

ΤΟ ΔΑΣΟΣ

Μια Ολοκληρωμένη Προσέγγιση

Επιμέλεια: Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου, Γεώργιος Καρέτσος,
Γεώργιος Κατσαδωράκης

Επιστημονική Επιμέλεια Έκδοσης: Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου,
Γεώργιος Καρέτσος, Γεώργιος Κατσαδωράκης

Συντονισμός Έκδοσης: Ευαγγελία Κορακάκη, Ηλίας Τζηρίτης

Γλωσσική Επιμέλεια: Αριάδνη Χατζηανδρέου

Φωτογραφία εξώφυλλου: © WWF Ελλάς/Andrea Bonetti

Σχεδιασμός-Παραγωγή: ΚΕΘΕΑ Σχήμα-Χρώμα

ISBN: 978-960-7506-28-3

Copyright: WWF Ελλάς

Προτεινόμενη αναφορά: Όνομα συγγραφέα-ων. 2012. Τίτλος κεφαλαίου.
Σελ. 000-000 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης
(επιμ. έκδοση). Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση.
WWF Ελλάς, Αθήνα.

Το βιβλίο έχει τυπωθεί σε χαρτί Soporset Premium Offset/100 gr
πιστοποιημένο κατά FSC (Cert. no SW-COC-1783).

Διατίθεται δωρεάν και απαγορεύεται οποιαδήποτε εμπορική χρήση.

Η παρούσα έκδοση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος
«Το Μέλλον των Δασών», με την συγχρηματοδότηση των κοινωφελών
ιδρυμάτων Ι.Σ. Λάτση, Α.Γ. Λεβέντη και Μποδοσάκη, καθώς και με την
υποστήριξη ιδιωτών.


Κοινοφελές Ίδρυμα
Ιωάννη Σ. Λάτση




ΙΔΡΥΜΑ ΜΠΟΔΟΣΑΚΗ

6. Το έδαφος στα δάση

Παναγιώτης Μιχόπουλος, Αναστάσιος Οικονόμου

Τα δασικά εδάφη αποτελούν πολύτιμο φυσικό πόρο των χερσαίων οικοσυστημάτων. Ο μεγάλος χρόνος δημιουργίας τους αποδεικνύει και τη δυσκολία ανανέωσης στην περίπτωση διατάραξής τους. Η δασική εδαφολογία αποτελεί πλήρη επιστημονικό κλάδο και μία περίληψή της αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολο έργο. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες έννοιες της δασικής εδαφολογίας, με εστίαση, βέβαια, στην ελληνική πραγματικότητα.

Λέξεις κλειδιά: δασικά εδάφη, πέτρωμα, ιδιότητες εδαφών, θρεπτικά στοιχεία, κλιματική αλλαγή

Τι είναι το δασικό έδαφος;

Έδαφος είναι το χαλαρό υλικό της επιφάνειας της γης όπου τα φυτά αναπτύσσονται. Αυτός είναι ο πλέον απλός και σύντομος ορισμός του εδάφους. Ένας ευρύτερος ορισμός ορίζει το έδαφος ως το χαλαρό υλικό (ανόργανο και οργανικό) της γης που υπόκειται και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως το μητρικό υλικό (πέτρωμα), το κλίμα, οργανισμούς παντός είδους, την τοπογραφία και το χρόνο στον οποίο οι προηγούμενοι παράγοντες άσκησαν την επίδρασή τους (SSSA 1973). Στη γεωργία ο άνθρωπος επηρεάζει το έδαφος σε μεγάλο βαθμό με την καλλιέργειά του (όργωμα, λίπανση κ.λπ.). Αντίθετα, τα δασικά εδάφη επηρεάζονται κυρίως από δασοκομικούς χειρισμούς και σε ορισμένες περιπτώσεις από λιπάνσεις, κυρίως σε ταχυνυξείς συστάδες (φυτείες). Το κύριο χαρακτηριστικό των δασικών εδαφών είναι ο δασικός τάπητας που προέρχεται από τη φυλλάδα και άλλα νεκρά υλικά των δένδρων. Σε ένα γεωργικό έδαφος ο τάπητας απουσιάζει, εξαιτίας της επεξεργασίας του εδάφους από τον άνθρωπο. Ωστόσο, και για τα δασικά εδάφη υπάρχουν διαφορετικές απόψεις από τους εμπλεκόμενους. Στη δασοπονία το έδαφος είναι ο φυσικός πόρος, ενώ τα δένδρα είναι απλώς η σοδειά. Για τη δασική οικολογία το έδαφος είναι ένα από τα σπουδαιότερα συστατικά των δασικών οικοσυστημάτων, καθώς συμμετέχει στη σταθερότητα και δυναμική τους.

Γένεση των δασικών εδαφών

Τα δασικά εδάφη δημιουργούνται από τα πετρώματα της επιφάνειας της γης. Η δημιουργία αυτή είναι πολύ αργή και διαρκεί εκατοντάδες χρόνια. Η αρχική διεργασία είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η αποσάθρωση είναι ταυτόχρονα καταστροφή του αρχικού υλικού και σύνθεση νέου. Η πρώτη φάση αποτελείται από τη θραύση των πετρωμάτων με την επίδραση φυσικών δυνάμεων όπως θερμότητας, πάγου, νερού και ανέμου. Η δεύτερη αποτελείται από χημικές διεργασίες. Οι χημικές διεργασίες αρχίζουν με τη δράση του νερού και, στη συνέχεια, με την επίδραση του ανθρακικού οξέος που δημιουργείται από τη διάλυση του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα προέρχεται είτε από την ατμόσφαιρα είτε από την αναπνοή των μικροοργανισμών και των ριζών στο έδαφος. Νερό και ανθρακικό οξύ αντιδρούν χημικά με τα πετρώματα, αλλάζουν τη σύνθεσή τους και δημιουργούν νέα ορυκτά. Όσο ανθεκτικό είναι ένα πέτρωμα στη χημική αποσάθρωση, τόσο λιγότερες νέες συνθέσεις δημιουργούνται ή προκύπτουν. Με την πάροδο του χρόνου, το αρχικό υλικό των πετρωμάτων θρυμματίζεται, και με τη χημική αποσάθρωση ελευθερώνονται θρεπτικά συστατικά στο εδαφικό διάλυμα. Οι πρώτοι οργανισμοί που αποικούν ένα έδαφος είναι τα βακτήρια που δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο, καθώς και λειχήνες που προσλαμβάνουν το άζωτο από το νερό της βροχής. Το άζωτο είναι

στοιχείο που δεν υπάρχει στα πετρώματα. Με το θάνατό τους και την αποσύνθεση οι οργανισμοί αυτοί εμπλουτίζουν το νεαρό έδαφος με θρεπτικά στοιχεία και οργανική ουσία και το κάνουν κατάλληλο για την εγκατάσταση ποών, θάμνων και δενδρώδους βλάστησης. Η νέα βλάστηση επιταχύνει την αποσάθρωση του εδάφους με την έκκριση οργανικών οξέων στην περιοχή των ριζών. Η κλίση της πλαγιάς μιας περιοχής παίζει επίσης βασικό ρόλο. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης μεταφέρονται με την επίδραση της βαρύτητας και του νερού προς τα κατόπη και σχηματίζουν βαθύτερα εδάφη σε σχέση με τα υψηλότερα σημεία. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι παράγοντες που συντελούν καθοριστικά στο σχηματισμό των δασικών εδαφών είναι η φύση του μητρικού πετρώματος, το κλίμα, οι μικροοργανισμοί, η τοπογραφία μιας περιοχής και ο χρόνος μέσα στον οποίο όλοι οι παράγοντες αλληλεπιδρούν.

