

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ζ. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ

ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι είναι από τις σημαντικότερες πηγές νερού για τις ανθρώπινες ανάγκες. Η εντατική χρησιμοποίηση των υδατικών πόρων και η μεγάλη παραγωγή αποβλήτων από τη σύγχρονη κοινωνία έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού πολλών υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων και την απειλή υποβάθμισης πολλών άλλων. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από τη διάθεση των υγρών αποβλήτων απ' ευθείας στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, την απόθεση στερεών και υγρών αποβλήτων πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης των αγροτικών δραστηριοτήτων και τη χρήση διαφόρων χημικών ουσιών στις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Η ακόρεστη ζώνη του εδάφους αποτελεί τον συνδετικό κρίκο των δραστηριοτήτων στην επιφάνεια του εδάφους και των υπόγειων νερών. Οι διαδικασίες της κίνησης του νερού και της μεταφοράς μάζας στη ζώνη αυτή καθορίζουν τις ποσότητες νερού και ρύπων που φθάνουν στα υπόγεια νερά.

Η διερεύνηση της μεταφοράς των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους και στους υπόγειους υδροφορείς γίνεται με τη βοήθεια αριθμητικών και αναλυτικών μοντέλων, τα οποία περιγράφουν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες με μαθηματικές σχέσεις. Τα μαθηματικά μοντέλα παρέχουν σημαντική βοήθεια για τη διαμόρφωση διαχειριστικών σχεδίων που οδηγούν στην σωστή αξιοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων, την πρόληψη της ρύπανσής τους και ακόμα τις ενέργειες αποκατάστασης ήδη ρυπασμένων περιοχών των υπόγειων νερών.

Στο βιβλίο αυτό περιλαμβάνονται οι βασικές αρχές και οι διαδικασίες που διαμορφώνουν την ποιότητα και τη ρύπανση των υπόγειων νερών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περιγραφή των διαδικασιών που συμμετέχουν στη μεταφορά μάζας των ουσιών στο έδαφος κάτω από κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες και στην επίλυση των εξισώσεων που τις περιγράφουν με μαθηματικά μοντέλα. Επειδή στη μεταφορά μάζας των ουσιών, καθοριστικό ρόλο έχει η κίνηση των υπόγειων νερών, απαραίτητη προϋπόθεση για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών και διαδικασιών, για τον αναγνώστη και μελετητή, είναι οι βασικές γνώσεις υδραυλικής σε πορώδη μέσα. Το βιβλίο καλύπτει μέρος της ύλης του μαθήματος *Ρύπανση Υδάτων και Προστασία Περιβάλλοντος*, που διδάσκεται την τελευταία δεκαπενταετία στο μεταπτυχιακό τμήμα της *Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων* του τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Αρχικά περιγράφονται οι βασικές αρχές της ποιότητας των υπόγειων νερών. Εξετάζονται οι πηγές ρύπανσης, οι επιπτώσεις της ρύπανσης στο περιβάλλον και η μακροσκοπική ανάλυση των διαδικασιών ρύπανσης. Στη συνέχεια στο 2^ο κεφάλαιο δίνονται οι βασικές εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας των ουσιών στα πορώδη μέσα, οι εξισώσεις όπως διαμορφώνονται όταν υπάρχουν οι διαδικασίες προσρόφησης-εκρόφισης, μετασχηματισμού των ουσιών, θεώρηση διπλού πορώδους στο έδαφος και οι εξισώσεις που προσεγγίζουν τον συντελεστή διασποράς στα πορώδη μέσα.

Στο 3^ο και 4^ο κεφάλαιο δίνονται αναλυτικές λύσεις, που περιγράφουν απλά προβλήματα μεταφοράς μάζας στα υπόγεια νερά, και αριθμητικές λύσεις για πιο σύνθετα προβλήματα μεταφοράς μάζας. Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος (βραδείας και ταχείας διήθησης, με επιφανειακή ροή και τεχνητούς υδροτόπους), λόγω της σημασίας τους στην επεξεργασία λυμάτων με τα φυσικά συστήματα και τη σχέση τους με την ποιότητα του εδάφους και των υπόγειων νερών.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι διαδικασίες και η επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν την τύχη του αζώτου και του φωσφόρου στο εδαφικό και υπόγειο νερό που εφαρμόζονται, είτε με τα υγρά αζωτούχα λύματα, είτε με την ανόργανη και οργανική λίπανση. Στο 7^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα προβλήματα της εφαρμογής των φυτοφαρμάκων στο έδαφος και η επικινδυνότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Στο 8^ο κεφάλαιο περιγράφονται σύγχρονες μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξυγίανση και αποκατάσταση ρυπασμένων υπόγειων υδροφορέων και στο 9^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι και οι διαδικασίες δειγματοληψίας και παρακολούθησης της ποιότητας του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους και στους υπόγειους υδροφορείς.

