

ΟΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΤΟΥ
ΖΑΦΕΙΡΗ Γ. ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ Α.Π.Θ.

Κάθε γνήσιο αντίτυπο υπογράφεται από το συγγραφέα

ISBN 960-431-580-3

© Copyright: Ζ. Παναζαφειρίου, Εκδόσεις Ζήτη, Δεκέμβριος 1999, Θεσσαλονίκη
 Η κατά οποιονδήποτε τρόπο και μέσο αναπαραγωγή, δημοσίευση ή χρησιμοποίηση
 όλου ή μερών του βιβλίου αυτού απαγορεύεται χωρίς την έγγραφη άδεια
 του συγγραφέα και εκδότη.



Φωτοστυλιολογείο
 - Εκτύπωση

Βιβλιοπωλείο

Π. ΖΗΤΗ & ΥΙΑ ΟΕ

18^ο χλμ. Θεσσαλονίκης-Περαιάς (Στροφή Πανάφου) ● Τ.Θ. 17057
 Θεσσαλονίκη 542 10 ● Τηλ. Fax (0592) 72 222 (5 γραμμές)

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενισαύλου 27 ● Τηλ. (031) 203 720
 Θεσσαλονίκη 546 35 ● Fax (031) 211 305

www.ziti.gr

e-mail: ziti@hyper.gr

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό είναι βασικό στοιχείο του κύκλου ζωής των φυτών. Νερό χρειάζεται για να φytρώσουν οι σπόροι, νερό είναι απαραίτητο για τη διεκπεραίωση όλων των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών και το νερό αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μεταφοράς των θρεπτικών στοιχείων και των προϊόντων φωτοσύνθεσης στα διάφορα μέρη του φυτού. Από πολύ νωρίς ο άνθρωπος διαπίστωσε ότι στα ξηρά κλίματα η πρόσθετη χορήγηση νερού, πέρα από αυτό που εξασφαλίζεται από τη φύση με τη μορφή βροχής, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής. Η με τεχνητά μέσα χορήγηση νερού στις καλλιέργειες είναι ιστορικά εξακριβωμένο ότι ήταν ήδη σε εφαρμογή από την 4η χιλιετία προ Χριστού στις περιοχές της Μεσοποταμίας, που εκτείνονταν στις πεδιάδες μεταξύ των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη, και του Δέλτα του ποταμού Νείλου στην Αίγυπτο, συντέλεσε δε τα μέγιστα στην ευημερία και την άνθηση του πολιτισμού τους. Στη σύγχρονη εποχή, η άρδευση γνώρισε τεράστια εξάπλωση από τα τέλη του 19ου αιώνα και μετά και συνέβαλε στην αλματώδη αύξηση της γεωργικής παραγωγής που ήταν αναγκαία για την κάλυψη των διατροφικών, και όχι μόνο, αναγκών του ραγδαία αυξανόμενου πληθυσμού της γης.

Η μεγάλη αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων στο πρόσφατο παρελθόν, η οποία συνεχίζεται και σήμερα με βραδύτερους ρυθμούς, ασκεί ισχυρότατη πίεση πάνω στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, επίγειους και υπόγειους. Η πίεση αυτή εντατικοποιείται ακόμη περισσότερο από την παράλληλη αύξηση της ζήτησης για οικιακή και βιομηχανική χρήση. Τη μερίδα του λέοντος στη χρήση νερού κατέχει η γεωργία, η οποία ανέρχεται περίπου στο 80% της συνολικής ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται στον πλανήτη μας. Το πρόβλημα εμφανίζεται περισσότερο οξύμενο σε ορισμένες περιοχές, λόγω της γεωγραφικής ανισοκατανομής των υδατικών πόρων.

Τη μεγαλύτερη πίεση έχουν δεχτεί οι υπόγειοι υδατικοί πόροι, η απόληψη νερού από τους οποίους γίνεται με εντονότερους ρυθμούς από αυτούς της επαναπλήρωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη βαθμιαία συρρίκνωση και, σε όχι λίγες περιπτώσεις, την παντελή καταστροφή τους. Ο υποβιβασμός της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων δημιουργεί επιπρόσθετα προβλήματα, όπως είναι η υφαλμύρωση του νερού υδροφορέων που γειτονεύουν με τη θάλασσα η οποία, πέρα από αυτή καθ'

εαυτή την ποιοτική υποβάθμιση του υδροφορέα, συντελεί και στην υποβάθμιση της γονιμότητας, και όχι μόνο, των εδαφών που δέχονται το νερό τους και, βέβαια, στην αύξηση του κόστους του νερού αφού η άντλησή του γίνεται από όλο και μεγαλύτερο βάθος.

Γενική είναι η διαπίστωση ότι η διαθεσιμότητα νερού έχει φτάσει στα όρια της και η μόνη ίσως εναλλακτική λύση που απομένει είναι η ανάπτυξη τεχνικών εξοικονόμησης, ώστε η ζήτηση να σταθεροποιηθεί στα σημερινά επίπεδα και, στις πιο προβληματικές περιπτώσεις, να περιοριστεί κάτω από τα επίπεδα αυτά. Μέσα στο πνεύμα αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει προωθηθεί αυτό που αποκαλούμε αειφορική γεωργία, η οποία είναι μια γεωργία που η ανάπτυξή της στηρίζεται σε τοπικούς και μόνο πόρους. Η εισαγωγή της αειφορικότητας θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε αναθεώρηση κάποιων σήμερα κρατούντων αντιλήψεων, όπως είναι η μετάπτωση από την αρχή της μεγιστοποίησης της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας γης σε αυτή της βελτιστοποίησης της παραγωγής ανά μονάδα διαθέσιμου νερού.

Αρχή της προσπάθειας για την εκλογίκευση της χρήσης νερού στη γεωργία πρέπει να αποτελέσει ο σαφής προσδιορισμός των σε νερό αναγκών των καλλιεργειών. Τα φυτά, όταν έχουν στη διάθεσή τους νερό χωρίς κανένα περιορισμό, καταναλώνουν ποσότητες οι οποίες ρυθμίζονται από τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που τα περιβάλλει. Αυτό οδηγεί στη μεγιστοποίηση της βλάστησης. Μεγιστοποιημένη βλάστηση δεν σημαίνει κατ' ανάγκη μεγιστοποιημένη απόδοση και, πολύ περισσότερο, βελτιστοποιημένη απόδοση, που είναι ένας όρος που εκφράζει τη μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος το οποίο προκύπτει από συνδυασμό ποιότητας και ποσότητας του κατά περίπτωση παραγόμενου προϊόντος. Είναι φανερό ότι η εμπορική γεωργία αποβλέπει στη μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος και, κατά συνέπεια, οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας θα πρέπει να προσδιορίζονται σαν αυτές που αποφέρουν το μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα. Ένα παράδειγμα, που αντλήθηκε από έναν ευρύ πειραματισμό με τεύτλα που έγινε στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, είναι πολύ διαφωτιστικό για την περίπτωση αυτή. Με τη σήμερα κρατούσα αντίληψη, όπως αυτή θα αναλυθεί στα σχετικά Κεφάλαια του συγγράματος αυτού, οι ανάγκες για νερό μιας καλλιέργειας εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αυτή, σύμφωνα με τον ορισμό της, όταν καλύπτεται πλήρως από το εδαφικό νερό, επιτυγχάνει τη μέγιστη ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Στα συγκεκριμένα πειράματα, η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας των τεύτλων υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman - Monteith, η οποία σήμερα θεωρείται ότι είναι η πιο ακριβής, και βρέθηκε ίση με 602 mm για όλη τη βλαστική περίοδο του 1995. Ένα πειραματικό χωράφι δέχτηκε το νερό αυτό, ενώ άλλα δέχτηκαν διαφορετικές ποσότητες, μεταξύ των οποίων και ένα που δέχτηκε 530 mm. Το χωράφι που δέχτηκε 602 mm νερού είχε απόδοση 10,9

τόνους τεύτλων ανά στρέμμα και αυτό που δέχτηκε 530 mm είχε απόδοση 10,34 τόνους. Η αντίστοιχη παραγωγή των δύο χωραφιών σε κρυσταλλική ζάχαρη ήταν 1.288 kg και 1.304 kg ανά στρέμμα. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι πράγματι τη “μέγιστη απόδοση” σε τεύτλα έδωσε το χωράφι που δέχτηκε νερό ίσο με την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (602 mm) ενώ το “μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα” έδωσε το χωράφι που δέχτηκε 530 mm νερού, επειδή τα τεύτλα του είχαν μεγαλύτερο ζαχαρικό τίτλο, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα οικονομία νερού 72 κυβικών μέτρων ανά στρέμμα. Δεδομένου ότι μέρος των σε νερό αναγκών των τεύτλων, ανερχόμενο σε 282 mm, καλύφθηκε από τη βροχή που έπεσε κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου και από το νερό που ήταν αποθηκευμένο στο έδαφος κατά τη σπορά, το νερό που δόθηκε με άρδευση στα δύο χωράφια ήταν 320 mm και 248 mm αντίστοιχα, η οικονομία δηλαδή σε νερό άρδευσης ήταν της τάξης του 23%.

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Κατά τα σήμερα κρατούντα, η εξατμισοδιαπνοή αυτή κατά το ένα σκέλος της βασίζεται στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς που καθορίζεται από κλιματικούς παράγοντες και, κατά το άλλο σκέλος, σε φυτικούς συντελεστές που προσδιορίζονται πειραματικά για κάθε στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, οι οποίες λογικά πρέπει να δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Διαφορετικά, δεδομένου ότι οι φυτικοί συντελεστές παραμένουν σταθεροί, θα προκύψουν διαφορετικές εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας. Για περισσότερα από 20 χρόνια, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογίζονταν με τη μέθοδο Penman που θεωρήθηκε ότι εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Εκτεταμένοι πειραματισμοί που έγιναν επί πολλά χρόνια σε διάφορα μέρη του κόσμου, αλλά και στη χώρα μας από τον υποφαινόμενο, έδειξαν τελικά ότι η μέθοδος αυτή υπερεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή περίπου κατά 30%. Δηλαδή, με άλλα λόγια, όταν οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών υπολογίζονται με τη μέθοδο αυτή, το νερό που δέχονται οι καλλιέργειες είναι κατά 30% παραπάνω από αυτό που χρειάζονται για την κανονική τους ανάπτυξη, οπότε και το δίκτυο μεταφοράς του νερού σχεδιάζεται να μεταφέρει κατά 30% περισσότερο από το αναγκαίο νερό, αυξάνοντας αντίστοιχα και το κόστος κατασκευής των έργων.

