



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στη Δρ. Γιαννακοπούλου Φωτεινή, χάρη στην επιμονή και την ορθή καθοδήγηση της οποίας, ολοκλήρωσα την συγκεκριμένη εργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μουρούτογλου που μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
Κεφάλαιο 1: ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	9
1.1 Σύσταση και ιδιότητες εδάφους	10
1.2 Λειτουργίες εδάφους	15
1.3 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εδάφους που επιδρούν στη χάραξη των πολιτικών	17
1.4 Ελληνικά εδαφικά συστήματα	19
1.5 Ταξινόμηση εδαφών	20
1.5.1 Οι κυριότερες τάξεις εδαφών στην Ελλάδα	21
1.6 Οι κύριες απειλές που αντιμετωπίζει το έδαφος	26
1.7 Η φωτιά στα μεσογειακά οικοσυστήματα	34
1.8 Αντιμετώπιση	35
Κεφάλαιο 2: Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	37
2.1 Η αναζήτηση αειφορικών συστημάτων διαχείρισης της γης	38
2.2 Ποιότητα εδάφους και σταθερότητα εδάφους	41
2.3 Ποιότητα εδάφους και παραγωγικότητα εδαφικών πόρων	42
2.4 Ποιότητα εδάφους και καλλιεργητικές τεχνικές	44
2.5 Ποιότητα εδάφους και ποιότητα νερού	46
2.5.1 Ποιότητα εδάφους και υδρολογικός κύκλος	47
2.5.2 Αειφορία υδατικών πόρων	48
2.5.3 Τα προβλήματα της ποιότητας του νερού	49
2.5.4 Η ρύπανση του νερού	50
2.6 Δείκτες ποιότητας εδάφους	51
2.6.1 Οπτικοί δείκτες	53
2.6.2 Φυσικοί δείκτες	53
2.6.2.1 Κοκκομετρική σύσταση	54
2.6.2.2 Βάθος εδάφους ή επιφανειακού ορίζοντα / στρώσης	56
2.6.2.3 Διηθητικότητα και Φαινομενική Πυκνότητα	57
2.6.2.4 Ικανότητα Συγκράτησης Νερού	58
2.6.3 Χημικοί Δείκτες	58
2.6.3.1 Οργανική Ουσία	59
2.6.3.2 pH	61

2.6.3. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	62
2.6.3.4 N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> και NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) P και K	63
2.6.4 Βιολογικοί δείκτες	64
2.6.4.1 C και N της μικροβιακής βιομάζας	65
2.6.4.2 Δυναμικό ανοργανοποίησης N	65
2.6.4.3 Αέρας, υγρασία και θερμοκρασία του εδάφους	66
2.7 Προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους στον αγρό	68

### Κεφάλαιο 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 71

3.1 Η ανταπόκριση της εδαφολογίας στην παγκόσμια αλλαγή κλίματος	71
3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	71
3.3 Ο ρόλος του εδάφους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	72
3.4 Τα αέρια του θερμοκηπίου και η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας	73
3.5 Τι θα γινόταν στον πλανήτη αν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου	76
3.6 Οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου	77
3.7 Το έδαφος και ο παγκόσμιος κύκλος του άνθρακα	80
3.8 Η ανταπόκριση της εδαφολογίας στην παγκόσμια αλλαγή κλίματος	84
3.9 Μέτρα – στρατηγικές αντιμετώπισης του προβλήματος της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος	86

### Κεφάλαιο 4: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 89

4.1 Ποιότητα εδάφους και βιώσιμη γεωργία	90
4.2 Επιδιωκόμενοι στόχοι της βιώσιμης γεωργίας: εξάλειψη της πείνας και προστασία του περιβάλλοντος	92
4.2.1 Βιολογική γεωργία	94
4.2.1.1 Πλεονεκτήματα από την χρησιμοποίηση των οργανικών λιπασμάτων	95



4.2.1.2 Δυσκολίες – Προβλήματα από τη χρησιμοποίηση των οργανικών λιπασμάτων	96
4.2.1.3 Ορθολογική ανόργανη λίπανση	97
4.2.1.4 Προοπτική	98
4.3 Παραγωγικότητα οργανικών συστημάτων καλλιέργειας	98
4.3.1. Οργανικές και ανόργανες πηγές θρεπτικών στοιχείων	99
4.3.2 Περιβαλλοντική επίδραση των λιπασμάτων	100
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα πάνω από την επιφάνεια της Γης, το οποίο εκτελεί πολλές βασικές λειτουργίες για τη ζωή. Εξυπηρετεί ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών, ως αποθήκη για πολλά θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών, ως φίλτρο για να διατηρεί την ποιότητα του αέρα μέσω αλληλεπιδράσεων με την ατμόσφαιρα και ως αποθήκη και μέσο «απορρύπανσης» του νερού.

Επίσης το έδαφος στηρίζει τη βιολογική δραστηριότητα των μικροοργανισμών που ασχολούνται με την αποσύνθεση και την αποδόμηση ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων. Γενικότερα, το έδαφος συμβάλλει καθοριστικά στην απομόνωση του άνθρακα και στη μείωση της αλλαγής κλίματος σε συνδυασμό με ανθρωπογενετικές εκπομπές (εκλύσεις CO<sub>2</sub> και άλλα αέρια, τα οποία είναι υπεύθυνα για το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου»).

Διατηρώντας αυτές τις λειτουργίες σε φυσικά επίπεδα, **το έδαφος συμβάλλει σημαντικά στην ποιότητα του περιβάλλοντος, την παραγωγικότητα των εδαφικών πόρων και τη βιοποικιλότητα**. Ωστόσο έχουν αναπτυχθεί σχέδια διαχείρισης του εδάφους, με σκοπό να ελέγχουν τις εδαφικές λειτουργίες, να διευκολύνουν τη φύτευση και τη συγκομιδή και να βελτιώνουν την παραγωγικότητά του.

Συνήθως χρησιμοποιούνται ελεγχόμενα συστήματα πυρκαγιάς, διαχείριση δασών, γεωργικές επεμβάσεις (άροση, λίπανση), καλλιεργητικές τεχνικές (αμειψισπορά), στραγγιστικά δίκτυα, ασβέστωση και φυτοκάλυψη.

Οι καλλιεργητικές τεχνικές επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους σε διάφορα επίπεδα. Η επιρροή αυτή μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Οποιαδήποτε εσφαλμένη τεχνική μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους. Αυτό έχει συμβεί με πολλές παραδοσιακές πρακτικές, όπως κόψιμο κλαριών, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της οργανικής ουσίας. Με τη βελτίωση των καλλιεργητικών πρακτικών επιτυγχάνεται η διατήρηση ή η βελτίωση της ποιότητας του εδάφους.

Αρα, η ποιότητα του εδάφους λειτουργεί ως ένα εργαλείο για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του εδάφους και τη σταθερότητα του οικοσυστήματος.

Η ποιότητα ενός εδάφους αναφέρεται στην ικανότητά του να διατηρεί την παραγωγικότητά του, να συντηρεί την ποιότητα του περιβάλλοντος και να προωθή την ποιότητα των φυτών και των ζώων.

η ποιότητα του εδάφους λειτουργεί ως ένα εργαλείο για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του εδάφους και τη σταθερότητα του οικοσυστήματος.

Στα ελεγχόμενα συστήματα, τα εδάφη προορίζονται για να παράγουν τροφή, ζωοτροφές και ίνες, αγαθά που χρειάζεται η κοινωνία.

Επίσης, οι παραγωγοί και γενικότερα όσοι χειρίζονται τη γη, χρησιμοποιούν τους δείκτες ποιότητας εδάφους, για να εστιάσουν στα αποτελέσματα που προορίζονται για τη χρήση του εδάφους.

Την ποιότητα του εδάφους τη χρησιμοποιούν όσοι διαχειρίζονται το έδαφος για να αναγνωρίσουν τα προβλήματα που αναπτύσσονται και τους παράγοντες υποβάθμισής του και να αναπτύξουν σταθερές καλλιεργητικές τεχνικές για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα ανόργανα λιπάσματα, η ζωική κοπριά ή άλλα οργανικά υποπροϊόντα εφαρμόζονται για να παρέχουν τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζεται η καλλιέργεια, στην περίπτωση που το έδαφος δεν μπορεί να τα διαθέσει σε επαρκείς ποσότητες ή να αντικαταστήσει θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνθηκαν από την συγκομιζόμενη καλλιέργεια.

Το ασβέστιο εφαρμόζεται στο έδαφος για να αυξηθεί το pH. Οι επαναλαμβανόμενες καλλιέργειες και η αμειψισπορά περιορίζουν τον κύκλο των παθογόνων, δημιουργούν ποικιλία στην παραγωγή της καλλιέργειας και παρέχουν δυνατότητα επιλογής της εκμετάλλευσης.

Ο έλεγχος της ποιότητας του εδάφους επιτρέπει στους διαχειριστές της γης να εκτιμήσουν την επίδραση των διαφόρων συνδυασμών των καλλιεργητικών τεχνικών, έτσι ώστε να επιλεγούν οι ορθότερες πρακτικές για τη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους ή να γίνουν οι κατάλληλες επιλογές χρήσης γης.

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα των εδαφικών πόρων σε συνάρτηση της ποιότητας νερού και της αειφορικής διαχείρισης.

Η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους είναι ένας από τους κύριους σκοπούς της περιβαλλοντικά ορθής βιώσιμης γεωργίας και η χρήση των κατάλληλων γεωργικών συστημάτων συμβάλλουν στη βελτίωση της

ποιότητάς τους. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους γεωτεχνικούς είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή τεχνολογιών διαχείρισης εδάφους, καλλιεργειών και θρεπτικών συστατικών, που αυξάνουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και την ποιότητα του εδάφους, νερού και αέρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

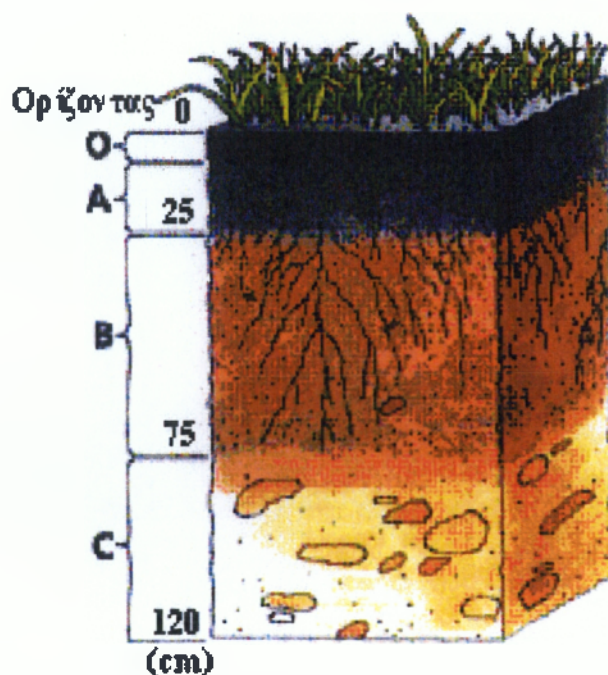
Το έδαφος, ως έννοια, αποκτά διαφορετική σημασία ανάλογα με τη σκοπιά από την οποία εξετάζεται. Έτσι, για τον γεωλόγο ως έδαφος ορίζεται το αποσαθρωμένο πέτρωμα, για τον μηχανικό το υλικό επί του οποίου θα θεμελιωθούν τα τεχνικά έργα και οι κατασκευές, για τον υδρογεωλόγο το υλικό που επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο, δρώντας είτε ως αποθήκη νερού, είτε ως συστατικό της λεκάνης απορροής, για τον οικολόγο το υλικό που επηρεάζει το είδος και την κατανομή των οικοσυστημάτων. Αντίθετα, για τη νοικοκυρά είναι η λάσπη που λερώνει το σπίτι, για τον αυτοκινητιστή είναι το υλικό στο οποίο μπορεί να «κολλήσει» το αυτοκίνητο, ενώ για όλους τους οργανισμούς είναι το μέρος στο οποίο θα γίνει τελικώς η αποσύνθεσή τους. Ωστόσο, στην περίπτωση των γεωπόνων και των δασολόγων είναι το μέσο που επηρεάζει την ανάπτυξη και την κατανομή των φυτικών ειδών,

Για τους εδαφολόγους, το έδαφος είναι το ενεργό και χαλαρό επιφανειακό στρώμα της γης που αποτελείται από ανόργανα και οργανικά συστατικά, είναι το υλικό το οποίο στηρίζει την ανάπτυξη των φυτών, παρέχοντας σ' αυτά νερό, θρεπτικά στοιχεία και στήριξη, είναι με άλλα λόγια το υλικό που εξασφαλίζει στα έμβια όντα την ύπαρξή τους στο διηνεκές. Το έδαφος θεωρείται ως ένας σημαντικός φυσικός και πλουτοπαραγωγικός πόρος τον οποίο χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για να παρέχει βασικά υλικά αγαθά που θεωρούνται απαραίτητα για τη διαβίωσή του, όπως για παράδειγμα είναι η τροφή, η ξυλεία, η κυτταρίνη κ.ά.

## 1.1 Σύσταση και ιδιότητες εδάφους

Το επιφανειακό έδαφος είναι ένα σύμπλοκο μίγμα ανόργανων υλικών, οργανικής ύλης που αποσυντίθεται ή σχηματίζει σύμπλοκα χουμικά οξέα, νερού, αέρα και ζωντανών μικροοργανισμών. Τα εδάφη διαμορφώνονται σε στιβάδες που καλούνται ορίζοντες (horizons).

Ο εδαφικός ορίζοντας είναι ένα στρώμα εδάφους, σχεδόν παράλληλο με την επιφάνεια του εδάφους, με ιδιότητες που είναι το αποτέλεσμα των διεργασιών της εδαφογένεσης (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Σχηματική παράσταση εδαφικής κατατομής με τους κυριότερους ορίζοντες (Πηγή: <http://lsg.ucy.ac.cy/courses/epa175/epa175ecology.doc>)

Ένας εδαφικός ορίζοντας, ωστόσο, διαφέρει από τα υποκείμενα ή υπερκείμενα στρώματα στο χρώμα, τη δομή, στη μηχανική σύσταση, στην παρουσία ή απουσία ανθρακικών και γενικά στη μορφολογία και σε διάφορες ιδιότητες:

- **O - Ορίζοντας:** Είναι το ανώτατο στρώμα εδάφους με φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.

- **A - Ορίζοντας:** Είναι ανόργανος ορίζοντας που σχηματίζεται στην επιφάνεια ή κάτω από έναν O - ορίζοντα και χαρακτηρίζεται από χουμικά οξέα, μερικά ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς και οργανική ύλη, με τη μεγαλύτερη βιολογική δραστικότητα από όλες τις άλλες στιβάδες.

- **E - Ορίζοντας:** Η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος.

- **B - Ορίζοντας:** Είναι ορίζοντας εμπλουτισμού στο υπέδαφος όπου συγκεντρώνονται τα χουμικά οξέα, ο άργιλος, σίδηρος και αργίλιο μετά το στράγγισμα από τις επάνω ζώνες.

- **C - Ορίζοντας:** Είναι το αντιπροσωπευτικό υλικό από το οποίο σχηματίστηκε το έδαφος. Το ανώτερο τμήμα του ορίζοντα αυτού είναι πιθανό να έχει υποστεί ορισμένες μεταβολές, όπως θρυμματισμό, οξειδωση αναγωγή, εναπόθεση ανθρακικών κλπ.

Κάτω από τον C - ορίζοντα βρίσκεται το συμπαγές μητρικό πέτρωμα, η σύσταση του οποίου επηρεάζει σημαντικά την γονιμότητα του εδάφους που προέρχεται από αυτό.

Βασική ιδιότητα κάθε εδάφους είναι η γονιμότητα, δηλαδή η ικανότητά του να προμηθεύει τα φυτά με νερό, θρεπτικά στοιχεία, αέρα και άλλες ουσίες και να εξασφαλίζει κατάλληλο περιβάλλον ανάπτυξης και εξέλιξης των φυτών (Πασχαλίδης, 1999).

Ο προσδιορισμός της γονιμότητας των εδαφών είναι μία σύνθετη διεργασία. Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσδιοριστεί η γονιμότητα ενός εδάφους με σκοπό τη βελτίωσή της είναι κυρίως δύο. Αποσκοπούν τόσο στην ανίχνευση της έλλειψης ή της παρουσίας περίσσειας θρεπτικών στοιχείων, ή άλλων στοιχείων που δυνητικά επιβαρύνουν την παραγωγή ή την ποιότητα της παραγωγής. Οι τρόποι αυτοί είναι οι εξής:

- Χημικές αναλύσεις εδάφους
- Αναλύσεις φυτικών ιστών

Τρόποι βελτίωσης της γονιμότητας είναι η προσθήκη λιπασμάτων και εδαφοβελτιωτικών. Υπάρχουν εδάφη, τα οποία λόγω προέλευσης έχουν μικρή γονιμότητα. Σε άλλα όμως, παρόλο που η γηγενής γονιμότητά τους



ήταν υψηλή έχει μειωθεί λόγω κακών καλλιεργητικών χειρισμών που έχουν οδηγήσει σε απώλειες του πλέον γόνιμου επιφανειακού εδάφους.

Υπάρχουν εδάφη, τα οποία εξαιτίας της προέλευσης τους, έχουν περιορισμένη γονιμότητα. Σε άλλα εδάφη όμως, παρόλο που η γηγενής γονιμότητά τους ήταν υψηλή έχει μειωθεί εξαιτίας των εσφαλμένων καλλιεργητικών τεχνικών, που έχουν συμβάλει σημαντικά στην απώλεια του πλέον γόνιμου επιφανειακού εδάφους. Πρωταρχικός στόχος σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η εφαρμογή πρακτικών που να μειώνουν τον κίνδυνο διάβρωσης (Χαϊντούτη, 2006).

Η μηχανική σύσταση του εδάφους είναι η εκατοστιαία αναλογία του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο, τα σωματίδια δηλαδή που το αποτελούν, εάν αφαιρέσουμε το οργανικό υλικό και το νερό. Η διάκριση των εδαφικών σωματιδίων στις τρεις αυτές κατηγορίες γίνεται με βάση τη διάμετρό τους. Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 0.002mm χαρακτηρίζονται ως άργιλο, μεταξύ 0.002mm και 0.05mm ως ιλύ και πάνω από 0.05mm ως άμμο. Η αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος προσδιορίζει τις φυσικές του ιδιότητες, οι οποίες έχουν μεγάλη σημασία για τη βλάστηση. Από αυτές, περισσότερο σημαντικές είναι το πορώδες (ο χώρος που δεν καταλαμβάνεται από εδαφικά σωματίδια), και η διαπερατότητα (η ευκολία του νερού, του αέρα και των ριζών των φυτών να διεισδύουν μέσα στο έδαφος). Το νερό για παράδειγμα, κινείται με μεγάλη ευκολία στα αμμώδη εδάφη, όχι όμως και στα αργιλώδη. Συνεπώς, εδάφη πλούσια σε άμμο έχουν ικανοποιητική διαπερατότητα, καλό αερισμό, καλή διείσδυση του ριζικού συστήματος και στηρικτική ικανότητα, ενώ εδάφη με μεγάλη αναλογία αργίλου είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία.

Αν και το έδαφος είναι το ανώτερο στρώμα αυτού που συχνά αναφέρεται ως «γη», η έννοια της «γης» είναι κατά πολύ ευρύτερη και περιλαμβάνει χωροταξικά στοιχεία. Ειδικότερα ο όρος «γαία» είναι χερσαίο βιοπαραγωγικό σύστημα το οποίο αποτελείται από το έδαφος, τη βλάστηση, άλλες βιομορφές και τις οικολογικές και υδρολογικές διαδικασίες που λειτουργούν μέσα στο σύστημα (Χαϊντούτη, 2008).

Το έδαφος εκτελεί πολυάριθμες, περιβαλλοντικές, οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές λειτουργίες οι οποίες είναι καθοριστικές για τη ζωή.

Επίσης, αποτελεί το υπόστρωμα κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας, ενώ ταυτόχρονα είναι στοιχείο του τοπίου και της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η παραγωγή τροφίμων και άλλων γεωργικών προϊόντων, που είναι καθοριστικής σημασίας για την επιβίωση του ανθρώπου, καθώς και η δασοπονία εξαρτώνται πλήρως από το έδαφος. Κάθε είδους βλάστηση χρειάζεται το έδαφος για τον εφοδιασμό της με νερό και θρεπτικές ουσίες και για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

Στο έδαφος αποθηκεύονται και μετατρέπονται μερικώς ανόργανα και οργανικά συστατικά, το νερό, η ενέργεια καθώς και διάφορες χημικές ουσίες. Το έδαφος λειτουργεί ως φυσικός ηθμός για τα υπόγεια ύδατα, που είναι η κύρια πηγή πόσιμου νερού, ενώ παράλληλα εκλύει CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και άλλα αέρια στην ατμόσφαιρα. Αποτελεί το οικολογικό ενδιαίτημα για πολυποίκιλους οργανισμούς που διαβιούν στο εσωτερικό ή την επιφάνειά του και έχουν μοναδικούς γενετικούς συνδυασμούς. Κατά συνέπεια, οι οικολογικές λειτουργίες είναι καθοριστικής σημασίας.

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των εδαφών και στη μεταφορά θρεπτικών υλικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Τα εδάφη με μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ουσίας συγκρατούν περισσότερο νερό. Επίσης, υπάρχει αρκετή αλληλεπίδραση μεταξύ του νερού και της αργίλου του εδάφους. Όταν όμως το νερό εγκλωβίζεται και ξεπερνά ορισμένα επίπεδα οι μικροοργανισμοί διάσπασης της οργανικής ουσίας ενεργοποιούνται, το οξυγόνο χρησιμοποιείται ταχύτατα για την αναπνοή τους και η συνεκτικότητα των κολλοειδών σωματιδίων που συγκρατεί το έδαφος μειώνεται. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το έδαφος διασπάται, το οξυγόνο που απαιτούν οι ρίζες των φυτών μειώνεται και αρχίζει η αποσύνθεση της φυτικής ύλης. Η περίσσεια νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση διαλυτών αλάτων σιδήρου και μαγγανίου, οι οποίες σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικές στα φυτά.

Συγχρόνως, το έδαφος λειτουργεί ως ρυθμιστικός παράγοντας που δεν επιτρέπει μεταβολές στο pH. Οι όξινες κατακρημνίσεις παίζουν κάποιο ρόλο ρυθμιστή στα αλκαλικά εδάφη, αλλά η υπερβολική οξίνιση σε γρανιτώδη εδάφη καταστρέφει το εδαφικό οικοσύστημα. Το έδαφος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στους γεωχημικούς κύκλους του άνθρακα, του αζώτου, του φωσφόρου, του θείου και του νερού. Συγχρόνως, όλα τα

μακροθρεπτικά συστατικά (macronutrients) και ορισμένα μέταλλα αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο στην ανάπτυξη της χλωρίδας και των χερσαίων ζώων. Τα μικροθρεπτικά συστατικά (micronutrients), όπως τα μέταλλα: ο σίδηρος, το βόριο, ο χαλκός, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος και το νάτριο, είναι απαραίτητα σε πολύ μικρές ποσότητες για τη φωτοσύνθεση και τις ενζυμικές λειτουργίες των βιολογικών οργανισμών. Υψηλότερες συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών είναι τοξικές για τα έμβια όντα που ζουν στο έδαφος.

## 1.2 Λειτουργίες εδάφους

Το έδαφος είναι ένα σημαντικό συστατικό της βιόσφαιρας με καθοριστικές λειτουργίες για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων. Μερικές από αυτές είναι:

- Συντηρεί τη βιολογική δραστηριότητα, τη βιοποικιλότητα και την παραγωγικότητα. Παράγει τροφές για τον άνθρωπο και τα ζώα και ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Επίσης, παρέχει θρεπτικά συστατικά, νερό, οξυγόνο και μηχανική στήριξη για την ανάπτυξη των φυτών. Στο έδαφος αναπτύσσονται και προστατεύονται μεγάλοι πληθυσμοί κατώτερων και ανώτερων οργανισμών, οι οποίοι ευθύνονται για τη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους, καθώς συνεισφέρουν στους κύκλους των θρεπτικών στοιχείων, στις μετατροπές της οργανικής ύλης και στη δημιουργία εδαφικής δομής. Αυτή η λειτουργία του εδάφους εξαρτάται από μετρήσιμους δείκτες, όπως την οργανική ουσία, το οργανικό και ανόργανο N, το pH, το Al και τις βάσεις, από το πορώδες και τη δομή του εδάφους, την εδαφική κρούστα, από τους αδιαπέρατους εδαφικούς ορίζοντες (στρώσεις), την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα είδη και την πυκνότητα των ριζών, από τη διάβρωση, το διαθέσιμο νερό για τα φυτά και τη μικροβιακή δραστηριότητα.

- Ρυθμίζει την κίνηση και την κατανομή του νερού. Η διήθηση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους και η κατανομή του εδαφικού νερού εξαρτώνται από τις ιδιότητες της δομής του εδάφους, τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στο έδαφος και το είδος καθώς και τον πληθυσμό της εδαφοπανίδας. Η ρύθμιση του νερού ενισχύεται με την αύξηση της οργανικής ουσίας, η οποία βοηθάει στην αύξηση των μικροοργανισμών και της πανίδας. Η συγκεκριμένη λειτουργία εξαρτάται από διάφορους μετρήσιμους δείκτες, όπως καλλιεργητικές πρακτικές, σταθερότητα συσσωματωμάτων, γαιοσκώληκες, το πορώδες και τη δομή του εδάφους, καθώς και τη φαινομενική πυκνότητα.

- Καταστρέφει τους παθογόνους οργανισμούς και διασπά τις τοξικές ενώσεις. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει στο έδαφος να διαχειρίζεται επιβλαβείς ουσίες, δηθεί οργανικές, ανόργανες και ραδιενεργές ουσίες με μηχανικό τρόπο, τις οποίες προσροφά και ιζηματοποιεί φυσικοχημικά, τις

αποσυνθέτει και τις μετατρέπει βιοχημικά με τη βοήθεια μικροοργανισμών και τις εμποδίζει να φτάσουν στα υπόγεια νερά και στην τροφική αλυσίδα. Οι δείκτες από τους οποίους εξαρτάται αυτή η λειτουργία είναι η διαπνοή, ο οργανικός άνθρακας, η δομή του εδάφους, η μικροβιακή βιομάζα, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, οι χημικές επιβαρύνσεις και τέλος τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων (Καραμάνος, 2004).

### **1.3 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εδάφους που επιδρούν στην χάραξη των πολιτικών**

Το έδαφος έχει ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των πολιτικών:

Το έδαφος είναι προϊόν πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ κλίματος, γεωλογίας, βλάστησης, βιολογικών δραστηριοτήτων, χρόνου και χρήσεων γης. Οι διαστάσεις των επιμέρους στοιχείων του, δηλαδή σωματιδίων άμμου, ιλύος και αργίλου, οργανικής ύλης, νερού και αέρα, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο τα συστατικά αυτά συνδέονται σχηματίζοντας μία σταθερή δομή, καθορίζουν το χαρακτήρα του.

Επιπλέον, κάθε τύπος εδάφους περιλαμβάνει ποικίλο αριθμό διαδοχικών στρώσεων, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από ευρύ φάσμα διαφορετικών φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων. Κατά συνέπεια το έδαφος εμφανίζει πολύ μεγάλη ποικιλομορφία.

Το έδαφος ως ένας μη ανανεώσιμος πόρος είναι δυνατόν να υποβαθμιστεί γρήγορα, ενώ η δημιουργία και η ανανέωσή του είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Ωστόσο, οι εκτάσεις που είναι διαθέσιμες για την παραγωγή τροφίμων είναι περιορισμένες. Συγκεκριμένα, όταν το έδαφος υποβαθμίζεται, μειώνονται συνολικά οι δυνατότητές του να εκτελέσει τις συνήθεις λειτουργίες του. Κατά συνέπεια η πρόληψη, η προφύλαξη και η αειφορική διαχείριση του εδάφους θα πρέπει να αποτελέσουν το επίκεντρο των πολιτικών που αποσκοπούν στην προστασία του.

Το έδαφος έχει υψηλό αποθηκευτικό και ρυθμιστικό δυναμικό, που σχετίζεται στενά με το ενόργανο περιεχόμενό του. Αυτό δεν ισχύει μόνο για το νερό, τα μέταλλα και τα αέρια, αλλά ισχύει και για πολυάριθμες χημικές ουσίες. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται τόσο οι φυσικοί όσο και οι τεχνητοί ρύποι, συχνά σχηματίζονται στο έδαφος κατά την έκλυσή τους. Στην περίπτωση που ορισμένοι από αυτούς τους ρύπους υπερβούν τις αποθηκευτικές και ρυθμιστικές δυνατότητες του εδάφους είναι δυνατό να προκαλέσουν μεταβολές που είναι μη αντιστρεπτές.

Η εφαρμογή πολιτικών πρόνοιας, παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης είναι καθοριστικής σημασίας για την πρόληψη των περιβαλλοντικών ζημιών και των κινδύνων που απειλούν την δημόσια υγεία.



Όπως γίνεται κατανοητό, το καλλιεργήσιμο έδαφος αποτελεί πολύτιμο και περιορισμένο πόρο, ενώ, η οριστική υποβάθμισή του συνεπάγεται όχι μόνο με την καταστροφή του κύριου περιουσιακού στοιχείου των αγροτών, αλλά και με τη μείωση των γεωργικών ευκαιριών για τις μελλοντικές γενιές. Κατά συνέπεια οι πολιτικές εδαφικής προστασίας θα πρέπει να εστιάζονται ιδιαίτερα στην αειφορική χρήση και διαχείριση των εδαφών, με στόχο τη διαφύλαξη της γονιμότητας και της αγρονομικής αξίας των γεωργικών γαιών.

