

Περιβαλλοντική Τοξικότητα & Διακίνηση ουσιών. Μελέτες περίπτωσης

Ελένη Σαζακλή

Επίκ. Καθηγήτρια

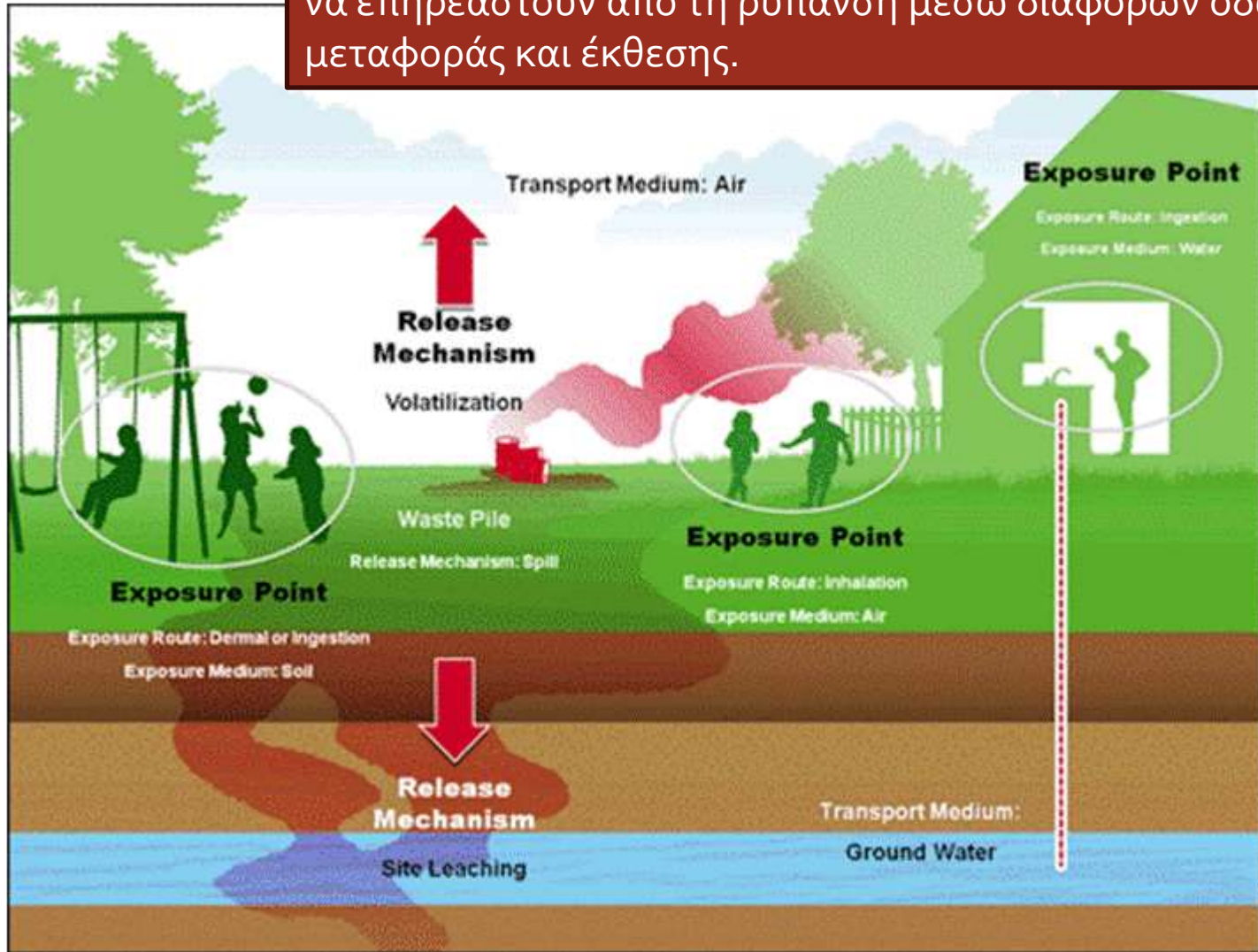
Υγιεινής – Περιβαλλοντικής Υγιεινής


ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

- Χρόνια τοξικότητα ή άλλες επιδράσεις των Χημικών Ουσιών είναι συνάρτηση της **δόσης** και της **χρονικής διάρκειας έκθεσης**.
- **Έκθεση** είναι η χρονικά μέση σταθμισμένη τιμή της **δόσης**.
- Η **περιβαλλοντική τοξικότητα** εξαρτάται από τις **‘ευκαιρίες’** επαφής του ανθρώπου με την τοξική ουσία.
- Είναι δυνατόν **Χ.Ο.** με **μεγάλη φαρμακολογική τοξικότητα** να παρουσιάζουν **μικρή περιβαλλοντική τοξικότητα**.
- Η **διάρκεια της έκθεσης** και η **δόση της Χ.Ο.** εξαρτώνται από την **τύχη-διακίνηση** της ουσίας στο περιβάλλον

Περιβαλλοντική τύχη – διακίνηση - έκθεση

Οι άνθρωποι, τα ζώα, τα φυτά και το περιβάλλον μπορούν να επηρεαστούν από τη ρύπανση μέσω διαφόρων οδών μεταφοράς και έκθεσης.



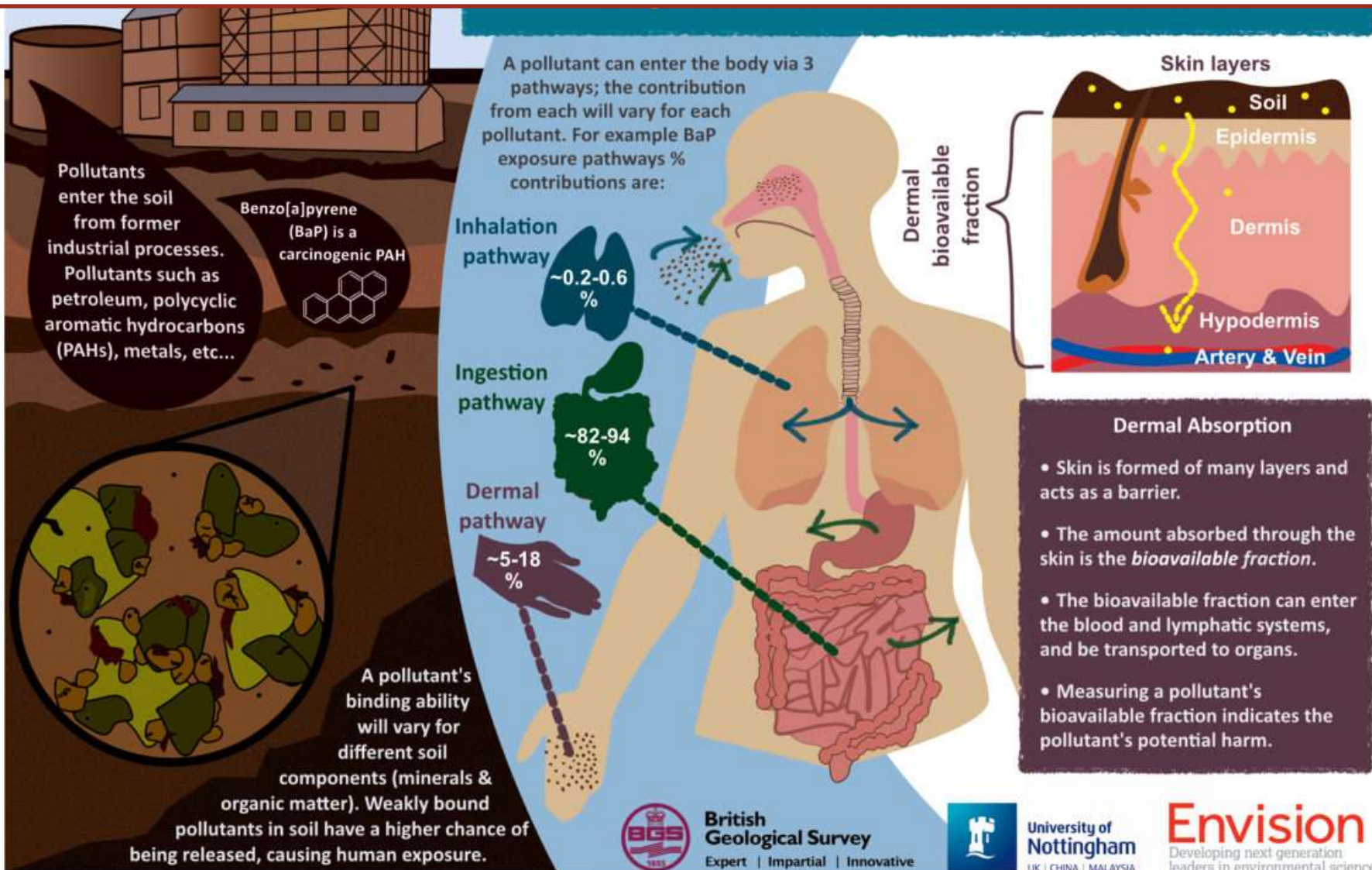
- 
- Η γνώση της **τύχης (ανθεκτικότητα και κύκλος ζωής)** και της **μεταφοράς (κίνηση)** διαφόρων τύπων ρύπων είναι καθοριστική για την κατανόηση των μηχανισμών έκθεσης και για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με την αποκατάσταση του περιβάλλοντος και τη μείωση του κινδύνου.
 - Για παράδειγμα, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε εάν ένας ρύπος που απελευθερώνεται στο περιβάλλον θα συνεχίσει να **αποτελεί απειλή έκθεσης για ανθρώπους, ζώα και φυτά** με την πάροδο του χρόνου.
 - Οι πληροφορίες και τα μοντέλα σχετικά με τις εκτιμήσεις έκθεσης μπορούν να καθοδηγήσουν τις αποφάσεις για τη δημόσια υγεία και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

Τύχη Χημικών Ουσιών στο περιβάλλον.

α) Έδαφος

- Πηγές εισόδου
 - Αέρας
 - Σωματίδια
 - Βροχή
 - Απόθεση σκουπιδιών
 - Βιομηχανικά απόβλητα