Όταν στο χωράφι δίνεται νερό ίσο σε ποσότητα με την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, η καλλιέργεια εξασφαλίζει την απρόσκοπτη ανάπτυξή της, με ότι σημαίνει αυτό. Έχει όμως αυτό πάντοτε σαν επακόλουθο μέγιστες ποσοτικά και ποιοτικά αποδόσεις; Είναι γνωστό π.χ. ότι οι παραγωγοί κεραιών πάντοτε φοβούνται μήπως βρέξει τις τελευταίες μέρες πριν τη συγκομιδή των καρπών γιατί αυτό θα έχει δυσάρεστες επιπτώσεις στην ποιότητά τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τα αμπέλια, ιδίως όταν πρόκειται για ποικιλίες επιτραπέζιων σταφυλιών. Στα τεύτλα, αν δώσουμε νερό 20-30 ημέρες πριν τη συγκομιδή τους μειώνεται δραστικά η περιε-

πτικότητα σε ζάχαρη. Στο βαμβάκι, απρόσκοπτη τροφοδοσία με νερό έχει σαν συνέπεια μεγάλη βλαστική ανάπτυξη και οψίμιση της ανθοφορίας και της ωρίμανσης των καρυδιών, με αποτέλεσμα να χάνεται πολλές χρονιές σημαντικό μέρος της παραγωγής λόγω έλευσης των ψυχρών και βροχερών ημερών του φθινοπώρου. Πέρα από τα παραδείγματα αυτά, όλες οι καλλιέργειες έχουν τις δικές τους ιδιαιτερότητες σε ότι αφορά το νερό, και στις ιδιαιτερότητες αυτές πρέπει να προσαρμόζεται η με άρδευση χορήγηση νερού για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος.

Νερό όμως δεν είναι πάντοτε διαθέσιμο σε επάρκεια κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η περιορισμένη διαθεσιμότητά του μπορεί να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη τη βλαστική περίοδο ή μπορεί να περιορίζεται μόνο σε κάποιο συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης. Ανάλογα με την περίπτωση, διαφορετικές θα είναι και οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών. Αλλά και οι επιπτώσεις ελλειμματικής διαθεσιμότητας νερού διαφέρουν και από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Άλλες από τις καλλιέργειες είναι λιγότερο ευαίσθητες, όπως είναι το σιτάρι –και άλλες περισσότερο ευαίσθητες– όπως είναι το καλαμπόκι. Όταν το διαθέσιμο νερό είναι ελλειμματικό, προκύπτει η ανάγκη του σωστού καταμερισμού του για να επιτευχθεί το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα. Ένας τέτοιος καταμερισμός πρέπει να βασίζεται στις ιδιαίτερες σχέσεις μεταξύ νερού και οικονομικής απόδοσης, που είναι χαρακτηριστικές της κάθε καλλιέργειας.

Τελευταίο αφέθηκε το θέμα της μεταφοράς και εφαρμογής του νερού στο χωράφι. Δυστυχώς, δεν βρέθηκε ακόμη τρόπος ώστε όλο το νερό που έχουμε στη διάθεσή μας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από τις υπό άρδευση καλλιέργειες. Νερό χάνεται τόσο κατά τη μεταφορά όσο και κατά την εφαρμογή του στο χωράφι. Το πόσο νερό θα χαθεί εξαρτάται από το είδος, την κατάσταση και τον τρόπο διαχείρισης του αρδευτικού δικτύου, τη μέθοδο άρδευσης και την εμπειρία του αρδευτή. Ανάλογα με το είδος, το επίπεδο συντήρησης και τον τρόπο διαχείρισης, οι απώλειες νερού κατά τη μεταφορά του μέσα από τους αγωγούς του αρδευτικού δικτύου κυμαίνονται από 10% στην καλύτερη περίπτωση μέχρι 80% στη χειρότερη. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και κατά την εφαρμογή του νερού στο χωράφι όπου, ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και την εμπειρία του αρδευτή, οι απώλειες νερού κυμαίνονται από 10% μέχρι 50% ή περισσότερο. Κάτω από τις υφιστάμενες συνθήκες μεταφοράς και εφαρμογής του νερού στην Ελλάδα, υπολογίζεται ότι στα επιφανειακά αρδευτικά δίκτυα, όπου εφαρμόζονται επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης, για κάθε ένα m^3 νερού που χρησιμοποιείται ωφέλιμα από τις καλλιέργειες δύο m^3 νερού χάνονται κατά μέσο όρο κατά τα στάδια μεταφοράς και εφαρμογής. Στα υπό πίεση αρδευτικά δίκτυα, όπου κατά κανόνα η άρδευση γίνεται με διάφορα συστήματα κατακονισμού και σε μικρότερη έκταση με σταγόνες, για κάθε ένα m^3 νερού που χρησιμοποιείται ωφέλιμα από τις καλλιέργειες αντιστοιχούν απώλειες μισού περίπου m^3 νερού.

Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω δείχνουν ότι μεγάλες ποσότητες νερού χάνονται γιατί δεν υπολογίζονται σωστά οι ανάγκες των καλλιεργειών, γιατί δεν γίνεται σωστός σχεδιασμός, συντήρηση και διαχείριση των αρδευτικών δικτύων, γιατί δεν γίνεται η εφαρμογή του νερού στο χωράφι με το σωστό τρόπο. Βελτίωση της επικρατούσας κατάστασης είναι απόλυτα αναγκαία για την εξοικονόμηση νερού γιατί, ενώ οι προς άρδευση εκτάσεις θα βαίνουν αυξανόμενες, οι διαθέσιμες ποσότητες νερού θα παραμείνουν σταθερές ή, σε τοπικό επίπεδο, θα μειωθούν. Δεν είναι καθόλου έξω από την πραγματικότητα να θεωρηθεί ότι με τον εκσυγχρονισμό των γηρασμένων αρδευτικών δικτύων, τη μεταφορά σύγχρονης επιστημονικής γνώσης στους γεωτεχνικούς που εμπλέκονται στον τομέα των εγγείων βελτιώσεων και την ανάλογη εκπαίδευση των αγροτών στην εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων άρδευσης, οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι μπορεί να επαρκέσουν για την άρδευση υπεδιπλάσιας της σημερινής έκτασης, με παράλληλη βελτίωση της ποσότητας και της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων και σημαντική μείωση του κόστους άρδευσης.

Το σύγγραμμα αυτό, βασισμένο στη σύγχρονη επιστημονική γνώση, έχει σαν κύριο σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των σε νερό αναγκών των καλλιεργειών όπως αυτές διαμορφώνονται μέσα στο συγκεκριμένο περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται, τη διαχείριση του νερού κατά την εξέλιξη της βλαστικής περιόδου και την αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου η προμήθεια νερού είναι ελλειμματική, αποσκοπώντας πάντοτε στην, κατά περίπτωση, βελτιστοποίηση της παραγωγής. Το σύγγραμμα αποτελείται από τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα που περιλαμβάνει τα Κεφάλαια 1 μέχρι 6, προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους που έχουν άμεση σχέση με την αποθήκευση και τη διακίνηση του εδαφικού νερού, αναλύεται η δυναμική κατάσταση της εδαφικής υγρασίας, προσδιορίζονται τα όρια που διαμορφώνουν τη διαθεσιμότητά της, αναλύονται οι νόμοι που διέπουν την κίνηση του εδαφικού νερού και της διείσδυσής του δια της επιφανείας του εδάφους, αναλύεται ο μηχανισμός πρόσληψης του εδαφικού νερού από τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος και της μεταφοράς του νερού από τις ρίζες προς τα φύλλα και, τελικά, προς την ατμόσφαιρα. Η δεύτερη ενότητα αποτελείται από τα Κεφάλαια 7 μέχρι 10, όπου αναλύονται οι κλιματικές παράμετροι που διέπουν το καθεστώς μεταφοράς του νερού από την καλλιέργεια προς την ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών, προσδιορίζεται η έννοια της εξατμισοδιαπνοής, αναλύονται οι άμεσοι τρόποι εκτίμησής της, αναλύονται οι μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και γίνεται η διερεύνηση των φυτικών συντελεστών κατά καλλιέργεια και στάδιο ανάπτυξης που, σε συνδυασμό μεταξύ τους, οδηγούν στον έμμεσο υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας. Η τρίτη ενότητα αποτελείται από τα Κεφάλαια 11, 12 και 13, όπου υπολογίζονται οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό άρδευσης, αναλύεται η έννοια της αρδευτικής αποδοτικότητας και του συντελεστή έκπλυσης, παρουσιάζονται οι διαδικασίες αρδευτικού προγραμματισμού, αναλύο-

νται οι σχέσεις διαπνοής -ξηρής φυτικής ουσίας, ξερής φυτικής ουσίας- οικονομικής απόδοσης, οικονομικής απόδοσης - εξατμισοδιαπνοής και παρουσιάζονται τρόποι εκτίμησης της απόδοσης των καλλιεργειών κάτω από καθεστώς ελλειμματικής άρδευσης.

