

ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**1.1. Αναγκαιότητα περιβαλλοντικού ελέγχου**

Είναι γνωστό ότι με την πάροδο των αιώνων δημιουργήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν διάφορα μεγάλα και μικρά οικοσυστήματα, με πλούσια ποικιλία ζώων οργανισμών. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν και διάφοροι βιογαιοχημικοί κύκλοι χημικών στοιχείων και ενώσεων με τις αντίστοιχες ισορροπίες. Κάθε παράγοντας που μετατοπίζει τα σημεία ισορροπίας στα συστήματα αυτά, δημιουργεί και τις προϋποθέσεις για απόκλιση από τους νόμους που διέπουν τη σχέση ζωής - περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να φθάσει ακόμα και στην καταστροφή της αρμονίας ανάμεσα σ' αυτά. Η επίδραση τέτοιων παραγόντων στα οικοσυστήματα είναι αυτό που χαρακτηρίζουμε ως ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι βλαπτικές για το περιβάλλον ενέργειες εκφράζονται με όρους όπως: καταστροφή, μόλυνση, ρύπανση, βλάβη, υποβάθμιση κ.ά. Ο ελληνικός νόμος για την προστασία του περιβάλλοντος Ν. 1650/1986 περιέχει τρεις ρητούς ορισμούς που συνθέτουν τη γενικότερη έννοια της προσβολής του περιβάλλοντος.

α) Ρύπανση του περιβάλλοντος: η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

β) Μόλυνση περιβάλλοντος: η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία στο περιβάλλον παθογόνων μικροοργανισμών ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.

γ) Υποβάθμιση περιβάλλοντος: η από ανθρώπινες δραστηριότητες πρόκληση ρύπανσης ή οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σε ό,τι αφορά τις φυσικές πηγές ρύπανσης, η ίδια φύση έχει αναπτύξει διαμέσου των αιώνων διάφορους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού που εξισορροπούν τη ρύπανση που προκαλείται απ' αυτές. Αντίθετα, η ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι επικίνδυνη, επειδή πολλές φορές οδηγεί τα οικοσυστήματα σε μη αντιστρεπτές καταστάσεις. Οι δραστηριότητες αυτές, που συνεχώς αυξάνονται, έχουν προκαλέσει σημαντικές αλλοιώσεις στο περιβάλλον. Σ' αυτό συντελεί και το γεγονός ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι άνισα κατανομημένες και, κατά κανόνα, συγκεντρώνονται σε περιορισμένους σχετικά χώρους. Αν, μάλιστα, συνεχισθεί η αλλοίωση των οικολογικών συστημάτων, έτσι ώστε να περιορισθεί ο βαθμός αυτορύθμισής τους, τότε θα βρεθεί σε κίνδυνο η σταθερότητα του οικοσυστήματος που ονομάζεται Γη.

Η συνειδητοποίηση αυτού του κινδύνου προκάλεσε και συνεχώς προκαλεί κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογία προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν και νέοι επιστημονικοί κλάδοι όπως αυτός της Χημείας Περιβάλλοντος. Ο κλάδος αυτός της Χημείας έχει αναπτυχθεί σημαντικά, έτσι ώστε σήμερα χωρίζεται σε διάφορες ειδικότητες, οι οποίες συνδέονται και με άλλους επιστημονικούς κλάδους. Έτσι έχουμε τον **Έλεγχο της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος, την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος, τη Χημεία των Οικοσυστημάτων, κ.ά.**

Ειδικότερα, ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος αναφέρεται στη δειγματοληψία και τον προσδιορισμό των ρύπων του περιβάλλοντος, καθώς επίσης στην ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής ρύπων.

