

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ**

## **ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*Από τη φοιτήτρια*

**ΧΑΝΤΖΗΑΝΔΡΕΟΥ ΑΘΗΝΑ**

*Επιβλέπων Καθηγητής*

**ΚΑΡΑΓΓΕΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**2012**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει τίτλο «Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών» και εκπονήθηκε στα πλαίσια του των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων, του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Καλαμάτας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής εργασίας Καθηγητή κ. Καραγγελή Γεώργιο για την καθοδήγηση και τη συνεργασία του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλους εκείνους, την οικογένεια μου και τους φίλους, που βρέθηκαν πλάι μου και έδειξαν αμέριστη συμπαράσταση κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων, του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Καλαμάτας.

Το θέμα της εργασίας είναι «Ποιότητα και ρύπανση των υπόγειων νερών». Στα πλαίσια της εργασίας μελετήθηκε η υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων, τα αίτια που την προκαλούν και οι τεχνικές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εξυγίανση ρυπασμένων υδατικών πόρων.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και οι διαδικασίες που διαμορφώνουν την ποιότητα των υπόγειων νερών. Στη συνέχεια αναφέρονται οι επιπτώσεις που έχει η ρύπανση των υπογείων υδάτων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Τέλος, γίνεται αναλυτική περιγραφή των πηγών ρύπανσης των υπογείων υδάτων.

Στα επόμενα δύο κεφάλαια παρουσιάζεται η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από γεωργικές δραστηριότητες, όπως είναι η χρήση φυτοφαρμάκων (Δεύτερο Κεφάλαιο) και λιπασμάτων (Τρίτο Κεφάλαιο). Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων από αζωτούχες ενώσεις γεωργικής προέλευσης.

Τέλος στο Τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά σύγχρονες μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξυγίανση και αποκατάσταση ρυπασμένων υπόγειων υδροφορέων.

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει στον αναγνώστη τις βασικές αρχές και τις διαδικασίες που διαμορφώνουν την ποιότητα και την ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Όσο περισσότερο κατανοητή γίνει η επίδρασή του κάθε πολίτη στην ποσότητα και την ποιότητα του νερού, τόσο περισσότερο μπορεί ο κάθε πολίτης να συμβάλλει στην προστασία των πολύτιμων υδατικών πόρων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο</b> .....	<b>10</b>
<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ</b> .....	<b>10</b>
1.1 Ποιότητα υδατικών πόρων και οι διαχρονικές μεταβολές της .....	10
1.2 Νομικό Πλαίσιο Προστασίας Υδάτων.....	12
1.3 Πρότυπα ποιότητας υπογείων υδάτων .....	13
1.4 Σημασία των υπογείων υδάτων.....	14
1.5 Ποιότητα Υπόγειων Υδάτων .....	15
1.6 Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι .....	16
1.6.1 Τα υπόγεια νερά σαν συνιστώσα υδρολογικού κύκλου.....	16
1.6.2 Θέση υπόγειου νερού.....	17
1.7 Ρύπανση των υπόγειων νερών .....	19
1.8 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και στο περιβάλλον .....	19
1.9 Πηγές Ρύπανσης.....	20
1.9.1 Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες.....	21
1.9.2 Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες.....	22
1.9.3 Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες.....	24
1.9.4 Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες.....	25
1.9.5 Ρύπανση από φυσικές διεργασίες.....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	<b>27</b>
<b>ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ</b> .....	<b>27</b>
2.1 Γενικά.....	27
2.2 Ορισμοί φυτοφαρμάκων .....	28
2.3 Τα φυτοφάρμακα στο περιβάλλον .....	29
2.4 Ιδιότητες των φυτοφαρμάκων που καθορίζουν την τύχη τους στο περιβάλλον.....	31
2.5 Ορθή Διαχείριση των φυτοφαρμάκων για την προστασία της ποιότητας του νερού .....	36

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	<b>38</b>
<b>ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΠΟ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>38</b>
3.1 Εισαγωγή.....	38
3.2 Ορισμός - Κατηγορίες λιπασμάτων .....	38
3.2.1 Οργανικά και ανόργανα λιπάσματα .....	39
3.2.2 Απλά, Μικτά και σύνθετα λιπάσματα .....	40
3.2.3 Πυκνά ή αραιά λιπάσματα .....	40
3.3 Επιπτώσεις από την χρήση των λιπασμάτων στο περιβάλλον.....	41
3.4 Νιτρορύπανση.....	42
3.4.1 Κύκλος του Αζώτου (N) .....	42
3.4.2 Πηγές Νιτρορύπανσης.....	44
3.4.3 Επιπτώσεις νιτρορύπανσης στο περιβάλλον.....	45
3.5 Μέτρα προστασία περιβάλλοντος από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων .....	46
3.5.1 Πολιτικό Πλαίσιο – Οδηγία για τη Νιτρορύπανση .....	46
3.5.2 Πρακτικές διαχείρισης για τη μείωση στράγγισης των νιτρικών .....	47
3.5.3 Βελτιωμένη διαχείριση του αζωτούχου λιπάσματος.....	47
3.5.4 Χρόνος εφαρμογής λιπασμάτων.....	47
3.5.5 Πηγή πηγών του αζώτου και ελεγχόμενη απελευθέρωση .....	48
3.5.6 Εναλλακτικές καλλιέργειες.....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο</b> .....	<b>50</b>
<b>ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ</b> .....	<b>50</b>
4.1 Γενικά.....	50
4.2 Μέθοδοι Αποκατάστασης.....	51
4.3 Προστασία από την επέκταση της ρύπανσης.....	52
4.3.1 Εγκιβωτισμός του ρυπασμένου εδάφους .....	52
4.3.2 Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα .....	53
4.3.3 Οριζόντια διαφράγματα βάσης .....	55
4.3.4 Συστήματα κάλυψης.....	55
4.3.5 Υδραυλικά συστήματα.....	56
4.3.6 Μέθοδοι σταθεροποίησης του εδάφους.....	57
4.4 Απομάκρυνση ρύπου .....	58
4.4.1 Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών .....	58
4.4.2 Αεροδιαχωρισμός (air stripping).....	59
4.4.3 Αεροδιασπορά (air sparging).....	59
4.4.4 Η βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation).....	60
4.4.5 Μέθοδος άντλησης επιπλέοντων ρυπαντών .....	60
4.4.6 Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος.....	61

4.5	Επεξεργασία του ρύπου στη θέση του.....	61
4.6	Απονίτρωση υπόγειων νερών .....	62
4.6.1	Φυσική απονίτρωση.....	63
4.6.2	Ιοντοανταλλαγή .....	64
4.6.3	Ηλεκτροδιάλυση .....	64
4.6.4	Χημική απονίτρωση.....	64
4.6.5	Βιολογική απονίτρωση.....	64
	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>65</b>
	Διασφάλιση της ποιότητας των υπόγειων υδατικών πόρων .....	65
	Ρύπανση των υπόγειων υδάτων από την χρήση φυτοφαρμάκων .....	65
	Ρύπανση υπόγειων υδάτων από τη χρήση λιπασμάτων.....	66
	Μέθοδοι αποκατάστασης και εξυγίανσης των υδατικών πόρων .....	67
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>69</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: Σχηματική παράσταση της κατανομής υπόγειου νερού σε ομογενές έδαφος .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: Πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών.....	20
ΕΙΚΟΝΑ 1.4: Τα φυτοφαρμάκα στον υδρολογικό κύκλο .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 1.5: Ρύπανση υπογείων υδάτων από χώρο διάθεσης αποβλήτων.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: Ψεκάσμος φυτοφάρμακος σε καλλιέργεια.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: Μηχανισμοί μεταφοράς των φυτοφαρμάκων.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: Το φαινόμενο του ευτροφισμού στον Αλιάκμονα, όπως καταγράφηκε το 2008.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: Κύκλος του Αζώτου.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 Σύστημα προστασίας από τη ρύπανση με αναστροφή της κίνησης του υπόγειου νερού.....	57

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 4.1: Διαγραμματική αναπαράσταση πλευρικού εγκιβωτισμού ρυπασμένης περιοχής στο έδαφος .....	53
ΣΧΗΜΑ 4.2: Τυπική διάταξη περιμετρικών διαφραγμάτων για την απομόνωση του εδάφους που έχει ρυπανθεί από επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα .....	54
ΣΧΗΜΑ 4.3: Διαγραμματική αναπαράσταση κάλυψης επιφάνειας με αδιαπέρατα υλικά .	56
ΣΧΗΜΑ 4.4: Συστήματα άντλησης-επεξεργασίας για την ανάκτηση NAPL: (α) Απλή γεώτρηση, μία αντλία, (β) απλή γεώτρηση, ζεύγος αντλιών .....	58
ΣΧΗΜΑ 4. 5:Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου της αεροδιασποράς .....	59



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Επιτρεπόμενα όρια των παραμέτρων βάση του υφιστάμενου νομικού πλαισίου για τις συγκεντρώσεις των υπόγειων υδατικών συστημάτων .....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: Εκτιμώμενη κατανομή του παγκόσμιου νερού .....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Προβλήματα από ενέργειες γεωργικής χρήσης .....	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες κατηγορίες φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες .....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: Οριακές τιμές που καθορίζουν την επικινδυνότητα ρύπανσης των υπογείων νερών .....	36

# 1

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

#### 1.1 Ποιότητα υδατικών πόρων και οι διαχρονικές μεταβολές της

Η σημασία του νερού για τη ζωή και ως συστατικού του παγκόσμιου οικοσυστήματος γίνεται συνεχώς σαφέστερη. Είναι ένας πόρος που όχι μόνο καλύπτει βασικές ανάγκες για τον ανθρώπινο πληθυσμό και αποτελεί το κλειδί για την ανάπτυξη, ιδιαίτερα με τη δημιουργία και διατήρηση του πλούτου μέσω της γεωργίας, της επαγγελματικής αλιείας, της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του τουρισμού, αλλά είναι ζωτικός για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα [1].

Ωστόσο, τα γεγονότα δείχνουν ότι αντιμετωπίζουμε παγκόσμια κρίση νερού. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά εξ' αιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Οι περισσότερες περιπτώσεις ρύπανσης αναπτύχθηκαν βαθμιαία μέχρις ότου έγιναν φανερές και μετρήσιμες. Χρειάστηκε πολύς χρόνος μέχρι να φτάσει ο άνθρωπος στην αναγνώριση των προβλημάτων ρύπανσης και ακόμα περισσότερος για να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και οι έλεγχοι.

Στα μέσα του εικοστού αιώνα και ταυτόχρονα με τη μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη, εμφανίστηκε στα μεγάλα ποτάμια της Ευρώπης και Β. Αμερικής, το πρόβλημα της σοβαρής εποχιακής μείωσης του οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτωση των ποταμών με αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης. Το γεγονός αυτό προκάλεσε γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους. Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα διαφορετικής

μορφής, έκτασης και έντασης ποιοτικά προβλήματα (ευτροφισμός, συσσώρευση βαρέων μετάλλων και οργανικών μικρορρύπων, οξίνιση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών).

Η υπερφόρτιση των υδατορευμάτων με βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα από τους παρόχθιους οικισμούς και βιομηχανίες αντιμετωπίστηκε με την εγκατάσταση βιολογικών σταθμών επεξεργασίας και το αποτέλεσμα ήταν η βαθμιαία αποκατάσταση της ποιότητας του νερού των ποταμών. Παράλληλα όμως εμφανίστηκε το πρόβλημα του ευτροφισμού, που οφείλεται στις εισροές κυρίως φωσφόρου και αζώτου. Ο έλεγχος του ευτροφισμού επιτεύχθηκε με την μείωση του φωσφορου, ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, αν και η αποκατάσταση των λιμνών και ταμιευτήρων γίνεται βραδέως και για την πλήρη αποκατάσταση τους απαιτείται αρκετός χρόνος.

Στη δεκαετία του 1970 νέα προβλήματα εμφανίζονται από τη βαθμιαία αύξηση των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα και στο νερό των ποταμών και λιμνών. Η βιοσυσσώρευση στα ψάρια είχε σαν αποτέλεσμα την ανάγκη επέμβασης στις πηγές τους, ιδιαίτερα των πιο επιβλαβών μετάλλων, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος. Την ίδια περίοδο η ρύπανση του περιβάλλοντος εισέρχεται σε μια νέα φάση από την παραγωγή και χρήση πολλών συνθετικών ουσιών. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν αυτές παντού σήμερα στα υπόγεια και επιφανειακά νερά. Οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων άρχισαν να μελετούνται εντατικά και η έρευνα για τον έλεγχο, μείωση ή περιορισμό τους αποτελούν την κύρια προσπάθεια των επόμενων ετών. Άλλα προβλήματα που εμφανίστηκαν αυτή την περίοδο είναι η ατμοσφαιρική μεταφορά των αερίων ρύπων από τις καύσεις των ορυκτών καυσίμων, η οξίνιση των λιμνών και των ποταμών και η μεταφορά των ρύπων αυτών στα υπόγεια νερά.

Από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του ογδόντα παρατηρήθηκε ότι τα νιτρικά στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια. Η αιτία είναι η εκτεταμένη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων και των στερεών αποβλήτων (ζώων και λάσπης βιολογικών σταθμών).

Η χώρα μας, η οποία δεν ακολούθησε την ίδια πορεία ανάπτυξης με αυτή των χωρών της Βόρειας Ευρώπης, δεν αντιμετώπισε με την ίδια χρονολογική ακολουθία και ένταση παρόμοια προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών υδατικών πόρων της. Όμως η συγκέντρωση του πληθυσμού σε ορισμένα αστικά κέντρα, η ευρύτατη και ανεξέλεγκτη εφαρμογή χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στη γεωργία, η

ραγδαία αυξανόμενη εισαγωγή χημικών ουσιών στο περιβάλλον, η ευρύτατη διασυνοριακή μεταφορά ρύπων, η γενική αλλαγή των υδρογεωλογικών κύκλων και η απουσία συστηματικής εφαρμογής μέτρων ελέγχου, φέρνουν τη χώρα μας μπροστά σε προβλήματα ρύπανσης δεύτερης και τρίτης γενιάς, τη στιγμή που δεν έχουν ακόμα αντιμετωπιστεί επαρκώς τα «παραδοσιακά» προβλήματα ρύπανσης.

Η ρύπανση και η μόλυνση των υδατικών πόρων απασχολεί επί δεκαετίες τη διεθνή κοινότητα. Η μόλυνση του νερού από παθογόνους μικροοργανισμούς είναι το κύριο πρόβλημα στις περισσότερες υπανάπτυκτες και αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ η χημική ρύπανση του νερού έχει ανακύψει σαν εξίσου σοβαρή απειλή σ' όλες τις χώρες με γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη [2]

## **1.2 Νομικό Πλαίσιο Προστασίας Υδάτων**

Οι παραπάνω κίνδυνοι για τον άνθρωπο και το περιβάλλον αναγνωρίστηκαν από τον Ο.Η.Ε. και το 1975, στα πλαίσια του προγράμματός του για το περιβάλλον (UNEP), ιδρύθηκε το Παγκόσμιο Περιβαλλοντικό Σύστημα Επιμελητείας (GEMS). Παρόμοια δράση ανέλαβε η ΕΟΚ (1977), θεσπίζοντας κοινή διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών νερών. Η απόφαση έχει τροποποιηθεί το 1986 [2].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ήδη από τη δεκαετία του '70 αναγνώρισε τις αιτίες και τους κινδύνους που συνεπάγεται η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και θέσπισε μία σειρά οδηγιών για την εξασφάλιση της ποιότητας. Σχεδίασε πολιτικές αντιμετώπισης και διαχείρισης της ρύπανσης που συνδέονται με τη χρήση ύδατος στη γεωργία, στη βιομηχανία και στην ανθρώπινη κατανάλωση. Σήμερα βρίσκονται σε ισχύ η Οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και η Οδηγία 2006/118/ΕΚ σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση. Η δεύτερη αφορά αποκλειστικά τα υπόγεια ύδατα και συμπληρώνει την πρώτη στο ζήτημα προσδιορισμού της χημικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων [3].

### 1.3 Πρότυπα ποιότητας υπογείων υδάτων – Καθορισμός ανώτερων αποδεκτών τιμών

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ καθώς και η Θυγατρική Οδηγία για τα Υπόγεια Νερά 2006/118/ΕΚ, δίνουν τη δυνατότητα ορισμού Ανώτερων Αποδεκτών Τιμών για τις εξεταζόμενες παραμέτρους ενδιαφέροντος με βάση τη μεθοδολογία ή τα σταθερότυπα που επιλέγει το κάθε κράτος μέλος. Στη χώρα μας στο σύνολο των υπόγειων υδατικών συστημάτων λαμβάνει χώρα μικτή χρήση ύδατος (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία κ.α.). Τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες της ΕΕ ως σταθερότυπα επιλέγονται τα όρια ποσιμότητας, όπως αυτά θεσπίζονται και επικαιροποιούνται. Η επιλογή αυτή είναι αποδεκτή καθώς συνάδει με την αυστηρότερη χρήση των υπόγειων νερών, η οποία είναι η ύδρευση [4].

Με βάση το άρθρο 3 της υπουργικής απόφασης ΥΑ /Αρ.Οικ.1811 /ΦΕΚ3322 /Β /30.12.2011 σε εφαρμογή της παραγράφου 2 του Άρθρου 3 της υπ'αριθμόν: 39626/2208/Ε130/2009 κοινής υπουργικής απόφασης (ΦΕΚ Β' 2075) ορίζονται ανώτερες αποδεκτές τιμές και δείκτες ρύπανσης για τις ακόλουθες ουσίες που ενδέχεται να απαντούν στη φύση ή/και να είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Πίνακας 1.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Επιτρεπόμενα όρια των παραμέτρων βάση του υφιστάμενου νομικού πλαισίου για τις συγκεντρώσεις των υπόγειων υδατικών συστημάτων [4].

Παράμετρος	Ανώτερες Αποδεκτές Τιμές (ΑΑΤ)
Νιτρικά (NO <sub>3</sub> )	50 mg/l
Ολικά Φυτοφάρμακα	0,5 µg/l
Δραστικές ουσίες φυτοφαρμάκων	0,1 µg/l
Αρσενικό (As)	10 µg/l
Μόλυβδος (Pb)	25 g/l
Υδράργυρος(Hg)	1 µg/l
Αμμώνιο	0,5 mg/l
Αγωγιμότητα	2500 µS/cm
Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> )	250 mg/l
Θειικά	250 mg/l
pH	6,5-9,5
Νιτρώδη	0,5 mg/l
Νικέλιο (Ni)	20 µg/l
Χρώμιο (Cr)	50 µg/l
Αργίλιο (Al)	200 µg/l

Οι συγκεντρώσεις που αναγράφονται στον επόμενο πίνακα αναφέρονται σε επιτρεπτές συγκεντρώσεις που δεν αφορούν χημικές επιβαρύνσεις που οφείλονται σε αυξημένες τιμές υποβάθρου λόγω γεωλογικών αιτιών. Στις περιπτώσεις αυτές για κάθε υπόγειο υδατικό σύστημα θα δοθούν νέες αυξημένες Ανώτερες Αποδεκτές Τιμές του υποβάθρου που καθορίζονται από τις μέσες αυξημένες Τιμές του υποβάθρου.