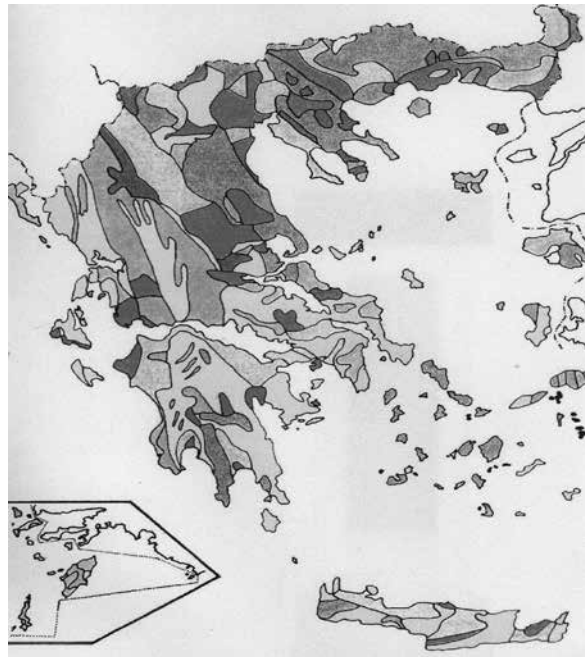
Όσο παλαιότερο είναι ένα έδαφος, τόσες περισσότερες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται σε μία εγκάρσια διατομή του (εδαφικό προφίλ). Οι διαφοροποιήσεις αυτές εκφράζονται με την ύπαρξη στρώματων (οριζόντων) το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Σε ένα εδαφικό προφίλ μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω κύρια στρώματα ή οριζόντες: τον οργανικό οριζόντα, τον A, τον B και τον C οριζόντα. Ο οργανικός οριζόντας, χαρακτηριστικό των δασικών εδαφών, αποτελείται από μη αποσυντεθειμένη φυλλάδα (L στρώμα), μερικώς αποσυντεθειμένη (F στρώμα) και πλήρως αποσυντεθειμένη φυλλάδα (H στρώμα). Στην πλήρως αποσυντεθειμένη φυλλάδα δεν μπορεί να γίνει διάκριση στην προέλευση των φυτικών υπολειμμάτων. Ο οργανικός οριζόντας ενός δασικού εδάφους είναι το πιο δραστήριο βιολογικά μέρος του. Εκεί συναντάται η μεγαλύτερη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και η μεγαλύτερη πυκνότητα θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά. Ο οριζόντας A έχει σκοτεινότερο χρώμα από τους υποκείμενους οριζόντες, εξαιτίας της περιεκτικότητάς του σε οργανική ουσία. Ο A οριζόντας έχει και αυτός μεγάλη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων (λιγότερη, βέβαια, του οργανικού) και έχει μεγάλη σπουδαιότητα στη θρέψη των φυτών. Ο B οριζόντας έχει καφέ ή και κόκκινο χρώμα και χαρακτηρίζεται από τη συσσώρευση οξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου. Ο C οριζόντας έχει ανοιχτό χρώμα και η βιολογική του δραστηριότητα είναι μικρή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να υπάρξουν περισσότεροι ή λιγότεροι οριζόντες από αυτούς που προαναφέρθηκαν.



Φωτογραφία 1. Προφίλ εδάφους με βλάστηση φυλλοβόλου δρυός στην περιοχή της Οσσας.

Κατηγορίες μητρικού υλικού των εδαφών

Από τους παράγοντες γένεσης των εδαφών, το μητρικό υλικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα ελληνικά δασικά εδάφη, περισσότερο από ό,τι στα αντίστοιχα γεωργικά. Ο πρώτος λόγος είναι το βαθύ ριζικό σύστημα των δασικών δένδρων· ο δεύτερος είναι η μικρή ηλικία των ελληνικών δασικών εδαφών. Σε παλαιά εδάφη, όπως αυτά των τροπικών δασών, το μητρικό υλικό δεν παίζει ιδι-



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Εδάφη από αποσάθρωση σκληρών ασβεστολιθών 32%
- Εδάφη από αποσάθρωση μεταμορφωμένων πετρωμάτων 16%
- Εδάφη από αποσάθρωση τριτογενών 21%
- Εδάφη από αποσάθρωση φλύσχης 9%
- Εδάφη από αποσάθρωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων 2%
- Εδάφη από αποσάθρωση όξινων πυριγενών πετρωμάτων (γρανιτών) 3%
- Αλλουβιακά εδάφη 17%

Εικόνα 1. Ομαδοποιημένες (ή γενικές) κατηγορίες των πετρωμάτων της χώρας (πηγή: Υπουργείο Γεωργίας 1992).

αίτερο ρόλο λόγω της ισχυρής έκπλυσης των εδαφικών οριζόντων από τα θρεπτικά στοιχεία τους.

Το μητρικό υλικό των εδαφών ταξινομείται σύμφωνα με τη γεωλογική του ιστορία ως πυριγενές, μεταμορφωμένο ή ιζηματογενές (Παπαμίχης 1985).

Τα πυριγενή πετρώματα προέρχονται από την ψύξη του μάγματος. Αργή ψύξη του μάγματος έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χονδρόκοκκων πλουτωνικών πετρωμάτων, όπως ο γρανίτης, οι γρανοδιორίτες, οι περιδοτίτες και οι γάβροι, ενώ γρήγορη ψύξη οδηγεί στη δημιουργία λεπτόκοκκων ηφαιστειακών πετρωμάτων ή γυαλιού, όπως οι τραχείτες, λιπαρίτες, βασάλτες, ανδεσίτες, η κίσηρη και ο οψιδιανός.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι το αποτέλεσμα υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής πίεσης που ασκείται σε ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα, με αποτέλεσμα τη μεταμόρφωσή τους σε άλλα πετρώματα με διαφορετικές ιδιότητες από τα αρχικά. Τα κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα μάρμαρα, οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και οι γενέσιοι. Οι αργιλικό σχιστόλιθοι προέρχονται από απόθεση και συμπίεση πηλωδών και αργιλωδών ιζημάτων.