Πρόδηλοι είναι οι λόγοι που επιβάλλουν σήμερα την κατάρτιση και το σχεδιασμό προγραμμάτων ελέγχου της ρύπανσης του περιβάλλοντος, τόσο στις πηγές εκπομπής ρύπων, όσο και στους αποδέκτες αυτών. Οι λόγοι αυτοί μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Δυνατότητα της Δημόσιας Διοίκησης για την τήρηση και το σεβασμό της κείμενης Νομοθεσίας, η οποία αναφέρεται στην ποιότητα του περιβάλλοντος.
- Συλλογή πληροφοριών για την κατάσταση των περιβαλλοντικών συστημάτων (ποταμοί, λίμνες, θάλασσες, ατμόσφαιρα πόλεων, κ.ά.). Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύτιμες για την πρόβλεψη της εξέλιξης και την αντιμετώπιση της ρύπανσης.
- Έλεγχος της τήρησης των προδιαγραφών λειτουργίας των συστημάτων αντιρρύπανσης, κ.ά.

1.2. Διαδικασία περιβαλλοντικού ελέγχου

Ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος πρέπει να είναι πρακτικά εφαρμόσιμος, αναλυτικά άψογος, επιστημονικά έγκυρος και νομικά αδιάβλητος. Αυτό σημαίνει ότι ο περιβαλλοντικός χημικός, πέρα από την εμπειρία στη χημική ανάλυση, πρέπει να έχει και ειδικές γνώσεις για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, το συσχετισμό αυτών με περιβαλλοντικούς παράγοντες και τη σωστή ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής ρύπων.

Ανάλογα με τους στόχους και τους λόγους για τους οποίους γίνεται ο περιβαλλοντικός έλεγχος, ο χημικός επιλέγει και τις αντίστοιχες παραμέτρους, που θα μελετήσει. Στη συνέχεια, καταστρώνει και εκτελεί το πρόγραμμα της δειγματοληψίας. Στη διάρκεια αυτής καταγράφει όλους τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Ειδικότερα, ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1.2.1. Επιλογή παραμέτρων ελέγχου

Ανάλογα με τους λόγους που επιβάλλουν τον περιβαλλοντικό έλεγχο, επιλέγονται οι παράμετροι που πρόκειται να προσδιορισθούν και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που θα καταγραφούν. Π.χ. στην οικολογική μελέτη μιας λίμνης επιλέγονται οι παράμετροι: θερπικά συστατικά, pH, αγωγιμότητα, χλωροφύλλη-α, κ.ά. Ταυτόχρονα καταγράφεται η θερμοκρασία του νερού, σε διάφορα βάθη, η διεύθυνση του ανέμου, τα ρεύματα, κ.ά. Στον έλεγχο των αποβλήτων μιας βιομηχανικής μονάδας, οι παράμετροι που θα προσδιορισθούν καθορίζονται από την κείμενη νομοθεσία. Στον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας πόλης καταγράφονται σε διάφορα σημεία οι συγκεντρώσεις CO, NO_x, SO₂, υδρογονανθράκων, φωτοχημικών οξειδωτικών (O₃, PAN) και αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται και οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.

1.2.2. Δειγματοληψία

Η σημασία της δειγματοληψίας στους περιβαλλοντικούς ελέγχους είναι μεγάλη. Μια χημική ανάλυση, όσο καλή κι αν είναι, μπορεί να αποδειχθεί άχρηστη αν το δείγμα δεν ανταποκρίνεται στην κατάσταση που είναι αντιπροσωπευτική του συγκεκριμένου χώρου και χρόνου της δειγματοληψίας. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε τα κατάλληλα μέτρα για σωστή δειγματοληψία, είτε πρόκειται για ένα μεμονωμένο δείγμα, είτε για σειρές δειγμάτων.

Οι κυριότερες απαιτήσεις, που πρέπει να πληρούνται για μια σωστή δειγματοληψία είναι οι παρακάτω:

α) Το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικής κατάστασης του περιβάλλοντος.

β) Να μην αλλοιώνεται η σύσταση του δείγματος κατά τη δειγματοληψία.

γ) Να επιτρέπεται η διατήρηση του δείγματος για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

δ) Να μπορεί να επαναλαμβάνεται έτσι ώστε να έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα.

