



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΟΛΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΜΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι επιπτώσεις των φωσφορικών ενώσεων στην ποιότητα του περιβάλλοντος

Ονοματεπώνυμο: Σταμάτης Μωραίτης ΜΔΕ-ΟΠ 2129

Επιβλέπων καθηγητής: κ^{ος} Δημήτριος Γεωργακέλλος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2026



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

στη «Διοίκηση Επιχειρήσεων - Ολική Ποιότητα» με διεθνή προσανατολισμό

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

(περιλαμβάνεται ως ξεχωριστή [δευτέρα] σελίδα στο σώμα της διπλωματικής εργασίας)

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στη Διοίκηση Επιχειρήσεων - Ολική Ποιότητα με διεθνή προσανατολισμό με τίτλο:

...Οι επιπτώσεις των φωσφορικών ενώσεων στην ποιότητα του περιβάλλοντος...

έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή/τριας

Ονοματεπώνυμο Μωραΐτης Σταμάτης

Ημερομηνία 17/7/2026



Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την περιβαλλοντική σημασία των φωσφορικών ενώσεων, με κεντρικό άξονα τις οργανοφωσφορικές ενώσεις που αξιοποιούνται στη γεωργική παραγωγή. Οι ενώσεις του φωσφόρου αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα πολλών τεχνολογικών και παραγωγικών εφαρμογών, καθώς απαντώνται σε λιπάσματα, φυτοπροστατευτικά προϊόντα, απορρυπαντικά, τρόφιμα, φαρμακευτικά σκευάσματα και προϊόντα ευρείας κατανάλωσης. Η πρακτική τους αξία είναι σημαντική, όμως η μη ελεγχόμενη χρήση τους μπορεί να μετατρέψει μια χρήσιμη χημική ομάδα σε παράγοντα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και υγειονομικού κινδύνου.

Η μελέτη οργανώνεται γύρω από τρεις βασικές διαστάσεις: τη χημική ταυτότητα των φωσφορικών ενώσεων, τις εφαρμογές τους και τις συνέπειες που μπορεί να προκύψουν από την παρουσία τους στο περιβάλλον. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, επειδή η δράση τους συνδέεται με την παρεμπόδιση της ακετυλοχολινεστεράσης. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εξηγεί την αποτελεσματικότητά τους έναντι εντόμων-στόχων, αλλά ταυτόχρονα αναδεικνύει την ανάγκη προσοχής απέναντι σε ανθρώπους, ζώα, υδρόβιους οργανισμούς και ωφέλιμα έντομα.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι κυριότερες οδοί περιβαλλοντικής διασποράς, όπως η επιφανειακή απορροή, η έκπλυση προς υπόγεια ύδατα, η δέσμευση στο έδαφος και η μεταφορά μέσω της ατμόσφαιρας. Αναλύονται φαινόμενα όπως ο ευτροφισμός, η εδαφική υποβάθμιση, η μείωση της βιοποικιλότητας και οι τοξικές επιδράσεις σε οργανισμούς μη στόχους, με ειδική αναφορά στους επικονιαστές και κυρίως στις μέλισσες. Παράλληλα, παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει την έγκριση, τη διάθεση και τον έλεγχο των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, καθώς και τα ανώτατα όρια υπολειμμάτων.

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι οι φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται μονοδιάστατα ως χρήσιμα παραγωγικά μέσα, αλλά ως ουσίες που απαιτούν επιστημονικά τεκμηριωμένη και υπεύθυνη διαχείριση. Η προστασία του περιβάλλοντος προϋποθέτει ορθές γεωργικές πρακτικές, συστηματική παρακολούθηση, εκπαίδευση των χρηστών, εφαρμογή ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας και ενίσχυση βιώσιμων προσεγγίσεων, όπως η βιολογική καλλιέργεια και η αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων.

Abstract

This dissertation focuses on the environmental relevance of phosphate compounds, with emphasis on organophosphorus substances used in agricultural practice. Phosphorus-containing compounds are involved in numerous productive and industrial activities, including fertilizers, plant-protection products, detergents, food applications, pharmaceutical preparations and everyday consumer goods. Their contribution is therefore considerable; however, inadequate control, excessive application or inappropriate disposal may turn them into sources of environmental pressure and potential public-health concern.

The analysis is structured around the chemical characteristics, uses and environmental behaviour of phosphate and organophosphorus compounds. Particular attention is paid to organophosphorus insecticides, whose toxicological significance is largely associated with the inhibition of acetylcholinesterase. This mode of action explains their effectiveness against target pests, while at the same time raising concerns regarding non-target organisms, including humans, animals, aquatic species and beneficial insects.

The study also examines the main pathways through which these substances may enter and move within ecosystems. Surface runoff, leaching, soil retention, atmospheric drift and wastewater discharge are discussed as important mechanisms of dispersion. The environmental effects considered include eutrophication, contamination of surface water and groundwater, soil degradation, biodiversity loss and toxic impacts on wildlife and pollinators. The European and national regulatory framework is also reviewed, especially in relation to the authorization of plant-protection products, monitoring procedures and maximum residue limits.

Overall, the findings indicate that phosphate and organophosphorus compounds require a balanced approach that combines agricultural productivity with environmental protection. Rational use, continuous monitoring, user training, integrated pest management, organic farming practices, biological control and improved waste and wastewater management are presented as essential measures for reducing risks and promoting a more sustainable model of agricultural development.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Βεβαίωση εκπόνησης πτυχιακής εργασίας	2
Περίληψη	3
Abstract	4
Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή	7
1.1 Ενδοκρινικοί διαταράκτες	8
Κεφάλαιο 2^ο: Βασικές έννοιες και κατηγορίες φωσφορικών ενώσεων	9
2.1 Ενδεικτικές οργανοφωσφορικές ενώσεις	10
2.2 Ορισμός και γενικά χαρακτηριστικά των φωσφορικών ενώσεων	15
2.2.1 Φωσφορικά ορυκτά	15
2.2.2 Φωσφορικές ενώσεις στα βιολογικά συστήματα	16
2.3 Διαχωρισμός σε ανόργανες και οργανικές φωσφορικές ενώσεις	16
2.4 Χημικές ιδιότητες και συμπεριφορά στο περιβάλλον	17
Κεφάλαιο 3^ο: Χρήσεις των φωσφορικών ενώσεων	18
3.1 Γεωργία και κτηνοτροφία	18
3.2 Βιομηχανία τροφίμων, απορρυπαντικά και άλλες εφαρμογές	18
3.3 Χρήση σε φαρμακευτικά σκευάσματα και καθημερινά προϊόντα	19
Κεφάλαιο 4^ο: Ο ρόλος των οργανοφωσφορικών ενώσεων στη γεωργία	21
4.1 Κατηγορίες οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων	21
4.2 Μηχανισμός δράσης και τοξικότητα	22
4.3 Ενδεικτικές ουσίες και περιπτώσεις χρήσης	22
4.4 Επίδραση στη βιοποικιλότητα και στην ανθεκτικότητα των εντόμων	23
Συνοπτική αποτίμηση κεφαλαίου	24
Κεφάλαιο 5^ο: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φωσφορικών ενώσεων	25
5.1 Ρύπανση υδάτινων πόρων	26
5.2 Εδαφική ρύπανση	28
5.3 Ρύπανση της ατμόσφαιρας	29
5.4 Τοξικές επιδράσεις σε οργανισμούς	30
Κεφάλαιο 6^ο: Νομοθεσία και προδιαγραφές	34
6.1 Διεθνές και Ευρωπαϊκό πλαίσιο	34
6.2 Εθνική νομοθεσία και έλεγχοι	36
6.3 Βιοπαρακολούθηση και χρήση βιοδεικτών	37
Κεφάλαιο 7^ο: Κανονισμοί ασφαλείας και ποιότητας	40
7.1 Ορθές Γεωργικές Πρακτικές και Ολοκληρωμένη Φυτοπροστασία	40
7.2 Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης και λίπανσης	41
7.3 Διαχείριση βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων	42
7.4 Ενημέρωση και εκπαίδευση των χρηστών	43
7.5 Συνολική αξιολόγηση	43
Κεφάλαιο 8^ο: Μελέτες περίπτωσης	45
8.1 Χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε λεκάνες απορροής	45
8.2 Επιπτώσεις οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων σε μελισσοσμήνη	46
8.3 Παραδείγματα απορρύπανσης υδάτων	47
8.4 Συνολική αξιολόγηση των μελετών περίπτωσης	48

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ (συνέχεια)

Κεφάλαιο 9º: Επίλυση μέσω της βιολογικής καλλιέργειας	49
9.1 Έννοια και βασικές αρχές της βιολογικής γεωργίας.....	49
9.2 Αμειψισπορά και διατήρηση της εδαφικής γονιμότητας.....	50
9.3 Φυσικά μέσα φυτοπροστασίας και επιτρεπόμενα σκευάσματα	51
9.4 Τεχνολογικά εργαλεία και περιορισμός της ρύπανσης	52
9.5 Περιβαλλοντικά, υγειονομικά και οικονομικά οφέλη.....	52
9.6 Συνολική αξιολόγηση	53
Κεφάλαιο 10º: Συμπεράσματα	54
10.1 Προτάσεις για ορθότερη διαχείριση.....	56
Βιβλιογραφία	58

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη παραγωγική δραστηριότητα ήταν πάντοτε άμεσα συνδεδεμένη με τους φυσικούς πόρους και ιδιαίτερα με τον πρωτογενή τομέα, όπως η γεωργία και η αλιεία. Από τις αρχές του 20ού αιώνα έως σήμερα, η οικονομική ανάπτυξη στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στην αξιοποίηση αυτών των δραστηριοτήτων. Παράλληλα, η έννοια της οικονομίας μεταβλήθηκε σημαντικά, καθώς η αύξηση της παραγωγής και η κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού απέκτησαν κεντρική θέση στον σύγχρονο τρόπο ζωής.

Συχνά η οικονομική πρόοδος και η προστασία του περιβάλλοντος αντιμετωπίζονται ως δύο ανεξάρτητοι στόχοι. Στην πραγματικότητα, όμως, οι δύο αυτοί παράγοντες είναι στενά αλληλένδετοι. Η μονομερής έμφαση στην παραγωγή και στην οικονομική μεγέθυνση μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και της ποιότητας ζωής. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η μείωση της διαθέσιμης καλλιεργήσιμης γης, η διάβρωση και η ερημοποίηση εντείνουν ακόμη περισσότερο την ανάγκη για υψηλότερη παραγωγή τροφίμων.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην εντατικοποίηση της γεωργίας¹, η οποία στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στη χρήση λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών προϊόντων και γεωργικών φαρμάκων. Οι ουσίες αυτές συνέβαλαν ουσιαστικά στην αύξηση της παραγωγικότητας και στην προστασία των καλλιεργειών από ασθένειες και επιβλαβείς οργανισμούς. Ωστόσο, η συνεχής και σε ορισμένες περιπτώσεις αλόγιστη χρήση τους δημιούργησε προβληματισμούς σχετικά με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, στους ζωντανούς οργανισμούς και στην ανθρώπινη υγεία.

Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου αναπτύχθηκαν διάφορες φωσφορικές ενώσεις, οι οποίες αρχικά μελετήθηκαν για τη νευροτοξική τους δράση. Μετά το τέλος του πολέμου, μέρος αυτών των ενώσεων βρήκε εφαρμογή στη γεωργία ως εντομοκτόνα, καθώς παρουσίαζαν υψηλή αποτελεσματικότητα στην καταπολέμηση παρασίτων που απειλούσαν τις καλλιέργειες. Μεταξύ των γνωστότερων εκπροσώπων αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνονται ουσίες όπως το μαλάθειο και το παραθείο. Η χρήση τους επεκτάθηκε σημαντικά λόγω της

¹ FAO. (2022). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Systems at breaking point. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

αποτελεσματικότητάς τους, γεγονός που συνέβαλε στην ευρύτερη ένταξη των φωσφορικών ενώσεων στα φυτοπροστατευτικά προϊόντα και στη σύγχρονη αγροτική πρακτική.

Με την πάροδο των ετών, ωστόσο, έγινε σαφές ότι αρκετές από αυτές τις ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και στην υγεία. Για τον λόγο αυτό η χρήση τους υπόκειται πλέον σε αυστηρότερους ελέγχους και κανονισμούς. Οι κίνδυνοι σχετίζονται κυρίως με τη νευροτοξική τους δράση, τη δυνατότητα μεταφοράς τους στο νερό, στο έδαφος και στον αέρα, καθώς και με τις επιδράσεις τους σε οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο, όπως έντομα επικονιαστές, υδρόβιοι οργανισμοί, ζώα και άνθρωποι.

1.1 Ενδοκρινικοί διαταράκτες

Ορισμένα οργανοφωσφορικά παρασιτοκτόνα, όπως το μαλάθειο και το παραθείο, έχουν συσχετιστεί με χημικές ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν το ενδοκρινικό σύστημα. Οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία των καλλιεργειών από επιβλαβείς οργανισμούς, όμως η έκθεση σε αυτές έχει συνδεθεί με πιθανές ορμονικές διαταραχές τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα.

Οι ενδοκρινικοί διαταράκτες, γνωστοί και ως Endocrine Disrupting Chemicals² (EDCs), είναι φυσικές ή συνθετικές ουσίες που παρεμβαίνουν στη φυσιολογική λειτουργία των ορμονών. Μπορούν να μιμηθούν τη δράση των φυσικών ορμονών, να εμποδίσουν τη λειτουργία τους ή να τροποποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής, μεταφοράς και αποδόμησής τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να επηρεαστούν κρίσιμες βιολογικές λειτουργίες, όπως η ανάπτυξη, η αναπαραγωγή, ο μεταβολισμός και η γενικότερη ομοιόσταση του οργανισμού.

Τέτοιες ουσίες εντοπίζονται σε ποικίλα προϊόντα και υλικά της καθημερινότητας, όπως πλαστικά, φυτοφάρμακα, βιομηχανικές χημικές ουσίες, καλλυντικά και φαρμακευτικά προϊόντα. Η έκθεση του ανθρώπου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της τροφικής αλυσίδας, του πόσιμου νερού, της εισπνοής αέρα ή της άμεσης επαφής με μολυσμένα υλικά. Η έκθεση σε ορισμένες φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις μπορεί να επηρεάσει το νευρικό σύστημα, τη λειτουργία του θυρεοειδούς και τις αναπαραγωγικές ορμόνες. Ιδιαίτερη σημασία

2 WHO/UNEP. (2013). State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. Geneva: World Health Organization / United Nations Environment Programme.

έχει η πιθανότητα έκθεσης κατά την εγκυμοσύνη, καθώς ορισμένες ουσίες μπορούν να περάσουν μέσω του πλακούντα και να επηρεάσουν την ανάπτυξη του εμβρύου, αυξάνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων σε μεταγενέστερα στάδια της ζωής.

Συνοψίζοντας, οι φωσφορικές ενώσεις αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες ομάδες χημικών ουσιών στη σύγχρονη εποχή. Χρησιμοποιούνται στη γεωργία ως συστατικά λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων, στη βιομηχανία ως πρόσθετα και βοηθητικές ουσίες, καθώς και στην ιατρική και τη φαρμακευτική παραγωγή. Παρά τα οφέλη τους, η εκτεταμένη χρήση τους συνδέεται με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως ο ευτροφισμός των υδάτων, η τοξικότητα σε οργανισμούς-στόχους και μη στόχους και η διατάραξη της βιοποικιλότητας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο οι φωσφορικές και ειδικότερα οι οργανοφωσφορικές ενώσεις επηρεάζουν την ποιότητα του περιβάλλοντος. Η ανάλυση επικεντρώνεται στις βασικές κατηγορίες των ενώσεων αυτών, στις εφαρμογές τους, στη μεταφορά και συμπεριφορά τους στα οικοσυστήματα, καθώς και στο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση και τον έλεγχό τους. Επιπλέον, δίνεται έμφαση σε πρακτικές που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ρύπανσης και στην προστασία της δημόσιας υγείας, όπως η ορθολογική χρήση, η ολοκληρωμένη φυτοπροστασία και η υιοθέτηση βιώσιμων γεωργικών μεθόδων.

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Οι φωσφορικές ενώσεις αποτελούν μια ευρεία κατηγορία χημικών ουσιών που περιέχουν φωσφορικές ομάδες ή παράγωγα του φωσφορικού οξέος. Συναντώνται τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και σε προϊόντα ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως λιπάσματα, απορρυπαντικά, πρόσθετα τροφίμων, φαρμακευτικά προϊόντα και φυτοπροστατευτικά σκευάσματα. Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη, διότι ο φώσφορος συμμετέχει σε βασικές βιολογικές διεργασίες, ενώ παράλληλα αξιοποιείται εκτεταμένα στη γεωργική και βιομηχανική παραγωγή.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι οργανοφωσφορικές ενώσεις. Πρόκειται για οργανικές ενώσεις του φωσφόρου που χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό ως εντομοκτόνα και ακαρεοκτόνα³.

Η αποτελεσματικότητά τους βασίζεται κυρίως στην παρέμβαση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος των εντόμων, μέσω αναστολής της ακετυλοχολινεστεράσης. Η ίδια όμως ιδιότητα συνδέεται και με σημαντικούς κινδύνους για οργανισμούς μη στόχους, όπως ο άνθρωπος, τα ζώα, τα πτηνά, οι υδρόβιοι οργανισμοί και τα ωφέλιμα έντομα.

Για τον λόγο αυτό, η καταγραφή των βασικών κατηγοριών και των αντιπροσωπευτικών ουσιών είναι απαραίτητη, ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος δράσης, οι χρήσεις, αλλά και οι πιθανές επιπτώσεις τους στην ποιότητα του περιβάλλοντος.

