει μόνο τις επιπτώσεις nugget, δηλαδή έχει τη μορφή οριζόντιας γραμμής, τότε η υπό εξέταση διαδικασία δεν παρουσιάζει χωρικές εξαρτήσεις. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση η καλύτερη εκτίμηση της  $Z(s)$  είναι η συνολική μέση τιμή, υπολογιζόμενη από όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη οιαδήποτε χωρική εξάρτηση.

- Στην περίπτωση που παρατηρείται ένα βαριόγραμμα, όπου οι τιμές των διασπορών είναι ευρέως διασκορπισμένες, αυτό δηλώνει καθαρά ότι η εκτίμηση της  $\gamma(h)$  έγινε με τη χρήση ενός μικρού δείγματος. Ένας εμπειρικός κανόνας καθορίζει, ότι το μέγεθος του δείγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 50-100 σημεία για να επιτευχθεί ένα σταθερό βαριόγραμμα, το οποίο βέβαια εξαρτάται από το είδος της χωρικής διαφοροποίησης που παρατηρείται.

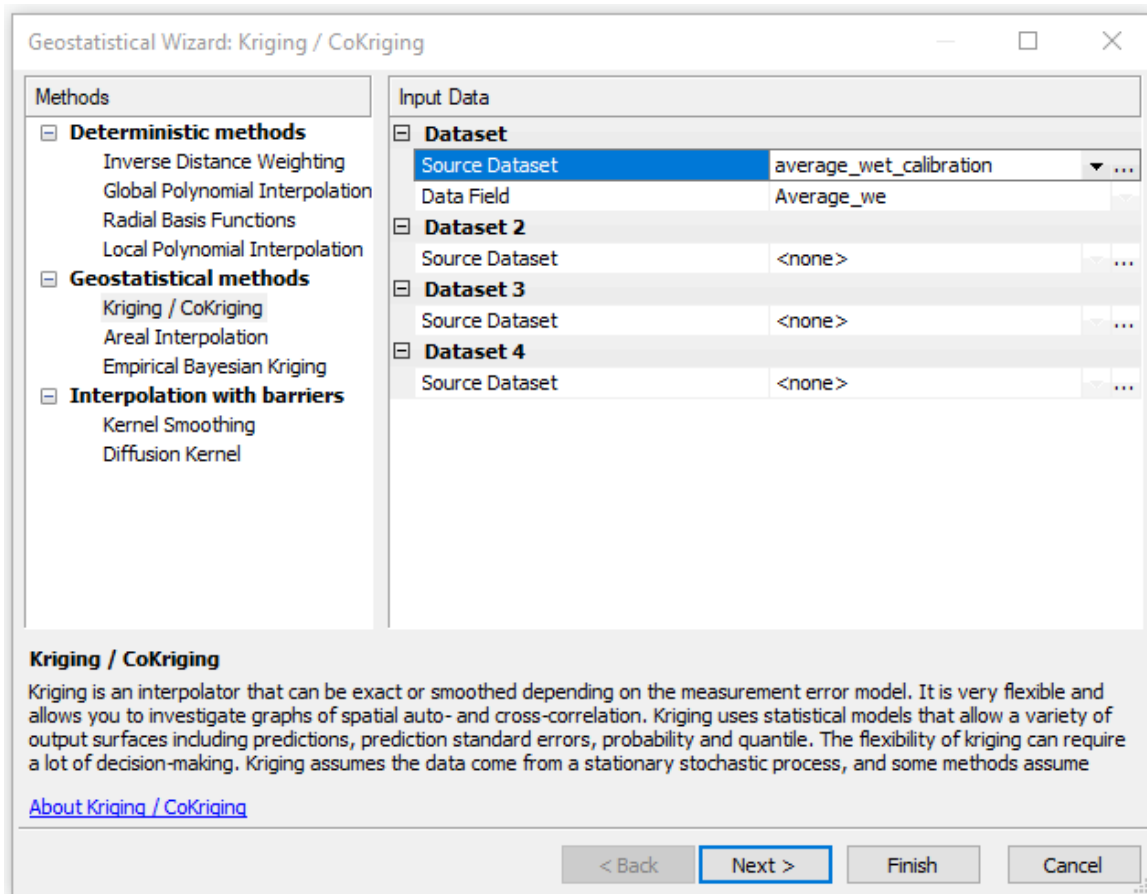
#### 2.4.1 Υλοποίηση Μεθόδου Kriging

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μέθοδος Kriging θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα την υγρή και την ξηρή περίοδο καθώς και η συγκέντρωση των νιτρικών τις παραπάνω περιόδους.

