*ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ*

*ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ*

*Διπλωματική Εργασία*

# ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΙΖΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΥΡΩΤΑ: ΚΑΘΕΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

υπό

**ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ Χ. ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΙΝΑ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανικού Περιβάλλοντος

ΧΑΝΙΑ 2008

**Εγκρίθηκε από τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος εξεταστής (επιβλέπων)

Δρ Νικόλαος Νικολαΐδης

Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης

Δεύτερος Εξεταστής

Δρ Ουρανία Τζωράκη

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης

Τρίτος Εξεταστής

Δρ Δανιήλ Μωραΐτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης

# Ευχαριστίες

Πρώτα απ’ όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου καθώς και για τις περαιτέρω σημαντικές συμβουλές του. Επιπλέον θα ήθελα να τον ευχαριστήσω ξεχωριστά για την κατανόηση που έδειξε τις  τελευταίες πιεστικές εβδομάδες της προσπάθειάς μου, και για την βοήθεια του ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία μέσα στο επιθυμητό χρονοδιάγραμμα. Επίσης είμαι ευγνώμων στους Φωτεινή Σταμάτη, Ουρανία Τζωράκη, Άννα Ανδρουλάκη, Barbara Casentini για τις υποδείξεις τους. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον Δανιήλ Μωραΐτη για την πολύτιμη βοήθειά του, τις υποδείξεις του και ιδιαίτερα την υπομονή και συμπαράσταση του.

Ευχαριστώ τους σημαντικότερους ανθρώπους που γνώρισα τα τελευταία πέντε χρόνια, τους φίλους μου Παναγιώτη Δελήμπαση, Ανδρέα Καλλονιάτη, Θωμά Νταφούλη, Νικόλαο Τσώλη και ιδιαίτερα τους Κωνσταντίνο Καραμπουρνιώτη και Νικόλαο Χαλκιά για την συμπαράστασή τους και τις υποδείξεις τους κατά την διάρκεια των πειραμάτων.

Πάνω απ’ όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Χρήστο και Μαρία Κουτρουμπίνα για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα αδέρφια μου Βασίλειο και Πέτρο. Αφιερώνω αυτήν την εργασία στους γονείς μου.

Ευάγγελος Κουτρουμπίνας

# Περίληψη

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των αντιδράσεων αζώτου και φωσφόρου σε ιζήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα, στα πλαίσια της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης που πραγματοποιείται στην περιοχή. Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν κινητικά πειράματα για την μελέτη των μηχανισμών προσρόφησης και εκχύλισης των συγκεκριμένων ρύπων στα ιζήματα.

Στο Κεφάλαιο 1 της εργασίας παρουσιάζεται ο σκοπός της εργασίας και γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ και τους στόχους που αυτή θέτει. Ακόμα γίνεται περιληπτική παρουσίαση της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στην Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση καθώς επίσης και στα αποτελέσματα της μέχρι τώρα εφαρμογής της στην περιοχή. Ακόμα αναλύονται οι κύκλοι του φωσφόρου και του αζώτου στο έδαφος και παρουσιάζονται περιληπτικά οι ορίζοντες των εδαφών.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης και δίνονται στοιχεία για τη μορφολογία, την υδρολογία, την υδρογεωλογία, το κλίμα και τις περιβαλλοντικές πιέσεις. Ακόμα γίνεται αναφορά στην δειγματοληψία και παρουσιάζεται εκτενώς η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και μια συσχέτιση με τα ιζήματα.

Στο Κεφάλαιο 5 αναλύονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την διεξαγωγή των πειραμάτων, όσον αφορά την συμπεριφορά των ρύπων στα ιζήματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη επίδραση στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στα υδατικά οικοσυστήματα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Ένα από τα σημαντικότερα μέρη του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η υποβάθμιση των επιφανειακών νερών και ιδιαίτερα η υποβάθμιση της ποιότητας νερού των ποταμών. Οι συχνότερες αιτίες της υποβάθμισης αυτής είναι οι διάφορες σημειακές και μη πηγές ρύπανσης, όπως επίσης και η αυξανόμενη ζήτηση. Για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού και της οικολογικής ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων καθώς επίσης και των υδάτων της παράκτιας ζώνης η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 ή αλλιώς Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό (Water Framework Directive, WFD) «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων».

Η συγκεκριμένη οδηγία κρίνει απαραίτητη την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής και παράκτιας ζώνης καθώς και δράσεις αποκατάστασης. Στις δράσεις αποκατάστασης συμπεριλαμβάνονται και τεχνολογίες εξυγίανσης. Μέχρι σήμερα, λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένων και βιώσιμων σχεδίων διαχείρισης, οι περιβαλλοντικές τεχνολογίες εφαρμόζονταν σε μεμονωμένες θέσεις, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι επιπτώσεις τους σε μεγαλύτερη κλίμακα, και κυρίως σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Γίνεται λοιπόν εμφανές πως υπάρχει άμεση ανάγκη να ενσωματωθεί ο σχεδιασμός τεχνολογιών αποκατάστασης περιβάλλοντος με τα σχέδια διαχείρισης υδάτων λεκάνης απορροής και παράκτιας ζώνης (Νικολαΐδης Ν. κ.α., 2006).

Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες που αποσκοπούν στην αποκατάσταση υπόγειων υδάτων, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον όπως η αποκατάσταση της παρόχθιας ζώνης, η φυτοεξυγίανση και η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση. Ακόμα συμπεριλαμβάνονται τεχνολογίες που βασίζονται σε βιολογικές διεργασίες (bioremediation) όπως βιοαντιδραστήρες, bioventing και biosperging, τεχνολογίες που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες όπως διοχέτευση αέρα στη ρυπασμένη υπεδάφια περιοχή, τεχνολογίες ηλεκτρικού ρεύματος και τέλος τεχνολογίες φραγμάτων και διόδων. Η συνηθέστερη τεχνολογία είναι η άντληση και επεξεργασία, όπου το αντλούμενο νερό επεξεργάζεται με διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες.

Μια από τις τεχνολογίες που αφορούν στην αποκατάσταση υπόγειων υδάτων και που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση. Ο όρος Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση (Ε.Φ.Α.) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Environmental Protection Agency (EPA) των Η.Π.Α. και αναγνωρίσθηκε σαν τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων, στις περιπτώσεις που σαν τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση (Ε.Φ.Α.) μπορεί να είναι εφικτή όταν φυσικές διεργασίες, υπό κατάλληλες συνθήκες, μετατρέπουν συγκεκριμένους ρύπους στο έδαφος και στο νερό, σε προϊόντα τα οποία είναι είτε ακίνδυνα είτε ισχυρά ακινητοποιημένα και δεν αποτελούν πλέον απειλή για τον υδάτινο αποδέκτη (EPA, 2001). Η τεχνολογία αυτή έχει ευρεία αποδοχή στις Η.Π.Α., στην Ευρώπη όμως, μόλις πρόσφατα, έχει αρχίσει να προκαλεί το ενδιαφέρον (TNO-Nicole project, 1999).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των αντιδράσεων αζώτου και φωσφόρου σε ιζήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα στα πλαίσια της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης που εφαρμόζεται στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε πυρήνες έως και 50 εκατοστών για διερεύνηση των διεργασιών σε κάθετη κατεύθυνση. Γίνεται δηλαδή διερεύνηση της αλληλεπίδρασης του νερού και του εδάφους σε διαφορετικούς εδαφικούς ορίζοντες.

Η εφαρμογή της Ε.Φ.Α. γίνεται στα πλαίσια της ανάπτυξης διαχειριστικού σχεδίου για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και της παράκτιας ζώνης της περιοχής και αποτελεί μια από τις, φιλικές προς το περιβάλλον, τεχνολογίες που θα εφαρμοσθούν στην περιοχή. Η παρακολούθηση και η ποσοτικοποίηση της φυσικής ικανότητας της περιοχής να συγκρατεί και να μειώνει τους ρύπους σε συνδυασμό με την ορθολογική διαχείριση των υδάτων, θα οδηγήσει στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων για τις απαιτούμενες δράσεις που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης LIFE – ENVIRONMENT – LIFE05NV/GR/000245 EE “Environmental Friendly Technologies for Rural Development” (EnviFriendly).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## 2.1 Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στα πλαίσια της εφαρμογής της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης (Ε.Φ.Α.) που πραγματοποιείται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Κατά την Ε.Φ.Α. οι ρυπαντές μειώνονται φυσικά στο περιβάλλον χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η παρακολούθηση της φυσικής ικανότητας του περιβάλλοντος να μειώνει τα ρυπαντικά φορτία σε συνδυασμό με την ορθολογική διαχείριση των υδάτων, θα έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των δράσεων αποκατάστασης του περιβάλλοντος για την μείωση των ρυπαντικών φορτίων και την επίτευξη των αποδεκτών επιπέδων των ρυπαντών (www.envifriendly.tuc.gr).

Η Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση είναι μια τεχνολογία πρόσφατα αναγνωρισμένη, η οποία έχει εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις ρύπανσης εδαφών και υπόγειων υδάτων (Νικολαΐδης Ν., 2007). Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί έντονο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης ως τεχνολογία αποκατάστασης ή ως μέρος εφαρμογής στρατηγικών αποκατάστασης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημοσίευση ενός αριθμού κατευθυντηρίων, πρωτόκολλων και συστάσεων σχετικά με την εφαρμογή της. Από όλα τα δημοσιευμένα πρωτόκολλα και κατευθυντήριες είναι σαφές ότι για να θεωρηθεί η Ε.Φ.Α. ως τεχνολογία αποκατάστασης θα πρέπει:

1. να εξασφαλίζει την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος και
2. να είναι αποτελεσματική σε εύλογο χρονικό διάστημα (TNO-NICOLE, 1999)

Ο όρος Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από την υπηρεσία περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (US EPA) και αναγνωρίσθηκε ως τεχνολογία αποκατάστασης εδαφών και υπόγειων υδάτων, στις περιπτώσεις που σαν τεχνική εξυγίανσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί μηχανισμοί σε προσεκτικά ελεγχόμενες περιοχές. Ο ορισμός που δόθηκε στην Ε.Φ.Α. έχει αλλάξει αρκετές φορές, αφού με τη πάροδο του χρόνου, η γνώση για την τεχνολογία αυτή αυξάνεται.

Σύμφωνα με την EPA, η τεχνολογία της Ε.Φ.Α. είναι μια τεχνική εξυγίανσης υπογείων εδαφών και υδάτων που βασίζεται στην κατανόηση και ποσοτικοποίηση των φυσικών μηχανισμών που προστατεύουν το περιβάλλον και τους φυσικούς αποδέκτες από τη μη αποδεκτή και επικίνδυνη έκθεσή τους σε ρύπους. Υπό κατάλληλες συνθήκες, φυσικές διεργασίες έχουν την ικανότητα να μετατρέψουν συγκεκριμένους ρύπους που βρίσκονται στο υπόγειο έδαφος και στο νερό, σε προϊόντα τα οποία είναι είτε ακίνδυνα είτε ισχυρά ακινητοποιημένα και δεν αποτελούν πλέον απειλή για τον υδάτινο αποδέκτη.

Η τεχνολογία της Ε.Φ.Α. είναι μια τεχνολογία βασισμένη στη γνώση, στην κατανόηση, στην τεκμηρίωση και στη συνεχή παρακολούθηση των φυσικών μηχανισμών που οδηγούν στη συγκράτηση των ρύπων. Λανθασμένη κατανόηση των μηχανισμών αυτών ή ανεπαρκής παρακολούθηση και έλεγχός τους μπορεί να οδηγήσει σε μη σωστή εφαρμογή της (US-EPA, 2001).

Οι μηχανισμοί στους οποίους βασίζεται η φυσική αποκατάσταση περιλαμβάνουν μια ποικιλία φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών οι οποίες, χωρίς ανθρώπινη επέμβαση, ενεργούν και επιφέρουν την ελάττωση της μάζας, του όγκου, της τοξικότητας, της κινητικότητας ή της συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου στο έδαφος και το υπόγειο νερό. Οι διεργασίες αυτές είναι: βιοαποδόμηση, διασπορά, διάλυση, ρόφηση, εξάτμιση, ακτινενεργή καταστροφή, χημική ή βιολογική σταθεροποίηση, μετασχηματισμός ή καταστροφή του ρύπου. Τυπικά, οι διεργασίες της φυσικής αποκατάστασης συμβαίνουν σε όλες τις περιοχές, σε διαφορετικό όμως βαθμό αποτελεσματικότητας, ανάλογα με το είδος και τη συγκέντρωση του ρύπου και τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του νερού. Η φυσική αποκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει με μετατροπή των ρύπων σε λιγότερο τοξική μορφή μέσω διεργασιών όπως βιοαποδόμηση ή αβιοτικές μετατροπές, με μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων και με μείωση της κινητικότητας και διαθεσιμότητας μέσω της προσρόφησης του ρύπου στο έδαφος ή στα ιζήματα.

Όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν, οι διεργασίες της φυσικής αποκατάστασης μπορούν να είναι γρήγορα αποτελεσματικές. Ακολουθώντας τους απαραίτητους ελέγχους, η φυσική αποκατάσταση μπορεί να είναι πλήρως αποτελεσματική για την εξυγίανση κάποιων ρυπασμένων περιοχών, χωρίς τη βοήθεια επιπρόσθετων μέτρων εξυγίανσης. Μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξυγίανσης (US-EPA, 1999).

Όπως κάθε άλλη τεχνική εξυγίανσης, η Ε.Φ.Α. παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή της. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|---|---|
| • Φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία<br>• Παραγωγή λιγότερων αποβλήτων<br>• Μείωση της πιθανότητας μεταφοράς της ρύπανσης σε άλλη τοποθεσία<br>• Μείωση κινδύνου ανθρώπινης έκθεσης στους ρύπους<br>• Δυνατότητα αποκατάστασης ολόκληρης περιοχής ή μέρους αυτής<br>• Εφαρμογή σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξυγίανσης<br>• Χαμηλότερο ολικό κόστος εξυγίανσης | • Απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την πλήρη αποκατάσταση μιας περιοχής συγκριτικά με άλλες δράσεις αποκατάστασης<br>• Απαιτείται λεπτομερής χαρακτηρισμός της περιοχής, που είναι συνήθως περίπλοκος και δαπανηρός<br>• Απαιτείται εντατικό και συνεχές πρόγραμμα παρακολούθησης της περιοχής |

**Πίνακας 2.1** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Ε.Φ.Α.

Για την εκτίμηση αν μπορεί ή όχι να εφαρμοσθεί η ΕΦΑ για κάποιο ρύπο αλλά και με ποιο τρόπο, είναι χρήσιμη η δημιουργία πρωτοκόλλων τα οποία θα δίνουν τις κατευθυντήριες γραμμές και τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Στις ΗΠΑ, εξαιτίας της μακροχρόνιας έρευνας πάνω στην ΕΦΑ, υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα για τους ρύπους για τους οποίους έχει εφαρμοσθεί. Η EPA προτείνει την προσέγγιση, των αποδεικτικών στοιχείων (*lines of evidence*), που συλλογικά παρέχουν μια βάση αξιολόγησης της λειτουργικότητας και αποτελεσματικότητας της ΕΦΑ. Αυτά περιγράφονται ως εξής (US-EPA, 1999):

- Ιστορικά χημικά ή/και βιολογικά δεδομένα ή δεδομένα πεδίου για τους υπό μελέτη ρύπους τα οποία καταδεικνύουν σαφείς και αξιόπιστες ενδείξεις μείωσης της μάζας, της συγκέντρωσης ή/και της τοξικότητας στο χώρο σε σχέση με την πηγή ρύπανσης *(Primary line: documented loss of contaminants)*.

- Υδρολογικά, γεωχημικά, βιολογικά ή ορυκτολογικά στοιχεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να δείξουν έμμεσα ότι ορισμένοι τύποι διεργασιών φυσικής συγκράτησης μπορεί να λειτουργούν στην περιοχή και να προσδιορίσουν το ρυθμό με τον οποίο οι διεργασίες αυτές μπορούν να μειώσουν τη συγκέντρωση των ρυπαντών στα επιθυμητά επίπεδα. Συνήθως στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται μοντέλα. Με τη μοντελοποίηση μπορούν να προσομοιωθούν οι μηχανισμοί που οδηγούν στη φυσική συγκράτηση των ρύπων, να υπολογιστούν οι ρυθμοί με τους οποίους λειτουργούν οι μηχανισμοί αυτοί και να αναλυθούν ή να προβλεφθούν πειραματικά αποτελέσματα *(Secondary line: documented NA process)*.
- Στοιχεία από το πεδίο ή από εργαστηριακές μελέτες του μικρόκοσμου της περιοχής, οι οποίες έχουν γίνει σε συγκεκριμένο ρυπασμένο έδαφος της περιοχής, τα οποία δείχνουν άμεσα ότι λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένες φυσικές διεργασίες οι οποίες έχουν την ικανότητα να διασπούν ή να μειώνουν τον κίνδυνο έκθεσης στους υπό μελέτη ρυπαντές *(Third line: documented microbial activity)*.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τρεις τύποι αποδεικτικών στοιχείων είναι αλληλοσυμπληρούμενοι και δεν αποτελούν στάδια εφαρμογής της ΕΦΑ, απλά προσφέρουν κατευθυντήριες για τον τρόπο συλλογής και αξιοποίησης των απαιτούμενων δεδομένων/εργαλείων προκειμένου να διαμορφωθεί η μεθοδολογία για να γίνει η αξιολόγηση της ΕΦΑ ως τεχνολογία αποκατάστασης. Έτσι, π.χ. η μοντελοποίηση μπορεί να είναι χρήσιμη σε διάφορα στάδια της εφαρμογής της ΕΦΑ. Επίσης, η συλλογή δεδομένων απαιτεί μία σειρά ενεργειών η οποία είναι, στο μεγαλύτερο μέρος, κοινή, είτε πρόκειται για δεδομένα που αφορούν συγκεντρώσεις ρυπαντών στο νερό (primary evidence) είτε σε ρυπασμένο έδαφος (secondary evidence).

Τέλος, για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, απαιτείται πρόγραμμα παρακολούθησης της περιοχής. Το πρόγραμμα παρακολούθησης, συχνά, είναι μέγιστης σημασίας, αφού πάντα υπάρχει η πιθανότητα να αυξηθεί η ρύπανση εξαιτίας μετακίνησης ρύπων ή λόγω άλλων αβεβαιοτήτων. Η συχνότητα παρακολούθησης πρέπει να είναι επαρκής και να επιτρέπει την ανίχνευση των πιθανών αλλαγών στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η παρακολούθηση πρέπει να εξασφαλίζει τη δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού των διεργασιών αποκατάστασης και πώς αυτοί αλλάζουν με το χρόνο. Το πρόγραμμα παρακολούθησης θα πρέπει να συνεχιστεί, μέχρι να επιτευχθούν πλήρως οι στόχοι εξυγίανσης και να διασφαλισθεί ότι η ρύπανση στην περιοχή δεν αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (US-EPA, 1999).

Παρακάτω παρατίθενται τα συμπεράσματα του 1$^{ου}$ σταδίου εφαρμογής της ελεγχόμενης φυσικής αποκατάστασης στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα.

Από τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών επιφανειακών και υπογείων υδάτων, στο πλαίσιο εφαρμογής του πρώτου σταδίου της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, φάνηκε ότι ορισμένοι ρυπαντές σημειώνουν μέγιστες συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά ενώ άλλοι στα υπόγεια. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συγκριτική αξιολόγηση υποδεικνύει τις περιπτώσεις εμφάνισης μέγιστων τιμών και δε συνδέεται με την εκτίμηση της χημικής ποιότητας των υδάτων, η οποία βασίζεται σε διαφορετικά πρότυπα στην περίπτωση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων.

Οι τιμές της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου στο υπόγειο νερό είναι υψηλότερες απ' ότι στο επιφανειακό. Οι πιο αυξημένες τιμές παρατηρούνται στα νερά των πηγαδιών και μετά στις γεωτρήσεις. Στα επιφανειακά ύδατα, επίσης, εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρώδους αζώτου ενώ αμμωνιακού αζώτου στα πηγάδια και μετά στα επιφανειακά ύδατα. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις των φωσφορικών, οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις και στα επιφανειακά ύδατα ενώ στις πηγές και στα πηγάδια οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες.

Οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών για τα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται σε φυσιολογικές τιμές και δεν υποδηλώνουν κάποια ένδειξη ρύπανσης. Όπως και στην περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, και στα υπόγεια οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες αυξημένες τιμές αγωγιμότητας που παρατηρήθηκαν στις πηγές στο χωριό Καρυές, 1.140 μS/cm και στη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, 1.845μS/cm. Οι παραπάνω αυξημένες τιμές μπορεί να οφείλονται είτε σε ρύπανση των νερών είτε στη γεωλογία της περιοχής.

Στα υπόγεια ύδατα, δεν εμφανίζονται υψηλές τιμές σε φωσφορικά, νιτρώδες και αμμωνιακό άζωτο. Οι τιμές του νιτρικού αζώτου εμφανίζουν σχετικά υψηλές τιμές κυρίως στα πηγάδια στην περιοχή της Ριβιώτισσας και της Σκούρας, με μέσο όρο 9mg/L. Τα πηγάδια στη Ριβιώτισσα εμφανίζουν πιο αυξημένες τιμές. Οι μέσες συγκεντρώσεις στις γεωτρήσεις κυμαίνονται από 1,3 έως 4,8 mg/L, με εξαίρεση τη γεώτρηση στη Γλυκόβρυση, ανατολικά της Σκάλας, η οποία όλες τις φορές που πάρθηκε δείγμα εμφάνισε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε νιτρικά.

Σημαντικά προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν τα υγρά απόβλητα των χυμοποιίων, των ελαιουργείων και τα αστικά υγρά λύματα, τα οποία διατίθενται ανεπεξέργαστα στον Ευρώτα ή σε παραπόταμούς του. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για την αξιολόγηση των σημειακών πηγών ρύπανσης προέκυψε ότι η εκροή του βιολογικού καθαρισμού προκαλεί μείωση στην ποιότητα των επιφανειακών υδάτων του Ευρώτα, κυρίως λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των φωσφορικών, νιτρικών και του COD. Για την περίπτωση της απόρριψης υγρών αποβλήτων ελαιουργείου διαφάνηκε ότι ο κατσίγαρος έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο, ακόμη και όταν έχει υποστεί επεξεργασία με υδράσβεστο με αποτέλεσμα να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου τα απόβλητα ελαιουργείου να διατίθενται σε παραποτάμους, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της ποιότητάς τους.