2.1 Ενδεικτικές οργανοφωσφορικές ενώσεις

Οι ουσίες που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά, με βάση τη χρήση τους ως φυτοπροστατευτικά ή εντομοκτόνα σκευάσματα. Η αναφορά σε εμπορικές ονομασίες και παλαιότερες χρήσεις δεν συνεπάγεται ότι οι συγκεκριμένες ουσίες κυκλοφορούν ή εγκρίνονται σήμερα με τον ίδιο τρόπο. Σκοπός της ενότητας είναι η επιστημονική περιγραφή της κατηγορίας και όχι η σύσταση χρήσης τους.

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές οργανοφωσφορικές ενώσεις, εμπορικές ονομασίες και βασικά χαρακτηριστικά

Ένωση	Εμπορικές ονομασίες	Βασικά χαρακτηριστικά και ενδεικτικές χρήσεις
Phorate	Himet, Foratax, Starphor, Dhan, Granutox Warrant	Οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο υψηλής τοξικότητας. Είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό, διαλύεται ευκολότερα σε οργανικούς διαλύτες και συναντάται συχνά σε κοκκώδη μορφή. Αναστέλλει την ακετυλοχολινεστεράση και τη βουτυρυλοχολινεστεράση. Παρότι δεν θεωρείται βιοσυσσωρεύσιμο, μεταβολίτες του μπορούν να παραμένουν προσωρινά στο έδαφος.

³ Fest, C., & Schmidt, K.-J. (1982). The Chemistry of Organophosphorus Pesticides. Berlin: Springer-Verlag.

Ένωση	Εμπορικές ονομασίες	Βασικά χαρακτηριστικά και ενδεικτικές χρήσεις
Chlorpyrifos⁴	Dursban, Lorsban, Ruban, Radar, Naklor κ.ά.	Κρυσταλλικό οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο. Δρα στο νευρικό σύστημα των εντόμων αναστέλλοντας την ακετυλοχολινεστεράση. Η έκθεση του ανθρώπου έχει συσχετιστεί με νευρολογικές και αναπτυξιακές επιδράσεις, ιδίως όταν δεν τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας.
Diazinon	Diazinon Plus	Αχρωμο έως σκούρο καφέ υγρό, παράγωγο θειοφωσφορικού οξέος. Χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα για τον έλεγχο κατσαρίδων, μυρμηγκιών, ψύλλων και άλλων εντόμων σε κατοικίες, κήπους και μη διατροφικούς χώρους. Η τοξικότητά του οδήγησε σε αυστηρότερους περιορισμούς.
Pirimiphos-methyl	Actellic	Φωσφοροθειοϊκή ένωση με εντομοκτόνο δράση. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε αποθηκευμένα προϊόντα, αποθήκες και βιομηχανικούς χώρους για έρποντα και ιπτάμενα έντομα. Σε ορισμένες εφαρμογές αξιοποιήθηκε για υπολειμματική προστασία επιφανειών.
Dimethoate	Tara-909, Tafgor, Teeka, Rogor	Ευρέως χρησιμοποιημένο οργανοφωσφορικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο. Δρα τόσο με επαφή όσο και με κατάποση, απορροφάται από τους φυτικούς ιστούς και διασπάται σχετικά γρήγορα. Στοχεύει έντομα όπως αφίδες, δάκο, θρίπες και μύγες ορισμένων καλλιεργειών.
Quinalphos	Ekalux AF, Flash, Suquin, Hyquin, Smash κ.ά.	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Παρουσιάζει διαφυλλική/διασυστηματική σε βάθος δράση και χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση διαφόρων ομάδων εντόμων, όπως λεπιδόπτερα, κολεόπτερα, δίπτερα και ημίπτερα.
Terbufos	Aragran, Contraven, Counter, Plydox	Εντομοκτόνο και νηματωδοκτόνο που δρα από το στομάχι και μέσω ατμών. Εφαρμόστηκε κυρίως σε καλλιέργειες όπως τεύτλα και καλαμπόκι, με στόχο εχθρούς που ζουν επάνω ή μέσα στο έδαφος.
Thiometon	Thiometon, Ekaton	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με διασυστηματική δράση. Δρα με επαφή και μέσω στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε για την καταπολέμηση αφίδων, ακάρεων, ψύλλων, θριπών και άλλων εχθρών σε διάφορες καλλιέργειες.

⁴ European Commission. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/18 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos. Official Journal of the European Union.

Ένωση	Εμπορικές ονομασίες	Βασικά χαρακτηριστικά και ενδεικτικές χρήσεις
Triazophos	Parashute, Tyzo, Triazofyl	Εντομοκτόνο, ακαρεοκτόνο και νηματωδοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε ενάντια σε καρπόκαψα, φυλλοδέτες, ακάρεα, κάμπιες λάχανου και κολεόπτερα σε σπόρους και άλλες καλλιέργειες.
Acephate	Asataf, Indthene, Agnipath	Διασυστηματικό εντομοκτόνο στομάχου, κατάλληλο για εφαρμογές στο φύλλωμα. Χρησιμοποιήθηκε για μασητικά και μυζητικά έντομα, ιδιαίτερα αφίδες, σε οπωροφόρα, πατάτες, ζαχαρότευτλα, αμπέλι και καλλωπιστικά.
Azinphos ethyl	Azinphos ethyl	Μη διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε κατά μασητικών και μυζητικών εντόμων, τετρανύχων και εχθρών καλλιεργειών όπως πατάτα, τεύτλα, ρύζι, αμπέλι και καλλωπιστικά.
Chloromerphos	Chloromerphos	Ταχείας δράσης, μη διασυστηματικό εντομοκτόνο με επαφή και αναπνευστική δράση. Εφαρμόστηκε για σιδηροσκώληκες και άλλα έντομα εδάφους σε τεύτλα, πατάτες και αραβόσιτο.
Chlorpyrifos methyl ^{5,6}	Furadant, Reldan	Μη διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση στομάχου, επαφής και ατμών. Χρησιμοποιήθηκε σε αποθηκευμένα σιτηρά, σε έντομα υγειονομικής σημασίας και σε έντομα φυλλώματος, καθώς και σε ορισμένες δενδρώδεις καλλιέργειες.
Demeton-s-methyl	Meta-Systox I, Azotox, Duratox κ.ά.	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε για αφίδες, τετρανύχους, θρίπες, ψύλλες και άλλα έντομα σε λαχανικά, σιτηρά, οπωροφόρα και καλλωπιστικά.
Dichlorvos (DDVP)	MDT-76	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής, στομάχου και ατμών. Χρησιμοποιήθηκε σε θερμοκήπια, υπαίθριες καλλιέργειες, αποθήκες, στάβλους και χώρους υγειονομικού ενδιαφέροντος. Μπορεί να παρουσιάσει φυτοτοξικότητα σε ευαίσθητα φυτά.
Disulfoton	Systemic granules	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο. Εφαρμόστηκε κυρίως για αφίδες και ακάρεα σε καλλιέργειες όπως φασόλια, καρότα, σταυρανθή, πατάτες, σέλινο, φράουλες και τεύτλα.

⁵ EFSA. (2019). Statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of chlorpyrifos-methyl. EFSA Journal, 17(8), 5810.

⁶ European Commission. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/17 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos-methyl. Official Journal of the European Union.

Ένωση	Εμπορικές ονομασίες	Βασικά χαρακτηριστικά και ενδεικτικές χρήσεις
Ethion	Tixafly, Ethrin	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με κύρια δράση επαφής. Χρησιμοποιήθηκε για κινητά στάδια και αυγά τετρανύχων στα οπωροφόρα, ενώ παρουσιάζει δευτερεύουσα δράση και σε αφίδες ή καρπόκαψα.
Fenamifos	Nemacur micro	Διασυστηματικό νηματωδοκτόνο για διάφορες κατηγορίες νηματωδών. Εφαρμόστηκε με καθολική εφαρμογή, εφαρμογή σε λωρίδες ή εμβάπτιση ριζών, ανάλογα με την καλλιέργεια και τον στόχο.
Fenitrothion	Fenitrothion	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής, στομάχου και ατμών. Χρησιμοποιήθηκε για μασητικά και μυζητικά έντομα σε σιτηρά, βαμβάκι, οπωροφόρα, δασικές εκτάσεις, ρύζι και λαχανικά. Η υπέρβαση δόσεων μπορεί να προκαλέσει φυτοτοξικότητα.
Fenthion	Fentcip	Εντομοκτόνο επαφής και στομάχου με διασυστηματική δράση. Χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα σε θερινούς ψεκασμούς για τον δάκο της ελιάς, αλλά και σε έντομα υγειονομικής σημασίας ή καλλωπιστικών φυτών.
Formothion	Formothion	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε εναντίον αφίδων, τετρανύχων, αλευρωδών, θριπών και διπτέρων σε οπωροφόρα, λαχανικά και καλλωπιστικά. Σε ορισμένα είδη μπορεί να προκαλέσει φυτοτοξικότητα.
Heptenofos	Heptenophos	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με γρήγορη δράση και μικρή υπολειμματικότητα. Εφαρμόστηκε για αφίδες και άλλους εχθρούς σε μηλιά, αχλαδιά, κερασιά, φράουλα, φασόλια, σιτηρά, τομάτες και φυτά θερμοκηπίου.
Malathion	Malathion 50%	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο που δρα κυρίως με επαφή, αλλά και με στομαχική ή αναπνευστική δράση. Χρησιμοποιήθηκε για αφίδες, μύγες, κουνούπια, κοκκοειδή και τετράνυχους σε οπωροφόρα, λαχανικά, αποθηκευμένα προϊόντα και περιπτώσεις υγειονομικού ενδιαφέροντος.
Methamidophos	Dimethyl phosphoramidothioate	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση στομάχου, επαφής και διασυστηματική δράση. Απορροφάται από φύλλα και ρίζες και χρησιμοποιήθηκε σε διάφορα λαχανικά και καλλιέργειες για αφίδες, προνύμφες λεπιδοπτέρων, ακάρεα και αλευρώδεις.
Methidathion	Supracide, Ultracide, Suprathion	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε για ευρύ φάσμα μυζητικών και μασητικών αρθρόποδων σε ακρόδρυα, μηλοειδή, βαμβάκι, μηδική και ηλιάνθο.

Ένωση	Εμπορικές ονομασίες	Βασικά χαρακτηριστικά και ενδεικτικές χρήσεις
Monocrotophos	Monowin, Monophos, Monokil	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο που απορροφάται από τα φύλλα. Χρησιμοποιήθηκε για λεπιδόπτερα, κολεόπτερα, μυζητικά έντομα και ακάρεα σε καλλιέργειες όπως φασόλια, λάχανα, εσπεριδοειδή, βαμβάκι, αραβόσιτο, πατάτες, ρύζι και τομάτες.
Omethoate	Ometho-mite	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως για αφίδες, κοκκοειδή και ακάρεα σε σιτηρά και οπωροφόρα.
Oxydemeton methyl	Oxydemeton methyl FU	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής και στομάχου. Χρησιμοποιήθηκε για αφίδες, τετράνυχους, οπλοκάμπες, ψύλλα αχλαδιάς, τζιτζικάρια και θρίπες.
Parathion methyl	Pirimiphos methyl 22.5 FU	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής, στομάχου και ατμών. Χρησιμοποιήθηκε για μασητικά και μυζητικά έντομα σε αμπέλι, οπωροφόρα, λαχανικά και μεγάλες καλλιέργειες.
Phosalone	Zolone	Εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με διασυστηματική δράση και ευρύ φάσμα. Χρησιμοποιήθηκε για αφίδες, τετράνυχους, καρπόκαψα, φυλλοδέτες, μύγα κερασιών, δορυφόρο πατάτας, αλευρώδεις και άλλους εχθρούς.
Phosmet	Appa, Decemthion	Μη διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με δράση επαφής. Χρησιμοποιήθηκε σε μηλιές, αχλαδιές, βερικοκιές, κερασιές, ροδακινιές, δαμασκηνιές, εσπεριδοειδή, αραβόσιτο, πατάτες και μηδική.
Phosphamidon	Dimecron, D-Cron, Phosron, Pillarcron, Umecron	Διασυστηματικό εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο που απορροφάται από φύλλα και ρίζες. Δρα κυρίως από το στομάχι και το αναπνευστικό και χρησιμοποιήθηκε για μυζητικά και μασητικά έντομα.
Pirimiphos methyl	Actellic, Pirimiphos methyl FU	Ταχείας δράσης εντομοκτόνο και ακαρεοκτόνο με επαφή και αναπνευστική δράση. Χρησιμοποιήθηκε σε αποθηκευμένα προϊόντα, κατοικίες, βιομηχανικούς χώρους και ξύλινες επιφάνειες.
Profenofos	Curacron, CGA-15324	Μη διασυστηματικό εντομοκτόνο ευρέος φάσματος, κυρίως για έντομα και ακάρεα στο βαμβάκι. Η διαφυλλική του δράση επιτρέπει την αντιμετώπιση προνυμφών που βρίσκονται σε δυσπρόσιτα σημεία του φύλλου.

2.2 Ορισμός και γενικά χαρακτηριστικά των φωσφορικών ενώσεων

Οι φωσφορικές ενώσεις είναι χημικές ουσίες που περιέχουν το φωσφορικό ανιόν (PO_4^{3-}) ή παράγωγες φωσφορικές ομάδες. Απαντώνται σε φυσικά συστήματα, όπως πετρώματα και βιολογικοί οργανισμοί, αλλά και σε συνθετικά προϊόντα που παράγονται για γεωργική, βιομηχανική ή φαρμακευτική χρήση. Η χημική τους συμπεριφορά εξαρτάται από τη μορφή με την οποία βρίσκεται ο φώσφορος, από το pH του περιβάλλοντος και από την παρουσία άλλων ιόντων ή οργανικής ύλης.

Η περιβαλλοντική σημασία των φωσφορικών ενώσεων είναι διπλή⁷. Από τη μία πλευρά, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και για τη λειτουργία των ζωντανών οργανισμών. Από την άλλη, η υπερβολική τους παρουσία στο έδαφος ή στα υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει ρύπανση, ευτροφισμό και διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας.

2.2.1 Φωσφορικά ορυκτά

Στη φύση, ο φώσφορος συναντάται συχνά με τη μορφή φωσφορικών ορυκτών. Πρόκειται για ορυκτά στα οποία το φωσφορικό ιόν συνδέεται με μεταλλικά κατιόντα ή άλλες χημικές ομάδες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο απατίτης^{8, 9} με γενικό τύπο $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$, ο οποίος αποτελεί σημαντική πηγή φωσφόρου και χρησιμοποιείται για την παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων.

Τα φωσφορικά ορυκτά μπορούν να προκύψουν με διαφορετικούς τρόπους. Σε μαγματικά πετρώματα σχηματίζονται κατά την κρυστάλλωση του μάγματος, ενώ σε ιζηματογενή

⁷ Pérez-Lucas, G., Vela, N., El Aatik, A., & Navarro, S. (2018). Environmental risk of groundwater pollution by pesticide leaching through the soil profile. In *Pesticides: Use and Misuse and Their Impact in the Environment*. IntechOpen.

⁸ European Commission. (2023). Critical raw materials for the EU: Fifth list and related materials, including phosphorus and phosphate rock. Brussels: European Commission.

⁹ U.S. Geological Survey. (2024). Mineral Commodity Summaries 2024: Phosphate Rock. Reston, VA: U.S. Geological Survey.

περιβάλλοντα ο φώσφορος προέρχεται συχνά από βιολογικά υπολείμματα, όπως οστά, κελύφη ή άλλες οργανικές δομές. Επιπλέον, γεωλογικές διεργασίες, όπως η μεταμόρφωση, η εξαλλοίωση και η κυκλοφορία υδροθερμικών διαλυμάτων, μπορούν να οδηγήσουν στον σχηματισμό νέων φωσφορικών μορφών.

Η αξιοποίησή τους είναι ιδιαίτερα σημαντική στη γεωργία, καθώς παρέχουν την πρώτη ύλη για την παραγωγή λιπασμάτων. Παράλληλα, ορισμένα φωσφορικά ορυκτά εμφανίζουν χαρακτηριστικούς χρωματισμούς και χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές, ενώ ορισμένες μορφές φωσφορικού ασβεστίου αποτελούν βασικά συστατικά των οστών και των δοντιών.

2.2.2 Φωσφορικές ενώσεις στα βιολογικά συστήματα

Στα βιολογικά συστήματα οι φωσφορικές ενώσεις έχουν θεμελιώδη ρόλο. Συμμετέχουν στη δομή του DNA και του RNA, όπου οι φωσφορικές ομάδες σχηματίζουν τον σκελετό των νουκλεϊκών οξέων, συνδέοντας μεταξύ τους τα σάκχαρα των νουκλεοτιδίων. Χωρίς αυτή τη δομή δεν θα ήταν δυνατή η αποθήκευση, η μεταφορά και η έκφραση της γενετικής πληροφορίας.

Επιπλέον, οι φωσφορικές ομάδες συμμετέχουν στη μεταφορά ενέργειας μέσω του ATP, το οποίο λειτουργεί ως βασικό ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου. Η διάσπαση των φωσφορικών δεσμών του ATP απελευθερώνει ενέργεια που αξιοποιείται σε πλήθος κυτταρικών διεργασιών, όπως η σύνθεση μορίων, η ενεργός μεταφορά ουσιών και η μυϊκή σύσπαση.

Σημαντική είναι επίσης η παρουσία φωσφολιπιδίων στις κυτταρικές μεμβράνες. Τα μόρια αυτά διαθέτουν υδρόφιλη φωσφορική κεφαλή και υδρόφοβες λιπιδικές ουρές, ιδιότητα που επιτρέπει τον σχηματισμό της διπλοστιβάδας των μεμβρανών. Τέλος, το φωσφορικό ασβέστιο, με τη μορφή υδροξυαπατίτη, προσδίδει αντοχή και σταθερότητα στα οστά και στα δόντια.

