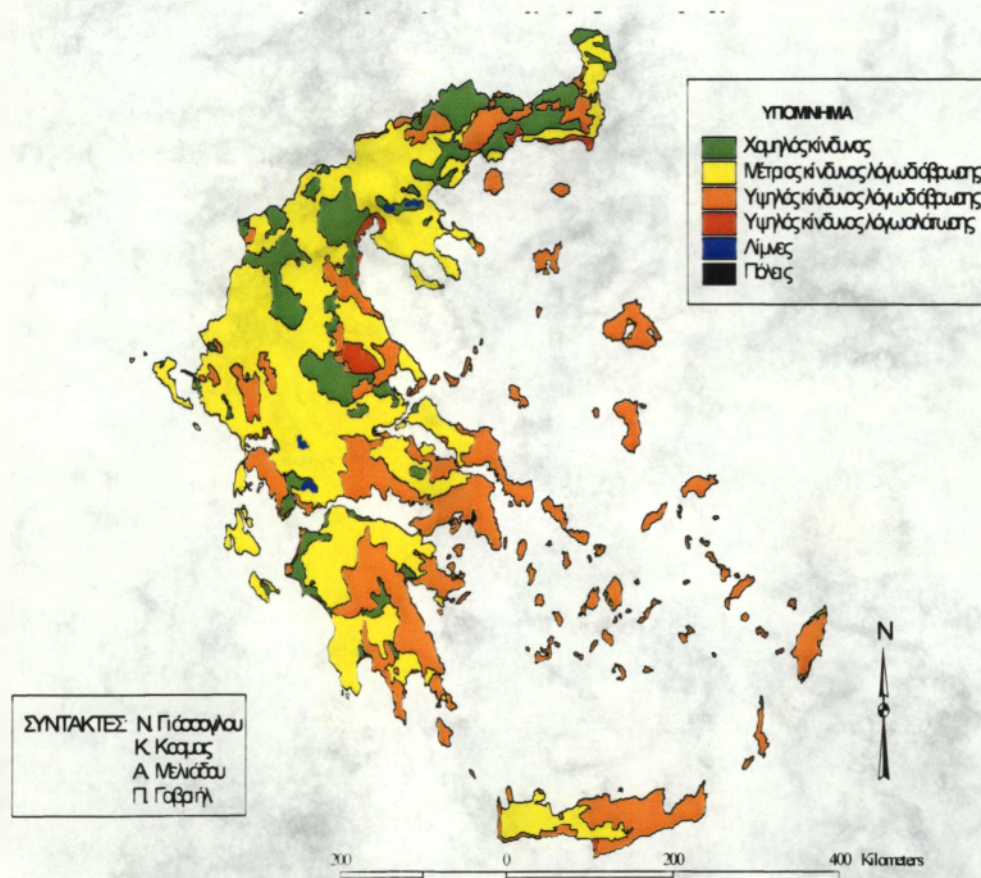


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**Παράγοντες που συμβάλουν στην
υποβάθμιση των εδαφικών πόρων**



**Σπουδάστρια: Κανακοπούλου Αγγελική
Εισηγητής: Δρ. Φ. Γιαννακοπούλου**

Καλαμάτα 2008

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την αμέριστη βοήθειά της την εκπαιδευτική συνεργάτη του Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Δρ. Φωτεινή Γιαννακοπούλου

και τους καθηγητές εφαρμογών

κ. Χ. Λιναρδόπουλο και κ. Χ. Μουρούτογλου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Έκταση του προβλήματος και κόστος της εδαφικής υποβάθμισης	6
Έκταση του προβλήματος	6
Κόστος της εδαφικής υποβάθμισης	8

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

1. Σκοποί και αρχές της προστασίας των εδαφών	10
2. Φυσική διάβρωση και διάβρωση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες	13
3. Μέτρα αντιμετώπισης	14
4. Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση	17
5. Το πρόβλημα της διάβρωσης των εδαφών στην Ελλάδα	17
6. Τύποι διάβρωσης του εδάφους	20
7. Βροχοπτώσεις και μηχανισμοί διάβρωσης του εδάφους	22
8. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιταχυνόμενη διάβρωση Γενική εξίσωση απώλειας εδάφους	23
8.1 Βροχοπτώσεις και νερά της επιφανειακής απορροής	24
8,2 Διαβρωσιμότητα του εδάφους	24
9. Καλλιεργητικό σύστημα, αμειψισπορά και διαχείριση του εδάφους	25
10. Πρακτικές εφαρμογές αντιδιαβρωτικής προστασίας των επικλινών εδαφών	32
11. Αντιδιαβρωτικά συστήματα κατεργασίας του εδάφους	34
12. Βαθιά άροση και υπεδαφοκατεργασία	36
12.1 Συμπληρωματικά αντιδιαβρωτικά μέτρα σε συνδυασμό με τα φθινοπωρινά οργώματα και εφαρμογή αυτών σε χωράφια που είναι σε αγρανάπαυση	37
12.2 Το σύστημα της μη κατεργασίας του εδάφους ως αντιδιαβρωτικό μέτρο	43
13. Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείματα και άλλα υλικά ως αντιδιαβρωτικό μέτρο προστασίας των εδαφών	44
α. Φυσικές ιδιότητες	45

β. Χημικές ιδιότητες	45
γ. Βιολογικές ιδιότητες	46
13.1 Κατάλληλος χρόνος εφαρμογής της κάλυψης του εδάφους	47
13.2 Το πρόβλημα κατεργασίας του εδάφους	47
14. Τα εδαφοβελτιωτικά (soil conditioners) για αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών	49
15. Μέτρα βελτίωσης της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών	52
15.1 Η οργανική ουσία	53

ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

1. Γενικά	58
2. Η ρύπανση και τα αίτιά της	59
3. Είδη ρυπαντών και πηγές ρύπανσης	61
Α. Ατμόσφαιρα	64
Β. Γεωργικά υλικά	66
Γ. Τοπικές σημειακές πηγές	68
Δ. Ρύπανση του εδάφους από βαριά μέταλλα	71
Δ1. Μεταφορά των βαρέων μετάλλων στο έδαφος	73
Δ2. Δυναμική των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό περιβάλλον	78
Δ3. Τοξικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος	79
4. Ζημιές που προκαλεί η ρύπανση του εδάφους στον άνθρωπο και τους άλλους ζωικούς οργανισμούς	81
5. Επιπτώσεις στη γεωργία	82
6. Αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης: πρόληψη και καθαρισμός	83
7. Μεταφορά ραδιενεργών ισοτόπων από το αβιοτικό περιβάλλον στους οργανισμούς	85
8. Ραδιενεργός ρύπανση εδαφών	86
8.1 Άμεση ρύπανση φυτών	88
8.2 Έμμεση ρύπανση φυτών	89
9. Μέτρα αντιμετώπισης της ραδιενεργής ρύπανσης του εδάφους	90
9.1 Απορρύπανση του εδάφους	90

9.2 Χρήση βελτιωτικών	92
-----------------------------	----

ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

1. Εισαγωγή	96
2. Οργανική ουσία του εδάφους	97
3. Ο χούμος του εδάφους	100
4. Σύσταση της οργανικής ουσίας του εδάφους	102
5. Τα οργανικά συστατικά της οργανικής ουσίας	106
6. Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους	106
7. Ο ρόλος του χούμου στην εδαφογένεση και στη γονιμότητα του εδάφους	107
8. Οργανικά εδάφη	108

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

1. Γενικά	111
2. Μετρήσεις της αλατότητας και της αλκαλίωσης των εδαφών	111
3. Η ποιότητα του νερού άρδευσης και οι συνέπειές της	112
4. Αλάτωση του εδάφους	112
5. Διηθητικότητα του εδάφους	113
6. Τοξικότητα ιόντων	114
7. Αξιολόγηση του νερού άρδευσης	115
8. Ποιες συγκεκριμένες συνθήκες οδηγούν το έδαφος σε αλάτωση	119
9. Επιπτώσεις της αλάτωσης στα καλλιεργούμενα φυτά	119
10. Αντιμετώπιση των προβλημάτων που οφείλονται στην αλάτωση	122
11. Καλλιεργητικά μέτρα για την αντιμετώπιση της αλάτωσης	123
11.1 Ισοπέδωση του εδάφους	123
11.2 Προγραμματισμός των αρδεύσεων	124
11.3 Περιοχή τοποθέτησης του σπόρου	125
11.4 Λίπανση	125
11.5 Κατανομή των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης	126
12. Αντοχή των καλλιεργειών στην αλατότητα	130
13. Μεταβολές του εδάφους που οφείλονται στη διεργασία αλάτωση-νατρίωση....	131

14. Αντοχή των φυτών στα άλατα	132
--------------------------------------	-----

ΣΥΜΠΙΕΣΗ – ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Συμπίεση εδάφους	134
Τροχοί συμπίεσης	142

ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

1. Εισαγωγή	143
2. Γιατί μας ενδιαφέρει η βιοποικιλότητα	143
Η βιοποικιλότητα ως πόρος	144
3. Αξίες της βιοποικιλότητας αναδυόμενες από τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων	144
4. Επίπεδα βιοποικιλότητας	145
4.1 Γενετική ποικιλότητα	145
4.2 Ποικιλότητα ειδών	146
4.3. Ποικιλότητα οικοσυστημάτων	147
5. Αιτίες εξαφάνισης ειδών	148
6. Υπερεκμετάλλευση	150
7. Καταστροφές και διαταραχές ενδιαιτημάτων	151
8. Εισαγόμενα είδη	153
9. Υπερθέρμανση του πλανήτη	154
10. Εμπορική γεωργία και δασοπονία	156
11. Τρόποι διατήρησης (διάσωσης) της βιοποικιλότητας	157
12. Αρχή της προνοητικότητας	157
13. Συμπεράσματα για τις αξίες της βιοποικιλότητας ως πόρου	158
14. Αποτίμηση των συστατικών της βιοποικιλότητας	159
15. Η διατήρηση θα εστιασθεί στο επίπεδο ειδών ή στο επίπεδο οικοσυστημάτων;.....	160
16. Διατήρηση της βιοποικιλότητας ή αποκαταστάσεις οικοσυστημάτων;.....	160
17. Η αποδάσωση των τροπικών δασών και η απώλεια της βιοποικιλότητας.....	161
18. Συμπεράσματα	163

ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗ

1. Εισαγωγή	164
2. Ορισμοί της ερημοποίησης	165
3. Παράγοντες και διεργασίες ερημοποίησης	168
4. Οι αιτίες της ερημοποίησης	174
5. Επιπτώσεις της ερημοποίησης	174
6. Η επίδραση της γεωργίας υψηλής ενέργειας	175
7. Η επέκταση της ερημοποίησης	176
8. Η ανθρώπινη αντίδραση	177
8.1 Κατάλληλες τεχνικές	178
8.2 Αποκατάσταση της υποβαθμισμένης γης	178
9. Στρατηγική για τη καταπολέμηση της ερημοποίησης	180

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάγκη προστασίας του εδάφους	185
Εξετασθείσες πολιτικές εναλλακτικές λύσεις	186
Επιλεγείσα εναλλακτική λύση	187
Ανάλυση των επιπτώσεων	188
Κόστος και οφέλη από την αναγνώριση του προβλήματος	188
Το κόστος και τα οφέλη των πιθανών μέτρων που θα λάβουν τα κράτη μέλη	190

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	192
---------------------------	-----

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ

Έκταση του προβλήματος

Τις τελευταίες δεκαετίες σημειώθηκε ουσιαστική επιτάχυνση της κλιμάκωσης των διεργασιών εδαφικής υποβάθμισης και υπάρχουν ενδείξεις ότι οι διεργασίες αυτές θα κλιμακωθούν περαιτέρω εάν δεν ληφθεί η δέουσα δράση. Οι διεργασίες εδαφικής υποβάθμισης οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες ή επιτείνονται από αυτές. Η αλλαγή του κλίματος σε συνδυασμό με μεμονωμένα καιρικά φαινόμενα που καθίστανται ολοένα και συχνότερα, αναμένεται επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των παραγόντων που συμβάλουν στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων.

Συγκεκριμένα, οι σημαντικότερες διαδικασίες εδαφικής υποβάθμισης που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια είναι:

- Διάβρωση: Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος υπολογίζει ότι 115 εκατομμύρια εκτάρια, ποσοστό 12% της συνολικής επιφάνειας της Ευρώπης, επηρεάζονται από φαινόμενα υδατογενούς διάβρωσης και ότι 42 εκατομμύρια εκτάρια υφίστανται αιολική διάβρωση, εκ των οποίων 2% θεωρείται ότι βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση.
- Ρύπανση: Επειδή η Ευρώπη εκβιομηχανίστηκε εδώ και περισσότερο από διακόσια χρόνια, αντιμετωπίζει πρόβλημα ρύπανσης του εδάφους εξαιτίας της χρήσης και της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών σε πολλές παραγωγικές διαδικασίες. Έχει υπολογισθεί ότι 3,5 εκατομμύρια τοποθεσίες ενδέχεται να έχουν υποστεί ρύπανση εκ των οποίων 0,5 εκατομμύρια, κατά τα φαινόμενα, έχουν υποστεί σοβαρότερη ρύπανση και επιβάλλεται να αποκατασταθούν.
- Υποβάθμιση της οργανικής ύλης: Η οργανική ύλη του εδάφους (SOM-OYE) διαδραματίζει μείζονα ρόλο σε ότι αφορά τον κύκλο του άνθρακα στο έδαφος. Το έδαφος αποτελεί ταυτόχρονα πομπό αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του

θερμοκηπίου και παράλληλα, αποθηκευτικό χώρο για τον άνθρακα, δεδομένου ότι περιέχει 1.500 γιγατόνους οργανικού και ανόργανου άνθρακα. Περίπου το 45% των Ευρωπαϊκών εδαφών χαρακτηρίζονται από χαμηλή ή ιδιαίτερα χαμηλή συγκέντρωση οργανικής ύλης (0-2% οργανικό άνθρακα) ενώ το 45% είναι μέσης περιεκτικότητας ως προς τον άνθρακα (2-6% οργανικό άνθρακα). Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα αισθητό στις νότιες χώρες, αλλά και σε μέρη της Γαλλίας, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γερμανίας και της Σουηδίας.

- Η αλάτωση: Οφείλεται στη συσσώρευση διαλυτών αλάτων, κυρίως νατρίου, μαγνησίου και ασβεστίου. Επηρεάζει περίπου 3,5 εκατομμύρια εκτάρια στην Ευρώπη. Ως επί το πλείστον, οι πληγόμενες περιοχές απαντούν στη Καμπανία της Ιταλίας, στην κοιλάδα του ποταμού Έβρου στην Ισπανία και στην περιοχή του Great Alfold στην Ουγγαρία, ενώ μικρότερες περιοχές βρίσκονται στην Ελλάδα, τη Πορτογαλία, τη Γαλλία, τη Σλοβακία και την Αυστρία.
- Συμπίεση: Θεωρείται ότι οι κίνδυνοι συμπίεσης του εδάφους ποικίλουν ανάλογα με τη περιοχή. Ορισμένοι συγγραφείς θεωρούν ότι περίπου το 36% του Ευρωπαϊκού υπεδάφους κινδυνεύει από υψηλή έως λίαν υψηλή συμπίεση. Άλλες πηγές υπολογίζουν σε 32% τα εδάφη που είναι ιδιαίτερα ευπαθή και σε 18% τα εδάφη που έχουν επηρεαστεί μετρίως.
- Βιοποικιλότητα: Η εδαφική βιοποικιλότητα δεν καλύπτει μόνο τα διάφορα γονίδια, είδη, οικοσυστήματα και λειτουργίες του εδάφους, αλλά και το μεταβολικό δυναμικό των οικοσυστημάτων. Η εδαφική βιοποικιλότητα επηρεάζεται από όλες τις διαδικασίες υποβάθμισης που αναφέρονται παραπάνω και όλες οι κινητήριες δυνάμεις που προαναφέρθηκαν ευθύνονται εξίσου για την απώλεια της βιοποικιλότητας.
- Ερημοποίηση: Θεωρείται πρόβλημα διατομεακού χαρακτήρα που μπορεί να επιλυθεί αντιμετωπίζοντας τις υπόλοιπες εδαφικές απειλές (ιδίως τη διάβρωση, τη μείωση της οργανικής ύλης, την αλάτωση και τη συμπίεση).

Κόστος της εδαφικής υποβάθμισης

Μολονότι είναι δύσκολο να γίνουν αναλυτικοί υπολογισμοί, από πολλές μελέτες αποδεικνύεται ότι το ετήσιο κόστος της εδαφικής υποβάθμισης για τη κοινωνία είναι σημαντικό και κυμαίνεται σε:

διάβρωση:	0,7 – 14,0 δισεκατομμύρια ευρώ ¹
ρύπανση:	2,4 – 17,3 δισεκατομμύρια ευρώ ²
μείωση της οργανικής ύλης:	3,4 – 5,6 δισεκατομμύρια ευρώ
αλάτωση:	158 – 321 δισεκατομμύρια ευρώ ³
συμπύεση:	αδύνατο να γίνουν αντίστοιχοι υπολογισμοί
μείωση της βιοποικιλότητας:	αδύνατο να γίνουν αντίστοιχοι υπολογισμοί
ερημοποίηση:	187 – 332 δισεκατομμύρια ευρώ

¹ Ο συγκεκριμένος υπολογισμός καλύπτει αποκλειστικά και μόνο το κόστος της διάβρωσης σε 13 χώρες, συμπεριλαμβανομένων των σημαντικότερων κρατών μελών στα οποία σημειώνονται φαινόμενα διάβρωσης. Δεν υπάρχουν δεδομένα για τα υπόλοιπα κράτη μέλη.

² Ανεξάρτητη μελέτη υπολογίζει ότι το κόστος της ρύπανσης του εδάφους θα μπορούσε να ανέρχεται ετησίως σε 208 δισεκατομμύρια ευρώ. Εντούτοις ο υπολογισμός αυτός είναι ιδιαίτερα αβέβαιος με αποτέλεσμα να υιοθετηθεί επί του παρόντος η προσωρινή τιμή των 17,3 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως.

³ Ο συγκεκριμένος υπολογισμός καλύπτει αποκλειστικά και μόνο το κόστος της αλάτωσης σε τρεις χώρες, ενώ δεν υπάρχουν δεδομένα για τα υπόλοιπα κράτη μέλη.

⁴ Για τον εν λόγω υπολογισμό ελήφθη υπόψη η ενδιάμεση τιμή σε ότι αφορά τη ρύπανση, ενώ οι ανώτερες τιμές ελήφθησαν υπόψη για τις άλλες απειλές.

Στο παραπάνω κόστος δεν περιλαμβάνονται οι ζημιές που υφίστανται οι οικολογικές λειτουργίες του εδάφους δεδομένου ότι είναι αδύνατον να ποσοτικοποιηθούν. Ως εκ τούτου, το πραγματικό κόστος της εδαφικής υποβάθμισης ενδέχεται να είναι υψηλότερο των προαναφερθέντων υπολογισμών.

Επί του παρόντος δεν υπάρχουν οι υπολογισμοί του κόστους της συμπίεσης και της υποβάθμισης της βιοποικιλότητας του εδάφους. Το επί του παρόντος υπολογίσιμο συνολικό κόστος υποβάθμισης του εδάφους, εξαιτίας τυχόν διάβρωσης, μείωσης της οργανικής ύλης, αλάτωσης και ρύπανσης, όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα δεδομένα, υπολογίζεται περίπου σε 38 δισεκατομμύρια ευρώ⁴ ετησίως για την ΕΕ. Οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ευρέως φάσματος, λόγω της έλλειψης επαρκών ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι ως επί το πλείστον, οι προκύπτουσες δαπάνες που επωμίζεται η κοινωνία οφείλονται στις ζημιές των υποδομών λόγω της εκροής ιζημάτων (στερεοπαροχής), στην όξυνση των αναγκών όσον αφορά την υγειονομική περίθαλψη για τα άτομα που πλήττει η ρύπανση, στην επεξεργασία του ύδατος που ρυπαίνεται μέσω του εδάφους, στη διάθεση των ιζημάτων, στην υποβάθμιση της αξίας του εδάφους γύρω από μολυσμένες περιοχές, στη κλιμάκωση των ελέγχων για την ασφάλεια των τροφίμων καθώς και στις δαπάνες που οφείλονται στις λειτουργίες οικοσυστήματος του εδάφους.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

1. Σκοποί και αρχές της προστασίας των εδαφών από τη διάβρωση

Η προστασία των εδαφών αποσκοπεί στη διατήρηση και βελτίωση των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι κυριότεροι στόχοι για την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση πρέπει να είναι:

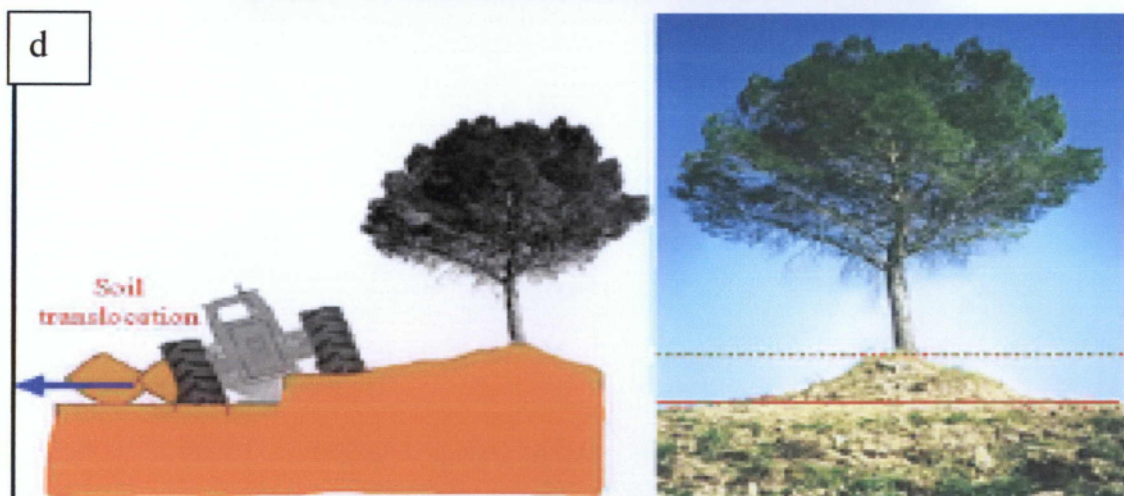
1. Μείωση της διάβρωσης σε τέτοιο βαθμό, ώστε η φυσική αναγέννηση του εδάφους σε συνδυασμό με τα μέτρα βελτίωσης του εδάφους να εξισορροπήσουν και να εξουδετερώσουν τη μείωση της γονιμότητας που προκαλεί η διάβρωση.
2. Εξασφάλιση όλων των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων στα φυτά και της υγρασίας στο έδαφος με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών των θρεπτικών στοιχείων με έκπλυση και με τα νερά της επιφανειακής απορροής.
3. Διατήρηση και αύξηση της οργανικής ουσίας των εδαφών και περιορισμό της οξείδωσης της οργανικής ουσίας με σκοπό τη μείωση των απωλειών, καθώς και την αύξηση της περιεκτικότητας των εδαφών σε οργανική ουσία με την προσθήκη οργανικών λιπασμάτων, την αξιοποίηση των αποβλήτων βιομηχανίας και των αστικών λυμάτων κ.λ.π.
4. Συντήρηση και βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, με την κατασκευή των αναγκαίων εγχειοβελτιωτικών έργων, της σωστής αμειψισποράς, της ορθολογικής λίπανσης κ.λ.π.
5. Επιλογή του καλύτερου συστήματος άρδευσης με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης στα επικλινή εδάφη.

Στο σύνολο των μέτρων προστασίας των εδαφών την πρώτη θέση πρέπει να καταλαμβάνουν τα μέτρα πρόληψης της διάβρωσης. Γιατί είναι δύσκολο και σε μερικές περιπτώσεις σχεδόν αδύνατον, να επαναφέρουμε το διαβρωμένο έδαφος στην κατάσταση γονιμότητας που υπήρχε πριν τη διάβρωση. Κανένας τρόπος προστασίας των εδαφών από τη διάβρωση δε μπορεί να θεωρείται πανάκεια. Σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να εφαρμοστούν τα κατάλληλα αντιδιαβρωτικά έργα προσαρμοσμένα στις φυσικές καλλιεργητικές και κλιματολογικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Δε θα πρέπει να μας διαφεύγει το γεγονός ότι την προστασία των εδαφών την επιτυγχάνουμε

με τη συνετή και ορθολογική αξιοποίησή τους, καθώς και με την λήψη όλων των κατάλληλων μέτρων για τη διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών.



Σχήμα 1: Εδάφη που έχουν υποβαθμιστεί εξαιτίας της διάβρωσης



Σχήμα 2: Υδατική διάβρωση (a,b), αιολική διάβρωση (c) και μηχανική διάβρωση (d)

2. Φυσική Διάβρωση και Διάβρωση που προκαλείται από τις Ανθρώπινες Δραστηριότητες

Η διάβρωση του εδάφους είναι η κίνηση των συστατικών του εδάφους, ιδιαίτερα του επιφανειακού καλλύματος του εδάφους από τον έναν χώρο στον άλλο.

Οι κύριοι παράγοντες της διάβρωσης είναι (σχήμα 2):

1. Η ροή του νερού (υδατική διάβρωση).
2. Ο άνεμος (αιολική διάβρωση).
3. Η μηχανική κατεργασία του εδάφους (μηχανική διάβρωση).

Μέρος της διάβρωσης του εδάφους αποτελεί φυσικό φαινόμενο και προκαλείται από το μακροχρόνιο μαρασμό βουνών και τη δημιουργία κοιλάδων και δέλτα, λόγω της συνδυαστικής δράσης φυσικών, χημικών και βιολογικών δυνάμεων. Σ'ένα οικοσύστημα του οποίου η βλάστηση δεν επιδέχθηκε καμία παρεμβολή, οι ρίζες των φυτών βοηθούν στη συγκόλληση του εδάφους και το έδαφος δε χάνεται με ρυθμό ταχύτερο από αυτόν του σχηματισμού του. Όμως η καλλιέργεια, η εκμετάλλευση των δασών, οι κατασκευές, η υπερβόσκηση, η χρήση των οχημάτων, η σκόπιμη καύση της βλάστησης και λοιπές δραστηριότητες που καταστρέφουν τη φυτική κάλυψη αφήνουν το έδαφος ευπαθές στη διάβρωση. Έτσι, οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να επιταχύνουν τη διάβρωση και να καταστρέψουν σε μερικές μόλις δεκαετίες ότι η φύση χρειάζεται εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια για να δημιουργήσει.

Το μεγαλύτερο μέρος της διάβρωσης του εδάφους προξενείται από τη μετακίνηση του νερού. Οι εδαφολόγοι διακρίνουν τρία είδη διάβρωσης από το νερό.

1. Η επιφανειακή διάβρωση σημειώνεται, όταν τα επιφανειακά νερά κινούνται καθοδικά σε κλίση ή κατά πλάτος ενός αγρού με μεγάλη ροή, απολεπίζοντας σχετικά ομοιόμορφα στρώματα εδάφους. Επειδή η επιφάνεια του εδάφους εξαφανίζεται ισότιμα, η διάβρωση μπορεί να μη γίνει αντιληπτή, παρά μόνον όταν έχει ήδη σημειωθεί μεγάλη καταστροφή. Σε μια μορφή διάβρωσης τα επιφανειακά νερά σχηματίζουν μικρά ρυάκια με ταχεία ροή μέσα στο έδαφος.
2. Στην αυλακοειδή διάβρωση τα ρυάκια με νερό ταχείας ροής συνδέονται μεταξύ τους και με κάθε διαδοχική βροχή προκαλούν το σχηματισμό βαθύτερων και ευρύτερων καναλιών μέχρι που να γίνουν χαντάκια ή ρέματα. Η διάβρωση αυτή σημειώνεται συνήθως σε εδάφη με απότομες κλίσεις, όπου σχεδόν ολόκληρο ή το μεγαλύτερο μέρος της βλάστησης έχει αφαιρεθεί.
3. Η χαραδρώδη διάβρωση όταν η ένταση των βροχοπτώσεων είναι έντονη τότε σχηματίζονται μεγάλες

αυλακώσεις στην επιφάνεια του κεκλιμένου εδάφους ή σχηματίζονται χαράδρες. Η επιφάνεια του εδάφους είναι ακανόνιστη καθώς και μεγάλες ποσότητες επιφανειακού εδάφους αλλά και εδάφους των βαθύτερων στρωμάτων απομακρύνονται με τα νερά της επιφανειακής απορροής. Το αποτέλεσμα είναι ότι στις πλημμυρισμένες περιοχές όπου εκβάλλουν οι χειμαρροί εγκαταλείπονται μεγάλες ποσότητες λάσπης.

Η απώλεια της επιφάνειας του εδάφους καθιστά το έδαφος λιγότερο γόνιμο και λιγότερο ικανό να συγκρατεί το νερό. Το ίζημα που προκαλείται ως αποτέλεσμα, η μεγαλύτερη πηγή ρύπανσης του νερού, φράζει τις αρδευτικές τάφρους, τα κανάλια, τους αποθεματικούς χώρους και τις λίμνες. Το νερό που βρίσκεται πάνω από ίζημα είναι θολό με άσχημη γεύση, τα ψάρια πεθαίνουν και αυξάνεται ο κίνδυνος των πλημμυρών. Τα ποτάμια έχουν καφέ χρώμα με ύψος που περιέχει ολόκληρο το κεφάλαιο της γης, το οποίο "αιμορραγεί" από το έδαφος.

Το έδαφος, ιδιαίτερα η επιφάνειά του, θεωρείται ως δυνητικά ανανεώσιμος φυσικός πόρος, καθώς συνεχώς ανανεώνεται από τις φυσικές διαδικασίες. Όμως στις τροπικές και εύκρατες περιοχές χρειάζονται από 200-1000 χρόνια, ανάλογα με το κλίμα και το είδος του εδάφους για να σχηματιστούν μόλις 2.54 εκατοστά νέας επιφάνειας. Αν η επιφάνεια του εδάφους διαβρωθεί ταχύτερα από ότι σχηματίζεται σένα κομμάτι γης, το έδαφος μετατρέπεται σε μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

Τα ετήσια ποσοστά διάβρωσης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, σε ολόκληρο τον κόσμο, είναι 7-100 φορές μεγαλύτερα του φυσικού ποσοστού ανανέωσης. Η διάβρωση του εδάφους είναι πιο ήπια στις δασικές εκτάσεις και τους βοσκοτόπους από ότι στις καλλιεργήσιμες, αλλά το έδαφος του δάσους χρειάζεται δύο έως τρεις φορές περισσότερο χρόνο για να αποκατασταθεί μόνο του από ότι το καλλιεργήσιμο έδαφος. Οι χώροι δομικών κατασκευών συνήθως παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά διάβρωσης. (Miller 2000)

3. Μέτρα αντιμετώπισης

Για να αποφευχθεί ο σχηματισμός χαράδρων πρέπει στις κλιτύες να εφαρμοστεί αντιδιαβρωτικό σύστημα καλλιέργειας και να χρησιμοποιηθούν τα μέτρα αποτροπής δημιουργίας ροής μεγάλης ποσότητας και ενέργειας. Η ενάργεια της επιφανειακής ροής μπορεί να μειωθεί με τον ορθολογικό τρόπο αξιοποίησης των κλιτύων, την εφαρμογή αντιδιαβρωτικής αμειψισποράς και αντιδιαβρωτικών μέτρων που εκθέσαμε, την εξασφάλιση πλήρους και σταθερής φυτοκάλυψης των μη καλλιεργούμενων κλιτύων,

καθώς και με την ελεγχόμενη βόσκηση. Για να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα και η ένταση της ροής στις κλιτύες όπου υπάρχει η πιθανότητα ανάπτυξης της χαραδρώδους διάβρωσης, πρέπει να εφαρμόσουμε εδαφουδατοπροστατευτικά μέτρα, όπως κατεργασία του εδάφους κατά τις ισουψείς καμπύλες, καλλιέργεια των φυτών σε λωρίδες, κατασκευή τεχνητών αναβαθμιδών, επικάλυψη κ.τ.λ. Σ τη συνέχεια ακολουθούν διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στην αποφυγή της χαραδρώδους διάβρωσης:

1. Αποτελεσματικό μέτρο αποτροπής της χαραδρώδους διάβρωσης αποτελούν τα αυλάκια υδατοαπορροής με καλυμμένο τον πυθμένα και τις πλευρές καλυμμένες με φυτά. Η φυτοκάλυψη επιτυγχάνεται με την καλλιέργεια αγροσιωδών φυτών που είναι κατάλληλα για τις δεδομένες εδαφικές και κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. στις ΗΠΑ χρησιμοποιούν *Poa pratensis*, *Bromus inermis*, *Festouca elatior*, *Agropyron smithi*, *Phalaris arunelinacea*, *Phleum pratense*, *Lolium vigratum*, *Agropyron intermedium* κ.λ.π. Πριν τη σπορά, το έδαφος πρέπει να υποστεί καλή κατεργασία και να προστεθούν λιπάσματα, ιδιαίτερα κοπριά σε ποσότητες 22,5 τόνου/ εκτάριο. Η σπορά γίνεται με διπλάσια ποσότητα σπόρων απ'αυτή που χρησιμοποιείται για τα βοσκοτόπια. Μετά τη σπορά εφαρμόζεται σχετική επικάλυψη με άχυρο καλαμιάς, κοπριά ή διαβρέχεται η επιφάνεια με διάλυμα εδαφοβελτιωτικών. Πιο κατάλληλη περίοδος για το σχηματισμό αυλακίων υδατοαπορροής θεωρείται το τέλος του καλοκαιριού, αρχές φθινοπώρου και η σπορά το φθινόπωρο όταν δεν αναμένονται ραγδαίες βροχοπτώσεις. Τα καλλιεργούμενα φυτά πρέπει να είναι εύκαμπτα και να μην έρπουν στο έδαφος και 2-3 φορές το χρόνο να γίνεται χορτοκοπή με σύγχρονη απομάκρυνση του χλωρού χόρτου, για να αποφευχθεί η συσσώρευσή τους στο αυλάκι που μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα εμπόδια στη ροή του νερού. Απαγορεύεται η βόσκηση των αυλακίων υδατοαπορροής καθώς και η χρήση αυτών ως δρόμοι. Το πλάτος των αυλακίων πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο το βάθος της ροής, χωρίς να δυσκολεύεται η κίνηση των μηχανημάτων. Οι αύλακες απορροής θα πρέπει να εκβάλουν στα μόνιμα βοσκοτόπια ή σε λειμώνες. Μεγάλη σημασία για την αντιμετώπιση της χαραδρώδους διάβρωσης αποτελεί η δημιουργία προστατευτικών δασοφυτειών στις πλευρές τις λεκάνης απορροής κάθετα προς την κλίση και η εξασφάλιση φυτοκάλυψης σε όλη τη μη καλλιεργούμενη έκταση των πλευρών.
2. Εφαρμογή διάφορων οχυρωματικών υδατοφρακτών από λίθους, μπετόν αρμέ και φυσικά φράγματα με τη φύτευση φυτών ιτιάς και λεύκας. Κύριος σκοπός των

φυτεύσεων αυτών είναι η διασπορά της ροής και επομένως η μείωση της ταχύτητας ροής του νερού.

3. Κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων, όπως κατασκευές που εξασφαλίζουν κάθετη πτώση του νερού σε εκτονωτικό φρεάτιο, η υδρορροή (το λούκι), το νεροαύλακο κ.τ.λ. Κοινό χαρακτηριστικό αυτών είναι ότι αποτελούν υποχρεωτική δίοδο για ολόκληρη τη ροή χωρίς κίνδυνο να τη φέρουν σε πιο χαμηλή στάθμη.

Επίσης, στα πλαίσια της αναφερόμενης κατασκευής αφαιρείται το περισσότερο τμήμα της κινητικής ενέργειας της ροής, έτσι ώστε το νερό να χάνει την ικανότητα να προκαλέσει διάβρωση αμέσως κάτω από την κατασκευή. Με τα μέτρα αυτά αποφεύγονται οι αρνητικές συνέπειες που προκαλεί η χαραδρώδης διάβρωση και οι οποίες είναι οι εξής:

- 1) Καταστρέφει τελείως και αφαιρεί από τη γεωργία γόνιμες εκτάσεις και παραγωγικά εδάφη.
- 2) Διαμελίζει την έκταση των χωραφιών.
- 3) Δημιουργεί προβλήματα στη μηχανοποίηση των καλλιεργητικών φροντίδων.
- 4) Προκαλεί αύξηση των απωλειών του νερού με τη στράγγιση και εξάτμιση.
- 5) Μειώνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών και καταστρέφει την ισορροπία του οικοσυστήματος.

Η αξιοποίηση των εδαφών που καταστράφηκαν από τη χαραδρώδη διάβρωση για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους.

Με επιχωμάτωση των χαραδρών με διάφορα απορρίμματα, σκουπίδια και με άλλα υλικά. Με ισοπέδωση των πλευρικών όχθων των χαράδρων, προσδίδοντας σ' αυτές την απαιτούμενη κλίση η οποία εξαρτάται από τον τρόπο που προορίζεται να αξιοποιηθεί η έκταση αυτή για γεωργική χρήση.

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται εφαρμογή ορθολογικών επιστημονικά τεκμηριωμένων τρόπων καλλιέργειας. Επειδή μετά την επιχωμάτωση και την προσπάθεια ισοπέδωσης των χαραδρών το έδαφος, βρίσκεται σε κατάσταση μεγάλης ανομοιομορφίας (ή ετερογένειας), στα πρώτα 3-4 χρόνια πρέπει να καλλιεργήσουμε το έδαφος με δημητριακά και στη συνέχεια, 2-3 χρόνια λειμώνια ή ποώδη φυτά. Κατά την αρχική περίοδο για την βελτίωση της γονιμότητας απαραίτητο είναι να εφαρμοστούν διπλές και τριπλές δόσεις λιπασμάτων και ιδιαίτερα να εφαρμοστεί η οργανική λίπανση. Στις συνθήκες της αρδευόμενης βαμβακοπαραγωγικής ζώνης της κεντρικής Ασίας καλά αποτελέσματα έδωσε η προσθήκη κοπριάς 40-60 τόνοι/εκτάριο, υδρολύσιμης λιγνίνης 30-40 τόνοι/εκτάριο (απορρίμματα βιομηχανίας υδρόλυσης) και η προσθήκη αστικών

λυμάτων 60-90 τόνου/εκτάριο. Αποτελεσματική είναι και η επικάλυψη με άχυρο, καλάμια κλπ. (Νιγμάτοβ Α.Ν., 1987).

4. Η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση

Το πρόβλημα της διάβρωσης των γεωργικών εδαφών ήταν πάντα πολύ σημαντικό. Τα τελευταία όμως χρόνια έχει καταστεί εντονότερο λόγω της εντατικής κατεργασίας του εδάφους με συστήματα και εργαλεία που τη διευκολύνουν. Η κατάσταση αυτή διευκολύνεται επίσης από την τοπογραφία του εδάφους και από τις κλιματικές συνθήκες. Ήδη πολλές περιοχές έχουν καταστεί άγονες ή ημιέριμες.

Η κατεργασία του εδάφους μπορεί να δράσει είτε προστατεύοντας είτε και διευκολύνοντας τη διάβρωση. Σε εδάφη επικλινή με έντονες βροχοπτώσεις και ισχυρούς ανέμους, κατεργασία με αναστροφή (όργωμα) κατά την κλίση και με έντονο θρυμματισμό μπορεί να αποδειχθεί καταστροφική. Αντίθετα, κατεργασία με εργαλεία με δόντια που αφήνουν στην επιφάνεια του εδάφους τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας δρα προστατευτικά. Το έδαφος δεν παρασύρεται με τη βροχή γιατί η κρούση των σταγόνων της βροχής μειώνεται σημαντικά. Ταυτόχρονα υποβοηθείται και η διήθηση του νερού. Κατεργασία μάλιστα κατά τις ισουψείς μπορεί να περιορίσει ακόμα σημαντικότερα τη διάβρωση και αν ακόμη χρησιμοποιηθεί υνάροτρο. (Γσατσαρέλη 2000)

5. Το πρόβλημα της διάβρωσης των εδαφών στην Ελλάδα

Οι φυσικές, εδαφικές, γεωλογικές, γεωμορφολογικές, τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες της χώρας ευνοούν την ανάπτυξη όλων των μορφών διάβρωσης. Τα ελληνικά εδάφη είναι από τα πιο ευαίσθητα στη διάβρωση εδάφη στον κόσμο, για τους εξής λόγους (Γρηγοράκης Χ., 1967 και Πάνου Δ.Α., 1982, Παρούσης Η., Αλεξανδρής Σ. και Σιμώνης Α., 1990).

1. Τα ελληνικά εδάφη περιέχουν οργανική ουσία σε χαμηλό ποσοστό. Το χαμηλό ποσοστό της οργανικής ουσίας στα εδάφη:

- α) δεν ευνοεί τη δημιουργία ανθεκτικών εδαφικών συσσωματωμάτων στην καταστρεπτική δύναμη των σταγόνων του νερού της βροχής και

β) δε βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (υδατοδιαθετικότητα, υδατοχωρητικότητα κ.λ.π. (αναλυτικά η επίδραση της οργανικής ουσίας παρουσιάζεται στο κεφάλαιο).

2. Το ανάγλυφο του ορεινού όγκου των ελληνικών εδαφών με τις πυκνές και μεγάλες κλίσεις που υπάρχουν.

3. Η ξηρότητα του κλίματος σε συνδυασμό με τις ραγδαίες και καταρρακτώδεις βροχές.

Εκτός από τους ανωτέρω λόγους υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιταχύνουν τη διάβρωση του εδάφους στη χώρα μας, όπως η περιορισμένη χρήση κοπριάς και άλλων οργανικών λιπασμάτων (χλωρή λίπανση, χρήση διάφορων φυτικών υπολειμμάτων, αξιοποίηση των αστικών λυμάτων κ.λ.π.), η χρήση βαρέων μηχανημάτων, η ανεπαρκής κάλυψη του εδάφους, η μονοκαλλιέργεια επί σειρά ετών, η σπορά σιτηρών στις ορεινές κλιτύς, καθώς η υπερβόσκηση και οι συχνές πυρκαγιές που παρατηρούνται στους βοσκοτόπους και τα δάση. Στην Ελλάδα το 26,5% της συνολικής επιφάνειας, δηλαδή έκταση 35 εκατομμυρίων στρεμμάτων, παρουσιάζει επιφανειακή φυλλοειδή διάβρωση, αυλακοειδή επιφανειακή διάβρωση και χαραδρώδη διάβρωση. Σύμφωνα με διάφορες εκτιμήσεις οι ετήσιες απώλειες είναι της τάξης των 150-300 εκατομμυρίων τόνων γόνιμου εδάφους, με το οποίο χάνονται 1,5 εκατομμύρια τόνοι χούμου, 150.000 τόνοι ολικού αζώτου, 300.000 τόνοι ολικού φωσφόρου και περίπου 540.000 τόνοι ολικού καλίου. Οι απώλειες των θρεπτικών είναι πολύ μεγάλες αν λάβουμε υπόψη ότι το έτος 1990 στη γεωργία χρησιμοποιήθηκαν περίπου 426.554 τόνοι N, 187.265 τόνοι P₂O₅, 71.285 τόνοι K₂O (συνολικά 685.105 τόνοι θρεπτικών στοιχείων) δηλαδή περίπου 2 εκατομμύρια τόνοι λιπασμάτων. Από τα στοιχεία αυτά συμπεραίνεται ότι οι μισές ποσότητες από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία χάνονται με τη διάβρωση. Σύμφωνα με τον Ευτυχίδη Γ., (1987), στην Ελλάδα υπάρχουν και δρουν καταστρεπτικά περισσότεροι από 700 χείμαρροι. Παραθέτουμε μερικές ενδιαφέρουσες περιπτώσεις χειμάρρων στην Ελλάδα που δρουν καταστρεπτικά:

- 1) Ο χείμαρρος Σελεμπού στην Πελοπόννησο σε μικρό χρονικό διάστημα αγρήστευσε στη λεκάνη απορροής 1.600 στρέμματα δασικών και κτηνοτροφικών εδαφών και μείωσε την παραγωγικότητα των ορεινών βοσκοτόπων κατά 50%. Το 1969 το σύνολο των ζημιών είχε αποτιμηθεί σε 2.100.000 δρχ.
- 2) Στη Δράμα ο χείμαρρος Μοναστηρακιού το 1950 προκάλεσε τεράστιες ζημιές ύψους τότε 5.000.000 δρχ.

- 3) Ανάλογες καταστροφές προκαλούνται σε διάφορες περιοχές της χώρας, Μπουκλουτζιάς στην Κομοτηνή, Δενδροπόταμος στη Θεσσαλονίκη, Ταταρίσιος στην Ελασσόνα, Κρουσοβίτης στο Σιδηρόκαστρο κ.λ.π.

Αναφορικά με τις ποσότητες εδάφους που χάνονται από την καταστρεπτική δράση διαφόρων χειμάρρων αναφέρουμε ενδεικτικά τα παρακάτω:

- 1) Μετά από 6 ώρες βροχής μέτριας έντασης προσχώθηκε με 15.000m^3 φερτά υλικά το φράγμα στον κλάδο Κερασίας από τον χείμαρρο Πάμισσο Θεσσαλίας.
- 2) Στο χείμαρρο Κρουσοβίτη του Σιδηρόκαστρου κατασκευάστηκε φράγμα που σε 5 χρόνια συγκράτησε $1.000.000\text{ m}^3$ φερτά υλικά (μέσος όρος $200.000\text{m}^3/\text{έτος}$).
- 3) Στην περίοδο 1951-1961 ο χείμαρρος Κοσυνθός της Ξάνθης μετέφερε και εναπόθεσε φερτά υλικά ύψους $2.800.000\text{m}^3$.
- 4) Ο χείμαρρος Ορμός στην Αλμωπία σε λίγες ώρες μετέφερε σε φράγμα υλικά ύψους 50.000m^3 .
- 5) Στην Πάτρα ο χείμαρρος Γλαύκος σε 25 χρόνια μετέφερε και εναπόθεσε φερτά υλικά της τάξης των $4.000.000\text{ m}^3$ πολύ κοντά στην πόλη των Πατρών.

Στοιχεία της ΔΕΗ αναφέρουν ότι στην τεχνητή λίμνη του Λάδωνα αποτίθενται $170.000\text{ m}^3/\text{έτος}$ φερτά υλικά . Το φράγμα της ΔΕΗ στο Πολύφωτο της Κοζάνης με προϋπολογισμό πάνω από 1,5 δισεκατομμύριο το 1973, κινδυνεύει από τις αποθέσεις 28 χειμάρρων της περιοχής που μεταφέρουν το χρόνο $350.000-400.00\text{ m}^3$ φερτά υλικά. Σε τριάντα χρόνια μετά την κατασκευή θα έχουν εναποτεθεί τουλάχιστο $11.000.000\text{ m}^3$ φερτά υλικά με άμεση δυσμενή συνέπεια στη λειτουργία και απόδοση του φράγματος. Τεράστιες ζημιές προκαλεί η διάβρωση προσχώνοντας τις τεχνητές λίμνες, τις δεξαμενές, τα συστήματα άρδευσης και απορροής, καταστρέφοντας γραμμές επικοινωνίας, γέφυρες, κατοικίες και εργοστάσια,. Τα νερά της απορροής και έκλυσης μεταφέρουν ιζήματα, θρεπτικά στοιχεία, υπολείμματα ζιζανιοκτόνων, και φυτοφαρμάκων με δυσμενείς επιδράσεις στην οικολογική ισοροπία των φυσικών αποδεκτών. Η διάβρωση, κυρίως παράγοντας αύξησης της συγκέντρωσης νιτρικών στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, προκαλεί γενικά ευτροφισμό και ρύπανση του νερού και του περιβάλλοντος και διαταράσσει την οικολογική ισοροπία του οικοσυστήματος. Οι πυρκαγιές των δασικών εκτάσεων διευκολύνουν σημαντικά τη διάβρωση των εδαφών. Ο Μήτσιος Ι.Κ.,(1994), στη μονογραφία του με τίτλο "Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες" συμπεριλαμβάνει πολλά ερευνητικά δεδομένα του Ελλαδικού χώρου σχετικά με τις απώλειες θρεπτικών στοιχείων από διάφορες αιτίες. Σύμφωνα με τα στοιχεία που παραθέτει, ο Αλεξανδρής Σ., (1981) υποστηρίζει ότι για χρονικά

διαστήματα οκτώ(8) μηνών μετά την πυρκαγιά, όταν τα εδάφη έχουν κλίση 15-24% υφίστανται διάβρωση και απομακρύνονται με διάβρωση 300 m³ εδάφους ανά εκτάριο. Σε εδάφη με κλίση 40% απομακρύνονται με διάβρωση 300m³εδάφους ανά εκτάριο. Ύστερα από κάθε πυρκαγιά δασικών εκτάσεων οι απώλειες των θρεπτικών στοιχείων λόγω της διάβρωσης ανέρχονται ως κατωτέρω (Αλεξανδρής Σ., 1990):

Άζωτο	56.874	τόνοι/εκτάριο/έτος
P ₂ O ₅	4.352	'' '' ''
K ₂ O	155.149	'' '' ''
CaO	155.000	'' '' ''
MgO	17.346	'' '' ''

Οι απώλειες των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους εξαιτίας της διάβρωσης εξαρτώνται από τον τύπο της φυτικής κάλυψης.

Ο Πάνου Λ.Α., (1982) χαρακτηρίζει τη διάβρωση "Λερναία Ύδρα" για τη χώρα μας, η οποία αφανίζει την εθνική φυσική παραγωγικότητα, ελαττώνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών μέχρι 75% και υποβαθμίζει περισσότερο την ποιότητα των γεωργικών προϊόντων. Με βάση τα παραπάνω, η Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως χώρα που πλήττεται έντονα από τη διάβρωση και επομένως η προστασία των εδαφών πρέπει να αποτελεί χρέος και ύψιστη εθνική επιταγή. Το πρόβλημα προστασίας των εδαφών από τη διάβρωση και η εξάλειψη των επιπτώσεων που έχει προκαλέσει πρέπει να καταλάβουν σημαντική θέση στις έρευνες και μελέτες του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) καθώς και των Γεωπονικών και Τεχνολογικών Ιδρυμάτων της χώρας.

6.Τύποι διάβρωσης του εδάφους

Είναι γεγονός ότι η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο που θα μπορούσε να θεωρηθεί επωφελές για τη δυναμική ανάπτυξη του εδάφους και γενικά της φύσης όταν ο ρυθμός αναγέννησης, σχηματισμού του εδάφους θα υπερέβαινε τους ρυθμούς διάβρωσης. Στις περιπτώσεις αυτές έχουμε το σχηματισμό λεπτού επιφανειακού στρώματος εδάφους. Όπως αναφέραμε η διάβρωση εξαρτάται από τις κλιματολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες, το μητρικό υλικό και το καλλιεργητικό σύστημα που εφαρμόζεται σε μια

περιοχή. Η διάβρωση που οφείλεται στη δράση του νερού είναι ένα από τα πλέον γνωστά γεωλογικά φαινόμενα. Ο σχηματισμός διάφορων πεδιάδων, κοιλάδων, ο σχηματισμός των δέλτα διάφορων ποταμών είναι τα αποτελέσματα της καταστροφικής δράσης των νερών της βροχής. Στην κανονική διάβρωση (normal ή geological erosion) απομακρύνονται σε ετήσια βάση ποσότητες εδάφους που ανέρχονται σε 25- 50 kg/στρέμμα (250-500 kg/εκτάριο). Δηλαδή στην κανονική γεωλογική διάβρωση σχηματίζεται ετησίως μεγαλύτερο στρώμα εδάφους από αυτό που καταστρέφει η διάβρωση. Στις περιπτώσεις που η διάβρωση καταστρέφει περισσότερο στρώμα εδάφους από αυτό που σχηματίζεται στις δεδομένες συνθήκες, τότε η διάβρωση καλείται επιταχυνόμενη (accelerated erosion). Συνήθως η διάβρωση αυτή προέρχεται από τη δράση του νερού και έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία. Σχετικά με την ορολογία γεωλογική και επιταχυνόμενη διάβρωση, που επικρατεί σε ορισμένες βιβλιογραφίες, έχουμε να παρατηρήσουμε ότι οι όροι αυτοί δεν ανταποκρίνονται στην ουσία των διαδικασιών της διάβρωσης. Η γεωλογική διάβρωση προχωρεί ταυτόχρονα και παράλληλα με την αποσάθρωση των πετρωμάτων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το επιφανειακό στρώμα που απομακρύνεται με τη διάβρωση αντικαθίσταται συγχρόνως από το υλικό που προκύπτει από την αποσάθρωση των πετρωμάτων. Το φαινόμενο αυτό συντελείται με βραδείς ρυθμούς και γι'αυτό δεν γίνεται αντιληπτό. Η επιταχυνόμενη διάβρωση αντίθετα προκαλεί ζημιές που είναι εμφανείς και που πολλές φορές οι ζημιές αυτές είναι μεγάλης έκτασης. Κατά την επιταχυνόμενη διάβρωση απομακρύνονται ποσότητες γόνιμου επιφανειακού εδάφους των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Στην αρχή απομακρύνονται τα λεπτόκοκκα τεμάχια του εδάφους, τα οποία είναι και τα πλέον χημικώς ενεργά, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του άγονου και μη παραγωγικού υπεδάφους. Ειδικότερα στη χώρα μας οι διαβρώσεις των κεκλιμένων γεωργικών εκτάσεων, είναι έντονες και πάρα πολύ εντυπωσιακές. Η επιταχυνόμενη διάβρωση παρατηρείται στις περιπτώσεις που η καλλιέργεια του εδάφους δε γίνεται με επιστημονικό τρόπο. Όμως στις περιπτώσεις που ο παραγωγός εφαρμόζει αντιδιαβρωτικά συστήματα καλλιέργειας, η διάβρωση μπορεί να μειωθεί σημαντικά και να παραμείνει σε κανονικά επίπεδα.

7.Βροχοπτώσεις και μηχανισμοί διάβρωσης του εδάφους

Η διάβρωση που προέρχεται από τη δράση των νερών της βροχής χαρακτηρίζεται από τις δύο κατωτέρω διαδικασίες:

- 1) Τη διάσπαση των καλλιεργητικών βόλων του εδάφους με αποτέλεσμα το σχηματισμό λεπτών κόκκων ή λεπτών εδαφικών σωματιδίων και
- 2) Την απομάκρυνση των λεπτών κόκκων ή των εδαφικών σωματιδίων από τους καλλιεργητικούς βόλους του εδάφους. Η διάσπαση των καλλιεργητικών βόλων του εδάφους οφείλεται στη δύναμη πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής και στη μεγάλη κινητική ενέργεια και ορμή αυτών. Όσο η ένταση της καταιγίδας είναι μεγάλη τόσο μεγαλύτερες είναι οι σταγόνες της βροχής και επομένως η ταχύτητα αυτών μεγαλύτερη. Η διάμετρος των σταγόνων βροχής μιας τυπικής ελαφρής σε ένταση βροχόπτωσης είναι περίπου 1mm και η τελική ταχύτητα αυτών σχεδόν 3,8m.sec. Σε δυνατές καταιγίδες η διάμετρος των σταγόνων της βροχής είναι 4,5mm και η τελική ταχύτητα αυτών 9m.sec. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι σταγόνες αυτές (4,5mm) να έχουν μια κινητική ενέργεια 500 φορές μεγαλύτερη και ορμή 200 φορές μεγαλύτερη από τις σταγόνες βροχής με τη μικρότερη διάμετρο.

Επομένως όσο πιο σφοδρή είναι η καταιγίδα, τόσο πιο έντονο ψιλοχωμάτισμα προκαλούν οι βροχοσταγόνες στο έδαφος. Καταιγίδα με ένταση 5cm h έχει καταστροφική ενέργεια ύψους 5,6 KW ανά εκτάριο. Όταν η ένταση της καταιγίδας προσεγγίζει τα 7,5cm h τότε η καταστροφική ενέργεια ανέρχεται σε 520 KW ανά εκτάριο, δηλαδή σχεδόν 100 φορές μεγαλύτερη. Οι βροχοπτώσεις έντασης 2-3cm h δεν προκαλούν ψιλοχωμάτισμα τα εδαφικά συσσωματώματα του εδάφους. Οι σταγόνες της βροχής διαβρέχουν τους καλλιεργητικούς βόλους του εδάφους, που ανάλογα με το μέγεθος της δύναμης πρόσκρουσης προκαλείται σε μικρό ή σε μεγάλο βαθμό ψιλοχωμάτισμα αυτών με αποτέλεσμα τη διάβρωση του υδατοκορεσμένου εδάφους. Τα αποτελέσματα της διάβρωσης του υδατοκορεσμένου εδάφους είναι:

1. Ότι τα εδαφικά σωματίδια που περιέχουν εδαφικό χούμο διασπείρονται στο νερό και απομακρύνονται με τα νερά της επιφανειακής απορροής.
2. Δε μεταφέρονται με τα νερά απορροής οι χονδρότεροι κόκκοι της άμμου με αποτέλεσμα η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους να γίνεται χονδροκοκκοαμμώδης.

3. Τα λεπτά εδαφικά σωματίδια που βρίσκονται σε διασπορά στο νερό φράσσουν τους μεγαλύτερους πόρους του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, που σε συνδυασμό με τη διάσπαση και επιτεδοποίηση των καλλιεργητικών βόλων του εδάφους δημιουργούν ένα συμπαγές στρώμα, που σε ορισμένες περιπτώσεις το στρώμα αυτό προφυλάσσει το έδαφος από την καταστροφική επίδραση των δυνάμεων πρόσκρουσης των βροχοσταγόνων. Εκτός από τους ανωτέρω μηχανισμούς διάβρωσης του υδατοκορεσμένου εδάφους από τις σταγόνες της βροχής οι σταγόνες αυτές συμμετέχουν στη διάβρωση με τους μηχανισμούς αναπήδησης, που σ' αυτή την περίπτωση τα πιτσιλίσματα αυτά των μικρών σταγόνων με την πορεία της αναπήδησης απομακρύνουν τα λεπτότερα εδαφικά σωματίδια ακόμη και σε απόσταση μέχρι και ενός μέτρου

8. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιταχυνόμενη διάβρωση. Γενική εξίσωση απώλειας εδάφους

Η ποσότητα του εδάφους που χάνεται με τη διάβρωση υδατοκορεσμένου εδάφους και με την αυλακοειδή διάβρωση υπολογίζεται με βάση την εμπειρική εξίσωση που είναι γνωστή ως γενική εξίσωση απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation, USLE). $A=R.K.L.S.C.P.$ όπου:

A = η ποσότητα του εδάφους που χάνεται με τη διάβρωση.

R = η διαβρωτική ικανότητα, διαβρωτικότητα (erosivity) των βροχοπτώσεων και των νερών της επιφανειακής απορροής, ως αποτέλεσμα της κινητικής ενέργειας των βροχών των καταιγίδων και με μέγιστη ένταση διάρκειας 30min.

K = διαβρωσιμότητα του εδάφους που ισοδυναμεί με την τιμή της ποσότητας εδάφους που χάνεται από ένα κανονικό πειραματικό τεμάχιο μήκους 22,1m και με κλίση 9% σε συνθήκες κατεργασίας καθαρισμού του εδάφους και σε διαρκή αγρανάπαυση.

L = το μήκος του κεκλιμένου εδάφους.

S = η κλίση του κεκλιμένου εδάφους.

C = εκφράζει το καλλιεργητικό σύστημα και τη διαχείριση του εδάφους.

P = ο παράγοντας αυτός αναφέρεται σε πρακτικές εφαρμογές που έχει ως σκοπό να ελέγχει τη διάβρωση του εδάφους π.χ. καλλιέργεια κατά τις ισουψείς καμπύλες και σε λωρίδες του εδάφους.

8.1 Βροχοπτώσεις και νερά της επιφανειακής απορροής

Ο παράγοντας της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής (R), αναφέρεται στη δύναμη διάβρωσης των βροχοπτώσεων και των νερών της επιφανειακής απορροής. Το συνολικό βροχομετρικό ύψος και η ένταση των βροχοπτώσεων είναι παράμετροι που επηρεάζουν τη διάβρωση των εδαφών.

Υψηλό ετήσιο βροχομετρικό ύψος προερχόμενο από βροχοπτώσεις μικρής έντασης προκαλεί μικρή διάβρωση στα εδάφη, ενώ αντίθετα χαμηλότερο ετήσιο βροχομετρικό ύψος προερχόμενο από βροχοπτώσεις υψηλής έντασης προκαλεί σοβαρές ζημιές στα εδάφη εξαιτίας της διάβρωσης. Επίσης η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, επηρεάζει τις απώλειες του εδάφους από τη διάβρωση. Το έδαφος είναι ευπρόσβλητο στη διάβρωση, όταν η κλίση των σπόρων προετοιμάζεται με την παραδοσιακή κατεργασία του εδάφους, όπως συμβαίνει με τις καλλιέργειες του αραβοσίτου, βαμβακιού, ζαχαρότευτλων και γεωμήλων. Ο παράγοντας (R), μερικές φορές καλείται και δείκτης διάβρωσης των βροχοπτώσεων.

8.2 Διαβρωσιμότητα του εδάφους

Η διαβρωσιμότητα του εδάφους (K), αναφέρεται στην ποσότητα του εδάφους που χάνεται από ένα κανονικό πειραματικό τεμάχιο 22,1m με κλίση 9% και σε συνθήκες κατεργασίας καθαρισμού του εδάφους και σε διαρκή αγρανάπανση. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους εξαρτάται α) από τη διηθητικότητα του εδάφους και β) από τη δομή του εδάφους. Η διηθητικότητα του εδάφους εξαρτάται σημαντικά από τη δομή του εδάφους, ειδικότερα από τη δομή του επιφανειακού ορίζοντα του εδάφους. Επίσης εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, το είδος και την ποσότητα της αργίλου που διαστέλλεται, το βάθος της εδαφικής κατανομής, την τάση που έχει το έδαφος να σχηματίζει κρούστα καθώς και την παρουσία αδιαπέρατης εδαφικής στρώσης. Οι τιμές της διαβρωσιμότητας του εδάφους ποικίλουν και κυμαίνονται από 0-0,6. Η τιμή (K), είναι μικρή για εδάφη με καλή διηθητικότητα. Τέτοια εδάφη με καλή διηθητικότητα είναι τα αμμώδη εδάφη και τα αργιλώδη εδάφη που περιέχουν υψηλό ποσοστό ενύδρων οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου ή καολινίτη. Επίσης τιμές του (K) μικρότερες από 0,2 ($K < 0,2$) είναι

χαρακτηριστικές των εδαφών με ελαφρά σύσταση και των αργιλικών εδαφών που περιέχουν υψηλό ποσοστό ενύδρων οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου ή καολινίτη. Εδάφη με μέτρια διηθητικότητα και μέτρια δομή έχουν δείκτη διαβρωσιμότητας (K), μεταξύ 0,2-0,3, ενώ εδάφη ευπρόσβλητα στη διάβρωση και με μικρή διηθητικότητα χαρακτηρίζονται από τις τιμές διαβρωσιμότητας μεγαλύτερες του 0,3 ($K > 0,3$).