#### **1.4 Σημασία των υπογείων υδάτων**

Το νερό είναι ένας πόρος που όχι μόνο καλύπτει βασικές ανάγκες για τον ανθρώπινο πληθυσμό και αποτελεί το κλειδί για την ανάπτυξη, ιδιαίτερα με τη δημιουργία και διατήρηση του πλούτου μέσω της γεωργίας, της επαγγελματικής αλιείας, της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του τουρισμού, αλλά είναι ζωτικός για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα [1].

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή γλυκού νερού στον κόσμο. Μέχρι σήμερα, το ενδιαφέρον για τα υπόγεια νερά αφορούσε κυρίως στην κάλυψη των αναγκών για ύδρευση (περίπου το 75% των κατοίκων της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξαρτώνται από τα υπόγεια αποθέματα για την παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση), αναγνωρίζοντας επίσης ότι είναι ένας σημαντικός φυσικός πόρος για την άντληση νερού για τη βιομηχανία (π.χ. ψυκτικό ύδωρ) και τη γεωργία (άρδευση). Εντούτοις, γίνεται όλο και περισσότερο αντιληπτό ότι τα υπόγεια ύδατα πρέπει να αντιμετωπισθούν όχι μόνο ως μια δεξαμενή, από την οποία μπορεί να αντληθεί νερό καλής ποιότητας για διάφορες χρήσεις, αλλά και να προστατευθούν για την περιβαλλοντική αξία τους. Τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν έναν ουσιαστικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο και είναι πολύτιμη η αξία τους ως ρυθμιστικός παράγοντας για τη διατήρηση υγρότοπων και ποταμών, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας, γιατί εξασφαλίζουν τη μόνιμη ροή (δηλαδή το νερό που τροφοδοτεί ποταμούς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους) των συστημάτων επιφανειακών υδάτων, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται για υδροδότηση και αναψυχή. Σε πολλούς ποταμούς της Ευρώπης, πλέον του 50% της ετήσιας ροής προέρχεται από υπόγεια ύδατα. Το καλοκαίρι που το νερό λιγοστεύει, πλέον του 90% της ροής σε μερικούς ποταμούς μπορεί να είναι υπόγεια προέλευσης. Γι' αυτό και η υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδάτων μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα συνδεδεμένα με αυτά υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα.



Παράλληλα, δεδομένου ότι τα συστήματα επιφανειακών υδάτων τροφοδοτούνται από τα υπόγεια ύδατα, η ποιότητα των υπόγειων υδάτων θα αντικατοπτριστεί τελικά στην ποιότητα των επιφανειακών υδάτων. Για τον λόγο αυτό, η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα συνδεδεμένα υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα, εάν η φυσική εξασθένηση των ρύπων, κάτω από την επιφάνεια, δεν είναι επαρκής [1].

### **1.5 Ποιότητα Υπόγειων Υδάτων**

Η ποιότητα του υπόγειου νερού αναφέρεται στη χημική του σύσταση, με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά και στην ενεργειακή του κατάσταση, με τη μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας. Η διαμόρφωση της σύστασης της ποιότητας του νερού είναι αποτέλεσμα φυσικών διαδικασιών και ανθρώπινης παρέμβασης, είτε με απευθείας εισαγωγή χημικών και βιολογικών ουσιών στα υπόγεια νερά, είτε έμμεσα επεμβαίνοντας στις φυσικές διαδικασίες που επηρεάζουν το σύστημα των υπόγειων νερών (π.χ. εισροή θαλασσινού νερού). Η χημική σύσταση του φυσικού υπόγειου νερού εξαρτάται μόνο από φυσικές διαδικασίες και είναι αποτέλεσμα της υδρογεωλογικής και γεωχημικής ιστορίας του. Η κυριότερη αιτία της μεταβολής της ποιότητας του υπόγειου νερού είναι η σκόπιμη ή τυχαία απόρριψη των στερεών και υγρών αποβλήτων κάτω από την επιφάνεια ή πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.

Η ποιότητα των υπόγειων νερών μπορεί να εκφραστεί πρακτικά με πολλές παραμέτρους λόγω του μεγάλου αριθμού ουσιών που υπάρχουν στο νερό. Η σπουδαιότητα αυτών των ουσιών εξαρτάται από την χρήση του νερού. Για παράδειγμα η αλατότητα αποτελεί σπουδαία παράμετρο εάν το νερό χρησιμοποιείται σαν πόσιμο, για άρδευση, και για ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις αλλά όχι για αναψυχή [6].

Τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά ως προς την ποιότητά τους [7]:

(α) Γενικά, αν δεν έχουν μολυνθεί από άλλες αιτίες, είναι ελεύθερα από παθογόνους μικροοργανισμούς και δεν απαιτείται ιδιαίτερος καθαρισμός τους. Ρυπαίνονται δυσκολότερα από τα επιφανειακά, απαλλάσσονται όμως δυσκολότερα από τυχόν

ανεπιθύμητες ουσίες. Αντίθετα τα επιφανειακά νερά ρυπαίνονται ευκολότερα, καθαρίζονται όμως και ευκολότερα από ανεπιθύμητους ρυπαντές.

(β) Μπορούν να αυτοκαθαριστούν και το έδαφος παίζει ρόλο καλού βιολογικού/χημικού φίλτρου. Αυτό όμως δεν ισχύει για όλους τους ρύπους. Για παράδειγμα η ρύπανση των υπόγειων νερών με ορισμένα είδη ρύπων, π.χ. φυτοφάρμακα, λιπάσματα, είναι μια μη αντιστρεπτή διαδικασία.

(γ) Παρουσιάζουν συνήθως υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα σε σύγκριση με τα επιφανειακά νερά. Αυτό οφείλεται στη ροή των υπόγειων νερών μέσα από διάφορα είδη εδαφών και βράχων και δεν αντιμετωπίζεται εύκολα.

## 1.6 Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι

### 1.6.1 Τα υπόγεια νερά σαν συνιστώσα υδρολογικού κύκλου

Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα μικρό μέρος μιας τεράστιας ποσότητας νερού που βρίσκεται στον πλανήτη, ποσότητα που όμως δεν παραμένει στάσιμη, αλλά βρίσκεται σε διαρκή κυκλοφορία αλλά και μετατροπή στις διάφορες φάσεις του νερού (υγρή, στερεά, αέρια). Η κυκλοφορία αυτή παρουσιάζει περιοδική μεταβολή και είναι γνωστή ως υδρολογικός κύκλος (Εικόνα 1.1)

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: Ο υδρολογικός κύκλος [8]  
(προσαρμογή στα ελληνικά από U.S. Geological Survey)





Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα του συνόλου των αποθεμάτων γλυκού νερού του πλανήτη μας και αντιπροσωπεύουν σύμφωνα με εκτιμήσεις το 30% της συνολικής ποσότητας γλυκού νερού της γης (Πίνακας 1.2). Όπως φαίνεται από τον πίνακα αυτό σε βάθος μέχρι 0,8 km κάτω από την επιφάνεια της γης ο όγκος των υπόγειων νερών ανέρχεται κατά προσέγγιση σε  $4,2 \times 10^3 \text{ km}^3$ . Κάτω από τα 0,8 km ένα μεγάλο μέρος των υπόγειων νερών είναι υφάλμυρο. Επιπλέον πρακτικά η εκμετάλλευσή τους από τέτοιο βάθος με την παρούσα τεχνολογία και τις σημερινές οικονομικές συνθήκες είναι αδύνατη. Η ποσότητα αυτή των  $4,2 \times 10^3 \text{ km}^3$  που υπάρχουν πάνω από τα 0,8 km είναι η σημαντικότερη ποσότητα γλυκού νερού μετά από αυτό των παγετώνων και των χιονιού των πόλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: Εκτιμώμενη κατανομή του παγκόσμιου νερού  
(Πηγή: Herman Bouwer, 1978)

ΕΙΔΟΣ ΝΕΡΟΥ	ΟΓΚΟΣ 1000 km <sup>3</sup>	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ
Ατμοσφαιρικό νερό	13	0,001
Επιφανειακά νερά		
Αλμυρό νερό ωκεανών	1.320.000	97,2
Αλμυρό νερό λιμνών-κλειστών θαλασσών	104	0,008
Γλυκό νερό λιμνών	125	0,009
Γλυκό νερό ποταμών	1,25	0,0001
Γλυκό νερό παγετώνων-χιόνων πόλων	29.000	2,15
Νερό βιομάζας	50	0,004
Υπόγεια νερά		
Νερό Vadose	67	0,005
Υπόγειο νερό μέχρι βάθους 0,8 km	4.200	0,31
Υπόγειο νερό σε βάθος από 0,8 έως 4 km	4.200	0,31
Σύνολο (μετά από στρογγύλευση)	1.360.000	100

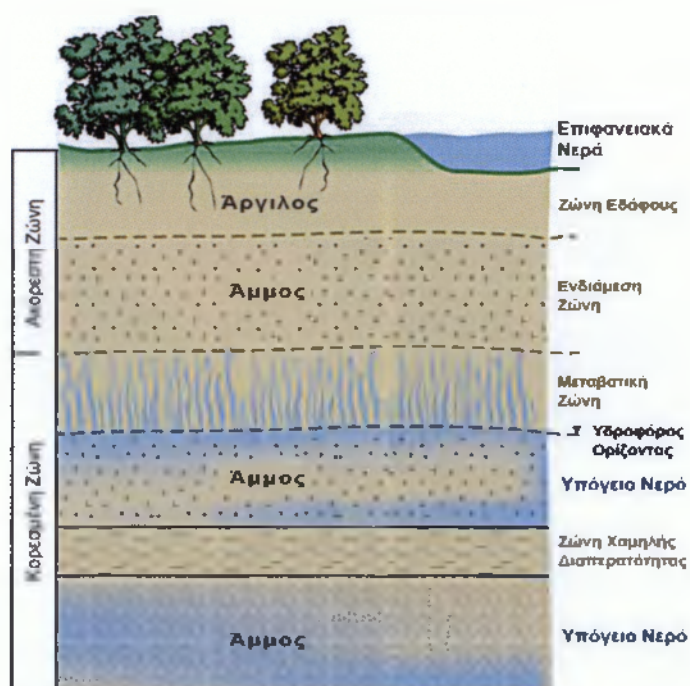
### 1.6.2 Θέση υπόγειου νερού

Το υπόγειο νερό είναι αποθηκευμένο ή κινείται μέσα στα διάκενα των εδαφών ή των πετρωμάτων. Οι όγκοι αυτοί των γεωλογικών σχηματισμών, στους οποίους υπάρχει η δυνατότητα να κινηθεί το υπόγειο νερό, λέγονται υδροφορείς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υδροφορέων αποτελούν οι αλλουβιακές αποθέσεις άμμων και χαλικιών. Αντίθετα, υπάρχουν τα λεγόμενα αδιαπέρατα στρώματα τα

οποία, ενώ έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν - έστω και σε μικρές ποσότητες - νερό, πρακτικά δεν έχουν καμιά ικανότητα μεταφοράς του.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν νερό μπορούν να διακριθούν κατακόρυφα σε διάφορες οριζόντιες ζώνες, ανάλογα με το ποσοστό των πόρων του εδάφους που πληρούνται με νερό. Διακρίνονται δυο είδη εδαφικών ζωνών: η ζώνη κορεσμού στην οποία όλα τα διάκενα είναι γεμάτα με νερό και η ζώνη αερισμού, υπερκείμενη της ακόρεστης ζώνης, στην οποία οι εδαφικοί πόροι περιέχουν και αέρια, κυρίως αέρα και υδρατμούς και νερό (Εικόνα 1.2 ) [7].

ΕΙΚΟΝΑ 1.2: Σχηματική παράσταση της κατανομής υπόγειου νερού σε ομογενές έδαφος [10]



Η ακόρεστη ζώνη αποτελεί την πρώτη γραμμή άμυνας» για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, επειδή βρίσκεται σε στρατηγική θέση μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της υπόγειας στάθμης καθώς και λόγω της δυναμικής που έχει στη μείωση και στην εξασθένηση ρύπων. Επομένως ο κίνδυνος για την ρύπανση ενός υπόγειου υδροφορέα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης.

### **1.7 Ρύπανση των υπόγειων νερών**

Για αρκετά χρόνια οι άνθρωποι θεωρούσαν ότι οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι είναι άφθονοι και η ποιότητα του πόσιμου νερού δεν κινδυνεύει ιδιαίτερα. Όμως μετά το 1960 οι καταναλωτές σε όλο τον κόσμο άρχισαν να συνειδητοποιούν ότι οι υδατικοί πόροι μπορούν πολύ εύκολα να μολυνθούν από παθογόνους μικροοργανισμούς, οργανικά απόβλητα, ανόργανα χημικά, φυτικά θρεπτικά συστατικά, ραδιενεργά συστατικά, ή ακόμα και από θερμική ρύπανση.

Ως ρύπανση θεωρείται η δυσμενής μεταβολή των φυσικοχημικών ή βιολογικών συνθηκών ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος ή και η βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη βλάβη στην ποιότητα ζωής και τη υγεία των ανθρώπων και των άλλων ειδών του πλανήτη. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από ανόργανες και οργανικές, χημικές ουσίες και από μικροοργανισμούς. Όταν η ρύπανση οφείλεται σε κάποιον ή κάποιους μικροοργανισμούς ονομάζεται μόλυνση. Οι πιο συχνά παρατηρούμενες ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν ρύπους είναι τα νιτρικά, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα, τα βαρέα μέταλλα και τα οξέα [10].

Η ρύπανση των υδατικών πόρων οφείλεται σε σημειακές ή μη-σημειακές πηγές. Τις σημειακές πηγές μόλυνσης αποτελούν αγωγοί, βόθροι, εργοστάσια, διυλιστήρια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, ορυχεία, πετρελαιοπηγές. Οι σημειακές πηγές βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις. Επομένως, τουλάχιστον θεωρητικά, όλες οι σημειακές πηγές εντοπίζονται και ελέγχονται από τις αρμόδιες αρχές αρκετά εύκολα. Οι μη-σημειακές πηγές μόλυνσης δεν βρίσκονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες αλλά είναι αρκετά μεγάλες και απροσδιόριστες περιοχές όπως τα λιβάδια, οι αγροκαλλιέργειες και οι αυτοκινητόδρομοι. Οι πλέον συνηθισμένοι ρύποι που προέρχονται από σημειακές πηγές είναι φυτοφάρμακα, λιπάσματα, κοπριά, και διάφορα άλατα. [11].

### **1.8 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και στο περιβάλλον**

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών προκαλείται από την ασυνήθιστα μεγάλη ποσότητα ανόργανων και οργανικών χημικών ουσιών, και βιολογικών δεικτών που το καθιστούν ακατάλληλο για μια σειρά από ωφέλιμες χρήσεις. Η παρουσία τοξικών ουσιών είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα όταν το

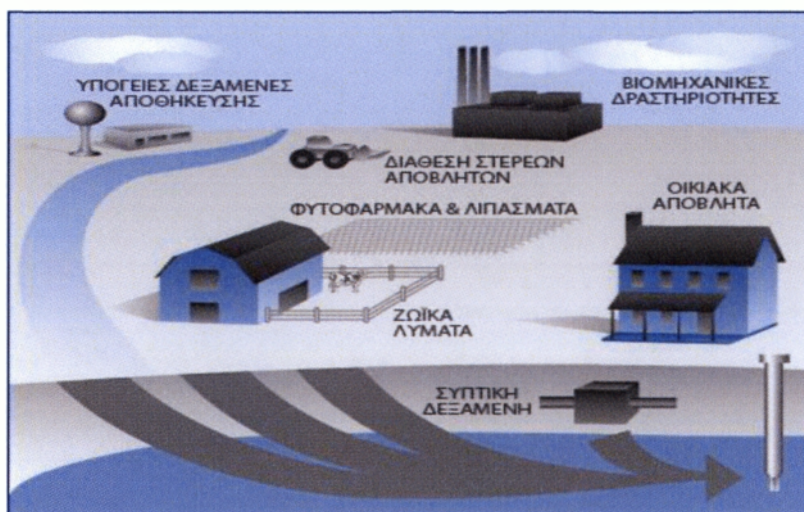
νερό προορίζεται για οικιακές και αγροτικές ανάγκες. Το αρσενικό για παράδειγμα είναι δηλητήριο που επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων, ενώ η περίσσεια βορίου είναι επιζήμια στις γεωργικές καλλιέργειες. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις το φθόριο είναι ωφέλιμο και περιορίζει την φθορά των δοντιών. Σε υψηλότερες όμως συγκεντρώσεις περίπου στα 1,5 mg/l αυξάνει η βλαβερή οδοντική φθορίωση και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις το φθόριο είναι τοξικό για τον άνθρωπο γιατί προκαλεί καταστροφή των οστών.

Σημαντικό κριτήριο της ποιότητας του πόσιμου νερού αποτελεί η παρουσία ή όχι παθογόνων για τον άνθρωπο μικροοργανισμών. Η παρουσία κολοβακτηριδίων που βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς σε περιττώματα ανθρώπων και ζώων, δείχνει πιθανή παρουσία και άλλων μικροοργανισμών που προκαλούν ασθένειες.

### 1.9 Πηγές Ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τις δραστηριότητες ή τις διεργασίες που την προκαλούν. Με βάση το κριτήριο αυτό έχουμε κατηγορίες ρύπανσης από βιομηχανικές δραστηριότητες, αγροτικές δραστηριότητες, αστικές και οικιακές δραστηριότητες, ραδιενεργές ουσίες και φυσικές διεργασίες.

ΕΙΚΟΝΑ 1.3: Πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών





### *1.9.1 Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες*

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από βιομηχανικές δραστηριότητες χαρακτηρίζεται από την τεράστια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών και ενώσεων που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ρύποι. Γενικά διακρίνονται τρεις ομάδες πηγών ρύπανσης:

**α) απόβλητα από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες που διατίθενται στον αέρα, το έδαφος, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά:** Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται συνήθως από υψηλές συγκεντρώσεις διάφορων αλάτων, μπορεί όμως να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα οξέα ή οργανικές ενώσεις. Ο πιο κοινός τρόπος διάθεσής τους είναι απευθείας σε επιφανειακές δεξαμενές, λεκάνες, ή βαθιά πηγάδια. Τα στερεά απόβλητα κατά κανόνα διατίθενται σε ειδικούς χώρους ταφής, απ' όπου όμως οι ρύποι διασταλάζουν με τη βοήθεια του διηθούμενου νερού της βροχής ή των υγρών αποβλήτων που πιθανόν διατίθενται στον ίδιο χώρο. Για αυτό και η Οδηγία 99/31/ΕΕ θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις για τη μόνωση του πυθμένα των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

**β) Διαρροές:** Οι διαρροές αφορούν κυρίως στους αγωγούς μεταφοράς και στις δεξαμενές αποθήκευσης ρευστών π.χ. πετρελαιοειδή ή διάφορα χημικά προϊόντα. Οι διαρροές από αγωγούς μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως ατυχήματα, εφόσον η διάρκεια τους είναι μικρή.