Το έδαφος, όπως αναφέρθηκε, είναι ένα ζωντανό μέσο που χαρακτηρίζεται από άφθονή βιοποικιλότητα. Αυτή η βιολογική δραστηριότητα συμβάλλει στη δομή και γονιμότητα του εδάφους και είναι καθοριστικής σημασίας για τις περισσότερες από τις λειτουργίες του, συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής τροφίμων. Δεδομένου ότι ελάχιστα είναι γνωστά για τον τρόπο με τον οποίο οι μορφές ζωής που φιλοξενεί το έδαφος επηρεάζονται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου, απαιτείται να διευρυνθούν οι σχετικές γνώσεις ασκώντας παράλληλα προληπτική πολιτική που να εξασφαλίζει την προστασία της εδαφικής βιοποικιλότητας. Τέλος, σε αντίθεση με το νερό και τον αέρα, το έδαφος ως στοιχείο της γης γενικά υπόκειται σε ιδιοκτησιακά δικαιώματα (Χαϊντούτη, 2008).



## 1.4 Ελληνικά εδαφικά συστήματα

Το έδαφος αποτελεί ένα δυναμικό ζωντανό φυσικό σώμα, ζωτικό για τη λειτουργία των γήινων οικοσυστημάτων. Είναι ένα ανοιχτό φυσικό σύστημα, το οποίο δέχεται τις επιδράσεις του περιβάλλοντος και εξασκεί με τη σειρά του τις επιδράσεις του σε αυτό. Ο σχηματισμός του εδάφους είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πέντε παραγόντων, οι οποίοι μεταβάλλονται ανεξάρτητα και επηρεάζουν τις εδαφικές ιδιότητες. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Το κλίμα (cl - climate)
- Οι οργανισμοί (o - organisms)
- Η τοπογραφία (r - relief)
- Το μητρικό υλικό (p - parent material)
- Ο χρόνος (t - time)

Η επίδραση των παραγόντων εδαφογένεσης στο σχηματισμό του εδάφους εκφράζεται με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$s = f (cl, o, r, p, t),$$

όπου s = εδαφική ιδιότητα

Από την παραπάνω συνάρτηση, γίνεται αντιληπτό ότι το σύνολο των εδαφικών ιδιοτήτων, ως αποτέλεσμα των διεργασιών εδαφογένεσης εξαρτάται από το συνδυασμό των παραγόντων εδαφογένεσης.



**Σχήμα 2:** Επίδραση των παραγόντων εδαφογένεσης στις ιδιότητες του εδάφους (Χαϊντούτη, 2006)

## 1.5 Ταξινόμηση εδαφών

Σκοπός όλων των συστημάτων ταξινόμησης είναι η οργάνωση της γνώσης κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνονται κατανοητές οι ιδιότητες των προς ταξινόμηση αντικειμένων και ακόμα οι μεταξύ τους σχέσεις.

Σκοπός της ταξινόμησης της ποικιλίας των εδαφών που υπάρχουν στη φύση είναι η μελέτη κατά συστηματικό τρόπο των ιδιοτήτων των διαφόρων ειδών εδαφών.

Αποτέλεσμα της ταξινόμησης των εδαφών είναι ο σχηματισμός τάξεων, από την ομαδοποίησή τους με βάση ένα κοινό χαρακτηριστικό, που λέγεται «χαρακτηριστικό διαφοροποίησης». Οι σχηματιζόμενες τάξεις, όταν ο πληθυσμός των προς ταξινόμηση εδαφών είναι πολύ ετερογενής, υποδιαιρούνται σε νέες κατηγορίες και αυτές σε ακόμα χαμηλότερες κατηγορίες. Τα εδάφη μιας κατηγορίας δεν είναι ομοιογενή, ως προς το χαρακτηριστικό διαφοροποίησης της κατηγορίας αυτής, αλλά και ως προς τα χαρακτηριστικά διαφοροποίησης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση όλων των ανώτερων κατηγοριών.

Τα διάφορα είδη εδαφών προέκυψαν από διαφορετικούς συνδυασμούς των παραγόντων εδαφογένεσης (κλίμα, οργανισμοί, τοπογραφικό ανάγλυφο, μητρικό πέτρωμα, χρόνος). Κάθε διακριτός συνδυασμός των παραγόντων αυτών δίνει γένεση σε ένα διακριτό είδος εδάφους, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα γένεσης άπειρων ειδών εδαφών.

Η διαδικασία κατάταξης της ποικιλίας των εδαφών που υπάρχουν στη φύση σε κατηγορίες διαφόρων επιπέδων, ονομάζεται εδαφολογική ταξινόμηση.

### 1.5.1 Οι κυριότερες τάξεις εδαφών στην Ελλάδα

**Entisols:** Τα εδάφη της τάξης των **Entisols** καταλαμβάνουν περίπου το 16% την παγκόσμιας κατανομής των εδαφών, αποτελώντας την πιο διαδεδομένη τάξη.

Διαμορφώνονται σε περιοχές όπου η εδαφογένεση έχει περιορισθεί ή έχει καθυστερήσει. Περιλαμβάνουν εδάφη πρόσφατων αλλουβιακών αποθέσεων, εδάφη που σχηματίζονται σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές, στα οποία παρατηρείται έντονη διάβρωση με το μητρικό υλικό να εκτίθεται στην επιφάνεια, εδάφη επηρεασμένα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ή είναι κορεσμένα με νερό, καθώς και εδάφη τα οποία περιέχουν ανθεκτικά ορυκτά στην αποσάθρωση.

Τα Entisols παρουσιάζουν πολύ λίγες ή καθόλου ενδείξεις ανάπτυξης διαγνωστικών οριζόντων.

Στην Ελλάδα τα Entisols βρίσκονται συνήθως κοντά στα πεδία πλημμυρών των ποταμών και σε περιοχές με συχνή απόθεση νέων υλικών. Στα εδάφη με τελείως διαφορετική σύσταση και προέλευση, πολλές φορές η παρουσία στρώσεων έχει σαν αποτέλεσμα την ακανόνιστη κατανομή των διαφόρων συστατικών τους.

Επιπλέον, τα Entisols που σχηματίστηκαν σε αλλουβιακές αποθέσεις είναι πολύ παραγωγικά, ενώ τα Entisols των λοφωδών περιοχών, στα οποία παρατηρείται μια έντονη διάβρωση δεν είναι παραγωγικά.



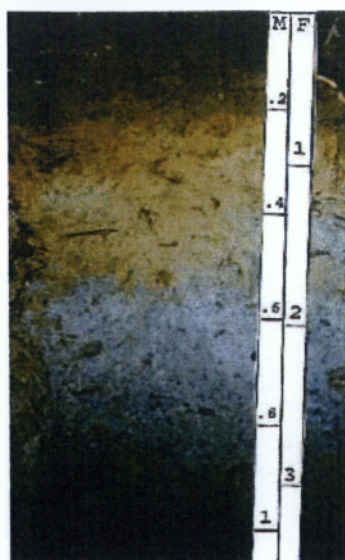
**Σχήμα 3:** Έδαφος της τάξης των Entisols (πηγή: USDA NRCS)

**Inceptisols:** Τα **Inceptisols** καταλαμβάνουν το 9,9% της παγκόσμιας κατανομής των εδαφών. Η τάξη αυτή περιλαμβάνει μία ευρεία ποικιλία εδαφών, δηλαδή εδάφη με ελάχιστη μέχρι μέτρια εξέλιξη στα οποία εμφανίζονται διαγνωστικοί ορίζοντες, οι οποίοι δεν απαιτούν μεγάλα χρονικά διαστήματα για το σχηματισμό τους και ταυτόχρονα δεν αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα άλλων εδαφικών τάξεων.

Σχηματίζονται κυρίως σε αργιλώδη μητρικά υλικά, περιλαμβάνουν ορίζοντες A, B, C και ο χαρακτηριστικός τους ορίζοντας είναι ο καμβικός (Bw), ο οποίος χαρακτηρίζεται από μέτρια διαφοροποίηση την οποία έχει υποστεί σε σύγκριση με το μητρικό υλικό, κυρίως στο χρώμα και τη δομή.

Στον ελληνικό χώρο τα Inceptisols εμφανίζονται κυρίως σε λοφώδεις και ορεινές περιοχές, καθώς και σε περιοχές με γεωλογικές αποθέσεις νεότερες της πλειστόκαινης περιόδου.

Τα εδάφη της τάξης των Inceptisols μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανόργανα εδάφη με ιλυώδη ή λεπτόκοκκη μηχανική σύσταση. Είναι πλούσια σε αποσαθρωμένα ορυκτά και έχουν ικανοποιητική υγρασία που εξασφαλίζει στις καλλιέργειες το απαιτούμενο νερό για την ανάπτυξή τους, για μία ή περισσότερες καλλιεργητικές περιόδους.

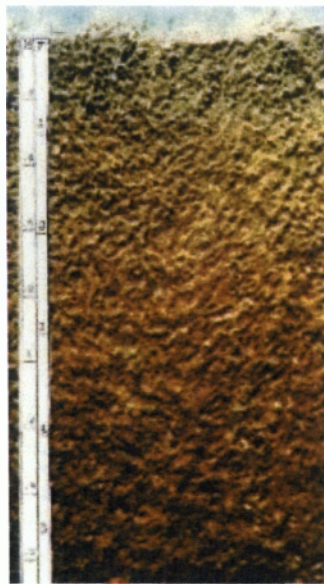


**Σχήμα 4:** Έδαφος της τάξης των Inceptisols (πηγή: USDA NRCS)

**Alfisols:** Τα **Alfisols** καταλαμβάνουν περίπου το 10% της επιφάνειας της γης. Απαντώνται σε όλες τις ηπείρους εκτός της Ανταρκτικής. Στα Alfisols ανήκουν εδάφη τα οποία βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο εδαφογένεσης και στα οποία έχουν συντελεστεί οι εδαφογενετικές διεργασίες.

Χαρακτηριστικό των εδαφών της τάξης των Alfisols τα οποία περιλαμβάνουν ορίζοντες A, B και C είναι η ύπαρξη αργιλικού ορίζοντα, ο οποίος σχηματίζεται από ιλλουβιακή συγκέντρωση της αργίλου στους κατώτερους ορίζοντες της εδαφικής κατατομής. Γενικά τα Alfisols είναι παραγωγικά εδάφη. Η σωστή διαχείριση των εδαφών αυτών έγκειται στην ωφέλιμη χρήση της εδαφικής υγρασίας και των θρεπτικών συστατικών, χωρίς να οδηγούνται σε διάβρωση και εξάντληση των θρεπτικών τους στοιχείων.

Επειδή είναι εδάφη μετρίως όξινα, συχνά θεωρείται απαραίτητη η προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου ή οξειδίου του ασβεστίου για βελτίωση του pH και αύξηση της παραγωγής.



**Σχημα 5:** Έδαφος της τάξης των Alfisols (πηγή: USDA NRCS)

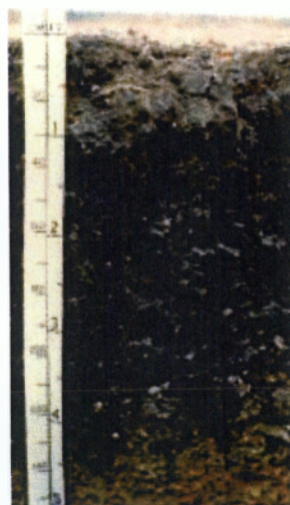
**Vertisols:** Τα **Vertisols** καταλαμβάνουν περίπου το 2,5% της παγκόσμιας κατανομής των εδαφών. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο (> 30%) στην οποία κυριαρχούν τα διαστελλόμενα αργιλικά ορυκτά του τύπου 2:1 και κυρίως ο μοντμοριλλονίτης. Τα περισσότερα Vertisols εμφανίζουν σκοτεινούς χρωματισμούς ακόμα και αν το ποσό της οργανικής ουσίας που περιέχουν είναι χαμηλό (1-2%).



Σχηματίζονται συνήθως σε ασβεστόλιθους ή βασικά πυριγενή πετρώματα (π.χ. βαλσάτες) και γενικά σε μητρικά υλικά πλούσια σε ασβέστιο και μαγνήσιο.

Εμφανίζονται σε ποικίλες κλιματικές ζώνες, από υγρές μέχρι ξηρές και από εύκρατες μέχρι τροπικές. Σε κάθε περίπτωση όμως απαραίτητη προϋπόθεση σχηματισμού τους είναι η εναλλαγή υγρής και ξηρής - θερμής περιόδου.

Εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε άργιλο τα Vertisols εμφανίζουν χαμηλή διηθητική ικανότητα, επομένως και σημαντικά προβλήματα στην άρδυσή τους.



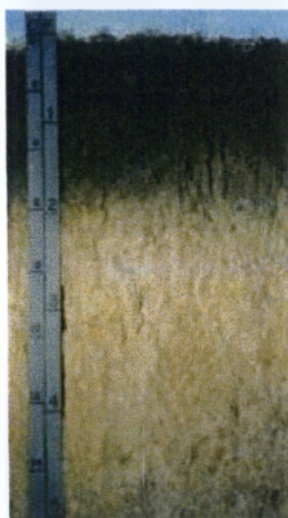
**Σχήμα 6:** Έδαφος της τάξης των Vertisols (πηγή: USDA NRCS)

**Mollisols:** Τα **Mollisols** καταλαμβάνουν περίπου το 7% της παγκόσμιας κατανομής των εδαφών. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της τάξης είναι η ύπαρξη μολλικού επιπέδου, αλλά υπάρχουν και εδάφη με μολλικό επίπεδο τα οποία δεν ταξινομούνται ως Mollisols.

Η κύρια εδαφογενετική διαδικασία σχηματισμού των Mollisols είναι η συσσώρευση οργανικής ουσίας πλούσιας σε ασβέστιο, η οποία προέρχεται από το πυκνό ριζικό σύστημα λειμώνιας βλάστησης και οδηγεί στο σχηματισμό μολλικού επιπέδου.

Τα Mollisols απαντώνται σε ευρεία ζώνη κλιματικών συνθηκών, από ψυχρές μέχρι τροπικές. Σχηματίζονται σε ασβεστόχα μητρικά υλικά και η βλάστηση που συνήθως αναπτύσσεται είναι λειμώνια. Έχουν υψηλή γονιμότητα και κοκκώδη ή ψιχοειδή δομή, με αποτέλεσμα να είναι πολύ

παραγωγικά εδάφη. Στο παρελθόν τα Mollisols ήταν αρκετά διαδεδομένα στον ελλαδικό χώρο και καταλάμβαναν μεγάλες εκτάσεις. Στη σημερινή εποχή όμως υπάρχουν σε μικρή έκταση, είτε λόγω της έντονης διάβρωσης που απομάκρυνε τον επιφανειακό ορίζοντα είτε εξαιτίας της υποβάθμισης του μολλικού επιπέδου με αποτέλεσμα τα εδάφη αυτά πλέον να χαρακτηρίζονται ως Entisols ή Inceptisols (Χαϊντούτη 2006).



**Σχήμα 7:** Έδαφος της τάξης των Mollisols (πηγή: USDA NRCS)



## 1.6 Οι κύριες απειλές που αντιμετωπίζει το έδαφος

Το έδαφος, λόγω του μεγάλου φάσματος των ζωτικών λειτουργιών που εκτελεί, είναι καθοριστικής σημασίας για την αειφορία. Ωστόσο απειλείται ολοένα και περισσότερο από πολλές και ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, με αποτέλεσμα να υπονομεύεται η μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα και η βιωσιμότητά του. Όταν εκδηλώνονται ταυτόχρονα πολλές απειλές, οι επιπτώσεις τους συνήθως αυξάνουν. Ωστόσο, αν δεν αντιμετωπιστούν, μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του εδάφους, έτσι ώστε τελικά που να αδυνατεί να εκπληρώσει τις λειτουργίες του.

Συγκεκριμένα, οι κύριες απειλές που αντιμετωπίζει ένα έδαφος είναι οι ακόλουθες:

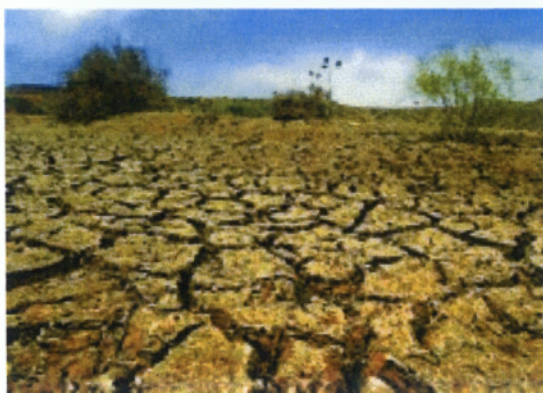
**Ερημοποίηση** είναι η συνεχής μετατροπή εδαφών σε άγονες εκτάσεις αμμώδους σύστασης. Κυριότερες αιτίες είναι η μεγάλης διάρκειας ξηρασία που προκαλεί αποσάθρωση πετρωμάτων και απώλεια οργανικής ουσίας, η οποία σε πολλές περιοχές οφείλεται σε κλιματικές αλλαγές, στην αποδάσωση περιοχών και στην υπερεκμετάλλευση υπόγειων νερών. Βασικές αιτίες της ερημοποίησης θεωρούνται ο υπερπληθυσμός και η εξάπλωση των πόλεων και κατοικημένων περιοχών, καθώς και η ανάπτυξη οδικών αρτηριών και άλλων εγκαταστάσεων που διασπά την γεωμορφολογία πολλών περιοχών. Οι άνεμοι και οι βροχές εκπλύνουν τα θρεπτικά συστατικά και η σύσταση του εδάφους αλλοιώνεται σε βαθμό που δεν μπορεί να διατηρήσει πλέον την υφή του και τη συνεκτικότητα των εδαφικών συστατικών. Η υπερβολική άρδευση προκαλεί απώλεια πολύτιμων υδατίνων πόρων και αύξηση της αλατότητας λόγω εισροής θαλάσσιων νερών με την πτώση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα σε παράκτιες περιοχές.

Η ερημοποίηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα απώλειας εδαφών και έχει μελετηθεί επισταμένα σε πολλές χώρες για την ανέρευση πρακτικών μεθόδων επανόρθωσης και αποκατάστασης ερημοποιημένων περιοχών.

Ωστόσο, η έρευνα αυτή, για την ερημοποίηση των εδαφικών πόρων της Ελλάδας βρίσκεται σε εμβρυακά στάδια.

Τα συγκεκριμένα εδάφη μετά από γεωργική εκμετάλλευση με παρατεταμένη ξηρασία χάνουν τη συνεκτικότητα των συστατικών τους,

υπάρχει μεγάλη απώλεια θρεπτικών συστατικών και οργανική ύλη, με αποτέλεσμα η ποιότητα να υποβαθμίζεται και πολύ γρήγορα να μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις.



**Σχήμα 8:** Έδαφος που έχει υποστεί ερημοποίηση (πηγή: inout.gr)

**Διάβρωση** οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, το βαθύ όργωμα, την υπερβολική χρήση λιπασμάτων, τις αντιορθολογικές γεωργικές πρακτικές και κυρίως στη χρήση ευαίσθητων εδαφών που είχαν δασική κάλυψη για γεωργική καλλιέργεια. Η διάβρωση των εδαφών είναι αποτέλεσμα της χρήσης εκτάσεων για καλλιέργειες που είναι κακής σύστασης ανόργανων και οργανικών υλικών, δεν ποτίζονται αρκετά και υπόκεινται σε όργωμα που διασπά τη συνεκτικότητα της υφής τους. Επίσης, η ανεξέλεγκτη κτηνοτροφία καταστρέφει τη βλάστηση και τους θάμνους που κρατούν τη συνεκτικότητα των εδαφών. Τα εδάφη αυτά, αλλά και άλλα που έχουν μεγάλη κλίση εξαιτίας της έλλειψης χαμηλής βλάστησης και προστατευτικών αναχωμάτων διαβρώνονται με τις βροχές και τον αέρα (υδατική και αιολική διάβρωση). Οι απώλειες με τη διάβρωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων είναι κρίσιμη για την επάρκεια τροφίμων σε αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες τις επόμενες δεκαετίες.

Η διάβρωση εδαφών σε γεωργικές εκτάσεις των αναπτυσσόμενων χωρών ήταν κυρίως αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων, της εκμηχάνισης της γεωργίας και των πρακτικών εντατικής μονοκαλλιέργειας. Τα τελευταία χρόνια όμως εφαρμόζονται διάφορα μέτρα και πρακτικές, όπως αγρανάπαιση, αλλαγές στον τρόπο οργώματος (επιφανειακή σάρωση), αμειψισπορά (εναλλαγή καλλιεργειών), εναλλαγή του είδους των

καλλιεργούμενων φυτών, προσεκτική άρδευση, ενίσχυση των θρεπτικών συστατικών και του αζώτου με ειδικά φυτά, φύτεμα δένδρων, κλπ. Τα μέτρα αυτά ενισχύουν την ποιότητα των εδαφών. Πολλές όμως αναπτυσσόμενες χώρες, που έχουν ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και μεγάλες διατροφικές ανάγκες, δεν μπορούν να υποστηρίξουν ενεργά τέτοια μέτρα με αποτέλεσμα τη συνεχιζόμενη διάβρωση εδαφών στις περιοχές τους.



Σχήμα 9: Διάβρωση εδάφους (πηγή: [www.unibas.it](http://www.unibas.it))

**Μείωση της οργανικής ύλης** η οργανική ύλη περιλαμβάνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς του εδάφους μαζί με τα υπολείμματα νεκρών οργανισμών στους διάφορους βαθμούς αποσύνθεσής τους. Η περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα στο εδάφους εξαρτάται από την ύπαρξη ετερογενών μειγμάτων τόσο απλών όσο και πολύπλοκων ουσιών που περιέχουν άνθρακα. Πηγές οργανικής ύλης είναι τα υπολείμματα συγκομιδής, τα λιπάσματα ζωικής προελεύσεως, η χλωρή λίπανση, το κοπρόχυμα και άλλα οργανικά υλικά. Η μείωση της οργανικής ύλης προκαλείται από τη μειωμένη παρουσία οργανισμών σε αποσύνθεση ή από τον αυξημένο ρυθμό αποσύνθεσης λόγω των αλλαγών σε φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες. Η οργανική ύλη θεωρείται ζωτικό συστατικό ενός υγιούς εδάφους και η μείωσή της έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του εδάφους. Το περιεχόμενο οργανικού άνθρακα του εδάφους επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από το κλίμα, τη σύνθεση του εδάφους, την υδρομορφία, τη χρήση της γης και τη βλάστηση. **Η οργανική ύλη αποσυντίθεται ταχύτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες και επομένως τα εδάφη στα θερμότερα κλίματα τείνουν να περιέχουν λιγότερη οργανική ουσία από ότι στα ψυχρότερα κλίματα.**



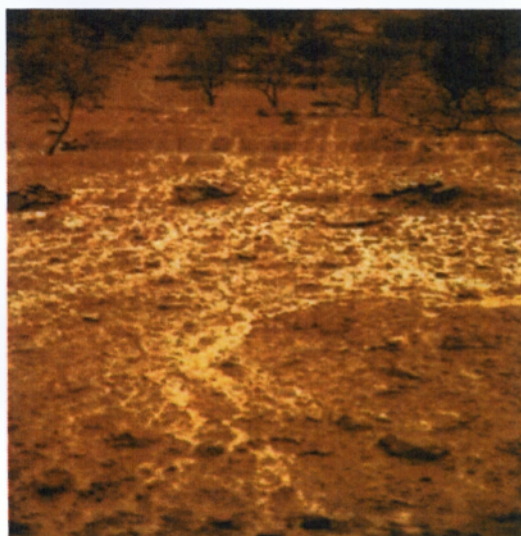
**Σχήμα 10:** Η οργανική ουσία αποτελεί σπουδαίο παράγοντα για την ποιότητα του εδάφους (πηγή: <http://www.earthrenew.com>)

**Ρύπανση του εδάφους** με τον όρο αυτό 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 βρίσκονται σε αστικές ή υπαίθριες περιοχές. Η ρύπανση του εδάφους δημιουργείται κυρίως από την χρήση ορισμένων τεχνικών της σύγχρονης γεωργίας, όπως τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Τα χημικά λιπάσματα αυξάνουν την παραγωγή σε μεγάλο βαθμό, αλλά περιέχουν ίχνη από τοξικά μέταλλα και μεταλλοειδή τα οποία παραμένουν στο έδαφος και συσσωρεύονται στους επιφανειακούς ορίζοντες, ιδιαίτερα στην περιοχή της ριζόσφαιρας των φυτών. Ακόμα τα εδάφη είναι εκτεθειμένα στους ρύπους που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα και οι οποίοι καταλήγουν σε αυτά με τις βροχές. Στην συνέχεια οι ρύποι οι οποίοι δημιουργούνται στο έδαφος ή απλά διέρχονται από αυτό, καταλήγουν αργά ή γρήγορα στην υδρόσφαιρα και μέσω των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στις θάλασσες. Έτσι λοιπόν η ρύπανση του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένη με την ρύπανση των χερσαίων υδάτων και των θαλασσών. Τέλος τα οικιακά απόβλητα όπως τα πλαστικά κουτιά, τα γυάλινα μπουκάλια και άλλα υλικά τα οποία



αποδομούνται πολύ αργά ή καθόλου καθώς και τα βιομηχανικά τοξικά απόβλητα τα οποία ρίχνονται σε αστικές ή υπαίθριες περιοχές προκαλούν ρύπανση των εδαφών αλλά και υποβαθμίζουν την αισθητική του περιβάλλοντος γενικότερα. Η ρύπανση του εδάφους έχει δυσάρεστες επιπτώσεις στην ζωή του ανθρώπου αφού οι τοξικές ουσίες του εδάφους μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα και υπομονεύουν την υγεία του.

Τα φυτοφάρμακα έχουν πολλά πλεονεκτήματα, αλλά παρουσιάζουν όμως και σοβαρά μειονεκτήματα όπως την συσσώρευση τους κατά μήκος της τροφικής. Η αλόγιστη χρήση τους ακόμα έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ανθεκτικών στελεχών των εχθρών των καλλιεργειών και την εμφάνιση καινούργιων ασθενειών. Τέλος, σημαντική είναι η αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος από τα διάφορα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα.



**Σχήμα 11:** Η εδαφική ρύπανση αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα για την ποιότητα των εδαφών στη σημερινή εποχή (πηγή: itr.si)

**Σφράγιση του εδάφους** είναι η κάλυψη του εδάφους για οικιστικούς σκοπούς, κατασκευή δρόμων ή άλλων έργων αξιοποίησης των υφιστάμενων εκτάσεων. Ως αποτέλεσμα της παρατηρείται ο περιορισμός των εδαφικών λειτουργιών καθώς και η απορρόφηση όμβριων υδάτων για παροχέτευση και διήθηση. Μάλιστα, επηρεάζει τις συνήθεις υδατικές ροές και επιδεινώνουν τον κατακερματισμό της βιοποικιλότητας. Η σφράγιση του εδάφους είναι μη αντιστρεπτό φαινόμενο.

**Συμπύεση του εδάφους** παρατηρείται σε υγρά κυρίως εδάφη που υφίστανται μηχανική πίεση λόγω της χρήσης βαρέων μηχανημάτων ή της υπερβόσκησης. Επηρεάζει την ανάπτυξη των ριζών, την υδατική αποθηκευτική ικανότητα, τη γονιμότητα, τις βιολογικές δραστηριότητες και τη σταθερότητα. Η συνεχιζόμενη συμπύεση του εδάφους σε συνδυασμό με την απομάκρυνση της βλάστησης είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε έντονα φαινόμενα διάβρωσης.



**Σχήμα 12:** Βοσκότοπος στην περιοχή Beja (στην Πορτογαλία) με μία μεγάλη πυκνότητα ζώων βοσκής που ευνοεί την συμπύεση του εδάφους και τη διάβρωση (πηγή: [www.unibas.it](http://www.unibas.it))

**Μείωση βιοποικιλότητας στο έδαφος** καθιστά το έδαφος ευπαθέστερο έναντι άλλων διαδικασιών υποβάθμισης και ως εκ τούτου, η παράμετρος αυτή συχνά χρησιμοποιείται ως συνολικός δείκτης της υγείας του. Φιλοξενεί πλήθος από βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα και άλλους μικροοργανισμούς. Συγκεκριμένα, οι οργανισμοί του εδάφους συνιστούν απόθεμα θρεπτικών ουσιών, αντιμετωπίζουν εξωτερικούς παθογόνους παράγοντες, καθώς επίσης διασπών επιμέρους ρύπους σε απλούστερα συστατικά. Επιπλέον με την υπέρμετρη χρήση θρεπτικών ουσιών είναι δυνατόν να μειωθεί η βιοποικιλότητα του εδάφους.

Έχει αποδειχτεί ότι η βιολογική γεωργία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε ότι αφορά τη διαφύλαξη και τη βελτίωση της βιοποικιλότητας. Μετά από διετή μελέτη στα εδάφη της Αυστρίας διαπιστώθηκε ότι οι σκαραβαίοι ήταν κατά 94% περισσότεροι σε εδάφη που καλλιεργήθηκαν με βιολογικές μεθόδους, από ότι σε παραδοσιακές καλλιέργειες. Ο αριθμός των ειδών των σκαραβαίων ήταν κατά 16%

υψηλότερος. Τονίζεται, ωστόσο, ότι η ποσοτικοποίηση της εδαφικής βιοποικιλότητας είναι ιδιαίδοντως περιορισμένη και αφορά αποκλειστικά και μόνο έργα με τοπική σημασία (Χαϊντούτη, 2008).