Έκθεση ανθρώπου σε ρύπους του εδάφους

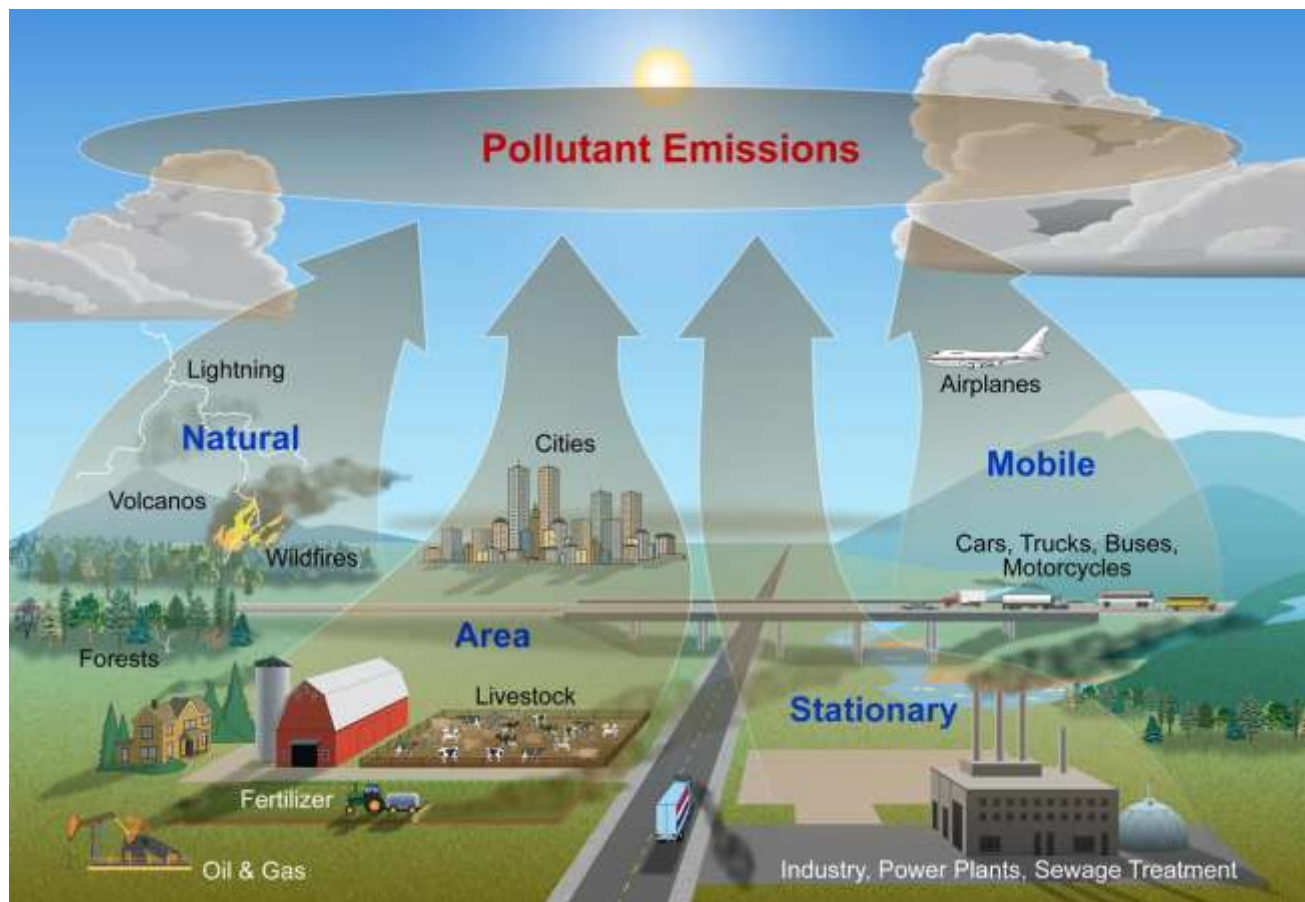


Τύχη Χημικών Ουσιών στο περιβάλλον.


β) Ατμόσφαιρα

- **Πηγές εισόδου**
 - Σημεία: π.χ. βιομηχανικές εγκαταστάσεις
 - Περιοχές: π.χ. μία πόλη
 - Γραμμικές επιφάνειες: π.χ. τα αυτοκίνητα σε ένα αυτοκινητόδρομο.

Είσοδος ρύπων στην ατμόσφαιρα



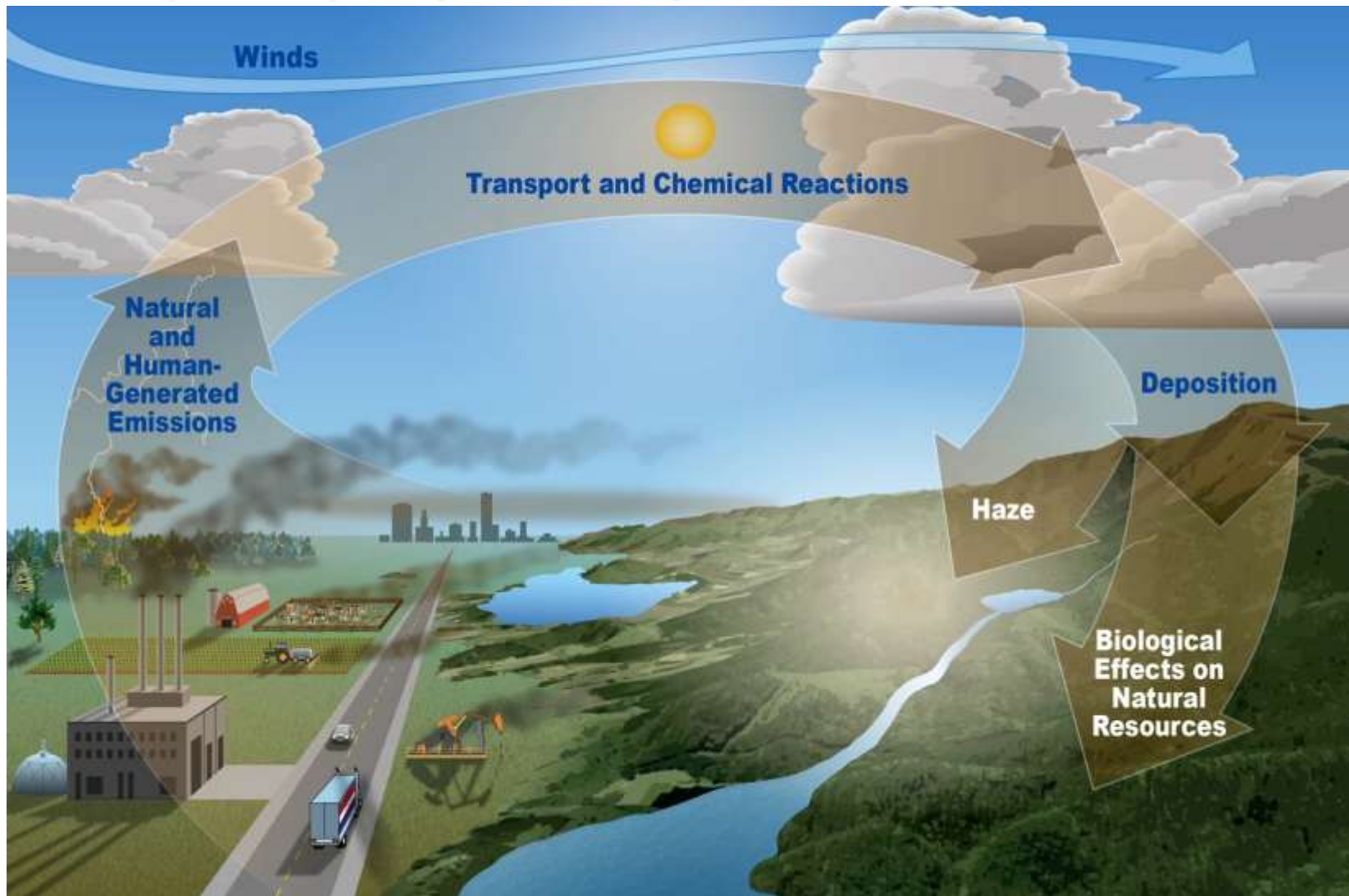
Where Does Air Pollution Come From? - Air (U.S. National Park Service)



Οι ρύποι διαχέονται στη τροπόσφαιρα και καταλαμβάνουν το νότιο και βόρειο ημισφαίριο σε ένα έτος περίπου.

Η διάχυση στη στρατόσφαιρα γίνεται με πολύ αργό ρυθμό.

Μετακίνηση και διάχυση ατμοσφαιρικών ρύπων



Where Does Air Pollution Come From? - Air (U.S. National Park Service)

Ατμόσφαιρα

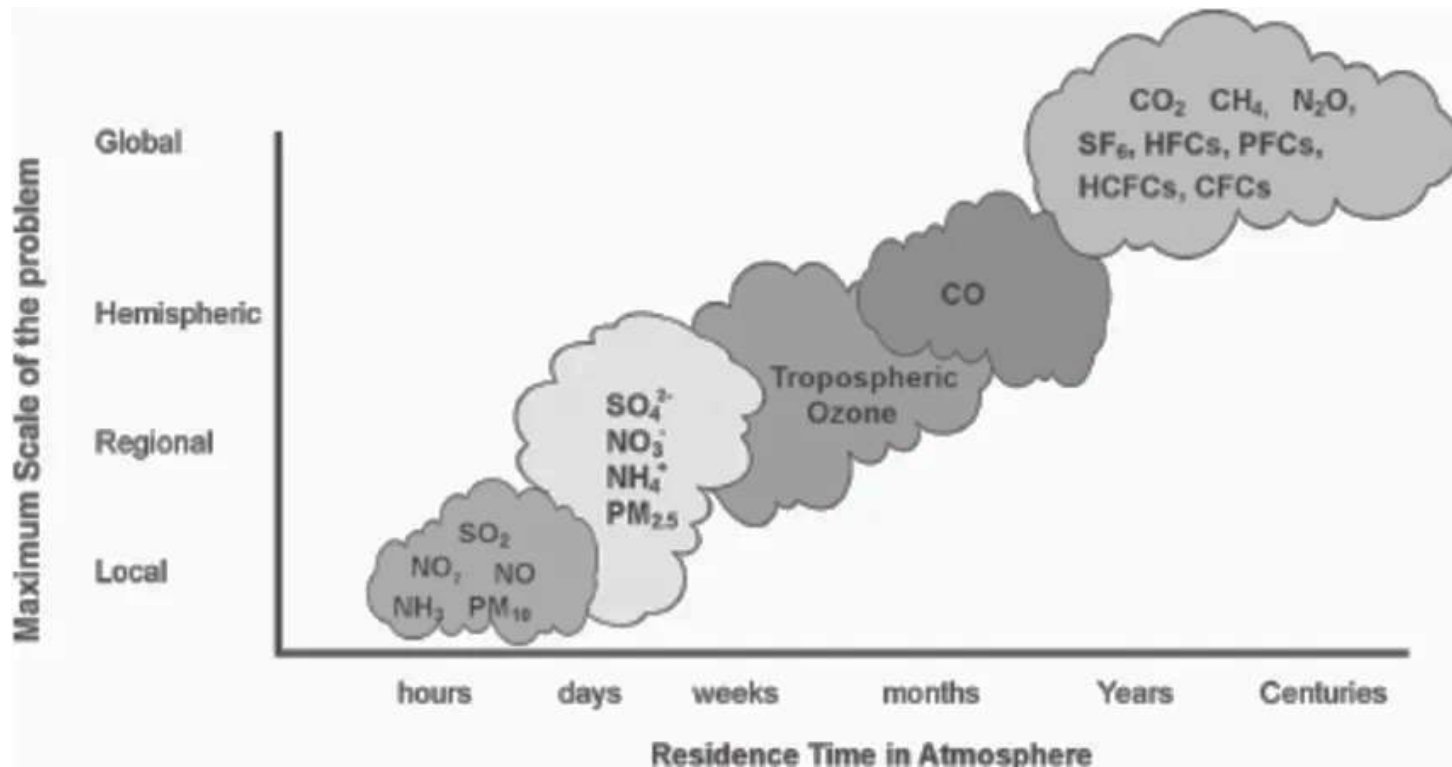
- Παραμονή.
 - Ο μέσος χρόνος παραμονής εκτιμάται:

Μάζα του ρύπου στην ατμόσφαιρα

Εκλυομένη μάζα του ρύπου στη μονάδα του χρόνου

(βενζόλιο 4 έτη, CHCl_3 9 έτη, CCl_4 24 ημέρες).

Χρόνοι παραμονής ρύπων στην ατμόσφαιρα



Επιλεγμένοι ρύποι, μέσος χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και η μέγιστη χωρική έκταση της επίδρασής τους σε διάφορα περιβαλλοντικά συστήματα.

Απομάκρυνση ρύπων από ατμόσφαιρα

Πτώση στο έδαφος με κατακρήμνιση (υγρή ή ξηρή) ή με κίνηση ανέμων.

Αποσύνθεση λόγω φωτόλυσης.

Αποσύνθεση λόγω μεταφοράς ενέργειας.

Μετατροπή σε άλλες ουσίες μέσω χημικών αντιδράσεων.

Διάχυση στα επιφανειακά νερά

Τύχη Χημικών Ουσιών στο περιβάλλον

γ) Υδάτινοι χώροι.

Στον υδάτινο χώρο περιλαμβάνονται:

- Νερό
- Στερεά του βυθού σε διάλυση ή αιώρηση
- Οργανισμοί (υδρόβιοι ή προσωρινά υδρόβιοι).