Παρόλα τα προβλήματα ρύπανσης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα, οι μετρήσεις και οι πειραματικές αναλύσεις στα δείγματα υπόγειου και επιφανειακού νερού έδειξαν ότι υπάρχουν μηχανισμοί οι οποίοι μειώνουν τη συγκέντρωση των ρύπων, από την πηγή ρύπανσης και ακολουθώντας την πορεία του νερού. Βρέθηκε δηλαδή ότι στην περιοχή λειτουργούν μηχανισμοί φυσικής αποκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, κατά μήκος του ποταμού Ευρώτα υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί αποκατάστασης, γιατί παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (όπως οικισμοί, ελαιουργεία και καλλιέργειες) που θα έπρεπε να το επιβαρύνουν προσθετικά, καθώς αυτό διέρχεται από τα κατά μήκος σημεία, στις εκβολές παρατηρείται μείωση των ρυπαντικών φορτιών. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τα υπόγεια ύδατα όπου διαφάνηκε ότι υπάρχει μείωση των ρύπων, κατά μήκος της ροής των υπογείων υδάτων.

Από την αξιολόγηση της χημικής ποιότητας διαπιστώθηκε ότι τα υπό-μελέτη επιφανειακά υδάτινα σώματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα χαρακτηρίζονται, σε ποσοστό 87% του συνολικού μήκος των εξετασθέντων επιφανειακών υδάτων, σε καλή χημική κατάσταση και ότι όλα τα εξετασθέντα υπόγεια υδάτινα σώματα είναι σε καλή χημική κατάσταση.

Συνεπώς, η εφαρμογή της Ελεγχόμενης Φυσικής Αποκατάστασης σε συνδυασμό με σωστή διαχείριση των υδάτων μπορεί να οδηγήσει στη βέλτιστη λήψη των απαιτούμενων δράσεων έτσι ώστε να επιτευχθούν αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης. Η εύρεση και η ποσοτικοποίηση των μηχανισμών αποκατάστασης των ρύπων στην περιοχή θα βοηθήσει στη λήψη μόνο των απαραίτητων μέτρων για την εξυγίανση της περιοχής (Βαλτά Α., 2008).

## 2.2 Κύκλος Φωσφόρου στο έδαφος

Κύκλο του φωσφόρου ονομάζουμε την κυκλική μεταφορά του φωσφόρου από το έδαφος και τα φωσφορικά πετρώματα στα φυτά και τα ζώα. Η παραγωγή πολλών οικοσυστημάτων ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από το φώσφορο, γι’ αυτό και θεωρείται ο μεγάλος ρυθμιστής των άλλων βιογεωχημικών κύκλων. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν το φώσφορο ως τον αδύνατο κρίκο στην αλυσίδα της ζωής πάνω στη γη, διότι ο κύκλος του είναι σχετικά ατελής και ανοιχτός.

Όλο το απόθεμα του φωσφόρου περιέχεται στη λιθόσφαιρα και εισέρχεται στην κυκλοφορία της βιόσφαιρας με την απόπλυση της επιφάνειας του εδάφους. Μέσω της ροής του νερού φτάνει στα χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα, απορροφάται από τα φυτά και στη συνέχεια περνά μέσα από τις τροφικές αλυσίδες. Όπως και στους άλλους κύκλους, οι διάφοροι αποσυνθέτες στο έδαφος ή στο νερό διασπούν τη νεκρή οργανική ύλη και παράγουν ανόργανο φώσφορο διαθέσιμο για τα φυτά. Χρησιμοποιείται από τους παραγωγικούς οργανισμούς με την μορφή, κατά κανόνα, των διαλυτών ορθοφωσφορικών. Η μετατροπή αδιάλυτων ενώσεών του σε ορθοφωσφορικά πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς. Η αποσύνθεση των νεκρών οργανισμών και των απορριμμάτων τους, αποδίδει στο περιβάλλον το φώσφορο με τη μορφή των ορθοφωσφορικών, τα οποία όμως εύκολα σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις με ιόντα ασβεστίου και αργιλίου, πολύ συνηθισμένα στο έδαφος.Η ανακύκλωση είναι σχεδόν πλήρης στα χερσαία οικοσυστήματα, όπου οι σκελετοί των νεκρών ζώων αποσυντίθενται και ο φώσφορος που περιέχουν γίνεται εκ νέου εκμεταλλεύσιμος (Χατζημπίρος Κ., 2001).

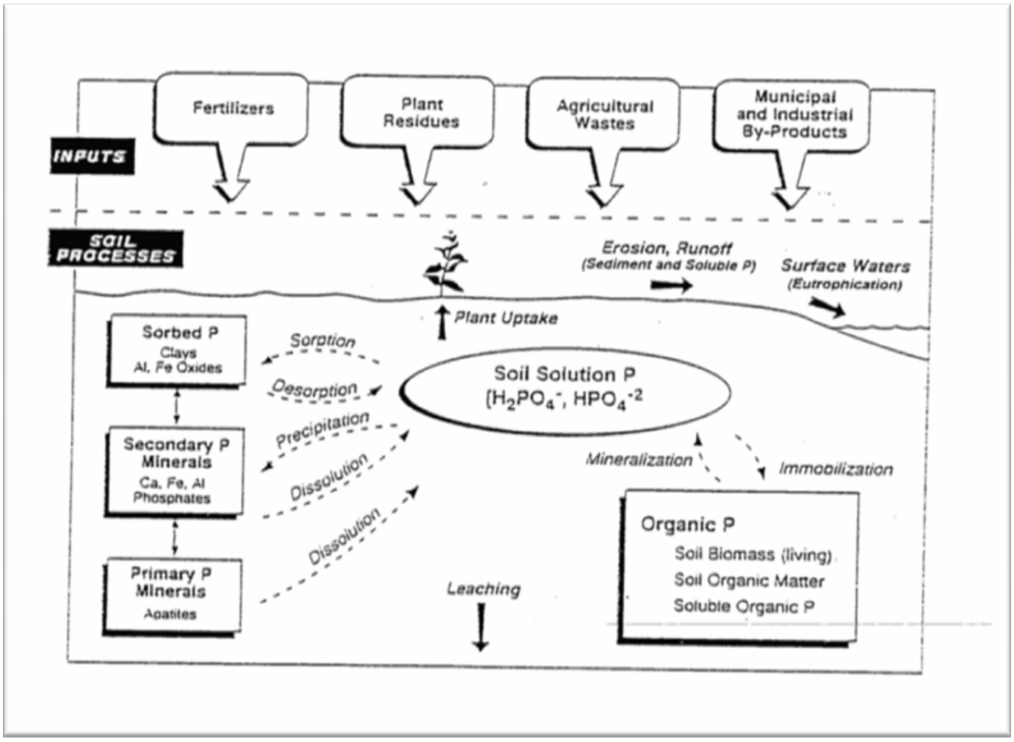
Η εισροή φωσφόρου στο έδαφος πραγματοποιείται κυρίως από την εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων και οργανικών πηγών οι οποίες περιέχουν φώσφορο. Ακόμα, μικρότερες ποσότητες μπορούν να προστεθούν λόγω της απόθεσης από την ατμόσφαιρα και της διεργασίας της ιζηματογένεσης. Ο εδαφικός φώσφορος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις μορφές: διαλυτός, ασταθής και σταθερός φώσφορος. Ο κύκλος του φωσφόρου μπορεί να απλοποιηθεί στην εξής σχέση:

Διαλυτός φώσφορος ↔ ασταθής φώσφορος ↔ σταθερός φώσφορος

Ο διαλυτός φώσφορος καταλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό του συνολικού στο έδαφος, αλλά είναι το κλάσμα που μπορεί απορροφηθεί από τα φυτά. Ο βιολογικά δεσμευμένος φώσφορος στους ιστούς των φυτών και των ζώων, μετά το θάνατό τους, μέσω της αποσύνθεσης επιστρέφει στο έδαφος. Σε περίπτωση μεταφοράς του με την επιφανειακή απορροή των υδάτων, μπορεί να οδηγήσει σε άμεση διέγερση των υδρόβιων οργανισμών.

Ο ασταθής εδαφικός φώσφορος εμφανίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με τον διαλυτό, αλλά είναι και αυτός ένα μικρό ποσοστό του συνόλου του εδαφικού φωσφόρου. Δεν προσροφάται εύκολα από το έδαφος και μπορεί να μεταβεί στη διαλυτή φάση σχετικά γρήγορα ως αναπληρωτής του διαλυτού φωσφόρου. Ένα μέρος του συγκρατείται ισχυρά από τον άργιλο που υπάρχει στο έδαφος και έτσι ένα ποσοστό από το φώσφορο παραμένει και στο έδαφος.

Ο σταθερός φώσφορος βρίσκεται σε μη διαθέσιμη μορφή για τα φυτά και αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού φωσφόρου. Κατά την κυκλική αυτή διαδικασία λαμβάνει χώρα έκπλυση, όπου ο φώσφορος μεταφέρεται από την ξηρά στη θάλασσα και έτσι χάνεται από τα χερσαία οικοσυστήματα. Η βαθμιαία απώλεια του φωσφόρου από τα οικοσυστήματα αντισταθμίζεται πολύ αργά στη φύση, και πραγματοποιείται με την απελευθέρωσή του από τα φωσφορικά πετρώματα με χημικές αντιδράσεις, οι οποίες τον μετατρέπουν εν τέλει σε ασταθή και διαλυτό φώσφορο. Αυτό γίνεται κυρίως με τη διαδικασία της διάβρωσης και της αποσάθρωσης και αυξάνεται με την ηφαιστειακή δράση. Η μεγαλύτερη ποσότητα σταθερού φωσφόρου δεν θα μετασχηματιστεί ποτέ και θα παραμείνει στην σταθερή μορφή επ’ αόριστον. Ο σταθερός και ασταθής φώσφορος αναπαριστούν ανόργανα και οργανικά κλάσματα. Ο οργανικός φώσφορος μέσω των διεργασιών της ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης που είναι παρόμοιες με αυτές του κύκλου του αζώτου, μετατρέπεται στην ανόργανη μορφή $H_2PO_4^-$/ $HPO_4^{2-}$ (Samuel L. Tisdale et al, 1993).




**Εικόνα 2.1** Αναπαράσταση του κύκλου του φωσφόρου

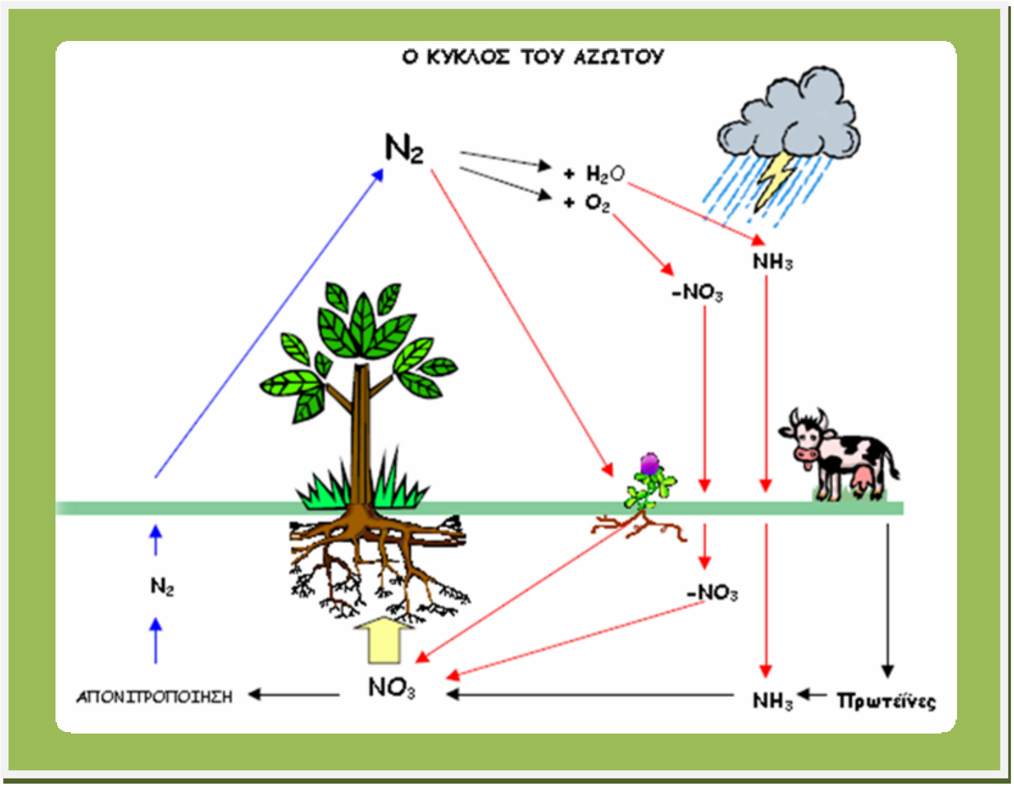
Ο φώσφορος φαίνεται να αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα σε περισσότερες περιπτώσεις από κάθε άλλο στοιχείο. Μία αιτία είναι η ευκολία σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων, που παρεμποδίζει την απόληψή του από τα φυτά και την μεταφορά του με τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Μία άλλη αιτία είναι ότι δεν σχηματίζει στο φυσικό περιβάλλον αέριες ενώσεις, το οποίο του στερεί την δυνατότητα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

## 2.3 Κύκλος Αζώτου στο έδαφος

Το άζωτο (N) είναι το συχνότερο ελλιπές θρεπτικό συστατικό στις καλλιέργειες, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο για τις περισσότερες από αυτές, εκτός αυτών των ελλοβόκαρπων φυτών (οσπρίων). Η κατανόηση της συμπεριφοράς του αζώτου στο έδαφος είναι σημαντική για την μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής και αποδοτικότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα τις επιδράσεις της γονιμοποίησης του αζώτου στο περιβάλλον. Πολλές πηγές αζώτου είναι διαθέσιμες για τον εμπλουτισμό των καλλιεργειών. Σε αντίθεση με το ανόργανο, το οργανικό άζωτο, το οποίο προέρχεται από κοπριά ζώων και άλλα απορρίμματα αλλά και από την παραγωγή μορίων αζώτου ($N_2$) από καλλιέργειες ελλοβόκαρπων φυτών, μπορούν να εμπλουτίσουν με αρκετό άζωτο για βελτιστοποίηση των καλλιεργειών.

Η βασική πηγή αζώτου που χρησιμοποιείται από τα φυτά, είναι το αέριο άζωτο, το οποίο αποτελεί το 78% της ατμόσφαιρας της Γης. Δυστυχώς τα ανώτερα φυτά δεν μπορούν να μεταβολίσουν απευθείας το άζωτο σε πρωτεΐνη. Το αέριο άζωτο θα πρέπει αρχικά να μετατραπεί σε κατάλληλη μορφή για τα φυτά, με μία από τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Δέσμευση από μικροοργανισμούς, οι οποίοι ζουν συμβιωτικά στις ρίζες ελλοβόκαρπων φυτών (οσπρίων) και ορισμένων άλλων φυτών
- Δέσμευση από ελεύθερους ή μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς
- Δέσμευση σαν οξείδια του αζώτου από ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις
- Δέσμευση ως $NH_3$, $NO_3^-$, ή $CN_2^{2-}$ από συνθετικά λιπάσματα




**Εικόνα 2.2** Κύκλος του αζώτου [6]

Η απεριόριστη προμήθεια ατμοσφαιρικού αζώτου βρίσκεται σε ισορροπία με τις διάφορες δεσμευμένες μορφές του εδάφους. Καθώς τα μόρια του αζώτου δεσμεύονται, με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, πολυάριθμες μικροβιακές και χημικές διαδικασίες απελευθερώνουν άζωτο στην ατμόσφαιρα. Ο κύκλος του αζώτου στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα περιλαμβάνει πολλές μετατροπές αυτού μεταξύ ανόργανης και οργανικής μορφής. Ο κύκλος του αζώτου μπορεί να διαχωριστεί στις εισροές του αζώτου, στις εκροές του και στον κύκλο του στο έδαφος, όπου ούτε απορροφάται ούτε χάνεται. Εκτός της δέσμευσης από την βιομηχανία και την καύση, όλες οι μετατροπές τα αζώτου συντελούνται φυσικά. Παρόλα αυτά ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει πολλές από αυτές τις διαδικασίες μέσω δραστηριοτήτων διαχείρισης εδαφών και καλλιεργειών.

### ***<u>2.3.1 Αζωτοδέσμευση</u>***

Βιολογική αζωτοδέσμευση

Αζωτοδέσμευση από μικροοργανισμούς, οι οποίοι ζουν συμβιωτικά στο ριζικό σύστημα των ελλοβόρων και συγκεκριμένων μη-ελλοβόρων φυτών:

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής:

$$N_2 + 6\ e- + 8H+ \ ^{\text{Nitrogenase}}\ _{+\text{Fe, Mo-}}\rightarrow 2\ NH_3 + H_2$$

Μη βιολογική αζωτοδέσμευση

- Αζωτοδέσμευση ως οξείδια του αζώτου από ηλεκτρικές εκκενώσεις στην ατμόσφαιρα:
  κεραυνός + $N_2$ + $O_2$ → 2 NO (οξείδια του αζώτου)
- Αζωτοδέσμευση ως $NH_3$, $NO_3^-$ , ή $CN_2^{2-}$ από την παραγωγή συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων

### ***<u>2.3.2 Μορφές Αζώτου στο έδαφος</u>***

Η αναλογία αζώτου στο έδαφος κυμαίνεται από λιγότερο από 0,02% στο υπέδαφος σε περισσότερο από 2,5% στη τύρφη. Το άζωτο στο έδαφος απαντάται ως ανόργανο και οργανικό, με το 95% ή περισσότερο αυτού που βρίσκεται στα επιφανειακά εδάφη να είναι οργανικό.

Ανόργανο Άζωτο

Οι ανόργανες μορφές του αζώτου που βρίσκεται στο έδαφος περιλαμβάνουν αμμώνιο ($NH_4^+$), νιτρώδη ($NO_2^-$), νιτρικά ($NO_3^-$), νιτρώδες οξείδιο ($N_2O$), νιτρικό οξείδιο (NO) και το ατμοσφαιρικό άζωτο ($N_2$), το οποίο είναι αδρανές εκτός από την χρησιμοποίηση του από ριζόβια και άλλους αζωτοδεσμευτικούς μικροοργανισμούς.

Όσον αφορά την γονιμότητα του εδάφους, τα αμμώνιο, νιτρώδη και νιτρικά είναι τα πιο σημαντικά και παράγονται από αερόβια αποσύνθεση της εδαφικής οργανικής ύλης ή από τις προσθήκες αζωτούχων λιπασμάτων. Αυτές οι τρεις μορφές συνήθως αντιπροσωπεύουν το 2 με 5% του ολικού αζώτου που υπάρχει στο έδαφος. Το νιτρώδες και το νιτρικό οξείδιο είναι σημαντικές μορφές αζώτου που χάνονται μέσω της απονιτροποίησης.

Οργανικό άζωτο

Το οργανικό άζωτο απαντάται σαν πρωτεΐνες, αμινοξέα, αμινοσάκχαρα και άλλα σύμπλοκα αζώτου. Η αναλογία του αζώτου στα διάφορα αυτά κλάσματα είναι η εξής:

- Δεσμευμένα αμινοξέα, 20 με 40%
- Αμινοσάκχαρα, 5 με 10%
- Παράγωγα πυρίνης και πυριμιδίνης, 1% ή λιγότερο
- Πολύ λίγα είναι γνωστά για τη χημική φύση του υπόλοιπου 50% του οργανικού αζώτου που δεν περιέχεται στα κλάσματα αυτά

Οι πρωτεΐνες απαντώνται συνήθως σε συνδυασμό με πηλό, λιγνίνη και άλλα υλικά ανθεκτικά στην αποσύνθεση. Αναλυτικές τεχνικές είναι πλέον διαθέσιμες για την απομόνωση ελεύθερων αμινοξέων από εδάφη που δεν βρίσκονται σε πεπτιδικούς δεσμούς ή σε συνδυασμό με υψηλού μοριακού βάρους οργανικά πολυμερή, πηλό ή λιγνίνη. Η καταλληλότητα αυτών των υποστρωμάτων για βιολογική οξείδωση υποδηλώνει πως δεν συσσωρευτούν σε εδάφη, τα οποία μπορεί να είναι σημαντική πηγή αμμωνίου. Οι ποσότητες ελεύθερων αμινοξέων στα εδάφη είναι μικρές, σε σχέση με άλλες μορφές.

### *2.3.3 Ανοργανοποίηση του αζώτου (Mineralization)*

Η ανοργανοποίηση του αζώτου συνίσταται στην μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμώνιο ($NH_4$). Αυτή η διεργασία περιλαμβάνει δύο αντιδράσεις, την αμινοποίηση (aminization) και την αμμωνιοποίηση (ammonification), η οποία λαμβάνει χώρα μέσω της δραστηριότητας των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.

Η ανοργανοποίηση αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και εμπλουτίζεται με επαρκή, αλλά όχι υπερβολική, υγρασία στο έδαφος και καλή παροχή οξυγόνου. Η αποσύνθεση συνεχίζεται κάτω από συνθήκες κορεσμού του εδάφους σε νερό, αλλά σε μικρότερο ρυθμό χωρίς να μπορεί να ολοκληρωθεί. Αερόβιες και σε μικρότερο βαθμό αναερόβιες συνθήκες, αναπνοής απελευθερώνουν το περιεχόμενο άζωτο στην μορφή του αμμωνίου ($NH_4$).

Αμινοποίηση (Aminization)

Διάφορα ετεροτροφικά βακτήρια και μύκητες είναι υπεύθυνα για ένα ή περισσότερα βήματα στις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την διαδικασία της αποσύνθεσης. Τα βακτήρια κυριαρχούν στην αποσύνθεση των πρωτεϊνών στα ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη, με μικρή εμπλοκή και των μυκήτων, ενώ οι τελευταίοι κυριαρχούν στα όξινα εδάφη. Τα τελικά προϊόντα των δραστηριοτήτων της μίας ομάδας εφοδιάζουν το υπόστρωμα για το άλλο, κ.ο.κ, έως ότου το υλικό έχει αποσυντεθεί. Ένα από τα τελικά στάδια είναι η αποσύνθεση των πρωτεϊνών και η απελευθέρωση αμινών, αμινοξέων και ουρίας.