**Σχήμα 13:** Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποψίλωσης δασών στην Τροπική ζώνη (πηγή: medlab.cs.uoi.gr)

**Αλάτωση** είναι η συσσώρευση υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος. Τέτοια άλατα είναι το κάλιο ( $K^+$ ), το μαγνήσιο ( $Mg^{+2}$ ), το ασβέστιο ( $Ca^{+2}$ ), το χλωριούχο άλας ( $Cl^-$ ), η θειική ένωση ( $SO_4^{-2}$ ), το ανθρακικό άλας ( $CO_3^{-2}$ ), το διπτανθρακικό ( $HCO_3^-$ ) και το νάτριο ( $Na^+$ ). Η συσσώρευση νατρίου στο έδαφος, ονομάζεται επίσης και νατρίωση. Η αλάτωση συχνά συνδέεται με την άρδευση, καθώς το νερό που χρησιμοποιείται περιέχει ποικίλες ποσότητες αλάτων. Τα άλατα διαλύονται και μετακινούνται με το νερό. Όταν το νερό εξατμίζεται, τα άλατα παραμένουν. Η συσσώρευση αλάτων (ιδίως αλάτων του νατρίου) αποτελεί μία από τις κύριες φυσιολογικές απειλές για τα οικοσυστήματα. Το άλας παρεμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών, περιορίζοντας την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και μειώνοντας την ποιότητα του ύδατος που είναι διαθέσιμο για κάθε φυτό. Επίσης, επηρεάζει τον μεταβολισμό των οργανισμών του εδάφους, μειώνοντας σημαντικά τη γονιμότητα του εδάφους. Τα υψηλά επίπεδα αλατότητας στα εδάφη προκαλούν τη μαρανση των φυτών ως αποτέλεσμα τόσο της αύξησης της οσμωτικής πίεσης όσο και των τοξικών επιπτώσεων των αλάτων. Η αλάτωση



αυξάνει την αδιαπερατότητα των βαθέων στρωμάτων του εδάφους, καθιστώντας αδύνατη τη χρήση της γης για καλλιέργεια.



Σχήμα 14: Αλάτωση εδάφους ([www.unibas.it](http://www.unibas.it))

**Πλημμύρες και κατολισθήσεις** είναι φυσικές καταστροφές που σχετίζονται άμεσα με το έδαφος. Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Οι πλημμύρες, που έχουν σαν αίτιο τις βροχοπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις εδαφών (λασποροές - mud slides). Πολλές φορές οι πλημμύρες ευνοούνται από τη διάβρωση που προκαλεί η αποδάσωση ή η εγκατάλειψη των γαιών. Ωστόσο, η δασική βλάστηση αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα της απορροής του νερού και συντελεί στη μείωση ή εξάλειψη των πλημμυρικών φαινομένων. Συμβάλλει στη διήθηση του νερού από τις βροχοπτώσεις στο έδαφος και την αποφυγή με αυτό τον τρόπο της δημιουργίας επιφανειακής απορροής. Επίσης, βοηθά στη συγκράτηση ενός μέρους της βροχής από το έδαφος υπό μορφή υγρασίας και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και τη μείωση των φερτών υλών στα ρέματα των λεκανών απορροής. Κατολίσηση είναι το φαινόμενο της διατάραξης της ισορροπίας μιας μάζας εδάφους ή βράχου. Οι κατολισθήσεις αποτελούν μέρος των φυσικών διεργασιών εξέλιξης του γήινου ανάγλυφου, ωστόσο μπορούν να προκληθούν και από εξωτερικές παρεμβάσεις με την έμμεση ή άμεση συμβολή του ανθρώπου. Αν η εδαφική ή βραχώδης μάζα κινηθεί μόνο προς την κατακόρυφη διεύθυνση, το φαινόμενο ονομάζεται καθίζηση, κατάρρευση ή κατάπτωση. Αν υπάρχει και κίνηση κατά την οριζόντια

διεύθυνση, τότε χρησιμοποιείται ο γενικός όρος κατολίσθηση. Οι τυπικές κατολισθήσεις συμβαίνουν σε εδάφη ή κατακερματισμένα πετρώματα.



**Σχήμα 15:** Οι έντονες βροχοπτώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα καταστροφικές πλημμύρες και κατολισθήσεις εδαφών (πηγή: [www.meteo-news.gr](http://www.meteo-news.gr))

### 1.7 Η φωτιά στα μεσογειακά οικοσυστήματα

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν εξελιχτεί σε άμεση σχέση με τη φωτιά. Η συχνή εκδήλωση πυρκαγιών στις μεσογειακές περιοχές οφείλεται τόσο στις κλιματικές συνθήκες (ξηρό και ζεστό καλοκαίρι), όσο και στην πολυπληθή παρουσία των ανθρώπων από τις πρώτες περιόδους εξάπλωσης του ανθρώπινου είδους στο πλανήτη. Κατά συνέπεια, οι ζωντανοί οργανισμοί που αναπτύσσονται στα μεσογειακά οικοσυστήματα θα έπρεπε να αναπτύξουν προσαρμογές αντιμετώπισης των προβλημάτων που δημιουργεί η φωτιά.

Ένα σημαντικό πρόβλημα μετά από μια πυρκαγιά είναι η απώλεια θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα που καίγεται, ιδιαίτερα του αζώτου. Η έλλειψη αυτή αντιμετωπίζεται με τη μεγάλη εξάπλωση των ποωδών φυτών και ιδιαίτερα των ψυχανθών, στις ρίζες των οποίων ζουν αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί, οι οποίοι εμπλουτίζουν το έδαφος με άζωτο, επαναφέροντάς το πολύ σύντομα στα επίπεδα πριν την πυρκαγιά.

Οι καταναλωτές (τα ζώα), δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη φωτιά, καθώς έχουν τη δυνατότητα να απομακρυνθούν από αυτή. Εκείνα που βλάπτονται περισσότερο είναι όσα δεν διαθέτουν ταχεία κίνηση (για παράδειγμα οι χελώνες). Τα ζώα, ενδέχεται να αντιμετωπίσουν πρόβλημα

μετά τη φωτιά στη περίπτωση που η καμένη έκταση είναι τόσο μεγάλη ώστε να έχουν δυσκολίες στην εύρεση τροφής.

Οι αποικοδομητές που ζουν στο έδαφος, μειώνονται αρχικά μετά τη φωτιά, αλλά ο πληθυσμός τους επανέρχεται μέσα στα επόμενα δύο χρόνια, καθώς οι συνθήκες του εδάφους είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξή τους. Αυτό συμβαίνει επειδή η αύξηση του pH του εδάφους μετά τη φωτιά ευνοεί τους βακτηριακούς πληθυσμούς που ευδοκούν σε αλκαλικά περιβάλλοντα, ενώ η φωτιά με τη δράση της προσφέρει στους μικροβιακούς πληθυσμούς συστατικά που μπορούν να αποδομήσουν εύκολα.



**Σχήμα 16:** Οι περιοχές που έχουν καεί δεν έχουν φυτική κάλυψη για μήνες ή χρόνια με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται το έδαφος με άμεσες συνέπειες, όπως πλημμυρικά φαινόμενα, μείωση της διήθησης του νερού και του εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα, υλικές ζημιές κ.α. (πηγή: [www.agf.gov.bc.ca](http://www.agf.gov.bc.ca))

### 1.8 Αντιμετώπιση

Η σημασία της προστασίας των εδαφικών πόρων αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο διεθνώς. Στη Διάσκεψη Κορυφής του Ρίο, το 1992, τα συμμετέχοντα κράτη ενέκριναν σειρά δηλώσεων σχετικά με την προστασία του εδάφους. Αξίζει να σημειωθεί ιδιαίτερα ότι οι συμμετέχοντες κατέληξαν σε κοινή αποδοχή του ορισμού τους για την έννοια της «αειφόρου ανάπτυξης» καθώς και ότι εγκρίθηκαν νομικά δεσμευτικές συμβάσεις με θέμα την αλλαγή του κλίματος, τη βιοποικιλότητα και αργότερα την ερημοποίηση. Στόχος τους

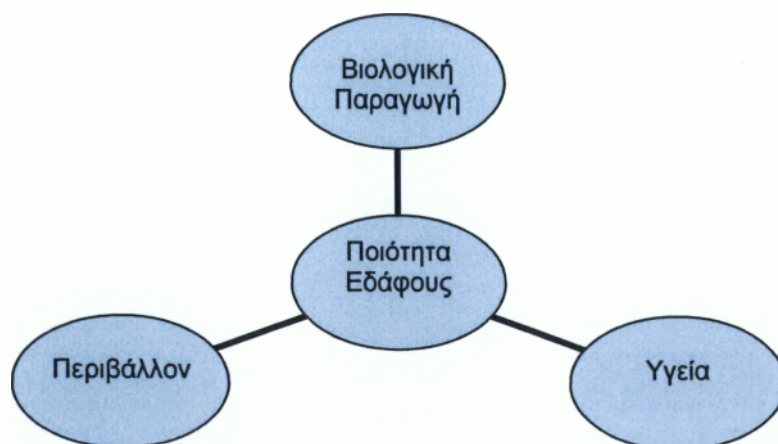
Σύμβασης του 1994 για την καταπολέμηση της ερημοποίησης είναι η πρόληψη και ο περιορισμός της υποβάθμισης των εδαφών, η αποκατάσταση εν μέρει υποβαθμισμένων εδαφών καθώς και η ανάκτηση ερημωθέντων εδαφών. Η Σύμβαση αναγνωρίζει τη σχέση που συνδέει την ερημοποίηση, τη φτώχεια, την ασφάλεια των τροφίμων, την απώλεια της βιοποικιλότητας και την αλλαγή του κλίματος. Τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ) επεσήμανε ότι η απώλεια εδάφους και η υποβάθμιση της γονιμότητάς του απειλούν την αειφόρο ανάπτυξη επειδή περιορίζουν τη βιωσιμότητα των γεωργικών γαιών. Για την αντιμετώπιση της υποβάθμισης του εδάφους, η ΕΕ δεν έμεινε απαθής, αλλά παίρνει σειρά μέτρων σε επίπεδο στρατηγικής, πολιτικής και πρακτικών εφαρμογών. Συγκεκριμένα, η ΕΕ θεωρεί ότι η προστασία του εδάφους μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα μέσω μιας στρατηγικής η οποία να βασίζεται σε πρωτοβουλίες στο πλαίσιο των περιβαλλοντικών πολιτικών στην ενσωμάτωσή τους στις πολιτικές, στην παρακολούθηση του εδάφους και στη μελλοντική ανάπτυξη νέων δράσεων με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης (Χαϊντούτη, 2008).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος αντιμετωπίζεται συχνά ως αδρανές υλικό και κυρίως ως μέσο στήριξης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Είναι τους κάτι πολύ πιο σημαντικό. Είναι ένα δυναμικό, ζωντανό σύστημα που περιλαμβάνει ένα δίκτυο από ανόργανα και οργανικά συστατικά και περιέχει ένα πλήθος κενών χώρων και πόρων μέσα τους οποίους περιέχονται και κυκλοφορούν υγρά και αέρια. Επιπλέον, τα εδάφη περιέχουν έμβιους πληθυσμούς που ξεκινούν από βακτήρια μέχρι μύκητες, γαιοσκώληκες και μικρά τρωκτικά. Οι χημικές, φυσικές και βιολογικές ιδιότητες των εδαφών ποικίλλουν τόσο σε έκταση όσο και σε βάθος σε ποικιλία κλιμάκων. Η δημιουργία εδάφους, όπως αναφέρθηκε, είναι αποτέλεσμα επίδρασης του ανάγλυφου, του κλίματος, της βλάστησης, των μικροοργανισμών του εδάφους και του χρόνου στα πετρώματα και στα μητρικά υλικά. Συνεπώς, η διαφοροποίηση τους από τους προηγούμενους παράγοντες μπορεί να μεταβάλει την πορεία σχηματισμού του εδάφους. Η δημιουργία εδάφους είναι διαδικασία που διαρκεί επί μεγάλο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το εξής: Για 30cm εδάφους απαιτούνται περίπου 1.000 έως 10.000 χρόνια, συνεπώς η πορεία σχηματισμού του εδάφους είναι τόσο βραδεία, ώστε το έδαφος θεωρείται ως μη ανανεώσιμος πόρος.



Σχήμα 17: Ποιότητα Εδάφους (Χαϊντούτη, 2008)

## 2.1 Η αναζήτηση αειφορικών συστημάτων διαχείρισης της γης

Προκειμένου να διαφυλαχτεί η γεωργία και η ποιότητα γενικότερα για τις μελλοντικές γενιές, θα πρέπει να αναπτυχθούν συστήματα παραγωγής για την κάλυψη των διατροφικών και ενεργειακών αναγκών μας, τα οποία θα στηρίζονται λιγότερο στους μη ανανεώσιμους πόρους και περισσότερο σε ανανεώσιμους φυσικούς πόρους προς αυτή την κατεύθυνση. Απαιτείται συντηρητική διαχείριση των καλλιεργειών και εναρμόνιση με τις φυσικές διεργασίες για να επιτευχθούν οι πολλαπλοί στόχοι της οικονομικής, οικολογικής, και περιβαλλοντικής βιώσιμης ανάπτυξης. Οι επιμέρους στόχοι της αειφορικής διαχείρισης του εδάφους είναι η διατήρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, ο περιορισμός της διάβρωσης, η διατήρηση της παραγωγικότητας σε αρμονία με το περιβάλλον και η καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πόρων.

Ωστόσο, η δημιουργία βιώσιμων συστημάτων γεωργικής διαχείρισης περιπλέκεται από την αναγκαιότητα θεώρησης της χρησιμότητας τους για τους ανθρώπους, της αποτελεσματικότητας τους σε σχέση με τη κατανάλωση φυσικών πόρων και της ικανότητας τους να διατηρήσουν μια τέτοια ισορροπία με το περιβάλλον που να είναι ευνοϊκή για τους ανθρώπους, αλλά και για τα περισσότερα άλλα είδη. Στην προσπάθεια για ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων διαχείρισης είναι αναγκαία η εφαρμογή ολοκληρωμένων μεθόδων αξιολόγησης της βιωσιμότητας τους. Από αυτή την άποψη, η ποιότητα του εδάφους επηρεάζει σε τελική ανάλυση την ανθρώπινη υγεία, δρώντας αφενός ως κύριο υπόστρωμα παραγωγής τροφής και ινών και αφετέρου ως μεσοεπιφάνεια, η οποία επηρεάζει την ποιότητα του αέρα και του νερού.

Η ποιότητα του εδάφους ως όρος εντάχθηκε από την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια και αποτελεί ένα σύνθετο αντικείμενο μελέτης. Δεν περιλαμβάνει μόνο τον προσδιορισμό βασικών εδαφικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών για την χάραξη ορθών πολιτικών χρήσης γης, αλλά μια ολιστική προσέγγιση και αναπροσδιορισμό των χρήσεων των εδαφικών πόρων, έτσι ώστε να δρουν συμβατά με τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες που επικρατούν και να παρέχει τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορική διαχείρισή του.

Ως ποιότητα εδάφους ορίζεται η ικανότητα ενός εδάφους να «λειτουργεί» μέσα στα πλαίσια ενός φυσικού ή υπό διαχείριση οικοσυστήματος, να υποστηρίζει τη φυτική και ζωική παραγωγή, να συντηρεί και να προάγει την ποιότητα του νερού και του αέρα και να υποστηρίζει την υγεία του ανθρώπου (Χαϊντούτη, 2008).

Το έδαφος επηρεάζει το κλίμα και τη δράση των οργανισμών, που δρουν στην αποσάθρωση του μητρικού υλικού κατά την πάροδο του χρόνου. Η ποιότητα του εδάφους μπορεί να διαχωριστεί σε **ενδογενή** και σε **εν δυνάμει ποιότητα**.

**Ενδογενής** λέγεται η φυσική ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί και εξαρτάται αποκλειστικά από το σύνολο των φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών, που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος. Ουσιαστικά συνδέεται με την φυσική σύνθεση του εδάφους και τις ιδιότητες όπως επηρεάζονται από τους παράγοντες και τη διαδικασία του σχηματισμού του εδάφους, καθώς επίσης δεν αλλάζει με τη χρήση (για παράδειγμα η άργιλος δεν μεταβάλλεται).

Η **εν δυνάμει** ποιότητα του εδάφους είναι επιπλέον συνάρτηση και της χρήσης του εδάφους και των διαδικασιών που μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα της χρήσης γης ή της παρέμβασης του.

Διαφορετικοί τύποι εδαφών αντιδρούν διαφορετικά στη διαχείριση και αυτό εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του εδάφους, όσο και του περιβάλλοντος τοπίου γενικότερα.

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα αναγνωρίζει την ποιότητα εδάφους ως ένα δυναμικό εργαλείο για την αξιολόγηση των εδαφικών συνθηκών και την ανθεκτικότητα των εδαφικών πόρων να αντιστέκονται στις μεταβολές που προκαλούνται από τις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές, τις φυσικές δυνάμεις και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

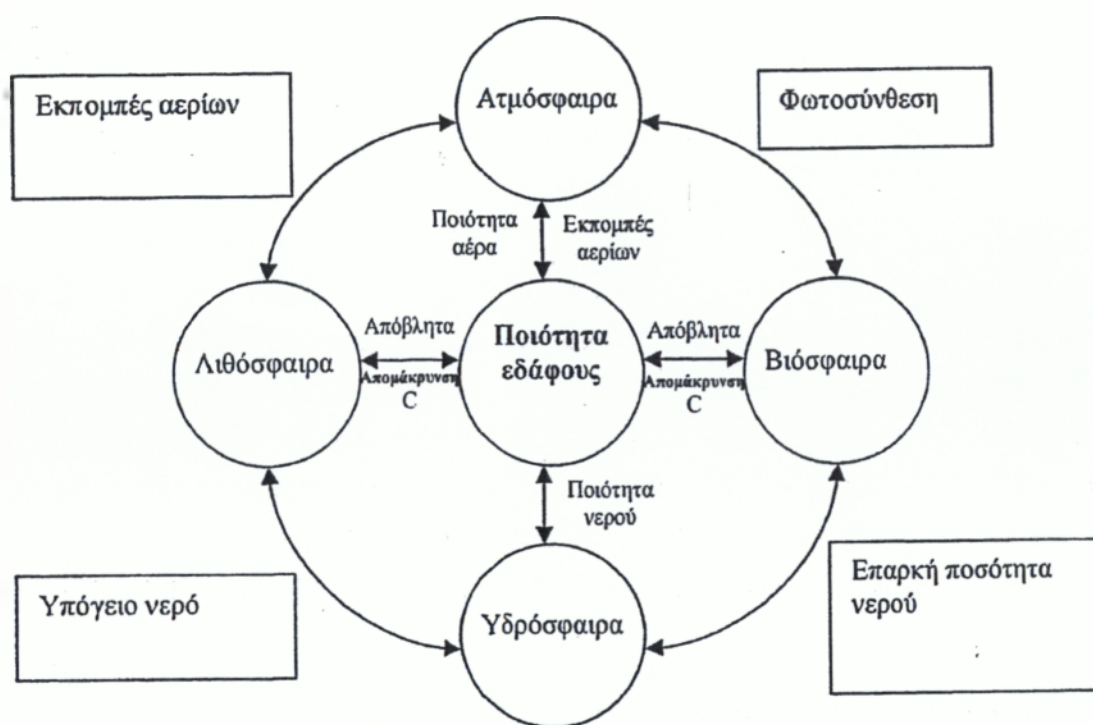
Σύμφωνα με τους Smyth and Dumanski (1993), για την αξιολόγηση της ποιότητας των εδαφικών πόρων, καθώς και για την αειφορική διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής κριτήρια:

- Διατήρηση και ενίσχυση της παραγωγικότητας
- Προστασία των φυσικών πόρων



- Περιορισμός των παραγόντων που συμβάλλουν στην υποβάθμιση των εδαφών καθώς και στη διατήρηση της ποιότητας του νερού
- Εξασφάλιση κοινωνικής αποδοχής

Η μελέτη της ποιότητας του εδάφους επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους, καθώς και στις διεργασίες που οδηγούν στην υποβάθμιση των εδαφών και σχετίζονται με την παραγωγικότητα των εδαφικών πόρων, την ποιότητα του νερού, την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Σχήμα 4).



**Σχήμα 18:** Διαχείριση εδαφικών πόρων και βελτίωση της ποιότητας του εδάφους (Χαϊντούτη, 2008)

Η ποιότητα του εδάφους, σύμφωνα με τον Shelton (2006), αναφέρεται στην εκτίμηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών εδαφικών ιδιοτήτων, έτσι ώστε να διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλά επίπεδα η παραγωγή με την ελάχιστη επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος. Στόχοι της ποιότητας του εδάφους είναι να διατηρείται η ισορροπία των ωφέλιμων και πιθανώς επιβλαβών μικροοργανισμών, η φυσική κατάσταση

του εδάφους και η μείωση των χημικών ή μη τοξικών ουσιών καθώς επίσης και οι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες για την ανάπτυξη των φυτών.

Η εδαφική ποιότητα αποτελεί μια προσέγγιση των εδαφικών χαρακτηριστικών, ώστε να καθοριστούν εν μέρει η παραγωγικότητα των εδαφών. Είναι ένας δείκτης για την ποιότητα του περιβάλλοντος, καθορίζει το περιβάλλον για βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη υγεία όσον αφορά τη διασφάλιση της τροφής, την ποιότητα νερού και την έκθεση σε επικίνδυνες τοξικές ουσίες.

Θεωρείται, μετά από έρευνες που έχουν γίνει, ένα αποτελεσματικό εργαλείο, το οποίο ελέγχει τις εδαφικές λειτουργίες. Εκτιμώντας την ποιότητα του εδάφους που περιλαμβάνει τη μέτρηση φυσικών, χημικών ή βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους, ελέγχονται οι αλλαγές που συμβαίνουν, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό αν υπάρχει βελτίωση, καθώς επίσης και αν δημιουργούνται θετικά αποτελέσματα με τις αλλαγές που γίνονται. Ουσιαστικά, το έδαφος συνδέεται με την παραγωγικότητα και την ποιότητα του περιβάλλοντος, καθώς ενεργεί ως σταθεροποιητικός παράγοντας του φυσικού οικοσυστήματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται η καθοριστική συμβολή της μελέτησης ποιότητας του εδάφους στην αειφορική διαχείριση των εδαφικών πόρων.

## **2.2 Ποιότητα εδάφους και σταθερότητα εδάφους**

Η διατήρηση της ποιότητας των εδαφικών πόρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σταθερότητα του εδαφικού συστήματος στις μεταβολές που υφίσταται κατά τις διεργασίες της υποβάθμισης. Η σταθερότητα (*stability*) εκφράζεται αφενός από την αντίσταση (*resistance*) και αφετέρου από την ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα (*resilience*) των εδαφικών πόρων. Η αντίσταση του εδάφους εκφράζει το βαθμό επαναφοράς των εδαφικών λειτουργιών στην αρχική τους κατάσταση μετά από μία διαταραχή, ενώ η ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα εκφράζει το βαθμό μεταβολής των εδαφικών λειτουργιών κατά τη διάρκεια της διαταραχής. Η ποιότητα του εδάφους κατά τη διάρκεια της διαταραχής είναι συνάρτηση της αντίστασης του εδάφους, ενώ μετά το τέλος της διαταραχής εξαρτάται περισσότερο από την ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα του εδάφους.

Είναι πιθανό ένα έδαφος να εμφανίζει μεγάλη αντίσταση, αλλά μικρή ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επίδραση της μηχανικής κατεργασίας σε ένα αργιλώδες έδαφος. Το αργιλώδες έδαφος παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη συμπίεση. Αν όμως κατά την κατεργασία του, τα μηχανήματα καταστρέφουν τη δομή του, η ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητά του και η δυνατότητά του να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση είναι περιορισμένη. Παρόλο που η σταθερότητα ενός εδάφους υπολογίζεται από την εκτίμηση των παραπάνω δύο μεταβλητών, η ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα των εδαφικών πόρων θεωρείται ότι αποτελεί την κυριότερη παράμετρο για την αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα-προσαρμοστικότητα των εδαφών περιλαμβάνουν αφενός τις ιδιότητες του εδάφους και αφετέρου εξωτερικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, οι βασικές ιδιότητες που επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους και καθορίζουν την ανθεκτικότητα - προσαρμοστικότητα των εδαφών είναι η δομή, η εδαφική υγρασία, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τα ανταλλάξιμα κατιόντα, η οργανική ουσία και το εδαφικό pH. Στους εξωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι χρήσεις γης και τα συστήματα διαχείρισης των εδαφών. Με βάση τους παραπάνω παράγοντες η ανθεκτικότητα-προσαρμοστικότητα των εδαφών στην υποβάθμιση εκφράζεται σύμφωνα με τον τύπο:

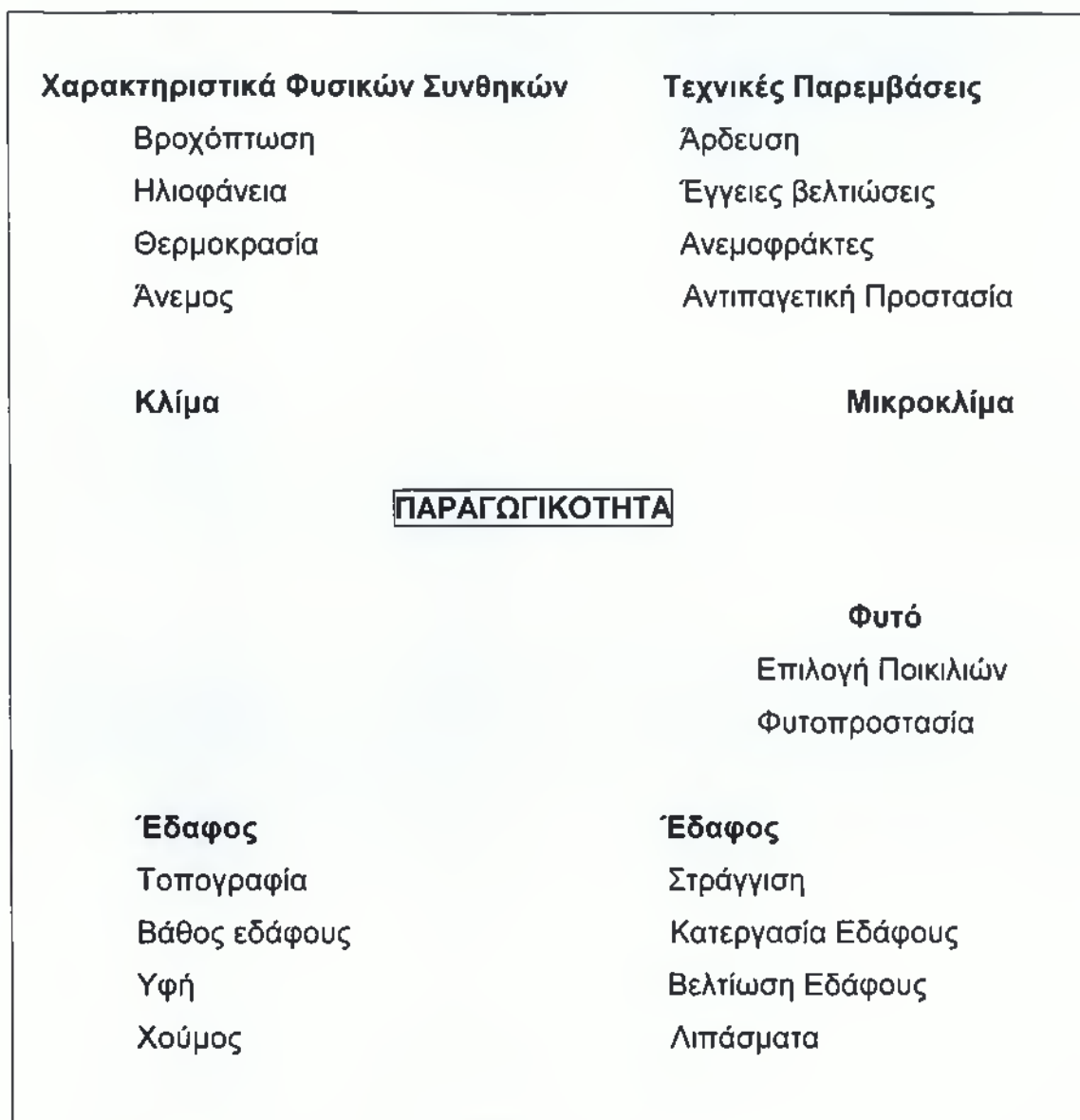
**$Sr = f$  (ποιότητα εδάφους, χρήσεις γης, συστήματα διαχείρισης):**

- Όπου  $Sr$  = ανθεκτικότητα-προσαρμοστικότητα του εδάφους  
 $t$  = χρόνος

### **2.3 Ποιότητα εδάφους και παραγωγικότητα εδαφικών πόρων**

Κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η παραγωγικότητα και η ποιότητα εδάφους αποτελούν συνώνυμες έννοιες. Ωστόσο, παρόλο που η παραγωγικότητα αποτελεί μια σημαντική εδαφική λειτουργία για την αειφορική ανάπτυξη της γεωργίας, η ποιότητα εδάφους είναι μία πιο διευρυμένη έννοια, που περιλαμβάνει επιπλέον τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τις διαφορετικές χρήσεις γης και την ανθρώπινη υγεία.