Ευχαριστώ τους φοιτητές, συναδέλφους και φίλους μου για τις παρατηρήσεις και διορθωτικές προτάσεις τους στα κείμενα και στη διάρθρωση της ύλης και για τη βοήθεια στο σχεδιασμό των σχημάτων. Ζητώ επίσης την κατανόηση του αναγνώστη για πιθανά λάθη, ανεπιτυχή μεταφορά αγγλικών όρων στην Ελληνική γλώσσα και τη μερική ή καθόλου κάλυψη ορισμένων θεμάτων της ρύπανσης των υπόγειων νερών. Τα τελευταία συνδέονται με την περιορισμένη βιβλιογραφία στο Ελλαδικό χώρο λόγω της σχετικά πρόσφατης ανάπτυξης της επιστήμης και μηχανικής της ρύπανσης των υπόγειων νερών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	
1.1 Γενικά	1
1.2 Υπόγειοι υδατικοί πόροι	2
1.3 Ρύπανση των υπόγειων νερών	4
1.4 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και το περιβάλλον	7
1.5 Πηγές ρύπανσης	10
1.5.1 Φυσική ρύπανση.	10
1.5.2 Πηγές ρύπανσης από οικιακά απόβλητα.	12
1.5.3 Βιομηχανικές πηγές.	15
1.5.4 Γεωργικές πηγές.	19
1.6 Χημικές διαδικασίες που επηρεάζουν την ρύπανση των υπόγειων νερών	23
1.7 Ρύπανση των υπόγειων νερών από τα φυτοφάρμακα	26
1.8 Μόλυνση από τους μικροοργανισμούς	29
1.9. Ρύπανση από τα μη αναμίξιμα στο νερό υγρά	32
1.10. Μακροσκοπική περιγραφή της ρύπανσης των υπόγειων νερών	34
1.10.1 Εισροή ρύπων από την επιφάνεια του εδάφους.	34
Α) Έκχυση υγρών αποβλήτων στους υδροφορείς.	35
Β) Εναπόθεση ή αποθήκευση στην ακόρεστη ζώνη.	36
Γ) Απόβλητα που διασκορπίζονται στην επιφάνεια του εδάφους	39
Δ) Διαρροή από υπονόμους.	39
Ε) Εισροή μολυσμένου επιφανειακού νερού με τη διήθηση ή τη διαρροή	40
1.10.2 Ανάμιξη και εισροή φυσικού νερού υποβαθμισμένης ποιότητας	41
1.11. Ο ρόλος της ακόρεστης ζώνης στην ρύπανση των υπόγειων νερών	45
1.12. Ιστορική εξέλιξη της επιστήμης των υπόγειων νερών και της ρύπανσής τους	47
Βιβλιογραφία	49
2. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΣΕ ΠΟΡΩΔΗ ΜΕΣΑ	53
2.1 Εισαγωγή	53
2.2 Περιγραφή των φαινομένων διασποράς	55
2.2.1 Μηχανισμοί διασποράς.	56
2.2.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι του φαινομένου της μεταφοράς μάζας.	58
2.2.3 Αναμίξιμος εκτόπιση και καμπύλες εκροής.	60
2.3 Μαθηματική περιγραφή της μεταφοράς μάζας στο έδαφος	62
2.3.1 Μεταφορά μάζας με διάχυση.	63
2.3.2 Μεταφορά μάζας των διαλυμένων ουσιών με μετακίνηση και διασπορά.	65
2.3.3 Σύνθεση των φαινομένων διάχυσης και μετακίνησης στη μεταφορά των διαλυμένων ουσιών.	66
2.3.4 Διερεύνηση των βασικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών σε πορώδη μέσα.	67
2.4 Ο συντελεστής διασποράς	70
2.5 Μεταφορά μάζας λόγω μετασχηματισμού των ουσιών στο έδαφος	75

2.5.1 Προσρόφηση	77
2.5.2 Ανταλλαγή κατιόντων.	84
2.5.3 Έκλυση ανιόντων.	86
2.5.4 Προσθήκη-αφαίρεση των διαλυμένων ουσιών.	88
2.5.5 Μεταφορά μάζας σε ακόρεστα πορώδη μέσα με στάσιμο νερό.	90
2.5.6 Μεταφορά βακτηρίων σε πορώδη μέσα	95
2.6 Κίνηση του νερού σε πορώδη μέσα	97
2.6.1 Ακόρεστη ροή	98
2.6.2 Κίνηση του νερού στους υπόγειους υδροφορείς	100
Ασκήσεις κεφαλαίου	102
Βιβλιογραφία	105
3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	109
3.1 Διάχυση σε ένα μονοδιάστατο ημιάπειρο μέσο.	110
3.2 Μεταφορά συντηρητικής ουσίας σε ημιάπειρη στήλη από μία πηγή σταθερής συγκέντρωσης.	112
3.3 Μεταφορά ουσίας σε κορεσμένα πορώδη μέσα από πηγή μεταβαλλόμενης συγκέντρωσης	117
3.4 Μεταφορά μάζας ουσίας που μετασχηματίζεται με κινητική αντίδραση μηδενικής τάξης.	123
3.5 Διασπορά και προσρόφηση ουσίας σε ομογενές και ισότροπο κορεσμένο πορώδες μέσο με σταθερή μονοδιάστατη ροή	126
3.6 Συνδυασμός προσρόφησης, μετασχηματισμών κατά τη μεταφορά μάζας μίας ουσίας	132
3.7 Αναλυτικές λύσεις των εξισώσεων μεταφοράς μάζας της αμμωνίας και των νιτρικών στο έδαφος	139
3.8 Γενική αναλυτική λύση μεταφοράς μάζας στο έδαφος με κινούμενο και στάσιμο νερό	144
3.9 Προσδιορισμός των παραμέτρων των εξισώσεων μεταφοράς μάζας λύνοντας το αντίστροφο πρόβλημα	148
3.10 Αναλυτική λύση της διδιάστατης μεταφοράς μάζας σε μονοδιάστατο πεδίο ροής	149
3.11 Εφαρμογές αναλυτικών λύσεων σε προβλήματα μεταφοράς μάζας ουσιών στο έδαφος	151
Βιβλιογραφία	166
4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	169
4.1 Μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών.	170
4.2 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.	176
4.3 Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων σε διδιάστατα προβλήματα	186
4.4 Αριθμητική διασπορά και υπερεκτίμηση των λύσεων	191
4.5 Έλεγχος αξιοπιστίας υπολογιστικών σχημάτων	194
4.6 Γενικές αρχές εφαρμογής μαθηματικών μοντέλων ποιότητας για την επίλυση προβλημάτων ρύπανσης υπόγειων νερών	197
4.7 Μαθηματικά μοντέλα μεταφοράς μάζας	200
Βιβλιογραφία	201

5. ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	205
5.1 Γενικά.	205
5.2 Χαρακτηριστικά των συστημάτων επεξεργασίας εδάφους.	207
5.3 Τύποι συστημάτων επεξεργασίας εδάφους.	210
5.4 Διαδικασίες που συμμετέχουν στον καθαρισμό του νερού κατά την επεξεργασία στο έδαφος.	213
5.5 Τεχνητοί υγρότοποι ως συστήματα επεξεργασίας εδάφους.	216
5.6 Συστήματα επεξεργασίας λυμάτων εδάφους-υδροφορέα.	221
5.7 Απομάκρυνση του αζώτου των λυμάτων στα συστήματα επεξεργασίας εδάφους	226
Βιβλιογραφία	230
6. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	231
6.1 Μεταφορά μάζας των ενώσεων του αζώτου	231
6.1.1 Εξισώσεις των μετασχηματισμών του αζώτου στο έδαφος.	233
6.1.2 Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στη νιτροποίηση και απονιτροποίηση	239
6.1.3 Προσομοίωση της δυναμικής του αζώτου στο έδαφος με το μοντέλο WANISIM	241
6.1.4 Εφαρμογές και αποτελέσματα μοντέλου	245
6.2 Μεταφορά μάζας φωσφόρου στο έδαφος	252
6.2.1 Εξισώσεις μεταφοράς μάζας φωσφόρου στο έδαφος	254
6.2.2 Διαδικασίες απομάκρυνσης του φωσφόρου των λυμάτων κατά την εφαρμογή τους στο έδαφος στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας	261
Βιβλιογραφία	264
7. ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	269
7.1 Γενικά	269
7.2 Τα φυτοφάρμακα στο περιβάλλον	271
7.3 Ιδιότητες των φυτοφαρμάκων	271
7.4 Τοξικότητα των φυτοφαρμάκων	275
7.6 Εκτίμηση του κινδύνου έκπλυσης των φυτοφαρμάκων	277
7.7 Μαθηματική περιγραφή της μεταφοράς και έκπλυσης φυτοφαρμάκων στο έδαφος	283
7.7.1 Επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων στους μετασχηματισμούς των ουσιών	285
7.8 Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου στη μεταφορά ενός φυτοφάρμακου σε εδαφική στήλη	286
7.9 Διαχείριση των φυτοφαρμάκων για την προστασία της ποιότητας του νερού	288
Βιβλιογραφία	291
8. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ	293
8.1 Γενικά	293
8.2 Εγκιβωτισμός	294
8.3 Απομάκρυνση του ρύπου	297

8.4	Επεξεργασία του ρύπου στην θέση του	297
8.5	Επιλογές διαχείρισης	298
8.6	Συστήματα άντλησης των ρύπων από τον υδροφόρα	299
8.7	Εξυγίανση με βιολογικές μεθόδους	300
	Βιβλιογραφία	304
9.	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	305
9.1	Γενικά	305
9.2	Μετρήσεις και δειγματοληψία στην ακόρεστη ζώνη	306
9.2.1	Επιλογή της συσκευής δειγματοληψίας	307
9.2.2	Μικρολυσίμετρα	307
9.2.3	Παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή, εγκατάσταση και χρήση των μικρολυσιμέτρων	308
9.3	Δειγματοληψία νερού από φρεάτια υπόγειων υδροφορέων	313
9.3.1	Διαδικασία δειγματοληψίας νερού	315
9.3.2	Συχνότητα άντλησης και καθορισμός της θέσης	316
9.3.3	Συσκευές δειγματοληψίας	317
9.4	Μετρούμενες παράμετροι και παρουσίασή τους	320
9.5	Συντήρηση των δειγμάτων	322
	Βιβλιογραφία	325
10.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	327
Π Α1.	Σταθερές και μονάδες που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της μεταφοράς μάζας στα υπόγεια νερά	327
Π Α2.	Σταθερές ποιότητας για την καταλληλότητα του πόσιμου νερού	329
Π Α3.	Ποιότητα αρδευτικού νερού και επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση	334
Π Α4.	Ιδιότητες επιλεγμένων φυτοφαρμάκων	336
Π Α5.	Ιδιότητες αεριοποιούμενων και ημι-αεριοποιούμενων ουσιών	338
Π Α6.	Φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες των εδαφών	340
	Ευρετήριο	341

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

1.1 Γενικά

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 επέμβασης, είτε με την 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 τις φυσικές διαδικασίες και είναι αποτέλεσμα της υδρογεωλογικής και γεωχημικής ιστορίας του. Η επίδραση της ανθρώπινης επέμβασης έγινε σημαντική σχετικά πρόσφατα και προσδιορίζεται σε περιοχές με συστηματική χρήση της γης, όπως στις αστικοποιημένες περιοχές, μεταλλεία και αγροτικές περιοχές. Η κυριότερη αιτία μεταβολής της ποιότητας του υπόγειου νερού είναι η σκόπιμη ή τυχαία εισαγωγή των στερεών και υγρών αποβλήτων κάτω από την επιφάνεια ή πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.