**γ) Ατυχήματα – τυχαία περιστατικά:** Η, ρύπανση από ατυχήματα, εκτός των διαρροών από αγωγούς που αναφέρθηκαν πιο πάνω, προκαλείται και από τη μεταφορά χημικών ή πετρελαιοειδών με φορτηγά ή τραίνα που ανατρέπονται ή εκτροχιάζονται αντίστοιχα. Επειδή ο άμεσος κίνδυνος στις περιπτώσεις αυτές αφορά στη φωτιά και στις εκρήξεις, η πρώτη επέμβαση μετά από κάθε τέτοιο ατύχημα είναι η έκπλυση της περιοχής με μεγάλες ποσότητες νερού. Συνέπεια όμως της διαδικασίας αυτής είναι η ταυτόχρονη μεταφορά νερού και ρύπων μέσω των στραγγιστικών συστημάτων στο έδαφος απ' όπου διηθούνται στους υποκείμενους υδροφορείς.

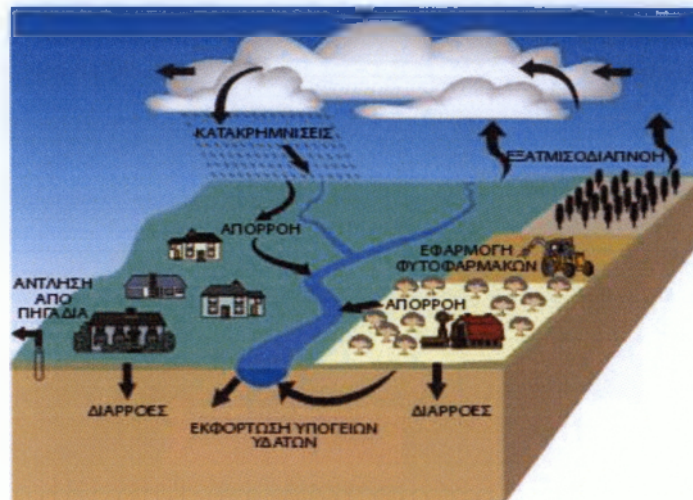
Τα χαρακτηριστικά των ρύπων που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες διαφοροποιούνται ανάλογα με τον αν πρόκειται για ανόργανα στοιχεία ή οργανικές ενώσεις. Στην πρώτη κατηγορία κυριαρχούν τα μέταλλα, που, παρόλο που συνήθως βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις, είναι επικίνδυνα γιατί η τοξικότητα ορισμένων

απ' αυτά είναι πολύ υψηλή. Ακόμα, στην ίδια κατηγορία ανήκουν διάφορα άλατα μικρής ή μεγάλης τοξικότητας, οξέα και βάσεις. Στην κατηγορία των οργανικών ενώσεων, που προέρχονται τόσο από βιομηχανικά απόβλητα, όσο και από διαρροές και ατυχήματα, μπορεί κανείς να καταμετρήσει χιλιάδες βλαβερών ρύπων. Οι πιο επικίνδυνοι είναι αυτοί που προέρχονται από βιομηχανίες εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων, ενώ εδώ ανήκουν και όλα τα πετρελαιοειδή (υδρογονάνθρακες) που έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι είναι αδιάλυτα στο νερό. Ειδικά για τη ρύπανση από αδιάλυτες στο νερό ουσίες υπάρχει ένας μεγάλος προβληματισμός σήμερα για το αν επαρκούν οι διαθέσιμες τεχνολογίες απορρύπανσης. Τέλος οι οργανικές ενώσεις από άλλες βιομηχανίες, όπως επεξεργασίας τροφίμων, χαρτιού κτλ., αποτελούν σημαντικό ποσοστό του συνόλου των διατιθέμενων στο έδαφος ρύπων, όμως η μόνη ίσως συνέπεια που έχει η διάθεση τους στο έδαφος είναι η αύξηση του οργανικού του φορτίου.

#### *1.9.2 Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες*

Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της ρύπανσης από αγροτικές δραστηριότητες είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατανεμημένη στον χώρο, σε αντίθεση με τον «σημειακό» χαρακτήρα των άλλων πηγών. Από τις αγροτικές γενικά δραστηριότητες, ρύπανση του υπόγειου νερού προκαλούν τα ζωικά λύματα, τα άλατα των αρδεύσεων και τα διάφορα χημικά (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα, κ.α.) που εφαρμόζονται στους αγρούς. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου που υπάρχουν στα εμπορικά λιπάσματα καθώς και τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα. Μικρής έκτασης, δηλαδή σημειακή, ρύπανση μπορεί να προκληθεί από δραστηριότητες τοπικού χαρακτήρα, που αφορούν στη διάθεση αποβλήτων, ζωικών, γεωργοχημικών ή φυτικών, ή από την αποθήκευση διάφορων χημικών ουσιών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κτλ. Σήμερα ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τα υπόγεια νερά, που προέρχεται από αγροτικές δραστηριότητες, αφορά στα λιπάσματα και μάλιστα στα αζωτούχα. Αυτό οφείλεται στην τεράστια διάδοση και έκταση της εφαρμογής τους, που έχει ως στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Το αντικείμενο λοιπόν της μελέτης της ρύπανσης από αγροτικές δραστηριότητες είναι τελείως επίκαιρο παγκόσμια και προφανώς έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα, λόγω της αναπτυγμένης γεωργίας της.

ΕΙΚΟΝΑ 1.4: Τα φυτοφαρμάκα στον υδρολογικό κύκλο (προσαρμογή στα ελληνικά <http://pubs.usgs.gov/>)



Στον Πίνακα 1.3 αναφέρονται τα προβλήματα που δημιουργούνται από ενέργειες γεωργικής χρήσης [6].

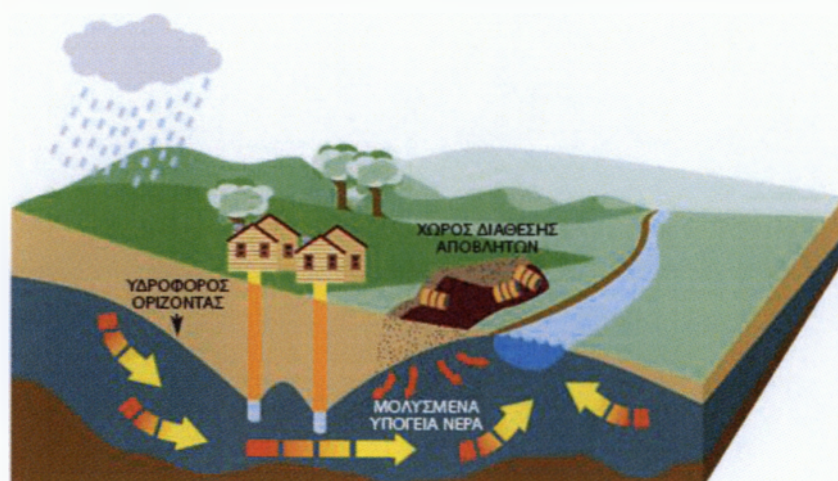
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: Προβλήματα από ενέργειες γεωργικής χρήσης

Γεωργική Μέθοδος	Προβλήματα
Μηχανική καλλιέργεια	Ιζηματογένεση (ζημιά φυσικά και χημικά) (B., 2000)
Λίπανση	Απορροή φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων → ευτροφισμός Έκπλυση νιτρικών
Οργανικά λιπάσματα	Ως παραπάνω. Επιπλέον, Βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί
Φυτοφάρμακα	Δυσλειτουργία οικοσυστημάτων Τοξικότητα στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου Έκπλυση στους υπόγειους υδροφορείς Μεταφορά ρυπασμένων εδαφικών τεμαχιδίων με τον αέρα
Άρδευση	Απορροή ή έκπλυση αλάτων Έκπλυση θρεπτικών ή αλάτων στους υπόγειους υδροφορείς
Αλλαγή χρήσης γης	Διάβρωση Ιζηματογένεση

### 1.9.3 Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες

Δύο είναι οι τύποι ρύπανσης των υπόγειων νερών που προέρχονται από αστικές και οικιακές δραστηριότητες: τα στερεά απορρίμματα και τα αστικά λύματα. Επιπλέον αν τα επεξεργασμένα κατάλοιπα των δύο αυτών κατηγοριών διατίθενται στο έδαφος, τότε έχουμε και έναν τρίτο τύπο ρύπανσης από την ίδια πηγή. Αν τα στερεά απορρίμματα διατίθενται ανεπεξέργαστα σε ανοικτούς λάκκους στο έδαφος ο κίνδυνος για ρύπανση των υπόγειων νερών από τα διασταλάζοντα υγρά είναι άμεσος. Διάφορες σύγχρονες τεχνικές υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων αναπτύχθηκαν ακριβώς για να μειωθεί αυτή η επικινδυνότητα. Όσον αφορά στα αστικά λύματα, οι κίνδυνοι που δημιουργούνται, όχι μόνο από την απευθείας διάθεση τους στο έδαφος αλλά και από τη διάθεση της λάσπης των επεξεργασμένων καταλοίπων τους, αφορούν μικροβιακής και χημικής προέλευσης επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Πρέπει να τονιστεί ότι στην κατηγορία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνονται τόσο αυτά των συλλογικών δικτύων όσο και αυτά των μεμονωμένων κατοικιών, που διατίθενται στο έδαφος με βόθρους. Τέλος, στην κατηγορία των αστικών δραστηριοτήτων συμπεριλαμβάνονται και τύποι ρύπανσης που αφορούν σε χημικές ουσίες που διαρρέουν μέσω των οδοστρωμάτων (κυρίως από ατυχήματα), σε χρήση αλατιού για ξεπάγωμα δρόμων, σε διαρροές των αγωγών αποχέτευσης κτλ.

ΕΙΚΟΝΑ 1.5: Ρύπανση υπογείων υδάτων από χώρο διάθεσης αποβλήτων (προσαρμογή στα ελληνικά από [www.ec.gc.ca](http://www.ec.gc.ca))





#### *1.9.4 Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες*

Η πηγή προέλευσης της ρύπανσης που χαρακτηρίζει την κατηγορία αυτή είναι η βιομηχανία που σχετίζεται με την ατομική ενέργεια και τις κάθε μορφής πυρηνικές τεχνολογίες. Εξ ορισμού η ρύπανση αυτή αφορά σε ραδιενεργές ουσίες που βρίσκονται στο υπόγειο νερό και που, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κατηγορίες, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε πολύ μικρές τιμές των συγκεντρώσεών τους. Οι πιο σημαντικές πηγές της κατηγορίας αυτής είναι: α) η ύπαρξη στο υπόγειο νερό ραδιενεργών ουσιών ή στοιχείων φυσικής προέλευσης, β) αστοχίες δοκιμών ατομικών όπλων και γ) ειρηνικές χρήσεις της ατομικής ενέργειας. Γενικά για το περιβάλλον ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και τις αντίστοιχες βιομηχανίες. Ειδικά για τα υπόγεια νερά το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα αποτελεί η διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων στο έδαφος. Η διάθεση αυτή πρέπει να γίνεται λοιπόν με ιδιαίτερη μελέτη και προσοχή ώστε να μη συνιστά πηγή κινδύνων για τις ανθρώπινες δραστηριότητες στο μέλλον. Πάντως το θέμα της ρύπανσης από ραδιενεργές ουσίες δεν ενδιαφέρει άμεσα την Ελλάδα, τουλάχιστον προς το παρόν, και έτσι δεν εξετάζεται παραπέρα στο παρόν κείμενο.

#### *1.9.5 Ρύπανση από φυσικές διεργασίες*

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται περιστατικά ρύπανσης υπόγειων νερών που η πηγή προέλευσής τους μπορεί να είναι μια από τις εξής: α) διείδυση θαλασσινού νερού, β) ρύποι της ατμόσφαιρας, γ) επαγωγικός εμπλουτισμός υδροφορέων με ακάθαρτα επιφανειακά νερά, δ) θερμική ρύπανση και ε) τεχνητός εμπλουτισμός.

Η διείδυση θαλασσινού νερού αποτελεί έναν τύπο ρύπανσης που θα μπορούσε να ανήκει και σε προηγούμενη κατηγορία αφού προκαλείται κυρίως από υπεραντλήσεις παράκτιων υδροφορέων και συνεπώς είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Επειδή όμως διάφορα κλιματικά και γεωλογικά φαινόμενα και μεταβολές σε παλιότερες γεωλογικές περιόδους είχαν ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων σε σχηματισμούς που σήμερα αποτελούν εκμεταλλεύσιμους υδροφορείς και γενικά το φαινόμενο της διείδυσης θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς είναι ένα μάλλον φυσικό φαινόμενο, γίνεται αποδεκτή η ταξινόμησή του στην κατηγορία αυτή. Πρόκειται ίσως για τον σημαντικότερο τύπο ρύπανσης φυσικής προέλευσης, ειδικά για την Ελλάδα που έχει ένα τεράστιο μήκος ακτών (περισσότερα από 14.500

χιλιόμετρα ακτογραμμής) κατά μήκος των οποίων έχουν αναπτυχθεί πολλοί οικισμοί, χωριά ή και πόλεις.

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από ρύπους που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω των σταγόνων της βροχής. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν ρύποι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως οι αέριες εκπομπές βιομηχανιών, τα καυσαέρια καθώς και διάφορες μορφές αστικών πηγών (καυστήρες θέρμανσης κατοικιών κτλ.).

Ακόμα, ο επαγωγικός εμπλουτισμός από επιφανειακούς αποδέκτες, όπως ποτάμια ή λίμνες, που συνδέονται υδραυλικά μ' αυτούς, έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ρύπων από τα επιφανειακά στα υπόγεια νερά. Οι ρύποι αυτοί είναι συνήθως οργανικές και ανόργανες ενώσεις αλλά μπορεί να είναι και βακτήρια ή ιοί. Ο τύπος αυτής της ρύπανσης εμφανίζει έξαρση κυρίως σε περιοχές με βαριά βιομηχανία.

Τέλος η θερμική ρύπανση (ανεπιθύμητη αύξηση της θερμοκρασίας) των υπόγειων νερών καθώς και η ρύπανση από τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων είναι δύο τύποι ρύπανσης μικρής συνήθως έκτασης [7].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ

#### 2.1 Γενικά

Η παρουσία των φυτοφαρμάκων στο έδαφος προκαλεί μια σειρά από περιβαλλοντικούς κινδύνους γιατί αποτελούνται από χημικές ενώσεις, κατά κύριο λόγο συνθετικές, διαφορετικές από αυτές του φυσικού περιβάλλοντος και σε σημαντικές ποσότητες. Τα προβλήματα που προκαλεί η χρήση των φυτοφαρμάκων μπορούν να διακριθούν σε αυτά που προκαλούνται από την έκλυση προς τα υπόγεια νερά και την επιφανειακή απορροή και σε αυτά από την παραμονή τους στην καλλιεργούμενη ζώνη του εδάφους. Επιπλέον, τα φυτοφάρμακα μπορεί να επηρεάσουν την μικροχλωρίδα του εδάφους και των αποδεκτών της επιφανειακής απορροής. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ακόμα και στις καλλιέργειες των επόμενων χρόνων [6].

Η πρώτη περίπτωση ρύπανσης υπόγειων νερών από φυτοπροστατευτικά προϊόντα διαπιστώθηκε το 1979 και είχε προκληθεί από το εντομοκτόνο-νηματοδοκτόνο aldicarb στο Long Island της Ν. Υόρκης των Η.Π.Α. και η δεύτερη (τον ίδιο χρόνο) που προκλήθηκε από το νηματοδοκτόνο 1,2-διβρωμο-3-χλωροπροπένιο (DBCP) στην Καλιφόρνια. Και τα δύο φυτοφάρμακα βρέθηκαν σε χιλιάδες πηγάδια που ύδρευαν χιλιάδες αγροτικές οικογένειες. Σε χώρες της Ευρώπης επίσης, έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη υπολειμμάτων φυτοπροστατευτικών προϊόντων σε υπόγεια νερά και συγκεκριμένα των ζιζανιοκτόνων simazine, atrazine, mecoprop, 2,4,5-T, bendazon κ.α. και των εντομοκτόνων dimethoate, dichloropropane κ.α.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθεί να μειώσει τη συνολική επίδραση των φυτοφαρμάκων στην υγεία και στο περιβάλλον και βεβαίως τη μείωση της χρήσης αυτών. Η αξιολόγηση, η διάθεση στην αγορά και η χρήση των φυτοφαρμάκων (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα κλπ) για φυτοπροστασία στην Κοινότητα ρυθμίζονται με την Οδηγία του Συμβουλίου 91/414/ΕΟΚ. Η Οδηγία αυτή προβλέπει την πλήρη αξιολόγηση της επικινδυνότητας και τη διαδικασία έγκρισης για δραστικές ουσίες και προϊόντα που περιέχουν τις ουσίες αυτές. Κάθε δραστική ουσία πρέπει να αποδειχθεί ασφαλής για την υγεία του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένων και των καταλοίπων της στην τροφική αλυσίδα, στην υγεία των ζώων και στο περιβάλλον, προκειμένου να επιτραπεί η διακίνησή της στην αγορά [15].

Επιπλέον, η Ε.Ο.Κ. εξέδωσε τη σχετική οδηγία 80/778/ΕΟΚ στην οποία μεταξύ άλλων προβλέπεται η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση παρασιτοκτόνων σε πόσιμο νερό κάθε προέλευσης. Η συγκέντρωση αυτή για τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα είναι 0,1 μg/l νερού για κάθε σκεύασμα και 0,5 μg/l για το σύνολο των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Στόχος της οδηγίας αυτής είναι η διατήρηση της καθαρότητας των υπόγειων νερών από χημικές ουσίες και ειδικότερα από φυτοπροστατευτικά προϊόντα [12].

## 2.2 Ορισμοί φυτοφαρμάκων

Τα φυτοφάρμακα (ή φυτοπροστατευτικά προϊόντα) είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται για την εξόντωση ανεπιθύμητων οργανισμών που επηρεάζουν την ανάπτυξη και παραγωγή των καλλιεργειών. Οι δραστικές ουσίες είναι το βασικό συστατικό των προϊόντων φυτοπροστασίας. Οι δραστικές ουσίες εγκρίνονται σε επίπεδο ΕΕ, ενώ τα προϊόντα φυτοπροστασίας που εμπεριέχουν αυτές τις ουσίες εγκρίνονται σε επίπεδο Κράτους Μέλους [13].

Με την οδηγία 93/414 ΕΕ καθιερώθηκε ο όρος «crop protection chemicals»ή «Φυτοπροστατευτικές Ουσίες». Με τον όρο αυτό αποκλείονται τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την προστασία της δημόσιας υγείας (από κουνούπια, κατσαρίδες, ποντικούς, κ.λ.π.) όπως και εκείνα, που χρησιμοποιούνται για τα παράσιτα των ζώων [14].