Θεσσαλονίκη, 1999

ΖΑΦΕΙΡΗΣ Γ. ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Μέρος Πρώτο

ΕΛΔΑΦΟΣ, ΝΕΡΟ & ΦΥΤΟ

Κεφάλαιο 1 ΤΟ ΕΛΔΑΦΟΣ

1.1	Μερικά στοιχεία για τη γένεση και την εξέλιξη των εδαφών.....	3
1.2	Τα τέσσερα βασικά συστατικά του εδάφους	5
1.3	Η υφή του εδάφους	8
1.4	Η πυκνότητα του εδάφους.....	9
1.5	Το πορώδες του εδάφους	12
1.6	Η δομή του εδάφους	13
1.7	Τα οργανικά εδάφη	15
	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	17

Κεφάλαιο 2 Η ΕΛΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

2.1	Ορισμός της περιεχόμενης στο έδαφος υγρασίας.....	18
2.2	Το δυναμικό του εδαφικού νερού	20
2.3	Η χαρακτηριστική του εδαφικού νερού	22
2.4	Υστέρηση	26
2.5	Η υδατοϊκανότητα του εδάφους	28
2.6	Το σημείο μόνιμης μάρανσης.....	30
2.7	Η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους.....	31
	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	33

Κεφάλαιο 3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΛΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

3.1	Αρχές μέτρησης.....	35
3.2	Μέθοδοι μέτρησης της εδαφικής υγρασίας	36

3.3 Μέθοδοι μέτρησης του δυναμικού της εδαφικής υγρασίας	41
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	48

Κεφάλαιο 4 ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

4.1 Ο νόμος του Darcy	50
4.2 Μέτρηση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας	54
4.3 Μέτρηση της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας	58
4.4 Απλοποιημένες μορφές της εξίσωσης του Darcy	61
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	68

Κεφάλαιο 5 Η ΔΙΗΘΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

5.1 Βασικές έννοιες.....	70
5.2 Η εξίσωση του Richards.....	74
5.3 Προσεγγιστικές εξισώσεις.....	75
5.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των εδαφών.....	80
5.5 Μέτρηση της διηθητικότητας των εδαφών	87
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	92

Κεφάλαιο 6 ΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ Η ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

6.1 Παράγοντες που δαμορφώνουν το ριζικό σύστημα	95
6.2 Βιολογικοί παράγοντες	97
6.3 Εδαφοκαλλιεργητικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των καλλιεργείων	98
6.4 Η κίνηση του νερού στα φυτά.....	102
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	104

Μέρος Δεύτερο**ΝΕΡΟ, ΦΥΤΟ & ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ****Κεφάλαιο 7 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

7.1	Εισαγωγή	109
7.2	Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας	110
7.3	Ο άνεμος	117
7.4	Η ηλιακή ακτινοβολία	119
7.5	Ισοζύγιο ενέργειας	128
	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	132

Κεφάλαιο 8 Η ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

8.1	Εισαγωγή	134
8.2	Φυτικοί και εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	134
8.3	Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	138
8.4	Εξατμισοδιαπνοή υπό συνθήκες μερικής φυτοκάλυψης	142
8.5	Ιστορική ανασκόπηση και πρόσφατοι ορισμοί που έχουν σχέση με την εξατμισοδιαπνοή	145
8.6	Άμεση μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής	147
8.7	Έμμεσος υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής	153
	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	154

Κεφάλαιο 9 Η ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

9.1	Εξατμισοδιαπνοή και καλλιέργεια αναφοράς	158
9.2	Μέθοδοι Blaney-Criddle	162
9.3	Μέθοδος Makkink	168
9.4	Μέθοδοι Penman	169
9.5	Η συνδυασμένη μέθοδος Penman-Monteith	173
9.6	Μέθοδος του εξατμισοίμετρου	176
9.7	Αντιστοίχιση των άλλων μεθόδων προς τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith	179
9.8	Παραδείγματα υπολογισμού της E_T με επιλεγμένες μεθόδους	181
	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	192

Κεφάλαιο 10 ΟΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

10.1 Η έννοια του φυτικού συντελεστή.....	196
10.2 Βασικοί, προσαρμοσμένοι και μέσοι φυτικοί συντελεστές	197
10.3 Φυτικοί συντελεστές κατά FAO-24.....	200
10.4 Φυτικοί συντελεστές για τις ελληνικές συνθήκες	213
10.5 Αναθεωρημένοι φυτικοί συντελεστές κατά FAO.....	216
10.6 Εφαρμογή	228
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	229

Μέρος Τρίτο

ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Κεφάλαιο 11 ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

11.1 Κάλυψη των σε νερό αναγκών των καλλιεργειών.....	233
11.2 Χρήσιμη βροχή.....	236
11.3 Αποδοτικότητα άρδευσης	238
11.4 Έκπλυση των αλάτων από το έδαφος	248
11.5 Εφαρμογή	252
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	256

Κεφάλαιο 12 Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

12.1 Αρδευτικές παράμετροι	258
12.2 Προγραμματισμός των αρδεύσεων	268
12.3 Εφαρμογή προγράμματος άρδευσης με τη μέθοδο ισοζυγίου νερού.....	270
12.4 Μοντέλα διαχείρισης καλλιεργειών	276
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	280

Κεφάλαιο 13 Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

13.1 Εισαγωγή.....	282
13.2 Σχέσεις διαπνοής - αφομοίωσης	283
13.3 Σχέσεις διαπνοής - παραγωγής ξερής φυτικής ουσίας	285

13.4 Σχέσεις οικονομικής απόδοσης - παραγωγής ξερής φυτικής ουσίας.....	288
13.5 Σχέσεις οικονομικής απόδοσης - εξατμισοδιαπνοής	291
Βιβλιογραφία κεφαλαίου	311
Βιβλιογραφία	315
Ευρετήριο συγγραφέων	337
Ευρετήριο όρων.....	343

Μέρος Πρώτο

ΕΔΑΦΟΣ, ΝΕΡΟ & ΦΥΤΟ

Κεφάλαιο 1

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

1.1 ΜΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η επιφάνεια της γης καλύπτεται, σε πολύ μεγάλη έκταση, από ένα μανδύα χαλαρών υλικών που αποκαλείται **λιθόσφαιρα** (ή κατ' άλλους **ρεγόλιθος**). Ο μανδύας αυτός αλλού έχει ασημαντο βάθος και αλλού το βάθος του εκτείνεται σε εκατοντάδες μέτρα. Είναι κατ' εξοχή ετερογενής καθώς τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται από θέση σε θέση και, στην ίδια θέση, ανάλογα με το βάθος. Ο μανδύας αυτός σχηματίστηκε είτε από μεταφορά και απόθεση υλικών με το νερό, τον πάγο και τον αέρα, ή από επί τόπου αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Η πάνω ζώνη της λιθόσφαιρας βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα και η αποσάθρωσή της είναι σχετικά ταχεία. Στη ζώνη αυτή είναι έντονη η δράση διαδικασιών όπως η υδρόλυση, η οξειδωση, η διύγρυνση και η διάλυση. Όταν, σε κάποια φάση, εμφανιστεί ζωή με τη μορφή μικροοργανισμών και ανώτερων φυτών, προστίθεται οργανική ουσία πάνω και μέσα στην επιφανειακή στρώση της λιθόσφαιρας. Από το σημείο αυτό και μετά αρχίζει η δημιουργία του εδάφους. Στην πραγματικότητα, δεν μπορεί να δημιουργηθεί “κανονικό” έδαφος χωρίς την παρουσία και δράση κάποιας ποσότητας οργανικής ύλης.

Αν στο έδαφος γίνει μια εγκάρσια τομή, παρατηρείται μια κατά βάθος στρωμάτωση που, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι με σαφήνεια διακριτή. Μια τέτοια τομή λέγεται **εδαφικό προφίλ** και οι επί μέρους διακριτές στρώσεις αποκαλούνται **ορίζοντες**. Οι ανώτερες στρώσεις του εδαφικού προφίλ περιέχουν συνήθως σημαντική ποσότητα οργανικής ουσίας και, εξαιτίας της παρουσίας της, το χρώμα τους είναι σχετικά σκούρο. Όταν οι στρώσεις αυτές επεξεργαστούν και καλλιεργηθούν δίνουν γένεση σ' αυτό που ονομάζεται **επιφανειακό έδαφος**. Κάτω από αυτό υπάρχει το **υπέδαφος**, που είναι επίσης αποσπασμένο σε σημαντικό βαθμό και περιέχει σημαντικά μικρότερες ποσότητες οργανικής ουσίας. Οι στρώσεις του υπεδαφούς, ιδιαίτερα στα καλά σχηματισμένα εδάφη των υγρών περιοχών,

εμφανίζουν δύο διακριτές ζώνες, την ανώτερη ζώνη **μεταφοράς** και την κατώτερη ζώνη **συγκέντρωσης**. Στην δεύτερη, με την πάροδο του χρόνου, συγκεντρώνεται άργιλος, οξειδία του σιδήρου και του αργιλίου και ίσως και ανθρακικό ασβέστιο. Στις εύκρατες περιοχές, αθροιστικά το βάθος του επιφανειακού εδάφους και του υπεδάφους, κατά μέσο όρο, κυμαίνεται από 0,9 m μέχρι 1,2 m. Η κατώτερη ζώνη του υπεδάφους βαθμιαία ενώνεται με το λιγότερο διαβρωμένο τμήμα της λιθόσφαιρας το οποίο αποκαλείται **μητρικό υλικό**.

Το επιφανειακό έδαφος αποτελεί την κύρια ζώνη ανάπτυξης των ριζών των φυτών, περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των θρεπτικών για τα φυτά ουσιών και προμηθεύει ένα μεγάλο μέρος του νερού που χρησιμοποιούν αυτά για την ανάπτυξή τους. Είναι ένα δυναμικό σύνολο που υπόκειται σχετικά εύκολα σε μεταβολές. Η φυσική του κατάσταση μπορεί να τροποποιηθεί με τις διάφορες καλλιεργητικές εργασίες και την ενσωμάτωση οργανικών καταλοίπων. Μπορεί να λιπανθεί και να στραγγιστεί. Με άλλα λόγια, η γονιμότητά του και, σε μικρότερο βαθμό, η παραγωγικότητά του μπορεί να αναβαθμιστούν, να υποβαθμιστούν ή να σταθεροποιηθούν σε επιθυμητά κατά περίπτωση επίπεδα.

Η παραγωγικότητα ενός εδάφους καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό και από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους. Το υπεδάφος επηρεάζεται πολύ λιγότερο από τις όποιες επεμβάσεις στο χωράφι, εκτός από τη στράγγιση.