Λόγω του μεγάλου αριθμού των ουσιών που υπάρχουν στο νερό, η ποιότητα του υπόγειου νερού μπορεί πρακτικά να εκφραστεί με πολλές παραμέτρους. Η σπουδαιότητα αυτών των ουσιών εξαρτάται από τη 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.

Η εντατική χρησιμοποίηση των φυσικών υδατικών πόρων και η μεγάλη παραγωγή αποβλήτων στη σύγχρονη κοινωνία, αποτελούν απειλή για την ποιότητα των υπόγειων νερών. Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών μπορεί να συμβεί σε μεγάλη έκταση από πηγές ρύπανσης που καταλαμβάνουν

μεγάλες επιφάνειες ή είναι κατανεμημένες στο χώρο, όπως είναι η βαθιά διήθηση στις εντατικοποιημένες γεωργικές εκτάσεις, ή μπορεί να προκληθεί από σημειακές πηγές, όπως είναι οι σηπτικές δεξαμενές, οι χωματερές, τα νεκροταφεία, τα μεταλλεία και οι διαρροές από τις εγκαταστάσεις των πετρελαιοειδών ή από ατυχήματα που μπορεί να προκαλέσουν εισροή ρύπων στο περιβάλλον κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Μία άλλη περίπτωση είναι η ρύπανση από γραμμικές φυσικές πηγές φτωχής ποιότητας νερού, όπως είναι η διαρροή των ρυπασμένων ποταμών ή η εισροή αλμυρού νερού από τη θάλασσα στους παραθαλάσσιους υδροφορείς.

Επειδή το υπόγειο νερό μετακινείται πολύ αργά, μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα από το επεισόδιο που προκάλεσε τη ρύπανση, μέχρις ότου επηρεαστεί το νερό που εξέρχεται από τα φρεάτια. Για τον ίδιο λόγο, μπορεί να απαιτηθούν πολλά χρόνια για την αποκατάσταση της ποιότητας ρυπασμένων υδροφορέων μετά την εξάλειψη των πηγών ρύπανσης. Ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποκατάσταση των υπόγειων νερών, μπορεί να οδηγήσει στην εγκατάλειψη των φρεατίων και την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών νερού. Η μικρή ταχύτητα μετακίνησης του υπόγειου νερού, είναι σε μερικές περιπτώσεις επιθυμητή, όπως όταν η ρύπανση είναι από βιοαποικοδομήσιμες και ραδιενεργές ουσίες ή αποτελείται από βακτήρια και μύκητες τα οποία αποσυντίθενται, διασπώνται ή πεθαίνουν με το χρόνο. Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο μεγάλος χρόνος διαδρομής του νερού μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρη απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ουσιών. Η πρόληψη της ρύπανσης είναι ο καλύτερος τρόπος προστασίας της ποιότητας του υπόγειου νερού.

1.2 Υπόγειοι υδατικοί πόροι

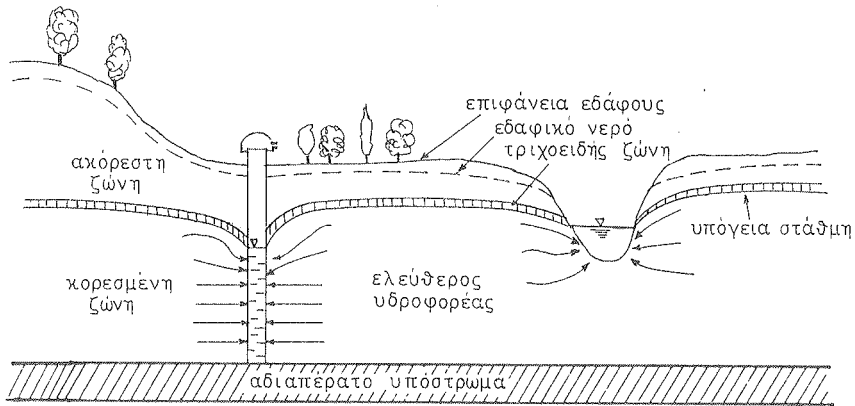
Το υπόγειο νερό αποτελεί το μέρος του νερού που περιλαμβάνεται στους εδαφικούς και γεωλογικούς σχηματισμούς και βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό στους σχηματισμούς αυτούς μπορεί να καταλαμβάνει και να γεμίζει τους πόρους του εδάφους, περίπτωση που χαρακτηρίζεται ως κορεσμένη, ή να καταλαμβάνει μέρος του πορώδους, περίπτωση που είναι γνωστή ως ακόρεστη. Σε μια κατακόρυφη τομή του εδάφους διακρίνονται δύο ζώνες, η ακόρεστη από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την υπόγεια στάθμη και η κορεσμένη ζώνη κάτω από την υπόγεια στάθμη μέχρι το αδιαπέρατο υπόστρωμα (Σχήμα 1.1).

Στην ακόρεστη ζώνη το νερό συγκρατείται με μεγάλες δυνάμεις από τα στερεά συστατικά του εδάφους. Η πίεσή του θεωρείται μικρότερη από την ατμοσφαιρική και το φορτίο πίεσης μικρότερο του μηδενός. Η κατάσταση και η δυναμική του νερού στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη διήθηση του νερού της βροχής και της άρδευσης, από την εξατμισοδιαπνοή που συμβαίνει στη ζώνη του ριζοστρώματος και από τις υδροδυναμικές συνθήκες (Αντωνόπουλος, 1999). Η κίνηση του νερού στη ζώνη αυτή επηρεάζεται από τις τριχοειδείς και τις δυνάμεις βαρύτητας. Το νερό κινείται από περιοχές με υψηλό σε περιοχές με χαμηλό δυναμικό, που είναι ίσο με το δυναμικό πίεσης και το δυναμικό βαρύτητας ή θέσης.

Στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό που βρίσκεται υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν νερό που μπορεί εύκολα να μετακινηθεί και να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο λέγονται υδροφόρα στρώματα ή υδροφορείς (Τερζίδης και Καραμούζης, 1995). Η ικανότητα ενός υδροφορέα να αποθηκεύει και να αποδίδει νερό εξαρτάται από μια σειρά χαρακτηριστικά, που είναι το πορώδες, η ειδική απόδοση, η υδραυλική αγωγιμότητα, η διοχετευτικότητα και η αποθηκευτικότητα του. Τα υδροφόρα στρώματα χαρακτηρίζονται από την παρουσία ή την απουσία υπόγειας στάθμης και από την υδατοστεγανότητα των οριακών τους στρωμάτων σε ελεύθερα ή φρεάτια, σε κλειστά ή υπό πίεση και σε ημίκλειστα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η τομή του εδάφους με τις χαρακτηριστικές ζώνες ως προς το βαθμό κορεσμού του πορώδους με νερό και ορισμένους τύπους υδροφορέων.

Οι παγκόσμια διαθέσιμες ποσότητες γλυκού νερού είναι 8.2 MKm^3 ή 0.6% του συνολικού νερού πάνω στη γη. Από αυτό το 1.2% αποτελούν τα επιφανειακά νερά στις λίμνες και τα ποτάμια και το υπόλοιπο είναι υπόγειο. Το μισό του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από τα 800 m και είναι ουσιαστικά μη διαθέσιμο. Το εδαφικό νερό ή υγρασία είναι μόνο το 0.6% της συνολικής ποσότητας. Από το χρησιμοποιούμενο παγκοσμίως γλυκό υπόγειο νερό περίπου τα 95% προέρχεται από τα υπόγεια νερά. Τα υπόγεια νερά είναι η βασική πηγή νερού στις ΗΠΑ, όπου το 50% του πληθυσμού και το 40% των αρδεύσεων καλύπτονται από υπόγεια νερά. Η χρησιμοποίηση υπόγειων νερών μεταξύ 1950 και 1980 εκτιμάται ότι αυξήθηκε κατά 170% . Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΒΕΤ (1989), οι συνολικά χρησιμοποιούμενες ποσότητες νερού το 1980 ήταν $4220 \times 10^6 \text{ m}^3$ για άρδευση, $69.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ για ύδρευση, $121 \times 10^6 \text{ m}^3$

για τις βιομηχανίες, ή συνολικά $5037 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού. Οι καταναλώσεις αυτές εκτιμάται ότι αυξήθηκαν κατά 40 % το 1991.



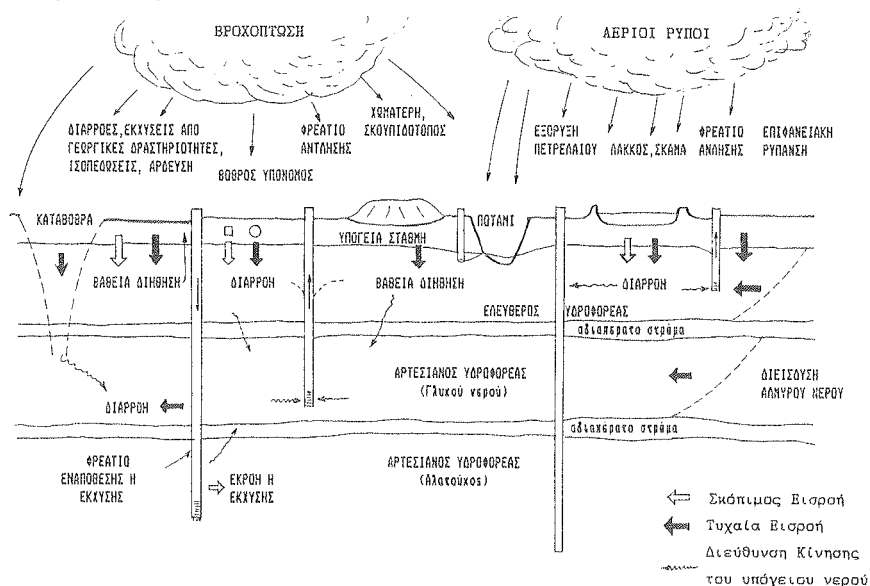
Σχήμα 1.1 Ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη στην κατακόρυφη τομή του εδάφους.

1.3 Ρύπανση των υπόγειων νερών

Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από ανόργανες και οργανικές χημικές ουσίες και από μικροοργανισμούς. Οι πιο συχνά παρατηρούμενες ανόργανες ουσίες που μπορεί να αποτελέσουν ρύπους είναι τα νιτρικά, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα, τα οξέα και τα βαρέα μέταλλα. Υπάρχουν πάρα πολλές διαφορετικές οργανικές ουσίες στα υπόγεια νερά, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, που παράγονται από τις χημικές βιομηχανίες και τις μεγάλες εμπορικές εφαρμογές τους. Από αυτές άλλες διαλύονται και μεταφέρονται με το νερό, ενώ άλλες δεν διαλύονται, όπως τα πετρελαιοειδή, αλλά μεταφέρονται με το νερό επιπλέοντας ή βυθισμένες μέσα στη μάζα του.