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι τα πιο σημαντικά, καθώς αυτά επικαλύπτουν τους περισσότερους πυριγενείς και μεταμορφωσιγενείς σχηματισμούς. Τα πετρώματα αυτά προέρχονται από την αποσάθρωση πυριγενών και μεταμορφωσιγενών που μεταφέρθηκαν και εναποτέθηκαν στις εκβολές ποταμών ή στο βυθό λιμνών και θαλασσών. Ανθρακικά πετρώματα προέρχονται από αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου, συνήθως σε θαλάσσια περιβάλλοντα, και τελική συμπίεση σε σκληρό πέτρωμα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες). Άλλες κοινές μορφές ανθρακικών πετρωμάτων είναι οι μάργες (άργιλος και ανθρακικό ασβέστιο), ενώ έχουμε και ηφαιστειακά ιζήματα (ηφαιστειακοί τόφφοι και θηραϊκή γη). Οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή και τα λατυποπαγή πετρώματα προέρχονται από απόθεση και συμπίεση χονδρόκοκκων υλικών. Χαλαρά υλικά απροσδιόριστης προέλευσης, αλλουβιακά, αποθέσεις πλαγιών κ.ά., εμπιπτουν και αυτά σε αυτήν την κατηγορία υλικών.

Τα εδάφη της χώρας είναι αλλουβιακά (προερχόμενα από αποθέσεις ποταμών) στο επίπεδο πεδινό τμήμα, και αυτόχθονα στο λοφώδες και ορεινό, προερχόμενα, στη δεύτερη περίπτωση, από την επιτόπου αποσάθρωση των διαφόρων κατηγοριών μητρικού υλικού του εδάφους (πετρώματος). Η ανάλυση των κατηγοριών που ακολουθεί στηρίζεται στη διαπίστωση ότι στην Ελλάδα, προκειμένου περί αυτόχθονων εδαφών, οι ιδιότητες και

η παραγωγικότητά τους καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από τη φύση και τις ιδιότητες του υποκείμενου μητρικού υλικού (Οικονόμου κ.ά. 2007). Τα στοιχεία προέρχονται, κυρίως, από την επεξεργασία των πληροφοριών του έργου της ταξινόμησης, χαρτογράφησης και αξιολόγησης των γαιών της χώρας, οι τεχνικές προδιαγραφές του οποίου έγιναν από τον Νάκο (1991).

Εδάφη από σκληρούς ασβεστόλιθους. Οι ασβεστόλιθοι είναι σκληρυνθείσες αποθέσεις (ιζήματα) αργίλου, άμμου και κρυπτοκρυσταλλικού πυριτίου, εμπλουτισμένες με ανθρακικό ασβέστιο και άλλα ορυκτά. Το ανθρακικό κλάσμα προέρχεται από ασβεστούχους σκελετούς ή όστρακα μαλακίων και άλλων θαλάσσιων οργανισμών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, και από χημικά ιζήματα ανθρακικού ασβεστίου. Η σχετική τους σκληρότητα, καθώς και η περιεκτικότητα αργίλου και άλλων ορυκτών, είναι παράγοντες που καθορίζουν την παραγωγική ικανότητά τους. Είναι αποθέσεις της Μεσοζωικής γεωλογικής περιόδου. Καλύπτουν το 27,41% της χώρας, με τη μεγαλύτερη εμφάνιση στις περιοχές της νότιας Ελλάδας και της Ηπείρου, ήτοι Κρήτη, Πελοπόννησο, Αττική, Βοιωτία, Ήπειρο, ως και στην κεντρική και νότια Πίνδο, όπου εμφανίζονται μαζί με φλύσχη. Το ανάγλυφο των ασβεστολιθικών περιοχών είναι συνήθως έντονο, με μέτριες και ισχυρές κλίσεις. Το έδαφος είναι προϊόν χημικής, κυρίως, αποσάθρωσης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και απαντάται, συνήθως, σε σχισμές, θύλακες, αλλά και στην επιφάνεια του μητρικού πετρώματος.

Τα εδάφη αυτής της προέλευσης είναι αργιλοπηλώδη έως αργιλώδη, ελαφρά αλκαλικά έως ελαφρά όξινα ($pH \cong 7,5-6,5$) και καλά εφοδιασμένα με μεταλλικά κατιόντα. Στις χαμηλότερες ξηρές περιοχές έχουν χρώμα κοκκινωπό, ενώ στις ψηλότερες το χρώμα γίνεται σκοτεινό κόκκινο έως ορφνό, στις υπαλπικές περιοχές, λόγω και της αυξημένης ποσότητας οργανικής ουσίας που περιέχουν.

Εδάφη από τριτογενείς αποθέσεις. Η ευρεία αυτή κατηγορία μητρικού υλικού του εδάφους περιλαμβάνει θαλάσσια και λιμναία ή και χερσαία (ποτάμια), χαλαρά κυρίως αλλά και συμπαγή (κροκαλοπαγή) ιζήματα, καθώς και ηφαιστειακούς τόφφους με χαρακτηριστικό ανάγλυφο, της Τριτογενούς αλλά και της Τεταρτογενούς γεωλογικής περιόδου, εκτός από τα πρόσφατα αλλουβια. Καλύπτουν το 23,27% της έκτασης της χώρας και εμφανίζονται σε μεγάλη συχνότητα στην Κρήτη, στους νομούς Λακωνίας, Κορινθίας, Αχαΐας και Ηλείας, Αττικής, Βοιωτίας, στη Βόρεια Εύβοια, Γρεβενά, Καστοριά, Χαλκιδική, Λήμνο, Δράμα και στο νομό Έβρου.

Το ανάγλυφο των περιοχών από τριτογενείς αποθέσεις είναι συνήθως λοφώδες, με ελαφρές και μέτριες κλίσεις. Δίνουν εδάφη, κατά κανόνα, βαθιά, με ποικίλη υφή, όξινα ($pH < 7$) ή αλκαλικά ($pH > 7$). Τα τελευταία περιέχουν μεγάλες ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου. Μεγάλες εκτάσεις αυτής της κατηγορίας των εδαφών καλλιεργούνται γεωργικά στις χαμηλότερες κυρίως περιοχές ή είναι βοσκότοποι χωρίς μέτρα προστασίας, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν, κατά θέσεις, φαινόμενα διάβρωσης ή φέρουν δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης, φυλλοβόλων δρυών και ορεινών κωνοφόρων, καθώς και πλατύφυλλων.