Η παραγωγικότητα των εδαφικών πόρων διαμορφώνεται από τα χαρακτηριστικά των φυσικών συνθηκών και των τεχνικών παρεμβάσεων. Οι φυσικές συνθήκες επιβάλλονται από το οικολογικό περιβάλλον. Μερικές από αυτές μπορούν κάποτε να δεχτούν βελτίωση, όμως με μεγάλο κόστος.



**Σχήμα 19:** Συντελεστές της παραγωγικότητας των εδαφών (Χουλιάρης, 2002)

Η παραγωγικότητα του εδάφους μειώνεται εξαιτίας συγκεκριμένων διεργασιών, όπως η διάβρωση, η μείωση των θρεπτικών στοιχείων, η αλάτωση, η οξίνιση και η συμπίεση. Η σχέση ανάμεσα στην παραγωγικότητα

των εδαφικών πόρων και την ποιότητα του εδάφους γίνεται εμφανής όταν οι αλλαγές στις εδαφικές ιδιότητες, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας του εδάφους, συνδέονται με τις αιτίες που προκαλούν τη μείωση της παραγωγικότητας. Οι επιπτώσεις των πρακτικών διαχείρισης στην παραγωγικότητα των εδαφών μπορούν να εκτιμηθούν από παραμέτρους της ποιότητας εδάφους. Συνεπώς ένα έδαφος υψηλής ποιότητας θα εμφανίζει μεγαλύτερη σταθερότητα στην παραγωγή, καθώς και υψηλή παραγωγικότητα, γιατί θα παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση και ανθεκτικότητα σε κλιματικές μεταβολές, όπως η ξηρασία.

Η ποιότητα του εδάφους, η δομή του και η ικανότητά του να συγκρατεί νερό και θρεπτικά, εξαρτάται από τις εισροές οργανικού υλικού για τη διατήρηση κατάλληλων επιπέδων χούμου.

Τα οργανικά συστήματα βασίζονται συχνά στην κατεργασία του εδάφους με την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών και τον έλεγχο των ζιζανίων. Η κατεργασία επιταχύνει αρκετά την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Τα σύγχρονα ολοκληρωμένα και συμβατικά συστήματα καλλιέργειας αποφεύγουν ή μειώνουν την κατεργασία, με αποτέλεσμα τα υπολείμματα των καλλιεργειών να συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Γενικά η παραγωγικότητα είναι σημαντική, όχι μόνο για την οικονομική απόδοση, την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του πληθυσμού, τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της άγριας ζωής, αλλά επίσης και για τη διατήρηση της ποιότητας των εδαφικών πόρων.

#### **2.4 Ποιότητα εδάφους και καλλιεργητικές τεχνικές**

Η κατεργασία του εδάφους, η λίπανση, η εναλλαγή καλλιεργειών, η άρδευση και η χρήση εδαφοβελτιωτικών, αποτελούν τις σημαντικότερες καλλιεργητικές τεχνικές που επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα των εδαφικών πόρων.

Συγκεκριμένα, η κατεργασία του εδάφους είναι μια διαδικασία η οποία ενσωματώνει τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας, τα λιπάσματα και τα εδαφοβελτιωτικά, προετοιμάζει το έδαφος για την εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας συμβάλλοντας σημαντικά στην αύξηση



της παραγωγής και της ποιότητας του εδάφους. Ωστόσο, η εντατική κατεργασία του εδάφους είναι δυνατό να αυξήσει τη διάβρωση των εδαφών και να μειώσει την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία. Συνεπώς, συνιστάται ο περιορισμός των καλλιεργητικών επεμβάσεων, έτσι ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του εδάφους.

Η λίπανση μπορεί να έχει είτε θετικές είτε αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους. Η χρήση των λιπασμάτων αυξάνει τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων και τις εισροές οργανικής ουσίας στα εδάφη, εξαιτίας της αυξημένης παραγωγής βιομάζας που προκαλούν στις καλλιέργειες. Ωστόσο η συνεχής προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων είναι πιθανό να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους, εξαιτίας της πτώσης του εδαφικού pH ή της έκπλυσης του N.

Η εναλλαγή των καλλιεργειών έχει ως στόχο να βελτιώσει την ποιότητα των εδαφικών πόρων, μεταβάλλοντας την ποιότητα και την ποσότητα των υπολειμμάτων στο έδαφος, (π.χ. το λόγο C:N και την ποσότητα λιγνίνης), εξασφαλίζοντας καλύτερη εκμετάλλευση των θρεπτικών στοιχείων και του νερού με την καλλιέργεια φυτών με διαφορετική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και επίσης παρέχοντας κάλυψη στο έδαφος για τον περιορισμό της διάβρωσης.

Η άρδευση επηρεάζει αρχικά την ποιότητα εδαφικών πόρων και στην συνέχεια την ανάπτυξη των φυτών. Στις περιοχές, όπου η βροχόπτωση είναι επαρκής για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, η μείωση της επιφανειακής απορροής, καθώς και της έκπλυσης αποτελούν τις βασικές προϋποθέσεις για την διατήρηση της ποιότητας του εδάφους. Στα υδρομορφικά εδάφη, προτείνεται είτε η χρήση των καλλιεργειών που αναπτύσσονται σε συνθήκες κατάκλισης, όπως τα φυτά *Oriza sativa*, είτε η εγκατάσταση συστημάτων αποστράγγισης. Τα συστήματα αυτά συνήθως βελτιώνουν τον αερισμό του εδάφους, επιτρέπουν την καλλιέργεια διαφορετικών φυτικών ειδών, αλλά είναι δυνατό να συμβάλλουν στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων, εξαιτίας της αύξησης του ρυθμού αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας. Στις περιοχές που απαιτείται η άρδευση για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, η ποιότητα του νερού άρδευσης, η συχνότητα και η μέθοδος άρδευσης, η εγκατάσταση συστημάτων αποστράγγισης αποτελούν βασικούς παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται για την διατήρηση της ποιότητας των εδαφών.

## 2.5 Ποιότητα εδάφους και ποιότητα νερού

Η βελτίωση της ποιότητας του εδάφους αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα και του νερού. Οι επιπτώσεις της ποιότητας του εδάφους στην ποιότητα του νερού μπορεί να είναι είτε άμεσες είτε έμμεσες.

**Πίνακας 1:** Άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις της ποιότητας νερού στο έδαφος (Χαϊντούτη, 2008)

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ
<b>A. Άμεσες επιπτώσεις</b>	
I. Μητρικό υλικό	Συγκέντρωση αλάτων
Οργανική ουσία	Χρώμα
Εδαφική δομή, βαθμός διάβρωσης	Μειωμένη διαύγεια
ΙΑΚ	Διαλυμένα σωματίδια
Αναερόβιες συνθήκες	Βιοχημικές απαιτήσεις οξυγόνου, Χημικές απαιτήσεις οξυγόνου
Υφή	Αιωρούμενα σωματίδια
<b>B. Έμμεσες επιπτώσεις</b>	
Μέθοδοι κατεργασίας	Συγκεντρώσεις ιζημάτων, αιωρούμενα σωματίδια
Προσθήκη χημικών	Διαλυμένα σωματίδια
Καλλιεργητικές πρακτικές	Βιομάζα
Σύστημα αποστράγγισης	Διαλυμένα σωματίδια

Το νερό είναι μοναδικός φυσικός πόρος, αφενός εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών, και αφετέρου επειδή, σε μακροχρόνια κλίμακα, θεωρητικά η συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού σε κάθε περιοχή, είναι περίπου σταθερή.



Το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων, όπως και οποιουδήποτε άλλου φυσικού πόρου, στηρίζεται στην τεχνοκρατική αντίληψη, σύμφωνα με την οποία σημασία έχει η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος και συνεπώς κάθε φυσικός πόρος αποτελεί μία από τις συνιστώσες της ανάπτυξης αυτής. Το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας εφαρμογής του μοντέλου αυτού εκδηλώνεται τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες περιοχές, με την ανεπάρκεια νερού, η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητάς του.

Ο όρος «ποιότητα του νερού» δεν συνιστά από μόνος του μία συγκεκριμένη αξία γιατί υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές και συνεπώς πρέπει να θεωρείται και να μελετάται σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις του νερού. Μόνο μία λεπτομερής ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών απαιτήσεων των διαφορετικών χρήσεων του νερού, μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας ή της ανεπάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

### **2.5.1 Ποιότητα νερού και υδρολογικός κύκλος**

Όπως το νερό συνεχώς κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης προς τις υδάτινες μάζες και στην ατμόσφαιρα και πάλι πίσω, η ποιότητά του συνεχώς μεταβάλλεται. Με την εξάτμιση μόρια του νερού ανέρχονται στην ατμόσφαιρα ως ατμοί εγκαταλείποντας στη γη όλες τις διαλυτές σ' αυτό ουσίες. Η ατμόσφαιρα απορροφά σε ίχνη άλατα, αέρια και στερεά σωματίδια που αιωρούνται, σε ποσότητες όμως που είναι πάρα πολύ μικρές. Μέρος της βροχής θα πέσει και θα κινηθεί πάνω στην επιφάνεια (απορροή) παρασύροντας σωματίδια και διαλύοντας διάφορες ουσίες. Συνεπώς, όλα τα επιφανειακά νερά περιέχουν εκτός από διαλυμένες ουσίες και αιωρήματα που εξαρτώνται από την περιοχή (άργιλος, ιλύς, άμμος). Με τη ροή, επίσης, μεγάλα σωματίδια αποδομούνται σε μικρότερα.



Σχήμα 20: Απεικόνιση υδρολογικού κύκλου (Πηγή: [agrino.org](http://agrino.org))

Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερη επίδραση από το έδαφος. Η επίδραση αυτή είναι χημική, φυσική από ορυκτά και αέρια τα οποία διαλύονται σε αυτά. Τα νερά αυτά κινούνται αργά σε σύγκριση με τα επιφανειακά και παραμένουν πολύ χρόνο σε επαφή με το έδαφος.

### 2.5.2 Αειφορία υδατικών πόρων

Με τον όρο «αειφορική ανάπτυξη» εννοείται η ανάπτυξη, η οποία λαμβάνει υπόψη της τις ανάγκες της παρούσας κατάστασης χωρίς να μειώνει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις ανάγκες τους.

Ωστόσο, ο όρος αυτός, είναι αρκετά αόριστος και ακαθόριστος. Στην άρδευση σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει στραγγιστικό δίκτυο, εκεί όπου υπάρχει υπόγεια στάθμη, η οποία όταν ανέβει θα επιφέρει αλάτωση ή νατρίωση των εδαφών. Με την άρδευση, μετακινούνται επίσης τα νιτρικά λιπάσματα, τα οποία πρέπει να εφαρμόζεται στο ελάχιστο, ώστε να μη ρυπαίνονται το έδαφος και τα υπόγεια νερά.

Η αειφορία των υδατικών πόρων εξαρτάται α) από τη διάρκεια της βιωσιμότητας, η οποία είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και β) το ιδιωτικό συμφέρον του γεωργού, το οποίο συχνά δεν συμπίπτει με το γενικότερο κοινωνικό συμφέρον.

### 2.5.3 Τα προβλήματα της ποιότητας του νερού

Τα προβλήματα της ποιότητας εδάφους και της ποιότητας νερού, τα οποία προκλήθηκαν από καλλιεργητικές τεχνικές, γίνονται αντιληπτά από την κοινωνία ως περιβαλλοντικά προβλήματα, συγκρινόμενα με άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η ποιότητα του αέρα και η απελευθέρωση τοξικών ρύπων από εργοστασιακές πηγές.

Συγκεκριμένα, η σημαντική εδαφική υποβάθμιση εξαιτίας της διάβρωσης, η συμπίεση και η αλάτωση μπορούν να υποβαθμίσουν την παραγωγική ικανότητα του εδάφους και να οξύνουν την μόλυνση του νερού από ιζήματα και γεωργικά χημικά. Τα ιζήματα που προέρχονται από καλλιεργούμενες περιοχές που έχουν υποστεί διάβρωση παρεμβαίνουν στη μεταφορά του νερού.

Ωστόσο, τα νιτρικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα, τα άλατα, καθώς και ίχνη στοιχείων, αυξήθηκαν στις λίμνες, στα ποτάμια και στα επιφανειακά νερά του εδάφους. Τα θρεπτικά επιταχύνουν το ρυθμό **ευτροφισμού** στις λίμνες και τα ρυάκια.

Επίσης το άζωτο με τη μορφή των νιτρικών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας εάν προσληφθεί από ανθρώπους από την κατάποση νερού. Τα φυτοφάρμακα στην κατάποση νερού έχουν γίνει ανησυχία στην ανθρώπινη υγεία και μπορούν να διαταράξουν τα υδατικά οικοσυστήματα. Τα άλατα μπορούν να γίνουν τοξικά σε αρκετά υψηλά επίπεδα και να μειώσουν δραματικά τις χρήσεις του νερού. Σε μερικές περιοχές, ίχνη τοξικών στοιχείων στην αποστράγγιση των υδάτων έχουν προκαλέσει σημαντική ζημιά στα ψάρια, την άγρια ζωή και στα υδατικά οικοσυστήματα.

Προκειμένου να διατηρηθεί η ποιότητα των υπογείων υδάτων σε υψηλά επίπεδα, οι έλεγχοι πρέπει να είναι προληπτικοί και όχι παρεμβατικοί. Οι τελευταίοι κοστίζουν πολύ περισσότερο από τους πρώτους. Πάντως απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση των υδροφόρων σχηματισμών και

των πηγών ρύπανσης ή μόλυνσης. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο την επιβάρυνση με ρύπους των υπόγειων υδάτων, οι περισσότερες παραλίες κολύμβησης διαθέτουν πολύ καλή ποιότητα νερών.

#### **2.5.4 Η ρύπανση του νερού**

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός από ανόργανα και οργανικά ρυπογόνα στοιχεία, τα οποία είναι σημαντικά στο έδαφος. Αυτά περιλαμβάνουν ανόργανες ενώσεις, όπως το νιτρικό και το φωσφορικό άλας, βαρέα μέταλλα, όπως κάδμιο, χρώμιο και μόλυβδος, οργανικά χημικά οξέα και ραδιονουκλείδια. Στις πηγές αυτών των ρυπογόνων ουσιών περιλαμβάνονται τα λιπάσματα, τα εντομοκτόνα, τα απόβλητα και η ραδιενεργή σκόνη.

Η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων είναι κύρια ανησυχία σε ολόκληρη την επιστημονική κοινότητα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ρύπανσης: α) η ρύπανση σημείου και β) η ρύπανση μη - σημείου. Η ρύπανση σημείου εντοπίζεται σε μία συγκεκριμένη πηγή, όπως μία βιομηχανική περιοχή.

Η ρύπανση μη – σημείου είναι αποτέλεσμα των μεγάλων περιοχών (όχι μίας συγκεκριμένης περιοχής) και περιλαμβάνει τις φυσικές και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πηγές της ρύπανσης μη – σημείων περιλαμβάνουν αγροτικές, ανθρώπινες, δασικές, αστικές κατασκευές αστικές και ορυκτές δραστηριότητες.

Επίσης, υπάρχουν ρυπαντικά στοιχεία της πηγής μη – σημείου που προέρχονται από φυσικά αίτια, όπως γεωλογική διάβρωση, διαρροή άλατος, τα οποία είναι πιθανό να περιέχουν μεγάλες ποσότητες από θρεπτικά συστατικά.

## 2.6 Δείκτες ποιότητας εδάφους

Οι δείκτες ποιότητας εδάφους (ΔΠΕ) είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες, διαδικασίες και χαρακτηριστικά, τα οποία μπορεί να εκτιμηθούν για να ελεγχθούν οι αλλαγές που υφίσταται το έδαφος.

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τους ΔΠΕ για να αξιολογήσουν τις εδαφικές λειτουργίες, οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν απευθείας. Οι δείκτες μπορεί να είναι ποιοτικοί ή ποσοτικοί.

Οι τύποι των πιο χρήσιμων δεικτών εξαρτώνται από τη λειτουργία του εδάφους που περιλαμβάνει την παροχή φυσικών, χημικών και βιολογικών ρυθμίσεων για ζωντανούς οργανισμούς, τη ρύθμιση της ροής του νερού, καθώς και την αποθήκευση και ανακύκλωση θρεπτικών και άλλων στοιχείων και την υποστήριξη της βιολογικής δραστηριότητας και της ποικιλίας για αναπαραγωγή φυτών και ζώων, καθώς επίσης, τη διήθηση, αποτροπή, υποβάθμιση, καθήλωση οργανικών και ανόργανων υλικών και τέλος την παροχή μηχανικής υποστήριξης για τους ζωντανούς οργανισμούς και τα κατασκευάσματά τους.

Οι δείκτες είναι σημαντικοί για να διατηρείται και να βελτιώνεται η κατάσταση του εδάφους, να αξιολογούνται οι διαχειριστικές πρακτικές και οι τεχνικές εδάφους, να συσχετίζουν την ποιότητα εδάφους με άλλους φυσικούς πόρους και να συγκεντρώνουν τις απαραίτητες πληροφορίες για να καθοριστούν οι τάσεις.

Επιπλέον, οι δείκτες καθορίζουν τις τάσεις σύμφωνα με την ποιότητα των εδαφών και καθοδηγούν τις διαχειριστικές αποφάσεις της γης.

Οι δείκτες ποιότητας εδάφους θεωρούνται ιδανικοί όταν συσχετίζονται καλά με τις μεθόδους του οικοσυστήματος και ενσωματώνουν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές εδαφικές ιδιότητες και μεθόδους. Επίσης, πρέπει να είναι προσιτοί σε πολλούς χρήστες και να μπορούν να ερμηνευτούν.

Σύμφωνα με την Creamer (2008), οι σημαντικότεροι δείκτες, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση της ποιότητας των εδαφών διακρίνονται σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες:



**Πίνακας 2:** Απεικόνιση Δεικτών Ποιότητας Εδάφους (Creamer, 2008)

Φυσικοί δείκτες εδάφους	Διαπερατότητα αέρα, φαινομενική πυκνότητα, ολικό πορώδες, μακροπορώδες, διαθέσιμη υγρασία, απορροή
Χημικοί δείκτες εδάφους	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , DOC, DON, pH, σχέση C/N εδάφους
Βιολογικοί δείκτες εδάφους	Νουκλεϊκά οξέα, οργανισμοί εδάφους

Ωστόσο, σύμφωνα με τον Lal (2004), οι προτεινόμενοι δείκτες που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατ' ελάχιστο για την εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους είναι οι εξής:

- Η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων
- Η φαινομενική πυκνότητα
- Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανικό άνθρακα
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
- Η ολική ποσότητα N, P και S
- Η ανοργανοποίηση του N
- Η μικροβιακή βιομάζα
- Η περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο

Ο βέλτιστος χρόνος, καθώς και η θέση δειγματοληψίας, για τον προσδιορισμό των δεικτών της ποιότητας, εξαρτώνται από την εδαφική λειτουργία, για την οποία πραγματοποιείται η αξιολόγηση. Η συχνότητα της δειγματοληψίας ποικίλλει, επίσης, σύμφωνα με το κλίμα και τη χρήση γης. Η χωρική παραλλακτικότητα μπορεί επίσης να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην επιλογή των δεικτών.

Ο προσδιορισμός των δεικτών της ποιότητας του εδάφους, στις περισσότερες περιπτώσεις, γίνεται με βάση τις μεταβολές που παρατηρούνται



στο εδαφικό σύστημα σε ένα χρονικό διάστημα, 1 - 10 χρόνων, έτσι ώστε οι υπεύθυνοι να μπορούν να διορθώσουν τα τυχόν προβλήματα, πριν εμφανιστεί η ανεπιθύμητη υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους.

Οι Δείκτες Ποιότητας Εδαφών, σύμφωνα με τη Χαϊντούτη, ταξινομούνται σε τέσσερις γενικές ομάδες: οπτικούς, φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες:

### **2.6.1 Οπτικοί δείκτες**

Προέρχονται από την παρατήρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών των εδαφών. Η έκθεση στο υπέδαφος, οι μεταχρωματισμοί του εδάφους, η απορροή του νερού και η απόθεση υλικών είναι μόνο μερικά παραδείγματα οπτικών δεικτών. Τα οπτικά στοιχεία μπορούν να είναι μια σαφής ένδειξη ότι η ποιότητα του εδάφους απειλείται ή μεταβάλλεται.

### **2.6.2 Φυσικοί δείκτες**

Οι φυσικοί δείκτες συσχετίζονται με τη διάταξη των στερεών συστατικών και των πόρων του εδάφους. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το βάθος του επιφανειακού ορίζοντα, τη φαινομενική πυκνότητα, το πορώδες, τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και τη συμπίεση. Οι φυσικοί δείκτες απεικονίζουν τους περιορισμούς στην αύξηση του ριζικού συστήματος, καθώς και στη διήθηση ή κίνηση του νερού μέσα στην εδαφοτομή. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των φυσικών δεικτών είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της παραγωγής βιομάζας, της δυναμικής του οργανικού άνθρακα στα εδάφη, της κινητικότητας του νερού και της συμπεριφοράς του C και των ρυπαντών που μεταφέρονται μέσω της διάβρωσης των εδαφών.

Οι φυσικοί δείκτες μάλιστα, παρέχουν πληροφορίες για τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως την είσοδο του νερού και την διατήρησή του, η οποία επηρεάζει την διαθεσιμότητα υγρασίας στα φυτά. Μερικοί δείκτες σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών από την επίδραση του όγκου ριζοβολίας και τον αερισμό. Οι δείκτες περιλαμβάνουν μετρήσεις για την κίνηση του νερού στο έδαφος, το οποίο βασίζεται στην ποσότητα του νερού

της βροχής, που είναι αναλογία της βροχής που διηθείται στο έδαφος και της ικανότητας αποθήκευσης στο έδαφος.

**Πίνακας 3:** Φυσικοί Δείκτες Ποιότητας Εδάφους και σχέσεις των εδαφικών συνθηκών (Χαϊντούτη, 2008).

<b>ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>	
<b>ΔΠΕ</b>	<b>Σχέσεις με εδαφικές συνθήκες</b>
Κοκκομετρική σύσταση	Συγκράτηση και μεταφορά νερού και θρεπτικών, χρήσεις γης και διάβρωση
Βάθος εδάφους ή επιφανειακού ορίζοντα / στρώσης	Εκτίμηση παραγωγικότητας και διάβρωσης
Διηθητικότητα και φαινομενική πυκνότητα	Έκπλυση, παραγωγικότητα και διάβρωση
Ικανότητα συγκράτησης νερού	Εδαφική υγρασία και μεταφορά νερού, διαβρωσιμότητα

### 2.6.2.1 Κοκκομετρική σύσταση

Τα ανόργανα χαλαρά στερεά συστατικά του εδάφους αποτελούνται από κομμάτια πετρωμάτων, από πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά, το είδος και το μέγεθος των οποίων ποικίλλει και εξαρτάται από τη φύση του μητρικού υλικού και το βαθμό της αποσάθρωσής του. Ένα έδαφος συνήθως αποτελείται από πέτρες, χαλίκια και τεμαχίδια μη ορατά με γυμνό μάτι, τα οποία πολλές φορές ενώνονται πολλά μαζί και σχηματίζουν συσσωματώματα. Τα εδαφικά αυτά τεμαχίδια ταξινομούνται σε ομάδες σύμφωνα με το μέγεθός τους, που ονομάζονται κλάσματα κοκκομετρικής (μηχανικής) σύστασης. Τα κλάσματα μηχανικής σύστασης με διάμετρο κάτω από 2mm, είναι η άμμος, η ιλύς και η άργιλος. Ο ποσοτικός προσδιορισμός επιτυγχάνεται στο εργαστήριο και ονομάζεται κοκκομετρική (ή μηχανική) ανάλυση.

Η άμμος (0.05-2mm) αποτελείται από αποστρωγγυλοποιημένους ή γωνιώδεις κόκκους, οι οποίοι εξαιτίας της μικρής τους επιφάνειας στερούνται



Ο εργαστηριακός προσδιορισμός των τριών κλασμάτων της μηχανικής σύστασης του εδάφους βασίζεται:

- Στη δειγματοληψία με σιφώνιο, σε ορισμένα χρονικά διαστήματα και από διαφορετικά βάθη, μίας στήλης εδαφικού αιωρήματος στην οποία κόκκοι διάφορου μεγέθους καθιζάνουν με διαφορετική ταχύτητα (Διεθνής Μέθοδος Σιφωνίου).

- Στον προσδιορισμό με ειδικό πυκνόμετρο, της πυκνότητας του εδαφικού αιωρήματος, του οποίου οι κόκκοι καθιζάνουν σε ορισμένα χρονικά διαστήματα (Μέθοδος Βουγιούκου).

Οι ιδιότητες που εμφανίζουν διάφορα εδάφη εξαρτώνται από την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Συγκεκριμένα, τα αμμώδη εδάφη στα οποία επικρατεί η άμμος, αερίζονται καλά και θερμαίνονται εύκολα. Δεν μπορούν να συγκρατήσουν πολύ νερό και θρεπτικά στοιχεία και για αυτό χαρακτηρίζονται ως πτωχά εδάφη. Όμως με την κατάλληλη λίπανση και άρδευση τα εδάφη αυτά μπορούν να γίνουν παραγωγικά. Τα πηλώδη εδάφη παρουσιάζουν μέτρια αποστράγγιση, συνεπώς συγκρατούν τα θρεπτικά και την ικανότητα συγκράτησης νερού σε μέτρια επίπεδα.

Τα αργιλώδη εδάφη δεν αερίζονται καλά, ούτε θερμαίνονται εύκολα (έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα). Συγκρατούν πολύ νερό και θρεπτικά στοιχεία και συνήθως δεν είναι εύκολα στην κατεργασία τους. Τα εδάφη, τα οποία θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για γεωργική εκμετάλλευση, είναι τα μέσης σύστασης εδάφη στα οποία συμμετέχουν και τα τρία κλάσματα περίπου ισόποσα και εκδηλώνουν ενδιάμεσες ιδιότητες των τριών κατηγοριών.

#### **2.6.2.2 Βάθος εδάφους ή επιφανειακού ορίζοντα / στρώσης**

Το βάθος του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην επιβίωση και ανάπτυξη των φυτών. Γενικά ισχύει ότι το μεγαλύτερο βάθος εδάφους δίνει πάντοτε καλύτερα αποτελέσματα. Η ανεύρεση όμως εδάφους στον Ελληνικό χώρο και ιδιαίτερα στις ασβεστολιθικές περιοχές είναι δύσκολη και το κόστος απόκτησης και μεταφοράς του ιδιαίτερα υψηλό. Λαμβάνοντας υπόψη την τελευταία αυτή παρατήρηση και το γεγονός ότι η αποκατάσταση των χώρων

αυτών είναι επιβεβλημένη και υποχρεωτική από την πολιτεία, προκύπτει η ανάγκη προσδιορισμού του ελάχιστου βάθους εδάφους που θα διαστρώνεται κάθε φορά.

### 2.6.2.3 Διηθητικότητα και Φαινομενική Πυκνότητα

Με τον όρο διηθητικότητα εννοείται η ευκολία με την οποία το νερό εισέρχεται και διεισδύει διαμέσου του εδάφους. Η διηθητικότητα καθορίζει την ποσότητα του νερού που μπορεί να διεισδύσει και αποθηκευτεί μέσα στο έδαφος. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η μειωμένη προμήθεια νερού στα φυτά, παρόμοια με εκείνη της αλατότητας αλλά για διαφορετικό λόγο. Το πρόβλημα της διηθητικότητας του νερού είναι η μείωση της ποσότητας του νερού που θα τοποθετηθεί στο έδαφος για μελλοντική χρήση από τα φυτά ενώ της αλατότητας η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού που βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος. Βαθμός διηθητικότητας μέχρι 3 χιλιοστά/ώρα θεωρείται μικρός, ενώ μεγαλύτερος από 12 χιλιοστά/ώρα σχετικά μεγάλος. Μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες εκτός από την ποιότητα του νερού άρδευσης, όπως είναι η δομή και υφή του εδάφους, ο βαθμός συμπίεσης του εδάφους και το ποσοστό της οργανικής ουσίας που βρίσκεται στο έδαφος.

Ως φαινομενική πυκνότητα (Φ.Π.) του εδάφους χαρακτηρίζεται η μάζα της μονάδας όγκου ξηρού εδάφους στη φυσική του κατάσταση. Ο συγκεκριμένος όγκος εδάφους συμπεριλαμβάνει δηλαδή τόσο τα στερεά τεμαχίδια, όσο και τους κενούς πόρους. Επομένως, η τιμή της φαινομενικής πυκνότητας συνδέεται αντιστρόφως ανάλογα με τον όγκο των κενών πόρων, για αυτό και αποτελεί ένα μέτρο του πορώδους του εδάφους (Σινάνης,2003).

Για τον πειραματικό προσδιορισμό της φαινομενικής πυκνότητας απαιτείται η λήψη με τη βοήθεια ειδικών εδαφοληπτών, αδιατάρακτου δείγματος εδάφους. Εκφράζεται σε  $\text{g/cm}^3$  και κυμαίνεται ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους από 1.1-1.8  $\text{g/cm}^3$ . Ωστόσο, οι πιο συνηθισμένες τιμές της φαινομενικής πυκνότητας για τα ανόργανα εδάφη είναι 1.2-1.5  $\text{g/cm}^3$ , ενώ για τα οργανικά εδάφη (τύρφες) μεταξύ 0.5-1.1  $\text{g/cm}^3$ .