Η οργανική ουσία είναι συγκεντρωμένη κυρίως στο επιφανειακό έδαφος, αλλά και στη ζώνη αυτή η ποσότητά της είναι αναλογικά μικρή, συνήθως κυμαινόμενη σε ποσοστό κατά βάρος από 1% μέχρι 5-6%. Λόγω του μεγάλου ποσοστού της μάζας του εδάφους που αντιπροσωπεύουν τα ανόργανα συστατικά, τέτοια εδάφη αναφέρονται σαν **ορυκτά εδάφη**. Σε ορισμένες όμως περιοχές, όπως είναι τα έλη, τα τενάγη και γενικά οι υγρότοποι, οι συνθήκες που επικρατούν είναι τέτοιες που συντελούν στη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ύλης που μπορεί να φτάσει το 95%. Τα εδάφη αυτά αποκαλούνται **οργανικά εδάφη**.

Με βάση όσα αναπτύχθηκαν παραπάνω, σαν **έδαφος** μπορεί να χαρακτηριστεί ένα φυσικό σώμα που είναι ένα μείγμα από αποσαθρωμένα ορυκτά υλικά και αποσυντετημένη οργανική ουσία, καλύπτει σε λεπτή στρώση την επιφάνεια της γης, είναι πηγή προμήθειας θρεπτικών για τα φυτά ουσιών, είναι ένα περιβάλλον όπου αναπτύσσονται μύκητες, βακτήρια και άλλοι μικροοργανισμοί, εξασφαλίζει μια βάση στήριξης των φυτών και περιέχει και διακινεί νερό και αέρα που είναι απαραίτητα για τη διατήρηση και ανάπτυξη των φυτών. Η σχετική με τη γένεση και εξέλιξη των εδαφών βιβλιογραφία είναι, όπως κανείς μπορεί να περιμένει, πολύ εκτεταμένη. Πλήρης ανάπτυξη των θεμάτων αυτών έχει γίνει από καιρό. Κλασικά στον τομέα αυτό είναι τα συγγράμματα των Lyon et al. (1955), Comber (1960), Russell (1961) κ.ά.

1.2 ΤΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ένα τυπικό έδαφος αποτελείται από τέσσερα βασικά συστατικά που είναι τα ορυκτά υλικά, η οργανική ουσία, το νερό και ο αέρας. Η σχετική αναλογία τους διαφέρει από έδαφος σε έδαφος αλλά, και στο ίδιο έδαφος, από θέση σε θέση. Πολύ γενικά και απλοποιημένα, μπορεί να λεχθεί ότι το επιφανειακό έδαφος, όταν είναι ξερό, αποτελείται περίπου κατά 96% από ορυκτά υλικά και κατά 4% από οργανική ουσία. Οι αναλογίες αυτές είναι κατά βάρος. Μια τέτοια θεώρηση είναι ατελής γιατί αφήνει έξω το νερό και τον αέρα που διαδραματίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη δραστηριότητα ενός κανονικού εδάφους. Για το λόγο αυτό πιο πλήρης είναι η θεώρηση όταν η σύσταση του εδάφους εκφράζεται κατ' όγκο.

Για τη συνέχεια της διερεύνησης θα χρησιμοποιήσουμε ένα ιλουπηλώδες (μέσο) επιφανειακό έδαφος το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν αντιπροσωπευτικό. Ένα τέτοιο έδαφος, όταν βρίσκεται στη βέλτιστη κατάστασή του σε σχέση με τα φυτά, περιέχει κατ' όγκο περίπου 50% στερεά και 50% πόρους. Το ποσοστό των πόρων είναι μικρότερο του 50% στα αμμώδη εδάφη και μεγαλύτερο στα αργιλώδη. Από το 50% των στερεών, περίπου το 45% είναι ορυκτά και το 5% οργανικά υλικά. Όταν η υγρασία στο έδαφος αυτό είναι βέλτιστη, οι χώροι των πόρων καταλαμβάνονται κατά 25% περίπου από νερό και κατά 25% από αέρα. Βέβαια, κάτω από φυσικές συνθήκες, οι αναλογίες αυτές υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις.

Στο υπέδαφος οι συνθήκες είναι κάπως πιο συγκεχυμένες. Εκείνο που μπορεί να ειπωθεί με σχετική βεβαιότητα είναι ότι, σε σύγκριση με το επιφανειακό έδαφος, ο συνολικός όγκος και οι διαστάσεις των πόρων είναι σημαντικά μικρότερα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μικρότερη αναλογία οργανικής ουσίας που περιέχει. Επίσης, σε εδάφη που περιέχουν άργιλο, η προς τα κάτω μετακίνησή της τείνει να γεμίσει τους πόρους και, κάτω από ορισμένες συνθήκες, μπορεί να δημιουργήσει αδιαπέρατες στρώσεις στο υπέδαφος.

Η αρχική προέλευση των ανόργανων συστατικών ενός ορυκτού εδάφους είναι τα επιφανειακά πετρώματα της γης, όπως είναι οι ασβεστόλιθοι, οι γρανίτες, οι ψαμίτες και οι ασβεσίτες. Τα πετρώματα αυτά συμβάλουν τα μέγιστα στη σύνθεση της λιθόσφαιρας και, κατ' επέκταση, του μητρικού υλικού και αυτού του ίδιου του εδάφους. Γενικά, στα εδάφη απαντώνται δύο τύποι ορυκτών. Στον ένα ανήκουν αυτά που είναι ανθεκτικά και παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα σε σχέση με το αρχικό πέτρωμα, όπως π.χ. είναι ο χαλαζίας, και λέγονται **πρωτογενή**. Στον άλλο τύπο ανήκουν αυτά που σχηματίστηκαν από την αποσάθρωση των λιγότερο ανθεκτικών πετρωμάτων, όπως π.χ. είναι ο αιματίτης, ο γύψος, ο καολινίτης, και λέγονται **δευτερογενή**.

Οι διαστάσεις των ορυκτών σωματιδίων του εδάφους ποικίλουν και, ανάλογα με αυτές, τα σωματίδια χαρακτηρίζονται σαν **πολύ αδρά, αδρά, λεπτά και πολύ λεπτά**. Οι τρεις τελευταίες κατηγορίες απαρτίζουν κατά κύριο λόγο αυτό που απο-

καλείται **γεωργικό** έδαφος. Τα αδρά σωματίδια αποτελούνται από διάφορου μεγέθους **άμμους** που κατά κανόνα είναι χαλαζιακοί, μπορεί όμως να προέρχονται και από άλλα ορυκτά, όπως είναι η μίκα, ο μαγνητίτης κ.ά. και είναι όλα σχεδόν πρωτογενή. Τα λεπτά σωματίδια είναι οι ιλύες και έχουν κυρίως πρωτογενή προέλευση. Η **ιλύς**, κατά κάποιο τρόπο, μπορεί να θεωρηθεί σαν μικροσκοπική άμμος. Το εσωτερικό της είναι αδιάβρωτο, ενώ οι εξωτερικές ακανόνιστες επιφάνειές της έχουν ένα επίχρισμα από αργιλικό υλικό. Όταν η ιλύς είναι απαλλαγμένη από το επίχρισμα αυτό εμφανίζει πολύ μικρή πλαστικότητα, ελαστικότητα και προσροφητικότητα. Τα πολύ λεπτά σωματίδια είναι οι **άργιλοι** που, ακριβώς λόγω της μικροσκοπικότητάς τους, βρίσκονται σε κατ' εξαοχή κολλοειδή κατάσταση. Όταν είναι υγρές αποτελούν μια τυρβώδη και ζελατινώδη μάζα. Όταν είναι ξερές είναι σκληρές και έχουν μεγάλη συνοχή. Για τους λόγους αυτούς, τα ορυκτά της αργίλου προσδίδουν στο έδαφος σημαντικές φυσικές ιδιότητες, ενώ η ικανότητα προσέλκυσης ιόντων, που αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των περισσότερων κολλοειδών, έχει άμεση σχέση με τη συγκράτηση και διάθεση στα φυτά θρεπτικών ουσιών.

Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι ένα κανονικό ορυκτό έδαφος αποτελείται από ένα μείγμα σωματιδίων που διαφέρουν σε μέγεθος, σχήμα, χημική σύσταση, ορυκτολογική προέλευση, φυσικές και χημικές ιδιότητες. Η ομάδα ή ομάδες σωματιδίων που συνθέτουν ένα τέτοιο έδαφος καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά του, τη γονιμότητα και την παραγωγικότητά του.

Η βασική διαφορά μεταξύ ενός παραγωγικού επιφανειακού εδάφους και μιας μάζας ορυκτών σωματιδίων οσοδήποτε λεπτών οφείλεται στην οργανική ουσία που περιέχει το πρώτο. Η οργανική ουσία χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό τη φυσική κατάσταση των εδαφών, ιδίως των αργιλικών, προάγει την ικανότητα δημιουργίας συσσωματωμάτων, αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού, είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς του εδάφους και διευκολύνει την επεξεργασία του εδάφους για να δεχτεί την καλλιέργεια. Ακόμη, στην ουσία, όλο το άζωτο και μεγάλο μέρος του φωσφόρου και του θείου στο έδαφος είναι με τη μορφή οργανικών ενώσεων. Χωρίς την παρουσία οργανικής ουσίας η βιοχημική δραστηριότητα του εδάφους ουσιαστικά αναστέλεται.