Εδάφη από αλλούβια. Οι πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις (πεδιάδες) καλύπτουν το 14,72% της έκτασης της χώρας και έχουν ως ακολούθως: Θεσσαλικός κάμπος, πεδιάδα της κεντρικής Μακεδονίας, πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα και της Δράμας, πεδιάδα της Ξάνθης και της Κομοτηνής, ως και αυτή του Έβρου. Μικρότερες σε έκταση είναι αυτές του Αγρινίου, Μεσολογγίου, Ηλείας, Κωπαΐδας, Μεσσηνίας, Αργολίδας και άλλες.

Η κατηγορία αυτή δίνει σχεδόν επίπεδα εδάφη, κατά κανόνα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, βαθιά και ποικίλης υφής. Είναι τα πλέον ενδεδειγμένα εδάφη για εντατική γεωργική εκμετάλλευση.

Εδάφη από γνεύσιους. Οι γνεύσιμοι είναι έντονα μεταμορφωμένα πετρώματα χωρίς εμφανή σχιστότητα, στην τυπική τους μορφή. Καταλαμβάνουν το 5,95% της έκτασης της χώρας. Είναι περισσότερο διαδεδομένοι στη βόρεια Ελλάδα και κυρίως σε περιοχές των νομών Ξάνθης, Χαλκιδικής και στα όρη της Ροδόπης. Οι περιοχές που καταλαμβάνονται από γνεύσιους παρουσιάζουν σχετικά έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο, με μέτριες και απότομες κλίσεις. Τα εδάφη τους είναι προΐοντα φυσικής, κυρίως, αποσάθρωσης, έχουν αρκετό βάθος, αμμώδη υφή και όξινη χημική αντίδραση ($pH < 6$).

Τα εδάφη των γνευσίων παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στη διάβρωση, με αποτέλεσμα να φέρουν, κατά θέσεις, αβαθή εδάφη και χαραδρωτικές διαβρώσεις. Γνευσιακές περιοχές χωρίς υποβάθμιση φέρουν κλειστά και καλής ποιότητας δάση οξιάς, ερυθρελάτης, μαύρης και δασικής πεύκης, καθώς και φυλλοβόλων δρυών.

Εδάφη από γρανίτη. Ο γρανίτης είναι όξινο πυριγενές πέτρωμα. Τα εδάφη από γρανίτη καταλαμβάνουν το 3,46% της έκτασης της χώρας και συναντώνται δυτικά της Φλώρινας στα όρη Βαρνούς και Βέρνο, στα όρη Βροντούς, στην περιοχή Αρναίας (όρος Χολομώντας), στη χερσόνησο της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους, στα όρη της Δυτικής Ροδόπης και με μικρότερες εμφανίσεις στα

νησιά Σαμοθράκη, Ικαρία, Μύκονο, Σέριφο και Νάξο. Έχουν αμμοπηλώδη έως αμμώδη υφή και όξινη χημική αντίδραση ($pH < 6$). Φέρουν αξιόλογα δάση οξιάς, ερυθρελάτης, μαύρης και δασικής πεύκης και φυλλοβόλων δρυών. Όπου τα εδάφη αυτά έχασαν την προστατευτική δασική βλάστηση, παρουσιάζουν συνήθως φαινόμενα χαραδρωτικής διάβρωσης και έντονη υποβάθμιση.

Εδάφη από σχιστόλιθους. Οι σχιστόλιθοι είναι μεταμορφωμένα πετρώματα των οποίων ο βαθμός μεταμόρφωσης διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Έχουν σχιστώδη ή φυλλοειδή δομή (διάταξη) και χαρακτηρίζονται, ανάλογα με το ορυκτό που κυριαρχεί στη σύνθεσή τους, ως μαρμαρυγιακοί, χλωριτικοί, ταλκικοί κ.λπ.

Η παραγωγική ικανότητα των εδαφών από σχιστόλιθους επηρεάζεται σημαντικά από τη φύση, δομή και χημική σύσταση του μητρικού υλικού, το βαθμό αποσάθρωσής του, αλλά και από την κατεύθυνση των στρώσεών του που, όταν είναι οριζόντιες, εμποδίζουν τη διείσδυση του νερού και των ριζών, σε αντίθεση με τις κατακόρυφες ή ισχυρά κεκλιμένες στρώσεις. Τα εδάφη από σχιστόλιθους καταλαμβάνουν το 7,6% της έκτασης της χώρας και συναντώνται στη δυτική Κρήτη, στον Πάρωνα, στον Ταΰγετο, στο Πήλιο, στην Όσσα, στα όρη Οξιάς και Ζάρκου, στον κάτω Όλυμπο, στα Καμβούνια, στο όρος Βαρνούς, στο Βόρα και αλλού. Οι σχιστολιθικές περιοχές έχουν σχετικά έντονο ανάγλυφο, με μέτριες και απότομες κλίσεις. Έχουν σχετικά μεγάλο βάθος, πηλώδη υφή και όξινη χημική αντίδραση ($pH < 6$). Φέρουν αξιόλογα δάση, κυρίως οξιάς, μαύρης και δασικής πεύκης, καθώς και φυλλοβόλων δρυών.



Φωτογραφία 2. Συστάδα οξιάς σε έδαφος από μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο στην περιοχή της Όσσας.

Εδάφη από περιδοτίτες. Οι περιδοτίτες είναι βασικά πυριγενή πετρώματα, πλούσια σε μαγνήσιο και ορισμένα βαριά μέταλλα (χρώμιο, νικέλιο), αλλά φτωχά σε ασβέστιο και κάλιο. Η κατηγορία αυτή μητρικού υλικού του εδάφους κατα-

λαμβάνει το 3,55% της έκτασης της χώρας. Έχει τη μεγαλύτερη εμφάνιση στη βόρεια Πίνδο (νομοί Γρεβενών, Καστοριάς), στο νομό Φθιώτιδας, καθώς και στην Εύβοια και τη Χαλκιδική. Το ανάγλυφο των περιδοτιτών είναι έντονο, με απότομες κλίσεις, και εδάφη συνήθως πηλώδη, όξινα ($\text{pH} < 7$) και μετρίου βάθους. Εδάφη αυτής της κατηγορίας φέρουν δάση μαύρης πεύκης και φυλλοβόλων δρυών, καθώς και αειθαλείς θάμνους.

Εδάφη από φλύσχη. Ο φλύσχος είναι ιζηματογενής σχηματισμός αποτελούμενος από εναλλασσόμενες στρώσεις αμμώδους, πηλώδους ή αργιλώδους υλικού, ποικίλου πάχους και συχνότητας εμφάνισης. Χαρτογραφικά, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: τον ψαμμιτικό, τον αργιλικό και το μεικτό φλύσχη. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο φλύσχος έχει χαρτογραφηθεί ως μεικτός (5,72%), διότι αποτελείται από τις παραπάνω δύο κύριες κατηγορίες, σε τέτοια εμφάνιση και μίξη, που να μην είναι δυνατός ο διαχωρισμός του χαρτογραφικά.