Σήμερα, τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα φυτοφάρμακα ανήκουν σε τρεις κατηγορίες: στα ζιζανιοκτόνα, στα μυκητοκτόνα και στα εντομοκτόνα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες κατηγορίες φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες [14]**

Εντομοκτόνα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• εξοντώνουν έντομα σε καλλιέργειες και σε ζώα και χρησιμοποιούνται στη δημόσια υγεία</li> <li>• τρόποι δράσης: είναι δυνατόν να δρουν εξ επαφής, εξοντώνοντας κατευθείαν το έντομο, ή διασυστηματικά, καθιστώντας το φυτό δηλητηριώδες για το έντομο.</li> </ul>
Παρασιτοκτόνα ή Μυκητοκτόνα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ελέγχουν τους μύκητες, που προσβάλλουν τα φυτά και περιλαμβάνουν περονόσπορους, βερτισίλλια, φυτοφθορές κ.λ.π.</li> <li>• συχνά παρέχουν ευθέως οφέλη στους ανθρώπους επιβραδύνοντας ή εξαλείφοντας τις μυκητιακές μολύνσεις που μπορούν να παράγουν τοξικά όπως η αφλατοξίνη</li> <li>• τρόποι δράσης: είναι δυνατόν να είναι προστατευτικά, εξοντώνοντας τα σπόρια των μυκήτων, που βρίσκονται πάνω στα φυτά ή διασυστηματικά, καθιστώντας το φυτό δηλητηριώδες για τους μύκητες.</li> </ul>
Ζιζανιοκτόνα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν τα ζιζάνια, που ανταγωνίζονται με τα φυτά των καλλιεργειών για νερό, θρεπτικά συστατικά, χώρο και ηλιακό φως</li> <li>• αναλογούν στο 66% όλων των αγροτικών παρασιτοκτόνων και διεισδύουν σε μικρότερο βαθμό στην τροφική αλυσίδα από ότι τα μυκητοκτόνα και τα εντομοκτόνα</li> <li>• περισσότερο από το 90% όλων των ζιζανιοκτόνων χρησιμοποιούνται μόνο σε τέσσερις καλλιέργειες: καλαμπόκι, σόγια, βαμβάκι και σιτάρι</li> <li>• τρόπος δράσης: είναι δυνατόν να είναι εκλεκτικά, εξοντώνοντας τα ζιζάνια και όχι την καλλιέργεια ή γενικά, εξοντώνοντας οποιαδήποτε βλάστηση.</li> </ul>

### 2.3 Τα φυτοφάρμακα στο περιβάλλον

Η εφαρμογή των φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες γίνεται κυρίως με τρεις τρόπους: 1) ως ψεκαζόμενο υδατικό διάλυμα, 2) με τη μορφή ατμών 3) ως υδατικό διάλυμα με το οποίο ποτίζεται η ρίζα του φυτού και 4) με ενσωμάτωση στο έδαφος κοκκωδών σκευασμάτων [12].



ΕΙΚΟΝΑ 2.1: Ψεκάσμός φυτοφάρμακων σε καλλιέργεια  
(www.econews.gr)



Τα φυτοφάρμακα μετά την εφαρμογή τους στην καλλιεργήσιμη έκταση μπορούν είτε να αεριοποιηθούν και να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα, είτε μέσω της απορροής και την διάβρωσης να μεταφερθούν στα επιφανειακά νερά. Τέλος μπορούν να διασπαστούν με τη φωτόλυση στο ηλιακό φως (Εικόνα 2.2).

ΕΙΚΟΝΑ 2.2: Μηχανισμοί μεταφοράς των φυτοφαρμάκων  
(προσαρμογή στα ελληνικά από ΕΧΤΟΧΝΕΤ)



Στα υπόγεια ύδατα, τα φυτοφάρμακα μπορούν να φτάσουν ακολουθώντας δύο διαφορετικές διαδρομές. Στην περίπτωση που προσλαμβάνονται από τα φυτά αποικοδομούνται προς άλλες χημικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν στην συνέχεια να εκπλυθούν προς τα υπόγεια νερά, ενώ στην περίπτωση που δεν αποικοδομούνται μπορούν να κινηθούν ελεύθερα με το νερό διήθησης και να φτάσουν στα υπόγεια

νερά. Τέλος μέσω της επιφανειακής μεταφοράς μάζας προς τα ποτάμια, τις λίμνες και τις θάλασσες και της έκπλυσης τους διαμέσου του εδάφους καταλήγουν επίσης στα υπόγεια νερά. Η ένταση με την οποία γίνεται η μεταφορά εξαρτάται από την παρουσία του φυτοφαρμάκου, τη δραστηριότητά του και την ποσότητα του νερού που κινείται επιφανειακά ή δια της εδαφικής κατανομής [6].

#### **2.4 Ιδιότητες των φυτοφαρμάκων που καθορίζουν την τύχη τους στο περιβάλλον**

Οι κύριες ιδιότητες που καθορίζουν την δυναμική των φυτοφαρμάκων στο έδαφος και την έκπλυση τους προς τους υπόγειους υδροφορείς είναι η διάσπαση, η προσρόφηση, η διαλυτότητα και η πτητικότητα [7].

Διάσπαση: Οι παράγοντες που προκαλούν την διάσπαση των φυτοφαρμάκων ποικίλουν ανάλογα με το φυτοφάρμακο, όπως ποικίλουν και τα προϊόντα αυτής της διάσπασης. Παρόλα αυτά οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν στις τρεις παρακάτω μεγάλες κατηγορίες:

α. στη μικροβιακή διάσπαση, η οποία προκαλείται από μικροοργανισμούς όπως οι μύκητες, τα βακτήρια και άλλοι μικροοργανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν το φυτοφάρμακο ως τροφή. Το μεγαλύτερο μέρος της μικροβιακής διάσπασης γίνεται μέσα στο έδαφος. Οι συνθήκες εδάφους όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, ο αερισμός, το pH καθώς και η ποσότητα της οργανικής ύλης επηρεάζουν την μικροβιακή διάσπαση του φυτοφαρμάκου. Η συχνότητα εφαρμογής του φυτοφαρμάκου επίσης επηρεάζει την μικροβιακή διάσπαση, καθώς και η επανειλημμένη χρήση του ίδιου φυτοφαρμάκου μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη αρκετά μεγάλων μικροοργανισμών που μπορούν να αποδομήσουν το συγκεκριμένο φυτοφάρμακο. Έτσι όσο ο πληθυσμός αυτός αυξάνει τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα με την οποία αποδομείται το φυτοφάρμακο και τελικά η ποσότητα του φυτοφαρμάκου που υπάρχει διαθέσιμη για τον εχθρό μειώνεται.

β. στη χημική αποδόμηση, η οποία οφείλεται σε παράγοντες που δεν περιλαμβάνουν ζωντανούς οργανισμούς. Η θερμοκρασία, η υγρασία, και το pH σε συνδυασμό με τις χημικές ιδιότητες του φυτοφαρμάκου είναι οι παράγοντες που καθορίζουν τι χημικές αντιδράσεις θα συμβούν και πόσο γρήγορα θα συμβούν. Η

χημική αποδόμηση λαμβάνει μέρος πάνω στα φυτά αλλά και στο έδαφος. Λόγω της έλλειψης του φωτός, της θερμοκρασίας και του οξυγόνου στα κατώτερα, κορεσμένα από νερό, εδαφικά στρώματα προκαλείται μια επιβράδυνση της αποδόμησης σε σύγκριση με τα ανώτερα εδαφικά στρώματα. Η πιο κοινή αντίδραση χημικής αποικοδόμησης είναι η υδρόλυση. Η υδρόλυση λαμβάνει χώρα τόσο σε όξινο, όσο και σε αλκαλικό περιβάλλον, ανάλογα με το είδος της ουσίας.

γ. στην φωτοχημική διάσπαση, η οποία προκαλείται από το φως και ειδικότερα το ηλιακό φως το οποίο σε συγκεκριμένου τύπου αντιδράσεις λειτουργεί ως καταλύτης. Η φωτοχημική διάσπαση καταστρέφει φυτοφάρμακα στο φύλλωμα των φυτών, στο έδαφος ακόμα και στον αέρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την φωτοχημική αποδόμηση είναι η ένταση του ηλιακού φωτός, η μέθοδος εφαρμογής, ο τόπος εφαρμογής καθώς και οι χημική σύσταση του ίδιου του φυτοφαρμάκου.

Η ταχύτητα της διάσπασης ενός φυτοφαρμάκου εκφράζεται από την ημιπερίοδο ζωής του (half-life), την χρονική περίοδο δηλαδή που απαιτείται για την διάσπαση της μισής από την αρχική ποσότητα ουσίας. Η ημιπερίοδος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τη χημική δομή τους, την ηλιακή ακτινοβολία, τον τύπο του εδάφους, τη θερμοκρασία, την περιεχόμενη υγρασία και την θέση του στο έδαφος. Παρόλη την συνθετότητα των παραγόντων που επηρεάζουν την αποικοδόμηση, για την περιγραφή χρησιμοποιούνται απλές πρώτης τάξης κινητικές που εκφράζονται από τη σχέση:

$$\Phi = \mu(\theta C + \rho S) \quad (2.1)$$

όπου

$\mu$  ο συντελεστής της ταχύτητας αποικοδόμησης

$\theta$  η περιεχόμενη εδαφική υδρασία ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )

$\rho$  η πυκνότητα του εδάφους ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$C$  η συγκέντρωση της ουσίας στην υγρή φάση ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) του εδάφους

$S$  η συγκέντρωση της ουσίας στην υγρή φάση ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) του εδάφους

Ο συντελεστής της ταχύτητας αποδόμησης είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την ημιπερίοδο ( $\text{η}\mu^{-1}$ ).



Προσρόφηση: Η προσρόφηση είναι μια αντιστρεπτή φυσικοχημική διεργασία, κατά την οποία η χημική ουσία προσκολλάται στην επιφάνεια του στερεού σώματος. Τα φυτοφάρμακα έλκονται και συγκρατούνται από τα οργανικά και ανόργανα κολλοειδή του εδάφους. Η προσρόφηση θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες διεργασίες φυσικής απομάκρυνσης των φυτοφαρμάκων από το έδαφος, επειδή επηρεάζει τη συγκέντρωσή τους και κατ' επέκταση τη μετακίνησή τους στο έδαφος, την εξάτμιση ή την εξάχνωσή τους, καθώς και τη διάσπασή τους. Τα προσροφημένα μόρια ή ιόντα των φυτοφαρμάκων είναι ουσιαστικά ανενεργά και γίνονται ενεργά μόνον όταν αποδεσμευτούν από τα κολλοειδή. Η διεργασία αποδέσμευσης (εκρόφιση) στο εδαφικό διάλυμα είναι βραδύτερη [14].

Για την έκφραση της προσρόφησης των φυτοφαρμάκων από το έδαφος χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι, ο συντελεστής προσρόφησης (adsorption coefficient,  $K_{oc}$ ) και ο συντελεστής κατανομής (adsorption partition coefficient,  $K_d$ ).

Η ικανότητα προσρόφησης από τα υλικά του εδάφους εκφράζεται από τον συντελεστή προσρόφησης.

$$K_{oc} = \left[ \frac{\text{συγκέντρωση προσροφημένη}}{\text{συγκέντρωση διαλυμένη}} \right] / (\% \text{ οργανικός άνθρακας εδάφους}) \quad (2.2)$$

Ο συντελεστής εκφράζει την ποσότητα του οργανικού άνθρακα που προσροφάται από το έδαφος. Χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί 1) η έκταση διαχωρισμού μιας οργανικής ουσίας στο έδαφος, 2) ο βαθμός με τον οποίο οι χημικές ουσίες προσροφούνται από τις επιφάνειες των εδαφικών μορίων, 3) ο βαθμός των φυτοφαρμάκων που παρασύρονται από την επιφανειακή απορροή και 4) ο βαθμός συγκράτησης από τα ιζήματα.

Ουσίες που έχουν τιμές  $K_{oc}$  μεγαλύτερες από 1000 είναι ουσίες που προσκολλούνται πολύ ισχυρά στα εδαφικά μόρια και κατά συνέπεια δεν μετακινούνται μέσα στο έδαφος, εκτός της διαδικασίας της διάβρωσης. Τιμές του  $K_{oc}$  μικρότερες από 500 δείχνουν ουσίες που κινούνται με το νερό με τη διαδικασία της έκπλυσης.

Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του φυτοφαρμάκου στην στερεά φάση του εδάφους με τη συγκέντρωση στην υγρά φάση περιγράφεται από τους περισσότερους ερευνητές και τα περισσότερα μοντέλα από γραμμικές εξισώσεις ισορροπίας τύπου Freundlich:

$$S=K_dC \quad (2.3)$$

όπου  $K_d$  είναι ο συντελεστής κατανομής ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ). Η σχέση του συντελεστή κατανομής με τον συντελεστή προσρόφησης του φυτοφαρμάκου δίνεται από τη σχέση:

$$K_d = f_{oc}K_{oc} \quad (2.4)$$

όπου  $f_{oc}$  είναι η περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα του εδάφους.

Η επιβράδυνση στη μεταφορά των ουσιών λόγω της προσρόφησης για μια συντηρητική ουσία μπορεί να υπολογιστεί από τον παράγοντα επιβράδυνσης που ορίζεται από τη σχέση:

$$R_f = 1 + K_d \rho_b / n \quad (2.5)$$

όπου  $R_f$  είναι ο παράγοντας επιβράδυνσης που εκφράζει τον λόγο της πραγματικής ταχύτητας του νερού προς την ταχύτητα μεταφοράς της προσροφόμενης ουσίας [6].

Διαλυτότητα: Πιθανότατα η πιο σημαντική ιδιότητα ενός φυτοφαρμάκου που επηρεάζει τη μετακίνησή του, μέσω του νερού να είναι η διαλυτότητά του (Solubility). Η διαλυτότητα ορίζεται ως η ποσότητα της ουσίας που απαιτείται για να δώσει ένα κορεσμένο διάλυμα σε μια δεδομένη ποσότητα διαλύτη και θερμοκρασία. Η διαλυτότητα των φυτοφαρμάκων είναι σχετική με την έκπλυση από την εδαφική ζώνη εφαρμογής. Φυτοφάρμακα με διαλυτότητα μικρότερη από 30 mg/l θεωρούνται ότι έχουν μικρή ικανότητα για έκπλυση, αν η αποικοδόμηση και ο συντελεστής προσρόφησης είναι μικροί. Τα φυτοφάρμακα που έχουν μικρή διαλυτότητα και δεν συσσωρεύονται στο έδαφος, απομακρύνονται με την απορροή και την διάβρωση του εδάφους.

Πτητικότητα: Η πτητικότητα εκφράζει την ικανότητα των φυτοφαρμάκων να αεριοποιούνται (volatility). Οι απώλειες αεριοποίησης μπορεί να μειωθούν με την ενσωμάτωσή τους στο έδαφος. Τα πτητικά φυτοφάρμακα μπορούν να επιστρέψουν

στο έδαφος με τη βροχή. Για τα περισσότερα φυτοφάρμακα οι απώλειες με την αεριοποίηση είναι ασήμαντες με τις απώλειες με την έκπλυση και την επιφανειακή απορροή. Προς την ατμόσφαιρα χάνονται ποσότητες φυτοφαρμάκων κατά την διάρκεια εφαρμογής τους με τη μορφή της διαβροχής για συνθήκες με άνεμο, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τα χημικά χαρακτηριστικά του φυτοφαρμάκου.

Η ικανότητα αεριοποίησης εκφράζεται από την σταθερά του νόμου του Henry:

$$K_H = \text{πίεση ατμών/διαλυτότητα} \quad (2.6)$$

Η σταθερά αυτή εκφράζει την αναλογία μεταξύ πίεσης των ατμών και της διαλυτότητας της ουσίας στο νερό. Πρακτικά η σταθερά δίνει την κατανομή της ουσίας μεταξύ του αέρα και του νερού. Υψηλές τιμές της σταθεράς αυτής δείχνουν ότι υπάρχει η τάση των φυτοφαρμάκων για αεριοποίηση και απώλεια προς την ατμόσφαιρα.

Η συγκέντρωση κορεσμού της ουσίας στον αέρα ( $C_a$ ) εκτιμάται από την σχέση

$$C_a = P/RT \quad (2.7)$$

όπου

P είναι η πίεση ατμών σε Pascal ( $1\text{Pa}=0.0075\text{mmHg}$ )

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία (K)

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων, ίση με  $8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση κορεσμού στο νερό ισοδυναμεί με την διαλυτότητα ( $C_w=S$ ), τότε ο συντελεστής κατανομής μεταξύ αέρα και νερού θα δίνεται από την σχέση

$$K_{aw} = K_H/RT \quad (2.8)$$

Η U.S.EPA (1986) μετά από εκτεταμένες έρευνες στην ύπαιθρο και το εργαστήριο για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των φυτοφαρμάκων από τις οποίες εξαρτάται η έκπλυση τους προς τα υπόγεια νερά, όρισε τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.2 ως οριακές για την πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών [6].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2:** Οριακές τιμές που καθορίζουν την επικινδυνότητα ρύπανσης των υπογείων νερών [7]

Χημική ή φυσική ιδιότητα	Οριακή τιμή
Διαλυτότητα στο νερό	μεγαλύτερη από 30 ppm
Σταθερά του Henry	μικρότερη από $10^2 \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$
$K_d$	μικρότερη από 5, συνήθως μικρότερη από 1 ή 2
$K_{oc}$	μικρότερη από 300 με 500
Ημιπερίοδος ζωής υδρόλυσης	μεγαλύτερη από 25 εβδομάδες
Ημιπερίοδος ζωής φωτόλυσης	μεγαλύτερη από 1 εβδομάδα
Ημιπερίοδος ζωής στον αγρό	μεγαλύτερη από τρεις εβδομάδες

## 2.5 Ορθή Διαχείριση των φυτοφαρμάκων για την προστασία της ποιότητας του νερού

Ο κίνδυνος της ρύπανσης των υδατικών πόρων από τα φυτοφάρμακα μπορεί να μειωθεί με σχεδιασμό της σωστής χρήσης.