9. Καλλιεργητικό σύστημα, αμειψισπορά και διαχείριση του εδάφους

Ο παράγοντας κάλυψη και διαχείριση του εδάφους (C), δείχνει την επίδραση του καλλιεργητικού συστήματος και της διαχείρισης των εδαφών στο ύψος των απωλειών του εδάφους λόγω διάβρωσης. Η επιλογή από τους γεωργούς των κατάλληλων φυτών, για καλλιέργεια των επικλινών περιοχών, θα πρέπει να είναι πρώτης προτεραιότητας, για να μειωθούν οι απώλειες του εδάφους από τη διάβρωση. Κάθε καλλιεργητικό σύστημα παρέχει διαφορετικό βαθμό αντιδιαβρωτικής προστασίας στα εδάφη. Τα δάση και τα διάφορα γρασίδια παρέχουν πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία στις επικλινείς περιοχές, ενώ τα σανοδοτικά φυτά, ο συνδυασμός ψυχανθών και γρασιδιών παρέχουν μικρότερη αντιδιαβρωτική προστασία από ότι προσφέρουν τα δάση και τα διάφορα και τα διάφορα γρασίδια. Το σιτάρι και η βρώμη παρέχουν μέτρια αντιδιαβρωτική προστασία. Τα φυτά αραβόσιτος, βαμβάκι, σόγια και πατάτα παρέχουν μικρή αντιδιαβρωτική προστασία στις επικλινείς περιοχές. Στον πίνακα 1, παρουσιάζεται η αντιδιαβρωτική προστασία των διαφόρων τύπων φυτοκάλυψης του εδάφους (Αλεξανδρής Σ., 1989). Από τη μελέτη του Πίνακα 1, διαπιστώνεται ότι κάθε τύπος φυτοκάλυψης παρέχει διάφορο βαθμό αντιδιαβρωτικής προστασίας στα εδάφη. Η αμειψισπορά επηρεάζει σημαντικά τη διάβρωση και όσο για την επίλυση των προβλημάτων που προκαλεί η διάβρωση μεγάλη σημασία έχει η εφαρμογή της κατάλληλης αντιδιαβρωτικής αμειψισποράς. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει αυξημένη κάλυψη του εδάφους με πολυετείς καλλιέργειες, όπως τριφύλλια, μηδική, λειμώνια φυτά, κ.λ.π. Αυτές οι καλλιέργειες προστατεύουν το έδαφος από τη διάβρωση γιατί:

1. Απορροφούν την καταστρεπτική ενέργεια των σταγόνων της ραγδαίας βροχής, καθόσον οι καλλιέργειες αυτές αποδεχόμενες τις σταγόνες της βροχής σχηματίζουν ένα προστατευτικό κάλυμμα του εδάφους.
2. Εμποδίζουν ή μειώνουν κατά πολύ την κίνηση της επιφανειακής ροής του νερού αποτρέποντας το "νεροφάγωμα" του εδάφους.

3. Συσσωρεύουν μεγάλη ποσότητα οργανικής ουσίας και έτσι εμπλουτίζουν το έδαφος με οργανικές ενώσεις και άζωτο και βελτιώνουν τη δράση των μικροοργανισμών του εδάφους.
4. Βελτιώνουν τη δομή και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους.
5. Αυξάνουν την υδατοικανότητα του εδάφους και διηθητικότητα του νερού στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα.

Το πλούσιο ριζικό σύστημα με τα ριζικά τριχίδια αυξάνουν τη συνοχή των συσσωματωμάτων του εδάφους.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται διάφορα συστήματα αμειψισποράς σε σχέση με την κλίση του καλλιεργούμενου εδάφους. Η φιλοσοφία των συστημάτων αμειψισποράς που παρουσιάζονται είναι ότι όσο αυξάνεται η κλίση του καλλιεργούμενου εδάφους θα πρέπει να αυξάνεται και η έκταση με καλλιέργειες μηδικής και λειμώνιων φυτών, ενώ αντίστοιχα θα πρέπει να μειώνεται η έκταση με καλλιέργειες σιτηρών, αραβοσίτου, πατάτας κ.λ.π.

Πίνακας1. Απώλειες εδάφους λόγω επιφανειακής απορροής σε σχέση με τον τύπο της φυτοκάλυψης

Είδος φυτοκάλυψης	Απώλειες εδάφους τόνου/εκτάριο/έτος	Νερά απορροής(%) της συνολικής βροχό- πτωσης (1320 mm)
Βαμβακοκαλλιέργεια	10,0	34 (448.4mm)
Βοσκότοποι	0,8	19 (382.8mm)
Πλατύφυλλα δασικά φυτά	0,05	10 (132.0mm)
Πυκνή πευκόφυτη βλάστηση	0,01	2 (26.4mm)

Πίνακας 2. Κάλυψη του εδάφους με διάφορα είδη φυτών σε συστήματα αμειψισποράς ανάλογα με την κλίση του εδάφους (Goudtjohn N., 1974)

Κλίση του εδάφους σε μοίρες	Επί της % κάλυψη του εδάφους με διάφορα φυτά σε διάφορα συστήματα αμειψισποράς		
	Βαμβάκι, αραβόσιτος, πατάτα	Σιτηρά	Τριφύλλι μηδική, λειμώνια φυτά
<1	70-80	20-30	-
1-5	40-60	40-60	-
5-8	20-30	40-60	20-30
8-12	-	40-60	40-60
>12	-	20-30	70-80

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ετήσιες απώλειες του εδάφους σε τόνους το εκτάριο από τη διάβρωση (Ζασλάβσκι, Μ. Ν., 1983). Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 3, όταν υπερτερούν οι πολυετείς καλλιέργειες (λειμώνια φυτά), η διάβρωση του εδάφους μειώνεται σημαντικά. Αντίθετα για φυτά που απαιτούν εντατική καλλιέργεια του εδάφους οι απώλειες είναι μεγάλες.

Πίνακας 3. Ετήσιες απώλειες σε έδαφος (τόνου/εκτάριο) από τη διάβρωση του εδάφους σε σχέση με το σύστημα αμειψισποράς (Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1983)

Σύστημα αμειψισποράς	Απώλειες εδάφους τόνου/εκτάριο/έτος
Μονοκαλλιέργεια	87,7
Αραβόσιτος-αραβόσιτος, βρώμη, λειμώνια φυτά	33,4
Αραβόσιτος-, βρώμη, λειμώνια φυτά	21,5
Αραβόσιτος-, βρώμη, λειμώνια φυτά	13,4

Σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση ανάλογα με τις κλιματολογικές, εδαφικές κτλ. συνθήκες θα πρέπει να εφαρμόζεται ο αντίστοιχος τύπος αμειψισποράς, π.χ. στις κλιτύες 2-3 μοιρών καλά αποτελέσματα δίνει η αμειψισπορά: 1-αραβόσιτος, 2-βρώμη, 3-4 – λειμώνια φυτά. Μια τέτοια αμειψισπορά δεν είναι αποτελεσματική και δεν εφαρμόζεται για κλίσεις 4-5 μοιρών. Στις περιπτώσεις αυτές αποτελεσματική είναι η αμειψισπορά: 1-αραβόσιτος, 2-βρώμη, 3-6 – λειμώνια φυτά κ.λ.π. που δίνει καλά αποτελέσματα. Ένας κατάλληλος τρόπος για την αύξηση της αντιδιαβρωτικής προστασίας της αμειψισποράς είναι η εφαρμογή της σε λωρίδες εγκατάστασης των καλλιεργειών (strip cropping) κατά τις ισουψείς καμπύλες στα επικλινή εδάφη. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή εφαρμόζεται η εναλλαγή των καλλιεργειών σε λωρίδες δηλ. καλλιεργούνται σε λωρίδες φυτά που απαιτούν σκάλισμα, όπως είναι το βαμβάκι, αραβόσιτος, πατάτες και ακολουθούν λωρίδες με φυτά που δεν απαιτούν σκάλισμα (τριφύλλι, λειμώνια φυτά κ.λ.π.). Οι λωρίδες τοποθετούνται σε ορθή γωνία ως προς την κατεύθυνση της επιφανειακής ροής του νερού. Η τεχνική αυτή αποβλέπει στην παρεμπόδιση του νερού και την επιβράδυνση της ταχύτητας ροής νερού με σκοπό την παρεμπόδιση του παρασυρόμενου εδάφους από

Πίνακας 4. Προτεινόμενο πλάτος των λωρίδων σε σχέση με την κλίση των κλιτύων

Προτεινόμενο πλάτος λωρίδων σε μέτρα σε καλλιεργούμενες κλιτύες σε σχέση με την κλίση που εμφανίζουν οι κλιτύες		
Κλίση του εδάφους σε μοίρες	Καλλιέργειες λειμώνων φυτών σε λωρίδες που εναλλάσσονται από λωρίδες με μονοετή φυτά	Μονοετή φυτά καλλιεργούμενα σε λωρίδες που εναλλάσσονται από λωρίδες με άλλα μονοετή
1-3	100-80	80-60
3-5	80-60	60-40
5-8	60-40	40-20
8-10	40-20	20-10
10-12	20-10	20-10

τις λωρίδες με βαμβάκι, αραβόσιτο, πατάτα κλπ. προς τις λωρίδες με τα λειμώνια φυτά ή μηδική. Κατ'αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διάβρωση και αποτρέπεται η δυνατότητα σχηματισμού αυλάκων. Δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση η αμειψισπορά θα περιέχει τόσες λωρίδες με λειμώνια φυτά ή μηδική όσες και οι λωρίδες με καλλιέργειες που απαιτούν εντατικό σκάλισμα. Οι Kohne H. και Bertrand A., για τις συνθήκες των ΗΠΑ θεωρούν ότι πιο ευνοϊκό πλάτος των λωρίδων αυτών κυμαίνεται από 18 μέχρι 45m. Οι Καστάνοβ Α.Ν. και Ζασλάβσκι Μ.Ν. (1984), προτείνουν ανάλογα με την κλίση του εδάφους λωρίδες με διάφορα πλάτη (Πίνακας 4).

Σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα των ερευνητών αυτών τα λειμώνια φυτά που καλλιεργούνται σε λωρίδες με διάφορα πλάτη τα διαδέχονται λωρίδες με μονοετή φυτά (σιτάρι, αραβόσιτος, πατάτες κλπ.). Στις περιπτώσεις που το είδος των φυτών δεν παρέχει επαρκή αντιδιαβρωτική προστασία το δε έδαφος χαρακτηρίζεται από μικρή διηθητικότητα του νερού, είναι απαραίτητο να μειωθεί το πλάτος των καλλιεργούμενων λωρίδων. Εκ των ανωτέρω συμπεραίνεται ότι το (C) , εξαρτάται από πολλούς

παράγοντες, όπως είναι το είδος των φυτών, το σύστημα αμειψισποράς, ο τρόπος διαχείρισης του εδάφους και από το τοπογραφικό ανάγλυφο των επικλινών εδαφών.

Υπολογιστικά η τιμή (C) βρίσκεται από το λόγο της ποσότητας του εδάφους που χάνεται σε συνθήκες αγρού, προς την τιμή του εδάφους που χάνεται σε συνθήκες κατεργασίας καθαρισμού του εδάφους και σε διαρκή αγρανάπαυση. Όταν η τιμή (C) προσεγγίζει τη μονάδα αυτό σημαίνει ότι η προστασία του εδάφους είναι ανεπαρκής. Οι τιμές του (C) είναι μικρότερες του 0,1 ($C < 0,1$) όταν μεγάλες ποσότητες φυτικών υπολειμμάτων καλύπτουν τις κεκλιμένες περιοχές ή τα καλλιεργούμενα χωράφια, καθώς και στις δασικές εκτάσεις με πυκνή δασική κάλυψη. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τιμές του (C) σε διαφορετικά συστήματα αμειψισποράς και διαφορετικούς τρόπους κατεργασίας του εδάφους (Walker, R.D., 1980).

Πίνακας 5. Τιμές C σε διαφορετικούς τύπους αμειψισποράς και διαφορετικά συστήματα κατεργασίας του εδάφους στη Βόρεια Ιλλινόη των Η.Π.Α.

Συμβατική προετοιμασία του εδάφους για σπορά	Ελάχιστη κατεργασία εδάφους		Μη κατεργασία εδάφους			
	458-907	908-1816	458-907	908-1816		
	1	2	3	4	5	6
Μονοκαλλιέργεια με Σόγια		-	0,33	-	0,29	-
Μονοκαλλιέργεια με Αραβόσιτο	0,49	0,47	0,31	0,07	0,29	0,06
Αραβόσιτος – Σόγια	0,37	0,49	0,32	0,12	0,29	0,06
Αραβόσιτος – Αραβόσιτος - Σόγια	0,43	0,47	0,31	0,12	0,29	0,06
Αραβόσιτος – Αραβόσιτος – Σόγια – Σιτάρι – Λειμώνια φυτά	0,40	0,24	0,18	0,09	0,14	0,05
Αραβόσιτος – Σόγια – Σιτάρι ή Βρώμη – Λειμώνια φυτά	0,20 0,16	0,18	0,15	0,09	0,11	0,05
Αραβόσιτος – Αραβόσιτος – Αραβόσιτος – Λειμώνια		0,16	0,13	0,08	0,09	0,04

1: Τα φυτικά υπολείμματα παραμένουν για εδαφική κάλυψη

2: Τα φυτικά φυτικών υπολείμματα απομακρύνονται από το έδαφος

3-4: Ποσότητα φυτικών υπολειμμάτων (Kg) που παραμένουν για κάλυψη του εδάφους

5-6: Ποσότητα υπολειμμάτων (Kg) που παραμένουν για κάλυψη του εδάφους

10. Πρακτικές εφαρμογές αντιδιαβρωτικής προστασίας των επικλινών εδαφών

Ο παράγοντας (P), αναφέρεται σε πρακτικές εφαρμογές αντιδιαβρωτικής προστασίας των επικλινών εκτάσεων. Οι πρακτικές αυτές συνδέονται με την καλλιέργεια των επικλινών εκτάσεων κατά τις ισουψείς καμπύλες, καθώς και στην καλλιέργεια των φυτών σε λωρίδες στις εκτάσεις αυτές. Ο παράγοντας (P), εκφράζει το λόγο της ποσότητας του εδάφους που χάνεται από επικλινή έκταση που έχουν εφαρμοστεί οι κατάλληλες αντιδιαβρωτικές τεχνικές όπως αναφέρεται ανωτέρω, προς την ποσότητα του εδάφους που χάνεται από την ίδια επικλινή έκταση, όταν τα φυτά καλλιεργούνται κατά την κλίση του εδάφους. Όταν στα επικλινή εδάφη δεν εφαρμόζονται πρακτικές αντιδιαβρωτικής προστασίας, τότε ο παράγοντας (P), έχει τιμή ίση με τη μονάδα (P=1). Με τις πρακτικές αντιδιαβρωτικής προστασίας αποσκοπείτε η παρεμπόδιση της επιφανειακής απορροής του νερού που είναι τόσο μεγαλύτερη και τόσο ταχύτερη, όσο η κλίση του εδάφους είναι μεγαλύτερη. Βέβαια ο βαθμός αντιδιαβρωτικής προστασίας των πρακτικών αυτών εξαρτάται από το ετήσιο βροχομετρικό ύψος, την ένταση, την κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, την τήξη του χιονιού, από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και από το είδος των καλλιεργούμενων φυτών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Καστάνοβ Α.Ν. και Ζασλάβσκι Μ.Ν.,(1984), Μοργούν Φ. και Σικούλα Ν.Κ. και Ταταρίκο Α.Γ.(1983), η κάθετη προς την κλίση καλλιέργεια του εδάφους μειώνει κατά μέσο όρο περισσότερο από 2 φορές τις απώλειες του νερού και 3-5 φορές τις απώλειες γόνιμου επιφανειακού εδάφους από τα απόκρημνα τμήματα των κλιτύων, όπως επίσης βελτιώνεται και η αξιοποίηση των χημικών λιπασμάτων κατά 30-40% και αυξάνεται η φυτική παραγωγή. Για να έχει θετικά αντιδιαβρωτικά αποτελέσματα η μέθοδος αυτή (κάθετη προς την κλίση καλλιέργεια), πρέπει να διευκρινίσουμε δύο όρους που έχουν άμεση σχέση μεταξύ τους και τις συναντάμε συχνά στη βιβλιογραφία, δηλαδή:

1. Καλλιέργεια κάθετη προς την κλίση.
2. Καλλιέργεια κατά τις ισουψείς καμπύλες.

Με τον όρο "Κάθετος προς την κλίση καλλιέργεια" εννοούμε την καλλιέργεια που γίνεται κάθετα προς τη βασική κλίση της πλαγιάς, όμως ο όρος αυτός δεν είναι ακριβής. Όταν η πλαγιά έχει μορφή κυρτή-καμπυλοειδή (κοίλο ανάγλυφο) και η καλλιέργεια γίνει κάθετα προς την κλίση, τότε θα έχουμε μάλλον αρνητικά αποτελέσματα, γιατί ένα

μεγάλο μέρος από την έκταση της πλαγιάς (30-40%) θα οργωθεί κατά μήκος της επιφανειακής ροής του νερού.

Ο όρος κατεργασία "κατά ισουψεις" σημαίνει κατεργασία του εδάφους με κατεύθυνση κάθετη προς την επικλινή ροή. Γι'αυτό πιο ακριβής είναι ο όρος "καλλιέργεια κατά τις ισουψεις καμπύλες" (Ζασλάβσκι Μ.Ν. 1987, Καστάνοβ Α.Ν. και Ζασλάβσκι Μ.Ν. 1984, Kohnke H. και Bertrand A.,1962). Στις ΗΠΑ τα αποτελέσματα πενταετών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε 250 αγροκτήματα έδειξαν ότι η κατεργασία του εδάφους στις κλιτύες κατά τις ισουψεις καμπύλες αύξησε την απόδοση του αραβόσιτου κατά μέσο όρο 0,56 τόνοι/εκτάριο σε σχέση με τη καλλιέργεια του εδάφους που γινόταν κατά μήκος της πλαγιάς. Η άρωση κατά τις ισουψεις καμπύλες στις ΗΠΑ, τη Μολδαβία και σε άλλες χώρες, εφαρμόζεται στις περισσότερες καλλιέργειες. Στην Ελλάδα καταβάλλονται προσπάθειες για να γίνουν οι αρόσεις κατά τις ισουψεις καμπύλες. Αν και οι παραγωγοί γνωρίζουν την τεχνική σε πολλές περιπτώσεις δεν την εφαρμόζουν είτε από αμέλεια, είτε πιστεύουν ότι δεν θα συμβούν έντονες βροχοπτώσεις που θα προκαλέσουν διάβρωση στον αγρό τους.

Σε πολλές χώρες του κόσμου η προστασία των επικλινών εδαφών από τη διάβρωση γίνεται και με την κατασκευή αναβαθμίδων. Υπάρχουν πολλοί τύποι αναβαθμίδων οι κυριότεροι των οποίων είναι:

1. Αναβαθμίδες διακοπτόμενες από αυλάκια με επίπεδη βάση (flat-channel terrace). Η κλίση της βάσης των αυλακίων είναι μικρή ώστε να εξασφαλίζεται κανονική ροή των επιφανειακών νερών του εδάφους στις αναβαθμίδες.
2. Αναβαθμίδες μεγάλου πλάτους (Broad base terrace). Οι αναβαθμίδες αυτές επιτρέπουν την καλλιέργεια σε όλη την επιφάνεια του εδάφους.
3. Αναβαθμίδες σε λεκάνες (τηγάνια), (Bench terrace). Οι αναβαθμίδες του τύπου αυτού κατασκευάζονται όταν έχει σχεδόν εξασφαλισθεί ο έλεγχος των νερών της επιφανειακής απορροής. Ο τύπος των αναβαθμίδων αυτών σε μεγάλο βαθμό αξιοποιείται στις ΗΠΑ για την καλλιέργεια του ρυζιού.

Όταν οι αναβαθμίδες είναι χαμηλές και πλατιές μπορούν να καλλιεργηθούν με ευκολία και να χρησιμοποιηθούν γεωργικά μηχανήματα για τις καλλιεργητικές εργασίες. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι τιμές του P σε καλλιέργειες φυτών κατά τις ισουψεις καμπύλες και καλλιέργειες κατά λωρίδες σε σχέση με την κλίση των επικλινών εδαφών και των αναβαθμίδων που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους (Foster G.R. και Highfill, R.E., 1983).

Πίνακας 6. Σχέση Παραγόντων Ρ με καλλιέργειες φυτών στις ισουψείς καμπύλες με καλλιέργειες φυτών σε λωρίδες σε εδάφη με διαφορετικές κλίσεις καθώς και με αναβαθμίδες που βρίσκονται μεταξύ τους σε διαφορετικές αποστάσεις

Κλίση (%)	Καλλιέργεια κατά ισουψείς Ρ	Καλλιέργεια σε λωρίδες Ρ	Αποστάσεις μεταξύ των αναβαθμίδων σε μέτρα	Αναβαθμίδες χωρίς διέξοδο των νερών επιφανειακής απορροής	Με διέξοδο των νερών απορροής
1-2	0,60	0,30	33	0,5	0,7
3-8	0,50	0,25	33-43	0,6	0,8
9-12	0,60	0,30	43-54	0,7	0,8
13-16	0,70	0,35	55-68	0,8	0,9
17-20	0,80	0,40	69-60	0,91,0	0,9
21-25	0,90	0,45	90	-	1,0

11. Αντιδιαβρωτικά συστήματα κατεργασίας του εδάφους

Η συμβατική καλλιεργητική πρακτική που εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα στην Ελλάδα περιλαμβάνει το παράχωμα των φυτικών υπολειμμάτων των καλλιεργειών με οργώματα. Στη συνέχεια το επιφανειακό έδαφος υφίσταται δευτερογενή κατεργασία, με δισκοσβάρνα, για προετοιμασία της κατάλληλης σποροκλίνης και να θρυμματιστεί η επιφανειακή κρούστα του εδάφους. Όταν η καλλιέργεια είναι γραμμική τότε εφαρμόζεται το μηχανικό σκάλισμα για να καταστραφούν τα ζιζάνια. Τα σκαλίσματα επαναλαμβάνονται δύο και τρεις φορές για να καταστραφούν ολοκληρωτικά τα ζιζάνια. Η συμβατική καλλιεργητική πρακτική απαιτεί πολύ ενέργεια αλλά και απασχόληση πολλών εργατών. Εκείνο όμως που έχει μεγάλη σημασία είναι ότι, το σύστημα αυτό της κατεργασίας του εδάφους δεν προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση, γιατί το έδαφος παραμένει ακάλυπτο αμέσως μετά το όργωμα και μέχρι τα φυτά να αναπτυχθούν

κανονικά. Η μη κάλυψη του εδάφους για πολύ χρονικό διάστημα δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για απώλειες εδάφους εξαιτίας των βροχοπτώσεων και των νερών επιφανειακής απορροής.

Η συμβατική καλλιεργητική πρακτική άρχισε να περιορίζεται τα τελευταία χρόνια για τους κατωτέρω λόγους:

1. Η καταπολέμηση των ζιζανίων γίνεται με τη χρήση ζιζανιοκτόνων. Τα ζιζάνια χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση γιατί είναι αποτελεσματικά, διατίθενται σε προσιτές τιμές και περιορίζουν σημαντικά τα σκαλίσματα για την καταστροφή των ζιζανίων.
2. Η δραματική αύξηση των τιμών των καυσίμων των γεωργικών μηχανημάτων επηρεάζουν σημαντικά το κόστος των αγροτικών προϊόντων.
3. Η διάβρωση των εδαφών προκαλεί μεγάλες απώλειες σε έδαφος στα επικλινή εδάφη, αλλά και μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τη συσσώρευση θρεπτικών σε υδάτινους αποδέκτες (επιφανειακά και υπόγεια νερά, λίμνες, ποτάμια και θάλασσες).

Η χρήση των ζιζανιοκτόνων, το υψηλό κόστος καυσίμων και οι περιβαλλοντολογικοί λόγοι δημιούργησαν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την εφαρμογή στη γεωργία της κατεργασίας συντήρησης του εδάφους (conservation tillage). Τα συστήματα της αντιδιαβρωτικής προστασίας του εδάφους διαφέρουν σημαντικά από τη συμβατική προετοιμασία της σποροκλίνης καθόσον μειώνεται η κατεργασία του εδάφους, που σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζεται στην αντιδιαβρωτική πρακτική το σύστημα της μη κατεργασίας του εδάφους. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται τα κατωτέρω συστήματα αντιδιαβρωτικής προστασίας:

1. Το σύστημα της ακατεργασίας του εδάφους (No till system). Στο σύστημα αυτό το έδαφος πριν τη σπορά δεν οργώνεται και η σπορά γίνεται με την κατασκευή κατάλληλης σποροκλίνης πλάτους 2,5-7,5cm. Η καταστροφή των ζιζανίων γίνεται με τη χρήση ζιζανιοκτόνων.
2. Το σύστημα κατασκευής σαμαριών (Ridge till system). Στο σύστημα αυτό το έδαφος πριν από τη σπορά δεν οργώνεται, κατασκευάζονται όμως σε σειρές σαμάρια ύψους 10-15cm. Τα φυτικά υπολείμματα μετακινούνται παράμερα ή παραχώνονται στο έδαφος και σε έκταση του ενός τρίτου της εδαφικής επιφάνειας του αγρού. Η καταπολέμηση των ζιζανίων γίνεται με τα ζιζανιοκτόνα ή με ελαφρή καλλιέργεια του εδάφους.

3. Το σύστημα καλλιέργειας σε λωρίδες (Strip till system). Το έδαφος δεν οργώνεται πριν από τη σπορά. Πραγματοποιείται ελαφρύ και αβαθή προετοιμασία του εδάφους σε γραμμές με φρεζάρισμα και με άροση χωρίς αναστροφή σε γραμμές. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό μόνο το ένα τρίτο της επιφάνειας του χωραφιού προετοιμάζεται για τη σπορά. Η καταστροφή των ζιζανίων γίνεται με ζιζανιοκτόνα ή με ελαφρή καλλιέργεια του εδάφους.
4. Σύστημα κατεργασίας του εδάφους με κάλυψη της επιφάνειας του αγρού με υλικά φυτικής ή τεχνηκής προέλευσης. (Mulch till system). Το έδαφος οργώνεται πριν από τη σπορά και ότι το 30% της εδαφικής επιφάνειας καλύπτεται με υλικά όπως είναι η καλαμιά το άχυρο, χορτάρια, χαρτιά κλπ. Η κατεργασία του εδάφους γίνεται με άροση χωρίς αναστροφή, με ελαφρή καλλιέργεια του εδάφους, δισκοσβάρνα κλπ. Η καταστροφή των ζιζανίων γίνεται με ζιζανιοκτόνα και με ελαφρή καλλιέργεια του εδάφους.
5. Σύστημα μειωμένης κατεργασίας του εδάφους (Reduced till system). Στο σύστημα αυτό εφαρμόζεται οποιαδήποτε κατεργασία του εδάφους με την προϋπόθεση ότι το 30% της εδαφικής επιφάνειας του αγρού καλύπτεται με φυτικά υπολείμματα.

12. Βαθιά άροση και υπεδαφοκατεργασία

Τα βαθιά οργώματα και η υπεδαφοκατεργασία γίνονται από τους καλλιεργητές προκειμένου να χαλαρώσουν το έδαφος των βαθύτερων στρωμάτων ή να καταστρέψουν τη συμπαγή στρώση άροσης. Οι βαθιές αρόσεις γίνονται με κατάλληλα άροτρα για το σκοπό αυτό, καθώς και με υπεδαφοκαλλιεργητές. Είναι πάρα πολύ δύσκολο να ειπωθεί τότε η υπεδαφοκατεργασία είναι ωφέλιμη και τότε όχι και τούτο γιατί η αποτελεσματικότητα της υπεδαφοκατεργασίας στη διάσπαση της συμπαγούς στρώσης άροσης και η χαλάρωση των συμπαγών αυτών στρώσεων του εδάφους εξαρτάται από το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας του εδάφους και από την κατανομή της εδαφικής υγρασίας στις εδαφικές στρώσεις της εδαφικής κατατομής. Οι βαθιές αρόσεις μπορεί να δημιουργήσουν συμπίεση του εδάφους. Για να είναι η υπεδαφοκατεργασία επιτυχής θα πρέπει η εδαφολεπίδα του υπεδαφοκαλλιεργητή να ανυψώνει το έδαφος που είναι υπεράνω από το πέλμα της εδαφολεπίδας με σκοπό τη δημιουργία ρωγμών και καναλιών στο έδαφος. Για να καταστεί ωφέλιμη η υπεδαφοκατεργασία θα πρέπει οι ρωγμές και τα

κανάλια να είναι σταθερά και να έχουν μεγάλη διάρκεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν το έδαφος στη εδαφική κατατομή είναι λίγο υγρό και όχι τόσο πολύ ξηρό. Αυτό σημαίνει ότι η κατάλληλη εποχή που πρέπει να γίνει η υεδαφοκατεργασία του εδάφους είναι το φθινόπωρο. Δεν υπάρχουν σαφείς πειραματικές ενδείξεις ότι τα βαθιά οργώματα ή υεδαφοκατεργασία αυξάνουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Τα πειραματικά αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Υπάρχουν πειραματικά αποτελέσματα που παρατηρήθηκε αύξηση των αποδόσεων σε καλλιέργειες με τα βαθιά οργώματα ή την υεδαφοκατεργασία. Σε άλλες περιπτώσεις παρατηρήθηκε μικρή αύξηση των αποδόσεων. Δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί γιατί τα φυτά αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο στη θετική επίδραση της υεδαφοκατεργασίας και των βαθιών αρόσεων.

Παρόλα τα ανωτέρω οι βαθιές αρόσεις βελτιώνουν τις συνθήκες στράγγισης των εδαφών, βελτιώνουν τις συνθήκες ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών. Πολλές φορές οι βαθιές αρόσεις εφαρμόζονται όταν πρόκειται να ενσωματωθούν φυτά όπως τα ψυχανθή για χλωρή λίπανση. Η αντιδιαβρωτική αποτελεσματικότητα των βαθιών οργωμάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ως εξής : από την ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων και του χιονιού, από το ανάγλυφο και την κλίση του εδάφους και το είδος των καλλιεργειών. Τα πειραματικά αποτελέσματα ερευνητικών δραστηριοτήτων 23 ετών που αναφέρονται στην αντιδιαβρωτική επίδραση της βαθιάς άροσης (27-30cm) σε σχέση με το επιφανειακό όργωμα (βάθος 20-22cm), παρουσιάζονται περιληπτικά από το Ζασλάβσκι Μ.Ν., (1987). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά το βαθύ όργωμα σε 7 περιπτώσεις μείωσε τη ροή κατά 10-15mm, σε 2 κατά 30,5mm κ.τ.λ., ενώ σε 4 περιπτώσεις το βαθύ όργωμα αύξησε την απορροή κατά 2-4mm κ.τ.λ. Τα βαθιά οργώματα δεν προκαλούν πάντοτε την αύξηση της παραγωγής, αλλά πολλές φορές αυξάνουν τις απώλειες της υγρασίας με εξάτμιση (Ζασλάβσκι Μ.Ν.,1983,1987,Καστάνοβ Α.Ν.,Ζασλάβσκι Μ.Ν,1984).

12.1 Συμπληρωματικά αντιδιαβρωτικά μέτρα σε συνδυασμό με τα φθινοπωρινά οργώματα και εφαρμογή αυτών σε χωράφια που είναι σε αγρανάπαυση

Όπως αναφέρεται παραπάνω το βαθύ όργωμα και η υεδαφοκατεργασία δε συντελούν πάντοτε στην αποφυγή της διάβρωσης και των επιπτώσεών της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου το ανάγλυφο του εδάφους είναι πολύπλοκο, ακόμη και η κατεργασία του εδάφους κατά τις ισουψείς καμπύλες μπορεί να είναι αναποτελεσματική. Είναι

βέβαια γνωστό ότι η κατεργασία του εδάφους κατά τις ισουψείς καμπύλες είναι πολύ δαπανηρή και επομένως είναι αντιοικονομική για τις καλλιέργειες των σιτηρών και οσπρίων. Στις περιπτώσεις όπου η κατεργασία του εδάφους κατά τις ισουψείς καμπύλες είναι αναποτελεσματική, δηλ. δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα τότε επιβάλλεται να ληφθούν συμπληρωματικά μέτρα για τη μείωση της ροής των νερών της βροχής και την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων της διάβρωσης των εδαφών. Τα συμπληρωματικά αυτά μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν για την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιδράσεων της διάβρωσης είναι τα εξής:

1. Δημιουργία μικρών αναχωμάτων.
2. Δημιουργία κλειστών κοιλοτήτων.
3. Δημιουργία κοιλοτήτων και αναχαιτιστικών φραγμάτων.
4. Κατασκευή διάφορων υδατοφρακτών που στο παρελθόν εφαρμόζονταν στη Θεσσαλία και Μακεδονία. Η τεχνική της κατασκευής μικρών υδατοφρακτών έχει εγκαταλειφθεί και δε θα ήταν υπερβολικό να πούμε ότι η εγκατάλειψη της τεχνικής αυτής διευκόλυνε εν πολλοίς τη διάβρωση των εδαφών.
5. Σε πολλές περιοχές της Ελλάδας κατά το παρελθόν οι γεωργοί κατασκεύαζαν ξηροληθιές (πεζούλια) για να προστατεύσουν τα επικλινή εδάφη και να καλλιεργήσουν στις επάλληλες αναβαθμίδες διάφορες καλλιέργειες, όπως αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα, ελιές κλπ.

Τα πολυετή πειράματα που εφαρμόστηκαν στη Μολδαβία, το Αζερμπαϊτζάν και σε άλλες περιοχές δείχνουν ότι η κατασκευή στις κλιτύες με κλίση 4-8 μοίρες 12.000-15.000 μικρών κοιλοτήτων στο εκτάριο συνολικού όγκου 250-300m³ μειώνουν τις απώλειες σε έδαφος από 45 τόνοι/εκτάριο (μάρτυρας) σε 1,8 τόνοι/εκτάριο. Επίσης τα μέτρα αυτά περιόρισαν τις απώλειες σε νερό από 28mm σε 4,5mm, ενώ παράλληλα η μέση απόδοση του αραβόσιτου αυξήθηκε κατά 0,2 τόνοι/εκτάριο. Το βαθύ όργωμα (50-60cm) σε λωρίδες πλάτους 1,2 μέτρα ανά 10 μέτρα εφαρμόστηκε σε πολλές κλιτύες 4-12 μοιρών, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάβρωσης του εδάφους κατά 2,0-4,0 φορές. Η τεχνική αυτή βελτίωσε τη διηθητικότητα και την αποταμίευση σε επιθυμητό βάθος στο έδαφος του νερού των βροχών (πίνακας 7) και αύξησε την απόδοση του αραβόσιτου κατά 4-26%. Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του βαθιού οργώματος σε λωρίδες σχετικά με τη μείωση της διάβρωσης και την αποθήκευση στο επιθυμητό βάθος του εδάφους των νερών της βροχής (Καστάνοβ Α.Ν., και Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1984). Τα φθινοπωρινά οργώματα με αυλάκια που δεν είναι συνεχή, με ρωγμές καθώς και στοές που δημιουργούνται από ειδικά μηχανήματα προκαλούν:

1. Μείωση κατά 4-5 φορές της διάβρωσης στις κλιτύες με κλίση 4-6 μοιρών σε διάφορες περιοχές.
2. Βελτίωση των συνθηκών υγρασίας του εδάφους, με την απορρόφηση και την αποθήκευση 250-350m³/εκτάριο περισσότερο νερό από τις βροχές.
3. Αύξηση της παραγωγής.

Μεγάλη αντιδιαβρωτική σημασία έχει και η δημιουργία, μετά το όργωμα, ρωγμών και ιδιαίτερα όταν εφαρμόζεται μαζί με τη δημιουργία υπόγειων στοών. Η εφαρμογή αυτών των μέτρων προκαλεί:

- 1) Μείωση του συντελεστή της επιφανειακής απορροής (από 0,75 στο μάρτυρα σε 0,10 στις επεμβάσεις).
- 2) Αύξηση κατά 20-24% της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό σε βάθος 0-100cm.
- 3) Μείωση κατά 3-4 φορές των απωλειών γόνιμου εδάφους.
- 4) Αύξηση των αποδόσεων κατά 200-380kg/εκτάριο.

Πίνακας 7. Επίδραση των βαθιών οργωμάτων σε λωρίδες στη μείωση της διάβρωσης και στην αποταμίευση του νερού των βροχοπτώσεων στο έδαφος και σε βάθος 100cm. (Καστάνοβ Α.Ν., και Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1984)

	Αποταμίευση νερού			Απώλειες εδάφους από τη διάβρωση m/εκτάριο
	Πριν τη βροχή mm	Μετά τη βροχή mm	Αύξηση σε mm	
Μάρτυρας (συνηθισμένο όργωμα)	280	301	21	16
Βαθύ όργωμα (50cm) σε λωρίδες ανά 12 μέτρα	272	316	44	7

Αποτελεσματικό αντιδιαβρωτικό μέτρο κατεργασίας του εδάφους είναι και η άροση χωρίς αναστροφή όταν εφαρμόζεται εγκάρσια προς την κλίση. Ο τρόπος αυτός είναι αποτελεσματικός για την αποτροπή όχι μόνο της διάβρωσης που προκαλείται από

το νερό, αλλά και της διάβρωσης που προκαλούν οι άνεμοι και εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα στις ΗΠΑ (Kohnke H., και Bertrand A., 1962), στη Γερμανία (Wandtner P., 1984) στην πρώην Σοβιετική Ένωση (πάνω από 52 εκατομμύρια εκτάρια), (Καστάνοβ Α.Ν. και Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1984) και σε πολλές άλλες χώρες. Η αντιδιαβρωτική αποτελεσματικότητα της άροσης χωρίς αναστροφή εξαρτάται από τις εδαφικές, κλιματολογικές και γεωργικές συνθήκες και μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της διάβρωσης κατά 3 μέχρι 10 φορές σε σχέση με το μάρτυρα, καθώς και στην αύξηση των αποδόσεων από 150 μέχρι 800kg/εκτάριο. Η άροση χωρίς αναστροφή παρουσιάζει τα κατωτέρω πλεονεκτήματα:

1. Η άροση χωρίς αναστροφή σχηματίζει στην επιφάνεια του εδάφους ένα στρώμα με βελτιωμένη διηθητικότητα και υδατοικανότητα. Το εδαφικό αυτό στρώμα προστατεύει τη δομή του εδάφους από τις δυσμενείς επιδράσεις των σταγόνων της βροχής και συμβάλλει στη μείωση της ταχύτητας των νερών της απορροής.
2. Μετά τη συγκομιδή τα φυτικά υπολείμματα δημιουργούν ένα είδος επικάλυψης, με άλλα λόγια υπάρχει ένα είδος επικάλυψης που συνεχίζει το ρόλο της φυτοκάλυψης στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση που προκαλείται από τα νερά της βροχής και τους ανέμους.
3. Αυξάνει τη διηθητικότητα και μειώνει τους κινδύνους της διάβρωσης κατά την περίοδο των χειμερινών και ανοιξιάτικων βροχών, καθώς και κατά την περίοδο των έντονων τήξεων του χιονιού.
4. Η άροση χωρίς αναστροφή συγκρινόμενη με την άροση με αναστροφή βελτιώνει το ισοζύγιο του χούμου στο επιφανειακό στρώμα, αποτρέπει κατά το όργωμα το σχηματισμό σβόλων, η παρουσία των οποίων επιταχύνει την εξάτμιση και αποξηραίνει το έδαφος.
5. Αυξάνει στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα την περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία, βελτιώνει τις συνθήκες υγρασίας, ενισχύει τη δραστηριότητα της εδαφικής χλωρίδας και της βιογαιο-ικανότητας, δημιουργώντας ευνοϊκές για τη βλάστηση συνθήκες και επομένως την αύξηση της αντιδιαβρωτικής ικανότητας της φυτοκάλυψης.
6. Αποτρέπει το σχηματισμό, με την επίδραση του υνίου, συμπαγούς εδαφικού στρώματος, το οποίο προκαλεί αύξηση της επιφανειακής ροής.
7. Στις καλυπτόμενες με πυκνή βλάστηση κλιτύες, που είναι αδύνατη η εφαρμογή κατεργασίας κατά τις ισουψείς καμπύλες, το όργωμα χωρίς αναστροφή μειώνει τη δυνατότητα ανάπτυξης της διάβρωσης σε αντίθεση με το όργωμα με αναστροφή.

8. Στις κλιτύες που εφαρμόζεται η καλλιέργεια σε λωρίδες ή άροση χωρίς αναστροφή μειώνει τη διάβρωση και ενεργεί προστατευτικά στις καλλιέργειες από προσχώσεις με φερτά υλικά. Στους πίνακες 8 και 9 παρουσιάζονται τα πειραματικά στοιχεία των Καστάνοβ Α.Ν. και Ζασλάβσκι μ.ν., (1984). Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα πειραματισμού διάρκειας επτά ετών. Από τα δεδομένα αυτά προκύπτουν τα θετικά αποτελέσματα της άροσης χωρίς αναστροφή. Η αποτελεσματικότητα της άροσης χωρίς αναστροφή του εδάφους οφείλεται και στην επικάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με τα φυτικά υπολείμματα των καλλιεργειών, τα οποία δεν καταστρέφονται με την άροση. Ο Schmid G. (1985), καταλήγει ότι για τη Γερμανία τα αντιδιαβρωτικά μέτρα που παρουσιάζουν μεγάλη οικονομική ωφέλεια είναι τα εξής:

- οι επαναληπτικές και ενδιάμεσες επίσπορες καλλιέργειες,
- το βαθύ σκάλισμα,
- η προσθήκη οργανικών ουσιών και ασβεστίου,
- η χρησιμοποίηση καλάμις και άχυρου για λίπανση και επικάλυψη του εδάφους.

Πίνακας 8. Απώλειες εδάφους ($m^3/εκτάριο$) και αποταμίευση νερού σε βάθος 0-100 cm σε σχέση με το είδος άρροσης

Είδος άρροσης	Απώλειες του εδάφους από τη διάβρωση		Μ.Ο. από όλα τα πειράματα		Ποσότητες νερού σε mm που αποταμιεύονται στο έδαφος.	
	1970	1971	1972	για 3 έτη ($m^3/εκτάριο$)	5 Ιουνίου	25 Ιουνίου
Με αναστροφή εδάφους 20-22cm	29,0	16,5	39,2	28,2	185,6	125,6
Χωρίς αναστροφή εδάφους, 14-16 cm	16,0	4,5	0,5	7,0	203,7	162,6

Πίνακας 9. Η επίδραση του είδους φθινοπωρινής άρροσης στις αποδόσεις σιταριού ανοιξιάτικης σποράς ($Kg/εκτάριο$)

Είδος φθινοπωρινής άρροσης	Αποδόσεις σε $Kg/εκτάριο$ στα έτη 1968-1974						Μ.Ο. ετών
	1968	1969	1970	1971	1973	1974	$Kg/εκτάριο$
Με αναστροφή του εδάφους 20-22 cm βάθος	490	950	1660	1930	940	400	1060
Χωρίς αναστροφή του εδάφους, 14-16 cm βάθος	660	138	1710	2000	1380	870	1330

Πίνακας 10. Η αποτελεσματικότητα της άρσης χωρίς αναστροφή των εδαφών και με ρωγμές για χρονικό διάστημα 7 ετών

Είδος φθινο- πωρινής άρσης	Απώλειες εδάφους σε m ³ /εκτάριο	Αποδόσεις σε τόνοι/εκτάριο			
		Σιτάρι ανοιξιιάτικης σποράς	Κριθάρι	Βρώμη	Βρίζα
Με αναστροφή του εδάφους	41,9	1,63	1,81	3,17	1,43
Χωρίς αναστροφή του εδάφους	15,5	1,78	1,96	3,31	1,58
Χωρίς αναστροφή του εδάφους και με ρωγμές	2,3	1,96	2,12	3,44	1,78

12.2 Το σύστημα της μη κατεργασίας του εδάφους ως αντιδιαβρωτικό μέτρο

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος της μη κατεργασίας του εδάφους είναι τα κατωτέρω:

1. Διατηρείται η εκ της φύσεως δυναμική της γονιμότητας του εδάφους, ενώ το συχνό βαθύ όργωμα και ιδιαίτερα η άρση με αναστροφή, δημιουργεί συνθήκες, οι οποίες επιταχύνουν την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου. Η βαθιά άρση προκαλεί την καταστροφή των συσσωματωμάτων και της δομής του εδάφους. Επομένως, υποβαθμίζουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους.
2. Οι συχνές επανειλημμένες χρήσεις των γεωργικών ελκυστήρων και άλλων μηχανημάτων στους αγρούς, συμπιέζουν το έδαφος, μειώνουν την υδατοδιηθητικότητα και τον αερισμό του εδάφους, προκαλούν αύξηση της επιφανειακής απορροής και της κίνησης του νερού στην επιφάνεια του εδάφους,

αύξηση της έντασης της διάβρωσης του εδάφους, καθώς και υποβάθμιση των συνθηκών ανάπτυξης των διαφόρων καλλιεργειών.

3. Η εφαρμογή του συστήματος της μη κατεργασίας του εδάφους μειώνει:
 - 1) την κατανάλωση των καυσίμων και τη φθορά των μηχανών και επομένως το κόστος παραγωγής.
 - 2) τις ανάγκες σε μηχανήματα και εξασφαλίζει πιο έγκαιρη και σε λιγότερο χρονικό διάστημα αποπεράτωση όλων των καλλιεργητικών φροντίδων.
4. Το σύστημα της μη κατεργασίας του εδάφους μειώνει τη διάβρωση για τους κατωτέρω λόγους:
 - 1) Συντελεί στη διατήρηση και συσώρευση στην επιφανειακή στρώση του εδάφους του χούμου και κατά συνέπεια στη βελτίωση της δομής που προκαλεί την αύξηση της απορρόφησης του νερού και τη μείωση της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής.
 - 2) Στη διατήρηση της φυτοκάλυψης (καλαμιά) μετά τη συγκομιδή της παραγωγής

13. Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα και άλλα υλικά ως αντιδιαβρωτικό μέτρο προστασίας των εδαφών

Η κάλυψη των επιφανειών των εδαφών με μεγάλη κλίση με τη χρήση υλικών φυτικής προέλευσης, καλαμιές από τα σιτηρά, άχυρο, χορτάρια ή και χαρτιά χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. Οι Kohnke και Bertrand, (1962) υποστηρίζουν ότι στις κλιτύες με πολύπλοκο ανάγλυφο και μεγάλες και συχνές αλλαγές στις κλίσεις, η κατεργασία του εδάφους κατά ισουψείς καμπύλες και η δημιουργία αναβαθμίδων είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί. Σ'αυτές τις εδαφικές συνθήκες σπουδαία αντιδιαβρωτική σημασία έχει η κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με φυτικά υπολείμματα (καλαμιά, άχυρο κ.λ.π.). Όμως κατά την εφαρμογή της κάλυψης του εδάφους με διάφορα υλικά είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και τα παρακάτω:

- Σε ποιές καλλιέργειες απαιτείται η κάλυψη του εδάφους για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

- Ποιές είναι οι πηγές υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη του εδάφους, αν κρίνεται σκόπιμο, να αφεθούν μετά τη συγκομιδή τα φυτικά υπολείμματα

στην επιφάνεια του εδάφους, ή μήπως επιβάλλεται να ενσωματωθεί ένα τμήμα τους στο έδαφος. Η μερική ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων εξαρτάται από:

- Τις ποσότητες των φυτικών υπολειμμάτων που απαιτούνται μετά τη συγκομιδή για να εξασφαλιστεί αποτελεσματική κάλυψη του εδάφους.

- Την επίδραση της κάλυψης στην εμφάνιση ζιζανίων στις καλλιέργειες.

- Την τεχνική εφαρμογής στο έδαφος των λιπασμάτων καθώς και το είδος των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα βελτιώνει τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους ως εξής:

α. Φυσικές ιδιότητες

1. Η κάλυψη του εδάφους μειώνει την ενέργεια των σταγόνων της βροχής και επομένως προστατεύει τα μακροσυσσωμάτωματά στην επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η δημιουργία κρούστας, να μειώνεται η επιφανειακή απορροή να μειώνεται η διάβρωση και οι απώλειες του νερού με εξάτμιση.
2. Αυξάνεται η συσσωμάτωση στην επιφανειακή στρώση και επομένως βελτιώνεται η δομή του εδάφους και αυξάνεται η αντίσταση των συσσωματωμάτων στην καταστρεπτική ενέργεια του νερού.
3. Βελτιώνεται το πορώδες, η υδατοικανότητα του εδάφους.
4. Μειώνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους, καθώς και η διακύμανση των ποσοτήτων υγρασίας του εδάφους. (Αυξάνεται η θερμοκρασία το χειμώνα και μειώνεται την άνοιξη και το καλοκαίρι).

β. Χημικές ιδιότητες

Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα αυξάνει σημαντικά την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους και μέχρι βάθους μερικών εκατοστών. Η οργανική ουσία των φυτικών υπολειμμάτων αποσυντίθεται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Για το σκοπό αυτό οι μικροοργανισμοί του εδάφους δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων με αποτέλεσμα τη μείωση του διαθέσιμου αζώτου στα φυτά.

Παρατηρήθηκε ότι η υψηλή υγρασία και το χαμηλό επίπεδο οξυγόνου στο έδαφος μερικές φορές δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την εξαέρωση του εδαφικού αζώτου. Αν ληφθούν υπόψη και οι απώλειες των νιτρικών ιόντων λόγω έκπλυσης το εδαφικό άζωτο μειώνεται σημαντικά. Στις υγρές περιοχές παρατηρείται σημαντική μείωση του εδαφικού pH ειδικότερα στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Η μείωση του εδαφικού pH οφείλεται στην παρουσία των οργανικών οξέων που παράγονται από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των φυτικών υπολειμμάτων. Η επίδραση των φυτικών υπολειμμάτων στον εφοδιασμό του εδάφους με κάλιο είναι σημαντική επειδή τα υλικά αυτά π.χ. άχυρο, καλαμιά κ.λ.π. περιέχουν κάλιο σε υψηλό ποσοστό. Τα φυτικά υπολείμματα αυξάνουν την πρόσληψη από τα φυτά του εδαφικού φωσφόρου. Η αύξηση της διαθεσιμότητας του εδαφικού φωσφόρου οφείλεται:

1. Στον εμπλουτισμό του εδάφους με το φώσφορο που περιέχουν τα φυτικά υπολείμματα.
2. Στο γεγονός ότι η προσθήκη των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος ενθαρρύνει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους.
3. Τα φυτικά υπολείμματα διατηρούν την υγρασία του εδάφους σε επιθυμητό επίπεδο για αρκετό χρονικό διάστημα. Για τους λόγους αυτούς αυξάνεται ο χρόνος πρόσληψης του φωσφόρου από το ριζικό σύστημα των φυτών, που είναι πυκνό στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους.

γ. Βιολογικές ιδιότητες

Η παρουσία των φυτικών υπολειμμάτων στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους ενθαρρύνει την αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού στο έδαφος και σε βάθος λίγων εκατοστόμετρων. Αυξάνεται ο πληθυσμός των γαιοσκωλήκων στο έδαφος από το γεγονός ότι βελτιώνεται σημαντικά η διηθητικότητα του εδάφους για το νερό.

Η κάλυψη του εδάφους ως αντιδιαβρωτικό μέτρο προστασίας του εδάφους έχει ιδιαίτερη σημασία κατά την περίοδο, που οι καλλιέργειες δεν είναι σε θέση να προστατεύουν το έδαφος πλήρως από την καταστροφική ενέργεια του νερού. Στις ΗΠΑ η κάλυψη των εδαφών πιο πολύ εφαρμόζεται στα εδάφη των κατωτέρω ομάδων, (Kohneke H. KAI Bertrand A., 1962):

- Στην ομάδα, όπου τα εδάφη μπορούν να καλλιεργηθούν χωρίς κίνδυνο με τη χρήση ελαφρών μέτρων προστασίας. Συχνά αυτά τα εδάφη παθαίνουν ελαφρή διάβρωση, η οποία εύκολα αποτρέπεται και με ελάχιστες προσπάθειες βελτιώνονται.

- Στα εδάφη τα οποία η καλλιέργεια είναι δύσκολη και περιορισμένη, απαιτείται εφαρμογή εντατικών μέτρων ανταβρωτικής προστασίας. Αιτίες που προκαλούν τον περιορισμό της καλλιέργειας είναι η διάβρωση, η ξηρασία, η πλεονάζουσα διύγρυνση, η πλημμύρα, η αλατότητα των εδαφών κτλ.

- Στα εδάφη όπου η καλλιέργεια περιορίζεται σημαντικά, αυτά τα εδάφη μπορεί να καλλιεργηθούν κατά αραιά χρονικά διαστήματα και πολύ προσεκτικά. Τα εδάφη αυτά υφίστανται έντονη διάβρωση, υποφέρουν από ξηρασία και πλημμύρες και παρουσιάζουν μεγάλη συγκέντρωση αλάτων.

13.1 Κατάλληλος χρόνος εφαρμογής της κάλυψης του εδάφους

Πολλά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των εδαφών περιέχουν πολύ άνθρακα και σχετικά λίγο άζωτο.

Η χρησιμοποίηση τέτοιου υλικού για επικάλυψη αυξάνει την κατανάλωση του εδαφικού αζώτου που είναι αναγκαίο για την αποσύνθεση των υπολειμμάτων. Αν αυτή η περίοδος συμπίπτει με την περίοδο ανάπτυξης των φυτών, τότε η έλλειψη του αζώτου επιβραδύνει την ανάπτυξή τους. Γι'αυτό η καλύτερη λύση είναι τα υπολείμματα, που προορίζονται για επικάλυψη, να χρησιμοποιηθούν ύστερα από μερική αποσύνθεσή τους, με τον τρόπο που προετοιμάζεται η κοπριά ή η κομπόστα, για να διασκορπιστεί στην επιφάνεια αμέσως μετά τη σπορά.

13.2 Το πρόβλημα κατεργασίας του εδάφους

Η κάλυψη του εδάφους με υλικά και η άροση χωρίς αναστροφή, που διατηρεί την καλαμιά στην επιφάνεια, προστατεύουν το έδαφος από τη διάβρωση και αυξάνουν την υγρασία του εδάφους. Σε μερικές περιπτώσεις όμως μπορεί να προκαλέσουν μείωση της παραγωγής. Αυτό μπορεί να συμβεί σε εδάφη με μέση και ελαφρά σύσταση και σε υγρές περιοχές. Στις συνθήκες αυτές στο επιφανειακό στρώμα, μειώνεται η περιεκτικότητα του οξυγόνου και αυξάνεται η περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Εκτός από αυτό, οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα θρεπτικών ουσιών και άζωτο,

για την αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Αυτή η προσωρινή δέσμευση των θρεπτικών ουσιών και του αζώτου σε συνδυασμό με τον μη ευνοϊκό αερισμό προκαλεί μείωση της παραγωγής. Για την εξασφάλιση καλών αποδόσεων πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία στον αερισμό και στον εφοδιασμό των καλλιεργειών με άζωτο σ' αυτά τα εδάφη. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει:

1. Η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων της επικάλυψης να γίνει πριν από την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών.

2. Το έδαφος σε μεγάλο βάθος πρέπει να διατηρείται σε καλή δομή για να αερίζεται καλά.

3. Να διατηρείται σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο ο πληθυσμός των μικροοργανισμών στις καλλιέργειες με θρεπτικές ουσίες και ιδιαίτερα με άζωτο. Στη Γερμανία η επικάλυψη του εδάφους με χόρτα, μειώνει κατά 10 φορές τις ετήσιες δόσεις προστιθέμενων αζωτούχων λιπασμάτων, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ποιότητα των μήλων και να μειώνεται η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων των νερών των Δρένων κατά 200%, (Wandtner R., 1984.) Οι ερευνητές Παναγιός Κ.Π., (1982), Ζασλάβσκι Μ.Ν., (1983), υποστηρίζουν ότι το οργωμένο έδαφος διαβρώνεται πολύ πιο εύκολα από το μη οργωμένο έδαφος. Στις συνθήκες της Ιταλίας μεγάλη σημασία, για την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση των νερών των βροχών στους αγρούς, έχουν η μη κατεργασία του εδάφους, η ελάχιστη κατεργασία και οι κατά στρώσεις κατεργασίες των εδαφών, καθώς και η επικάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με φυτικά υπολείμματα (Landi R., 1984). Κατά τη λήψη μέτρων αντιαβρωτικής κατεργασίας του εδάφους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

Οι φυσικές συνθήκες.

1. Η επίδραση που θα έχουν οι τρόποι κατεργασίας στη μείωση της διάβρωσης και στην αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκπόνηση και εφαρμογή τρόπων αντιαβρωτικής κατεργασίας του εδάφους είναι οι παρακάτω:
2. Βαθμός διύγρανσης του εδάφους της περιοχής.
3. Οι κατηγορίες των υδάτων και το είδος της ροής που προκαλούν τη διάβρωση (νερά βροχής, ραγδαία βροχή, τήξη χιονιού, άρδευση).
4. Τύπος κλιτύων (μονόκλιτη μη διαμελισμένη, μονόκλιτη διαμελισμένη, κεκλιμένη, κ.τ.λ).
5. Οι κλίσεις των κλιτύων.
6. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι η διηθητικότητα του εδάφους κατά την περίοδο μεγάλης επιφανειακής απορροής.

7. Το είδος των καλλιεργειών και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από τα φυτά κατά την περίοδο που παρατηρούνται οι διαβρώσεις.

14. Τα εδαφοβελτιωτικά (Soil Conditioners) για αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών

Στη δεκαετία του '60 στις ΗΠΑ, στην πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. και σε άλλες χώρες με την ανάπτυξη νέων κλάδων της χημείας εμφανίστηκαν νέες δυνατότητες αξιοποίησης των πορισμάτων της χημείας για τη βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων των εδαφών, καθώς και για την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση. Σε πολλές χώρες διενεργήθηκαν πειράματα και μελετήθηκαν τα κατάλληλα για την κάθε χώρα εδαφοβελτιωτικά στις δεδομένες εδαφικές και κλιματολογικές συνθήκες. Στις ΗΠΑ η χημική εταιρία Monsanto Chemical Co, ίδρυσε ειδικό Ινστιτούτο με πειραματικούς αγρούς. Το Ινστιτούτο εκτόνησε και εφάρμοσε τεχνολογία παρασκευής διαφόρων εδαφοβελτιωτικών με τη γενική ονομασία Kriilium, όπως η "VAMA", "Serapan", "HPAN", "CRD-186", "CRD-189", κ.λ.π. Στην πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. το "ΠΟΝΗ", "ΠΟΝΗ-Γ", "ΠΟΝΗ-Δ", "СП-8" κ.τ.λ., (Παναγιός Κ.Π., 1981, 1982, Παναγιός Κ.Π., και Αρήποβ Η.Α., 1982). Για τις συνθήκες της πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. πιο αποτελεσματικά αποδείχθηκαν τα εδαφοβελτιωτικά της σειράς "K", "K-4", "K-9", "K-17" (Παναγιός Κ.Π., Μήτσιος Ι.Κ. και Πασχαλίδης Χ.Δ., 1992). Από τα ερευνητικά δεδομένα των ερευνητών αυτών προκύπτει ότι οι κύριοι σκοποί των αντιδιαβρωτικών μέτρων είναι οι εξής:

1. Μείωση της καταστροφικής υδραυλικής ενέργειας του νερού στο έδαφος.
2. Μείωση της ποσότητας και της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής των νερών της βροχής.
3. Αύξηση της διήθησης του νερού στο έδαφος.
4. Βελτίωση της γονιμότητας των ήδη διαβρωμένων εδαφών.

Η κατεργασία της επιφανειακής στρώσης του εδάφους με τη χρήση των εδαφοβελτιωτικών (Soil Conditioners) προκαλεί:

1. Αύξηση της συσσωματώματος.
2. Βελτίωση των φυσικών, χημικών και μικροβιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους.
3. Αύξηση της ανθεκτικότητας των συσσωματωμάτων στην υδραυλική ενέργεια του νερού.

4. Ενίσχυση της συνάφειας, συνοχής εντός και μεταξύ των συσσωματωμάτων.

5. Βελτίωση της δομής του επιφανειακού στρώματος του εδάφους με την εξασφάλιση του βέλτιστου ποσοστού ολικού πορώδους και καλού αερισμού. Όλες αυτές οι μεταβολές στις ιδιότητες του εδάφους έχουν σαν αποτέλεσμα να επιφέρουν αύξηση της αντιδιαβρωτικής αντίστασης του εδάφους. Η αξιοποίηση των εδαφοβελτιωτικών, με σκοπό τη προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, είναι κάτι το καινούργιο, για το λόγο αυτό θα αναφέρουμε τον τρόπο εφαρμογής τους με λεπτομέρειες και θα παραθέσουμε μερικά από τα στοιχεία, που προκύπτουν από 20/ετή πειραματισμό με τα εδαφοβελτιωτικά "Κ-4" και "Κ-9".

Οι ερευνητές Παναγιός Κ.Π., Μήτσιος Ι.Κ. και Πασχαλίδης Χ. Δ., (1992), υποστηρίζουν ότι για να αποτραπεί η αυλακοειδής διάβρωση πρέπει:

- 1) Το επιφανειακό στρώμα του εδάφους να περιέχει όχι λιγότερο από 60-80% ανθεκτικά στο νερό μακροσυσσωματώματα διαμέτρου $> 0,25\text{mm}$.
- 2) Να υπάρχει ευνοϊκό και σταθερό ποσοστό ολικού πορώδους (μεγαλύτερο από 50%).
- 3) Μεταξύ των συσσωματωμάτων του επιφανειακού στρώματος του εδάφους να υπάρχει σταθερή δύναμη συνοχής.

Επιφανειακό εδαφικό στρώμα με τέτοιες ιδιότητες αποτελεί ισχυρό αντιδιαβρωτικό μέσο και έχει ιδιαίτερη σημασία για την αποτροπή της αυλακοειδούς διάβρωσης. Για τη δημιουργία τέτοιας αντιδιαβρωτικής στρώσης εφαρμόστηκε καινούργιος τρόπος προσθήκης διαλύματος εδαφοβελτιωτικών στην επιφάνεια του εδάφους των αρδευτικών αυλακίων. Η τεχνική της μεθόδου συνίσταται στη διαβροχή της επιφανειακής στρώσης του εδάφους των αρδευτικών αυλακίων με διάλυμα των "Κ" σε βάθος 4-5 mm χωρίς μετέπειτα να αναμειχθεί. Η διαβροχή εφαρμόζεται ταυτόχρονα με τη διάνοιξη των αρδευτικών αυλακίων με τον ειδικό μηχανισμό ο οποίος αναρτάται στο πίσω τμήμα του γεωργικού ελκυστήρα που πραγματοποιεί τη διανομή και όταν η υφηνρασμένη στρώση ξηρανθεί, αρχίζει το πότισμα. Η ποσότητα των εδαφοβελτιωτικών, που χρησιμοποιείται για την αποφυγή της αυλακοειδούς διάβρωσης, βρίσκεται σε στενή σχέση με την αρδευτική δόση νερού, την κλίση και το μήκος των αυλακίων και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (πίνακας 11)

Πίνακας 11. Προτεινόμενες αρδευτικές δόσεις (L/sec) στα αρδευτικά αυλάκια καθώς και του μήκους σε μέτρα αυτών, σε σχέση με την κλίση και δόση του "K-9", (Παγανίας Κ.Π., 1982)

Μέση κλίση των αρδευτικών αυλακίων σε μοίρες									
Μηχανική Δόση του σύστασης κ-9 Kg/ ha εδάφους		60	4,70	3,50	2,40	0,60	0,300	0,10	0,030
Συνδυασμός αρδευτικής δόσης και μήκος αυλακίων									
έδαφος	0	0.01*	0.01*	0.02*	0.03*	0.13	0.24*	0.26*	0.26*
Sierozem		35**	35**	50**	70**	145	250**	250**	250**
μέτριο	5	0.02*	0.03	0.04*	0.05*	0.20	0.36*	0.90*	0.75*
αργιλο-		35	45**	55**	60**	120	160**	250**	230**
πηλώδες	10	0.03	0.04*	0.06*	0.07*	0.25	0.75*	1.00*	0.7*
και		40	45**	55**	60**	110	190**	220**	190**
μέτρια	20	0.03	0.05*	0.07*	0.10*	0.50	0.75*	1.47*	1.00*
διαβρω-		45	50**	55**	70**	150	185**	250**	215**
μένο	30	0.04	0.05*	0.07*	0.10*	0.50	0.75*	1.50*	1.00*
		40	45**	50**	60**	135	165**	236**	195**
	40	0.04	0.06*	0.08*	0.10*	0.50	0.75*	1.50*	1.00*
		40	45**	50**	55**	124	150**	215**	175**

*αρδευτική δόση σε L/sec **Μήκος αρδευτικών αυλακίων σε μέτρα

Για την επιφανειακή φυλλοειδή διάβρωση, επειδή απαιτείται να καλυφθεί όλη η επιφάνεια, καταναλώνονται 80 μέχρι 150 kg/εκτάριο εδαφοβελτιωτικού. Με τη διύγρανση της επιφανειακής στρώσης του εδάφους, χωρίς στη συνέχεια να αναμειχθεί, δημιουργείται εδαφοπολυμερή στρώση στο διαχωρισμό των φάσεων του συστήματος έδαφος – νερό, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η αντιδιαβρωτική αντίσταση λόγω των μεταβολών που θα προκαλέσουν τα "K" στις ιδιότητες του εδάφους (πίνακας 12-14). Τα στοιχεία του πίνακα 12 δείχνουν ότι με την επίδραση των "K" η περιεκτικότητα ανθεκτικών στο νερό μακροσυσσωματομάτων αυξήθηκε από 1-4% του μάρτυρα, μέχρι 20-70% στις επεμβάσεις. Η φαινομενική πυκνότητα εδάφους μειώθηκε και βελτιώθηκε

το ολικό πορώδες και ο αερισμός του εδάφους. Οι δυνάμεις συνοχής και συνάφειας μεταξύ των συσσωματωμάτων από 400 gr/cm² του μάρτυρα αυξήθηκαν ανάλογα από τη δόση των "Κ" στα 600-2000 gr/cm².