Τα εδάφη από φλύσχη καλύπτουν το 10,18% της έκτασης της χώρας (5,72%, 2,84% και 1,55%, μεικτός, ψαμμιτικός και αργιλικός, αντίστοιχα). Ο φλύσχος απαντάται κυρίως στην οροσειρά της Πίνδου και της δυτικής Ελλάδας, γενικότερα, και επίσης στην κεντρική και δυτική Πελοπόννησο και στη νήσο Ρόδο. Το ανάγλυφο των περιοχών από φλύσχη είναι λοφώδες και ορεινό, με μέτριες κλίσεις. Τα εδάφη από φλύσχη είναι αρκετά βαθιά, όταν προστατεύονται με φυσική βλάστηση, έχουν πηλώδη έως αργιλώδη υφή και όξινη αντίδραση ($\text{pH} < 7$). Στη Φωτογραφία 3 απεικονίζεται θαμνώδης βλάστηση σε έδαφος από φλύσχη στην περιοχή της Αμφιλοχίας.



Φωτογραφία 3. Θαμνώδης βλάστηση σε έδαφος από φλύσχη στην περιοχή της Αμφιλοχίας.

Εδάφη από κολλούβια. Τα κολλούβια (και οι παλιές σάρρες) είναι γεωμορφολογικοί σχηματισμοί ανάμεικτοι από λιθάρια και γαιώδες υλικό, που αποσπάρθηκαν από τα υψηλότερα σημεία

των πλαγιών και μετακινήθηκαν προς τα χαμηλότερα σημεία του ανάγλυφου, με τη δράση κυρίως της βαρύτητας και του νερού. Τα εδάφη από κολλούβια καλύπτουν περιορισμένη έκταση, 2,35%, εκ των οποίων 1,45% είναι κολλούβια ασβεστολίθων, 0,53% φλύσχη, 0,15% σχιστόλιθου, 0,12% γνεύσιου κ.λπ. Τοπικά παρουσιάζουν κάποιο γεωργικό ενδιαφέρον επειδή πρόκειται για βαθιά και με ήπιες κλίσεις εδάφη.

Λουπές κατηγορίες. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις δολίνες, τους αλλουβιακούς κώνους, τις κοίτες των ποταμών και τις σάρρες, και καλύπτει το 1,51% της έκτασης της χώρας. Παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον σε τοπικό επίπεδο, αλλά μικρό ενδιαφέρον από οικονομικής πλευράς, σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

Φυσικές ιδιότητες των δασικών εδαφών

Α. Μηχανική σύσταση. Το έδαφος είναι συνδυασμός σωματιδίων ανόργανων και οργανικών. Οι διαστάσεις των σωματιδίων ποικίλουν. Στην εδαφολογία τα σωματίδια κατατάσσονται σύμφωνα με τις διαστάσεις τους σε τρία κλάσματα· στην άμμο, με διαστάσεις 2-0,02 mm, στην ιλύ, με διαστάσεις 0,02-0,002 mm και, τέλος, στην άργιλο, με διαστάσεις μικρότερες από 0,002 mm. Τα σωματίδια της άργιλου είναι ιδιαίτερα σημαντικά, διότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό της άργιλου. Ανάλογα με τη μηχανική σύσταση, τα εδάφη κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως αμμοπηλώδη, αργιλώδη κ.λπ. Για τα γεωργικά εδάφη, η μηχανική σύσταση είναι σημαντικότερη από τα δασικά, γιατί από αυτήν εξαρτάται και η διαχείριση των εδαφών. Στα δασικά εδάφη υπάρχει πληθώρα λίθων και χαλκιών και, παρόλα αυτά, οι ρίζες των δένδρων μπορούν και διεισδύουν για να πάρουν θρεπτικά στοιχεία.

Β. Δομή του εδάφους. Τα διάφορα σωματίδια ενώνονται σε συσσωματώματα και σχηματίζουν μία ορισμένη δομή. Η δομή του εδάφους είναι αποτέλεσμα φυσικών και χημικών διεργασιών. Η συγκολλητική ουσία των σωματιδίων είναι άλλοτε η οργανική ουσία και άλλοτε τα οξειδία του σιδήρου και του αργιλίου. Η ύπαρξη δομής είναι πολύ σημαντική, διότι από αυτήν εξαρτάται η κίνηση του αέρα και του νερού στο έδαφος.

Γ. Το πορώδες του εδάφους. Το πορώδες του εδάφους είναι το ποσοστό του εδάφους που καταλαμβάνεται από κενούς χώρους. Το ποσοστό αυτό έχει σχέση με τη δομή και τη μηχανική σύσταση

του εδάφους. Ένα έδαφος με σταθερή δομή έχει αρκετούς κενούς χώρους, οπότε η κίνηση του νερού και του αέρα γίνεται ανεμπόδιστα. Ωστόσο, η κατανομή των πόρων έχει μεγαλύτερη σημασία από το ολικό πορώδες του εδάφους. Ένα έδαφος με μεγάλο πορώδες και μόνο μεγάλους πόρους χάνει εύκολα νερό. Αντίθετα, ένα έδαφος μόνο με μικρούς πόρους συγκρατεί το νερό με ισχυρές δυνάμεις και φράσσει διεξόδους για το οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα που δημιουργείται από την αναπνοή των μικροοργανισμών. Το ιδανικό έδαφος έχει μεγάλους πόρους μεταξύ των συσσωματωμάτων, και μικρούς εντός αυτών.

Χημικές ιδιότητες των δασικών εδαφών

Μία βασική ιδιότητα των εδαφών είναι η όξινη ή βασική αντίδρασή τους, δηλαδή το pH. Το pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα. Αποτελεί μία παράμετρο που μετράται εύκολα και δίνει μία πρώτη εικόνα της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων. Εδάφη με $pH > 7$ θεωρούνται αλκαλικά, ενώ εδάφη με $pH < 7$ θεωρούνται όξινα. Χαμηλό pH σημαίνει αυξημένη κινητικότητα των ιχνοστοιχείων αλλά και των βαρέων μετάλλων και μείωση της διαθεσιμότητας ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και φωσφόρου. Υψηλό pH σημαίνει χαμηλή διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων και του φωσφόρου και υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, συχνά σε ανταγωνισμό με το μαγνήσιο.