Η σωστή χρήση των φυτοφαρμάκων περιλαμβάνει:

1. την αποφυγή μη απαραίτητης εφαρμογής φυτοφαρμάκων.
2. την χρήση και οικονομική εφαρμογή τους.
3. τη χρησιμοποίηση καλλιεργητικών και βιολογικών πρακτικών που αντικαθιστούν ή συμπληρώνουν την χρήση φυτοφαρμάκων,
4. την μείωση χρησιμοποίησης φυτοφαρμάκων υψηλής κινητικότητας ή υπολειμματικότητας. Αυτό συμβαίνει σε περιοχές με χονδρόκοκκα υλικά και με υψηλή υπόγεια στάθμη.
5. με εδαφικές παρεμβάσεις: η μεταβολή των εδαφικών χαρακτηριστικών του επιφανειακού στρώματος μπορεί να επηρεάσει την πιθανότητα και την ένταση ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Επίσης η καλλιέργεια του εδάφους χαλαρώνει το επιφανειακό στρώμα και αυξάνει τη ροή και την αποθήκευση του νερού στο στρώμα αυτό. Ακόμα μειώνεται η συνέχεια των μακροπόρων και έτσι μειώνεται η απευθείας ροή και μεταφορά των ουσιών προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

6. με εφαρμογή αρδευτικού νερού: Η άρδευση μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο μετακίνηση των φυτοφαρμάκων προς τα υπόγεια ή τα επιφανειακά νερά. Όταν η παροχή εφαρμογής είναι μεγαλύτερη από την από τη διηθητικότητα προκαλείται επιφανειακή απορροή, η οποία μεταφέρει τα φυτοφάρμακα στα υδατορεύματα και στις λίμνες. Για να αποφευχθεί η μορφή της ρύπανσης πρέπει η παροχή εφαρμογής να είναι μικρότερη από την διηθητικότητα.
7. Την αποτροπή της υπεράρδευσης: Η υπεράρδευση αυξάνει τον κίνδυνο έκπλυσης, καθώς προκαλεί βαθιά διήθηση του νερού, που παρασύρει και τα φυτοφάρμακα. Η ποσότητα νερού και η διάρκεια άρδευσης θα πρέπει να καθορίζονται από την αποθηκευτική ικανότητα του ριζοστρώματος

# 3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΠΟ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

Τα λιπάσματα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την αύξηση των αποδόσεων, αλλά και τη βελτίωση της ποιότητας. Κατά συνέπεια, η χρήση τους στη γεωργία είναι ουσιώδους και βασικής σημασίας. Για να είναι αποτελεσματικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ορθολογικά, έτσι ώστε και τη γεωργία να ωφελούν, αλλά και να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους σε βάρος των φυσικών πόρων και γενικότερα του περιβάλλοντος. Αντίθετα, η μη ορθολογική χρήση τους μπορεί να συμβάλει στην υποβάθμιση της γεωργικής παραγωγής και γενικότερα του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής. Έτσι, με την επί μακρό χρονικό διάστημα υπερλίπανση των καλλιεργειών, μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα με όλες τις δυσμενείς συνέπειες σε βάρος των υπογείων και επιφανειακών νερών και γενικά του περιβάλλοντος .

#### 3.2 Ορισμός - Κατηγορίες λιπασμάτων

Η ΥΑ 16190/1335/97 ορίζει ως λίπασμα κάθε ουσία που περιέχει αζωτούχο ένωση ή ενώσεις και διασπείρεται στο έδαφος προκειμένου να τονώσει την ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένης και της κοπριάς, των καταλοίπων ιχθυοτροφείων και της λυματολάσπης.

Τα λιπάσματα διακρίνονται ανάλογα με τη σύσταση τους, την προέλευση τους και την παραγωγή τους σε [17]:

- ανόργανα και οργανικά λιπάσματα,
- απλά (ένα θρεπτικό στοιχείο), μικτά και σύνθετα,
- πυκνά ή αραιά λιπάσματα.

Διαδεδομένα λιπάσματα είναι διαφόρων μορφών N, P, K και ιχνοστοιχείων. Η σύσταση του λιπάσματος περιγράφεται από τον τύπο του και αναφέρεται ειδικότερα στην περιεκτικότητα σε N (%), σε P ( $P_2O_5\%$ ) και σε K ( $K_2O\%$ ). Ενδεχόμενα το ασβέστιο και μαγνήσιο εκφράζονται και αυτά ως οξείδια ( $CaO\%$ ,  $MgO\%$ ). Τα υπόλοιπα στοιχεία εκφράζονται επίσης % σε διάφορες χημικές μορφές .

### 3.2.1 Οργανικά και ανόργανα λιπάσματα

Οργανικά λιπάσματα: Είναι ζωικής (κοπριά), φυτικής (φυτικά υπολείμματα) ή μικτής προελεύσεως. Περιέχουν μικρή ποσότητα θρεπτικών στοιχείων αλλά η αξία τους έγκειται κυρίως στην οργανική ουσία που περιέχουν και μέσω της οποίας δρουν στη βελτίωση των φυσικών και λοιπών ιδιοτήτων του εδάφους.

1. Ζωική κοπριά: Είναι μια πολύτιμη πηγή θρεπτικών στοιχείων, ιχνοστοιχείων και αυξητικών παραγόντων, πέραν της ευεργετικής επίδρασης στη φυσική και βιολογική κατάσταση του εδάφους.
2. Κομπόστ: είναι υποκατάστατο των οργανικών λιπασμάτων και παράγεται κυρίως από την αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων είτε σε αερόβιες είτε σε αναερόβιες συνθήκες.
3. Χλωρή λίπανση: Η πρακτική της ανάπτυξης των καλλιεργειών με στόχο την ενσωμάτωση τους στο έδαφος, αποσκοπεί στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, στην επαναφορά στα επιφανειακά στρώματα των λιπαντικών στοιχείων που αντλήθηκαν από βαθύτερα στρώματα, στη βελτίωση της υφής του εδάφους, στη συγκράτηση λιπαντικών στοιχείων τα οποία διαφορετικά θα χανόταν με έκπλυση και τέλος στη δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου σε καλλιέργεια ψυχανθών [12].



Ανόργανα λιπάσματα: Ως (ανόργανο) χημικό ή τεχνητό λίπασμα, ορίζεται κάθε ουσία που χρησιμοποιείται για τη λίπανση του εδάφους, μετά από προηγούμενη χημική ή μηχανική κατεργασία της. Τα ανόργανα τεχνητά ή χημικά λιπάσματα παρασκευάζονται μέσω της χημικής, φυσικής ή βιολογικής οδού, οι δε πρώτες ύλες προέρχονται από το ζωικό, κυρίως όμως από το ορυκτό βασίλειο και την ατμόσφαιρα (συνθετικά N-ούχα λιπάσματα). Τα ανόργανα λιπάσματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες ενός ή περισσοτέρων θρεπτικών συστατικών απαιτητών για τα φυτά (N, K, φωσφορικό οξύ κ.α.) ως επί το πλείστον σε διαλυτή μορφή, ώστε να είναι εφικτή η πρόσληψη τους από τα φυτά αμέσως ή σε σύντομο χρονικό διάστημα, στερούνται όμως οργανικής ουσίας, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων. Διακρίνονται σε απλά, σύνθετα και μικτά λιπάσματα [12].

### 3.2.2 Απλά, Μικτά και σύνθετα λιπάσματα

1. Απλά λιπάσματα λέγονται εκείνα που περιέχουν ένα μόνο κύριο θρεπτικό λιπαντικό στοιχείο και διακρίνονται σε αζωτούχα, φωσφορικά και καλιούχα, από την περιεκτικότητά τους σε N, P ή K αντίστοιχα.
2. Σύνθετα λιπάσματα λέγονται όταν περιέχουν δυο ή περισσότερα θρεπτικά στοιχεία και προέρχονται από χημική αντίδραση από πρώτες ύλες με βάση φωσφορίτες, αμμωνία, νιτρικό οξύ, θειικό οξύ ή ανθρακικό καθώς και καλιούχα άλατα. Τα λιπάσματα της κατηγορίας αυτής, έχουν ως χαρακτηριστικό την απόλυτη ομοιογένεια της σύστασής τους.
3. Μικτά λιπάσματα λέγονται όταν περιέχουν δυο ή περισσότερα θρεπτικά στοιχεία. Προέρχονται από μηχανική ανάμειξη, αλλά είναι εύκολος ο διαχωρισμός των συστατικών μερών του [12].

### 3.2.3 Πυκνά ή αραιά λιπάσματα

Πυκνά λιπάσματα: Τα πυκνά λιπάσματα περιέχουν θρεπτικά συστατικά σε υψηλές συγκεντρώσεις. Για παράδειγμα, πυκνά οργανικά λιπάσματα είναι: τα οστεάλευρα, τα αιματάλευρα και τα υποπροϊόντα ελαιουργείων [12].



### 3.3 Επιπτώσεις από την χρήση των λιπασμάτων στο περιβάλλον

Αν και η χρήση των λιπασμάτων γίνεται με σκοπό τον εμπλουτισμό του εδάφους με χρήσιμα για τα φυτά στοιχεία, πολλές φορές παρουσιάζονται φαινόμενα πολύ υψηλών συγκεντρώσεων και μείωση της γεωργικής παραγωγής, τα οποία οφείλονται στην μη ορθή χρήση των λιπασμάτων.

Σε περίπτωση υπερβολικής χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων το άζωτο συσσωρεύεται στα φυτά υπό μορφή νιτρικών αλάτων και η κατανάλωση αυτών των φυτών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας. Επιπλέον σε τέτοιες περιπτώσεις σημαντικές ποσότητες νιτρικών ενδέχεται να μεταφερθούν στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η κατανάλωση νερού που έχει ρυπανθεί με τέτοιες ουσίες εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για τους καταναλωτές [12]

Το μεγαλύτερο πρόβλημα ρύπανσης από τα λιπάσματα είναι η τελική συγκέντρωση σε λίμνες και ο ευτροφισμός τους. Με τη βροχή τα λιπάσματα παρασύρονται από τα χωράφια και καταλήγουν στους φυσικούς επιφανειακούς αποδέκτες, αποτελώντας σημαντική πηγή θρεπτικών ουσιών αυξάνοντας τον ευτροφισμό τους (Πολυράκης, 2003). Με τον όρο αυτό περιγράφεται η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και φυκών που δημιουργούν συνθήκες ασφυξίας και αποχρωματίζουν τα ύδατα, πλήττοντας φυσικά οικοσυστήματα και αποστερώντας από τα ψάρια το οξυγόνο. Περίπου στο 33 % των σταθμών παρακολούθησης στα ποτάμια και τις λίμνες της Ευρώπης επισημαίνονται σημεία ευτροφισμού, όπως επίσης και σε ορισμένα παράκτια ύδατα [17].

**ΕΙΚΟΝΑ 3.1:** Το φαινόμενο του ευτροφισμού στον Αλιάκμονα, όπως καταγράφηκε το 2008.

(<http://perivallon.pblogs.gr/>)



### 3.4 Νιτρορύπανση

Η ΥΑ 161/1997/Β-519, που αφορά την «Προστασία των υδάτων από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης», ορίζει ως νιτρορύπανση την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων γεωργικής προέλευσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται για την ανθρώπινη υγεία, βλάβες στους ζώντες οργανισμούς και στα υδατικά οικοσυστήματα ή ζημιές στις εγκαταστάσεις αναψυχής ή να παρακωλύονται άλλες θεμιτές χρήσεις των υδάτων.

Η ΥΑ 161/1997/Β-519 εναρμονίζεται με τις διατάξεις της οδηγίας 91/676/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης».

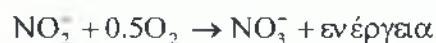
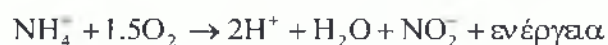
Η νιτρορύπανση εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνουν σε επίπεδα που είναι απαγορευτικά για τη χρήση του νερού για σκοπούς ύδρευσης. Ως οριακή τιμή έχει καθορισθεί από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία η συγκέντρωση των 50 mg/l, ωστόσο ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 25 mg/l) δημιουργείται προβληματισμός για μακροχρόνια χρήση του νερού για πόση [18].

#### 3.4.1 Κύκλος του Αζώτου (N)

Το άζωτο είναι καίριας σημασίας στοιχείο για τη ζωή στη γη και ο κύκλος του αζώτου είναι ένας από τους σημαντικότερους θρεπτικούς κύκλους για τα φυσικά οικοσυστήματα. Τα φυτά απορροφούν άζωτο από το έδαφος, ενώ τα ζώα, με τη σειρά τους, τρώνε τα φυτά. Όταν πεθαίνουν και αποσυντίθενται, το άζωτο επιστρέφει στο έδαφος, όπου τα βακτηρίδια το μετατρέπουν και ο κύκλος αρχίζει από την αρχή. Ωστόσο, οι γεωργικές δραστηριότητες μπορούν να αποσταθεροποιήσουν τον κύκλο, για παράδειγμα μέσω της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων, προκαλώντας αφενός ρύπανση των υδάτων και ευτροφισμό λόγω του υπερβολικού φορτίου θρεπτικών συστατικών και αφετέρου οξίνιση και φαινόμενο θερμοκηπίου λόγω των αερίων εκπομπών [18].

Η παρουσία του αζώτου στη φύση έχει ποικίλες μορφές, όπως είναι η αμμωνία (NH<sub>3</sub>), η αμμωνιακή ρίζα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), το αέριο μοριακό άζωτο (N<sub>2</sub>), η νιτρώδης ρίζα (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) και η νιτρική ρίζα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Οι ενώσεις αυτές είναι δυνατόν να τροποποιηθούν μέσα στο φυσικό, χερσαίο και υδατικό, περιβάλλον διαμέσου διαφόρων μετασχηματισμών, όπως είναι η δέσμευση αερίου N<sub>2</sub>, η αμμωνιοποίηση/ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου, η νιτροποίηση της αμμωνιακής ρίζας, η ακινητοποίηση αζώτου είτε με πρόσληψη από τη βλάστηση, αλλά και από το μικροβιακό πληθυσμό και η απονιτροποίηση με ή χωρίς αφομοίωση. Κάθε μια διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς.

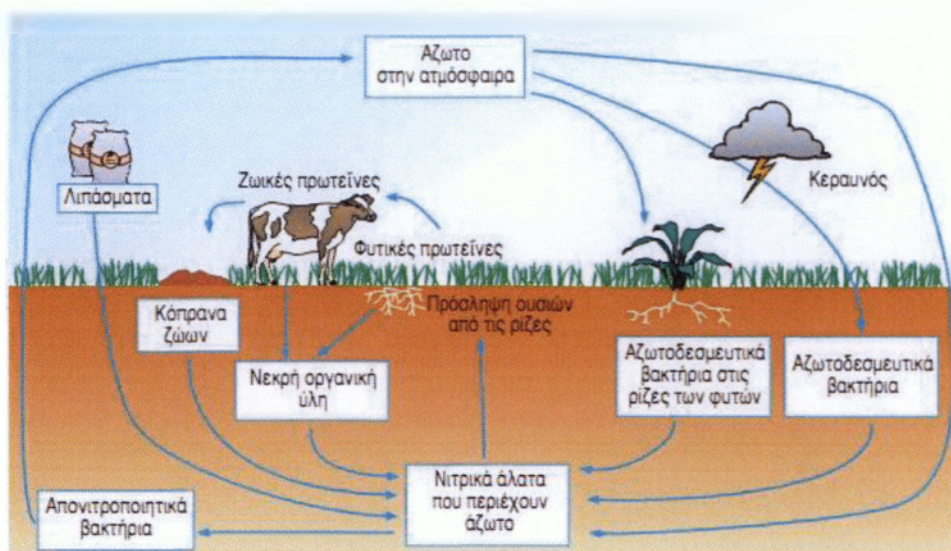
Κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης, αμμωνιακές αζωτούχες ενώσεις οξειδώνονται παρουσία των αυτοτροφικών βακτηρίων Nitrosomonas και Nitrobacter σε νιτρώδεις και στη συνέχεια νιτρικές ενώσεις.



Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.1) δίνεται μια σχηματική παρουσίαση των διαδικασιών μετασχηματισμού του αζώτου και των ενώσεων του στο περιβάλλον θεωρώντας την ατμόσφαιρα ως ανεξάντλητη πηγή μοριακού αζώτου.

Οι κυρίαρχες μορφές αζώτου, που απαντώνται σε επιφανειακούς αποδέκτες ύδατος όπως είναι τα ποτάμια και οι λίμνες, είναι κυρίως το διαλυμένο ανόργανο άζωτο N ( , , ), το διαλυμένο οργανικό άζωτο και τα διακριτοποιημένα σωματίδια αζώτου. Η διάχυση των νιτρικών ενώσεων στο υπέδαφος γίνεται ταχύτητα διαμέσου της φυσικής υπόγειας ροής. Οι νιτρικές ενώσεις διαλύονται πολύ εύκολα στο νερό, παρουσία διαλυμένου οξυγόνου και είναι δυνατόν να μεταφερθούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις, όταν το εδαφικό υλικό είναι ιδιαίτερα διαπερατό [14].

ΕΙΚΟΝΑ 3.2: Κύκλος του Αζώτου



### 3.4.2 Πηγές Νιτρορύπανσης

Οι κύριες πηγές νιτρορύπανσης προέρχονται κατά κύριο λόγο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η υπόγεια διάθεση των οικιακών υγρών αποβλήτων σε σηπτικές δεξαμενές (βόθροι) οι οποίες όμως δεν εκκενώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως προβλέπεται, με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως απορροφητικοί βόθροι. Με αυτόν τον τρόπο επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο το έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης, η ανεξέλεγκτη διάθεση στερεών αποβλήτων, επιβαρύνει την ποιότητα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από τη μάζα των στερεών αποβλήτων. Η διαίσδυση των νιτρικών ενώσεων στα υπόγεια ύδατα και εν συνεχεία η επιφανειακή απορροή τους στα επιφανειακά νερά εξαρτάται από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τη στράγγιση, τη βροχόπτωση και τις επιφανειακές συνθήκες απόθεσης. Το νερό έκπλυσης είναι πλούσιο σε ανόργανα συστατικά, όπως χλωρίοντα, σίδηρο, μόλυβδο, χαλκό, νάτριο, νιτρικά, αμμωνία και ποικιλία οργανικών ουσιών. Όταν περιέχονται και στερεά βιομηχανικά απόβλητα, τότε στο νερό έκπλυσης μπορεί να περιλαμβάνονται επικίνδυνες ουσίες όπως κυανιούχα, κάδμιο και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες.

Τη σημαντικότερη πηγή νιτρορύπανσης αποτελούν οι πάσης φύσεως αγροτικές δραστηριότητες, γεωργικές και κτηνοτροφικές. Η υπέρμετρη χρήση αζωτούχων



σκευασμάτων με σκοπό τη βελτίωση και προστασία της παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών ενώσεων στο υπέδαφος. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων παρατηρούνται όχι μόνο σε περιοχές με αυξημένη γεωργική δραστηριότητα, αλλά επίσης και σε περιοχές όπου παρατηρείται συγκέντρωση ζωικών αποβλήτων και φυτικών υπολειμμάτων. Τα οργανικά υπολείμματα παραμένουν στο έδαφος μετά τη συγκομιδή και υφίστανται στη συνέχεια ανοργανοποίηση και νιτροποίηση από τα βακτήρια. Σε πολλές περιπτώσεις η άρση των καλλιεργούμενων εδαφών επιταχύνει τη διαδικασία νιτροποίησης των αζωτούχων ενώσεων, που βρίσκονται στο υπέδαφος λόγω της εισροής οξυγόνου [14].

#### *3.4.3 Επιπτώσεις νιτρορύπανσης στο περιβάλλον*

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της νιτρορύπανσης στο περιβάλλον αφορούν:

- α) την υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων, λιμνών και ποταμιών, λόγω της ανάπτυξης του φαινομένου του ευτροφισμού και
- β) τη ρύπανση των υπογείων υδροφόρων στρωμάτων από όπου γίνεται η άμεση άντληση ποσοτήτων πόσιμου ύδατος.