2.3 Διαχωρισμός σε ανόργανες και οργανικές φωσφορικές ενώσεις

Οι φωσφορικές ενώσεις μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: ανόργανες και οργανικές. Οι ανόργανες φωσφορικές ενώσεις περιλαμβάνουν κυρίως φωσφορικά άλατα, όπως

το φωσφορικό νάτριο και το φωσφορικό ασβέστιο. Οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται σε λιπάσματα, σε απορρυπαντικά, στη βιομηχανία τροφίμων και σε διάφορες τεχνικές εφαρμογές.

Οι οργανικές φωσφορικές ενώσεις περιλαμβάνουν ουσίες στις οποίες ο φώσφορος συνδέεται με οργανικά τμήματα. Σε αυτή την ομάδα ανήκουν οι οργανοφωσφορικές ενώσεις, πολλές από τις οποίες αξιοποιήθηκαν ως εντομοκτόνα, λόγω της έντονης δράσης τους στο νευρικό σύστημα των εντόμων. Παρά την αποτελεσματικότητά τους, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η τοξικότητά τους μπορεί να επηρεάσει και μη στοχευμένους οργανισμούς.

2.4 Χημικές ιδιότητες και συμπεριφορά στο περιβάλλον

Οι φωσφορικές ενώσεις παρουσιάζουν ποικιλία χημικών ιδιοτήτων. Ορισμένες είναι σχετικά σταθερές, ενώ άλλες διασπώνται ευκολότερα μέσω υδρόλυσης, οξείδωσης ή μικροβιακής αποδόμησης¹⁰. Ο ρυθμός διάσπασης επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το pH, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η σύσταση του εδάφους.

Η τοξικότητα των φωσφορικών ενώσεων δεν είναι ενιαία. Υπάρχουν ενώσεις που έχουν χαμηλή επικινδυνότητα και συμμετέχουν σε φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες, ενώ άλλες, όπως αρκετά οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, παρουσιάζουν έντονη νευροτοξική δράση. Αυτή η διαφοροποίηση καθιστά αναγκαία την αξιολόγηση κάθε ουσίας χωριστά, με βάση τη χημική της δομή, τη χρήση της και τις συνθήκες έκθεσης.

Στο περιβάλλον, οι φωσφορικές ενώσεις μπορούν να δεσμευθούν στο έδαφος, να μεταφερθούν με την απορροή προς επιφανειακά ύδατα ή να εισχωρήσουν σε υπόγειους υδροφορείς. Όταν η συγκέντρωσή τους σε υδάτινα οικοσυστήματα αυξηθεί υπερβολικά, μπορεί να προκληθεί ευτροφισμός¹¹, δηλαδή υπέρμετρη ανάπτυξη φυκών και υδρόβιας βλάστησης, με συνέπειες για το διαλυμένο οξυγόνο και τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών.

¹⁰ Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L. P., & Elsner, M. (2013). Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. *Science*, 341(6147), 752–758.

¹¹ Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.

Συμπερασματικά, οι φωσφορικές ενώσεις είναι απαραίτητες για τη ζωή και την παραγωγή, όμως η μη ορθολογική χρήση τους μπορεί να επιβαρύνει το περιβάλλον και να δημιουργήσει κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Οι φωσφορικές ενώσεις παρουσιάζουν ευρύ πεδίο εφαρμογών, καθώς αξιοποιούνται τόσο στον πρωτογενή τομέα όσο και σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Η παρουσία τους σε γεωργικά προϊόντα, απορρυπαντικά, τρόφιμα, φαρμακευτικά σκευάσματα και προϊόντα καθημερινής χρήσης δείχνει τη σημαντική λειτουργική αξία τους. Παράλληλα, η εκτεταμένη χρήση τους απαιτεί ορθολογική διαχείριση, επειδή η υπερβολική ή ανεξέλεγκτη διάθεσή τους μπορεί να επιβαρύνει το φυσικό περιβάλλον.

3.1 Γεωργία και κτηνοτροφία

Η πιο χαρακτηριστική χρήση των φωσφορικών ενώσεων εντοπίζεται στον αγροτικό τομέα. Τα φωσφορικά λιπάσματα¹², όπως το υπερφωσφορικό ασβέστιο και τα τριπλά υπερφωσφορικά λιπάσματα, χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους¹³. Μέσω της παροχής φωσφόρου συμβάλλουν στην καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, στην ενδυνάμωση του ριζικού συστήματος και στη βελτίωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών.

Εκτός από τα λιπάσματα, ιδιαίτερη θέση στον αγροτικό χώρο κατέχουν και τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα¹⁴. Ενώσεις όπως το chlorpyrifos, το diazinon και το dimethoate χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για την αντιμετώπιση εντόμων που προκαλούν ζημιές στις καλλιέργειες. Η δράση τους βασίζεται κυρίως στην επίδραση που ασκούν στο νευρικό σύστημα των εντόμων, γεγονός που τα καθιστά αποτελεσματικά ως φυτοπροστατευτικά μέσα. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των ουσιών συνοδεύεται από σημαντικούς κινδύνους. Τα

¹² European Parliament and Council. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products. Official Journal of the European Union.

¹³ Marini, M., Caro, D., & Thomsen, M. (2020). The new fertiliser regulation: A starting point for cadmium control in European arable soils? *Science of the Total Environment*, 745, 140876.

¹⁴ Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12.

οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα μπορεί να επηρεάσουν οργανισμούς μη στόχους, όπως ωφέλιμα έντομα, ζώα, υδρόβιους οργανισμούς και τον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτό, η χρήση τους πρέπει να πραγματοποιείται με αυστηρή τήρηση των οδηγιών εφαρμογής, των επιτρεπόμενων δόσεων και των κανόνων ασφαλείας.

3.2 Βιομηχανία τροφίμων, απορρυπαντικά και άλλες εφαρμογές

Σημαντική χρήση φωσφορικών ενώσεων παρατηρείται και στην παραγωγή απορρυπαντικών. Τα φωσφορικά άλατα προστίθενται κυρίως επειδή δεσμεύουν ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου¹⁵, μειώνοντας τη σκληρότητα του νερού και ενισχύοντας την απορρυπαντική δράση. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα των καθαριστικών προϊόντων, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου το νερό είναι πλούσιο σε άλατα.

Παρόλα αυτά, η εκτεταμένη χρήση φωσφορικών στα απορρυπαντικά έχει συνδεθεί με την επιβάρυνση υδάτινων οικοσυστημάτων. Όταν οι ενώσεις αυτές καταλήγουν σε ποτάμια, λίμνες ή θάλασσες, μπορούν να ευνοήσουν την υπερβολική ανάπτυξη φυκών και να συμβάλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Για τον λόγο αυτό, σε πολλές περιπτώσεις έχουν θεσπιστεί περιορισμοί σχετικά με την ποσότητα φωσφορικών που επιτρέπεται να περιέχουν τα απορρυπαντικά.

Στη βιομηχανία τροφίμων, οι φωσφορικές ενώσεις χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα με διάφορες τεχνολογικές λειτουργίες. Μπορούν να λειτουργήσουν ως σταθεροποιητές, ρυθμιστές οξύτητας ή παράγοντες που συμβάλλουν στη διατήρηση της υφής και της ποιότητας επεξεργασμένων τροφίμων. Η χρήση τους, όπως και κάθε πρόσθετης ουσίας, πρέπει να γίνεται εντός των προβλεπόμενων ορίων, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των καταναλωτών.

3.3 Χρήση σε φαρμακευτικά σκευάσματα και καθημερινά προϊόντα

Οι φωσφορικές ενώσεις συναντώνται επίσης σε φαρμακευτικά προϊόντα και συμπληρώματα διατροφής. Ορισμένες οργανικές φωσφορικές ουσίες αξιοποιούνται στη

¹⁵ European Parliament and Council. (2004). Regulation (EC) No 648/2004 of 31 March 2004 on detergents. Official Journal of the European Union.

σύνθεση ή στη σταθεροποίηση φαρμακευτικών σκευασμάτων, ενώ άλλες χρησιμοποιούνται σε προϊόντα που σχετίζονται με τη διατήρηση της υγείας και της καθημερινής φροντίδας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα σκευάσματα οδοντικής υγιεινής. Σε ορισμένες οδοντόκρεμες περιέχονται φωσφορικά συστατικά, τα οποία συμβάλλουν στην προστασία και ενίσχυση του σμάλτου των δοντιών. Παράλληλα, σε οικιακά καθαριστικά προϊόντα τα φωσφορικά μπορούν να λειτουργήσουν βοηθητικά, αυξάνοντας την καθαριστική ικανότητα των επιφανειοδραστικών ουσιών.

Συνολικά, οι φωσφορικές ενώσεις έχουν σημαντική πρακτική αξία, καθώς συμμετέχουν σε βασικές παραγωγικές και καταναλωτικές δραστηριότητες. Η αξιοποίησή τους, όμως, πρέπει να συνδυάζεται με υπεύθυνη χρήση και περιβαλλοντική ευαισθησία, ώστε να περιορίζονται οι πιθανές αρνητικές συνέπειες από τη συσσώρευσή τους στο περιβάλλον.

Πίνακας 3.1: Ενδεικτικές χρήσεις των φωσφορικών ενώσεων

Πεδίο εφαρμογής	Ενδεικτική χρήση	Πιθανή περιβαλλοντική διάσταση
Γεωργία και κτηνοτροφία	Φωσφορικά λιπάσματα και οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα	Κίνδυνος ρύπανσης εδάφους, νερού και οργανισμών μη στόχων
Απορρυπαντικά	Δέσμευση ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου για βελτίωση καθαρισμού	Πιθανή συμβολή στον ευτροφισμό υδάτων
Βιομηχανία τροφίμων	Σταθεροποιητές και ρυθμιστές pH σε επεξεργασμένα προϊόντα	Ανάγκη τήρησης επιτρεπόμενων ορίων χρήσης
Φαρμακευτικά και καθημερινά προϊόντα	Χρήση σε σκευάσματα, οδοντόκρεμες και καθαριστικά	Ανάγκη ελέγχου της διάθεσης και της συσσώρευσης στο περιβάλλον

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι οι φωσφορικές ενώσεις δεν περιορίζονται σε μία μόνο χρήση, αλλά συνδέονται με πολλούς τομείς της οικονομικής και καθημερινής δραστηριότητας. Η διπλή τους φύση, δηλαδή η χρησιμότητα από τη μία πλευρά και η πιθανή περιβαλλοντική επιβάρυνση από την άλλη, καθιστά αναγκαία την ορθολογική διαχείρισή τους.

4. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΟΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Οι οργανοφωσφορικές ενώσεις κατέχουν ιδιαίτερα σημαντική θέση στη σύγχρονη γεωργία, καθώς για πολλές δεκαετίες χρησιμοποιήθηκαν ως βασικά δραστικά συστατικά φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η αποτελεσματικότητά τους απέναντι σε μεγάλο αριθμό εντόμων τις κατέστησε χρήσιμο εργαλείο για την προστασία των καλλιεργειών και τη μείωση των απωλειών στη γεωργική παραγωγή. Παράλληλα, όμως, η χρήση τους συνδέεται με αυξημένους κινδύνους για το περιβάλλον, τους οργανισμούς μη στόχους και την ανθρώπινη υγεία, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ορθολογική εφαρμογή τους.

4.1 Κατηγορίες οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων

Τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα αποτελούν μεγάλη ομάδα ενώσεων που μπορούν να διακριθούν με βάση τη χημική τους δομή, τον τρόπο απορρόφησης από το φυτό και τον τρόπο δράσης τους στον οργανισμό-στόχο. Σε γενικές γραμμές, περιλαμβάνουν ενώσεις όπως εστέρες, αμίδια και άλλα παράγωγα του φωσφορικού ή φωσφοροθειϊκού οξέος. Ενδεικτικές δραστικές ουσίες που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι το phorate, το chlorpyrifos, το diazinon, το pirimiphos-methyl και το dimethoate.

Ως προς τον τρόπο δράσης τους, πολλές από αυτές τις ουσίες δρουν μέσω επαφής ή μέσω κατάποσης, ενώ ορισμένες παρουσιάζουν διασυστηματική δράση, δηλαδή απορροφώνται και μεταφέρονται στους φυτικούς ιστούς. Η ιδιότητα αυτή ενισχύει την αποτελεσματικότητά τους απέναντι σε έντομα που τρέφονται από το φυτό, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει την ανάγκη για προσεκτική τήρηση των δόσεων και των χρονικών περιορισμών εφαρμογής.

Τρόπος δράσης	Βασικό χαρακτηριστικό
Δράση επαφής	Η ουσία δρα όταν έρθει σε άμεση επαφή με το έντομο.
Στομαχική δράση	Το έντομο επηρεάζεται μετά την κατάποση φυτικού ιστού που έχει δεχθεί την εφαρμογή.
Διασυστηματική δράση	Η δραστική ουσία απορροφάται από το φυτό και μετακινείται στους ιστούς του.
Δράση με ατμούς	Ορισμένες ενώσεις μπορούν να επιδράσουν και μέσω της πτητικότητάς τους.

4.2 Μηχανισμός δράσης και τοξικότητα

Ο βασικός μηχανισμός δράσης των οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων σχετίζεται με την αναστολή της ακετυλοχολινεστεράσης¹⁶, ενός ενζύμου που έχει καθοριστικό ρόλο στη φυσιολογική λειτουργία του νευρικού συστήματος. Όταν το ένζυμο αυτό αναστέλλεται, η ακετυλοχολίνη δεν διασπάται κανονικά στις νευρικές συνάψεις. Ως αποτέλεσμα, προκαλείται υπερδιέγερση των νευρικών κυττάρων¹⁷, διαταραχή της νευρομυϊκής λειτουργίας και, σε υψηλά επίπεδα έκθεσης, παράλυση ή και θάνατος του οργανισμού-στόχου.

Η ίδια βιοχημική δράση που τα καθιστά αποτελεσματικά απέναντι στα έντομα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα και σε άλλους οργανισμούς¹⁸. Για τον λόγο αυτό, τα οργανοφωσφορικά θεωρούνται ενώσεις με σημαντική νευροτοξική δυναμική. Η επικινδυνότητά τους δεν αφορά μόνο τα επιβλαβή έντομα, αλλά και πτηνά, ψάρια, αμφίβια, θηλαστικά, ωφέλιμα έντομα και τον άνθρωπο, ιδιαίτερα όταν η χρήση γίνεται χωρίς τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

Η ασφαλής χρήση τους απαιτεί αυστηρή τήρηση των οδηγιών της ετικέτας¹⁹, των εγκεκριμένων δόσεων, των χρονικών διαστημάτων πριν από τη συγκομιδή και των κανόνων ατομικής προστασίας. Η μη ορθή εφαρμογή μπορεί να οδηγήσει σε υπολείμματα στα τρόφιμα, ρύπανση εδάφους και νερού, καθώς και σε οξεία ή χρόνια έκθεση των χρηστών.

¹⁶ Čadež, T., Kolić, D., Šinko, G., & Kovarik, Z. (2021). Assessment of four organophosphorus pesticides as inhibitors of human acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *Scientific Reports*, 11, 21486.

¹⁷ Chen, Y., Yang, Z., Nian, B., Yu, C., Maimaiti, D., Chai, M., Yang, X., Zang, X., & Xu, D. (2024). Mechanisms of neurotoxicity of organophosphate pesticides and their relation to neurological disorders. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 20, 2237–2254.

¹⁸ Aroniadou-Anderjaska, V., Figueiredo, T. H., Apland, J. P., & Qashu, F. (2023). Mechanisms of organophosphate toxicity and the role of acetylcholinesterase inhibition. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10789.

¹⁹ FAO & WHO. (2014). *The International Code of Conduct on Pesticide Management*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization.

4.3 Ενδεικτικές ουσίες και περιπτώσεις χρήσης

Στη γεωργική πράξη έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά οργανοφωσφορικά σκευάσματα, ανάλογα με την καλλιέργεια, το είδος του εχθρού και τον επιδιωκόμενο τρόπο δράσης. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Ουσία	Ενδεικτική χρήση	Κύρια επισημάνση
Chlorpyrifos	Χρησιμοποιήθηκε σε δενδρώδεις καλλιέργειες και εσπεριδοειδή για την αντιμετώπιση εντόμων.	Έχει συνδεθεί με νευροτοξικές επιδράσεις και απαιτεί αυστηρό έλεγχο στη χρήση του ²⁰ .
Dimethoate	Εφαρμόστηκε για έντομα όπως αφίδες, δάκος και θρίπες, ιδιαίτερα σε ελιά και κηπευτικά.	Δρα μέσω επαφής και κατάποσης, ενώ μπορεί να απορροφηθεί από τους φυτικούς ιστούς.
Diazinon	Χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα σε εφαρμογές κηπουρικής και ελέγχου παρασίτων.	Η τοξικότητά του οδήγησε σε αυστηρότερη ρύθμιση και περιορισμό χρήσης.

4.4 Επίδραση στη βιοποικιλότητα και στην ανθεκτικότητα των εντόμων

Η εκτεταμένη ή αλόγιστη χρήση οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη βιοποικιλότητα των αγροοικοσυστημάτων²¹. Εκτός από τα έντομα-στόχους, οι ουσίες αυτές είναι δυνατόν να πλήξουν και ωφέλιμους οργανισμούς, όπως μέλισσες²², παρασιτοειδή έντομα και φυσικούς εχθρούς επιβλαβών ειδών. Η μείωση αυτών των

²⁰ EFSA. (2019). Statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of chlorpyrifos. EFSA Journal, 17(8), 5809.

²¹ Wan, N.-F., Fu, L., Dainese, M., Kiær, L. P., Hu, Y.-Q., Xin, F., Goulson, D., Woodcock, B. A., Vanbergen, A. J., Spurgeon, D. J., Shen, S., & Scherber, C. (2025). Pesticides have negative effects on non-target organisms. Nature Communications, 16, 1360.