Ο κίνδυνος της ρύπανσης των υπόγειων νερών προέρχεται από τον μεγάλο αριθμό φυσικών και ανθρωπογενών παραγώγων που αποθηκεύονται, μεταφέρονται και διασκορπίζονται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, από όπου αυτά μπορούν να μετακινηθούν στα βαθύτερα στρώματα. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότερες πηγές και διαδικασίες που οδηγούν στη ρύπανση των υπόγειων νερών. Παρατηρούμε ότι βασικές αιτίες ρύπανσης προέρχονται από τις μεθόδους και τους τρόπους εναπόθεσης και διάθεσης των βιομηχανικών και αστικών λυμάτων και αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι υγρών αποβλήτων διηθούνται βαθιά από λεκάνες απορρόφησης που δημιουργούνται σε συνδυασμό με δεξαμενές αποσύνθεσης, ενώ από τις κακές συνδέσεις των

υπονόμευον για τη μεταφορά των λυμάτων μπορεί να συμβεί διαρροή τους προς το έδαφος. Επίσης μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα, διαφορετικού βαθμού ρύπανσης οι λεκάνες εξάτμισης των βιομηχανικών αποβλήτων, οι χωματερές και οι θέσεις όπου συσσωρεύονται σκουπίδια, που κυμαίνονται από μία μικρή υποβάθμιση μέχρι τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων, από επικίνδυνες συγκεντρώσεις των τοξικών βαρέων μετάλλων, οργανικών ουσιών ή ραδιενεργών υλικών. Τα βαθιά φρεάτια σε βαθείς αλατούχους υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για την εναπόθεση βιομηχανικών αποβλήτων σπάνια προκαλούν ρύπανση.



Σχήμα 1.2 Κυριότερες πηγές και διαδικασίες ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Στις περιοχές εξόρυξης πετρελαίου το βασικό πρόβλημα είναι τα εγκαταλειμμένα φρεάτια και σε μικρότερο βαθμό η ανεπαρκής διαχείριση των παραγωγικών φρεατίων και των φρεατίων εναπόθεσης. Οι γεωργικές δραστηριότητες, που έχουν σχέση με την καλλιέργεια μεγάλων εκτάσεων, προκαλούν συσσώρευση ρύπων, όπως τα νιτρικά και τα διαλυμένα άλατα σε μία μεγάλη περιοχή σε αντίθεση με το σχετικά τοπικά προβλήματα που δημιουργούν οι περισσότερες σημειακές πηγές ρύπανσης.

Οι ποιοτικές διαφοροποιήσεις των υπόγειων νερών προκαλούνται και εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Στους φυσικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η γεωλογία του

εδάφους, η τοπογραφία, το κλίμα και η υπόγεια υδρολογία που καθορίζουν την κατεύθυνση, την ταχύτητα μεταφοράς και την αραίωση των ρύπων. Οι χημικές διαδικασίες που επηρεάζουν τις μεταβολές των ρύπων είναι η προσρόφιση των ιόντων και των ρύπων από τα στερεά και τα οργανικά υλικά του εδάφους που είναι μεγαλύτερη στα αργιλώδη και πηλώδη εδάφη από ότι στα αμμώδη και τα χαλικώδη εδάφη, οι αντιδράσεις μετασχηματισμού των ουσιών σε άλλες ουσίες και οι αντιδράσεις διαλυτοποίησης και καταβύθισής τους. Οι βιοαποικοδομήσιμες ουσίες εξαρτώνται από την παρουσία των κατάλληλων ειδών μικροοργανισμών και από το μέγεθος του πληθυσμού τους. Ιδιαίτερα έντονες είναι οι διαφοροποιήσεις των ουσιών στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους που μπορεί να προκαλέσουν σημαντική μεταβολή της ποιότητας του νερού που διηθείται δια μέσου της ζώνης αυτής. Τα πολυσθενικά ιόντα όπως τα βαρέα μέταλλα και τα ορθοφωσφορικά μπορούν να απομακρυνθούν με την προσρόφσή τους από τα αργιλώδη υλικά του εδάφους, ενώ τα μονοσθενικά ιόντα όπως του βορίου, του χλωρίου και τα νιτρικά είναι αρκετά ευκίνητα και διέρχονται ανεπηρέαστα ακόμα και από τα κοκκώδη εδάφη. Αντίθετα οι οργανικές ουσίες συχνά μετασχηματίζονται σε άλλες πιο απλές υπό την επίδραση των φυσικοχημικών και βιολογικών δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους.

Ο κίνδυνος που εμπεριέχει η διάθεση αποβλήτων στο περιβάλλον εξαρτάται από το είδος της ουσίας, την ποσότητα, τα χαρακτηριστικά τους και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκαλέσουν στο περιβάλλον και τον άνθρωπο (Yong et al., 1992). Τα απόβλητα διακρίνονται σε επικίνδυνα και τοξικά απόβλητα (hazardous and toxic). Ως **επικίνδυνα απόβλητα** (hazardous waste) θεωρούνται τα στερεά απόβλητα τα οποία λόγω της ποσότητας, της συγκέντρωσης ή των φυσικών, χημικών και μολυσματικών χαρακτηριστικών τους μπορεί να α) προκαλέσουν ή συνεισφέρουν σημαντικά στην αύξηση της θνησιμότητας ή στην αύξηση σοβαρών ασθενειών μη αντιστρέψιμων ή αντιστρέψιμες ανικανότητες, και β) να δημιουργήσουν ουσιώδη παρουσία ή δυνατό κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου ή του περιβάλλοντος όταν χειρίζονται με ακατάλληλο τρόπο, αποθηκεύονται, μεταφέρονται ή αποτίθενται ή διαχειρίζονται. Ο όρος **τοξικά** (toxic) χρησιμοποιείται για ουσίες που προκαλούν θάνατο ή σοβαρές βλάβες στους ανθρώπους και τα ζώα.