Η οργανική ουσία του εδάφους χωρίζεται σε δύο ομάδες. Στη μια περιλαμβάνονται όλοι οι πρωτογενείς οργανικοί ιστοί και τα μερικώς αποσυντετημένα ισοδύναμά τους. Στην άλλη ομάδα ανήκει ο **χούμος**. Οι πρωτογενείς ιστοί είναι κυρίως φυτικής προέλευσης (ρίζες, βλαστοί και φύλλα ανώτερων φυτών, υπολείμματα μυκήτων και φυτοπλαγκτού κ.ά.) και, σε κάποιο περιορισμένο ποσοστό, ζωικής προέλευσης (σκουλίκια, πρωτόζωα και άλλοι παρόμοιοι οργανισμοί). Ο χούμος είναι το αποτέλεσμα της άμεσης και έμμεσης βιοχημικής αποικοδόμησης των πρωτογενών ιστών. Κατά τη διαδικασία σχηματισμού του παράγεται σε σημαντικές ποσότητες διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα νιτρικά και θειικά παράγωγα, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας που χρησιμοποιείται

ελεύθερα από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Από κοινού με άλλα υλικά σε κολλοειδή κατάσταση, ο χούμος εμφανίζει προσροφητική ικανότητα σε ασυνήθιστο βαθμό. Η ικανότητά του να έλκει και να συγκρατεί νερό, αέρια και ιόντα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της κολλοειδούς αργίλου. Η παρουσία ακόμη και μικρής ποσότητας χούμου αυξάνει κατακόρυφα τη δυναμική του εδάφους.

Το νερό, καθώς κυκλοφορεί μέσα στη μάζα των ορυκτών σωματιδίων και της αποσυντιθέμενης οργανικής ουσίας του εδάφους, μετατρέπεται σε ένα διάλυμα που περιέχει τουλάχιστον ίχνη από κάθε στοιχείο που είναι παρόν στο σύστημα. Το νερό και τα διαλυμένα σ' αυτό κατιόντα προσροφούνται με εντατικούς ρυθμούς από την τεράστια επιφάνεια των κολλοειδών του εδάφους. Στο σύστημα αυτό η συγκέντρωση των ιόντων είναι μεγαλύτερη κοντά στις κολλοειδείς επιφάνειες.

Η ποσότητα και σύνθεση του εδαφικού διαλύματος μεταβάλλονται σαν αποτέλεσμα της βροχής, της εξάτμισης, της διαπνοής, της στράγγισης και της απομάκρυνσης των θρεπτικών ουσιών από τα φυτά. Σε μια τέτοια κατάσταση, φυτά και μικροοργανισμοί πρέπει συνεχώς να προσαρμόζονται στις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες. Σαν κατακλείδα μπορεί να ειπωθεί ότι το εδαφικό διάλυμα είναι κάτι το μοναδικό, που με κανένα τρόπο δεν πρέπει να εκλαμβάνεται σαν συνηθισμένο νερό.

Ο αέρας του εδάφους δεν είναι μια απλή συνέχεια της ατμόσφαιρας. Δεν αποτελεί ένα συνεχές μέσο, ενώ μέρος του προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους και μέρος του διαλύεται στο εδαφικό νερό. Η σχετική του υγρασία, όταν το περιεχόμενο στο έδαφος νερό βρίσκεται στο βέλτιστο για τα φυτά επίπεδο, πλησιάζει το 100% και δημιουργεί πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μυκήτων, βακτηρίων και άλλων οργανισμών του εδάφους. Η σύνθεσή του δεν είναι ίδια με αυτή της ατμόσφαιρας. Το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχει είναι πολύ περισσότερο από αυτό του ατμοσφαιρικού αέρα, σαν αποτέλεσμα των διαδικασιών αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, ενώ το οξυγόνο βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα, που μπορεί να φτάσουν το 10-12% κατ' όγκο σε αντίθεση με το 20% της ατμόσφαιρας.

Ο αέρας του εδάφους χαρακτηρίζεται από ετερογένεια σε σχέση με τη θέση, την κίνηση και τη σύνθεση. Ένα μέρος του, που βρίσκεται σε στενή επαφή με τα στερεά του εδάφους, είναι πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα και σχεδόν ακίνητο. Το υπόλοιπο καταλαμβάνει τους κενούς χώρους των πόρων, μετακινείται ελεύθερα, περιέχει ικανοποιητική ποσότητα οξυγόνου και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα είναι μικρή. Κάθε μεταβολή της εδαφικής υγρασίας προκαλεί αντίστοιχη ποσοτική μεταβολή του περιεχομένου στο έδαφος αέρα, ενώ κάθε αύξηση ή μείωση της μικροβιακής δράσης προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα.

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το έδαφος είναι ένα δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο σύστημα του οποίου κατ'εξοχή

ενεργά είναι τα λεπτά συστατικά που είναι διασπαρμένα μέσα στη μάζα του και εκείνα που βρίσκονται σε άμεση επαφή με αυτά. Οι περισσότερες αντιδράσεις, φυσικές, χημικές και βιολογικές, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα συστατικά που βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή. Η άργιλος και ο χούμος, αναμιγμένα μεταξύ τους, συνθέτουν τη μεγάλη πλειοψηφία των κολλοειδών. Αυτά ενεργούν σαν καταλύτες που προάγουν τη δράση άλλων ουσιών, είναι όμως και αυτοενεργά. Ιδιαίτερα ο χούμος μπορεί να οξειδωθεί σε τέτοιο βαθμό που τελικά να εξαφανισθεί από το σύστημα. Οι κολλοειδείς ουσίες, σχεδόν αποκλειστικά, ελέγχουν και διαμορφώνουν την προσροφητικότητα, την πλαστικότητα και τη συνεκτικότητα του εδάφους. Τα χουμικά κολλοειδή είναι πιο ενεργά αλλά τα αργιλικά είναι πιο σταθερά και εξασφαλίζουν τη σχετική ισορροπία του συστήματος. Συνδυαζόμενα, ενεργούν με εκπληκτική ένταση και ταχύτητα.

1.3 Η ΥΦΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Συστηματοποιώντας τα όσα, γενικά και περιγραφικά, εκτέθηκαν παραπάνω, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε σαν **εδαφικά σωματίδια** τα ορυκτά στερεά που έχουν διάμετρο ≤ 2 mm. Υλικά με διάμετρο > 2 mm χαρακτηρίζονται σαν **χαλίκια**, είναι κατά κανόνα ανενεργά και δεν θεωρούνται ότι αποτελούν μέρος αυτού που χαρακτηρίζουμε σαν παραγωγικό έδαφος.

Τα εδαφικά σωματίδια (≤ 2 mm) ανάλογα με τη διάμετρό τους χαρακτηρίζονται σαν **άμμος, ιλύς, ή άργιλος**. Άμμος χαρακτηρίζονται τα εδαφικά σωματίδια που έχουν διάμετρο 2,00-0,05 mm, ιλύς αυτά που έχουν διάμετρο 0,05-0,002 mm και άργιλος αυτά που έχουν διάμετρο $< 0,002$ mm. Η λεπτομερής ταξινόμηση, μαζί με

Πίνακας 1.1 Τα χαρακτηριστικά των εδαφικών σωματιδίων

Χαρακτηρισμός	Διάμετρος, mm	Αριθμός σωματιδίων ανά g	Επιφάνεια σωματιδίων σε $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$
Άμμος	2,00-0,05		
πολύ χονδρή	2,00-1,00	90	11
χονδρή	1,00-0,50	720	23
ενδιάμεση	0,50-0,25	5.700	45
λεπτή	0,25-0,10	46.000	91
πολύ λεπτή	0,10-0,05	722.000	227
Ιλύς	0,05-0,002	5.776.000	454
Άργιλος	$< 0,002$	90.000.000	8.000.000

κάποια άλλα χαρακτηριστικά τους, δίνεται στον Πίνακα 1.1. Ο προσδιορισμός των αναλογιών των τριών αυτών κατηγοριών σωματιδίων σε ένα συγκεκριμένο έδαφος γίνεται με τη λεγόμενη **μηχανική ανάλυση**. Περιγραφή του τρόπου με τον οποίο γίνεται η μηχανική ανάλυση, μαζί με κάθε είδους συγκρίσεις, δίνεται από τους Piper (1944), Kilmer και Alexander (1949), Baver (1956) κ.ά.

Η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο προσδιορίζει τον **τύπο υφής** του. Έτσι, σαν υφή του εδάφους ορίζεται η ποσοστιαία αναλογία των διαφόρου μεγέθους ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος. Κατά το USDA Handbook 18 (1951), τα εδάφη διακρίνονται σε δώδεκα τύπους υφής και η κατάταξή τους γίνεται με τη βοήθεια του τριγώνου κατάταξης που δίνεται στο Σχήμα 1.1. Για πρακτικούς κυρίως λόγους, η περιγραφή της εδαφικής υφής μπορεί να γίνει πιο απλοποιημένα. Κατ' αυτή, τα εδάφη διακρίνονται σε **αμμώδη ή ελαφρά, σε πηλώδη ή μέσα** και σε **αργιλώδη ή βαριά ή συνεκτικά**. Η αντιστοιχία των τριών αυτών κατηγοριών με τους δώδεκα τύπους υφής δίνεται στον Πίνακα 1.2.