²² IPBES. (2016). The Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

οργανισμών διαταράσσει την οικολογική ισορροπία και μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη εξάρτηση από χημικές παρεμβάσεις.

Ιδιαίτερη σημασία έχει και το ζήτημα της ανθεκτικότητας. Όταν τα ίδια ή παρόμοια εντομοκτόνα χρησιμοποιούνται συστηματικά, οι πληθυσμοί των εντόμων δέχονται ισχυρή επιλεκτική πίεση. Με την πάροδο του χρόνου, επιβιώνουν και αναπαράγονται τα άτομα που διαθέτουν μηχανισμούς αντοχής, όπως ενζυμική αποτοξίνωση ή μειωμένη ευαισθησία στον στόχο δράσης. Έτσι, η αποτελεσματικότητα του σκευάσματος μειώνεται και απαιτούνται εναλλακτικές στρατηγικές αντιμετώπισης.

Για τον περιορισμό αυτών των προβλημάτων προτείνεται η εφαρμογή ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας. Η εναλλαγή δραστικών ουσιών, η χρήση βιολογικών μεθόδων, η παρακολούθηση των πληθυσμών των εχθρών και η αποφυγή άσκοπων ψεκασμών συμβάλλουν στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και στην προστασία της γεωργικής παραγωγής μακροπρόθεσμα.

Συνοπτική αποτίμηση κεφαλαίου

Συνολικά, τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα αποτέλεσαν σημαντικό εργαλείο για τη γεωργία, κυρίως λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητάς τους. Ωστόσο, η νευροτοξική τους δράση, οι επιπτώσεις σε οργανισμούς μη στόχους και ο κίνδυνος ανάπτυξης ανθεκτικότητας καθιστούν αναγκαία τη συνετή, ελεγχόμενη και επιστημονικά τεκμηριωμένη χρήση τους. Η προστασία των καλλιεργειών δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται αποκομμένα από την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Οι φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις συνδέονται με σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται χωρίς ορθολογικό σχεδιασμό και χωρίς τήρηση των κατάλληλων κανόνων εφαρμογής. Η παρουσία τους στο περιβάλλον δεν περιορίζεται στο σημείο χρήσης, καθώς μπορούν να μετακινηθούν μέσω του νερού, του αέρα και του εδάφους, επηρεάζοντας υδάτινα οικοσυστήματα, μικροοργανισμούς, φυτά, ζώα και τελικά τον άνθρωπο. Η αξιολόγηση των επιπτώσεών τους απαιτεί, επομένως, συνολική προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τη χημική συμπεριφορά των ενώσεων όσο και τις συνθήκες του κάθε οικοσυστήματος.

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν τη ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, την υποβάθμιση του εδάφους, την ατμοσφαιρική μεταφορά υπολειμμάτων και τις τοξικές επιδράσεις σε οργανισμούς-στόχους και μη στόχους. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι πολλές από αυτές τις επιδράσεις δεν εκδηλώνονται άμεσα, αλλά μπορεί να εμφανιστούν σταδιακά, μέσα από χρόνια έκθεση ή μέσω συσσώρευσης στην τροφική αλυσίδα.

Πίνακας 5.1: Κύριες οδοί περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις

Περιβαλλοντικό μέσο	Τρόπος επιβάρυνσης	Βασικές συνέπειες
Νερό	Έκπλυση, απορροή από καλλιέργειες, διάθεση αποβλήτων	Ευτροφισμός, υποβάθμιση πόσιμου νερού, τοξικότητα σε υδρόβιους οργανισμούς
Έδαφος	Συσσώρευση υπολειμμάτων, μακροχρόνια χρήση φυτοφαρμάκων	Μείωση μικροβιακής δραστηριότητας ²³ , διατάραξη κύκλων θρεπτικών στοιχείων, απώλεια γονιμότητας
Αέρας	Πτητικοποίηση, μεταφορά σταγονιδίων ψεκασμού και προσρόφηση σε σωματίδια	Μεταφορά ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις και πιθανή έκθεση ανθρώπων και ζώων

²³ Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Advances in Agronomy*, 102, 159–200.

Ζωντανοί οργανισμοί	Εισπνοή, δερματική επαφή, κατάποση τροφής ή νερού	Οξείες και χρόνιες τοξικές επιδράσεις, νευροτοξικότητα και ενδοκρινικές διαταραχές
---------------------	---	--

5.1 Ρύπανση υδάτινων πόρων

Η ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων και οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων μπορεί να προκαλέσει μεταφορά φωσφορικών συστατικών από το έδαφος προς τους υδάτινους αποδέκτες. Η έκπλυση και η επιφανειακή απορροή αποτελούν δύο από τις σημαντικότερες οδούς μετακίνησης, καθώς οι ενώσεις που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες είναι δυνατόν να παρασυρθούν από τη βροχή ή την άρδευση και να φτάσουν σε ποτάμια, λίμνες, θάλασσες ή υπόγεια ύδατα. Με τον τρόπο αυτό, η γεωργική δραστηριότητα, σε συνδυασμό με τη βιομηχανική και αστική ρύπανση, επιβαρύνει την ποιότητα του νερού²⁴.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί έντονη υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος²⁵, η οποία συνδέεται άμεσα με ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στον γεωργικό τομέα, η χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων αυξάνει τον κίνδυνο ρύπανσης των υδάτων, είτε μέσω διάχυτων πηγών είτε μέσω συγκεκριμένων σημείων εκροής. Η επιβάρυνση αυτή συμβάλλει σε φαινόμενα όπως ο ευτροφισμός και η νιτρορύπανση²⁶, με σοβαρές συνέπειες για την οικολογική ισορροπία των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Ο ευτροφισμός προκαλείται όταν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών, κυρίως ενώσεων φωσφόρου και αζώτου, εισέρχονται σε υδάτινα οικοσυστήματα. Η υπερβολική αυτή εισροή ευνοεί την ταχεία ανάπτυξη φυκών και μικροοργανισμών, οι οποίοι καταναλώνουν μεγάλες

²⁴ European Environment Agency. (2025). Pesticides in rivers, lakes and groundwater in Europe. Copenhagen: European Environment Agency.

²⁵ European Environment Agency. (2024). Europe's state of water 2024: The need for improved water resilience. EEA Report 07/2024. Copenhagen: European Environment Agency.

²⁶ European Environment Agency. (2025). Nutrients in freshwater in Europe. Indicator assessment. Copenhagen: European Environment Agency.

ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου. Ως αποτέλεσμα, τα βαθύτερα στρώματα του νερού φτωχαίνουν σε οξυγόνο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε θανάτους ψαριών, παραγωγή τοξικών ουσιών και εμφάνιση δυσάρεστων οσμών.

Η επιβάρυνση των υδάτων έχει άμεση σημασία και για τη δημόσια υγεία. Έχει αναφερθεί ότι μεγάλο ποσοστό Ευρωπαίων πολιτών καταναλώνει πόσιμο νερό από πηγές που μπορεί να έχουν επιβαρυνθεί με υπολείμματα φυτοφαρμάκων και νιτρικών, εξαιτίας γεωργικών πρακτικών. Αντίστοιχα, στις Ηνωμένες Πολιτείες σημαντικό μέρος του πληθυσμού βασίζεται στα υπόγεια ύδατα για την ύδρευσή του, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα έκθεσης σε χημικές ουσίες που έχουν μεταφερθεί στον υδροφόρο ορίζοντα.

Η απόπλυση θεωρείται ένας από τους βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων τα φυτοφάρμακα εισέρχονται στο υπόγειο υδατικό σύστημα. Τα σκευάσματα εφαρμόζονται συνήθως είτε απευθείας στα φυτά είτε στο έδαφος. Στη συνέχεια, οι βροχοπτώσεις ή η άρδευση μπορούν να μεταφέρουν μέρος των δραστικών ουσιών στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, οδηγώντας τελικά σε ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον, υπολείμματα των ουσιών αυτών μπορεί να παραμείνουν σε βρώσιμα τμήματα των φυτών και να περάσουν στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται και για ενώσεις που εμφανίζουν υψηλή περιβαλλοντική επιμονή. Οι οργανοχλωριωμένες ενώσεις, παρότι δεν αποτελούν το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα ουσιών με αργή βιοδιάσπαση, λιποδιαλυτότητα και ικανότητα βιοσυσσώρευσης. Εξαιτίας της τοξικότητάς τους, αρκετές ουσίες αυτής της κατηγορίας, όπως το DDT, το dieldrin και το aldrin, έχουν απαγορευθεί. Η αναφορά τους είναι χρήσιμη, επειδή δείχνει πόσο σημαντική είναι η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς κάθε χημικής ουσίας πριν από την εκτεταμένη χρήση της.

Η μετακίνηση των παρασιτοκτόνων στο περιβάλλον καθορίζεται από πολλές φυσικοχημικές διεργασίες. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται η διάχυση, η πτητικοποίηση, η έκπλυση, η διάβρωση, η επιφανειακή απορροή και η πρόσληψη από φυτά ή μικροοργανισμούς. Ο χρόνος παραμονής των ουσιών στο έδαφος και στο νερό εξαρτάται από παράγοντες όπως η υγρασία, το pH, η θερμοκρασία, η οργανική ύλη και η παρουσία ανόργανων συστατικών.

Συνολικά, η είσοδος φωσφορικών ιόντων σε υδάτινους αποδέκτες μπορεί να οδηγήσει σε μια αλληλουχία περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- έντονη ανάπτυξη φυκών και άλλων μικροοργανισμών,
- μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό,
- θανάτους ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών,
- παραγωγή τοξινών από ορισμένα είδη φυκών, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα και την ανθρώπινη υγεία, για παράδειγμα μέσω κατανάλωσης μολυσμένων οστρακοειδών.

5.2 Εδαφική ρύπανση

Το έδαφος αποτελεί βασικό αποδέκτη των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, καθώς μεγάλο μέρος των ουσιών που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες καταλήγει τελικά σε αυτό. Πολλά παρασιτοκτόνα εμφανίζουν επιμονή στο περιβάλλον και μπορούν να λειτουργήσουν ως εδαφικοί ρυπαντές, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται συχνά ή σε μεγαλύτερες από τις αναγκαίες ποσότητες. Η μακροχρόνια χρήση τους έχει συνδεθεί με μείωση της βιοποικιλότητας και με αρνητικές επιδράσεις σε βιολογικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για τη γονιμότητα του εδάφους.

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο²⁷ στη διατήρηση της γονιμότητας, καθώς συμμετέχουν στους κύκλους του αζώτου, του θείου και του φωσφόρου. Όταν τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν τη σύνθεση και τη δραστηριότητα της μικροβιακής κοινότητας, διαταράσσονται οι φυσικές διεργασίες ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη παραγωγικότητα του εδάφους και σε σταδιακή μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών.

Η εκτεταμένη και συνεχής χρήση παρασιτοκτόνων μπορεί επίσης να μειώσει τους πληθυσμούς ωφέλιμων οργανισμών. Τα ίδια χημικά μέσα που εφαρμόζονται για την καταπολέμηση παθογόνων ή επιβλαβών ειδών ενδέχεται να θανατώνουν και οργανισμούς που συμμετέχουν στη φυσική ισορροπία του οικοσυστήματος. Επομένως, η τοξική τους δράση δεν

²⁷ Gevaio, B., Semple, K. T., & Jones, K. C. (2000). Bound pesticide residues in soils: A review. *Environmental Pollution*, 108(1), 3–14.

περιορίζεται πάντα στους οργανισμούς-στόχους, αλλά μπορεί να επεκταθεί σε ένα ευρύτερο φάσμα εδαφικής ζωής.

Η σχέση ανάμεσα στα φυτοφάρμακα και στη μικροβιακή πανίδα του εδάφους δεν είναι απόλυτα ίδια σε όλες τις περιπτώσεις. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων είναι τοξικά για μικροοργανισμούς, ενώ άλλες καταγράφουν ότι ορισμένοι μικροοργανισμοί μπορούν να αξιοποιήσουν ή να αποδομήσουν συγκεκριμένα υπολείμματα. Η τελική επίδραση εξαρτάται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση, η τοξικότητα, η διάρκεια παραμονής της ουσίας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρ' όλα αυτά, η μακροχρόνια και επαναλαμβανόμενη εφαρμογή τους μπορεί να διαταράξει σημαντικές βιοχημικές λειτουργίες που συνδέονται με την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

5.3 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Η ατμοσφαιρική ρύπανση από φυτοφάρμακα συχνά υποτιμάται, επειδή η προσοχή επικεντρώνεται κυρίως στο νερό και στο έδαφος. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των ψεκασμών, μέρος των ουσιών μπορεί να μεταφερθεί με τον αέρα υπό μορφή σταγονιδίων ή να προσκολληθεί σε αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, ορισμένες ενώσεις είναι δυνατόν να πτητικοποιηθούν μετά την εφαρμογή τους και να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μικρότερο ή μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η αξιολόγηση του κινδύνου από φυτοφάρμακα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα απαιτεί εκτίμηση του χρόνου ημίσειας ζωής τους και της δραστηρότητάς τους στη σωματιδιακή φάση. Όταν οι ουσίες προσροφώνται σε αιωρούμενα σωματίδια, ενδέχεται να προστατεύονται από γρήγορες αντιδράσεις αποδόμησης και να διατηρούνται περισσότερο χρόνο στο περιβάλλον. Οι ρίζες υδροξυλίου (OH) συμβάλλουν στον φυσικό καθαρισμό της ατμόσφαιρας, όμως η δράση τους μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματική όταν οι ενώσεις βρίσκονται προσκολλημένες σε σωματίδια.

Για ορισμένες ενώσεις, όπως η διφenoκοναζόλη, η τετρακοναζόλη, η φιπρονίλη, η οξαδιαζόνη, η δελταμεθρίνη, η κυπροδινίλη, η περμεθρίνη και η πεντιμεθαλίνη, έχει

καταγραφεί παραμονή σε αιωρούμενα σωματίδια για αρκετές ημέρες²⁸ ή ακόμη και για χρονικό διάστημα που υπερβαίνει τον ένα μήνα. Η παρατεταμένη αυτή παρουσία αυξάνει την πιθανότητα μεταφοράς των ουσιών σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες από το σημείο εφαρμογής τους.

Η μεταφορά μέσω του αέρα έχει ιδιαίτερη σημασία για περιοχές που βρίσκονται κοντά σε καλλιεργούμενες εκτάσεις, αλλά και για οικοσυστήματα που δεν έχουν δεχθεί άμεση εφαρμογή φυτοφαρμάκων. Με αυτόν τον τρόπο, οι χημικές ουσίες μπορούν να επηρεάσουν μη στοχευόμενους οργανισμούς, κατοικημένες περιοχές ή φυσικούς βιότοπους που βρίσκονται μακριά από την αρχική πηγή ρύπανσης.

5.4 Τοξικές επιδράσεις σε οργανισμούς

Οι τοξικές επιδράσεις των φυτοφαρμάκων αφορούν τόσο τον άνθρωπο όσο και άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Οι επικίνδυνες ουσίες μπορούν να εισέλθουν στον οργανισμό μέσω του αναπνευστικού συστήματος, μέσω απορρόφησης από το δέρμα ή μέσω της γαστρεντερικής οδού. Η έκθεση μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια ψεκασμών, μέσω επαφής με μολυσμένες επιφάνειες ή ενδύματα, από ατυχήματα κατά τον χειρισμό των σκευασμάτων, αλλά και μέσω κατανάλωσης τροφίμων ή νερού που περιέχουν υπολείμματα.

Η εισπνοή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική οδός εισόδου, κυρίως για εργαζομένους που έρχονται σε άμεση επαφή με φυτοφάρμακα. Μετά την είσοδο στον οργανισμό, οι ουσίες μεταφέρονται σε διάφορα όργανα, υφίστανται βιομετατροπή και στη συνέχεια αποβάλλονται, κυρίως μέσω των ούρων. Για τον λόγο αυτό, η ανίχνευση μεταβολιτών στα ούρα χρησιμοποιείται συχνά ως ένδειξη έκθεσης.

28 Socorro, J., Durand, A., Temime-Roussel, B., Gligorovski, S., Wortham, H., & Quivet, E. (2016). The persistence of pesticides in atmospheric particulate phase: An emerging air quality issue. *Scientific Reports*, 6, 33456.

Αν και πολλά οργανοφωσφορικά αποδομούνται σχετικά γρήγορα, δεν αποκλείεται ορισμένα προϊόντα διάσπασης ή συγκεκριμένες ενώσεις να παραμένουν σε ιστούς φυτών και ζώων. Έτσι, μέσω της τροφικής αλυσίδας, οι ουσίες αυτές μπορεί να φτάσουν στον άνθρωπο. Η διαδικασία αυτή αυξάνει την ανησυχία για χρόνιες επιδράσεις, ιδίως όταν η έκθεση είναι χαμηλής έντασης αλλά επαναλαμβανόμενη.

Οι επιδράσεις των φυτοφαρμάκων στην ανθρώπινη υγεία διακρίνονται συνήθως σε οξείες και χρόνιες²⁹. Οι οξείες επιδράσεις περιλαμβάνουν δηλητηριάσεις και άμεσα συμπτώματα που προκαλούνται από υψηλή ή τυχαία έκθεση. Οι χρόνιες επιδράσεις σχετίζονται με μακροχρόνια έκθεση και μπορεί να περιλαμβάνουν καρκινογόνες επιδράσεις, γενετικές ανωμαλίες, διαταραχές του ανοσοποιητικού συστήματος, ενδομητρίωση, νευρολογικές διαταραχές και άλλες εκφυλιστικές παθήσεις.