ε) Να είναι απλή και φθηνή.

Τέλος, ανάλογα με τη φύση του δείγματος (π.χ. αέριο, υγρό, βιολογικό κ.ά.) υπάρχουν και επί πλέον ειδικές απαιτήσεις που πρέπει να αντιμετωπίζονται και οι οποίες περιγράφονται στα αντίστοιχα κεφάλαια.

1.2.3. Κατεργασία δειγμάτων

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται κατεργασία των δειγμάτων πριν από το στάδιο των αναλυτικών μετρήσεων. Π.χ. τα δείγματα νερών διηθούνται για να χωριστούν και να συλλεχθούν τα αιωρούμενα στερεά. Επίσης, στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση της ουσίας που θέλουμε να προσδιορίσουμε είναι μικρή, γίνεται προσυγκέντρωση (συμπύκνωση, εκχύλιση, ιονανταλλαγή κ.ά.). Το είδος της κατεργασίας καθορίζεται από τη φύση του δείγματος, την ουσία που προσδιορίζουμε και την αναλυτική μέθοδο που χρησιμοποιούμε.

1.2.4. Προσδιορισμός παραμέτρων

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων στα περιβαλλοντικά δείγματα άλλοτε είναι μία απλή και εύκολη, και άλλοτε μια πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία. Π.χ. ο προσδιορισμός της σκληρότητας στα νερά είναι σχετικά απλός. Αντίθετα, ο προσδιορισμός των οξειδωτικών στην ατμόσφαιρα ή διοξινών στα νερά, απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και έμπειρους αναλυτικούς. Η επιλογή της μεθόδου προσδιορισμού μιας παραμέτρου πραγματοποιείται ανάλογα με τη φύση και τη διαθέσιμη ποσότητα του δείγματος, τη συγκέντρωση της προσδιοριζόμενης ουσίας, την απαιτούμενη ακρίβεια, την ύπαρξη παρεμποδίσεων και, φυσικά, το διαθέσιμο εργαστηριακό εξοπλισμό.

Πολλές φορές η επιλογή της μεθόδου επιβάλλεται από κανονιστικές διατάξεις. Οι μέθοδοι αυτές είναι γνωστές ως **πρότυπες** ή **επίσημες**. Ο προσδιορισμός των κυριότερων παραμέτρων που απαιτούνται για τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος περιγράφεται στα αντίστοιχα κεφάλαια.

1.2.5. Έλεγχος ποιότητας αποτελεσμάτων

Ο έλεγχος της ποιότητας των αποτελεσμάτων μιας χημικής ανάλυσης γίνεται με τη βοήθεια των προτύπων δειγμάτων (reference materials) των οποίων έχει πιστοποιηθεί η χημική σύσταση για διάφορα στοιχεία. Σαν πρότυπο δείγμα ορίζεται ένα δείγμα του οποίου έχει προσδιορισθεί ικανοποιητικά μία ή περισσότερες ιδιότητες ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση ενός οργάνου, την εκτίμηση της μεθόδου μέτρησης ή τον έλεγχο των αποτελεσμάτων μιας χημικής ανάλυσης.

Σήμερα, τα πρότυπα δείγματα βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς, όπως στο περιβάλλον, στα τρόφιμα, στη βιοχημεία και την ιατρική, καθώς και σε βιομηχανικά προϊόντα. Για το περιβάλλον π.χ. υπάρχουν πρότυπα δείγματα για τον προσδιορισμό μετάλλων σε επιφανειακά νερά, θαλασσινό νερό, ιζήματα, λάσπη, έδαφος, φυτά, ιπτάμενη τέφρα, βιολογικά δείγματα κ.ά. Συνεχώς παρασκευάζονται νέα πρότυπα δείγματα ανάλογα με τις ανάγκες τόσο της βιομηχανίας για νέα προϊόντα, όσο και στο περιβάλλον για εξειδικευμένες αναλύσεις, π.χ. διάκριση μορφών (speciation) μετάλλων σε νερά και ιζήματα.