Διάχυση στα επιφανειακά νερά

- $$\frac{\text{Συγκεντρωση}_{\text{νερό}}}{\text{Συγκεντρωση}_{\text{αερα}}} = \frac{T (W_s)}{16,04 P M} = \frac{1}{H}$$

- $T = \text{θερμοκ. σε Kelvin}$
- $P = \text{τάση ατμών}$
- $W_s = \text{διαλυτότητα στο νερό σε mg/L}$
- $M = \text{μοριακό βάρος}$

Τύχη και κατανομή ενός ρύπου στο υδάτινο περιβάλλον

Εξαρτάται από:

1. Φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου

- Διαλυτότητα στο νερό
- Διαλυτότητα στα λιπίδια
- Τάση ατμών
- Φωτοευαισθησία του ρύπου

Προσρόφηση σε στερεά

Τύχη και κατανομή ενός ρύπου στο υδάτινο περιβάλλον

Εξαρτάται από:

2. Χαρακτηριστικά των πηγών ρύπανσης

- Ποσότητα στη μονάδα του χρόνου
- Ταχύτητα αραίωσης του ρύπου στο νερό
- Βαθμό τελικής αραίωσης

Τύχη και κατανομή ενός ρύπου στο υδάτινο περιβάλλον

Εξαρτάται από:

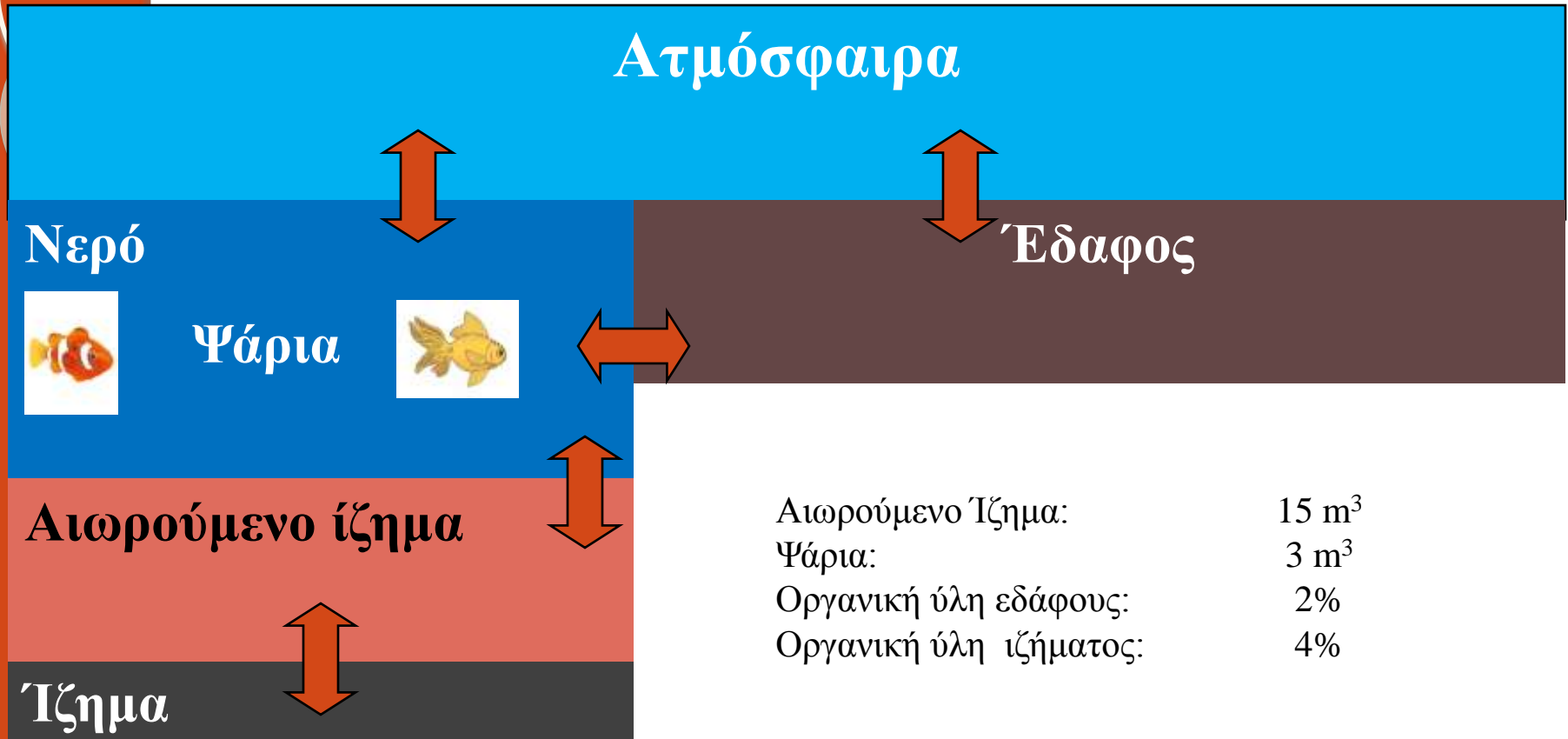
3. Χαρακτηριστικά του αποδέκτη

- pH
- Θερμοκρασία
- Περιεκτικότητα σε άλατα
- Διαλυμένο οξυγόνο



Παράδειγμα περιβαλλοντικών διαμερισμάτων

Μοντέλο Οικοσυστήματος



Αιωρούμενο Ίζημα:	15 m ³
Ψάρια:	3 m ³
Οργανική ύλη εδάφους:	2%
Οργανική ύλη ιζήματος:	4%

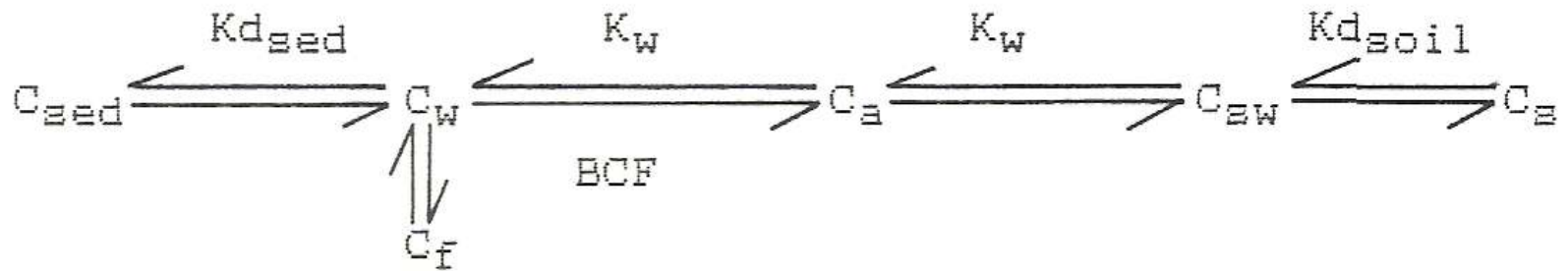
Ατμόσφαιρα: 1000 m X 1000 m X 10 Km = 10¹⁰ m³

Νερό: 1000 m X 300 m X 10 m = 3 x 10⁶ m³

Έδαφος: 1000 m X 700 m X 0,076 m = 5,4 x 10⁴ m³

Ίζημα: 1000 m X 300 m X 0,05 m = 1,5 x 10⁴ m³

Η συνολική έκφραση ισορροπίας παριστάνεται ως:



- C_{sed} = συγκέντρωση της Χ.Ο. στο βυθό
 C_w = συγκέντρωση της Χ.Ο. στο νερό
 C_f = συγκέντρωση της Χ.Ο. στα ψάρια
 C_a = συγκέντρωση της Χ.Ο. στο νερό εδάφους
 C_s = συγκέντρωση της Χ.Ο. στο έδαφος

Υπολογισμοί συγκεντρώσεων και χρόνου παραμονής μιας Χ.Ο. σε κάθε διαμέρισμα

Χημική ουσία Χ

Φυσικές σταθερές	Συντελεστές κατανομής
Μοριακό βάρος	Koc
Υδατοδιαλυτότητα	Kw
Τάση ατμών	Kow
Σημείο τήξης	BCF



Ποσοστό της Χημικής ουσίας σε κάθε διαμέρισμα

Αέρας	Νερό	Ίζημα	Αιωρούμενο ίζημα	Υδροβία ζώα	Έδαφος
-------	------	-------	------------------	-------------	--------



Συγκέντρωση της Χημικής ουσίας σε κάθε διαμέρισμα (σε ppm)

Αέρας	Νερό	Ίζημα	Αιωρούμενο ίζημα	Υδροβία ζώα	Έδαφος
$4,73 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$	$3,34 \times 10^{-2}$	1,33	$1,67 \times 10^{-5}$	1,35	$5,62 \times 10^{-1}$

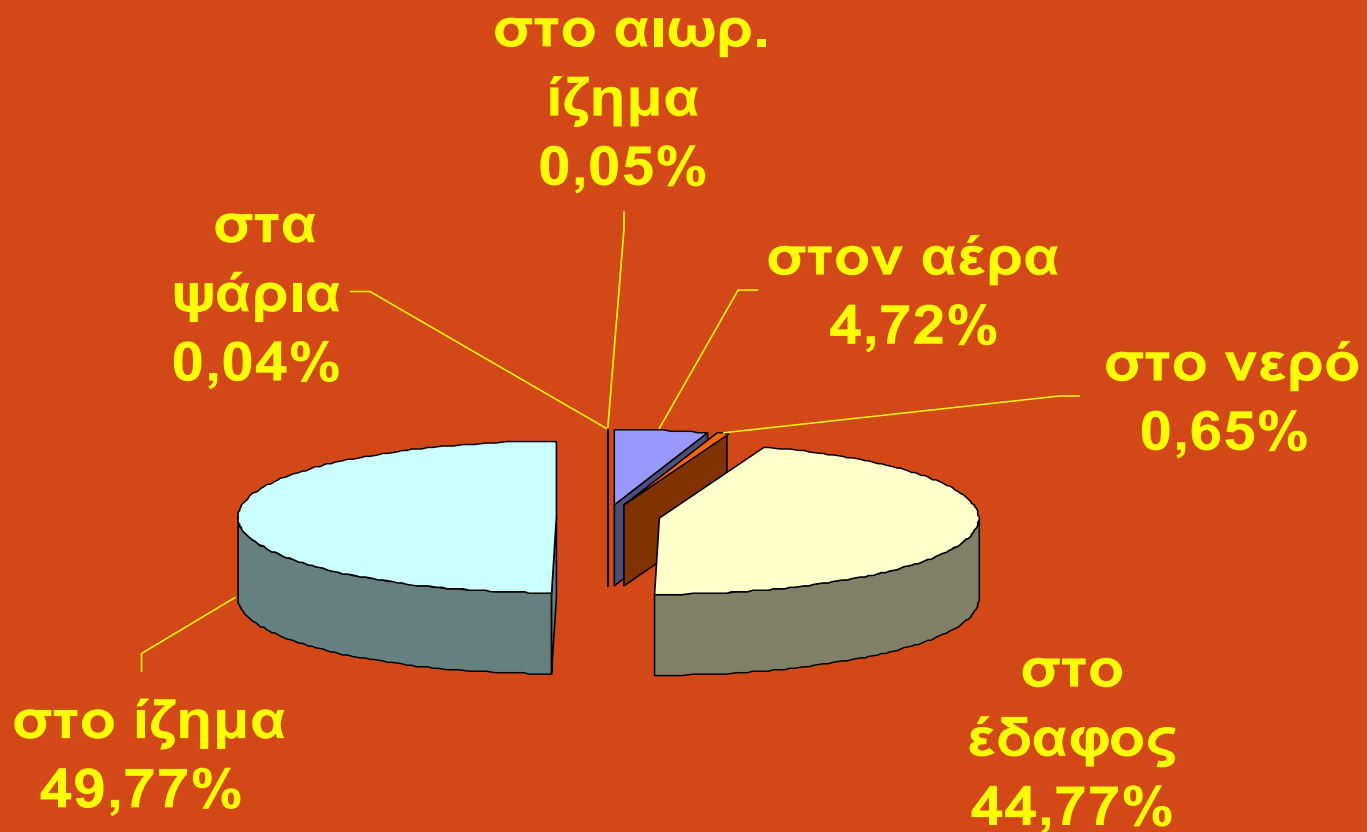


Χρόνος ημιζωής της Χημικής ουσίας σε κάθε διαμέρισμα (ημέρες)