Η συγκράτηση των κατιόντων από τα εδάφη είναι επίσης σπουδαία χημική ιδιότητα. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στα αρνητικά φορτία που υπάρχουν τόσο στην οργανική ουσία όσο και στα κολλοειδή της αργίλου. Χωρίς αυτήν την ιδιότητα, τα θρεπτικά στοιχεία θα εκπλένονταν από το νερό και θα χάνονταν για πάντα από τα δασικά οικοσυστήματα. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται «Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων» και μετράται σε όλα τα εδαφολογικά εργαστήρια.

Πανίδα και μικροχλωρίδα των δασικών εδαφών

Το έδαφος αποτελεί ένα τεράστιο βιολογικό εργαστήριο. Χωρίς τους μικροοργανισμούς δεν θα υπήρχε διάσπαση των οργανικών ενώσεων και, συνεπώς, απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων που δεν βρίσκονται σε αφθονία στα ανόργανα εδάφη. Η πανίδα αποτελείται από τα μικρά θηλαστικά, έντομα, γεωσκώληκες και αρθρόποδα, νη-

ματώδεις και πρωτόζωα. Η δράση της πανίδας συνίσταται στο κομμάτισμα της φυλλάδας και στο ανακάτεμά της με το ανόργανο έδαφος. Η μικροχλωρίδα αποτελείται από τέσσερις ομάδες: τα βακτήρια, τους ακτινομύκητες, τους μύκητες και τα άγη. Όλοι αυτοί οι μικροοργανισμοί διασπών τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις σε απλούστερες και, τελικά, σε ανόργανες, που είναι και αφομοιώσιμες από τα φυτά. Μία ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα κατηγορία βακτηρίων για τα δασικά εδάφη είναι αυτή που περιέχει βακτήρια ικανά να δεσμεύσουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Το άζωτο δεν είναι συστατικό του ανόργανου εδάφους και, ταυτόχρονα, είναι απαραίτητο συστατικό σε όλους τους οργανισμούς. Δεν είναι υπερβολή ότι όλα τα έμβια όντα χρωστούν την ύπαρξή τους σε αυτά τα βακτήρια. Για τα δασικά φυτά, τα σπουδαιότερα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια είναι εκείνα που σχηματίζουν συμβίωση με τις ρίζες ορισμένων δασικών ειδών, όπως η ακακία και το σκλήθρο (Pritchett and Fisher 1987). Μία από τις σπουδαιότερες συμβιώσεις μεταξύ των ριζών και μικροοργανισμών είναι εκείνη με ορισμένα είδη μυκήτων. Ο συνδυασμός αυτός ονομάζεται μυκόριζα και έχει πολύ μεγάλη σημασία για την επιβίωση των δασικών φυτών. Με τη μυκόριζα οι ρίζες αποκτούν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια και μήκος και μπορούν να εκμεταλλευτούν βάθη εδάφους που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο. Η συμβίωση αυτή είναι ωφέλιμη και για τα δύο μέρη. Το φυτό προμηθεύει υδατάνθρακες στο μύκητα και ο μύκητας θρεπτικά στοιχεία. Ειδικότερα, σε φτωχά εδάφη, η πρόσληψη φωσφόρου είναι δυνατή μόνο με τη δημιουργία μυκόριζας (Harley and Smith 1983). Τα μυκοριζικά φυτά προσλαμβάνουν επίσης περισσότερο άνθρακα από τα φυτά που δεν σχηματίζουν μυκόριζα, γιατί διατηρούν ανοιχτά τα στόματα στην επιφάνεια των φύλλων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια ξηρασίας. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σπουδαίο για τα δασικά φυτά που διατηρούν φύλλα όλο το χρόνο. Ο άνθρακας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση ή τη διατήρηση του φυτού (Allen 1996).

Θρέψη δασικών φυτών

Τα δασικά φυτά, όπως και όλα τα φυτά, χρειάζεται να προσλαμβάνουν ορισμένα στοιχεία από το έδαφος για τη διατήρηση και αύξησή τους. Για να γίνει η πρόσληψη των στοιχείων θα πρέπει αυτά να εισέλθουν στο εδαφικό διάλυμα και, στη συνέχεια, να δεσμευθούν από τις ρίζες των φυτών. Μερικά στοιχεία απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες και άλλα σε λιγότερες. Τα πρώτα ορίζονται ως μακροστοιχεία και τα δεύτερα ως ιχνοστοιχεία. Τα μακροστοιχεία είναι: ασβέστιο, μαγνήσιο, κά-

λιο, άζωτο, θείο, φώσφορος και τα ιχνοστοιχεία είναι: σίδηρος, μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χαλκός, βόριο, μολυβδένιο, κοβάλτιο και χλώριο. Από όλα τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν, τα δασικά φυτά, στην εύκρατη ζώνη, εξαρτώνται κυρίως από τη διαθεσιμότητα του αζώτου. Το άζωτο στο έδαφος υπάρχει σε τρεις αφομοιώσιμες μορφές: σε αμμωνιακό άζωτο, σε νιτρικό άζωτο και σε οργανικό άζωτο. Σε όξινα εδάφη η πλέον διαθέσιμη μορφή είναι το αμμωνιακό άζωτο, ενώ σε αλκαλικά εδάφη το νιτρικό. Η πρόσληψη αζώτου σε οργανική μορφή έχει επιβεβαιωθεί σε ψυχρά κλίματα (Raab et al. 1996) αλλά δεν έχει γίνει σχετική έρευνα στα μεσογειακά εδάφη.

Η θρέψη των δασικών φυτών θα ήταν αδύνατη χωρίς τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων. Στη γεωργία γίνεται απόληψη της φυτικής βιομάζας και ενίσχυση της γονιμότητας των εδαφών με λιπάσματα. Τα δασικά φυτά, αντίθετα, είναι μόνα τους και πρέπει να τα βγάλουν πέρα με όλες τις εδαφικές συνθήκες. Ο κύκλος των θρεπτικών στοιχείων μεταβάλλεται από χρόνο σε χρόνο σε νεαρές συστάδες, αλλά σε ώριμα δάση είναι σταθερός (Cole and Rapp 1981) και για το λόγο αυτό αποτελεί δείκτη υγείας ενός δασικού οικοσυστήματος. Η διαχείριση των δασών επηρεάζει τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων και συνεπώς πρέπει να γίνεται λελογισμένα και με βάση τα μοντέλα που έχουν επαληθευτεί και βαθμονομηθεί (Blanco et al. 2005).