Πίνακας 12. Στοιχεία μεταβολής των ιδιοτήτων της επιφανειακής στρώσης εδαφών με την επίδραση του Κ-4 (Παγανίας Κ.Π., 1975)

Δόση του Κ-4 Kg/εκτάρ.	% υδατο- σταθερά συσσωματώ- ματα δια>0,25 mm	Φαινομενι- κή ειδική πυκνότητα gr/cm	Πορώδες%		Ανθεκτικότη- τα Των συσσωμα- τομάτων στη διάσπαση gr/cm
			Ολικό	Αερισμού	
00	1-4	1.72	32.6	4	400
20	20-30	1.53	43.3	14	600
30	40-50	1.26	53.3	26	800
40	60-70	1.22	54.8	28	2000

15. Μέτρα βελτίωσης της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών

Όλα τα αντιδιαβρωτικά μέτρα που αναφέραμε συντελούν στη διατήρηση της γονιμότητας και παραγωγικότητας των διαβρωμένων εδαφών. Είναι γνωστό ότι όλοι οι παράγοντες που προσδιορίζουν την ανάπτυξη και απόδοση των φυτών, δηλαδή φως, θερμοκρασία, θρεπτικά στοιχεία και νερό, είναι μεγάλης σημασίας για τα καλλιεργούμενα φυτά. Η έλλειψη ενός παράγοντα καθυστερεί την ανάπτυξη και μειώνει την απόδοση των φυτών. Το έδαφος εξασφαλίζει στα καλλιεργούμενα φυτά τα θρεπτικά στοιχεία, το νερό, και όλες τις απαραίτητες συνθήκες για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Είναι γνωστό ότι η περιεκτικότητα του εδάφους σε χούμο συμβάλλει θετικά στη δομή και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους με αποτέλεσμα τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Ο χούμος εμποδίζει σημαντικά τις

καταστρεπτικές ενέργειες της διάβρωσης. Τα εδάφη πλούσια σε χούμο αντέχουν στη διάβρωση και η προσθήκη οργανικής ουσίας στο έδαφος αφενός δρα αντιδιαβρωτικά αφετέρου βελτιώνει τη γονιμότητα του εδάφους. (Μήτσιος Ι. 1996)

15.1 Η οργανική ουσία

Το γεωργικό αντιδιαβρωτικό σύστημα πρέπει να προβλέπει εφαρμογή αυξημένων δόσεων οργανικών και χημικών λιπασμάτων στα διαβρωμένα εδάφη. Παράλληλα με τη βελτίωση της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών σπουδαία σημασία έχει η αξιοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων για αντιδιαβρωτική προστασία. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από το είδος των καλλιεργειών. Π.χ. η καλαμιά που παράγεται από τα δημητριακά κυμαίνεται σε διάφορες ποσότητες και ανάλογα με το συνδυασμό πολυάριθμων παραγόντων και με τις συνθήκες και το είδος των καλλιεργειών ανέρχεται από 2-4 μέχρι 15-18 τόνοι/εκτάριο. Τα λειμώνια φυτά προσθέτουν στο είδος 10-18 τόνοι/εκτάριο φυτικά υπολείμματα. Μεγάλη σημασία έχει και η σύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων και ιδιαίτερα το ποσοστό του αζώτου. Πιο φτωχά σε άζωτο είναι τα υπολείμματα των δημητριακών και πιο πλούσια σε άζωτο τα υπολείμματα των λειμώνιων καλλιεργειών. (πίνακας 14). Στα διαβρωμένα εδάφη η αμειψισπορά θα πρέπει συνεχώς να βελτιώνεται με στόχο την αύξηση της έκτασης που θα καλύπτουν οι καλλιέργειες με λειμώνια φυτά (τριφύλλι, μηδική, κλπ.)

Πίνακας 14. Περιεκτικότητα σε N, P₂O₅ και K₂O των φυτικών υπολειμμάτων των διαφόρων καλλιεργειών (% στην ξηρή ουσία)

Καλλιέργεια	N Ρίζες	Υπέργεια φυτικά υπολείμματα	P ₂ O ₅ Ρίζες	Υπέργεια φυτικά υπολείμματα	K ₂ O Ρίζες	Υπέργεια φυτικά υπολείμματα
Τριφύλλι, πρώτο έτος καλλιέργειας	2,36	2,65	0,54	0,71	0,78	1,65
Ρεβίθι, μπιζέλι	1,92	1,57	0,30	0,30	0,70	1,4
Κτηνοτροφικά όσπρια	1,88	1,11	0,30	0,30	0,92	1,01
Σιτάρι φθινοπωρινής σποράς	1,09	0,32	0,25	0,03	0,57	0,50
Σιτάρι ανοιξιάτικης σποράς	1,20	0,44	0,30	0,05	0,45	0,50
Κριθάρι	1,18	0,45	0,40	0,06	0,45	0,52

Η αύξηση της έκτασης αυτών των λειμωνίων καλλιεργειών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοτήτων του αζώτου στα διαβρωμένα εδάφη. Σημαντικά εμπλουτίζουν τα διαβρωμένα εδάφη με χούμο και θρεπτικές ουσίες και οι ενδιάμεσες επίσπορες καλλιέργειες, όπως τα κτηνοτροφικά όσπρια και ιδιαίτερα το μείγμα οσπρίων με δημητριακά. Επίσης αποτελεσματικό μέτρο βελτίωσης της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών αποτελεί η εφαρμογή χλωρής λίπανσης με ψυχανθή και τον τεμαχισμό και την ενσωμάτωση στο έδαφος της χλωρής μάζας των υπέργειων τμημάτων των ψυχανθών. Από πολυάριθμες παρατηρήσεις και πειράματα που εφαρμόστηκαν σε διάφορες περιοχές, διαπιστώνεται ότι η χλωρή λίπανση σημαντικά αυξάνει την απορρόφηση και συγκράτηση του νερού των βροχών, μειώνει την επιφανειακή ροή και τη διάβρωση και βελτιώνει την απόδοση των καλλιεργειών (πίνακας 15).

Ένας άλλος βασικός τρόπος βελτίωσης της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών είναι η επικάλυψη, δηλαδή η δημιουργία στην επιφάνεια επιστρώματος με μείγμα φυτικού υλικού και εδάφους. Το επίστρωμα στην επιφάνεια του εδάφους με άχυρο, καλαμιά ή άλλο φυτικό υλικό επδρά θετικά στις μικροβιολογικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες και βελτιώνει κατά πολύ τη γονιμότητα του εδάφους, ιδιαίτερα κατά τη

ψυχρή περίοδο. Υπολογίζεται ότι η ανάμειξη του επιφανειακού εδαφικού στρώματος με 4-5 τόνοι /εκτάρια άχυρο αναπληρώνει τις ετήσιες απώλειες του χούμου του εδάφους.

Πίνακας 15. Μέσες αποδόσεις πατάτας και κριθαριού σε πειράματα με λίπανση διάρκειας 8 ετών/ κατά Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1987)

Λιπαντικές επεμβάσεις	Πατάτα		Κριθάρι	
	Δεδομένα 5 πειραμάτων τόνου/εκτάριο %		δεδομένα 10 πειραμάτων τόνου/εκτάριο %	
Χωρίς λίπανση	10,6	100	2,25	100
NPK (100-70-500)Kg/εκτάριο	14,4	178	2,98	132
Κοπριά (20-22-τόνου/εκτάριο)	15,7	178	3,13	138
Χωρίς λίπανση με τεμαχισμένο σινάπι και NPK 100-70-50 Kg/εκτάριο	16,4	154	3,27	145

Κοπριά. Η χρησιμότητα της αξιοποίησης της κοπριάς στις καλλιέργειες είναι γνωστή στο γεωργό. Με την εφαρμογή της, εντατικοποιείται η μικροβιακή δραστηριότητα των διαβρωμένων εδαφών. Εφαρμόζοντας συστηματικά αυξημένες δόσεις κοπριάς σε συνδυασμό με την αμειψισπορά που περιλαμβάνει λειμώνια φυτά, επιτυγχάνεται βελτίωση της γονιμότητας των διαβρωμένων εδαφών. Για την καλύτερη ανάπτυξη των λειμώνιων φυτών και επομένως τη συσσώρευση περισσότερης υπέργειας και υπόγειας φυτικής μάζας αυτών, (που αποτελεί κύριο παράγοντα αύξησης του χούμου), απαραίτητη είναι η προσθήκη φωσφορικού λιπάσματος. Οι δόσεις των φωσφορικών λιπασμάτων προσδιορίζονται ανάλογα με τις ιδιότητες του εδάφους, τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και το είδος καλλιέργειας.

Τύρφη. Για τη βελτίωση του ισοζυγίου των οργανικών λιπασμάτων και για τη κατασκευή διαφόρων κομποστών, σημαντικό ρόλο παίζει και η χρησιμοποίηση της τύρφης. Έχει διαπιστωθεί ότι πιο αποτελεσματική είναι η εφαρμογή κομπόστας τύρφης-κοπριάς σε συνδυασμό με χημικά λιπάσματα (πίνακας 16).

Sapropel. Τα τελευταία χρόνια για τη δημιουργία οργανικού λιπάσματος χρησιμοποιείται το Sapropel. Το Sapropel είναι η ιλύδης απόθεση των λιμνών και λιμνοθαλασσών που αποτελείται από ορυκτά ιλύδη τεμαχίδια και οργανική ύλη. Το Sapropel είναι προϊόν συσσώρευσης εδαφικών τεμαχιδίων (ιλύος), αποσύνθεσης της φυτικής μάζας και ζώων και ίζημα ορυκτών αλάτων. Στην Ιαπωνία τα Sapropel τα διακρίνουν σε τρεις ποιότητες: Την ανώτερη ποιότητα που τη μετατρέπουν σε προϊόντα διατροφής του ανθρώπου, τη μέση ποιότητα για ζωοτροφή και την κατώτερη ποιότητα για οργανικά λιπάσματα. Από το 1997 το Sapropel, ως οργανικό λίπασμα, χρησιμοποιείται και στην πρώην Σοβιετική Ένωση. Το Ινστιτούτο τύρφης της Ακαδημίας επιστημών της Λευκορωσίας έχει δημιουργήσει μια τεχνολογία εξόρυξης του Sapropel και την παραγωγή από αυτό οργανικού λιπάσματος. Συγκρινόμενο με την τύρφη το Sapropel περιέχει περισσότερο άζωτο, φώσφορο, κάλιο και ιχνοστοιχεία και χαρακτηρίζεται από ουδέτερο pH, υψηλή χωρητικότητα, απορρόφηση και βιοχημική δραστηριότητα. Πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι η δόση 20 τόνοι/εκτάριο Sapropel εξασφαλίζει αύξηση της παραγωγής πατάτας πάνω από 7 τόνοι/εκτάριο, κριθάρι 0,5 τόνοι/εκτάριο, (Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1987).

Πίνακας 16. Η επίδραση της κομπόστας (τύρφη-κοπριά) σε συνδυασμό με τα χημικά λιπάσματα στις αποδόσεις της πατάτας τόνοι/εκτάριο

(Πειραματικά δεδομένα του Ζίλκο Β., 1976 όπως αναφέρονται στο σύγγραμμα του Ζασλάβσκι Μ.Ν., 1987)

Επεμβάσεις διαβρωμένο πειράματος	Μη διαβρωμένο έδαφος	Ελαφρά διαβρωμένο έδαφος	Ισχυρά έδαφος
Κομπόστα 30t/ha+N30Kg/ha + P2O5 45Kg/ha + K2O 60Kg/ha	11.8	10.8	8.8
Κομπόστα 60t/ha+ N30Kg/ha + P2O5 45Kg/ha + K2O 60Kg/ha	13.7	11.3	9.4
Κομπόστα 45t/ha+ N30Kg/ha +P2O5 45Kg/ha +K2O60Kg/h	14.2	13.7	13.4

Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

1.Γενικά

Με τον όρο ρύπανση του εδάφους εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, η οποία είναι ή μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς.

Η ρύπανση του εδάφους αναφέρεται κυρίως στις αγροτικές περιοχές και στα εδάφη της υπαίθρου, ενώ ένα άλλο κομμάτι της μπορεί να θεωρηθεί η ρύπανση η οποία δημιουργείται από τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα τα οποία πετιούνται σε αστικές ή υπαίθριες περιοχές. ([w.w.w.Itee voiou.mag.sch.gr/ecology/pollution.htm.](http://www.itee.voiou.mag.sch.gr/ecology/pollution.htm) }

Η ρύπανση του εδάφους φαίνεται να γίνεται συνεχώς σοβαρότερη και χρειάζεται να εξεταστεί ως ιδιαίτερη κατηγορία ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Το έδαφος ρυπαίνεται από στερεά απόβλητα αλλά και από ύδατα ρυπασμένα από εντομοκτόνα, λιπάσματα κ.ά . Τα στερεά απόβλητα είναι ουσίες ή αντικείμενα από τα οποία οι κατοχοί τους θέλουν ή πρέπει να απαλλαγούν. Τέτοια είναι τα στερεά απόβλητα των σπιτιών ή τα ανάλογα των καταστημάτων, γραφείων κ.ά., τα ειδικά στερεά απόβλητα των νοσοκομείων, σφαγείων κ.ά., τα παλιά διαρκή αγαθά (π.χ. παλιά αυτοκίνητα, ψυγεία, τηλεοράσεις κ. ά.) που απορρίπτονται στο περιβάλλον, τα βιομηχανικά απόβλητα , τα απόβλητα από ορισμένες μορφές ορύχευσης, τα ειδικά τοξικά και επικίνδυνα στερεά απόβλητα κ.ά. Η ρύπανση του εδάφους από εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και άλλες ουσίες γίνεται είτε με την πτώση τους στο έδαφος κατά τους ψεκασμούς είτε με την διείσδυση στο έδαφος μέσω των αρδευτικών υδάτων ή γενικώς των επιφανειακών υδάτων.(Κώττη Γ.)

Τα τελευταία χρόνια πολλοί επιστήμονες έχουν στραφεί σε έρευνες που αφορούν στην ποιότητα των εδαφικών πόρων (soil quality), γιατί είναι πλέον γνωστό ότι η ρύπανση και η υποβάθμιση μαζί με τη διάβρωση και την ερημοποίηση είναι οι παράγοντες που θέτουν μεγάλες εδαφικές εκτάσεις εκτός γεωργικής παραγωγής. Ο όρος "ποιότητα εδάφους", αν και χρησιμοποιείται κυρίως ως συνάρτηση της χρήσης (γεωργία, μέσο στήριξης κατασκευών, διάθεση αποβλήτων), περιλαμβάνει : α) την ικανότητα του εδάφους ως μέσου για την ανάπτυξη των φυτών και τη βιολογική δραστηριότητα β) τον καθοριστικό ρόλο του εδάφους στο υδατικό ισοζύγιο γ) τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους στον έλεγχο επικίνδυνων περιβαλλοντικών

συστατικών όπως τα βαριά μέταλλα, τα φυτοφάρμακα κλπ. (Doran et al., 1996. Μισοπολινός κ.ά., 2000). Τον τελευταίο παράγοντα εκμεταλλεύτηκε σε μεγάλο βαθμό ο άνθρωπος ώστε πολλές φορές χρησιμοποιεί το έδαφος ως "αποθήκη" επικίνδυνων χημικών στοιχείων με τη λογική ότι εκεί αδρανοποιούνται και δεν μπορούν να μεταφερθούν στην υπόλοιπη βιόσφαιρα. Αυτή η τακτική είχε καταστροφικές συνέπειες, γιατί τόσο οι αλόγιστες λιπάνσεις και η χρήση φυτοφαρμάκων όσο και η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα είχε σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση εδαφικών εκτάσεων και τη ρύπανσή τους, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να θεωρηθεί μη αναστρέψιμη (Alloway, 1995).

Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι ότι η ρύπανση των εδαφών δεν εξαρτάται μόνο από τοπικές σημειακές πηγές, επειδή μέσω της ατμόσφαιρας οι ρύποι μπορούν να μεταφερθούν και η ρύπανση να επεκταθεί σε ακτίνα αρκετών χιλιομέτρων (Erel et al., 1997). (Χαϊντούτη 2002).

2. Η ρύπανση και τα αίτιά της

Κάθε πρόσθετη ουσία, πάνω από μια ορισμένη περιεκτικότητα στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος ή στα τρόφιμα που απειλεί την υγεία των ανθρώπων και των έμβιων οργανισμών ονομάζεται ρυπαντής και η διαδικασία ονομάζεται ρύπανση. Οι περισσότεροι ρυπαντές είναι στερεά, υγρά ή αέρια υποπροϊόντα ή απόβλητα που παράγονται, όταν ένας πόρος εξορύσσεται, δέχεται επεξεργασία, μετατρέπεται, σε προϊόντα ή χρησιμοποιείται. Η ρύπανση επίσης μπορεί να πάρει τη μορφή ανεπιθύμητων εκπομπών ενέργειας όπως εξαιρετική θερμότητα, θόρυβος ή ακτινοβολία.

Οι ρυπαντές μπορούν να εισβάλουν στο περιβάλλον από φυσικές οδούς, π.χ. από μια ηφαιστειακή έκρηξη και μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η καύση του άνθρακα. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης από τις ανθρώπινες δραστηριότητες σημειώνεται μέσα ή κοντά σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, όπου συγκεντρώνονται οι ρυπαντές. Η εκβιομηχάνιση των αγροκαλλιεργειών επίσης αποτελεί κύρια πηγή ρύπανσης. Κάποιοι ρυπαντές μολύνουν τις περιοχές στις οποίες και παράγονται. Άλλοι μεταφέρονται, μέσω του ανέμου ή των υδάτων, σε άλλες περιοχές. Η ρύπανση δε γνωρίζει κρατικά ή εθνικά σύνορα.

Κάποιοι ρυπαντές προέρχονται από μεμονωμένες προσδιορισμένες πηγές όπως την καυνοδόχο μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας, την αντλία

αποστράγγισης μιας βιομηχανικής εγκατάστασης, την καμινάδα ενός σπιτιού, την εξάτμιση ενός αυτοκινήτου και ονομάζονται **σημειακές**. Άλλοι ρυπαντές προέρχονται από διασκορπισμένες πηγές, δύσκολες στον εντοπισμό τους και ονομάζονται **μη σημειακές** πηγές ρύπανσης. Παράδειγμα είναι τα λιπάσματα και τα εντομοκτόνα από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τους αστικούς κήπους, που απορρέουν σε ποτάμια και λίμνες, καθώς και τα εντομοκτόνα που φτάνουν στην ατμόσφαιρα με τον ψεκασμό ή από τη ροή του ανέμου. Είναι ασφαλώς πολύ πιο εύκολο να εντοπίσουμε και να ελέγξουμε τη ρύπανση σε σημειακές πηγές παρά σε μη σημειακές.

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης: Οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις των ρυπαντών περιλαμβάνουν παρεμπόδιση ή παρεμβολή στα συστήματα υποστήριξης της ζωής τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα άλλα είδη. Καταστροφή της άγριας ζωής, βλάβες στην υγεία, βλάβη στην ιδιοκτησία και παρενοχλήσεις, όπως θόρυβος και δυσάρεστες οσμές, γεύσεις και θέαμα.

Τρεις παράγοντες προσδιορίζουν το πόσο σοβαρές είναι οι επιπτώσεις ενός ρυπαντή. 1. Η χημική του φύση, που χαρακτηρίζει το πόσο επιβλαβής ή ενεργός είναι στους έμβιους οργανισμούς. 2. Η συγκέντρωσή του, δηλαδή η ποσότητα ανά μονάδα όγκου αέρα, νερού, εδάφους ή βάρους του σώματος. Ένας τρόπος για να μειώσουμε τη συγκέντρωση ενός ρυπαντή είναι να τον διαλύσουμε σε μεγάλο όγκο αέρα ή νερού. Μέχρι να αρχίσει ο κορεσμός του αέρα ή του νερού από το ρυπαντή, η διάλυση ήταν η λύση στη ρύπανση. Σήμερα αποτελεί μια μερική μόνο λύση. 3. Ο χρόνος ζωής του ρυπαντή, το χρονικό διάστημα για το οποίο μπορεί να περιμένει στο νερό, στο έδαφος ή στο σώμα. Οι διασπώμενοι ρυπαντές διαλύονται εντελώς ή μειώνονται σε αποδεκτά επίπεδα από φυσικές, σωματικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Οι **σύνθετοι χημικοί ρυπαντές** διασπώνται ή μεταβολίζονται σε απλούστερες χημικές ενώσεις από τους έμβιους οργανισμούς συνήθως με εξειδικευμένα βακτηρίδια που ονομάζονται **βιοδιασπώμενοι ρυπαντές**. Τα ανθρώπινα απόβλητα σ' ένα ποτάμι, για παράδειγμα, βιοδιασπώνται αρκετά γρήγορα από τα βακτηρίδια αν τα λύματα δεν προστίθενται με ταχύτερο ρυθμό από ότι μπορούν να διασπαστούν.

Δυστυχώς, πολλές από τις ουσίες που εισάγουμε στο περιβάλλον χρειάζονται δεκαετίες ή και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να διασπαστούν. Παραδείγματα αυτών των αργής διάσπασης ή με μεγάλη διάρκεια ζωής ρυπαντών είναι το εντομοκτόνο DDT και τα περισσότερα πλαστικά.

Οι μη διασπώμενοι ρυπαντές δεν μπορούν να διασπαστούν μέσω των τοξικών διαδικασιών. Παραδείγματα είναι τα τοξικά στοιχεία μόλυβδος και υδράργυρος. Ο καλύτερος τρόπος για να αντιμετωπίσουμε τους επιβλαβείς μη διασπώμενους ρυπαντές είναι να μην τους απελευθερώνουμε στο περιβάλλον, να τους ανακυκλώνουμε ή να τους επαναχρησιμοποιούμε ή να τους αφαιρούμε από το μολυσμένο αέρα, νερό ή έδαφος.

Γνωρίζουμε ελάχιστα για τις πιθανές επιβλαβείς επιπτώσεις του 80% εκ των 70.000 συνθετικών χημικών που κυκλοφορούν στην αγορά. Σχεδόν 1.000 νέα προϊόντα κυκλοφορούν στο εμπόριο κάθε χρόνο. Οι γνώσεις μας για το υπόλοιπο 20% αυτών των χημικών είναι περιορισμένες, κυρίως επειδή είναι αρκετά δύσκολο, χρονοβόρο και δαπανηρό να αποκτήσουμε αυτές τις γνώσεις. Ακόμη και αν προσδιορίσουμε τους κινδύνους που συνδέονται με μια συγκεκριμένη χημική ένωση, γνωρίζουμε ελάχιστα για τις πιθανές αλληλεπιδράσεις με άλλα χημικά, για τις επιπτώσεις αυτών των αλληλεπιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία και σ' άλλους οργανισμούς καθώς και στη διαδικασία υποστήριξης της ζωής.

Σημειώνεται όμως διαφωνία μεταξύ των ειδικών στον ορισμό ενός ρυπαντή και στα αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης, ιδιαίτερα αν οι άνθρωποι πρέπει να επιλέξουν μεταξύ καταστολής της ρύπανσης και της εργασίας τους. Όπως είπε ο φιλόσοφος Hegel, εδώ και δύο αιώνες, η τραγωδία δε βρίσκεται στη σύγκρουση μεταξύ σωστού και λάθους, αλλά στη σύγκρουση ανάμεσα στο σωστό και το σωστό. (Miller 2000)

3. Είδη ρυπαντών και πηγές ρύπανσης

Πολλές από τις ενώσεις οι οποίες θεωρούνται ως ρυπαντές, παράγονται μέσω διαφόρων μηχανισμών και στη φύση. Για το λόγο αυτό από πλευράς προέλευσης οι ρυπαντές διαχωρίζονται σε ανθρωπογενείς και φυσικούς. Από πλευράς τρόπου παραγωγής διαχωρίζονται σε πρωτογενείς (σχηματίζονται στις πηγές ρύπανσης) και δευτερογενείς (σχηματίζονται από τους πρωτογενείς ρυπαντές, μέσω χημικών αντιδράσεων). Από πλευράς μεγέθους διακρίνονται σε ρυπαντές σε μοριακή μορφή (π.χ.αέρια) ή σε μικροσκοπικά σωματίδια σε υγρή ή στερεά φάση. Οι ρυπαντές σε μη μοριακή μορφή καλούνται γενικά σωματιδιακοί ρυπαντές (particulate matter).

Στην περίπτωση που οι σωματιδιακοί ρυπαντές βρίσκονται μέσα στην ατμόσφαιρα, καλούνται αεροσωματίδια (aerosols).

Ο Smith (1981), κατατάσσει τους ρυπαντές ως εξής :

A : Στερεοί ρυπαντές

1. Πρωτογενείς ρυπαντές

Ανόργανοι: Σκόνες διάφορες

Οργανικοί: γύρη, σπόροι

2. Δευτερογενείς ρυπαντές

Ανόργανοι: Θειούχες, αζωτούχες ενώσεις

Οργανικοί: Υδρογονάνθρακες, αλειφατικά νιτρικά, καρβοξυλικά οξέα, δικαρβοξυλικά οξέα.

B : Αέριοι ρυπαντές

1. Πρωτογενείς ρυπαντές

Ανόργανοι: CO, CO₂, SO₂, NO_x, Cl, F, NH₄, H₂S

Οργανικοί: Υδρογονάνθρακες, κετόνες, μερκαπτάνες, σουλφίδια, αλογονωμένοι άνθρακες (τετραχλωράνθρακες, διχλωρομεθάνιο).

2. Δευτερογενείς ρυπαντές

Ανόργανοι: O₃

Οργανικοί: Αλδεύδες, Νιτρικουπεροξυακετυλένιο κλπ ενώσεις N.

Η μελέτη των προβλημάτων που ανακύπτουν στο περιβάλλον γενικά από τη δράση των ρυπαντών αυτών, μπορεί να αναλυθεί στη μελέτη πέντε βασικών συνιστωσών που δίνονται στον πίνακα 1. Οι συνιστώσες αυτές βρίσκονται σε μια λογική αλληλουχία μεταξύ τους. (Πολυράκης Γ.).

Πίνακας 1. Η ρύπανση του περιβάλλοντος (από Κωτσοβίνος 1985)

ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	
ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ	ΦΥΣΙΚΕΣ
Αυτοκίνητα	Ηφαιστεια
Βιομηχανία	Βιολογικοί
Οικιακή χρήση	μηχανικοί
Γεωργικές καλλιέργειες	κλπ
(λιπάσματα- φυτοφάρμακα) κλπ	
ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΥΠΑΝΤΩΝ	
Αέρια- υγρά- ακουστικά κύματα (θόρυβος) Σωματίδια, ραδιενέργεια κλπ	
ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ – ΓΗΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	
1. Ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα)	
2. Υδρόσφαιρα (θάλασσα, ποταμοί, λίμνες, υπόγεια νερά)	
3. Έδαφος	
Μεταφορά, διάχυση και χημικοί μετασχηματισμοί ρυπαντών	
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ :	
1. Βιόσφαιρα (άνθρωπος, ζώα, φυτά, μικροοργανισμοί) 2. Υλικά	

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των εδαφών μπορούν ν ομαδοποιηθούν και ως εξής:

Α. Ατμόσφαιρα (ρυπογόνα ατμοσφαιρικά αιωρήματα που προέρχονται από διάφορες βιομηχανίες, εγκαταστάσεις εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλευμάτων, συστήματα θέρμανσης κατοικιών, καυσαέρια αυτοκινήτων κλπ.).

Β. Γεωργικά υλικά (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, ενεργός λάσπη η οποία χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό και προέρχεται από την επεξεργασία αστικών και άλλων λυμάτων κλπ.).

Γ. Τοπικές σημειακές πηγές, (ορυχεία – μεταλλεία, μεταλλουργικά στερεά παραπροϊόντα κλπ.).

A. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ατμόσφαιρα αποτελεί μια σημαντική πηγή μεταφοράς ρυπαντών στο έδαφος αλλά και ένα εξίσου σημαντικό μέσο μεταφοράς των ρυπών από διάφορες πηγές. Το έδαφος θεωρείται ένας συλλέκτης των ατμοσφαιρικών ρυπών που εισέρχονται στα χερσαία οικοσυστήματα. Εδάφη, τα οποία πολύ συχνά εμφανίζουν έντονη ρύπανση είναι δυνατό να απέχουν εκατοντάδες χιλιόμετρα από την πηγή εκπομπής (Steinnes et al., 1997).

Γενικά, σαν ατμοσφαιρικοί ρυπαντές θεωρούνται οι διάφορες ουσίες που υπάρχουν στην τροπόσφαιρα (στρώμα πάχους 8 – 12 Km που περικλείει τη γήινη σφαίρα) σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις φυσιολογικές (Smith, 1982). Η μεταφορά των ρυπών από την ατμόσφαιρα στο έδαφος εκφράζεται σαν ρυθμός ροής (βαθμός απορρόφησης ρυπαντή) και εξαρτάται από τη συγκέντρωση και τη φύση του ρυπαντή, τη φύση και την κατάσταση της επιφάνειας απορρόφησης (γεωμορφή, υγρασία, μηχανική σύσταση του εδάφους) και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (άνεμος, θερμοκρασία, υγρασία) που επικρατούν σε κάποιο συγκεκριμένο γήινο οικοσύστημα μια δεδομένη στιγμή.

Οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές μπορούν να διακριθούν σε αέριους ρύπους, όπως τα CO, SO₂, H₂S, NO_x, οι υδρογονάνθρακες, το όζον και σε σωματίδια, όπως τα βαριά μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο, νικέλιο κλπ.).

1. Αέριοι ρύποι

Η εναπόθεση των αέριων ρύπων και η απορρόφησή τους από το έδαφος αποτελεί μια πολύπλοκη γεωχημική διαδικασία και αυξάνει όσο αυξάνεται το μοριακό βάρος του ρύπου και ο αριθμός των ομάδων αζώτου, φωσφόρου, οξυγόνου και θείου (Bohn, 1972).

Μονοξειδίο του άνθρακα (CO) : Το μονοξειδίο του άνθρακα, ένας σημαντικός ρύπος ανθρωπογενούς προέλευσης, παράγεται από ατελείς καύσεις. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις του αερίου αυτού παρατηρούνται το χειμώνα με μια έντονη αυξητική τάση. Το καλοκαίρι οι τιμές ελέγχονται από τη δυνατότητα των διάφορων τμημάτων του οικοσυστήματος – κυρίως το έδαφος και τη βλάστηση – (Nozhenvikova and Yurganov, 1978). Ο πιο σημαντικός παράγοντας απορρόφησης είναι τα εδάφη και ιδιαίτερα τα όξινα μη καλλιεργούμενα εδάφη με

υψηλά ποσοστά οργανικής ουσίας. Επίσης έχει βρεθεί, ότι η μικροχλωρίδα του εδάφους – μύκητες, βακτήρια, ακτινομύκητες – συμβάλει σημαντικά στη συγκράτηση του μονοξειδίου του άνθρακα (Inman and Ingersoll, 1971). Τα δασικά οικοσυστήματα που βρίσκονται μέσα και γύρω από αστικές και βιομηχανικές περιοχές παίζουν σημαντικό ρυθμιστικό ρόλο στην απορρόφηση των αέριων ρύπων. Ο ρυθμός απορρόφησης των δασικών εδαφών αυξάνεται με τη συγκράτηση του CO₂, η οποία στις περιοχές αυτές είναι πολύ μεγάλη.

Διοξείδιο του θείου (SO₂) – Υδρόθειο (H₂S) : Το διοξείδιο του θείου απορροφάται έντονα από εδάφη με λεπτή μηχανική σύσταση, υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας και pH, υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο και υγρασία και έντονη παρουσία μικροοργανισμών, ενώ το υδρόθειο κυρίως από ξηρά εδάφη με αλκαλική αντίδραση. Η ρύπανση των εδαφών από διοξείδιο του θείου και υδρόθειο είναι εντονότερη από αυτή του μονοξειδίου του άνθρακα, γιατί ο ρυθμός απορρόφησής τους από το έδαφος είναι ταχύτερος από εκείνον του μονοξειδίου του άνθρακα (Smith et al., 1973).

Οξείδια του αζώτου (NO_x) : Στην ατμόσφαιρα το μονοξείδιο του αζώτου είτε οξειδώνεται σε διοξείδιο του αζώτου είτε φωτολύεται σε αέριο άζωτο. Το διοξείδιο του αζώτου αντιδρά φωτοχημικά ή απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα με τα κατακρυσνίσματα κυρίως ως νιτρικό οξύ. Τα οξείδια του αζώτου (NO, NO₂) μπορούν επίσης να απορροφηθούν από τα εδάφη ακόμα απουσία μικροοργανισμών, με πιο αργούς ρυθμούς όμως από ότι το διοξείδιο του θείου. Ο μηχανισμός απορρόφησης του NO₂ περιλαμβάνει αντιδράσεις με τα εδαφικά κατιόντα, το εδαφικό νερό, δέσμευση από την οργανική ουσία ή παραμονή ως αέριο στα διάκενα των εδαφικών πόρων (Smith and Mayfield, 1978). Στο έδαφος το μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται προς διοξείδιο και στα όξινα εδάφη δεν παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αντίθεση με τα αλκαλικά (Bohn, 1972).

Υδρογονάνθρακες : Οι οργανικοί αυτοί ρυπαντές είναι αδιάλυτοι στο νερό και η απορρόφησή τους από το εδαφικό σύστημα γίνεται κυρίως μέσω των μικροοργανισμών. Το αιθυλένιο που παράγεται από τις εξατμίσεις των οχημάτων είναι ο υδρογονάνθρακας που απορροφάται πιο δραστικά από το έδαφος. Όσο αφορά το ακετυλένιο, απορροφάται κυρίως από εδάφη με χαμηλό pH και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Smith et al., 1973).

Όζον (O₃) : Το έδαφος αποτελεί ένα σημαντικό αποδέκτη για τον επικίνδυνο αυτό ρυπαντή. Η ικανότητα απορρόφησης του όζοντος από ένα δασικό έδαφος υπολογίστηκε σε 1,3 – 2,1 X 10 Kg το χρόνο (Aldaz, 1969).

B. ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η ανάγκη για αυξημένες παραγωγές και αποδόσεις μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο ήταν αδύνατο να καλυφθεί με τη μορφή της εκτατικής και χαμηλής παραγωγικότητας γεωργία που επικρατούσε στα τέλη της δεκαετίας του 1940. Έπρεπε λοιπόν αφενός να αυξηθεί η καλλιεργούμενη έκταση με διάφορα εγγειοβελτιωτικά έργα (αποξηράνσεις, αποστραγγίσεις, εκχερσώσεις κλπ.) και αφετέρου να βελτιωθούν σημαντικά οι στρεμματικές αποδόσεις των καλλιεργειών. Τα χημικά λιπάσματα, μαζί με τα φυτοφάρμακα (σε συνδυασμό με την εισαγωγή νέου βελτιωμένου πολλαπλασιαστικού υλικού και νέας τεχνολογίας) αποτελούν τις δύο κύριες κατηγορίες χημικών ενώσεων που στήριξαν αυτή τη θεαματική αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών και τη μέχρι σήμερα θεωρητικά ικανοποιητική αντιμετώπιση του προβλήματος της διατροφής του πληθυσμού της γης. Πολύ γρήγορα όμως μαζί με τα θετικά αποτελέσματα δεν άργησαν να παρατηρηθούν και οι παρενέργειες αυτών των χημικών ουσιών, που αφορούσαν την έντονη ρύπανση των εδαφικών και υδάτινων πόρων με άμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Αρκετές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η συνεχόμενη και μακροχρόνια χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στα αγροτικά εδάφη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού ποσού καδμίου στο έδαφος. Μάλιστα στην Ευρώπη έχει βρεθεί ότι η ρύπανση των εδαφών με κάδμιο οφείλεται κυρίως στη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων και δευτερευόντως στη ρύπανση της ατμόσφαιρας (Alloway, 1995).

Η επίδραση των φωσφορικών λιπασμάτων στις συγκεντρώσεις καδμίου έχει προσδιοριστεί σε μεγάλο βαθμό τόσο σε θερμοκήπια όσο και στον αγρό και έχει βρεθεί ότι η σχέση μεταξύ του εκχυλίσμου καδμίου με EDTA και του εκχυλίσμου φωσφόρου με H₂SO₄ είναι γραμμική με συντελεστή συσχέτισης $r = 0.74$ (Metty and Tiller, 1991).

Η περιεκτικότητα των φωσφορικών λιπασμάτων σε κάδμιο ποικίλει ανάλογα με την προέλευση των φωσφορικών πετρωμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των λιπασμάτων και τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο λίπασμα. Στην Αμερική αναφέρεται ότι φωσφορικά λιπάσματα που παρασκευάζονται από

φωσφορίτες με περιεκτικότητα σε κάδμιο $< 10 \text{ mg / Kg}$ επιβαρύνουν το έδαφος με $0,3 - 1,2 \text{ g Cd / ha / έτος}$, ενώ τα λιπάσματα που παρασκευάζονται από φωσφορίτες με περιεκτικότητα σε κάδμιο 174 mg / Kg επιβαρύνουν το έδαφος με $100 \text{ g Cd / ha / έτος}$. Η παγκόσμια εισροή καδμίου στο έδαφος από τη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων (με μέση περιεκτικότητα σε κάδμιο $0,2 - 15 \text{ mg / Kg}$) έχει εκτιμηθεί ότι φτάνει το ποσό των $30 - 250 \text{ tn / έτος}$ (Alloway, 1995). Η σημαντική αυτή επιβάρυνση, η οποία προέρχεται από τη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων έχει οδηγήσει τη βιομηχανία παρασκευής φωσφορικών λιπασμάτων σε αλλαγή των πηγών των φωσφοριτών, με επιλογή εκείνων που έχουν και τη μικρότερη περιεκτικότητα σε κάδμιο.

Παρακάτω δίνονται τα όρια των συγκεντρώσεων καδμίου που πρέπει να περιέχουν τα χρησιμοποιούμενα φωσφορικά λιπάσματα σε διάφορες χώρες (Alloway, 1995).

Χώρα	Όρια (mg Cd / Kg λιπάσματος)
Καναδάς	2,1 - 9,3
Αυστραλία	18 - 91
Αμερική	7,4 - 156
Ολλανδία	9 - 30
Σουηδία	2 - 30

Επίσης τα αζωτούχα λιπάσματα δημιούργησαν σοβαρά προβλήματα όσο αφορά την παρουσία νιτρικών στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, γιατί τα νιτρικά ιόντα έχουν αρνητικό φορτίο και δεν συγκρατούνται από τα κολλοειδή του εδάφους, ενώ τα γεωργικά φάρμακα είναι υπεύθυνα για την εισροή στη βιόσφαιρα επικίνδυνων τοξικών ουσιών.

Σημαντικά γεωργικά υλικά μπορούν ακόμα να θεωρηθούν τα κτηνοτροφικά απόβλητα καθώς και η ενεργός λάσπη, η οποία αποτελείται από επεξεργασμένα βιομηχανικά και αστικά λύματα και χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό. Εκτεταμένες έρευνες πραγματοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες για να βρεθεί το ρυπαντικό δυναμικό των αποβλήτων (κτηνοτροφικών και αστικο-βιομηχανικών), τόσο στο έδαφος όσο και στο περιβάλλον. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες αποβλήτων είναι το γεγονός ότι ενώ για τα κτηνοτροφικά απόβλητα είναι δυνατό να εκτιμηθούν οι ρυπαντές, γιατί οι πηγές τους είναι γνωστές, δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με την άλλη κατηγορία. Για την ενεργό λάσπη η πηγή των εν δυνάμει τοξικών ουσιών δεν είναι γνωστή και έτσι η ρύπανση του εδάφους που δέχεται τέτοια

εδαφοβελτιωτικά δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια (Baker and Chesnin, 1975). Τέτοιες τοξικές ουσίες είναι τα βαριά μέταλλα (Cd, Zn, Cu, Ni, As, Pd, Se, Cr, Be, Bi, Hg), το βόριο, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), τα οξέα, τα κυανίδια, διάφορα διαλυτά άλατα καθώς και παθογενείς οργανισμοί.

Γ. ΤΟΠΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Τα μεταλλεία – ορυχεία αποτελούν τοπικές σημειακές πηγές ρύπανσης των εδαφών προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στις εδαφικές ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν μόνιμες (Ullrich et al., 1999). Είναι πλέον γνωστό ότι κοντά σε τέτοιες περιοχές τα εδάφη περιέχουν συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ακόμα και εκατονταπλάσιες από τα φυσιολογικά επίπεδα. Εξάλλου σημαντική είναι η επίδραση των θειούχων ορυκτών, τα οποία οξειδούμενα παράγουν SO₄ με αποτέλεσμα την αύξηση της οξύτητας του εδάφους. Ακόμη η εκπομπή υψηλών ποσοτήτων διοξειδίου του θείου μπορεί να καταστρέψει τη φυσική βλάστηση και να οδηγήσει σε έντονη διάβρωση του εδάφους, όπως έχει συμβεί σε εδάφη περιοχών στις οποίες υπάρχουν ορυχεία – χυτήρια και μεταλλεία (Χαιντούτη 1982).

Η εξόρυξη των ορυκτών πόρων γίνεται τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια. Η επιφανειακή εξόρυξη συνήθως είναι φθηνότερη, αλλά έχει πιο άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων, μετά το στάδιο εξόρυξης έχει και τα στάδια μεταποίησης και παραγωγής προϊόντων. Η εξόρυξη και μεταποίηση των ορυκτών πόρων μπορεί να έχει επίδραση στα εδάφη, στο νερό και στην ατμόσφαιρα. Επίσης μπορεί να έχει και κοινωνικές επιδράσεις, όχι μόνο στην περιοχή εξόρυξης, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή σε νομούς, περιφέρειες, αλλά και σε ολόκληρη τη χώρα. Η ζήτηση σε ορυκτό πλούτο αυξάνεται συνεχώς όπως φαίνεται στο πίνακα 2 που ακολουθεί, ενώ οι αποθέσεις με υψηλές συγκεντρώσεις ορυκτών και μετάλλων μειώνονται. Έτσι, απαιτούνται μεγαλύτερες εγκαταστάσεις και εξόρυξη μεγάλων όγκων πετρωμάτων για την παραλαβή μετάλλων, αλλά και καλύτερης ποιότητας βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα. Τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος δε μπορούν να εξαλείψουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά να τις μειώσουν και να τις περιορίσουν σε ανεκτά επίπεδα. Οι επιπτώσεις της εξόρυξης στο έδαφος, στο νερό και στον αέρα επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα και το υπόλοιπο οικοσύστημα. Άμεσες επιπτώσεις μπορεί να είναι ο θάνατος φυτών ή ζώων, ενώ έμμεσες μεταβολές στην

τροφική αλυσίδα, στην ολική βιομάζα και στη σταθερότητα του οικοσυστήματος. Η εξόρυξη των ορυκτών πόρων εκτός από την επίδραση που έχει στο έδαφος, στο νερό και στον αέρα στην περιοχή του μεταλλείου, είναι δυνατόν να υποβαθμίσει περιβαλλοντικά και πιο απομακρυσμένες περιοχές. Η σκόνη των μεταλλείων μπορεί επίσης να επβαρύνει την ατμόσφαιρα. Μέταλλα και ορυκτά μπορούν να συγκεντρωθούν στο νερό, στο έδαφος ή στα φυτά και επειδή συνήθως είναι τοξικά είναι πιθανό να προκαλέσουν ασθένειες στους ανθρώπους και στα ζώα. Ειδικά κατασκευασμένοι τάφροι που συλλέγουν αυτές τις απορροές μπορούν να μειώσουν, αλλά όχι και να εξαλείψουν το πρόβλημα μεταφοράς και διασποράς των μετάλλων και ορυκτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ετήσια παγκόσμια ζήτηση μετάλλων το έτος 2000 (Kabata – Pendias and Pendias, 1992).

Στοιχείο	Τόνοι	Στοιχείο	Τόνοι	Στοιχείο	Τόνοι
Fe	1.000.000.000	Sn	300.000	Cd	20.000
Al	60.000.000	U	250.000	Be	15.000
Mn	18.000.000	Mo	130.000	Hg	14.000
Cu	12.000.000	Sr	120.000	Ag	12.000
Zn	11.000.000	Sb	100.000	Bi	6.000
Pb	5.000.000	As	51.000	Au	2.000
Ba	5.000.000	W	47.000	Se	2.000
Cr	3.750.000	V	35.000	Te	250
F	3.500.000	Br	35.000	Ge	200
Ti	1.800.000	Li	33.000	Cs	30
Ni	1.500.000	Ta	32.000	Re	14
Zr	500.000	Co	30.000	Rb	3

Δ. Ρύπανση του εδάφους από βαριά μέταλλα

Το έδαφος είναι ένα πολύ ειδικό συστατικό της βιόσφαιρας, γιατί δεν αποτελεί μόνο ένα γεωχημικό αποδέκτη για τους διάφορους ρύπους, αλλά συμπεριφέρεται και ως ένας φυσικός ρυθμιστής που ελέγχει τη μεταφορά των χημικών στοιχείων και ουσιών στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τους ζωντανούς οργανισμούς.

Εξάλλου θεωρείται ένα δυναμικό σύστημα στήριξης της ζωής (Life-Support System) με την παραγωγή προϊόντων απαραίτητων για την ύπαρξη των ζώων και του ανθρώπου.

Τα βαρέα μέταλλα, τα οποία προέρχονται από διάφορες πηγές, μπορούν να φτάσουν τελικά στην επιφάνεια του εδάφους και η περαιτέρω συμπεριφορά τους εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητές του. Η παραμονή των ρυπαντών στο έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε άλλα στοιχεία της βιόσφαιρας και η ρύπανση του εδάφους από τα βαρέα μέταλλα μπορεί να θεωρηθεί μόνιμη. Απώλειες των μετάλλων από το έδαφος μπορούν να θεωρηθούν η έκπλυση και η πρόσληψη από τα φυτά.

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης ανθρωπογενούς προέλευσης των εδαφών από τα βαρέα μέταλλα μπορούν να θεωρηθούν:

1. Τα ορυχεία και χυτήρια των μετάλλων.
2. Γεωργικά υλικά.
3. Ενεργός λάσπη.
4. Καύση κάρβουνου και υγρών καυσίμων.
5. Μεταλλουργικές βιομηχανίες - παραγωγή, χρήση και διάθεση των προϊόντων.
6. Ηλεκτρονικά – παραγωγή, χρήση και διάθεση τέτοιων προϊόντων.
7. Χημικές βιομηχανίες.
8. Διάθεση αποβλήτων.
9. Χώροι σκοποβολής και στρατιωτικής εκπαίδευσης.

Σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται μια αύξηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στην επιφάνεια του εδάφους που φαίνεται να συνδέεται άμεσα με τις συνεχώς αυξανόμενες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η ρύπανση του εδάφους εξαρτάται και από τις τοπικές πηγές εκπομπής και από τη μεταφορά των ρύπων μέσω της ατμόσφαιρας (long range transport).

Έτσι στις περισσότερες έρευνες αναφέρεται τοπική ρύπανση των εδαφών η οποία συναντάται κυρίως σε βιομηχανικές περιοχές, περιοχές με την παρουσία (ή ιστορικό) ορυχείων και μεταλλείων, σε αστικά κέντρα εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων και τέλος σε περιοχές με διάθεση αποβλήτων (sewage sludge – waste disposal). Παρόλα αυτά λόγω της μεταφοράς των ρυπαντών σε μεγάλες αποστάσεις (και κυρίως των αρκετά πιητικών όπως As, Se, Sb, Hg) μέσω της ατμόσφαιρας, πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθούν οι φυσιολογικές τιμές (background level) των μετάλλων στο έδαφος.

Πάντως σε περιπτώσεις που δεν παρατηρούνται τοπικές σημειακές πηγές εκπομπής που μπορούν να προκαλέσουν επιβάρυνση (π.χ. ορυχεία) πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει το επιφανειακό στρώμα του εδάφους ως αντιπροσωπευτικό δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα (Hanssen et al., 1984, Gailey and Lloyd, 1985).

Το επιφανειακό στρώμα του εδάφους εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα ως δείκτης της ρύπανσης σε σχέση με τα φυτά (grass). Η περιεκτικότητα των φυτών σε βαρέα μέταλλα εξαρτάται όπως είναι λογικό από τις συγκεντρώσεις που υπάρχουν στο έδαφος με αποτέλεσμα πολλές φορές όταν χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης να δίνουν λανθασμένα συμπεράσματα. Εξάλλου τα μέταλλα στο έδαφος δεν επηρεάζονται από μεταβολικές διεργασίες όπως στα φυτά και έτσι η δέσμευση και η απομάκρυνσή τους πραγματοποιούνται με μηχανισμούς πιο απλούς και κατανοητούς από ότι στα φυτά.

Τα βαρέα μέταλλα σχηματίζουν σταθερά σύμπλοκα με τα εδαφικά συστατικά και έτσι παραμένουν στον επιφανειακό ορίζοντα (Anderson, 1977). Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί έκπλυση και απομάκρυνση των μετάλλων από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους σε ποσά όμως που δεν μπορούν να προσδιοριστούν. Σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη μετακίνηση των μετάλλων μέσα στο εδαφικό προφίλ θεωρείται το pH και μάλιστα όσο αυτό μειώνεται η απομάκρυνση γίνεται εντονότερη. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι σε όξινες συνθήκες τα ιόντα των μετάλλων γίνονται πιο ευδιάλυτα (Gailey and Lloyd, 1985).

Εκτός από την ατμόσφαιρα, τα λιπάσματα, φυτοφάρμακα και τα απόβλητα προσθέτουν σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Εξάλλου σε ορισμένες περιοχές που υπάρχουν δραστηριότητες ορυχείων και μεταλλείων ο άνεμος

και τα νερά της βροχής διαδραματίζουν αποφασιστικό ρόλο στη μετακίνηση και μεταφορά των βαρέων μετάλλων ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις.

ΒΑΡΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΑ ΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

	(ανά Kg ξηράς ουσίας)	(ανά Kg ξηράς ουσίας)
Ψευδάργυρος	1,0 - 3,0g	> 10 g
Χαλκός	0.5 - 1.5g	> 3 g
Μαγγάνιο	0.2 - 0.5g	> 2 g
Μόλυβδος	0.1 - 0.3g	> 1 g
Χρώμιο	50.0 - 200.0 mg	> 1 g
Νικέλιο	25.0 - 100.0 mg	>500 mg
Κοβάλτιο	8.0 - 20.0 mg	> 50 mg
Κάδμιο	5.0 - 15.0 mg	> 25 mg
Υδράργυρος	4.0 - 8.0 mg	> 25 mg

ΚΙΛΙΚΙΔΗΣ Σ.

Δ1. Μεταφορά των βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Η ατμοσφαιρική εναπόθεση των βαρέων μετάλλων αποτελεί σημαντικό παράγοντα ρύπανσης όλων των υπολοίπων συστατικών της βιόσφαιρας, δηλαδή του νερού, της βλάστησης και του εδάφους. Το μεγαλύτερο ποσοστό βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα (> 90%) έχει ανθρωπογενή προέλευση και προέρχεται από τις βιομηχανικές δραστηριότητες (βαριά βιομηχανία, καύση του κάρβουνου), τις εγκαταστάσεις εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλευμάτων και την κίνηση των αυτοκινήτων (Chronopoulos et al., 1997, Μάσσας κ.α., 1997, Simonetti et al., 2000). Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η ραγδαία τεχνολογική και βιομηχανική ανάπτυξη σε συνδυασμό με την εντατική εκμετάλλευση των πηγών πρώτων υλών και

ενέργειας, οδήγησαν σε μια σταθερή παγκόσμια αύξηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στον αέρα. Έτσι ορισμένα στοιχεία όπως Se, Au, Pb, Sn, Cd, Br και Te εμφανίζουν συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα ακόμα και χίλιες φορές υψηλότερες από τις φυσιολογικές συγκεντρώσεις. Εκτός από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες σημαντικά ποσά βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα μπορεί να προστεθούν από φυσικές πηγές και κυρίως από τα ηφαίστεια.

Το μέγεθος των βαρέων μετάλλων που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή σωματιδίων κυμαίνεται από 5nm – 20 μm, αλλά τα περισσότερα έχουν διάμετρο από 0,1 έως 10μm. Τα σωματίδια αυτά μπορούν να παραμείνουν αιωρούμενα για ημέρες ή εβδομάδες (μέσος χρόνος παραμονής 10 – 30 ημέρες) ή να μεταφερθούν από τους ανέμους σε μεγάλη απόσταση από την πηγή προέλευσής τους (μέχρι και 1000 Km).

ΜΗ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				
	Αγγλία	Tennessee	Great Lakes	Texel
		(ΗΠΑ)	(ΗΠΑ)	(Ολλανδία)
Cu	98-480	280	64	29
Zn	490-1200	540	530	400
ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				
	Swanse	Gottingen		
	(Αγγλία)	(Γερμανία)		
Cu	360	110		
Zn	1000	470		

Στη διαδικασία αυτή (long range transport) οφείλεται το γεγονός ότι τα εδάφη, τα οποία βρίσκονται απομακρυσμένα από βιομηχανικά και αστικά κέντρα, μπορούν να εμφανίσουν έντονη ρύπανση.

Τα σωματίδια μεταφέρονται από την ατμόσφαιρα στα εδάφη με διάφορους τρόπους. Άμεσα με ξηρή απόθεση (καθίζηση) και με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κλπ.) και έμμεσα από την πτώση των φύλλων και κλαδιών (Pichtel et al., 2000). Τα ποσά που μπορούν να εναποτεθούν ποικίλουν και

εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Ενδεικτικά για το χαλκό και τον ψευδάργυρο αναφέρονται οι παρακάτω τιμές (g/ha έτος) ατμοσφαιρικής εναπόθεσης για μη αστικές και αστικές περιοχές (Alloway, 1995).

Σημαντική είναι η επίδραση των καυσαερίων των αυτοκινήτων στην αύξηση των συγκεντρώσεων του μολύβδου στο έδαφος. Πολλές εργασίες αναφέρουν ότι εδάφη και φυτά τα οποία βρίσκονται κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας περιέχουν μεγάλα ποσά μολύβδου. Εξάλλου, έχει παρατηρηθεί ότι η ζώνη στην οποία εμφανίζονται αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου δεν ξεπερνά τα 15 μέτρα από το δρόμο και στη συνέχεια παρατηρείται μια απότομη μείωση των τιμών (Garcia and Millan, 1998, Zurancic, 1999). Σημαντικό είναι το στοιχείο ότι το κάδμιο και περισσότερο ο μόλυβδος, λόγω των μικρών διαστάσεών τους, μπορούν να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι ερευνητές στη Γερμανία μελετώντας τον κύκλο των βαρέων μετάλλων σε ένα απομακρυσμένο, από εκπομπές ρύπανσης, δασικό τοπίο παρατήρησαν ότι η ετήσια εισροή Cd και Pb στο έδαφος ήταν πολύ υψηλή εξαιτίας της μεταφοράς αυτών των βαρέων μετάλλων με τη μορφή πολύ μικρών σωματιδίων (tailings) από μεγάλες αποστάσεις (Heinrichs and Mayer, 1980). Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι τιμές Pb (g/ha/έτος) που εναποτίθενται στο έδαφος μέσω της ατμόσφαιρας, σε διάφορες περιοχές (Sposito and Page, 1984).

Βορειοδυτικός Καναδάς	7,2
Μίσιγκαν (ΗΠΑ)	6,3
Ευρώπη	87-536
Βόρεια Αμερική	71-20.498
Νότιος Πόλος	0,4

Εκτός από την ατμοσφαιρική εναπόθεση η χρήση των γεωργικών υλικών όπως τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και η ενεργός λάσπη προσθέτουν σημαντικά ποσά βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η συνεχής και μακροχρόνια χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στα εδάφη έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων καδμίου στο έδαφος. Επίσης η χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων στο έδαφος, είτε ως λίπασμα είτε ως εδαφοβελτιωτικό, αποτελεί ένα σημαντικό θέμα με μεγάλο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον γι' αυτό και πολύ γρήγορα αναπτύχθηκε αυστηρά νομοθεσία. Παρόλα αυτά, τα μέγιστα επιτρεπτά όρια βαρέων μετάλλων που μπορεί να περιέχει η λάσπη δεν έχουν ακόμα καθοριστεί ενιαία και η κάθε χώρα δέχεται δικές της μέγιστες τιμές.

Όσον αφορά στα φυτοφάρμακα σημαντική είναι η συμβολή τους στην αύξηση των συγκεντρώσεων του χαλκού στο έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα χαλκούχα μυκητοκτόνα όπως ο βορδιγάλειος πολτός, ο οξυχλωριούχος χαλκός, το οξειδίο και το υδροξείδιο του χαλκού χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση πολλών κοινών ασθενειών. Έτσι υπάρχει σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις Cu μεταξύ των εδαφών που έχουν δεχθεί χειρισμούς με μυκητοκτόνα και αυτών που δεν έχουν δεχθεί.

Γενικά η αύξηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα εδάφη έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι μόνο οικολογικό, αλλά και για την υγεία του ανθρώπου.

Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

α. Έχει βρεθεί από αρκετούς ερευνητές μια θετική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στα φυτά, παρόλο που αυτή η σχέση εξαρτάται τόσο από εδαφικούς παράγοντες όσο και από χαρακτηριστικά του φυτού (Voutsas et al., 1996).

β. Μπορεί να θεωρηθεί ότι τα μεγαλύτερα ποσά βαρέων μετάλλων εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των τροφών και του νερού (Sharma and Reutergardh, 2000).

Ένα σοβαρό γεγονός που έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές είναι ότι πολλά φυτά, τα οποία χρησιμοποιούνται στη διατροφή του ανθρώπου μπορούν να αναπτύσσονται σε εδάφη επιβαρυνμένα με βαριά μέταλλα χωρίς να εμφανίζονται ορατά συμπτώματα τοξικότητας, θέτοντας όμως σε κίνδυνο τους ανθρώπους και τα ζώα που τα καταναλώνουν.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ($\mu\text{g g}^{-1}$) σε διάφορα γεωργικά υλικά (Kabata – Pendias and Pendias, 1992).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (μg g) σε διάφορα γεωργικά υλικά (Kabata – Pendias and Pendias, 1992)

Στοιχείο	Ενεργός Λάσπη	Αζωτούχα λιπάσματα	Φωσφορικά λιπάσματα	Κτηνοτροφικά Απόβλητα	Γεωργικά φάρμακα (%)
As	2-26	2.2-120	2-1200	3-25	22-60
B	15-1000	-	5-115	0.3-0.6	-
Ba	150-4000	-	200	270	-
Be	4-13	-	-	-	-
Br	20-165	185-716	3-5	16-41	20-85
Cd	2-1500	0.05-8.5	0.1-170	0.3-0.8	-
Ce	20	-	20	-	-
Co	2-260	5.4-12	1-12	0.3-24	-
Cr	20-40600	3.2-19	66-245	5.2-55	-
Cu	50-3300	<1-15	1-300	2-60	12-50
F	2-740	-	8500-38000	7	18-45
Ge	1-10	-	-	19	-
Hg	0,1-55	0.3-2.9	0.01-1.2	0.09-0.2	0.8-42
Mn	60-3900	-	40-2000	30-550	-
Mo	1-40	1-7	0.1-60	0.05-3	-

Ni	16-5300	7-34	7-38	7.8-30	-
Pb	50-3000	2-27	7-225	6.6-15	60
Rb	4-95	-	5	0.06	-
Sc	0,5-7	-	7-36	5	-
Se	2-9	-	0.5-25	2.4	-
Sn	4 0-700	1.4-16	3-19	3.8	-
Sr	40-360	-	25-500	80	-
Te	-	-	20-23	0.2	-
Zn	700-49000	1-42	50-1450	15-250	1.3-25

Δ2. Δυναμική των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό περιβάλλον

Στα εδάφη τα βαριά μέταλλα συσσωρεύονται κυρίως στον επιφανειακό ορίζοντα, ως αποτέλεσμα της παρουσίας υψηλότερου ποσοστού οργανικής ουσίας και σχηματισμού οργανομεταλλικών συμπλόκων (Sterckeman et al., 2000). Η σημαντική επίδραση της οργανικής ουσίας στη δυναμική και την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων μέσα στο εδαφικό σύστημα έχει αποδειχθεί από ένα μεγάλο αριθμό ερευνητικών εργασιών (Li and Shuman, 1996, Sauve et al., 1997, Hooda and Alloway, 1998). Όπως είναι γνωστό ο κύριος όγκος της οργανικής ουσίας συνίσταται από χουμικά και φουβλικά οξέα, τα οποία παρουσιάζουν την ικανότητα να σχηματίζουν σύμπλοκα διαφορετικής σταθερότητας με κατιόντα όπως ο Fe, Cu, Zn κλπ. Έχει αποδειχθεί ότι από τα βαριά μέταλλα ο χαλκός παρουσιάζει την μεγαλύτερη τάση να σχηματίζει σταθερά σύμπλοκα με τα χουμικά οξέα σε pH 4,5-5,0, ενώ για το κάδμιο η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα ασθενής.

Η σταθερότητα των οργανομεταλλικών συμπλόκων, εκτός των άλλων, εξαρτάται από τη σειρά ηλεκτραρνητικότητας των μετάλλων η οποία είναι:

Pb>Cu > Zn > Cd

Από την παραπάνω σειρά είναι φανερό ότι ο μόλυβδος σχηματίζει τα πιο σταθερά σύμπλοκα και γι'αυτό δεν μετακινείται εύκολα στην εδαφοτομή, ενώ το κάδμιο το οποίο βρίσκεται τελευταίο στη σειρά δε σχηματίζει και τόσο σταθερά σύμπλοκα. Κατά συνέπεια το κάδμιο παρουσιάζει έντονη τάση να μετακινείται μέσα στο εδαφικό προφίλ, ενώ ο ρυθμός και η ένταση μετακίνησής του εξαρτώνται από τις εδαφικές ιδιότητες. Η έκπλυση του Cd είναι δυνατό να έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταφορά του στοιχείου αυτού από το έδαφος στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά συστήματα παίζει και το pH του εδάφους. Η σύσταση του εδαφικού διαλύματος καθώς και η σύσταση και η δομή των επιφανειών προσρόφησης (άργιλος, οργανική ουσία) εξαρτώνται από την αντίδραση του εδάφους (Andriano, 1986).

Έχει αποδειχθεί ότι σε όξινες συνθήκες τα βαριά μέταλλα γίνονται πιο ευδιάλυτα και εκτός του ότι αυξάνεται η κινητικότητα τους μέσα στην εδαφοτομή αυξάνεται και η διαθεσιμότητά τους στα φυτά. Μείωση του pH έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου των κολλοειδών και επομένως μείωση της προσροφητικής τους ικανότητας και τελικά μικρότερη δέσμευση των βαρέων μετάλλων. Τέλος, η κοκκομετρική σύσταση των εδαφών έχει σημαντική επίδραση στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες στα αργιλώδη από ότι στα αμμώδη εδάφη (Sterckeman et al., 2000).