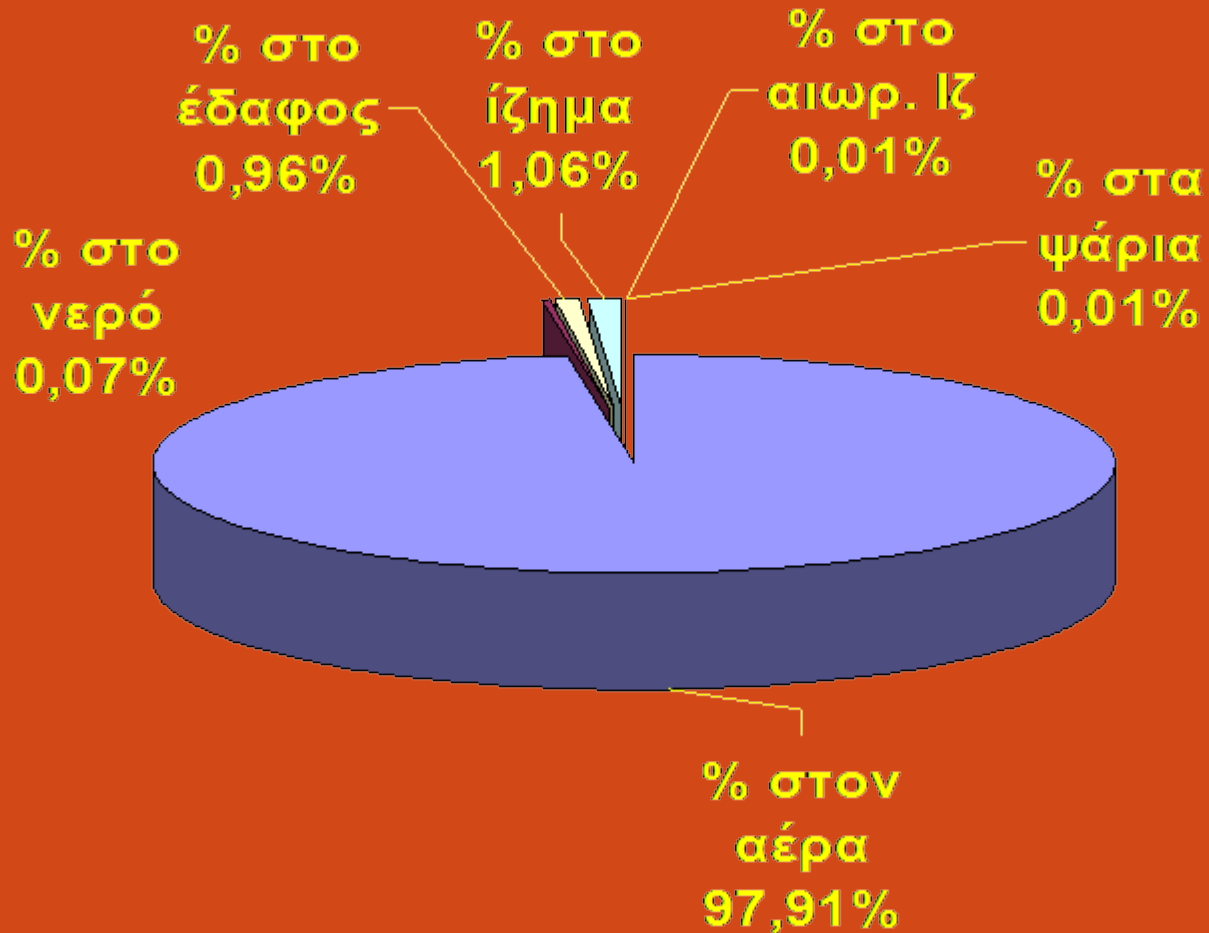
Αέρας	Νερό	Ίζημα	Έδαφος
50	200	150	300

Χημική ουσία	DDT	Tetrachloro biphenyl	Lindane	Chlor-pyrifos	Nitrapyrin	Dichloropro pene
% στον αέρα	4.72	97.9	83.2	12.8	65.4	99.4
% στο νερό	0.65	0.065	7.48	12.8	22.5	0.54
% στο έδαφος	44.8	0.96	4.41	35.3	5.78	0.02
% στο ίζημα	49.8	1.06	4.86	39.1	6.31	0.02
% στο αιωρ. Ιζ	0.05	0.001	0.004	0.04	0.006	1,8*10 ⁻⁶
% στα ψάρια	0.04	0.0048	0.0024	0.006	0.0078	1,7*10 ⁻⁶
Συγκέν στον αέρα	9,43*10 ⁻³	1,96*10 ⁻¹	1,66*10 ⁻¹	2,56*10 ⁻²	1,31*10 ⁻¹	1,99*10 ⁻¹
Συγκ. στο νερό (ppm)	4,42*10 ⁻⁴	4,35*10 ⁻⁵	4,99*10 ⁻³	8,55*10 ⁻³	1,5*10 ⁻²	3,6*10 ⁻⁴
Συγκ. στο έδαφ (ppm)	1.16	0.023	0.11	0.87	0.14	4,7*10 ⁻⁴
Συγκ. στο αιωρ ιζ. (ppm)	2.65	0.057	0.26	2.09	0.34	9,7*10 ⁻⁴
Συγκ. στο ίζημα (ppm)	3,32*10 ⁻⁵	7,1*10 ⁻⁸	3,2*10 ⁻⁶	2,61*10 ⁻⁵	4,21*10 ⁻⁶	1,2*10 ⁻⁸
Συγκ. στα ψάρια (ppm)	27.3	3.18	1.62	4.02	1.23	0.001