1.2.6. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι η τελική και, ίσως, η πιο κρίσιμη φάση του περιβαλλοντικού ελέγχου.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει εκτίμηση των αναλυτικών αποτελεσμάτων σε σχέση με εκείνους από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των προσδιοριζόμενων ρύπων. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με το αντικείμενο του ελέγχου (μετεωρολογικοί, γεωλογικοί, γεωχημικοί, υδρογεωχημικοί κ.ά.).

Η μελέτη της σχέσης μεταξύ των συγκεντρώσεων των ρύπων στο περιβάλλον και των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την προέλευση των ρύπων και τις φυσικοχημικές διεργασίες, στις οποίες αυτοί υπόκεινται με την είσοδό τους στο περιβάλλον. Έτσι, π.χ. με συνδυασμό των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας με τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο φλοιό της γης, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη συμμετοχή των φυσικών (σκόνη εδάφους) και των ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης. Επίσης, συνδυάζοντας το ιοντικό περιεχόμενο των υπόγειων νερών με τις σταθερές γινομένου διαλυτότητας του ασβεστίτη και του δολομίτη μπορούμε να διαπιστώσουμε αν τα νερά είναι κορεσμένα σε σχέση με αυτά τα πετρώματα, ή όχι.

Εκτός, όμως, από τη μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει και τη στατιστική επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων. Με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων στατι-

στικής μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την κατανομή των ρύπων στο περιβάλλον, την ταυτοποίηση και την ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής τους, κ.ά. Έτσι, π.χ. υψηλός συντελεστής συσχέτισης Pb και Br στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας σημαίνει προέλευση του Pb από εκπομπές οχημάτων, ενώ υψηλός συντελεστής συσχέτισης Pb με Zn και Cu δηλώνει πιθανή εκπομπή από αποτέφρωση απορριμμάτων.

Οι στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης του περιβάλλοντος στηρίζονται στο χαρακτηρισμό (προσδιορισμό) των ρύπων που εκπέμπονται στο περιβάλλον καθώς επίσης, στην ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών ρύπανσης. Η σχέση ανάμεσα στις πηγές εκπομπής και τις συγκεντρώσεις ρύπων στο περιβάλλον είναι δύσκολο να διευκρινισθεί επειδή ο αριθμός των μεμονωμένων πηγών είναι, συχνά, μεγάλος, οι πηγές ρύπανσης και το ρυπαντικό τους φορτίο είναι ελάχιστα γνωστό, οι φυσικοχημικοί μετασχηματισμοί των ρύπων στο περιβάλλον δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως, και οι επιδράσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών δεν είναι εντελώς ποσοτικοποιήσιμες.

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης μαθηματικών μοντέλων για την ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών ρύπανσης. Τα μοντέλα αυτά (π.χ. μοντέλα διασποράς, μοντέλα αποδέκτη, κ.ά.) αποτελούν, επιπλέον, σημαντικό ερευνητικό εργαλείο για τη μελέτη της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Παράλληλα τα αποτελέσματα αξιολογούνται σε σχέση με την υπάρχουσα σε ισχύ νομοθεσία. Δηλαδή οι τιμές των παραμέτρων συγκρίνονται με τα αντίστοιχα όρια που έχουν θεσπισθεί και ισχύουν για τη συγκεκριμένη περιοχή και για το συγκεκριμένο περιβαλλοντικό σύστημα.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τη μέτρηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς και οι μέθοδοι ταυτοποίησης και ποσοστοποίησης των πηγών ρύπανσης θα αποτελέσουν το περιεχόμενο νέου μαθήματος, του Προχωρημένου Ελέγχου Ρύπανσης του Περιβάλλοντος.