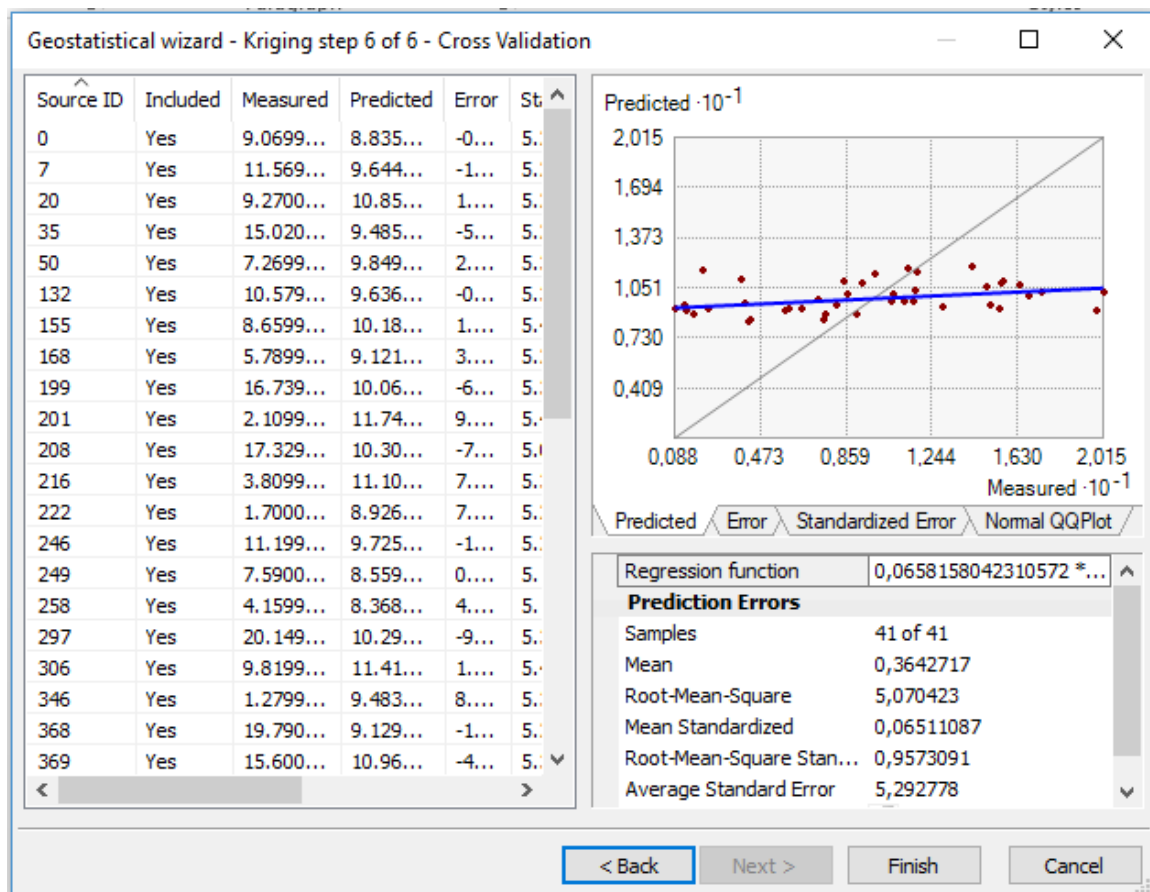
Αρχικά από το μενού το Geostatistical analyst επιλέγουμε να ανοίξουμε το Geostatistical Wizard όπως φαίνεται παρακάτω.