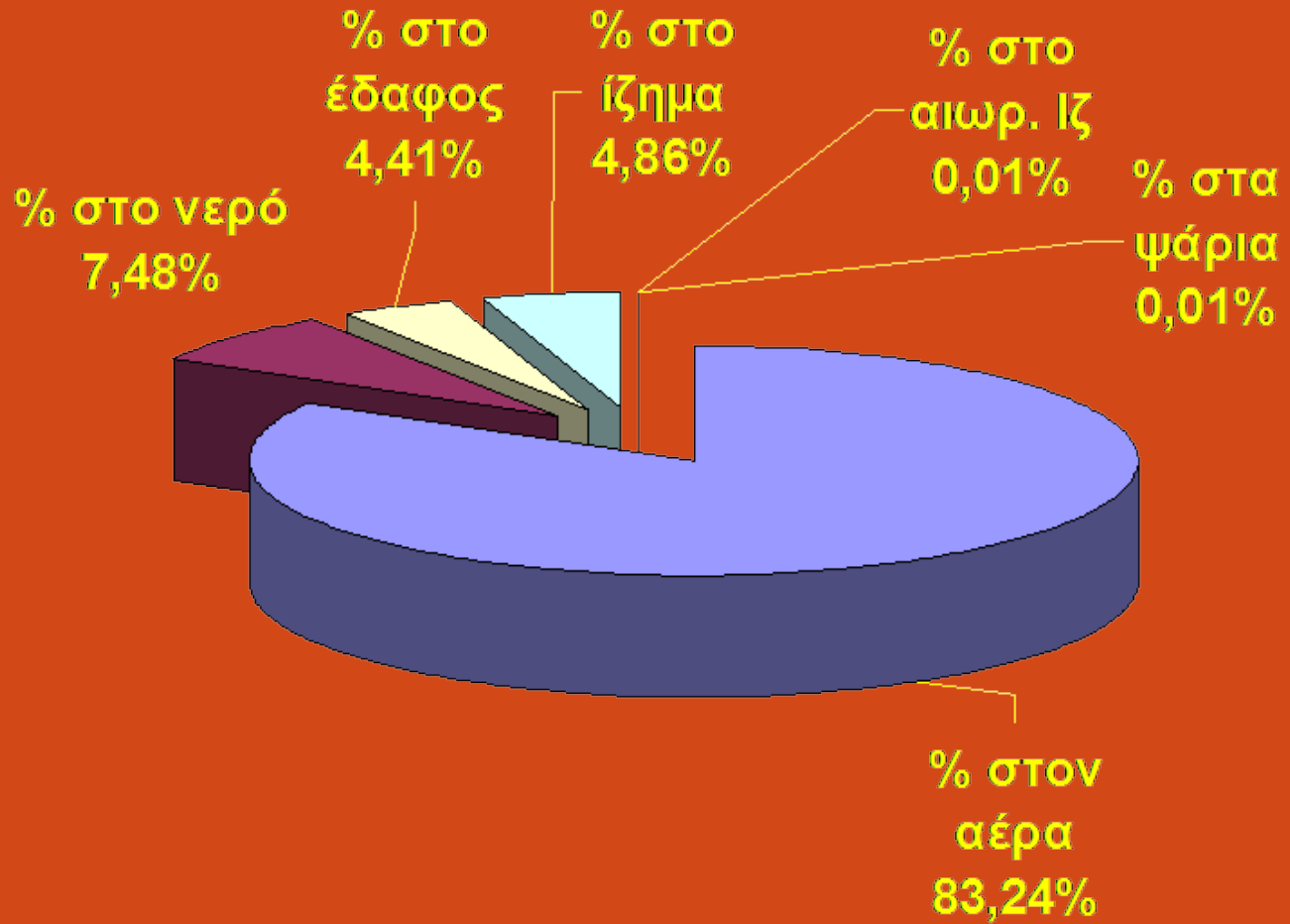
DDT



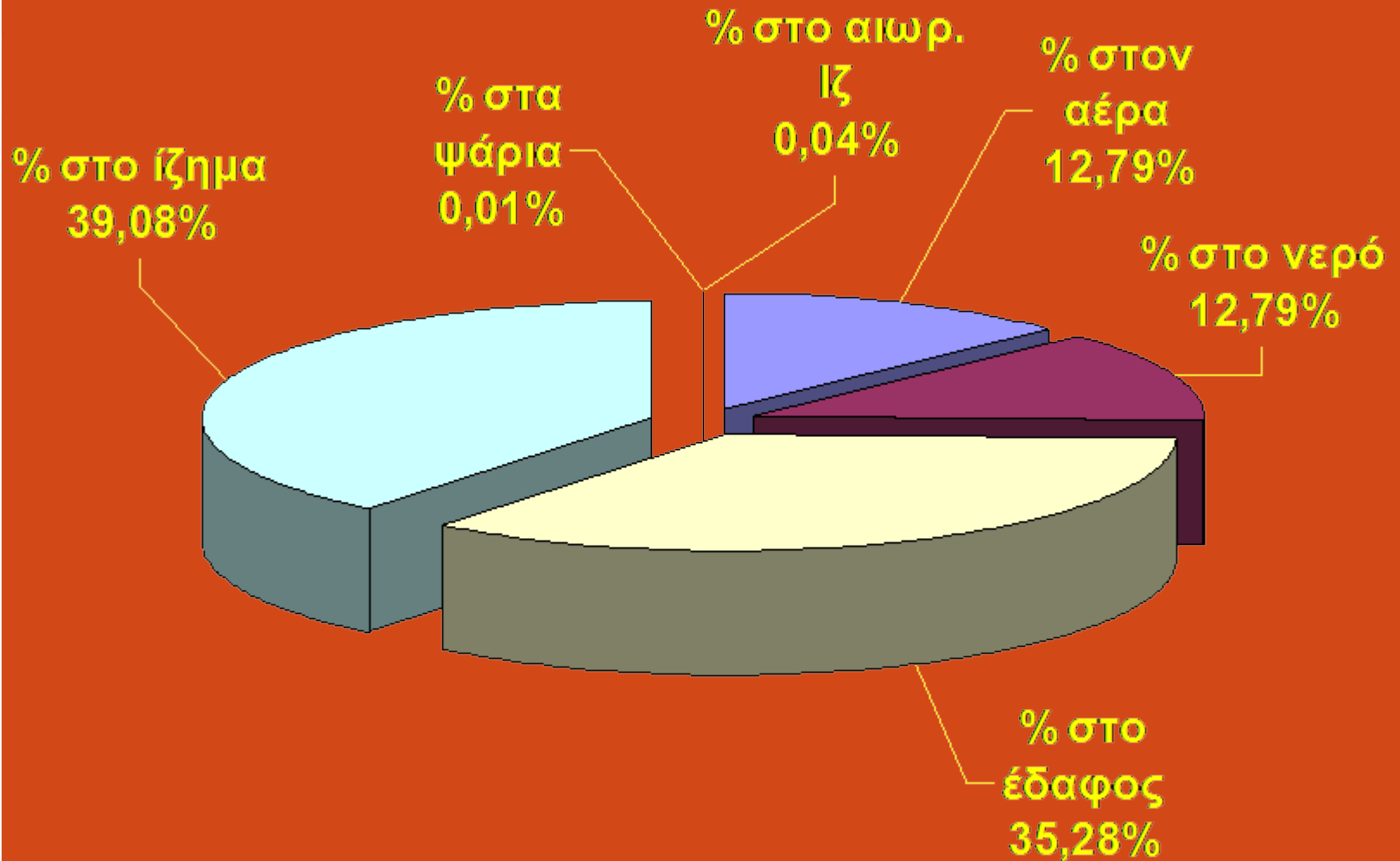
Tetrachlorobiphenyl



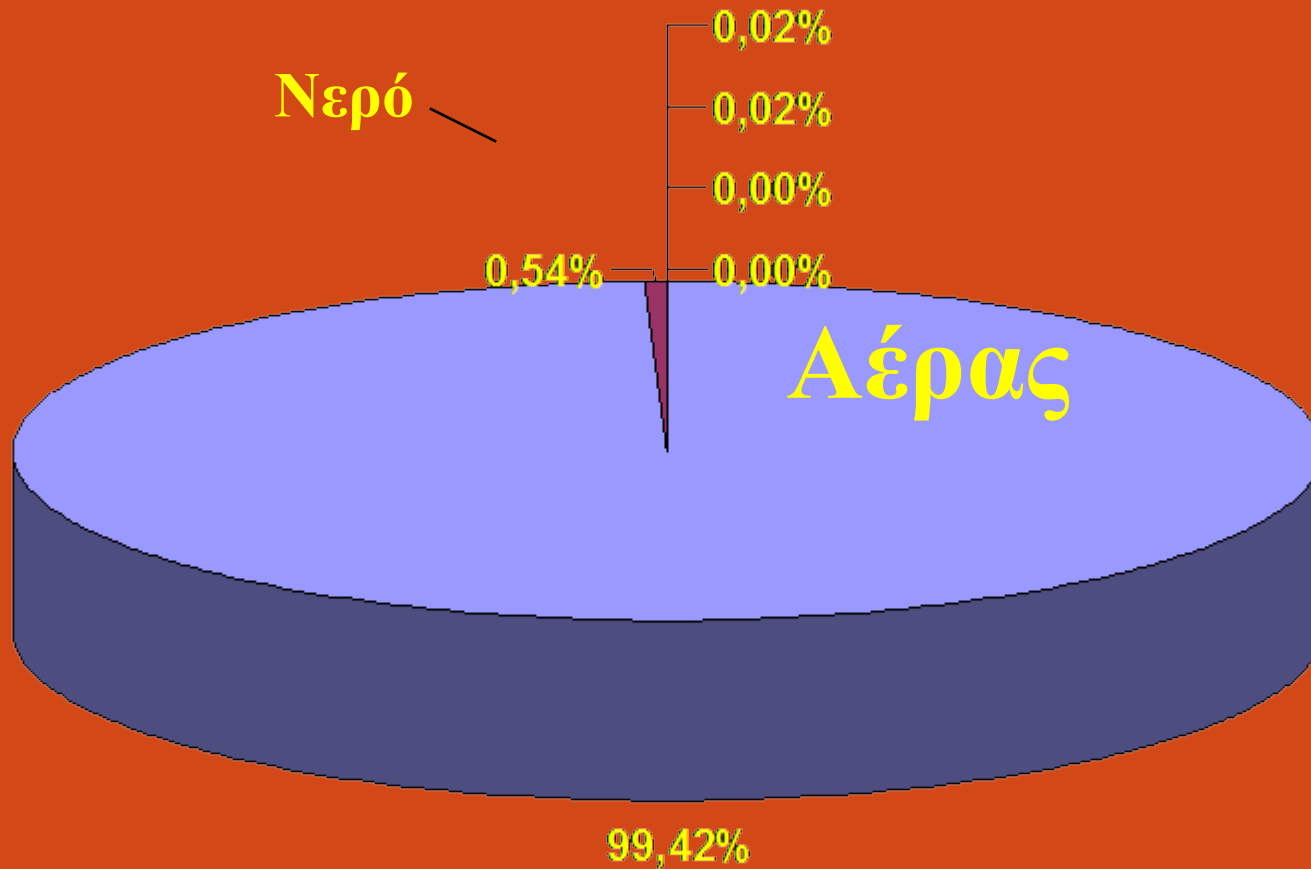
Lindane



Chlorpyrifos



1,3-Dichloropropene



ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ (PESTICIDES) Ή ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Ορισμός

Οποιοσδήποτε χημικός, φυσικός ή βιολογικός παράγοντας (ουσία ή μίγμα ουσιών) που μπορεί να εξολοθρεύσει ένα ανεπιθύμητο φυτικό ή ζωικό ζιζάνιο.

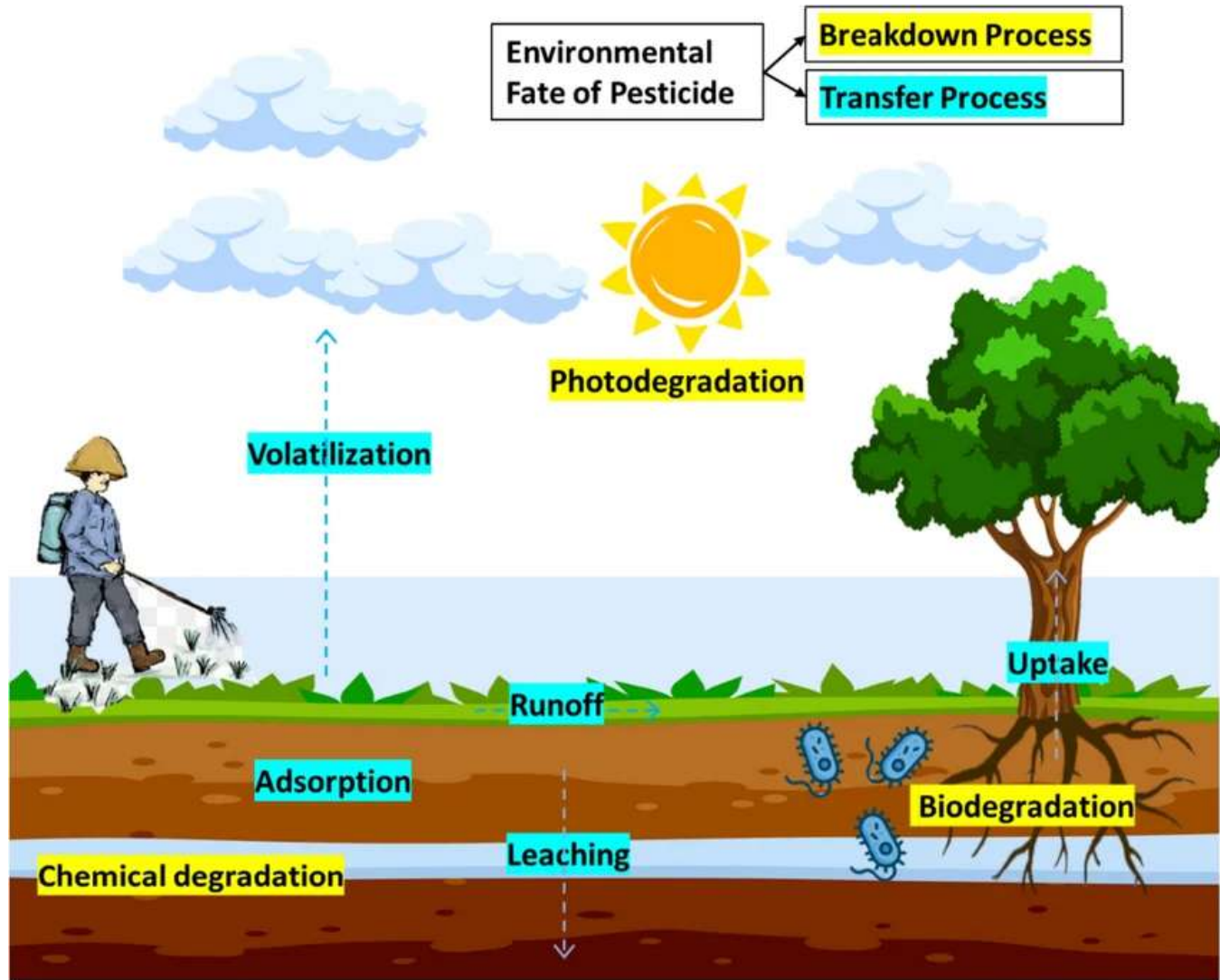


ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ (PESTICIDES)

Ιστορικό

- Το θείο χρησιμοποιήθηκε ως απολυμαντικό μέσω υποκαπνισμού από τους Κινέζους πριν το 1000 π.Χ.
- Ενώσεις αρσενικού σαν μυκητοκτόνο από το 1800 έως σήμερα από τον 16ο αιώνα από τους Κινέζους.
- Από το 1630 υδατικά εκχυλίσματα καπνού σαν εντομοκτόνα.
- Ο βορδιγάλειος πολτός (μίγμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και CaSO_4 στα αμπέλια από το 1582).
- Πλέον σύνθετες ενώσεις (κυανιούχα, βρωμιούχο αιθύλιο κλπ.) από το 1930
- Από το Β' παγκόσμιο πόλεμο: οργανοφωσφορικά, DDT κλπ

Περιβαλλοντική τύχη φυτοφαρμάκων



The function of microbial enzymes in breaking down soil contaminated with pesticides: a review -. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Environmental-fate-of-pesticide-Icon-from-FlatIcon-Basic-License-CC30-Creative_fig2_378824380 [accessed 21 Mar 2026]

Επιπτώσεις φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο

(A)

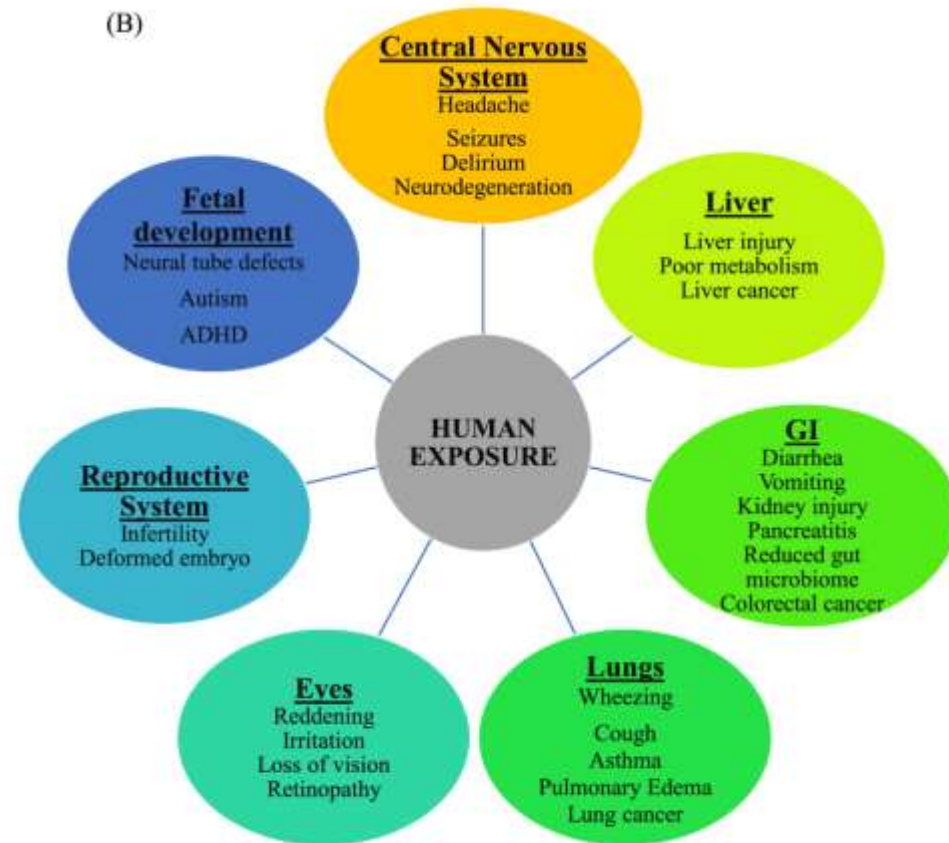
Air- Longer half-lives as aerosols; transported via volatilization; decrease air quality; contribute to climate change

Water- Residues in drinking water and aquatic bodies; reduced dissolved oxygen for aquatic life

Land- Application on crops causes leaching in groundwater; disturb natural flora of soil; reduce soil fertility

PESTICIDES IN ENVIRONMENT

(B)



(A) Effects of pesticides on environment (B) Effect of pesticides on humans

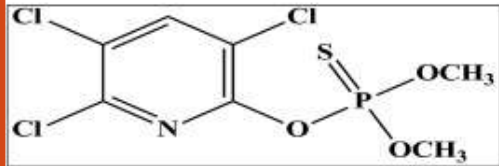
Sharma A, Shukla A, Attri K, Kumar M, Kumar P, Suttee A, Singh G, Barnwal RP, Singla N. Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020 15;201:110812. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110812.