Για να καθοριστούν τα επίπεδα ή ο βαθμός επικινδυνότητας πρέπει να καθοριστούν οι όροι της **μέγιστης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης** (maximum

permissible concentration, MPC), η **θανατηφόρος δόση του 50 %** (lethal dose fifty - LD₅₀), η **θανατηφόρος συγκέντρωση του 50 %** (lethal concentration fifty - LC₅₀) και το μέσο όριο (medium threshold limit - TLM).

Το νερό, είτε προέρχεται από τις βροχοπτώσεις είτε από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στο έδαφος είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς των ρύπων μέσα στο έδαφος. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και διαμέσου της ακόρεστης ζώνης κινείται προς τους υπόγειους υδροφορείς, όπου διακλαδίζεται προς διάφορες διευθύνσεις ανάλογα με τις συνθήκες ροής που επικρατούν στον υδροφορέα. Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού. Κατά την κίνησή του μέσα σε ένα υδροφορέα έχει τη μορφή βολβού (bulb) ή πλουμίου (plume) που επεκτείνεται κατά μήκος των γραμμών ροής από τη θέση της πηγής. Με την παρέλευση του χρόνου το ρυπασμένο νερό είτε μειώνεται μέσα στο υδροφορέα ή οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή ευκαιριακά εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα).

Η εμμονή της ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι μία άλλη πολύ σοβαρή πλευρά της υποβάθμισής του. Αυτό μπορεί να φανεί από τη σύγκριση του χρόνου παραμονής των επιφανειακών νερών που είναι μερικές ημέρες με τον αντίστοιχο των υπόγειων νερών που είναι της τάξης των δεκαετιών ή εκατονταετιών. Άρα ένας ρύπος που δεν μετασχηματίζεται ή προσροφάται από το έδαφος μπορεί να παραμείνει σαν παράγοντας υποβάθμισης για μία μεγάλη περίοδο.

1.4. Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και το 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 μία σειρά από ωφέλιμες χρήσεις. Η παρουσία τοξικών ουσιών είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα όταν αυτό 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 τη φθορά των δοντιών. Σε λίγο υψηλότερες 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. Στο πόσιμο νερό σπουδαίο κριτήριο ποιότητας είναι η παρουσία ή όχι παθογόνων για τον άνθρωπο

μικροοργανισμών. Η παρουσία κολοβακτηριδίων που βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς στα περιττώματα των ανθρώπων και των ζώων, δείχνει πιθανή παρουσία και άλλων μικροοργανισμών που προκαλούν ασθένειες.

Από τα μέταλλα ο χαλκός προκαλεί προβλήματα στο δέρμα και στους βλεννογόνους, ο υδράργυρος προσροφάται από το γαστρεντερικό σύστημα και επηρεάζει το νευρικό σύστημα, το κάδμιο εισέρχεται από το αναπνευστικό και γαστρεντερικό σύστημα προκαλώντας πνευμονικό οίδημα, βήχα, δυσκολία στην αναπνοή και πόνους στο στήθος, επίσης ναυτία εμετούς και προβλήματα στο ήπαρ και τα νεφρά. Στον Πίνακα 1.1 δίνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό και των νερών υποστήριξης της υδρόβιας ζωής, σύμφωνα με την U.S.EPA (1992).

Πίνακας 1.1. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό και των νερών υποστήριξης της υδρόβιας ζωής.

	Κάδμιο	Χρώμιο	Χαλκός	Μόλυβδος	Υδράργυρος	Ουράνιο
Πόσιμο νερό, µg/l	5	100	1000	15	2	20
Νερό για την υδρόβια ζωή, µg/l	12	100	20	100	0.005	-

Οι ανόργανες ενώσεις και τα άλατα που περιέχονται στο νερό άρδευσης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον στην γεωργία σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Τα κριτήρια ποιότητας που χρησιμοποιούνται σ' αυτή την περίπτωση, έχουν σχέση με τα ολικά διαλυμένα στερεά, τα χλωριόντα, το νάτριο, το βόριο και τα όξινα ανθρακικά και τη σχέση νατρίου προς το άθροισμα ασβεστίου και μαγνησίου. Αν και το νερό με μικρή αλατότητα είναι το πιο κατάλληλο για άρδευση, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες το μόνο διαθέσιμο νερό περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων ανά μονάδα όγκου. Οι μεγάλες ποσότητες νερού που εξατμίζονται από την επιφάνεια του εδάφους και η ελλιπής στράγγιση μπορούν να προκαλέσουν συσσώρευση αλάτων στη ζώνη των ριζών με αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μία σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Στον Πίνακα 1.2 δίνεται μία κατάταξη των νερών ως προς την περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και ολικά διαλυμένα άλατα (TDS)), τη χρήση και την προέλευσή τους (Rhoades et al., 1992).

Πίνακας 1.2. Κατάταξη των νερών ως προς την περιεκτικότητα σε άλατα, τη χρήση και την προέλευσή τους.