Στην Ελλάδα, τα δεδομένα του Κέντρου Δηλητηριάσεων δείχνουν ότι τα περιστατικά οξείας δηλητηρίασης από παρασιτοκτόνα παραμένουν σημαντικό ζήτημα δημόσιας υγείας. Για την περίοδο 2015-2017 καταγράφηκαν κατά μέσο όρο 535,3 περιστατικά ετησίως, ενώ για την περίοδο 2012-2014 ο αντίστοιχος μέσος όρος ήταν 436,3 περιστατικά ανά έτος. Πολλά περιστατικά σχετίζονται με επαγγελματική έκθεση, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για καλύτερη εκπαίδευση των χρηστών και αυστηρή τήρηση των μέτρων προστασίας.

Στο παρελθόν, τα παρασιτοκτόνα αξιολογούνταν κυρίως με βάση την αποτελεσματικότητά τους στην καταπολέμηση εχθρών των καλλιεργειών. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες η επιστημονική έρευνα έχει αναδείξει σοβαρούς προβληματισμούς για τις περιβαλλοντικές και υγειονομικές τους συνέπειες. Η εξαφάνιση ή μείωση πληθυσμών φυτών και ζώων σε διάφορες περιοχές, καθώς και η συσχέτιση ορισμένων ουσιών με χρόνια νοσήματα, καθιστούν αναγκαία την προσεκτική αξιολόγηση του κινδύνου από τη μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές δόσεις.

Σε μελέτες εργαζομένων που εκτέθηκαν σε χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ή σχετίζονται με παρασιτοκτόνα, έχουν αναφερθεί συμπτώματα όπως κόπωση, πονοκέφαλος, ερεθισμός των ματιών και του δέρματος, ηπατομεγαλία, σπληνομεγαλία και καρδιαγγειακές επιβαρύνσεις. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι η επαγγελματική έκθεση μπορεί να έχει

29 Robb, E. L., & Baker, M. B. (2023). Organophosphate Toxicity. In StatPearls. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.

πολυσυστηματικές συνέπειες, ιδιαίτερα όταν δεν τηρούνται επαρκή μέτρα ατομικής προστασίας³⁰.

Ιδιαίτερη συζήτηση έχει αναπτυχθεί γύρω από το glyphosate και τα σκευάσματα που το περιέχουν, όπως το Roundup. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πιθανές συνδέσεις με μακροχρόνια τοξικότητα, γενετικές αλλοιώσεις, αναπαραγωγικές διαταραχές, αναπνευστικά και γαστρεντερικά προβλήματα, καθώς και καρδιαγγειακές ή νεφρικές επιβαρύνσεις. Παράλληλα, μελέτες σε ζώα έχουν εξετάσει την πιθανή επίδρασή του στη γονιμότητα και στην αναπαραγωγική λειτουργία.

Η πιθανή καρκινογόνος δράση του glyphosate αποτελεί αντικείμενο επιστημονικής και ρυθμιστικής συζήτησης. Η Διεθνής Υπηρεσία Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) το έχει ταξινομήσει ως πιθανώς καρκινογόνο για τον άνθρωπο, ενώ η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA) δεν το αντιμετωπίζει με τον ίδιο τρόπο. Η διαφοροποίηση αυτή δείχνει ότι η αξιολόγηση του κινδύνου μπορεί να εξαρτάται από τη μεθοδολογία, τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη και το είδος της έκθεσης που εξετάζεται.

Η χρόνια έκθεση σε οργανοφωσφορικά παρασιτοκτόνα έχει επίσης συσχετιστεί με νευροτοξικές επιδράσεις. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται κινητικές δυσλειτουργίες, νευρολογικές διαταραχές, καθώς και πιθανές συσχετίσεις με ψυχικές διαταραχές, όπως άγχος και κατάθλιψη. Επιπλέον, έχουν αναφερθεί αναπνευστικά προβλήματα, αλλεργικές αντιδράσεις, συγγενείς ανωμαλίες και επιδράσεις στην ανάπτυξη του νευρικού συστήματος παιδιών³¹ που εκτίθενται έμμεσα μέσω εργαζομένων γονέων.

Οι οργανοφωσφορικές ενώσεις μπορεί ακόμη να επηρεάσουν τη λειτουργία του ενδοκρινικού συστήματος³². Πειραματικές μελέτες σε ζώα έχουν δείξει ότι η έκθεση σε τέτοιες ενώσεις μπορεί να διαταράξει την ορμονική ισορροπία, ιδίως στον άξονα υποθαλάμου-

³⁰ EFSA. (2022). Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. EFSA Journal, 20(1), 7032.

³¹ Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Barr, D. B., Steenland, K., Levy, K., Ryan, P. B., Iglesias, V., Alvarado, S., Concha, C., Rojas, E., & Vega, C. (2013). Neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: A systematic review. *NeuroToxicology*, 39, 158–168.

³² Leemans, M., Couderq, S., Demeneix, B., & Fini, J.-B. (2019). Pesticides with potential thyroid hormone-disrupting effects: A review of recent data. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 743.

υπόφυσης-θυρεοειδούς. Σε ορισμένα πειράματα έχει παρατηρηθεί μεταβολή της TSH και των θυρεοειδικών ορμονών T3 και T4, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή επίδραση στη ρύθμιση του μεταβολισμού.

Λόγω της ευρείας χρήσης ουσιών όπως το παραθείο και η διαζινόνη, σε αρκετές έρευνες έχουν εντοπιστεί μεταβολίτες οργανοφωσφορικών ενώσεων, όπως η DEP, στα ανθρώπινα ούρα³³. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι η έκθεση του πληθυσμού μπορεί να είναι υπαρκτή ακόμη και όταν δεν υπάρχει εμφανής ή άμεση δηλητηρίαση.

Τέλος, οι επιδράσεις των οργανοφωσφορικών στο αναπνευστικό σύστημα των εργαζομένων χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση. Παρά τον περιορισμένο αριθμό μελετών, υπάρχουν ενδείξεις ότι ουσίες όπως το παραθείο, το chlorpyrifos και το μαλάθειο σχετίζονται με αναπνευστικά προβλήματα και με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης ορισμένων μορφών άσθματος. Πειραματικές δοκιμές σε ζώα έχουν δείξει αυξημένη ευαισθησία και υπερδραστηριότητα των αεραγωγών μετά από έκθεση σε οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα.

Πίνακας 5.2: Ενδεικτικές μορφές έκθεσης και πιθανές επιπτώσεις

Οδός έκθεσης	Περιγραφή	Πιθανές συνέπειες
Εισπνοή	Έκθεση σε ατμούς ή σταγονίδια ψεκασμού	Αναπνευστικός ερεθισμός, άσθμα, συστηματική απορρόφηση
Δερματική επαφή	Επαφή με σκευάσματα, μολυσμένες επιφάνειες ή ενδύματα	Τοπικός ερεθισμός, απορρόφηση από το δέρμα
Κατάποση	Υπολείμματα σε τρόφιμα ή νερό, ατυχηματική λήψη	Οξεία δηλητηρίαση ή μακροχρόνια έκθεση
Τροφική αλυσίδα	Μεταφορά υπολειμμάτων από φυτά ή ζώα στον άνθρωπο	Χρόνιες επιδράσεις, βιοσυσσωρευση σε ορισμένες περιπτώσεις

Συμπερασματικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φωσφορικών και οργανοφωσφορικών ενώσεων είναι πολυδιάστατες. Η ρύπανση του νερού, του εδάφους και της ατμόσφαιρας συνδέεται άμεσα με την ένταση και τον τρόπο χρήσης τους, ενώ οι τοξικές επιδράσεις σε ζωντανούς οργανισμούς καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή αυστηρών μέτρων πρόληψης. Η ορθολογική χρήση, η παρακολούθηση των υπολειμμάτων, η εκπαίδευση των

33 Neves, A. P., et al. (2023). Urinary dialkylphosphate metabolites in the assessment of occupational and environmental exposure to organophosphate pesticides: An integrative review. Environmental Science and Pollution Research.

χρηστών και η προώθηση εναλλακτικών πρακτικών αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη μείωση των κινδύνων.

6. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Η χρήση των φωσφορικών και, ειδικότερα, των οργανοφωσφορικών ενώσεων δεν μπορεί να εξετάζεται ανεξάρτητα από το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την παραγωγή, την κυκλοφορία, την εφαρμογή και τον έλεγχο τους. Η τοξικότητα αρκετών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, η πιθανότητα ύπαρξης υπολειμμάτων στα τρόφιμα και ο κίνδυνος ρύπανσης των υδάτων και του εδάφους καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη κανόνων σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

Οι κανονιστικές ρυθμίσεις αποσκοπούν αφενός στην προστασία της δημόσιας υγείας και αφετέρου στη διατήρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας. Για τον λόγο αυτό προβλέπονται ανώτατα όρια υπολειμμάτων, διαδικασίες έγκρισης δραστικών ουσιών, συστήματα παρακολούθησης, έλεγχοι στις αγορές τροφίμων και απαιτήσεις πιστοποίησης για τους επαγγελματίες χρήστες.

6.1 Διεθνές και Ευρωπαϊκό πλαίσιο

Σε διεθνές επίπεδο, οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας και ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας εκδίδουν κατευθυντήριες οδηγίες για την ασφαλή παρουσία χημικών ουσιών στα τρόφιμα και στο νερό. Οι οδηγίες αυτές λειτουργούν ως βάση για την ανάπτυξη εθνικών και περιφερειακών πολιτικών, καθώς προσδιορίζουν αποδεκτά επίπεδα έκθεσης και συμβάλλουν στην αξιολόγηση κινδύνου.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η διαχείριση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και των χημικών ουσιών στηρίζεται σε ένα εκτεταμένο σύστημα κανονισμών και οδηγιών. Το πλαίσιο αυτό θέτει περιορισμούς στη διάθεση επικίνδυνων ουσιών, καθορίζει όρια υπολειμμάτων και επιβάλλει διαδικασίες ελέγχου πριν από την έγκριση μιας δραστικής ουσίας ή ενός σκευάσματος.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η Οδηγία 2000/60/EK³⁴, γνωστή ως Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα, η οποία θεσπίστηκε με στόχο την προστασία των επιφανειακών, υπόγειων και πόσιμων υδάτων. Στο πλαίσιο αυτό δίνεται έμφαση στον περιορισμό των ουσιών που επιβαρύνουν τα υδάτινα οικοσυστήματα, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και δραστικές ουσίες φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο που αναφέρεται στην εργασία, η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση κάθε επιμέρους δραστικής ουσίας στα ύδατα είναι 0,1 µg/L, ενώ η συνολική συγκέντρωση περισσότερων γεωργικών φαρμάκων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,5 µg/L. Τα όρια αυτά αποσκοπούν στη μείωση της έκθεσης του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων σε υπολείμματα φυτοφαρμάκων.

Ο Κανονισμός (ΕΚ) 396/2005 καθορίζει τα μέγιστα όρια υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων³⁵ σε τρόφιμα και ζωοτροφές φυτικής και ζωικής προέλευσης. Μέσω του κανονισμού αυτού επιδιώκεται η εναρμόνιση των κρατών-μελών ως προς τα επιτρεπόμενα επίπεδα υπολειμματικότητας, ώστε τα προϊόντα που κυκλοφορούν στην ευρωπαϊκή αγορά να πληρούν κοινές προδιαγραφές ασφάλειας.

Παράλληλα, ο Κανονισμός (ΕΚ) 1907/2006, γνωστός ως REACH, αφορά την καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμό των χημικών ουσιών. Η σημασία του έγκειται στο ότι ενισχύει την ευθύνη των παραγωγών και των εισαγωγέων για την τεκμηρίωση της ασφάλειας των χημικών προϊόντων, ενώ ταυτόχρονα παρέχει μηχανισμούς περιορισμού ουσιών υψηλού κινδύνου.

Η διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν από τη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων αποτελεί επίσης κρίσιμο ζήτημα. Οι κενές συσκευασίες, τα υπολείμματα σκευασμάτων και τα ρυπασμένα υλικά πρέπει να συλλέγονται και να απορρίπτονται με ασφαλή τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η δευτερογενής ρύπανση εδάφους και υδάτων. Η Οδηγία 2009/128/EK για την αειφόρο χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων εισάγει την

³⁴ European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities.

³⁵ European Parliament and Council. (2005). Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin. Official Journal of the European Union.

υποχρέωση των κρατών-μελών να καταρτίζουν Εθνικά Σχέδια Δράσης. Κεντρικός σκοπός της είναι η μείωση των κινδύνων που απορρέουν από τη χρήση φυτοφαρμάκων και η προώθηση πρακτικών ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας.

Τέλος, ο Κανονισμός (ΕΚ) 1107/2009 καθορίζει τις προϋποθέσεις έγκρισης³⁶ και διάθεσης των φυτοπροστατευτικών προϊόντων στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Περιλαμβάνει κριτήρια επικινδυνότητας, τα οποία σχετίζονται με την πιθανή καρκινογόνο, μεταλλαξιογόνο, τοξική ή ενδοκρινικά διαταρακτική δράση ορισμένων δραστικών ουσιών.

Νομοθετική πράξη / πλαίσιο	Βασικό αντικείμενο	Σημασία για τις φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις
Οδηγία 2000/60/ΕΚ	Προστασία και διαχείριση υδάτινων πόρων.	Θέτει στόχους για τη μείωση ρύπων στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.
Κανονισμός (ΕΚ) 396/2005	Μέγιστα όρια υπολειμμάτων σε τρόφιμα και ζωτροφές.	Ελέγχει την παρουσία υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στην τροφική αλυσίδα.
Κανονισμός (ΕΚ) 1907/2006 - REACH	Καταχώριση, αξιολόγηση και περιορισμός χημικών ουσιών.	Ενισχύει τον έλεγχο ουσιών που παρουσιάζουν πιθανό κίνδυνο για υγεία και περιβάλλον.
Οδηγία 2009/128/ΕΚ	Αειφόρος χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων.	Προωθεί την ολοκληρωμένη φυτοπροστασία και τη μείωση της εξάρτησης από χημικά σκευάσματα.
Κανονισμός (ΕΚ) 1107/2009	Έγκριση και διάθεση φυτοπροστατευτικών προϊόντων.	Καθορίζει κριτήρια έγκρισης ή απόρριψης δραστικών ουσιών βάσει επικινδυνότητας.

³⁶ European Parliament and Council. (2009). Regulation (EC) No 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market. Official Journal of the European Union.

6.2 Εθνική νομοθεσία και έλεγχοι

Στην Ελλάδα, η αρμόδια αρχή για τη διακίνηση, την έγκριση και τον έλεγχο των γεωργικών φαρμάκων είναι το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Η εθνική νομοθεσία εναρμονίζεται με το ευρωπαϊκό πλαίσιο και περιλαμβάνει ελέγχους σε προϊόντα, καλλιέργειες, σημεία διάθεσης και αγορές τροφίμων.

Στο πλαίσιο των ελέγχων αυτών καθορίζονται μέγιστα όρια υπολειμμάτων για κάθε δραστική ουσία, πραγματοποιούνται δειγματοληψίες σε τρόφιμα και εφαρμόζονται διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης. Η παρακολούθηση των υπολειμμάτων είναι σημαντική, επειδή επιτρέπει τον εντοπισμό πιθανής υπέρβασης των επιτρεπόμενων ορίων και συμβάλλει στην προστασία των καταναλωτών. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει η πιστοποίηση των επαγγελματιών χρηστών φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η εκπαίδευση των χρηστών θεωρείται απαραίτητη, καθώς η λανθασμένη δοσολογία, ο ακατάλληλος χρόνος εφαρμογής ή η μη τήρηση των οδηγιών ασφαλείας μπορούν να αυξήσουν τόσο την περιβαλλοντική επιβάρυνση όσο και τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Οι βασικοί άξονες ελέγχου σε εθνικό επίπεδο μπορούν να συνοψιστούν στην παρακολούθηση των υπολειμμάτων, στην πιστοποίηση των χρηστών, στην εποπτεία της αγοράς φυτοπροστατευτικών προϊόντων και στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις επισήμανσης και ασφαλούς χρήσης.

Πεδίο ελέγχου	Περιγραφή
Μέγιστα Όρια Υπολειμμάτων	Καθορισμός ανώτατων επιτρεπτών συγκεντρώσεων φυτοφαρμάκων σε τρόφιμα και ζωοτροφές.
Δειγματοληπτικοί έλεγχοι	Έλεγχος καλλιεργειών, τροφίμων και προϊόντων που διατίθενται στην αγορά.
Πιστοποίηση χρηστών	Απαιτήση γνώσεων για την ασφαλή εφαρμογή και τον χειρισμό φυτοπροστατευτικών προϊόντων.
Επισήμανση προϊόντων	Υποχρεωτική αναγραφή δραστικών ουσιών, οδηγιών χρήσης και μέτρων προφύλαξης.
Διαχείριση συσκευασιών	Ασφαλής συλλογή και απόρριψη κενών ή ρυπασμένων συσκευασιών.

6.3 Βιοπαρακολούθηση και χρήση βιοδεικτών³⁷

Πέρα από τους θεσμικούς ελέγχους, σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση της έκθεσης σε χημικούς ρύπους αποτελεί η βιοπαρακολούθηση. Πρόκειται για επιστημονική διαδικασία κατά την οποία μετρώνται χημικές ουσίες ή μεταβολίτες τους σε βιολογικά δείγματα, όπως αίμα, ούρα, μητρικό γάλα ή ακόμη και εκπνεόμενος αέρας.

Η μέθοδος αυτή παρέχει πληροφορίες για την πραγματική ποσότητα μιας ουσίας που έχει εισέλθει στον οργανισμό και παραμένει σε αυτόν. Έτσι, καθίσταται δυνατή η εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης σε περιβαλλοντικούς ρύπους και η συσχέτιση της έκθεσης με πιθανούς κινδύνους για την υγεία.

Οι μελέτες βιοπαρακολούθησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην περίπτωση των παρασιτοκτόνων, καθώς βοηθούν στον εντοπισμό του τρόπου και του βαθμού έκθεσης διαφορετικών πληθυσμιακών ομάδων. Παράλληλα, συμβάλλουν στη διαμόρφωση πολιτικών πρόληψης και στη βελτίωση των κανόνων ασφαλούς χρήσης.