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι αργιλώδη εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και αλκαλικό pH δεσμεύουν ισχυρά τα βαριά μέταλλα και περιορίζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητά τους στα φυτά, ενώ αντίθετα εδάφη με χαμηλή τιμή του pH και με μικρή περιεκτικότητα σε εδαφικά κολλοειδή μπορούν ακόμα και με μικρή επιβάρυνση σε βαριά μέταλλα να εμφανίσουν υψηλές τιμές στο εδαφικό διάλυμα.

Δ3. Τοξικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Είναι πολύ δύσκολο να καθοριστούν ανώτατες μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Ο καθορισμός αυτός εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τα μητρικά υλικά, οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, η καλλιέργεια για την οποία προορίζεται, η οικολογική συνείδηση των πολιτών κλπ.

Η παραλλακτικότητα αυτών των παραγόντων έχει οδηγήσει στην οριοθέτηση διαφορετικών μέγιστων συγκεντρώσεων για κάθε χώρα.

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια ολικών τιμών βαρέων μετάλλων στο έδαφος (μg g) (Hoffmann, 1982) ενώ στον πίνακα 5 οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ολικού καδμίου στο έδαφος για διάφορες χώρες (μg g) (Wu et al.,1991).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια ολικών βαρέων μετάλλων στα εδάφη (μg g).

Χημικό Στοιχείο	Μέγιστη Συγκέντρωση
Zn	300
Cu	100
Cr	100
Pb	100
Ni	50
Cd	3

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ολικού Cd για διάφορες χώρες (μg g).

Χώρα	Μέγιστη Συγκέντρωση
Κίνα	0,3
Ευρωπαϊκή Ένωση	1-3
Γαλλία	2
Δυτ. Γερμανία	3
Ιταλία	3
Σκωτία	1,6
Αγγλία	3,5
Καναδάς	1,6
Ρωσία	5

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια βαρέων μετάλλων στα εδάφη (πίνακας 4) είναι ενδεικτικά και δεν έχουν οπωσδήποτε επίπτωση στη διατροφική αξία των φυτικών προϊόντων, όταν όμως οι τιμές των βαρέων μετάλλων στα εδάφη πλησιάζουν τις τιμές αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τον έλεγχο περαιτέρω ρύπανσης.

Γενικά τα ανώτερα επιτρεπτά όρια της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, όσον αφορά στην επίδρασή τους στα φυτά, διαχωρίζονται σε κατηγορίες:

1. ανώτερα επιτρεπτά όρια που προκαλούν μείωση της ποιοτικής αξίας των φυτικών προϊόντων.
2. ανώτερα επιτρεπτά όρια που προκαλούν μείωση της απόδοσης των φυτών.
3. ανώτερα επιτρεπτά όρια που προκαλούν ορατά συμπτώματα τοξικότητας στους φυτικούς ιστούς. (Χαϊντούτη Κων. 2002)
4. Ζημιές που προκαλεί η ρύπανση του εδάφους στον άνθρωπο και τους άλλους ζωικούς οργανισμούς

Η επίδραση της ρύπανσης του εδάφους στη ζωή και στην υγεία του ανθρώπου και στην αξία των περιουσιακών στοιχείων δεν έχει κατανοηθεί ακόμη σε βαθμό ικανοποιητικό. Υπάρχουν ενδείξεις ότι πολλές από τις τοξικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και στην κηπουρική προκαλούν βλάβες στους ζωικούς οργανισμούς, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σοβαρές κοντά στην περιοχή όπου γίνεται χρήση των εν λόγω ουσιών. Αρκετά άτομα πεθαίνουν κάθε χρόνο από δηλητηριάσεις ενώ πολύ περισσότερα ασθενούν από την ίδια αιτία χωρίς να πεθαίνουν τελικά..

Καθώς τοξικές ουσίες εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό και συσσωρεύονται, εκφράζονται, ανησυχίες για τις ενδεχόμενες μακροχρόνιες επιδράσεις τους στη ζωή και στην υγεία των ατόμων. Αναλύσεις που έχουν γίνει στα τρόφιμα που καταναλώνουν τα νοικοκυριά έχουν δείξει ότι υπάρχουν σε αυτά πολλές τοξικές ουσίες, συνήθως σε ποσοστά που είναι χαμηλότερα από εκείνα που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως επικίνδυνα. Έχει όμως αποδειχθεί ότι ορισμένες ουσίες μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο. Αφού δρουν συσσωρευτικά στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι βλάβες που μπορούν να προκαλέσουν στους λουπούς ζωικούς οργανισμούς τα ζιζανιοκτόνα, τα εντομοκτόνα και οι άλλες τοξικές ουσίες είναι ανάλογες. Οι οργανισμοί αυτοί μπορούν να προφυλακτούν από τις διάφορες ουσίες ακόμη λιγότερο

από τον άνθρωπο. Όλοι όμως οι ζωικοί οργανισμοί αδυνατούν να αποφύγουν να έλθουν σε επαφή με τις βλαβερές χημικές ουσίες που βρίσκονται στα περισσότερα σημεία της Γης, στη στεριά ή μέσα στο νερό. Οι τοπικές συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών ποικίλουν σημαντικά. Ο ψεκασμός των αγρών με αεροπλάνα συντελεί στη διασκόρπιση των επιβλαβών ουσιών, η οποία λαβαίνει χώρα βέβαια και με τη βοήθεια των υδάτων καθώς και με τη συγκέντρωση βλαβερών ουσιών από διάφορους οργανισμούς και την επακόλουθη εξάπλωσή τους μέσω της τροφικής αλυσίδας. (Πολυράκης Γ.)

5. Επιπτώσεις στη γεωργία

Υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων μπορεί να προκαλέσει το θάνατο πολλών μικροοργανισμών και να διαταράξει τις φυσικές βακτηριολογικές διαδικασίες με συνέπεια τη σοβαρή μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Υπάρχουν δηλαδή περιπτώσεις στις οποίες η μεγάλη συγκέντρωση τέτοιων ουσιών αντί να αυξήσει την παραγωγικότητα του εδάφους το μεταβάλλει σε άγονο.

Τόσο οι επιστήμονες όσο και το πλατύτερο κοινό έχουν αρχίσει να κατανοούν ορισμένους από τους κινδύνους που δημιουργεί η μαζική χρήση χημικών λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων. Είναι γνωστό ότι οι ουσίες αυτές εξυπηρετούν το σκοπό για τον οποίο προορίζονται μόνον αν διασκορπίζονται ή αν υπόκεινται σε σχετικά γρήγορη αποσύνθεση. Έχουν όμως δημιουργηθεί τρομερά συμφέροντα σχετικά με την παραγωγή και την χρησιμοποίηση τέτοιων ουσιών. Ολόκληρη η δομή της γεωργίας έχει προσαρμοστεί στις συνθήκες που ήδη ισχύουν προκειμένου να επωφεληθεί από τη μεγάλη αύξηση της παραγωγικότητας που προκαλεί συνήθως η χρήση χημικών λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων. Το ότι η χρήση ουσιών είναι οικονομικά αποδοτική για τη γεωργία έχει αποδειχθεί από διάφορες έρευνες, στις οποίες κατά κανόνα εξετάστηκε το οριακό κόστος που συνεπάγεται η χρήση των λιπασμάτων και των γεωργικών φαρμάκων και το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την επακόλουθη αύξηση της γεωργικής παραγωγής. Όλες οι μελέτες έδειξαν ότι η οικονομική συμβολή των λιπασμάτων και των φαρμάκων είναι θετική και ποικίλει από περιοχή σε περιοχή.

Πέρα από το οικονομικό όφελος του γεωργικού τομέα η χρήση ορισμένων ουσιών υποστηρίζεται συχνά και λόγω των ευεργετικών αποτελεσμάτων στον

περιορισμό της ελονοσίας ή άλλων ασθενειών που διαδίδονται από τα έντομα, τα τρωκτικά και άλλους ζωικούς οργανισμούς. (Πολυράκης Γ.)

Ωστόσο, η αλόγιστη χρήση τους προκαλεί αντίθετα αποτελέσματα από τα αναμενόμενα και συμβάλει στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων και στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

6. Αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης: Πρόληψη και καθαρισμός

Η πρόληψη της ρύπανσης και ο έλεγχος της ρύπανσης μειώνουν ή περιορίζουν την απελευθέρωση ρυπαντών στο περιβάλλον. Η ρύπανση μπορεί να προληφθεί ή τουλάχιστον να μειωθεί ακολουθώντας τρεις τακτικές: **μείωση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση.**

Ο καθαρισμός ή ο έλεγχος της ρύπανσης και των ρυπογόνων ουσιών ελέγχει τους ρυπαντές αότου έχουν προκληθεί. Οι περιβαλλοντολόγοι εντόπισαν αρκετά προβλήματα σχετικά με τον καθαρισμό της ρύπανσης. Πρώτον, αποτελεί μόνο μια προσωρινή λύση όσο συνεχίζουν να αυξάνονται ο πληθυσμός και τα επίπεδα κατανάλωσης. Για παράδειγμα, η πρόσθεση καταλυτών στα αυτοκίνητα μείωσε τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, αλλά αύξησε τον αριθμό των αυτοκινήτων και το σύνολο της απόστασης που διανύουν, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα αυτής της τακτικής καθαρισμού.

Δεύτερον, αφαιρεί ένα ρυπαντή από ένα μόνο σημείο του περιβάλλοντος για να μεταθέσει την ρύπανση σε έναν άλλο χώρο. Πιθανόν να συλλέγει τα σκουπίδια, όμως αυτά είτε καίγονται προξενώντας ρύπανση της ατμόσφαιρας και τοξική στάχτη που πρέπει να διοχετευτεί κάπου αλλού. Η συνήθης τακτική που ακολουθείται είναι να διοχετεύονται σε ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς προκαλώντας ρύπανση του νερού ή να θάβονται προξενώντας ρύπανση του νερού, του εδάφους και των υπόγειων υδάτων. Τρίτον, μόλις ο ρυπαντής εισέλθει ή διαδοθεί στην ατμόσφαιρα και στο νερό και σε μερικές περιπτώσεις και στο έδαφος σε επιβλαβή επίπεδα, σχεδόν πάντα η μείωση και η επαναφορά του σε κατάλληλες περιεκτικότητες έχει μεγάλο κόστος.

Οι περισσότερες προσπάθειες για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής ποιότητας περιλαμβάνουν καθαρισμό της ρύπανσης. Και η πρόληψη και ο καθαρισμός της ρύπανσης είναι απαραίτητες τακτικές, αλλά οι περιβαλλοντολόγοι επιμένουν να δίνουμε έμφαση στην πρόληψη επειδή έχει καλύτερα αποτελέσματα και είναι πολύ πιο οικονομική από τις άλλες τακτικές. Η πρόληψη επίσης βοηθά στην εξάλειψη

μέρους των προβλημάτων, των υψηλών δαπανών, των πολιτικών δυσκολιών που συνδέονται με τις ρυθμίσεις και τις διαδικασίες ελέγχου κατά της ρύπανσης. Για τις ευρύτατα διαδεδομένες και δύσκολες στον εντοπισμό τους μη σημειακές πηγές, καθώς και για τα τοξικά απόβλητα, η πρόληψη της ρύπανσης είναι πιο αποτελεσματική, ίσως και η μόνη, προσέγγιση. Όπως άλλωστε είπε και ο Βενιαμίν Φραγκλίνος : " ένα γραμμάριο πρόληψης αξίζει όσο ένα κιλό θεραπείας ".

Ένας μεγάλος αριθμός επιχειρήσεων θεώρησε ότι η πρόληψη της ρύπανσης φέρνει θετικά αποτελέσματα. Ωστόσο όμως, περίπου το 99% των περιβαλλοντικών δαπανών στις Η.Π.Α. διατίθενται στον έλεγχο της ρύπανσης και μόνο το 1% στη πρόληψη, κατάσταση που οι περιβαλλοντολόγοι θεωρούν ότι πρέπει να αναστραφεί όσο το δυνατόν συντομότερα.

Και η πρόληψη και ο καθαρισμός της ρύπανσης μπορεί να ενθαρρύνονται είτε δίνοντας κίνητρα, όπως επιδοτήσεις και φορολογικές απαλλαγές, είτε με διατάξεις και φορολογικές ρυθμίσεις. Το καλύτερο είναι να συνδυάζονται οι δύο προσεγγίσεις καθώς η υπερρύθμιση και η μεγάλη φορολόγηση μπορεί να εγείρουν αντιδράσεις. Η επίτευξη της ισορροπίας είναι δύσκολο ζήτημα και πολύ προκλητικό.

Οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, ιδιαίτερα η Πολωνία, η Τσεχία και η Σλοβακία, η Πρώην Ανατολική Γερμανία, καθώς και πολλές αναπτυσσόμενες χώρες είναι πολύ πίσω στον τομέα ελέγχου και πρόληψης της ρύπανσης. Η εξέταση μερικών από τα "Περιβαλλοντικά Τέρατα" που βρίσκονται σε διάφορα σημεία της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης, που περιγράφονται από επιστήμονες και περιβαλλοντολόγους ως χωματερές τοξικών, είναι χαρακτηριστική. Περίπου 3.000 εργοστάσια αποβάλλουν τεράστιες ποσότητες ρυπογόνων αποβλήτων και λυμάτων στον ποταμό Βόλγα. Σε κάθε 10 βαρέλια πετρελαίου που παράγονται κάθε μέρα, το 1 χύνεται και σχηματίζει μία πετρελαιοκηλίδα ίση με αυτή του Εκκον Valdez κάθε έξι ώρες. Η αλόγιστη χρήση εντομοκτόνων οδήγησε σε σοβαρή ρύπανση του εδάφους και του νερού σε πολλές περιοχές. Η λίμνη Αράλη που κάποτε ήταν τεράστια, σήμερα εξαφανίζεται επειδή τα νερά της εκτράπηκαν για να χρησιμοποιηθούν στις αγροκαλλιέργειες. Το ατύχημα του Τσέρνομπιλ, άφησε τεράστιες περιοχές ακατοίκητες. Σε δέκα αντιδραστήρες τύπου Τσέρνομπιλ και σε έξι άλλους πυρηνικούς αντιδραστήρες παλιάς τεχνολογίας, υπάρχει ακόμη και σήμερα κίνδυνος διαρροής ραδιενεργών ουσιών που σε περίπτωση ατυχήματος θα ρυπάνουν τεράστιες περιοχές της Σοβιετικής Ένωσης και άλλων τμημάτων του πλανήτη. Υπάρχουν χιλιάδες ανεξέλεγκτοι χώροι άντλησης πυρηνικών

και τοξικών αποβλήτων. Καθώς αυτές οι χώρες αγωνίζονται να μεταβάλουν την οικονομία τους, διατίθενται ελάχιστα χρηματικά ποσά στην αποκατάσταση της οικολογικής βλάβης που προκαλείται. Ακόμη και με επάρκεια φυσικών πόρων, θα χρειαζόνταν δεκαετίες για να αποκατασταθεί αυτή η ευρύτατα διαδεδομένη οικολογική καταστροφή. (Miller 2000)

7. Μεταφορά ραδιενεργών ισωτόπων από το αβιοτικό περιβάλλον στους οργανισμούς

Οι οργανισμοί υφίστανται την επίδραση της ραδιενέργειας με την εξωτερική ακτινοβολία, από πηγές δηλαδή που βρίσκονται έξω από το σώμα τους και από την εσωτερική ακτινοβολία. Η εσωτερική ακτινοβολία αναφέρεται στα ραδιενεργά ισότοπα που απορροφώνται από τους αυτότροφους και κάποιους ετερότροφους οργανισμούς, όπως μύκητες και στη συνέχεια εισέρχονται σε άλλους οργανισμούς δια μέσου της τροφικής αλυσίδας, όπως επίσης και στα ραδιενεργά ισότοπα που εμπεριέχονται στο νερό που τα ζώα πίνουν και στον αέρα που αναπνέουν.

Εάν τα ραδιενεργά ισότοπα εναποτεθούν στην ξηρά, οι αυτότροφοι οργανισμοί (κυρίως φυτά) ή τα μανιτάρια, που χρησιμοποιούνται ως τροφή των ζώων ή του ανθρώπου, θα επιμολυνθούν άμεσα. Διαφορετικά, τα ραδιενεργά ισότοπα θα εισέλθουν στο έδαφος και προσδευτικά θα προσληφθούν από τις ρίζες των αυτότροφων οργανισμών ή από τις υφές των μανιταριών. Συγκρίνοντας τους δύο αυτούς τρόπους επιμόλυνσης των αυτότροφων οργανισμών ή μανιταριών, η δεύτερη οδός – δια μέσου του εδάφους – είναι η σπουδαιότερη.

Οι τροφικές αλυσίδες στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι πολυπλοκότερες και συνήθως υπάρχουν πολλοί οδοί μεταφοράς των ραδιενεργών ουσιών. Οι ραδιενεργές ουσίες είναι δυνατόν να προσληφθούν από τους αυτότροφους οργανισμούς (κυρίως φύκη) οι οποίοι καταναλώνονται από τα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς που αποτελούν την τροφή του ανθρώπου. Επίσης, κάθε οργανισμός που περιλαμβάνεται στην τροφική αλυσίδα είναι δυνατόν να επιμολύνεται άμεσα από το νερό εντός του οποίου διαβιώνει.

Η πλειονότητα των τροφών του ανθρώπου προέρχεται από τα χερσαία οικοσυστήματα. Επίσης, η επιμόλυνση των οργανισμών σε υδάτινα οικοσυστήματα είναι μικρότερη λόγω της αραίωσης των ραδιενεργών ουσιών στην τεράστια μάζα των νερών. Για τους λόγους αυτούς η επιμόλυνση του ανθρώπου από τροφές

προερχόμενες από χερσαία οικοσυστήματα είναι μεγαλύτερης σπουδαιότητας. Μεταξύ των ισοτόπων που ελευθερώνονται από ατυχήματα σε πυρηνικούς αντιδραστήρες είναι τα ισότοπα I-131, C₅-134, CS-137 και Sr-90. Το ισότοπο I-131 έχει βραχεία διάρκεια ημιζωής, η οποία υπολογίζεται σε 8,9 ημέρες. Η επίδρασή του επομένως περιορίζεται σε βραχύ χρονικό διάστημα. Τα ισότοπα C₅-134, CS-137 και Sr-90 έχουν πολύ μακρότερη διάρκεια ημιζωής που υπολογίζεται σε 2,1 έτη για το CS-134, 30,2 έτη για το CS-137 και 28,0 έτη για το Sr-90. Τα ραδιοϊσότοπα αυτά όχι μόνο συνεχίζουν να εναποτίθενται στην επιφάνεια της Γης για πολλά έτη, αλλά επίσης ακτινοβολούν τους οργανισμούς για μακρό χρονικό διάστημα μετέπειτα.

Από τα τρία μακρόβια ισότοπα και από την άποψη της εσωτερικής ακτινοβολίας το Sr-90 και το CS-137 ενδιαφέρουν περισσότερο για τους εξής λόγους :

Το στρόντιο έχει υψηλή χημική συγγένεια με το ασβέστιο, σε βαθμό που τα φυτά δεν μπορούν να διαχωρίσουν τα στοιχεία αυτά. Επόμενο είναι να τα προσλαμβάνουν με την αναλογία που τα στοιχεία αυτά εμπεριέχονται στο εδαφικό διάλυμα. Αντίστοιχα εξαιτίας της παρόμοιας ακτίνας ενυδάτωσης του CS με το K, τα δύο αυτά στοιχεία συμπεριφέρονται ανάλογα στους φυτικούς ιστούς και στα εδάφη. Το Sr-90 αποβάλλεται από το σώμα των ζώων και του ανθρώπου βραδύτερα, από ότι το CS-137. Έτσι η συνολική ραδιενεργός ακτινοβολία του Sr-90 ανά μονάδα εισαγωγής στο σώμα του ανθρώπου ή των ζώων είναι μεγαλύτερη παρά το γεγονός ότι έχει βραχύτερη διάρκεια ημιζωής.

Το καίσιο ακινητοποιείται στα αργιλικά ορυκτά του εδάφους και έτσι είναι λιγότερο διαθέσιμο για τα φυτά από ότι το στρόντιο. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί εδώ ότι συμβαίνει το αντίθετο σε πολύ οργανικά και ταυτόχρονα όξινα εδάφη. Σε τέτοια εδάφη που αφθονούν στις βόρειες χώρες της Ευρώπης το CS-137 εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα παρά το γεγονός ότι μεσολάβησαν 21 έτη από την έκλυσή του από τους αντιδραστήρες του Τσέρνομπιλ. Οι συγκεντρώσεις του CS-137 εξακολουθούν να είναι πολύ υψηλές στους ιστούς ορισμένων μανιταριών όπως επίσης και του φυτού *Calluna vulgaris* (Βερεσόγλου Δ.)

8. Ραδιενεργός ρύπανση εδαφών

Το μεγαλύτερο μέρος των ραδιενεργών υλικών μιας ραδιενεργού επίπτωσης στα χερσαία οικοσυστήματα καταλήγει στο έδαφος. Η ρύπανση δημιουργείται κατευθείαν από την ατμόσφαιρα ή εμμέσως από τα ραδιορυσπασμένα φυτά.

Η ραδιενεργός επίπτωση είναι αποτέλεσμα της προς τα κάτω μετακίνησης της σκόνης που συγκρατεί επιπόλαια τα ραδιενεργά υλικά ή της έκπλυσης της ατμόσφαιρας με τα νερά της βροχής. Η πτώση των φύλλων και τα υπολείμματα των φυτών είναι οι κύριοι δρόμοι της έμμεσης από τα φυτά ρύπανσης του εδάφους.

Η παραμονή των ραδιενεργών ατόμων στο έδαφος εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους, τον εδαφικό τύπο και άλλα συστατικά του οικοσυστήματος όπως π.χ. τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Το νερό της βροχής μπορεί να μετακινήσει σε βαθύτερα στρώματα ή να οδηγήσει σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες μόνο τα ραδιοϊσότοπα που δεν δεσμεύονται από τα κολλοειδή του εδάφους.

Η μετακίνηση των ραδιονουκλιδίων στο έδαφος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος τους, οι εδαφικές ιδιότητες, το καθεστώς νερού κ.α. Τα δύο σημαντικότερα από άποψη ρύπανσης ραδιονουκλίδια ^{90}Sr και ^{137}Cs μετακινούνται σε βαθύτερα στρώματα στο έδαφος με πολύ αργούς ρυθμούς. Σε εδάφη του Nagasaki υπολογίσθηκε *in situ* ότι οι ταχύτητες μετακίνησης των δύο αυτών στοιχείων ήταν 4,2 και 1 mm/έτος αντίστοιχα, όταν η μετακίνηση του εδαφικού νερού ήταν της τάξης των 2.500mm/έτος.

Από πειράματα επιφανειακής ρύπανσης αδιατάρακτου εδάφους σε στήλες, που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", πρόκυψε ότι η μετακίνηση των ^{90}Sr και ^{134}Cs σε μεγαλύτερο βάθος ήταν ταχύτερη στα όξινα και αμμώδη εδάφη από ότι στα αλκαλικά και αργιλώδη. Συγκεκριμένα, τόσο το ^{90}Sr όσο και το ^{134}Cs παρέμειναν στα 10 επιφανειακά εκατοστά του εδάφους σε ποσοστό 80-95 %. Ειδικότερα, στα πρώτα 10 εκατοστά της εδαφοτομής των αργιλωδών εδαφών παρέμεινε άνω του 90% των ραδιοϊσοτόπων ήταν μικρότερη σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία. Φαίνεται λοιπόν ότι το ^{90}Sr και το ^{134}Cs συγκρατούνται ισχυρά από την άργιλο και την οργανική ουσία (Σκάρλου κ.α., 1996).

Μετά από ένα πυρηνικό ατύχημα ή πυρηνική έκρηξη οι ραδιενεργοί ρύποι μπορούν να μεταφερθούν στα φυτά με δυο κυρίως μηχανισμούς:

1. Την **άμεση ρύπανση**, που προκαλείται από τη συγκράτηση των ραδιονουκλιδίων στην επιφάνεια των φυτών και την απορρόφησή τους από αυτά, καθώς και από την επαναιώρηση στον αέρα μερικών ραδιενεργών υλικών που έχουν επικαθήσει στην επιφάνεια του εδάφους.
2. Την **έμμεση ρύπανση**, που οφείλεται στην απορρόφηση των ραδιονουκλιδίων από τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος.

Ο μηχανισμός διαφυλλικής ρύπανσης (άμεση) είναι βραχυχρόνιος, ενώ η έμμεση ρύπανση από το έδαφος, μη σημαντική για τους πρώτους μήνες, μπορεί να επιβαρύνει τη βλάστηση για πολλά χρόνια. Η ρύπανση αυτή είναι σημαντική κυρίως από τα μακρόβια ραδιοϊσότοπα όπως το ^{90}Sr και το ^{137}Cs δεν είναι στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, όμως η χημική τους συμπεριφορά είναι παρόμοια με εκείνη των Ca και K, στοιχείων απαραίτητων για τα φυτά.

8.1 Άμεση ρύπανση φυτών

Η ολική επιφάνεια των φύλλων, η κατάσταση της επιφάνειας των υπέργειων φυτικών μερών, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, η συγκέντρωση των ραδιενεργών υλικών στην ατμόσφαιρα και οι διαστάσεις τους καθώς επίσης και η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων είναι κυρίως οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων που παραμένουν στην επιφάνεια των φυτών και προκαλούν την άμεση ρύπανση.

Η κατάσταση της επιφάνειας των φύλλων και η ολική επιφάνειά τους συνδέονται άμεσα με το ποσό της ραδιορύπανσης των φυτών. Έτσι, φύλλα ή καρποί με ανωμαλίες ή τριχίδια στην επιφάνεια συγκρατούν περισσότερα ραδιενεργά άτομα ανά μονάδα επιφάνειας, από ότι τα φύλλα ή καρποί με λεία επιφάνεια. Πέρα από αυτό, για συγκεκριμένη καλλιέργεια το μέγεθος της επιβάρυνσης της άμεσης ρύπανσης είναι ανάλογο με την ολική επιφάνεια των φύλλων. Έτσι π.χ τα σιτηρά της χώρας μας, που κατά τη περίοδο μετά το ατύχημα του Τσέρνομπιλ είχαν πολύ μεγάλη φυλλική επιφάνεια, δέχτηκαν μεγαλύτερη ρύπανση από τα σιτηρά βορειότερων περιοχών με την ίδια περίπου ραδιενεργό επίπτωση, που κατά την ίδια περίοδο είχαν μικρή ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας. Γενικά, τα φυλλώδη λαχανικά όπως το μαρούλι, λόγω μεγάλης φυλλικής επιφάνειας, επηρεάζονται περισσότερο από την άμεση ρύπανση. Επίσης προφανής είναι και η επίδραση του σταδίου ανάπτυξης των φυτών.

Είναι δυνατόν ένα μέρος των ραδιενεργών ατόμων που έχουν εναποτεθεί στην επιφάνεια των φυτών (άμεση εξωτερική ρύπανση) να εισέλθει στο εσωτερικό τους (εσωτερική ρύπανση). Σημειώνεται όμως ότι υλικά μεγαλύτερα από 40μ δύσκολα συγκρατούνται στην επιφάνεια των φύλλων. Τόσο η απορρόφηση του ^{90}Sr όσο και του ^{137}Cs από τα φύλλα, γίνεται με βραδύ ρυθμό. Η μετακίνηση του ^{90}Sr στο εσωτερικό των φυτών είναι αμελητέα, ενώ το ^{134}Cs μετακινείται μεταξύ των

φυτικών ιστών με περισσότερη ευχέρεια. Όσον αφορά το ^{131}I και αυτό απορροφάται από τα φύλλα και μετακινείται μεταξύ των ιστών αλλά μεσο-μακροπρόθεσμα δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα λόγω του μικρού χρόνου υποδιπλασιασμού (μόλις 8 μέρες).

Σε πείραμα άμεσης τεχνητής ραδιορύπανσης δέντρων ελιάς με ^{137}CS φάνηκε ότι οι βραχυχρόνιες συνέπειες της άμεσης ραδιορύπανσης με ^{134}Cs στο καρπό της ελιάς είναι σημαντικές, ενώ αντίθετα πολύ μικρή ποσότητα ^{134}Cs μεταφέρεται στο ελαιόλαδο. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στις κατά κανόνα υδατοδιαλυτές ενώσεις που σχηματίζει το καίσιο, οι οποίες και απομακρύνονται κατά τη διαδικασία εκχύλισης του ελαιόλαδου. Ένα χρόνο μετά τη τεχνητή ραδιορύπανση, μόνο στα φύλλα η συγκέντρωση του ^{134}Cs παρέμεινε σχετικά υψηλή (το 15% της αρχικής συγκέντρωσης του ^{134}Cs μετρήθηκε στα φύλλα), ενώ η ποσότητα ^{134}Cs στον ελαιόκαρπο και το ελαιόλαδο ήταν πολύ μικρή $<0,05\text{KBq/Kg}$ και $<0,01\text{KBQ/Kg}$, αντίστοιχα (Σκάρλου 1996)

8.2 Έμμεση ρύπανση φυτών

Η έμμεση ρύπανση των φυτών εξαρτάται από το ολικό ποσό της ραδιενεργού επίπτωσης στο έδαφος, τις ιδιότητες του εδάφους και τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις των καλλιεργούμενων φυτών. Διαφέρει από την άμεση ρύπανση κατά το ότι:

1. Υλικά που έχουν εναποτεθεί στο έδαφος πριν αναπτυχθεί το φυτό μπορεί να εισέλθουν σε αυτό.
2. Τα βραχύβια ραδιενεργά στοιχεία συμβάλλουν ελάχιστα, λόγω του μικρού χρόνου υποδιπλασιασμού.
3. Με την είσοδο των ραδιοϊσοτόπων στο έδαφος γίνεται μεγάλη φυσική αραίωση της συγκέντρωσής τους, η οποία μπορεί να γίνει μεγαλύτερη λόγω δέσμευσής τους από ορισμένα αργίλικα ορυκτά.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των φυτών, τα διάφορα είδη, ακόμη και οι ποικιλίες απορροφούν από το έδαφος διαφορετικά ποσά ^{90}Sr ή ^{137}CS . Έτσι φυτά όπως η μηδική και το τριφύλλι (ψυχανθή), που έχουν μεγαλύτερη ανάγκη σε ασβέστιο, προσλαμβάνουν μεγαλύτερα ποσά ^{90}Sr από ότι τα διάφορα αγρωστώδη (σιτηρά), εξαιτίας της παρόμοιας χημικής συμπεριφοράς του στροντίου και ασβεστίου.

9. Μέτρα αντιμετώπισης της ραδιενεργού ρύπανσης του εδάφους

Από όλα τα χερσαία οικοσυστήματα το μεγαλύτερο πρόβλημα από τη ρύπανση με ραδιενεργά υλικά δημιουργείται στα γεωργικά οικοσυστήματα. Η συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων στα φυτά σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους στο έδαφος. Σε περίπτωση υψηλού βαθμού ρύπανσης απαιτούνται διορθωτικά μέτρα για την απορρύπανση του εδάφους, επειδή τότε τα περισσότερα φυτά παράγουν ακατάλληλα για τροφή προϊόντα. Σε πιο ήπιες καταστάσεις η εφαρμογή μόνο απλών βελτιωτικών μέτρων είναι αρκετή για τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων στο σύστημα έδαφος – φυτό.

9.1 Απορρύπανση του εδάφους

Σκοπός της απορρύπανσης είναι η μείωση της συγκέντρωσης των ραδιονουκλιδίων στο έδαφος ώστε να είναι δυνατή η καλλιέργεια φυτών.

Οι κυριότεροι τρόποι είναι:

1) Αφαίρεση επιφανειακού εδάφους

Η απόξεση των επιφανειακών πέντε εκατοστών του εδάφους, με χρησιμοποίηση ενός ισοπεδωτή γαιών (grader), μπορεί να μειώσει τη ραδιενεργό ρύπανση κατά 60-90 %, ανάλογα με τη κατάσταση του εδάφους. Η μέθοδος αυτή κρίνεται επιτυχημένη, όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι επίπεδη, ενώ δεν έχει κανένα σημαντικό αποτέλεσμα όταν το έδαφος είναι πρόσφατα καλλιεργημένο.

Παράλληλα, όμως, δημιουργείται ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με την ασφαλή απομάκρυνση τόσο μεγάλων ποσοτήτων χώματος, 50 κυβικά μέτρα χώματος ανά στρέμμα και το πρόβλημα αυτό πολλές φορές δεν είναι απλώς δισεπίλυτο αλλά και άλυτο.

2) Έκπλυση των ραδιονουκλιδίων κάτω από τη ζώνη των ριζών

Τα ραδιονουκλίδια, ως θετικά κατιόντα, προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους. Για τη μετακίνησή τους σε βάθος πρέπει να υπάρχουν στο εδαφικό διάλυμα άλλα κατιόντα για να τα αντικαταστήσουν στα εδαφικά κολλοειδή. Η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι παρόμοια με εκείνη που ακολουθείται για τη βελτίωση των αλκαλιωμένων εδαφών. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η προσθήκη κατάλληλης ποσότητας γύψου και συνεχής ροή νερού καλής ποιότητας για μεγάλο χρονικό διάστημα έως ότου ολοκληρωθεί η έκπλυση των ραδιονουκλιδίων. Επίσης, απαραίτητη θεωρείται και η χρήση τεράστιων ποσοτήτων εδαφοβελτιωτικών ουσιών. Για να επιτύχει η μέθοδος αυτή πρέπει τα εδάφη να είναι απαιτητάς καλώς αποστραγγιζόμενα. Ένας ακόμη λόγος που δυσκολεύει την επιτυχία της μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι τα ραδιοϊσότοπα συγκρατούνται αρκετά ισχυρά στα εδαφικά κολλοειδή.

3) Συνεχής καλλιέργεια

Τα καλλιεργούμενα φυτά, ειδικά αυτά με μεγάλη πυκνότητα βλάστησης, απορροφούν από το έδαφος μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών υλικών. Η απορρόφηση αυτή επηρεάζεται τόσο από τις εδαφικές ιδιότητες, όσο και από τις απαιτήσεις των καλλιεργούμενων φυτών. Δηλαδή, η συνεχής καλλιέργεια φυτών με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης και η απομάκρυνσή τους στη συνέχεια, αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο απορρύπανσης των εδαφών. Με τον τρόπο αυτό όμως απαιτούνται αρκετά χρόνια για να μειωθεί σημαντικά η συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων στο έδαφος.

4) Πυκνότητα βλάστησης

Σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος ή δοκιμών πυρηνικών όπλων ένα ποσοστό από τα ραδιενεργά υλικά που απελευθερώνονται στο περιβάλλον απορροφάται άμεσα από τα φυτά. Το ποσοστό των ραδιενεργών υλικών που απορροφάται εξαρτάται από τη πυκνότητα της βλάστησης. Δηλαδή, φυτά που διαθέτουν πυκνό φυτικό καλυμμα προσροφούν στην επιφάνειά τους πολλά από αυτά τα υλικά με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η ρύπανση του εδάφους. Με προσεκτική

απομάκρυνση των φυτών αυτών επιτυγχάνεται μείωση της ραδιενεργού ρύπανσης του εδάφους κατά 90%. Αντίθετα, φυτά με αραιή και όρθια βλάστηση δε προστατεύουν το έδαφος από τη ραδιορύπανση και η απομάκρυνσή τους δεν έχει κανένα πρακτικό αποτέλεσμα, όσον αφορά στην απορρύπανση του εδάφους.

9.2 Χρήση βελτιωτικών

Σε λιγότερο ρυπασμένες περιοχές τα περισσότερα από τα καλλιεργούμενα φυτά δεν παρουσιάζουν προβλήματα στη παραγωγή και επομένως θεωρείται επαρκής η χρήση βελτιωτικών, όπως:

i Προσθήκη χημικών ουσιών και λιπασμάτων στο έδαφος

1) Προσθήκη ασβεστίου

Η χημική συμπεριφορά του ασβεστίου είναι παρόμοια με εκείνη του ραδιοστρόντιου. Συνεπώς, η προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος επηρεάζει περισσότερο τη πρόσληψη αυτού του στοιχείου από τα φυτά παρά του ραδιοκαϊσίου. Το ασβέστιο, προστιθέμενο στο έδαφος (κυρίως ως λεπτά διαμερισμένο ανθρακικό ασβέστιο) αυξάνει το εδαφικό pH. Επίσης αυξάνεται ο λόγος $Ca:Sr$ στο εδαφικό διάλυμα με αποτέλεσμα τη μείωση του συντελεστή μεταφοράς του ραδιοστριντίου από το έδαφος στα φυτά.

2) Προσθήκη καλιούχων λιπασμάτων

Τα καλιούχα λιπάσματα θεωρούνται από τα πιο αποτελεσματικά μέτρα βελτίωσης εδαφών ρυπασμένων με ^{137}Cs . Χρησιμοποιούνται κυρίως επειδή το κάλιο έχει χημική συμπεριφορά παρόμοια με το Καΐσιο. Τα δυο αυτά στοιχεία ανταγωνίζονται, όσον αφορά στην απορρόφησή τους από τις ρίζες των φυτών. Σε περίπτωση που τα αποθέματα καλίου στο έδαφος είναι μικρά οι συντελεστές μεταφοράς του καϊσίου είναι υψηλοί. Με τη προσθήκη όμως καλιούχων λιπασμάτων στο έδαφος αυξάνονται τα αποθέματα του καλίου και μειώνεται ο λόγος $Cs:K$ στο εδαφικό διάλυμα (Nisbet, 1993), με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συντελεστής μεταφοράς του ραδιοκαϊσίου στα φυτά.

Η αποτελεσματικότητα των καλιούχων λιπασμάτων στη μείωση της απορρόφησης του ραδιοκαϊσίου από τα φυτά εξαρτάται από:

Την ικανότητα των εδαφών να εφοδιάζουν τα φυτά με κάλιο. Τα ραδιοκαϊσίου που προσλαμβάνεται από τα φυτά μειώνεται, όταν προστεθεί κάλιο σε εδάφη με χαμηλό επίπεδο ανταλλάξιμου καλίου. Η αύξηση των αποθεμάτων του καλίου στο εδαφικό διάλυμα και συνεπώς ο εφοδιασμός των φυτών με κάλιο, εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους, την περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, το επίπεδο των θρεπτικών στοιχείων και τις αλληλεπιδράσεις των καλιούχων λιπασμάτων με άλλα λιπάσματα που προστίθενται στο έδαφος. Μεγάλη ανταπόκριση στο κάλιο που προστίθεται στο κάλιο εμφανίζουν φυτά που αναπτύσσονται σε εδάφη με υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας ή πτωχά σε αργιλικά ορυκτά. Η εφαρμογή λοιπόν, καλιούχων λιπασμάτων σε αυτά τα εδάφη, όταν είναι ραδιορυσπασμένα, προκαλεί μείωση του απορροφούμενου καϊσίου από τα φυτά (Nisbet 1993)

Τη συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Το καϊσίου που απορροφάται από τα φυτά επηρεάζεται σημαντικά από τη συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. όταν η συγκέντρωση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα είναι μικρή ($<10^{-2}-10^{-1} \mu\text{M}$) η απορρόφηση του καϊσίου από τα φυτά είναι αρκετά μεγάλη (>90%), ενώ όταν η συγκέντρωση του καϊσίου είναι μεγαλύτερη από $100\mu\text{M}$ το ποσοστό απορρόφησης του καϊσίου είναι πολύ χαμηλό (2%). (Nisbet.1993).

Την επίδραση του προστιθέμενου καλίου στην απορρόφηση του ραδιοκαϊσίου από τα φυτά και στο λόγο Cs:K στο εδαφικό διάλυμα. Συγκρίνοντας το σθένος και το μέγεθος των ενυδατωμένων κατιόντων του καϊσίου και του καλίου φαίνεται ότι και τα δυο αυτά ιόντα μπορούν να δεσμευτούν στα αργιλικά ορυκτά του εδάφους με παρόμοιο τρόπο. Η προσθήκη καλίου στο έδαφος είναι πιθανόν να οδηγήσει σε απομάκρυνση του ραδιοκαϊσίου από τις θέσεις αυτές και στην αύξηση της συγκέντρωσης του ραδιοϊσοτόπου στο εδαφικό διάλυμα, με προφανείς επιπτώσεις στην απορρόφησης του από τα φυτά (Nisbet. 1993). Το πόσο σημαντική θα είναι η αντικατάσταση του ραδιοκαϊσίου από το κάλιο εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και την ποσότητα του καλίου που προστέθηκε στο έδαφος.

3) Προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων

Τα φωσφορικά λιπάσματα προστιθέμενα με κατάλληλο τρόπο στο έδαφος σχηματίζουν με το καϊσίου που υπάρχει στο εδαφικό διάλυμα αδιάλυτες ενώσεις

(μετατρέπουν το καίσιο σε μη ανταλλάξιμη μορφή) και το καθιστούν μη διαθέσιμο για τα φυτά. Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται, όταν τα φωσφορικά λιπάσματα συνδυάζονται με διάφορες καλλιεργητικές φροντίδες, όπως φρεζάρισμα και σβωλοποίηση. Υπάρχουν όμως και ερευνητές που υποστηρίζουν ότι η προσθήκη τέτοιων λιπασμάτων στο έδαφος δεν έχει κανένα ουσιαστικό αποτέλεσμα στη μείωση του συντελεστή μεταφοράς του καισίου στα φυτά.

4) Προσθήκη ζεόλιθου

Η προσθήκη ζεόλιθου στο έδαφος προκαλεί σημαντική μείωση του απορροφούμενου καισίου από τα φυτά. Ο ζεόλιθος μειώνει το συντελεστή μεταφοράς του ραδιοκαισίου, γιατί δεσμεύει ισχυρά το καίσιο στη δομή του, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι τιμές του στο εδαφικό διάλυμα.

Ο ζεόλιθος προστιθέμενος στο έδαφος αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να δεσμεύει το καίσιο. Επειδή το ορυκτό αυτό έχει μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων δεσμεύει το καίσιο πολύ ισχυρά, ακόμη περισσότερο και από τα αργιλικά ορυκτά. Η δομή του είναι φυλλοειδής και έτσι συγκρατεί το καίσιο ανάμεσα στις σχηματιζόμενες στρώσεις.

Οι ζεόλιθοι, κυρίως οι καλιούχοι, περιέχουν μεγάλες ποσότητες καλίου και προστιθέμενοι στο έδαφος αυξάνουν τα αποθέματα του διαθέσιμου καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Αποτέλεσμα είναι να μειωθεί ο λόγος Cs:K και κατά συνέπεια η ποσότητα καισίου που απορροφάται από τα φυτά. Η καταλληλότερη περίοδος εφαρμογής αυτού του μέτρου είναι κατά τη διάρκεια εξισορρόπησης του καισίου με τα κολλοειδή του εδάφους και κατά τη περίοδο ανάπτυξης των φυτών. (Shenber and Johanson, 1992).

ii Βαθιά άροση – όργωμα

Με τη βαθιά άροση σημαντικό τμήμα του εδάφους, το οποίο βρίσκεται σε αρκετό βάθος έρχεται στην επιφάνεια, ενώ η επιφανειακή στρώση εισχωρεί σε βαθύτερα στρώματα. Τα ισότοπα του καισίου και του στροντίου με την άροση του εδάφους μετακινούνται προς τα κάτω και συσσωρεύονται σε τέτοιο βάθος, από το οποίο τα περισσότερα φυτά αδυνατούν να τα απορροφήσουν. Υπάρχει βέβαια η περίπτωση το έδαφος που θα βρεθεί στην επιφάνεια μετά την άροση να μην είναι αρκετά γόνιμο και να απαιτείται προσθήκη θρεπτικών στοιχείων για αύξηση της

γονιμότητά του. Για το λόγο αυτό η μέθοδος εφαρμόζεται περισσότερο σε εδάφη με υψηλό βαθμό ρύπανσης. Γενικά, τα αποτελέσματα της βαθιάς άρσης στη μείωση της μεταφοράς ραδιονουκλιδίων στα φυτά θεωρούνται ικανοποιητικά.

iii Αλλαγή στο τύπο της γεωργικής παραγωγής

Η σωστή επιλογή φυτών που θα καλλιεργηθούν στα συγκεκριμένα εδάφη, αποτελεί σημαντικό μέτρο για τη βελτίωση των ρυπασμένων εδαφών. Για παράδειγμα, τα ψυχανθή έχουν απαιτήσεις σε ασβέστιο και συνεπώς προσλαμβάνουν αρκετά μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών υλικών (90Sr).

Φυτά για παραγωγή ινών, όπως το βαμβάκι και γενικά φυτά που δεν έχουν ως σκοπό την παραγωγή εδάδιμων προϊόντων θεωρούνται τα καταλληλότερα για καλλιέργεια σε ρυπασμένα εδάφη. (Χαϊντούτη Κων. 2002).

ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

1. Εισαγωγή

Τα πετρώματα είναι εκτεθειμένα στους οργανισμούς της ατμόσφαιρας οι οποίοι εγκαθίστανται στις επιφάνειές τους. Οι οργανισμοί της ατμόσφαιρας μεταφέρονται με τον άνεμο και τη βροχή και αφού εγκατασταθούν, αρχίζουν και σχηματίζουν αποικίες στις επιφάνειες των πετρωμάτων. Στις περιπτώσεις αυτές πηγή θρεπτικών στοιχείων για τους οργανισμούς είναι τα στοιχεία που προέρχονται από τη χημική αποσάθρωση που προκαλεί το νερό στα πετρώματα. Οι οργανισμοί για να θεωρούνται επιτυχημένοι πρέπει να φωτοσυνθέτουν και να παράγουν οργανικές ενώσεις του άνθρακα για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου. Μετά το σχηματισμό των κυττάρων τα κύτταρα αυτά μετατρέπονται σε τροφές για άλλους οργανισμούς οι οποίοι δε φωτοσυνθέτουν, αλλά έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν τα οργανικά συστατικά για τροφή τους. Μ' αυτόν τον τρόπο αρχίζει να δημιουργείται μια στενή σχέση ανάμεσα στα ορυκτά των πετρωμάτων και των φυτών.

Οι οργανισμοί αυτοί πρέπει να επιβιώσουν σε ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της ξηρασίας στις επιφάνειες των πετρωμάτων. Για παράδειγμα, οι λειχήνες αναπτύσσονται και επιβιώνουν στις επιφάνειες των βράχων. Οι λειχήνες είναι το αποτέλεσμα της συμβίωσης μεταξύ ενός μύκητα και φύκους. Η συμβίωση αυτή οδηγεί στην παραγωγή οξαλικού οξέος με αποτέλεσμα την αποσάθρωση των πετρωμάτων (βιολογική αποσάθρωση).

Ο πάγος που σχηματίζεται στις ρωγμές ενός πετρώματος προκαλεί έντονο θρυμματισμό αυτού εξαιτίας των ισχυρών τάσεων που δημιουργούνται με τη διαστολή του νερού που παγώνει. Οι ρίζες των φυτών εισέρχονται στις ρωγμές των πετρωμάτων που κατά τη διάρκεια της αναπνοής τους εκλύουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) όπως επίσης εκκρίνουν και οργανικές ενώσεις ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητάς τους.

Οι ζώντες οργανισμοί επιφέρουν χημικές μετατροπές στα φυτικά και ζωικά υπολείμματα. Οι μετατροπές αυτές δεν είναι μόνο διασπάσεις αλλά και συνθέσεις έχουν δε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή του χούμου, αλλά και άλλων απλών

ενώσεων που είναι απαραίτητες για τη θρέψη των φυτών, ή ως ενδιάμεσα προϊόντα έχουν ευνοϊκή επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους.

Στις εύκρατες περιοχές οι γεωσκώληκες είναι ο κύριος ζωικός παράγοντας για το σχηματισμό του εδάφους. Οι γεωσκώληκες μπορεί να πέπτουν φύλλα και ρίζες φυτών μαζί με κόκκους ορυκτών μεγέθους μέχρι 1mm. Το μέγεθος των υλικών αυτών αρχικά ελλατώνεται κατά τη μάζηση και άλεση και αργότερα αλλοιώνονται κατά τη διέλευσή τους από το πεπτικό τους σύστημα. Το υλικό που οι γεωσκώληκες αποβάλλουν είναι κατάλληλο υπόστρωμα για σχηματισμό αποικιών μηκύτων και βακτηρίων. Στις εύκρατες περιοχές και στα εδάφη που καλλιεργούνται με αγρωστιάδη φυτά το μεγαλύτερο ποσοστό του επιφανειακού εδαφικού στρώματος έχει διέλθει από το πεπτικό σύστημα των γεωσκωλήκων. Με αυτόν τον τρόπο νέο υλικό ενσωματώνεται στο έδαφος. Στα εδάφη που δεν υπάρχουν οι γεωσκώληκες (όξινα εδάφη, ξηρές ή πολύ υγρές συνθήκες) τα οργανικά υλικά συσσωρεύονται και διασπώνται πολύ αργά. Ο όρος οργανική ουσία του εδάφους χρησιμοποιείται για όλα τα οργανικά συστατικά του εδάφους (φυτικά και ζωικά υπολείμματα) συμπεριλαμβανομένου και του χούμου. Ο χούμος δεν είναι μόνο το μέρος εκείνο των οργανικών υπολειμμάτων, που εξαιτίας της ανθεκτικότητας των ουσιών στις χημικές διασπάσεις από τις οποίες αποτελείται παρέμεινε αναλλοίωτο ή ελαφρά αλλοιωμένο στο έδαφος, αλλά είναι και το προϊόν των χημικών διασπάσεων και αλλοιώσεων, συγχρόνως δε και το προϊόν συνθέσεων που συμβαίνουν στο έδαφος.

2. Οργανική ουσία του εδάφους

Στον όρο οργανική ουσία του εδάφους περιλαμβάνονται αποσυντεθειμένα και μη, ζωικά και φυτικά υπολείμματα ανεξαρτήτως βαθμού αποσύνθεσης.

Η οργανική ουσία του εδάφους, με την ευρύτερη έννοια, βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς μετατροπής, λόγω της επίδρασης διαφόρων παραγόντων, εδαφικών, κλιματικών και βιοτικών. Η ποσότητά της στο έδαφος καθορίζεται από τη συνθετική δράση των φυτών που τροφοδοτεί το έδαφος με τα νεκρά υπολείμματα των φυτών καθώς και από τους διάφορους μικροοργανισμούς. Καθορίζεται όμως και από την αποσυνθετική δράση των μικροβίων. Υφίσταται έτσι μια διαρκής παραγωγή και αποσύνθεση οργανικής ουσίας που καταλήγει σε ένα επίπεδο ισορροπίας.

Παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την οργανική ουσία είναι: α) **Η θερμοκρασία.** Υψηλή σχετικώς θερμοκρασία ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, άρα και τον εμπλουτισμό των εδαφών σε οργανική ουσία. Ταυτοχρόνως όμως ευνοεί εντονότερα την αποσυνθετική δράση των μικροοργανισμών και συνεπώς η υψηλή θερμοκρασία μειώνει τελικώς την οργανική ουσία. β) **Η Υγρασία.** Υψηλή υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, άρα και της οργανικής ουσίας ενώ περιορίζει τον αερισμό με αποτέλεσμα μειωμένη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, επομένως ευνοεί τη συγκέντρωση οργανικής ουσίας. γ) **Ο αερισμός.** Ο αερισμός επηρεάζει την παραγωγή (ανάπτυξη των φυτών) αλλά κυρίως της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας. δ) **Η κατεργασία του εδάφους.** Η κατεργασία μειώνει την οργανική ουσία στο έδαφος. Άκαιρη όμως και εντατική προκαλεί εντονότερο αερισμό και έκθεση της οργανικής ουσίας στον ήλιο και τον αέρα με αποτέλεσμα τη μείωσή της.

Η οργανική ουσία του εδάφους επηρεάζει τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των εδαφών τόσο άμεσα όσο και έμμεσα.

1. Εφοδιάζει το έδαφος με ανόργανα θρεπτικά στοιχεία όπως το άζωτο, το θείο, ο φώσφορος κ.α. Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία χρησιμοποιούνται από τα φυτά αλλά και τους μικροοργανισμούς και έτσι επέρχεται μια επιβράδυνση στην τυχόν έκπλυσή τους.
2. Χρησιμεύει ως αποθήκη νερού γιατί έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού που φθάνει στο εννεαπλάσιο του βάρους της, μεγαλύτερη οπωσδήποτε των κολλοειδών της αργίλου. Για το λόγο αυτό βελτιώνει την υδατοικανότητα των ελαφρών εδαφών.
3. Βελτιώνει τις κακές ιδιότητες στα αργιλώδη εδάφη μειώνοντας την πλαστικότητα της αργίλου και τη συνοχή των κολλοειδών συσσωματωμάτων, δημιουργώντας σταθερότερες μονάδες ανοικτής δομής. Αυξάνει έτσι το μεγαλοπορώδες των βαρέων εδαφών και βελτιώνει τις συνθήκες στράγγισης.
4. Ευνοεί το φύτευμα των σπόρων και τους προστατεύει από τη βροχή. Δυσκολεύει τη δημιουργία κρούστας και τέλος προστατεύει τα εδάφη από τη διάβρωση.
5. Αποτελεί τη μόνη πηγή ενέργειας για τους περισσότερους μικροοργανισμούς του εδάφους, πολλοί των οποίων είναι ωφέλιμοι για την ανάπτυξη των ανωτέρω φυτών.

6. Βοηθάει με τα όξινα συστατικά που περιέχει και με το CO₂ που ελκύεται από τη διάσπασή της, τη χημική αποσάθρωση των ορυκτών και την ελευθέρωση διαφόρων μετάλλων με τη μορφή κατιόντων.

Οι παραπάνω επιδράσεις της οργανικής ουσίας στις ιδιότητες του εδάφους ευνοούν τη γονιμότητά του. Η περιεκτικότητα των διάφορων εδαφών σε οργανική ουσία κυμαίνεται πολύ και εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

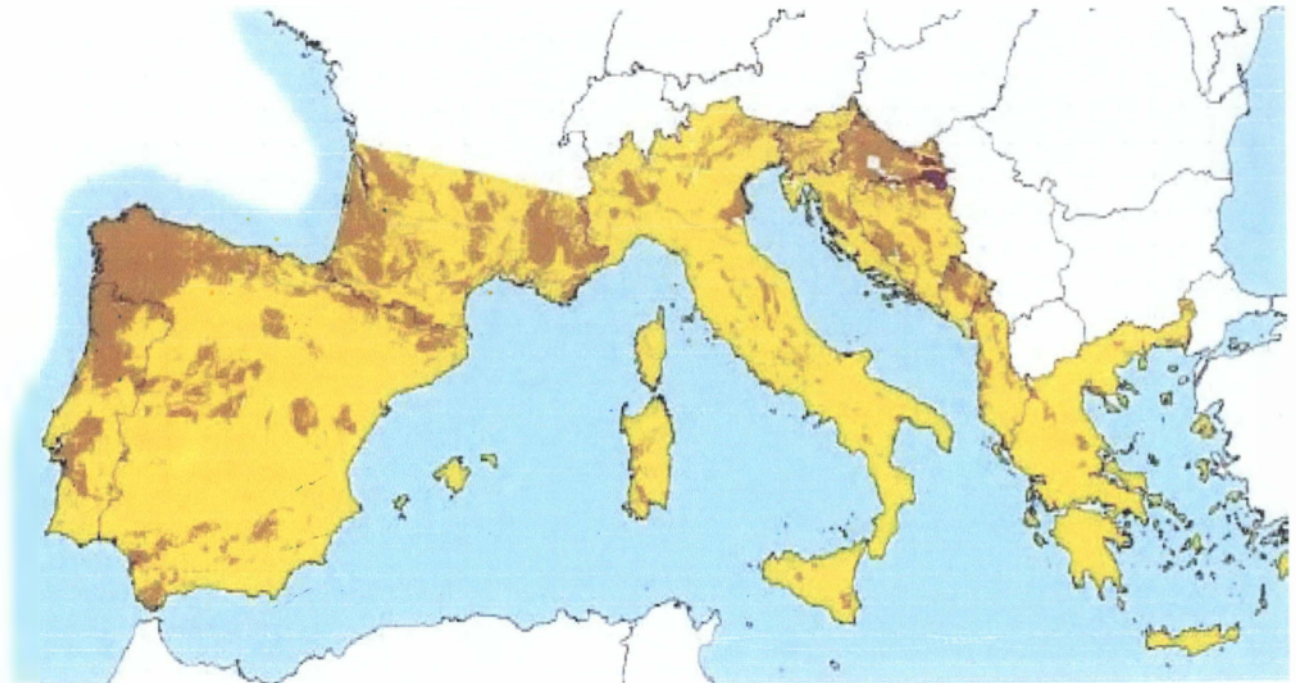
- Τα εδάφη που καλλιεργούνται είναι πτωχότερα σε οργανική ουσία από όμοια εδάφη που φέρουν φυσική βλάστηση. Η κατεργασία του εδάφους ευνοεί την οξείδωση της οργανικής ουσίας
- Η οργανική ουσία του εδάφους συνήθως μειώνεται απότομα με το βάθος του εδάφους.
- Εδάφη ελαφριάς σύστασης έχουν μικρό ποσοστό σε οργανική ουσία διότι στα εδάφη αυτά εντείνεται η καλή στράγγιση και ο καλός αερισμός, με αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητάς τους σε οργανική ουσία. Αντίθετα, εδάφη με βαριά σύσταση (αργιλώδη εδάφη) διατηρούν την οργανική ουσία.
- Όξινες αντιδράσεις έχουν την τάση να διατηρούν την οργανική ουσία διότι μειώνουν τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών οι οποίοι τη διασπούν.

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας σε ένα έδαφος καθορίζεται από τις συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι συνθήκες που είναι δυνατόν να μεταβληθούν είναι μόνο εκείνες που σχετίζονται με τον τρόπο εκμετάλλευσης του εδάφους όπως π.χ. διαφορετικός τρόπος κατεργασίας του εδάφους, η συχνότητα κατεργασίας, η βελτίωση της στράγγισης, η βελτίωση της οξύτητας του εδάφους, άρδευση και λίπανση κ.α. Επομένως, η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία εξαρτάται μόνο από το σύστημα γεωργικής εκμετάλλευσης.

Η οργανική ουσία λόγω του σκούρου χρώματος επηρεάζει τη θερμοκρασία του εδάφους. Έτσι τα εδάφη θερμαίνονται πιο γρήγορα την άνοιξη με αποτέλεσμα να επιτρέπουν προωμότερη σπορά και προωμότερο φύτερωμα των καλλιεργειών.

Η οργανική ουσία των ελληνικών εδαφών κυμαίνεται από 0,5-2%, που χαρακτηρίζεται ως πολύ χαμηλή (0,5%) έως μέση (2%). Τα εδάφη της χώρας ως εκ

τούτου έχουν ανάγκη είτε αύξησης είτε στην καλύτερη περίπτωση διατήρησης της οργανικής ουσίας. Τα φυτικά υπολείμματα των καλλιεργειών προσθέτουν κατ'έτος 100-500kg/στρέμμα οργανικής ουσίας. (Τσατσαρέλης, 2000)



Σχήμα 1: Εκτιμώμενη οργανική ουσία στον επιφανειακό ορίζοντα των εδαφών της Νότιας Ευρώπης (Zdruli et al., 2004)

3. Ο χούμος του εδάφους

Η πρώτη ύλη από την οποία προέρχεται η οργανική ουσία του εδάφους είναι τα υπολείμματα των ανώτερων φυτών, η κοπριά των ζώων κλπ. Τα οργανικά αυτά υπολείμματα σε κατάλληλες συνθήκες (αερισμός, θερμοκρασία και υγρασία) και με τη δράση των διαφόρων οργανισμών διασπώνται και σχηματίζουν υλικό που έχει βαθύ φαιό χρώμα. Το υλικό αυτό είναι η οργανική ουσία του εδάφους που είναι γνωστό και ως χούμος (humus). Η έκταση και ο ρυθμός της διάσπασης καθώς και οι ποσότητες και ιδιότητες του χούμου εξαρτώνται από τη σύσταση των οργανικών υπολειμμάτων, από τη φύση και τη δραστηριότητα των ζώντων οργανισμών του εδάφους. Οι ζώντες οργανισμοί του εδάφους είναι τα διάφορα ζώα, φύκη, μύκητες και βακτήρια.

Τα διάφορα ζώα του εδάφους κατατεμαχίζουν τα οργανικά υπολείμματα, τα αναμειγνύουν στο πεπτικό τους σωλήνα με ένζυμα που παράγονται από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο πεπτικό σωλήνα και στη συνέχεια τα μεταφέρουν στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους ενσωματώνοντάς τα στο έδαφος. Επίσης, τα ζώα χαλαρώνουν τη συνοχή του εδάφους, προκαλούν τη διάσπαση των μεγάλων συσσωματωμάτων και διανοίγουν στοές στο έδαφος. Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω διεργασιών των ζώων είναι η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Τα διάφορα υπολείμματα φυτικής και ζωικής προέλευσης αποτελούν την πηγή της οργανικής ουσίας του εδάφους. Τα υπολείμματα αυτά (ρίζες, βλαστοί, φύλλα, καρποί, περιττώματα ζώων και οργανισμοί μετά το θάνατό τους) παραμένουν αρχικά στο έδαφος, στη συνέχεια αποσυνθέτονται με την πάροδο του χρόνου και σχηματίζεται υλικό που έχει βαθύ φαιό (γκρίζο) χρώμα.

Ο χούμος συνήθως είναι το μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους που είναι εντελώς άμορφο υλικό και δεν έχει κυτταρική δομή, που να είναι χαρακτηριστική του φυτού, μικροοργανισμού ή ζώου από τα οποία έχει προέλθει. Η χημική σύσταση του χούμου ποικίλλει ποιοτικά και ποσοτικά και εξαρτάται από το είδος των υπολειμμάτων (φυτών, ζώων, κλπ.) από τα οποία προέρχεται, από τους οργανισμούς και τα ένζυμα, που παίρνουν μέρος στο σχηματισμό του χούμου. Όλα τα παραπάνω υπολείμματα (φυτικά και ζωικά) που βρίσκονται στο στάδιο της αποσύνθεσης, αποτελούν το θρεπτικό χούμο, ο οποίος είναι πηγή θρεπτικών ουσιών και θερμότητας για τα καλλιεργούμενα φυτά.

Τα τελικά προϊόντα της αποσύνθεσης αποτελούν το σταθερό χούμο που σιγά σιγά ελευθερώνει ανόργανα θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών. Ο ρόλος του σταθερού χούμου στο έδαφος είναι κυρίως συγκολλητικός, όπως της αργίλου και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό, συντελεί δηλαδή στη διαμόρφωση της δομής του εδάφους και επομένως επηρεάζει όλες τις ιδιότητές του, που έχουν σχέση με τη δομή. Ο χούμος βρίσκεται στο έδαφος ενωμένος με την άργιλο και άλλα ανόργανα συστατικά και σχηματίζει το αργιλοχονμικό σύμπλοκο, από το οποίο εξαρτάται κατά κύριο λόγο η απορροφητική δύναμη του εδάφους, η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους.

4. Σύσταση της οργανικής ουσίας του εδάφους

Οι οργανισμοί του εδάφους και η οργανική ουσία μελετώνται από κοινού λόγω της αλληλεξάρτησής τους. Σ' αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητος ο διαχωρισμός των εννοιών 'οργανική ουσία' και 'χούμος'. Ο όρος **οργανική ουσία** είναι ευρύτερος και περιλαμβάνει αποσυντεθημένα ζωικά και φυτικά υπολείμματα, ενώ με τον όρο **χούμος** εννοούμε οργανικά συστατικά, που έχουν υποστεί διαφόρου βαθμού μεταβολές και βρίσκονται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης και ανασύνθεσης νέων συστατικών από τους οργανισμούς του εδάφους.