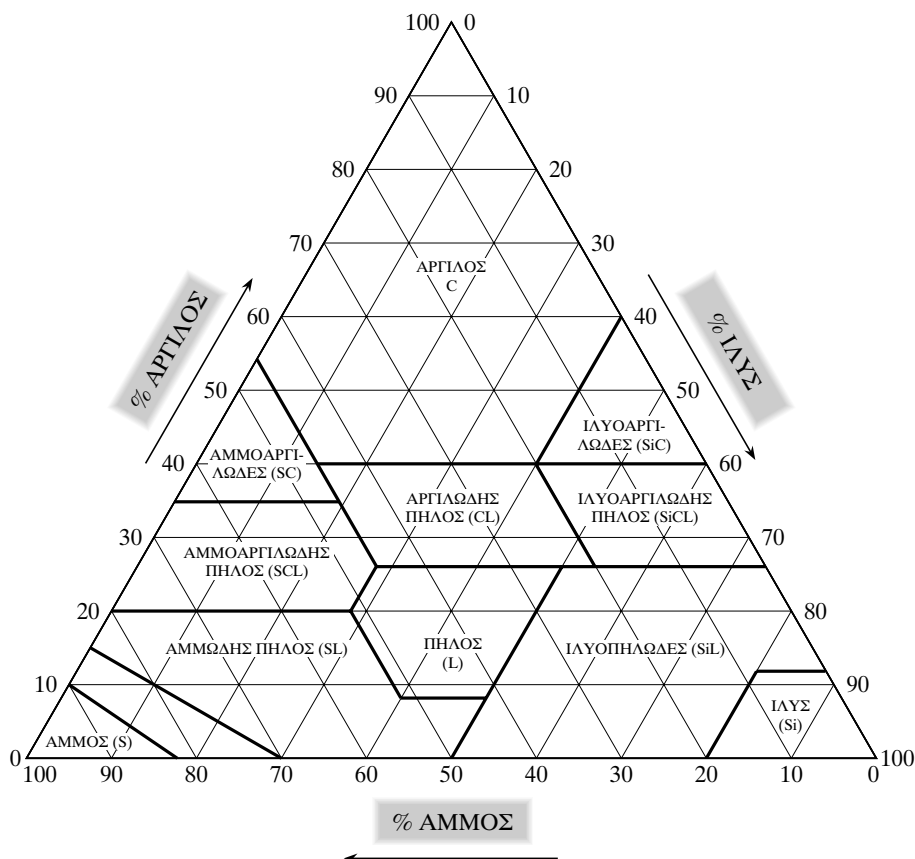
Πίνακας 1.2 Γενικές κατηγορίες εδαφών και αντίστοιχοι τύποι υφής

Κατηγορία	Αντίστοιχοι τύποι υφής
Αμμώδες ή ελαφρό	Άμμος, πηλώδης άμμος
Πηλώδες ή μέσο	Αμμώδης πηλός, Πηλός, Ιλοπηλώδες, Ιλύς, Αργιλώδης πηλός, Αμμοαργιλώδης πηλός, Ιλιοαργιλώδης πηλός.
Αργιλώδες ή βαρύ ή συνεκτικό	Αμμοαργιλώδες, Ιλιοαργιλώδες, Άργιλος

1.4 Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στο έδαφος διακρίνουμε δύο πυκνότητες. Η μια αναφέρεται μόνο στα στερεά σωματίδια και η δεύτερη στο έδαφος σαν σύνολο. Η πυκνότητα των εδαφικών σωματιδίων, που αποκαλείται **πραγματική πυκνότητα** ή και **πραγματικό ειδικό βάρος**, ρ_p , ορίζεται σαν η μάζα ή το βάρος της μονάδας όγκου των στερεών του εδάφους και εκφράζεται σε $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Η πυκνότητα αυτή, που δεν επηρεάζεται από τον τρόπο διευθέτησης των στερεών του εδάφους, παραμένει σταθερή ανεξάρτητα αν το έδαφος είναι χαλαρό ή συμπαγές. Οι πυκνότητες των ορυκτών σωματιδίων παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση, όμως στα περισσότερα ορυκτά εδάφη η δια-

κύμανση αυτή είναι μεταξύ $2,60$ και $2,75 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Γενικά, η αντιπροσωπευτική τιμή της πραγματικής πυκνότητας των επιφανειακών στρώσεων των γεωργικών εδαφών είναι $2,65 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Σχήμα 1.1 Τρίγωνο κατάταξης των εδαφών σε δώδεκα τύπους υφής κατά το USDA Handbook 18 (1951).

Τα παραπάνω διαφοροποιούνται από την παρουσία οργανικής ουσίας. Η οργανική ύλη έχει σημαντικά μικρότερο βάρος από ότι ίσος όγκος ορυκτών στερεών. Δεδομένου ότι το επιφανειακό έδαφος περιέχει περισσότερη οργανική ουσία, η πυκνότητα των στερεών του (ορυκτών + οργανικών) είναι μικρότερη από αυτή του υπεδάφους. Ορυκτά εδάφη που περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία έχουν πραγματική πυκνότητα $2,40 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ή και μικρότερη.

Η άλλη πυκνότητα προκύπτει αν θεωρήσουμε το έδαφος στο σύνολό του. Η πυκνότητα αυτή αποκαλείται **χονδρική** ή **φαινόμενη πυκνότητα** ή και **φαινόμενο ει-**

δικό βάρος, ρ_b , και ορίζεται σαν η μάζα ή το βάρος της μονάδας όγκου του ξηρού εδάφους, στον οποίο όγκο περιλαμβάνονται τόσο τα στερεά όσο και οι πόροι του εδάφους, εκφράζεται δε σε $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Δεδομένου ότι ένας συγκεκριμένος όγκος στερεών του εδάφους έχει μεγαλύτερο βάρος από ίσο όγκο εδάφους στον οποίο περιλαμβάνονται και οι πόροι, **η φαινομένη πυκνότητα είναι πάντοτε μικρότερη από την πραγματική**. Όταν ένα έδαφος συμπιεστεί αυξάνει η φαινομένη πυκνότητά του αφού η συμπίεση έχει σαν αποτέλεσμα ο ίδιος όγκος εδάφους να έχει περισσότερα στερεά.

Η φαινομένη πυκνότητα κάθε εδάφους καθορίζεται από την πυκνότητα των στερεών του καθώς και από τον τρόπο με τον οποίο αυτά είναι διευθετημένα. Η διευθέτηση αυτή αποκαλείται **εδαφική δομή**, για την οποία θα μιλήσουμε διεξοδικά στα επόμενα. Δεδομένου ότι η πυκνότητα των στερεών του εδάφους παραμένει σταθερή με το χρόνο (εκτός από την περίπτωση που η περιεχόμενη οργανική ουσία μεταβληθεί δραστικά), η διαφοροποίηση της φαινομένης πυκνότητας οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στη δομή του εδάφους. Τα αμμώδη εδάφη έχουν σχετικά μεγάλη φαινομένη πυκνότητα, γιατί παρουσιάζουν στενή επαφή μεταξύ των κόκκων τους και γιατί τα εδάφη αυτά είναι πτωχά σε οργανική ουσία. Αντίθετα, τα πιο συνεκτικά επιφανειακά εδάφη, όπως είναι τα ιλοσηλώδη, τα αργιλοπηλώδη και οι άργιλοι, έχουν μικρή φαινομένη πυκνότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα λεπτά σωματίδια τους δεν είναι τόσο κοντά μεταξύ τους επειδή σχηματίζουν μεγάλα συσσωματώματα που ενισχύονται και από τη μεγάλη περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία. Οι τιμές της φαινομένης πυκνότητας των επιφανειακών εδαφών κυμαίνονται μεταξύ $1 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ και $1,80 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Πιο κοντά στο κάτω όριο είναι η φαινομένη πυκνότητα των συνεκτικών εδαφών και στο άνω όριο οι τιμές των ελαφρών εδαφών.

Εδάφη της ίδιας υφής παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση των τιμών της φαινομένης πυκνότητάς τους, ακόμη και σε παρόμοιους εδαφικούς ορίζοντες. Επί πλέον, παρατηρείται η γενική τάση η φαινομένη πυκνότητα να αυξάνει με το βάθος του εδαφικού προφίλ σε, κατά τα άλλα, ομοιογενή εδάφη. Αυτό οφείλεται στη μείωση της οργανικής ουσίας με το βάθος, στον περιορισμό της συσσωμάτωσης, της διείσδυσης των ριζών και στη συμπίεση που προκαλείται από το βάρος των υπερκείμενων εδαφικών στρώσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου έχουμε καθοδική κίνηση αργίλου και οξειδίων σιδήρου και αργιλίου, παρατηρείται δημιουργία πολύ συμπυκνωμένων στρώσεων.

Ο τρόπος επεξεργασίας του εδάφους και οι άλλες καλλιεργητικές εργασίες επηρεάζουν τη φαινομένη πυκνότητα, κυρίως του επιφανειακού εδάφους. Η εντατική και μακροχρόνια καλλιέργεια συντελεί γενικά στην αύξηση της φαινομένης πυκνότητας του επιφανειακού εδάφους, αλλά και των βαθύτερων στρώσεων. Η προσθήκη οργανικής ουσίας ζωϊκής ή φυτικής προέλευσης και η ενσωμάτωσή της στο έδαφος συνεπάγεται μείωση της φαινομένης πυκνότητας.

1.5 ΤΟ ΠΟΡΩΔΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το πορώδες του εδάφους είναι εκείνο το τμήμα του που καταλαμβάνεται από τους πόρους που περιέχουν νερό και αέρα. Το μέγεθός του καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες δόμησης του εδάφους, δηλαδή από τη συντονισμένη επίδραση της υφής, της συμπίεσης και της συσσωμάτωσης. Παίρνοντας υπόψη τα όσα αναφέρθηκαν για την πραγματική, ρ_p , και τη φαινομένη, ρ_b , πυκνότητα, το πορώδες του εδάφους, f , μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$f = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (1.1)$$

Δεδομένου ότι η πραγματική πυκνότητα είναι σχεδόν σταθερή σε όλα τα ορυκτά εδάφη και ίση, κατά μέσο όρο, με $2,65 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, η σχέση (1.1) δείχνει ότι το πορώδες των αμμωδών εδαφών είναι μικρότερο του πορώδους των πιο συνεκτικών, αφού η φαινομένη πυκνότητα των πρώτων είναι μεγαλύτερη από αυτή των δεύτερων. Έτσι, για παράδειγμα, αν η φαινομένη πυκνότητα ενός αμμώδους εδάφους είναι $1,5 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ και ενός ιλυοπηλώδους $1,30 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, τα αντίστοιχα πορώδη θα είναι 43,4% και 50,9%. Γενικά, τα επιφανειακά ελαφρά εδάφη έχουν πορώδες από 35% μέχρι 50% και τα συνεκτικά από 40% μέχρι 60% ή και μεγαλύτερο όταν το ποσοστό της περιεχόμενης οργανικής ουσίας είναι μεγάλο και παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσσωμάτωσης. Το πορώδες περιορίζεται με το βάθος και μπορεί να φτάσει στο 25-30% σε ορισμένα συμπαγή υπεδάφη.