Στην περίπτωση των υπογείων υδάτων, η ρύπανση από φωσφορικές και καλιούχες ενώσεις είναι αρκετά μικρή, λόγω της περιορισμένης κινητικότητας που παρουσιάζουν οι ενώσεις αυτές στο έδαφος. Αντίθετα, η υψηλή διαλυτότητα των νιτρικών ενώσεων στο νερό, έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά των ενώσεων αυτών μέσω της υπόγειας φυσικής ροής στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και τους αποδέκτες [14].

Στα επιφανειακά νερά και ιδίως στις λίμνες και στους κλειστούς κόλπους η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων αζωτούχων αλλά και φωσφορικών ενώσεων, με τη συνδρομή και της ηλιακής ακτινοβολίας, ενισχύει, συχνά σε υπερβολικό βαθμό, την ανάπτυξη υδρόβιας βλάστησης και φυτικών μικροοργανισμών στο νερό (φυτοπλαγκτόν), δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το φαινόμενο του ευτροφισμού. Στις συνέπειες του ευτροφισμού περιλαμβάνονται η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα του νερού, η δημιουργία τοξινών που σκοτώνουν τα ψάρια, η παραγωγή ενώσεων που προσδίδουν δυσάρεστη οσμή στο νερό και η εν γένει διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας.

### 3.5 Μέτρα προστασία περιβάλλοντος από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων

Τα νιτρικά που προέρχονται από τα αζωτούχα λιπάσματα και άλλες πηγές είναι πολύ ευκίνητα μέσα στο έδαφος. Διαλύονται εύκολα στο νερό και καθώς δεν συγκρατούνται από το έδαφος όπως συμβαίνει με άλλα θρεπτικά στοιχεία συμπαρασύρονται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και τελικά καταλήγουν στα υπόγεια νερά. Όταν η συγκέντρωσή τους υπερβεί κάποια όρια, τότε το νερό γίνεται ακατάλληλο για πόση. Παράλληλα στις περιπτώσεις που το έδαφος είναι επικλινές και έχει μικρή διηθητικότητα, τα νιτρικά παρασύρονται από τα νερά της επιφανειακής απορροής και μεταφέρονται στους υδάτινους αποδέκτες, όπου και συσσωρεύεται, προκαλώντας εν γένει τον ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτινων συστημάτων και τελικά την υποβάθμισή τους.

Εξαιτίας των δυνητικών επιδράσεων της στράγγισης των νιτρικών στα υπόγεια και επιφανειακά νερά είναι απαραίτητη η κατανόηση των κινδύνων που είναι δυνατόν να συνδέονται με λίπανση και ως εκ τούτου η αυξημένη προσοχή κατά την εφαρμογή των λιπασμάτων, ειδικότερα των αζωτούχων, τα οποία σχετίζονται άμεσα με τη νιτρορύπανση των υπογείων και επιφανειακών νερών [19].

#### 3.5.1 Πολιτικό Πλαίσιο – Οδηγία για τη Νιτρορύπανση

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/676/ΕΟΚ επιδιώκει τον περιορισμό και την πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται από νιτρικά ιόντα που προέρχονται από γεωργικές πηγές. Τα προγράμματα δράσης στο πλαίσιο της Οδηγίας για τη Νιτρορύπανση αποτελούν ένα από τα βασικά μέτρα της Οδηγίας Πλαισίου για τα Ύδατα (Παράρτημα VI) και ένας μηχανισμός για την αναστροφή των τάσεων της ρύπανσης από νιτρικά ιόντα, στο πλαίσιο της Οδηγίας για τα Υπόγεια Ύδατα (Παράρτημα IV, Μέρος Β). Σύμφωνα με την Οδηγία αυτή, τα Κράτη Μέλη οφείλουν να προσδιορίσουν τις ευπρόσβλητες ζώνες όλων των περιοχών στην επικράτειά τους, των οποίων τα ύδατα - συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων υδάτων - υφίστανται ή ενδέχεται να υποστούν νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Τέτοια ύδατα είναι εκείνα, μεταξύ άλλων, τα οποία περιέχουν ή θα μπορούσαν να περιέχουν, εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, περισσότερα από 50 mg/l νιτρικών ιόντων. Επομένως, οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα δεν πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή των 50 mg/l [5].



### *3.5.2 Πρακτικές διαχείρισης για τη μείωση στράγγισης των νιτρικών*

Η στράγγιση των νιτρικών κάτω από τη ριζική ζώνη των φυτών μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση διαφόρων πρακτικών που περιλαμβάνουν: την βελτιωμένη διαχείριση των λιπασμάτων (με στόχο την αντιστοιχία της διαθεσιμότητας του αζώτου με τις ανάγκες των φυτών) και τη χρήση των καλλιεργειών εκ περιτροπής. Άλλες προληπτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση καλλιεργητικών πρακτικών που στοχεύουν στην πιο αποδοτική εκμετάλλευση των υπολειμμάτων του αζώτου του εδάφους ή καλλιέργειες που στοχεύουν στη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων νιτρικών του εδάφους σε χαμηλά επίπεδα [19].

### *3.5.3 Βελτιωμένη διαχείριση του αζωτούχου λιπάσματος*

Η συσσώρευση νιτρικών στο έδαφος προκαλείται συνήθως από την υπερλίπανση των καλλιεργειών. Οι αιτίες για την εφαρμογή υπερβολικών ποσοτήτων λιπασμάτων είναι ο ελλιπής έλεγχος του εδάφους όσον αφορά το περιεχόμενο άζωτο, ιδιαίτερα στις πιο υγρές περιοχές και η συνεπαγόμενη άγνοια για τις πραγματικές ανάγκες του εδάφους σε άζωτο. Δυστυχώς μια πλήρης και αξιόπιστη μέθοδος ελέγχου του εδάφους σε άζωτο δεν έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Η χρήση δεικτών ελέγχου όπως τα υπολείμματα νιτρικών στο έδαφος και το ποσοστό αζώτου του εδάφους αποτελεί μια ταχεία εκτίμηση του ποσού του αζώτου που μπορεί να παρέχει το έδαφος κατά τη διάρκεια της εποχής ανάπτυξης των φυτών [19]

### *3.5.4 Χρόνος εφαρμογής λιπασμάτων*

Η αποδοτικότητα των λιπασμάτων μπορεί να βελτιωθεί με την εφαρμογή των λιπασμάτων σε χρόνο λίγο πριν τη μέγιστη ανάπτυξη του φυτού ή με την σταδιακή εφαρμογή της έτσι ώστε να ταιριάζει με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Πρακτικά παραδείγματα είναι η καλοκαιρινή λίπανση του καλαμποκιού όπου το λίπασμα τοποθετείται μερικές εβδομάδες αφού τα σπαρτά έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και οι διαιρεμένες εφαρμογές για ορισμένες καλλιέργειες (όπως το χειμερινό σιτάρι), όπου μέρος του αζώτου εφαρμόζεται το φθινόπωρο και το υπόλοιπο την άνοιξη. Με αυτές τις πρακτικές το λίπασμα χρησιμοποιείται περισσότερο αποδοτικά και

απαιτείται λιγότερη ποσότητα, ενώ παράλληλα διευκολύνεται η απορρόφηση του από το φυτό και μειώνεται το κόστος εφαρμογής.

Ειδική προσοχή πρέπει να δίνεται το φθινόπωρο κατά την εφαρμογή των λιπασμάτων σε περιοχές όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος στράγγισης κατά το διάστημα του χειμώνα [19].

### *3.5.5 Πηγή πηγών του αζώτου και ελεγχόμενη απελευθέρωση*

Η επιλογή των πηγών του αζώτου πρέπει να γίνεται με γνώμονα (εκτός από την ευκολία εφαρμογής και το κόστος) την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας στράγγισης στα υπόγεια νερά. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει γίνει αξιόλογη έρευνα πάνω στα ελεγχόμενης απελευθέρωσης αζωτούχα λιπάσματα και στα ανασταλτικά νιτροποίησης έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντιστοιχία της διάθεσης του αζώτου με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών.

Η επικαλυμμένη με θείο ουρία είναι ένα λίπασμα αργής απελευθέρωσης καθώς η επικάλυψη θείου διαλύεται αργά. Μελέτη (1977) έδειξε ότι η νιτρική στράγγιση μειώθηκε στο 53% εκεί όπου έγινε εφαρμογή επικαλυμμένης με θείο ουρίας αντί διαλυτών πηγών αζώτου. Η δυσκολία επίτευξης ακριβούς αντιστοιχίας μεταξύ του διαθέσιμου αζώτου και των αναγκών των καλλιεργειών μπορεί να αποτελέσει το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής. Επίσης η μεταφορά αυτού του είδους αζωτούχου λιπάσματος είναι σχεδόν πάντα δυσκολότερη από εκείνη των ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων. Το υψηλότερο κόστος των λιπασμάτων αργής απελευθέρωσης μπορεί επίσης να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα στην ευρεία χρήση τους. Παράλληλα εκεί όπου η όξυνση του εδάφους αποτελεί πρόβλημα, η χρήση θρεπτικών υλικών, όπως η επικαλυμμένη με θείο ουρία, είναι δυνατό να επιταχύνει τη διαδικασία όξυνσης.

Τα ανασταλτικά νιτροποίησης όπως η νιτροπυρίνη είναι επίσης αποδοτικά στη μείωση του ποσοστού στο οποίο τα αμμωνιούχα λιπάσματα νιτροποιούνται. Η αργή νιτροποίηση ίσως δίνει μια καλύτερη χρονική ανταπόκριση της διάθεσης του αζώτου κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η μείωση των απωλειών λόγω στράγγισης με ένα αναστολέα νιτροποίησης επιτυγχάνεται σε

μεγαλύτερο βαθμό σε αμμώδη εδάφη με άρδευση ή έντονες βροχές στην περίοδο ανάπτυξης. Ένα μειονέκτημα των ανασταλτικών νιτροποίησης είναι η μείωση της ισχύος τους με το χρόνο καθώς και το υψηλό κόστος τους [19]

#### *3.5.6 Εναλλακτικές καλλιέργειες*

Συχνά είναι αδύνατο να αποφευχθεί η συσσώρευση των νιτρικών στη ριζική ζώνη μετά τη συγκομιδή. Σε καλλιέργειες με επιφανειακό σχετικά ριζικό σύστημα τα νιτρικά στραγγίζουν κάτω από τη ριζική ζώνη κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και συσσωρεύονται στα υποστρώματα που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Αυτά τα νιτρικά μπορούν να διηθηθούν στα υπόγεια νερά κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή με τις βροχές της άνοιξης. Χειμερινές καλλιέργειες απορρόφησης λιπασμάτων (cover crops) και καλλιέργειες σε ακολουθία προσφέρουν πιθανές αποδοτικές λύσεις για την δέσμευση του αζώτου στο έδαφος και την αποφυγή της διαφυγής του στο υπόγειο νερό [19].

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο****ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ**

---

**4.1 Γενικά**

Τα υπόγεια ύδατα κινούνται αργά μέσα στο έδαφος και, ως εκ τούτου, οι επιπτώσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να είναι σχετικά μακροπρόθεσμες. Αυτό σημαίνει ότι ρύπανση που εμφανίστηκε δεκαετίες πριν, ανεξαρτήτως προέλευσης, γεωργικής, βιομηχανικής ή ανθρωπογενούς, μπορεί να εξακολουθεί να είναι επικίνδυνη για την ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Τα αποτελέσματα από τις δραστηριότητες του παρελθόντος είναι εμφανή σε πολλές περιοχές, π.χ. βιομηχανικές περιοχές ή λιμενικές εγκαταστάσεις, όπου μπορεί να είναι δύσκολο ή ανέφικτο να καθαρισθούν από τους ρύπους, ακόμα και με τη χρήση σύγχρονης τεχνολογίας. Επιπλέον, η εμπειρία των τελευταίων 20 ετών έχει δείξει ότι τα μέτρα που λαμβάνονται, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν είναι σε θέση να αφαιρέσουν εντελώς όλους τους μολυσματικούς παράγοντες και ότι οι πηγές ρύπανσης, ακόμα κι αν αφαιρεθούν μερικώς, συνεχίζουν να απελευθερώνουν ρύπους για μια μακρά χρονική περίοδο. Είναι συνεπώς προτιμότερο να προλαμβάνεται ή να περιορίζεται ο κίνδυνος ρύπανσης, παρά να αντιμετωπίζονται οι συνέπειες.

Τέλος, τα υπόγεια ύδατα είναι «κρυφοί» πόροι και υπερτερούν ποσοτικά των επιφανειακών, και για αυτό το λόγο είναι πολύ δυσκολότερη η πρόληψη της ρύπανσης καθώς και η παρακολούθηση και αποκατάσταση της ποιότητάς τους. Ο λεπτομερής εντοπισμός και χαρακτηρισμός τους δεν είναι εύκολη υπόθεση, ενώ συχνά δεν υπάρχει συνειδητοποίηση ή/και ενδείξεις κινδύνων ρύπανσης των

υπόγειων υδάτων. Πρόσφατες εκθέσεις δείχνουν ότι η ρύπανση από οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυξάνεται, είτε άμεσα, λόγω των απορρίψεων λυμάτων, είτε έμμεσα με τη χρήση λιπασμάτων ή εξαιτίας των στραγγισμάτων από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης που εντοπιζόταν έως σήμερα προερχόταν από σημειακές πηγές, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι διάχυτες πηγές επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο τα υπόγεια ύδατα. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων υπερβαίνουν τις ενδεδειγμένες τιμές, περίπου στο ένα τρίτο των υπόγειων υδατικών συστημάτων της Ευρώπης [4].

Η απορρύπανση ή εξυγίανση αποσκοπεί στην επαναφορά της ποιότητας του εδάφους και των υπογείων νερών στις συνθήκες πριν τη ρύπανσή τους με την απομάκρυνση των ρύπων [6]. Η πλήρης αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων και του εδάφους είναι αδύνατον να επιτευχθεί.

#### **4.2 Μέθοδοι Αποκατάστασης**

Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μέθοδοι για την εξυγίανση και την αποκατάσταση των ρυπασμένων περιοχών των υδροφορέων, που έχουν σχέση με το πρόβλημα της ρύπανσης. Από αυτές γνωστές και εφαρμόσιμες, οι οποίες θα παρουσιαστούν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, είναι οι εξής: 1) προστασία από την επέκταση του ρύπανσης, 2) απομάκρυνση των ρύπων 3) επεμβάσεις στην περιοχή ρύπανσης και 4) μείωση των κινδύνων με θεσμικούς ελέγχους [6].

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τη φύση, τη συγκέντρωση και τη ποσότητα του ρυπαντή, το είδος της πηγής ρύπανσης (σημειακή ή διάχυτη, συνεχής ή παροδική), το πάχος της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, το κόστος και τη διαθέσιμη τεχνολογία, καθώς και τη μελλοντική χρήση γης. Η επιτόπια παρακολούθηση (site monitoring) αποτελεί το πρώτο βήμα για την επιλογή της τεχνικής απορρύπανσης και περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού και αερίων με σκοπό να καθορισθούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ρυπαντών. Για σοβαρά επεισόδια ρύπανσης η παρακολούθηση διαρκεί για αρκετό καιρό (3 δεκαετίες) μετά την ολοκλήρωση των εργασιών απορρύπανσης [20].

Οι λόγοι που συνήθως επιβάλλουν τη λήψη μέτρων απορρύπανσης και προστασίας εδαφών και υδροφορέων είναι:

1. Η διαπίστωση ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι τέτοιος που προκαλεί σημαντικούς κινδύνους στη δημόσια υγεία ή γενικότερα «μη-αποδεκτή υποβάθμιση του περιβάλλοντος» Τα τελευταία χρόνια, τα μέγιστα όρια της αποδεκτής υποβάθμισης του περιβάλλοντος έχουν μειωθεί σημαντικά (κυρίως λόγω της ευαισθητοποίησης των κοινωνικών φορέων) με συνέπεια τη μεγάλη αύξηση των περιοχών στις οποίες υπάρχει ανάγκη απορρύπανσης ή/και προστασίας.
2. Η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος σε μια περιοχή, έστω και εάν ο βαθμός ρύπανσης δεν προκαλεί σημαντικά προβλήματα δημόσιας υγείας.
3. Η ανάγκη αύξησης της εμπορικής αξίας των ακινήτων σε μια περιοχή.
4. Η ανάγκη ανάπτυξης μιας περιοχής σε συνδυασμό με την έλλειψη «καθαρών» χώρων για τη δημιουργία βιομηχανιών, οικισμών κλπ. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται και περιπτώσεις όπου διατίθενται μεν «καθαροί» χώροι για ανάπτυξη αλλά το κόστος τους υπερβαίνει το μικτό κόστος ανάπτυξης (αγορά συν απορρύπανση) άλλων χώρων στους οποίους επιβάλλεται απορρύπανση.

#### **4.3 Προστασία από την επέκταση της ρύπανσης**

Οι τεχνολογίες προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης εδαφών και υδροφορέων συμβάλλουν στην πρόληψη των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την επέκταση της ρύπανσης. Επιπλέον, το κόστος των συστημάτων προστασίας είναι σημαντικά μικρότερο (τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους) από το κόστος της αντίστοιχης απορρύπανσης. Οι μέθοδοι προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης εδαφών και υδροφορέων περιλαμβάνουν:

##### *4.3.1 Εγκιβωτισμός του ρυπασμένου εδάφους*

Ο εγκιβωτισμός εφαρμόζεται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα μέτρα επεξεργασίας ρυπασμένου εδάφους έτσι ώστε κατά την διάρκεια των μέτρων αυτών να διασφαλίζεται η μη περαιτέρω διασπορά της ρύπανσης προς ευαίσθητους αποδέκτες π.χ. μέσω του αέρα, είτε μέσω της κίνησης του υπόγειου νερού. Επίσης παρόμοια



μέτρα απομόνωσης της ρύπανσης εφαρμόζονται και μεμονωμένα σε περιοχές όπου η προβλεπόμενη μελλοντική χρήση τους όπως και η χρήση στις γειτονικές περιοχές δεν απαιτεί υψηλά περιβαλλοντικά όρια αναφορικά με την κατάσταση του υπεδάφους (βιομηχανικές περιοχές). Ακόμη εφαρμόζονται στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν οι απαιτούμενοι οικονομικοί πόροι για την πλήρη εξυγίανση με επεξεργασία τότε λαμβάνονται αρχικά μέτρα εγκλωβισμού / απομόνωσης της ρύπανσης [21].

Μία από τις τεχνικές εγκιβωτισμού είναι η δημιουργία γύρω από τη ρυπασμένη περιοχή τοιχωμάτων από υλικό μικρής διαπερατότητας. Έτσι απομονώνονται οι ρύποι από τη γύρω περιοχή ή προκαλείται διακοπή της ροής δια μέσου της ρυπασμένης περιοχής. Τα τοιχώματα λάσπης (slurry walls) κατασκευάζονται σκάβοντας τάφρους μέχρι το επιθυμητό βάθος που στη συνέχεια γεμίζονται με μπετονίτη ή ανακατεύοντας τα υλικά, που έχουν εκσκαφεί με μπετονίτη προσθέτοντας και τσιμέντο (Σχήμα 4.1).