Η κύρια διεργασία αποσύνθεσης είναι η οξείδωση της οργανικής ουσίας, που παρέχει ενέργεια στους ετερότροφους μικροοργανισμούς. Σ' αυτό το στάδιο συμβαίνει η γενική αντίδραση:



Πρόκειται για μια κοινή διαδικασία καύσης.

Ανοργανοποίηση (Mineralization) καλείται η απελευθέρωση, με τη δράση των μικροοργανισμών, ανόργανων συστατικών περιεχομένων στην οργανική ουσία.

Ακινητοποίηση (Immobilization) Όταν τα φυτικά ή άλλου είδους υπολείμματα είναι φτωχά σε N και σε άλλα ανόργανα συστατικά, τότε όχι μόνο έχουμε ελευθέρωση στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα, αλλά έχουμε και δέσμευση αυτών, των ήδη υπαρχόντων, από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Η δέσμευση αυτή, ειδικά του αζώτου, χαρακτηρίζεται ως ακινητοποίηση και έχει ως αποτέλεσμα τη στέρηση των φυτών από αναγκαία για τη θρέψη τους στοιχεία.

Ένα μέτρο για τις δυο προηγούμενες διεργασίες αποτελεί ο λόγος C/N.

Με τον ίδιο λόγο κρίνεται η ευκολία ή η δυσκολία με την οποία μπορούν να αλλοιωθούν τα οργανικά υπολείμματα.

Η οργανική ουσία του εδάφους που προέρχεται από τους διάφορους φυτικούς και ζωικούς ιστούς αποτελείται από πολυάριθμες οργανικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω δυο μεγάλες κατηγορίες:

α) Στις ενώσεις εκείνες που ανήκουν σε γνωστές ομάδες της οργανικής χημείας και αποτελούν μικρό μόνο μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους (10-15%). Σ' αυτές ανήκουν οι πρωτεΐνες και τα προϊόντα που προέρχονται από την αποσύνθεσή τους, οι

υδατάνθρακες (κυτταρίνη, άμυλο, σάκχαρα, κλπ.), τα οργανικά οξέα, τα λίπη, οι κηροί και οι ρητίνες.

β) Στις ενώσεις εκείνες που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους (85-90%) και ανήκουν στην κατηγορία που είναι γνωστή ως εδαφικός χούμος ή χουμικές ενώσεις. Η φύση, οι ιδιότητες και η προέλευση των ενώσεων αυτών δεν είναι ακόμα τελείως γνωστές και για το λόγο αυτό δεν μπορούν να ταξινομηθούν σε οποιαδήποτε ομάδα της οργανικής χημείας.

Η μελέτη της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι αρκετά δύσκολη διότι η οργανική ουσία δε βρίσκεται σε απλή χημική μορφή, αλλά σε αρκετά πολύπλοκη μορφή και σε μερικές περιπτώσεις συνδέεται εν μέρει με δεσμούς με τα ανόργανα κρυσταλλικά συστατικά του εδάφους. Επομένως, η πολυπλοκότητα στη μελέτη της οργανικής ουσίας οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο θα απομονωθεί από το έδαφος και θα διαχωριστεί σε κλάσματα. Ο διαχωρισμός αυτός της οργανικής ουσίας του εδάφους σε κλάσματα γίνεται ανάλογα με τη διαλυτότητά της σε αλκάλια, οξέα και αλκοόλη.

Το κλάσμα του χούμου βρίσκεται στο έδαφος με τη μορφή κολλοειδούς συμπλόκου που έχει πολύ βαθύ χρωματισμό, μπορεί όμως να περιέχει πιο ανοιχτόχρωμα ή και άχρωμα συστατικά. Έχει την ικανότητα να απορροφά νερό σε μεγάλες ποσότητες και να παρουσιάζει έτσι σημαντική διόγκωση, ενώ αντίθετα συστέλλεται πολύ όταν ξηραίνεται. Όταν η ξήρανση αυτού του χούμου γίνει αργά στις συνηθισμένες θερμοκρασίες, τότε μπορεί να προσλάβει πάλι νερό και να διογκωθεί. Όταν όμως η ξήρανση είναι ταχεία και σε υψηλές θερμοκρασίες όπως οι πυρκαγιές φυσικής βλάστησης ή μετασυλλεκτικών υπολειμμάτων τότε δεν απορροφά εύκολα το νερό.

Τα χουμικά οξέα παίζουν μεγάλο ρόλο στις χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους, διότι είναι τα σπουδαιότερα συστατικά των χουμικών ουσιών στο έδαφος. Τα οξέα αυτά είναι άμορφα (ενώ η άργιλος έχει κρυσταλλική δομή) και σχηματίζουν κολλοειδή με υδρόφιλο μάλλον χαρακτήρα. Με την παρουσία των κατιόντων (Ca, Fe, Al) στο έδαφος τα χουμικά οξέα θρομβώνονται και με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται, κατά τέτοιο τρόπο, ένα είδος ιστού στο έδαφος.

Τα χουμικά οξέα παρουσιάζουν πολλές χημικές ιδιότητες η δε ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (C.E.C.) έχει τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 150 και 500meq/100 g χουμικών οξέων.

Επίσης ο χούμος μπορεί να διακριθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Εφεδρικός χούμος, που περιλαμβάνει την οργανική ουσία του εδάφους που δεν έχει χουμοποιηθεί.
2. Σταθερός χούμος, που έχει υποστεί κάποια αποσύνθεση, πλην όμως παραμένει σχετικά σταθερός, εμφανίζει σε μικρό βαθμό ενεργές φυσικοχημικές ιδιότητες και αποσυντίθεται δύσκολα από τους μικροοργανισμούς.
3. Θρεπτικός χούμος, που βρίσκεται σε πιο προχωρημένο στάδιο αποσύνθεσης και εμφανίζεται βιολογικά ενεργός.

Για το σχηματισμό της οργανικής ουσίας σημαντικό ρόλο παίζουν και κάποιοι οργανισμοί όπως οι σαπροφυτικοί που διατρέφονται από τα υπολείμματα των φυτών, ζώων και μικροοργανισμών. Οι σαπροφυτικοί αυτοί οργανισμοί, εκτός του ότι βρίσκονται στο έδαφος σε μεγάλο αριθμό παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον διότι συντελούν στην αύξηση των φυτών. Χωρίς τη δράση των μικροοργανισμών αυτών στα υπολείμματα των φυτών και ζώων, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO_2 που παράγεται από τις διάφορες καύσεις (καυσαέρια, φωτιές, εργοστάσια, κλπ.), που δεν θα ήταν αρκετές με αποτέλεσμα να υπάρξουν στο μέλλον προβλήματα στη φωτοσύνθεση.

Κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας του εδάφους, δεν ελευθερώνεται μόνο CO_2 αλλά και νερό (H_2O), άζωτο σε αμμωνιακή μορφή (NH_4), φώσφορος (PO_4), άζωτο σε νιτρική μορφή (NO_3) και διάφορα στοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu) και άλλα.

Ο εμπλουτισμός του εδάφους με θρεπτικά στοιχεία από τα ζωικά εκκρίματα, οι χλωρές λιπάνσεις και οι άλλες οργανικές ουσίες παίζουν το σπουδαιότερο ρόλο στην άρτια θρέψη των φυτών.

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας σε σχέση με το χρόνο παριστάνεται γραφικά στις εικόνες (1,2). Οι χαρακτηριστικές αυτές καμπύλες οδηγούνται στο ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή στη δημιουργία χούμου.

Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας στο έδαφος εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι:

- **Η αντίδραση του εδάφους ή ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους.**
Το PH του εδάφους παίζει σπουδαίο ρόλο στην αποσύνθεση της οργανικής

ουσίας, δηλαδή ρυθμίζει τον πληθυσμό των μικροοργανισμών. Η βέλτιστη τιμή του PH στο έδαφος για τα βακτήρια κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 9, για τους μύκητες μεταξύ 4 και 6 για τους ακτινομύκητες μεταξύ 5 και 9.

- **Η υγρασία του εδάφους.** Όταν αυτή είναι ικανοποιητική και επικρατούν στο έδαφος αερόβιες συνθήκες τότε η ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι επίσης ικανοποιητική. Όταν το έδαφος καλύπτεται με νερό τότε δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες.

- **Η βέλτιστη θερμοκρασία** για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 25 °C και 35 °C Υπάρχουν όμως και τα θερμοφιλά βακτήρια που ευδοκούν σε 50 °C μέχρι 70 °C.

- **Ο εφοδιασμός του εδάφους με θρεπτικά στοιχεία.** Οι απαιτήσεις των διαφόρων μικροοργανισμών του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία είναι περίπου ίδιες με εκείνες των φυτών. Όλα τα θρεπτικά στοιχεία των φυτών είναι απαραίτητα για τους μικροοργανισμούς και ειδικότερα το άζωτο. Οι απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε άνθρακα και άζωτο για το μεταβολισμό τους είναι σε αναλογία C:N=10:1. Όταν οι μικροοργανισμοί έχουν στη διάθεσή τους ικανοποιητικές ποσότητες άνθρακα, τότε χρειάζονται και τις αντίστοιχες ποσότητες σε άζωτο. Οι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν το άζωτο από την οργανική ουσία του εδάφους και από το άζωτο του εδάφους που βρίσκεται με τη νιτρική μορφή (NO₃) και την αμμωνιακή μορφή (NH₄) σ' αυτό. Μόνο στις περιπτώσεις που η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας σε άζωτο είναι μικρότερη από 1/50 του αντίστοιχου άνθρακα, δηλαδή C/N>50, οι μικροοργανισμοί ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά. Στις περιπτώσεις αυτές είναι απαραίτητο να προστεθεί στο έδαφος άζωτο με τη μορφή αζωτούχων λιπασμάτων. Στις περιπτώσεις που γίνεται ενσωμάτωση στο έδαφος άχυρου από τα σιτηρά, τότε πρέπει να προσθέτουμε στο έδαφος και αζωτούχο λίπασμα.

- **Το είδος και η ωριμότητα των φυτικών υπολειμμάτων.** Η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, εκτός από τους παραπάνω παράγοντες του περιβάλλοντος, εξαρτάται και από τη φυτική μάζα που παραμένει στο έδαφος. Έτσι, π.χ. άλλη πορεία ακολουθεί η αποσύνθεση της μηδικής στο έδαφος σε σχέση με την αποσύνθεση των λειμώνιων φυτών.

5. Τα οργανικά συστατικά της οργανικής ουσίας

Αναφέρθηκε ότι το είδος των οργανικών υπολειμμάτων παίζει σπουδαίο ρόλο στο είδος των τελικών προϊόντων της αποσύνθεσης καθώς και στην ταχύτητα αποσύνθεσης. Τα φύλλα των φυλλοβόλων διαφέρουν από τα φύλλα των ψυχανθών και αυτά με τη σειρά τους στα άχυρα του σιταριού. Παρόλα αυτά μπορεί να αναφερθεί ότι τα φυτικά υπολείμματα, ανεξαρτήτως πηγής, αποτελούνται από νερό 20-90%, από ανόργανα συστατικά, που αποτελούν την τέφρα και συνίστανται από Ca, Mg, κλπ. 1-10% και οργανικά συστατικά σε ποσότητα μικρότερη του 50% νεκρών υπολειμμάτων. Από τα οργανικά συστατικά τα σημαντικότερα είναι:

α) Υδατάνθρακες: Αμυλο-σάκχαρα-πηκτίνες-κυτταρίνες-ημικυτταρίνες.

Αποτελούν ποσοστό μεγαλύτερο του 50 % των οργανικών συστατικών.

Την απλούστερη χημική σύσταση έχουν τα σάκχαρα όπως π.χ. η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$)

Οι κυτταρίνες και οι ημικυτταρίνες δεν είναι μιας συγκεκριμένης χημικής σύνθεσης.

Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι διαφέρουν οι ιδιότητές τους.

β) Αζωτούχα συστατικά: Πρωτεΐνες απλές και σύνθετες, αμινοξέα, πεπτίδια κλπ., οργανικά συστατικά περιεχόμενα του κυττάρου αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 20% της ξηράς ουσίας. Οι πρωτεΐνες είναι το συστατικό που περιέχει άζωτο και θείο που απελευθερώνονται στο έδαφος. Άζωτο περιέχουν επίσης και τα νουκλεϊνικά οξέα. Όπως οι κυτταρίνες έτσι και η λιγνίνη παρουσιάζει όξινο χαρακτήρα.

δ) Λίπη, κηροί, ρητίνες : Περιέχονται σε μικρές ποσότητες (<10%) στα φυτικά υπολείμματα. Αποτελούν είτε αποθησαυριστικές ουσίες, είτε προστατευτικές όπως οι κηροί στην επιφάνεια των φύλλων και οι ρητίνες των κωνοφόρων δένδρων.

6. Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους γίνεται συνήθως έμμεσα. Έτσι μια ομάδα μεθόδων βασίζεται στον προσδιορισμό του οργανικού άνθρακα που υπολογίζεται από την καύση της οργανικής ουσίας του εδάφους και μέτρησης του CO_2 που ελευθερώνεται.

Μια άλλη κατηγορία μεθόδων βασίζεται στην οξείδωση της οργανικής ουσίας με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο και στη μέτρηση του οξειδωτικού, που καταναλώθηκε για την οξείδωση αυτή. Τέλος, μια απλή μέθοδος είναι να υπολογίσουμε την απώλεια ορισμένου βάρους εδάφους, όταν αυτό τεθεί σε θερμοκρασία $450^\circ C$.

Στα εδαφολογικά εργαστήρια σήμερα χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος "WALKLEY – BLACK", που στηρίζεται στην οξείδωση της οργανικής ουσίας του εδάφους με διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) κανονικότητας 1M.

7. Ο ρόλος του χούμου στην εδαφογένεση και στη γονιμότητα του εδάφους

Ο χούμος αποσυντίθεται στο έδαφος με βραδείς ρυθμούς. Αν δε συνέβαινε η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας η επιφάνεια της ξηράς θα καλύπτονταν σήμερα σε πολλά σημεία από ένα οργανικό μανδύα. Ο οργανικός αυτός μανδύας θα καθιστούσε αδύνατη τη συνέχιση οποιασδήποτε μορφή ζωής. Οι βραδείς ρυθμοί διάσπασης του χούμου εξηγούνται αν ληφθεί υπόψη πόσο πολύπλοκη είναι η δομή του χουμικού μορίου. Επίσης, το μόριο του χούμου προστατεύεται και με το συνδυασμό του με την άργιλο, ο οποίος συνδυασμός δεσμεύει και συνεπώς καθιστά απρόσβλητες από τα ένζυμα ορισμένες χημικές ομάδες (πχ-COOH, OH και άλλες) της εξωτερικής επιφάνειας του μορίου. Συνεπώς η διάσπαση του χουμικού μακρομορίου απαιτεί συνήθως μακρά χρονικά διαστήματα.

Ο ρόλος του χούμου στη θρέψη των φυτών και στη γονιμότητα του εδάφους δεν περιορίζεται μόνο στην ελευθέρωση, με τη διάσπαση του μορίου, αφομοιώσεων μορφών αζώτου, θείου και φωσφόρου.

Στα περισσότερα εδάφη στο επιφανειακό στρώμα αυτών περίπου τα 98% του ολικού αζώτου, τα 80 % του ολικού θείου και περίπου τα 60 % του ολικού φωσφόρου συμμετέχουν στη σύσταση των οργανικών ενώσεων και δεν είναι αφομοιώσιμες από τα περισσότερα φυτά, παρά μόνο μετά τη διάσπαση από τους μικροοργανισμούς των οργανικών ενώσεων και την ελευθέρωση των στοιχείων αυτών με άλλη ανόργανη μορφή. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται με τις εξής απλές ανόργανες μορφές :

Αζώτου : NH_4 , NO_3 , NO_2 και στοιχειακό Άζωτο N_2 .

Θείου : S , H_2S , SO και CS_2 .

Φωσφόρου : H_2PO_4 και HPO_4 .

8. Οργανικά εδάφη

Τα εδάφη που σχηματίζονται σε συνθήκες κακής στράγγισης σε υγρά ή μετρίως υγρά κλίματα ευνοούν την παραγωγή, αλλά και τη μη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων οργανικών υλικών που αποτελούν το μητρικό υλικό των εδαφών αυτών, το οποίο ονομάζεται **τύρφη** (peat). Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται ως οργανικά διότι περιέχουν μεγάλα ποσοστά (>20 % και μέχρι 80 %) οργανικής ουσίας.

Το είδος των φυτών από τα οποία σχηματίστηκε η τύρφη έχει μεγάλη σημασία για τον σχηματισμό των εδαφών αυτών.

Υπολείμματα φυτών που προέρχονται από τα γένη *Nuphar*, *Potamogeton*, *Ceratophyllum*, όπως και η γύρη διαφόρων φυτών και το πλαγκτόν σχηματίζουν τύρφη που χαρακτηρίζεται ως **ιζηματογενής τύρφη** (sedimentary peat). Η τύρφη αυτή είναι ένα συμπαγές ελαιοπράσινο υλικό που το χρώμα του μετά την εκθεσή του στο φως γίνεται μαύρο. Η τύρφη αυτή δε παρουσιάζει γεωργικό ενδιαφέρον διότι η παρουσία στρώσεων στο επιφανειακό στρώμα των εδαφών αυτών τα καθιστά εξαιτίας των δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων ακατάλληλα για καλλιέργεια. Αντίθετα, φυλλοβόλα δάση ή κωνοφόρα δένδρα που αναπτύσσονται σε ελώδεις περιοχές δημιουργούν τη **ξυλώδη τύρφη** (woody peat). Η ξυλώδης τύρφη παρουσιάζει γεωργικό ενδιαφέρον εξαιτίας των καλών φυσικών της ιδιοτήτων.

Η **ινώδης τύρφη** (fibrous peat) προέρχεται από διάφορα υδροχαρή φυτά π.χ. *Carex*, Βρυόφυτα, ορισμένα Gramineae (γένη *Trichoon*, *Arundo* κ.α.) καθώς και είδη του γένους *Typha*.

Τα οργανικά εδάφη, ανεξάρτητα από την προέλευσή τους, παρουσιάζουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Έχουν χαμηλή φαινομενική πυκνότητα (μικρότερη από 0,5 g.cm). Η ιδιότητα αυτή έχει μεγάλη σημασία για την αύξηση του ριζικού συστήματος ενός φυτού. Η αύξηση του ριζικού συστήματος είναι χαρακτηριστική για κάθε είδος και επομένως κάθε φυτό εκμεταλλεύεται με τις ρίζες του ορισμένο όγκο και όχι ορισμένη μάζα από το έδαφος.
- Έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού μέχρι και 10 φορές περισσότερο από τα ανόργανα εδάφη. Παρόλα αυτά ένα μεγάλο ποσοστό του νερού συγκρατείται με δυνάμεις οι οποίες το καθιστούν απρόσιτο στις ρίζες των

φυτών, κατά τέτοιο τρόπο ώστε η υπεροχή των οργανικών εδαφών σε σχέση με τα ανόργανα εδάφη, όσον αφορά τη συγκράτηση του νερού και τη διάθεσή του στα φυτά, δεν είναι εξίσου σημαντική με την υπεροχή που έχουν στη συγκράτηση του ολικού νερού.

- Έχουν μικρή συνεκτικότητα και πλαστικότητα και συνήθως κοκκώδη δομή ιδιαίτερα τα οργανικά εδάφη που προέρχονται από ξυλώδη τύρφη.
- Σε συνθήκες ξηρασίας στα οργανικά εδάφη η δομή παρουσιάζει μικρή σταθερότητα με αποτέλεσμα το υλικό να κονιορτοποιείται και να διαβρώνεται εύκολα.
- Παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια καθώς και μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ευνοεί την δέσμευση κατιόντων ιδίως αυτών του ασβεστίου ακόμα και με χαμηλό βαθμό κορεσμού με βάσεις.
- Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άζωτο και θείο και μεγαλύτερες τιμές C/N (>20) από εκείνες που παρατηρούνται στα ανόργανα εδάφη. Παρά το γεγονός ότι τα απόλυτα ποσά του αζώτου είναι μεγάλα και ένα μέρος του άνθρακα συμμετέχει σε ενώσεις οι οποίες δεν προσβάλλονται εύκολα από μικροοργανισμούς, το ενεργό πηλίκo C/N έχει σαφώς χαμηλότερη τιμή και η νιτροποίηση στα οργανικά εδάφη γίνεται κανονικά.
- Στα οργανικά εδάφη παρατηρείται χαμηλή κατά το βάρος περιεκτικότητα σε κάλιο που αν εκφραστεί κατ'όγκον είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με τα κοινά ανόργανα εδάφη.
- Η περιεκτικότητα σε φώσφορο και μαγνήσιο στα οργανικά εδάφη αν εκφραστεί κατ'όγκον είναι πολλές φορές μικρότερη από εκείνη των κοινών ανόργανων εδαφών.
- Η διαθεσιμότητα του χαλκού στα οργανικά εδάφη βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, μερικές δε φορές το ίδιο παρατηρείται για το μαγγάνιο και τον ψευδάργυρο.

Η μικρή αφομοιωσιμότητα των στοιχείων αυτών από τα φυτά στα οργανικά εδάφη οφείλεται πιθανότατα στην υψηλή υγρασία τους και στην ύπαρξη χουμικών ενώσεων μικρού βαθμού πολυμερισμού και μοριακού βάρους που σχηματίζουν με τα

μικροστοιχεία διαλυτά σύμπλοκα. Τα διαλυτά σύμπλοκα απομακρύνονται με έκπλυση από το καλλιεργούμενο στρώμα του οργανικού εδάφους.

Γενικά τα οργανικά εδάφη που έχουν αρκετό πάχος (>1m) και προχωρημένη διάσπαση των φυτικών υπολειμμάτων καθώς και απουσία ιζηματογενούς τύρφης στο επιφανειακό στρώμα, είναι υψηλής γονιμότητας. Για να επιτευχθούν μεγάλες αποδόσεις στα εδάφη αυτά χρειάζεται κατά περίπτωση βελτίωση της στράγγισης, καλή άρδευση και λίπανση με μικροστοιχεία όπως χαλκός και μαγγάνιο.

(Μήτσιος 1996)

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

1. Γενικά

Στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές όπου δεν παρατηρούνται μεγάλες βροχοπτώσεις, πολλά άλατα συσσωρεύονται στα επιφανειακά στρώματα των εδαφών και σε πολλές περιπτώσεις στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Τα άλατα που προκαλούν αλατότητα στα εδάφη είναι τα χλωριούχα και θειικά άλατα του ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου. Οι κύριες πηγές από τις οποίες προέρχονται τα άλατα αυτά είναι τα πετρώματα και τα ορυκτά που αποσαθρώνονται, τα νερά της βροχής, τα νερά για την άρδευση των καλλιεργειών και η υψηλή στάθμη του φρεατίου ορίζοντα (υπόγειων νερών).

2. Μετρήσεις της αλατότητας και της αλκαλίωσης των εδαφών

Περάματα έδειξαν ότι οι επιβλαβείς επιδράσεις των διαλυτών αλάτων στα φυτά δεν οφείλονται μόνο στις υψηλές συγκεντρώσεις των αλάτων αλλά επίσης και στη συγκέντρωση του νατρίου στο έδαφος και ειδικότερα, στη σχέση του νατρίου με τα επίπεδα του ασβεστίου και μαγνησίου. Μεγάλες συγκεντρώσεις νατρίου είναι επιζήμιες στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών καθώς και στις χημικές και φυσικές παραμέτρους του εδάφους. Εξαιτίας των δυσμενών επιδράσεων των διαλυτών αλάτων, τόσο στα φυτά όσο και στο έδαφος, αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές για τον προσδιορισμό εκτός του εδαφικού pH και άλλων τριών βασικών εδαφικών ιδιοτήτων, η οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό των εδαφών που περιέχουν διαλυτά άλατα.

Οι τρεις αυτές ιδιότητες είναι:

- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (electrical conductivity – EC).
- Το εναλλακτικό νάτριο επί τοις εκατό (exchangeable sodium percentage – ESP).
- Το SAR (Sodium adsorption ratio) το οποίο εκφράζει το λόγο προσρόφησης του νατρίου.

3. Η ποιότητα του νερού αρδεύσεως και οι συνέπειές της

Το ποσό και το είδος των αλάτων είναι τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν κυρίως την ποιότητα ενός νερού το οποίο είναι προορισμένο για άρδευση. Η ποιότητα του νερού αρδεύσεως καθορίζει ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής το είδος και το βαθμό των προβλημάτων που θα προκύψουν στο έδαφος το οποίο πρόκειται να αρδευθεί.

Τα πρόβλημα που προκύπτουν είναι:

- α. Αλάτωση του εδάφους
- β. διηθητικότητα του εδάφους
- γ. τοξικότητα ιόντων
- δ. διάφορα άλλα προβλήματα

4. Αλάτωση του εδάφους

Τα άλατα που συμβάλουν στην αλατότητα του εδάφους είναι άλατα ευδιάλυτα και μεταφέρονται εύκολα στο έδαφος με το νερό. Η αλατότητα σε ένα καλλιεργούμενο έδαφος εκδηλώνεται με τη μείωση της παραγωγής η οποία συνοδεύεται με εμφανή ή όχι συμπτώματα στα καλλιεργούμενα φυτά. Τα συμπτώματα που εκδηλώνονται στα φυτά είναι μάρανση, σκούρο κυανοπράσινο χρώμα και σε ορισμένες περιπτώσεις τα φύλλα παχύνονται και δημιουργούν κηρώδεις επιφάνειες. Τα συμπτώματα αυτά ποικίλουν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και είναι πιο εμφανή όταν τα φυτά υποστούν την επίδραση των αλάτων στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους. Τα συμπτώματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά της έλλειψης νερού για τα φυτά. Πολλές φορές έχουμε μια γενική μικρή μείωση της παραγωγής χωρίς ιδιαίτερα συμπτώματα στα φυτά, γεγονός που πρέπει να σημειωθεί ιδιαίτερα, διότι αποτελεί πρόδρομο φαινόμενο μιας επερχόμενης, ενδεχόμενα μεγάλης, μείωσης της παραγωγής.

Το ποσό των αλάτων ποικίλει με το βάθος του εδάφους και συγκεντρώνεται συνήθως στην περιοχή του ριζοστρώματος λόγω της άντλησης μεγάλης ποσότητας νερού (και κατά συνέπεια συμπύκνωση των αλάτων) για τις ανάγκες του φυτού. Με την πάροδο του χρόνου και τη συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος στην περιοχή των ριζών, το φυτό αναζητώντας νέες ποσότητες νερού συμπυκνώνει όλο και περισσότερο το εδαφικό διάλυμα.

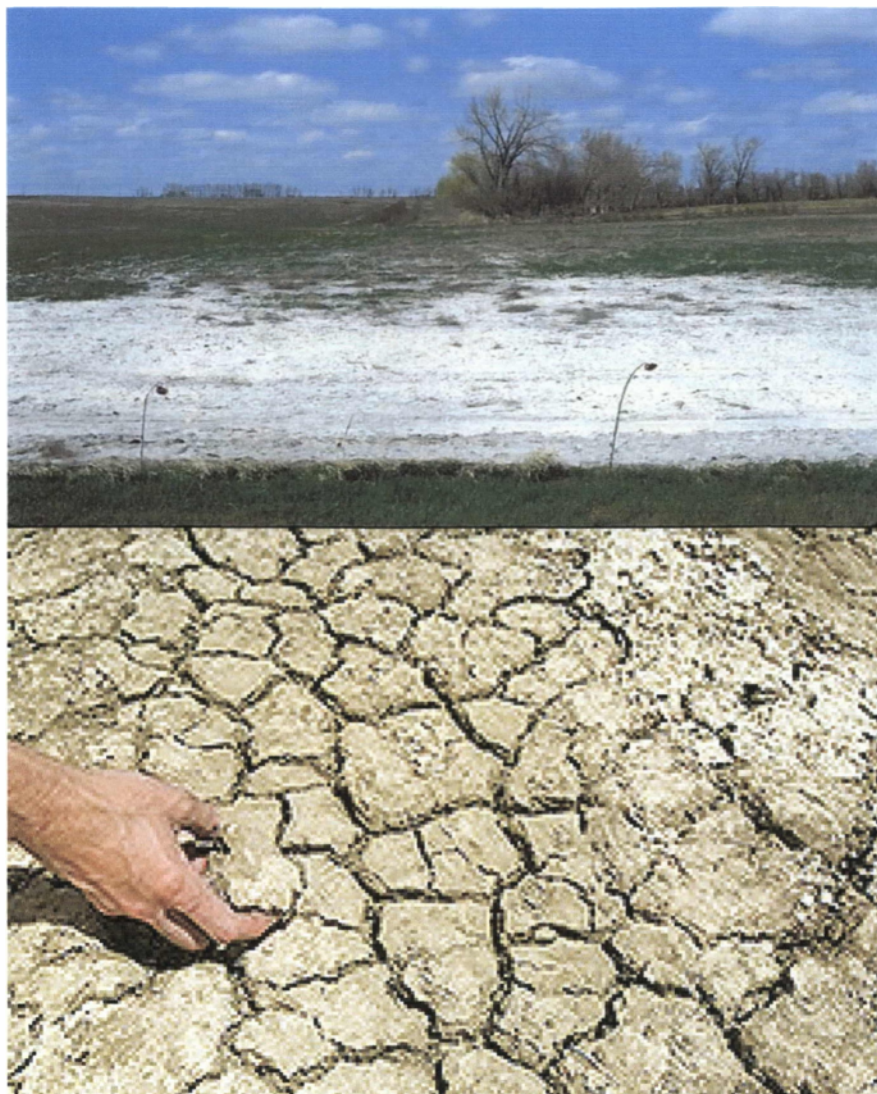
Έτσι λοιπόν, σε εδάφη που αρδεύονται, με τις κλασικές μεθόδους, η μείωση της παραγωγής εξαρτάται από την αλατότητα του εδάφους στο βάθος όπου αναπτύσσεται το μεγαλύτερο τμήμα της ρίζας των φυτών. Όταν όμως αρδεύονται σε καθημερινή βάση με μεθόδους όπως στάγδην άρδευση, τότε η παραγωγή συνδέεται κυρίως με την αλατότητα του νερού που προσλαμβάνουν τα φυτά και όχι με αυτή που δεν παίρνουν. Συνήθως, η διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση είναι μικρή. Όταν όμως η αλατότητα είναι μεγάλη τότε και η διαφορά αλατότητας είναι μεγάλη.

Ένα από τα προβλήματα αλατότητας που δημιουργούνται στις αρδευόμενες περιοχές είναι και η υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό της οποίας, λόγω εξατμισοδιαπνοής, εμπλουτίζεται όλο και περισσότερο σε άλατα. Η ανύψωση, εποχιακά, της υπόγειας αυτής στάθμης επηρεάζει επιπρόσθετα την ανάπτυξη των φυτών. Η έκλυση των αλάτων, όταν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη, με φυσικό (βροχές) ή τεχνητό (περίσσεια νερού άρδευσης) τρόπο οδηγεί σε πρόσθετη αύξηση των αλάτων. Τα προβλήματα είναι εντονότερα όταν τα αρδευόμενα εδάφη βρίσκονται σε χαμηλά τμήματα της περιοχής. Η έκλυση των αλάτων από τα εδάφη αυτά όπως θα εξετασθεί στη συνέχεια πρέπει να συνοδεύεται με τη δημιουργία στραγγιστικού δικτύου. Ασφαλώς και πριν από τη δημιουργία τέτοιων καταστάσεων, πριν δηλαδή αρχίσει να αρδεύεται μια περιοχή, θα πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται μέριμνα για τη στράγγιση και απομάκρυνση των νερών της στράγγισης. (Μισοπολινός)

5. Διηθητικότητα του εδάφους

Ορισμένες φορές η ποιότητα του νερού αρδύσεως μπορεί να επηρεάσει τη διηθητικότητα του εδάφους θετικά ή αρνητικά. Εάν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μεγάλο τότε η διηθητικότητα του εδάφους αυξάνει, στοιχείο που χρησιμοποιείται, για τη βελτίωση των νατριομένων εδαφών. Εάν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μικρό ή εάν ο λόγος νατρίου προς ασβέστιο (ή καλύτερα προς ασβέστιο + μαγνήσιο) είναι μεγάλος, τότε η διηθητικότητα του εδάφους μειώνεται αισθητά. Τα φαινόμενα αυτά είναι συνδεδεμένα με τη θρόμβωση και τη διασπορά της αργίλου.

Αποτέλεσμα της μείωσης της διηθητικότητας, είναι το νερό να παραμένει στην επιφάνεια και στη κατατομή επί περισσότερο χρόνο. Αν οι κλιματικές συνθήκες το επιτρέπουν (μεγάλη εξατμισοδιαπνοή), τότε η συμπύκνωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα είναι συνεχής.



Σχήμα: Αλατούχα εδάφη

6. Τοξικότητα ιόντων

Είναι δυνατόν με το νερό αρδεύσεως το έδαφος και κατά συνέπεια το φυτό να εφοδιάζεται με συγκεκριμένα ιόντα, τα οποία σε μεγάλες προσλήψεις καθίστανται τοξικά για το φυτό. Μεγαλύτερη ευαισθησία στα ιόντα αυτά δείχνουν οι δενδρώδης καλλιέργειες οι οποίες όμως παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους ανάλογα με το είδος και την ποικιλία.

Τα ιόντα με τη μεγαλύτερη σημασία, ως προς την τοξικότητά τους για τα φυτά, είναι το Cl το Na και το βόριο. Τα τοξικά ιόντα προσλαμβάνονται από το φυτό μέσω της λειτουργίας της διαπνοής και συγκεντρώνονται σε μεγάλες ποσότητες στα φύλλα και κυρίως στις κορυφές και τα άκρα των φύλλων.

Επίσης και κυρίως το νάτριο και χλώριο απορροφούνται από τα φύλλα, όταν εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό ή καταιονισμό με υψηλή πίεση. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του Na και Cl στο νερό αρδύσεως τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο φυτό και κατά συνέπεια η καταστροφή για την παραγωγή είναι μεγάλη έως καθοριστική σε ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες.

Άλλα ιόντα όπως Cd, As, Cr, F, Hg κλπ, με τα οποία μολύνεται ορισμένες φορές το νερό αρδύσεως, είναι δυνατόν αφενώς να δράσουν τοξικά αλλά κυρίως να μεταφερθούν, μέσω της τροφικής αλυσίδας, στον άνθρωπο με τις γνωστές συνέπειες.

7. Αξιολόγηση του νερού αρδύσεως

Για να αξιολογήσει κανείς το νερό το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για αρδευθεί μια συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να έχει υπόψη του τις μεταβολές που θα δημιουργηθούν στο σύστημα έδαφος- νερό- φυτό. Οι μεταβολές αυτές οι οποίες θα επηρεάσουν το σύστημα έδαφος- νερό- φυτό μετά από συνεχή χρησιμοποίηση ενός νερού αρδύσεως προκύπτουν από τις ιδιότητες που έχει το νερό αρδύσεως και χρησιμοποιούνται καθοδηγητικά πριν από τη χρησιμοποίησή του. Οι ιδιότητες του νερού αρδύσεως και οι μεταβολές που θα επέλθουν στο έδαφος και στα φυτά, συνοψίζονται στον πίνακα 1.

Η αξιολόγηση του νερού αρδύσεως όπως φαίνεται στον πίνακα 1 καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών στην αρδευόμενη γεωργία. Έχουν χρησιμοποιηθεί ορισμένες βασικές προϋποθέσεις προκειμένου να καθοριστούν τα όρια της χρησιμοποίησης του πίνακα. Εάν, βεβαίως χρησιμοποιηθεί το νερό κάτω από τελείως διαφορετικές συνθήκες είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες διορθώσεις στον πίνακα. Εξάλλου εάν κάποιο νερό βρίσκεται στα όρια των προϋποθέσεων που ετέθησαν τότε είναι δυνατόν να υπάρχουν ευρείες αποκλίσεις και κατά συνέπεια λανθασμένη εκτίμηση. Εάν βεβαίως υπάρχει σε κάποια περιοχή τόσο η εμπειρία όσο και πειραματικά στοιχεία καθώς επίσης και επιστημονικές παρατηρήσεις, τότε ο πίνακας 1 μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις τοπικές συνθήκες. (Μισοπολινός)

Βασικές προϋποθέσεις για τη χρήση του πίνακα 1

α). Μέγιστη απόδοση. Η μέγιστη απόδοση για όλες τις καλλιέργειες επιτυγχάνεται όταν το νερό αρδύσεως δεν έχει καμιά επίπτωση σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα. Επίπτωση μικρή ή μεγάλη σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη καλλιέργεια ή ότι χρειάζεται ειδική μεταχείριση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση. Ασφαλώς κάποια επίπτωση μικρή ή μεγάλη που προκύπτει από τον πίνακα 4 δεν σημαίνει υποχρεωτικά ότι το νερό είναι ακατάλληλο για χρήση.

β) Τοπικές συνθήκες. Η μηχανική σύσταση του εδάφους κυμαίνεται από αμμοπηλώδη με καλή στράγγιση. Το κλίμα προϋποτίθεται ότι είναι ημίξερο έως ξηρό με χαμηλή βροχόπτωση. Η βροχόπτωση δεν επαρκεί τόσο για την κάλυψη των αναγκών των φυτών όσο και για τις ετήσιες ανάγκες για ξέπλυμα των αλάτων του εδάφους (Leaching requirement). Για περιοχές με υψηλή βροχόπτωση (δυτική Ελλάδα) οι επιπτώσεις του πίνακα είναι ασήμαντες έως μηδαμινές, διότι στις περιπτώσεις αυτές το νερό της βροχής πολλές φορές είναι αρκετό ώστε να καλύπτει τις ετήσιες ανάγκες για ξέπλυμα των αλάτων από το έδαφος. Γενικά η υπόγεια στάθμη του νερού πρέπει να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από δύο μέτρα.

γ) Μέθοδοι και χρόνος αρδύσεως. Για τον καθορισμό των στοιχείων του πίνακα ως προϋπόθεση είναι η επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης ή ο καταιονισμός το νερό παρέχεται κατά αραιά διαστήματα σύμφωνα με τις ανάγκες και το φυτό παίρνει τη μεγαλύτερη διαθέσιμη ποσότητα του εδαφικού νερού (50% ή περισσότερο) πριν από τη επόμενη άρδευση. Το 15% τουλάχιστον του νερού κάθε άρδευσης διηθείται δια μέσου του εδάφους κάτω από το ριζόστρωμα (το διηθούμενο κλάσμα – Leaching Fraction – LF >15%). Ο πίνακας 1 είναι πολύ περιοριστικός προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για ειδικές μεθόδους αρδύσεως, όπως η στάγδην άρδευση, διότι η συχνότητα των αρδύσεων είναι πολύ μεγάλη. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και για υπόγεια άρδευση με την προϋπόθεση ότι παρέχονται οι επιπλέον ποσότητες του νερού για στράγγιση των αλάτων.

δ) Πρόσληψη νερού από τις καλλιέργειες. Οι καλλιέργειες έχουν μεταξύ τους διαφορετικό τρόπο πρόσληψης νερού, όμως όλες γενικά προσλαμβάνουν νερό από τα σημεία εκείνα του ριζοστρώματος όπου αυτό είναι άφθονο. Κατά μέσω όρο το 40% προσλαμβάνεται από το ανώτερο τέταρτο του ριζοστρώματος του αντίστοιχου φυτού, το 30% από το δεύτερο τέταρτο, 20% από το τρίτο τέταρτο και το 10% από το

βαθύτερο τέταρτο. Σε κάθε άρδευση εκπλύνεται το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος οπότε το τμήμα αυτό της κατατομής έχει και λιγότερα άλατα. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος και είναι μεγαλύτερη στο κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος. Η μέση αλατότητα του εδαφικού νερού είναι τριπλάσια από την αλατότητα του νερού με το οποίο αρδεύεται. Η αλατότητα αυτή αποτελεί και το μέγιστο για τον καθορισμό της αντοχής των διαφόρων καλλιεργειών στο αντίστοιχο έδαφος. Η συνθήκη αυτή προκύπτει από ένα διηθούμενο κλάσμα (LF) της τάξεως του 15-20% και αρδεύσεις οι οποίες έχουν ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες καθόλη την περίοδο. Τα άλατα που απομακρύνονται με στράγγιση από το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος συγκεντρώνονται σε ένα βαθμό στο κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος, εντούτοις όμως όταν υπάρχει επαρκής στράγγιση επιτυγχάνεται ένα ισοζύγιο καθώς τα άλατα κινούνται τελικά κάτω από το ριζόστρωμα. Η υψηλή αλατότητα στο κατώτερο τμήμα δεν αποτελεί πρόβλημα εάν επιτυγχάνεται αφενός επαρκής υγρασία στο ανώτερο (περισσότερο ενεργό) τμήμα των ριζών και αφετέρου συνεχής στράγγιση των αλάτων προς το κατώτερο τμήμα.

ε) Επιπτώσεις από τη χρήση του νερού. Οι επιπτώσεις από τη χρήση από του νερού όπως φαίνεται από τον πίνακα διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος των τιμών, ως καμία, μικρή ως μέση και μεγάλη. Ασφαλώς οι υποδιαίρεσεις είναι κάπως περιχαρακωμένες δεδομένου ότι η μετάβαση από τη μία υποδιαίρεση στην άλλη είναι σταδιακή. Μια απόκλιση κατά 10 – 20% από τις τιμές του πίνακα δεν αποτελεί πρόβλημα διότι είναι δυνατόν και άλλοι παράγοντες πέρα από τα άλατα να επηρεάζουν την απόδοση μιας καλλιέργειας. Παρατηρήσεις στον αγρό, ερευνητικά πειραματικά και άλλες παρατηρήσεις αποτελούν τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν αυτές οι υποδιαίρεσεις. Η πείρα όμως ενός ατόμου που χρησιμοποιεί ένα νερό για άρδευση μπορεί πολλές φορές να τις διαφοροποιήσει. Οι τιμές του πίνακα μπορούν να εφαρμοστούν κάτω από ομαλές συνθήκες αγρού και ισχύουν για τις περισσότερες αρδευόμενες περιοχές με ξερό έως ημίξερο κλίμα. (Μισοπολινός)

Πίνακας 1. Αξιολόγηση του νερού αρδύσεως (Ayres και Westcot 1985)

		Επιπτώσεις		
Προβλήματα από την άρδευση		Μονάδες καμία μικρή έως μέση μεγάλη		
Αλατότητα(επιρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού)				
EC_{va}	dS/m	<0.7	0.7 – 3.0	>3.0
ή				
TDS	mg/l	<450	450 – 2000	>2000
Διηθητικότητα(επιρεάζει τη διηθητικότητα του εδάφους)				
SAR = 0 – 3 και EC_{va} =		> 0,7	0,7 – 0,2	<0,2
= 3 – 6	=	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
= 6 – 12	=	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
= 12 – 20	=	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
= 20 – 40	=	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Τοξικότητα ιόντων(επιρεάζει τα ευαίσθητα φυτά)				
Νάτριο (Na)				
επιφανειακή άρδευση	me/l	<3	3 – 9	>9
καταιονισμός	me/l	< 3	>3	
Χλωριούχα (Cl)				
επιφανειακή άρδευση	me/l	<4	4 – 10	>10
καταιονισμός	me/l	<3		>3
Βόριο (β)	mg/l	<0.7	0.7 – 3.	>3.0
ιχνοστοιχεία				

8. Ποιες συγκεκριμένες συνθήκες οδηγούν το έδαφος σε αλάτωση

Για να Οδηγηθεί ένα έδαφος σε αλάτωση πρέπει να υπάρχουν δύο προϋποθέσεις. Πρώτη προϋπόθεση είναι να υπάρχει στο νερό αρδεύσεως ένα ποσό αλάτων και δεύτερη τα άλατα αυτά παραμένουν στο έδαφος, είτε λόγω ανεπαρκούς ποσότητας νερού αρδεύσεως είτε λόγω κακής στραγγίσεως. Ανεπαρκής ποσότητα νερού αρδεύσεως και κακή στραγγίση του εδάφους οδηγούν σε απομάκρυνση μειωμένης μόνο ποσότητας νερού από το έδαφος, με συνέπεια την συνεχή αλάτωσή του.

9. Επιπτώσεις της αλατότητας στα καλλιεργούμενα φυτά

Οι διεργασίες που οδηγούν τα εδάφη σε αλάτωση θα πρέπει να τελούν έναν οδηγό πρόληψης του σοβαρού αυτού κινδύνου ο οποίος απειλεί τα εδάφη λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης επέκτασης των αρδευομένων εκτάσεων. Αυτό ασφαλώς δε σημαίνει ότι οι αρδευόμενες εκτάσεις θα πρέπει να περιοριστούν. Απεναντίας, θα πρέπει να αυξηθούν με την προϋπόθεση όμως ότι θα λαμβάνονται όλα εκείνα τα απαραίτητα μέτρα τα οποία μπορούν να αποτρέψουν τον κίνδυνο.

Σκοπός μιας άρδευσης είναι να εφοδιάζει τις καλλιέργειες με τις απαραίτητες ποσότητες νερού στην κατάλληλη περίοδο, ώστε να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη υδατική καταπόνηση η οποία θα επιφέρει μείωση της παραγωγής. Και αυτό, διότι τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη έλλειψη νερού σε ορισμένα στάδια αναπτύξεώς του. Όμως, με τις συνεχείς αρδεύσεις τα άλατα του νερού αρδεύσεως παραμένουν σε ένα ποσοστό στο έδαφος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την διαθέσιμη ποσότητα νερού για το φυτό. Η κατανόηση του μηχανισμού αυτού μπορεί να βοηθήσει στο να μπορούμε να αντιστρέψουμε το γεγονός αυτό και να μειώσουμε έτσι την πιθανότητα μείωσης της παραγωγής.

Τα φυτά αντλούν το νερό από το έδαφος με απορροφητική δύναμη μεγαλύτερη από αυτή με την οποία συγκρατείται το νερό από το έδαφος. Εάν το φυτό δεν είναι σε θέση να ρυθμίσει τις λειτουργίες του (τους μηχανισμούς του) έτσι ώστε να εξασφαλίσει την ισχύ αυτή, δεν είναι σε θέση να αντλήσει αρκετή ποσότητα νερού για τις ανάγκες του και ασφαλώς υποφέρει από υδατική καταπόνηση. Αυτό συμβαίνει όταν το έδαφος ξηραίνεται. Τα άλατα στο εδαφικό διάλυμα αυξάνουν τη δύναμη που απαιτείται από τα φυτά για την άντληση νερού από το έδαφος και η δύναμη αυτή

αναφέρεται ως **οσμωτικό φαινόμενο** ή **οσμωτικό δυναμικό**. Αν για παράδειγμα δύο κατά τα άλλα όμοια εδάφη έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε νερό αλλά το ένα είναι αλατούχο ενώ το άλλο όχι, τότε τα φυτά είναι σε θέση να αντλήσουν περισσότερο νερό από το μη αλατούχο έδαφος. Αυτό διότι υπάρχει συγγένεια μεταξύ νερού και αλάτων. Εάν το νερό περιέχει άλατα τότε απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού προκειμένου το φυτό να αντλήσει νερό απαλλαγμένο από ένα αλατούχο εδαφικό διάλυμα.

Η απαιτούμενη ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού από αλατούχο έδαφος (οσμωτικό δυναμικό) προστίθεται στην ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού από μη αλατούχο έδαφος (εδαφο-υδατικό δυναμικό). Η επίδραση της αλατότητας είναι παρόμοια με αυτήν της έλλειψης νερού καθώς και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται συμπτώματα υδατικής καταπόνησης και μείωση της ανάπτυξης των φυτών. Γενικός μαρασμός, έντονη επίδραση στα φύλλα, νεκρώσεις ιστών ή άλλη εμφανής βλάβη παρατηρείται μόνον μετά από παρατεταμένη έκθεση σε σχετικά υψηλή αλατότητα.

Στα προηγούμενα σχολιάστηκε πως η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος μεταβάλλεται με το κλάσμα στράγγισης (LF) και το βάθος του ριζοστρώματος και πως αυξάνει η συγκέντρωση με τη μείωση του κλάσματος στράγγισης και αυξάνει με το βάθος στην περιοχή του ριζοστρώματος. Με την πάροδο της ξήρανσης του εδάφους το φυτό εκτίθεται σε μια συνεχώς μεταβαλλόμενη διαθεσιμότητα νερού σε κάθε τμήμα του ριζοστρώματος, διότι τόσο η ποσότητα του εδαφικού νερού (εδαφο-υδατικό δυναμικό) όσο και η αλατότητα του εδαφικού νερού (οσμωτικό δυναμικό) μεταβάλλονται από την κατανάλωση νερού μεταξύ δύο αρδεύσεων. Το φυτό αντλεί νερό από το έδαφος και συγχρόνως αφήνει το πλείστο των αλάτων στο ριζόστρωμα σε έναν όγκο νερού ο οποίος συνεχώς μειώνεται. Κατά συνέπεια η συγκέντρωση των αλάτων στον όγκο αυτό του νερού συνεχώς αυξάνει. Αμέσως μετά από κάθε άρδευση, η περιεκτικότητα του εδαφικού νερού σε κάθε τμήμα του ριζοστρώματος βρίσκεται κοντά στο μέγιστο και η συγκέντρωση των αλάτων στο ελάχιστο. Κάθε ένα όμως από τα προηγούμενα μεταβάλλεται καθώς το φυτό αντλεί νερό από το έδαφος στο διάστημα μεταξύ δύο αρδεύσεων.

Το φυτό ασκεί την αντλητική του δύναμη σε όλη τη περιοχή του ριζοστρώματος και αντλεί νερό από όπου αυτό είναι περισσότερο διαθέσιμο (παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση στην άντληση). Συνήθως αυτό είναι το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος, η περιοχή δηλαδή η οποία συχνότερα

υποβάλλεται σε έκπλυση τόσο από το νερό αρδεύσεως όσο και από το νερό της βροχής. Στο τμήμα δηλαδή αυτό του ριζοστρώματος η οσμωτική επίδραση είναι μικρότερη από ότι στα βαθύτερα στρώματα. Στο διάστημα όμως μεταξύ δύο αρδεύσεων το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος ξηραίνεται ταχύτερα από το κατώτερο λόγω της μεγαλύτερης ανάπτυξης των ριζών (και κατά συνέπεια λόγω της μεγαλύτερης άντλησης νερού) από το τμήμα εκείνο του εδάφους στο οποίο το φυτό μπορεί να αντλήσει την άμεσα διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Επειδή όμως η διαθέσιμη για το φυτό εδαφική υγρασία του ανώτερου τμήματος του ριζοστρώματος συνήθως δεν επαρκεί για τις ανάγκες του φυτού, το φυτό αναζητά νερό από τα κατώτερα στρώματα του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση όμως αυτή τόσο τα κατώτερα όσο και τα ανώτερα τμήματα του ριζοστρώματος παρουσιάζουν υψηλή αλατότητα και κατά συνέπεια υψηλό οσμωτικό δυναμικό. Με την πρόοδο της άντλησης νερού από το φυτό δημιουργείται ένα συγκεκριμένο προφίλ άντλησης. Το προφίλ που ελήφθη υπόψη για τη δημιουργία του πίνακα 1 είναι αυτό που ισχύει κάτω από κανονικές συνθήκες άρδευσης.

Το προφίλ άντλησης νερού σε ένα έδαφος είναι συνάρτηση της συχνότητας αρδεύσεων. Με αρδεύσεις κατά αραιά διαστήματα ισχύει το σχήμα 40-30-20-10, ενώ για συχνές αρδεύσεις επειδή το φυτό μπορεί και αντλεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού από το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος το βάθος του ριζοστρώματος είναι μικρότερο. Οι ρίζες δηλαδή των φυτών εκτείνονται σε μικρότερο βάθος. Στην περίπτωση αυτή το σχήμα άντλησης θα είναι 60-30-7-3. Ανεξάρτητα από τη συχνότητα, οι αρδεύσεις θα πρέπει να προγραμματισθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εφοδιάζουν στο φυτό την αναγκαία ποσότητα νερού και να αποτρέπουν κάποια υδατική καταπόνηση μεταξύ των αρδεύσεων, ιδιαίτερα και αν η εδαφική αλατότητα επηρεάζει και την διαθεσιμότητα του νερού. Όταν το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος εφοδιάζεται επαρκώς με νερό, τότε η αλατότητα του κατώτερου καθίσταται λιγότερο σημαντική. Όμως, εάν η περίοδος μεταξύ των αρδεύσεων είναι μεγάλη και το φυτό είναι αναγκασμένο να αντλεί τις επιπλέον ποσότητες που του χρειάζονται από το κατώτερο τμήμα, τότε η αλατότητα του κατώτερου τμήματος καθίσταται σημαντική, ιδιαίτερα εάν οι ανάγκες του φυτού σε νερό είναι μεγάλες λόγω κάποιας ξηρής μέρας με δυνατό αέρα. Στην περίπτωση αυτή η άντληση και η κίνηση του νερού προς τις ρίζες είναι βραδεία, το φυτό δε μπορεί να εφοδιαστεί με αρκετή υγρασία και παρουσιάζονται καταστάσεις υδατικής καταπόνησης. Μειωμένη απόδοση ή βλάβες στο φυτό υπάρχουν όταν η έλλειψη του νερού είναι παρατεταμένη.

10. Αντιμετώπιση των προβλημάτων που οφείλονται στην αλατότητα

Η αντιμετώπιση της αλατότητας του εδάφους σχετίζεται με ικανοποιητική απόδοση της καλλιέργειας που εξετάζεται κάθε φορά.. Υπάρχουν ορισμένοι τρόποι για την αντιμετώπιση της αλατότητας οι οποίοι θα εξετασθούν στη συνέχεια. Όμως θα πρέπει να τονιστεί ότι στην πράξη θα πρέπει να γίνουν συνδυασμοί προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα της αλατότητας.

Στα προηγούμενα αναλύθηκε η σπουδαιότητα τόσο της απομάκρυνσης με στράγγιση των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών πριν αυτά δημιουργήσουν πρόβλημα στο φυτό, όσο και της διατήρησης ικανής διαθέσιμης για το φυτό υγρασίας καθόλο το διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου. Ικανοποιητική στράγγιση του εδάφους είναι εξίσου σημαντική και χωρίς αυτήν δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί μακροχρόνιος έλεγχος της αλατότητας. Εάν η διηθητικότητα είναι ικανοποιητική τότε το νερό που απαιτείται για τη στράγγιση των αλάτων εξαρτάται από την ανθεκτικότητα της εκάστοτε καλλιέργειας στα άλατα και από την περιεκτικότητα σε άλατα του νερού αρδεύσεως. Όταν η αλατότητα είναι μεγάλη, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την απομάκρυνση των αλάτων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Πολλές φορές το γεγονός αυτό υποχρεώνει την αλλαγή της καλλιέργειας με άλλη περισσότερο ανθεκτική, εάν βέβαια η οικονομία της αγοράς το επιτρέπει και μόνο όταν όλες οι άλλες ενέργειες με την ελάτωση της αλατότητας έχουν αποτύχει. Η καλή στράγγιση πάντως ακόμα και στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης καλής ποιότητας αρδευτικού νερού, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να αποφευχθεί συμπύκνωση αλάτων στο ριζόστρωμα που θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης των φυτών. Ασφαλώς πάντοτε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η υπόγεια στάθμη του εδάφους για να μην αποτελέσει αυτή πηγή αλάτων από μόνη της.

Η στράγγιση, η απομάκρυνση των αλάτων, καθώς και η επιλογή ποιο ανθεκτικών στα άλατα καλλιεργειών είναι μέτρα τα οποία μπορούν να ληφθούν προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αλατότητας σε μακροχρόνια βάση. Επιπρόσθετα όμως θα πρέπει να λαμβάνονται και άλλες καλλιεργητικές φροντίδες για την αντιμετώπιση πρόσκαιρων αυξήσεων της τιμής της αλατότητας του εδάφους, διότι και αυτές είναι δυνατόν να δημιουργήσουν εξίσου παρόμοια προβλήματα με τα προηγούμενα. Αρκετές πρακτικές, όπως συχνότερες αρδεύσεις, φροντίδες του

εδάφους, κανονική χρονική κατανομή των λιπασμάτων καθώς και κατάλληλη σπορά μπορούν να κάνουν την αλατότητα λιγότερο επιβλαβή στα φυτά.

Εάν η αλατότητα του εδάφους είναι μεγάλη και δεν οφείλεται στη ποιότητα του νερού αρδεύσεως, είναι απαραίτητο να υιοθετηθεί ένα πρόγραμμα στράγγισης και βελτίωσης όπως και προσωρινή αλλαγή των καλλιεργειών. Μετά τη βελτίωση του εδάφους οι καλλιέργειες που θα ακολουθήσουν θα εξαρτηθούν από τη ποιότητα του αρδευτικού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις όταν διαθέτουμε δύο νερά για άρδευση ένα καλής και ένα κακής ποιότητας τότε είναι δυνατόν να γίνουν και αναμίξεις.

11. Καλλιεργητικά μέτρα για την αντιμετώπιση της αλατότητας

Εκτός από την κανονική στράγγιση του εδάφους, την απομάκρυνση της μεγαλύτερης ποσότητας των αλάτων ώστε η συγκέντρωσή τους να φθάσει σε ανεκτά επίπεδα από το φυτό, ή ως τελευταίο ίσως μέσο, την αλλαγή της καλλιέργειας με περισσότερο ανθεκτική, υπάρχουν και άλλα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται προκειμένου τα φυτά να αντιμετωπίσουν ή να παρακάμψουν το κίνδυνο από την αλατότητα του εδάφους. Τα κυριότερα από αυτά είναι η κατά το δυνατόν ισοπέδωση του εδάφους, ο προγραμματισμός των αρδεύσεων, η τοποθέτηση των σπόρων κατά τη σπορά ή των φυταρίων στις κατάλληλες θέσεις, η κατάλληλη χρήση των λιπασμάτων και η επιλογή του κατάλληλου τρόπου αρδεύσεως.

11.1 Ισοπέδωση του εδάφους

Ο έλεγχος της αλατότητας συνδέεται με την κανονική κατανομή του νερού στο έδαφος και κατά συνέπεια με την ισοπέδωση του εδάφους. Μικρές ή μεγάλες εξάρσεις στην επιφάνεια του εδάφους επιτρέπουν μεγαλύτερη εξάτμιση νερού στα σημεία αυτά του νερού και μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων.

Η ισοπέδωση του εδάφους γίνεται κατά την αρχική εγκατάσταση του στραγγιστικού και αρδευτικού δικτύου και στην συνέχεια συντηρείται κάθε ένα ή δύο χρόνια με καλλιεργητικές εργασίες.

Επειδή η αλατότητα σχετίζεται με επίπεδα ή σχεδόν επίπεδα εδάφη ή θύλακες η ισοπέδωση είναι σχετικά εύκολη και δεν περιέχει συνήθως κινδύνους. Η μεταφορά εδάφους από ένα τμήμα της περιοχής στο άλλο είναι μικρή και δεν υπάρχει κίνδυνος στις πρόσφατες αλλουβιακές περιοχές να φέρουμε στην επιφάνεια τμήματα εδάφους

ανεπιθύμητα (με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων, βαριάς μηχανικής σύστασης κλπ). Ασφαλώς ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα παλιά αλλουβιακά εδάφη ή τα εδάφη με ώριμη κατατομή διότι σε αυτά υπάρχει ο κίνδυνος να έλθει στην επιφάνεια τμήμα της κατατομής με συγκέντρωση αλάτων, συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου ή άλλα τμήματα υποβαθμισμένα.

11.2 Προγραμματισμός των αρδεύσεων

Ο προγραμματισμός των αρδεύσεων θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται συνεχώς καθόλη τη καλλιεργητική περίοδο οι ανάγκες του φυτού ανάλογα με το είδος του φυτού, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη κατάσταση υγρασίας του περιβάλλοντος και τους ανέμους (ένταση και διεύθυνση). Έτσι λοιπόν σε περιπτώσεις κινδύνου από άλατα μπορεί να αυξηθεί η συχνότητα των αρδεύσεων. Στόχος του προγραμματισμού των αρδεύσεων θα πρέπει να είναι η μείωση της αλατότητας και η αποφυγή υδατικής καταπόνησης στα φυτά στο χρονικό διάστημα μεταξύ των αρδεύσεων.

Η αύξηση της συχνότητας των αρδεύσεων θα πρέπει να γίνεται μετά από εμπειριστατωμένη μελέτη τόσο σχετικά με την εφαρμοζόμενη μέθοδο αρδεύσεως, όσο και με την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργημένων φυτών σε νερό. Η αύξηση της συχνότητας π.χ. σε αρδεύσεις με κατακλυση πολλές φορές δεν συνιστάται διότι είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα τόσο διηθητικότητας όσο και κίνδυνοι ανυψώσεως της υπόγειας στάθμης.

Ο καταιονισμός ή η στάγδην άρδευση προτιμώνται, όπου βεβαίως αυτό είναι δυνατόν, διότι δεν περιέχουν τους κινδύνους που προαναφέρθηκαν. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι με τον καταιονισμό είναι δυνατό να εμφανισθούν φαινόμενα τοξικότητας από νάτριο ή χλώριο στα φύλλα σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από ότι με την κατακλυση. Η γνώση τόσο των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, όσο και των χαρακτηριστικών του εδάφους αφενός, αλλά και της χημικής σύστασης αφετέρου του νερού αρδεύσεως μπορεί αν συμβάλει αποφασιστικά στην εφαρμογή της μιας ή της άλλης μεθόδου αρδεύσεως. Όμως και ο καταιονισμός και η στάγδην άρδευση δημιουργούν και αυτές προβλήματα αλατότητας στο έδαφος και είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς πως κατανέμονται τα άλατα στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως.

Ένα απαραίτητο στοιχείο που θα πρέπει να γνωρίζει κανείς προκειμένου να αντιμετωπίσει την αλατοτητα κατά τη φύτευση του σπόρου και κατά την ανάπτυξη των φυτών κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης, που είναι και περισσότερο ευαίσθητα στην αλατότητα είναι περιοχή ή οι περιοχές συγκεντρώσεις των αλάτων ανάλογα με τη μέθοδο και τις καλλιεργητικές φροντίδες που εφαρμόζονται

11.3 Περιοχή τοποθέτησης του σπόρου

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται σαμάρια για την τοποθέτηση του σπόρου ή των φυταρίων και άρδευση με αυλάκια, θα πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη η κατανομή των αλάτων στα σαμάρια διότι όπως είναι γνωστό η αλατότητα μειώνει την φυτρωτική ικανότητα του σπόρου και την ανάπτυξη των φυταρίων. Βεβαίως μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς μεγαλύτερη ποσότητα σπόρων για την αναπλήρωση αυτών που δεν θα φυτρώσουν, όμως αυτή η πρακτική μπορεί να δώσει πυκνότερη βλάστηση και τελικά φυτά μικρότερης ανάπτυξης. Σε πολλές περιπτώσεις τα σαμάρια με τραπεζοειδή μορφή μπορούν να αντικατασταθούν με άλλα διαφορετικού σχήματος για να επιτευχθεί καλύτερο φύτεμα.

11.4 Λίπανση

Τα λιπάσματα ενεργούν στο έδαφος κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους. Καταρχάς ως πηγή θρεπτικών ουσιών για το φυτό. Αυτή είναι η θετική δράση τους. Τα λιπάσματα όμως είναι δυνατόν να δημιουργήσουν και προβλήματα τόσο αλατότητας όσο και τοξικότητας στα φυτά και ως συνέπεια αυτών η μεταφορά τους σε κεντρικούς συλλεκτίνες (ποταμούς λίμνες) με τα γνωστά αποτελέσματα. Αυτές είναι οι αρνητικές τους δράσεις. Οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να υπάρχουν όταν οι ποσότητες τους υπερβούν τις κανονικές, τοποθετηθούν σε ακατάλληλη θέση ή δεν εφαρμοστούν στη κατάλληλη χρονική περίοδο. Εάν π.χ. διασκορπιστούν ομοιόμορφα 5 Kg/στρέμμα αζώτου (θειική αμμωνία 24 Kg/στρέμμα) δεν θα δημιουργηθεί κανένα πρόβλημα αλατότητας. Εάν όμως τοποθετηθεί στο έδαφος συγχρόνως μαζί με το σπόρο (με τη σπαρτική) τότε πιθανότατα θα υπάρχουν προβλήματα στη φύτευση των σπόρων αλλά και στην ανάπτυξη των φυταρίων.