Κατάταξη φυτοφαρμάκων με βάση τον οργανισμό - στόχο

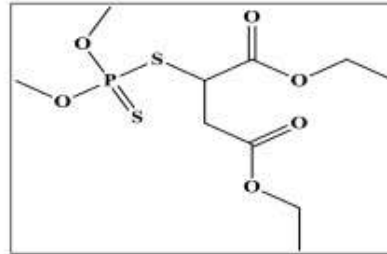
Κατηγορία	Οργανισμός -στόχος	Χρήσεις	Παραδείγματα
Ακαρεοκτόνο	Ακάρεα και τσιμπούρια	εξόντωση τσιμπουριών & ακάρεων γύρω από κατοικίες	DDT, Dicofol, οργανοφωσφορικά, καρβαμικά
Πτηνοκτόνο	Πτηνά	έλεγχος πτηνών σε οπωρώνες	Στρυχνίνη, Fenthion
Αλγοκτόνο	Φύκια	Μετρίαση ανάπτυξης φυκιών (πισίνες λίμνες)	Benzalkonium chloride, Θειικός χαλκός, Diclone, Simazine
Βακτηριοκτόνο	Βακτήρια	Ως απολυμαντικά, αντισηπτικά και αντιβιοτικά	Ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου, Νιτρικός άργυρος, Χλωριούχος υδράργυρος, Υποχλωριώδη, Ιώδιο Lugol, Triclosan, Hexachlorophene, Σαλικυλικό οξύ, Φθοροκινολόνες
Μυκητοκτόνο	Μύκητες	Για την πρόληψη φυτικών ασθενειών	Tea tree oil, Cymoxanil, aureofungin, Metalaxyl, Hexaconazole
Ζιζανιοκτόνο	Ζιζάνια	Διαχείριση χλοοτάπητων για απομάκρυνση ζιζανίων	Atrazine, Paraquat, Oxadiazon, Glyphosate, Metoxuron, Sulfosulfuron, Linuron
Εντομοκτόνο	Έντομα	εξόντωση αυγών και προνυμφών εντόμων	Azadirachtin, Malathion, Carbofuran, Chlorfenapyr, DDT, Lindane, Endosulfan, Thiocloprid, Clothianidin, Thiamethoxam
Μαλακιοκτόνα	Μαλάκια	Χρησιμοποιούνται στη γεωργία και την κηπουρική	Metaldehyde, Thiocloprid
Νηματοκτόνο	Νηματώδη	Ως υποκαπνιστικό για καλλιέργειες	Chlorpyrifos, Phosphamidon, methyl bromide, Fenamiphos
Τρωκτικοκτόνο	Αρουραίοι	Διαχείριση εισβολέων τρωκτικών	Zinc phosphide, Bromadiolone, Coumachlor, Coumatetralyl, Warfarin
Ιοκτόνο	Ιοί	έλεγχος εξάπλωσης ιών	Cyanovirin-N

Κατάταξη ανάλογα με τη χημική δομή

Organophosphorus pesticides

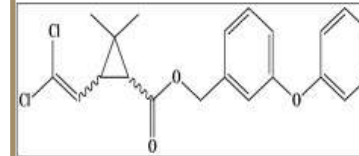


Chlorpyrifos

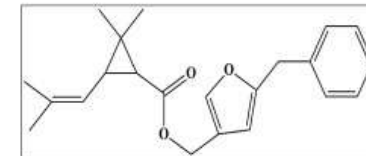


Malathion

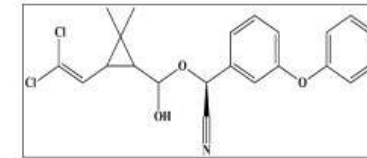
Pyrethroids



Permethrin

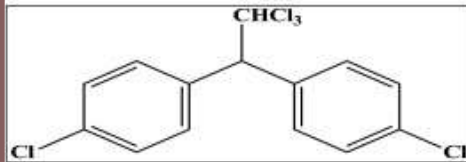


Resmethrin

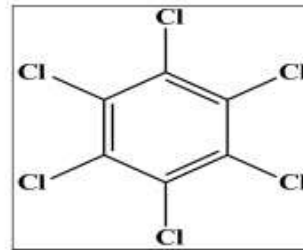


Cypermethrin

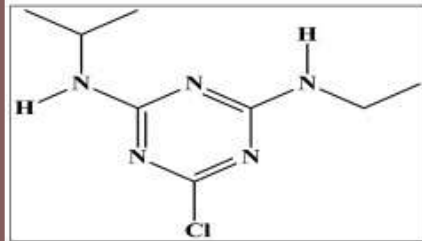
Organochlorines



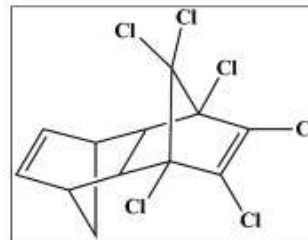
DDT



Lindane

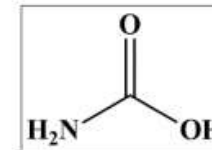


Atrazine

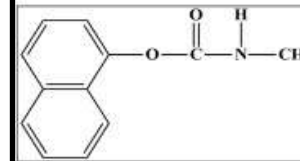


Aldrin

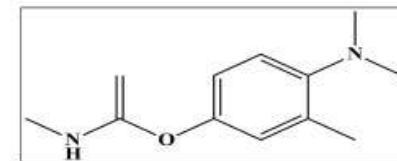
Carbamates



Carbamic acid, fundamental constituent of Carbamates



Carbaryl



Aminocarb

Μηχανισμοί Δράσης: Οργανοχλωριωμένα

Λιποδιαλυτά –
Συσσωρεύονται στο
ήπαρ

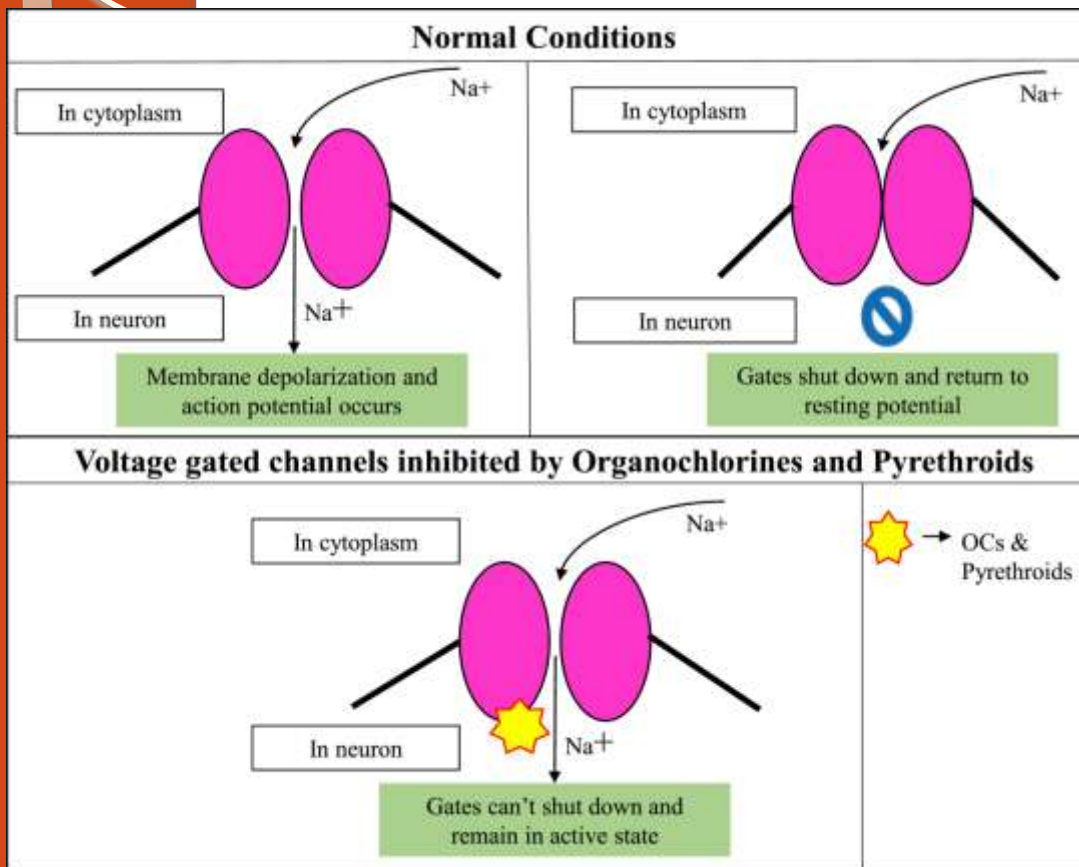
Τα οργανοχλωριωμένα (όπως το DDT, το lindane και τα HCHs) επηρεάζουν την **αγωγιμότητα της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων**, επηρεάζοντας κυρίως τα **κανάλια ιόντων Na^+ και Cl^-** . Η κύρια δράση τους βασίζεται:

Στην **παράταση του ανοίγματος των διαύλων νατρίου**, προκαλώντας παρατεταμένη αποπόλωση του νευρώνα.

Στην **αναστολή των διαύλων χλωρίου**, κυρίως των υποδοχέων GABA, που έχουν ανασταλτικό ρόλο στο κεντρικό νευρικό σύστημα.

Αποτέλεσμα αυτής της διπλής δράσης είναι η υπερδιέγερση των νευρικών κυττάρων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τρόμο, σπασμούς, διανοητικές διαταραχές και σε ακραίες περιπτώσεις, σπασμογενή θάνατο (Zhao et al., 2021).

Μηχανισμός δράσης οργανοχλωριωμένων & πυρεθροειδών



φυσιολογική κατάσταση των διαύλων που ελέγχονται από το δυναμικό (voltage-gated channels).

Το νάτριο εισέρχεται στους διαύλους και προκαλείται αποπόλωση της μεμβράνης, η οποία οδηγεί στη δημιουργία και αγωγή ενός δυναμικού ενέργειας.

Όταν το δυναμικό αυξηθεί, η μεμβράνη επανέρχεται στο δυναμικό ηρεμίας μέσω του κλεισίματος των διαύλων και της διακοπής της εισόδου ιόντων νατρίου.

τι συμβαίνει παρουσία φυτοφαρμάκων.

Η επαναπόλωση της μεμβράνης αναστέλλεται από τις οργανοχλωριωμένες ενώσεις και τα πυρεθροειδή.

Ως αποτέλεσμα, οι διαύλοι που ελέγχονται από το δυναμικό παραμένουν σε διεγερμένη κατάσταση, οδηγώντας σε δυσλειτουργία των νευρώνων.

Μηχανισμοί Δράσης: Οργανοφωσφορικά

Τα οργανοφωσφορικά (όπως το chlorpyrifos, malathion, diazinon) είναι αναστολείς της **ακετυλοχολινεστεράσης (AChE)**, του ενζύμου που διασπά τον νευροδιαβιβαστή ακετυλοχολίνη στη συναπτική σχισμή.