Αμμωνιοποίηση (Ammonification)

Οι αμίνες και τα αμινοξέα που παράγονται στο στάδιο της αμινοποίησης του οργανικού αζώτου, αποσυντίθενται από άλλους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, με ταυτόχρονη απελευθέρωση $NH_4$. Αυτό το στάδιο ονομάζεται αμμωνιοποίηση και σχηματικά έχει ως εξής:

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \rightarrow NH_3 + R\text{-}OH + \text{ενέργεια}$$

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

### ***2.3.4 Ακινητοποίηση του αζώτου (Immobilization)***

Η διαδικασία της ακινητοποίησης του αζώτου είναι η μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικό και είναι ουσιαστικά η αντίθετη διαδικασία της ανοργανοποίησης. Αν η αποσυντιθέμενη οργανική ύλη περιέχει μικρές ποσότητες αζώτου σε σύγκριση με τον άνθρακα, οι μικροοργανισμοί θα ακινητοποιήσουν την $NH_4$ και $NO_3$ στο έδαφος. Τα μικρόβια χρειάζονται άζωτο σε αναλογία C:N περίπου 8:1 συνεπώς το ανόργανο άζωτο στο έδαφος χρησιμοποιείται από τον ραγδαία αναπτυσσόμενο πληθυσμό. Η ακινητοποίηση του αζώτου κατά την διάρκεια της αποσύνθεσης των γεωργικών υπολειμμάτων, μπορεί να μειώσει την συγκέντρωση της $NH_4$ ή $NO_3$ στο έδαφος σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους συναγωνίζονται πολύ αποτελεσματικά με τα φυτά για την $NH_4$ ή $NO_3$ κατά την διάρκεια της ακινητοποίησης και τα φυτά εύκολα μπορεί να μείνουν ελλιπή σε άζωτο.

### ***2.3.5 Νιτροποίηση (Nitrification)***

Κάποιες ποσότητες του $NH_4$ που απελευθερώνονται κατά την διάρκεια της ανοργανοποίησης του οργανικού αζώτου μετατρέπονται σε νιτρικά ($NO_3$). Η διεργασία αυτή ονομάζεται νιτροποίηση και είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε δύο στάδια, αρχικά η $NH_4$ μετατρέπεται σε $NO_2$ και στην συνέχεια σε $NO_3$. Η βιολογική οξείδωση της $NH_4$ σε $NO_3$ παρουσιάζεται παρακάτω σχηματικά

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H \text{ (παρουσιά Nitrosomonas)}$$

Στην δεύτερη αντίδραση που ακολουθεί το $NO_2$ οξείδωνεται σε $NO_3$

$2NO_2^-\ O_2 \rightarrow 2NO_3^-$ ( παρουσία Nitrobacter)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία της νιτροποίησης στα εδάφη είναι:

- Η παροχή $NH_4$
- Πληθυσμός των νιτροποιητικών οργανισμών
- pH του εδάφους
- Αερισμός του εδάφους

- Υγρασία του εδάφους
- Θερμοκρασία

***2.3.6 Απώλειες αζώτου σε αέρια μορφή***

Οι μεγαλύτερες απώλειες του αζώτου στο έδαφος πραγματοποιούνται είτε λόγω των γεωργικών δραστηριοτήτων είτε λόγω της αποστράγγισης. Παρόλα αυτά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ανόργανα ιόντα αζώτου μπορούν να μετατραπούν σε αέρια και να επιστρέψουν στην ατμόσφαιρα. Οι σημαντικότερες διεργασίες αυτής της μορφής είναι η απονιτροποίηση και η αεριοποίηση του $NH_3$.

***2.3.7 Απονιτροποίηση (Denitrification)***

Όταν τα εδάφη είναι κορεσμένα από νερό, υπάρχει εμπόδιση του οξυγόνου με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται αναερόβια αποσύνθεση. Μερικοί αναερόβιοι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να εξασφαλίζουν το οξυγόνο τους από το $NO_2$ και $NO_3$ με ταυτόχρονη απελευθέρωση αζώτου και οξειδίων του αζώτου. Η πιο πιθανή βιοχημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι:

$2HNO_3 \rightarrow 2HNO_2 \rightarrow 2NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

Η πιθανότητα έναρξης της διαδικασίας της απονιτροποίησης στα εδάφη είναι πολύ μεγάλη, αλλά πρέπει να υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες για να αλλάξουν οι αεροβικές μεταβολικές συνήθειες των οργανισμών σε απονιτροποιητικές, περιλαμβάνοντας την χρήση $NO_3$ σαν δέκτη ηλεκτρονίων απουσία οξυγόνου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απονιτροποίηση είναι οι εξής:

- Αποσυνθέσιμη οργανική ύλη
- Περιεχόμενο του εδάφους σε νερό
- Αερισμός
- Ποσότητα $NO_3^-$ έδαφος
- Εδαφικό pH
- Θερμοκρασία
- Παρουσία φυτών

### *2.3.8 Αεριοποίηση του $NH_3$ (Volatilization)*

Η αεριοποίηση του $NH_3$ είναι ένας μηχανισμός απώλειας αζώτου από το έδαφος που πραγματοποιείται με φυσικό τρόπο. Η αεριοποίηση του $NH_3$ εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα της αμμωνίας ($NH_3$) και του αμμωνίου ($NH_4$) στο έδαφος. Ακόμα εξαρτάται το pH του εδάφους.

$$NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+ \quad (pK_a\ 9.3)$$

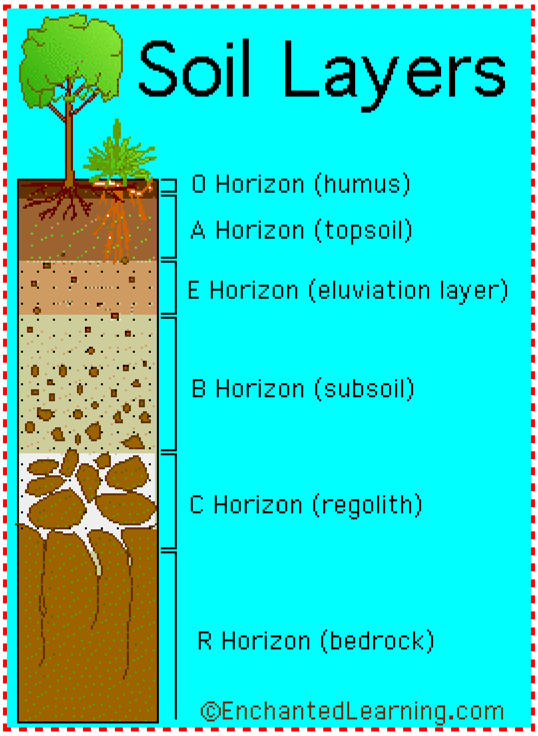
Μεγάλες ποσότητες $NH_3$ εμφανίζονται σε pH > 7.5, συνεπώς οι απώλειες του $NH_3$ ευνοούνται από υψηλές τιμές pH ή από αντιδράσεις που περιστασιακά το αυξάνουν. Αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους $45^oC$ και συνθήκες υψηλής περιεκτικότητας υγρασίας στο έδαφος ευνοούν την αεριοποίηση (Samuel L. Tisdale et al, 1993).

### *2.4 Εδαφικά στρώματα (Ορίζοντες Εδαφών)*

Τα εδάφη αναπτύσσονται σε χαρακτηριστικά στρώματα, (ορίζοντες) που διαφέρουν το ένα από το άλλο και από το υποκείμενο μητρικό πέτρωμα, στις ιδιότητες τους και την σύσταση. Αν αφαιρέσουμε τις διαφορές στο χρώμα και στην υφή, που βοηθούν στην αναγνώριση στο ύπαιθρο, οι ιδιότητες μεγαλύτερης σημασίας που επηρεάζουν τη γεωχημική διασπορά των στοιχείων είναι το pH, το περιεχόμενο της οργανικής ύλης, ο τύπος του αργιλικού ορυκτού και η παραγένεση, και το ποσό των οξειδίων του Fe-Al-Mn. Τα ιδιαίτερα στρώματα αναφέρονται σαν εδαφικοί ορίζοντες και μπορεί να κυμαίνονται σε πάχος από λίγα εκατοστά έως 1 μέτρο ή περισσότερο. Όλοι αυτοί οι ορίζοντες αποτελούν το εδαφικό προφίλ. Αυτό είναι κυρίως το αποτέλεσμα κατακόρυφης (άνω και κάτω) κίνησης του υλικού (εν διαλύσει και εν αιωρήσει), που συνοδεύεται από μία σύνθετη σειρά χημικών αντιδράσεων, πολλές από τις οποίες είναι οργανικής προέλευσης. Το νερό είναι το ουσιώδες μέσο στο οποίο λαμβάνει χώρα η μεταφορά και η ανασύνταξη αυτή.

Τα εδαφικά προφίλ ποικίλουν στον σχηματισμό τους σύμφωνα με το γενετικό και γεωγραφικό περιβάλλον. Εντούτοις πολλά καλά αναπτυγμένα προφίλ μπορεί να διαιρεθούν σε τέσσερις κύριους ορίζοντες. Από την επιφάνεια προς τα κάτω, οι ορίζοντες αναγνωρίζονται με τα γράμματα A, B, C και R. Οι ορίζοντες A και B μαζί συνιστούν το «αληθές έδαφος», ενώ ο ορίζοντας C είναι το μερικώς αποσαθρωμένο μητρικό υλικό από το οποίο προέρχεται το αληθές έδαφος με τις διεργασίες σχηματισμού του εδάφους και ο R ορίζοντας είναι το υποκείμενο πέτρωμα. Ένας ορίζοντας σχεδόν καθαρής οργανικής ύλης (O ή AO) μπορεί να βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα A.

Η όλη σειρά δεν είναι ανάγκη να εμφανίζεται σε πλήρη ανάπτυξη, π.χ. ανώριμα εδάφη συχνά στερούνται του B ορίζοντα ή η διάβρωση μπορεί να οδηγήσει σε ελλιπή προφίλ. Όταν μελετώνται με λεπτομέρεια, ο κάθε κύριος ορίζοντας διαιρείται ακόμη περισσότερο (A, E, $B_1$, $B_2$, $B_3$). Η αναγνώριση των υποδιαιρέσεων, εκτός από την A και E δεν είναι αναγκαία στην εφαρμοσμένη γεωχημική έρευνα. Η κατανομή των μετάλλων ποικίλλει πολύ, μεγάλες δε διακυμάνσεις εμφανίζονται προς τη βάση του προφίλ.




**Εικόνα 2.** Υποθετικό εδαφικό προφίλ (http://www.enchantedlearning.com)

Ο ορίζοντας A χαρακτηρίζεται από μια διεργασία μερικής απομάκρυνσης, που είναι γνωστή σαν "evaluation", μία λέξη λατινική που σημαίνει «έκπλυση». Η «έκπλυση» αυτή συμπληρώνεται από την προς τα κάτω κυκλοφορία του νερού διαμέσου του εδάφους. Ορισμένα συστατικά μετακινούνται σαν ιόντα ή μόρια εν διαλύσει μαζί με το κάτω κινούμενο νερό, ενώ άλλα μετακινούνται σα διεσπαρμένα κολλοειδή σωματίδια. Ένας μεγάλος καταλυτικός παράγοντας στον "Α" ορίζοντα είναι το μαύρο χρώμα (humus), που είναι το προϊόν αποσύνθεσης του οργανικού υλικού μαζί με τα προϊόντα αποσύνθεσης των ριζών.

Τα οργανικά οξέα και τα σύμπλοκα, που παράγονται στο μαύρο χρώμα humus από βακτηριακή δράση και το $CO_2$ που προέρχεται από την καταστροφή του humus, προωθούν την απομάκρυνση στοιχείων, που είναι χαρακτηριστική του ορίζοντα Α. Το ανθρακικό οξύ και τα οργανικά οξέα παρέχουν $H^+$, που συνεισφέρει στην αποσύνθεση των ορυκτών και εκτοπίζει τις βάσεις (Ca, Na, Mg, K) από τις θέσεις ανταλλαγής των αργιλικών ορυκτών, των οξειδίων και των οργανικών υλικών. Οι βάσεις κινούνται προς τα κάτω διαμέσου του εδάφους σα διαλυμένα ιόντα. Ο Fe και το Al κινούνται σαν κολλοειδή σωματίδια αργιλικών και οξειδίων, σα σύμπλοκα με οργανικές ομάδες ή στα πιο όξινα εδάφη σαν ελεύθερα ιόντα ή ιόντα σύμπλοκα με OH. Το $SiO_2$ ως επί το πλείστον είναι διαλυμένο σαν πυριτικό οξύ ($H_4SiO_4$) ή μετακινείται σαν κολλοειδές $SiO_2$. Ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά και υλικό πετρώματος, που υφίστανται αποσύνθεση παραμένουν στο ανώτερο έδαφος.

Η συνάθροιση φυτικού υλικού είναι υπεύθυνη για τις υποδιαιρέσεις του Α ορίζοντα σ' έναν οργανικό επιφανειακό ορίζοντα (ΑΟ ή Ο), ένα σκούρο ανώτερο στρώμα που περιέχει μαύρο χρώμα με κόκκους ορυκτών (Α) και ένα υποκείμενο, με έντονη έκπλυση, ανοιχτού χρώματος ορίζοντα, φτωχού σε οργανική ύλη (Ε). Το σχετικό πάχος των οριζόντων αυτών ποικίλλει πολύ σύμφωνα με την παροχή οργανικών κομματιών, το βαθμό που αυτά βρίσκονται σε αποσύνθεση, την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης και έκπλυσης και τέλος την ηλικία του προφίλ (Montgomery W.C., 1997)

Κάτω από συνθήκες υγρασίας και ελεύθερης διαρροής, τα πιο ευδιάλυτα συστατικά απομακρύνονται από τον "Α" ορίζοντα και κατεβαίνουν στο "επίπεδο του ύδατος" και τελικά περνούν με το υπόγειο νερό στην επιφανειακή απορροή. Λίγο αιωρούμενο υλικό μπορεί ίσως να ακολουθεί την ίδια πορεία. Συνήθως όμως τα κολλοειδή πυριτικά, οξείδια και "οργανική ύλη" και ορισμένα διαλυμένα συστατικά από τον Α ορίζοντα, τοπικά ξαναποτίθενται στη ζώνη συγκέντρωσης ή illuviation που αποτελεί τον ορίζοντα Β. Έτσι ο ορίζοντας Β τείνει να είναι εμπλουτισμένος σε αργιλικά ορυκτά και οξείδια του Al και έχει ένα κόκκινο ή καφέ-κίτρινο χρώμα στα προφίλ εκείνα που η illuviation περιλαμβάνει επίσης και οξείδια του Fe. Κάτω από ορισμένες συνθήκες η οργανική ύλη μπορεί επίσης να συγκεντρωθεί στον Β ορίζοντα. Το επίπεδο στο οποίο λαμβάνει χώρα η illuviation εξαρτάται από την ελάττωση της οξύτητας του εδαφικού νερού, καθώς αυτό αντιδρά με το έδαφος κατά την κίνηση του προς τα κάτω. Οι μεταβολές αυτές προκαλούν συμπύκνωση του κολλοειδούς υλικού και καθίζηση των οξειδίων. Ο ορίζοντας C αποτελείται από περισσότερο ή λιγότερο μητρικό υλικό απ’ ότι οι υπερκείμενοι Α και Β ορίζοντες. Είναι σπουδαίο να εκτιμήσουμε εάν το μητρικό υλικό μπορεί να είναι πέτρωμα in situ, μεταφερόμενο αλλούβιο, κάλυμμα από παγετώνες ή αποτέλεσμα αιολικής ενέργειας, ή ακόμα έδαφος παρελθόντος πεδολογικού κύκλου. Το οργανικό υλικό είναι ελάχιστο στον ορίζοντα C, που συνήθως περιέχει λίγη άργιλο και έχει ανοιχτότερο χρώμα από τον ορίζοντα Β.

Τα μέταλλα του μητρικού πετρώματος ποικίλλουν κατά την ανάπτυξη των εδαφικών οριζόντων. Τα διαλυτά μέταλλα και εκείνα που ενσωματώνονται ή προσροφώνται στις αργίλους και τα κολλοειδή μετακινούνται από τον ορίζοντα ενώ εκείνα των ανθεκτικών ορυκτών εμπλουτίζονται στον "Α" ορίζοντα. Μερικά από τα μέταλλα που απομακρύνονται από τον "Α" ορίζοντα τείνουν να συγκεντρωθούν μαζί με τα υδροξείδια του Fe και Mn ή αργίλους στον Β ορίζοντα (Κελεπερτζής Α.Ε., 2000)

**Εικόνα 2.** Αναπαράσταση εδαφικού ορίζοντα (Στα δεξιά είναι το υπέδαφος) (en.wikipedia.org)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 3.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

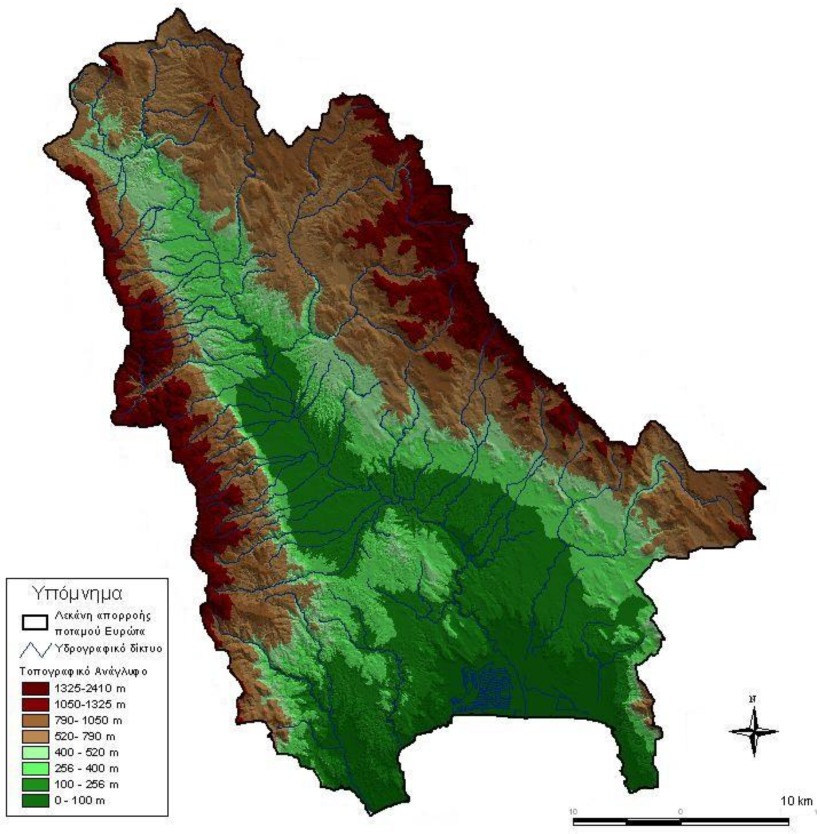
### *3.1.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή*

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα. Η λεκάνη βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου και έχει συνολική έκταση 2.420 km2. Η μεγαλύτερη έκτασή της βρίσκεται στα όρια του νομού Λακωνίας, ενώ περιλαμβάνει και μικρά τμήματα του νομού Αρκαδίας. Οι κύριοι ορεινοί όγκοι που καλύπτουν τη λεκάνη είναι αυτοί του Πάρνωνα και του Ταΰγετου. Η λεκάνη απορροής συνορεύει βόρεια και βορειοανατολικά με το νομό Αρκαδίας, δυτικά με το νομό Μεσσηνίας ενώ νότια βρίσκεται ο Λακωνικός κόλπος. Μέσα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα βρίσκονται συνολικά περίπου 95 δημοτικά διαμερίσματα από τα οποία περίπου τα 90 βρίσκονται στο νομό Λακωνίας και τα υπόλοιπα ανήκουν στο νομό Αρκαδίας και τα οποία έχουν συνολικό πραγματικό πληθυσμό που ανέρχεται περίπου σε 66.000 κατοίκους (Ανδριανάκη Μ., 2007).

Συνολικά, ο Ν. Λακωνίας έχει έκταση 3.636 km2 και πληθυσμό 99.637 κατοίκους (απογραφή ΕΣΥΕ 2001), εκ του οποίου το 68% είναι αγροτικός και το υπόλοιπο 32% αστικός. Πρωτεύουσα του νομού είναι η Σπάρτη, η οποία βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού, στις όχθες του ποταμού Ευρώτα σε υψόμετρο 210 m (Αντωνάκος Α., 1997). Η Σπάρτη αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του νομού αλλά και της λεκάνης απορροής με πληθυσμό περίπου 15.000 κατοίκους (απογραφή ΕΣΥΕ 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι την τελευταία δεκαετία παρατηρήθηκε εσωτερική μετακίνηση και ενίσχυση της πρωτεύουσας γεγονός που αποδεικνύεται από τη δημογραφική αύξηση του δήμου Σπάρτης η οποία καλύπτει το 50% της συνολικής αύξησης που παρατηρήθηκε στο νομό (Βαλτά Α., 2007, Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2006).

### *3.1.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία*

Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης είναι ορεινό και ημιορεινό. Αναλυτικότερα η μορφολογία του έχει ως εξής: 25,6% πεδινό, 37,8% ημιορεινό και 36,6% ορεινό. Μεγάλο μέρος της λεκάνης καλύπτουν οι δύο μεγάλοι ορεινοί όγκοι του Ταϋγέτου και του Πάρνωνα. Η υψηλότερη κορυφή του Ταϋγέτου είναι ο Προφήτης Ηλίας (2.404 m), μέρος του οποίου βρίσκεται στο Ν. Μεσσηνίας και του Πάρνωνα η Μεγάλη Τούρλα ή Μαλεβός (1.936 m), η οποία όμως βρίσκεται βορειότερα της λεκάνης. Μέσα στη λεκάνη βρίσκονται οι δυο επόμενες υψηλότερες κορυφές του Πάρνωνα, η Γαϊτανοράχη (1.891m) και η Μαδαρή (1.686m). Η πεδιάδα του Ευρώτα χωρίζει τις δύο οροσειρές.