Η χρονική περίοδος και η θέση του λιπάσματος έχουν ιδιαίτερη σημασία στη δημιουργία ή μη προβλημάτων αλατότητας. Τα φυτάρια που είναι ο ιδιαίτερα

ευαίσθητα στην αλατότητα έχουν μικρές απαιτήσεις σε λίπασμα. Μια μικρή ποσότητα μπορεί να εφαρμοστεί πριν ή κατά τη σπορά και η υπόλοιπη μετά τη φύτευση και πριν τη κύρια βλαστική περίοδο σε μία ή περισσότερες δόσεις.

Εκείνο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τις λιπάνσεις είναι ο δείκτης αλατότητας του λιπάσματος. Τι επίδραση έχει δηλαδή στην αλατότητα του εδαφικού διαλύματος η χρήση συγκεκριμένης ποσότητας ενός λιπάσματος. Δείκτης αλατότητας θεωρείται για τα λιπάσματα όταν αυτά εφαρμόζονται σε ίσες ποσότητες (βάρη). Το νιτρικό νάτριο με δείκτη 100 χρησιμεύει ως αφετηρία για τον δείκτη αλατότητας. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης του λιπάσματος τόσο μικρότερος ο κίνδυνος εγκυμάτων στα φυτάρια από το λίπασμα.

11.5 Κατανομή των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως

Η αποτελεσματική χρήση του νερού αρδεύσεως και ο τρόπος καθώς και η θέση συγκεντρώσεως των αλάτων στο έδαφος, σχετίζονται απευθείας με τη μέθοδο αρδεύσεως.

Τόσο ο καταιονισμός, όσο και η κατάκλιση με λεκάνες δημιουργούν μια αυξανόμενη συγκέντρωση με το βάθος του εδάφους με τη διαφοροποίηση στη δεύτερη ότι υπάρχει επιπλέον συγκέντρωση αλάτων στα υπερυψωμένα τμήματα μεταξύ των λεκανών. Στις μεθόδους τόσο με αυλάκια όσο με στάγδην παρατηρείται το ίδιο αποειδές σχήμα μεταξύ τους με συγκέντρωση των αλάτων περιφερειακά του αποειδούς σχήματος.

Όταν σε μια περιοχή σε ορισμένες θέσεις υπάρχει πρόβλημα διηθητικότητας τότε δημιουργούνται θύλακες συγκεντρώσεως αλάτων. Στον αγρό οι θύλακες αυτοί εντοπίζονται από το γεγονός ότι η ανάπτυξη των φυτών είναι μειωμένη ή τα φυτά δεν αναπτύσσονται καθόλου.

Εάν θέλουμε να επιτύχουμε έλεγχο της αλατότητας με τη άρδευση τότε θα πρέπει να αξιολογήσουμε όλα τα γνωστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων αρδεύσεως

Στις μεθόδους κατακλίσεως (λεκάνες, αυλάκια ή ολική κατάκλιση) η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο έδαφος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του αγρού διότι τόσο η διηθητικότητα όσο και το διάστημα που απαιτείται για την ολοκληρωμένη διήθηση του νερού δεν είναι ομοιόμορφα. Οι διαφορές στη διηθητικότητα παρατηρούνται λόγω διαφορετικής μηχανικής συστάσεως, κλίσης,

βαθμού συμπίεσεως από γεωργικά μηχανήματα και χημικών ιδιοτήτων. Ο χρόνος τον οποίο παραμένει το νερό στην επιφάνεια του αγρού είναι ανομοιόμορφος για τα διάφορα τμήματά του. Στα τμήματα τα οποία πρώτα εισέρχεται το νερό αρδεύσεως (υψηλότερα τμήματα αγρού, αρχή των αυλακιών) παραμένει το νερό επί πολύ μακρότερο χρονικό διάστημα απότι στα υπόλοιπα. Το περισσότερο ξηρό τμήμα βρίσκεται στα δύο τρίτα της αποστάσεως προς τα χαμηλότερα σημεία. Στις μεθόδους κατακλίσεως χρησιμοποιούνται συνήθως 80-100 mm νερού σε κάθε άρδευση. Αυτό σημαίνει ότι αν εφαρμοστούν συχνότερες αρδεύσεις για τη μείωση πιθανής υδατικής καταπόνησης, τότε θα έχουμε σπατάλη νερού, συνεχή κατάκλυση του εδάφους και προβλήματα διηθητικότητας. Προκειμένου να αντιμετωπισθούν περιπτώσεις υδατικής καταπόνησης είναι ευκολότερο να αυξηθεί η συχνότητα των αρδεύσεων με καταιονισμό ή στάγδην παρά με κατάκλυση. Επειδή όμως τόσο ο καταιονισμός όσο και στάγδην έχουν η κάθε μια τα δικά της προβλήματα δεν εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις αρδευτικών νερών, εδαφών, κλίματος ή καλλιεργειών.

Το σύστημα με καταιονισμό έχει καλή κατανομή του νερού στην επιφάνεια και σε παροχές τέτοιες που ελέγχεται η επιφανειακή απορροή. Όταν εφαρμόζεται σωστά τότε τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά τόσο για κανονική παροχή νερού όσο και για την ομοιόμορφη κατανομή των αλάτων. Ορισμένες φορές ο αέρας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα με τη μετακίνηση της δέσμης του νερού από τους εκτοξευτήρες ή το κανόνι και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Με τον καταιονισμό μπορούν να αντιμετωπιστούν και προβλήματα θερμοκρασίας περιβάλλοντος στα φυτά, φυτρώματος όπου το φυτό είναι ευαίσθητο στα άλατα και επιφανειακή κρούστα του εδάφους. Θα πρέπει όμως να εστιαστεί η προσοχή στο γεγονός ότι ο καταιονισμός μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας από νάτριο ή χλώριο με εγκαύματα στα φυτά.

Τα διάφορα συστήματα στάγδην παρέχουν νερό σε ημερήσια ή σχεδόν ημερήσια βάση με πολύ μικρές παροχές (συνήθως 2-80 λίτρα νερού ανά σταλακτήρα). Η παροχή αυτή διατηρεί σχεδόν συνεχώς το έδαφος στην υδατοχωρητικότητά του αντικαθιστώντας σε σχεδόν ημερήσια βάση το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά. Η άρδευση με τον τρόπο αυτό διατηρεί μια συνεχή έκπλυση των αλάτων προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η αποτελεσματικότητά της αγγίζει το 100%. Γίνεται δηλαδή σχεδόν πλήρης εκμετάλλευση του νερού αρδεύσεως. Όμως και στην περίπτωση αυτή υπάρχει απόθεση αλάτων στ έδαφος μεταξύ των σταλακτιών και περιφερειακά του απιδιού που σχηματίζεται. Με την

πάροδο του χρόνου η συγκέντρωση αυτή μπορεί να φτάσει σε επίπεδα υψηλά και μια μετακίνησή τους προς το ριζόστρωμα από τη βροχή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα αλατότητας στο φυτό. Εξάλλου για ετήσια φυτά, αν αυτά βρεθούν στη ζώνη μεταξύ των σταλακτήρων θα υποστούν άμεσα τις συνέπειες της αλατότητας. Ασφαλώς αν το ετήσιο ύψος βροχής είναι σημαντικό, τότε τα άλατα είναι δυνατό να εκπλυθούν και να μετακινηθούν κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος και τα φυτά δεν θα υποστούν τις συνέπειες. Η πιο επικίνδυνη περίοδος είναι αυτή αμέσως μετά την πρώτη βροχόπτωση διότι αφενός τα άλατα έχουν μετακινηθεί στο ριζόστρωμα και αφετέρου δεν έχει πέσει ακόμη αρκετή βροχή για την μετακίνηση των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται να συνεχίζονται οι αρδεύσεις μέχρι να πέσουν 50-100 mm βροχής ανάλογα με το έδαφος. Εάν η βροχή δεν είναι αρκετή η περαιτέρω έκπλυση θα πρέπει να γίνει με συνέχιση της στάγδην άρδευσης. Η έκπλυση με καταιονισμό ή κατάκλυση μετά από στάγδην και πριν από την επόμενη βλαστική περίοδο είναι επιτυχής, απαιτεί όμως ένα δεύτερο σύστημα αρδεύσεως και μεγάλες ποσότητες νερού. Εντούτοις πολλές φορές είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτύχουμε καλές αποδόσεις όταν χρησιμοποιείται σχετικά αλατούχο νερό με στάγδην άρδευση.

Με τη χρήση καλής ποιότητας νερού, οι αποδόσεις με τη στάγδην άρδευση είναι εξίσου καλές ή και καλύτερες από άλλες μεθόδους. Με νερό όμως μεγαλύτερης αλατότητας ($EC_{va} > 1,0 \text{ mS/cm}$), οι αποδόσεις με την στάγδην άρδευση είναι συχνά καλύτερες για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Συχνές αρδεύσεις με καταιονισμό μπορούν να δώσουν εξίσου καλά αποτελέσματα, όμως υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος από εγκαύματα στα φύλλα και αποφύλλωση από προσρόφηση νατρίου και χλωρίου. Γενικά, εάν η αλατότητα του εδάφους είναι μεγαλύτερη από την αλατότητα αντοχής των φυτών τότε καλύτερα αποτελέσματα παρέχει η στάγδην άρδευση.

Τέλος σύστημα υπόγειας άρδευσης συνήθως δεν συνιστάται στις περιπτώσεις κινδύνου από αλατότητα διότι μπορεί πολύ εύκολα να υψώσει την υπόγεια στάθμη του νερού με τα γνωστά αποτελέσματα.

Πίνακας 2. Ταξινόμηση των νερών άρδευσης με βάση τη δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας στο έδαφος (Doney, 1954)

Εδαφικές συνθήκες	Δυνατότητα δημιουργίας αλατότητας = $(CI) + \frac{1}{2}(SO)$ σε meq/L		
	Κατηγορίες αρδευτικού νερού		
	1	2	3
Μικρή μέχρι μηδαμινή έκπλυση του εδάφους	<3	3-5	>5
Κάποια έκπλυση αλλά περιορισμένη Στράγγιση μικρή	<5	5-10	>10
Εδάφη περατά με καλή στράγγιση	<7	7-10	>15

Πίνακας 3. Εκτίμηση της ποιότητας των νερών άρδευσης σύμφωνα με τους Christiansen et al., (1977)

Κατηγορίες ποιότητας αρδευτικών νερών	E.C. dsm	Na %	SAR	Na ₂ CO ₃ meq/l	CI meq/l	B meq/l
Άριστο	<50	<40	<3	<0,5	<3	<0,5
Καλό	0,5-1,0	40-60	3-6	0,5-1,0	3-6	0,5-1,0
Ανεκτό	1,0-2,0	60-70	6-9	1,0-2,0	6-10	1,0-2,0

Αμφίβολο	2,0-3,0	70-80	9-12	2,0-3,0	10-15	2,0-3,0
Επιβλαβές	3,0-4,0	80-90	12-15	3,0-4,0	15-20	3,0-4,0
Ακατάλληλο	> 4,0	> 90	>15	> 4,0	> 20	> 4,0

12. Αντοχή των καλλιεργειών στη αλατότητα

Τα φυτά δεν παρουσιάζουν την ίδια αντίδραση στην αλατότητα. Ορισμένα φυτά έχουν αξιόλογη απόδοση σε αλατούχο περιβάλλον από ότι άλλα. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την οσμωτική τους πίεση ώστε να μπορούν να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε ένα αλατούχο έδαφος. Η ικανότητα αυτή ορισμένων καλλιεργειών είναι πολύ χρήσιμη. Σε περιοχές όπου η αλατότητα δεν είναι δυνατόν να μειωθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα για τα φυτά που ήδη υπάρχουν, υπάρχει λύση της εναλλακτικής καλλιέργειας η οποία είναι περισσότερο ανθεκτική στο συγκεκριμένο επίπεδο αλατότητας και μπορεί να έχει οικονομική απόδοση.

Υπάρχει ένα οκταπλάσιο έως δεκαπλάσιο εύρος ανθεκτικότητας στα άλατα των καλλιεργούμενων φυτών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει ευρύτερη χρήση αλατούχων εδαφών που τα περισσότερα από αυτά στο παρελθόν θεωρούντο ακατάλληλα προς χρήση. Εξάλλου με τον τρόπο αυτό διευρύνεται η χρήση αρδευτικών νερών με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από ότι στο παρελθόν.

Η σχετική ανθεκτικότητα των περισσότερων από τα καλλιεργούμενα φυτά είναι γνωστή πλέον και αυτό επιτρέπει να υπάρχει ένας γενικός οδηγός σχετικός με την αντοχή τους στην αλατότητα.

13. Μεταβολές του εδάφους που οφείλονται στη διεργασία αλάτωση – νατρίωση

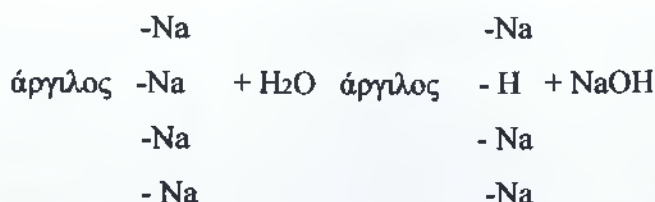
Ήδη έχουν περιγραφεί ορισμένες μεταβολές που συμβαίνουν τόσο στο εδαφικό διάλυμα όσο και στη εναλλακτική φάση του εδάφους. Οι μεταβολές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου στο εδαφικό διάλυμα και στην εναλλακτική φάση.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο τότε έχουμε μόνο την επίδραση της συγκέντρωσης των αλάτων του εδαφικού διαλύματος στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως στη διηθητικότητά του. Όταν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη (πιθανόν να φτάνει στο νερό κορεσμού και τα 1300 me/l), τότε η άργιλος του εδάφους βρίσκεται σε κατάσταση ισχυρής θρόμβωσης. Η ισχυρή θρόμβωση δημιουργεί στο έδαφος μεγάλη διηθητικότητα. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μικρή τότε μειώνεται και η διηθητικότητά του.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο – νατριωμένο τότε υπάρχουν δύο παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν και διαμορφώνουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Ο ένας παράγοντας είναι η συγκέντρωση των αλάτων του εδαφικού διαλύματος και ο άλλος είναι το εναλλακτικό νάτριο της στερεάς φάσης. Η μεγάλη συγκέντρωση των αλάτων δημιουργεί προϋποθέσεις θρόμβωσης της άργιλου ενώ το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου ($ESP > 15$) δημιουργεί τις προϋποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της. Το τι ακριβώς θα συμβεί σε ένα συγκεκριμένο αλατούχο – νατριωμένο έδαφος εξαρτάται από τους συνδυασμούς της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού κορεσμού (EC_e) και του ESP.

Όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται έναντι του ESP τότε η άργιλος βρίσκεται σε θρόμβωση και έτσι διατηρείται η διηθητικότητα σε ικανοποιητική κατάσταση. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία για τη βελτίωση των εδαφών αυτών, όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια.

Τέλος όταν το έδαφος είναι μη αλατούχο – νατριωμένο τότε το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου και το υψηλό pH ($> 8,5$) καθορίζουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Η πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα των εδαφών αποτελεί παράγοντα αύξησης της ταχύτητας υδρολύσεως ενός ποσοστού του εναλλακτικού νατρίου που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία NaOH και την αύξηση του pH



Η μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και το μεγάλο ESP σε συνδυασμό με το pH δημιουργούν τις προϋποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της αργίλου που συνεπάγεται το κλείσιμο των πόρων του εδάφους και την πτώση, σε μηδενικά σχεδόν επίπεδα, της διηθητικότητά του. Η άργιλος που βρίσκεται σε κατάσταση διαμερισμού αρχίζει στο αλκαλικό περιβάλλον του εδάφους και μετακινείται προς βαθύτερα στρώματα (μετακίνηση από τον ορίζοντα A προς τον B) ή απομακρύνεται με τη διάβρωση της επιφάνεια του εδάφους. (Μήτσιος 1996)

14. Αντοχή των φυτών στα άλατα

Όλα τα φυτά δεν εμφανίζουν την ίδια αντίδραση στα άλατα. Μερικά φυτά αποδίδουν ικανοποιητικά σε αλατούχο περιβάλλον και σε άλλα φυτά οι αποδόσεις τους επηρεάζονται αρνητικά. Τα φυτά που προσαρμόζονται ικανοποιητικά σε αλατούχο περιβάλλον έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την οσμωτική τους πίεση και μπορούν μ' αυτό τον τρόπο να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε ένα αλατούχο έδαφος. Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η σχετική ανθεκτικότητα στην αλατότητα ορισμένων καλλιεργειών

Πίνακας 3. Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών. (Maas,1985)

Ανθεκτικά
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Κριθάρι, Βαμβάκι, Ζαχαρότευτλα
Λαχανικά: Σπαράγγι
Οπωροφόρα: Φοίνικας
Σχετικά ανθεκτικά
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Κτηνοτροφικά Μπιζέλια, Βρώμη, Σίκαλη, Σαφράνα, Σόργο, Σόγια, Σιτάρι
Χορτοδοτικά : Αγρόπυρο, Σιτάρι, Φάλαρη, Λόλιο το πολυετές, Σόργο
Λαχανικά : Αγκινάρα, Κοκκινογούλια, Κολοκυθάκι
Οπωροφόρα : Συκιά, Ελιά, Ανανάς, Ροδιά
Σχετικά ευαίσθητα
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας : Φακή, Ρετινολαδιά, Καλαμπόκι, Λινάρι, Ρύζι, Κεχρί, Ηλιάνθος
Χορτοδοτικά : Μηδική, Ασπιοτρίφυλλο, Αγιοτρίφυλλο, Τριφύλλι το λειμώνιο, Τριφύλλι το χαμοκέρασο, Σίκαλη, Καλαμπόκι, Βρώμη
Λαχανικά : Μπρόκολο, Λάχανο, Κουνουπίδι, Σέλινο, Αγγούρι, Μελιτζάνα, Μαρούλι, Πεπόνι, Πιπεριά, Πατάτα, Ρεπάνι, Σπανάκι, Κολοκύθι, Γλυκοπατάτα, Γογγύλι, Καρπούζι, Τομάτα
Οπωροφόρα : Αμπέλι
Ευαίσθητα
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας : Φασόλι, Σουσάμι
Λαχανικά : Καρότο, μπάμια, κρεμμύδι
Οπωροφόρα : Αμυγδαλιά, Μηλιά, Βερικοκιά, Αβοκάντο, Ροδακινιά, Αχλαδιά, Φράουλα, Κερασιά, Μανταρινιά, Μάνγκο, Λεμονιά, Δαμασκηλιά, Μουσμουλιά, Γλυκολεμονιά, Πορτοκαλιά

ΣΥΜΠΙΕΣΗ – ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η μετακίνηση των γεωργικών μηχανημάτων προκαλεί πίεση στην επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα μείωση του όγκου του. Το αποτέλεσμα αυτό της συμπίεσης είναι γνωστό με τον όρο συμπύκνωση του εδάφους (soil compaction).

Συνήθως οι όροι συμπίεση και συμπύκνωση συγχέονται και χρησιμοποιούνται για να εκφράζουν το ίδιο φαινόμενο. Συμπύκνωση επίσης προκαλούν και ενδογενείς παράγοντες, όπως είναι η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Το μέγεθός της όμως είναι σημαντικά μικρότερο εκείνης που προκαλείται από τα γεωργικά μηχανήματα. Συμπύκνωση επίσης προκαλείται όχι μόνο από την κίνηση στην επιφάνεια των εδαφών αλλά και από τη λειτουργία ορισμένων γεωργικών εργαλείων όπως το υνάροτρο, κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Με τη συμπύκνωση επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας εδάφους
- Μείωση της συμπιεστότητας και επομένως των προκαλούμενων καθιζήσεων του εδάφους σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης
- Μείωση της διαπερατότητας του εδάφους
- Αύξηση της αντίστασης του εδάφους (w.w.w.geo.auth.gr.)

Η συμπύκνωση των εδαφών οφείλεται στη μείωση του όγκου των πόρων γιατί η στερεά φάση του εδάφους είναι πρακτικά ασυμπίεστη. Κατά κανόνα μειώνεται ο αριθμός και ο όγκος των πόρων μεγάλης διαμέτρου (μακροπόρων) επειδή είναι λιγότερο ισχυροί σε σχέση με τους πόρους μικρότερης διαμέτρου. Ισχυρές όμως τάσεις και επανειλημμένες διελεύσεις των μηχανημάτων προκαλούν μείωση επίσης του όγκου και των μικρότερης διαμέτρου πόρων.

Η συμπύκνωση του εδάφους προκαλεί μεταβολές της δομής του και των άλλων ιδιοτήτων όπως η ικανότητα συγκράτησης του νερού και η ευκολία κίνησής του καθώς και η ανανέωση του εδαφικού αέρα με αποτελέσματα δυσμενή για την ανάπτυξη των φυτών.

Η συμπύκνωση του εδάφους εφαρμόζεται:

Για τη σταθεροποίηση του εδάφους για θεμελίωση τεχνικών έργων

Για τη δημιουργία ανθεκτικότερης εδαφικής επιφάνειας για περπάτημα και γενικότερη διαμόρφωση χώρου

Για την ομογενοποίηση του εδάφους θεμελίωσης

Για τη δημιουργία στερεών εδαφικών επιχωμάτων, για τη κατασκευή δρόμων, κ.α.

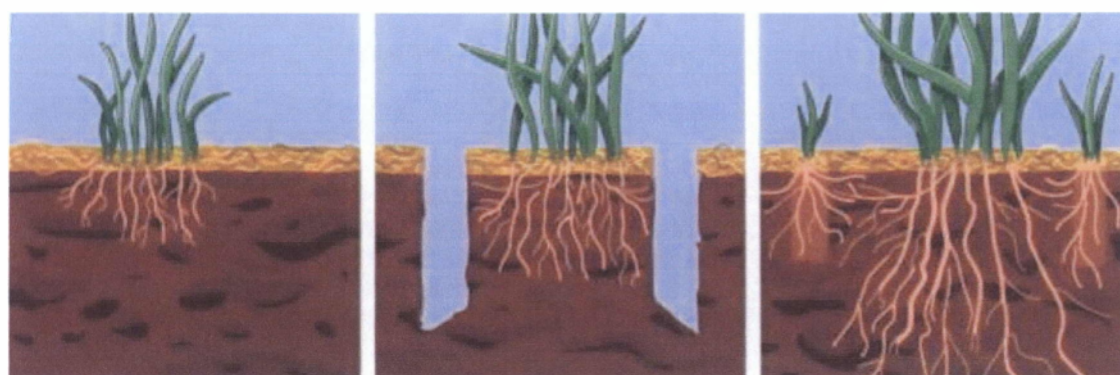
Για τη κατασκευή χωμάτων φραγμάτων

Για τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας και μείωση των ενδεχόμενων καθιζήσεων εδαφικών υλικών

Για την αύξηση της παθητικής αντίστασης του εδάφους σε πλευρικές φορτίσεις (w.w.w.geo.auth.gr.)

Η κατεργασία επαναφέρει, μέχρι του βάθους ενέργειας των εργαλείων, το έδαφος στην κανονική του μορφή και πυκνότητα. Στα βαθύτερα όμως στρώματα η συμπίκνωση όχι μόνο παραμένει αλλά και αυξάνεται αθροιστικά με τις επαναλαμβανόμενες συμπιέσεις. Έτσι συχνά και όταν οι συνθήκες το ευνοούν σχηματίζεται αμέσως κάτω από το βάθος άροσης μια πυκνή, σκληρή και σχεδόν αδιαπέραστη στο νερό και στις ρίζες στρώση (hard pan).

Οι παράγοντες που επιδρούν στο μέγεθος της συμπίκνωσης του εδάφους είναι: α) τα χαρακτηριστικά του εδάφους, β) τα χαρακτηριστικά των γεωργικών μηχανημάτων, γ) ο αριθμός των διελεύσεων, δ) τα συστήματα κατεργασίας, ε) η ταχύτητα διέλευσης κ.ά.



Από τα χαρακτηριστικά του εδάφους κυριότερα είναι το συνολικό πορώδες και η κατανομή των πόρων, η κατανομή των εδαφικών τεμαχιδίων, η δομική συγκρότηση, η σταθερότητα των συστημάτων, η αντοχή του εδάφους και η εδαφική υγρασία. Σημαντικά επίσης επηρεάζει και η οργανική ουσία, ιδιαίτερα τα φυτικά υπολείμματα της επιφάνειας του εδάφους.

Τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που επηρεάζουν τη συμπίκνωση είναι το δυναμικό φορτίο των τροχών (στατικό βάρος και μεταφορά φορτίου), ο τύπος, το μέγεθος και η διαμόρφωση της επιφάνειας των ελαστικών και η πίεση των

αεροθαλάμων, η ροπή στρέψης των κινητηρίων αξόνων και ο βαθμός ολίσθησης των τροχών. Σημαντικά επίσης επηρεάζει και ο αριθμός διελεύσεων του μηχανήματος.

Εδάφη με χαμηλή δομική συγκρότηση συνήθως εμφανίζουν μεγαλύτερη συμπίκνωση εκείνων με υψηλή δομική συγκρότηση. Στα πρώτα το μέγεθος της συμπίκνωσης εξαρτάται από το εύρος του μεγέθους των τεμαχιδίων. Αν τα τεμαχίδια είναι του αυτού μεγέθους η συμπίκνωση είναι δυσκολότερη. Αν τα τεμαχίδια παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ως προς το μέγεθός τους, η συμπίκνωση είναι μεγαλύτερη γιατί τα μικρότερα μπορούν να μετακινηθούν και να εισχωρήσουν στους πόρους των μεγαλύτερων.

Στα εδάφη με υψηλή δομική συγκρότηση η συμπίκνωση εξαρτάται από τις ιδιότητες των συστημάτων και όχι των τεμαχιδίων.

Ο ρόλος της εδαφικής υγρασίας στη συμπίκνωση του εδάφους είναι πολύ σημαντικός. Γενικά η συμπίκνωση αυξάνεται με αύξηση της υγρασίας μέχρι ενός ορίου (άριστη υγρασία για συμπίκνωση) και μετά ελαττώνεται. Η άριστη αυτή υγρασία συμπίκνωσης εξαρτάται πολύ από τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Στην κατάσταση αυτή θα πρέπει να αποφεύγεται η κυκλοφορία των μηχανημάτων και η κατεργασία.

Η πίεση που ασκεί ο τροχός του μηχανήματος στο έδαφος (πίεση επαφής) συγκαταλέγεται μεταξύ των κυριότερων παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπίκνωση. Η πίεση επαφής εξαρτάται απόλυτα, όπως γίνεται κατανοητό, από το φορτίο των τροχών (δυναμικό φορτίο) και την επιφάνεια επαφής τροχού εδάφους. Η επιφάνεια αυτή επαφής επηρεάζεται από το πλάτος και τη διάμετρο του τροχού, η οποία καθορίζει το μήκος επαφής. Επηρεάζεται όμως η επιφάνεια και από την πίεση των αεροθαλάμων και τα χρησιμοποιούμενα αντίβαρα. Τα αντίβαρα χρησιμοποιούνται για επαύξηση του βαθμού απόδοσης των ελκυστήρων στην έλξη (αποδιδόμενη ισχύς στην έλξη/εισερχόμενη ισχύς στους κινητήριους άξονες) και του συντελεστή έλξης (δύναμη έλξης/δυναμικό φορτίο κινητηρίων τροχών). Η μεταβολή των δύο αυτών χαρακτηριστικών (πίεση αεροθαλάμων, αντίβαρα) αποτελεί κοινή πρακτική των γεωργών.

Το ύψος των πελμάτων επηρεάζει σαφώς τη συμπίκνωση. Η επιλογή επομένως των κατάλληλων ελαστικών επιδρά θετικά στη συμπίκνωση. Οι μέγιστες τάσεις και η συμπίκνωση παρατηρούνται γενικώς στο μέσο επίπεδο των τροχών.

Γενικά, αν και το φαινόμενο είναι πολύ πολύπλοκο, με αύξηση της πίεσης επαφής αυξάνεται και το βάθος της συμπίκνωσης. Παρατηρείται όμως αύξηση της

συμπύκνωσης με μεγαλύτερο βάρος του τροχού αν και η πίεση επαφής παραμένει σταθερή. Επίσης παρατηρείται μειωμένη συμπύκνωση όταν αυξάνεται η επιφάνεια επαφής των ελαστικών με αύξηση της διαμέτρου και όχι του πλάτους. Η αύξηση της διαμέτρου αυξάνει το μήκος επαφής. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο αντί να χρησιμοποιούνται δίδυμοι τροχοί, να χρησιμοποιούνται τροχοί της αυτής διαμέτρου και στους δύο άξονες (ελκυστήρες με 4 ίσους κινητήριους τροχούς). Πολλές φορές είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται πολυαξονικά μηχανήματα για την καλύτερη κατανομή του βάρους. Το βάθος της συμπύκνωσης επηρεάζεται επίσης και από τη βύθιση των τροχών. Μεγάλη βύθιση προκαλεί συμπύκνωση σε μεγαλύτερο βάθος.

Εκτός της πίεσης επαφής σημαντικό ρόλο παίζει στο μέγεθος της συμπύκνωσης και το μέγεθος της ροπής στρέψης των κινητηρίων τροχών. Γενικώς η μεγαλύτερη ροπή στρέψης προκαλεί συμπίεση σε μεγαλύτερο βάθος και πλάτος

Η ροπή στρέψης που αναπτύσσεται στον τροχό μετατρέπεται στο σημείο επαφής τροχού-εδάφους σε ώθηση του εδάφους και κατ'ακολουθία σε δύναμη έλξης. Ανάλογα με το φορτίο που πρέπει να έλξει ο ελκυστήρας θα παρατηρηθεί και αντίστοιχη ολίσθηση του τροχού. Το μέγεθος της ολίσθησης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως κατάσταση του εδάφους, μηχανική σύσταση, υγρασία, ελαστικά, βάρος τροχών κ.ά. Η εμφάνιση της ολίσθησης αυτής, πέραν των άλλων δυσμενών επιπτώσεων, όπως αυξημένη κατανάλωση καυσίμου, καταστροφή ελαστικών κ.ά. έχει σημαντική επίδραση στη συμπύκνωση του εδάφους. Με αύξηση της ολίσθησης προκαλείται μεγαλύτερη συμπύκνωση. Γενικά ολίσθηση άνω του 15% θα πρέπει να αποφεύγεται. Εκτός της συμπύκνωσης η ολίσθηση προκαλεί γενικότερη παραμόρφωση των εδαφών.

Επειδή η συμπεριφορά του εδάφους είναι ιξωδοελαστική (viscoelastic) για να επιδράσει μία τάση και να εμφανιστεί παραμόρφωση απαιτείται κάποιος χρόνος. Έτσι παρατηρείται ότι το ίδιο μηχανήμα προκαλεί μεγαλύτερη και σε μεγαλύτερο βαθμό συμπίεση όταν κινείται αργά απ'ότι όταν κινείται γρήγορα. Η μεγάλη όμως ταχύτητα συνήθως απαιτεί πολύ μεγαλύτερες δυνάμεις έλξης και μεγαλύτερες ροπές με αποτέλεσμα και μεγαλύτερες ολισθήσεις. Η επιλογή επομένως της ταχύτητας μετακίνησης πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

Εκτός όσων αναφέρθηκαν, σημαντική είναι και η συμβολή του αριθμού των διελεύσεων του γεωργικού μηχανήματος. Παρατηρείται γενικώς ότι η αύξηση του αριθμού των διελεύσεων προκαλεί συσσωρευτικά αποτελέσματα στη συμπύκνωση. Το έδαφος συμπυκνώνεται περισσότερο και σε μεγαλύτερο πλάτος και βάθος.

Εντατικές έρευνες των τελευταίων ετών που αφορούν τη συμπίκνωση του εδάφους οδήγησαν στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων απλών ή πολυσύνθετων με τα οποία περιγράφεται και προβλέπεται η συμπεριφορά του εδάφους όταν υπόκειται σε συμπίεση.

Η συμπίκνωση του εδάφους προκαλεί μεταβολές των διαφόρων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων όπως φαινομενική πυκνότητα, ολικό πορώδες, κατανομή μεγέθους πόρων, αεροπορώδες, διηθητικότητα, αντοχή, αντίσταση στη διείσδυση. Για να εκτιμηθεί ο βαθμός συμπίκνωσης αρκεί να μετρηθεί ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά. Οι προσδιορισμοί και οι μετρήσεις αυτές είτε γίνονται στο εργαστήριο με τη χρησιμοποίηση αδιατάραχτων δειγμάτων εδάφους είτε και στον αγρό.

Χρησιμοποιείται περισσότερο για την εκτίμηση της συμπίκνωσης στον αγρό η μέθοδος του διεισδυσίμετρου (penetrometer). Το διεισδυσίμετρο αποτελείται από μία μεταλλική βέργα που καταλήγει σε ένα κωνικό άκρο ορισμένων διαστάσεων. Το κωνικό άκρο διεισδύει στο έδαφος στο επιθυμητό βάθος. Το πηλίκο της δύναμης διείσδυσης δια του εμβαδού της βάσης του κώνου ονομάζεται αντίσταση στη διείσδυση ή δείκτης κώνου (CI = cone index).

Η διείσδυση του οργάνου επιτυγχάνεται είτε με τη μυϊκή δύναμη του χειριστή είτε μηχανικά. Σε ειδική θέση υπάρχει βαθμολογημένη κλίμακα. Σ'ορισμένα σύγχρονα όργανα υπάρχει δυνατότητα καταγραφής των ενδείξεων έτσι ώστε ουσιαστικά να χαρτογραφείται το έδαφος.

Η συμπίκνωση του εδάφους επιδρά άμέσως και εμμέσως στην ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών.

Για το φύτευμα των σπόρων είναι γνωστό ότι θα πρέπει να υπάρχει άμεση επαφή με τη στερεά φάση ώστε να προσλάβουν νερό. Επομένως μία μικρή συμπίκνωση είναι απαραίτητη. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με ελαφρύ κυλίνδρισμα.

Και η ανάπτυξη των ριζών επίσης υποβοηθείται από μία σχετική συμπίκνωση.

Μεγάλες όμως συμπεκνώσεις δυσκολεύουν την ανάπτυξη των ριζών, την κυκλοφορία του αέρα και την κίνηση του νερού με αποτέλεσμα κακή ανάπτυξη των φυτών και μείωση της παραγωγής. Αν η συμπίκνωση παρουσιάζεται με μορφή σκληρού στρώματος (hard pan) τα αποτελέσματα στην ανάπτυξη και τις αποδόσεις είναι δυσμενέστερα.

Αποτελέσματα πολλών προσφάτων ερευνητικών εργασιών δείχνουν ότι η συμπίκνωση γενικώς προκαλεί μείωση του όγκου των ριζών και μείωση των αποδόσεων ιδιαίτερα σε φυτά ευαίσθητα όπως πατάτες, καλαμπόκι, βαμβάκι, κ.ά. Παρατηρείται μάλιστα ότι σε βαριά κακώς στραγγιζόμενα εδάφη η συμπίκνωση προκαλεί μεγάλες μειώσεις. Βαρύτεροι ελκυστήρες και μηχανήματα προκαλούν μεγαλύτερη συμπίκνωση και μεγαλύτερη μείωση των αποδόσεων.

Σ' άλλες εργασίες εμφανίζεται ότι η συμπίκνωση δεν έχει επίδραση, σ' ορισμένες μάλιστα ότι έχει και θετική δράση. Η αντιφατικότητα αυτή των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Οι ερευνητές δεν χρησιμοποιούν, όλοι ίδια μεγέθη τάσεων για τη συμπίκνωση. Η συμπίκνωση όπως είναι γνωστό επηρεάζεται και από τη μηχανική σύσταση και από την υγρασία του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά αυτά δεν είναι κοινά στις ερευνητικές εργασίες. Τέλος τα καλλιεργούμενα είδη δεν έχουν όλα τις αυτές ανοχές ή απαιτήσεις, κυρίως λόγω του διαφορετικού τρόπου έκπτυξης των ριζών. Η μέγιστη παραγωγή σε πηλοαμμώδες έδαφος επιτυγχάνεται με πυκνότητα, στο βάθος 0-20cm, γύρω στον 1,35t/m³. Μικρότερη ή μεγαλύτερη μειώνει τις αποδόσεις. Μεγαλύτερη του 1,5t/m³ μειώνει υπερβολικά την απόδοση.

Από όσα αναφέρθηκαν γίνεται φανερό ότι θα πρέπει να λαμβάνεται κάθε μέριμνα ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατό η συμπίκνωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί:

1. Με την αποφυγή χρησιμοποίησης μηχανημάτων που αναπτύσσουν μεγάλες τάσεις επαφής των τροχών με το έδαφος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν απαιτούνται πολλαπλές διελεύσεις στον αγρό. Για 5-10 διελεύσεις ερευνητές συστήνουν, να μην ξεπερνά η πίεση επαφής τα 70 kPa.
2. Με τη χρησιμοποίηση ειδικών ελκυστήρων τύπου εργαλειοφόρων αυτοκινούμενων δοκών (gantry) ή ελκυστήρων με διέλευση από σταθερές προκαθορισμένες τροχιές (μη καλλιεργημένες).
3. Με την αποφυγή κυκλοφορίας και εργασίας των μηχανημάτων σε αγρούς με υγρασία κοντά στην άριστη για τη συμπίκνωση.
4. Με την αποφυγή χρήσης παρελκομένων μηχανημάτων που απαιτούν μεγάλες ροπές στρέψης των κινητηρίων αξόνων και προκαλούν και μεγάλη ολίσθηση. Συνιστάται η μέγιστη ολίσθηση να μην ξεπερνά το 15%. Η χρησιμοποίηση ενεργών (δυναμοδοτούμενων) μηχανημάτων συμβάλλει θετικά.

5. Με την υιοθέτηση συστημάτων μειωμένης κατεργασίας που αφήνουν φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια στην επιφάνεια του εδάφους και ανέπαφο το ριζικό σύστημα.

Από τα πιο πάνω μέτρα αυτά που μπορεί ευκολότερα να ρυθμίσει ο γεωργός είναι: Το βάρος των τροχών και η πίεση των αεροθαλάμων, ο αριθμός των διελεύσεων, η κατεργασία με ενδεικνυόμενη υγρασία του εδάφους και ταχύτητα, η επιλογή των παρελκόμενων μηχανημάτων και εν μέρει και συστήματα κατεργασίας με διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων.





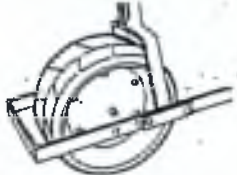
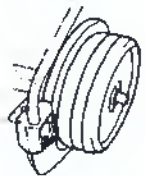



Ο αριθμός των διελεύσεων στις διάφορες καλλιέργειες μπορεί να κυμαίνεται από τις ελάχιστες (4-6) για χειμερινά σιτηρά, μέχρι 25 ή και περισσότερες για εαρινές αρδευόμενες καλλιέργειες (βαμβάκι). Στην τελευταία περίπτωση, αν η διέλευση των μηχανημάτων είναι τυχαία υπολογίζεται ότι συμπιέζεται μέχρι και το 90% της επιφάνειας. Για την αποφυγή της ανεπιθύμητης αυτής κατάστασης είναι δυνατό να υιοθετηθούν συστήματα καλλιέργειας όπου τα γεωργικά μηχανήματα διέρχονται από σταθερές και μόνιμες θέσεις προκαλώντας έτσι συμπίεση σε μικρό ποσοστό του εδάφους.

Αν, παρά τις φροντίδες, τα εδάφη παρουσιάσουν προβλήματα συμπύκνωσης θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα και να χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές για τη διόρθωσή της. Συνήθεις πρακτικές, είναι η κατεργασία σε βάθος μεγαλύτερο εκείνου που εμφανίζεται η συμπύκνωση. Η κατεργασία στις περιπτώσεις αυτές αναφέρεται και ως βαθιά ή υποδάφεια άροση και ενεργείται είτε με ειδικά εργαλεία με δόντια, (εδαφοσχίστες και υπεδαφοκαλλιεργητές) είτε σπανίως και με κλασσικά υνάροτρα.

Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι η ισχύς που απαιτείται για την κατεργασία του εδάφους σε βάθος μεγαλύτερο του συνήθους είναι μεγάλη. Απαιτούνται ως εκ τούτου μεγάλης ισχύος και βάρους ελκυστήρες για να θεραπεύσουν το πρόβλημα. Ταυτόχρονα όμως συμβάλλουν και στη δημιουργία προβλήματος εκ νέου. Δεν πρέπει να διαφεύγει της προσοχής ότι κατά την κατεργασία με υνάροτρο οι τροχοί αυλακιάς των ελκυστήρων συμπιέζουν το έδαφος στο βάθος άροσης. Να τονιστεί ωσαύτως ότι μία και μόνο κατεργασία σπάνια μπορεί να αποκαταστήσει τη δομή. Θα χρειαστούν και δευτερεύουσες, που αυξάνουν το κόστος και επιβαρύνουν το έδαφος. **Οι προσπάθειες επομένως θα πρέπει να κατευθύνονται κυρίως στο να μη δημιουργούνται προβλήματα συμπύκνωσης παρά στο να θεραπεύονται** (Τσατσαρέλη Κ. 2000)



Σχήμα: Εδάφη που έχουν υποβαθμιστεί εξαιτίας της συμπίεσης

Τύπος		Τοποθέτηση	Εργασία
Μεταλλικός φαρός		Εμπρός Πίσω	Ρύθμιση βάθους Ρύθμιση βάθους συμπίεση
Μεταλλικός ή με επικάλυψη ελαστικού		Ενδιάμεση	Συμπίεση του σπόρου
Μεταλλικός φαρός σε σχήμα V		Πίσω	Ρύθμιση βάθους συμπίεση
Φαρός με επικάλυψη ελαστικού		Εμπρός Πίσω	Ρύθμιση βάθους Ρύθμιση βάθους συμπίεση
Πολύ φαρός με επικάλυψη ελαστικού		Πίσω	Ρύθμιση βάθους
Πλευρικός με επικάλυψη ελαστικού		Πλευρική	Ρύθμιση βάθους
Διαβολό ή σε V μεταλλικοί λείοι ή οδοντωτοί		Πίσω	Ρύθμιση βάθους συμπίεση
Στενοί σε V		Πίσω	Ρύθμιση βάθους συμπίεση
Διπλοί πλευρικοί		Πλευρική	Ρύθμιση βάθους

Γροχοί συμπίεσης και ρυθμίσης βάθους μηχανών σποράς ακριβείας.

ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

1. Εισαγωγή

Με τη γενική έννοια, ο όρος *Βιολογική ποικιλότητα ή βιοποικιλότητα*, αναφέρεται στη ποικιλότητα των διαφόρων μορφών ζωής: στα διάφορα είδη φυτών, ζώων, φυκών, βρύων, μυκήτων και μικροοργανισμών, στα γονίδια που τα είδη περιέχουν και στα οικοσυστήματα, των οποίων τα είδη είναι τα βιοτικά συστατικά τους (Begon κ.ά. 1996). Ο όρος βιοποικιλότητα, ως συντομογραφία του όρου βιολογική ποικιλότητα, καθιερώθηκε το 1986 σε συνέδριο της Εθνικής Ακαδημίας των Η.Π.Α, σκοπός του οποίου ήταν να εξεταστούν οι συνέπειες από τον περιορισμό του βιοκόσμου του πλανήτη μας και να προταθούν τρόποι διαχείρισης, που θα αποτρέπουν τον περιορισμό τους. Από τότε είναι ένας από τους όρους, που όλο και συχνότερα αναφέρονται στους βιολογικούς κλάδους, ειδικότερα σε αυτούς που ασχολούνται με τη διατήρηση της φύσης.

Στην αρχή του κεφαλαίου αυτού θα αναλυθεί η έννοια της βιοποικιλότητας, ιεραρχώντας τα επίπεδα που τη συγκροτούν και θα αναφερθούν οι αιτίες περιορισμού (μείωσης) της βιοποικιλότητας – με ιδιαίτερη έμφαση στις αιτίες εξαφάνισης ειδών – και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να διασωθεί, εν μέρει τουλάχιστον, η γενετική ποικιλότητα και η ποικιλότητα ειδών. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν οι αξίες της βιοποικιλότητας, οι οποίες συνηγορούν για τη διατήρησή της και στο τέλος στη διαχείριση της βιοποικιλότητας θα τονιστούν τα ιδιαίτερα διαχειριστικά προβλήματα.

2. Γιατί μας ενδιαφέρει η βιοποικιλότητα

Παρά το γεγονός ότι η βιοποικιλότητα στη Γη άρχισε να φθίνει από το 1800, το ενδιαφέρον γι'αυτήν άρχισε να εντείνεται πολύ τη δεκαετία του 1960. Τρεις φαίνεται να είναι οι λόγοι του αυξημένου ενδιαφέροντος για τη βιοποικιλότητα (Wilson 1988): α) οι ταχέως αυξανόμενοι ανθρώπινοι πληθυσμοί υποβαθμίζουν το περιβάλλον με έναν επιταχυνόμενο ρυθμό, ειδικά στις τροπικές περιοχές στις οποίες παρατηρείται και η μεγαλύτερη βιοποικιλότητα, β) μέρος της βιοποικιλότητας που χάνεται δεν είναι αντιστρέψιμη διεργασία, γιατί προκαλείται από την καταστροφή

φυσικών ενδιαιτημάτων και γ) οι επιστήμες ανακαλύπτουν όλο και περισσότερες χρήσεις της βιοποικιλότητας για λογαριασμό του ανθρώπου.

Διαφορετικές επιδιώξεις έχουν διαφορετικές εφαρμογές για τα συστατικά και για το μέγεθος της βιοποικιλότητας που πρέπει να διατηρηθούν. Τρεις κύριες επιδιώξεις για διατήρηση της βιοποικιλότητας είναι (Wilson 1988):

1. Η παρούσα και η δυνητική χρησιμοποίηση συστατικών της βιοποικιλότητας ως βιολογικών πόρων.
2. Η διατήρηση της βιόσφαιρας σε μια κατάσταση που οι λειτουργίες της να στηρίζουν τη ζωή του ανθρώπου.
3. Διατήρηση αυτής καθεαυτής της βιοποικιλότητας.

Η βιοποικιλότητα ως πόρος

Είναι φανερό ότι κάποια συστατικά της βιοποικιλότητας αποτελούν τη βάση για την επιβίωση του ανθρώπου. Από τη μια μεριά κάποια συστατικά, πχ. τα είδη παράγουν υλικά, που χρησιμοποιούνται άμεσα από τον άνθρωπο, όπως τροφή, φαρμακευτικές ουσίες, ξυλεία, κλωστικές ίνες. Από την άλλη μεριά, η βιόσφαιρα γενικότερα και τα οικοσυστήματα ειδικότερα, μέσω των λειτουργιών τους, παρέχουν αξίες πολύτιμες στην υπηρεσία του ανθρώπου ή και απαραίτητες για την επιβίωσή του.

3. Αξίες της βιοποικιλότητας αναδύμενες από τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων

Τα οικοσυστήματα, μέσω των λειτουργιών τους, παρέχουν αξίες πολύτιμες για τον άνθρωπο ή και απαραίτητες για την επιβίωσή του. Ενδεικτικά, κάποιες τέτοιες αξίες είναι :

1. Η διατήρηση υδατικών αποθεμάτων
2. Ο σχηματισμός και η προστασία εδάφους
3. Η ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων
4. Η αποικοδόμηση και η συγκράτηση ρύπων
5. Η σταθερότητα του κλίματος

Οι αξίες αυτές έμμεσα σχετίζονται με την ποικιλότητα ειδών. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της αξίας ενός

οικοσυστήματος και του αριθμού των ενυπαρχόντων στο οικοσύστημα ειδών, αν και κάποιος ελάχιστος αριθμός ειδών πρέπει να υπάρχει, προκειμένου να επιτελείται κάποια συγκεκριμένη λειτουργία. Για παράδειγμα, τα τροπικά βροχοδάση θεωρούνται ως παράγοντας σταθερότητας του κλίματος της Γης. Όπως έχουμε δει η καταστροφή των δασών αυτών συμβάλει στην αύξηση της περιεκτικότητας του ατμοσφαιρικού CO₂ και κατ'επέκταση στις μεταβολές του κλίματος παγκοσμίως. Το επιχείρημα όμως αυτό, ότι δηλαδή η διατήρηση των τροπικών βροχοδασών αποτρέπει τον εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας με CO₂, αναφέρεται στα τροπικά βροχοδάση ως "δάση" και όχι ως οικοσυστήματα με υψηλή βιοποικιλότητα". Η ποικιλότητα παίζει ρόλο μέχρι ένα ελάχιστο μέγεθος, το οποίο είναι απαραίτητο για να επιτελείται μια συγκεκριμένη λειτουργία. Εάν δηλαδή τα τροπικά βροχοδάση του Αμαζονίου είχαν ένα είδος δέντρου και ένα είδος ζώου λιγότερα, η αξία τους στην αποτροπή του εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας με CO₂ θα ήταν μικρότερη; Τροπικά έλη έχουν επίσης υψηλή ικανότητα να δεσμεύουν CO₂ παρόμοια με αυτήν των τροπικών βροχοδασών, παρότι περιέχουν πολύ λιγότερα είδη. Σε γενικές γραμμές, δεν φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ της αξίας των οικοσυστημάτων να επιτελούν κάποιες θεμελιώδεις λειτουργίες και της ποικιλότητάς τους. Ωστόσο, περισσότερη έρευνα χρειάζεται να γίνει στον τομέα αυτόν. (Βερεσόγλου Δ.)

4. Επίπεδα βιοποικιλότητας

Η έννοια του όρου βιοποικιλότητα είναι ευρεία και αναφέρεται σε τρία διαφορετικά επίπεδα: στη γενετική ποικιλότητα, στην ποικιλότητα των ειδών και στην ποικιλότητα οικοσυστημάτων.

4.1 Γενετική ποικιλότητα

Η γενετική ποικιλότητα εκφράζει την κληρονομήσιμη ποικιλότητα γονιδίων, τόσο μέσα σε έναν πληθυσμό όσο και μεταξύ πληθυσμών του ίδιου ή διαφορετικών ειδών. Σε τελευταία ανάλυση αυτή η ποικιλότητα αναφέρεται στις διαφορές μεταξύ των ατόμων στην αλληλουχία του DNA.

Νέα γενετική παραλλακτικότητα δημιουργείται στα άτομα από μεταλλάξεις γονιδίων και χρωμοσώμων και στους πληθυσμούς από τον ανασυνδιασμό των γονιδίων, ως αποτέλεσμα της εγγενούς αναπαραγωγής. Η φυσική επιλογή επενεργεί

στο γονιδιακό απόθεμα ενός σταυρογονιμοποιούμενου πληθυσμού. Η διαφορετική επιβίωση των ατόμων έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της συχνότητας των γονιδίων μέσα στο γονιδιακό απόθεμα. Αυτή η διεργασία είναι γνωστή ως εξέλιξη του πληθυσμού. Η σπουδαιότητα της γενετικής παραλλακτικότητας είναι προφανής: αυτή καθιστά δυνατή τόσο τη φυσική επιλογή όσο και την τεχνητή επιλεκτική επιβίωση, από τον άνθρωπο, καλλιεργούμενων φυτικών ειδών και εκτρεφόμενων ζώων.

4.2 Ποικιλότητα ειδών

Οι πιο ευδιάκριτες μονάδες του βιόκοσμου είναι τα είδη. Γι'αυτό και η βιοποικιλότητα πολύ συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο του πλούτου ειδών, το οποίο αναφέρεται στον αριθμό των ειδών σε μια περιοχή ή σε ένα ενδιαίτημα. Επιβεβαίωση του γεγονότος αυτού είναι οι γενικότερες αναφορές για τη βιοποικιλότητα της Γης οι οποίες παρουσιάζονται με όρους αριθμού ειδών διαφόρων υψηλότερων ταξινομικών ομάδων. Τα είδη οργανισμών στον πλανήτη μας, που μέχρι τώρα είναι γνωστά, δηλαδή έχουν περιγραφεί και ταξινομηθεί, ανέρχονται σε 1,4-1,7 εκατομμύρια. Όσο κι αν φαίνεται παράξενο, τα είδη που ακόμα δεν έχουν περιγραφεί και ταξινομηθεί φαίνεται να είναι πολλαπλάσια των ειδών που μέχρι τώρα έχουν καταγραφεί και ταξινομηθεί. Εκτιμάται ότι ο συνολικός αριθμός των ειδών πλανήτη μας ανέρχεται σήμερα σε 5-30 εκατομμύρια (Erwin 1983, Wilson 1988, Thomas 1990, May 1991)

Τα είδη είναι το επίκεντρο των εξελικτικών μηχανισμών. Η ειδοπλασία (δημιουργία νέων ειδών) και οι εξαφανίσεις ειδών είναι οι κύριες διεργασίες που καθορίζουν τη βιοποικιλότητα, όταν αυτή ορίζεται σε επίπεδο ειδών. Διαρκώς στη Γη δημιουργούνται νέα είδη μέσω δύο κυρίως διεργασιών, της πολυπλοειδίας και της απομόνωσης πληθυσμών. Η πρώτη διεργασία συμβαίνει στα φυτά και αναφέρεται στον πολλαπλασιασμό του αριθμού των χρωμοσώμων, μερικές φορές σε προϋπάρχον είδος και μερικές φορές σε υβρίδια μεταξύ δύο ειδών. Η δεύτερη διεργασία απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο και αναφέρεται στη γεωγραφική απομόνωση ενός από τους πληθυσμούς ενός είδους. Ο απομονωμένος πληθυσμός αποκλίνει στην εξέλιξη του από τους άλλους λόγω κυρίως της ιδιαιτερότητας του περιβάλλοντος του. Συνήθως, η προϊούσα αυτή απόκλιση θα τον καταστήσει νέο είδος.

Ταυτόχρονα με την ειδοπλασία συμβαίνουν και εξαφανίσεις ειδών. Από την εμφάνιση ζωής στον πλανήτη μας μέχρι το 1800, η βιοποικιλότητα έτεινε να αυξάνεται γιατί ο ρυθμός δημιουργίας νέων ειδών ήταν ελαφρώς υψηλότερος από τον ρυθμό εξαφάνισης, εκτός από ορισμένες περιόδους στις οποίες παρατηρήθηκαν μαζικές εξαφανίσεις ειδών. Από το 1800 και μετά, φαίνεται ότι η κατάσταση άρχισε να αντιστρέφεται, επειδή τα είδη εξαφανίζονται σε συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς, οι οποίοι φαίνεται να είναι από τότε υψηλότεροι από τους ρυθμούς δημιουργίας νέων ειδών.

4.3 Ποικιλότητα οικοσυστημάτων

Η ποικιλότητα οικοσυστημάτων αναφέρεται στην ποικιλία των ενδαιτημάτων, των βιοκοινοτήτων και των οικολογικών διεργασιών που συμβαίνουν.

Η ποσοτική εκτίμηση της ποικιλότητας σε επίπεδο ενδαιτηματος ή οικοσυστήματος παραμένει προβληματική. Ενώ είναι εφικτό να προσδιοριστεί η γενετική ποικιλότητα και η ποικιλότητα των ειδών και να προταθούν τρόποι μέτρησής τους, δεν υπάρχει γενικά αποδεκτός ορισμός και αποδεκτή κατάταξη των οικοσυστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, είναι δύσκολο στην πράξη να βρεθεί τρόπος να εκτιμηθεί η ποικιλότητα οικοσυστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο παρά μόνο σε τοπικό και μόνο με βάση τη βλάστηση που αναπτύσσεται. Επιπλέον, τα οικοσυστήματα περιλαμβάνουν και αβιοτικά συστατικά τα οποία σε μεγάλο βαθμό καθορίζονται από το μητρικό πέτρωμα και το κλίμα.

Η ποικιλότητα οικοσυστημάτων αξιολογείται συχνά με μετρήσεις της ποικιλότητας των περιεχομένων ειδών. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να περιλαμβάνει εκτίμηση της σχετικής αφθονίας των ειδών ή να λαμβάνει υπόψη και άλλα γνωρίσματα των ειδών όπως μέγεθος, τροφικό επίπεδο, ταξινομική ομάδα κλπ. Έτσι ένα υποθετικό οικοσύστημα, αποτελούμενο από διάφορα είδη φυτών μόνο, θα έχει χαμηλότερη ποικιλότητα από ένα άλλο με ίδιο αριθμό ειδών αλλά που περιέχει εκτός από φυτά και φυτοφάγους και άρπαγες οργανισμούς. Ο συνυπολογισμός πολλών γνωρισμάτων και ο τρόπος συνυπολογισμού τους προκαλεί δυσκολίες στον καθαρισμό ενός γενικά αποδεκτού δείκτη εκτίμησης της ποικιλότητας οικοσυστημάτων, ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαβάθμιση των διαφόρων ενδαιτημάτων ή οικοσυστημάτων.

5. Αιτίες εξαφάνισης ειδών

Τα διάφορα συστατικά της βιοποικιλότητας στον πλανήτη μας μειώνονται τα τελευταία έτη. Πιο έκδηλη από αυτά είναι η μείωση των υπαρχόντων ειδών, γιατί οι ρυθμοί εξαφάνισης ειδών είναι υψηλότεροι από τους ρυθμούς ειδοπλασίας.

Όλα τα είδη έχουν μια ορισμένη διάρκεια ύπαρξης. Οι εξαφανίσεις ειδών είναι επομένως μια φυσική διεργασία, η οποία συμβαίνει και χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Οι χειρισμοί όμως του ανθρώπου μειώνουν τη διάρκεια ύπαρξης ενός είδους και έτσι αυξάνουν τους ρυθμούς με τους οποίους εξαφανίζονται τα είδη. Οι επιδράσεις αυτές του ανθρώπου μπορούν να είναι είτε άμεσες είτε έμμεσες. Τέτοιες άμεσες επιδράσεις είναι η υπερεκμετάλλευση (κυνήγι, συλλογές), η καταδίωξη (ειδικά για κάποια σαρκοφάγα ζώα που επιτίθενται σε εκτρεφόμενα ζώα) και οι εισαγωγές ξενικών ειδών, που γίνονται τυχαία ή ηθελημένα από τον άνθρωπο. Έμμεσες επιδράσεις είναι οι καταστροφές και οι τροποποιήσεις ενδιαιτημάτων (ρύπανση, τεμαχισμοί). Στις έμμεσες επιδράσεις θα μπορούσε να συμπεριληφθεί και η πιθανολογούμενη μεταβολή του κλίματος λόγω της υπερθέρμανσης της Γης.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται δεδομένα πρόσφατων σχετικά εξαφανίσεων ειδών, που έχουν καταγραφεί σε ηπειρωτικές περιοχές σε νησιά και σε θάλασσες. Φαίνεται ότι τα νησιά και οι ηπειρωτικές περιοχές έχουν συνολικά χάσει σχεδόν τον ίδιο αριθμό ειδών, παρότι η συνολική επιφάνεια των ηπείρων είναι δεκάδες φορές πολλαπλάσια από την αντίστοιχη των νησιών. Ειδικά οι απώλειες των νησιών σε θηλαστικά, πουλιά και ερπετά είναι αρκετά περισσότερες από τις αντίστοιχες απώλειες των ηπειρωτικών περιοχών. Οι απώλειες αυτές προκλήθηκαν κυρίως από εισαγωγές ξενικών ειδών, τα οποία ως άρπαγες ή ως ισχυρότεροι ανταγωνιστές εξαφανίζουν ιθαγενή είδη.

Ιδιαίτερης σπουδαιότητας είναι οι απώλειες ποικιλιών καλλιεργούμενων φυτών και φυλών εκτρεφόμενων ζώων. Ως ποσοστό της παγκόσμιας βιοποικιλότητας, οι απώλειες αυτές είναι ασήμαντες. Η σπουδαιότητα όμως είναι βαρύνουσα για τον άνθρωπο. Περιορίζεται η γενετική παραλλακτικότητα, ειδικά σε εντατικά συστήματα καλλιέργειας και εκτροφής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως γενετική διάβρωση. Κάποιοι από τους γενότυπους αυτούς έχουν μεγάλη σπουδαιότητα για τη συνέχιση γεωργικών πρακτικών σε τοπικό επίπεδο (υπανάπτυκτες χώρες). Από την άλλη πλευρά, χάνονται και άγριοι πληθυσμοί, συγγενείς προς τα καλλιεργούμενα είδη φυτών ή εκτρεφόμενα είδη ζώων και περιορίζονται οι δυνατότητες της γενετικής

βελτίωσης να τους χρησιμοποιήσει σε προγράμματα γενετικής βελτίωσης φυτών ή ζώων. Η σπουδαιότητα τους θα είναι ενδεχομένως πολύ μεγαλύτερη σε περίπτωση που επαληθευθεί η υπόθεση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στον πίνακα 2 συνοψίζονται οι κυριότερες αιτίες εξαφάνισης ειδών, πρόξενος των οποίων είναι ο άνθρωπος. Θα πρέπει να τονιστεί ότι πολλές εξαφανίσεις ειδών ήταν αποτέλεσμα συνδυασμένης δράσης δύο ή περισσότερων παραγόντων-αιτιών.

πίνακας 1. Είδη από κάθε μεγάλη ομάδα οργανισμών που έχουν καταγραφεί ως εξαφανισθέντα σε ηπειρωτικές περιοχές, σε νησιά και σε θάλασσες. Η τελευταία στήλη δείχνει τον συνολικό αριθμό των ειδών κάθε ομάδας στη Γη που έχουν ταξινομηθεί και καταγραφεί. Από τον πίνακα φαίνεται ότι τα νησιά και οι ηπειρωτικές περιοχές έχουν συνολικά χάσει σχεδόν τον ίδιο αριθμό ειδών παρότι η συνολική επιφάνεια των ηπείρων είναι δεκάδες φορές πολλαπλάσια από την αντίστοιχη των νησιών. (Από Reid and Miller 1989.)

	Ηπειρωτικές περιοχές	Νησιά	Θάλασσες	Αριθμός ειδών
Φυτά	245	139	0	250000
Θηλαστικά	30	51	2	4000
Πουλιά	21	92	0	9000
Ερπετά	1	20	0	6300
Αμφίβια	2	0	0	4200
Ψάρια	22	1	0	19100
Ασπόνδυλα	49	48	1	1000000 +
Σύνολο	370	351	3	

Πίνακας 2. Σύνοψη των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για τις εξαφανίσεις σπονδυλωτών που έχουν καταγραφεί. Επίσης, μια εκτίμηση των κινδύνων που

αντιμετωπίζουν τα είδη που χαρακτηρίζονται ως απειλούμενα από τη Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (IUNC). (Από Reid and Miller 1989.)

	Απώλειες	Υπερ-	Εισαγωγή			
Ομάδα	ενδovαιτημάτων	εκμετάλλευση	ειδών	Άρπαγες	Άλλοι	Άγνωστοι
<i>Εξαφανίσεις</i>						
Θηλαστικά	19	23	20	1	1	36
Πουλιά	20	11	22	0	2	37
Ερπετά	5	32	42	0	0	21
Ψάρια	35	4	30	0	4	48
<i>Απειλούμενες εξαφανίσεις</i>						
Θηλαστικά	68	54	6	8	12	-
Πουλιά	58	30	28	1	1	-
Ερπετά	53	63	17	3	6	-
Αμφίβια	77	29	14	-	3	-
Ψάρια	78	12	28	-	2	-

*Οι αριθμοί αναφέρονται στο ποσοστό των ειδών που επηρεάζονται από ένα δεδομένο παράγοντα. Κάποια είδη είναι δυνατόν να επηρεάζονται από περισσότερους του παράγοντες, γ' αυτό το άθροισμα των τιμών κάποιων σειρών υπερβαίνει το 100%.

