

1. Εισαγωγή στη ρύπανση υδατικών οικοσυστημάτων

1.1 Εισαγωγή

Η ανάγκη για επάρκεια τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο έχει οδηγήσει πολλές χώρες στο να αυξήσουν τις γεωργικές δραστηριότητες. Αυτό έχει οδηγήσει σε πολλά προβλήματα που έχουν να κάνουν με το περιβάλλον, και κυρίως με τους υδατικούς πόρους. Αλόγιστη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και τεχνολογικών μέσων έχει φέρει μεγάλη πίεση στα οικοσυστήματα. Η αρνητική επίδραση της εντατικής γεωργίας αφορά και τα υδατικά οικοσυστήματα, αφού αυτά αποτελούν την πηγή νερού, αλλά και τη δεξαμενή διοχέτευσης των παραπροϊόντων της γεωργικής χρήσης.

Η γεωργία είναι ο κυριότερος χρήστης αποθεμάτων ‘φρέσκου’ νερού, κάνοντας χρήση στο 70% των παγκόσμιων αποθεμάτων. Αποτελεί και θύτη (ρυπαίνει) και θύμα (προβλήματα από τη χρήση μολυσμένων νερών) ταυτόχρονα στη ρύπανση των υδατικών πόρων.

Μία δέσμη ενεργειών που πρέπει να ακολουθηθούν για μια αειφόρα χρήση υδατικών πόρων είναι οι εξής:

1. Εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων ελέγχου της ποιότητας νερών που χρησιμοποιούνται στη γεωργία
2. Πρόληψη των αρνητικών συνεπειών της γεωργίας στην ποιότητα νερών από τη ελάχιστη δυνατή χρήση εξωτερικών μέσων στη γεωργική δραστηριότητα
3. Εγκατάσταση βιολογικών, φυσικών και χημικών κριτηρίων για τις χρήσεις νερού στη γεωργία και για θαλάσσια και ποτάμια οικοσυστήματα
4. Πρόληψη εδαφικής απορροής και ιζηματογένεσης
5. Περιβαλλοντικά σωστή απόρριψη λάσπης αποβλήτων και κοπριάς
6. Ελαχιστοποίηση κινδύνων από χρήση γεωργικών φαρμάκων με σωστή εφαρμογή των χημικών φαρμάκων
7. Εκπαίδευση των κοινωνιών σχετικά με τη επίδραση της ρύπανσης από χρήση λιπασμάτων και φαρμάκων στην ποιότητα των νερών και την υγιεινή των τροφίμων

1.2 Η ποιότητα υδάτων ως παγκόσμιο πρόβλημα

Μερικά προβλήματα που φέρνει η κακή ποιότητα υδάτων είναι τα εξής:

1. 5 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από αρρώστιες μεταφερόμενες με νερό
2. Κακή λειτουργία οικοσυστημάτων και πτώση βιοποικιλότητας
3. Ρύπανση υδατικών οικοσυστημάτων από δραστηριότητες στα χερσαία οικοσυστήματα
4. Ρύπανση υπόγειων υδάτων
5. Παγκόσμια ρύπανση από έκλυση οργανικών και ανόργανων ρυπαντών

Σε πολλές βιομηχανικές χώρες το πρόβλημα των ρυπασμένων νερών είναι ο περιοριστικός παράγοντας για την αειφορική διαχείριση των οικοσυστημάτων. Αυτό εικάζεται ότι θα οδηγήσει στα εξής φαινόμενα:

1. Μείωση αειφορίας πόρων (πόσιμο νερό, αλιεία κτλ.) λόγω ρύπανσης
2. Αυτό μεγεθύνεται λόγω έλλειψης γνώσεων και ενημέρωσης πολιτικών συμβουλίων
3. Πολλές χώρες δεν έχουν την τεχνολογία και τους πόρους να πολεμήσουν τη ρύπανση
4. Υπέρογκα ποσά για την καταπολέμηση ρύπανσης οδηγούν σε ημίμετρα

Μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων ρυπαντών των υδατικών οικοσυστημάτων έχει ως εξής:

1. Γεωργία

Δραστηριότητες: Διατροφή ζώων, άρδευση, λίπανση, φυτοφάρμακα

Μηχανισμοί ρύπανσης: Απορροή και διήθηση, έκλυση νιτρικών, κακή υγιεινή τροφίμων

Ρυπαντές: P, N, μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί, άλατα κτλ.