**Χάρτης 3.1** Ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα

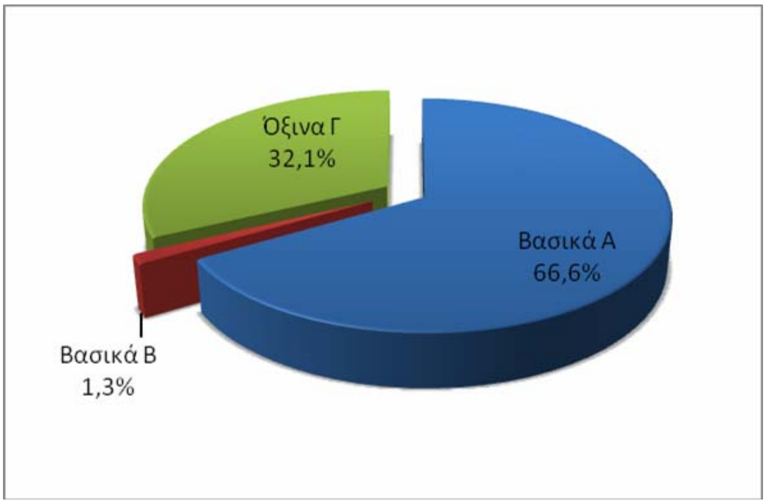
Στην περιοχή της λεκάνης βρίσκονται δυο κύριες πεδιάδες. Η κοιλάδα της Σπάρτης και η πεδιάδα της Σκάλας. Επίσης, η λεκάνη περιλαμβάνει ένα μικρό μέρος της πεδιάδας της περιοχής των Μολάων, συγκεκριμένα το τμήμα που βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα, και του Γυθείου. Φυσιογραφικά η κοιλάδα της Σπάρτης αποτελεί μια μακρόστενη κοιλάδα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση εύρους 5km και μήκους περίπου 12km, με υψόμετρα από 160 ως και 300m και κλίσεις εδάφους, που κυμαίνονται από 2-8% με γενική διεύθυνση από τον Ταΰγετο προς τον Πάρνωνα. Στο κέντρο περίπου της κοιλάδας παρατηρούνται λοφώδεις εξάρσεις, οι οποίες κατανέμονται γραμμικά, παράλληλα με τη γενική διεύθυνση της κοιλάδας. Η κοιλάδα διατρέχεται κατά πλάτος και στο ανατολικό της άκρο από τον ποταμό Ευρώτα και κατά μήκος από μια σειρά δευτερευόντων υδρορεμάτων παροδικής ροής με γενική διεύθυνση κάθετη προς τον Ευρώτα, στον οποίο κι εκβάλλουν. Εκτείνεται προς τα βόρεια μέχρι την πρωτεύουσα του νομού, Σπάρτη, ενώ νότια οριοθετείται από το υδατόρεμα Ρασίνα.

Ανατολικά και δυτικά η περιοχή οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Πάρνωνα και του Ταϋγέτου αντίστοιχα (Βαλτά Α., 2007).

### *3.1.3 Εδαφολογικά στοιχεία*

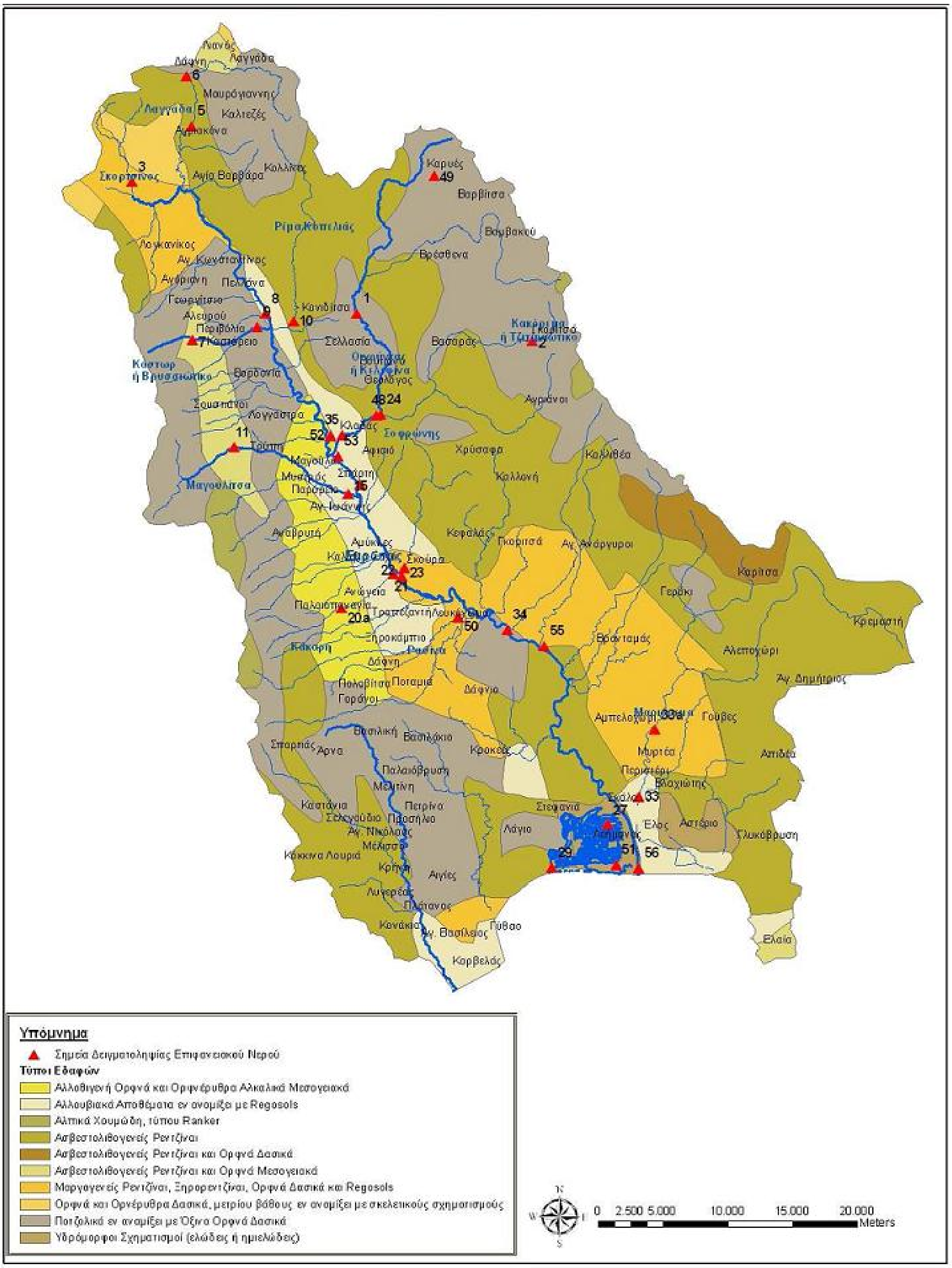
Οι διαφορετικοί τύποι των εδαφών που εντοπίζονται στη λεκάνη απορροής φαίνονται στο Χάρτη 3.2. Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε με της βοήθεια του προγράμματος ArcView 9.2 και αποτελεί το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης του Εδαφολογικού Χάρτη της Ελλάδας (1:1.000.000), ο οποίος συντάχθηκε το 1967 από στο Ινστιτούτου Εδαφολογίας και Λιπασματολογίας του Υπουργείου Γεωργίας.

Τα εδάφη που εντοπίζονται στη λεκάνη είναι είτε κορεσμένα με βάσεις, τα οποία περιέχουν ή δεν περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$ (τύπου Α και Β αντίστοιχα) είτε όξινα τα οποία δεν περιέχουν ελεύθερο $CaCO_3$ (τύπου Γ).




**Σχήμα 3.1** Ποσοστιαία αναλογία όξινων και βασικών τύπων εδαφών στη λεκάνη

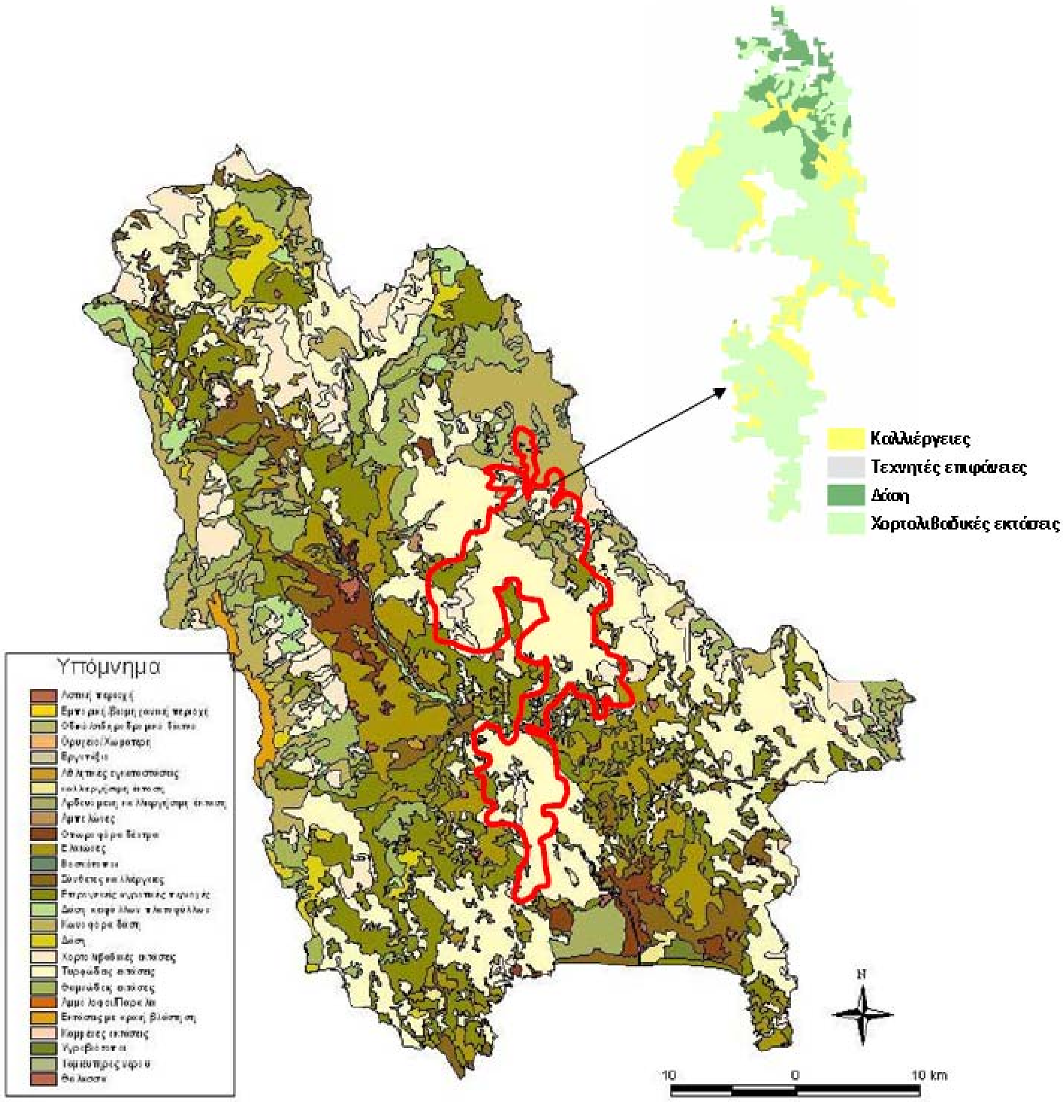
Η διαμόρφωση, η φυσιογνωμία και ο χαρακτήρας των τύπων των εδαφών εξαρτώνται από το μητρικό πέτρωμα του εδάφους, τις συνθήκες του ανάγλυφου, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά και από τη βλάστηση.




**Χάρτης 3.2** Εδαφολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα (Ανδριανάκη Μ., 2007)

## *3.1.4 Χρήσεις γης*

Οι κύριες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα φαίνονται στο Χάρτη 4-3. Η περιοχή εντός της κόκκινης γραμμής είναι η έκταση η οποία κάηκε στις πυρκαγιές του Αυγούστου 2007. Η λεπτομέρεια δείχνει τις πρώην χρήσεις γης.



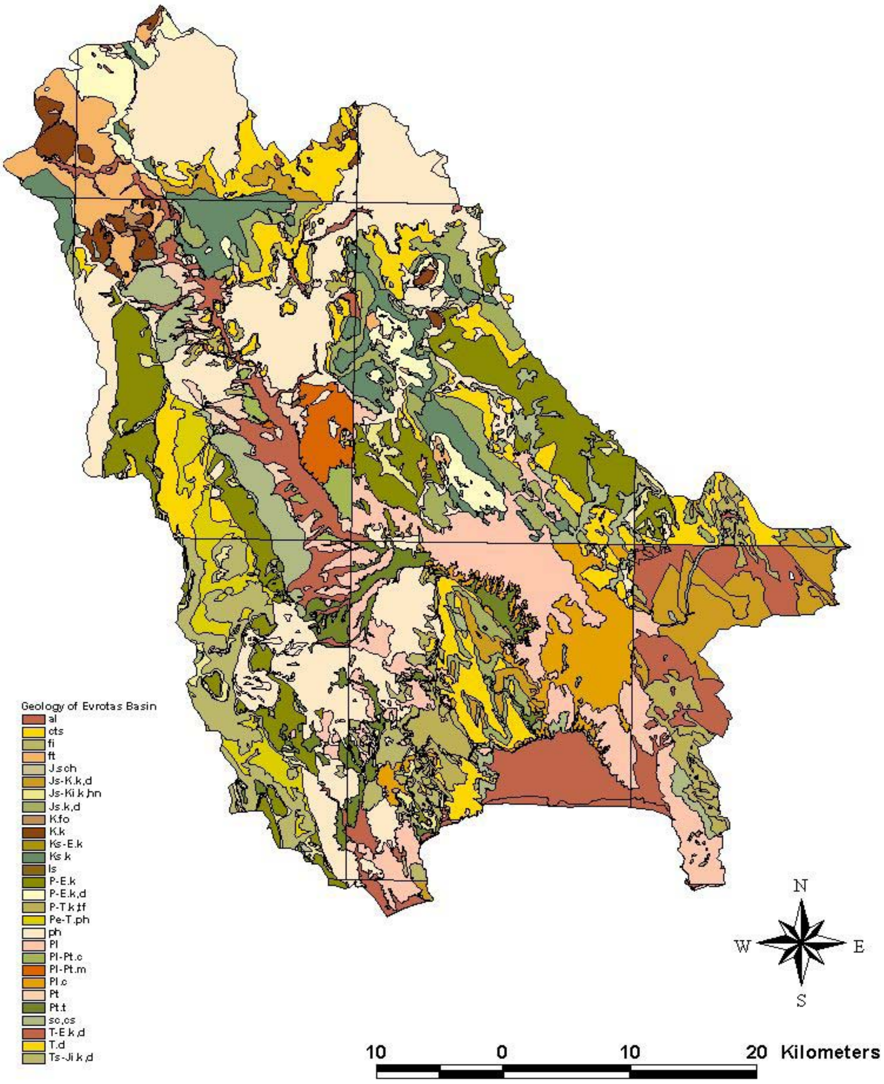

**Χάρτης 3.3** Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα και η καμένη εντός της λεκάνης έκταση, από τις φωτιές του Αυγούστου 2007 (Βαλτά Α.)

Πριν από τις φωτιές του Αυγούστου, το 61,25% της λεκάνης ήταν φυσικές επιφάνειες, δάση, λιβάδια κτλ, το 37,85% καλλιεργήσιμη γη και το 0,7% αστικές επιφάνειες. Οι πυρκαγιές έκαψαν 216 $Km^2$ δάσους, χορτολιβαδικής έκτασης και ελαιόδεντρων στον

Πάρνωνα με αποτέλεσμα να μειωθούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις κατά ποσοστό 4,5% ενώ οι δασικές και χορτολιβαδικές κατά 11,8% (Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2007).

### ***3.1.5 Γεωλογικά στοιχεία***

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της Πελοποννήσου και των νησιών των τριών υδατικών διαμερισμάτων της είναι αποτέλεσμα αφενός της γεωλογικής και τεκτονικής δομής και αφετέρου των εξωγενών διεργασιών που επέδρασαν επί αυτής (π.χ. κλίμα). Κυρίαρχο ρόλο στην τεκτονική της Πελοποννήσου που συνδέεται άμεσα με την υδρογεωλογική λειτουργία των επιμέρους ενοτήτων, αποτελεί η επώθηση της ζώνης Ωλονού – Πίνδου πάνω στην ζώνη Τρίπολης. Η ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης και Παξών, αντιπροσωπεύεται από την σειρά των ανθρακικών σχηματισμών και του φλύσχη που υπέρκεινται των στρωμάτων Τυρού. Στα στρώματα αυτά επικρατούν ανοικτές πτυχές με άξονες γενικής διεύθυνσης Β-Ν που προκλήθηκαν κατά την τελική φάση των πτυχώσεων, ως αποτέλεσμα μιας συμπιεστικής τεκτονικής που επικράτησε την περίοδο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο. Οι πτυχές αυτές, λόγω του μεγάλου τους ανοίγματος, δεν είναι πάντα εύκολο να ανιχνευθούν και να σημειωθούν. Μετά το τέλος των επωθητικών κινήσεων των εξωτερικών ζωνών, άρχισε μια περίοδος εφελκυστικών κινήσεων του ευρύτερου Ελληνικού χώρου, που είχε σαν αποτέλεσμα τον τεμαχισμό των στρωμάτων Γαβρόβου – Τρίπολης με κανονικά ρήγματα, κυρίως κατά τη διεύθυνση των αξόνων (Β-Ν) αλλά και μια δεύτερη ομάδα με λιγότερα ρήγματα κατά τη διεύθυνση Β 75° έως 90° Α. Η ζώνη της Πίνδου είναι επωθημένη προς τα δυτικά επάνω στη ζώνη Τρίπολης – Γαβρόβου εν είδη τεράστιου τεκτονικού καλύμματος που σε ορισμένες περιοχές (π.χ. Τζουμέρκα) έχει προελάσει ακόμη δυτικότερα και έχει φτάσει την Ιόνια ζώνη. Οι σχηματισμοί της Πίνδου, λόγω της παλαιότητάς τους είναι έντονα τεκτονισμένοι και λεπιωμένοι. Σε μεγάλο τμήμα της Πελοποννήσου, λόγω της διάβρωσης που έχει υποστεί το Πινδικό κάλυμμα, εμφανίζονται τα υποκείμενα στρώματα της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης με τη μορφή «τεκτονικού παράθυρου» (περιοχή όρους Μαινάλου). Στην περιοχή της Πελοποννήσου αναπτύσσονται οι περισσότερες από τις εξωτερικές γεωτεκτονικές ενότητες που δομούν τον Ελληνικό χώρο (Βαλτά Α., 2007).




**Χάρτης 3.4** Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα (Ανδριανάκη Μ., 2007)

### ***3.1.6 Υδροφορίες***

Η περιοχή μελέτης απαρτίζεται από πλήθος υδροφορέων, ο καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Παράλληλα, η τεκτονική δομή της περιοχής φέρνει ποικιλοτρόπως σε επαφή τους διάφορους σχηματισμούς με αποτέλεσμα να υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους.

Σε γενικές γραμμές, διακρίνονται τρεις τύποι υδροφορέων στην ευρύτερη περιοχή, όσον αφορά την φύση του υδροφορέα:

- Καρστικοί υδροφορείς

- Κοκκώδεις, φρεάτιοι ή μερικώς υπό πίεση υδροφορείς που αναπτύσσονται στα ιζήματα των λεκανών και στον αποσαθρωμένο μανδύα κλαστικών πετρωμάτων
- Υδροφόροι που αναπτύσσονται σε μέσο ασυνεχειών, μέσα στο δευτερογενές πορώδες (σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα λόγω τεκτονισμού, που υπό άλλες συνθήκες θεωρούνται αδιαπέρατα, π.χ. χαλαζίτες) (Ανδριανάκη Μ., 2007).

### ***3.1.7 Κλιματολογικά στοιχεία***

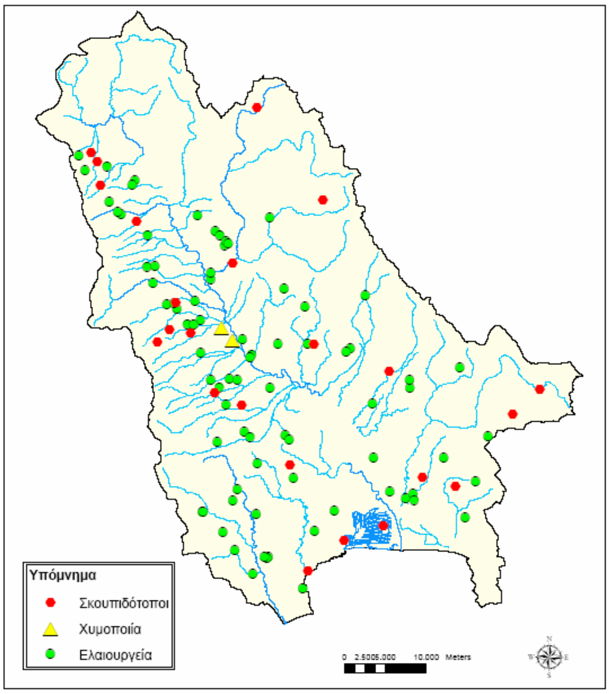
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα παρουσιάζει ένα τυπικό μεσογειακό τύπο κλίματος με θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες, με μέση ετήσια θερμοκρασία, που φτάνει περίπου τους $16^{o}C$. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μια μέση μηνιαία βροχόπτωση της τάξης του 77,63 χιλιοστών και από μια μέση υπερετήσια βροχόπτωση της τάξης του 931,61 χιλιοστών. Το πλείστο των βροχοπτώσεων παρουσιάζεται κατά τους μήνες Οκτώβριο ως και Μάρτιο, με πιο υγρό μήνα το 6εκέμβριο και πιο ξηρό τον Ιούνιο. Αντίστοιχα, η μέση υπερετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή κατά Thornwaite έχει καθοριστεί για την περιοχή σε 668 mm ισοδυνάμου ύψους βροχής. Η ορεινή περιοχή παρουσιάζει βαρύ χειμώνα, μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου και μεταξύ ημέρας και νύχτας, εμφάνιση παγετών από Οκτώβριο ως Απρίλιο και βροχοπτώσεις κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι άνεμοι που επικρατούν είναι βορειανατολικοί και σπανιότερα νοτιοδυτικοί. Χαρακτηριστικά είναι επίσης τα φαινόμενα ομίχλης και παγετού στα πεδινά, κυρίως στη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα (Νικολαΐδης Ν. κ.ά., 2006).