Κύκλος θρεπτικών στοιχείων σε δασικά οικοσυστήματα

Για να γίνει κατανοητή η χρησιμότητα του κύκλου θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα θα πρέπει να γίνει πρώτα κατανοητή η ροή της ενέργειας γενικά στα οικοσυστήματα. Οι άνθρωπινες αισθήσεις αντιλαμβάνονται την ύπαρξη φυτών, ζώων και όλων των συστατικών των οικοσυστημάτων, αλλά δεν αντιλαμβάνονται τη ροή της ενέργειας μέσω αυτών. Όλοι οι οργανισμοί είναι το αποτέλεσμα συσσώρευσης ηλιακής ενέργειας συνδεδεμένης με μερικά χημικά στοιχεία που προέρχονται από την ατμόσφαιρα και το έδαφος. Η αρχή της ζωής έγινε με το συνδυασμό ηλιακής ενέργειας και ατόμων των χημικών στοιχείων. Χωρίς την ενέργεια, τα άτομα δεν θα μπορούσαν να σχηματίσουν οργανικά μόρια απαραίτητα στη ζωή και, αντίστροφα, χωρίς τα άτομα αυτά, η ηλιακή ενέργεια δεν θα μπορούσε να δεσμευτεί και να χρησιμοποιηθεί για τη ζωή. Στα οργανικά μόρια που σχηματίζονται, δεσμεύονται τα θρεπτικά στοιχεία τα απαραίτητα για τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, η δε μελέτη της κατανομής και της δυναμικής αυτών των θρεπτικών στοιχεί-

ων είναι το κύριο αντικείμενο ενός κλάδου της οικολογίας της βιογεωχημείας (Kimmins 1996).

Ο κύκλος των θρεπτικών στοιχείων στα οικοσυστήματα είναι πολύπλοκος. Μερικά στοιχεία ανακυκλώνονται μεταξύ ατμόσφαιρας και οργανισμών, ενώ άλλα μεταξύ εδάφους και οργανισμών ή και σε συνδυασμό των δύο. Υπάρχει επίσης ένας εσωτερικός κύκλος στοιχείων εντός των φυτών και ζώων. Με βάση τις διαφορές αυτές, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κύκλους στοιχείων στα οικοσυστήματα:

1. Το γεωχημικό κύκλο που είναι ανταλλαγή στοιχείων μεταξύ οικοσυστημάτων, π.χ. μεταφορά στοιχείων μέσω ανέμου και εναπόθεσή τους σε δάσος, είτε με την επίδραση της βαρύτητας, είτε με βροχή. Ο γεωχημικός κύκλος περιλαμβάνει και απώλειες στοιχείων από τα οικοσυστήματα, π.χ. οι απώλειες στοιχείων από ένα δάσος μέσω του νερού της απορροής.
2. Το βιογεωχημικό κύκλο που είναι ανταλλαγές θρεπτικών στοιχείων μέσα σε ένα οικοσύστημα, π.χ. το ασβέστιο που απορροφάται από το έδαφος εισέρχεται στα φύλλα ενός δένδρου και ξαναπέφτει με τη φυλλόπτωση στο έδαφος. Εκεί το φύλλο θα αποσυντεθεί, το ασβέστιο θα ελευθερωθεί στην ιοντική του μορφή, θα εισέλθει στο εδαφικό διάλυμα και θα προσληφθεί πάλι από το δένδρο.
3. Το βιοχημικό κύκλο που περιλαμβάνει τις μετακινήσεις στοιχείων εντός των ζωντανών οργανισμών, π.χ. τη μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες ενός δένδρου προς τα φύλλα. Επίσης, οι μετακινήσεις θρεπτικών στοιχείων από παλιές βελόνες κωνοφόρων σε καινούργιες αποτελεί τμήμα του βιοχημικού κύκλου με μεγάλη σημασία στη θρέψη των φυτών.

Για τη θρέψη των δασικών φυτών και οι τρεις κύκλοι έχουν μεγάλη σημασία και στο εξής δεν θα γίνεται διάκριση μεταξύ τους. Η γνώση, όμως, των ορισμών τους βοηθά στην κατανόηση του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα.

Εισαγωγή θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Τα δασικά οικοσυστήματα δέχονται πάντοτε υγρές αποθέσεις από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Επίσης, η κομοστέγη των δένδρων είναι πολύ καλός συλλέκτης ξηρών αποθέσεων. Οι ξηρές αποθέσεις αποτελούνται είτε από αιωρούμενα σωματίδια είτε από αέρια. Η βροχή απομακρύνει και μεταφέρει τις ξηρές αποθέσεις στο δασικό έδαφος. Στο έδαφος μεταφέρονται όχι μόνο

ουσίες που έχουν απομακρυνθεί από την επιφάνεια των φύλλων (wash off), αλλά και ανόργανες ή οργανικές ενώσεις που προέρχονται από τη βιοχημική δραστηριότητα των φυτών με τη διαδικασία της έκπλυσης (leaching). Ο ρόλος τής κομοστέγης στην αλλαγή της χημείας της βροχής είναι πλέον αναγνωρισμένος (Lindberg et al. 1986, Michopoulos et al. 2001, Parker 1983).

Στη δασική υδρολογία η βροχή που διέρχεται μέσω της κομοστέγης των δασικών ειδών λέγεται διαπερώσα (throughfall). Η διαπερώσα βροχή εισέρχεται στο έδαφος και μέρος της συγκρατείται με τριχοειδείς δυνάμεις. Το νερό αυτό σχηματίζει το εδαφικό διάλυμα το οποίο αποτελεί το μέσο πρόσληψης των περισσότερων απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για τη θρέψη και επιβίωση των φυτών. Η υπόλοιπη ποσότητα του νερού με την επίδραση της βαρύτητας, είτε διαμέσου των μακροπόρων του εδάφους είτε και δια διεισδύσεως στα βαθύτερα στρώματα αυτού, εισέρχεται στην κοίτη των υδατορευμάτων και σχηματίζει την απορροή (stream flow) των υδατορευμάτων του δάσους. Η απορροή μεταφέρει ουσίες που έχουν απολεσθεί οριστικά από τα δασικά οικοσυστήματα.

Οι αλλαγές στη χημεία της βροχής κατά τη διάρκεια της από δασικές συστάδες και οι εισροές και απώλειες θρεπτικών στοιχείων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το βιογεωχημικό κύκλο των δασικών οικοσυστημάτων (Likens and Bormann 1995). Στον Πίνακα 1 υπάρχουν πληροφορίες για τις ροές (kg/ha/έτος), το έτος 2005, μερικών θρεπτικών στοιχείων από τέσσερις αντιπροσωπευτικές δασικές πειραματικές επιφάνειες της Ελλάδας, μίας αείφυλλων πλατύφυλλων, στην περιοχή της Αμφιλοχίας, μίας φυλλοβόλων δρυών, στην περιοχή της Όσσας, μίας οξιάς, επίσης στην περιοχή

της Όσσας, και μίας ελάτης, στην περιοχή Καρπενησίου. Τα στοιχεία αυτά έχουν συλλεχθεί από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων.



Φωτογραφία 4. Συλλεκτήρες διαπερώσας βροχής σε δάσος δρυός στην περιοχή της Όσσας.