2. Δασικές χρήσεις

Διαδικασία: Εκχέρσωση δασών για αλλαγή χρήσης γης

Ρυπαντές: Ιζήματα

3. Αστικές περιοχές

Δραστηριότητες ρύπανσης: Βιομηχανίες, αστικές απορροές, μικρές επιχειρήσεις και βιοτεχνίες

Ρυπαντές: Λιπάσματα, πετρελαιοειδή, παθογόνοι, βαρέα μέταλλα, θρεπτικά, ιζήματα κτλ.

4. Ατμοσφαιρικές αποθέσεις

Ρυπαντές: Βαρέα μέταλλα, χημικά οξίνισης κτλ.

1.3 Ρύπανση από σημειακές και μη σημειακές πηγές

Σημειακές πηγές ρύπανσης αφορούν κυρίως τις βιομηχανικές χρήσεις. Αυτές είναι οι ρίψεις στερεών και υγρών αποβλήτων από βιομηχανίες κτλ. Είναι σχετικά εύκολο να καταγραφούν και μετρηθούν. Οι νομοθεσίες είναι ιδιαίτερα αυστηρές σε θέματα που άπτονται των σημειακών πηγών ρύπανσης και σε καλά οργανωμένα κράτη ο φόρτος των αποβλήτων σε ρυπαντές δεν ξεπερνά τα προκαθορισμένα όρια, για το φόβο των ισχυρών κρατικών κυρώσεων.

Τα πράγματα είναι πιο δύσκολα με τις *μη σημειακές πηγές ρύπανσης* των υδατικών οικοσυστημάτων. Τέτοιες είναι το αποτέλεσμα των γεωργικών χρήσεων, και είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προβλεφθούν, μετρηθούν και ελεγχθούν.

Μηχανισμοί σε πολύ αδρές γραμμές είναι οι εξής:

οι ρυπαντές (που μπορεί να είναι θρεπτικά (!), βαρέα μέταλλα, αγρο-χημικά, λιπάσματα, οργανικά κτλ.):

1. Περνάνε μέσα στο έδαφος. Εκεί με μια ακολουθία χημικών διεργασιών είτε ενσωματώνονται στο χερσαίο οικοσύστημα, με προσρόφηση στο έδαφος ή απορρόφηση από τα φυτά (και τότε ασχολείται η *Ρύπανση Εδαφών*) είτε εκπλένονται από το έδαφος προς τους υπόγειους υδροφορείς. Από εκεί περνάνε στα ποτάμια και τις λίμνες για να καταλήξουν στους ωκεανούς.

2. Μέσω της επιφανειακής απορροής ή χειρότερα της εδαφικής διάβρωσης εισέρχονται κατευθείαν στα ποτάμια και τις λίμνες.

Οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις (όσο κι αν φαίνονται λιγότερο εντυπωσιακές από μια βιομηχανία που συστηματικά ρυπαίνει μια λίμνη ή ένα πετρελαιοφόρο πλοίο που βουλιάζει και προκαλεί μείωση στην τουριστική κίνηση σε ένα νησί) είναι το νούμερο ένα στη ρύπανση σε ποτάμια και λίμνες και το νούμερο 3 σε εκβολές

ποταμών. Αυτό έχει αναγνωριστεί και από την US-EPA και από της Ευρωπαϊκή Ένωση (Οδηγία 91/676/EEC ‘περί της προστασίας των υδάτων από τη ρύπανση από νιτρικά από γεωργικές χρήσεις’).

Το πρόβλημα φαίνεται να οδηγείται σε όξυνση, λόγω των πιεστικών αναγκών για αύξηση της παραγωγής λόγω της δραματικής αύξησης του πληθυσμού του πλανήτη.