### ***3.1.8 Πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα***

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι μια περιοχή κυρίως αγροτική, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Οι κύριες πιέσεις στην περιοχή προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και από κάποιες μεταποιητικές μονάδες γεωργικών προϊόντων. Οι πιέσεις διακρίνονται σε:

- Σημειακές πιέσεις

Οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα είναι πιέσεις από αστικά λύματα και βοθρολύματα και από απόβλητα που προέρχονται από μικρές βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν στην περιοχή και συμπεριλαμβάνουν χυμοποιία, εργοστάσια παραγωγής αλλαντικών και τυριών και ελαιουργεία όπως επίσης και από σκουπιδότοπους, οι οποίοι απαντώνται σε όλη τη λεκάνη.




**Χάρτης 3.5** Σημειακές πιέσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα

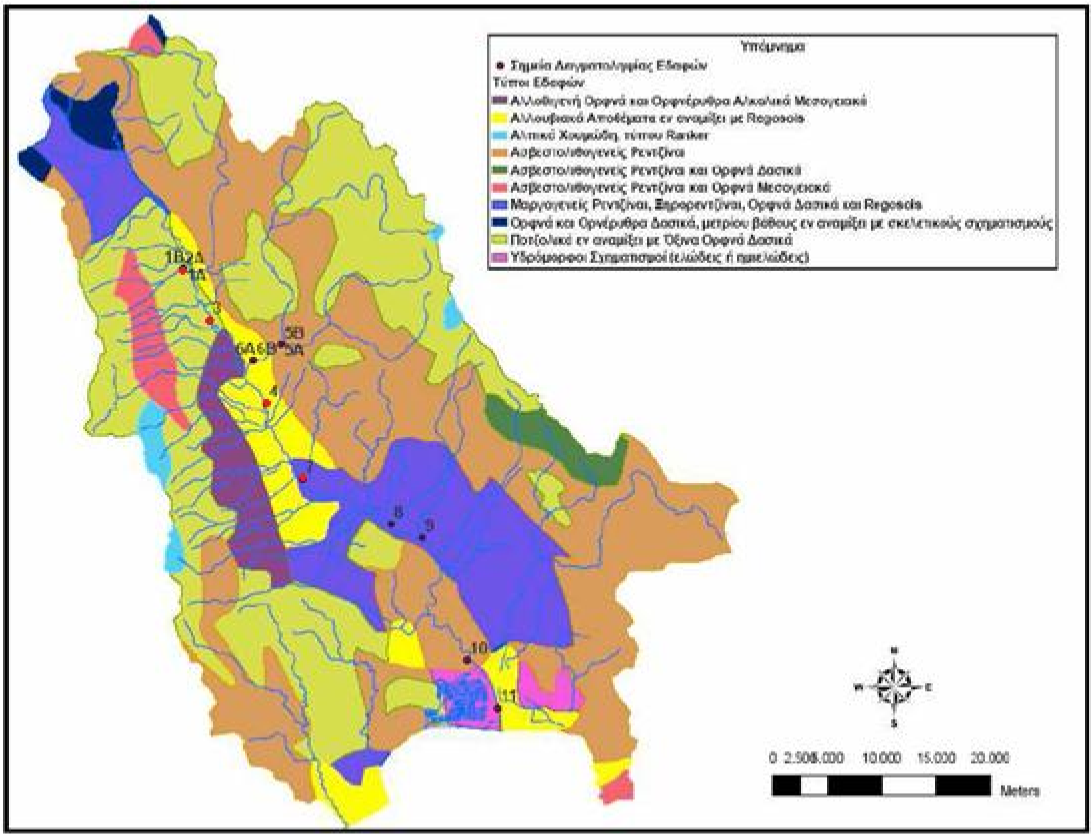
- Μη σημειακές πιέσεις

Στις μη σημειακές πηγές ρύπανσης συμπεριλαμβάνονται όλες οι πιέσεις που προκύπτουν από την επιφανειακή απορροή αστικών και βιομηχανικών περιοχών και δρόμων. Επίσης συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις που προέρχονται από την καλλιέργεια της αγροτικής γης και τη χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών, τη δασοκομία και την κτηνοτροφία. Στην περιοχή χρησιμοποιούνται σύνθετα και αμμωνιακά λιπάσματα καθώς επίσης και σύνθετα λιπάσματα με ιχνοστοιχεία. Στη Σπάρτη λειτουργεί Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων ο οποίος εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή, ωστόσο υπάρχουν περιοχές που η διάθεση γίνεται σε χώρους ανεξέλεγκτης εναπόθεσης απορριμμάτων. Οι χώροι αυτοί αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης εξαιτίας της διαφυγής ρύπων με τη βροχή (Βαλτά Α., 2007)

## 3.2 Δειγματοληψία

Τα δείγματα εδάφους, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πάρθηκαν από τον ποταμό Ευρώτα. Η δειγματοληψία έγινε από τέσσερις περιοχές κατά μήκος του ποταμού και πιο συγκεκριμένα από τις περιοχές, Βιβάρι-πριν την συμβολή (2α), Καραβάς-στενό Βαρδονίας (3), Σπάρτη-πριν το βιολογικό (4) και Σκούρα (7α). Σκοπός της δειγματοληψίας αυτής ήταν η όσο το δυνατόν καλύτερη σάρωση της εξεταζόμενης περιοχής. Η δειγματοληψία έγινε στις 29 Νοεμβρίου και 1 Δεκεμβρίου

2007. Αξίζει να σημειωθεί πως το άνω μέρος του δείγματος 4 ($4_{1+2}$) ήταν επηρεασμένο από την καταστροφική πυρκαγιά που έπληξε την ευρύτερη περιοχή τον Αύγουστο του 2007. Τα δείγματα ήταν πυρήνες περίπου 40-50 εκατοστών έκαστος.

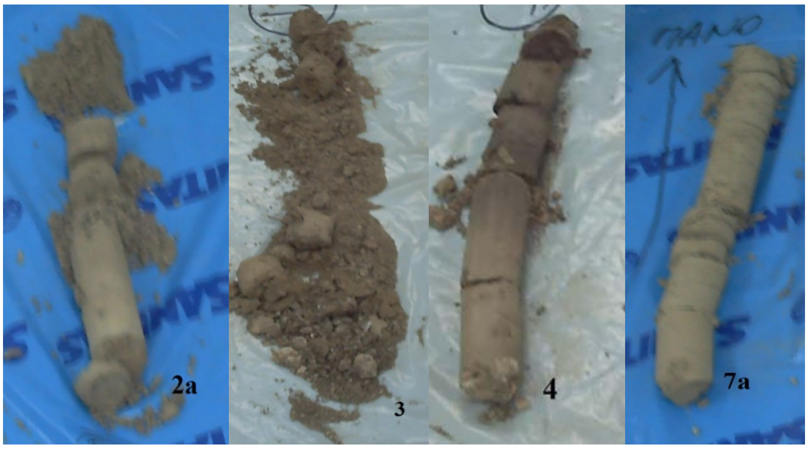



**Χάρτης 3.6** Σημεία δειγματοληψίας (σημειώνονται με κόκκινο χρώμα) (Βαλτά Α., 2008)

### ***3.2.2 Προετοιμασία***

Αρχικά τα δείγματα απλώθηκαν επιφανειακά για μία ημέρα ώστε να γίνει ξήρανση μέσω φυσικού αερισμού. Έπειτα τα τοποθετήσαμε σε φούρνο ξήρανσης στους $40^{o}C$ για τρεις ημέρες για απομάκρυνση της υγρασίας. Μετά την ξήρανση κοσκινίσαμε τα δείγματα με κόσκινο των 2 χιλιοστών και τα τοποθετήσαμε σε αεροστεγείς σακούλες.

Τα δείγματα χωρίστηκαν σε δύο τμήματα. Στο άνω μέρος (1+2) μήκους 25 εκατοστών και στο κάτω μέρος (3) που ήταν το υπόλοιπο. Έτσι το σύνολο των προς ανάλυση δειγμάτων είναι οκτώ ($2α_{1+2}$, $2α_3$, $3_{1+2}$, $3_3$, $4_{1+2}$, $4_3$, $7α_{1+2}$, $7α_3$).




**Εικόνα 3.1** Πυρήνες κατά την ξήρανση με φυσικό αερισμό

## 3.3 Προσδιορισμός των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους

Στο εργαστήριο «Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών» μετρήθηκαν τα ακόλουθα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά:

- Κοκκομετρική ανάλυση
- Ενεργός Οξύτητα (pH)
- Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
- Οργανική Ύλη (Organic Matter)
- Ολικό Kjeldhal Άζωτο (TKN)

### *3.3.1 Πείραμα κοκκομετρικής ανάλυσης*

Για την μέτρηση της κοκκομετρίας του εδάφους χρησιμοποιήθηκε πολυφωσφορικό νάτριο ($Na_3PO_4$). Η μέτρηση της κοκκομετρίας πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Βουγιούκος, η οποία είναι η εξής:

i. Ζύγιση 50 γραμμαρίων εδάφους
ii. Πρόσθεση των 50 γραμμαρίων εδάφους σε ποτήρι ζέσεως των 400 ml
iii. Προσθήκη 100 ml διαλύματος πολυφωσφορικού νατρίου στο ποτήρι ζέσεως
iv. Μικρή ανάδευση του διαλύματος
v. Επώαση του διαλύματος για 24 ώρες στους $20^{o}C$
vi. Τοποθέτηση του διαλύματος στο μίξερ και ανάμιξη για 1,5 λεπτό
vii. Προσθήκη του διαλύματος σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1205 ml

viii. Προσθήκη απιονισμένου νερού, στον ογκομετρικό κύλινδρο, μέχρι τα 1130 ml
ix. Ανάδευση με έμβολο 5-6 φορές
x. Προσθήκη αερόμετρου μέσα στον κύλινδρο και έναρξη χρονομέτρησης
xi. Ύστερα από 40 δευτερόλεπτα σημειώνουμε την πρώτη μέτρηση του αερόμετρου για την άργιλο και την ιλύ
xii. Μετά από δύο ώρες σημειώνουμε και την δεύτερη μέτρηση

Τα δείγματα $4_{1+2}$ και $4_3$ δεν αναλύθηκαν κοκκομετρικά λόγω έλλειψης δείγματος.

### ***3.3.2 Πείραμα μέτρησης ενεργού οξύτητας (pH)***

Η μέτρηση της ενεργού οξύτητας (pH) είναι μία από τις πιο ενδεικτικές μετρήσεις των χημικών ιδιοτήτων ενός δείγματος εδάφους και η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε είναι η εξής:

i. Πρόσθεση 20 γραμμαρίων εδάφους και 40 ml απιονισμένου νερού σε beaker (Αναλογία στερεού-υγρού 1:2)
ii. Ανάδευση διαλύματος
iii. Αφήνεται το διάλυμα για 10 λεπτά σε ηρεμία ώστε να καθιζάνει το σωματιδιακό υλικό
iv. Ανάδευση του διαλύματος
v. Αφήνεται το διάλυμα για 5 λεπτά σε ηρεμία ώστε να καθιζάνει το σωματιδιακό υλικό
vi. Γίνεται μέτρηση βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο μέσα στο αιώρημα, πάνω από το ίζημα

Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε φορητό όργανο της Orion, μοντέλο 250A.

### ***3.3.3 Πείραμα μέτρησης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας***

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η πειραματική μέθοδος της πάστας κορεσμού, η οποία είναι η ακόλουθη:

i. Πρόσθεση 50 γραμμαρίων δείγματος σε beaker
ii. Σταδιακή ελεγχόμενη προσθήκη απιονισμένου νερού και ταυτόχρονη ανάδευση του μίγματος μέχρις ότου επέλθει η πάστα κορεσμού.
iii. Σημειώνεται η προσθήκη απιονισμένου νερού που χρειάστηκε κάθε δείγμα

iv. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία για 2 ώρες, ώστε να καθιζάνει το σωματιδιακό υλικό
v. Διήθηση του διαλύματος σε αντλία με χρήση φίλτρου 0,45 μm και αποθήκευση του εκχυλίσματος σε πλαστικό φιαλίδιο των 20 ml
vi. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκάστοτε δείγματος με βύθιση του ηλεκτροδίου στο διάλυμα

Για την διήθηση χρησιμοποιήθηκε αντλία ABM, Marktredwitz, μοντέλο MZ2C και για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αγωγιμόμετρο της εταιρείας Orion, μοντέλο 105.

### ***3.3.4 Πείραμα μέτρησης Οργανικής Ύλης***

Για την μέτρηση της οργανικής ύλης των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Walkley – Black, μια τεχνική υγρής καύσης. Το δείγμα οξειδώνεται με διχρωμικό κάλιο και πυκνό θειϊκό οξύ (αναλογία 1:2). Ύστερα από 20 λεπτά η αντίδραση σταματά με την προσθήκη απιονισμένου νερού. Το υπόλοιπο διχρωμικό κάλιο τιτλοδοτείται με θειϊκό σίδηρο ($FeSO_4$). Η οργανική ουσία του εδάφους υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά μεταξύ του συνολικού όγκου του προστιθέμενου διχρωμικού άλατος και του όγκου που τιτλοδοτείται μετά την αντίδραση. Με ένα τυφλό δείγμα βαθμονομείται ο θειϊκός σίδηρος. Θεωρείται πως με τη μέθοδο αυτή οξειδώνεται περίπου το 70% του οργανικού άνθρακα, για το λόγο αυτό και χρησιμοποιείται ένας συντελεστής διόρθωσης (1,334).

Η μεθοδολογία της υγρής καύσης είναι η ακόλουθη:

i. Πρόσθεση 1 γραμμαρίου εδάφους σε κωνική των 500 ml
ii. Χρήση μιας επιπλέον φιάλης για το τυφλό διάλυμα
iii. Προσθήκη 10 ml διχρωμικού καλίου σε κάθε φιάλη. Το διχρωμικό κάλιο οξειδώνει τον οργανικό και ανόργανο άνθρακα
iv. Προσθήκη 20 ml πυκνού θειϊκού οξέος ($H_2SO_4$) για την ρύθμιση του pH ώστε να μην οξειδωθεί ο σίδηρος
v. Αφήνουμε 20 λεπτά να γίνει η αντίδραση
vi. Προσθήκη 200 ml απιονισμένου νερού
vii. Προσθήκη 10 ml ορθοφοσφωρικού οξέος ($H_3PO_4$), για να φτιαχτεί συνθήκη ώστε ο δείκτης να αλλάζει απότομα
viii. Προσθήκη 2 ml διφαινυλαμίνης και παρατηρείται αλλαγή χρώματος σε σκούρο μωβ
ix. Πραγματοποιείται τιτλοδότηση με θειϊκό σίδηρο ($FeSO_4$) ώσπου το χρώμα του διαλύματος μετατραπεί από σκούρο μωβ σε πράσινο

x. Σημειώνεται πόσα ml θειϊκού σιδήρου ($FeSO_4$) κατανάλωσε το εκάστοτε δείγμα, συμπεριλαμβανομένου και του τυφλού (περίπου 20 ml)

Ο υπολογισμός γίνεται με τους παρακάτω τύπους:

%Εύκολα οξειδώσιμος οργανικός άνθρακας = $\left(1 - \frac{S}{B}\right) * 10 * \frac{0.3}{Wt}$

Όπου:

S = όγκος σιδήρου που απαιτείται για να τιτλοδοτήσει το δείγμα, σε ml

B = όγκος σιδήρου που απαιτείται για να τιτλοδοτήσει το τυφλό δείγμα, σε ml

Wt = βάρος ξηρού χώματος σε γραμμάρια

%TOC = 1,334 * Εύκολα οξειδώσιμος οργανικός άνθρακας %

TOC = ολικός οργανικός άνθρακας

%OM = 1,724 * %TOC

OM = οργανική ύλη

### ***3.3.5 Πείραμα χώνευσης για μέτρηση Ολικού Kjeldhal Αζώτου (TKN) σε στερεά δείγματα***

Με τη διαδικασία μέτρησης TKN υπολογίζεται το ολικό οργανικό άζωτο που υπάρχει στο έδαφος. Η μεθοδολογία είναι η ακόλουθη:

i. Προσθήκη 0,4 γραμμαρίων εδάφους στο Digesdahl digestion flask των 100 ml
ii. Προσθήκη 5 ml πυκνού θειϊκού οξέος στο flask
iii. Προσθήκη 6 – 10 boiling chips
iv. Ρύθμιση της θερμοκρασίας της συσκευής στους 440°C αφού ανοίξουμε την παροχή νερού στην υδραντλία και ελέγχουμε αν υπάρχει αναρρόφηση στη στήλη
v. Τοποθετούμε το δείγμα και τη στήλη στην θερμαντική εστία για 4 λεπτά
vi. Προσθέτουμε 12 ml από 50% $H_2O_2$ μέσω του capillary funnel
vii. Αφού απομακρυνθεί από το capillary funnel το αφήνουμε για ακόμη 1 λεπτό, ώστε να απομακρυνθεί και η περίσσεια $H_2O_2$

viii. Απομακρύνουμε το flask και το τοποθετούμε σε κεραμική βάση ώστε να κρυώσει. Αρχικά το αφήνουμε για 1 λεπτό τουλάχιστον πριν απομακρύνουμε τη στήλη

ix. Αφού κρυώσει διαλύουμε το χωνευμένο δείγμα στα 100 ml με nanopure (πολύ απιονισμένο νερό) και το αποθηκεύουμε σε πλαστικά δοχεία. Κατόπιν τα δείγματα μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο

Η διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για μέτρηση TKN παρατίθεται στο παράρτημα Α.

## 3.4 Πειράματα προσρόφησης - εκχύλισης

Τα θρεπτικά συστατικά, τα οποία μετρήθηκαν στα δείγματα, με διάφορα εκχυλιστικά μέσα είναι: τα Φωσφορικά ($PO_4$), τα Νιτρικά ($NO_3$) και η Αμμωνία ($NH_3$).

Για όλα τα πειράματα εκχύλισης χρησιμοποιήθηκε συνθετικό νερό (προσομοίωση του ποταμού Ευρώτα), η παρασκευή του οποίου φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

| Για 3 λίτρα νερού | |
|---|---|
| $CaF_2$ | 0,2805 g |
| $MgSO_4$ - $7H_2O$ | 0,6401 g |
| $NaHCO_3$ | 1,2204 g |
| HCl | 0,75 ml |

**Πίνακας 3.1** Παρασκευή συνθετικού νερού

### 3.4.1 Πειράματα κινητικής της προσρόφησης φωσφορικών ριζών ($PO_4$)

Ο σχεδιασμός του πειράματος πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Έγιναν 5 σετ μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα, η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την παρασκευή του διαλύματος και οι υπόλοιπες την $1^η$, $2^η$, $3^η$ και $4^η$ ημέρα (Day 0, Day 1, Day 2, Day 3, Day 4). Παρασκευάσθηκαν και επαναληπτικά διαλύματα (α και β) για την κάθε μέτρηση, δηλαδή για κάθε δείγμα 10 διαλύματα, άρα 80 διαλύματα για όλα τα δείγματα. Η πειραματική μεθοδολογία είναι η ακόλουθη:

i. Τοποθέτηση 5 γραμμαρίων δείγματος σε πλαστικά μπουκάλια των 250 ml
ii. Προσθήκη 99 ml συνθετικού νερού
iii. Προσθήκη 1 ml φωσφόρου (P) συγκέντρωσης 1 ppm
iv. Ανάδευση των διαλυμάτων στις 200 στροφές ανά λεπτό. Τα διαλύματα για την Day 0 δεν αναδεύτηκαν αφού έγινε απευθείας μέτρηση
v. Διήθηση των διαλυμάτων με τη χρήση αντλίας και φίλτρου 0,45 μm
vi. Ρύθμιση της ενεργού οξύτητας (pH) των διαλυμάτων περίπου στο 8 με τη χρήση NaOH (0,2 N)
vii. Ανάλυση των διηθημένων διαλυμάτων με τη χρήση φασματοφωτομέτρου Hach DR/2010 για φωσφορικά ($PO_4$)

Η διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης περιγράφεται αναλυτικότερα στο παράρτημα Α.

### ***3.4.2 Πειράματα κινητικής της προσρόφησης - εκχύλισης νιτρικών ($NO_3$)***

Στο συγκεκριμένο πείραμα παρασκευάσθηκαν διαλύματα για την μέτρηση νιτρικών ($NO_3$) και αμμωνίας ($NH_3$) και έπειτα πραγματοποιήθηκε χώνευση στα διαλύματα για την μέτρηση ολικού kjeldhal αζώτου (TKN).

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε δύο μόνο δείγματα και συγκεκριμένα στα $4_{1+2}$ και $4_3$, δηλαδή στο άνω και κάτω μέρος του πυρήνα, το οποίο πήραμε από την περιοχή της Σπάρτης πριν το βιολογικό. Έγιναν 6 σετ μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα στις 3, 6, 24, 48 ώρες και 5 και 12 ημέρες για διαλύματα με προσθήκη νιτρικού (5 ppm) και χωρίς (0 ppm). Αξίζει να σημειώσουμε πως όσον αφορά το δείγμα $4_3$, λόγω έλλειψης εδάφους δεν έγιναν μετρήσεις για τις 3 και 48 ώρες.

*Παρασκευή διαλυμάτων για μέτρηση νιτρικών ($NO_3$) και αμμωνίας ($NH_3$)*

Η πειραματική μεθοδολογία για την παρασκευή των διαλυμάτων χωρίς την προσθήκη νιτρικού (0 ppm) είναι η ακόλουθη:

i. Πρόσθεση 7,5 γραμμαρίων εδάφους σε πλαστικά φιαλίδια των 250 ml
ii. Προσθήκη 75 ml συνθετικού νερού
iii. Ανάδευση των φιαλιδίων στις 200 στροφές ανά λεπτό

iv. Διήθηση του υγρού διαλύματος με την χρήση αντλίας και φίλτρου 0,45 μm
v. Διήθηση του υγρού διαλύματος με την χρήση σύριγγας και φίλτρου 0,45 μm
vi. Ανάλυση του διηθημένου υγρού διαλύματος με τη χρήση φασματοφωτομέτρου Hach DR/2010 για νιτρικά ($NO_3$) και αμμωνία ($NH_3$)

Η πειραματική μεθοδολογία για την παρασκευή των διαλυμάτων με την προσθήκη νιτρικού (5 ppm) είναι η ακόλουθη:

i. Πρόσθεση 7,5 γραμμαρίων εδάφους σε πλαστικά φιαλίδια των 250 ml
ii. Προσθήκη 73,5 ml συνθετικού νερού
iii. Προσθήκη 1,66 ml $NO_3$ των 5 ppm
iv. Παρασκευή και διαλυμάτων 0 ppm μόνο με την προσθήκη 75 ml συνθετικού νερού
v. Ανάδευση των φιαλιδίων στις 200 στροφές ανά λεπτό
vi. Διήθηση του υγρού διαλύματος με την χρήση αντλίας και φίλτρου 0,45 μm
vii. Διήθηση του υγρού διαλύματος με την χρήση σύριγγας και φίλτρου 0,45 μm
viii. Ανάλυση του διηθημένου υγρού διαλύματος με τη χρήση φασματοφωτομέτρου Hach DR/2010 για νιτρικά ($NO_3$) και αμμωνία ($NH_3$)

Η διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης περιγράφεται αναλυτικότερα στο παράρτημα Α.