ΣΧΗΜΑ 4.1: Διαγραμματική αναπαράσταση πλευρικού εγκιβωτισμού ρυπασμένης περιοχής στο έδαφος [6]

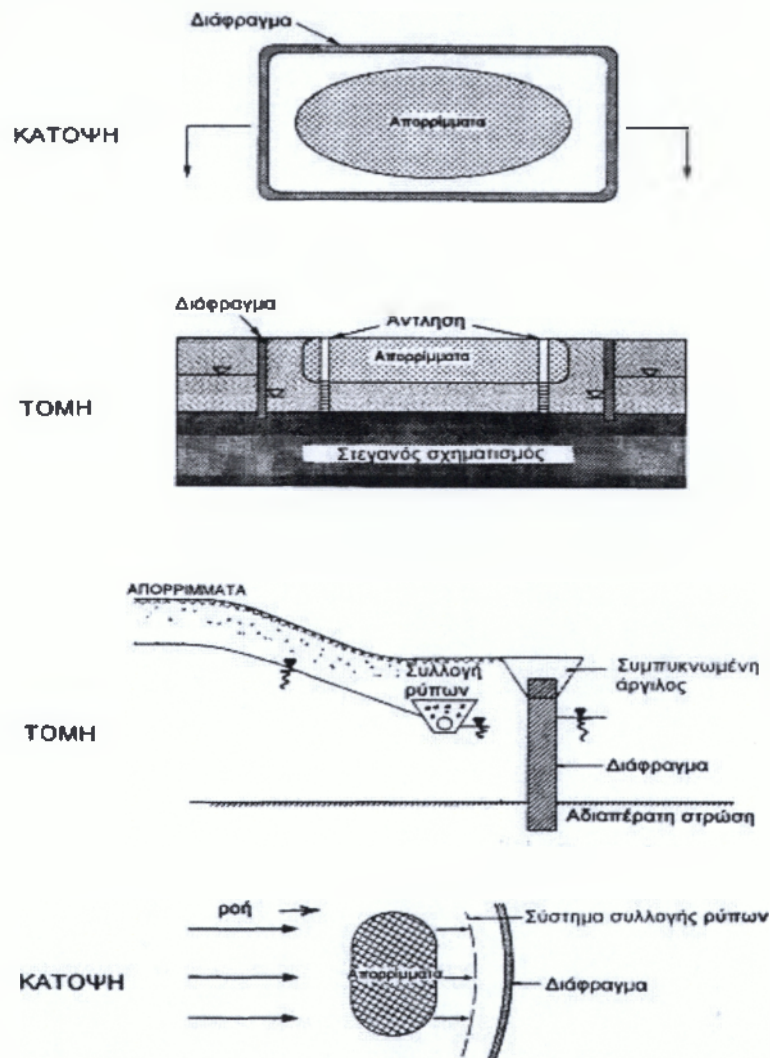


#### 4.3.2 Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα

Σε περίπτωση διαφυγής επικίνδυνων ή τοξικών ρύπων από κάποιο χώρο χρήσης ή αποθήκευσης προς το έδαφος, υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης του υπόγειου νερού, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να μεταφέρει τους ρύπους προς τα κατάντη και να προκληθεί επέκταση της ρύπανσης. Τυπική περίπτωση ρύπανσης αυτού του τύπου ήταν η διαφυγή ραδιενεργών ουσιών στο υπέδαφος (εκτός όλων των άλλων) κατά το

γνωστό πυρηνικό ατύχημα στο Chernobyl το Μάιο 1986. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι συνήθης η κατασκευή βαθειών περιμετρικών διαφραγμάτων για την απομόνωση του εδάφους κάτω από τη θέση της διαρροής (Σχήμα 4.2). Τα διαφράγματα πρέπει να φθάνουν μέχρι κάποιο αδιαπέρατο υπόστρωμα [20].

ΣΧΗΜΑ 4.2: Τυπική διάταξη περιμετρικών διαφραγμάτων για την απομόνωση του εδάφους που έχει ρυπανθεί από επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα [20]



#### 4.3.3 Οριζόντια διαφράγματα βάσης

Η κατασκευή κατακόρυφων περιμετρικών διαφραγμάτων σε μια περιοχή που έχει ρυπανθεί περιορίζει τη δυνατότητα επέκτασης της ρύπανσης στην οριζόντια διεύθυνση. Τα διαφράγματα αυτά συνήθως φθάνουν μέχρι το βάθος κάποιας οριζόντιας εδαφικής στρώσης με μικρή διαπερατότητα, η οποία εξασφαλίζει τη στεγανότητα του συστήματος έναντι επέκτασης της ρύπανσης με κίνηση των ρύπων στην κατακόρυφη διεύθυνση. Εάν δεν υπάρχει κάποια πρακτικώς αδιαπέρατη εδαφική στρώση σε λογικό βάθος, μια λύση είναι η στεγάνωση της βάσης με τεχνητά μέσα. Οι μέθοδοι κατασκευής οριζόντιων στεγανωτικών διαφραγμάτων χωρίς αφαίρεση των υπερκείμενων εδαφικών υλικών είναι περιορισμένες, η στεγάνωση που προσφέρουν δεν είναι αξιόπιστη και επιπλέον έχουν υψηλό κόστος. Η μέθοδος που κυρίως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις αυτές είναι η κατασκευή ενός διαφράγματος από οριζόντιες τσιμεντενέσεις με εισπίεση ενέματος υπό υψηλή πίεση (high pressure jet grouting) [20].

#### 4.3.4 Συστήματα κάλυψης

Η κάλυψη της επιφάνειας εδαφών που έχουν ρυπανθεί είναι ίσως η απλούστερη και φθηνότερη μέθοδος περιβαλλοντικής αποκατάστασης περιοχών που έχουν ρυπανθεί, αν και είναι προφανές ότι αποτελεί προσωρινό μέτρο κάλυψης του προβλήματος, παρά τρόπο αποτελεσματικής αντιμετώπισής του. Η περιοχή καλύπτεται συνήθως με ασφαλτικά υλικά, σκυρόδεμα ή ακόμη και «καθαρό» έδαφος. Συχνά κάτω από τις στρώσεις αυτές τοποθετείται συνθετική γεωμεμβράνη για τον περιορισμό της κατείδυσης επιφανειακών υδάτων και της ανάβλυσης αερίων από το έδαφος. Το είδος και το πάχος της σφραγιστικής στρώσης κάλυψης θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε οι ρίζες των δένδρων να μην εισέρχονται στο έδαφος που έχει ρυπανθεί και επιπλέον να μην υπάρχει κίνδυνος να αποκαλυφθεί το έδαφος που έχει ρυπανθεί σε περίπτωση εκσκαφών για την τοποθέτηση δικτύων κοινής ωφέλειας, θεμελίωσης έργων κλπ. Τέλος, κατά το σχεδιασμό των συστημάτων κάλυψης, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή ανύψωση του υπόγειου οριζοντα (και συνεπώς η μεταφορά ρύπων μέσω του υπόγειου νερού), το ύψος της τριχοειδούς ανύψωσης του υπόγειου νερού αλλά και οι πιθανές υποχωρήσεις της επιφάνειας λόγω πλημμελούς συμπύκνωσης του υποκείμενου εδάφους [20].

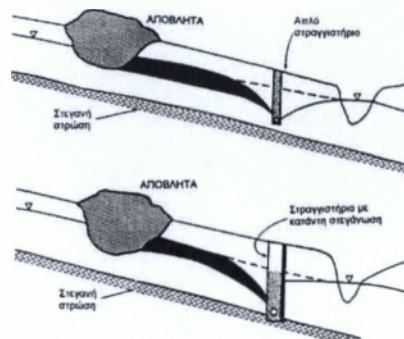
ΣΧΗΜΑ 4.3: Διαγραμματική αναπαράσταση κάλυψης επιφάνειας με αδιαπέρατα υλικά [6]



#### 4.3.5 Υδραυλικά συστήματα

Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην τροποποίηση της πιεζομετρίας του υπόγειου νερού με σκοπό τη μεταβολή της κατεύθυνσης κίνησής του. Έτσι, π.χ. συχνά γίνονται εκτεταμένες αντλήσεις σε κάποια περιοχή, ώστε να τροποποιηθεί το καθεστώς κίνησης του υπόγειου νερού και να μεταβληθεί η κατεύθυνση μετάδοσης της ρύπανσης. Επίσης, συχνά, μεταξύ της πηγής γένεσης της ρύπανσης και του σημείου εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού (πηγή, λίμνη κλπ) κατασκευάζεται επίμηκες στραγγιστήριο στο οποίο συγκεντρώνεται το υπόγειο νερό που προέρχεται από την πηγή της ρύπανσης (Εικόνα 4.1). Ουσιαστικά, η περίπτωση αυτή βασίζεται επίσης στην αντιστροφή της κίνησης του υπόγειου νερού. Όπως φαίνεται στο Εικόνα 4.1, πριν από την κατασκευή του στραγγιστηρίου, η κατεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού μεταξύ της θέσης του στραγγιστηρίου και της λίμνης ήταν από αριστερά προς τα δεξιά και ευνοούσε την επέκταση της ρύπανσης προς τη λίμνη, ενώ μετά την κατασκευή του στραγγιστηρίου η κατεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού αναστράφηκε, με αποτέλεσμα τον περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης προς τη λίμνη [20].

ΕΙΚΟΝΑ 4.1: Σύστημα προστασίας από τη ρύπανση με αναστροφή της κίνησης του υπόγειου νερού.



#### 4.3.6 Μέθοδοι σταθεροποίησης του εδάφους

Οι μέθοδοι σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification) χρησιμοποιούνται ευρέως για τον περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανάμειξη του εδάφους που έχει ρυπανθεί με κάποιο υλικό, ώστε το μίγμα που δημιουργείται (κονίαμα) να αποκτά μηχανική αντοχή, δηλαδή να στερεοποιείται. Με τον τρόπο αυτό ακινητοποιείται το ρυπαντικό φορτίο εντός της στερεοποιημένης εδαφικής μάζας και η ρύπανση εγκιβωτίζεται. Το σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό έχει επίσης μικρή διαπερατότητα και δεν επιτρέπει την κίνηση του υπόγειου νερού διαμέσου της μάζας του, οπότε περιορίζεται και ο κίνδυνος επέκτασης της ρύπανσης λόγω μεταγωγής των ρύπων. Τέλος, ακόμη και στην περίπτωση που η σταθεροποίηση του εδάφους δεν είναι πλήρης, το σταθεροποιημένο υλικό εγκιβωτίζει τυχόν μη σταθεροποιημένες εδαφικές μάζες και περιορίζει την επέκταση της ρύπανσης.

Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση εδαφών που έχουν ρυπανθεί είναι:

1. Το τσιμέντο. Η ανάμειξη του εδαφικού υλικού με τσιμέντο δημιουργεί ένα υλικό του οποίου η αντοχή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε τσιμέντο.
2. Οι πουζολάνες και η άσβεστος (CaO). Η ανάμειξη των εδαφικών υλικών με τα ανωτέρω δημιουργεί υδραυλικά κονιάματα που αποκτούν αυξημένη μηχανική αντοχή.
3. Διάφορα ασφαλτικά υλικά καθώς και συνθετικές ουσίες (πολυμερή).



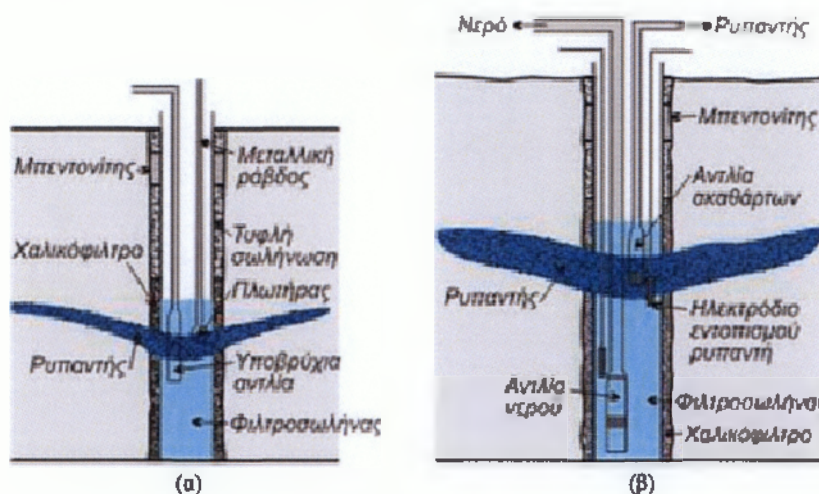
#### 4.4 Απομάκρυνση ρύπου

Η απομάκρυνση των ρύπων (contaminant withdrawal) από το έδαφος είναι η πιο ολοκληρωμένη μέθοδος αποκατάστασης της ποιότητας μίας περιοχής. Αυτή μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους [20]:

##### 4.4.1 Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat)

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση διαλυμένων ρυπαντών που αναμειγνύονται με το υπόγειο νερό, γίνεται άντληση του υπόγειου νερού με σύστημα γεωτρήσεων και στη συνέχεια οδηγείται σε μονάδα επεξεργασίας. Μετά την επεξεργασία είναι δυνατή η επανεισαγωγή του επεξεργασμένου νερού στον υδροφόρο, ή η διάθεση στο έδαφος, ή τέλος η διοχέτευσή του σε γειτονικό υδρόρευμα.

ΣΧΗΜΑ 4.4 Συστήματα άντλησης-επεξεργασίας για την ανάκτηση NAPL: (α) Απλή γεώτρηση, μία αντλία, (β) απλή γεώτρηση, ζεύγος αντλιών (Domenico-Schwartz, 1998 με τροποποιήσεις).



Η βέλτιστη απόσταση των γεωτρήσεων απορρύπανσης είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής του υπόγειου νερού, του πάχους του υδροφόρου, της μεταβιβασιμότητας, του συνολικού αριθμού γεωτρήσεων και της παροχής άντλησης καθεμιάς εξ' αυτών. Ο συνδυασμός γεωτρήσεων άντλησης-έκχυσης (εμπλουτισμού) δίνει καλύτερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα όταν διατάσσονται κατάλληλα (Σχήμα 4.4).





#### 4.4.4 Η βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)

Ανήκει στις μη συμβατικές (εναλλακτικές) τεχνικές επεξεργασίας που εφαρμόζονται επιτόπου και στηρίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη δράση μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες). Βασικό κριτήριο για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η επιδεκτικότητα του ρυπαντή στη βιοδιάσπαση από τους μικροοργανισμούς που ενδημούν ή εισάγονται στη θέση της ρύπανσης.

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν ως καταλύτες κατάλληλα ένζυμα, που παράγουν οι ίδιοι. Η δράση των μικροοργανισμών εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα της μικροβιακής κοινότητας, καθώς και τις συνθήκες που ευνοούν ή αναστέλλουν την ανάπτυξή τους (τοξικότητα, pH, θερμοκρασία κ.ά).

Η βιοαποκατάσταση εφαρμόζεται σήμερα στην απορρύπανση των υδρογονανθράκων, αν και οι μικροοργανισμοί μπορούν να διασπάσουν όλους τους οργανικούς ρυπαντές.

Το τελικό προϊόν είναι ανόργανες ουσίες ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ , νιτρικά και θειικά άλατα). Για να γίνει αερόβια αποσύνθεση διαβιβάζεται αέρας, μέσω βαθιών γεωτρήσεων. Η μέθοδος έχει μικρό κόστος και για να είναι πιο αποτελεσματική χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απορρύπανσης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται η τεχνητή δημιουργία συνθηκών που θα εξασφαλίσουν τα απαραίτητα υλικά για τροφή και παροχή ενέργειας στους μικροοργανισμούς (μηχανική βιοαποκατάσταση-engineered bioremediation). Αν η βιοαποκατάσταση γίνεται χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου ονομάζεται ειδική βιοαποκατάσταση-intrinsic bioremediation). Η μηχανική είναι ταχύτερη από την ειδική. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η πιθανή απόφραξη (clogging) των γεωτρήσεων από τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών σε μια θέση. Για την αντιμετώπιση της απόφραξης χρησιμοποιούνται πρωτόζωα, τα οποία καταστρέφουν τα βακτήρια ή γίνεται χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου αντί οξυγόνου.

Η χημική επεξεργασία με κατάλληλα μέσα αποτελεί μια επιπλέον μέθοδο που εφαρμόζεται *in situ*, αλλά σε περίπτωση αποτυχίας επιβάλλεται η απομάκρυνση εκτός του ρύπου και των χημικών ουσιών, που χρησιμοποιήθηκαν [20].

#### 4.4.5 Μέθοδος άντλησης επιπλεόντων ρυπαντών

Η απορρύπανση από επιπλέοντες ρυπαντές γίνεται με το σύστημα της διπλής άντλησης του επιπλέοντος ρυπαντή (dual pump free product recovery). Αρχικά

γίνεται άντληση υπόγειου νερού, οπότε διαμορφώνεται ένας κώνος κατάπτωσης. Ο ρυπαντής λόγω υδραυλικής κλίσης κινείται προς τη γεώτρηση, απ' όπου γίνεται άντλησή του με δεύτερη αντλία. Η πτώση της στάθμης πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να μην ρυπανθεί ο υδροφορέας σε όλο το πάχος του [20].

#### *4.4.6 Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος*

Τα βαρέα μέταλλα απομακρύνονται κυρίως με την προσρόφιση των ιόντων τους στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών (φυσική απορρύπανση). Επιπλέον για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων εφαρμόζεται τάση μέσω ηλεκτροδίων και τα ιόντα των μετάλλων οδεύουν και συλλέγονται στην άνοδο [20].

#### **4.5 Επεξεργασία του ρύπου στη θέση του**

Μερικές από τις τεχνικές επεξεργασίας ρύπων μπορούν να εφαρμοστούν *in situ* για την απομάκρυνση και μείωση του ρύπου. Τέτοιες τεχνικές είναι η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών, η οξείδωση και η ακινητοποίηση των ρύπων.