Οι βιοδείκτες διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: βιοδείκτες έκθεσης, βιοδείκτες ευαισθησίας και βιοδείκτες επίδρασης. Κάθε κατηγορία παρέχει διαφορετικού τύπου πληροφορίες και μπορεί να αξιοποιηθεί είτε για την εκτίμηση της παρουσίας μιας ουσίας στον οργανισμό είτε για την αξιολόγηση των βιολογικών συνεπειών της έκθεσης.

Κατηγορία βιοδείκτη	Τι αξιολογεί	Ενδεικτικά δείγματα ή στοιχεία
Βιοδείκτες έκθεσης	Την ποσότητα μιας ουσίας ή των μεταβολιτών της που ανιχνεύεται στον οργανισμό.	Ούρα, αίμα, σάλιο, μητρικό γάλα, λιπώδης ιστός.
Βιοδείκτες ευαισθησίας	Τον βαθμό ευπάθειας ενός οργανισμού απέναντι σε συγκεκριμένο χημικό παράγοντα.	Γενετικοί ή φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόκριση στην έκθεση.

³⁷ Zhang, Q., Yu, J., Wei, Y., Yang, R., Liu, J., Su, Y., Gao, D., & Zeng, J. (2025). Advances in acetylcholinesterase-based biosensing technologies for organophosphorus pesticide detection: A comprehensive review (2020–2024). Food Chemistry, 496, 146769.

Βιοδείκτες επίδρασης	Τις βιολογικές ή λειτουργικές μεταβολές που προκαλούνται μετά την έκθεση.	Μεταβολές σε ένζυμα, κύτταρα, ιστούς ή φυσιολογικές λειτουργίες.
----------------------	---	--

Ως βιοδείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οργανισμοί του περιβάλλοντος, όπως ψάρια, πτηνά, μικροοργανισμοί ή ακόμη και φυτικά είδη. Η αύξηση ή η μείωση ενός πληθυσμού, καθώς και η απουσία ευαίσθητων ειδών από ένα οικοσύστημα, μπορεί να αποτελέσει ένδειξη περιβαλλοντικής διαταραχής.

Στην περίπτωση των οργανοφωσφορικών παρασιτοκτόνων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διακυκλοφοσφορικές ενώσεις, οι οποίες προκύπτουν ως μεταβολίτες πολλών οργανοφωσφορικών ουσιών. Η ανίχνευσή τους στα ανθρώπινα ούρα χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης έκθεσης, επειδή επιτρέπει την έμμεση εκτίμηση της επαφής του οργανισμού με αυτές τις ουσίες.

Παράδειγμα χρήσης βιοδεικτών αποτελεί και η μελέτη συσχετίσεων μεταξύ προγεννητικής έκθεσης σε επίμονες χημικές ουσίες και πιθανών επιδράσεων στην ανάπτυξη των παιδιών. Στην εργασία αναφέρεται ενδεικτικά έρευνα στην οποία χρησιμοποιήθηκαν επίπεδα DDE στο αίμα ως βιοδείκτης έκθεσης σε DDT. Τέτοιες μελέτες δεν πρέπει να ερμηνεύονται μεμονωμένα ως απόδειξη αιτιότητας, αλλά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων σε συνδυασμό με άλλους γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Συνολικά, η νομοθεσία, οι έλεγχοι, η βιοπαρακολούθηση και η χρήση βιοδεικτών λειτουργούν συμπληρωματικά. Το θεσμικό πλαίσιο θέτει τα όρια και τις υποχρεώσεις, ενώ οι επιστημονικές μέθοδοι παρακολούθησης επιτρέπουν την αξιολόγηση της πραγματικής έκθεσης ανθρώπων και οικοσυστημάτων. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η πρόληψη, βελτιώνεται η ασφάλεια των τροφίμων και περιορίζονται οι πιθανές επιπτώσεις των φωσφορικών και οργανοφωσφορικών ενώσεων στο περιβάλλον.

7. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Η ασφαλής διαχείριση των φωσφορικών και οργανοφωσφορικών ενώσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την προστασία του περιβάλλοντος, της δημόσιας υγείας και της ποιότητας της αγροτικής παραγωγής. Οι ενώσεις αυτές, παρότι συμβάλλουν ουσιαστικά στη γεωργική παραγωγικότητα και σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, απαιτούν αυστηρούς κανόνες χρήσης, συστηματικό έλεγχο και εφαρμογή πρακτικών που περιορίζουν την ανεξέλεγκτη διάχυσή τους στο έδαφος, στο νερό και στην τροφική αλυσίδα.

Οι κανονισμοί ασφάλειας και ποιότητας δεν περιορίζονται μόνο στη νομοθετική συμμόρφωση. Συνδέονται επίσης με την καθημερινή πρακτική των παραγωγών, τη σωστή ενημέρωση των χρηστών, την επιλογή λιγότερο επιβαρυντικών μεθόδων και την υπεύθυνη διαχείριση των αποβλήτων. Με τον τρόπο αυτό, η πρόληψη αποκτά κεντρικό ρόλο και περιορίζεται η ανάγκη εκ των υστέρων αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προβλημάτων.

7.1 Ορθές Γεωργικές Πρακτικές και Ολοκληρωμένη Φυτοπροστασία³⁸

Η Ορθή Γεωργική Πρακτική περιλαμβάνει ένα σύνολο κανόνων και διαδικασιών που αποσκοπούν στην παραγωγή ασφαλών και ποιοτικών γεωργικών προϊόντων, χωρίς να υποβαθμίζεται το φυσικό περιβάλλον. Στην περίπτωση των οργανοφωσφορικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, η εφαρμογή αυτών των πρακτικών είναι ιδιαίτερα σημαντική, επειδή οι ουσίες αυτές παρουσιάζουν τοξικότητα και μπορούν να επηρεάσουν οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο της εφαρμογής.

Βασική αρχή αποτελεί η ακριβής διάγνωση των εχθρών και των ασθενειών πριν από οποιαδήποτε επέμβαση. Ο ψεκασμός δεν πρέπει να πραγματοποιείται προληπτικά ή αλόγιστα, αλλά μόνο όταν υπάρχει πραγματική ανάγκη και όταν έχει προηγηθεί αξιολόγηση της καλλιέργειας. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η περιττή χρήση χημικών σκευασμάτων και μειώνεται η πιθανότητα ρύπανσης του εδάφους και των υδάτων.

³⁸ European Parliament and Council. (2009). Directive 2009/128/EC establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Official Journal of the European Union.

Εξίσου σημαντική είναι η αυστηρή τήρηση των οδηγιών που αναγράφονται στην ετικέτα κάθε προϊόντος. Η δοσολογία, ο χρόνος εφαρμογής, το μεσοδιάστημα μεταξύ των ψεκασμών και ο χρόνος αναμονής πριν από τη συγκομιδή πρέπει να ακολουθούνται με ακρίβεια. Η υπέρβαση των συνιστώμενων δόσεων δεν αυξάνει απαραίτητα την αποτελεσματικότητα, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα υπολείμματα, φυτοτοξικότητα και αυξημένο περιβαλλοντικό κίνδυνο.

Η χρήση κατάλληλου ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού είναι απαραίτητη για την προστασία του χειριστή. Γάντια, μάσκα, ειδική φόρμα, γυαλιά και κατάλληλα υποδήματα μειώνουν την πιθανότητα εισπνοής, κατάποσης ή δερματικής απορρόφησης των δραστικών ουσιών. Παράλληλα, η προστασία των νεαρών φυτών, των επικονιαστών και της ωφέλιμης εντομοπανίδας επιτυγχάνεται με στοχευμένες παρεμβάσεις και αποφυγή ψεκασμών σε περιόδους ανθοφορίας ή έντονης δραστηριότητας των μελισσών.

Η ολοκληρωμένη φυτοπροστασία στηρίζεται στον συνδυασμό πολλών μεθόδων αντιμετώπισης³⁹ των εχθρών των καλλιεργειών. Η χημική καταπολέμηση αποτελεί την τελευταία επιλογή και εφαρμόζεται μόνο όταν οι υπόλοιπες πρακτικές δεν επαρκούν. Έτσι, ενισχύεται η αειφορία της γεωργίας, περιορίζεται η εξάρτηση από τα συνθετικά φυτοπροστατευτικά προϊόντα και προστατεύεται η βιοποικιλότητα.

Πίνακας 7.1: Βασικά μέτρα ορθής χρήσης φυτοπροστατευτικών προϊόντων

Μέτρο	Στόχος	Περιβαλλοντικό/υγειονομικό όφελος
Διάγνωση πριν από τον ψεκασμό	Αποφυγή άσκοπων εφαρμογών	Μείωση χημικής επιβάρυνσης
Τήρηση δόσης και χρόνου εφαρμογής	Αποτελεσματική και ελεγχόμενη χρήση	Περιορισμός υπολειμμάτων και ρύπανσης
Ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός	Προστασία του χειριστή	Μείωση κινδύνου δηλητηρίασης
Στοχευμένες παρεμβάσεις	Προστασία ωφέλιμων οργανισμών	Διατήρηση βιοποικιλότητας
Σαφής επισήμανση προϊόντων	Ορθή ενημέρωση του χρήστη	Ασφαλέστερη εφαρμογή και αποθήκευση

³⁹ FAO. (n.d.). Integrated Pest Management (IPM). Pest and Pesticide Management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

7.2 Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης και λίπανσης

Η μείωση της χρήσης συνθετικών φωσφορικών ενώσεων και οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων μπορεί να επιτευχθεί μέσω εναλλακτικών μεθόδων φυτοπροστασίας και θρέψης των φυτών. Οι μέθοδοι αυτές δεν καταργούν απαραίτητα κάθε χημική παρέμβαση, αλλά περιορίζουν την ανάγκη συχνής και έντονης εφαρμογής της.

Η βιολογική καταπολέμηση βασίζεται στη χρήση φυσικών εχθρών των επιβλαβών εντόμων, όπως αρπακτικά ακάρεα, παρασιτοειδή και ωφέλιμα έντομα. Με αυτόν τον τρόπο, ο πληθυσμός των εχθρών της καλλιέργειας μπορεί να περιοριστεί χωρίς εκτεταμένη χρήση τοξικών σκευασμάτων. Παράλληλα, οι φερομονικές παγίδες και τα φυτά-παγίδες αποτελούν πρακτικές που βοηθούν στην παρακολούθηση ή στη μείωση των πληθυσμών των εντόμων με φυσικότερο τρόπο.

Στον τομέα της λίπανσης, η οργανική λίπανση μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανάγκης για συνθετικά φωσφορικά λιπάσματα. Η χρήση κομπόστ, χωνεμένης κοπριάς και άλλων οργανικών υλικών βελτιώνει τη δομή του εδάφους, αυξάνει τη γονιμότητά του και ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα. Έτσι, τα θρεπτικά στοιχεία γίνονται διαθέσιμα στα φυτά με πιο σταδιακό και ισορροπημένο τρόπο.

Πίνακας 7.2: Εναλλακτικές πρακτικές για μείωση χημικής επιβάρυνσης

Πρακτική	Περιγραφή	Κύριο πλεονέκτημα
Βιολογική καταπολέμηση	Χρήση φυσικών εχθρών επιβλαβών εντόμων	Μείωση εντομοκτόνων
Φερομονικές παγίδες	Παρακολούθηση ή παγίδευση εντόμων	Στοχευμένη αντιμετώπιση
Φυτά-παγίδες	Προσέλκυση εχθρών σε συγκεκριμένα φυτά	Προστασία κύριας καλλιέργειας
Οργανική λίπανση	Χρήση κομπόστ, κοπριάς και οργανικών υλικών	Βελτίωση γονιμότητας εδάφους

7.3 Διαχείριση βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων

Η προστασία των υδάτινων αποδεκτών από την υπερβολική εισροή φωσφορικών δεν αφορά μόνο τη γεωργική δραστηριότητα, αλλά και τη βιομηχανία και τα αστικά λύματα. Τα φωσφορικά ιόντα που καταλήγουν σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες μπορούν να συμβάλουν στην εμφάνιση ευτροφισμού, με αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού, τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και τη διατάραξη των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Για τον λόγο αυτό, η εγκατάσταση και η σωστή λειτουργία μονάδων βιολογικού καθαρισμού είναι καθοριστικής σημασίας. Οι σύγχρονες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη συγκέντρωση φωσφορικών πριν από την τελική απόρριψη των υγρών αποβλήτων. Η αποτελεσματικότητα αυτών των μονάδων εξαρτάται από τη συστηματική συντήρηση, τον τεχνικό έλεγχο και την παρακολούθηση της ποιότητας των εκροών.

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία έχει η ανάπτυξη και χρήση απορρυπαντικών με μειωμένη ή μηδενική περιεκτικότητα σε φωσφορικά. Η αντικατάσταση των επιβαρυντικών συστατικών με πιο φιλικές προς το περιβάλλον ουσίες μπορεί να μειώσει την είσοδο φωσφόρου στα αστικά λύματα και να περιορίσει την πίεση που δέχονται τα υδάτινα οικοσυστήματα.

7.4 Ενημέρωση και εκπαίδευση των χρηστών

Η ενημέρωση των χρηστών αποτελεί βασικό παράγοντα⁴⁰ για την επιτυχημένη εφαρμογή των κανόνων ασφάλειας και ποιότητας. Ακόμη και το αυστηρότερο νομοθετικό πλαίσιο δεν μπορεί να αποδώσει πλήρως, εάν οι παραγωγοί, οι επαγγελματίες χρήστες και οι καταναλωτές δεν γνωρίζουν τους κινδύνους που συνδέονται με την αλόγιστη χρήση χημικών ουσιών.

Τα σεμινάρια και τα προγράμματα επιμόρφωσης των αγροτών μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση των οδηγιών χρήσης, των μέτρων προστασίας, των εναλλακτικών

40 FAO. (2023). Pesticide lifecycle management: Facilitating safer and greener agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

λύσεων και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εκπαίδευση σχετικά με την ανάγνωση της ετικέτας, την ασφαλή αποθήκευση των σκευασμάτων, τη διαχείριση των κενών συσκευασιών και την ορθή απόρριψη των υπολειμμάτων.

Επιπλέον, η ευαισθητοποίηση του κοινού μπορεί να οδηγήσει σε πιο υπεύθυνες καταναλωτικές επιλογές. Η προτίμηση προϊόντων που παράγονται με πιο βιώσιμες μεθόδους, η μείωση της υπερβολικής χρήσης απορρυπαντικών και η ενημέρωση για τους κινδύνους των χημικών ουσιών ενισχύουν συνολικά την περιβαλλοντική προστασία.

7.5 Συνολική αξιολόγηση

Συμπερασματικά, οι κανόνες ασφάλειας και ποιότητας συνδέονται άμεσα με την ορθολογική χρήση των φωσφορικών ενώσεων και των οργανοφωσφορικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η πρόληψη, η εκπαίδευση, η εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών και η αξιοποίηση εναλλακτικών μεθόδων μπορούν να περιορίσουν τους κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Οι Κώδικες Ορθής Γεωργικής Πρακτικής λειτουργούν ως ένα πλαίσιο περιβαλλοντικών δεσμεύσεων για τους παραγωγούς. Περιλαμβάνουν κανόνες που αφορούν την κατεργασία του εδάφους, τη λίπανση, τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, τη χρήση εξοπλισμού και ενέργειας, την αντιμετώπιση ασθενειών, τη συγκομιδή, τη διαχείριση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και τη διαχείριση των απορριμμάτων. Η τήρησή τους συμβάλλει στην αειφόρο αγροτική ανάπτυξη και στην παραγωγή προϊόντων υψηλότερης ποιότητας και ασφάλειας.

8. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ (CASE STUDIES)

Οι μελέτες περίπτωσης βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσει η χρήση φωσφορικών ενώσεων και οργανοφωσφορικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα γίνεται πιο σαφές ότι οι επιπτώσεις δεν περιορίζονται μόνο στο σημείο εφαρμογής, αλλά μπορούν να επεκταθούν σε ευρύτερες λεκάνες απορροής, σε υδάτινα οικοσυστήματα, σε επικονιαστές και τελικά στην αγροτική παραγωγή και στη δημόσια υγεία.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις: η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε γεωργικές λεκάνες απορροής, οι επιπτώσεις οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων στα μελισσοσμήνη⁴¹ και οι τεχνικές απορρύπανσης υδάτων από φωσφορικά. Οι περιπτώσεις αυτές αναδεικνύουν την ανάγκη για πρόληψη, παρακολούθηση και εφαρμογή βιώσιμων λύσεων.

8.1 Χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε λεκάνες απορροής

Σε γεωργικές περιοχές με έντονη παραγωγική δραστηριότητα, όπως οι πεδιάδες της Θεσσαλίας και η πεδινή Αργολίδα, η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων συμβάλλει στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και στην αύξηση της παραγωγής. Ωστόσο, όταν η λίπανση δεν βασίζεται στις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας και του εδάφους, μέρος των φωσφορικών ενώσεων μπορεί να παραμείνει αχρησιμοποίητο και να μεταφερθεί στο περιβάλλον.

Η μεταφορά αυτή πραγματοποιείται κυρίως μέσω της επιφανειακής απορροής, ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις ή υπερβολική άρδευση. Τα φωσφορικά μπορούν να καταλήξουν σε ποτάμια, λίμνες και παράκτιες περιοχές, προκαλώντας αύξηση των θρεπτικών συστατικών στα νερά. Το φαινόμενο αυτό ευνοεί την υπερβολική ανάπτυξη φυκών και φυτοπλαγκτού, οδηγώντας σε ευτροφισμό, μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και υποβάθμιση της ποιότητας του υδάτινου οικοσυστήματος.