*Πείραμα χώνευσης για μέτρηση Ολικού Kjeldhal Αζώτου (TKN) σε υγρά δείγματα*

Η πειραματική διαδικασία της χώνευσης για την μέτρηση ολικού kjeldhal αζώτου (TKN) στα υγρά δείγματα του πειράματος κινητικής της προσρόφησης - εκχύλισης νιτρικών ($NO_3$) είναι η ακόλουθη:

i. Πρόσθεση 40 ml δείγματος στο Digesdahl digestion flask των 100 ml
ii. Πρόσθεση 3 ml πυκνού θειϊκού οξέος
iii. Πρόσθεση 6 – 10 boiling chips
iv. Ρύθμιση της θερμοκρασίας του οργάνου στους 440$^o$C αφού ανοίξουμε την παροχή νερού στην υδραντλία και ελέγχουμε αν υπάρχει αναρρόφηση στη στήλη
v. Τοποθέτηση του δείγματος και της στήλης στη θερμαντική εστία και θέρμανση μέχρι το θειϊκό οξύ να φτάσει στη θερμοκρασία βρασμού (οπτική παρατήρηση)
vi. Μόλις φτάσει βράζουμε για 4 λεπτά ακόμα
vii. Προσθέτουμε 10 ml 50% $H_2O_2$ μέσω του capillary funnel

viii. Αφού απομακρυνθεί από το capillary funnel αφήνουμε για 1 λεπτό ακόμα ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια $H_2O_2$

ix. Απομακρύνουμε το ζεστό flask και το αφήνουμε να κρυώσει πάνω στην κεραμική βάση. Μετά από τουλάχιστον 1 λεπτό απομακρύνουμε τη στήλη χρησιμοποιώντας τα finger cots

x. Αφού κρυώσει διαλύουμε το χωνευμένο δείγμα στα 100 ml απιονισμένου νερού και τα αποθηκεύουμε σε πλαστικά δοχεία

Η μεθοδολογία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για TKN παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Α.

## 3.5 Πείραμα ικανότητας ανοργανοποίησης και για την μελέτη της ποιότητας της οργανικής ύλης των ιζημάτων

Στο συγκεκριμένο πείραμα μετρήθηκαν τα νιτρικά ($NO_3$), η αμμωνία ($NH_3$) και το TKN. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε όλα τα δείγματα εκτός των $4_{1+2}$ και $4_3$ λόγω έλλειψης χώματος.

Μέτρηση περιεκτικότητας ιζημάτων σε Ανόργανο Άζωτο

i. Ζύγιση 20 γραμμαρίων δείγματος
ii. Πρόσθεση 100 ml KCl 2M
iii. Ανάδευση των διαλυμάτων στις 200 στροφές ανά λεπτό για 1 ώρα στους $20^oC$
iv. Διήθηση των δειγμάτων με χρήση αντλίας και φίλτρου 0,45 μm
v. Ανάλυση των διηθημένων δειγμάτων

Βραχυπρόθεσμη δυνητική ικανότητα ανοργανοποίησης

i. Ζύγιση 20 γραμμαρίων δείγματος
ii. Πρόσθεση 100 ml KCl 2M
iii. Ανάδευση των διαλυμάτων στις 200 στροφές ανά λεπτό για 7 ημέρες στους $40^oC$
iv. Διήθηση των δειγμάτων με χρήση αντλίας και φίλτρου 0,45 μm
v. Ανάλυση των διηθημένων δειγμάτων

Η διαδικασία μέτρησης TKN για υγρά δείγματα περιγράφεται παραπάνω. Η διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για νιτρικά, αμμωνία, TKN περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα Α.

Το διάλυμα KCl 2M έχει μεγάλη ιοντική ισχύ, το οποίο προκαλεί την απελευθέρωση όλων των ιόντων $NO_3$ και $NH_3$ και των πολύ διαλυτών οργανικών ουσιών (DOC, DON) που περιέχονται στο ίζημα κατά το πείραμα της μιας ώρας. Όσον αφορά το πείραμα επώασης της μιας εβδομάδας, επειδή πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες κορεσμού θεωρείται πως δε συμβαίνει νιτροποίηση, δηλαδή η $NH_3$ δε μετατρέπεται σε $NO_3^-$. Συνεπώς, θα μπορούσε να υπολογιστεί η δυνατότητα ανοργανοποίησης του εδάφους από τον τύπο: $PMN = [NH_3]_{7d} - [NH_3]_{1h}$ , αφού η συγκέντρωση των $NO_3$ θεωρητικά είναι η ίδια και στα δείγματα των 7 ημερών και σε αυτά της 1 ώρας. Όμως, λόγω του ότι πρακτικά μπορεί να συμβεί νιτροποίηση, θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι συγκεντρώσεις των $NO_3^-$ στον τύπο. Δηλαδή $PMN = [NH_3 + NO_3]_{7d} - [NH_3 + NO_3]_{1h}$.

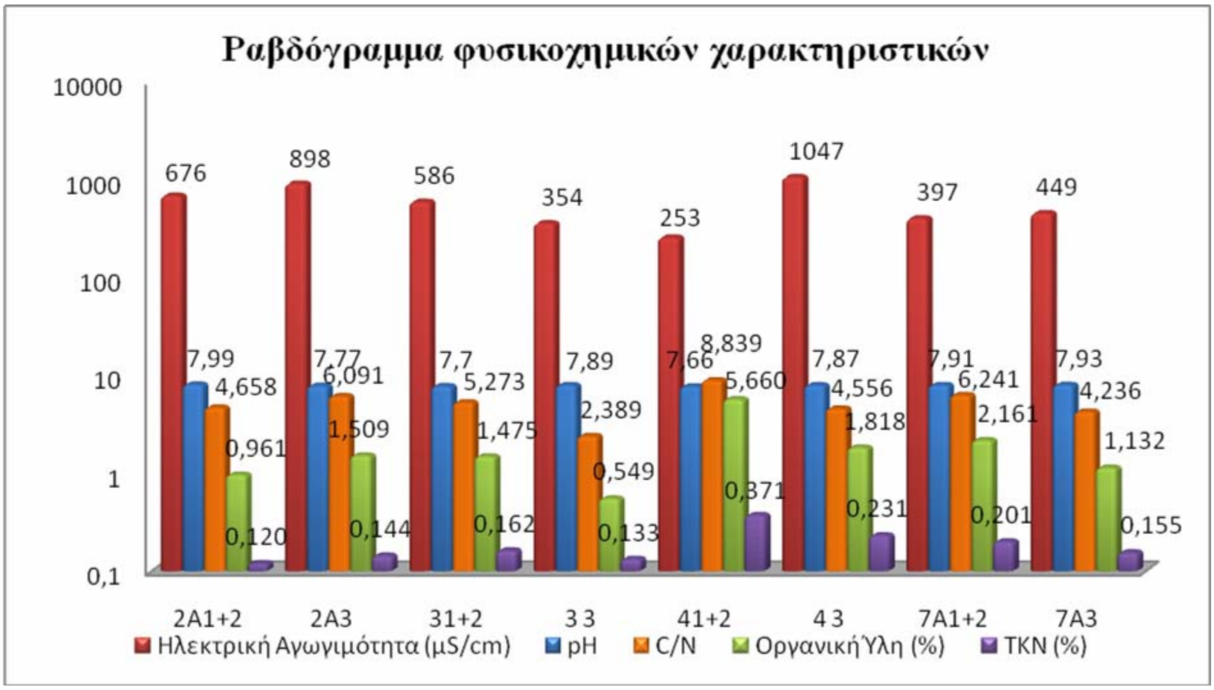
Τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων παρατίθενται στο παράρτημα Β.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

## 4.1 Αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών

Στο διάγραμμα 4.1 παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους, όπως αυτά μετρήθηκαν στο εργαστήριο, τα οποία είναι:

- Ενεργός Οξύτητα (pH)
- Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
- Οργανική Ύλη (Organic Matter)
- Ολικό Kjeldhal Άζωτο (TKN)
- Λόγος C/N



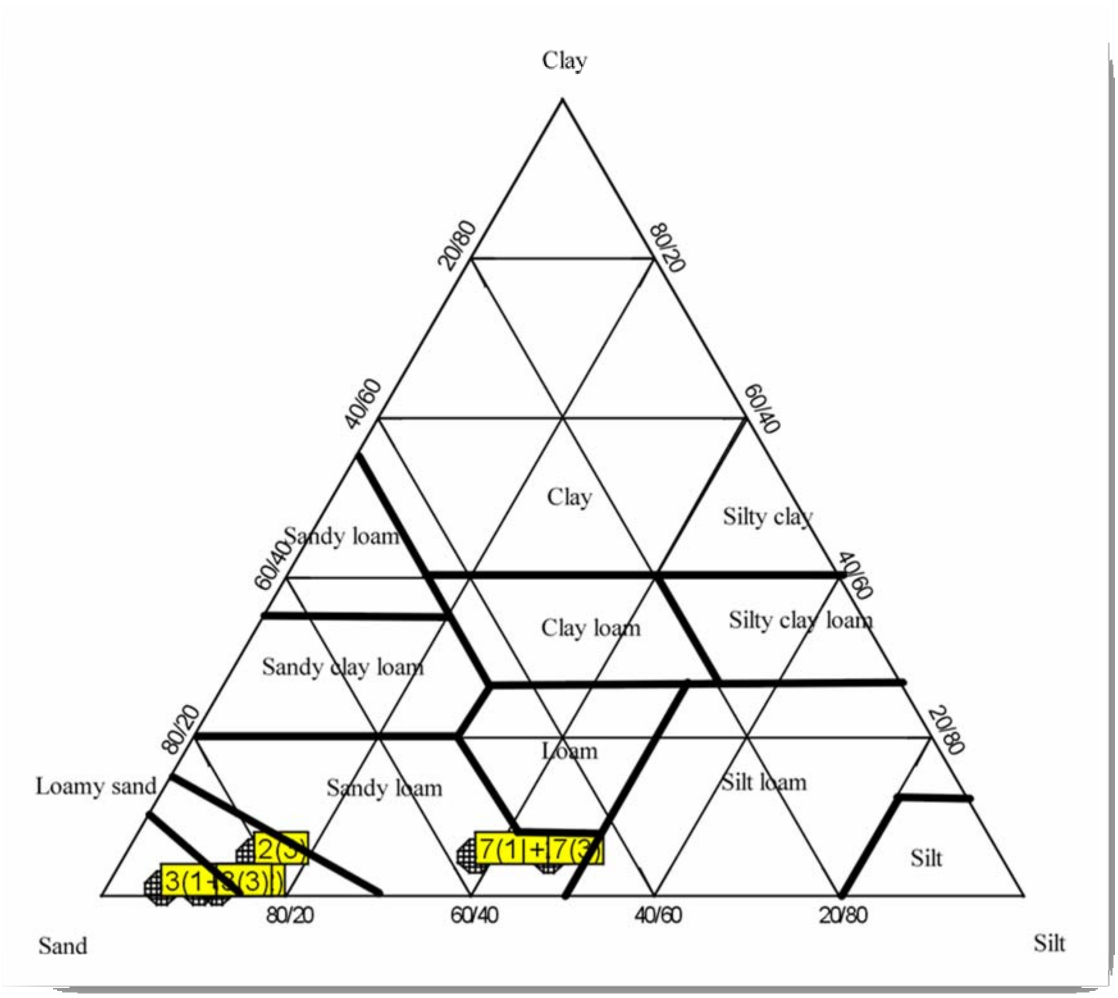

**Διάγραμμα 4.1** Ραβδόγραμμα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών

Στο διάγραμμα 4.1 παρατηρούμε πως το pH όλων των πυρήνων είναι σχεδόν το ίδιο. Εκτός από τον πυρήνα 2α, στους υπόλοιπους, το pH αυξάνεται με το βάθος. Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα, μειώνεται με το βάθος. Ακόμα, η οργανική ύλη είναι μεγαλύτερη στο άνω μέρος των πυρήνων και μειώνεται και αυτή στα κατώτερα στρώματα. Το δείγμα $4_{1+2}$ παρατηρούμε πως έχει πολύ υψηλό ποσοστό οργανικής ύλης, το οποίο οφείλεται στις φωτιές που έπληξαν την περιοχή τον

Αύγουστο του 2007. Τέλος το TKN και ο λόγος C/N συμπεριφέρονται και αυτά παρόμοια, με μείωση όσο αυξάνεται το βάθος. Αυτό συμβαίνει γιατί το TKN σχετίζεται με την οργανική ύλη, αλλά και με το λιγότερο ασβέστιο που ενδεχομένως να έχει το έδαφος. Σε όλες τις μετρήσεις παρατηρούμε πως ο πυρήνας 2α συμπεριφέρεται αντίθετα από τους υπολοίπους.

Συγκεκριμένα το pH αυξάνεται με το βάθος, καθώς το ανθρακικό οξύ και τα οργανικά οξέα, τα οποία περιέχονται στα ανώτερα στρώματα, παρέχουν $H^+$, που συνεισφέρει στην αποσύνθεση των ορυκτών και εκτοπίζει τις βάσεις (Ca, Na, Mg, K) από τις θέσεις ανταλλαγής των αργιλικών ορυκτών, των οξειδίων και των οργανικών υλικών. Οι βάσεις κινούνται προς τα κάτω διαμέσου του εδάφους σα διαλυμένα ιόντα με αποτέλεσμα την αύξηση του pH.

## 4.2 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης



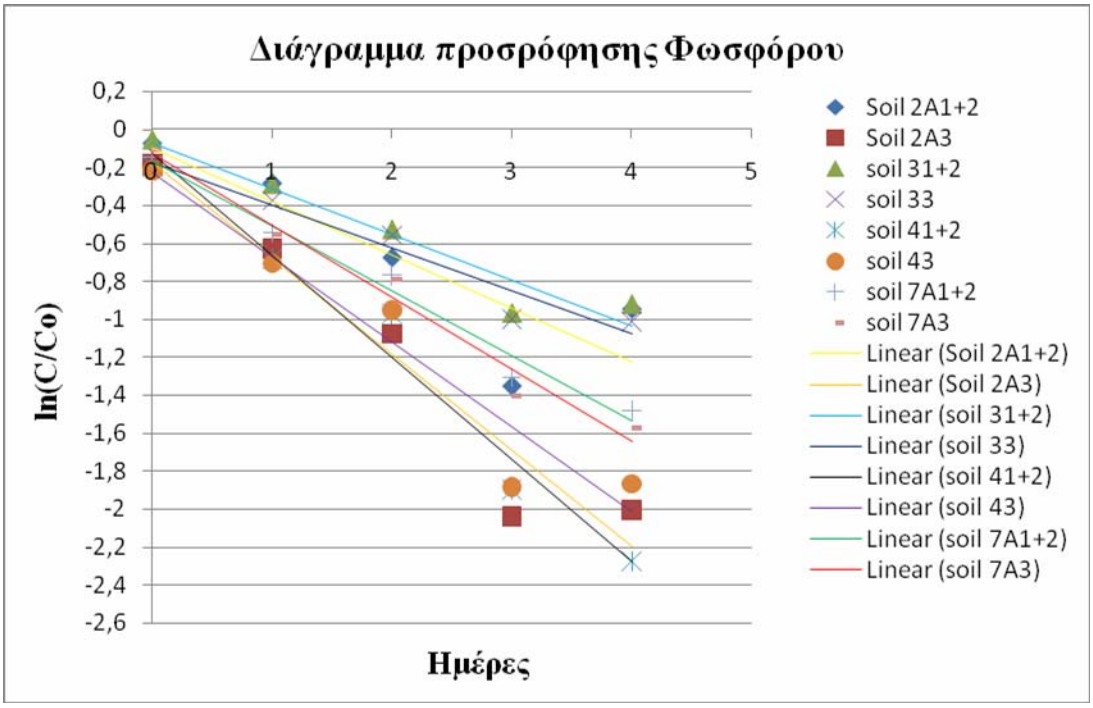
Από το πείραμα κοκκομετρικής ανάλυσης διαπιστώσαμε πως τα εδάφη που βρίσκονται στις παραποτάμιες περιοχές όπου έγινε δειγματοληψία είναι αμμώδη. Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση σχετίζεται με τα κατώτερα μέρη των πυρήνων. Όπως παρατηρούμε είναι πιο λεπτόκοκκα από τα ανώτερα, το οποίο είναι λογικό αφού λόγω της διήθησης του νερού, οι λεπτοί κόκκοι παρασύρονται και κατακάθονται στα χαμηλότερα στρώματα.

## 4.3 Αποτελέσματα πειραμάτων προσρόφησης - εκχύλισης

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων προσρόφησης - εκχύλισης, όπως αυτά προέκυψαν από την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3.

### *4.3.1 Αποτελέσματα κινητικής της προσρόφησης φωσφορικών ριζών ($PO_4$)*

Τα αποτελέσματα μέτρησης των φωσφορικών ($PO_4$) μέσω της διαδικασίας προσρόφησης του φωσφόρου, παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.2:




**Διάγραμμα 4.2** Διάγραμμα αποτελεσμάτων προσρόφησης φωσφόρου

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως τα χαμηλότερα στρώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη προσρόφηση φωσφόρου, το οποίο συμβαίνει λόγω των ορυκτών του εδάφους, που την επηρεάζουν. Το άνω μέρος του πυρήνα 4, το $4_{1+2}$, παρουσιάζει μεγαλύτερη προσρόφηση από το κάτω λόγω του πολύ υψηλού ποσοστού οργανικής ύλης που περιέχει. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την προσρόφηση του φωσφόρου είναι το pH, όπου όσο αυξάνει μειώνεται η προσρόφηση. Βέβαια η προσρόφηση αυξάνει με την ύπαρξη αργιλικών ορυκτών καθώς υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης τους λόγω της τιμής του pH που είναι κοντά στο 8.

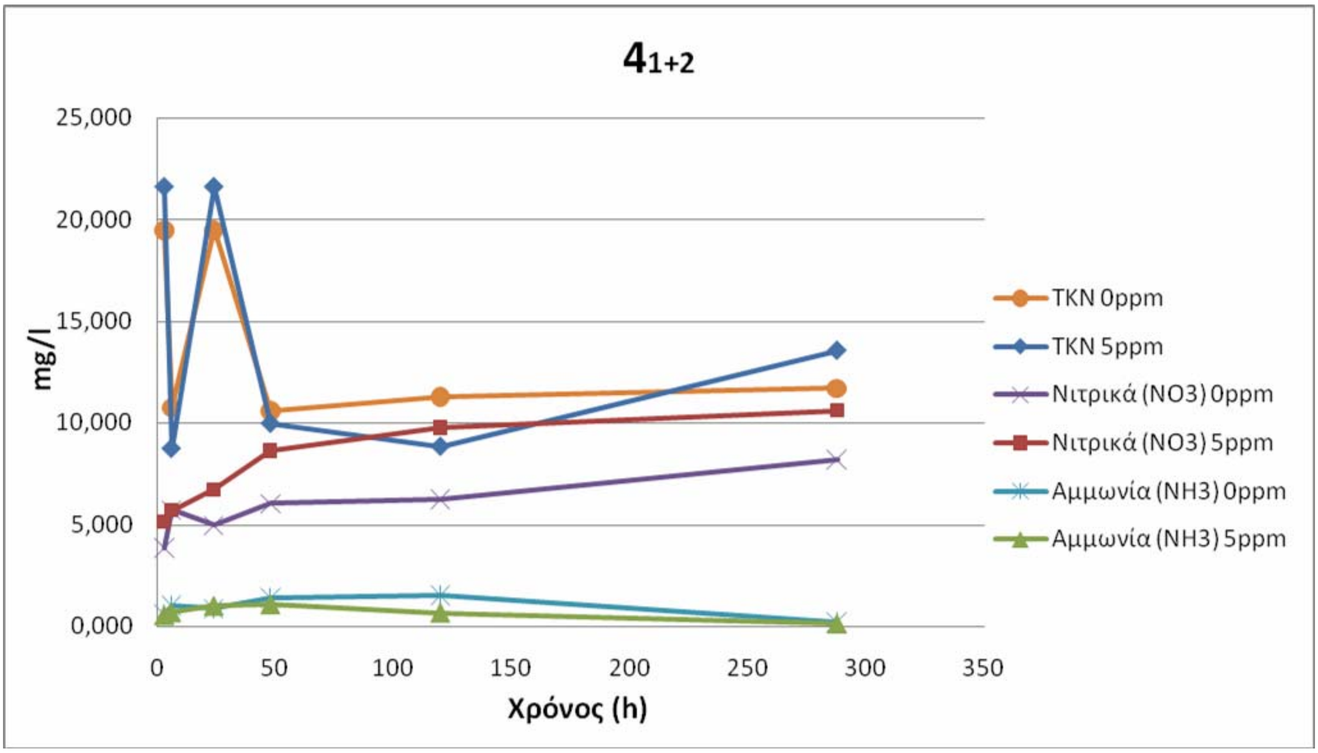
| Δείγμα | -k (1/d) | t=50% (d) | t=95% (d) |
|---|---|---|---|
| **$2A_{1+2}$** | 0,2814 | 2,463 | 10,646 |
| **$2A_3$** | 0,5069 | 1,367 | 5,910 |
| **$3_{1+2}$** | 0,2408 | 2,879 | 12,441 |
| **$3_3$** | 0,227 | 3,054 | 13,197 |
| **$4_{1+2}$** | 0,539 | 1,286 | 5,558 |
| **$4_3$** | 0,4471 | 1,550 | 6,700 |
| **$7A_{1+2}$** | 0,343 | 2,021 | 8,734 |
| **$7A_3$** | 0,3802 | 1,823 | 7,879 |

**Πίνακας 4.1** Πίνακας 50% και 95% απομάκρυνσης φωσφόρου

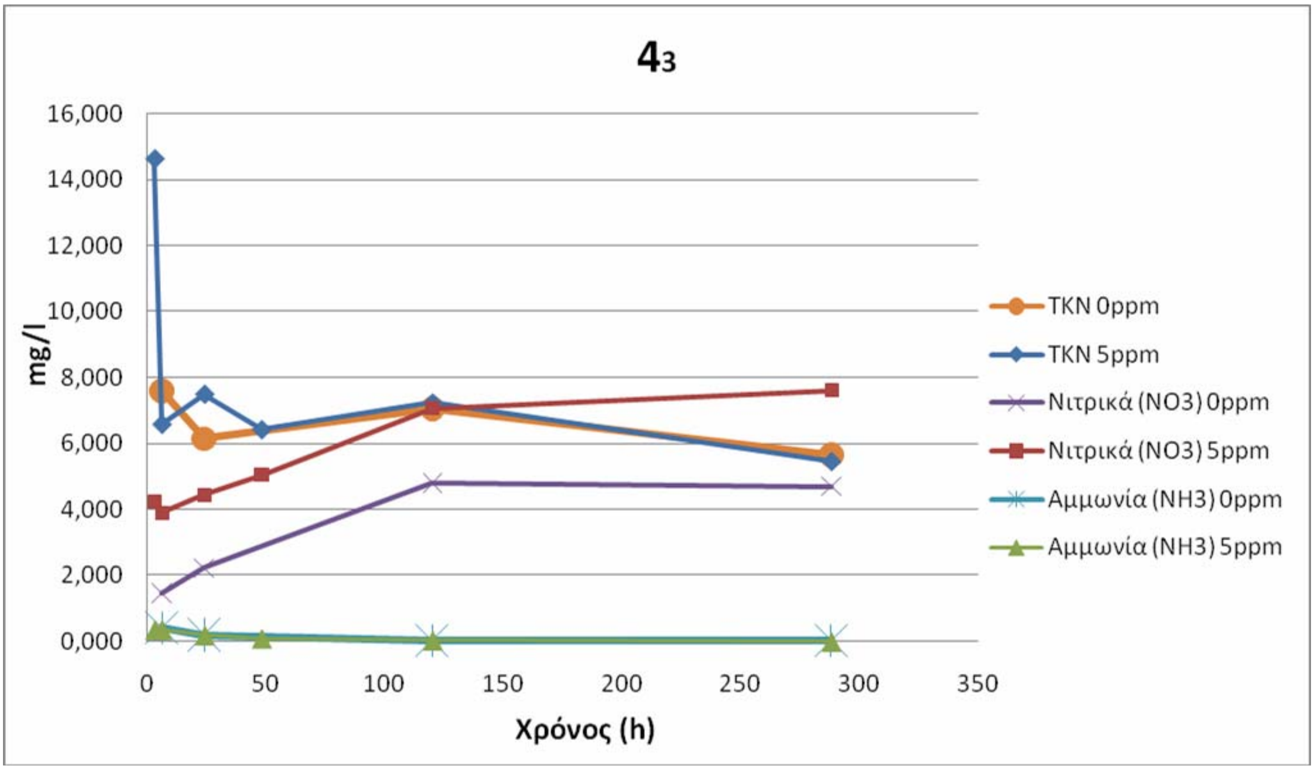
Από τον πίνακα 4.1 παρατηρούμε πως στο έδαφος 4 η προσρόφηση λειτουργεί σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα, αφού σε περίπου 1 ημέρα έχει προσροφήσει το 50% του φωσφόρου. Και τα υπόλοιπα όμως εδάφη παρουσιάζουν ικανοποιητική προσρόφηση, αφού θα έχουν προσροφήσει σε 3 ημέρες το αργότερο τον διαθέσιμο φώσφορο.