Στο παράθυρο που μας ανοίγει κάνουμε δεξί κλικ στην επιλογή 'Kriging/ CoKriging' κάτω από το 'Geostatistical Methods'. Στο πεδίο 'Source Database' επιλέγουμε το layer που περιέχει τα δεδομένα με βάση τα οποία θέλουμε να πραγματοποιήσουμε την μέθοδο Kriging. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε τα πηγάδια που περιέχουν την πληροφορία για την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά την υγρή περίοδο, όπως φαίνεται παρακάτω.

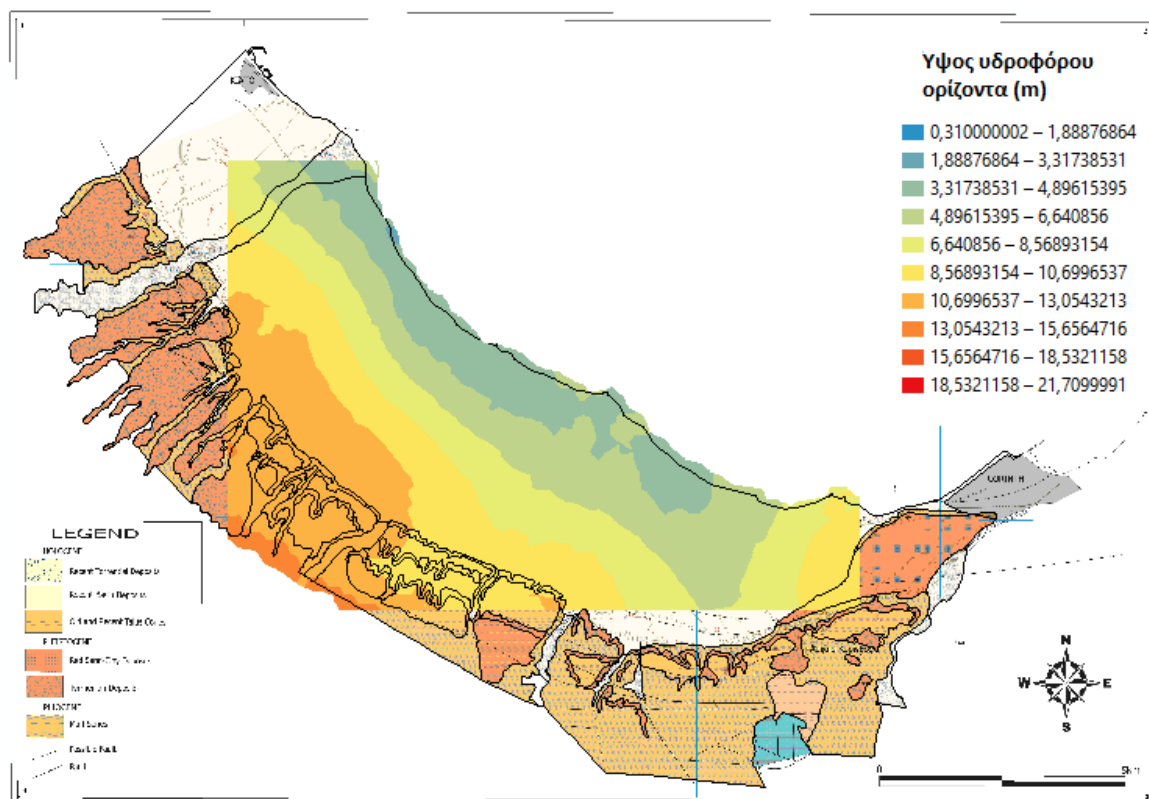


Επιλέγοντας 'Next' και συνεχίζοντας με τις προκαθορισμένες επιλογές της μεθόδου Kriging, οδηγούμαστε στο τελευταίο παράθυρο όπου περιέχει πληροφορίες για το σφάλμα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