⁴¹ Ayoub, L., Yaqoob, M., Kanth, R. H., Wani, F. J., Shah, Z. A., Dar, E. A., Wani, F. F., Mir, M. S., Naikoo, N. B., Gull, A., Arif, U., Alwasel, Y. A., & Alwahibi, M. S. (2024). Exposure to organophosphate insecticides induces behavioral changes and acetylcholinesterase inhibition in *Apis mellifera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287, 117279.

Παράλληλα, σε ορισμένες περιπτώσεις η διήθηση μπορεί να οδηγήσει σε επιβάρυνση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Αν και ο φώσφορος δεσμεύεται συχνά από τα σωματίδια του εδάφους, η μακροχρόνια και υπερβολική λίπανση αυξάνει τον κίνδυνο συσσώρευσης και μεταφοράς του. Επομένως, η ορθολογική λίπανση, η ανάλυση εδάφους, η δημιουργία ζωνών ανάσχεσης κοντά σε υδάτινους αποδέκτες και η σωστή διαχείριση της άρδευσης αποτελούν αναγκαία μέτρα πρόληψης.

Πίνακας 8.1: Περιβαλλοντική διάσταση της χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων

Πηγή επιβάρυνσης	Μηχανισμός μεταφοράς	Πιθανή επίπτωση	Προτεινόμενο μέτρο
Υπερβολική λίπανση	Απορροή προς επιφανειακά νερά	Ευτροφισμός και υποβάθμιση υδάτων	Λίπανση βάσει εδαφολογικής ανάλυσης
Έντονη βροχόπτωση ή άρδευση	Μεταφορά σωματιδίων εδάφους	Αύξηση θρεπτικών φορτίων	Ζώνες ανάσχεσης και φυτοκάλυψη
Μακροχρόνια χρήση φωσφορικών	Συσσώρευση στο έδαφος	Κίνδυνος μεταφοράς σε υδροφόρους	Περιοδικός έλεγχος εδάφους και νερού

8.2 Επιπτώσεις οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων σε μελισσοσμήνη

Τα μελισσοσμήνη αποτελούν σημαντικό δείκτη της οικολογικής ισορροπίας, καθώς οι μέλισσες συμβάλλουν καθοριστικά στην επικονίαση πολλών καλλιεργειών και άγριων φυτών. Η αλόγιστη χρήση οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων, ιδίως κατά την περίοδο της ανθοφορίας, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές απώλειες στους πληθυσμούς των μελισσών.

Οι ψεκασμοί κατά τις ώρες έντονης δραστηριότητας των επικονιαστών αυξάνουν την πιθανότητα άμεσης επαφής των μελισσών με τις δραστικές ουσίες. Επιπλέον, τα υπολείμματα που παραμένουν στα άνθη, στη γύρη ή στο νέκταρ μπορούν να μεταφερθούν στην κυψέλη, επηρεάζοντας όχι μόνο τις συλλέκτριες μέλισσες, αλλά και τη συνολική λειτουργία του μελισσιού.

Οι συνέπειες δεν είναι μόνο οικολογικές, αλλά και οικονομικές. Η μείωση των μελισσοσμηνών περιορίζει την επικονίαση των καλλιεργειών, επηρεάζει την παραγωγή καρπών και μειώνει την παραγωγή μελιού. Για τον λόγο αυτό, η αποφυγή ψεκασμών κατά την

ανθοφορία, η ενημέρωση των μελισσοκόμων πριν από την εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων και η επιλογή λιγότερο τοξικών σκευασμάτων αποτελούν βασικά μέτρα προστασίας.

Πίνακας 8.2: Κίνδυνοι για τα μελισσοσμήνη και μέτρα πρόληψης

Παράγοντας κινδύνου	Πιθανή συνέπεια	Μέτρο πρόληψης
Ψεκασμός στην ανθοφορία	Αυξημένη θνησιμότητα μελισσών	Αποφυγή εφαρμογών σε ανθισμένες καλλιέργειες
Ψεκασμός σε ώρες πτήσης	Άμεση έκθεση επικονιαστών	Εφαρμογή σε ώρες χαμηλής δραστηριότητας
Υπολείμματα σε γύρη και νέκταρ	Μεταφορά ρύπων στην κυψέλη	Επιλογή λιγότερο τοξικών σκευασμάτων
Έλλειψη ενημέρωσης μελισσοκόμων	Απώλειες κυψελών και παραγωγής	Έγκαιρη ειδοποίηση πριν από ψεκασμούς

8.3 Παραδείγματα απορρύπανσης υδάτων

Η απορρύπανση υδάτων που έχουν επιβαρυνθεί με φωσφορικές ενώσεις αποτελεί σημαντικό πεδίο περιβαλλοντικής διαχείρισης. Σε αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν εφαρμοστεί τεχνικές που βασίζονται σε φυσικές ή ημιφυσικές διεργασίες, με στόχο τη μείωση των φωσφορικών πριν αυτά καταλήξουν σε ευαίσθητους υδάτινους αποδέκτες.

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις είναι η χρήση τεχνητών υγροτόπων. Οι τεχνητοί υγρότοποι λειτουργούν ως συστήματα φυσικού καθαρισμού, στα οποία τα φυτά, το υπόστρωμα και οι μικροοργανισμοί συμβάλλουν στη δέσμευση, απομάκρυνση ή μετατροπή των ρύπων. Στην περίπτωση των φωσφορικών, σημαντικό ρόλο παίζουν η προσρόφηση στο υπόστρωμα, η καθίζηση και η πρόσληψη από τη φυτική βιομάζα.

Επιπλέον, οι υγροί βιοαντιδραστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία βιομηχανικών ή αγροτικών αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν μικροβιακές διεργασίες και ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας, ώστε να μειώνεται το φορτίο ρύπανσης πριν από την τελική διάθεση των υγρών αποβλήτων. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό, την παρακολούθηση των εισροών και εκροών και τη συστηματική συντήρηση.

Πίνακας 8.3: Ενδεικτικές τεχνικές απορρύπανσης υδάτων από φωσφορικά

Τεχνική	Βασική λειτουργία	Πλεονέκτημα	Περιορισμός
Τεχνητοί υγρότοποι	Φυσική δέσμευση και απομάκρυνση ρύπων	Χαμηλό λειτουργικό κόστος	Απαιτούν χώρο και σωστή συντήρηση
Υγροί βιοαντιδραστήρες	Μικροβιακή επεξεργασία αποβλήτων	Ελεγχόμενη και στοχευμένη λειτουργία	Ανάγκη τεχνικής παρακολούθησης
Βιολογικός καθαρισμός	Μείωση θρεπτικών φορτίων στα λύματα	Κατάλληλος για αστικά και βιομηχανικά λύματα	Απαιτεί συνεχή λειτουργικό έλεγχο

8.4 Συνολική αξιολόγηση των μελετών περίπτωσης

Οι παραπάνω περιπτώσεις δείχνουν ότι η ρύπανση από φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις είναι σύνθετο ζήτημα, καθώς συνδέεται με τη γεωργική παραγωγή, τη διαχείριση των υδάτων, τη βιοποικιλότητα και την οικονομική δραστηριότητα. Η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων μπορεί να είναι αναγκαία για την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, όμως η υπερβολική ή ακατάλληλη εφαρμογή τους δημιουργεί κινδύνους για τα υδάτινα οικοσυστήματα.

Αντίστοιχα, τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα μπορούν να είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση επιβλαβών εντόμων, αλλά η λανθασμένη χρήση τους επηρεάζει σημαντικούς οργανισμούς, όπως οι μέλισσες. Τέλος, οι τεχνικές απορρύπανσης, όπως οι τεχνητοί υγρότοποι και οι βιοαντιδραστήρες, αποδεικνύουν ότι υπάρχουν πρακτικές λύσεις, εφόσον συνδυάζονται με πρόληψη, τεχνικό έλεγχο και συνεχή περιβαλλοντική παρακολούθηση.

Συνεπώς, η αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων απαιτεί συνδυασμό μέτρων: ορθολογική χρήση εισροών, προστασία των επικονιαστών, έλεγχο της ποιότητας των υδάτων, εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών απορρύπανσης και εκπαίδευση των εμπλεκόμενων χρηστών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγικότητα και την προστασία του περιβάλλοντος.

9. ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η ανάγκη για περισσότερο βιώσιμες και περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές στη γεωργία έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων παραγωγής τροφίμων. Η βιολογική καλλιέργεια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις, καθώς βασίζεται στη μείωση των συνθετικών χημικών εισροών και στην αξιοποίηση φυσικών μηχανισμών που στηρίζουν τη γονιμότητα του εδάφους, την υγεία των φυτών και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η βιολογική γεωργία εξετάζεται ως μία πρακτική απάντηση στα προβλήματα που συνδέονται με την υπερβολική χρήση φωσφορικών λιπασμάτων και οργανοφωσφορικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η προσέγγιση αυτή δεν περιορίζεται στην απλή αντικατάσταση ενός σκευάσματος με κάποιο άλλο, αλλά προϋποθέτει συνολική αλλαγή στη διαχείριση της καλλιέργειας, του εδάφους, του νερού και των οργανισμών που συμμετέχουν στο αγροοικοσύστημα.

9.1 Έννοια και βασικές αρχές της βιολογικής γεωργίας⁴²

Ως βιολογική καλλιέργεια νοείται ένα σύστημα γεωργικής παραγωγής στο οποίο αποφεύγεται η χρήση συνθετικών λιπασμάτων, χημικών γεωργικών φαρμάκων, ορμονών και τεχνητών πρόσθετων ουσιών. Βασικός στόχος είναι η παραγωγή ασφαλών και ποιοτικών γεωργικών προϊόντων, με μεθόδους που σέβονται τους φυσικούς πόρους και περιορίζουν τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στα ζώα και στο περιβάλλον.

Η βιολογική γεωργία στηρίζεται στην πρόληψη και όχι αποκλειστικά στην εκ των υστέρων αντιμετώπιση των προβλημάτων. Για τον λόγο αυτό δίνεται έμφαση στην επιλογή κατάλληλων ποικιλιών, στη διατήρηση της εδαφικής γονιμότητας, στη σωστή διαχείριση της άρδευσης, στη χρήση οργανικών υλικών και στην ενίσχυση της φυσικής βιοποικιλότητας. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ανάγκη για έντονες χημικές παρεμβάσεις.

Το θεσμικό πλαίσιο της βιολογικής παραγωγής αποσκοπεί στη διαμόρφωση ενός συστήματος αειφόρου διαχείρισης της γεωργίας. Η εφαρμογή του απαιτεί έλεγχο των εισροών,

⁴² European Parliament and Council. (2018). Regulation (EU) 2018/848 on organic production and labelling of organic products. Official Journal of the European Union.

τήρηση κανόνων παραγωγής, πιστοποίηση και παρακολούθηση, ώστε τα προϊόντα που χαρακτηρίζονται ως βιολογικά να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιότητας και ασφάλειας.

Πίνακας 9.1: Βασικές αρχές της βιολογικής καλλιέργειας

Αρχή	Περιγραφή	Περιβαλλοντική σημασία
Μείωση συνθετικών εισροών	Αποφυγή χημικών φυτοφαρμάκων και συνθετικών λιπασμάτων	Περιορισμός ρύπανσης εδάφους και υδάτων
Πρόληψη προβλημάτων	Έμφαση σε καλλιεργητικές πρακτικές που μειώνουν την εμφάνιση ασθενειών	Μικρότερη ανάγκη για παρεμβάσεις
Διατήρηση γονιμότητας	Χρήση οργανικής ουσίας, κομπόστ και κατάλληλων εναλλαγών καλλιεργειών	Βελτίωση εδαφικής ποιότητας
Προστασία βιοποικιλότητας	Διατήρηση ωφέλιμων οργανισμών και φυσικών εχθρών	Σταθερότερο αγροοικοσύστημα

9.2 Αμειψισπορά και διατήρηση της εδαφικής γονιμότητας

Ένα από τα βασικά προβλήματα της συμβατικής εντατικής γεωργίας είναι η μονοκαλλιέργεια, δηλαδή η συνεχής καλλιέργεια του ίδιου φυτικού είδους στην ίδια έκταση. Η πρακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή εξάντληση συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων, αύξηση φυτοπαθολογικών προβλημάτων και μεγαλύτερη εξάρτηση από λιπάσματα και φυτοπροστατευτικά προϊόντα.

Στη βιολογική γεωργία εφαρμόζεται συχνά η αμειψισπορά, δηλαδή η εναλλαγή διαφορετικών καλλιεργειών στο ίδιο αγροτεμάχιο. Η πρακτική αυτή βοηθά στη διατήρηση της ισορροπίας του εδάφους, καθώς κάθε φυτό έχει διαφορετικές ανάγκες και διαφορετική επίδραση στη χημική και βιολογική σύσταση του εδάφους. Ορισμένες καλλιέργειες καταναλώνουν συγκεκριμένα θρεπτικά στοιχεία, ενώ άλλες μπορούν να συμβάλουν στον εμπλουτισμό ή στη βελτίωση της δομής του εδάφους.

Η αμειψισπορά συμβάλλει επίσης στον περιορισμό των ζιζανίων και στη μείωση της πίεσης από εχθρούς και ασθένειες. Όταν αλλάζει η καλλιέργεια, διακόπτεται ο κύκλος ζωής πολλών παθογόνων οργανισμών και εντόμων που είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένα φυτικά είδη.

Έτσι, μειώνεται η ανάγκη χρήσης χημικών παρασιτοκτόνων και ενισχύεται η φυσική ανθεκτικότητα του αγροοικοσυστήματος.

Πίνακας 9.2: Οφέλη της αμειψισποράς στη βιολογική γεωργία

Πρακτική	Άμεσο αποτέλεσμα	Συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος
Εναλλαγή καλλιεργειών	Καλύτερη αξιοποίηση θρεπτικών στοιχείων	Μείωση ανάγκης υπερβολικής λίπανσης
Χρήση ψυχανθών	Ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους	Περιορισμός συνθετικών λιπασμάτων
Διακοπή κύκλου παθογόνων	Μείωση προσβολών από εχθρούς και ασθένειες	Μικρότερη χρήση φυτοφαρμάκων
Βελτίωση εδαφικής δομής	Αύξηση οργανικής ουσίας και βιολογικής δραστηριότητας	Περιορισμός διάβρωσης και απορροής

9.3 Φυσικά μέσα φυτοπροστασίας και επιτρεπόμενα σκευάσματα

Η βιολογική καλλιέργεια δεν σημαίνει απουσία φυτοπροστασίας, αλλά διαφορετική φιλοσοφία αντιμετώπισης των εχθρών και των ασθενειών. Η προστασία των φυτών βασίζεται κυρίως στην πρόληψη, στη χρήση ανθεκτικών ποικιλιών, στην υγιεινή της καλλιέργειας, στην ενίσχυση των ωφέλιμων οργανισμών και στην εφαρμογή σκευασμάτων που είναι συμβατά με τις αρχές της βιολογικής γεωργίας.

Στα μέσα που μπορούν να αξιοποιηθούν περιλαμβάνονται τα μικροβιακά σκευάσματα, τα φυτικά εκχυλίσματα, οι παγίδες παρακολούθησης και μαζικής παγίδευσης εντόμων, καθώς και ορισμένα προϊόντα ανόργανης προέλευσης που χρησιμοποιούνται υπό συγκεκριμένους όρους. Η επιλογή κάθε μέσου πρέπει να βασίζεται στο είδος της καλλιέργειας, στον εχθρό ή την ασθένεια που εμφανίζεται, στο στάδιο ανάπτυξης του φυτού και στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η στοχευμένη εφαρμογή των επιτρεπόμενων σκευασμάτων. Ακόμη και όταν ένα προϊόν θεωρείται συμβατό με τη βιολογική γεωργία, η αλόγιστη χρήση του μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Για τον λόγο αυτό απαιτείται σωστή διάγνωση του προβλήματος, παρακολούθηση των πληθυσμών των επιβλαβών οργανισμών και εφαρμογή μόνο όταν υπάρχει πραγματική ανάγκη.

Πίνακας 9.3: Ενδεικτικά μέσα φυτοπροστασίας στη βιολογική καλλιέργεια

Μέσο/πρακτική	Τρόπος λειτουργίας	Πλεονέκτημα	Προϋπόθεση ορθής χρήσης
Μικροβιακά σκευάσματα	Αξιοποίηση μικροοργανισμών κατά εχθρών ή παθογόνων	Στοχευμένη δράση	Κατάλληλες συνθήκες εφαρμογής
Φυτικά εκχυλίσματα	Απωθητική ή περιοριστική δράση σε επιβλαβείς οργανισμούς	Μικρότερη χημική επιβάρυνση	Σωστή δοσολογία και χρόνος εφαρμογής
Παγίδες εντόμων	Παρακολούθηση ή μείωση πληθυσμών	Έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων	Συστηματικός έλεγχος παγίδων
Ωφέλιμοι οργανισμοί	Βιολογική καταπολέμηση εχθρών	Ενίσχυση φυσικής ισορροπίας	Προστασία τους από λανθασμένες εφαρμογές

9.4 Τεχνολογικά εργαλεία και περιορισμός της ρύπανσης

Η μετάβαση σε βιώσιμα γεωργικά συστήματα μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά από τη χρήση σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, οι αισθητήρες, η χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων και τα συστήματα εντοπισμού θέσης επιτρέπουν την ακριβέστερη παρακολούθηση των καλλιεργειών και των αναγκών τους.

Η αξιοποίηση τέτοιων εργαλείων μπορεί να βοηθήσει τον παραγωγό να εφαρμόζει τις εισροές μόνο στα σημεία και στις ποσότητες που απαιτούνται. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η υπερβολική λίπανση, μειώνεται η πιθανότητα επιφανειακής απορροής και προστατεύονται οι υδάτινοι αποδέκτες από τη μεταφορά φωσφορικών και άλλων ρύπων.