6. Υπερεκμετάλλευση

Οι εξαφανίσεις πολλών μεγαλόσωμων, φυτοφάγων ιδιαίτερα, ζώων στη Βόρειο Αμερική, στην Αυστραλία, στη Μαδαγασκάρη και στη Νέα Ζηλανδία συνέπεσαν είτε με την άφιξη του ανθρώπου (π.χ. στη Μαδαγασκάρη και στη Νέα Ζηλανδία 1000 περίπου έτη πριν), είτε με την ιδιαίτερη ανάπτυξη του νευρικού συστήματος του ανθρώπου που τον κατέστησε κυρίαρχο είδος στη Γη (π.χ. στη Βόρειο Αμερική και στην Αυστραλία 11.500 με 40.000 έτη πριν). Τα μεγαλόσωμα αυτά ζώα ήταν αρκετά "επικερδής" λείες για τον πρωτόγονο άνθρωπο ή τον πρώτο άποικο. Ταυτόχρονα όμως ήταν και επιδεκτικά για εξαφάνιση, γιατί συγκομιζόνταν (σκοτώνονταν) κάθε έτος πάνω από το 10% του πληθυσμιακού τους μεγέθους, το οποίο είναι το ανώτατο όριο συγκομιδής, που απαιτεί για τα μεγαλόσωμα ζώα η

αιφορική τους διαχείριση, λόγω των χαμηλών ρυθμών αναπαραγωγής τους (Dobson 1996).

Στη σύγχρονη εποχή επίσης, η υπερεκμετάλλευση είναι η βασική αιτία της δραστηκής μείωσης των πληθυσμιακών μεγεθών μεγάλωσωμων ζώων, όπως οι φάλαινες, οι ελέφαντες, οι ρινόκεροι, οι κροκόδειλοι και τα αιλουροειδή. Η απειλή της υπερεκμετάλλευσης δεν εντοπίζεται μόνο στα μεγάλωσωμα ζώα. Το στρείδι των γλυκών νερών ήταν ευρέως διαδεδομένο στους μεγάλους ποταμούς της Δυτικής Ευρώπης. Τα άτομα του είδους αυτού συλλέγονταν για τα κελύφη τους και για τα μαργαριτάρια που περιείχαν. Στην εξαφάνιση του είδους αυτού από το πλείστον των ενδωιτημάτων όπου βρίσκονταν συντέλεσαν και άλλες αιτίες. Ως πλαγκτική μορφή (νεαρό στάδιο ανάπτυξης) το είδος αυτό είναι εκτοπαράσιτο κάποιων ψαριών.

7. Καταστροφές και διαταραχές ενδωιτημάτων

Ο άνθρωπος περιορίζει τον αριθμό των ενδωιτημάτων και υποβαθμίζει την ποιότητά τους με τρεις κυρίως τρόπους: (α) καταστρέφοντας διαθέσιμα για ένα συγκεκριμένο είδος ενδωιτήματα με επέκταση των περιοχών που χρησιμοποιούνται για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση, (β) με τη ρύπανση και (γ) διαταράσσοντας με τις δραστηριότητές του τα είδη που διαβιών στα ενδωιτήματα.

Οι καταστροφές των δασών είναι η πλέον χαρακτηριστική περίπτωση καταστροφής ενδωιτημάτων. Τα περισσότερα από τα φυσικά δάση της εύκρατης ζώνης έχουν καταστραφεί στη διάρκεια των τελευταίων εκατονταετιών. Ενώ πριν από μερικές δεκάδες έτη η καταστροφή των δασών ήταν εντονότερη στις ανεπτυγμένες χώρες λόγω της έντονης χρήσης της ξυλείας για οικοδομικούς κυρίως σκοπούς, η κατάσταση έγινε χειρότερη στις υποανάπτυκτες χώρες μετά την ενεργειακή κυρίως κρίση του 1972.

Η μείωση των τροπικών δασών είναι, κατά μέσο όρο, σήμερα υψηλότερη από 1% ετησίως (Dobson 1996). Στις 49 από τις 61 τροπικές χώρες της Αφρικής και της Ασίας, τα ενδωιτήματα άγριας ζωής καταστράφηκαν σε ποσοστό υψηλότερο από 50%, ενώ σε μερικές από αυτές και σε ποσοστό πάνω από 80%

Τα ενδωιτήματα υποβαθμίζονται από τους ρύπους που δέχονται. Οι ρύποι μπορεί να είναι γεωργικά φάρμακα, τα οποία δρουν επιβλαβώς και σε άλλους οργανισμούς εκτός από εκείνους για τους οποίους εφαρμόστηκαν, η προσθήκη

οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων σε υδατοσυλλογές η οποία επιτείνει το φαινόμενο του ευτροφισμού, η όξινη βροχή η οποία επηρεάζει δυσμενώς χερσαίες φυτοκοινότητες και ιδιαίτερα τον βιόκοσμο των λιμνών.

Το νερό που διαρρέει από αγροτικές, βιομηχανικές και κατοικημένες περιοχές εισρέει μέσα στους ποταμούς και έπειτα καταλήγει στη θάλασσα. Η εισροή νερού φέρει διαλυμένα λιπάσματα και νιτρικά. Η μεγάλη αύξηση της βιομάζας των μακρο- και μικροφυκών, συνέπεια του ανωτέρω, μπορεί να αλλάξει την ισορροπία της οργανικής ύλης στη θάλασσα. Η οργανική ύλη συσσωρεύεται στην επιφάνεια του νερού και στο πυθμένα. Η συσσώρευση λαμβάνει χώρα στο ιζημα με τις υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης, χαμηλά επίπεδα οξυγόνου και υψηλή συγκέντρωση H₂S (υδρόθειου). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθήκες ανοξίας με αποτέλεσμα το θάνατο πολλών τύπων ασπόνδυλων και ψαριών. (http://w.w.w.netcoast.nl/coastlearn/web_site/gr/bio-gr/boxes/eutro.html).

Ο ευτροφισμός είναι ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους κάτω από ορισμένες συνθήκες. Στην ουσία δημιουργείται υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων που προκαλείται από τον εμπλουτισμό των νερών με απορροές θρεπτικών στοιχείων (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και απορρυπαντικά). Τα βακτήρια και τα άλγη γίνονται τόσα πολλά που σχηματίζουν φιλμ (κρούστα) στις υδατικές επιφάνειες προκαλώντας σκίαση στα νερά κάτω από την επιφάνεια. Χωρίς φως, τα φύκια και τα βακτήρια στον πυθμένα θανατώνονται προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε άλλα βακτήρια που συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Καθώς ο αριθμός των βακτηρίων αυξάνεται η κατανάλωση του οξυγόνου αυξάνεται δραματικά με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οξυγόνο για τα ψάρια. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν ενώ ακολουθούν και τα βακτήρια δημιουργώντας ένα νεκρό οικοσύστημα. Αποτέλεσμα του ευτροφισμού είναι η μείωση της ποιότητας του νερού, η μεταβολή της χλωρίδας και πανίδας των νερών, η μείωση της αισθητικής αξίας καθώς και οι περιορισμένες δυνατότητες για αναψυχή.

(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%CF%84%CF%8...>).

Τέλος, ο άνθρωπος με την παρουσία του διαταράσσει την διαβίωση κάποιων ειδών και επηρεάζει έτσι δυσμενώς την αφθονία τους. Χαρακτηριστική είναι η ενόχληση που προκαλεί στις πεταλούδες της Ρόδου. Ως ακμαία οι πεταλούδες αναπαύονται, χωρίς να τρέφονται, κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο σε κοιλάδα της Ρόδου, στην οποία τα ρέοντα νερά και η αναπτυσσόμενη βλάστηση καθιστούν το

μικροκλίμα της κοιλάδας αρκετά δροσερό το καλοκαίρι. Στα τέλη του καλοκαιριού οι πεταλούδες μετακινούνται σε άλλες περιοχές της Ρόδου, όπου εναποθέτουν τα αβγά τους. Στις περιοχές αυτές το έντομο αναπτύσσεται ως προνύμφη και νύμφη και προοδευτικά σε ακμαίο στις αρχές καλοκαιριού, οπότε έρχεται πάλι στην κοιλάδα. Επειδή ως ακμαία οι πεταλούδες δεν τρέφονται, χρειάζεται να διατηρήσουν αρκετή ενέργεια προκειμένου να μετακινηθούν στο τέλος του καλοκαιριού, για να εναποθέσουν τα αβγά τους. Για τον λόγο αυτό κινούνται ελάχιστα κατά τη διάρκεια της ανάπαυσής τους. Οι επισκέπτες όμως της κοιλάδας διαταράσσουν τις πεταλούδες και τις αναγκάζουν να κινούνται με αποτέλεσμα τα αποθέματα ενέργειας στο σώμα τους να μειώνονται σε βαθμό που να μην είναι επαρκή για την μετέπειτα μετακίνησή τους. Έτσι υψηλότερο ποσοστό πεταλούδων πεθαίνει πριν την απόθεση των αβγών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται συνεχώς το πληθυσμιακό τους μέγεθος κατά τα τελευταία έτη.

8. Εισαγόμενα είδη

Εισβολές ξενικών ειδών σε νέες για αυτά περιοχές συμβαίνουν μερικές φορές με φυσικές διεργασίες, χωρίς να συμβάλει είτε άμεσα είτε έμμεσα ο άνθρωπος. Στο πλείστον όμως των περιπτώσεων ο άνθρωπος είναι η αιτία εισαγωγής τέτοιων ειδών σε νέες γεωγραφικές περιοχές. Για παράδειγμα, η ανακάλυψη της Αμερικής συνοδεύτηκε με εισαγωγή σ' αυτή πολλών ειδών κυρίως φυτικών. Πολλά εισαγόμενα είδη εναρμονίζονται με τη δομή των νέων βιοκοινοτήτων χωρίς καμία ιδιαίτερη επίδραση. Κάποια όμως είναι υπεύθυνα για σοβαρές μεταβολές στα ιθαγενή είδη και στις φυσικές βιοκοινότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εισαγωγή στην Αυστραλία κάκτων του γένους *Opuntia*, οι όποιοι έτειναν να εξαφανίσουν τα υπάρχοντα λιβαδικά είδη από τις ξηροθερμικές περιοχές της, επειδή είναι πιο ανταγωνιστικά στη χρησιμοποίηση του περιοριστικού νερού. Άλλο παράδειγμα είναι η εισαγωγή ενός φιδιού των δένδρων (*Boiga irregularis*) στο μικρό νησί του Ειρηνικού Guam, το οποίο ως άρπαγας μείωσε δραστικά, μέχρι εξαφάνισης ορισμένα, τα πληθυσμιακά μεγέθη 10 ενδημικών ειδών δασικών πουλιών.

Περισσότερο ευαίσθητες στις εισαγωγές ξενικών ειδών αποδείχθηκαν οι βιοκοινότητες νησιών. Ξενικά είδη φυτών και ζώων τείνουν να αποκλείσουν ανταγωνιστικά αντίστοιχα ιθαγενή είδη. Ιδιαίτερα καταστρεπτική για την πανίδα των νησιών είναι η εισαγωγή ξενικών αρπακτικών ειδών.

Τσως είναι λάθος να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η εισαγωγή ειδών σε νέες γεωγραφικές περιοχές θα μειώσει απαραίτητα την ποικιλότητα ειδών των περιοχών αυτών. Για παράδειγμα, υπάρχουν αρκετά είδη φυτών και ζώων (σπονδυλωτών και ασπόνδυλων) που βρίσκονται στην ηπειρωτική Ευρώπη αλλά λείπουν από τα νησιά της Βρετανίας. Πολλά από τα είδη αυτά βρίσκονταν στα νησιά της Βρετανίας πριν από τους παγετώνες, χωρίς όμως να καταφέρουν να επαναποικίσουν βορειότερα μετά την υποχώρηση των παγετώνων. Η εισαγωγή των ειδών αυτών στη Βρετανία αναμένεται να αυξήσει την ποικιλότητα ειδών της Βρετανίας. (Begon 1996).

Οι απειλές για την ποικιλότητα των ειδών προέρχονται από εισαγωγές πολύ ανταγωνιστικών ειδών ή αρπάγων, από τη Ευρασία κυρίως, σε οικοσυστήματα με ενδημικά είδη ή σε περιοχές του Νέου Κόσμου.

9. Υπερθέρμανση του πλανήτη

Μια μεγάλη, αν και προς το παρόν απρόβλεπτη, μεταβολή στο φυσικό περιβάλλον είναι ενδεχόμενο να συμβεί κατά τον επόμενο αιώνα ως αποτέλεσμα των μεταβολών του κλίματος και της κατανομής των βροχοπτώσεων στη Γη λόγω της πιθανολογούμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ενδεχόμενη ύψωση της μέσης θερμοκρασίας της Γης θα μετακινήσει τις πιο ευνοϊκές για είδος περιοχές είτε σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη είτε σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Τα είδη επομένως που δυσκολεύονται να μετακινηθούν θα αντιμετωπίσουν έντονα το πρόβλημα της εξαφάνισης. Επίσης, με ύψωση της μέσης θερμοκρασίας της Γης, αφιλόξενες περιοχές, όπως η έρημος Σαχάρα, θα διευρυνθούν και ενδεχομένως θα καταστούν μη προσπελάσιμες για πολλά μεταναστευτικά είδη. (Βερεσόγλου)

Οι κλιματικές αλλαγές συντελούν σημαντικά στη μείωση της ποικιλίας στις ζωής στη γη. Σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες του ΟΗΕ, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ανάμεσα στις οποίες και αυτές που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, έχουν προκαλέσει τη σοβαρότερη απειλή για τα είδη που κατοικούν στο πλανήτη, από τότε που εξαφανίστηκαν οι δεινόσαυροι, πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια. Σήμερα εξαφανίζεται ένα είδος κάθε 20 λεπτά της ώρας περίπου.

Σε όλο τον κόσμο η βιοποικιλότητα – το όνομα που έχει δοθεί στον αριθμό και τη ποικιλία ζώων και φυτών σε μια δεδομένη περιοχή – χάνεται ταχύτερα από

ποτέ άλλοτε. Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις, τα δύο τρίτα των φυσικών οικοσυστημάτων παρακμάζουν.

Η ετήσια "Κόκκινη λίστα" απειλούμενων ζώων και φυτών της Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης (IUCN) πρόσφατα περιείχε το μεγαλύτερο αριθμό απειλούμενων ειδών που έχει σημειωθεί ποτέ.

Οι αλλαγές αυτές έχουν σοβαρές επιπτώσεις για την οικονομία, την ασφάλεια και την υγεία. Στην Ευρώπη ήδη βλέπουμε ενδείξεις μείωσης των αλιευτικών αποθεμάτων, καταστροφής του εδάφους, ζημιών από πλημμύρες και εξαφάνισης της άγριας ζωής. Σε άλλα μέρη του κόσμου, οι απώλειες προκύπτουν ακόμη πιο γρήγορα και κάθε χρόνο, για παράδειγμα, εξαφανίζονται τεράστιες εκτάσεις τροπικών δασών.

Οι κλιματικές αλλαγές δεν είναι φυσικά η μόνη αιτία. Η αστικοποίηση, η αποψίλωση των δασών, οι βιομηχανικές γεωργικές πρακτικές και η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων παίζουν και αυτά το ρόλο τους. Ωστόσο, η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας που συντελείται το τελευταίο αιώνα, ήδη επηρεάζει τα φυσικά συστήματα, και ο αντίκτυπος αυτός θα γίνει ακόμα πιο δραματικός στο μέλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στις βροχοπτώσεις και τα καιρικά συστήματα επηρεάζουν τον τρόπο ζωής και ανάπτυξης.

Η δράση για τη διατήρηση της φύσης είναι σημαντική καθώς η απώλεια βιοποικιλότητας ενισχύει τον αντίκτυπο των κλιματικών αλλαγών. Όσο περισσότερο υποβαθμίζονται τα οικοσυστήματα, τόσο λιγότερο μπορούν τα φυσικά συστήματα άμυνας του πλανήτη να αντιμετωπίσουν τον αντίκτυπο της ανόδου της θερμοκρασίας και των ακραίων καιρικών φαινομένων. Ένα παράδειγμα ήταν ο τυφώνας Κατρίνα, που έπληξε τις νοτιοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες το 2004 και ήταν μια από τις χειρότερες φυσικές καταστροφές που χτύπησαν ποτέ τη χώρα. Η απώλεια των παράκτιων βαλτότοπων που προστάτευαν τη Νέα Ορλεάνη από τις πλημμύρες και τις καταιγίδες, έκανε ακόμη χειρότερο τον αντίκτυπο της θεομηνίας στην πόλη.

Τα δάση, οι ωκεανοί και άλλες φυσικές περιοχές παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιβράδυνση της υπερθέρμανσης του πλανήτη καθώς απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το βασικό αέριο που ευθύνεται για τις κλιματικές αλλαγές, από την ατμόσφαιρα. Η απώλεια μεγάλων εκτάσεων τροπικών δασών και η υποβάθμιση πολλών ωκεανών σημαίνει ότι αυτή η φυσική λειτουργία διαταράσσεται, πράγμα που με τη σειρά του επιταχύνει το ρυθμό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Πολλοί άνθρωποι έχουν καταλάβει ότι η διατήρηση των φυσικών συστημάτων είναι σημαντική και οι περισσότερες κυβερνήσεις του κόσμου έχουν

συνυπογράψει τη Συνθήκη περί Βιολογικής Ποικιλότητας του ΟΗΕ του 2002, η οποία τους δεσμεύει να επιβραδύνουν σημαντικά την απώλεια βιοποικιλότητας έως το 2010. Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πήγαν ένα βήμα παραπέρα και συμφώνησαν το 2001 να αναστείλουν την απώλεια βιοποικιλότητας έως την ίδια χρονιά. Ωστόσο, θα απαιτηθούν περαιτέρω προσπάθειες σε όλα τα επίπεδα για την επίτευξη των στόχων σε τομείς όπως η γεωργία, η περιφερειακή ανάπτυξη, η ενέργεια, οι μεταφορές και το εμπόριο.

Στην ΕΕ, η βασική δράση για την προστασία της βιοποικιλότητας είναι η δημιουργία του δικτύου Natura 2000, ενός ενιαίου δικτύου προστατευμένων περιοχών. Οι σύνδεσμοι ανάμεσα σε αυτές τις περιοχές πρέπει να ενισχυθούν και οι μελλοντικές δράσεις θα πρέπει να προβλέπουν τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στους φυσικούς βιοτόπους. Η κατάλληλη διαχείριση του ευρύτερου τοπίου, με τρόπους που θα επιτρέπουν τη μετακίνηση και την εξάπλωση ειδών, θα είναι ζωτικής σημασίας για τη συμπλήρωση του δικτύου. (www.ert.gr/nature/poiotita-zois/apeli/tis/biopikilotitas.htm).

10. Εμπορική γεωργία και δασοπονία

Μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες οι γεωργοί, οι κτηνοτρόφοι και οι λιβαδοπόνοι βελτίωναν και διατηρούσαν έναν τεράστιο αριθμό ποικιλιών φυτών και φυλών ζώων. Η ποικιλότητα αυτή έχει συρρικνωθεί τα τελευταία έτη, ειδικά μετά την "πράσινη επανάσταση" όταν προέκυψαν από βελτιωτικά προγράμματα ελάχιστες υψηλοαποδοτικές ποικιλίες καλλιεργούμενων φυτών ή φυλές εκτρεφόμενων ζώων οι οποίες εκτόπισαν και εξαφάνισαν πάμπολες προϋπάρχουσες ποικιλίες ή φυλές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να συρρικνωθεί η γενετική ποικιλότητα των καλλιεργούμενων φυτών και των εκτρεφόμενων ζώων. Κατά παρόμοιο τρόπο, δάση με μεγάλο πλούτο ειδών μετατρέπονται σε υψηλοαποδοτικές φυτείες ενός είδους δένδρου, σε βαθμό που τεράστιες δασικές εκτάσεις να παίρνουν μια όψη αντίστοιχη με εκείνη που δίνει μια εκτεταμένη περιοχή καλλιεργούμενη αποκλειστικά με καλαμπόκι.

11. Τρόποι διατήρησης (διάσωσης) της βιοποικιλότητας

Η διατήρηση της βιοποικιλότητας γίνεται με τρεις τρόπους: με τη θεσμοθέτηση προστατευμένων περιοχών, την αιχμαλωσία (captive) και τη δημιουργία τράπεζας γενετικού υλικού.

Η θεσμοθέτηση προστατευμένων περιοχών είναι ίσως η πλέον αποδεκτή, γιατί οι οργανισμοί διατηρούνται στο φυσικό τους περιβάλλον και έτσι είναι εφικτή η προσαρμογή των πληθυσμών μέσω φυσικών εξελικτικών διεργασιών. Το μεγάλο μειονέκτημα είναι η μεγάλη επιφάνεια, που πρέπει να έχουν οι προστατευμένες περιοχές, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι εξαφάνισης μεγάλων κυρίως ζώων. Για πολλά τέτοια ζώα η ελάχιστη επιφάνεια πρέπει να είναι τουλάχιστον 20000 Km (επιφάνεια ίση περίπου με την Πελοπόννησο, Dobson 1996). Ζώα μπορούν να διατηρούνται και να πολλαπλασιάζονται σε συνθήκες αιχμαλωσίας. Πληθυσμοί φυτών μπορούν να διατηρούνται σε τράπεζες γενετικού υλικού (σπόροι ή κυτταροπλάσματα αναπαραγωγικού υλικού). Παρόμοιες τεχνικές είναι υπό ανάπτυξη και για διατήρηση ζωικού υλικού (αποθήκευση και διατήρηση εμβρύων, ωαρίων και σπέρματος) αλλά είναι πολύ προβληματικές. Οι τεχνικές αυτές έχουν υψηλό κόστος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα πολύ μικρό ποσοστό των ειδών του πλανήτη. Πρόσθετα μειονεκτήματα για τα ζώα που διατηρούνται και αναπαράγονται σε αιχμαλωσία είναι η μείωση της γενετικής ποικιλότητας και η υψηλή πιθανότητα να παρουσιασθούν φαινόμενα ομομιξίας.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι ο άνθρωπος με την καλλιέργεια κάποιων φυτικών ειδών ή με την εκτροφή κάποιων ειδών ζώων συμβάλλει στη διάσωσή τους.

12. Αρχή της προνοητικότητας

Είναι γεγονός ότι τώρα ένα σχετικό μικρό ποσοστό της παγκόσμιας βιοποικιλότητας είναι εκμεταλλεύσιμο από τον άνθρωπο. Είναι όμως πιθανό να είναι σπουδαία άλλα συστατικά της βιοποικιλότητας για διάφορους λόγους: (α) γιατί έχουν αξίες, οι οποίες δεν έχουν ακόμη αποκαλυφθεί ή δεν χρησιμοποιούνται προς το παρόν και (β) μπορούν να καταστούν χρήσιμα στο μέλλον όταν αλλάξουν οι συνθήκες.

Αυτές οι σκέψεις ενισχύουν την άποψη να διατηρηθεί η βιοποικιλότητα, επειδή δυνητικά κάποια συστατικά της μπορεί να είναι χρήσιμα εις το μέλλον. Αν και αυτή η επιχειρηματολογία είναι λογική δεν φαίνεται, τουλάχιστον με οικονομικούς όρους, να

είναι πειστική στις πολιτικές ηγεσίες, ειδικά όταν ληφθεί υπόψη το κόστος διατήρησης της βιοποικιλότητας, σε σχέση με τις πιθανές ωφέλειες που θα προκύψουν.

13. Συμπεράσματα για τις αξίες της βιοποικιλότητας ως πόρου

Η πείρα και γενικά η θεωρία της Οικολογίας δείχνουν ότι όλα τα είδη συμβάλλουν στο να επιτελούνται βασικές οικολογικές λειτουργίες. Ωστόσο, η σπουδαιότητα ενός είδους στην επιτέλεση αυτών των λειτουργιών φαίνεται να εξαρτάται από την αφθονία του: όσο σπανιότερο είναι τόσο λιγότερο αναμένεται να επηρεάζει τις οικολογικές διεργασίες, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Με άλλα λόγια, κάθε είδος έχει μια πεπερασμένη αξία, έστω και πολύ υψηλή σε σχέση με τη συμβολή του στην επιτέλεση οικολογικών λειτουργιών, αλλά όσο σπανιότερο είναι τόσο περισσότερο η αξία του προσεγγίζει την τιμή 0.

Τα είδη που είναι άμεσα χρήσιμα στον άνθρωπο, για παραγωγή κυρίως τροφής, φαρμάκων, ξυλείας και κλωστικών ινών περιορίζονται σε ένα σχετικά χαμηλό ποσοστό του όλου βιόκοσμου. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μέγιστη πλειονότητα των ειδών έχει πού μικρή πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί ως βιολογικός πόρος στο μέλλον. έτσι, τα είδη, τα οποία έχουν μεγάλη πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν ως βιολογικοί πόροι στο μέλλον, θα πρέπει να αναζητηθούν σε συγκεκριμένες ταξινομικές κατηγορίες οργανισμών: πχ. σε άγρια είδη συγγενή των καλλιεργούμενων ειδών και σε συγκεκριμένες οικογένειες φυτών προκειμένου περί φαρμακευτικών ουσιών.

Με βάση αυτή την ανάλυση και εξετάζοντας τη χρησιμοποίηση μόνο των ειδών ως πιθανών βιολογικών πόρων, δύο στρατηγικές διαχείρισης θα ήταν οι πιο οικονομικές: (α) να διατηρήσουμε συστήματα και περιοχές πλούσιες σε είδη και (β) να διατηρήσουμε τα χρήσιμα είδη και εκείνα που αναμένονται με μεγάλη πιθανότητα ότι θα καταστούν χρήσιμα εις το μέλλον.

Τα συμπεράσματα αυτά δείχνουν ότι η διατήρηση της ποικιλότητας των ειδών ως βιολογικού πόρου δεν τεκμηριώνεται απόλυτα, ειδικά όταν εξετασθεί με οικονομικούς όρους και έχει επομένως ελάχιστη αποδοχή από τους τεχνοκράτες και πολιτικούς οι οποίοι σε τελευταία ανάλυση παίρνουν τις αποφάσεις για το τι μέλι

γενέσθαι. Χρειάζονται και πρόσθετα επιχειρήματα, προκειμένου να γίνει αποδεκτή η άποψη ότι είναι αναγκαία η διατήρηση του υπάρχοντος πλούτου ειδών.

Σε επίπεδο ποικιλότητας οικοσυστημάτων δεν φαίνεται επίσης να είναι ρόδινη η κατάσταση, όχι γιατί δεν αναγνωρίζονται οι αξίες που αναδύονται από τις λειτουργίες τους, αλλά γιατί δεν υπάρχει προς το παρόν δυνατότητα να αποτιμηθούν με οικονομικούς όρους.

14. Αποτίμηση των συστατικών της βιοποικιλότητας

Η σπουδαιότητα της βιοποικιλότητας θα ήταν πιο έκδηλη, εάν ήταν δυνατόν να αποτιμηθούν όλα τα συστατικά της με οικονομικά μεγέθη. Για κάποια είδη (πχ. καλλιεργούμενα φυτικά είδη, εκτρεφόμενα ζώα, είδη άγριας ζωής, ψάρια, είδη που παράγουν φαρμακευτικές ουσίες) αυτό είναι εφικτό, γιατί τα είδη αυτά παράγουν προϊόντα άμεσης χρησιμότητας για τον άνθρωπο και έχουν επομένως άμεσο οικονομικό αντίκρισμα. Σε άλλα είδη, όπως είναι είδη χρησιμοποιούμενα σε βιολογική καταπολέμηση ή σε επικονίαση φυτών είναι επίσης δυνατόν να αποτιμηθεί έμμεσα και με αρκετή ακρίβεια η οικονομική σπουδαιότητά τους. Αντίστοιχα, θα μπορούσε επίσης να εκτιμηθεί το οικονομικό αντίκρισμα σε άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν σχέση με τη βιοποικιλότητα, όπως είναι ο οικοτουρισμός.

Τις περισσότερες φορές, όμως, οι αξίες της βιοποικιλότητας, ειδικά αυτές που αναδύονται από τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων, δεν μπορούν να αποτιμηθούν. Δεν είμαστε ακόμη σε θέση να αποτιμήσουμε οικονομικά τη σπουδαιότητα της βιοποικιλότητας στην προστασία των εδαφών, στη ρύθμιση του κλίματος σε τοπικό και σε παγκόσμιο επίπεδο, στην αποικοδόμηση και ακινητοποίηση ανόργανων και οργανικών ρυπών. Ωστόσο, η ανάπτυξη κατάλληλων οικονομικών μεθόδων ίσως επιλύσει το πρόβλημα αυτό. Το ευτύχημα είναι ότι τα γενικότερα θέματα περιβάλλοντος φαίνεται να είναι θέματα αιχμής για τις οικονομικές επιστήμες. Η ανάπτυξη οικονομικών μεθόδων για αποτίμηση αξιών παρεχομένων από την ύπαρξη ή δημιουργία υγροτόπων είναι ενθαρρυντική.

15. Η διατήρηση θα εστιασθεί στο επίπεδο ειδών ή στο επίπεδο οικοσυστημάτων;

Μια προσέγγιση, εξωπραγματική από πλευράς κόστους, είναι να διατηρηθούν όλα τα υπάρχοντα είδη. Η προσέγγιση αυτή, εκτός του κόστους έχει και άλλες αδυναμίες, όπως πχ. η προς το παρόν αδυναμία να προσδιοριστούν και να ταξινομηθούν όλα τα υπάρχοντα στη Γη είδη.

Πιο ρεαλιστική προσέγγιση θα ήταν ενδεχομένως μια ανάλογη, που χρησιμοποιήθηκε για τους τραυματίες του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου, οι οποίοι αξιολογήθηκαν στα νοσοκομεία σε τρεις κατηγορίες (Begon 1996) προτεραιότητα 1- αυτοί που είχαν πιθανότητες επιβίωσης μόνο μετά από άμεση χειρουργική επέμβαση, προτεραιότητα 2 – αυτοί που είχαν πιθανότητες επιβίωσης ακόμα και χωρίς άμεση χειρουργική επέμβαση και προτεραιότητα 3 – αυτοί που δεν είχαν πιθανότητες επιβίωσης είτε με χειρουργική επέμβαση είτε χωρίς αυτήν. Οι ασχολούμενοι με τη διατήρηση της βιοποικιλότητας αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα και αναγκαστικά δίνουν έμφαση στα είδη που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες να διασωθούν.

Πολλοί θεωρούν την προσέγγιση, που εστιάζεται στην προσπάθεια διατήρησης των ειδών, σαν κάτι παρόμοιο με θάλαμο εντατικής θεραπείας. Αντίθετα, πιστεύουν ότι πιο αποτελεσματική προσέγγιση είναι η προσπάθεια διατήρησης και αειφορικής διαχείριση οικοσυστημάτων όπου τα είδη διαβιούν. Έτσι αποβλέπουν στη διατήρηση φυσικών περιοχών με μεγέθη και σχηματισμούς που μειώνουν τις πιθανότητες εξαφάνισης ειδών. Μέχρι τα τέλη του 1989 υπήρχαν 4500 προστατευμένες περιοχές με συνολική επιφάνεια ίση με το 3,2% της συνολικής χερσαίας επιφάνειας της Γης. Υπάρχουν βάσιμες ελπίδες ότι το ποσοστό αυτό σύντομα θα πλησιάσει το 6%.

16. Διατήρηση της βιοποικιλότητας ή αποκαταστάσεις οικοσυστημάτων;

Η διατήρηση είναι κατάλληλος τρόπος όταν υπάρχει κάτι για να διατηρηθεί. Σε πλείστες όμως περιπτώσεις, είδη, ή πιο σωστά, ολόκληρες βιοκοινότητες (ή οικοσυστήματα) έχουν καταστραφεί ή έχουν τροποποιηθεί σε βαθμό, που να μη μπορούμε να φανταστούμε τι προϋπήρχε. Σε αυτές τις περιπτώσεις πιο σωστό θα ήταν να αναφερόμαστε σε αποκατάσταση αντί για διατήρηση.

Το ερώτημα που τίθεται είναι: τι πρέπει να αποκαταστήσουμε; Η πρώτη προσέγγιση είναι να αποκαταστήσουμε (επιναφέρουμε) τα φυτά και τα ζώα που προϋπήρχαν πριν από τη διαταραχή η οποία επέβαλε την ανάγκη για αποκατάσταση. Τα φυτά και τα ζώα αυτά θεωρούνται ως φυσικοί κάτοικοι της υπο αποκατάσταση φυσικής περιοχής. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να είναι κατάλληλη, για παράδειγμα, σε προσπάθειες να μετατρέψουμε είτε ανεπιθύμητες περιοχές, όπως πχ. λατομεία, είτε υπερεκμεταλλευόμενες γεωργικές περιοχές σε "αυθεντικές" φυσικές βιοκοινότητες. Μια τέτοια προσέγγιση στηρίζεται στην παραδοχή ότι οι αβιοτικές συνθήκες παραμένουν αναλλοίωτες. Έτσι, θεωρητικά τουλάχιστον θα είναι εφικτό να αναδημιουργήσουμε μια βιοκοινότητα που θα περιλαμβάνει τα αρχικά –αυθεντικά– είδη στις αρχικές αναλογίες. Υπάρχει, όμως τεράστιο χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης. Τρία φαίνεται να είναι τα κυριότερα προβλήματα μιας τέτοιας πρακτικής:

- (α) Είναι ενδεχόμενο να μη γνωρίζουμε ποια ήταν τα αρχικά είδη.
- (β) Η φυσική εγκατάσταση των ειδών είναι ενδεχόμενο να απαιτήσει μακρό χρονικό διάστημα.
- (γ) Επιτάχυνση των φυσικών διεργασιών, ακόμη και αν είναι θεωρητικά εφικτή, απαιτεί επαρκή γνώση της οικολογίας πολλών ειδών, την οποία είναι αμφίβολο ότι έχουμε.

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι απαραίτητη όταν οι αβιοτικές συνθήκες έχουν τροποποιηθεί χωρίς αντιστρέψιμη μεταβολή, πολλές φορές. Τέτοιες περιπτώσεις συμβαίνουν, για παράδειγμα, όταν ποικίλα απόβλητα εναποτίθενται πάνω στο έδαφος, π.χ. υλικά ορυχείων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αποκατάσταση δεν φαίνεται να είναι ρεαλιστική. Ο Bradshaw (1984) πρότεινε τους όρους ανόρθωση (rehabilitation) για να υποδηλώσει την εγκατάσταση μιας βιοκοινότητας παρόμοιας με την αρχική και αντικατάσταση (replacement) για την εγκατάσταση μιας εντελώς διαφορετικής βιοκοινότητας. Η δεύτερη προσέγγιση, της αντικατάστασης, είναι συχνά αναγκαία.

17. Η αποδάσωση των τροπικών δασών και η απώλεια της βιοποικιλότητας

Τα τροπικά δάση καλύπτουν το 6% της χερσαίας περιοχής του πλανήτη, μία έκταση στο μέγεθος περίπου των Ηνωμένων Πολιτειών και αναπτύσσονται στον Ισημερινό, στη Λατινική Αμερική, στην Αφρική και στην Ασία. Περίπου 4 χώρες η

Βραζιλία, η Ινδονησία, το Ζαΐρ και το Περού κατέχουν πάνω από το μισό των παγκόσμιων δασών.

Τα τροπικά δάση εμφανίζονται σε πολλές μορφές: βροχοδάση που δέχονται και τις περισσότερες βροχοπτώσεις σχεδόν καθημερινές, τροπικά φυλλοβόλα, ξηρά και πολύ ξηρά φυλλοβόλα δάση και δάση των λόφων και των βουνών. Όλα τα είδη απειλούνται από την αποψίλωση και την υποβάθμιση, όμως η χειρότερη καταστροφή σημειώνεται στα πιο υγρά δάση.

Τα κλιματικά και βιολογικά στοιχεία που διαθέτουμε υποστηρίζουν ότι το ώριμο τροπικό δάσος που κάποτε κάλυπτε μια περιοχή τουλάχιστον κατά δύο φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή με το μεγαλύτερο μέρος της καταστροφής να σημειώνεται από το 1950 και μετά. Σύμφωνα με μία αναφορά της Υπηρεσίας Τροφίμων και Αγροκαλλιέργειας των Ηνωμένων Εθνών του 1993, το ετήσιο ποσοστό απώλειας αυξήθηκε κατά 40% μεταξύ 1980 και 1990. Ο εμπειρογνώμονας τροπικών δασών Norman Mayers ανεβάζει την αύξηση του ποσοστού απώλειας γι' αυτή την περίοδο στο 89%.

Οι εικόνες από δορυφόρο και οι χερσαίες έρευνες που διηξήθησαν, για να εκτιμήσουμε την καταστροφή των δασών δείχνουν ότι τα τροπικά δάση τώρα εξαφανίζονται με ταχύτατους ρυθμούς. Η πλέον ισχύουσα και ευρύτατα αποδεκτή εκτίμηση είναι ότι τώρα ο κόσμος χάνει το υπόλοιπο των τροπικών δασών με ρυθμό τουλάχιστον 154.000Km το χρόνο. Εκτιμάται ότι μια περιοχή ισότιμη αυτών των δασών υποβαθμίζεται σοβαρά χωρίς να καταστρέφεται σε ετήσιο επίπεδο. Με άλλα λόγια, κάθε λεπτό της ώρας καταστρέφονται ή υποβαθμίζονται σχεδόν 68 τμήματα τροπικού δάσους. Αυτό το ετήσιο ποσοστό καταστροφής και υποβάθμισης πιθανόν να διπλασιαστεί στην επόμενη δεκαετία.

Περίπου το 40% της καταστροφής των τροπικών δασών διεξάγεται στη Νότια Αμερική, ιδιαίτερα στην τεράστια λεκάνη του Αμαζονίου. Όμως τα ποσοστά της αποψίλωσης στη Νοτιοδυτική Ασία και την Κεντρική Αμερική είναι περίπου 2,7 φορές υψηλότερα από αυτά της Νοτίου Αμερικής. Η Αϊτή έχασε το 98% των παρθένων δασών της, οι Φιλιππίνες το 97%, η Μαδαγασκάρη το 84%. Η μεγαλύτερη προσοχή στρέφεται προς τη λεκάνη του Αμαζονίου, όμως η καταστροφή από την υλοτόμηση και την αστική επέκταση συντελέστηκε στο 95% των κάποτε αχανών βροχοδασών της Βραζιλίας στην ακτή του Ατλαντικού και στο 98% των κωνοφόρων δασών αροκάριας στο νότο. Έχουν απομείνει πλέον ελάχιστα μόνο τμήματα. (Miller 2000)

18. Συμπεράσματα

Καμία από τις αναφερθείσες αξίες της βιοποικιλότητας δεν είναι από μόνη της ικανή να χρησιμοποιηθεί για να πεισθούν οι πολιτικές ηγεσίες. Ωστόσο, όταν από κοινού εξετασθούν με την ίδια βαρύτητα η κάθε μία, ή κατά περίπτωση η κάθε μία, παρέχουν μια δυνατή άποψη υπέρ της διατήρησης της βιοποικιλότητας.

Έτσι, βρισκόμαστε σε μια χρονική περίοδο μιας έντονης μεταβολής της σχέσης μεταξύ ανθρώπων και βιολογικών πόρων από τις οποίες εξαρτάται η ευμάρειά μας.

ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗ

1. Εισαγωγή

Η ερημοποίηση θεωρείται σήμερα ως μια σημαντική απειλή υποβάθμισης της γης των Μεσογειακών χωρών. Περισσότερο από το ένα τρίτο του ελλαδικού χώρου βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης ή έχει ερημοποιηθεί. Η ερημοποίηση ως φυσική διεργασία είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων (φυσικοί-περιβαλλοντικοί, ανθρωπογενείς) που δρουν είτε μεμονωμένα είτε αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η κυριότερη διεργασία ερημοποίησης είναι η διάβρωση των εδαφών, η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο κίνδυνο υποβάθμισης των λοφωδών περιοχών. Η διάβρωση επιφέρει δραστική μείωση του βάθους του εδάφους και συνεπώς του διαθέσιμου ύδατος για την ανάπτυξη των φυτών, της γονιμότητας και της παραγωγικότητας των εδαφών καθώς και της βλάστησης.(εκτενή αναφορά γίνεται στο κεφάλαιο). Επίσης, άλλες σημαντικές διεργασίες ερημοποίησης είναι η αλάτωση και αλκαλίωση των εδαφών που παρατηρείται ιδιαίτερα στις πεδινές παράκτιες περιοχές όπου συνοδεύεται με υπερεκμετάλλευση και υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων. (αναφορά στο κεφάλαιο). Η ερημοποίηση εκτός από τις σημαντικότερες επιπτώσεις που έχει στο φυσικό περιβάλλον, επιδρά αρνητικά στην οικονομία και κοινωνία μιας περιοχής, αφού υποβαθμίζοντας τους φυσικούς πόρους, μειώνει την παραγωγικότητα ενός τόπου και κατ'επέκταση το αγροτικό εισόδημα, προκαλώντας μετακινήσεις πληθυσμού σε άλλες περιοχές με περισσότερες δυνατότητες απασχόλησης. Ανάλογα με την ένταση δράσης των διεργασιών ερημοποίησης, η υποβάθμιση μπορεί να είναι αντιστρεπτή, δηλαδή να υπάρχει δυνατότητα ανάκαμψης, εάν μια ή περισσότερες από τις διεργασίες ερημοποίησης εξαλειφθούν, ή μη αντιστρεπτή εάν η υποβάθμιση είναι πολύ μεγάλη (μείωση βάθους εδάφους μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή). Η προστασία των φυσικών πόρων μίας περιοχής από την ερημοποίηση απαιτεί την μελέτη και λεπτομερή απογραφή όλων των παραγόντων που την προκαλούν και τη λήψη των απαραίτητων κατά περίπτωση τεχνικών και θεσμικών μέτρων για την ορθολογική διαχείριση και προστασία. (w.w.w.Kinisiroliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika.)

2. Ορισμοί της ερημοποίησης

Πρώτα από όλα όμως, τι είναι η ερημοποίηση; Δεν είναι παράλογη η αναζήτηση αξιόπιστων ορισμών. Σύμφωνα με τους Glantz and Orlousky (Ερημοποίηση: Ανατομία μιας Περίπλοκης Περιβαντολλογικής Διεργασίας) η επιστημονική φιλολογία περιέχει πάνω από 100 ορισμούς της ερημοποίησης. Κανένας δεν είναι απόλυτα ικανοποιητικός.

Το 1985 ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agricultural Organization) του ΟΗΕ όρισε την ερημοποίηση ως «τον μετασχηματισμό άγονων και ημί-άγονων περιοχών σε ερήμους από την ανθρώπινη εκμετάλλευση που συχνά επιταχύνεται από περιοδική ξηρασία».

Το 1988 η World Bank (Nelson R., Working Paper No 8) καθόρισε την ερημοποίηση ως «μια διεργασία συντηρούμενης υποβαθμίσεως της γης (εδάφους και βλαστήσεως) σε άγονες, ημι-άγονες και ξηρές περιοχές, που προκαλείται, τουλάχιστον εν μέρει, από τον άνθρωπο. Προκαλεί μείωση του παραγωγικού δυναμικού» συνεχίζει «σε έκταση τέτοια που δεν μπορεί εύκολα να αναστραφεί απομακρύνοντας την αιτία, ούτε εύκολα να αναμορφωθεί χωρίς σημαντική επένδυση».

Αυτός είναι ένας πιο πλήρης αλλά όμως πιο επιφυλακτικός ορισμός.

Η τράπεζα (World Bank) σημειώνει ότι «η διαθεσιμότητα τεχνολογιών για να καταπολεμηθεί το πρόβλημα έχει υπερ-εκτιμηθεί, επειδή το χάσμα μεταξύ του τι είναι κοινωνικά λογικό κόστος και τι εκλαμβάνεται σαν λογικό κόστος από τους ιδιώτες έχει υπο-εκτιμηθεί».

Οι Gorse και Steeds, που επίσης γράφουν για την World Bank, εξηγούν την διεργασία της ερημοποίησης ως την «παρατεινόμενη παρακμή της βιολογικής παραγωγικότητας άγονης και ημι-άγονης γης, το τελικό αποτέλεσμα είναι έρημος». Αυτή η διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη σε πολλά μέρη της Ζώνης της Δυτικής Αφρικής. Το αν η ερημοποίηση προκαλείται κυρίως από ξηρασίες και αυξημένη ανυδρία, ή από κατάχρηση πόρων από τον διαμένοντα πληθυσμό αποτελεί αντικείμενο θερμής διαμάχης. Αυτή η διαμάχη όμως έχει ελάχιστες λειτουργικές συνέπειες, καθώς τα πρότυπα των βροχοπτώσεων δεν γίνεται να μεταβληθούν ή να προβλεφθούν, ενώ η ανθρώπινη συμπεριφορά αλλάζει. Το πρόβλημα της ερημοποίησης είναι πάντως έντονο, καθώς αποτελεί ένα παράδειγμα της συγκρούσεως ανάμεσα στο ενδιαφέρον του κοινού για την μακροπρόθεσμη χρήση

των πόρων και την ιδιωτική βραχυπρόθεσμη κατάχρηση των πόρων. Αν δεν υπάρξει αποτελεσματικός συμβιβασμός ανάμεσα στα δύο αυτά συμφέροντα, η διεργασία ερημοποίησεως θα συνεχιστεί και ενώ η διεργασία μπορεί να αναχαιτιστεί το τελικό αποτέλεσμα είναι μη αναστρέψιμο.

Η συνήθως έγκυρη Έκθεση για τους Παγκόσμιους Πόρους (1986-1989) (World Resources Report) δεν επιχειρεί να ορίσει την ερημοποίηση, περιοριζόμενη στο ακόλουθο: «Η υποβάθμιση της ξηρής γης (άγονης, ημι-άγονης) καλείται «ερημοποίηση», επειδή εμφανίζονται συνθήκες όμοιες με της ερήμου, κάτι που δεν συνέβαινε πριν. Οι ερημοποιημένες ξηρές περιοχές χαρακτηρίζονται από χαμηλή πρωτογενή παραγωγικότητα (μικρότερη από 400 Kg ξηρής ύλης ανά εκτάριο το χρόνο) και φτωχή αποδοτικότητα χρήσεως της βροχής (συνήθως μικρότερη από 1kg ξηρής ύλης ανά εκτάριο και χρόνο για κάθε χιλιοστό βροχοπτώσεως)».

Τελικά το 1990, ο Alan Grainger στο βιβλίο του «Earthscan», φαίνεται να περιορίζεται στον ορισμό της ερημοποίησεως από το Συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών του 1977 που ήταν: «η ελλάτωση ή καταστροφή του βιολογικού δυναμικού της γης που μπορεί να οδηγήσει τελικά σε συνθήκες όμοιες με αυτές της ερήμου» και παρακάτω «μια μορφή της εκτεταμένης υποβαθμίσεως των οικοσυστημάτων κάτω από την συνδυασμένη πίεση επιβλαβούς και κυμαινόμενου κλίματος, καθώς και υπερβολικής εκμεταλλεύσεως».

Ο Grainger υποστηρίζει ότι η ερημοποίηση είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο- πράγμα που ισχύει- και κλείνει το κεφάλαιό του «Τι είναι ερημοποίηση;» με τα ακόλουθα σχόλια: «Η γνώση μας για την ερημοποίηση είναι ακόμα αρκετά περιορισμένη, παρόλο που μέχρι σήμερα υπάρχει η αντίληψη ότι είναι αποτέλεσμα κυρίως κακής χρήσεως της από τον άνθρωπο με υπερ-καλλιέργεια, υπερβολική βοσκή, αποψίλωση δασών και κακή διαχείριση της αρδευόμενης καλλιεργήσιμης γης που οδήγησαν στην υποβάθμιση του εδάφους και της βλαστήσεως. Το κλίμα πιστεύεται ότι δρα κυρίως καταλυτικά, όπως επιταχύνεται η ερημοποίηση όταν η ξηρασία αναγκάζει τους ανθρώπους να υπερ-καλλιεργήσουν την γη για να αντισταθμίσουν τις μειωμένες απολαβές. Πάντως τα σύνορα ανάμεσα στο ρόλο των μεταβολών του κλίματος και της ισχυρής επιδράσεως του ανθρώπου γίνονται όλο και πιο ασαφή. Έχει υποστηριχθεί ότι η συνεχιζόμενη ξηρασία συνδέεται με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος που προκαλείται από κακή χρήση της γης.

Ανεξάρτητα από το αν είναι σωστή αυτή η θεωρία ή όχι, φαίνεται πολύ πιθανό να επηρεαστεί στο μέλλον η ερημοποίηση από τις κλιματολογικές αλλαγές στην

υφήλιο που είναι συνέπεια της δραστηριότητας ολόκληρου του ανθρώπινου πληθυσμού. Εξαιτίας των διαφόρων υστερήσεων στο παγκόσμιο κλίμα είναι λίγα αυτά που μπορούμε να κάνουμε για να αποτρέψουμε αυτές τις αλλαγές τουλάχιστον για τα επόμενα 20 έως 30 χρόνια και πιθανώς περισσότερο. Ο καλύτερος τρόπος για να αντιμετωπιστεί η μεταβλητότητα του κλίματος και να ελεγχθεί η ερημοποίηση στις ξηρές περιοχές είναι να γίνουν πιο συντηρητικές οι χρήσεις του εδάφους και να ανακουφιστεί η φτώχεια που είναι μια ακόμα σημαντική υποβόσκουσα αιτία του προβλήματος».

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ερημοποίηση δεν είναι το ίδιο πράγμα με τις «ερήμους». Ο Mabbutt θεωρεί ότι οι έρημοι έχουν τρία χαρακτηριστικά. Αυτά είναι «ανυπαρξία ζωής», «έλλειψη νερού» και «αντιπαραγωγικότητα». Συνήθως δέχονται 25mm ή λιγότερο ετήσιας βροχοπτώσεως, παρόλο που μερικοί ειδικοί τοποθετούν την μέση βροχόπτωση στα 100 mm περίπου.

Φαίνεται καθαρά από αυτούς τους τυχαίους αλλά έγκυρους ορισμούς της ερημοποίησης ότι η ευρέως διαδεδομένη ιδέα, ότι οι έρημοι κατά κάποιο τρόπο έρπουν κατά μήκος του χάρτη της γης σε μια σταθερή και αδυσώπητη επίθεση κατά του εδάφους και του νερού, μετατρέποντας το τοπίο σε αμμόλοφους, είναι ανακριβής. Κάθε ορισμός περιέχει σημαντικές προειδοποιήσεις ή επιφυλάξεις που στο σύνολό τους υπονομεύουν την αντίληψη του κοινού για την ερημοποίηση.

Η αντίληψη αυτή έχει τις ρίζες της σε διάφορες ιστορίες μη επιστημονικής βάσεως που εμφανίστηκαν διεθνώς στα τέλη του '60 και στις αρχές της δεκαετίας του '70 και επαναλήφθηκαν στα συνέδρια ΟΗΕ και άλλες συναντήσεις και από τα μέσα επικοινωνίας. Τους λείπει φυσικά η αυστηρή μελέτη και η προσεκτική ανάλυση.

Είναι αλήθεια ότι σε περιοχές τόσο απομακρυσμένες μεταξύ τους όσο τα σκονισμένα λιβάδια των ΗΠΑ και μιας χώρας όπως π.χ. η Μαυριτανία συμβαίνουν τοπικοί μετασχηματισμοί των χαρακτηριστικών της ερημοποίησης καθώς και ο ανθρώπινος και γενικά ο ζωικός πληθυσμός εξαντλεί τη βάση των φυσικών του πόρων και ο άνεμος, η βροχή και ο ήλιος συνδυάζονται για να διαχωρίσουν, ή να απομακρύνουν, την οργανική ύλη από το έδαφος, αφήνοντας πίσω συνθήκες όμοιες με της ερήμου. Είναι ένα φαινόμενο με τοπικό χαρακτήρα. Η βιομάζα εξαφανίζεται, η παραγωγική χρήση του εδάφους, που σε μεγάλο τμήμα του τώρα είναι αδρανές, καθίσταται αδύνατη και έτσι αναπτύσσονται σκονισμένες εκτάσεις ή αμμόλοφοι και προχωρούν ή υποχωρούν στην περιφέρεια. Οι ανθρώπινοι πληθυσμοί που παραδοσιακά ζουν εκεί δεν γίνεται πλέον να παραμείνουν. Το 1982 ο ΟΗΕ εκτίμησε

ετήσια ζημιά 26 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ στη γεωργική παραγωγή ως αποτέλεσμα της ερημοποίησης. Προκύπτει επομένως, ότι, το πρώτο σημείο – κλειδί είναι το ότι η ερημοποίηση λαμβάνει χώρα στο γενικότερο πλαίσιο της διαβρώσεως του εδάφους και της υποβαθμίσεως της γης. Μέσα σε αυτό το σενάριο ο πλανήτης αντιμετωπίζει μια σοβαρή απειλή και σύμφωνα με πολλούς σχολιαστές, πιο σοβαρή από αυτή της θερμάνσεως της υδρογείου ή της αλλαγής του κλίματος. Σε άγονες ή ημι-άγονες περιοχές, η υποβάθμιση της γης και η διάβρωση του εδάφους μπορούν γρήγορα να οδηγήσουν σε μη-αντιστρεπτή ερημοποίηση. Οι ανθρώπινοι πληθυσμοί που βρίσκονται αντιμέτωποι με αυτό το φαινόμενο εισέρχονται σε ένα σκοτεινό, αν όχι αβάσταχτο μέλλον, εκτός και αν μεταναστεύουν σε άλλες περιοχές.

Είναι σωστότερο λοιπόν, να εξετάζεται η ερημοποίηση στο πλαίσιο της διαβρώσεως του εδάφους και της υποβαθμίσεως της γης. (Καρβούνης Σωτ.)



Σχήμα: Εδάφη που υποβαθμίζονται εξαιτίας της ερημοποίησης

3. Παράγοντες και διεργασίες ερημοποίησης

Η ερημοποίηση, όπως έχει οριστεί στη Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής του Περιβάλλοντος (1992), είναι η υποβάθμιση της γης στις ξηρές, ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές, η οποία προκύπτει από τη δράση πολλών παραγόντων στους οποίους περιλαμβάνονται οι κλιματικές μεταβολές και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο όρος

ερημοποίηση δε θα πρέπει να συγχέεται με τη δημιουργία ερήμων. Η ερημοποίηση είναι η διαδικασία σύμφωνα με την οποία η παραγωγική γη υποβαθμίζεται και σταδιακά μετατρέπεται σε αφιλόξενη για την αναπτυσσόμενη βλάστηση, δημιουργώντας έτσι κηλίδες απογυμνωμένων περιοχών με την εμφάνιση του μητρικού πετρώματος στην επιφάνεια.

Η υποβάθμιση που προκαλείται από την ερημοποίηση αναφέρεται στη μείωση ή απώλεια παραγωγικότητας των γεωργικών και δασικών εκτάσεων. Η κυριότερη διεργασία που είναι υπεύθυνη για την ερημοποίηση είναι η διάβρωση, η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο κίνδυνο υποβάθμισης των λοφωδών περιοχών. Κύριος υπεύθυνος αυτής της διεργασίας θεωρείται ο άνθρωπος που με τις παρεμβάσεις του στο περιβάλλον συχνά επιταχύνει:

- τους ρυθμούς υδατικής, αιολικής και μηχανικής διάβρωσης των εδαφών
- την υποβάθμιση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων των φυσικών πόρων
- την απώλεια της φυσικής βλάστησης.

Η ερημοποίηση θεωρείται σήμερα ως μια σημαντική απειλή υποβάθμισης των Μεσογειακών χωρών. Η λεκάνη της Μεσογείου παρόλο που αποτελεί ένα πολύπλοκο μωσαϊκό από διαφορετικά οικοσυστήματα, διαφορετικούς πολιτισμούς και κατά συνέπεια από διαφορετική ιστορία ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον, έχει ως κοινό παρανομαστή μια σειρά παραγόντων που συμβάλλουν στο φαινόμενο της ερημοποίησης. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι κλιματικές συνθήκες με τη μεγάλη διακύμανση και τις συχνές και μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, τις εποχιακές ξηρασίες, το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και τη γενικά περιορισμένη φυτική κάλυψη. Επίσης η μακρά ιστορία παρέμβασης στο περιβάλλον, αλλά και η πρόσφατη εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών με τη ταυτόχρονη μείωση του αγροτικού δυναμικού συνεπικουρούν στην εξάπλωση του φαινομένου.

Ο ελλαδικός χώρος εμφανίζεται έντονα υποβαθμισμένος με πολλές περιοχές να αντιμετωπίζουν σημαντικό κίνδυνο ερημοποίησης. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου ερημοποίησης είναι η δυτική Στερεά Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου, η ορεινή ζώνη των Ιόνιων νήσων, η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου, η Εύβοια και μέρος της Ηπείρου, Θεσσαλίας και Θράκης. Όπως προκύπτει από πρόσφατες μελέτες, το 35% του ελλαδικού χώρου βρίσκεται σε

υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης ή έχει ήδη ερημοποιηθεί, ενώ το 49% θεωρείται ότι βρίσκεται σε μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης. (Εικόνα 1).

Η ερημοποίηση ως φυσική διεργασία είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων που δρουν είτε μεμονωμένα είτε αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι παράγοντες αυτοί είναι φυσικοί-περιβαλλοντικοί και ανθρωπογενείς. Συνδυασμός αντίξοων φυσικών συνθηκών με αρνητική ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον που πιθανά να επιβάλλεται από δεδομένους κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες οδηγούν σε ερημοποίηση σημαντικών εκτάσεων γης.

Το Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από μεγάλες εποχιακές και ετήσιες διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων, από υψηλές θερμοκρασίες κατά τη θερινή περίοδο και έντονη ξηρασία για σχετικά μεγάλη περίοδο. Οι βροχοπτώσεις λόγω της μεγάλης έντασης και μικρής συχνότητάς τους, σε συνδυασμό με το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο (μεγάλες κλίσεις) προκαλούν συχνά μεγάλες επιφανειακές απορροές που συνοδεύονται με απώλεια γόνιμου εδάφους και μεγάλες διακυμάνσεις της απορροής των ποταμών και συχνά καταστροφικές πλημμύρες. Επίσης κατά την αυξητική περίοδο των φυτών οι απαιτήσεις σε νερό είναι πολύ μεγαλύτερες από τη βροχόπτωση. Συνεπώς, η έντονη ξηρασία υποβαθμίζει την αραιή βλάστηση των ευαίσθητων περιοχών που γίνονται περισσότερο ευάλωτες στη διαβρωτική δράση των ραγδαίων βροχοπτώσεων.

Η Ελλάδα λόγω του ορεινού της χαρακτήρα, παρουσιάζει απότομες υψομετρικές διαφορές, που σχηματίζουν επιφάνειες με ισχυρές κλίσεις σε μεγάλο τμήμα της χώρας. Συγκεκριμένα, κλίσεις που υπερβαίνουν το 10% καλύπτουν το 50% της συνολικής έκτασης. Οι ισχυρές κλίσεις προκαλούν έντονες επιφανειακές απορροές των όμβριων υδάτων και έντονες διαβρώσεις των εδαφών εκεί όπου δεν υπάρχει επαρκής φυτοκάλυψη. Οι διαδικασίες αυτές αποτελούν τις κύριες αιτίες της ερημοποίησης στη Χώρα.

Τα εδάφη που σχηματίζονται από διαφορετικά μητρικά υλικά επηρεάζουν έντονα τη βλάστηση, τη διάβρωση του εδάφους και την ερημοποίηση. Για παράδειγμα, ο ασβεστόλιθος και τα όξινα πυριγενή πετρώματα σχηματίζουν αβαθή εδάφη σε ένα σχετικά ξηρό καθεστώς υγρασίας, που χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό διάβρωσης και κίνδυνο ερημοποίησης. Λοφώδεις περιοχές σε τριτογενείς μάργες είναι επίσης πολύ ευαίσθητες στην ερημοποίηση αφενός λόγω της μεγάλης διαβρωσιμότητας των εδαφών που σχηματίζουν και αφετέρου λόγω

του ξηρού εδαφικού περιβάλλοντος που δημιουργείται σε περιόδους μειωμένων βροχοπτώσεων.

Τα ευαίσθητα οικοσυστήματα της Ελλάδας οδηγούνται στην ερημοποίηση μόνο αν υποστούν την αλόγιστη επέμβαση του ανθρώπου. Καταστροφικές παρεμβάσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον υπήρξαν μέχρι σήμερα πολλές, μερικές από τις οποίες υποβαθμίζουν τους φυσικούς πόρους και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Καταστροφή της φυσικής βλάστησης

Υποβάθμιση των υδατικών πόρων

Υποβάθμιση των εδαφικών πόρων

Η καταστροφή της φυτοκάλυψης συντελείται με τις εκχερσώσεις δασικών εκτάσεων σε επικλινείς και μικρής παραγωγικότητας εδάφη, τις επανειλημμένες δασικές πυρκαγιές, την υπερβόσκηση λοφωδών περιοχών, την άναρχη οικοδόμηση και ανάπτυξη του τουρισμού, την επιδότηση καλλιεργειών και κτηνοτροφίας σε περιοχές και επίπεδα παραγωγής που δεν εξασφαλίζουν την αειφορία.

Η φυσική βλάστηση προστατεύει το έδαφος από τη διαβρωτική δράση των σταγόνων της βροχής όταν πέφτουν σε γυμνό έδαφος, προκαλούν τη δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους, με συνέπεια τη μείωση της απορροφητικότητας του εδάφους, την αύξηση της απορροής και κατά συνέπεια την αύξηση της διάβρωσης. Η διάβρωση με τη σειρά της προκαλεί σταδιακή μείωση της παραγωγικότητά του.

Οι παραπάνω παρεμβάσεις δεν αποτελούν 'φαινόμενο των ημερών μας. Η χώρα μας που η ιστορία της χάνεται στο χρόνο έχει κατ' επέκταση υποστεί και τα αποτελέσματα μακράς περιόδου ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον. Ο Όμηρος στην Ιλιάδα αναφέρει ότι πολλές λοφώδης περιοχές ήταν δασώδεις και καλύπτονταν από γόνιμο έδαφος. Το έδαφος όμως αυτό ήταν πολύ ρηχό και επιρρεπές στη διάβρωση. Η επέκταση της γεωργίας στις λοφώδης περιοχές άρχισε γύρω στο 1500 π.Χ. και συνδέεται με την αρχική καταστροφή των δασών. Εκτεταμένη αποψίλωση δασών για την κάλυψη των αναγκών του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού (ξύλεια ως καύσιμη ύλη, ναυπήγηση πλοίων, κατασκευή σπιτιών) και εντατικοποίηση της γεωργίας έλαβαν χώρα γύρω στο 800 π.Χ. Επίσης, ο Πλάτων αναφέρεται στη μείωση της παραγωγικότητας της γης, στην αποψίλωση των δασών, στις πλημμύρες και στις κατολισθήσεις.

Η επέκταση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων στην ορεινή και ημιορεινή ζώνη της χώρας μας ιδιαίτερα όταν δε συνδυάζεται με μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας μπορεί να επιφέρει δραματική υποβάθμιση των εκτάσεων αυτών. Σημαντική υποβάθμιση των ορεινών και ημιορεινών όγκων της χώρας μας προκαλείται επίσης από την κτηνοτροφία. Ο αριθμός των ζώων που συνήθως εκτρέφεται στη ζώνη αυτή, συχνά είναι πολύ μεγαλύτερος από τις δυνατότητες του βοσκότοπου. Αποτέλεσμα είναι, αφενός η καταστροφή της δομής του εδάφους και αφετέρου η διαφοροποίηση της χλωριδικής σύνθεσης και η μείωση της πυκνότητας της ποώδους βλάστησης.