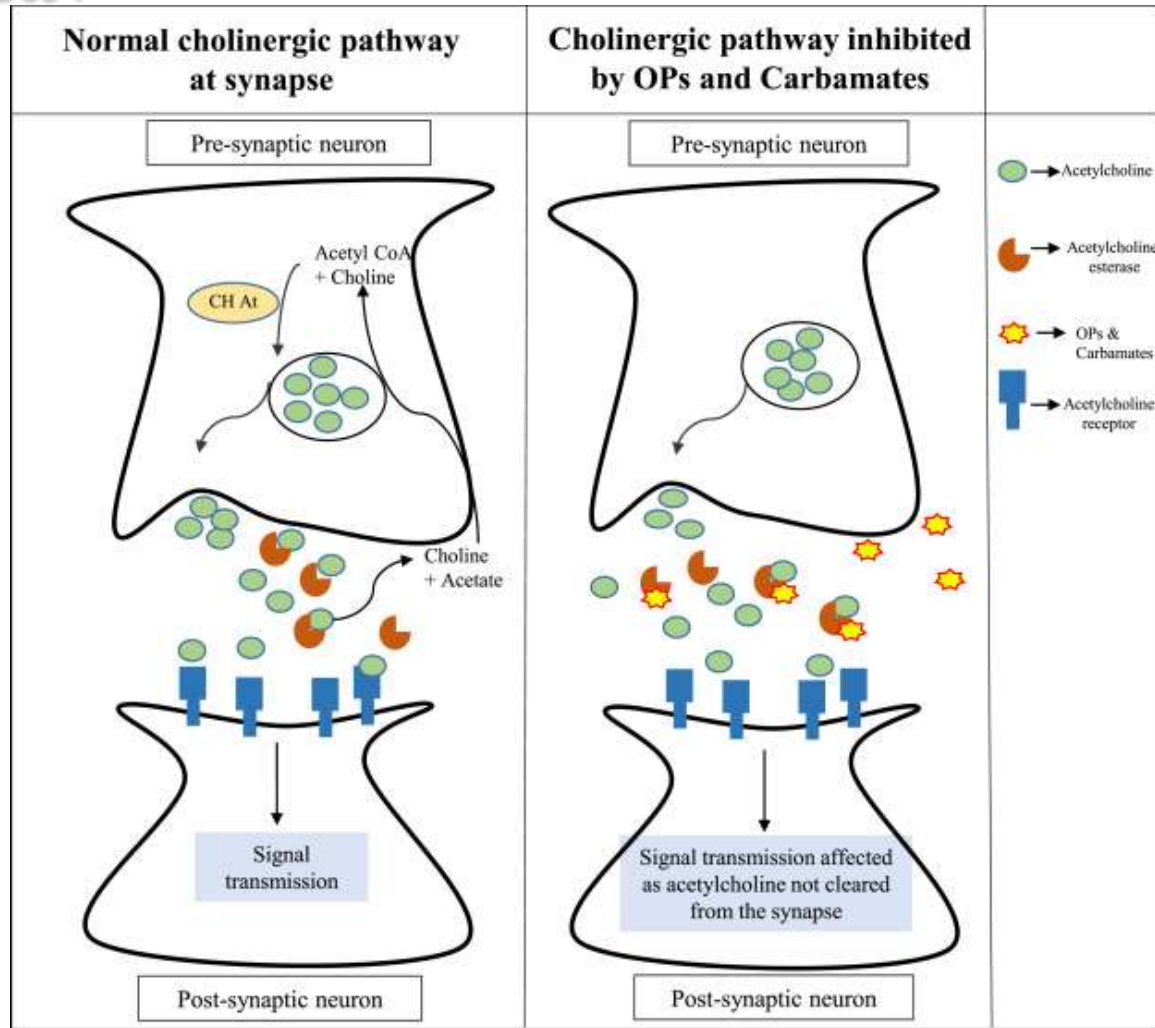
Η **αναστολή της AChE** οδηγεί σε συσσώρευση της ακετυλοχολίνης, η οποία προκαλεί υπερδιέγερση των μουσκαρινικών και νικοτινικών υποδοχέων.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα **μυϊκές συσπάσεις, σιελόρροια, βρογχόσπασμο, βραδυκαρδία, σπασμούς, και πιθανή καρδιοαναπνευστική ανακοπή** σε περιπτώσεις σοβαρής δηλητηρίασης

Η τοξικότητα μπορεί να είναι **οξεία** (με άμεσες νευρολογικές επιπτώσεις) ή **χρόνια**, με επιπτώσεις στη γνωστική λειτουργία, διαταραχές διάθεσης και πιθανή νευροεκφυλιστική δράση, ιδιαίτερα σε παιδιά (Costa et al., 2020).

Μηχανισμός δράσης των οργανοφωσφορικών και των καρβαμικών ενώσεων

Νευροδιαβίβαση ακετυλοχολίνης υπό φυσιολογικές συνθήκες.
Η ακετυλοχολίνη που απελευθερώνεται στη σύναψη προσλαμβάνεται από τον μετασυναπτικό νευρώνα και το σήμα μεταδίδεται. Για τη ρύθμιση της νευροδιαβίβασης, η πλεονάζουσα ακετυλοχολίνη διασπάται από την ακετυλοχολινεστεράση σε χολίνη και οξικό άλας. Η χολίνη προσλαμβάνεται από τον νευρώνα και μετατρέπεται σε ακετυλοχολίνη μέσω της προσθήκης ακετυλο-CoA από τη μετασυναπτική ακετυλο-χολινεστεράση της χολίνης. Η νευροδιαβίβαση ρυθμίζεται και δεν συμβαίνει υπερδιέγερση των νευρώνων.



Επίδραση των φυτοφαρμάκων στη μετάδοση του σήματος.

Τα OP και τα καρβαμικά αναστέλλουν τη δραστηριότητα της ακετυλοχολινεστεράσης και προκαλούν συσσώρευση ακετυλοχολίνης. Αυτό οδηγεί σε υπερδιέγερση των νευρώνων και τελικά σε νευρωνικό θάνατο.

Οξειδωτικό Στρες & Επιγενετικές Επιπτώσεις

Και οι δύο κατηγορίες εντομοκτόνων έχουν βρεθεί ότι προκαλούν **οξειδωτικό στρες**, το οποίο συμβάλλει στην:

κυτταρική βλάβη,

φλεγμονώδη αντίδραση,

απορρύθμιση ενζυμικών λειτουργιών,

και πιθανώς καρκινογένεση (El-Demerdash et al., 2021).

Επιπτώσεις στον Ανθρώπινο Οργανισμό – Νευρικό Σύστημα

Και οι δύο κατηγορίες εντομοκτόνων είναι ισχυρά νευροτοξικά.

Στους ενήλικες, μπορεί να προκαλέσουν:

Πονοκεφάλους, σύγχυση, αϋπνία, τρόμο

Επιληπτικές κρίσεις και διαταραχές συνείδησης σε σοβαρή δηλητηρίαση

Μακροπρόθεσμα: **γνωστική έκπτωση, άνοια τύπου Alzheimer,**
διαταραχές μνήμης και προσοχής (Roberts et al., 2019)

Σε παιδιά, ακόμα και χαμηλή έκθεση σχετίζεται με:

ΔΕΠΥ, αυτιστικά χαρακτηριστικά, μαθησιακές δυσκολίες

Καθυστέρηση νευρογνωστικής ανάπτυξης (Costa et al., 2020)

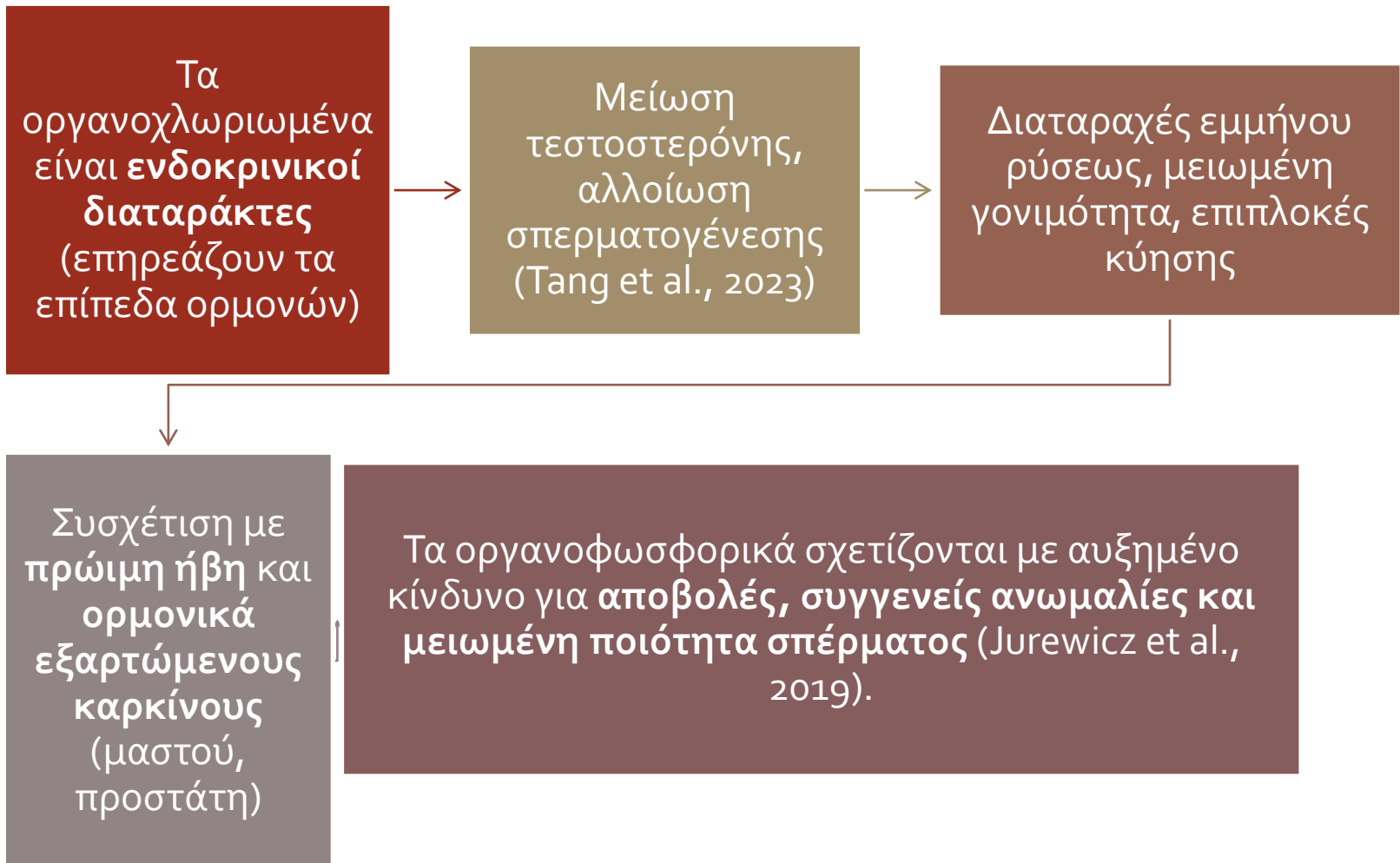
Άλλες Επιπτώσεις

Τα εντομοκτόνα μεταβολίζονται στο ήπαρ μέσω κυτοχρωμάτων P₄₅₀, και αποβάλλονται κυρίως από τους νεφρούς. Η συσσώρευσή τους μπορεί να οδηγήσει σε:

Ηπατοτοξικότητα, με αύξηση ηπατικών ενζύμων, φλεγμονή και πιθανή ίνωση (Zhao et al., 2021)

Νεφροτοξικότητα, με μειωμένη νεφρική λειτουργία, λευκωματουρία και διαταραχές στην αποβολή τοξινών (El-Demerdash et al., 2021)

Αναπαραγωγικό & Ανοσοποιητικό Σύστημα / Καρκινογένεση



Ομάδες σε κίνδυνο

- Εργαζόμενοι σε αγροχημικές βιομηχανίες
- Μεταφορείς φυτοφαρμάκων
- Εφαρμογείς φυτοφαρμάκων
- Συλλογείς ραντισμένων καρπών
- Εργαζόμενοι σε περιοχές που έχουν εφαρμοσθεί σε αεροψεκασμούς ή περιοχές που ψεκάζονται
- Κηπουροί και ερασιτέχνες χρήστες
- Καταναλωτές γενικά δια μέσου ρύπανσης νερού τροφών και αέρα

Οδοί εισόδου

- Διαδερμική απορρόφηση
- Αναπνευστική οδός
- Στοματική οδός

Μέθοδοι εκτίμησης έκθεσης

Βιοπαρακολούθηση (biomonitoring): Ανάλυση βιολογικών υλικών, όπως αίμα, ούρα ή λίπος, για την ανίχνευση μεταβολιτών εντομοκτόνων. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για οργανοφωσφορικά, καθώς οι μεταβολίτες τους (π.χ. DAPs) είναι εύκολα ανιχνεύσιμοι στα ούρα (CDC, 2023).