Η τιμή της φαινομενικής πυκνότητας επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό της οργανικής ουσίας. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του εδάφους



σε οργανική ουσία, τόσο μειώνεται η φαινομενική πυκνότητα. Την σημαντικότερη επίδραση στην τιμή της ασκεί η μηχανική σύσταση των εδαφών. Άλλωστε, η φαινομενική πυκνότητα αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης του πορώδους των εδαφών. Όταν αυξάνεται η τιμή της φαινομενικής πυκνότητας ενός εδάφους παρατηρείται μείωση του πορώδους τους.

#### **2.6.2.4 Ικανότητα Συγκράτησης Νερού**

Η διαθεσιμότητα του νερού είναι ένας σημαντικός δείκτης επειδή η ανάπτυξη των φυτών και η βιολογική δραστηριότητα του εδάφους εξαρτάται από το νερό.

Το νερό συγκρατείται και κινείται μέσα στο έδαφος κάτω από την επίδραση ορισμένων δυνάμεων, όπως οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις των κρυσταλλικών πλεγμάτων, οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των διπολικών μορίων, οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ του νερού και των στερεών τοιχωμάτων των τριχοειδών του εδάφους και η δύναμη βαρύτητας.

Το νερό που συγκρατείται κάθε φορά στο έδαφος και το ποσοστό του, το οποίο είναι προσλήψιμο και συνεπώς ωφέλιμο για τα φυτά εξαρτάται από το συνολικό πορώδες και την κατανομή των πόρων κατά μέγεθος. Ουσιαστικά, εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους.

#### **2.6.3 Χημικοί Δείκτες**

Οι χημικοί δείκτες περιλαμβάνουν την οργανική ουσία, τις μετρήσεις του pH, την αλατότητα, τις συγκεντρώσεις φωσφόρου, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, την ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων και τις συγκεντρώσεις μετάλλων, που μπορεί να οδηγήσουν σε ρύπανση (βαρέα μέταλλα και ραδιονουκλίδια) ή που απαιτούνται για την αύξηση των φυτών (ιχνοστοιχεία). Οι εδαφικές χημικές ιδιότητες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις σχέσεις εδάφους- φυτού, στην ποιότητα του νερού, στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών στα φυτά και σε άλλους οργανισμούς και στην κινητικότητα των ρύπων στην βιόσφαιρα. Εκτός από την επίδραση στην παραγωγή βιομάζας, η γνώση των χημικών δεικτών θεωρείται σημαντική για

την εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης και του ευτροφισμού των νερών, καθώς και των εκπομπών  $N_2O$  και  $NO_x$  στην ατμόσφαιρα. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι η οργανική ουσία του εδάφους θεωρείται ως ο κυριότερος από τους δείκτες ποιότητας του εδάφους, γιατί διαδραματίζει βασικό ρόλο σχεδόν στο σύνολο των βιολογικών κι φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Εξάλλου η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία επηρεάζεται σημαντικά από τις καλλιεργητικές πρακτικές, όπως το εντατικό όργωμα και η εξαντλητική καλλιέργεια του εδάφους.

**Πίνακας 4:** Χημικοί Δείκτες Ποιότητας Εδάφους και σχέσεις των εδαφικών συνθηκών (Χαϊντούτη, 2008)

ΧΗΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	
ΔΠΕ	Σχέσεις με εδαφικές συνθήκες
Οργανική Ουσία	Γονιμότητα, Δομή, Βάθος διάβρωσης
pH	Βιολογική και Χημική δραστηριότητα στα εδάφη
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	Ανάπτυξη των φυτών και μικροβιακή δραστηριότητα
N ( $NH_4^+$ και $NO_3^-$ ), P και K	Διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία και δυναμικό για απώλειες N. Δείκτες παραγωγικότητας και ποιότητας του περιβάλλοντος

### 2.6.3.1 Οργανική Ουσία

Η οργανική ουσία του εδάφους προέρχεται από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, ζωντανούς και νεκρούς, καθώς επίσης και από τα υπολείμματα και απορρίμματα τους, ανεξάρτητα από το στάδιο αποσύνθεσής τους. Ο όρος οργανική ουσία χρησιμοποιείται πολλές φορές συνώνυμα με τον όρο χούμο του εδάφους, που είναι το τελικό προϊόν αποσύνθεσής της. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στα

διάφορα εδάφη και είναι το αποτέλεσμα της ισορροπίας μεταξύ της προστιθέμενης ποσότητας οργανικής ουσίας, των κατά τόπους εδαφοκλιματικών συνθηκών και του συστήματος γεωργικής εκμετάλλευσης. Στα ελληνικά καλλιεργούμενα εδάφη η οργανική ουσία κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2,5% (Σινάνης, 2003).

Η οργανική ουσία αποτελεί ίσως το βασικό κριτήριο - δείκτη της ποιότητας του εδάφους, καθώς είναι η πρωτογενής πηγή και παρακαταθήκη θρεπτικών για τα φυτά. Είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της διατήρησης της εδαφικής δομής του εδάφους, τη συγκράτηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης, τη διήθηση του νερού και του αέρα και τέλος για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των γεωργικών φαρμάκων στο έδαφος.

Τα φυτικά υπολείμματα αποτελούν τη βασική πηγή του οργανικού άνθρακα που εισρέει στο έδαφος. Ο άνθρακας βρίσκεται υπό τη μορφή διαφόρων οργανικών ενώσεων των οποίων το εύρος διαλυτότητας κυμαίνεται από τις εύκολα διασπώμενες μορφές μέχρι τις πλέον ανθεκτικές των κυτταρικών τοιχωμάτων. Ο οργανικός άνθρακας, κατά τη διάσπαση των φυτικών υλικών, βρίσκεται σε διάφορα μηχανικά ή φυσικά κλάσματα τα οποία είναι τα εξής:

- Το ελαφρό κλάσμα (LF)
- Το μακροοργανικό κλάσμα (MOM)

Τα δύο αυτά κλάσματα αποτελούνται κυρίως από φυτικά υπολείμματα και είναι ευκόλως διασπώσιμα οργανικά υποστρώματα για τους μικροοργανισμούς καθώς επίσης αποτελούν βραχυπρόθεσμες παρακαταθήκες θρεπτικών για τα φυτά. (Κουκουλάκης, 2000)

Επιπλέον, ο χημικός χαρακτηρισμός των δύο κλασμάτων αποδεικνύει ότι αποτελούν ενδιάμεσο στάδιο διάσπασης μεταξύ χλωρών φυτικών ιστών και της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Τα κλάσματα αυτά παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το βαθμό και την έκταση της διάσπασης των φυτικών υπολειμμάτων από τους μικροοργανισμούς και είναι ελεύθερα ανόργανων ορυκτών με συνέπεια να στερούνται της σχετικής προστατευτικής τους δράσης. Ως εκ τούτου, αποσυντίθενται ταχέως σε σύγκριση με τη σταθεροποιημένη οργανική ουσία του εδάφους. Γι' αυτό το επίπεδό τους στο έδαφος μειώνεται πολύ γρήγορα.

Τα κλάσματα LF και MOM βρίσκονται μεταξύ των χλωρών φυτικών υπολειμμάτων και της χουμοποιημένης οργανικής ουσίας. Συγκεκριμένα αποτελούν την ελεύθερη ή μη συμπλοκοποιημένη οργανική ουσία του εδάφους, καθώς δεν συνδέονται με ορυκτά της αργίλου. Είναι ευαίσθητοι δείκτες των μεταβολών του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα της επίδρασης των διαχειριστικών συστημάτων και των καλλιεργητικών δραστηριοτήτων.

Επομένως, τα κλάσματα LF και MOM μπορεί να είναι αξιόπιστοι δείκτες ποιότητας εδάφους αφού:

- Το LF, ως μη χουμοποιημένο κλάσμα της οργανικής ουσίας, αποτελεί μια ισορροπία μεταξύ της εισροής των φυτικών υπολειμμάτων και της ανθεκτικότητάς τους στην αποσύνθεση, όπως αυτή προσδιορίζεται από το περιβάλλον του εδάφους.

- Τα κλάσματα LF και MOM, περιέχουν ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό του C και του N, που αντιστοιχεί σε μία μικρή μάζα εδάφους, η οποία ουσιαστικά μπορεί να περιλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος του ολικού άνθρακα του εδάφους.

Η χρησιμοποίηση της οργανικής ουσίας ως δείκτης ποιότητας εδάφους εστιάζεται σε ένα κλάσμα της, το οποίο αναφέρεται στον εφοδιασμό του φυτού με θρεπτικά. Το κλάσμα αυτό έχει οριστεί ως POM (particulate organic matter). Το κλάσμα POM αποτελείται από ελαφρώς διασπασθέντα φυτικά υπολείμματα και έχει πυκνότητα  $<1,85 \text{ g/cm}^3$  και  $C/N=20$ . Έχει αποδειχτεί μάλιστα ότι το POM αντιδρά περισσότερο από την ολική οργανική ουσία στις μεταβολές που προκαλούνται από τη γεωργική διαχείριση του εδάφους.

### 2.6.3.2 pH

Η αντίδραση του εδάφους, όξινη, ουδέτερη ή αλκαλική, αναφέρεται στη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε γραμμομόρια ανά λίτρο στο εδαφικό διάλυμα. Επειδή όμως η συγκέντρωση αυτή είναι μικρή, επικράτησε να εκφράζεται για πρακτικούς λόγους ως pH. Υδατικά διαλύματα στα οποία η συγκέντρωση των ιόντων  $H^+$  είναι ίση με τη συγκέντρωση των ιόντων  $OH^-$ , έχουν αντίδραση ουδέτερη και το  $pH=7$ . Όταν υπερισχύουν τα ιόντα  $H^+$  η

αντίδραση είναι όξινη και το  $pH < 7$  και όταν υπερισχύουν τα ιόντα  $OH^-$  η αντίδραση είναι αλκαλική και το  $pH > 7$ .

Στην πραγματικότητα το  $pH$  εκφράζει την ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου, τα οποία συνήθως είναι ενυδατωμένα με ένα μόριο νερού, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται στα διαλύματα με τη μορφή ιόντων υδροξωνίου ( $H_3O^+$ ). Ο λόγος για τον οποίο κρίνεται απαραίτητη η γνώση του  $pH$  ενός εδάφους είναι ότι η τιμή του επηρεάζει την αφομοιωσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, κυρίως των Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo. Ακόμα σε ακραίες τιμές  $pH$  εκδηλώνονται και τοξικές δράσεις  $Al_3^+$  στα ισχυρώς όξινα και  $Na^+$  εφόσον πρόκειται για νατριομένα εδάφη (Σινάνης, 2003).

Η τιμή του  $pH$  ενός εδάφους δίνει πολλές φορές πληροφορίες για τη χημική συμπεριφορά του εδάφους αλλά και για την ιστορία του, καθώς είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης του κλίματος, του μητρικού υλικού και του χρόνου στο έδαφος.

Εδάφη με χαμηλό  $pH$  δημιουργούνται από την αποσάθρωση όξινων πυριγενών πετρωμάτων όπως ο γρανίτης, καθώς και σε περιοχές με μεγάλες βροχοπτώσεις οι οποίες συμβάλλουν στην έκπλυση των βασικών κατιόντων. Εδάφη με υψηλό  $pH$  δημιουργούνται από την αποσάθρωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων, όπως ο βασάλτης ή από ιζηματογενή πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος και σε περιοχές με ξηρό κλίμα.

Οι περισσότερες καλλιέργειες αναπτύσσονται χωρίς πρόβλημα σε εδάφη με τιμές  $pH$  που κυμαίνονται μεταξύ 5.5 και 8.4, ενώ ιδανική περιοχή τιμών εδαφικού  $pH$  για την ανάπτυξη φυτών θεωρείται μεταξύ 6.5 και 7.2.

Σε εδάφη υγρών περιοχών με καλή στράγγιση, το  $pH$  αυξάνεται με το βάθος, αφού τα βασικά κατιόντα εκπλύνονται προς τα βαθύτερα στρώματα, ενώ εξαιτίας των διαφόρων βιολογικών δραστηριοτήτων τα ανώτερα στρώματα εμπλουτίζονται με ιόντα  $H^+$ . Σε εδάφη ξηρών περιοχών ή εδάφη που έχουν υποστεί ασβέστωση δεν παρατηρούνται όμοια φαινόμενα.

### 2.6.3.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Για τη διάγνωση της αλάτωσης του εδάφους χρησιμοποιείται η περιεκτικότητά του σε ιόντα και εκφράζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού. Έτσι αλατούχα εδάφη χαρακτηρίζονται αυτά που



έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχυλίσματος μεγαλύτερη από 2mS/cm, που σημαίνει ότι πάνω από αυτό το όριο τα περισσότερα φυτά παρουσιάζουν προβλήματα στην ανάπτυξή τους.

Σαν αλατούχα - νατριωμένα χαρακτηρίζονται τα εδάφη που έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχυλίσματος κορεσμού μεγαλύτερη από 2dS/m και ποσοστό ανταλλάξιμου Na (ESP) μεγαλύτερο του 15. Ενώ ως νατριωμένα χαρακτηρίζονται αυτά που έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα κορεσμού μικρότερη από 2dS/m, ποσοστό ανταλλάξιμου Na μεγαλύτερο από 15 και pH μεγαλύτερο από 8,5. Αν και η τιμή του ταξινομικού κριτηρίου, δηλαδή του ποσοστού του ανταλλάξιμου Na είναι 15, έχουν διαπιστωθεί προβλήματα διαμερισμού και υποβάθμισης των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους από τιμές μεγαλύτερες του 5.

Η ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων που παρέχει ενδείξεις για τον κίνδυνο αλάτωσης του εδάφους μετράται με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα που εκφράζεται σε mho/cm στους 25° C.

#### **2.6.3.4 N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) P και K**

Οι ανεπάρκειες θρεπτικών (N, P, K) είναι φυσικές συνθήκες και αυτές μειώνουν την παραγωγικότητα. Οι βραχυπρόθεσμες διαφορές παραγωγικότητας μπορεί είναι μικρότερες από τις μακροπρόθεσμες και οι βιώσιμες αποδόσεις εξαρτώνται από την ισορροπία μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων που εφαρμόζονται και εκείνων που απομακρύνονται από τον αγρό. Πολλά γόνιμα εδάφη μπορούν να παράγουν καλές αποδόσεις με μια έλλειψη εισροών σε P και K για 10 ή περισσότερα χρόνια. Προσθήκη P και K στα εδάφη βελτιώνει την φυσική γονιμότητα για μελλοντική παραγωγή. Ορισμένες καλλιέργειες ψυχανθών (μηδική, τριφύλλι, σόγια) μπορούν να δεσμεύσουν το δικό τους N από τον αέρα. Οι ποσότητες θρεπτικών που απομακρύνονται με τη συγκομιδή ή με τα ζωικά προϊόντα πρέπει να αναπληρωθούν, διαφορετικά η γονιμότητα και παραγωγικότητα του εδάφους θα μειωθεί. Το γεγονός ότι τα εδάφη χωρίς προσθήκη θρεπτικών εξαντλούνται ολοένα και περισσότερο δεν μπορεί να αγνοείται συνεχώς και πολύ σύντομα θα έρθει ο καιρός που θα αναγνωριστεί γενικά και θα αντιμετωπιστεί.

#### 2.6.4 Βιολογικοί δείκτες

Οι βιολογικοί δείκτες περιλαμβάνουν μετρήσεις των μικρο - και μακροοργανισμών, της δραστηριότητας ή των υποπροϊόντων τους. Οι γαιοσκώληκες, οι νηματώδεις, ή οι πληθυσμοί των τερμιτών έχουν προταθεί για χρήση από διάφορους ερευνητές. Ο ρυθμός της αναπνοής των μικροοργανισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της μικροβιακής δραστηριότητας και πιο συγκεκριμένα της μικροβιακής αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Οι εργοστερόλες, ένα υποπροϊόν των μυκήτων, έχει χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της δραστηριότητας των οργανισμών, που είναι υπεύθυνοι για το σχηματισμό και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Μέτρηση των ποσοστών αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων, όπως και μετρήσεις των αριθμών των σπόρων των ζιζανίων μπορούν επίσης να χρησιμεύουν ως βιολογικοί δείκτες της ποιότητας του εδάφους.

**Πίνακας 5:** Βιολογικοί Δείκτες Ποιότητας Εδάφους και σχέσεις των εδαφικών συνθηκών (Χαϊντούτη, 2008)

<b>ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>	
<b>ΔΠΕ</b>	<b>Σχέσεις με εδαφικές συνθήκες</b>
C και N της μικροβιακής βιομάζας	Αποθήκευση C και N, επίδραση της οργανικής ουσίας στη διαχείριση γαιών
Δυναμικό ανοργανοποίησης N	Παραγωγικότητα και δυναμικό παροχής N
Αναπνοή, εδαφική υγρασία και θερμοκρασία	Δείκτης μικροβιακής δραστηριότητας

### 2.6.4.1 C και N της μικροβιακής βιομάζας

Η εδαφική μικροβιακή βιομάζα είναι η μάζα όλων των εδαφικών μικροοργανισμών. Ο υπολογισμός της μάζας, είναι ένα μέτρο της ποσότητας της ζώσας μικροβιακής βιομάζας του εδάφους, σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι πληροφορίες αυτές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των μεταβολών του εδάφους σε οργανική ουσία, που προκαλείται από τις διάφορες μεθόδους διαχείρισης των εδαφών (π.χ. το όργωμα), για την αξιολόγηση της δομής του εδάφους, για την αξιολόγηση της συγκέντρωσης αζώτου στο έδαφος και τον υπολογισμό των εποχιακών διακυμάνσεων στη μικροβιακή βιομάζα και τέλος χρησιμεύει ως δείκτης παρουσίας τοξικών παραγόντων, π.χ. τοξικότητα μετάλλων. Επιπλέον, οι μετρήσεις του άνθρακα και των θρεπτικών συστατικών που περιλαμβάνονται στη μικροβιακή βιομάζα, παρέχουν μια βάση για τις μελέτες των μετασχηματισμών και των κύκλων της εδαφικής οργανικής ουσίας, δεδομένου ότι η μικροβιακή βιομάζα είναι ένα από τα πλέον διακριτά και ευπροσδιόριστα συστατικά. Η άμεση μέτρηση της μάζας των εδαφικών μικροοργανισμών, είναι ένας χρονοβόρος και ιδιαίτερα εξειδικευμένος ερευνητικός στόχος. Η διασπορά του χύματος σε νερό και η εξέταση των λεπτών υμενίων αυτής της διασποράς με μικροσκοπία, είναι η βασική τεχνική, η οποία δίνει μια εκτίμηση του όγκου των οργανισμών. Η πυκνότητα των κυττάρων των οργανισμών, απαιτείται για την μετατροπή του όγκου σε μάζα (μεταξύ  $1.1 - 1.5 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Η καταλληλότερη έμμεση μέθοδος προσδιορισμού της μικροβιακής βιομάζας που έχει αναπτυχθεί, είναι η μέθοδος ατμισμού – εκχύλισης και θεωρείται η απλούστερη αξιόπιστη διαδικασία.

### 2.6.4.2 Δυναμικό ανοργανοποίησης N

Η μέτρηση του ανόργανου N ένας φρέσκου υγρού εδάφους, δίνει το ποσό του διαθέσιμου N στη στιγμή της μέτρησης. Ωστόσο καμία μέθοδος δεν έχει αποδειχθεί ιδανική για την πρόβλεψη της πιθανής ανοργανοποίησης του N στην πορεία του χρόνου, λόγω των αναπόφευκτων διαφορών μεταξύ των συνθηκών οποιουδήποτε πειράματος επώασης και εκείνων στο χωράφι, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της καλλιέργειας. Για αυτόν τον λόγο, τα

αποτελέσματα των μετρήσεων κατά την επώαση, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για τη πρόβλεψη των αναγκών σε λίπασμα. Εντούτοις, καταδεικνύουν τη δυνατότητα για την ανοργανοποίηση (δυναμικό ανοργανοποίησης), υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Η διαθεσιμότητα του N στις καλλιέργειες, εξαρτάται από το ποσό του ανόργανου N που υπάρχει την περίοδο που ξεκινά η ανάπτυξη των φυτών και του ποσού που ανοργανοποιείται κατά την διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Και στις δύο περιπτώσεις, το άζωτο πρέπει να μετρηθεί. Στα πειράματα εργαστηρίου, καλός συσχετισμός λαμβάνεται: Α) μεταξύ της πρόσληψης του N και Β) του αρχικού ανόργανου N συν το  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  που ανοργανοποιείται κατά την κλασική μέθοδο επώασης. Σε συνθήκες στο χωράφι, ο συσχετισμός είναι περιορισμένος και έχει περισσότερο συγκριτική αξία (μεταξύ χωραφιών). Για αυτόν τον λόγο αναπτύσσονται μοντέλα στον υπολογιστή για την ανοργανοποίηση του αζώτου, τα οποία προβλέπουν τη διαθεσιμότητα με μεγαλύτερη ακρίβεια.

#### **2.6.4.3 Αέρας, υγρασία και θερμοκρασία του εδάφους**

Ο εδαφικός αέρας είναι η τρίτη φάση του εδάφους. Βρίσκεται μέσα στους πόρους της στερεάς φάσης που δεν έχουν καταληφθεί από την υγρή φάση. Το νερό του εδάφους καταλαμβάνει συνήθως το 60% των πόρων του εδάφους, και ο αέρας το 40% αυτού. Ο αέρας του εδάφους δεν έχει μικρότερη σημασία συγκριτικά με τις δύο άλλες φάσεις (στερεά και υγρή), και αυτό γιατί τα συστατικά του (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα) είναι από τους κύριους συντελεστές της χημικής αποσάθρωσης, και γενικότερα της εδαφογένεσης. Ο εδαφικός αέρας σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο και υδρατμούς και μικρότερη σε οξυγόνο. Η μικρότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο (20,3%) και η μεγαλύτερη σε  $\text{CO}_2$  οφείλεται στο ότι οι ρίζες των φυτών και οι μικροοργανισμοί του εδάφους χρησιμοποιούν το οξυγόνο, ενώ παράλληλα παράγουν  $\text{CO}_2$ .

Επίσης όπως είναι γνωστό το οξυγόνο χρησιμοποιείται και στις διάφορες διεργασίες του εδάφους, (βιολογική διάσπαση των οργανικών υπολειμμάτων του εδάφους). Συνεπώς καθώς ελαττώνεται το οξυγόνο αυξάνει η περιεκτικότητα του  $\text{CO}_2$  στον εδαφικό αέρα λόγω των διεργασιών

του εδάφους και της αναπνοής των φυτών. Η σύσταση του αέρα στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους πλησιάζει περισσότερο με αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα, απ' ό,τι η σύσταση του αέρα των βαθύτερων στρωμάτων. Είναι αναγκαίο όμως να ληφθεί υπόψη ότι το πλεόνασμα του CO<sub>2</sub> αντισταθμίζει σχεδόν ακριβώς το έλλειμμα του οξυγόνου, με τέτοιο τρόπο ώστε το άθροισμα των κατ' όγκο ποσοστών των δύο αυτών συστατικών ουσιαστικά παραμένει σταθερό σ' όλα τα βάθη και είναι περίπου ίσο με το άθροισμα τους στην ελεύθερη ατμόσφαιρα.

### **Εδαφική υγρασία**

Υπάρχουν τρεις δυνάμεις που συγκρατούν νερό στο έδαφος:

A) Η δύναμη τριχοειδών ή αλλιώς δύναμη επιφανειακής τάσης, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του πόρου. Σε αυτή την περίπτωση το φυτό μπορεί να απορροφήσει νερό όταν η δύναμη συγκράτησής του από το έδαφος φτάνει περίπου τα 15 bar, μετά είναι το σημείο μόνιμης μαράνσεως του φυτού. Εδάφη με διαφορετική υφή και δομή έχουν διαφορετική δύναμη συγκρατήσεως του νερού.

B) Οι δυνάμεις ενυδάτωσης των κολλοειδών, οι οποίες πολύ μεγάλες δυνάμεις και δεν υπολογίζονται στην καλλιέργεια γιατί το φυτό δεν μπορεί να πάρει αυτό το νερό.

Γ) Οι δυνάμεις ωσμωτικής φύσεως, οι οποίες προκαλούνται από αυξημένη συγκέντρωση αλάτων που δημιουργεί μεγαλύτερη δύναμη συγκρατήσεως του νερού στο εδαφικό διάλυμα (Καραμάνος, 2004).

*Περισσότερες πληροφορίες για το νερό του εδάφους παρατίθεται σε επόμενο κεφάλαιο.*

**Η θερμοκρασία του εδάφους** είναι πολύ σημαντική για τη βλάστηση των σπόρων, για την ανάπτυξη των φυτών, τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, την αποσάθρωση του μητρικού υλικού και την κυκλοφορία του εδαφικού αέρα. Η θερμοκρασία αντιπροσωπεύει το θερμοκρασιακό ισοζύγιο της θερμικής ενέργειας που δέχεται και αυτής που αποδίδει.

Η θερμική ενέργεια που δέχεται ένα έδαφος προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την



εποχή, την κλίση της επιφάνειας του εδάφους, το χρώμα του εδάφους και τη φυτική κάλυψη.

Ωστόσο, το έδαφος δέχεται μικρά ποσά θερμικής ενέργειας και από γεωθερμικές πηγές, από την αναπνοή των ριζών και την εξώθερμη μικροβιακή δραστηριότητα. Η θερμική ενέργεια που χάνει το έδαφος οφείλεται στην εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνειά του και στην εξάτμιση του εδαφικού νερού. Η ποσότητα της θερμότητας που εκπέμπει ένα έδαφος εξαρτάται από την εποχή, τη φυτική κάλυψη, το χρώμα και την ποσότητα του νερού που περιέχει το έδαφος.

Η θερμοχωρητικότητα ενός εδάφους εκφράζει το ποσό της θερμότητας σε cal (ή Joules, όπου  $1 \text{ cal} = 4,18\text{J}$ ), που απαιτείται για τη θέρμανση της μονάδας μάζας (1g) ή της μονάδας όγκου ( $1\text{cm}^3$ ) εδάφους, προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά  $1^\circ \text{C}$  και είναι ίση με το γινόμενο της ειδικής θερμότητας και της φαινομενικής πυκνότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταδίδει τη θερμότητα μέσα από τη μάζα του. Η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι είκοσι φορές μεγαλύτερη από εκείνη του αέρα και εξήντα φορές αυτής των στερεών τεμαχιδίων. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε αέρα, τόσο μικρότερη είναι η θερμική του αγωγιμότητα.

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη τους θερινούς μήνες και στο μέσον της ημέρας και η μεταβολή της είναι εντονότερη στο επιφανειακό έδαφος, απ' ό,τι στο υπέδαφος (Σινάνης, 2003).

Επιπλέον, η θερμοκρασία επηρεάζεται από ο χρώμα του εδάφους. Έχει διαπιστωθεί ότι εδάφη με σκούρα χρώματα δεσμεύουν μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας με αποτέλεσμα να πρωιμίζουν οι καλλιέργειες.

## **2.7 Προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους στον αγρό**

Οι αντικειμενικοί στόχοι του προσδιορισμού της εδαφικής ποιότητας αναφέρονται στην αναγνώριση όλων των διαφορών μεταξύ των εγγενών και των εν δυνάμει ιδιοτήτων της ποιότητας του εδάφους, καθώς και στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ δεικτών ποιότητας εδάφους και εδαφικών λειτουργιών (Kumar, 2005). Για την εκτίμηση της εδαφικής ποιότητας,

διεξάγονται συμπεράσματα, ώστε να αξιολογηθούν τα φυσικά ή χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Η προσέγγιση ελέγχου του εδάφους ενός αγρού, γίνεται από τον ίδιο τον αγρότη, καθώς είναι εύκολο στην πράξη. Επιπλέον αυξάνει την γνώση για την ποιότητα του εδάφους, αξιολογεί την επίδραση των χρήσεων γης και οδηγεί στο να λαμβάνονται καλύτερες αποφάσεις.

Οι βασικότερες προσεγγίσεις για τον έλεγχο του εδάφους είναι να λαμβάνονται μετρήσεις κάθε χρόνο, ώστε να ελέγχονται οι μεταβολές και να συγκρίνονται τα αποτελέσματα με μία βάση δεδομένων.

Γίνεται προσδιορισμός:

- Της σταθερότητας συσσωματωμάτων
- Της μικροβιακής αναπνοής
- Του pH
- Της διήθησης
- Της δραστηριότητας των μικροοργανισμών (κυρίως γαιοσκωλήκων)

Υπάρχουν τρία στάδια, που πρέπει να ακολουθηθούν, προκειμένου να αξιολογηθεί η διαχείριση ενός εδάφους: η επιλογή των κατάλληλων δεικτών, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων με βάση τις τιμές των δεικτών, καθώς και η συγχώνευση των δεδομένων σε ένα δείκτη που θα εκφράζει την ποιότητα του εδάφους.

Οι δείκτες, ωστόσο, πρέπει να συνδέονται με τη λειτουργία του εδάφους. Οι χρήσεις γης μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την εκάστοτε ποιότητα του εδάφους, μπορούν να εφαρμόζονται σε διαφορετικούς τύπους εδαφών και κλιματολογικές συνθήκες. Επίσης, έχουν την ικανότητα να προσδιορίζουν επαρκώς φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες.