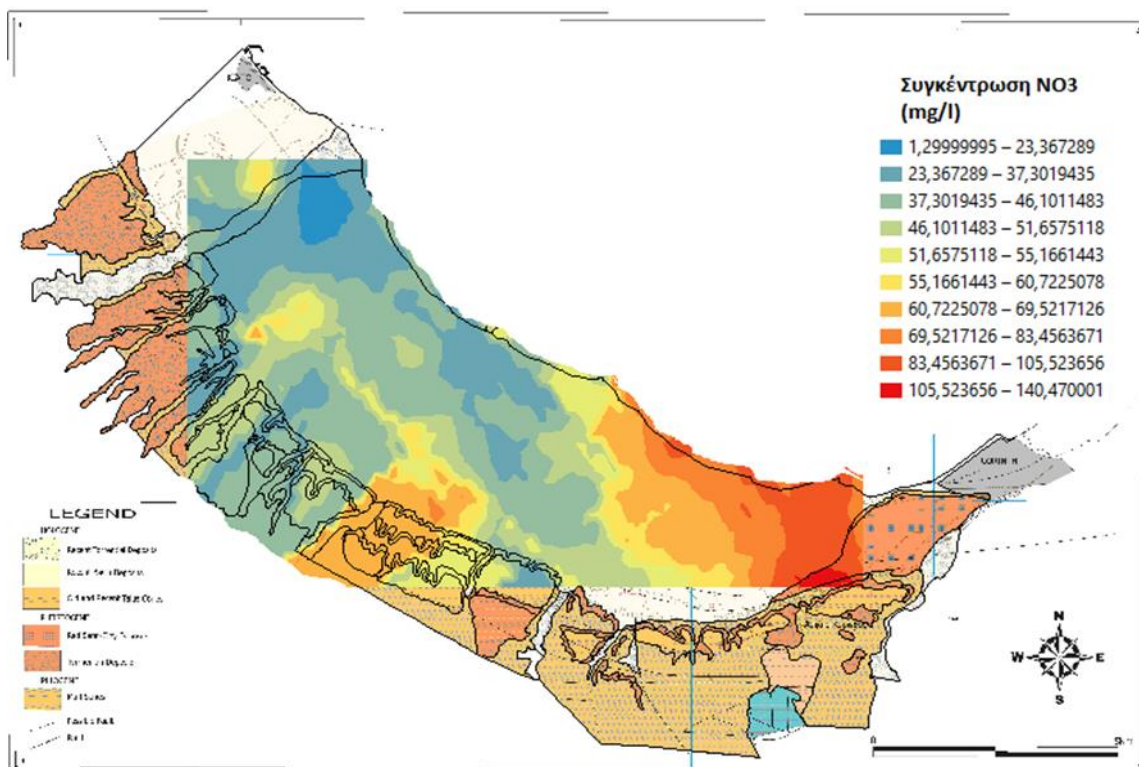
Στο παραπάνω μενού επιλέγοντας 'Finish' τελειώνει η διαδικασία και μας εμφανίζεται ο χάρτης του υδροφόρου ορίζοντα την περίοδο της υγρής περιόδου.





Εικόνα 22. Χάρτης ύψους υδροφόρου ορίζοντα κατά την ξηρή περίοδο





Εικόνα 23. Χάρτης εκτίμησης συγκέντρωσης νιτρικών κατά την ξηρή περίοδο



## 4 Αποτελέσματα

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας που προηγήθηκε παρατηρήθηκε πως στο Βορειανατολικό κομμάτι του Νομού Κορινθίας υπάρχει αυξημένη επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά ιόντα πέραν του επιτρεπτού ορίου όπως ορίζεται σύμφωνα με Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία (5 mg/l). Παρατηρήθηκε επίσης αυξημένη δραστηριότητα στις αγροτικές καλλιέργειες οι οποίες προκαλούν ρύπανση λόγω της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και άλλων καλλιεργητικών πρακτικών προκειμένου να ενισχυθεί η καλλιέργεια γεγονός που επιβαρύνει τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυξημένη συγκέντρωση νατρίου παρατηρήθηκε στις περιοχές του Άσσου και της Αρχαίας Κορίνθου. Στην περιοχή της Κορίνθου διαπιστώθηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, βλέπουμε ότι τα επίπεδα ρύπανσης που προκύπτουν από τα μοντέλα είναι σημαντικά όμοια, γεγονός που μας επιβεβαιώνει την ύπαρξη ρύπανσης, αλλά, επίσης, μας υποδυναμίζει και την ορθότητα των αποτελεσμάτων των μοντέλων.