Επιδημιολογικές μελέτες: Συσχετίζουν τα επίπεδα έκθεσης με συγκεκριμένα προβλήματα υγείας στον πληθυσμό, όπως προβλήματα μνήμης, μειωμένο IQ στα παιδιά, ή αυξημένη συχνότητα νευροεκφυλιστικών νοσημάτων (Lee et al., 2018).

Μοντέλα εκτίμησης διατροφικής έκθεσης (dietary exposure models): Χρησιμοποιούνται δεδομένα κατανάλωσης τροφίμων και συγκεντρώσεις καταλοίπων για την πρόβλεψη της συνολικής πρόσληψης μέσω της διατροφής.

Αντιμετώπιση Οξείας Έκθεσης

Σε περιπτώσεις δηλητηρίασης από οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, η άμεση ιατρική παρέμβαση είναι ζωτικής σημασίας:

Απομάκρυνση από την πηγή έκθεσης, αλλαγή ρουχισμού και πλύσιμο του δέρματος με αλκαλικό σαπούνι

Ενδοφλέβια χορήγηση ατροπίνης (ανταγωνίζεται τη δράση της ακετυλοχολίνης), έως εμφάνιση σημείων ατροπινισμού (δηλαδή έξαψη, ξηροστομία, μεταβολές στο μέγεθος της κόρης, βρογχοδιαστολή και αυξημένος καρδιακός ρυθμός) που παραμένουν για τουλάχιστον 48 ώρες. Ενδεικτικές δόσεις ατροπίνης είναι 1 ή 2 έως 5 mg σε περίπτωση ήπιας ή μέτριας δηλητηρίασης, αντίστοιχα.

Χορήγηση πραλιδοξίμης (επανενεργοποιεί την ακετυλοχολινεστεράση)

Νοσηλεία σε ΜΕΘ σε βαριές περιπτώσεις

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

- Δηλητηριάσεις - 3 εκατομμύρια περιπτώσεις
- 220.000 θάνατοι ετησίως
- Η επίπτωση των δηλητηριάσεων είναι 13 φορές υψηλότερη στις υπό ανάπτυξη χώρες σε σχέση με τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες.


ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ

Προστασία παραγωγής

Έλεγχος λοιμωδών νοσημάτων

Έκθεση

- Τροφές, αέρας, σκόνη και πόσιμο νερό

- 
- Έχουν ανιχνευθεί μικρές ποσότητες DDT και κυρίως DDE στο λιπώδη ιστό πολλών ζωικών ειδών, λόγω της επιμονής και της βιοσυσσώρευσής τους στο περιβάλλον (DDE συνοδεύει το DDT στα βιομηχανικά παρασκευάσματα, αλλά και είναι και προϊόν του καταβολισμού του DDT στους οργανισμούς).
 - Κύρια πηγή για τον άνθρωπο είναι οι τροφές ιδίως οι φυτικής προέλευσης τροφές όταν έχουν ραντισθεί πρόσφατα, ο αέρας, η σκόνη και το πόσιμο νερό.
 - το DDT ανιχνεύεται και στο μητρικό γάλα, όπως άλλωστε και στο γάλα των αγελάδων που βόσκουν σε ραντισμένα λειβάδια

Επίπεδα DDD/DDE στο μητρικό γάλα

- Αν και τα επίπεδα έχουν μειωθεί στις περισσότερες χώρες τις τελευταίες δεκαετίες (Smith, 2010), παραμένουν αυξημένα σε αρκετές αναπτυσσόμενες χώρες (Chao et al., 2006).
- Υψηλότερη αναλογία DDE / DDT αποτελεί ένδειξη υψηλής περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας και συνεχούς βιοσυσσώρευσης
- Χαμηλή αναλογία DDE/DDT υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση στο DDT, καθώς ο βιολογικός χρόνος ημιζωής του DDT είναι μικρότερος από αυτόν του DDE

Επίπεδα DDD/DDE στο μητρικό γάλα (πρόσφατα δεδομένα)

Table 22-14

Levels of *p,p'*-DDT and *p,p'*-DDE (ng/g Lipid) in Human Milk from Selected Countries

COUNTRY	SAMPLING YEAR	N	<i>p,p'</i> -DDT	<i>p,p'</i> -DDE	DDE/DDT	REFERENCE
Sweden	1997	40	14	129	9.2	Noren and Meironyte (2000)
Japan	1998	49	18	270	15.0	Konishi <i>et al.</i> (2001)
New Zealand	1998	53	26	626	24.1	Bate <i>et al.</i> (2002)
United Kingdom	2001–2003	54	6.2	150	24.2	Kalantzi <i>et al.</i> (2004)
Taiwan	2000–2001	30	22	301	13.7	Chao <i>et al.</i> (2006)
Mexico	1997–1998	60	651	3997	6.1	Waliszewski <i>et al.</i> (1999)
Thailand	1998	25	2600	8210	3.2	Stuetz <i>et al.</i> (2001)
China (Guangzhou)	2000	54	700	2850	4.1	Wong <i>et al.</i> (2002)
Vietnam	2000–2001	96	223	1956	8.8	Minh <i>et al.</i> (2004)
Turkey	2003	37	65	1522	28.0	Erdogrul <i>et al.</i> (2004)

- Το DDT (και άλλα χλωριούχα εντομοκτόνα) παρουσιάζει μεγάλους συντελεστές βιοπύκνωσης, και η ημιζωή του ανέρχεται σε 10 έως 20 χρόνια. Για το DDE όμως η ημιζωή ξεπερνά τα 50 χρόνια.
- το DDT είναι πειραματικά μεταλλαξιογόνο και καρκινογόνο.
- Με βάση τα δεδομένα από πειράματα σε ζώα, το DDT έχει ταξινομηθεί ως πιθανό καρκινογόνο για τον άνθρωπο από τον IARC· ωστόσο, τα στοιχεία για την καρκινογένεση στον άνθρωπο εξακολουθούν να μην είναι οριστικά.
- Στα πουλιά επίσης παρατηρείται αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας DDT που βρίσκεται συσσωρευμένο στα σώματά τους και του πάχους του κελύφους των αυγών τους.

Table 9. Example of Occupational Exposure Assessment Using Pesticide Handler Exposure Database

Work Scenario	Exposure Type	Exposure Per Pound Handled (μg per pound active ingredient)	Active Ingredient Handled (pounds/day)	Exposure ($\mu\text{g}/\text{day}$)	Absorbed Dose ($\mu\text{g}/\text{day}$)
Mixer/Loader	Inhalation	0.68	6.25	4	4
	Dermal	93.20	6.25	583	58
Applicator	Inhalation	1.80	6.25	11	11
	Dermal	16.60	6.25	104	10
Total				702	83

$$\text{Daily Dermal Exposure (mixer/loader)} = \frac{583 \mu\text{g/day}}{1000 \mu\text{g/mg} \times 70 \text{ kg}} = 0.0083 \text{ mg/kg/day}$$

$$\text{Daily Dermal Exposure (applicator)} = \frac{104 \mu\text{g/day}}{1000 \mu\text{g/mg} \times 70 \text{ kg}} = 0.0015 \text{ mg/kg/day}$$

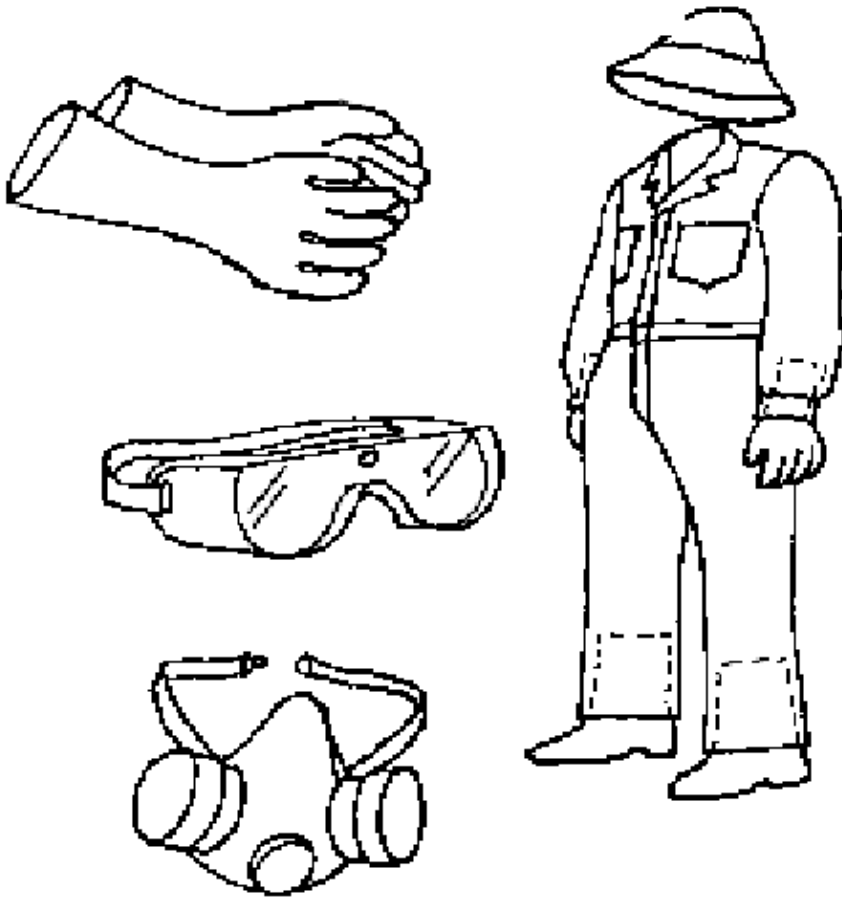
$$\text{Total Daily Dermal Exposure (mixer/loader/applicator)} = 0.0083 + 0.0015 = 0.0098 \text{ mg/kg/day}$$

$$\text{Absorbed Daily Dose (mixer/loader)} = \frac{62 \mu\text{g/day}}{1000 \mu\text{g/mg} \times 70 \text{ kg}} = 0.00089 \text{ mg/kg/day}$$

$$\text{Absorbed Daily Dose (applicator)} = \frac{21 \mu\text{g/day}}{1000 \mu\text{g/mg} \times 70 \text{ kg}} = 0.0003 \text{ mg/kg/day}$$

$$\text{Absorbed Daily Dose (mixer/loader/applicator)} = 0.0012 \text{ mg/kg/day}$$

Ατομικός εξοπλισμός προστασίας



Be aware of potential drift



Μέτρα Προστασίας – Ατομικά

Η προστασία από την έκθεση στα οργανοχλωριωμένα και οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα δημόσιας υγείας. Τα μέτρα πρέπει να λαμβάνονται τόσο σε ατομικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο πολιτείας και αγροτικής πρακτικής (WHO, 2021).

Κατάλληλος προστατευτικός εξοπλισμός: χρήση μάσκας με φίλτρο, γαντιών, αδιάβροχων στολών και γυαλιών.

Σχολαστική υγιεινή: πλύσιμο χεριών και αλλαγή ρούχων μετά τη χρήση φυτοφαρμάκων.

Εκπαίδευση των χρηστών: ενημέρωση για τους κινδύνους και τις οδηγίες ασφαλούς χρήσης των εντομοκτόνων.

Αποφυγή ψεκασμών σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (π.χ. άνεμος, υψηλές θερμοκρασίες).