### *4.3.2 Αποτελέσματα κινητικής της προσρόφησης – εκχύλισης νιτρικών ($NO_3$)*

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας για την μέτρηση των νιτρικών ($NO_3$), της αμμωνίας ($NH_3$) και Ολικού Kjeldahl Αζώτου (σε υγρά δείγματα) για τα δείγματα $4_{1+2}$ και $4_3$, όπως αυτή αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3, παρατίθενται στα διαγράμματ 4.3 και 4.4:




**Διάγραμμα 4.3** Διάγραμμα αποτελεσμάτων μέτρησης για $4_{1+2}$




**Διάγραμμα 4.4** Διάγραμμα αποτελεσμάτων μέτρησης για $4_3$

Από τα ανωτέρω διαγράμματα παρατηρούμε πως με την προσθήκη ή μη νιτρικών τα δύο τμήματα συμπεριφέρονται παρόμοια. Το TKN για το $4_{1+2}$

αυξομειώνεται αρχικά και ακολούθως σταθεροποιείται. Στο $4_3$ μειώνεται απότομα στην αρχή και αργότερα σταθεροποιείται. Στα νιτρικά παρατηρείται μια διαφοροποίηση της καμπύλης λόγω της προσθήκης 5 ppm νιτρικών στο διάλυμα. Παρ' όλα αυτά δεν παρατηρούμε την ανάλογη αύξηση, δηλαδή 5 mg/l αλλά έλλειψη 2,3 mg/l στο άνω τμήμα και 3 mg/l στο κάτω. Αυτό συμβαίνει πιθανότητα λόγω απονιτροποίησης. Η απονιτροποίηση ευνοείται από την υψηλή οργανική ύλη και τις αλκαλικές συνθήκες. Στο χαμηλότερο στρώμα παρατηρούμε μεγαλύτερη ανοργανοποίηση, η οποία οφείλεται στο υψηλότερο pH και στις ανοξικές συνθήκες που επικρατούν. Πιθανότατα να οφείλεται και στο μέγεθος των κόκκων που είναι μικρότερο στα χαμηλότερα στρώματα, λόγω της διήθησης του νερού που το παρασέρνει χαμηλότερα. Οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή για τις δύο συγκεντρώσεις, όπου αυξάνονται μέχρι την $5^{η}$ μέρα και έπειτα σταθεροποιούνται. Όσον αφορά την αμμωνία παρατηρούμε πως η προσθήκη των 5 ppm δεν προκαλεί κάποια ιδιαίτερη διαφοροποίηση στην συμπεριφορά της. Η αμμωνία στο άνω μέρος αυξάνεται ελάχιστα και εν συνεχεία μειώνεται πολύ, ενώ στο κάτω τμήμα μειώνεται συνεχώς έως ότου μηδενίζεται.

### ***4.3.3 Πείραμα ικανότητας ανοργανοποίησης για την μελέτη της ποιότητας της οργανικής ύλης των ιζημάτων***

Στον πίνακα 4.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα του πειράματος ικανότητας ανοργανοποίησης, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3:

| Δείγμα | PMN (N-NH3) (mg/kg) | $K_d$ PMN [(N-NH3)(7days)-(N-NH3)(1hr)](ml/g) |
|---|---|---|
| **$2A_{1+2}$** | 8,9339 | 669 |
| **$2A_3$** | 12,2436 | 587 |
| **$3_{1+2}$** | 38,0604 | 213 |
| **$3_3$** | 3,6839 | 1809 |
| **$4_{1+2}$** | - | - |
| **$4_3$** | - | - |
| **$7A_{1+2}$** | 24,2803 | 414 |
| **$7A_3$** | 11,5935 | 669 |

**Πίνακας 4.2** Αποτελέσματα πειράματος ικανότητας ανοργανοποίησης

Από τον πίνακα 4.2 παρατηρούμε πως για μικρές τιμές του συντελεστή κατανομής ($K_d$) το δυναμικό ανοργανοποίησης παρουσιάζει μεγάλες τιμές. Δηλαδή όσο μικραίνει ο συντελεστής αυξάνεται η ανοργανοποίηση, με δεδομένη την νιτροποίηση, το ίζημα να δίνει νιτρικά και έμμεσα υπό κατάλληλες συνθήκες να επέλθει απονιτροποίηση σε ένα μέρος αυτών και ένα μέρος να εισέλθει στον υδάτινο αποδέκτη προκαλώντας ρύπανση. Αξίζει να τονίσουμε πως τα εδάφη τα οποία παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό απονιτροποίησης ($3_{1+2}$ και $7α_{1+2}$) βρίσκονται σε αρκετά ρυπασμένες περιοχές. Τα ανώτερα τμήματα των πυρήνων παρουσιάζουν μεγαλύτερο δυναμικό ανοργανοποίησης του αζώτου (PMN) σε σχέση με τα κατώτερα λόγω της υψηλότερης οργανικής ύλης που περιέχουν.

Αναλυτικότεροι πίνακες και διαγράμματα, για όλες τις μετρήσεις, παρατίθενται στο παράρτημα Γ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη των αντιδράσεων αζώτου και φωσφόρου σε ιζήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα. Συγκεκριμένα η μελέτη έγινε σε 4 πυρήνες που ελήφθησαν κατά μήκος της λεκάνης.

Από τις μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών συμπεραίνουμε πως το τμήμα $4_{1+2}$ έχει το μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης, το οποίο οφείλεται στην μεγάλη πυρκαγιά που ξέσπασε στην περιοχή τον Αύγουστο του 2007. Ακόμα παρατηρούμε πως τα κατώτερα τμήμα των πυρήνων παρουσιάζουν μικρότερη οργανική ύλη, αλλά υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα και pH. Ο πυρήνας 2α συμπεριφέρεται αντίθετα από τους υπολοίπους. Επειδή η δειγματοληψία έγινε κοντά στην κοίτη του ποταμού, οι διαφορετικές στρώσεις των ιζημάτων που δημιουργήθηκαν από την κίνηση του νερού, επηρέασαν τις μετρήσεις. Το συγκεκριμένο δείγμα λοιπόν δεν λειτουργεί σαν έδαφος.

Τα συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από το πείραμα προσρόφησης του φωσφόρου, αποδεικνύουν την αρκετά υψηλή προσροφητική ικανότητα των εδαφών και ιδιαίτερα αυτών με υψηλότερη οργανική ύλη. Για το λόγο αυτό το δείγμα $4_{1+2}$ παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσροφητική ικανότητα. Στα υπόλοιπα δείγματα παρατηρούμε πως τα κατώτερα τμήματα των πυρήνων παρουσιάζουν μεγαλύτερη προσρόφηση, λόγω της ορυκτολογικής σύστασης και της κοκκομετρίας. Όσο μικρότερό το μέγεθος των κόκκων τόσο μεγαλύτερη η προσροφητική ικανότητα. Το μέγεθος των κόκκων μειώνεται με το βάθος λόγω της διήθησης του νερού που τους παρασέρνει σε χαμηλότερα στρώματα.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το πείραμα εκχύλισης νιτρικών που πραγματοποιήθηκε για τον πυρήνα 4, αποδεικνύεται πως η αμμωνία μετατρέπεται πολύ γρήγορα σε νιτρικά, δηλαδή λαμβάνει χώρα νιτροποίηση. Ακόμα παρατηρούμε πως ένα μέρος των νιτρικών χάνεται, αφού με την προσθήκη των 5 ppm αντί η συγκέντρωση να διπλασιάζεται από αυτή των 0 ppm, παρατηρείται μια απώλεια των 2,3 mg/l στο άνω μέρος και 3 mg/l στο κάτω. Αυτό συμβαίνει λόγω απονιτροποίησης που λαμβάνει χώρα. Στο χαμηλότερο στρώμα παρατηρούμε μεγαλύτερη απονιτροποίηση, η οποία οφείλεται στο υψηλότερο pH και στις ανοξικές συνθήκες που επικρατούν. Πιθανότατα να οφείλεται και στο μέγεθος των κόκκων που είναι μικρότερο στα χαμηλότερα στρώματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό νιτρικών να εκχυλιστούν από το έδαφος στο νερό που θα διηθηθεί και κατ' επέκταση την ρύπανση του υπόγειου νερού.

Η προσρόφηση του φωσφόρου ως μηχανισμός για την Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει πολύ ικανοποιητικά για τα εδάφη που μελετήθηκαν. Όλα παρουσίασαν υψηλή προσρόφηση και ιδιαίτερα αυτά με αυξημένη οργανική ύλη, αλλά και τα κατώτερα μέρη των πυρήνων ως πιο λεπτόκοκκα και με υψηλότερο pH από τα ανώτερα. Ακόμα συμπεραίνεται πως το η απομάκρυνση του 50% του φωσφόρου κυμαίνεται από περίπου 1 ημέρα έως 3. Όσον αφορά τα νιτρικά, μέσω του πειράματος εκχύλισης που πραγματοποιήθηκε για το δείγμα 4, εξάγεται το συμπέρασμα πως λαμβάνει χώρα αρχικά νιτροποίηση μέσω της ταχύτατης μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρικά και έπειτα απονιτροποίηση, αφού ένα μέρος αυτών χάνεται. Μέσω του πειράματος για την εκτίμηση της ικανότητας ανοργανοποίησης συμπεραίνεται πως το δυναμικό ανοργανοποίησης είναι υψηλό. Έτσι αφού μέσω του πειράματος εκχύλισης αποδείξαμε την ύπαρξη απονιτροποίησης, ουσιαστικά κλείνει ο κύκλος του αζώτου στο έδαφος.

**Βιβλιογραφία**


1. ΒΑΛΤΑ Α., 2008: Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, «Φυσική αποκατάσταση ρυπαντών και αξιολόγηση της χημικής ποιότητας των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα» στο πλαίσιο, Χανιά.
2. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Ν., ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ Ν., ΤΣΑΚΙΡΗΣ Κ., ΚΟΥΣΣΟΥΡΗΣ Θ., 2007: Προκαταρκτικό Σχέδιο Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα, Συνέδριο ΕΕΔΥΠ, Χανιά, 14-16 Ιουνίου.
3. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΤΥΡΟΒΟΛΑ Κ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΠΕΡΟΥΛΑΚΗ Ε., ΒΑΛΤΑ Κ., CASSENTINI B., ΠΑΠΑΔΟΥΛΑΚΗΣ Β., 2007: Τεχνική Έκθεση του Πολυτεχνείου Κρήτης προς τη Ν.Α. Λακωνίας με Αποτελέσματα του Προγράμματος: «Έρευνα, Μετρήσεις και Παροχή Τεχνικών Κατευθύνσεων για την Υλοποίηση Αντιπλημμυρικών Έργων στις Πυρόπληκτες Περιοχές του Νομού Λακωνίας», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.
4. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΚΑΛΟΓΕΡΆΚΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ Μ., 2006: Σχεδιασμός Τεχνολογιών Επίδειξης Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 ΕΕ (EnviFriendly).
5. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΣΚΟΥΛΙΚΊΔΗΣ Ν., ΤΣΑΚΊΡΗΣ Κ., & ΚΑΛΟΓΕΡΆΚΗΣ Ν., 2006: Προκαταρτικό Σχέδιο Διαχείρισης της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Ευρώτα και της Παράκτιας Ζώνης, Τεχνική έκθεση 242σ. + Παράρτημα 79σ. Στην Έκδοση: Νικολαΐδης Ν., Ν. Καλογεράκης, Ν. Σκουλικίδης, Κ. Τσακίρης, 2005-2009. Τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον για αγροτική ανάπτυξη. Πρόγραμμα Life-περιβάλλον, LIFE05ENV/Gr/000245 ΕΕ (EnviFriendly).
6. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ο., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ., ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ.,ΨΥΛΛΑΚΗ Ε., ΠΑΠΑΔΟΥΛΑΚΗΣ Β., ΜΠΕΡΤΑΧΑΣ Η., 2007: Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Θρεπτικών στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Ευρώτα, Πολυτεχνείο Κρητης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά

7. TNO-NICOLE REPORT, 1999: Monitored Natural Attenuation: Review of existing guidelines and protocols, TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation
8. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 2001: Monitored Natural Attenuation: USEPA Research Program - An EPA Science Advisory Board Review, EPA-SAB-EEC-01-004.
9. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 1999 a: Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund RCRA corrective action and underground storage tank sites, Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER), Directive 9200.4-17P (draft issued December 1997).
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 1999: Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrcarbons, US-EPA remedial technology fact sheet EPA/600/F-98/021.
11. ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ Μ., 2007: Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη Λεκάνη Απορροής του ποταμού Ευρώτα, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών - Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική , Χανιά.
12. ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ Α., 1997: Ρύπανση και μόλυνση του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας, ΜΔΕ 'Γεωεπιστήμες & Περιβάλλον', Πάτρα 1997.
13. ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2000: Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (EEL 327/1/22.12.2000).
14. Samuel L. Tisdale, Werner L. Nelson, James D. Beaton, John L. Havlin., 1993: Soil Fertility and Fertilizers, Fifth Edition, Macmillan Publishing Company.
15. Χαζτημπίρος, Κ., (2001) Οικολογία. Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος. Εκδόσεις Συμμετρία.
16. MONTGOMERY W. C., 1997: Fundamentals of Geology, Third Edition, Wm. C. Brown Publishers.

17. ΚΕΛΕΠΕΡΤΖΗΣ Α. Ε., 2000: Εφαρμοσμένη Γεωχημεία, Μακεδονικές Εκδόσεις.
18. BOUYOUCOS, G. J. (1936), Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. Soil Sci. Vol: 42 (3), Pages 225–229.
19. 9045A, EPA
20. BOWLES, (1986)
21. WALKLEY A. and BLACK I.A., (1934), An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Vol: 37, Pages 29–38.
22. RB Bradstreet (1954), Analytical Chemistry, Kjeldahl Method for Organic Nitrogen.
23. DR/2010 Spectrophotometer Procedures Manual, Hach Company, 1996-2000 U.S.A.

***Αναφορές στο διαδίκτυο***

24. http://users.lar.sch.gr/aperaki/diafora.htm
25. http://en.wikipedia.org
26. http://www.envifriendly.tuc.gr
27. http://www.enchantedlearning.com
28. http://www.nrcs.usda.gov

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθενται οι διαδικασίες φασματοφωτομετρικής ανάλυσης, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των αποτελεσμάτων για TKN σε στερεά και υγρά δείγματα, για τα φωσφορικά ($PO_4$), για τα νιτρικά ($NO_3$) και για την αμμωνία ($NH_3$).

1. *<u>Διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για TKN στερεών και υγρών δειγμάτων</u>*

   i. Προσθέτουμε 5 ml δείγματος σε κυλίνδρους ανάμιξης των 25 ml
   ii. Προσθέτουμε 1 σταγόνα TKN indicator
   iii. Προσθέτουμε στάγδην 8N KOH μέχρι το διάλυμα να γίνει μπλε και 3 σταγόνες 1N KOH για σταθεροποίηση του μπλε χρώματος
   iv. Γεμίζουμε μέχρι τα 20 ml με απιονισμένο νερό
   v. Προσθέτουμε 3 σταγόνες Mineral Stabilizer
   vi. Προσθέτουμε 3 σταγόνες Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent
   vii. Ανακινούμε
   viii. Γεμίζουμε μέχρι τα 25 ml
   ix. Προσθέτουμε 1 ml Nesslers Reagent
   x. Κάνουμε τα ίδια με απιονισμένο νερό για τη δημιουργία blank
   xi. Επιλέγουμε το πρόγραμμα 399 στο φασματοφωτόμετρο και ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 460 nm
   xii. Κάνουμε zeroing με το blank
   xiii. Κάνουμε μέτρηση

2. *<u>Διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για φωσφορικά ($PO_4$)</u>*

   i. Προσθέτουμε 5 ml nanopure στο Reactive Phosphorous Test N' Tube
   ii. Ανακατεύουμε

iii. Επιλέγουμε το πρόγραμμα 535 στο φασματοφωτόμετρο και ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 890 nm
iv. Κάνουμε zeroing
v. Προσθέτουμε 5 ml δείγματος στο Reactive Phosphorous Test N' Tube
vi. Προσθέτουμε τη σκόνη PhosVer 3 phosphate Powder Pillow
vii. Ανακατεύουμε κρατώντας τα σε γωνία 45 μοιρών για 10 – 15 δευτερόλεπτα (η σκόνη ενδέχεται να μην διαλυθεί τελείως)
viii. Κάνουμε τα ίδια και σε blank με nanopure
ix. Αφήνουμε 2 λεπτά να γίνει η αντίδραση
x. Κάνουμε μέτρηση αφού περάσουν τα 2 λεπτά και όχι μετά το πέρας των 8 λεπτών (σκουπίζουμε το φιαλίδιο με καθάρό χαρτί για απομάκρυνση τυχόν δαχτυλιών)

3. *Διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για νιτρικά ($NO_3$)*

i. Προσθέτουμε 25 ml δείγματος σε φιαλίδιο των 50 ml
ii. Προσθέτουμε τη σκόνη NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow
iii. Ανακατεύουμε στο Vertex για 1 λεπτό στις 1000 στροφές
iv. Αφήνουμε 5 λεπτά να γίνει η αντίδραση
v. Κάνουμε τα ίδια σε ένα blank με nanopure
vi. Τα ρίχνουμε στα γυάλινα Hach cells των 25 ml
vii. Κάνουμε zeroing με σκέτο nanopure
viii. Σκουπίζουμε τα φιαλίδια με καθαρό χαρτί για απομάκρυνση τυχόν δαχτυλιών
ix. Επιλέγουμε το πρόγραμμα 355 στο φασματοφωτόμετρο και ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 500 nm
x. Κάνουμε μέτρηση

4. *Διαδικασία φασματοφωτομετρικής ανάλυσης για αμμωνία ($NH_3$)*

i. Προσθέτουμε 2 ml δείγματος στο AmVer Diluent Reagent Vial

ii. Προσθέτουμε την 1η σκόνη: Ammonia Salicylate Reagent Powder Pillow
iii. Προσθέτουμε την 2η σκόνη: Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillow
iv. Ανακατεύουμε μέχρι να διαλυθεί η σκόνη
v. Κάνουμε τα ίδια κα σε blank με nanopure
vi. Αφήνουμε 20 λεπτά να γίνει η αντίδραση
vii. Κάνουμε zeroing με το blank
viii. Σκουπίζουμε τα φιαλίδια με καθαρό χαρτί για απομάκρυνση τυχόν δαχτυλιών
ix. Επιλέγουμε το πρόγραμμα 342 στο φασματοφωτόμετρο και ρυθμίζουμε το μήκος κύματος στα 655 nm
x. Κάνουμε μέτρηση

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Σε αυτό το δεύτερο παράρτημα παρατίθενται τα όργανα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο για τη διεξαγωγή των πειραμάτων:

**Β.1 Πεχάμετρο**

Οι μετρήσεις της ενεργού οξύτητας (pH), πραγματοποιήθηκαν με φορητό πεχάμετρο της εταιρείας Orion, μοντέλο 250A.

**Εικόνα Β.1** Φορητό pH/mV/ORP/Temperature Meter, Orion, model 250A

**Β.2 Αγωγιμόμετρο**

Οι μετρήσεις της αγωγιμότητας, πραγματοποιήθηκαν με φορητό αγωγιμόμετρο της εταιρείας Orion, μοντέλο 105.