Συγκρίνοντας, επίσης, τους χάρτες που προέκυψαν από την μέθοδο IDW με τους χάρτες που προέκυψαν από την μέθοδο Kriging διαπιστώνουμε ότι στους χάρτες από την μέθοδο Kriging υπάρχει μια πιο ομοιογενής κατανομή των τιμών ρύπανσης στην περιοχή μελέτης και, συνεπώς η εικόνα που έχουμε για σημεία που βρίσκονται σε σχετικά μεγαλύτερα απόσταση από πηγές με στοιχεία ρύπανσης είναι πιο ρεαλιστική.

Στα διαγράμματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου IDW παρατηρούνται μεγαλύτερες αυξομειώσεις στις τιμές των επιπέδων των νιτρικών. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου, καθώς δεν προσφέρει εξομάλυνση στα αποτελέσματα που μας δίνει, καθ' όσον στις περιοχές με λιγότερα δεδομένα η παρεμβολή κινείται προς την συνολική μέση τιμή.

## 5. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αποτύπωση και η εξέταση της ρύπανσης από νιτρικά του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής του Βορειοανατολικού τμήματος του νομού Κορινθίας. Για την αποτύπωση του ύψους του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και για την συγκέντρωση του υδροφόρου ορίζοντα σε νιτρικά ιόντα, κάναμε χρήση των εργαλείων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), και πιο συγκεκριμένα των μεθόδων Kriging και Inverse Distance Weighting (IDW).

Με τις δύο παραπάνω μεθόδους δημιουργήσαμε τους χάρτες 17- 18, 13- 24. Στους παραπάνω χάρτες είναι εμφανής η επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής μελέτης από νιτρικά ιόντα, καθώς ένα πολύ μεγάλο μέρος της εμφανίζει τιμές μεγαλύτερες από το επιτρεπτό όριο για πόσιμο νερό που είναι τα 5 mg/l.

Στη περιοχή μελέτης, όπως διαπιστώνεται και από τους πίνακες 1 και 2, παρατηρείται αυξημένη δραστηριότητα σε αγροτικές καλλιέργειες, οι οποίες αναμένονται να επιβαρύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα, λόγω, αφ' ενός της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και άλλων καλλιεργητικών πρακτικών που προκαλούν ρύπανση που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Αφ' ετέρου, δημιουργείται αυξημένη αδρευτική ανάγκη, γεγονός που μειώνει το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα και, συνεπώς, αυξάνει την συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων. Οι παραπάνω διαπιστώσεις επιβεβαιώνονται από την σύγκριση των χαρτών που δημιουργήσαμε με τις μεθόδους IDW και Kriging, με τον Πίνακα 2 όπου απεικονίζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης. Όπως προκύπτει, από την παραπάνω σύγκριση αυξημένη συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα, παρατηρείται στις περιοχές του Άσσου και της Αρχαίας Κορίνθου, περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν έντονη αγροτική δραστηριότητα.

Επιπλέον, σημαντική συσχέτιση διαπιστώνουμε να υπάρχει ανάμεσα στην συγκέντρωση νιτρικών ιόντων και πληθυσμού περιοχής. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Κορίνθου, η οποία είναι η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων, αλλά και με την μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού (κάτοικοι/ Km<sup>2</sup>), η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες δημοτικές ενότητες της περιοχής μελέτης, η οποία

παρουσιάζει τους καλοκαιρινούς μήνες τιμές ρύπανσης από νιτρικά, εύρους 105mg/l- 140mg/l σύμφωνα και με τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήσαμε, και τους χειμερινούς μήνες 145mg/l- 189mg/l.