Πίνακας 6: Η επιλογή δεικτών εξαρτάται από τον σκοπό της διαχείρισης:

Παραγωγή ενέργειας	Κατασπατάληση αποβλήτων	Προστασία περιβάλλοντος
Εδαφικό pH	Οργανικός C εδάφους	κλίση
Υπολείμματα καλλιέργειας	αποστράγγιση	Περιεκτικότητα σε P
Έντονη άρωση	Μικροβιακή δραστηριότητα	Περιεκτικότητα του εδάφους σε μέταλλα
Περιεκτικότητα P και K στο έδαφος	υφή	Υφή
Διαθεσιμότητα νερού	Περιορισμός βάθους	Αποστράγγιση
Φαινομενική πυκνότητα	Σταθερότητα συσσωματωμάτων	τοποθεσία

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

#### **3.1 Η ανταπόκριση της εδαφολογίας στην παγκόσμια αλλαγή κλίματος**

**Η εδαφολογία έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, ειδικότερα στη βελτίωση της ποιότητας νερού και στον μετριασμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.**

Στην πραγματικότητα, υπάρχει μια ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και των διεργασιών της ατμόσφαιρας, αφού τα εδάφη μετριάζουν την εκπομπή CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O στην ατμόσφαιρα.

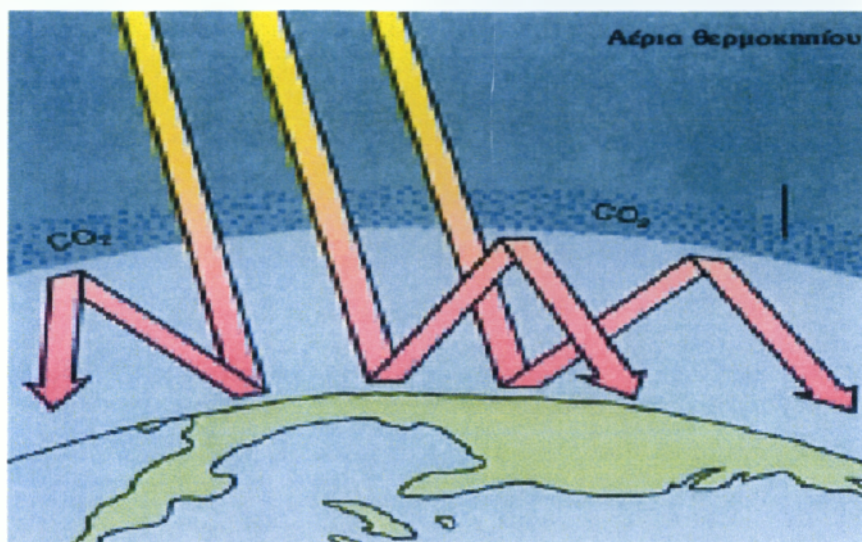
Συνεπώς, οι προκλήσεις που θα κληθεί η εδαφολογία να αντιμετωπίσει στα επόμενα χρόνια είναι οι εξής:

1. Η εξασφάλιση της επάρκειας τροφίμων, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες των τροπικών και υποτροπικών περιοχών και
2. Η μελέτη - έρευνα θεμάτων υποβάθμισης του περιβάλλοντος σε σχέση με την ποιότητα νερού και το επιταχυνόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, μέσω της αύξησης του οργανικού άνθρακα του εδάφους, είναι ένας συνδεδετικός κρίκος σε όλα αυτά.

#### **3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Φαινόμενο του Θερμοκηπίου ονομάζεται η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος από την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας να αυξάνεται. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας περνά αναλλοίωτο στην ατμόσφαιρα, φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους και ακτινοβολείται σαν μεγάλου μήκους υπέρυθρη ακτινοβολία. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα, τη θερμαίνει και επανεκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το φαινόμενο αυτό, που επιτρέπει τη διέλευση της ακτινοβολίας αλλά ταυτόχρονα την εγκλωβίζει, μοιάζει με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου και αποτελεί μια φυσική διεργασία που εξασφαλίζει στη Γη μια θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους γύρω

στους 15°C, ενώ η θερμοκρασία θα ήταν -18°C χωρίς αυτό, κάνοντας τη Γη ακατοίκητη.



**Σχήμα 22:** Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

(Πηγή: <http://lsa.ucy.ac.cy/courses/epa175/epa175ecology.doc>)

Όμως τα τελευταία χρόνια ο όρος «Φαινόμενο Θερμοκηπίου» δεν αναφέρεται μόνο στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Ως αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου θεωρούνται όλες εκείνες οι γεωλογικές, φυσικοχημικές, βιολογικές και πολιτισμικές δραστηριότητες, οι οποίες είτε προκαλούν εκπομπές των «αερίων θερμοκηπίου» είτε αντιστρατεύονται την «αφομοιωτική ικανότητα» του περιβάλλοντος που θα μπορούσε να μειώσει την παρουσία τους στην ατμόσφαιρα.

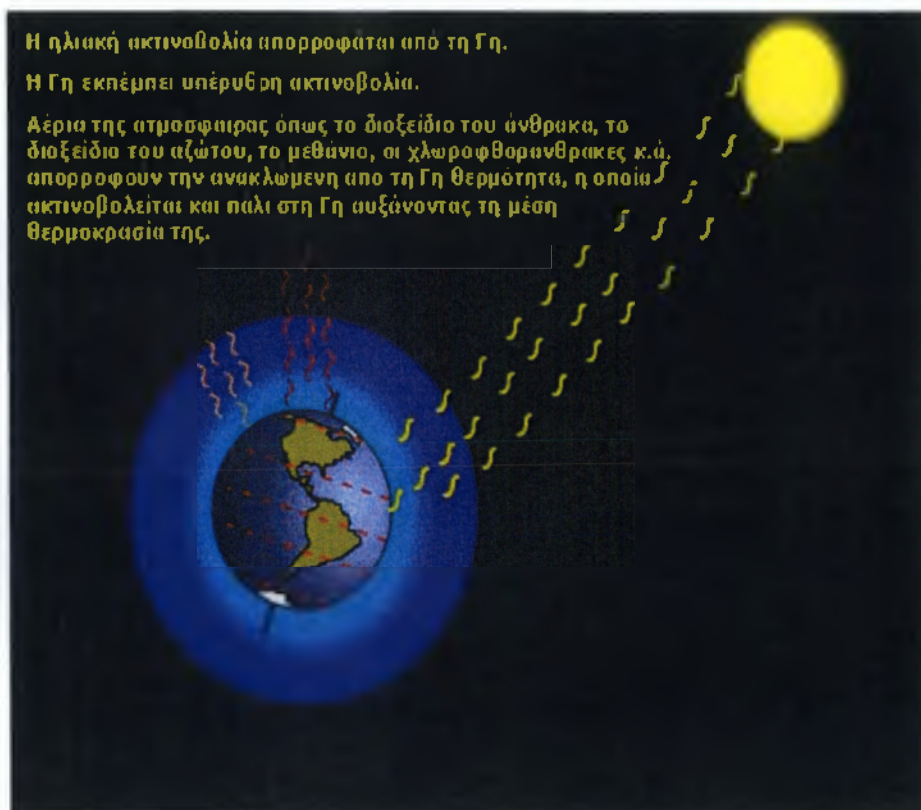
### 3.3 Ο ρόλος του εδάφους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Τα εδάφη ρυθμίζουν σε μεγάλο βαθμό της συγκεντρώσεις των αερίων που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, έχει υπολογιστεί ότι τα εδάφη περιέχουν περίπου 1550 Pg άνθρακα και ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο του άνθρακα. Της εκτός από τον άνθρακα, περιέχουν και 95 Tg αζώτου. Η αύξηση των ποσοτήτων του C και N (με τη μορφή CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O) στην ατμόσφαιρα λειτουργεί σε βάρος της



περιεκτικότητας των εδαφών σε C και N. Συνεπώς η ποιότητα του εδάφους αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα για την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου από τα εδάφη στην ατμόσφαιρα. Η βελτίωση της ποιότητας των εδαφικών πόρων θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών του C και των οξειδίων του N στην ατμόσφαιρα.

### 3.4 Τα αέρια του θερμοκηπίου και η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας



Σχήμα 23: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου  
(Πηγή: kpe-kastor.kas.sch.gr)

Η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα, με τις σχέσεις που τη συνδέουν με τους ωκεανούς, το έδαφος και τη βιομάζα. Ο αέρας γύρω μας συνεχώς ανακυκλώνεται με την αλλαγή των αερίων και σωματιδίων, με το νερό, τη γη και τον έμβιο κόσμο. Οι ποσότητες των αερίων που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα εξισορροπούνται από τις ποσότητες που χάνονται με αποτέλεσμα η σύνθεση της ατμόσφαιρας έχει παραμείνει σχεδόν σταθερή για

πολλούς αιώνες. Ορισμένα αέρια συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και μεταβάλλουν τη σύνθεση του αέρα.

Το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί ( $H_2O$ ), όπου ευθύνονται για τα 2/3 περίπου του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην ατμόσφαιρα, τα μόρια νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και ύστερα την εκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα τη θέρμανση της επιφάνειας της γης πριν επιστρέψουν ξανά στο διάστημα.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, ο θερμότερος αέρας συγκρατεί περισσότερη υγρασία με αποτέλεσμα οι αυξημένες θερμοκρασίες να εντείνουν τις κλιματικές αλλαγές.

Ο κυριότερος συντελεστής του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Γενικότερα, το  $CO_2$  ευθύνεται για τουλάχιστον το 60% του ενισχυμένου φαινομένου των αερίων θερμοκηπίου παγκοσμίως. Στις βιομηχανικές χώρες, το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τουλάχιστον το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Στη γη υπάρχουν ποσότητες άνθρακα, οι οποίες ανακυκλώνονται με τον κύκλο του άνθρακα. Τα φυτά απορροφούν  $CO_2$  από την ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Χρησιμοποιούν τον άνθρακα για να συνθέσουν τους ιστούς τους και τον απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα, όταν ξεραίνονται και αποσυντίθενται. Μια άλλη πηγή άνθρακα είναι τα ζώα και οι άνθρωποι, καθώς περιέχουν άνθρακα στον οργανισμό τους, προερχόμενο από τα βρώσιμα φυτά ή από τα ζώα που καταναλώνουν αυτά τα φυτά. Ο άνθρακας απελευθερώνεται ως  $CO_2$  με την αναπνοή, το θάνατο και την αποσύνθεση. Είναι γενικά αποδεκτό ότι περίπου 25% του  $CO_2$  προέρχεται από γεωργικές πηγές (αλλαγή χρήσης γης, αποδάσωση και καύση βιομάζας).

Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για 50-200 χρόνια, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσης και επιστροφής του στο έδαφος και τους ωκεανούς.

Το μεθάνιο ( $CH_4$ ) ευθύνεται για ένα μικρότερο κλάσμα του φαινομένου της θέρμανσης, όμως το μεγαλύτερο μέρος του  $CH_4$  προέρχεται από γεωργικές πηγές (όπως τα κατοικίδια μηρυκαστικά, οι πυρκαγιές δασών, οι ορυζώνες και τα απόβλητα). Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις  $CH_4$  έχουν διπλασιαστεί και

συμβάλλουν κατά 20% περίπου στην ενίσχυση του φαινομένου των αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, στις βιομηχανικές χώρες, το μεθάνιο αποτελεί περίπου το 15% των εκπομπών αερίου.

Το  $\text{CH}_4$  συντίθεται, κυρίως, από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες εξαιτίας της έλλειψης οξυγόνου. Εκπέμπεται αφενός από φυσικές πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και αφετέρου από τις ανθρωπογενείς πηγές, με τις τελευταίες να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν υγρότοπους, τερμίτες και ωκεανούς. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν α) την εξόρυξη και την καύση ορυκτών καυσίμων, β) την κτηνοτροφία. Συγκεκριμένα, τα βοοειδή καταναλώνουν φυτά, τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα και τα οποία εκπέμπουν  $\text{CH}_4$  μέσω της εκπνοής και των περιττωμάτων τους, γ) τις ορυζοκαλλιέργειες, κατά τις οποίες οι ορυζώνες παράγουν  $\text{CH}_4$  καθώς οι οργανικές ύλες του εδάφους αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο) και δ) τους χώρους ταφής, όπου τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο.

Το υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) είναι ένα φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας που σχηματίζεται ως ένα μικρό υποπροϊόν της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. Η εντατικοποίηση της γεωργίας και της κτηνοτροφίας έχει παράγει περισσότερο διαθέσιμο N στον κύκλο του N και οι εκπομπές του  $\text{N}_2\text{O}$  έχουν αυξηθεί. Συγκεκριμένα, το  $\text{N}_2\text{O}$  απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα παρθένα δάση, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Στις βιομηχανικές χώρες, το  $\text{N}_2\text{O}$  αποτελεί το 6% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις  $\text{N}_2\text{O}$  στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 16% περίπου και συμβάλλουν κατά 4-6% στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το  $\text{N}_2\text{O}$ , όπως το  $\text{CO}_2$  και το  $\text{CH}_4$ , μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία του ήλιου που απορροφά σε θερμότητα, συμμετέχοντας με αυτό τον τρόπο στην ολική αύξηση της θέρμανσης της ατμόσφαιρας. Παρόλο που το  $\text{N}_2\text{O}$  βρίσκεται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από το  $\text{CO}_2$ , μπορεί να αποτελέσει μεγάλο πρόβλημα, γιατί είναι 310 φορές πιο αποτελεσματικό από το  $\text{CO}_2$ , ως αέριο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όταν το  $\text{N}_2\text{O}$  εισέρχεται στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα),

υφίσταται χημικές μεταβολές, που σχηματίζουν NO, το οποίο στη συνέχεια συμμετέχει σε αντιδράσεις καταστροφής του O<sub>3</sub>. Η αύξηση του N<sub>2</sub>O στην ατμόσφαιρα, από την έντονη απονιτροποίηση είναι δυνατόν να μειώσει τη συγκέντρωση του O<sub>3</sub> στην οζονόσφαιρα, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο τη διέλευση περισσότερης υπεριώδους ακτινοβολίας. Υπολογίζεται ότι τα γεωργικά εδάφη συνεισφέρουν, σε παγκόσμια κλίμακα, περίπου το 11% στο ολικό επίπεδο του N<sub>2</sub>O στην ατμόσφαιρα, ενώ η συνεισφορά των μη-γεωργικών εδαφών αποτελεί το 43%.

Τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου, είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, αλλά έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Παρόλο που οι εκπομπές αυτών των αερίων στις βιομηχανικές χώρες είναι περίπου 1.5%, είναι εξαιρετικά ισχυρά, καθώς μπορούν να δεσμεύσουν θερμότητα 22000 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO<sub>2</sub> και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια.

### **3.5 Τι θα γινόταν στον πλανήτη αν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Οι ερευνητές θεωρούν ότι ο άνθρακας στους ωκεανούς απέτρεψε τη μετατροπή της γης σε γιγάντια χιονόμπαλα σε κρίσιμες στιγμές στην ιστορία της. Τα ευρήματα προσδίδουν αξιοπιστία στην υπόθεση ότι η κλιματική αλλαγή και ο παγκόσμιος κύκλος άνθρακα είναι στενά συνδεδεμένα και αλληλοεπηρεάζονται.

Η ζωή στη γη εξαρτάται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χωρίς το CO<sub>2</sub> και τα υπόλοιπα αέρια στην ατμόσφαιρα να εγκλωβίζουν μια σημαντική ποσότητα της θερμότητας του ήλιου, ο πλανήτης θα είχε θερμοκρασίες υπό του μηδενός για μεγάλα χρονικά διαστήματα και πιθανό να μην γινόταν ποτέ αρκετά θερμός ώστε να επιτρέψει την ύπαρξη σύνθετων θερμοαίμων οργανισμών, όπως οι άνθρωποι. Τα κλιματικά και γεωλογικά δεδομένα δείχνουν ότι η γη έχει έρθει επικίνδυνα κοντά σε αυτό το σενάριο κατά το μακρινό παρελθόν.

Η επιστημονική κοινότητα επισημαίνει ότι οι χαμηλές παγκόσμιες θερμοκρασίες επιτρέπουν στους ωκεανούς να απορροφούν περισσότερο οξυγόνο από την ατμόσφαιρα. Το οξυγόνο αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα

που έχουν αποτεθεί στον βυθό, απελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει τις θερμοκρασίες. Έχει αποδειχτεί ότι οι μηχανισμοί ανάδρασης της γης εμπόδισαν τον πλανήτη στο να πέσει σε μία κατάσταση μόνιμου ψύχους.

Θεωρητικά, οι ίδιοι μηχανισμοί θα μπορούσαν να σώσουν τον πλανήτη εάν το φαινόμενο του θερμοκηπίου γίνει ανεξέλεγκτο, σε περίπτωση που οι ωκεανοί απορροφήσουν πολύ άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Αλλά πρόκειται για ένα μηχανισμό που λειτουργεί σε βάθος χρόνου αρκετών χιλιάδων ετών, γι' αυτό δεν υπάρχουν ελπίδες ότι ο κύκλος άνθρακα θα μπορούσε να εξισορροπήσει τα αποτελέσματα από την αυξημένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε ανθρώπινη χρονική κλίμακα.

### **3.6 Οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου**

Οι περισσότεροι ερευνητές που μελετούν τις κλιματικές αλλαγές έχουν διαπιστώσει ότι η βασική επίπτωση του «φαινομένου του θερμοκηπίου» είναι μια μέση αύξηση της θερμοκρασίας της Γης με έμφαση στα άκρα του πλανήτη. Συγκεκριμένα, προβλέπεται μικρή αύξηση στους τροπικούς και πιο έντονη σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους και υψομέτρου, τη νύχτα και το χειμώνα. Οι συνέπειες μιας τέτοιας άνισα κατανεμημένης αύξησης της θερμοκρασίας ξεκινούν από γεωφυσικές μεταβολές, εκτείνονται μέχρι την ίδια βιωσιμότητα ολόκληρων συστημάτων και θα συνοδευτούν από λιώσιμο των πάγων, ανύψωση της στάθμης των θαλασσών, εντατικοποίηση των διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, επέκταση των ερήμων, εξαφάνιση οργανισμών και μείωση της βλάστησης.

Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και ιδιαίτερα των πόλων είναι πολύ πιθανό να έχει ως αποτέλεσμα τη μερική τήξη των πολικών πάγων. Είναι όμως, πέρα από κάθε αμφιβολία μία θερμική διαστολή του νερού και των ωκεανών, με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης των θαλασσών, η οποία εκτιμάται από 1 έως 2 μέτρα για μία μέση θερμοκρασιακή αύξηση γύρω στους 4°C. Οι πλημμύρες των πιο εύφορων εδαφών και του μεγαλύτερου μέρους των οικισμών της Γης, καθώς και η αλάτωση του υδροφόρου ορίζοντα όλων των περιοχών που θα πλημμυρίσουν είναι οι πρώτες οικονομικές συνέπειες αυτής της αύξησης της στάθμης της θάλασσας.



Εκτιμάται ότι το 10-20% του εδάφους των παραλιακών χωρών θα δώσει τη θέση του στη θάλασσα και το 50% της οικονομικής ζωής των χωρών αυτών θα πρέπει να μετακομίσει σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Το ίδιο φαινόμενο από την πλευρά των αντισταθμικών μέτρων (φράγματα, επιχωματώσεις), εκτιμάται ότι θα στοιχίσει για το σύνολο των κατοικημένων περιοχών του πλανήτη είναι ένα ποσό αρκετών τρισεκατομμυρίων ευρώ. Το χειρότερο είναι ότι η αύξηση της στάθμης των θαλασσών δε θα γίνει βαθμιαία, αλλά εκτιμάται ότι θα συντελεστεί μέσα από μεγάλα παλιρροϊκά κύματα και τυφώνες, που θα επιφέρουν σημαντικές καταστροφές (Χαϊντούτη, 2006).

Η αύξηση της θερμοκρασίας προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη θα μετακινήσει τη ζώνη των βροχοπτώσεων προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, τα οποία θα παραμένουν ακόμη ψυχρά. Εκτιμάται ότι μία θερμοκρασιακή αύξηση κατά 4°C θα επιφέρει μία μετακίνηση προς τους πόλους των ζωνών βροχοπτώσεων κατά 500-1000km. Το φυσικό περιβάλλον και το τοπογραφικό ανάγλυφο θα μεταβληθούν δραστικά με κατεύθυνση την περιορισμένη ή εκτεταμένη ερημοποίηση. Ανάλογα φαινόμενα προβλέπεται να συμβούν και για τις βορειότερες περιοχές, όπου το φαινόμενο της διάβρωσης των εδαφών από τους παγετούς, το οποίο αποτρέπει τη γεωργική δραστηριότητα, θα ενταθεί εξαιτίας των βροχοπτώσεων, με ανυπολόγιστες καταστροφές για τα οικοσυστήματά τους.

Ανάλογες καταστροφές πρόκειται να συμβούν και σε όλα τα οικοσυστήματα του πλανήτη μας. Η βιολογική ποικιλία, 10.000 χρόνια προσαρμοσμένη στο υπάρχον κλίμα, δεν είναι δυνατό να αντέξει σε μία απότομη αλλαγή των κλιματικών συνθηκών και του βλαστικού τύπου που την υποστηρίζει. Επομένως, πιθανή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 4°C, θα έχει ως αποτέλεσμα την δραματική μείωση της βλάστησης και της βιολογικής ποικιλότητας.

Η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους είναι ένας από τους κύριους σκοπούς της περιβαλλοντικά ορθής βιώσιμης γεωργίας και με τη χρήση κατάλληλων γεωργικών συστημάτων μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητά του. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους εδαφολόγους είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή τεχνολογιών διαχείρισης εδάφους, καλλιεργειών και θρεπτικών, οι οποίες αυξάνουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και την ποιότητα του εδάφους,

νερού και αέρα. Προσβλέποντας μελλοντικά λοιπόν, η διπλή πρόκληση του περιβάλλοντος και της εξασφάλισης επάρκειας τροφίμων, για τον παγκόσμιο πληθυσμό, θα γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Η ορθολογική διαχείριση και αποτελεσματική χρήση των εδαφών, θα είναι ένας από τους παράγοντες- κλειδί, που θα προσδιορίσει, σε ποιο βαθμό θα εκπληρωθεί αυτή η πρόκληση.

### 3.7 Το έδαφος και ο παγκόσμιος κύκλος άνθρακα

Το έδαφος (πεδόσφαιρα) έχει διάφορες φάσεις επαφής με την ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, υδρόσφαιρα και λιθόσφαιρα και παίζει ένα πολύ σπουδαίο ρόλο στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα και στην παραγωγή τροφίμων και ίνας στον κόσμο. Η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου - CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O - που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη και παρουσιάζουν παγκόσμιο ενδιαφέρον, συνδέονται στενά με τη χρήση της γης.

Πιο συγκεκριμένα, η πεδόσφαιρα στηρίζει όλη τη βιοτική δραστηριότητα στα γήινα οικοσυστήματα και αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα, λιθόσφαιρα, βιόσφαιρα και υδρόσφαιρα. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές επηρεάζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους των κύριων θρεπτικών στοιχείων N, P, K, S και H<sub>2</sub>O. Αλληλεπιδραστικές διεργασίες με την ατμόσφαιρα οδηγούν σε αλλαγές αερίων και ενέργειας μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Η φωτοσύνθεση και η αναπνοή είναι οι κύριες διεργασίες που συνδέουν την ατμόσφαιρα με την βιόσφαιρα. Αλληλεπιδραστικές διεργασίες που παίζουν σημαντικό ρόλο στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα είναι εκείνες μεταξύ της πεδόσφαιρας, της ατμόσφαιρας και της βιόσφαιρας.



**Σχήμα 24:** Αλληλεπιδραστικές διεργασίες που συνδέουν την πεδόσφαιρα με την ατμόσφαιρα, τη βιόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη λιθόσφαιρα (Σιμώνης κ.ά., 2004)

Υπάρχουν δύο τύποι δεξαμενών άνθρακα στην πεδόςφαιρα, η δεξαμενή οργανικού άνθρακα του εδάφους (SOC) και η δεξαμενή του ανόργανου άνθρακα του εδάφους (SIC). Τα εδάφη της γης περιέχουν περίπου 1500 δις. τόνους οργανικού άνθρακα. Τα μεγάλα αυτά αποθέματα άνθρακα εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης και εσφαλμένης διαχείρισης του εδάφους, μπορούν να αυξήσουν τις συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, ή αυτά μπορούν με τη δέσμευση- αποθήκευση του άνθρακα, μέσω της ορθολογικής χρήσης της γης και της κατάλληλης διαχείρισης του εδάφους, να αντιστρέψουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η δεξαμενή οργανικού άνθρακα του εδάφους είναι 2,1 φορές μεγαλύτερη από την δεξαμενή της ατμόσφαιρας και 2,7 φορές περίπου μεγαλύτερη από τη βιοτική δεξαμενή, που περιλαμβάνει τα φυτά της γης, γεγονός που αποδεικνύει το σημαντικό ρόλο του εδάφους στη διαχείριση του άνθρακα. Το μεγαλύτερο μέρος της δεξαμενής ανόργανου άνθρακα υπάρχει στα εδάφη των ημίξηρων περιοχών.

Το έδαφος έχει παίξει ένα σημαντικό ρόλο στη σύνθεση των αερίων της ατμόσφαιρας.

Η δέσμευση CO<sub>2</sub> με τη φωτοσύνθεση είναι η βασική πηγή οργανικού άνθρακα στα εδάφη. Πρακτικές παραγωγής, που αυξάνουν τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και βοηθούν στη συγκράτηση- αποθήκευση του άνθρακα στα εδάφη, μπορούν να μειώσουν το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας και την οποιαδήποτε επίδραση που αυτό μπορεί να έχει στην παγκόσμια θέρμανση. **Όταν ο άνθρακας δεσμεύεται – αποθηκεύεται στο έδαφος, η απελευθέρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα μειώνεται, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το δυναμικό της παγκόσμιας θέρμανσης.** Ο άνθρακας αποτελεί συστατικό της οργανικής ουσίας του εδάφους. Με την προϋπόθεση ότι παραμένει στην οργανική μορφή, δεν μπορεί σε μετατραπεί στο αέριο CO<sub>2</sub>. Έρευνες έχουν δείξει ότι η λίπανση με άζωτο αυξάνει τον οργανικό άνθρακα και την παραγωγικότητα του εδάφους. Στην ουσία, το άζωτο δεσμεύει τον άνθρακα και τον συγκρατεί στο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο τον εμποδίζει να φύγει και να σχηματίσει διοξείδιο του άνθρακα. Μια μονάδα N συγκρατεί περίπου 12 μονάδες άνθρακα (δηλαδή, μια αναλογία C/N 12/1). Είναι γενικά παραδεκτό ότι τα λιπάσματα αυξάνουν τη βιομάζα των καλλιεργειών και συνεπώς το CO<sub>2</sub> που απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα.

Ο κύκλος του άνθρακα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αέριου βιογεωχημικού κύκλου καθώς η κύρια δεξαμενή άνθρακα είναι το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας. Παρ' όλο που η δεξαμενή αυτή αποτελεί μόνο το 0.03% της ατμόσφαιρας, ο άνθρακας είναι το σημαντικότερο απλό στοιχείο της οργανικής χημείας και ανακυκλώνεται συνεχώς στα βιοτικά και στα αβιοτικά μέρη των οικοσυστημάτων.

Ο κύκλος του άνθρακα έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με άλλους βιογεωχημικούς κύκλους, αλλά περισσότερο μοιάζει προς τη ροή ενέργειας μέσα από ένα οικοσύστημα. Ο κύκλος του άνθρακα είναι γενικά ένα πλήρες καλά ρυθμιζόμενο σύστημα με αρκετούς μηχανισμούς ανάδρασης, ώστε να εξασφαλίζεται ο πλήρης εφοδιασμός σε άνθρακα για την ανάπτυξη των οργανισμών.

Το σύνολο σχεδόν του άνθρακα εισέρχεται στο βιοτικό τμήμα των οικοσυστημάτων μέσω της άμεσης πρόσληψης CO<sub>2</sub> από τα φυτά. Το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται για την παραγωγή σακχάρων και υδατανθράκων μέσω της φωτοσύνθεσης.

Ορισμένες από αυτές τις ουσίες, ενσωματώνονται στη δομή του φυτού, ενώ άλλες χρησιμοποιούνται για την αναπνοή και το CO<sub>2</sub> που περιέχουν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η μισή περίπου ποσότητα του άνθρακα που έχει αφομοιωθεί καταλήγει τελικά στο έδαφος με τη μορφή αποσυντιθέμενης ύλης.

Οι συνολικές ποσότητες του άνθρακα που αφομοιώνονται που αφομοιώνονται από τα φυτά είναι πολύ μεγάλες. Υπολογίζεται ότι σε ετήσια βάση, απορροφάται το 3% του συνολικού CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας.

Ο άνθρακας που έχει αφομοιωθεί στους ιστούς των φυτών μπορεί να διέλθει μέσα από τις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων. Οι μακριές τροφικές αλυσίδες είναι δυνατό να μεγαλώσουν τον κύκλο σημαντικά. Ο άνθρακας επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ως CO<sub>2</sub> μέσω της αναπνοής που συντελείται στο κάθε τροφικό επίπεδο. Τελικά, η νεκρή οργανική ύλη είτε αποθηκεύεται στο σύστημα είτε περνάει τους αποδομητές.