Οι πόροι, ανάλογα με το μέγεθός τους, μπορεί να χαρακτηριστούν σαν **μεγαπόροι** και **μικροπόροι**. Σαφής διαχωριστική γραμμή δεν μπορεί να χαραχθεί μεταξύ τους. Στους μεγαπόρους η κίνηση του νερού και του αέρα είναι εύκολη σε αντίθεση με τους μικροπόρους όπου η κίνηση του αέρα παρεμποδίζεται σε μεγάλο βαθμό και το νερό περιορίζεται σε μικρές μετακινήσεις. Έτσι, στα αμμώδη εδάφη, παρά το γεγονός ότι το ολικό πορώδες είναι μικρό, η κίνηση του νερού και του αέρα είναι ταχεία, γιατί στη δομή του επικρατούν οι μεγαπόροι. Αντίθετα, στα συνεκτικά εδάφη, παρά το ότι το ολικό πορώδες είναι μεγάλο, οι μετακινήσεις νερού και αέρα είναι πολύ περιορισμένες, λόγω της επικράτησης των μικροπόρων οι οποίοι συχνά παραμένουν γεμάτοι με σχεδόν στάσιμο νερό. Ο αερισμός, ιδιαίτερα των βαθύτερων εδαφικών στρώσεων, είναι συχνά ανεπαρκής, με συνέπεια τον περιορισμό της ανάπτυξης των ριζών και της μικροβιακής δραστηριότητας.

Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι ότι πιο σημαντικό για την κίνηση του νερού και του αέρα στα εδάφη είναι το μέγεθος των πόρων και όχι το ολικό πορώδες. Η χαλάρωση και η αύξηση των συσσωματωμάτων στα βαρεία εδάφη βελτιώνει τον αερισμό και την υδροπερατότητά τους, όχι γιατί αυξάνει το ολικό πορώδες αλλά επειδή μεγαλώνει η αναλογία των μεγαπόρων. Η συνεχής μακροχρόνια καλλιέργεια περιορίζει τόσο το ολικό πορώδες όσο και την αναλογία των μεγαπόρων του εδάφους.

1.6 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ένα έδαφος προσδιορίζεται τόσο από την υφή του όσο και από τον ιδιαίτερο τρόπο με τον οποίο διευθετούνται τα εδαφικά σωματίδια. Αυτός ο ιδιαίτερος τρόπος διευθέτησης, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, αποκαλείται **δομή** του εδάφους. Η δομή επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την κίνηση του νερού, τον αερισμό, τη φαινομένη πυκνότητα, το πορώδες και τη μεταφορά θερμότητας. Οι φυσικές μεταβολές που επέρχονται στο έδαφος από την επεξεργασία του και τις άλλες καλλιεργητικές εργασίες είναι κατά κύριο λόγο δομικές.

Ένα εδαφικό προφίλ μπορεί να κυριαρχείται από ένα και μόνο τύπο δομής. Συνηθέστερα όμως παρουσιάζεται μια διαφοροποίηση από οριζόντα σε οριζόντα. Στα εδάφη διακρίνονται τέσσερις βασικοί τύποι δομής. Οι τύποι αυτοί είναι ο **πλακοειδής**, ο **πριμοειδής**, ο **κυβοειδής** και ο **σφαιροειδής**.

Στον πλακοειδή τύπο τα εδαφικά συσσωματώματα είναι διευθετημένα σε λεπτές οριζόντιες πλάκες ή φακούς. Ο τύπος αυτός εμφανίζεται κατά κανόνα στις επιφανειακές στρώσεις των παρθένων εδαφών, συναντάται όμως και στους βαθύτερους εδαφικούς οριζώντες. Σε εδάφη που η δομή τους κυριαρχείται από τον πλακοειδή τύπο δομής, η οριζόντια μετακίνηση νερού και αέρα είναι σχετικά ικανοποιητική ενώ είναι ανεπαρκής στην κατακόρυφη διεύθυνση.

Ο πριμοειδής τύπος χαρακτηρίζεται από μια κατακόρυφη διευθέτηση των συσσωματωμάτων του εδάφους. Οι επιμήκεις πριμοειδείς στήλες που σχηματίζονται διαφέρουν σε μήκος στα διάφορα εδάφη και έχουν διάμετρο που μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 15 cm. Ο τύπος αυτός εμφανίζεται συνήθως στους βαθύτερους οριζώντες των εδαφών ξηρών και ημιξηρών περιοχών και η κατακόρυφη διακίνηση του νερού και του αέρα γίνεται χωρίς προσκόμματα.

Στον κυβοειδή τύπο τα αρχικά συσσωματώματα είναι χονδρικά διαμορφωμένα σε κύβους με ακανόνιστες επιφάνειες, όπου οι ακμές τους έχουν μήκος από 1 cm μέχρι 10 cm. Ο τύπος αυτός περιορίζεται κυρίως το υπέδαφος. Η διακίνηση νερού και αέρα γίνεται σχετικά εύκολα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Στο σφαιροειδή τύπο δομής κατατάσσονται όλα τα εδάφη που αποτελούνται από σφαιρικά συσσωματώματα, αν και ο όρος αναφέρεται κυρίως σε αυτά που έχουν διάμετρο μικρότερη από 1,25 cm. Η διάταξη των συσσωματωμάτων είναι χαλαρή και εύκολα διαλύονται. Ο τύπος αυτός είναι χαρακτηριστικός πολλών επιφανειακών εδαφών, ιδίως αυτών που είναι πλούσια σε οργανική ουσία, και είναι ο μόνος που εύκολα επηρεάζεται από εξωτερικά αίτια, όπως είναι ο τρόπος επεξεργασίας του εδάφους και οι άλλες καλλιεργητικές εργασίες που γίνονται στα καλλιεργούμενα χωράφια.

Ένα εδαφικό προφίλ απαρτίζεται συνήθως από δύο ή περισσότερους τύπους δομής. Σε υγρές περιοχές, η συνήθης δόμηση του εδάφους περιλαμβάνει τον σφαιρικό τύπο στις επιφανειακές στρώσεις και κάποια μορφή του κυβοειδούς ή πλακο-

ειδούς τύπου στις υποκειμένες στρώσεις. Σε ξηρές περιοχές, ο κυβοειδής τύπος αντικαθίσταται από τον πριμοειδή.

Πολλοί παράγοντες παίρνουν μέρος στο σχηματισμό των εδαφικών συσσωματωμάτων. Οι πιό σημαντικοί από αυτούς είναι:

- (1) οι εναλλαγές ύγρανσης και ξήρανσης του εδάφους,
- (2) η μηχανική ενέργεια που ασκείται από τις ρίζες των φυτών και τη δράση των γαιοσκολήκων,
- (3) η επίδραση της αποσυντιθέμενης οργανικής ουσίας και των μεταβολικών αποβλήτων των μικροοργανισμών και των άλλων μορφών ζωής του εδάφους,
- (4) οι αλλαγές που προκύπτουν από την προσρόφηση βάσεων και
- (5) κάθε άλλη δράση που εξωθεί σε μεταξύ τους επαφή τα εδαφομόρια.

Χωρίς καμία αμφιβολία, ο σημαντικότερος παράγοντας που ευνοεί τη συσσωμάτωση είναι η οργανική ουσία, ιδίως κατά το στάδιο της αποσύνθεσης και της μετατροπής της σε χούμο, που ενεργεί συγκολλητικά και διευρύνει τα συσσωματώματα. Οι ηλεκτροχημικές ιδιότητες του χούμου και της αργίλου συντελούν στην οργάνωση και μετέπειτα σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων. Η οργανική ύλη συντελεί ακόμη στον περιορισμό της πλαστικότητας και της συνεκτικότητας της εδαφικής μάζας, δηλαδή επηρεάζει καθοριστικά τη δράση της αργίλου. Στην ουσία, σε ένα αργιλικό έδαφος, συσσωμάτωση δεν είναι νοητή χωρίς την παρουσία κάποιας ποσότητας χούμου. Έτσι, η διατήρηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος έχει μεγάλη πρακτική σημασία, όχι μόνο από χημική και βιολογική άποψη αλλά και από φυσική.

Ένα χαρακτηριστικό των κολλοειδών ουσιών του εδάφους, ορυκτών και οργανικών, είναι η ικανότητα προσρόφησης κατιόντων. Η επικράτηση κάποιων από τα κατιόντα αυτά ευνοεί ή καταστρέφει τη συσσωμάτωση. Το ασβέστιο και λιγότερο το μαγνήσιο είναι από αυτά που ευνοούν σημαντικά το σχηματισμό των συσσωματωμάτων και η προσθήκη τους στο έδαφος, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, συντελεί στη βελτίωση της δομής του. Στον αντίποδα βρίσκονται τα κατιόντα του νατρίου που καταστρέφουν τα συσσωματώματα και όταν η συγκέντρωσή τους είναι μεγάλη προκαλούν την ολοκληρωτική κατάρρευση της δομής.

Οι ρίζες των φυτών ευνοούν τη συσσωμάτωση ενεργώντας μηχανικά κατά τη διείσδυσή τους στο έδαφος αλλά και εμπλουτίζοντας το έδαφος με οργανική ουσία μετά τη νέκρωσή τους. Η εναλλαγή ύγρανσης και ξήρανσης ενεργεί μηχανικά και συντελεί στη χαλάρωση του εδάφους. Το όργωμα και κάποιες άλλες καλλιεργητικές εργασίες συντελούν στη χαλάρωση και τον καλύτερο αερισμό του εδάφους, προκαλούν ανάμιξη της οργανικής ουσίας με τα ορυκτά συστατικά και, γενικά, κάνουν πιο ευνοϊκές τις συνθήκες δράσης εκείνων των φυσικών δυνάμεων που προκαλούν τη συσσωμάτωση.

Τα χωράφια που καλλιεργούνται επί μακρό χρονικό διάστημα παρουσιάζουν μια μείωση των εδαφικών συσσωματωμάτων. Αυτό οφείλεται στον περιορισμό της

οργανικής ουσίας και σε μηχανικά αίτια, όπως είναι η συμπίεση του εδάφους που συνεπάγεται αύξηση της φαινομένης πυκνότητας και περιορισμό των μεγαπόρων του εδάφους. Η αποφυγή αυτών των δυσμενών συνεπειών μπορεί να γίνει με τον αποτελεσματικό έλεγχο της οργανικής ουσίας και με καλλιεργητικές πρακτικές που συντηρούν τα συσσωματώματα ή περιορίζουν στο ελάχιστο την καταστροφή τους.