Ο λόγος που η οικιστική ανάπτυξη της περιοχής επιβαρύνει την ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, μπορεί να αποδοθεί στην μη ύπαρξη κεντρικού αποχετευτικού συστήματος και, συνεπώς, στην παρουσία αποχετευτικών βόθρων.

Εξαίρεση στο παραπάνω συμπέρασμα αποτελεί η περιοχή του Κιάτου, η οποία παρ' ότι πυκνοκατοικημένη, δεν εμφανίζει σημάδια ρύπανσης στους χάρτες ρύπανσης από νιτρικά, που παρουσιάσαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Όμως, λόγω του ότι στην συγκεκριμένη περιοχή δεν υπάρχουν αρκετά πηγάδια μελέτης της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά, θα αποδόσουμε την παραπάνω εξαίρεση σε έλλειψη στοιχείων για την συγκεκριμένη περιοχή και δεν θα την θεωρήσουμε επαρκή για να μας αναιρέσει το τελευταίο συμπέρασμα.

## Βιβλιογραφία

Follett, R., & Hatfield, J. (2001). Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management. *TheScientificWorld*, 920-926.

Patni, N. K., Masse, L., & Jui, P. Y. (1998). Groundwater quality under conventional and no tillage: I. Nitrate, electrical conductivity, and pH. *Journal of Environmental Quality*, 869-877.

Rao, E. V., & Puttanna, K. (2000). Nitrates, agriculture and environment. *Current Science*, 79.

Brands Edwin, Rajagopal Raj, Eleswarapu Usha & Li Peter (2016). Groundwater. IEG Wiley & Sons, p. 3237-3252.

Follett, R., & Hatfield, J. (2001). Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management. *TheScientificWorld*, 920-926.

John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis (2016). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. Canada: John Wiley and Sons Inc, Hoboken, New Jersey.

Kumar Atin, Juyal Rachna, Bisht Mamta, Kumar Satendra, Kumar Patel Shriman (2022). CAUSES, EFFECTS AND SOLUTIONS OF GROUNDWATER POLLUTION. *Krishi Science*, 03(03).

Mohib Mirza, Panhwar Wajid Ali, Abdullah Muhammad, Abubakar Muhammad, Wajeeha Qamar (2021). Effect of Human Activities on Groundwater: A Survey of Perceptions and Attitudes about Groundwater Issues in Rural Area, Sindh, Pakistan. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(9), 1388.

Patni, N. K., Masse, L., & Jui, P. Y. (1998). Groundwater quality under conventional and no tillage: I. Nitrate, electrical conductivity, and pH. *Journal of Environmental Quality*, 869-877.

Podlasek Anna, Jakimiuk Aleksandra, Vaverkova Magdalena Daria and Koda Eugeniusz (2021). Monitoring and Assessment of Groundwater Quality at Landfill Sites: Selected Case Studies of Poland and the Czech Republic. *Sustainability*, 13, 7769.

Rao, E. V., Puttanna, K. (2000). Nitrates, agriculture and environment. Current Science, 79.

Rautaray S.K., Mohanty S. and S. Sucharita (2022) Groundwater Scenario and Management. Sandahane, 1(2), 25-28

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Καρατζάς, Γ., (2010), Ροή υπογείων υδάτων και μεταφορά ρύπων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Καρατζάς, Γ., (2011), Γενικές γνώσεις εφαρμογής GIS, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Τσουχλαράκη, Α., Αχιλλέως Γ., (2010), Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη, Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη.

Μυλωνή, Δ., (2010) «Διερεύνηση της επίδρασης γεωργικών δραστηριοτήτων στην κατανομή θρεπτικών αλάτων σε παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον», Διατριβή Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, ΠΜΣ «Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον», Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.

Αντωνάκος, Α. (2012) Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) για Επίλυση Προβλημάτων Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας στο Νομό Κορινθίας, Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής.

Αντωνόπουλος Β. (2001). Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Προστασία των Υπόγειων Υδάτων στην Ευρώπη (2008). Η νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα – ενοποίηση του κοινοτικού ρυθμιστικού πλαισίου. Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

### **Διαδικτυακές πηγές.**

1. <https://ypen.gov.gr>
2. [www.groundwater.org](http://www.groundwater.org).