Η νεκρή οργανική ύλη αποτελεί μία συμπληρωματική δεξαμενή άνθρακα στο έδαφος. Ο περισσότερος άνθρακας που βρίσκεται στο έδαφος προέρχεται από το επιφανειακό στρώμα των αποσυντιθέμενων φυτών (φύλλα, κλαδιά κτλ), σημαντική όμως είναι και η συνεισφορά των φυτικών



ριζών που αποσυντίθενται, όπως και των νεκρών ζώων. Ο ρυθμός και η ταχύτητα αποδόμησης της οργανικής ύλης και συνεπώς και ο ρυθμός και ο ρυθμός απελευθέρωσης άνθρακα, ποικίλλουν αρκετά, ανάλογα με τη φύση του οργανισμού. Τα δέντρα, για παράδειγμα, αποδομούνται πιο αργά από τα νεαρά ετήσια φυτά. Σε γενικές γραμμές οι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες αποδομούνται πολύ γρήγορα. Αντίστοιχα δομικά υλικά, όπως η κυτταρίνη, απαιτούν περισσότερο χρόνο.

Οργανισμοί που προκαλούν αποδόμηση, όπως είναι τα βακτήρια, αλλά και σαπροφάγοι οργανισμοί, όπως οι γαιοσκώληκες υποβοηθούν τη διάσπαση της νεκρής ύλης και απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα μέσω της αναπνοής τους  $\text{CO}_2$ . Με τον τρόπο αυτό, η ανακύκλωση του άνθρακα στο οικοσύστημα σε ετήσια βάση είναι πλήρης. Μέρος του άνθρακα αποθηκεύεται στο σύστημα, η μεγαλύτερη ποσότητα όμως, επιστρέφει μέσω της αναπνοής στην ατμόσφαιρα.

Κάτω από ειδικές συνθήκες, η νεκρή οργανική ύλη μπορεί να σχηματίσει οργανικές εναποθέσεις, όπως είναι η τύρφη και το κάρβουνο. Οι εναποθέσεις αυτές αποτελούν μία πρόσθετη αποθήκη οργανικού άνθρακα. Ο άνθρακας αυτός μένει εκτός κυκλοφορίας για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί όμως να ξαναγυρίσει στην ατμόσφαιρα εάν τα καύσιμα αυτά καούν.

Η αυξημένη χρήση ορυκτών καυσίμων τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα τη γρήγορη επιστροφή μεγάλων ποσών  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα. Παρ' όλο που ένα μέρος τους αφαιρείται με φυσικές διεργασίες υπάρχουν ενδείξεις ότι η συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα μεγαλώνει και πως δημιουργείται κάποια διατάραξη στον κύκλο του άνθρακα. Αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών είναι η σταδιακή μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος προς υψηλότερες θερμοκρασίες.

Το  $\text{CO}_2$  διαλύεται εύκολα στο θαλασσινό νερό. Συνεπώς, αν η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα αυξηθεί, μεγάλο μέρος του θα απορροφηθεί από τις θάλασσες. Παρ' όλη όμως τη ρύθμιση, η μισή περίπου ποσότητα  $\text{CO}_2$  που παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων παραμένει στην ατμόσφαιρα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ωκεανοί χρειάζονται σχεδόν διακόσια χρόνια για να αναμειχθούν, ώστε να απορροφήσουν την επιπλέον ποσότητα  $\text{CO}_2$ .

Επίσης, το CO<sub>2</sub> εκπέμπεται συνεχώς από τους κρατήρες των ηφαιστειών. Τα ηφαίστεια ελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες CO<sub>2</sub> και υδρατμών στην ατμόσφαιρα, οι οποίες ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η δράση τους προμηθεύει την ατμόσφαιρα με νέες ποσότητες άνθρακα από το εσωτερικό της Γης.

Τα αέρια που εκλύονται τόσο κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας όσο και στις ενδιάμεσες περιόδους είναι συνήθως CO<sub>2</sub>, CO και H<sub>2</sub>S. Οι καταστροφικές συνέπειες της ηφαιστειακής δράσης συνήθως αποδίδεται στις τεράστιες ροές λάβας ή στις πυροκλαστικές εκρήξεις. Ωστόσο και τα ηφαιστειακά αέρια είναι εξίσου επικίνδυνα, διότι είναι θερμά και τοξικά και η εκπομπή τους σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει τον αιφνίδιο θάνατο ανθρώπων ή ζώων. Για παράδειγμα, το εσωτερικό των στοών λάβας μπορεί να είναι επικίνδυνο, καθώς εκεί μπορούν να εγκλωβιστούν δηλητηριώδη αέρια.

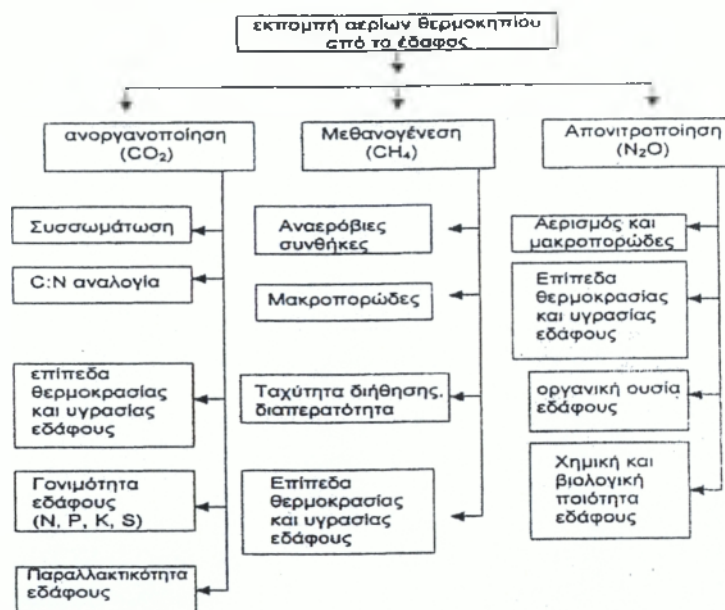
Εκτός του οξυγόνου, το οποίο παράγεται από τη φωτοσύνθεση, όλα τα άλλα αέρια έχουν προέλθει από το εσωτερικό της Γης μέσω της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το ποσοστό των αερίων στο μάγμα κυμαίνεται από 1-5% του συνολικού του βάρους. Οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O) αποτελούν το 70-90% των αερίων. Τα υπόλοιπα είναι κυρίως το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ενώ σε ιχνοποσότητες συμμετέχουν το άζωτο (N), το υδρογόνο (H), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το θείο (S), το αργό (Ar), το χλώριο (Cl) και το φθόριο (F).

Αυτά τα αέρια ενώνονται με το υδρογόνο και σχηματίζουν διάφορες τοξικές ενώσεις όπως υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF), θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), τα οποία είναι χαρακτηριστικά προϊόντα της ατμιδικής δραστηριότητας.

### **3.8 Η ανταπόκριση της Εδαφολογίας στην παγκόσμια αλλαγή κλίματος**

Η εδαφολογία, παράλληλα με την επίτευξη της ασφάλειας τροφίμων, έχει να παίξει επίσης ένα σπουδαίο ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, ειδικότερα στη βελτίωση της ποιότητας του νερού και στο μετριασμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τα εδάφη συμβάλλουν σημαντικά στον μετριασμό της εκπομπής CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O στην ατμόσφαιρα. Διεργασίες και ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν το ρυθμό και το μέγεθος αυτών των εκπομπών χρειάζεται να κατανοηθούν και να ποσοτικοποιηθούν.



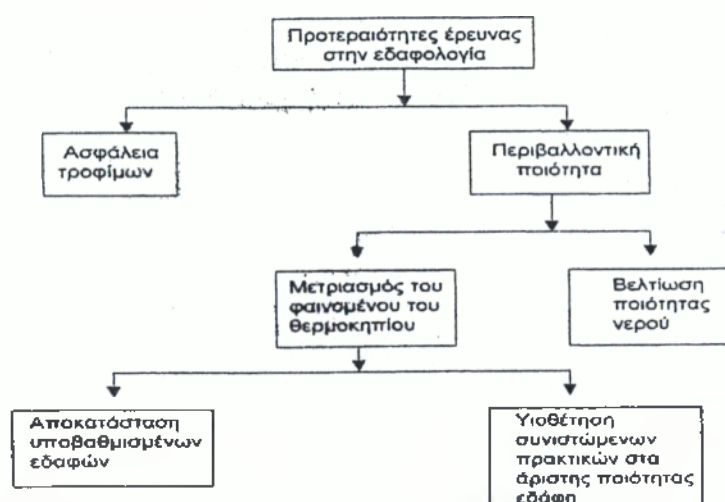
**Σχήμα 25:** Διεργασίες και ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου από το έδαφος και την ατμόσφαιρα (Σιμώνης κ.ά, 2004)

Υπάρχει μία ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και των διεργασιών της ατμόσφαιρας. Η μελέτη – έρευνα της αλληλεπίδρασης αυτής αποτελεί μία συναρπαστική πρόκληση για τους εδαφολόγους που έχουν ένα σημαντικό ρόλο να παίξουν, μαζί με επιστήμονες άλλων κλάδων – κλιματολόγους, μικροβιολόγους και βιοχημικούς – στην αντιμετώπιση των προβλημάτων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Δύο μεγάλες προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η εδαφολογία στον 21<sup>ο</sup> αιώνα, σύμφωνα με τον Lal (2001) είναι οι εξής:

- Η εξασφάλιση της επάρκειας τροφίμων, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες των τροπικών και υποτροπικών περιοχών, όπου το 97,5% της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού λαμβάνει χώρα, και

- Η μελέτη – έρευνα θεμάτων υποβάθμισης του περιβάλλοντος σε σχέση με την ποιότητα νερού και το επιταχυνόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, μέσω της αύξησης του SOC, είναι ένας κοινός κρίκος σε όλα αυτά τα θέματα (Σιμώνης, 2002).



**Σχήμα 26:** Θέματα προς έρευνα στην εδαφολογία στον 21<sup>ο</sup> αιώνα (Σιμώνης κ.ά., 2004)

### 3.9 Μέτρα – Στρατηγικές αντιμετώπισης του προβλήματος της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος

Για να αντιμετωπιστεί πρόβλημα των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και της αλλαγής του κλίματος στον κόσμο είναι αναγκαίο να επιστρατευτούν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς, δηλαδή το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας και αφετέρου τεχνοκράτες και οικονομολόγοι, οι οποίοι θα συμβάλουν συνολικά στην ολιστική επίλυσή τους. Η γεωργία πρέπει να επικεντρώσει το ενδιαφέρον της σε τρεις στρατηγικές:

- Την διαχείριση καλλιεργειών και εδαφών για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη δέσμευση - αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος. Αυτή περιλαμβάνει: την επιλογή καλλιεργειών και ποικιλιών με μέγιστο δυναμικό απόδοσης, την επιστροφή όλων των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος, την κάλυψη του εδάφους με βλάστηση, την ελαχιστοποίηση της κατεργασίας του

εδάφους και τη λίπανση, για την επίτευξη της μέγιστης οικονομικής απόδοσης των καλλιεργειών.

- Τον περιορισμό των εκπομπών  $N_2O$ , μέσω των βελτιώσεων στην αποτελεσματική χρήση των εισροών αζώτου από την καλλιέργεια. Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης (χρήση αναστολέων νιτροποίησης, τοποθέτηση λιπάσματος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και στον κατάλληλο χρόνο για άριστη πρόσληψη από τα φυτά, ισόρροπη λίπανση με P και K και με άλλα θρεπτικά, άριστοι πληθυσμοί φυτών, προσεκτική επιλογή ποικιλιών και υβριδίων) χρησιμοποιούνται για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του N και να μειωθεί το επίπεδο της απονιτροποίησης.

- Την παραγωγή βιο-καυσίμων. Αφού η καύση ορυκτών καυσίμων εξακολουθεί να αποτελεί, αναμφίβολα, τη μεγαλύτερη πηγή των αερίων του θερμοκηπίου, η παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων, όπως η αιθανόλη θα γίνεται ολοένα και περισσότερο ελκυστική. Κάθε φορά που χρησιμοποιούμε ορυκτά καύσιμα συνεισφέρουμε στην αύξηση των συγκεντρώσεων  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα. Η χρήση καλλιεργειών για βιο- καύσιμα, όπως η αιθανόλη μειώνει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, αφού ο άνθρακας στα βιοκαύσιμα προέρχεται από το  $CO_2$  της ατμόσφαιρας. Καύσιμα που περιέχουν 10% αιθανόλη μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι 4%, ενώ εκείνα που περιέχουν 85% αιθανόλη μειώνουν τις εκπομπές μέχρι 37%. Ο συνδυασμός καλλιεργειών που αφήνουν μεγάλα υπολείμματα με κατεργασία συντήρησης του εδάφους και ορθολογική λίπανση, συνεισφέρει, επίσης, σημαντικά στην αύξηση του άνθρακα του εδάφους.

Η γεωργία παράγει ενέργεια και δεσμεύει το ατμοσφαιρικό  $CO_2$ , ενώ τα λιπάσματα αυξάνουν σημαντικά την επίδραση αυτή. Επανακτούν με τα φυτά 5- 10 φορές την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους. Ως αποτέλεσμα του θετικού ισοζυγίου ενέργειας, τα λιπάσματα αναμένεται να παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στο αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση των φυτών για ενεργειακούς σκοπούς, για την εκχύλιση ενέργειας, ή καυσίμου από φυτική ύλη - βιομάζα. Συγκομίζοντας την ηλιακή ενέργεια με τα λιπάσματα αυξάνουμε τη χρήση της βιοενέργειας: μια ακόμη πρόκληση στο μέλλον για τους εδαφολόγους.



Τα θέματα αλλαγής του κλίματος παρουσιάζουν σοβαρές προκλήσεις για τη γεωργία και τους γεωτεχνικούς, καθώς επίσης και για τους εδαφολόγους.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι τα προβλήματα του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι σημαντικό να εξεταστούν μέσα από το πρίσμα του ρόλου του εδάφους, εξαιτίας των ακόλουθων λόγων:

1. Τα εδάφη είναι μία σπουδαία δεξαμενή για τον άνθρακα. Τα εδάφη της γης περιέχουν περίπου 1500 δισ. τόνους οργανικό άνθρακα (υπερδιπλάσια ποσότητα άνθρακα) από την ατμόσφαιρα.

2. Η χειρσαία βλάστηση καταναλώνει 60 δισ. τόνους οργανικό άνθρακα το χρόνο για να αναπτυχθεί, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα οξυγόνο. Η ζήτηση θα εξαντλούσε τον άνθρακα στην ατμόσφαιρα αν δεν υπήρχε αναπλήρωση, μέσω της αναπνοής των φυτών και της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών.

3. Η ποιότητα του εδάφους προσδιορίζει τη γεωργική βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική ποιότητα και η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους είναι ένας από τους βασικούς σκοπούς της περιβαλλοντικά ορθής βιώσιμης γεωργίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στην σύγχρονη εποχή παρατηρείται η προσπάθεια ώστε να καθοριστούν οι διαδικασίες της αειφορικής διαχείρισης, που στόχο έχει τη διατήρηση και τη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, καθώς και να αναγνωρισθεί ο κίνδυνος της υποβάθμισης των εδαφικών συστημάτων. Ορισμένα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διατήρησης της ποιότητας του εδάφους είναι η αύξηση της παραγωγικότητας, η άριστη χρήση των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα με μείωση των εκπομπών αερίων που προκαλούν το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» και η βελτίωση της ποιότητας των υδάτων. Ωστόσο, το σημαντικότερο βήμα στη διαδικασία αυτή είναι η καταγραφή των εδαφικών ιδιοτήτων και τα μέτρα που θα εφαρμοστούν να είναι εξειδικευμένα και προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες τοπικές απαιτήσεις.

Ουσιαστικά, είναι επιτακτική ανάγκη η διαμόρφωση μιας συγκεκριμένης μεθοδολογικής διαδικασίας, όπου η εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους θα γίνεται σε συνδυασμό με συγκεκριμένες εδαφικές λειτουργίες και με την παραγωγή βιομάζας.

Συνεπώς, θα πρέπει να προσδιορίζονται οι τιμές αναφοράς των βασικών εδαφικών ιδιοτήτων σε φυσικά οικοσυστήματα, να καθορίζονται οι κρίσιμες τιμές των βασικών εδαφικών λειτουργιών, να εκτιμώνται οι επιπτώσεις των αλλαγών χρήσεων γης στις εδαφικές λειτουργίες, καθώς και να επανακαθορίζονται οι εδαφικές λειτουργίες και οι χρήσεις γης μετά την ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους όχι μόνο θα διατηρηθούν σε υψηλό επίπεδο οι δείκτες ποιότητας του εδάφους, αλλά και θα υπάρχει μια ευρύτερη στρατηγική για την αειφορική διαχείριση των οικοσυστημάτων.

#### 4.1 Ποιότητα εδάφους και βιώσιμη γεωργία

Η αναγκαιότητα για βιώσιμη γεωργία έχει γίνει στις μέρες μας κοινά αποδεκτή. Εντούτοις, όπως αναμένεται, δεν υπάρχει συμφωνία της επιστημονικής κοινότητας στο τι θα έπρεπε να περιλαμβάνει ως όρος. Παρ' όλα αυτά, δίνονται στο πλαίσιο αυτό ορισμένες κατευθύνσεις για όσους θα ήθελαν να υιοθετήσουν αρχές που συνάδουν με τον όρο «βιωσιμότητα».

«Βιώσιμα γεωργικά συστήματα» θεωρούνται αυτά που είναι ικανά να διατηρούν την παραγωγικότητά τους και συνεχίζουν να είναι χρήσιμα στην κοινωνία και στο απώτερο μέλλον. Τέτοια συστήματα οφείλουν να σέβονται τη διατήρηση των φυσικών πόρων, να υποστηρίζουν τις ανάγκες της κοινωνίας, να είναι οικονομικά - εμπορικά ανταγωνιστικά και να λαμβάνουν υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος.

Η Βιώσιμη Γεωργία περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής φυτών και ζώων που μακροπρόθεσμα ικανοποιεί τις ανθρώπινες διατροφικές ανάγκες (συμπεριλαμβανομένων των αναγκών σε φυτικές ίνες), προστατεύει και βελτιώνει την ποιότητα του περιβάλλοντος και τους φυσικούς πόρους από τους οποίους εξαρτάται η αγροτική οικονομία και κάνει πιο αποτελεσματική χρήση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων και περιλαμβάνει όπου απαιτείται τους φυσικούς βιολογικούς κύκλους και ελέγχους.

Ταυτόχρονα, φροντίζει την οικονομική βιωσιμότητα των αγροτικών επιχειρήσεων, καθώς και την ποιότητα ζωής των αγροτών και της κοινωνίας γενικότερα.

Η συμβατική γεωργία μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τις ιδιαίτερες μορφολογικές, κοινωνικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, παρόλα αυτά έχει ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι: γρήγορη τεχνολογική εξέλιξη, επένδυση μεγάλων κεφαλαίων, ώστε να συμπεριλάβει τις εξελίξεις της τεχνολογίας, μεγάλες γεωργικές εκτάσεις, μονοκαλλιέργεια επί σειρά ετών, ομοιογενείς υβριδικές ποικιλίες υψηλής απόδοσης, εκτεταμένη χρήση εντομοκτόνων, λιπασμάτων και εξωτερικών ενεργειακών πηγών, υψηλή αποτελεσματικότητα εργατικής απασχόλησης και εξάρτηση από τον κύκλο των αγροτικών επιχειρήσεων.

Η κατεύθυνση που προωθείται τις τελευταίες δεκαετίες για τη σύγχρονη γεωργία είναι: α) αλληλεπίδραση μεταξύ του γεωργικού συστήματος και του εδάφους, του νερού, της πανίδας και χλωρίδας και της ατμόσφαιρας, β) τα περισσότερα περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν άμεση σχέση με τους οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς παράγοντες, γ) ορισμένα προβλήματα είναι παγκόσμια, ενώ άλλα έχουν μόνο τοπικό χαρακτήρα, δ) πολλά άλλα προβλήματα αντιμετωπίζονται μέσα από τη συμβατική αλλά και την εναλλακτική γεωργία.

Το πρώτο βασικό συστατικό της κοινωνικής δικαιοσύνης είναι το δικαίωμα στην τροφή. Σήμερα, ο κόσμος ζητά περισσότερη ενέργεια, ο άνθρωπος περισσότερη τροφή και το περιβάλλον απαιτεί λιγότερη ρύπανση. Η ακριβή ενέργεια και τα βιοκαύσιμα κρατούν ψηλά τις τιμές των τροφίμων.

Σε καθημερινή βάση 25.000 άνθρωποι πεθαίνουν από αιτίες που σχετίζονται με την πείνα. Όταν το 75% του εισοδήματός των φτωχών ανθρώπων ξοδεύεται για την διατροφή τους, οι αυξημένες τιμές των τροφίμων μπορεί να αποβούν καταστροφικές για τα εκατομμύρια ανθρώπους που ζουν στα όρια της φτώχειας.

Το ζητούμενο στη σύγχρονη εποχή, είναι να πραγματοποιηθεί μία πράσινη επανάσταση, με την παραγωγή περισσότερης τροφής θα σπάσει ο κύκλος της φτώχειας και της πείνας. Διανύουμε μία παγκόσμια κρίση, η οποία δεν θα είναι προσωρινή, εκτός αν ληφθούν χωρίς καθυστέρηση οι παγκόσμιες δράσεις. Η παγκόσμια κρίση τροφίμων έχει πυροδοτηθεί από μία πλειάδα παραγόντων, όπως οι υψηλές τιμές καυσίμων, η ανεπαρκής πολιτική για την ενέργεια, η αυξημένη κατανάλωση κρέατος, η κατανάλωση βιοκαυσίμων για τα αυτοκίνητα, οι κακές πρακτικές καλλιέργειας και η εξάντληση παγκόσμιων αποθεμάτων τροφίμων.

Οι εσφαλμένες πρακτικές καλλιέργειας εξακολουθούν ακόμη και σήμερα να αποτελούν τροχοπέδη στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, ιδιαίτερα στις περιοχές της Αφρικής. Συγκεκριμένα, τα αποθέματα σιτηρών και ιδιαίτερα του ρυζιού υποχώρησαν στα χαμηλότερα επίπεδα των τελευταίων είκοσι ετών.

Η γεωργία αναμένεται να θρέψει 6,6 εκατομμύρια ανθρώπους, ωστόσο το νούμερο αυτό συνεχώς αυξάνεται. Για να ανταποκριθεί στην πρόκληση αυτή πρέπει να είναι παραγωγική και βιώσιμη, να διατηρεί τους

εδαφικούς πόρους και να είναι περιβαλλοντικά ασφαλής και οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά βιώσιμη. Ωστόσο, απέτυχε να καλύψει τις ανάγκες του πληθυσμού που αυξάνει μέρα με τη μέρα. Έτσι η ανθρωπότητα εξακολουθεί να απαιτεί περισσότερους πόρους σε βάρος της άγριας πανίδας και χλωρίδας. Μάλιστα, η παραγωγή βιοενέργειας θα επιδεινώσει το πρόβλημα, καθώς η δέσμευση του άνθρακα με τη φωτοσύνθεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή φυτών διατροφής ανθρώπων και ζώων ή για την παραγωγή βιοενέργειας. Άλλωστε είναι γεγονός ότι η αλλαγή προς την παραγωγή ζωοτροφών ή βιοενέργειας θα επηρεάσει γενικά την παραγωγή τροφίμων, εκτός αν καλλιεργηθούν περισσότερες εκτάσεις γης ή αυξηθούν οι εισροές. Η βιωσιμότητα της γεωργικής παραγωγής είναι πολύ σημαντική για τον άνθρωπο γιατί η γεωργία αποτελεί τον βασικό πόρο τροφής για τον συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό.

**Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προκύπτει ότι η διαχείριση της γονιμότητας και της ποιότητας του εδάφους είναι το κλειδί στην ανάπτυξη της βιώσιμης γεωργίας.**

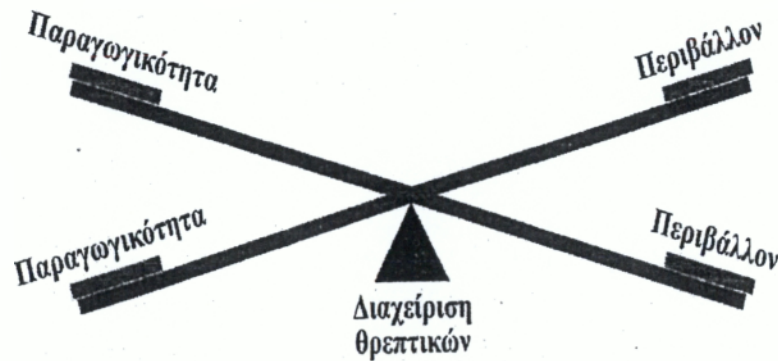
#### **4.2 Επιδιωκόμενοι στόχοι της βιώσιμης γεωργίας: Εξάλειψη της πείνας και προστασία του περιβάλλοντος**

Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη της διαχείρισης έχει εξελιχθεί αρκετά, ώστε οι προτεραιότητές της στα προγράμματα έρευνας και εκπαίδευσης να έχουν μετακινηθεί προς την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και την προστασία του περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα, η διαχείριση των θρεπτικών χρειάζεται λύσεις ώστε να επιτρέπουν τη βελτίωση της παραγωγικότητας και την ελαχιστοποίηση της επίδρασης που ασκεί το περιβάλλον. Τόσο η έρευνα, όσο και οι βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές έδειξαν ότι η γεωργική ανάπτυξη και η προστασία του περιβάλλοντος μπορούν να συνυπάρχουν αρμονικά.

Οι επόμενες δεκαετίες θα παρουσιάσουν μία μεγαλύτερη πρόκληση για τα παγκόσμια συστήματα τροφής, απ' ό,τι στα προηγούμενα χρόνια. Η προσπάθεια που χρειάζεται για να αυξηθεί η παραγωγή και να διατηρηθεί η αναγκαία οικολογική ακεραιότητα είναι αναγκαία και απαιτεί ένα ισορροπημένο μοντέλο (Σχήμα).



Για να συνεχιστεί να υπάρχει τροφή και να διαφυλάσσονται οι φυσικοί πόροι για τις επόμενες γενιές απαιτούνται τεχνολογικές και επιστημονικές εισροές, οι οποίες σχετίζονται και με το έδαφος και την εδαφολογία.



**Σχήμα 26:** Μοντέλο ισορροπίας. Η περιβαλλοντική πρόοδος συνοδεύεται από απώλειες παραγωγικότητας. Πρόοδος στο ένα μετακινεί πόρους, απομακρύνει πόρους από το άλλο. (Σιμώνης κ.α., 2008)

Μεταφορικά, η διαχείριση θρεπτικών χρειάζεται ένα υπομόχλιο – ένα υψηλότερο υπομόχλιο που να μπορεί να στηρίξει τόσο την αύξησή της παραγωγικότητας όσο και την περιβαλλοντική πρόοδο.



**Σχήμα 27:** Η διαχείριση θρεπτικών συντελεί στην ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγικότητα και το περιβάλλον (Σιμώνης κ.α., 2008)

#### 4.2.1 Βιολογική γεωργία

Με τον όρο «βιολογική γεωργία» ορίζεται ένα σύστημα γεωργικής πρακτικής, του οποίου η φιλοσοφία διαφέρει σημαντικά από τη συμβατική ως προς την παραγωγή προϊόντων.

Σύμφωνα με τον κανονισμό 2092/91 της ΕΟΚ, η μέθοδος βιολογικής παραγωγής των προϊόντων, η ευφορία και η βιολογική δραστηριότητα του εδάφους πρέπει να διατηρούνται, ή να αυξάνονται α) με την καλλιέργεια ψυχανθών, με χλωρή λίπανση, ή με κατάλληλη καλλιέργεια βαθύρριζων φυτών στα πλαίσια πολυετούς προγράμματος αμειψισποράς, β) με την ενσωμάτωση στο έδαφος οργανικών αποδομημένων ή μη ουσιών που παράγονται σε εκμεταλλεύσεις συμμορφούμενες προς τις διατάξεις του ανωτέρω κανονισμού. Συγκεκριμένα, τα κτηνοτροφικά υποπροϊόντα (κοπριά κλπ) επιτρέπονται μόνο όταν προέρχονται από κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις που τηρούν τους κανόνες της βιολογικής κτηνοτροφίας. Παράλληλα, η αντιμετώπιση και η καταπολέμηση των παρασίτων, των ασθενειών και των ζιζανίων επιτρέπεται μόνο με επιλογή κατάλληλων ανθεκτικών ειδών και ποικιλιών, με πρόγραμμα αμειψισποράς, με μηχανικές μεθόδους καλλιέργειας, με φράκτες που εμποδίζουν τη διασπορά τους και την καταστροφή των ζιζανίων με φωτιά.

Ο κανονισμός αυτός επιτρέπει τη χρήση άλλων ουσιών μόνο σε περιπτώσεις που η καλλιέργεια κινδυνεύει άμεσα. Στην περίπτωση των λιπασμάτων είναι είτε φυσικά, ή ελαφρώς κατεργασμένα χωρίς χημικά αντιδραστήρια (όπως οξέα κλπ), είτε βελτιωτικά εδάφους.

Η βιολογική γεωργία επομένως δεν επιτρέπει τη χρήση αγροχημικών (φυτοφαρμάκων) και των χημικών λιπασμάτων, όπως συμβαίνει στη συμβατική γεωργία.