1.4 Προβλήματα από ενέργειες γεωργικής χρήσης

Μηχανική καλλιέργεια:

Ιζηματογένεση (ζημιά φυσικά και χημικά)

Λίπανση:

1. Απορροή φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων → ευτροφισμός
2. Έκπλυση νιτρικών

Οργανικά λιπάσματα:

1. Ως παραπάνω. Επιπλέον,
2. Βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί

Φυτοφάρμακα:

1. Δυσλειτουργία οικοσυστημάτων
2. Τοξικότητα στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου
3. Έκπλυση στους υπόγειους υδροφορείς
4. Μεταφορά ρυπασμένων εδαφικών τεμαχιδίων με τον αέρα

Άρδευση:

1. Απορροή ή έκπλυση αλάτων
2. Έκπλυση θρεπτικών ή αλάτων στους υπόγειους υδροφορείς

Αλλαγή χρήσης γης:

1. Διάβρωση
2. Ιζηματογένεση

3. Αλλαγή υδρολογικού κύκλου
4. Ενόχληση (ίσως και εξαφάνιση) ειδών ψαριών, ζώων ή φυτών.

Σε όλα αυτά πρέπει να προστεθεί και το πρόβλημα με την ανθρώπινη υγεία. Θα πάρουμε για παράδειγμα τα παρακάτω στοιχεία.

1.5 Ένα Case Study: Η περίπτωση της λίμνης Αράλης

Επιπτώσεις στην Οικολογία και την ποιότητα νερών

1. Άλατα ξεπερνούν τα όρια κατά 2-3 φορές.
2. Μόλυνση των αγροτικών προϊόντων από αγρο-χημικά.
3. Μεγάλο τυρβώδες σε πολλά ποτάμια.
4. Μεγάλες ποσότητες φυτοφαρμάκων στα επιφανειακά νερά.
5. Μεγάλες ποσότητες φυτοφαρμάκων σε αέρα, τρόφιμα και μητρικό γάλα
6. Μείωση γονιμότητας.
7. Ανθρωπογενής επίδραση στο κλίμα.
8. Κίνδυνος εξαφάνισης πληθυσμών φυτικών και ζωικών οργανισμών.
9. Καταστροφή Ο/Σ.
10. Πτώση στάθμης Λίμνης Αράλης κατά 15.6 μέτρα από το 1960.
11. Πτώση στον όγκο της Λίμνης Αράλης κατά 69%.
12. Καταστροφή εμπορικής αλιείας

Κακή διαχείριση γεωργικών πόρων είναι το σημαντικότερο πρόβλημα

- * Αύξηση αρδευόμενων εκτάσεων (υπεράντληση).
- * Κακή μηχανική αρδεύσεων.
- * Άνοδος στάθμης υπόγειου νερού .
- * Εντατική μονοκαλλιέργεια και εντατική χρήση φυτοφαρμάκων.
- * Αύξηση αλάτωσης, που οδηγεί στην αύξηση της αλάτωσης ποταμών.
- * Υπόγεια απορροή ανόργανων μορφών στοιχείων και φυτοφαρμάκων στα ποτάμια
- * Εντατική χρήση λιπασμάτων

2. Η ρύπανση υδατικών οικοσυστημάτων από θρεπτικά, φυτοφάρμακα, παθογόνους, ιζήματα και βαρέα μέταλλα.

2.1 Θρεπτικά

Τι είναι ευτροφισμός: Αύξηση συγκέντρωσης των θρεπτικών (και άρα και αύξηση παραγωγικότητας) σε ένα Ο/Σ.

Πότε έχουμε ευτροφισμό: Με λίπανση επιφανειακών υδάτων είτε από απορροή είτε από νιτρικά και φωσφορικά που διηθούνται από το έδαφος.

Τι συμβαίνει τότε:

- Ρύπανση υπόγειου νερού από διήθηση κυρίως νιτρικών. Τα φωσφορικά είναι πιο δυσκίνητα, αλλά θα εκπλυθούν υπό κάποιες προϋποθέσεις.
- Αύξηση φυτοπλαγκτόν.
- Αλλαγή χαρακτηριστικών ενδιαιτήματος, λόγω της αύξησης των φυτών του υδατικού Ο/Σ.
- Αντικατάσταση επιθυμητών ψαριών (οικονομικά) από λιγότερο επιθυμητά.
- Παραγωγή τοξινών από συγκεκριμένα φύκη.
- Αύξηση εξόδων επεξεργασίας υδάτων για οσμή και γεύση, ιδίως σε περιόδους έντονης παραγωγής των φυκών.
- Απο-οξυγόνωση Υδ. Ο/Σ, ιδίως μετά το 'θάνατο' των φυκών, κάτι που προκαλεί θάνατο ψαριών.
- Πρόβλημα στην άρδευση από γέμισμα των αρδευτικών καναλιών με ζιζάνια.
- Υποβάθμιση της 'ποιοτικής' χρήσης των Υδ. Ο/Σ.
- Εμπόδια στη ναυσιπλοΐα από την πυκνή ανάπτυξη φυκών.
- Οικονομικά προβλήματα από υποβάθμιση αλιείας.
- Επιφανειακά και υπόγεια νερά ρυπαίνονται και από βαρέα μέταλλα, ως αποτέλεσμα της λίπανσης (πχ. Ρ-λιπάσματα περιέχουν Cd, η ΛΕΑ περιέχει ισχυρό φορτίο βαρέων μετάλλων).
- Οξίνιση εδαφών από αμμωνιοποίηση, ως αποτέλεσμα εντατικής κτηνοτροφίας.

2.2 Φυτοφάρμακα

Η συμπεριφορά των φυτοφαρμάκων στο έδαφος εξαρτάται από τη

- Σταθερότητα (εξαρτάται από το φυτοφάρμακο)
- Προσρόφηση (εξαρτάται και από το φυτοφάρμακο και από το έδαφος)

Σταθερότητα: Τα φ/φ θα αποικοδομηθούν από την ηλιακή ακτινοβολία και από τη δραστηριότητα μικροβίων. Επειδή με την αύξηση του βάθους του εδάφους μειώνεται ο διαθέσιμος αέρας, μειώνεται και η δραστηριότητα των μικροβίων, και άρα φ/φ που

διείσδυσαν σε κάποιο βάθος θα είναι δυσκολότερο να αποικοδομηθούν. Η σταθερότητα μετριέται με το χρόνο ημίσειας ζωής $T_{1/2}$.

Χρόνος ημίσειας ζωής είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ώστε η μισή ποσότητα του φ/φ να αποικοδομηθεί ή να καταστεί ανενεργή.

Προσρόφηση: Ένα μέρος του φ/φ θα βγει στο εδαφικό διάλυμα, ενώ ένα μέρος θα προσροφηθεί στα εδαφικά τεμαχίδια. Θα έχουμε την ισορροπία:

$$\phi/\phi_{aq} = \phi/\phi_s$$

Η σταθερά ισορροπίας είναι:

$$KOC = (\phi/\phi)_s / (\phi/\phi)_{aq}$$

Δηλαδή όσο μικρότερο το KOC τόσο περισσότερο υδατοδιαλυτό το φ/φ.

Η προσρόφηση του φ/φ επίσης εξαρτάται από το ποσοστό της οργανικής ουσίας του εδάφους. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό τόσο καλύτερη η προσρόφηση. Και εδώ ισχύει ότι με την αύξηση του βάθους μειώνεται η προσρόφηση του φ/φ. Να πώς λειτουργεί αυτό: Επειδή με την αύξηση του βάθους του εδάφους μειώνεται η οργανική ουσία, μειώνεται και η προσρόφηση των φ/φ, και άρα φ/φ που διείσδυσαν σε κάποιο βάθος θα είναι πιο επιρρεπή στην έκπλυση.

Εκτίμηση κινδύνου:

KOC	$T_{1/2}$	Τι συμβαίνει	Ποια νερά κινδυνεύουν	Κινδυνεύουν περισσότερο όταν
Υψηλή	Υψηλός	Θα μείνουν	Επιφανειακά	Το έδαφος

		στην επιφάνεια		διαβρώνεται εύκολα
Χαμηλή	Υψηλός	Θα ξεπλυθούν	Υπόγεια	Έχουμε μεγάλα ύψη βροχής
	Χαμηλός			1. Βρέξει μετά την εφαρμογή 2. Το ΚΟC είναι χαμηλό

2.3 Παθογόνοι οργανισμοί

Κρυπτοσπορίδιο = παθογόνο βακτήριο στα νερά. Η ωοκύστη μπορεί να είναι σε λήθαργο για δεκαετίες.