	EC (dS/m)	TDS (mg/l)	Κλάση νερού
Πόσιμο και αρδευτικό νερό	< 0.7	< 0.5	γλυκό
Αρδευτικό νερό	0.7 - 2.0	0.5 - 1.5	υφάλμυρο
Στραγγιστικό νερό πρωτενουσών τάφρων και υπόγειο	2.0 - 10.0	1.5 - 7.0	μέσης αλατότητας
Στραγγιστικό νερό δευτερευουσών τάφρων και υπόγειο	10.0 - 20.5	7.0 - 15.0	υψηλής αλατότητας
Πολύ αλατούχο υπόγειο νερό	20.0 - 45.0	15.0 - 35.0	πολύ αλατούχο
Θαλασσινό	> 45.0	>35.0	Αλμυρό

Η ρύπανση από τις οργανικές χημικές ενώσεις αναφέρεται στα παράγωγα του πετρελαίου, τις φαινολικές ενώσεις και τα φυτοφάρμακα. Η βενζίνη και άλλοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από τη διαρροή δεξαμενών, από ρωγμές στους αγωγούς μεταφοράς ή από το πλύσιμο των δαπέδων των διυλιστηρίων και πρατηρίων υγρών καυσίμων. Οι φαινόλες που βρίσκονται στα απόβλητα των διυλιστηρίων ή χημικών βιομηχανιών, φθάνουν στα υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις λίγων μικρογραμμαρίων στο λίτρο. Τα φρεάτια πόσιμου νερού που έχουν ρυπανθεί με τα παράγωγα του πετρελαίου ή με φαινόλες είναι προτιμότερο να εγκαταλείπονται, παρά να γίνεται προσπάθεια αποκατάστασής τους. Τα φυτοφάρμακα μπορούν να εκπλυθούν προς τα υπόγεια νερά με την άρδευση σε περίσσεια ή με τις βροχοπτώσεις και όταν δεν αποικοδομούνται μπορεί να επανεμφανιστούν στα φρεάτια άρδευσης ή του πόσιμου νερού που βρίσκονται κοντά σε καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Όταν τα υπόγεια νερά χρησιμοποιούνται για οικιακές χρήσεις, τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με τη μόλυνσή τους παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο πιο συνηθισμένος κίνδυνος είναι η βρεφική μεθαιμογλοβιναμία που προκαλείται από υψηλή συγκέντρωση νιτρικών στο νερό. Ορισμένες χημικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν καρκινογένεσεις. Το αρσενικό, το κάδμιο και ο μόλυβδος προκαλούν ορισμένες ασθένειες, ενώ η μολυσματική ηπατίτιδα αποδίδεται σε παθογόνους εντερικούς μύκητες.

1.5. Πηγές ρύπανσης

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι το φυσικό περιβάλλον, οι οικισμοί, οι βιομηχανίες και η γεωργική δραστηριότητα.

1.5.1 Φυσική ρύπανση

Το φυσικό περιβάλλον μέσα από το οποίο κινείται το υπόγειο νερό επηρεάζει την ποιότητά του. Τα υπόγεια νερά, ενώ έχουν περισσότερα ανόργανα στοιχεία από ότι τα επιφανειακά, έχουν ομοιόμορφη ποιότητα από εποχή σε εποχή και συχνά είναι σταθερής θερμοκρασίας. Δεν περιέχουν μικροοργανισμούς και αιωρούμενα στερεά λόγω του φιλτραρίσματος που γίνεται όταν περνούν την ακόρεστη ζώνη. Το είδος και οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων συστατικών στο υπόγειο νερό εξαρτάται από το ιστορικό της επαφής του με την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια του εδάφους, την κίνησή του στο εδαφικό προφίλ και τους υπόγειους υδροφορείς. Στον Πίνακα 1.3 (McCutcheon, 1991) παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές, το εύρος των τιμών που έχουν καταγραφεί και οι μονάδες μέτρησης των περισσότερων ποιοτικών παραμέτρων στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Η φυσική ποιότητα του νερού διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από περιοχή σε περιοχή και έχει σχέση με τη γεωλογία και τις κλιματικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων επηρεάζεται από την ορυκτολογική και φυσική σύνθεση των εδαφικών στρωμάτων και από το χρόνο που αυτά βρίσκονται σε επαφή με το νερό. Στις ξηρές περιοχές ο εμπλουτισμός είναι περιορισμένος. Η βραδεία μετακίνηση του νερού έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη διαλυτοποίηση των πετρωμάτων με αποτέλεσμα τη δημιουργία νερού χαμηλής ποιότητας. Επίσης η έντονη εξάτμιση προκαλεί την ανύψωση του νερού, με τα τριχοειδή φαινόμενα, με συνέπεια την εναπόθεση αλάτων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Από την οξείδωση των πετρωμάτων συχνά απελευθερώνεται ασβέστιο και μαγνήσιο που συντελούν στην αύξηση της σκληρότητας. Ανάλογα με την προέλευσή τους τα διαλυμένα άλατα που προέρχονται από το χλωριούχο νάτριο και από το διττανθρακικό ασβέστιο έχουν σαφώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η σκληρότητα ασβεστίου μπορεί να μειωθεί με χημικές διαδικασίες ενώ η απομάκρυνση του χλωριούχου νατρίου δεν είναι κατορθωτή στο επίπεδο των αστικών χρήσεων (η αντίστροφος όσμωση, αν και μπορεί να εφαρμοστεί, έχει μεγάλο κόστος). Ακόμα, η περίσσεια χλωρίου είναι από τα βασικά προβλήματα του νερού άρδευσης και όχι η περίσσεια των ιόντων Ca, Mg και HCO₃.