**Εικόνα Β.2** Φορητό αγωγιμόμετρο, Orion, model 105

**Β.3 Αναδευτήρες**

Τα πειράματα μέτρησης φωσφορικών ($PO_3$), αμμωνίας ($NH_3$) και νιτρικών ($NO_3$) πραγματοποιήθηκαν σε αναδευτήρα της εταιρείας Labnet, μοντέλο Shaker Orbit 1000.

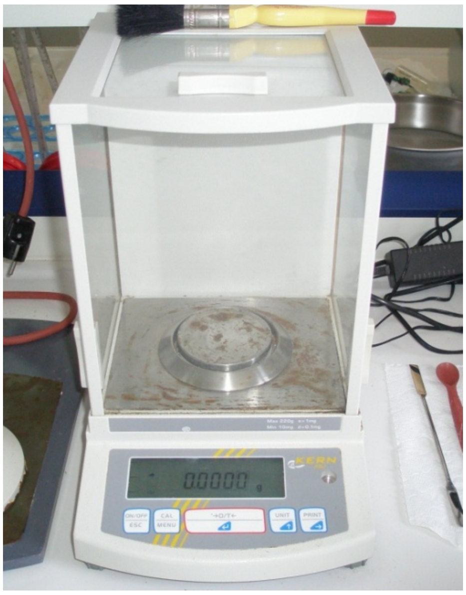

**Εικόνα Β.3** Αναδευτήρας, Labnet, model Shaker Orbit 1000

Το πείραμα ανοργανοποίησης πραγματοποιήθηκε στους 40$^{o}$C και χρησιμοποιήθηκε μηχανικός αναδευτήρας εντός επωαστικού κλιβάνου.

**Εικόνα Β.4** Μηχανικός αναδευτήρας εντός επωαστικού κλιβάνου

**Β.4 Ζυγαριά**

Για την μέτρηση όλων των ποσοτήτων εδάφους και αντιδραστηρίων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων της εταιρείας Kern, μοντέλο ABJ 220-4M.



**Εικόνα Β.5** Ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας, Kern, model ABJ 220-4M

**Β.5 Αντλία διήθησης**

Η διήθηση των εκάστοτε δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με αντλία της εταιρείας ABM, Marktredwitz, μοντέλο MZ2C.

**Εικόνα Β.6** Αντλία διήθησης, ABM, Marktredwitz, model MZ2C

**Β.6 Φασματοφωτόμετρο**

Η ανάλυση των διηθημάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φασματοφωτομέτρου της εταιρείας Hach, μοντέλο DR/2010.


**Εικόνα Β.7** Φασματοφωτόμετρο, Hach, model DR/2010

## Β.7 Nanopure

Σε αρκετά πειράματα χρησιμοποιήθηκε nanopure (πολύ απιονισμένο νερό), το οποίο παράγεται από μηχάνημα της εταιρείας Barnstead, μοντέλο Easypure II.

**Εικόνα Β.8** Μηχάνημα παραγωγής nanopure, Barnstead, model Easypure II

## Β.8 Συσκευή χώνευσης δειγμάτων (TKN)

Οι χωνεύσεις των δειγμάτων (TKN) πραγματοποιήθηκαν με συσκευή της εταιρείας Hach, μοντέλο Digesdahl Digestion Apparatus.

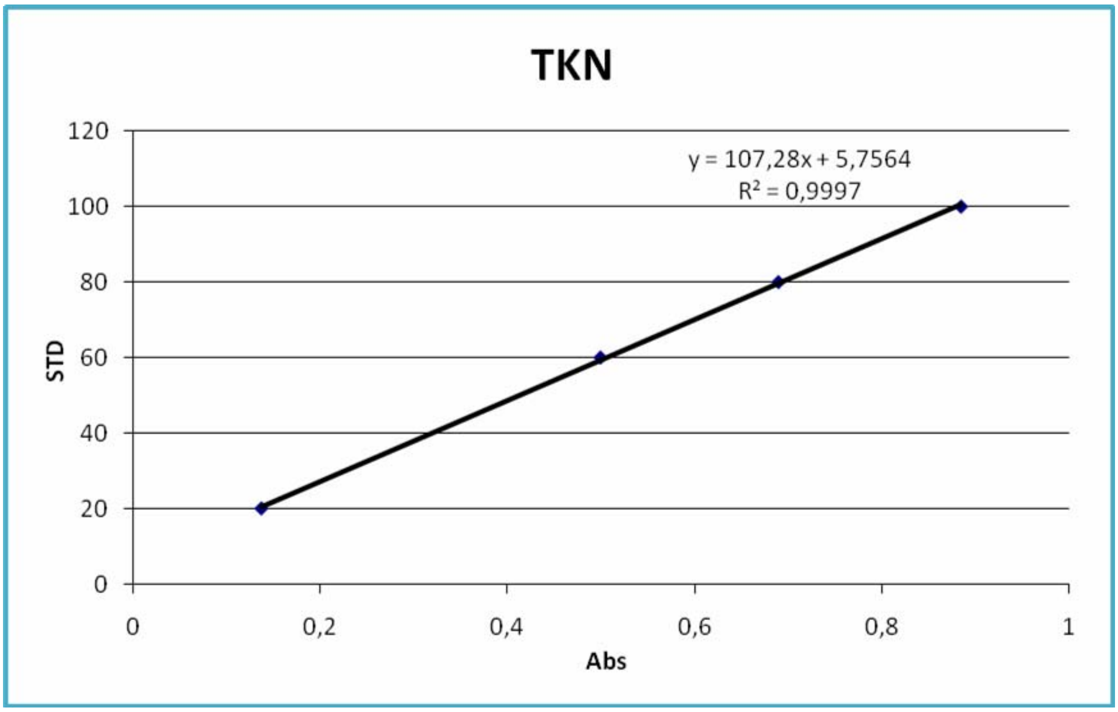
**Εικόνα Β.9** Συσκευή χώνευσης δειγμάτων (TKN), Hach, model Digesdahl Digestion Apparatus

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Σε αυτό το τρίτο και τελευταίο παράρτημα παρατίθενται οι αναλυτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων όλων των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν.

| Δείγμα | Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm) | pH | C/N | Οργανική ΄Υλη (%) | TKN (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **$2A_{1+2}$** | 676 | 7,99 | 4,658 | 0,961 | 0,120 |
| **$2A_3$** | 898 | 7,77 | 6,091 | 1,509 | 0,144 |
| **$3_{1+2}$** | 586 | 7,70 | 5,273 | 1,475 | 0,162 |
| **$3\ _3$** | 354 | 7,89 | 2,389 | 0,549 | 0,133 |
| **$4_{1+2}$** | 253 | 7,66 | 8,839 | 5,660 | 0,371 |
| **$4\ _3$** | 1047 | 7,87 | 4,556 | 1,818 | 0,231 |
| **$7A_{1+2}$** | 397 | 7,91 | 6,241 | 2,161 | 0,201 |
| **$7A_3$** | 449 | 7,93 | 4,236 | 1,132 | 0,155 |

**Πίνακας Γ.1** Αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών



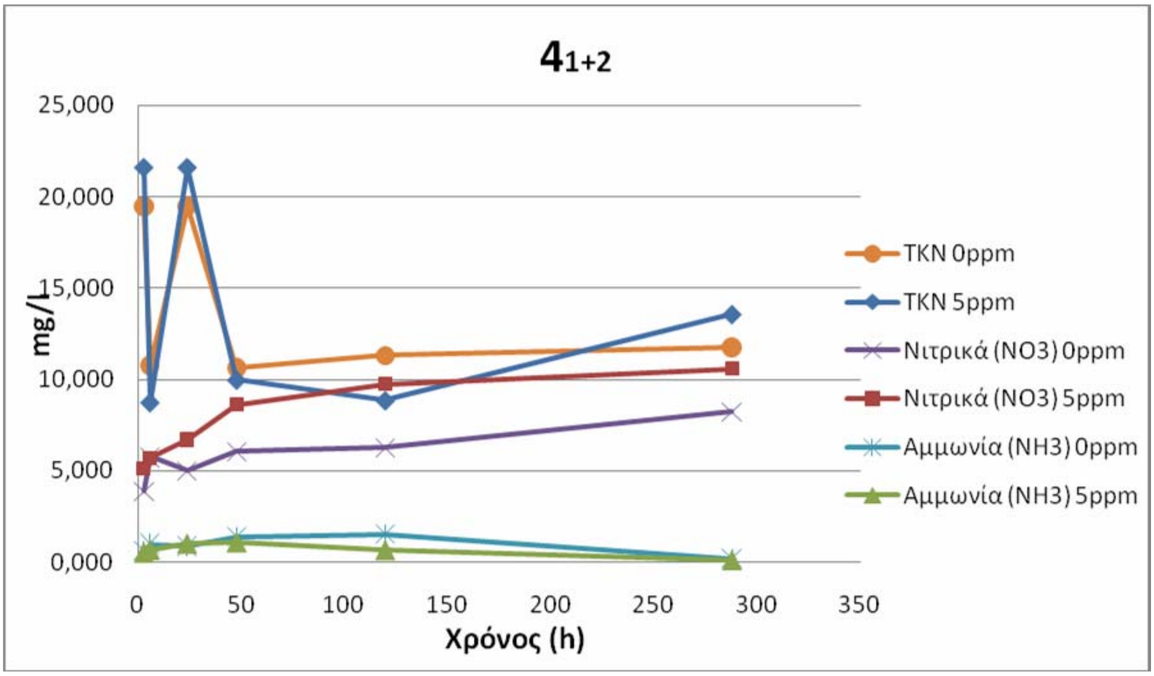

**Διάγραμμα Γ.1** Καμπύλη βαθμονόμησης για TKN στερεών και υγρών δειγμάτων

| Δείγμα | C/C0 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Day 0 | Day 1 | Day 2 | Day 3 | Day 4 |
| $2A_{1+2}$ | 0,93 | 0,75 | 0,51 | 0,26 | 0,39 |
| $2A_3$ | 0,84 | 0,53 | 0,34 | 0,13 | 0,13 |
| $3_{1+2}$ | 0,95 | 0,75 | 0,59 | 0,38 | 0,40 |
| $3_3$ | 0,83 | 0,51 | 0,38 | 0,15 | 0,10 |
| $4_{1+2}$ | 0,83 | 0,69 | 0,57 | 0,37 | 0,36 |
| $4_3$ | 0,81 | 0,49 | 0,39 | 0,15 | 0,16 |
| $7A_{1+2}$ | 0,86 | 0,58 | 0,46 | 0,27 | 0,23 |
| $7A_3$ | 0,90 | 0,58 | 0,45 | 0,24 | 0,21 |

**Πίνακας Γ.2** Αποτελέσματα μέτρησης προσρόφησης φωσφορικών

| $4_{1+2}$ | | | |
|---|---|---|---|
| **0 ppm** | | | |
| | **Νιτρικά (mg/l)** | **Αμμωνία (mg/l)** | **TKN (mg/l)** |
| **3 hours** | 3,861 | 0,609 | 19,507 |
| **6 hours** | 5,734 | 1,008 | 10,763 |
| **24 hours** | 4,970 | 0,880 | 19,507 |
| **48 hours** | 6,040 | 1,398 | 10,602 |
| **5 days** | 6,269 | 1,540 | 11,300 |
| **12 days** | 8,219 | 0,204 | 11,729 |
| **5 ppm** | | | |
| **3 hours** | 5,161 | 0,532 | 21,599 |
| **6 hours** | 5,696 | 0,681 | 8,725 |
| **24 hours** | 6,728 | 0,994 | 21,599 |
| **48 hours** | 8,639 | 1,075 | 9,959 |
| **5 days** | 9,748 | 0,658 | 8,832 |
| **12 days** | 10,589 | 0,126 | 13,553 |

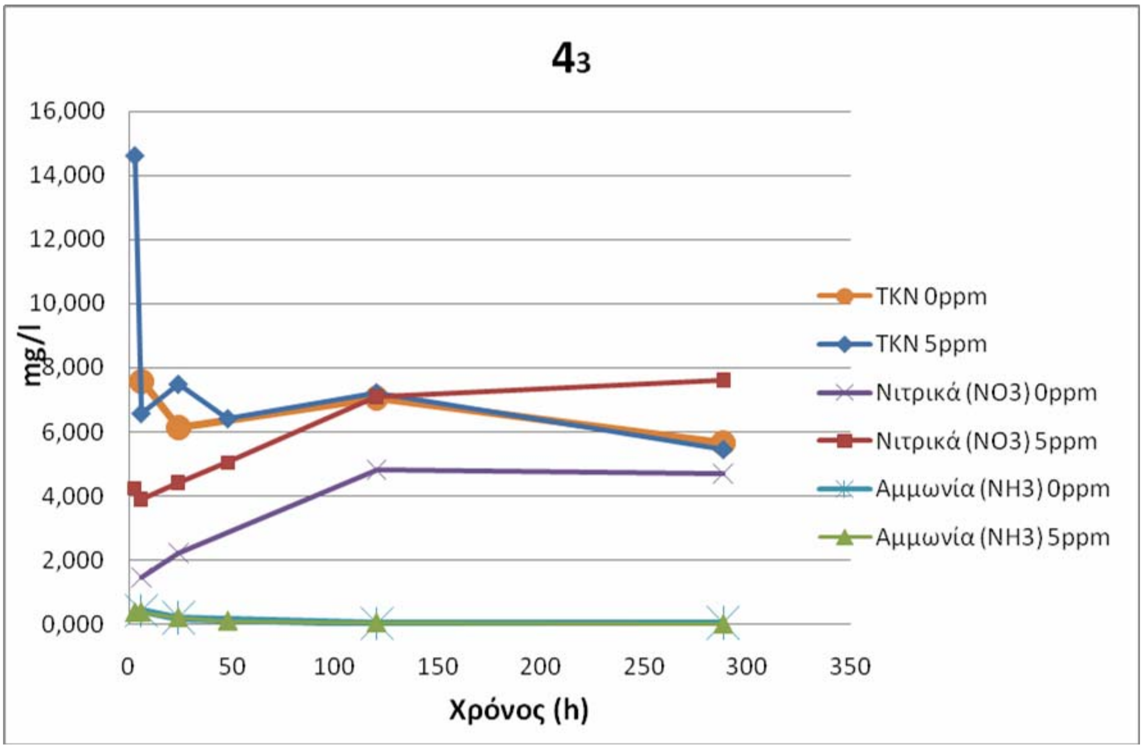
**Πίνακας Γ.3** Αποτελέσματα μέτρησης εκχύλισης νιτρικών για το δείγμα $4_{1+2}$



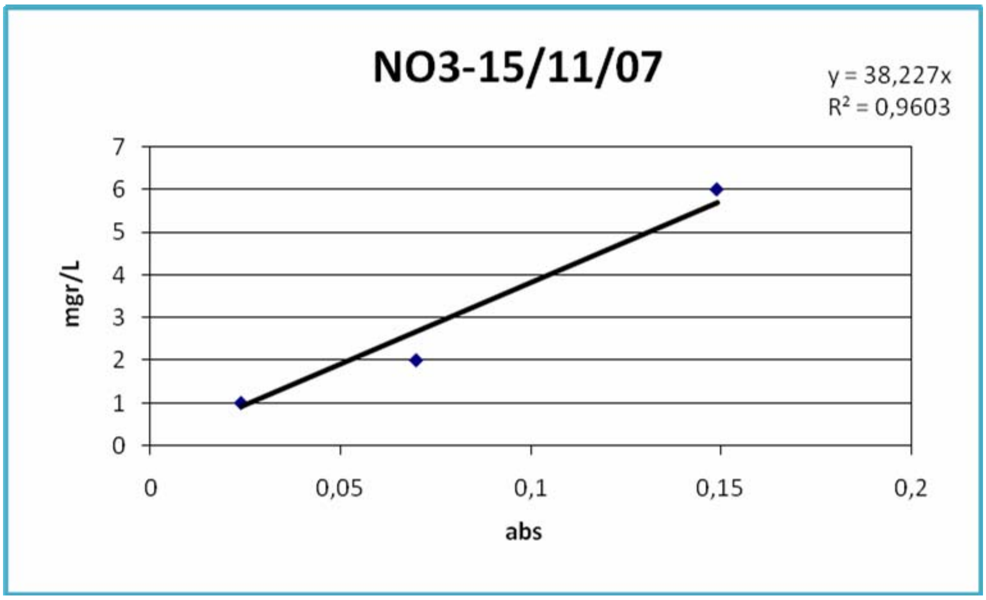

**Διάγραμμα Γ.2** Διάγραμμα αποτελεσμάτων μέτρησης εκχύλισης νιτρικών για το δείγμα $4_{1+2}$

| $4_3$ | | | |
|---|---|---|---|
| **0 ppm** | | | |
| | **Νιτρικά (mg/l)** | **Αμμωνία (mg/l)** | **TKN (mg/l)** |
| **3 hours** | - | - | - |
| **6 hours** | 1,453 | 0,407 | 7,599 |
| **24 hours** | 2,217 | 0,200 | 6,150 |
| **48 hours** | - | - | - |
| **5 days** | 4,817 | 0,033 | 7,062 |
| **12 days** | 4,702 | 0,035 | 5,667 |
| **5 ppm** | | | |
| **3 hours** | 4,243 | 0,362 | 14,625 |
| **6 hours** | 3,899 | 0,369 | 6,579 |
| **24 hours** | 4,434 | 0,198 | 7,491 |
| **48 hours** | 5,046 | 0,098 | 6,418 |
| **5 days** | 7,072 | 0,046 | 7,223 |
| **12 days** | 7,607 | 0,000 | 5,453 |

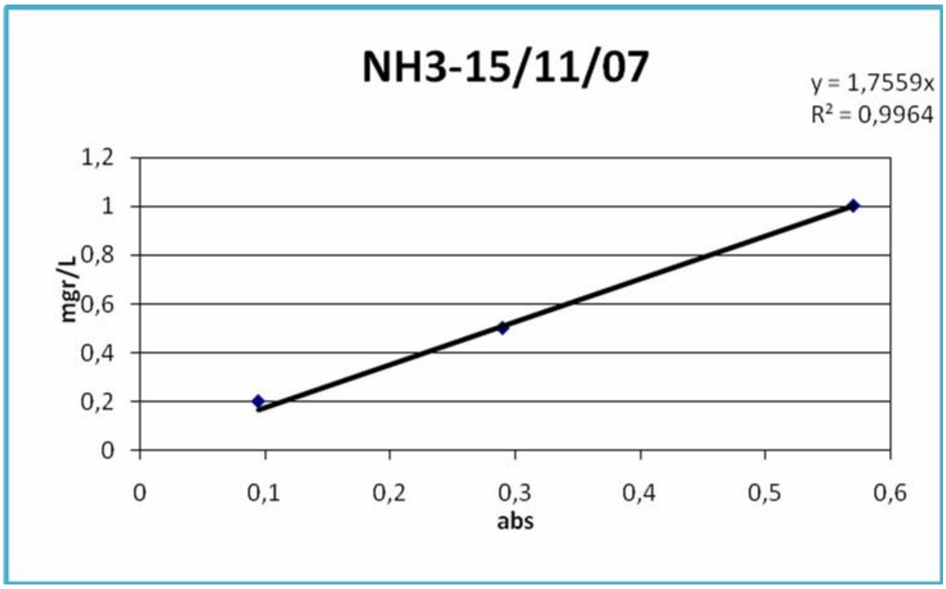
**Πίνακας Γ.3** Αποτελέσματα μέτρησης εκχύλισης νιτρικών για το δείγμα $4_3$




**Διάγραμμα Γ.3** Διάγραμμα αποτελεσμάτων μέτρησης εκχύλισης νιτρικών για το δείγμα $4_3$




**Διάγραμμα Γ.4** Καμπύλη βαθμονόμησης νιτρικών για το πείραμα εκχύλισης




**Διάγραμμα Γ.5** Καμπύλη βαθμονόμησης αμμωνίας για το πείραμα εκχύλισης

| Δείγμα | TKN mg/Kg εδάφους | DON (7 days) (mg/l) | Mineral N (mg/l) 1 ώρα | PMN (N-NH3) (mg/l) | PMN [(N-NO3 +N-NH3)(7days) - (N-NO3 +N-NH3)(1hr)] (mg/l) | PTSN (NO3-N+NH3-N+DON) (mg/l) | SUVA, DON, 280 | %OM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$2A_{1+2}$** | 1196,100 | 10,6216 | 4,4946 | 1,7868 | 1,8444 | 16,9606 | 23,9464 | 0,96 |
| **$2A_3$** | 1437,480 | 10,2438 | 4,0941 | 2,4487 | 2,3335 | 16,6714 | 28,3196 | 1,51 |
| **$3_{1+2}$** | 1622,538 | 12,0007 | 5,5678 | 7,6121 | 9,0528 | 26,6214 | 32,2939 | 1,48 |
| **$3_3$** | 1332,882 | 10,3925 | 4,8670 | 0,7368 | -0,3006 | 14,9589 | 12,0809 | 0,55 |
| **$4_{1+2}$** | 3714,498 | - | - | - | - | - | - | 5,66 |
| **$4_3$** | 2314,494 | - | - | - | - | - | - | 1,82 |
| **$7A_{1+2}$** | 2008,746 | 10,4992 | 5,4349 | 4,8561 | 6,0087 | 21,9427 | 36,5980 | 2,16 |
| **$7A_3$** | 1550,124 | 9,4989 | 5,9629 | 2,3187 | 1,5695 | 17,0313 | 23,8448 | 1,13 |

**Πίνακας Γ.4** Αποτελέσματα μέτρησης ικανότητας ανοργανοποίησης

| Δείγμα | Kd Mineral N (ml/g) 1 ώρα | Kd PMN [(N-NH3)(7days)-(N-NH3)(1hr)](ml/g) | Kd PMN(NO3-N+NH3-N) (ml/g) | Kd PTSN (ml/g) | Kd DON 7 days (ml/g) |
|---|---|---|---|---|---|
| **$2A_{1+2}$** | 532 | 669 | 648 | 71 | 93 |
| **$2A_3$** | 702 | 587 | 616 | 86 | 117 |
| **$3_{1+2}$** | 583 | 213 | 179 | 61 | 110 |
| **$3_3$** | 548 | 1809 | -4435 | 89 | 104 |
| **$4_{1+2}$** | - | - | - | - | - |
| **$4_3$** | - | - | - | - | - |
| **$7A_{1+2}$** | 739 | 414 | 334 | 92 | 152 |
| **$7A_3$** | 520 | 669 | 988 | 91 | 124 |

**Πίνακας Γ.5** Αποτελέσματα μέτρησης συντελεστών κατανομής