Όσο αναφορά κυρίως στους καταναλωτές, θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι η επίδραση στην παραγωγή και την ποιότητα, συνεπώς και στην καταλληλότητα των φυτικών προϊόντων για κατανάλωση, είναι τελείως διαφορετική μεταξύ των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων. Τα φυτοφάρμακα χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση από ζωικούς εχθρούς (έντομα, ακάρεα, νηματώδεις κλπ), ή την προληπτική προστασία των φυτών από ασθένειες που προκαλούνται από μύκητες, ιούς και βακτήρια. Τα χημικά

αυτά σκευάσματα είναι «ξένες» ουσίες προς τα φυτά και τα υπολείμματα τους στα προϊόντα που καταναλώνονται από τον άνθρωπο και από όλα τα εκτρεφόμενα ζώα, έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Η βιολογική γεωργία σήμερα ενθαρρύνεται σε μεγάλο βαθμό, αλλά προς το παρόν δεν φαίνεται να μπορεί να αντικαταστήσει τη συμβατική γεωργία που αποτελεί συνήθη γεωργική πρακτική.

#### **4.2.1.1 Πλεονεκτήματα από την χρησιμοποίηση των οργανικών λιπασμάτων**

Τα οργανικά λιπάσματα πλεονεκτούν σε μεγάλο βαθμό έναντι των «κοινών» ανόργανων, ως προς τα εξής:

- Η ανοργανοποίησή τους στο έδαφος και τα τελικά προϊόντα αυτής προκύπτουν σε αρκετά μεγάλο διάστημα. Η βραδεία αυτή απελευθέρωση συμβάλλει στο συνεχή εφοδιασμό του εδάφους και για μεγάλο διάστημα, σε πολλές περιπτώσεις καλύπτει τις ανάγκες των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Η βραδεία απελευθέρωση είναι ιδιαίτερα σημαντική για το άζωτο, του οποίου η επικρατούσα νιτρική μορφή είναι ιδιαίτερα κινητική στο έδαφος και οι ανάγκες των φυτών μπορούν να ικανοποιούνται καλύτερα από ότι με τα ευδιάλυτα κοινά αζωτούχα λιπάσματα ειδικά αν αυτά προστίθεται σε εφάπαξ δόσεις.

- Η σημαντικότερη συμβολή τους στην ανάπτυξη φυτών είναι περισσότερο έμμεση και οφείλεται στη δημιουργία καλής δομής του εδάφους, μέσω του χούμου (χουμικών ενώσεων) που αποτελεί το ενδιάμεσο στάδιο της ανοργανοποίησης. Η βελτίωση της δομής είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα αμμώδη και τα αργιλώδη εδάφη και αποτελεί σημαντικό παράγοντα της ανάπτυξης των φυτών, γιατί μέσω της δημιουργίας επιθυμητού πορώδους επιτρέπει τη καλύτερη κίνηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, την εναλλαγή υγρής και ξηράς περιόδου και την ανεμπόδιστη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

#### 4.2.1.2 Δυσκολίες – Προβλήματα από τη χρησιμοποίηση των οργανικών λιπασμάτων

Σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται με την καθιέρωσή τους αποτελούν προς το παρόν τουλάχιστον:

- Η έλλειψη τυποποίησης των οργανικών λιπασμάτων. Τα «φυσικά» οργανικά λιπάσματα δεν έχουν σταθερή σύσταση. Η έλλειψη τυποποιημένων προϊόντων αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα όσον αφορά στη γενίκευση εφαρμογής των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα σχετικά πειράματα.

- Η ζωική νωπή κοπριά είναι μείγμα στερεών κοπράνων, ούρων, υπολειμμάτων τροφών, νερού πλυσίματος και στρωμνής (ροκανίδια, πριονίδια, άχυρο κλπ).

- Μόνο τα βιομηχανικά παρασκευαζόμενα οργανικά σκευάσματα είναι τυποποιημένα, τα οποία κυκλοφορούν ευρύτατα, ωστόσο με υψηλό κόστος, το οποίο επιβαρύνει και το τελικό κόστος των προϊόντων.

- Ο προσδιορισμός των ποσοτήτων που πρέπει να ενσωματώνονται. Από πλευράς περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία, τα οργανικά αποτελούν σύνθετα – μικτά λιπάσματα, επομένως η σύσταση και η αναλογία θρεπτικών στοιχείων δεν επιτρέπει τον ορθό υπολογισμό των απαραίτητων ποσοτήτων για κάθε θρεπτικό χωριστά.

- Οι ιδιότητες του οργανικού υλικού που ενσωματώνεται στο έδαφος, οι ιδιότητες του εδάφους και οι συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Τα οργανικά λιπάσματα, ανοργανοποιημένα στο έδαφος, δεν παρέχουν στα φυτά τα φυτά ούτε στις ίδιες αναλογίες που τα περιέχουν, αλλά ούτε στο χρόνο που τα χρειάζονται. Αυτό οφείλεται σε παράγοντες που σχετίζονται με το είδος του οργανικού υλικού που ενσωματώνεται στο έδαφος και κυρίως στο λόγο C/N, αλλά και στις ιδιότητες του εδάφους και στις συνθήκες που επικρατούν κατά την ανοργανοποίηση, παράγοντες που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη δράση των μικροοργανισμών. Μεγάλες αναλογίες C/N, χαμηλές θερμοκρασίες και ξηρασία συντελούν σε μείωση του ρυθμού ανοργανοποίησης, με αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής θρεπτικών στοιχείων στην υπάρχουσα καλλιέργεια.

- Τα κριτήρια αξιολόγησης που τίθενται. Όταν ως κριτήριο της αποτελεσματικότητας της λίπανσης λαμβάνεται η παραγωγή των προϊόντων. Η οποιαδήποτε υψηλή παραγωγή με τα οργανικά λιπάσματα, συγκριτικά με τα ανόργανα, φαίνεται ως κριτήριο αποδοχής τους.

- Η γενικότερη εφαρμογή τους. Συγκεκριμένα, παρατηρείται η μη δυνατότητα εύρεσης των απαιτούμενων ποσοτήτων και το υψηλό κόστος των βιομηχανικά παρασκευαζόμενων λιπασμάτων.

Συνοψίζοντας, τα χημικά ανόργανα λιπάσματα που παρασκευάζονται βιομηχανικά, είναι ουσίες που περιέχουν ένα ή περισσότερα θρεπτικά στοιχεία υπό μορφή ιόντων, δηλαδή σε μορφές ίδιες με αυτές που υπάρχουν και προσλαμβάνουν τα φυτά από το «φυσικό» έδαφος. Ωστόσο, υπάρχουν ανόργανα λιπάσματα που ορίζονται ως οικολογικά αρκεί αυτά να παράγονται χωρίς τη χρήση χημικών ενώσεων, ακόμα και αν έχουν την ίδια σύνθεση με τα βιομηχανικά λιπάσματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ). Το  $K_2SO_4$  όταν παράγεται από την ανάμιξη του ορυκτού κιζερίτης ( $MgSO_4$ ) με νερό και του χλωριούχου καλίου ( $KCl$ ) κατατάσσεται στα οικολογικά, σε αντίθεση με το ίδιο λίπασμα που παράγεται βιομηχανικά από την αντίδραση του  $KCl$  με θειικό οξύ ( $H_2SO_4$ ). Θεωρείται αυτονόητο ότι τα φυτά προσλαμβάνουν τα δύο θρεπτικά χωρίς να υπάρχει δυνατότητα διάκρισης της προέλευσής τους.

Άλλωστε, τα οργανικά λιπάσματα περιέχουν τα θρεπτικά στοιχεία, κυρίως το N, τον P και το S, υπό οργανικές μορφές, τις οποίες τα φυτά δεν μπορούν να προσλάβουν. Στο έδαφος, κατά τη διαδικασία της ανοργανοποίησης, αυτές οι οργανικές μορφές υφίστανται διαδοχικές μεταβολές και τα τελικά προϊόντα είναι οι ανόργανες μορφές που προσλαμβάνουν τα φυτά.

#### 4.2.1.3 Ορθολογική ανόργανη λίπανση

Η δυσμενής εντύπωση για τη χρήση των κοινών βιομηχανικών λιπασμάτων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα αποτελέσματα από τη μη ορθολογική χρήση αυτών. Η αυξημένη τους περιεκτικότητα σε νιτρικά ορισμένων φυτικών προϊόντων, καθώς και η νιτρούπανση των επιφανειακών



και υπογείων νερών, οφείλεται κυρίως σε υπερλιπάνσεις αζωτούχων λιπασμάτων ή σε λιπάνσεις με ποσά που αντιστοιχούν στις συνολικές ανάγκες, που όμως χρονικά δεν συμβαδίζουν με τις ανάγκες των φυτών.

#### **4.2.1.4 Προοπτική**

Η χρήση οργανικών λιπασμάτων είναι πιθανό να αποτελεί μία καλή εναλλακτική λύση, ωστόσο, παγκοσμίως μπορεί να εφαρμοστεί σε περιορισμένη κλίμακα. Οι συνολικές ανάγκες των λιπασμάτων που απαιτούνται σε παγκόσμια κλίμακα για την ικανοποίηση των αναγκών του αλματωδώς αυξανόμενου πληθυσμού σε τροφή φαίνεται να μην είναι δυνατόν να καλύπτονται με τη χρήση μόνο των οργανικών λιπασμάτων.

Τα περιθώρια χρησιμοποίησης αυτών των λιπασμάτων είναι ακόμα μεγάλα και είναι ευνόητο ότι η προσπάθεια που καταβάλλεται, στα πλαίσια της μείωσης των εισροών και τη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας πρέπει να συνεχιστεί. Πέραν αυτών, η επίδραση της οποιασδήποτε λίπανσης (ανόργανης ή οργανικής) στις αποδόσεις και στην ποιότητα, αλλά και στο περιβάλλον, εξαρτάται τελικά από τη σωστή ή λάθος εφαρμογή των λιπασμάτων. Μία ορθολογική ανόργανη λίπανση για παράδειγμα, μπορεί να συντελέσει στη βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων, αντίθετα με μία μη ορθολογική οργανική λίπανση.

### **4.5 Παραγωγικότητα οργανικών συστημάτων καλλιέργειας**

Η παραγωγικότητα των οργανικών συστημάτων καλλιέργειας είναι σημαντικά μικρότερη από ότι στα συμβατικά συστήματα, που έχουν στη διάθεσή τους όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες. Γενικά, στην οργανική γεωργία, η απόδοση των καλλιεργειών και η αποτελεσματικότητα της παραγωγής είναι μικρότερες και το κόστος και η τιμή του προϊόντος υψηλότερα. Η πρόκληση που αντιμετωπίζει η γεωργία στη σύγχρονη εποχή είναι να αυξήσει την ποσότητα και ποιότητα της τροφής που παράγεται με τη μικρότερη δυνατή επιζήμια επίδραση στο περιβάλλον.

Η αντίληψη των καταναλωτών για τα βιολογικά προϊόντα διατροφής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ολοένα διευρυνόμενη εφαρμογή της

οργανικής γεωργίας, σε πολλές χώρες του κόσμου, παρά το μικρό ποσοστό της έκτασης γης, που αυτή καταλαμβάνει. Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται, κυρίως, στην αυξανόμενη ανησυχία του καταναλωτικού κοινού για τις ποσότητες των χημικών παρασιτοκτόνων που μπορούν να μεταφερθούν από την παραγωγή προϊόντων στον αγρό (όπως στα φρούτα και τα λαχανικά) στην τροφική αλυσίδα.

Οι καταναλωτές επιδοκιμάζουν και αξιολογούν την οργανική γεωργία με βάση την αντίληψή τους ότι τα προϊόντα παράγονται φυσικά, χωρίς να υποβαθμίζεται το περιβάλλον.

Ωστόσο, υπάρχουν ανησυχίες, ότι παρόλο που το καταναλωτικό κοινό είναι πιθανό να προσανατολιστεί στην προτίμηση προϊόντων που προέρχονται από τη βιολογική γεωργία, αυτή μπορεί μελλοντικά να χάσει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί στις προσδοκίες τους.

#### **4.3.1 Οργανικές και ανόργανες πηγές θρεπτικών στοιχείων**

Συχνά υποστηρίζεται ότι τα θρεπτικά που χρησιμοποιούνται στα οργανικά συστήματα είναι «φυσικά», σε αντίθεση με τις «συνθετικές» ή ανόργανες χημικές πηγές που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά συστήματα. Ωστόσο, οποιαδήποτε προσπάθεια να ξεχωρίσουμε τις τροφές από μια άποψη πηγής θρεπτικών είναι δύσκολη και περιορισμένης χρήσης, γιατί όλα τα θρεπτικά είναι «χημικά», όλα είναι φυσικά και όλα υπάρχουν στη φύση, μετατρέπόμενα συνεχώς από τη μία μορφή στην άλλη. Όλα τα θρεπτικά προσλαμβάνονται από τα φυτά, σχεδόν εξ ολοκλήρου, στη διαλυτή ανόργανη μορφή, είτε η πηγή θρεπτικών είναι οργανική είτε ανόργανη. Η διάκριση «φυσικό» έναντι «συνθετικό» δεν δικαιολογείται με βάση την επιστήμη, αφού η προτίμηση των φυτών για τις πηγές θρεπτικών είναι δεδομένη.

Άσχετα με τη μορφή με την οποία τα θρεπτικά εισέρχονται πρώτα στους αντίστοιχους κύκλους τους, πρέπει αυτά τελικά να μετατραπούν στις ανόργανες μορφές τους, πριν τα φυτά μπορέσουν να τα χρησιμοποιήσουν. Έτσι όλα τα τρόφιμα που καταναλώνουμε, είτε φυσικά είτε οργανικά παρήχθησαν, από ανόργανα θρεπτικά, ακόμη κι αν ένα ιδιαίτερο θρεπτικό μπορεί να είχε προστεθεί στο έδαφος με μια οργανική μορφή του.

Η λέξη «οργανικό» είναι ένας όρος που έχει γίνει πολύ σημαντικός τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα σε σχέση με την τροφή. Μερικές φορές χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει ότι η τροφή που παράγεται από οργανικές πηγές θρεπτικών μπορεί να έχει μερικά ειδικά χαρακτηριστικά, ειδικά οφέλη υγείας, ή ίσως μεγαλύτερη θρεπτική αξία. Η ονομασία «οργανικό» σε σχέση με τη χρήση θρεπτικών αναφέρεται στην πρακτική παροχής θρεπτικών μόνο από προσθήκες οργανικών λιπασμάτων και όχι από χημικές πηγές θρεπτικών, υπονοώντας ότι το ένα είναι «φυσικό» και το άλλο «συνθετικό». Ωστόσο, το γεγονός ότι ένα προϊόν χαρακτηρίζεται ως οργανικό δεν σημαίνει ότι το προϊόν αυτό είναι οπωσδήποτε υπέρτερο, ασφαλέστερο ή πιο υγιεινό από το συνθετικό-συμβατικό. Η σήμανση που φέρει το οργανικό προϊόν πιστοποιεί τη μέθοδο παραγωγής του και όχι το προϊόν. Ούτε οι οργανικές, ούτε οι ανόργανες πηγές θρεπτικών είναι οι καλύτερες για τα φυτά, και οι δύο παίζουν το ρόλο τους στη θρέψη και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εκεί που είναι κατάλληλες. Κάθε μια έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της. Στα εδάφη, τόσο οι οργανικές, όσο και οι ανόργανες μορφές θρεπτικών είναι αλληλομετατρέψιμες με τις βασικές διεργασίες της ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης. Στη φύση συνυπάρχουν και μετακινούνται μέσω του ίδιου κύκλου – μόνο που εισέρχονται στον κύκλο διαφορετικές θέσεις. Δεν πρέπει να διαχωρίζουμε τα γεωργικά συστήματα σε συστήματα με ανόργανα (Α) και οργανικά (Β) λιπάσματα. Τέτοιες προσεγγίσεις αποκαλύπτουν άγνοια των κύκλων των θρεπτικών στη φύση, ένα μέρος της οποίας αποτελούν τα γεωργικά συστήματα. Η σωστή προσέγγιση είναι Α+Β και όχι Α έναντι Β.

#### **4.3.2 Περιβαλλοντική επίδραση των λιπασμάτων**

Οι εισροές λιπασμάτων που επιτρέπονται στην οργανική παραγωγή είναι μικρότερες και πιο ευμετάβλητες ως προς την ποσότητα θρεπτικών που περιέχουν και τη διαθεσιμότητα σε σύγκριση με τα εμπορικά λιπάσματα. Γι' αυτό, για να καλυφθούν όλες οι ανάγκες των καλλιεργειών σε θρεπτικά στοιχεία από τις οργανικές εισροές θα πρέπει αυτές να εφαρμοστούν σε μεγάλες ποσότητες. Υπάρχει έτσι μεγαλύτερη πιθανότητα εφαρμογής ορισμένων θρεπτικών σε περίσσεια που μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερο κίνδυνο απώλειας σε αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Για

παράδειγμα, η αποσύνθεση της κοπριάς δεν μπορεί να συγχρονιστεί με το ρυθμό και την ένταση της ανάπτυξης της καλλιέργειας, όπως είναι επιθυμητό, αλλά συνεχίζει σ' όλη την εποχή. Η ενσωμάτωση στο έδαφος των ψυχανθών καλλιεργειών (ένα απαραίτητο μέρος της οργανικής μεθόδου για την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους) και η συνεχιζόμενη αποσύνθεση της κοπριάς, οδηγούν στην έκπλυση νιτρικών στα υδροφόρα στρώματα και στις λεκάνες απορροής, στις ίδιες ακριβώς ποσότητες με τους συμβατικούς αγρούς. Έτσι όλη η ποσότητα N που υπάρχει σε διαθέσιμη μορφή υπόκειται και σε έκπλυση. Η ποσότητα που δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά μεταφέρεται προς τα κάτω, ως νιτρικά ιόντα, στα νερά. Δεν υπάρχει καμιά διάφορα, αν τα νιτρικά αυτά προέρχονται από το ανόργανο λίπασμα, την κοπριά ή από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Τα οργανικά υλικά πολύ συχνά αντιμετωπίζονται ως πιο υγιεινά από τα ανόργανα λιπάσματα. Πολύ λίγες ενδείξεις, κατά ή υπέρ υπάρχουν. Και τα δυο παρέχουν στο φυτό τις ίδιες μορφές  $\text{N}^- \text{NO}_3^-$  και  $\text{NH}_4^+$ . Ωστόσο, η κοπριά φαίνεται να είναι το ίδιο αποτελεσματική με το ανόργανο λίπασμα για τη βελτίωση των αποδόσεων, όμως αποτελεί μεγαλύτερο κίνδυνο ρύπανσης. Κι αυτό γιατί τα πειραματικά τεμάχια που δέχονται κοπριά περιέχουν 100Kg περισσότερα  $\text{NO}_3^- / \text{ha}$ , κατά την κρίσιμη περίοδο, το φθινόπωρο, από ό,τι τα τεμάχια με ανόργανο λίπασμα. Οι λόγοι είναι απλοί, υπάρχει περισσότερο οργανικό N για την αποσύνθεση από τους μικροοργανισμούς του εδάφους που προέρχεται από παλιές και νέες προσθήκες κοπριάς. Οι γεωργοί έχουν, επίσης, την τάση να παραχώνουν την κοπριά στο έδαφος, το φθινόπωρο έτσι που τα  $\text{NH}_4^+$  που περιέχει να μετατρέπονται σε  $\text{NO}_3^-$  σε λάθος εποχή. Εξάλλου, η αποσύνθεση οργανικών της κοπριάς στο έδαφος παράγει σημαντικές ποσότητες  $\text{N}_2\text{O}$  και  $\text{CH}_4$ , που αποτελούν τα πιο ισχυρά αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Επομένως, είναι απαραίτητη η συνετή, επιστημονικά σωστή χρήση τεχνολογίας στο πρόγραμμα γεωργίας ακριβείας για να ελαχιστοποιήσουμε τις επιδράσεις θρεπτικών στο περιβάλλον. Τα βελτιωμένα και προσαρμοσμένα γενετικά υλικά αποτελούν ένα συστατικό - κλειδί. Ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων πρέπει να περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας τις καλύτερες πρακτικές από τις καλλιεργητικές, βιολογικές και χημικές προσεγγίσεις. Κατεργασία συντήρησης και άλλες πρακτικές για τον έλεγχο της

διάβρωσης που διατηρούν την ποιότητα του νερού και μειώνουν τη χρήση ζιζανιοκτόνων είναι συχνά κρίσιμης σημασίας.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το έδαφος, ως ένα ανοιχτό φυσικό σύστημα, δέχεται εισροές από το περιβάλλον και συγχρόνως ασκεί ισχυρές επιδράσεις σε αυτό. Ένα τέτοιο σύστημα υφίσταται συνεχείς μεταβολές με ποικίλους ρυθμούς που εξαρτώνται από την ένταση των εισροών που δέχεται και από τις εκροές του προς το περιβάλλον.

Γενικότερα, το έδαφος αποτελεί το υπόστρωμα για μία σειρά περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών λειτουργιών που είναι καθοριστικής σημασίας για τη ζωή. Λειτουργεί ως μηχανισμός αποθήκευσης, διήθησης ρύθμισης και μετατροπής, διαδραματίζοντας με αυτό τον τρόπο πρωταγωνιστικό ρόλο στην προστασία του νερού, καθώς και στην ανταλλαγή αερίων με την ατμόσφαιρα.

Η υποβάθμιση του εδάφους είναι αποτέλεσμα διεργασιών, όπως η ερημοποίηση, η διάβρωση, η μείωση της οργανικής ύλης, η ρύπανση, η σφράγιση, η συμπίεση, η μείωση της βιοποικιλότητας και η αλάτωση.

Η ποιότητα του εδάφους ως όρος εντάχθηκε από την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια και αποτελεί ένα σύνθετο αντικείμενο μελέτης. Δεν περιλαμβάνει μόνο τον προσδιορισμό βασικών εδαφικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών για την χάραξη ορθών πολιτικών χρήσης γης, αλλά μια ολιστική προσέγγιση και αναπροσδιορισμό των χρήσεων των εδαφικών πόρων, έτσι ώστε να δρουν συμβατά με τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες που επικρατούν και να παρέχει τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφορική διαχείρισή του.

Η ποιότητα του εδάφους εκτιμάται με δείκτες, που περιλαμβάνουν τη μέτρηση φυσικών, χημικών και βιολογικών εδαφικών ιδιοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να καθοριστούν οι ιδιότητες του εδάφους, που μπορούν να εμποδίσουν την υποβάθμιση των εδαφικών λειτουργιών, να ελεγχθούν οι μεταβολές που προκαλούνται και να επαναπροσδιοριστούν οι χρήσεις γης. Η ποιότητα εδάφους επηρεάζει και επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων, όπως η ποιότητα του νερού, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων και της παραγωγικότητας και γονιμότητας των εδαφικών πόρων.

Τα αρχικά βήματα σε αυτή την αξιολόγηση είναι να αναγνωριστούν οι σκοποί που υπηρετεί το έδαφος και να καθοριστούν οι λειτουργίες του εδάφους που συντελούν στην επικείμενη πραγματοποίησή τους. Με δεδομένο ότι οι λειτουργίες του εδάφους είναι σημαντικές για το σκοπό της χρήσης του, οι εδαφικές ιδιότητες επηρεάζουν εκείνες τις λειτουργίες που εξαρτώνται από την τοποθεσία και τον τύπο του εδάφους.

Συγκεκριμένα, οι εδαφικές ιδιότητες που είναι απαραίτητες για μία αρδευόμενη καλλιέργεια σε μία άγονη περιοχή, θα είναι διαφορετικές από τις ιδιότητες ενός εδάφους σε περιβάλλον με συχνές βροχοπτώσεις. Ορισμένες ιδιότητες, ωστόσο, είναι καλύτεροι δείκτες ποιότητας ενός εδάφους από άλλες, όμως μπορεί να απαιτούνται ειδικές διευκολύνσεις ή εξοπλισμός για να προσδιοριστεί η ποσότητα των ιδιοτήτων.

Επομένως, κάθε συνδυασμός εδαφικού τύπου και αντίστοιχης χρήσης γης απαιτεί ένα διαφορετικό σύνολο πρακτικών, που θα οδηγήσουν σε βελτίωση της ποιότητας του εδάφους. Υπάρχουν όμως, κάποιες γενικές αρχές, οι οποίες μπορούν να έχουν καθολική εφαρμογή. Οι σημαντικότερες είναι:

- Προσθήκη οργανικής ουσίας. Είναι γνωστό ότι η μείωση της ποσότητας της οργανικής ουσίας του εδάφους υποβαθμίζει την ποιότητά του.
- Αποφυγή εντατικής καλλιέργειας. Πολλές καλλιεργητικές πρακτικές μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους, εξαιτίας της απώλειας της δομής που προκαλούν καθώς και φαινομένων συμπίεσης.
  - Άριστη χρήση αγροχημικών.
  - Κάλυψη του εδάφους, με αποτέλεσμα την προστασία του από παράγοντες που ευνοούν τη διάβρωση.

Συνεπώς η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους είναι ένας από τους κύριους σκοπούς της περιβαλλοντικά ορθής βιώσιμης γεωργίας και κατάλληλα γεωργικά συστήματα είναι εκείνα που βελτιώνουν την ποιότητά του. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους γεωτεχνικούς θα είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή τεχνολογιών διαχείρισης εδάφους, καλλιεργειών και θρεπτικών, που αυξάνουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και την ποιότητα του εδάφους, νερού και αέρα.

Προσβλέποντας, ωστόσο, στο μέλλον, η διπλή πρόκληση του περιβάλλοντος και της εξασφάλισης επάρκειας τροφίμων, για τον παγκόσμιο πληθυσμό, θα γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Η ορθολογική διαχείριση και η αποτελεσματική χρήση των εδαφών, θα είναι ένας από τους παράγοντες – κλειδί, που θα προσδιορίσει, σε ποιο βαθμό θα εκπληρωθεί αυτή η πρόκληση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lal, R. 2001. Myths and facts about Soils and the Greenhouse effect
- Lal, R., 2004. Soil quality in Industrialized and Developing Countries- Similarities and Differences: in Managing Soil quality Challenges in Modern Agriculture, Schonning P., Elmholt S., Christensen Editors.
- Pierzynski G. M., J. T. Sims, G. F. Vance. 2000. Soils and environmental quality, Second Edition , CRC Press, 2000
- Smyth and Dumanski, 1993. FESLM: an International Framework for evaluating Sustainable Land Management. World Resources Reports 73, Land and Water Development Division, FAO, Rome.
- Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture, Committee on Long-Range Soil and Water Conservation Policy, National Research Council, σελ.21-34, 1993, the national academies press
- Soils in Our Environment (10th Edition), Duane T. Gardiner, Raymond W. Miller, New Jersey, 2004, Pearson education
- Γεωργακάκης Δ., Σημειώσεις του μαθήματος: Εισαγωγή στις περιβαλλοντικές επιστήμες – Περιβάλλον και γεωργικές κατασκευές, Γ.Π.Α., Αθήνα, 1999
- Γεωργακόπουλος Γ. Δημήτρης, Σημειώσεις Μικροβιολογίας εδάφους, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2003
- Εισαγωγή στην οικολογία, Emberlin J. , 2002, Εκδόσεις τυποθήτω
- Καλλιανού Χ., Σημειώσεις του μαθήματος Περιβαλλοντική Εδαφολογία, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2007
- Καραμάνος Α.Ι. Έδαφος, Εργαστήριο Γεωργίας Γ.Π.Α., Αθήνα 2004
- Καρανδεινός Μ., Στοιχεία οικολογίας, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2005
- Κουκουλάκης Πρόδρομος, Σιμώνης Αστέριος, Γκέρτσης Αθανάσιος, Οργανική ουσία του Εδάφους, Εκδόσεις Σταμούλη, 2000
- Μουστάκας Νικ., Γενική Εδαφολογία, Γ.Π.Α, Αθήνα, 2006
- Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου
- Πασχαλίδης, Εγχειρίδιο Καλλιεργητή, Εκδ. έμβρυο
- Σημειώσεις του μαθήματος Διαχείριση υδατικών πόρων και περιβάλλον, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2000

- Σιμώνης Α.Δ. και Ε. Β. Σετάτου, Παραγωγικότητα οργανικών συστημάτων καλλιέργειας, 10ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, 2006
- Σιμώνης, Α. Δ. 2002. Σύγχρονη Γεωργία: Ο ρόλος της επιστήμης και τεχνολογίας. Πρακτικά ΕΕΕ, 9ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. Αθήνα, 2002
- Χαϊντούτη Κ., Διαχείριση και προστασία εδαφικών πόρων, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2008
- Χαϊντούτη Κ., Διαχείριση περιβάλλοντος. Γ.Π.Α., Αθήνα, 2006
- Χαϊντούτη Κ., Σημειώσεις Γενικής εδαφολογίας, Γ.Π.Α., Αθήνα, 2006
- Χουλιαράς Κ, Νικ., Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Λάρισα, 2002
- [environmentunit-rci.org](http://environmentunit-rci.org)
- [go-outdoor.gr](http://go-outdoor.gr)
- [hiliomatis.wordpress.com](http://hiliomatis.wordpress.com)
- [http://alexeled.duth.gr/epek/komotini/pdf\\_53.pdf](http://alexeled.duth.gr/epek/komotini/pdf_53.pdf)
- <http://lsq.ucy.ac.cy/courses/epa175/epa175ecology.doc>
- <http://soco.jrc.ec.europa.eu>
- <http://soco.jrc.ec/documents/ELFactSheet-04.pdf>
- <http://www.earthrenew.com>
- [www.gscp.gr](http://www.gscp.gr)