1.7 ΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Τα εδάφη στα οποία αναφερθήκαμε μέχρι τώρα αποτελούνται κυρίως από ορυκτά συστατικά και μια μικρή ποσότητα οργανικής ουσίας. Τα εδάφη αυτά λέγονται **ορυκτά**. Σε ένα τέτοιο έδαφος, η οργανική ουσία μπορεί να βρίσκεται σε ίχνη ή να φτάνει μέχρι ποσοστό 15-20%. Σε ορισμένα όμως εδάφη το ποσοστό της οργανικής ουσίας είναι πολύ μεγάλο, που ξεκινάει από 20% και μπορεί να φτάσει το 90-95%. Τα εδάφη αυτά αποκαλούνται **οργανικά**. Η έκταση που καταλαμβάνουν τα οργανικά εδάφη σε σχέση με τα ορυκτά είναι πολύ περιορισμένη όμως, ορισμένα από αυτά, είναι κατ' εξοχή γόνιμα και προσφέρονται για εντατική εκμετάλλευση.

Έλη, τενάγη και άλλοι υγρότοποι αποτελούν τους τόπους γένεσης των οργανικών εδαφών. Το περιβάλλον μέσα στα όρια των περιοχών αυτών είναι πολύ ευνοϊκό για την ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας υδροχαρών φυτικών ειδών. Τα φυτά σε αναρίθμητες γενιές ζουν, πεθαίνουν και βυθίζονται στο νερό μέσα στο οποίο έχουν αναπτυχθεί. Το νερό δεν επιτρέπει την επαφή τους με τον ατμοσφαιρικό αέρα, περιορίζει την οξειδωσή τους και ενεργεί κατά κάποιον τρόπο σαν συντηρητικό. Η αποσύνθεση των φυτικών ιστών, σε όποιο βαθμό συντελείται, γίνεται μέσω της δράσης των μυκήτων, των μικροφυκών, των αναερόβιων βακτηρίων και ορισμένων ειδών μικροσκοπικών υδρόβιων ζώων. Όλα αυτά μαζί προκαλούν τη διάσπαση της οργανικής ουσίας, απελευθερώνουν διάφορα αέρια και βοηθούν στο σχηματισμό του χούμου. Καθώς η διαδικασία αυτή προχωρεί, ο οργανική μάζα παίρνει χρώμα καφετί ή και μαύρο. Αν η αποσύνθεση προχωρήσει αρκετά, η μάζα αυτή των οργανικών υλικών αποκτά τέτοια χαρακτηριστικά που δικαιολογούν το χαρακτηρισμό της σαν οργανικού εδάφους.

Καθώς η μια γενιά φυτών διαδέχεται την άλλη, στρώση με τη στρώση, τα οργανικά κατάλοιπα αποθηκεύονται στον πυθμένα των ελών και των τεναγών. Η σύνθεση των αποτιθέμενων στρώσεων μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου σε συνάρτηση με τη διαδοχή των φυτικών ειδών που αναπτύσσονται. Η διαδοχή αυτή δεν παρουσιάζει καμιά κανονικότητα, καθώς μια μικρή κλιματική μεταβολή ή διακύμανση της στάθμης του νερού μπορεί να ανατρέψει άρδην τη σύνθεση των αναπτυσσόμενων φυτικών ειδών. Για τους παραπάνω λόγους, το προφίλ μιας οργανικής απόθεσης χαρακτηρίζεται από στρώσεις που διαφέρουν ως προς τη σύνθεση των φυτικών ιστών και το βαθμό αποσύνθεσής τους. Οι στρώσεις αυτές αργότερα

μπορεί να μετεξελιχθούν σε εδαφικούς ορίζοντες.

Ανάλογα με το ποσοστό της οργανικής ουσίας και το βαθμό αποσύνθεσης, τα οργανικά εδάφη χαρακτηρίζονται σαν **χουμώδη** ή **τυρφώδη**. Κατά μια θεώρηση, στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οργανικά εδάφη των οποίων η αποσύνθεση έχει συντελεστεί σε μεγάλο βαθμό και στη δεύτερη αυτά που η αποσύνθεση είναι ατελής. Κατά μια άλλη θεώρηση, στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά που περιέχουν οργανική ουσία σε ποσοστό από 20% μέχρι 50% και στη δεύτερη από 50% και άνω, ανεξάρτητα από το βαθμό αποσύνθεσης. Αυτό που στην πράξη έχει επικρατήσει είναι ένας συγκερασμός των παραπάνω έτσι που χουμώδες να θεωρείται ένα έδαφος που περιέχει οργανική ουσία σε ποσοστό 50% σε προχωρημένο βαθμό αποσύνθεσης και τυρφώδες να θεωρείται εκείνο που περιέχει οργανική ουσία σε ποσοστό > 50% που βρίσκεται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης.

Τα χουμώδη εδάφη είναι εξαιρετικά τόσο από την άποψη της γονιμότητας όσο και από την άποψη των φυσικών ιδιοτήτων τους, λόγω και της παρουσίας ορυκτών υλικών σε αναλογία $\geq 50\%$. Αυτά τα οργανικά εδάφη είναι σχετικά περιορισμένα στη φύση, στην οποία επικρατούν τα τυρφώδη. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που τα διακρίνουν είναι το χρώμα, η πυκνότητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού και η δομή.

Το χρώμα ενός τυπικού καλλιεργούμενου τυρφώδους εδάφους είναι το βαθύ καφέ που γίνεται έντονα μαύρο όταν είναι υγρό. Αυτό είναι το χαρακτηριστικό που προσελκύει αμέσως την προσοχή. Το επόμενο χαρακτηριστικό είναι το μικρό βάρος των τυρφωδών εδαφών όταν είναι ξερά. Η φαινομένη πυκνότητά τους κυμαίνεται από 0,3% μέχρι 0,2 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ή και παρακάτω, σε αντίθεση με ένα μέσο ορυκτό έδαφος του οποίου η πυκνότητα είναι κατά μέσο όρο 1,35-1,45 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Το τρίτο χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Η ικανότητα αυτή είναι ίσως και 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ορυκτών εδαφών. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με το νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Το νερό αυτό συγκριτικά δεν διαφέρει σημαντικά από αυτό των ορυκτών εδαφών, επειδή τα τυρφώδη εδάφη συγκρατούν πολύ ισχυρά το νερό που περιέχουν. Το τέταρτο διακριτό χαρακτηριστικό των τυρφωδών εδαφών είναι η δομή τους, που μπορεί να είναι **ξυλώδης** αν το μητρικό τους υλικό αποτελείται από υπολείμματα κορμών δένδρων ή **ινώδης** αν το μητρικό υλικό αποτελείται από υπολείμματα διαφόρων ινωδών υδροχαρών φυτών χαμηλής βλάστησης.

Γενικά, ένα καλής ποιότητας τυρφώδες έδαφος έχει ανοικτό πορώδες και καλλιεργείται εύκολα. Κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων, λόγω της ελαφρότητας και της χαλαρής σύνθεσης, η τύρφη μπορεί να παρασυρθεί από ισχυρούς ανέμους και να προκληθούν σοβαρές ζημιές στις καλλιεργείες. Είναι σχετικά εύφλεκτη και, όταν αναφλεγεί, η καύση μπορεί να διαρκέσει επί μακρό χρόνο, με αποτέλεσμα τον περιορισμό ή ακόμη και την ολική καταστροφή του γεωργικού εδάφους.

Η αξία ενός τυρφώδους εδάφους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, ο

σπουδαιότερος από τους οποίους είναι η δυνατότητα στράγγισης και γενικότερα, η δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης του νερού. Με τη στράγγιση υποβιβάζεται η υπόγεια στάθμη σε επίπεδο που εξασφαλίζει ικανοποιητικό αερισμό των ριζών των φυτών κατά τη βλαστική περίοδο. Η ανύψωση ή ο υποβιβασμός της υπόγειας στάθμης, κατά περίπτωση, μπορεί να ρυθμίζεται έτσι που να επιτυγχάνεται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο η ικανοποίηση των σε νερό αναγκών των καλλιεργειών. Αν το κόστος των έργων με τα οποία θα επιτευχθούν τα παραπάνω είναι απαγορευτικά υψηλό, η περιοχή δεν μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για γεωργική χρήση.

Κατά τα πρώτα έτη από την ενεργοποίηση της στράγγισης και την εγκατάσταση των καλλιεργειών, τα τυρφώδη εδάφη παρουσιάζουν μεγάλη συνίζηση (κατακάθισμα), που μπορεί να συνεχιστεί και στο μέλλον, αν και με βραδύτερους ρυθμούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό του βάθους του εδάφους, που ενίοτε δεν είναι ικανοποιητικό για την υποστήριξη των καλλιεργειών, και η έκταση χάνει την αξία της σαν γεωργική γη. Τέλος, η ποιότητα της τύρφης είναι πολύ σημαντική όχι μόνο σε σχέση με το βαθμό αποσύνθεσης αλλά και σε σχέση με τη φύση του αρχικού φυτικού υλικού. Η τύρφη με ξυλώδη δομή θεωρείται σαν υλικό πολύ υψηλής αξίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baver, L.D., 1956. Soil physics (3rd Ed.). John Wiley and Sons. N.Y.
- Comber, E.W., 1960. An introduction to the scientific study of the soil (4th Ed. Revised by W.N. Townsend), Arnold, London.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander, 1949. Methods of making mechanical analyses of soils. Soil Sci., 68(15).
- Lyon, T.L., H.O. Buckman and N.C. Brady, 1955. The nature and properties of soils (4th Print.) MacMillan Co., N.Y.
- Piper, C.S., 1944. Soil and plant analyses. Interscience Publ., London.
- Russell, E.D., 1961. Soil conditions and plant growth (9th Ed.) Longmans, London.
- U.S.D.A., 1951. Soil survey manual. Handbook 18, Gov't Print. Of., Washington D.C.