Η βιολογική και χημική αποικοδόμηση των ρύπων είναι από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους. Η βιολογική αποικοδόμηση περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση των οργανικών ουσιών ως πηγή ενέργειας των βακτηρίων και την παραγωγή πιο απλών προϊόντων, όπως νερού και  $\text{CO}_2$  από τα σύνθετα οργανικά μόρια. Η πιο κοινή τεχνική είναι η υποβοήθηση της ανάπτυξης των γηγενών βακτηρίων με την προσθήκη θρεπτικών στοιχείων, όπως αζώτου και φωσφόρου και οξυγόνου. Για την επιτυχία της βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών πρέπει οι γεωλογικές συνθήκες να δημιουργούν συνθήκες σχετικά μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας, για να διευκολύνεται η μεταφορά οξυγόνου και θρεπτικών στοιχείων και να υπάρξει σημαντικός αριθμός βακτηρίων από τα είδη που αποικοδομούν το ρύπο. Τα πλεονεκτήματα της βιολογικής επεξεργασίας είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία υδρογονανθράκων και οργανικών ουσιών, ιδιαίτερα ευδιάλυτων στο νερό. Είναι περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος, γιατί δεν παράγονται άλλου είδους παράγωγα απόβλητα και συνήθως προκαλεί πλήρη αποικοδόμηση του ρύπου, αξιοποιεί γηγενείς μικροοργανισμούς χωρίς να εισάγονται

επικίνδυνοι οργανισμοί. Η επεξεργασία βελτίωσης της ποιότητας γίνεται με τη μετακίνηση με το υπόγειο νερό και γενικά είναι επιτυχής για μικρής κλίμακας ρύπανση. Τα μειονεκτήματα της είναι ότι αναστέλλεται από βαριά μέταλλα και τοξικές ουσίες, τα βακτήρια μπορεί να προσκολληθούν στο έδαφος και να μειωθεί η ανακύκλωση, η εισροή θρεπτικών στοιχείων μπορεί να προκαλέσει τα γνωστά προβλήματα εμπλουτισμού των επιφανειακών νερών, τα υπολείμματα μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα γεύσης και οσμών και ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υδροφορείς με μικρή διαπερατότητα που δεν επιτρέπουν ικανοποιητική ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

Με τη χημική αποικοδόμηση επεξεργάζονται οι ρύποι *in situ* προσθέτοντας τα κατάλληλα χημικά μέσα. Αυτά τα χημικά προστίθενται δια μέσου ενός δικτύου φρεατίων που αναπτύσσεται στην περιοχή. Το μεγάλο πρόβλημα είναι η αβεβαιότητα επιτυχίας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους αποκατάστασης, γιατί αν η διαδικασία χημικής εξυγίανσης αποτύχει, θα πρέπει μετά να καθαριστούν εκτός από τον αρχικό ρύπο και τα χημικά πρόσθετα της αποικοδόμησης [6].

#### **4.6 Απονίτρωση υπόγειων νερών**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η γεωργική χρήση νιτρικών ενώσεων στα οργανικά και χημικά λιπάσματα αποτελεί μείζονα πηγή ρύπανσης του νερού στην Ευρώπη. Ενώ το άζωτο αποτελεί ζωτικό θρεπτικό συστατικό που συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών και καλλιεργειών, οι τυχόν υψηλές συγκεντρώσεις του είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο και τη φύση.

Εξαιτίας των δυναμικών επιδράσεων της στράγγισης των νιτρικών στα υπόγεια και επιφανειακά νερά είναι απαραίτητη όχι μόνο η κατανόηση των κινδύνων που είναι δυνατόν να συνδέονται με την χρήση και την εφαρμογή των λιπασμάτων, αλλά και η αναζήτηση και εφαρμογή των κατάλληλων τεχνικών για την αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων από την ρύπανση που προκαλεί η παρουσία των νιτρικών.

Για την αποκατάσταση εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές (Καλλέργης, 2000):

#### 4.6.1 Φυσική απονίτρωση

Εφαρμόζεται διακοπή της εφαρμογής λιπασμάτων ή μείωση αυτής εφαρμόζοντας τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Kariotis et al., 2001). Οι κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής (ΚΥΑ 16190/1335/97, ΦΕΚ 519B/25-6-1997) αποβλέπουν στη μείωση της νιτρορύπανσης γεωργικής προέλευσης και περιλαμβάνουν κανόνες σχετικά με τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες δεν ενδείκνυται η διασπορά λιπασμάτων στο έδαφος, τη διασπορά λιπασμάτων σε επικλινή ή σε κορεσμένα εδάφη, κοντά σε υδάτινα ρεύματα κ.λπ. Επιπλέον περιλαμβάνουν την κατάρτιση σχεδίων εφαρμογής λιπασμάτων ανά αγρόκτημα, την τήρηση αρχείων για τη χρήση των λιπασμάτων και τη διαχείριση της χρήσης γης.

Ο χρόνος απορρύπανσης εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων, το πάχος και το πορώδες του υδροφόρου ορίζοντα και την κατείσδυση και δίνεται από την σχέση (Yertsever, 1983):

$$t = -\frac{t_r}{\ln \frac{c}{c_0}} \quad (4.1)$$

όπου:

$t_r$  ο χρόνος παραμονής του ρυπασμένου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, που είναι ίσος με

1 η κατείσδυση (ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφόρου)

$C_0$  αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων

$C$  η συγκέντρωση απορρύπανσης (~15 mg/L) σε χρόνο  $t$  μετά τη διακοπή της εφαρμογής των λιπασμάτων.

Ο χρόνος παραμονής του ρυπασμένου ρύπου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_r = \frac{D \cdot n}{I} \quad (4.2)$$

όπου  $D$  είναι το πάχος του υδροφόρου και  $n$  το πορώδες του.

Σύμφωνα με τους Λαμπράκη κ.ά (1998), Voudouris et al. (2004) ο χρόνος απορρύπανσης από νιτρορύπανση, μετά την πλήρη διακοπή της λίπανσης, σε ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες από διάφορες περιοχές της Πελοποννήσου ανέρχεται σε 16-60 χρόνια.

#### *4.6.2 Ιοντοανταλλαγή*

Γίνεται ιοντοανταλλαγή μεταξύ των ιόντων  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{Cl}^-$ , όταν το νερό περνάει από συνθετικές ρητίνες. Εφαρμόζεται κυρίως η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης συνολικά για αφαλάτωση και απονίτρωση. Κατ' αυτήν το νερό περνώντας από μια ημιπερατή μεμβράνη, κατακρατούνται τα νιτρικά ιόντα. Μειονέκτημα είναι η απόφραξη των μεμβρανών.

#### *4.6.3 Ηλεκτροδιάλυση*

Εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση και τα ιόντα διέρχονται επιλεκτικά μέσω ημιπερατών μεμβρανών.

#### *4.6.4 Χημική απονίτρωση*

Προστίθεται αργίλιο σε υδατικό διάλυμα πλούσιο σε νιτρικά ιόντα και μέσω μιας σειράς αντιδράσεων παράγεται ελεύθερο άζωτο ή αμμωνία. Αν το τελικό προϊόν είναι η αμμωνία, γίνεται αεροδιαχωρισμός και ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

#### *4.6.5 Βιολογική απονίτρωση*

Χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί, οι οποίοι καταναλώνουν το άζωτο ως θρεπτική ουσία. Άλλη τεχνική είναι η δημιουργία βιομάζας από φύκη, που τρέφονται με  
νιτρικά



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### **Διασφάλιση της ποιότητας των υπόγειων υδατικών πόρων**

Η σημασία του νερού για τη ζωή και ως συστατικού του παγκόσμιου οικοσυστήματος γίνεται συνεχώς σαφέστερη. Είναι ένας πόρος που όχι μόνο καλύπτει βασικές ανάγκες του ανθρώπινου πληθυσμού και αποτελεί το κλειδί για την ανάπτυξη, ιδιαίτερα με τη δημιουργία και διατήρηση του πλούτου μέσω της γεωργίας, της επαγγελματικής αλιείας, της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του τουρισμού, αλλά είναι ζωτικός για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα. Τις τελευταίες δεκαετίες, αυξάνονται συνεχώς οι πιέσεις στο υδατικό περιβάλλον από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και χρήσεις του νερού. Προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των υδατικών πόρων απαιτείται η λήψη μέτρων και η εφαρμογή δράσεων όπως είναι οι παρακάτω:

- Η ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων (επιφανειακών και υπογείων), καθώς και του εδαφικού υλικού στο οποίο εφαρμόζονται ποικίλες αγροτικές δραστηριότητες, αποσκοπώντας στη διασφάλιση και προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.
- Η ενεργός συμμετοχή όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών κοινοτήτων, στις δραστηριότητες της διαχείρισης των υδάτων.
- Η μείωση και ο έλεγχος της ρύπανσης από όλες τις πηγές όπως η γεωργία, η βιομηχανική δραστηριότητα, οι αστικές περιοχές, κ.λπ.

### **Ρύπανση των υπόγειων υδάτων από την χρήση φυτοφαρμάκων**

Η γεωργία αποτελεί μια ανθρωπογενή δραστηριότητα η οποία είναι δυνατόν να οδηγήσει σε επιβάρυνση και περαιτέρω ρύπανση του περιβάλλοντος. Η χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως από τους καλλιεργητές με κύριο στόχο την αύξηση της απόδοσης της αγροτικής παραγωγής τους αλλά και την προστασία των προϊόντων αυτής από τη δράση επιβλαβών οργανισμών, έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση των υδάτων με υψηλές

συγκεντρώσεις χημικών ουσιών, η παρουσία των οποίων τα καθιστούν ακατάλληλα για κάθε χρήση. Για τους παραπάνω λόγους είναι επιβεβλημένη:

- Η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης της γεωργικής παραγωγής σε εθνικό επίπεδο, η οποία θα συμβάλλει καθοριστικά στον προγραμματισμό της γεωργικής παραγωγής, καθώς και στη διαρκή ενημέρωση των καλλιεργητών σχετικά με σύγχρονες πρακτικές, οι οποίες αυξάνουν την οικονομική απόδοση με τη ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

- Ο σωστός προγραμματισμός, σχετικά με την εφαρμογή των διαφόρων φυτο-προστατευτικών προϊόντων κατά τη διάρκεια της γεωργικής καλλιέργειας και συγκομιδής, θα μειώσει σημαντικά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

- Η μετατροπή των συμβατικών καλλιεργειών σε βιολογικές, καθώς θα μειώσει σημαντικά τις εισροές, τη χρήση διαλυτών ουσιών, φυτο-προστατευτικών προϊόντων και χημικών συνθετικών λιπασμάτων.

#### **Ρύπανση υπόγειων υδάτων από τη χρήση λιπασμάτων**

Η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από νιτρικές ενώσεις οι οποίες προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες αποτελεί μείζονα πηγή ρύπανσης του νερού στην Ευρώπη. Η προστασία των νερών και του περιβάλλοντος από τη ρύπανση (νιτρορύπανση) υποχρέωση που πηγάζει από τον Περί Ελέγχου της ρύπανσης των νερών Νόμο (106(I)/2002).

- Η μετατροπή των συμβατικών καλλιεργειών σε βιολογικές, θα μειώσει σημαντικά τις εισροές, τη χρήση διαλυτών ουσιών, φυτο-προστατευτικών προϊόντων και χημικών συνθετικών λιπασμάτων

- Η εφαρμογή και τήρηση του Σχεδίου Δράσης από το Τμήμα Γεωργίας για τις ευαίσθητες από τη νιτρορύπανση ζώνες, το οποίο αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στον περιορισμό της νιτρορύπανσης η οποία οφείλεται στις διάφορες γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες.

- Ο καθορισμός των ευαίσθητων από τη νιτρορύπανση περιοχών, εντός των οποίων τα υπόγεια νερά έχουν ρυπανθεί ή ενδέχεται να υποστούν ρύπανση.

- η ανάπτυξη μεθοδολογιών, που θα εξασφαλίζουν τη ορθολογική αλλά και ταυτόχρονα και τη βέλτιστη διαχείριση των αποθεμάτων φρέσκου νερού που βρίσκονται στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα θα συμβάλλει καθοριστικά στον περιορισμό της νιτρορύπανσης σε περιοχές με αυξημένη γεωργική δραστηριότητα.

## Μέθοδοι αποκατάστασης και εξυγίανσης των υδατικών πόρων

Η απορρύπανση ή εξυγίανση αποσκοπεί στην επαναφορά της ποιότητας του εδάφους και των υπογείων νερών στις συνθήκες πριν τη ρύπανσή τους με την απομάκρυνση των ρύπων. Η πλήρης αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων και του εδάφους είναι αδύνατον να επιτευχθεί. Η απλούστερη και μη δαπανηρή λύση για την εξυγίανση υδροφορέων που έχουν ρυπανθεί είναι η μηδενική λύση. Κατ' αυτήν δεν αναλαμβάνονται δράσεις και μέτρα για την απορρύπανση, αλλά η εξασθένηση ή εξαφάνιση των ρύπων επαφίεται στους φυσικούς μηχανισμούς, όπως η προσρόφηση στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών, η βιολογική αποδόμηση, η αραίωση κ.λπ. Επειδή όμως οι μηχανισμοί φυσικής απορρύπανσης δρουν σχετικά αργά, απαιτείται η εφαρμογή δραστικών μεθόδων εξυγίανσης και αποκατάστασης των ρυπασμένων περιοχών των υδροφορέων, όπως 1) η μέθοδος περιορισμού της επέκτασης του ρύπου, 2) η μέθοδος απομάκρυνση των ρύπων και 3) η επεξεργασία του ρύπου στην περιοχή ρύπανσης.

Η εφαρμογή μέτρων απορρύπανσης υπεδάφους θεωρείται απολύτως αναγκαία, σε περιπτώσεις όπως:

1. Για την διασφάλιση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων: Η ρύπανση του υπεδάφους οδηγεί μέσω της διεργασίας της κατεΐσδυσης σε αλλοίωση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων αλλά και των επιφανειακών (μέσω της επιφανειακής απορροής), όπως το pH και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, επηρεάζοντας έτσι το σύνολο των χημικών και βιολογικών ισορροπιών. Άμεσες συνέπειες είναι η διαταραχή της ισορροπίας των θρεπτικών στοιχείων όπως το άζωτο και το φώσφορο, που οδηγεί σε φαινόμενα ευτροφισμού, οι τοξικές επιδράσεις στην υδατική πανίδα και χλωρίδα και τα ιζήματα στον πυθμένα που αποτελούν μόνιμη πηγή ρύπανσης.

2. Για την διατήρηση και την προστασία της χλωρίδας και το ευρύτερου οικοσυστήμα: Οι περισσότερες χημικές ουσίες και πετρελαιοειδή έχουν φυτοτοξικές ιδιότητες, προκαλώντας βλάβες όπως: αναστολή της ανάπτυξης, διαταραχή των διαδικασιών μέσα στο φυτό, διαταραχή στις ισορροπίες των θρεπτικών συστατικών, κιτρίνισμα ή χλώρωση των φύλλων.

3. Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας: Το ρυπασμένο έδαφος σε μια περιοχή αποτελεί άμεσο κίνδυνο για τον άνθρωπο καθώς οι χημικές ουσίες βρίσκονται σε συγκέντρωση ικανή να προκαλέσει βλάβη. Οι αρνητικές επιδράσεις

μπορεί να προκληθούν είτε με άμεση επαφή του ανθρώπου με τη χημική ουσία (απορρόφηση από το δέρμα, εισπνοή σκόνης που προέρχεται από το ρυπασμένο έδαφος και εισπνοή από εξάτμιση ρυπαντών στην ατμόσφαιρα) είτε έμμεσα μέσω της κατανάλωσης φυτών και νερού που έχουν εκτεθεί στη ρύπανση (και γενικότερα μέσω της τροφικής αλυσίδας).

4. Για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της περιοχής: Το ρυπασμένο έδαφος μια περιοχής δεν μπορεί να αξιοποιηθεί με κανέναν τρόπο, με αποτέλεσμα να χάνεται είτε καλλιεργήσιμη έκταση, είτε οικοδομήσιμη έκταση, είτε πιθανός τόπος αναψυχής και πρασίνου. Η έκταση αυτή δεν περιορίζεται στα όρια της ρυπασμένης περιοχής, αλλά εκτείνεται και στη γειτνιάζουσα περιοχή, εφόσον κανείς δεν θέλει να ζει ή να δραστηριοποιείται σε περιβαλλοντικά υποβαθμισμένο χώρο. Υπάρχουν δηλαδή επιπτώσεις που συνδέονται όχι μόνο με το κόστος αποκατάστασης, αλλά και με την αξία της γης, τη χρήση της, και τον τρόπο που επηρεάζονται οι γύρω κοινότητες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «*Το νερό είναι ζωή - Οδηγία Πλαίσιο περί Υδάτων*», 2002, Υπηρεσία Επίσημων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Λουξεμβούργο.
- [2] Αντωνόπουλος Βασίλειος (2001), «*Υδατικά Οικοσυστήματα - Σημειώσεις Μαθήματος*», Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- [3] Τάτσης Λ., «*Κοινοτική Νομοθεσία για την Προστασία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων*», Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [4] «*Έκθεση εφαρμογής της οδηγίας 2006/118/ΕΚ σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση*», 2011, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.
- [5] «*Προστασία των Υπόγειων Υδάτων στην Ευρώπη-Η Νέα Κοινοτική Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα*», 2008, Υπηρεσία Εκδόσεων - Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Λουξεμβούργο.
- [6] Αντωνόπουλος Β. Ζ. (2001), «*Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών*», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζήτη.
- [7] Νάννου-Γιάνναρου Α. & Παπαθανασιάδης Τ. (2010), «*Υδραυλική Υπογείων Νερών*», 2η Έκδοση, Αθήνα.
- [8] <http://water.usgs.gov/>
- [9] Μητροπούλου Π. (2011), «*Μεταφορά Κolloειδών σε Ακόρεστα Πορώδη Μέσα*», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- [10] Λατινόπουλος Π. και Θεοδοσίου Ν. (2007), «*Εκμετάλλευση και προστασία υπόγειων υδατικών πόρων*», Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- [11] Χρυσικόπουλος Κ. (2010), «*Ειδικά Θέματα Τεχνολογίας Περιβάλλοντος*», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [12] Πολυράκης Ι. Θ. (2003), «*Περιβαλλοντική Γεωργία*», Εκδόσεις Ψυχαλου.
- [13] «*Δράση της Ε.Ε. για τα φυτοφάρμακα-Η τροφή μας έγινε πιο πράσινη*. Μάρτιος 2009, Υπηρεσία Επίσημων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- [14] Παπαγεωργίου Σ. (2006), «*Μελέτη της τύχης της ζιζανιοκτόνου ουσίας Πεντιμεθαλίνης σε εδαφικούς και υδάτινους αποδέκτες*», Διπλωματική Εργασία, Πάτρα.

- [15] Παπαδοπούλου Μ. 2005, «Νέες τεχνολογίες στη γεωργική παραγωγή και την αγροτική ανάπτυξη», ΤΕΕ.
- [16] Χουλιάρης Ν., «*Η Λίπανση στη Βιολογική Γεωργία. Τμήμα Φυτικής Παραγωγής*», Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
- [17] «*Η οδηγία της ΕΕ για τη Νιτρορύπανση*», Ιανουάριος 2010, Υπηρεσία Επίσημων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
- [18] Καββαδάς Μ. & Πανταζίδου Μ. (2007), «*Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής*», Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [19] *h ttp://www.ypeka.gr/*
- [20] Μαρινάκη, Γ. (2006), «*Επίδραση της γεωργίας στους υδατικούς πόρους με έμφαση το Ν.Χανίων*», Πτυχιακή Εργασία, Χανιά.
- [21] *http://www.intergeo.gr*