Ένας σημαντικός παράγοντας ερημοποίησης για την Ελλάδα είναι οι πυρκαγιές. Στατιστικές της δασικής υπηρεσίας δείχνουν ότι οι δασικές πυρκαγιές τις τελευταίες δεκαετίες έχουν τετραπλασιαστεί. Κατά τη περίοδο 1964-1975, ο μέσος όρος των καμένων εκτάσεων ήταν 129.000 στρέμματα ανά χρόνο ενώ κατά τη περίοδο 1976-1986 ήταν 378.000 στρέμματα για να αυξηθεί σε 520.000 στρέμματα την δεκαετία 1986-1995. Παρόλο που η πυρκαγιά θεωρείται ότι μπορεί να επιφέρει αναγέννηση της φυσικής βλάστησης όταν δε προιγηθεί έντονη διάβρωση, η μεγάλη συχνότητα εμφάνισής του τα τελευταία χρόνια έχει έντονα υποβαθμίσει μεγάλο ποσοστό των δασικών μας εκτάσεων. Όταν η συχνότητα πυρκαγιών στις ίδιες εκτάσεις είναι μεγάλη και αυτές συνοδεύονται από βόσκηση, η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη για το έδαφος και τη βλάστηση.

Οι υδάτινοι πόροι έχουν ήδη αποκτήσει μεγάλη οικονομική σημασία γιατί καθορίζουν την αποδοτικότητα των παραγωγικών δραστηριοτήτων ακόμα και την ύπαρξή τους. Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια λόγω των ανορθολογικών ανθρώπινων επεμβάσεων έχει υποστεί μεγάλη μείωση και υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων πόρων, παρόλο που γενικά είχε πολύ καλής ποιότητας νερό. Στη μείωση και υποβάθμιση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων συμβάλλουν η αύξηση της επιφανειακής ροής προς τη θάλασσα που ενισχύει η καταστροφή της φυτοκάλυψης στις λεκάνες απορροής, η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ύδατος και η είσοδος υφάλμυρου νερού στους παραλιακούς υδροφορείς λόγω υπεράντλησης. Η αλάτωση των αρδευόμενων εδαφών συντελείται με τη χρησιμοποίηση χαμηλής ποιότητας νερού σε συνδυασμό με συνθήκες κακής στράγγισης. Οι αρδευόμενες εκτάσεις αποτελούν το 32% των γεωργικών εκτάσεων της χώρας μας. Η άρδευση που δε συνοδεύεται από στράγγιση, ιδιαίτερα σε περιοχές με έλλειψη νερού, οδηγεί στην αλάτωση των εδαφών.

Επίσης, η χρήση κακής ποιότητας αρδευτικού νερού, (πλούσιο σε άλατα) αυξάνει την αλατότητα του εδάφους. Η αλάτωση των εδαφών αποτελεί μια σημαντικότερη απειλή υποβάθμισης των ξηροθερμικών περιοχών της χώρας μας. Σημαντικό μέρος των παραλιακών γεωργικών εκτάσεων της χώρας (1.500.000 στρέμματα) παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση αλάτων που η περαιτέρω γεωργική τους εκμετάλλευση προϋποθέτει εγγειοβελτιωτικές παρεμβάσεις για την αποκατάστασή τους.

Η οξίνιση των γεωργικών εδαφών που προκαλείται από εκτεταμένη χρήση όξινων λιπασμάτων σε καλλιεργούμενα εδάφη που έχουν σχηματιστεί πάνω σε όξινα μητρικά υλικά αποτελεί αιτία υποβάθμισης και ερημοποίησης. Εκτιμάται ότι περισσότερα από 4.500.000 στρέμματα αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα οξίνισης στη χώρα μας.

Οι φυσικοί παράγοντες και οι ανθρώπινες επεμβάσεις στο περιβάλλον δεν είναι οι μόνοι παράγοντες που συμβάλλουν στο φαινόμενο της ερημοποίησης. Όπως, όμως, προαναφέρθηκε η ερημοποίηση είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που περικλείει επιπλέον οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς παράγοντες αφού αυτοί καθορίζουν τις ανθρώπινες παρεμβάσεις στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται αντιληπτό εάν λάβει κανείς υπόψη του τις πιέσεις που ασκούνται για αλλαγή της χρήσης γης σε ζώνες με μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού και κοινωνικο-οικονομικής δραστηριότητας. Η αξία της γης σε αυτές τις ζώνες για οικιστικούς, τουριστικούς σκοπούς είναι εξαιρετικά αυξημένη.

Η κοινή αγροτική πολιτική και η διεθνοποίηση της αγοράς έχουν καθοριστικά επηρεάσει την αλλαγή χρήσης της γης. Οι μεταβολές στις τιμές των αγροτικών προϊόντων έχουν οδηγήσει τους παραγωγούς σε υπερεκμετάλλευση ή υποεκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Από την άλλη μεριά οι επιδοτήσεις της γεωργικής παραγωγής έχουν ωθήσει τους παραγωγούς σε εντατική καλλιέργεια περιοχών με περιορισμένες δυνατότητες εκμετάλλευσης, γεγονός που έχει ως συνέπεια αυξημένους ρυθμούς υποβάθμισης των φυσικών πόρων και επιτάχυνση της ερημοποίησης.

Επίσης, η έλλειψη επαρκούς νομοθετικού πλαισίου που να προστατεύει τις περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές και να ανακόπτει την άναρχη και ανεξέλεγκτη υποβάθμιση των φυσικών πόρων έχει συμβάλει στην ερημοποίηση σημαντικού ποσοστού της χώρας μας. ([w.w.w.kinisispoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika.](http://www.kinisispoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika))

4. Οι αιτίες της ερημοποίησης

Ο Grainger ορίζει τέσσερις βασικές άμεσες αιτίες που είναι πιθανό να οδηγήσουν σε ερημοποίηση. Αυτές είναι, υπερκαλλιέργεια, υπερβολική βοσκή, αποψίλωση δασών και κακή διαχείριση αρδευόμενων γεωργικών εκτάσεων. Ενώ οι παραδοσιακές μορφές γεωργίας μπορούν να επιταχύνουν την διεργασία της ερημοποίησης, στο τελευταίο μισό του αιώνα έχουν αναπτυχθεί στον αναπτυσσόμενο κόσμο γεωργικές μέθοδοι υψηλής ενέργειας και σταδιακά, μέσω οργανώσεων-δοτών επιβάλλονται αυτά τα μοντέλα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η γεωργία υψηλής ενέργειας βασίζεται στη χρήση ορυκτών καυσίμων για μηχανές που χρειάζονται ισχύ για την παραγωγή λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων και υλικών παρόμοιας φύσεως. (Καρβούνης Σωτ.)

5. Επιπτώσεις της ερημοποίησης

Η ερημοποίηση έχει σημαντικότερες περιβαλλοντικές και κοινο-οικονομικές επιπτώσεις, αφού υποβαθμίζοντας τους φυσικούς πόρους, μειώνεται η παραγωγικότητα ενός τόπου και κατ' επέκταση το αγροτικό εισόδημα, μετατοπίζοντας το πληθυσμό σε περιοχές με περισσότερες δυνατότητες απασχόλησης. Ειδικότερα η ερημοποίηση συνεπάγεται τα εξής: απώλεια της βιοποικιλότητας, μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους, μεταβολή των τοπικών κλιματικών συνθηκών, μείωση της διαθεσιμότητας του γλυκού νερού, αύξηση της συχνότητας και του μεγέθους των πλημμύρων στις κατώτερες περιοχές, ιζηματογένεση των φραγμάτων, μείωση του αγροτικού εισοδήματος, εγκατάλειψη της γης, μετανάστευση του πληθυσμού.

Η βασική συνέπεια της ερημοποίησης είναι η εγκατάλειψη της γης, που ακολουθεί τη μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους. Οι ελαιώνες βρίσκονται συνήθως σε κλιματική και υψομετρική ζώνη που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην ερημοποίηση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2, η παραγωγή ελαιόλαδου στη Λέσβο μειώθηκε περίπου στο ένα τρίτο με την αύξηση του βαθμού υποβάθμισης και ερημοποίησης της γης. Η μειωμένη παραγωγή σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές αγοράς του προϊόντος οδηγεί στην εγκατάλειψη της γης και τη μετανάστευση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα ή άλλες γεωργικές περιοχές όπου εξασφαλίζεται

καλύτερη ποιότητα ζωής. Η μετανάστευση αυτή ασκεί ευρύτερες κοινωνικές και οικονομικές πιέσεις στους χώρους μετανάστευσης με συνέπεια την αλματώδη οικιστική επέκταση των πόλεων, τη ρύπανση και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, την ανεργία και τις ακραίες συμπεριφορές.

Το φυσικό περιβάλλον ως ανοικτό σύστημα δέχθηκε και δέχεται συνεχείς επιδράσεις από τον άνθρωπο που σε πολλές περιπτώσεις το υποβαθμίζει με την αλόγιστη παρέμβασή του. Το φυσικό περιβάλλον ως δυναμικό σύστημα αντιδρά στο φαινόμενο της ερημοποίησης και δημιουργεί μια νέα κατάσταση ισορροπίας η οποία συνήθως είναι κατώτερη της προηγούμενης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται περιοχές που άλλοτε ήταν καταπράσινες με άφθονα νερά και μεγάλη βιοποικιλότητα φυτών και ζώων να είναι απογυμνωμένες με υποτυπώδη βλάστηση, άνυδρες και αφιλόξενες για τα διάφορα έμβια όντα. (w.w.w.kinisipoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika).

6. Η επίδραση της γεωργίας υψηλής ενέργειας

Η εσκεμμένη και σχεδιασμένη αποψίλωση δασών και το κόψιμο δέντρων στην Αφρική για να δημιουργηθεί χώρος για προσοδοφόρες φυτείες έχει συμβάλει περισσότερο στην υποβάθμιση της βάσεως των φυσικών πόρων αυτής της ηπείρου από ότι η πίεση που ασκήθηκε στην ίδια βάση από τις κοινότητες των αυτόχθονων Αφρικανών. Η αύξηση των πληθυσμών των χωριών που εξαντλούν το τοπικό τους περιβάλλον είναι μόνο η κορυφή του παγόβουνου. Το γεωργικό μοντέλο υψηλής ενέργειας οδήγησε σε σοβαρά προβλήματα στη Βόρεια Αμερική, τη Δυτική Ευρώπη, τη Σοβιετική Ένωση και την Ανατολική Ευρώπη σε ότι αφορά το έδαφος και την υποβάθμισή της γης, χώρια τα προβλήματα του αναπτυσσόμενου κόσμου. Δεν προκαλεί έκπληξη λοιπόν ότι η χρήση μηχανικών συσκευών όπως τα άροτρα με δίσκους ή τα συρόμενα από τρακτέρ άροτρα στα ευαίσθητα εδάφη της Αφρικής, έχει προκαλέσει απώλειες εδάφους μέσω των επακόλουθων διαβρώσεων από ανέμους και βροχές. Και πάλι το ζήτημα είναι περίπλοκο και δεν έχει απλές ή απλοϊκές λύσεις. Το έδαφος στο Sahel, για παράδειγμα, έχει ουσιαστική έλλειψη φωσφόρου. Η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων –ένα προϊόν της γεωργίας υψηλής ενέργειας- μπορεί να διεγείρει την ανάπτυξη των ριζών των καλλιεργειών οδηγώντας τις ρίζες βαθύτερα στο έδαφος για να φτάσουν την υγρασία που βρίσκεται πέρα από εκεί που μπορούν να φτάσουν χωρίς βοήθεια. Και όμως η επιστροφή στις παραδόσεις της γεωργίας

αργού ρυθμού και η ετήσια χρήση σάπιων φύλλων και άχυρων και οργανικών λιπασμάτων θα βοηθούσε πολύ στην ανάκτηση της χαμένης ισορροπίας.

7. Η επέκταση της ερημοποίησης

Η ερημοποίηση είναι φαινόμενο κατά το οποίο το παραγωγικό δυναμικό μιας άνδρης ή ημιάνδρης περιοχής σημειώνει ελάττωση σε ποσοστό άνω του 10%, φαινόμενο που προξενείται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η μέτρια ερημοποίηση χαρακτηρίζεται από μία ελάττωση της παραγωγικότητας κατά 10-25%. Η σοβαρή ερημοποίηση παρουσιάζει ελάττωση 25-50%, πολύ σοβαρή ερημοποίηση άνω του 50%, δημιουργώντας συνήθως τεράστιες αύλακες και αμμόλοφους.

Η ερημοποίηση αποτελεί σοβαρό και εξελισσόμενο πρόβλημα σε πολλά μέρη του κόσμου. Οι περιοχές που επηρεάζονται κυρίως από την ερημοποίηση είναι οι περιοχές κτηνοτροφικής παραγωγής σε άνδρα και ημιάνδρα κλίματα, όπως στην Αφρική κάτω από την Σαχάρα, δηλαδή το τμήμα της Αφρικής μεταξύ της Βόρειας Αφρικανικής Ερήμου Σαχάρα και της πλούσιας σε βλάστηση έκτασης των 5 χωρών που αποτελούν η Νότια Αφρική, η Μέση Ανατολή, η Δυτική Ασία, μέρη της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής, το Δυτικό μισό των Η.Π.Α και η Αυστραλία.

Η μέτρια ερημοποίηση περνά απαρατήρητη. Για παράδειγμα, η υπερβόσκηση μείωσε την παραγωγικότητα μεγάλου μέρους των λειμώνων στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, έστω και αν οι περισσότεροι κάτοικοι εκεί δεν αντιλαμβάνονται ότι ζουν σε μια περιοχή μέτριας ερημοποίησης.

Οι περιοχές που αφήνουν την επιφάνεια του εδάφους εκτεθειμένη στην ερημοποίηση περιλαμβάνουν την υπερβόσκηση σε ευθραύστους άνδρους και ημιάνδρους λειμώνες, την αποψίλωση των δασών χωρίς την αναδάσωση, την επιφανειακή εξώριξη χωρίς αποκατάσταση, τις τεχνικές άρδευσης που οδηγούν σε αύξηση της διάβρωσης τη συσσώρευση αλάτων, το κορεσμό του εδάφους με νερό, τις καλλιέργειες σε εκτάσεις με ακατάλληλο έδαφος και την σύμπτυξη του εδάφους από τη χρήση αγροτικών και γεωργικών μηχανημάτων. Αυτές οι καταστροφικές τακτικές συνδέονται με τη πληθυσμιακή αύξηση, την υψηλή πυκνότητα ανθρώπων και ζώων, την φτώχεια και την κακή διαχείριση της γης. Οι συνέπειες της ερημοποίησης περιλαμβάνουν την επιδείνωση της ξηρασίας, της πείνας, τη πτώση των κριτηρίων διαβίωσης, την άνοδο του αριθμού των περιβαλλοντικών προσφύγων, η γη των

οποίων διαβρώθηκε τόσο, ώστε να μην μπορούν πλέον να την καλλιεργήσουν ή να θρέψουν τα ζώα τους.

Υπολογίζεται ότι 8,1 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, μια έκταση στο μέγεθος της Βραζιλίας, ερημοποιήθηκαν στα τελευταία 50 χρόνια. Το πρόγραμμα περιβάλλοντος την Ηνωμένων Εθνών εκτιμά ότι σε παγκόσμιο επίπεδο, το 63% των λειμώνων, 60% των καλλιεργειών που τρέφονται από την βροχή και το 30% των αρδευσιμων καλλιεργειών απειλούνται με ερημοποίηση. Η συνολική έκταση αυτής της περιοχής είναι 83 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, σχεδόν στο μέγεθος της Βορείου και Νοτίου Αμερικής. Αυτό το φαινόμενο απειλεί τη ζωή τουλάχιστον 900 εκατομμυρίων ανθρώπων σε 100 χώρες. Εάν οι υπάρχουσες στάσεις συνεχιστούν, η ερημοποίηση θα απειλήσει τη ζωή 1,2 δισεκατομμυρίων ανθρώπων μέχρι το 2000.

Κάθε χρόνο σημειώνεται μία χαμηλή έως μέτρια ερημοποίηση σε 60.000 KM και ακόμα 210.000KM που υποβάλλονται σε σοβαρή ερημοποίηση δεν θα είναι πλέον οικονομικά βιώσιμα για τις καλλιέργειες ή τη βοσκή.

Ο πλέον αποδοτικός τρόπος για την καθυστέρηση της ερημοποίησης είναι να μειώσουμε δραστικά την υπερβόσκηση, την αποψίλωση των δασών, τις καταστροφικές μορφές της φυτείας, άρδευσης και εξόριξης. Επιπλέον, τα προγράμματα αναδάσωσης θα βελτιώσουν το έδαφος και θα συγκρατήσουν το νερό, ενώ θα καθυστερήσουν την ερημοποίηση και θα μειώσουν την απειλή μιας παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας.

Αυτή η πρόληψη και αποκατάσταση μπορεί να κοστίζει περίπου 10-22 δις.δολάρια ετησίως μέσα στα επόμενα 20 χρόνια. Η δαπάνη αυτή είναι σημαντικά μικρότερη από ότι τα 42δισεκατομμυρια δολάρια της ετήσιας απώλειας που προβλέπεται να έχουμε στις αγροκαλλιέργειες λόγω της ερημοποίησης. Μόλις αυτή η παραγωγικότητα αντικατασταθεί, το κόστος του προγράμματος θα αποσβεστεί αμέσως. Μέχρι σήμερα λιγότερα από 1 δισεκατομμύρια δολάρια δαπανώνται ετησίως για την καταστολή της ερημοποίησης.(Miller)

8. Η ανθρώπινη αντίδραση

Αντιμετωπίζοντας όλες τις καταστροφές από την ήδη περιγραφθείσα υποβάθμιση του εδάφους και της γης, οι ανθρώπινοι πληθυσμοί έχουν μόνο τρεις πιθανές αντιδράσεις –**μαζική μετανάστευση**- όπως έγινε στην Αιθιοπία και την Ιάβα (η παραδοσιακά, αλλά όλο και περισσότερο δύσκολο για προφανείς πολιτικούς,

κοινωνικούς και οικονομικούς λόγους, υιοθέτηση μιας νομαδικής ή εναλλασσόμενης καλλιέργειας), ή δεύτερον, χρήση τεχνικών για να βοηθήσει η γη να επανακτήσει την παραγωγικότητα μέσω αποκατάστασης ή τρίτον επαναφέροντας την υποβαθμισμένη παρθένα γη στα πρώτα της μεγαλεία. Η αποκατάσταση αναζητεί μια πρακτική αντίδραση στην υποβάθμιση κάνοντας τη γη παραγωγική για τους ανθρώπινους πληθυσμούς. Η επαναφορά προσπαθεί να επαναφέρει την αρχική βιοποικιλότητα μια περιοχής όπως ήταν πριν οι άνθρωποι αρχίσουν να εμπλέκονται καταστρέφοντας τα οικοσυστήματά της.

8.1 Κατάλληλες τεχνικές

Οι γεωργικές τεχνικές αλλαγής καλλιεργειών στην Αφρική και σε μεγάλα τμήματα της άγονης Ινδικής γης αρχίζουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναστροφή των ρευμάτων που ισχύουν. Είναι φανερό ότι η πειραματική επιτυχία της σταθεροποίησης των αμμόλοφων με την φύτευση ανθεκτικών στην ξηρασία δενδριλίων αποτελεί μια προτεραιότητα στις περιοχές που έχουν υποστεί τις χειρότερες επιδράσεις. Ανεμοφράκτες από δένδρα μπορούν να μειώσουν την ταχύτητα του αέρα μέχρι 50%. Απάνεμες σοδειές έχουν συστηματικά καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με αυτές που δεν έχουν προστασία.

Σχεδόν το 50% των παγκόσμιων απωλειών σε έδαφος συμβαίνει στην Ινδία και για αυτό είναι ενθαρρυντικό ότι σημαντική πρόοδος έχει γίνει μέσω κοινωνικών προγραμμάτων δασοπονίας, καινούργιων και προσεκτικά σχεδιασμένων προγραμμάτων αρδύσεως, της εισαγωγής ή επανεισαγωγής δένδρων φρούτων και ειδών ζωοτροφών, που συχνά παρέχονται δωρεάν από το τοπικό τμήμα δασοπονίας. Τα προγράμματα αυτοβοήθειας των χωριών ενθαρρύνονται από την κυβέρνηση και από οργανισμούς-δότες, ενώ τα πρώτα παραδείγματα είχαν εφαρμοστεί από μη κυβερνητικούς οργανισμούς.

8.2 Αποκατάσταση της υποβαθμισμένης γης

Η επένδυση που χρειάζεται για την αποκατάσταση της υποβαθμισμένης γης είναι σημαντική όπως δείχνουν τα παρακάτω στοιχεία που υιοθετήθηκαν από τον FAO του ΟΗΕ το 1988.

Το 1988 η Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσεως και των Φυσικών Πόρων (IUCN – International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources) υιοθέτησε κατευθυντήριες γραμμές για την αποκατάσταση υποβαθμισμένης γης, που είχαν σφυρηλατηθεί σε μια επιστημονική συνάντηση στο Varousi της Ινδίας.

Οι κατευθυντήριες γραμμές είχαν τρία βασικά αντικείμενα: τα διεθνή προγράμματα διατηρήσεως θα πρέπει να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή σε ζητήματα και απειλές που απορρέουν από την υποβάθμιση του εδάφους και της γης, οι διεθνείς τράπεζες αναπτύξεως θα πρέπει να χρηματοδοτούν ευνοϊκά τα προγράμματα-πλότους για την αποκατάσταση υποβαθμισμένης γης, και οι οικολόγοι θα πρέπει να εξετάσουν πιο προσεκτικά τις επιδράσεις της πίεσεως και των διαταραχών πάνω στα οικοσυστήματα.

Η αναφορά προτείνει τα ακόλουθα:

- Οι κρίσιμες τοποθεσίες – όπως οι ιδιαίτερα εκτεθειμένες στη διάβρωση πηγές αλμυρού νερού κοντά σε λεκάνες απορροής ή περιοχές όπου κατοικούν απειλούμενα είδη- θα πρέπει να αποκαθίστανται πρώτες.
- Για την αρχική επαναφορά της βλαστήσεως θα πρέπει να περιληφθούν φυτά που προέρχονται από διαφορετικά διαδοχικά στάδια για να μειωθεί η πιθανότητα ανατροπής της φυσικής διαδοχής και να μπορούν να υπάρξουν είδη με αργή διάδοση.
- Πρέπει να περιληφθούν φυτά που προωθούν την διαδοχή ή συντηρούν θρεπτικούς κύκλους και κύκλους νερού. Οι σταθεροποιητές αζώτου, είναι ένα σημαντικό παράδειγμα, καθώς είναι φυτά των οποίων οι ρίζες μπορούν να διεισδύσουν κάτω από τα πρώτα άγονα στρώματα του εδάφους.
- Επειδή κοινωνικό-οικονομικά ζητήματα μπορούν κάλλιστα να κρίνουν την επιτυχία ή την αποτυχία των προγραμμάτων ανακάμψεως, οι κοινωνικοί επιστήμονες πρέπει να βοηθήσουν από την αρχή στο σχεδιασμό τους. Οι ντόπιοι πρέπει επίσης να εμπλέκονται, καθώς μερικοί από αυτούς μπορεί να είναι σε θέση να προσφέρουν παραδοσιακές γνώσεις γύρω από τοπικά φυτά και εδάφη.
- Τα προγράμματα παλινορθώσεως πρέπει να παρέχουν οικονομικό κέρδος στους συμμετέχοντες. Τα κίνητρα είναι καλύτερα από τις κυρώσεις, όμως αν

ψηφιστούν νέοι νόμοι που θα ρυθμίζουν τη χρήση γης, πρέπει να εφαρμόζονται απαρέκλητα.

- Οι νόμοι και τα έθιμά της υπό ανάκαμψη περιοχής πρέπει να εξετάζονται περιοδικά. Αν οδηγούν σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος, οι άνθρωποι πρέπει να ενθαρρυνθούν να τα αλλάξουν.
- Φυτείες δέντρων πρέπει να δημιουργηθούν στις υποβαθμισμένες περιοχές παρά σε μη διαταραγμένες ή κατά τα άλλα παραγωγικές περιοχές.
- Σαν απόρροια των προγραμμάτων ανακάμψεως οι προστατευμένες περιοχές πρέπει να διατίθενται για τη διατήρηση φυτών και διαφόρων ειδών ζώων που μπορεί να χρειαστούν για μελλοντικές αποκαταστάσεις.

9. Στρατηγική για την καταπολέμηση της ερημοποίησης

Ο Ridley Nelson της World Bank προσδιορίζει ένα αριθμό στρατηγικών για την καταπολέμηση της ερημοποίησης. Αυτές είναι:

(α) Βελτίωση των στοιχείων και πληροφοριών για τη δημιουργία μόνιμων εθνικών συστημάτων παρακολουθήσεως της γης όπως για παράδειγμα καλύτερη χαρτογράφηση, καλύτερες φωτογραφίες εδάφους, συστηματική βιντεοσκόπηση από το έδαφος κλπ.

(β) Βελτίωση της τεχνολογικής έρευνας για ξηρές περιοχές όπως για παράδειγμα για την αύξηση της αποδόσεως και επιμόρφωση τοπικών γεωργών γύρω από τις πετυχημένες νέες τεχνικές.

(γ) Αύξηση συστηματικής έρευνας γύρω από τις ξερικές καλλιέργειες και τις βοσκήσιμες περιοχές, τις σπουδές στα συστήματα γεωργίας και βοσκής και στις οικονομίες και τους κινδύνους των τεχνολογιών και όλα αυτά συγκεκρινοποιημένα όσον αφορά τις περιοχές. Ο Nelson σημειώνει ότι από τα 7000 είδη σόργου που εξετάστηκαν για βέλπιστα αποτελέσματα μόνο εννέα ήταν αρκετά καλά για να προχωρήσουν σε έλεγχο και μόνο δυο από αυτά κρίθηκαν ως υψηλής ποιότητας.

(δ) Ανάπτυξη λύσεων μικρής κλίμακας. Επειδή τόσες πολλές μεταβλητές προκαλούν ερημοποίηση δεν υπάρχουν καθολικές ή μαγικές λύσεις για το φαινόμενο και προκύπτει ότι οι μικρής κλίμακας τοπικές λύσεις προσφέρουν τον καλύτερο τρόπο για να προχωρήσει κανείς σε σχέση με τις μεγάλες λύσεις που εφαρμόζονται σε όλη τη χώρα.

(ε) Εξέταση της καθολικής στρατηγικής –που περιλαμβάνει και τρόπους ενεργοποίησης της τακτικής των κινήτρων αλλά και της πολιτικής των αντικινήτρων, όπως για παράδειγμα οι τιμές και οι φόροι.

(ζ) Εξέταση ειδικών στρατηγικών που μπορεί να χρειασθεί να υιοθετηθούν εξαιτίας της χαμηλής γονιμότητας του εδάφους και στις οποίες περιλαμβάνονται η μεταφορά πληθυσμών ή η εθελοντική μετανάστευση.

(η) Κατανόηση των λεπτών ισορροπιών στις φτωχές κοινωνίες που καλλιεργούν ξερικές εκτάσεις, ανάμεσα στις χαμηλού κινδύνου άμεσα βραχυπρόθεσμες αποδόσεις ώστε να επιβιώσουν και στις μακροπρόθεσμες ανάγκες ιδιοκτησίας γης.

Όλα αυτά στηρίζουν μια συνεχόμενη αντιστάθμιση μεταξύ των διαφόρων προτεραιοτήτων που εμφανίζονται κάτω από κάθε μια από τις στρατηγικές που προσδιορίστηκαν. Ο Nelson τονίζει ότι οι επιλογές υπάρχουν και πρέπει να γίνουν. Η στρατηγική ερώτηση είναι, όπως λέει: «Ποιά είναι τα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη τώρα και στο μέλλον, από την επένδυση σε διαχείριση ξερικής γης σε σχέση με επενδύσεις κάπου αλλού;»

Αυτό μας φέρνει στο κλείσιμο του κύκλου.. Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση με τις ερημοποιημένες περιοχές απαιτείται τρομερά βελτιωμένη και αυστηρά προσδιορισμένη γνώση της εκτάσεως των αιτιών της ερημοποίησης, των επιλογών σε διαθέσιμες τεχνολογικές και θεσμικές λύσεις για την καταπολέμηση της ερημοποίησης, των συστημάτων εναλλασσόμενης κατοχής γης που μπορεί να είναι διαθέσιμα ή θα συμφωνηθούν, ποιες δομές τιμολογήσεως προσφέρονται σε μικρής κλίμακας σχετικά φτωχούς γεωργούς, αν το κοινό θα παίρνει μέρος στη λήψη αποφάσεων, ποιο ρόλο θα παίζουν οι γυναίκες σε αυτή τη διεργασία, η ανάγκη για αυξημένο θεσμικό πλουραλισμό για να συστεγαστούν διαφορετικές απόψεις και προκλήσεις, η ανάπτυξη αποτελεσματικών σχεδίων βελτιώσεως της γεωργίας και η ανταπόκριση σε αυτές τις ανάγκες μέσω αποτελεσματικών επικοινωνιών. Αυτά είναι μερικά μόνο από τα ζητήματα που τίθενται.

Θα πρέπει ίσως να τονιστεί ότι μέρος της απαντήσεως στην ερημοποίηση μπορεί να βρίσκεται στην επικέντρωση των προσπαθειών στην παραγωγή περισσότερης τροφής για ανθρώπινη κατανάλωση από τους ωκεανούς που καταλαμβάνουν περί το 70% της επιφάνειας της υδρογείου. Για το θαλασσινό νερό μπορεί επίσης να υπάρχει ρόλος στην άρδευση ορισμένων φυτών που δεν εκτιμούνται μέχρι τώρα. Το Ισραήλ για παράδειγμα έχει εξασφαλίσει θεαματικά αυξημένες αποδόσεις στις φυτείες ντομάτας αρδεύοντάς τες με θαλασσινό νερό.

ένα πράγμα είναι πάντως βέβαιο, ότι η ερημοποίηση είναι περίπλοκο φαινόμενο. Οι επιστήμονες και κατά συνέπεια οι άνθρωποι γενικότερα, ξέρουν ελάχιστα για αυτή και για το πώς θα την πολεμήσουν. (Καρβούνης Σωτ.)

Ανάλογα με την ένταση των παραγόντων ερημοποίησης, η υποβάθμιση μπορεί να είναι μια αντιστρεπτή διαδικασία, δηλαδή να υπάρχει δυνατότητα ανάκαμψης, εάν ένας από τους παράγοντες ερημοποίησης αρθεί. Η ερημοποίηση είναι αντιστρεπτή όταν για παράδειγμα το διαθέσιμο νερό έχει περιοριστεί κάτω από ένα οριακό επίπεδο για την ανάπτυξη φυτών, αλλά το βάθος του εδάφους δεν είναι οριακό. Επίσης αντιστρεπτή μπορεί να είναι η διαδικασία ερημοποίησης, όταν η υπερβόσκηση προκαλεί μείωση της βιοποικιλότητας και φυτοκάλυψη μιας περιοχής. Αντιστρεπτή τέλος είναι η υποβάθμιση των εδαφών που προκύπτει από αλάτωση. Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις οι κατάλληλες διαχειριστικές παρεμβάσεις μπορούν να αντιστρέψουν τη πορεία ερημοποίησης.

Αντίθετα μη αντιστρεπτή ερημοποίηση παρατηρείται όταν το οικοσύστημα υποστεί μόνιμες και ανεπανόρθωτες επιδράσεις. Αυτό μπορεί να είναι το τελικό στάδιο μιας έντονης διεργασίας διάβρωσης. Μόνιμη ερημοποίηση προκαλείται όταν το βάθος του ριζοστρώματος μειωθεί κάτω από ένα επιτρεπτό όριο για την ανάπτυξη των φυτών. Άμεση συνέπεια είναι ότι η υδατοχωρητικότητα του εδάφους μειώνεται σημαντικά ώστε ελάχιστα φυτικά είδη να μπορούν να επιβιώσουν.

Η ερημοποίηση είτε ως αντιστρεπτή διαδικασία υποβάθμισης είτε ως μόνιμη αποτελεί ένα σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα με εξαιρετικά δυσάρεστες κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις. Οι ερημοποιημένες περιοχές λόγω της μειωμένης παραγωγικότητάς τους ωθούν τον πληθυσμό τους σε υποαπασχόληση είτε σε άλλες δραστηριότητες και συχνά σε μετανάστευση σε περιοχές με μεγαλύτερη προσφορά απασχόλησης. Θεωρώντας ανταπόδεικτη τη κρισιμότητα του προβλήματος για τη χώρα μας, γίνεται φανερό ότι η προστασία των φυσικών μας πόρων είναι θέμα μείζονος σημασίας και άμεσης προτεραιότητας.

Η πρόληψη και η αντιμετώπιση της ερημοποίησης θα επιτευχθεί με τη λήψη αφενός μεν ορισμένων μέτρων γενικής εφαρμογής που αφορούν σε ολόκληρο τον πληθυσμό της χώρας και τέμνουν πολλούς επί μέρους τομείς δραστηριοτήτων αφετέρου δε με ειδικά μέτρα που αφορούν συγκεκριμένα φυσικά, περιβαλλοντικά και κοινο-οικονομικά χαρακτηριστικά σε τοπικό επίπεδο. Τα γενικά μέτρα όπως αυτά προτείνονται στο Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης είναι:

Προσδιορισμός των απειλούμενων περιοχών
Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση κοινωνικών φορέων διοίκησης
Καθορισμός φορέων εφαρμογής και παρακολούθησης μέτρων
Σχεδιασμός και εφαρμογή χρήσης των γαιών
Ορισμός πιλοτικών περιοχών
Αναβάθμιση ερημοποιημένων περιοχών
Εξεύρεση απαιτούμενων πόρων
Σύναψη διεθνών συνεργασιών
Ανάπτυξη της έρευνας

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των κανόνων χρήσης των γαιών είναι ένα από τα αποτελεσματικότερα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης της ερημοποίησης. Η εφαρμογή του μέτρου αυτού θα έχει σημαντικά ευμενείς επιπτώσεις στην οικονομική, δημογραφική, χωροταξική και περιβαλλοντική ανάπτυξη της χώρας.

Το υφιστάμενο καθεστώς χρήσης γαιών, παρά τα μέτρα συστηματικής διαχείρισης δασών, παραμένει επί το πλείστον χαώδες και άναρχο. Είναι ίσως η κύρια αιτία της ασύμμετρης οικονομικής, δημογραφικής και χωροταξικής οργάνωσης της χώρας και της κατασπατάλησης των εθνικών μας πηγών. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια εγκατάλειψη των επικλινών περιοχών και σημαντική μείωση της βόσκησης σε απομακρυσμένες περιοχές για οικονομικούς και κοινωνικούς λόγους, που έχει σαν αποτέλεσμα στις περισσότερες περιπτώσεις την απομάκρυνση του κινδύνου ερημοποίησης.

Η μόνη γη που προστατεύεται σήμερα είναι η δασική. Αλλά οι σχετικές ρυθμίσεις είναι σε αρκετά σημεία αναχρονιστικές, λανθασμένες και σε μερικές περιπτώσεις οδηγούν σε αποτελέσματα αντίθετα με τα επιδιωκόμενα.

Η αυστηρή και αποτελεσματική εφαρμογή των νόμων και κανονισμών σχετικά με τη χρήση της γης και την ορθολογική εκμετάλλευση των φυσικών προϋποθέτει τη δημιουργία κατάλληλων μηχανισμών ή αναδιοργάνωση των υπάρχοντων καθώς και οι ευνοϊκές προϋποθέσεις για την ενθάρρυνση των κατοίκων να εφαρμόσουν φιλικές προς το περιβάλλον χρήση της γης για τη διατήρηση της φυσικής βλάστησης και γενικά την παραγωγικότητα του τόπου. Από τα ανωτέρω καθίσταται σαφές ότι η θέσπιση ορθολογικών κανόνων χρήσης γαιών αποτελεί μέτρο ύψιστης προτεραιότητας.

Τέλος η αποτελεσματική προστασία των φυσικών πόρων μιας περιοχής από την ερημοποίηση απαιτεί τη μελέτη και λεπτομερή απογραφή όλων των παραγόντων

που την προκαλούν και τη λήψη των απαραίτητων κατά περίπτωση τεχνικών και θεσμικών μέτρων για την ορθολογική διαχείριση και προστασία της γης.
(w.w.w.kinisipoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika.)

Συμπεράσματα

Η ανάγκη προστασίας του εδάφους

Τα έδαφος ορίζεται εν γένει ως το ανώτατο τμήμα του γήινου φλοιού.

Πρόκειται για ένα διαζόντως δυναμικό σύστημα το οποίο έχει πολυάριθμες λειτουργίες (παραγωγή βιομάζας-τροφής- και πρώτων υλών, η διήθηση και η μετατόπιση των θρεπτικών συστατικών, διαφόρων ουσιών και του νερού, παροχή φυσικού υπόβαθρου για την ανάπτυξη της βιοποικιλότητας, η συγκρότηση αποθέματος άνθρακα, καθώς και η διαφύλαξη της γεωλογικής και αρχαιολογικής κληρονομιάς), και διαδραματίζει καθοριστικής σημασίας ρόλο στις ανθρώπινες δραστηριότητες και στην επιβίωση των οικοσυστημάτων. Οι διαδικασίες που επιτρέπουν το σχηματισμό και την αναγέννηση του εδάφους είναι ιδιαίτερα αργές με αποτέλεσμα το έδαφος να θεωρείται μη ανανεώσιμος πόρος.

Οι κύριες διαδικασίες εδαφικής υποβάθμισης είναι η διάβρωση, η μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανικό υλικό, η αλάτωση, η υποβάθμιση της εδαφικής βιοποικιλότητας, η συμπίεση- συμπίκνωση των εδαφών, η ρύπανση των εδαφών καθώς και η ερημοποίηση.

Η υποβάθμιση του εδάφους αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στην Ευρώπη. Προκαλείται ή επιδεινώνεται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι ακατάλληλες γεωργικές και δασοκομικές πρακτικές, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, ο τουρισμός, η εξάπλωση των αστικών κέντρων και της βιομηχανίας, καθώς και ο χωροταξικός σχεδιασμός.

Οι συνέπειές της είναι μεταξύ άλλων, η μείωση της εδαφικής γονιμότητας, απώλειες άνθρακα και βιοποικιλότητας, ο περιορισμός της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί νερό, η διατάραξη των κύκλων των αερίων και των θρεπτικών συστατικών και η μείωση της αποδόμησης των ρυπογόνων ουσιών. Η υποβάθμιση των εδαφών επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του νερού και του αέρα, τη βιοποικιλότητα και τις κλιματικές αλλαγές. Παράλληλα μπορεί να επηρεάσει την υγεία του πληθυσμού ή να απειλήσει την ασφάλεια των ειδών ανθρώπινης και ζωικής διατροφής.

Καλό θα ήταν λοιπόν, για τη πρόληψη της υποβάθμισης του εδάφους, τη διαφύλαξη των λειτουργιών του και την αποκατάσταση των ήδη υποβαθμισμένων εκτάσεων να γίνει κάποια αντίστοιχη πρόταση που να προβλέπει το χαρακτηρισμό των απειλούμενων περιοχών, καθώς και των τοποθεσιών που έχουν υποστεί ρύπανση παράλληλα με την αποκατάσταση των ήδη υποβαθμισμένων εδαφών.

Η ανάλυση που περιέρχεται στη παρούσα μελέτη υποδηλώνει ότι μια ευέλικτη πράξη νομοθετικού περιεχομένου με τη μορφή οδηγίας-πλαίσιο για το έδαφος, η οποία να είναι φιλόδοξη σε ότι αφορά το επίπεδο εφαρμογής χωρίς να είναι δεσμευτική ως προς το περιεχόμενό της, αναμένεται να αποφέρει οφέλη που θα υπερβούν κατά πολύ τις συνακόλουθες δαπάνες.

Θεωρητικά, τα οφέλη από τη πλήρη εφαρμογή ενός σχεδίου δράσης συνίσταται στην αποφυγή του κόστους της εδαφικής υποβάθμισης και ως εκ τούτου αναμένεται να ανέρχονται σε 38 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως. Ωστόσο, τα οφέλη από τυχόν δράσεις για την προστασία των εδαφών δεν θα ισοσταθμίσουν το συνολικό κόστος της εδαφικής υποβάθμισης, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι στην πραγματικότητα είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολο, αν όχι ανέφικτο, να αποτραπούν πλήρως όλες οι διεργασίες εδαφικής υποβάθμισης ή να μετριαστούν ριζικά οι επιπτώσεις τους. Επιπλέον, τα κράτη μέλη θα καθορίσουν τα επίπεδα των φιλοδοξιών τους σε ότι αφορά την αντιμετώπιση της εδαφικής υποβάθμισης ανάλογα με τη κλίμακα του προβλήματος, την αντίληψή τους όσον αφορά την αποδοχή των συνακόλουθων κινδύνων και με γνώμονα τις πολιτικές, κοινωνικές και οικονομικές ιδιαιτερότητές τους.

ΕΞΕΤΑΣΘΕΙΣΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Ο κάτωθι εναλλακτικές δυνατότητες, παρατιθέμενες κατά αύξοντα περιοριστικό χαρακτήρα, ελήφθησαν υπόψη κατά την εκτίμηση των επιπτώσεων:

1. Τα κράτη μέλη ενθαρρύνονται να αναλάβουν δράση στο πλαίσιο μιας γενικής και μη δεσμευτικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έδαφος.

2. Έκδοση ελαστικής νομοθετικής πράξης με τη μορφή οδηγίας-πλαίσιο για το έδαφος, φιλόδοξης ως προς το πεδίο εφαρμογής αλλά όχι εντελώς δεσμευτικής ως προς το περιεχόμενο.
3. Νομοθετικές προτάσεις για τις επιμέρους εδαφικές απειλές, καθορίζοντας επίσης στόχους και μέσα για την αντιμετώπισή τους σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Για να επιτευχθεί η προστασία του εδάφους, απαιτείται να ληφθούν σχετικές δράσεις σε υπερεθνικό, εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Ωστόσο, η κλίμακα του προβλήματος, οι σημαντικές διαμεθοριακές δαπάνες και εκτός τόπου επιπτώσεις που επωμίζεται η κοινωνία, αποδεικνύουν ότι η μέχρι τώρα υιοθετήσα προσέγγιση, ελλείπει εστιασμένης πολιτικής, δεν επέτρεψε τη δημιουργία γενικών μηχανισμών αντιμετώπισης των εντοπιζόμενων απειλών. Ως εκ τούτου, θεωρείται ότι η μη ανάληψη δεσμευτικής δράσης σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης δε θα αρκούσε για την αντιμετώπιση των διαπιστούμενων προβλημάτων.

Παράλληλα, το έδαφος ποικίλει ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα γενικά χαρακτηριστικά του, αλλά και σε ότι αφορά τη χρήση του σε κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο. Ως εκ τούτου, είναι δυσχερής η καθιέρωση γενικών προτύπων και μέτρων εδαφικής ποιότητας για ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, με στόχο να αντιμετωπιστούν οι απειλές που αντιμετωπίζει το έδαφος. Κατά συνέπεια, θεωρήθηκε αδύνατο προς την αρχή της επικουρικότητας το ενδεχόμενο να διατυπωθούν χωριστές νομοθετικές προτάσεις για την αντιμετώπιση των επί μέρους εδαφικών απειλών.

ΕΠΙΛΕΓΕΙΣΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Η προτεινόμενη λύση περιέχει γενικές διατάξεις προληπτικού χαρακτήρα που επιβάλλουν στα κράτη μέλη να καταλάβουν κάθε δυνατή προσπάθεια για την αποτροπή της εδαφικής υποβάθμισης. Τα κράτη μέλη καλούνται εν προκειμένω να προσδιορίσουν τις περιοχές που αντιμετωπίζουν κινδύνους διάβρωσης, μείωσης της οργανικής ύλης, συμπίεσης και αλάτωσης ενώ, παράλληλα, καλούνται να υιοθετήσουν στόχους μείωσης των κινδύνων και να καταρτίσουν προγράμματα μέτρων για την επίτευξη των αντίστοιχων στόχων. Τα κράτη μέλη οφείλουν να προσδιορίσουν τις τοποθεσίες που έχουν υποστεί ρύπανση στην εθνική τους

επικράτεια, βάση της λεγόμενης έκθεσης για την κατάσταση του εδάφους και να διαμορφώσουν εθνική στρατηγική αποκατάστασης.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Η προτεινόμενη λύση περιέχει σειρά ειδικών υποχρεώσεων για την επίτευξη του κοινού στόχου που είναι ο προσδιορισμός των περιοχών και της κλίμακας του προβλήματος της υποβάθμισης του εδάφους, καθώς και μια γενικότερη υποχρέωση ανάληψης σχετικής δράσης.

Το κόστος και τα οφέλη της προτεινόμενης λύσης αφορούν κυρίως δυο μέρη της:

1. Την αναγνώριση του προβλήματος (προσδιορισμός των περιοχών που αντιμετωπίζουν κινδύνους και των περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση).
2. Τα συνακόλουθα μέτρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος που καλούνται να λάβουν τα κράτη μέλη και τα οποία αποφασίζονται από αυτά.

Κόστος και οφέλη από την αναγνώριση του προβλήματος

Κόστος

Για τον προσδιορισμό των περιοχών που αντιμετωπίζουν κινδύνους, εξετάστηκαν τρεις εναλλακτικές δυνατότητες. Η προτιμηθείσα εναλλακτική δυνατότητα ήταν η στοχοθετημένη παρακολούθηση, η οποία επιτρέπει την αξιοποίηση δεδομένων που έχουν ήδη συγκεντρωθεί μέσω των συστημάτων παρακολούθησης. Το συνολικό κόστος αναμένεται να μην υπερβαίνει τα 2 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως για την ΕΕ.

Η κατάρτιση καταλόγου των περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση απαιτεί τη λήψη σειράς μέτρων: προκαταρκτική επισκόπηση και εν συνεχεία επιτόπιες έρευνες για να καθοριστεί κατά πόσο η εκάστοτε περιοχή έχει υποστεί ρύπανση ή όχι. Η προκαταρκτική επισκόπηση, που εκτελείται εντός πέντε ετών, αποτελεί την αρχή της όλης διαδικασίας απογραφής. Οι δαπάνες για το πενταετές αυτό πρώτο στάδιο των πέντε πρώτων ετών υπολογίζονται σε περίπου 51 εκατομμύρια ευρώ ετησίως για την

ΕΕ. Το συγκεκριμένο πρώτο στάδιο θα ακολουθηθεί από σειρά ερευνών, ώστε να συναχθούν οριστικά συμπεράσματα σχετικά με το κατά πόσον υφίσταται όντως ουσιαστικοί κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου ή το περιβάλλον. Σε περίπτωση θετικής απάντησης, η εκάστοτε περιοχή θα χαρακτηρίζεται ως περιοχή που έχει υποστεί ρύπανση και θα καταχωρίζεται στο κατάλογο. Δεδομένου ότι επί του παρόντος αγνοείται, ο αριθμός των περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση στην ΕΕ αυτός έπρεπε να συνάγεται βάση του αντίστοιχου πλαισίου. Χρησιμοποιώντας το πλαίσιο αυτό, η ολοκλήρωση της απογραφής των τοποθεσιών που έχουν υποστεί ρύπανση αναμένεται να κοστίζει μέχρι 240 εκατομμύρια ευρώ ετησίως για την ΕΕ για τα επόμενα; 25 έτη.

Η έκθεση για τη κατάσταση του εδάφους, που συντάσσεται για κάθε κτηματική συναλλαγή που αφορά περιοχή στην οποία αναπτύσσεται ή αναπτύχθηκε κατά το παρελθόν ρυπογόνος για το έδαφος δραστηριότητα, αποσκοπεί στη διευκόλυνση και την επιτάχυνση της καταχώρισης των τοποθεσιών που έχουν υποστεί ρύπανση. Οι κτηματικές συναλλαγές που εμπíπτουν στο πεδίο εφαρμογής της εν λόγω διάταξης θα εξασφαλίζουν την αυτόματη εισροή μέρους των πληροφοριών που είναι απαραίτητες εκ μέρους των αρμόδιων αρχών των κρατών μελών για την ολοκλήρωση του καταλόγου. Δεδομένου ότι όλες οι εδαφικές έρευνες που εκτελούνται στο πλαίσιο της σύνταξης της έκθεσης για την κατάσταση του εδάφους θα έπρεπε, σε αντίθετη περίπτωση, να εκτελεστούν στο πλαίσιο της απογραφής, θεωρείται περιττός ο υπολογισμός του κόστους της έκθεσης για τη κατάσταση του εδάφους. Το κόστος αυτό καλύπτεται ήδη από το κόστος της απογραφής των περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση. Δε θα υπάρξει αύξηση του συνολικού κόστους διαχείρισης των περιοχών που έχουν υποστεί ρύπανση, λόγω της δημιουργίας μηχανισμού χρηματοδότησης της αποκατάστασης των ορφανών τοποθεσιών. Η δημιουργία ειδικού μηχανισμού, ωστόσο, θα οδηγήσει στην ανακατανομή των κονδυλίων του προϋπολογισμού για τη διαχείριση των τοποθεσιών που έχουν υποστεί ρύπανση.

Οφέλη

Τα οφέλη από την εφαρμογή των παραπάνω προτεινόμενων λύσεων δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν. Ωστόσο, από ποιοτική σκοπιά, η θέσπιση συστήματος

που να επιτρέπει στα κράτη μέλη να εντοπίζουν τα προβλήματα που οφείλονται στην εδαφική υποβάθμιση, αναμένεται να τους επιτρέψει να αντιμετωπίσουν τα θέματα προστασίας του εδάφους και να καταπολεμήσουν τις σχετικές απειλές συστηματικά, αποτελεσματικά και αποδοτικά. Θα δύναται να εγκρίνουν πιο στοχοθετημένα και αποτελεσματικότερα μέτρα στις μεσο- και μακρο- πρόθεσμες στρατηγικές τους, προωθώντας παράλληλα την αειφόρο χρήση του εδάφους. Το σύστημα θα τους επιτρέψει επίσης να υιοθετήσουν μια προληπτική προσέγγιση, προστατεύοντας έτσι τα οικοσυστήματα και επιτρέποντας στην κοινωνία να πραγματοποιήσει πολύ μεγαλύτερες οικονομίες από ότι τι επικρόσθετο κόστος για το έδαφος.

Το κόστος και τα οφέλη των πιθανών μέτρων που θα λάβουν τα κράτη μέλη

Η προτεινόμενη λύση επιβάλλει στα κράτη μέλη να λαμβάνουν ειδικά μέτρα για την αντιμετώπιση των εδαφικών απειλών, αλλά εξασφαλίζει υψηλό βαθμό ελευθερίας στα κράτη μέλη σε ότι αφορά τον τρόπο με τον οποίο καλούνται να ανταπεξέλθουν στη ως άνω απαίτηση. Αυτό σημαίνει ότι η αποδοχή του κινδύνου, το επίπεδο των φιλοδοξιών σε ότι τους αφορά θα πρέπει να καθοριστούν και η επιλογή των μέτρων για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων αφήνονται στα κράτη μέλη, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατος ο πλήρης προϋπολογισμός των επιπτώσεων της προτεινόμενης λύσης. Ενώ από ποιοτική σκοπιά, οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις των πιθανών μέτρων ενδέχεται να είναι παρεμφερείς σε όλα τα κράτη μέλη, αντίθετα, από ποσοτική σκοπιά, οι επιπτώσεις των πιθανών μέτρων θα κυμαίνονται σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με την ειδική προσέγγιση (ανά τοποθεσία) και τα εκάστοτε ληφθέντα μέτρα. Ως εκ τούτου, στάθηκε αδύνατο στο πλαίσιο της αξιολόγησης των επιπτώσεων να ποσοτικοποιηθούν όλες οι επί μέρους συνέπειες ανάλογων ειδικών μέτρων και εξασφαλίστηκε αποκλειστικά και μόνο η ποιοτική αξιολόγηση των επιπτώσεων των πιθανών μέτρων για την καταπολέμηση της εδαφικής υποβάθμισης.

Ανάλογα με τα συστήματα χρηματοδότησης που τα κράτη μέλη θα εγκρίνουν με τα προγράμματα μέτρων τους και με τις εθνικές στρατηγικές αποκατάστασης, οι σχετικές δαπάνες θα επιβαρύνουν σε διαφορετικό βαθμό τους χρήστες γης, τους επιμέρους οικονομικούς κλάδους, τους εθνικούς προϋπολογισμούς ή τον προϋπολογισμό της ΕΕ.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Οι δαπάνες θα προηγηθούν κατά πολύ των τυχόν οφελών.
- Τα οφέλη θα αφορούν εν μέρει τους χρήστες γης αλλά και ολόκληρη την κοινωνία.
- Οι δαπάνες θα μειώνονται, δεδομένου ότι ορισμένες απειλές αναμένεται να εξαλειφθούν πλήρως σε ορισμένες περιοχές. Τα οφέλη θα κλιμακωθούν με τη πάροδο του χρόνου, με τη σταδιακή αποκατάσταση της γονιμότητας του εδάφους και των εδαφικών λειτουργιών.
- Τα οφέλη θα αυξάνονται επίσης βαθμιαία καθώς τα λαμβανόμενα μέτρα αρχίζουν να έχουν θετικές συνέπειες σε ευρύ φάσμα περιοχών γίνεται επί του παρόντος αισθητό το κόστος της εδαφικής υποβάθμισης.
- Οι δαπάνες δεν θα πρέπει να αναληφθούν ταυτόχρονα και η κατανομή τους δεν θα είναι ομαλή μεταξύ των κρατών μελών. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένες απειλές ενδέχεται να είναι σημαντικότερες σε κάποια από τα κράτη μέλη από ότι σε κάποια άλλα, καθώς και στο γεγονός ότι ορισμένα από τα κράτη μέλη είναι πιο προχωρημένα από τα υπόλοιπα ως προς την καταπολέμηση της εδαφικής υποβάθμισης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ

- Foster G. R and Highfill. R. E. 1983. Effect of terraces ou soil loss .USLED. factor values for terases.
- Goudtjohn N. 1974. Προστασία των εδαφών και αγώνας κατά της διάβρωσης.
- Kohnke H.end Bertrand A 1962. Soil conservation.
- Landi R. 1984. Regimazione inraulico-agracia e conservazione del suolo.
- Miller T. G. 2000. Βιώνοντας στο περιβάλλον2. Προβλήματα περιβαλλοντικών συστημάτων Εκδ. ΙΩΝ.
- Sehmid G. 1985. Bodenerosion in Blickfeld der Flurberenigung.
- Walker R. D. 1980. USLE. a quick way to estimate your erosion losses.
- Wandetner P. 1984. Die okologie als partner der land der landwirtschaft.
- Αλεξανδρής Σ. 1981. Οι επιπτώσεις από τις δασικές πυρκαγιές στο φυσικό οικοσύστημα, προστασία του περιβάλλοντος.
- Αλεξανδρής Σ. 1989. Προστασία από την διάβρωση των εδαφών .
- Γρηγοράκης Χ. 1967. Προβλήματα της διάβρωσης του εδάφους στην Ελλάδα. Νέα αγροτική επιθεώρηση.
- Εντυχίδης Γ., 1987. Η διάβρωση στο ελληνικό χώρο.
- Ζασλάβσκι Μ. Ν. 1987. Επιστήμη της διάβρωσης και οι βάσεις της αντιδιαβρωτικής προστασίας των εδαφών. Εκδ. Ανώτατη σχολή Μόσχας.
- Ζασλάβσκι Μ.Ν. 1983 Επιστήμη της διάβρωσης. Εκδ. Ανώτατη σχολή Μόσχα.
- Καστάνοβ Α. Ν και Ζαζλάβσκι Μ. Ν. 1984. Γεωγραφική εδαφουδατοπροστασία. Εκδ. Γεωργία. Μόσχα
- Μήτσιος Ι. Κ. 1994. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες. Πανεπιστημιακή έκδοση Βόλος.
- Μήτσιος Ι. Κ. 1996. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων. Πανεπιστημιακή έκδοση Βόλος.
- Μήτσιος Ι. Κ. και Πασχαλίδης Χ. Δ. 1992. Εθνικό πρόβλημα η αντιμετώπιση της διάβρωσης των εδαφών. Αγροτικός Συνεργατισμός.
- Νιγμάτοβ Α. Ν 1987. Αντιμετώπιση της χαραδρώδους διάβρωσης στο Ουζμπεκισταν. Εκδ. Η σοδιά Κίεβο.

- Παναγιός Κ. Π. 1975. Πειραματικά αποτελέσματα από την αντιμετώπιση της αυλακοειδούς διάβρωσης σε αρδευόμενα εδάφη με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών. Εκδ. Εδαφολογία Μόσχα.
- Παναγιός Κ. Π. 1981. Αντιμετώπιση της αυλακοειδούς διάβρωσης με τη χρήση εδαφοβελτιωτικών. Εκδ. Ανώτατη Σχολή Μόσχας.
- Παναγιός Κ. Π. και Αρηπόβ Η.Α. 1982. Προστασία των εδαφών από διάβρωση και προστασία του περιβάλλοντος από τη χημική ρύπανση. Εκδ. Το στάχυ Μόσχα.
- Παναγιός Κ.Π. 1982. Προστασία των εδαφών από τη διάβρωση και προστασία του περιβάλλοντος από τη χημική ρύπανση. Εκδ. Το στάχυ Μόσχα.
- Πάνου Δ. Α. 1982. Ο πράσινος εθνικός φυτοτεχνικός χρυσός. Εκδ. Πάνου.
- Παρούσης Η., Αλεξανδρής Σ., Σιμώνης Α., 1990. Το πρόβλημα διάβρωσης των Ελληνικών εδαφών. Πρακτικά του 3^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου Προστασία εδαφών ποιότητα ζωής. (Θεσσαλονίκη).
- Τσατσαρέλη Κ. Α. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Εκδ. Γιαχούδη.

ΡΥΠΑΝΣΗ

- Adriano D.C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. N.Y.
- Aldaz L. 1969. Flux measurements of atmospheric ozone over land and water.
- Bohn H. L. 1972. Soil Absorption of air pollutants.
- Smith K. A. 1973. Sorption of gaseous atmospheric pollutants by soils.
- Baker D. E. and L. Chesnin, 1975. Chemical monitoring of soils for environmental quality and animal and human health.
- Smith E. A. and Mayfield C.L. 1978. Effects of nitrogen dioxide on selected soil processes. Water, Air and Soil Pollution.
- Heinricks H. and R. Mayer, 1980. The role of forest vegetation in the biogeochemical cycle of heavy metals.
- Hoffmann G. 1982. Zusammenhaenge zwischen Schadstoffgehalten im Boden, in Fytter. Landw. Fursch.
- Χαϊντούτη Κ. 1982. Μελέτη της χλώρωσης στη φυσική βλάστηση της περιοχής Σουσάκι Κορίνθου. Γεωργική Έρευνα.
- Sposito G. and Page A. L. 1984. Cycling of metal ions in the soil environment, in Metal Ions in Biological Systems.

- Κωτσοβίνος Ν. Ε. 1985. Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος. Εκδ. Πλαίσιο.
- Merry R. H., and K. G. Tiller, 1991. Distribution and budget of cadmium and lead in an agricultural region near Adelaide, South Australia. *Water, Air and Soil Pollution*.
- Wu Y. 1991. Interim environmental guidelines for cadmium and mercury in soils of China.
- Kabata-Pendias A. and H. Pendias, 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*.
- Shenber M. A. and Johanson K. J. 1992. Influence of Zeolite on the availability of radiocaesium from soils to plants.
- Nisbet A. F. 1993. Effect of soil-based countermeasures on solid – liquid equilibria in agricultural soils contaminated with radiocaesium and radiostrodium.
- Κώττη Γ. Χ. 1994. *Οικολογία και Οικονομία*. Εκδ. Παπαζήση.
- Alloway B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*, Blackie and Son.
- Doran J. W., M. Sarantonio and M. A. Liebig, 1996. *Soil Health and Sustainability. Advances in Agronomy*.
- Li Z. and L. M. Shumam., 1996. Heavy metal movement in metal contaminated soil profiles.
- Voutsas D. 1996. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter.
- Chronopoulos J. 1997. Variations in plant and soil lead cadmium content in urban parks in Athens.
- Erel Y., A. 1997. Tracing the transport of anthropogenic lead in the atmosphere and in soils using isotopic ratios.
- Stainnes E. 1997. Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long-range atmospheric transport.
- Μάσσας Ι. 1997. Επιβάρυνση των εδαφών της περιοχής του ελαιώνα Αθηνών με βαριά μέταλλα. Πανεπιστημιακή έκδοση Αιγαίου.
- Garcia R. and E. Millan, 1998. Assesment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Spain.
- Hooda P. S. and Alloway B. J. 1998. Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils.
- Ullrich S. M. 1999. Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soils near Bytom.
- Zupancic N. 1999. Lead contamination in the roadside soils of Slovenia.

- Miller G. T. 2000. Αρχές Περιβαλλοντικών Επιστημών. Βιώνοντας στο περιβάλλον 1. Εκδ. ΙΩΝ.
- Pichtel J. 2000. Distribution of Pd, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites.
- Sharma K. and L. B. Reutergardh, 2000. Exposure of Preschoolers to lead in the Makati area of Metro Manila.
- Simonetti A. 2000. Pd and Sr isotopic evidence of atmospheric heavy metals and deposition budgets in northeastern North America.
- Sterckeman T. 2000. Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France.
- Μισοπολινός Ν., Γ. Ζαλίδης και Κ. Παναγιωτόπουλος 2000. Η ποιότητα του εδάφους ως μοχλός για αειφορικό περιβάλλον. Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Καβάλα.
- Βερεσόγλου Δ. Σ. 2002. Οικολογία. Εκδ. έλλα.
- Χαϊντούτη Κ. 2002. Περιβαλλοντική Εδαφολογία. Πανεπιστημιακή έκδοση
- Πολυράκης Γ. Θ. 2003. Περιβαλλοντική Γεωργία. Εκδ. Ψυχάλου.
- Σκάρλου Β. 1996. Μετακίνηση κατά βάθος ραδιονουκλιδίων ⁸⁵Sr και ¹³⁴Cs σε αδιατάρακτες εδαφικές στήλες. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. [w.w.w. 1tee.volou.mag.sch.gr/ecology/pollution.htm](http://www.1tee.volou.mag.sch.gr/ecology/pollution.htm).

ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

- Μήτσιος Ι. Κ 1996. Εδαφολογία Εκδ. Zymel.
- Τσατσαρέλης Κ. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Εκδ. Γιαχούδη

ΑΛΑΤΟΥΧΑ – ΑΛΚΑΛΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

- Ayres R. S. and Westcot D. L. 1985. Quality for Agriculture.
- Christiansen J. E. 1977. Irrigation water.
- Doneen L. D. 1954. Salinization of soil by salts in the irrigation water.
- Maas E. V. 1985. Salt tolerance of plants.
- Μήτσιος Ι. Κ. 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με νάτριο) εδάφη ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης. Εκδ. Zymel.

Μισοπολινός Ν. Δ. 1991. Προβληματικά εδάφη. Εκδ. Γιαχούδη.

ΣΥΜΠΙΕΣΗ

w.w.w.geo.auth.gr

Τσατσαρέλης Κ. Α. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Εκδ. Γιαχούδη.

ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

Begon M. 1996. Ecology Individuals, Populations and Communities.

Bradshaw A.D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice.

Dobson A. P. 1996. Conservation and Biodiversity.

Erwin T. L. 1983. Beetles and other insects of tropical forest.

May R. M. 1991. A fondness for fungi. Nature.

Reid W. V. and G. Miller. 1989. Keeping options alive.

Thomas C. D. 1990. Fewer species. Nature.

Wilson E. O. 1988. Biodiversity. National Academy.

Βερεσόγλου Δ. Σ. 1991. Οικολογία Εκδ. έλλα.

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%.....>

w.w.w.ert.gr/nature/poiotita-zois/apeli/tis/biopoikilotitas.htm

ΕΡΗΜΟΠΟΙΗΣΗ

Glantz and Orlousky. Low temperature acclimation and the seasonal temperature sensitivity of hanb.

Miller T. G. 2000. Βιώνοντας στο περιβάλλον 2. Προβλήματα περιβαλλοντικών συστημάτων Εκδ. ΙΩΝ.

Καρβούνης Σ. 1996. Οικολογία

[w.w.w. Kinisipoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika](http://w.w.w.Kinisipoliton.gr/themata-perivallon/nero/praktika)