- Συμπτώματα αρρώστιας: Διάρροια, κράμπες, ναυτία, εφίδρωση, χάσιμο βάρους.
- Πώς εξαπλώνεται: Πτώματα, περιττώματα, νερό με επεξεργασμένο, κρέας αμαγείρευτο.
- Πού υπάρχει: Επιφανειακά και ίσως υπόγεια νερά. Μεγαλύτεροι πληθυσμοί μετά από αυξημένες εισροές από γεωργική χρήση, ίσως λόγω ισχυρών βροχών κτλ.
- Μεταχείριση πόσιμου νερού: Χλωρίωση, φιλτράρισμα. Το καλύτερο σε επίπεδο όμως νοικοκυριού είναι το βράσιμο του νερού και η αποθήκευσή του για λίγες μόνο ημέρες στο ψυγείο.

2.4 Ιζήματα

Προβλήματα που προκαλούνται:

- Μείωση παραγωγικότητας χερσαίων Ο/Σ (χάσιμο γόνιμου εδάφους, χάσιμο θρεπτικών).
- Θολότητα επιφανειακών νερών.
- Ρύπανση νερών από τα θρεπτικά που είναι προσροφημένα στα τεμαχίδια εδάφους
- Ευτροφισμός επιφανειακών νερών

Είδη διάβρωσης: Ρηχή (Rill erosion), Χαραδρωτική (Gully erosion), Στρωματική (Sheet erosion)

Πώς αντιμετωπίζουμε τη διάβρωση:

- Αγρονομικές παρεμβάσεις (άρωση κατά ισοϋψείς, ανάμιξη εδάφους με φυτικά υπολείμματα, μεταφορά εδάφους κατά την άρωση).
- Εφαρμογή οργανικής ουσίας
- Δημιουργία ταρατσών (terraces) και αναβαθμών
- Πολυετείς καλλιέργειες
- Αναδάσωση

2.5 Βαρέα μέταλλα (Υδράργυρος Hg)

Ο υδράργυρος είναι σε υγρή μορφή σε συνήθεις θερμοκρασίες. Εξαχνώνεται όμως πολύ. Το υγρό δεν είναι πολύ τοξικό (αποβάλλεται εύκολα με την απέκκριση), το αέριο όμως είναι.

Αύξηση Hg από:

- Καύση υδρογονανθράκων (έχουν προσμίξεις με Hg)
- Άλλες χρήσεις (μπαταρίες)
- Μυκητοκτόνα (έχουν καταργηθεί)
- Ηφαίστεια

Το Hg μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της προσρόφησής του σε τεμαχίδια σκόνης.

Μεθυλιωμένος Hg (χημικός τύπος (CH₃)₂Hg)

Σχηματίζεται σε νερά με τη δράση αναερόβιων βακτηρίων, και είναι πολύ υδατοδιαλυτό. Το 80% του Hg που περιέχεται στα ψάρια είναι σε αυτή τη μορφή. Στο σώμα των ψαριών περιέχεται στις πρωτεΐνες και όχι στο λίπος όπως συνήθως και έτσι είναι δύσκολο να διαχωριστεί κατά το φαγητό.

Βιο-μεγέθυνση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η συγκέντρωση μιας ουσίας που περιέχεται στο σώμα ενός οργανισμού αυξάνεται όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε στην τροφική αλυσίδα. Αυτό συμβαίνει με τον Hg, όπου μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Hg έχουν βρεθεί σε ψάρια που βρίσκονται ψηλότερα στην τροφική αλυσίδα των

υδατικών οικοσυστημάτων. Η βιο-μεγέθυνση του Hg μπορεί να φτάσει και το λόγο 1:1.000.000 (δηλαδή να υπάρχει 1 ppm Hg στο σώμα του ψαριού-λεία και 1.000.000 ppm Hg στο σώμα του ψαριού-άρπαγα).

Ο μεθυλιωμένος Hg έχει χρόνο ημίσειας ζωής ($T_{1/2}$) 70 ημέρες.

Case studies ρύπανσης από Hg

Μερικές από τις περιπτώσεις καταγεγραμμένων γεγονότων σοβαρής ρύπανσης υδατικών κυρίων οικοσυστημάτων από Hg, οι οποίες είχαν και ανθρώπινα θύματα, είναι οι εξής:

- Minatama Ιαπωνίας (1950)
- Dryden Καναδά (1970)
- Ιράκ
- Quebec Καναδά