Παράλληλα, η μείωση των χημικών εισροών μπορεί να έχει και οικονομικά οφέλη. Η ορθολογική χρήση λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών προϊόντων και νερού περιορίζει το κόστος παραγωγής, ενώ η παραγωγή προϊόντων υψηλής περιβαλλοντικής αξίας μπορεί να ενισχύσει τη θέση των παραγωγών στην αγορά.

9.5 Περιβαλλοντικά, υγειονομικά και οικονομικά οφέλη

Οι βιολογικές καλλιέργειες εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με ορισμένες εντατικές συμβατικές πρακτικές. Η μειωμένη χρήση συνθετικών χημικών ουσιών

συμβάλλει στον περιορισμό των υπολειμμάτων στο περιβάλλον και στα τρόφιμα, μειώνοντας τους πιθανούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και για τους οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο της φυτοπροστασίας.

Επιπλέον, η βιολογική γεωργία μπορεί να ενισχύσει τη βιοποικιλότητα. Η παρουσία ωφέλιμων εντόμων, μικροοργανισμών, επικονιαστών και άλλων οργανισμών συμβάλλει στη σταθερότητα του οικοσυστήματος και στη φυσική ρύθμιση των πληθυσμών των επιβλαβών οργανισμών. Έτσι, το αγροτικό περιβάλλον λειτουργεί με μεγαλύτερη ισορροπία και μικρότερη εξάρτηση από χημικές παρεμβάσεις.

Από οικονομική άποψη, η βιολογική παραγωγή μπορεί να αποτελέσει ευκαιρία διαφοροποίησης για τους παραγωγούς. Αν και η μετάβαση απαιτεί προσαρμογή, γνώση και συστηματική παρακολούθηση, μπορεί να οδηγήσει σε προϊόντα με αυξημένη προστιθέμενη αξία. Παράλληλα, η μείωση των εισροών και η καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων μπορούν να συμβάλουν στη μακροχρόνια βιωσιμότητα της εκμετάλλευσής.

Πίνακας 9.4: Συνοπτική αποτίμηση των οφελών της βιολογικής καλλιέργειας

Κατηγορία οφέλους	Ενδεικτική συμβολή	Σύνδεση με το θέμα της εργασίας
Περιβαλλοντικό	Μείωση ρύπανσης εδάφους και υδάτων	Περιορισμός μεταφοράς φωσφορικών και χημικών υπολειμμάτων
Υγειονομικό	Μείωση έκθεσης ανθρώπων και ζώων σε επικίνδυνες ουσίες	Περιορισμός κινδύνων από φυτοπροστατευτικά προϊόντα
Οικολογικό	Ενίσχυση βιοποικιλότητας και ωφέλιμων οργανισμών	Προστασία επικονιαστών και αγροοικοσυστημάτων
Οικονομικό	Προϊόντα με υψηλότερη προστιθέμενη αξία και καλύτερη διαχείριση εισροών	Σύνδεση παραγωγικότητας με βιωσιμότητα

9.6 Συνολική αξιολόγηση

Η βιολογική καλλιέργεια δεν αποτελεί μια απλή τεχνική, αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της γεωργικής παραγωγής. Η συμβολή της στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τις φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις είναι σημαντική, επειδή περιορίζει την εξάρτηση από συνθετικές χημικές ουσίες και ενισχύει τις φυσικές διεργασίες του αγροοικοσυστήματος.

Η εφαρμογή της απαιτεί εκπαίδευση των παραγωγών, συνεχή παρακολούθηση των καλλιεργειών, σωστή επιλογή πρακτικών και συμμόρφωση με τις προδιαγραφές της βιολογικής παραγωγής. Όταν εφαρμόζεται με οργανωμένο τρόπο, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ρύπανσης, στην προστασία της δημόσιας υγείας, στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μοντέλου αγροτικής ανάπτυξης.

Επομένως, η βιολογική γεωργία μπορεί να λειτουργήσει ως ουσιαστική λύση στο πλαίσιο μιας ευρύτερης στρατηγικής περιβαλλοντικής προστασίας. Δεν καταργεί την ανάγκη για επιστημονικό έλεγχο, νομοθετική εποπτεία και ορθές γεωργικές πρακτικές, αλλά τις συμπληρώνει, προσφέροντας μια πιο ισορροπημένη σχέση ανάμεσα στην παραγωγή τροφίμων και στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι φωσφορικές ενώσεις αποτελούν μια ιδιαίτερα σημαντική κατηγορία χημικών ουσιών, καθώς χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της σύγχρονης ζωής, όπως η γεωργία, η βιομηχανία, τα απορρυπαντικά, τα τρόφιμα και διάφορα προϊόντα καθημερινής χρήσης. Η χρησιμότητά τους είναι αδιαμφισβήτητη, αφού συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγικότητας και στην κάλυψη βασικών ανθρώπινων αναγκών. Ωστόσο, η υπερβολική ή μη ορθολογική χρήση τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα του περιβάλλοντος και στη δημόσια υγεία.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι οι φωσφορικές ενώσεις και ιδιαίτερα οι οργανοφωσφορικές ενώσεις δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται μόνο ως χρήσιμα γεωργικά ή βιομηχανικά εργαλεία, αλλά και ως ουσίες που απαιτούν υπεύθυνη διαχείριση. Η παρουσία τους στο έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, στην ατμόσφαιρα και στους ζωντανούς

οργανισμούς μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση, ευτροφισμό, διαταραχή οικοσυστημάτων και τοξικές επιδράσεις σε οργανισμούς μη στόχους.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, καθώς η δράση τους βασίζεται κυρίως στην αναστολή της ακετυλοχολινεστεράσης. Ο μηχανισμός αυτός τα καθιστά αποτελεσματικά απέναντι σε εχθρούς των καλλιεργειών, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τον κίνδυνο για τον άνθρωπο, τα ζώα, τα υδρόβια είδη, τις μέλισσες και άλλους ωφέλιμους οργανισμούς. Συνεπώς, η χρήση τους πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι αναγκαία, με σεβασμό στις οδηγίες εφαρμογής και με συνεχή παρακολούθηση των πιθανών υπολειμμάτων.

Πίνακας 10.1: Κύρια συμπεράσματα της εργασίας

Θεματικός άξονας	Βασικό συμπέρασμα	Αναγκαία κατεύθυνση
Περιβάλλον	Οι φωσφορικές ενώσεις μπορούν να συμβάλουν στη ρύπανση υδάτων και εδαφών.	Συστηματικός έλεγχος και περιορισμός της ανεξέλεγκτης χρήσης.
Δημόσια υγεία	Η έκθεση σε οργανοφωσφορικά μπορεί να συνδεθεί με νευροτοξικές και άλλες επιδράσεις.	Εκπαίδευση χρηστών, προστατευτικός εξοπλισμός και βιοπαρακολούθηση.
Γεωργία	Η χημική φυτοπροστασία παραμένει σημαντική, αλλά δεν πρέπει να εφαρμόζεται αλόγιστα.	Ολοκληρωμένη φυτοπροστασία και ορθές γεωργικές πρακτικές.
Βιώσιμες λύσεις	Η βιολογική καλλιέργεια και οι φυσικές μέθοδοι μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από συνθετικές ουσίες.	Ενίσχυση εναλλακτικών πρακτικών και έρευνα σε λιγότερο τοξικά μέσα.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αναδείχθηκαν είναι η ανεπαρκής γνώση σχετικά με την ορθή χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η λανθασμένη δοσολογία, η εφαρμογή σε ακατάλληλες καιρικές συνθήκες, η μη τήρηση των χρόνων αναμονής και η απουσία μέτρων προστασίας μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τον κίνδυνο για τον χρήστη, τον καταναλωτή και το περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, η εκπαίδευση των παραγωγών και η συνεχής ενημέρωση αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την ασφαλή χρήση των ουσιών αυτών.

Παράλληλα, δεν έχουν αποσαφηνιστεί πλήρως όλοι οι κίνδυνοι που συνδέονται με τη μακροχρόνια έκθεση στα παρασιτοκτόνα. Σε πολλές περιπτώσεις, οι επιπτώσεις δεν εμφανίζονται άμεσα, αλλά μπορεί να σχετίζονται με αθροιστική δράση ή με χρόνια έκθεση σε

μικρές ποσότητες. Για τον λόγο αυτό, η επιστημονική έρευνα πρέπει να συνεχιστεί, ιδιαίτερα ως προς τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, στο ενδοκρινικό και νευρικό σύστημα, καθώς και στη βιοποικιλότητα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη έχουν διαμορφώσει ένα σημαντικό νομοθετικό πλαίσιο για την έγκριση, τη διάθεση, τη χρήση και την παρακολούθηση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Οι κανονισμοί για τα ανώτατα όρια υπολειμμάτων, η επαναξιολόγηση των δραστικών ουσιών⁴³, η βιοπαρακολούθηση και οι κανόνες ορθής γεωργικής πρακτικής αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη μείωση των κινδύνων. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της νομοθεσίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή της στην πράξη.

10.1 Προτάσεις για ορθότερη διαχείριση

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνδέονται με τις φωσφορικές και οργανοφωσφορικές ενώσεις δεν μπορεί να βασιστεί σε ένα μόνο μέτρο. Αντίθετα, απαιτείται ένας συνδυασμός επιστημονικής γνώσης, κρατικού ελέγχου, υπεύθυνης παραγωγικής πρακτικής και περιβαλλοντικής συνείδησης. Η μείωση των κινδύνων μπορεί να επιτευχθεί μέσα από ένα σύνολο στοχευμένων δράσεων:

- συνεχής έλεγχος υπολειμμάτων σε τρόφιμα, νερό και γεωργικά προϊόντα⁴⁴,
- επικαιροποίηση των επιτρεπόμενων ορίων με βάση τα νεότερα επιστημονικά δεδομένα,
- εφαρμογή ολοκληρωμένων σχεδίων φυτοπροστασίας και όχι μηχανική χρήση χημικών σκευασμάτων,

⁴³ European Commission. (2026). EU Pesticides Database: Active substances, authorisations and maximum residue levels. Directorate-General for Health and Food Safety.

⁴⁴ EFSA. (2026). The 2024 European Union report on pesticide residues in food. EFSA Journal, 24(4), e10054.

- εναλλαγή δραστικών ουσιών και χημικών ομάδων, ώστε να περιορίζεται η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στους εχθρούς των καλλιεργειών,
- ενίσχυση της βιολογικής καλλιέργειας, της αμειψισποράς, των φυσικών εχθρών και των μικροβιακών σκευασμάτων,
- βελτίωση της επεξεργασίας λυμάτων και περιορισμός της απόρριψης φωσφορικών αλάτων στο υδάτινο περιβάλλον.

Θετικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι αρκετές οργανοφωσφορικές ενώσεις αποικοδομούνται πιο γρήγορα στο περιβάλλον σε σχέση με παλαιότερες κατηγορίες, όπως οι οργανοχλωριωμένες ενώσεις. Παρ' όλα αυτά, η σχετικά ταχύτερη αποδόμηση δεν αναιρεί την τοξικότητά τους ούτε την ανάγκη αυστηρών κανόνων εφαρμογής. Η νευροτοξική τους δράση και η δυνατότητα πρόκλησης βλαβών σε οργανισμούς μη στόχους επιβάλλουν προσεκτική αξιολόγηση πριν από κάθε χρήση.

Συνολικά, η παρούσα εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας απαιτεί μετάβαση από την αλόγιστη χημική παρέμβαση σε πιο ορθολογικά, ελεγχόμενα και βιώσιμα συστήματα παραγωγής. Η χρήση φωσφορικών και οργανοφωσφορικών ενώσεων πρέπει να περιορίζεται στο απολύτως αναγκαίο, να συνοδεύεται από αυστηρή παρακολούθηση και να εντάσσεται σε μια ευρύτερη στρατηγική βιώσιμης γεωργίας, προστασίας των υδάτων και διατήρησης της βιοποικιλότητας.

Η προώθηση της βιολογικής καλλιέργειας, η εφαρμογή ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας, η χρήση φυσικών και βιολογικών μέσων, η εκπαίδευση των παραγωγών και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευθύνης μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στον περιορισμό των επιπτώσεων. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να επιτευχθεί μια ισορροπία ανάμεσα στην ανάγκη για παραγωγή τροφίμων και στην ανάγκη προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος για τις επόμενες γενιές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12.
- Aroniadou-Anderjaska, V., Figueiredo, T. H., Apland, J. P., & Qashu, F. (2023). Mechanisms of organophosphate toxicity and the role of acetylcholinesterase inhibition. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10789.
- Ayoub, L., Yaqoob, M., Kanth, R. H., Wani, F. J., Shah, Z. A., Dar, E. A., Wani, F. F., Mir, M. S., Naikoo, N. B., Gull, A., Arifie, U., Alwasel, Y. A., & Alwahibi, M. S. (2024). Exposure to organophosphate insecticides induces behavioral changes and acetylcholinesterase inhibition in *Apis mellifera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287, 117279.
- Čadež, T., Kolić, D., Šinko, G., & Kovarik, Z. (2021). Assessment of four organophosphorus pesticides as inhibitors of human acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *Scientific Reports*, 11, 21486.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.
- Chen, Y., Yang, Z., Nian, B., Yu, C., Maimaiti, D., Chai, M., Yang, X., Zang, X., & Xu, D. (2024). Mechanisms of neurotoxicity of organophosphate pesticides and their relation to neurological disorders. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 20, 2237–2254.
- EFSA. (2019). Statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of chlorpyrifos. *EFSA Journal*, 17(8), 5809.
- EFSA. (2019). Statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of chlorpyrifos-methyl. *EFSA Journal*, 17(8), 5810.
- EFSA. (2022). Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. *EFSA Journal*, 20(1), 7032.
- EFSA. (2026). The 2024 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 24(4), e10054.
- European Commission. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/18 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos. *Official Journal of the European Union*.
- European Commission. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/17 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos-methyl. *Official Journal of the European Union*.
- European Commission. (2023). Critical raw materials for the EU: Fifth list and related materials, including phosphorus and phosphate rock. Brussels: European Commission.
- European Commission. (2026). EU Pesticides Database: Active substances, authorisations and maximum residue levels. Directorate-General for Health and Food Safety.
- European Environment Agency. (2024). Europe's state of water 2024: The need for improved water resilience. EEA Report 07/2024. Copenhagen: European Environment Agency.
- European Environment Agency. (2025). Nutrients in freshwater in Europe. Indicator assessment. Copenhagen: European Environment Agency.

- European Environment Agency. (2025). Pesticides in rivers, lakes and groundwater in Europe. Copenhagen: European Environment Agency.
- European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities.
- European Parliament and Council. (2004). Regulation (EC) No 648/2004 of 31 March 2004 on detergents. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2005). Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2009). Regulation (EC) No 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2009). Directive 2009/128/EC establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2018). Regulation (EU) 2018/848 on organic production and labelling of organic products. Official Journal of the European Union.
- European Parliament and Council. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products. Official Journal of the European Union.
- FAO. (2022). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Systems at breaking point. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). Pesticide lifecycle management: Facilitating safer and greener agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (n.d.). Integrated Pest Management (IPM). Pest and Pesticide Management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO & WHO. (2014). The International Code of Conduct on Pesticide Management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization.
- Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L. P., & Elsner, M. (2013). Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. *Science*, 341(6147), 752–758.
- Fest, C., & Schmidt, K.-J. (1982). *The Chemistry of Organophosphorus Pesticides*. Berlin: Springer-Verlag.
- Gevao, B., Semple, K. T., & Jones, K. C. (2000). Bound pesticide residues in soils: A review. *Environmental Pollution*, 108(1), 3–14.
- Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Advances in Agronomy*, 102, 159–200.
- IPBES. (2016). *The Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production*. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Leemans, M., Couderq, S., Demeneix, B., & Fini, J.-B. (2019). Pesticides with potential thyroid hormone-disrupting effects: A review of recent data. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 743.
- Marini, M., Caro, D., & Thomsen, M. (2020). The new fertiliser regulation: A starting point for cadmium control in European arable soils? *Science of the Total Environment*, 745, 140876.

- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Barr, D. B., Steenland, K., Levy, K., Ryan, P. B., Iglesias, V., Alvarado, S., Concha, C., Rojas, E., & Vega, C. (2013). Neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: A systematic review. *NeuroToxicology*, 39, 158–168.
- Neves, A. P., et al. (2023). Urinary dialkylphosphate metabolites in the assessment of occupational and environmental exposure to organophosphate pesticides: An integrative review. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Pérez-Lucas, G., Vela, N., El Aatik, A., & Navarro, S. (2018). Environmental risk of groundwater pollution by pesticide leaching through the soil profile. In *Pesticides: Use and Misuse and Their Impact in the Environment*. IntechOpen.
- Robb, E. L., & Baker, M. B. (2023). Organophosphate Toxicity. In *StatPearls*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.
- Socorro, J., Durand, A., Temime-Roussel, B., Gligorovski, S., Wortham, H., & Quivet, E. (2016). The persistence of pesticides in atmospheric particulate phase: An emerging air quality issue. *Scientific Reports*, 6, 33456.
- U.S. Geological Survey. (2024). Mineral Commodity Summaries 2024: Phosphate Rock. Reston, VA: U.S. Geological Survey.
- Wan, N.-F., Fu, L., Dainese, M., Kiær, L. P., Hu, Y.-Q., Xin, F., Goulson, D., Woodcock, B. A., Vanbergen, A. J., Spurgeon, D. J., Shen, S., & Scherber, C. (2025). Pesticides have negative effects on non-target organisms. *Nature Communications*, 16, 1360.
- WHO/UNEP. (2013). State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012. Geneva: World Health Organization / United Nations Environment Programme.
- Zhang, Q., Yu, J., Wei, Y., Yang, R., Liu, J., Su, Y., Gao, D., & Zeng, J. (2025). Advances in acetylcholinesterase-based biosensing technologies for organophosphorus pesticide detection: A comprehensive review (2020–2024). *Food Chemistry*, 496, 146769.