1.2.7. Οριακές τιμές παραμέτρων ρύπανσης

Οι οριακές τιμές ή ανώτατες επιτρεπτές τιμές καθορίζονται νομοθετικά και αποτελούν ουσιαστικό εργαλείο για την προστασία του περιβάλλοντος.

Υπάρχουν οι οριακές τιμές για την ποιότητα του περιβάλλοντος (όρια ποιότητας) π.χ. ποιότητα της ατμόσφαιρας κατοικημένων περιοχών, πόσιμου νερού, νερό κολύμβησης κ.ά. και υπάρχουν και τα **όρια εκπομπής** των υγρών και αερίων αποβλήτων.

Η διαδικασία καθορισμού των ορίων ποιότητας είναι πολύπλοκη και καθορίζεται από επιστημονικά, οικονομικά και πολιτικά κριτήρια.

Ο καθοριστικός παράγοντας είναι η εύρεση των ορίων όπου αρχίζουν οι χημικές ουσίες να προκαλούν δυσμενή συμπτώματα, δηλαδή **τα επιβλαβή όρια**. Τα όρια αυτά είναι που καθορίζονται με επιστημονικά κριτήρια και έχουν τη μεγαλύτερη αντικειμενικότητα, σε σχέση με τις άλλες παραμέτρους που καθορίζονται από οικονομικά και πολιτικά κριτήρια οφελιμότητας.

Η εύρεση των επιβλαβών ορίων βασίζεται κυρίως στον χαρακτηρισμό της τοξικότητας και της επικινδυνότητας των ρύπων.

Η εκτίμηση της τοξικότητας των ουσιών προκύπτει από:

- δοκιμές τοξικότητας (οικοτοξικολογικά κριτήρια)
- επιδημιολογικές έρευνες
- βιοχημικά πειράματα σε ζώα
- κλινικές μελέτες

Στη συνέχεια γίνεται η εκτίμηση της πρόσληψης ανάλογα με την οδό πρόσληψης των ουσιών.

Γίνεται η αξιολόγηση των δεδομένων και προτείνονται στοιχεία για καρκινογόνες και μη καρκινογόνες ουσίες. Παράλληλα, γίνεται και εκτίμηση του δείκτη επικινδυνότητας και της πιθανότητας καρκινογένεσης για τις παραπάνω δύο κατηγορίες ενώσεων.

Όλα τα στοιχεία αυτά μαζί με την εκτίμηση της πρόσληψης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των επιβλαβών ορίων. Με βάση τα επιβλαβή όρια καθορίζονται τα υπόλοιπα όρια ποιότητας. Στο σημείο αυτό το λόγο έχει η πολιτεία και η κοινωνική αποδοχή. Έτσι, η πολιτική και η κοινωνική αποδοχή εμπλέκονται στη διαδικασία αξιολόγησης της σχέσης κινδύνου-οφέλους.

Με βάση λοιπόν τα επιβλαβή όρια και την πολιτική και κοινωνική συναίνεση ορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες ορίων με σειρά ελλειπούμενης συγκέντρωσης:

1. Τα **επιβλαβή όρια** που είναι οι συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών όπου αρχίζουν οι δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο.

2. Τα **όρια ανοχής**, δηλαδή τιμές τις οποίες ανεχόμαστε με κοινωνική αποδοχή, επειδή υπάρχει κάποιο όφελος.

3. Οι **οριακές τιμές**, δηλαδή τις ανώτατες επιτρεπτές τιμές που ορίζονται από τη νομοθεσία για να γίνεται ο έλεγχος της ποιότητας, π.χ. στα τρόφιμα, στο νερό, στον αέρα κλπ.

4. Τα **όρια ωφελείας**, δηλαδή τιμές που έχουμε όφελος (οικονομικό) από την παρουσία των ουσιών που αναφέρονται.

5. Τέλος έχουμε τα **επιθυμητά όρια** και τις προληπτικές τιμές οι οποίες δεν δημιουργούν υποχρέωση και συνήθως προτείνονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και τις Οικολογικές Οργανώσεις.