Φυλλόπτωση

Η εισροή θρεπτικών στοιχείων (εκτός του Κ, που γίνεται μέσω της διαπερώσας βροχής) στο δασικό τάπητα γίνεται κυρίως από τη φυλλόπτωση. Η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων στη φυλλόπτωση ποικίλλει, ανάλογα με την ποιότητα του τόπου. Για το ίδιο δασοπονικό είδος είναι μεγαλύτερη σε τόπους καλής ποιότητας (Kimmmins 1996). Ο λόγος είναι ότι τα φυτά, μέσω της πρόσληψης στοιχείων, θα πρέπει να ανακτήσουν ό,τι έχασαν μέσω της φυλλόπτωσης. Στους Πίνακες 2 και 3 απεικονίζονται οι ποσότητες μερικών θρεπτικών στοιχείων στη φυλλόπτωση σε συστάδα οξιάς στην Όσσα και σε συστάδα ελάτης στην περιοχή Καρπενησίου.

Πίνακας 1. Ροές στοιχείων (kg/ha/έτος) συνολικής (B) και διαπερώσας βροχής (ΔB) σε τέσσερις πειραματικές επιφάνειες στην Ελλάδα το 2005 (πηγή: πειραματικές επιφάνειες Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, αδημοσίευστα δεδομένα).

*	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		SO ₄ ²⁻ -S		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
1	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB
	22,7	21,5	2,70	3,42	3,0	26,2	11,8	9,85	2,70	3,59	2,62	1,59
2	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB
	7,81	14,0	1,62	3,23	3,83	22,1	13,1	14,2	10,1	7,4	3,66	3,77
3	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB
	9,0	9,4	1,78	2,06	4,04	11,5	13,7	8,2	10,1	5,5	3,7	2,4
4	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB	B	ΔB
	29,9	38,5	3,14	6,7	5,1	45,3	17,2	22,4	5,2	3,2	3,4	3,2

* 1. αείφυλλα πλατύφυλλα, 2. φυλλοβόλες δρυές, 3. οξιά, 4. ελάτη



Φωτογραφία 5. Φυλλοπαγίδες για τη μέτρηση της ποσότητας της φυλλόπτωσης τοποθετημένες εντός των δασοσυστάδων σε δάσος ελάτης στην περιοχή του Καρπενησίου.

Μέχρι τώρα στη διεθνή βιβλιογραφία υπολογίζονται οι ποσότητες της φυλλόπτωσης πάνω από το δασικό έδαφος. Υπάρχει και ένα άλλο είδος φυλλόπτωσης, όμως, αυτό κάτω από το έδαφος. Προέρχεται από τις λεπτές ρίζες των δένδρων και από τις οργανικές ουσίες που παράγουν οι ρίζες των φυτών. Οι Vogt et al. (1983) βρήκαν ότι σε ελάτη (*Abies alba*) στην Αμερική οι ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στη φυλλόπτωση κάτω από το έδαφος ήταν μέχρι τέσσερις φορές μεγαλύτερες από εκείνες πάνω από το έδαφος. Συνεπώς, και οι ποσότητες πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων πρέπει να είναι μεγαλύτερες από εκείνες που οι ερευνητές υπολόγιζαν μέχρι τώρα. Η εύρεση της φυλλόπτωσης, όμως, κάτω από το έδαφος αποτελεί μία δαπανηρή και επίπονη εργασία. Για το λόγο αυτόν οι ερευνητές προσπαθούν να βρουν μοντέλα από τα οποία θα υπολογίζεται η φυλλόπτωση κάτω από το έδαφος.

Πίνακας 2. Μάζα φυλλόπτωσης ($kg ha^{-1}$) και στοιχείων ($mg ha^{-1}$) στην επιφάνεια της οξιάς σε 5 χρόνια παρατήρησης (πηγή: πειραματικές επιφάνειες Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, αδημοσίευτα δεδομένα).

ΟΞΙΑ						
Έτος	Μάζα	Ca	Mg	K	N	P
2002	4,11	50,4	8,49	19,4	29	1,38
2003	7,01	93,3	19,2	55,1	51,6	3,28
2004	3,69	42,7	5,54	12	29,8	1,5
2005	3,76	55,7	5,48	13,1	29	1,24
2006	3,38	52,5	5,23	12	36,7	1,47

Πίνακας 3. Μάζα φυλλόπτωσης ($kg ha^{-1}$) και στοιχείων ($mg ha^{-1}$) στην επιφάνεια της ελάτης σε 5 χρόνια παρατήρησης (πηγή: πειραματικές επιφάνειες Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, αδημοσίευτα δεδομένα).

ΕΛΑΤΗ						
Έτος	Μάζα	Ca	Mg	K	N	P
2002	3,61	78,2	5,35	14,1	40,7	3,49
2003	5,87	109	6,91	31,7	65,4	2,9
2004	5,6	94,5	6,79	22,2	54,5	3,72
2005	5,41	122	5,55	23,8	50,3	3,46
2006	3,86	106	7,15	25,9	61,1	5,13

Αποσύνθεση οργανικής ουσίας του δασικού τάπητα

Η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων στο δασικό τάπητα είναι το κλειδί για τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων στα δασικά οικοσυστήματα. Χωρίς αυτήν, τα θρεπτικά στοιχεία θα έμεναν για πάντα δεσμευμένα στις οργανικές ενώσεις και δεν θα γινόταν αναπλήρωση των απωλειών. Η αποσύνθεση μετράται ως ο ρυθμός οξείδωσης του οργανικού άνθρακα των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων. Η μικροπανίδα (έντομα, σκουλήκια) παίζει σπουδαίο ρόλο στον αρχικό τεμαχισμό των φυτικών υπολειμμάτων. Οι δύο καθοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποσύνθεση είναι η ποιότητα των φυτικών υπολειμμάτων και το κλίμα (Meentemeyer 1978). Σε φρέσκα υπολείμματα η σχέση άνθρακα προς άζωτο έχει μελετηθεί πολύ σε σχέση με την επίδρασή της στο ρυθμό αποσύνθεσης (Brady 1984). Στη δασική εδαφολογία, η σχέση της συγκέντρωσης αζώτου προς τη συγκέντρωση της λιγνίνης φαίνεται να είναι σπουδαιότερη (Berg 1986). Όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα αποσύνθεσης.

Η θερμοκρασία και η υγρασία επηρεάζουν το ρυθμό αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας. Σε ψυχρά και ξηρά κλίματα η αποσύνθεση είναι αργή και έχουμε συσσώρευση οργανικών υπολειμμάτων στο δασικό τάπητα. Στα Ελληνικά δασικά εδάφη ο Nakos (1984) βρήκε ότι το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο ανόργανο έδαφος διπλασιάζεται σε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 10 βαθμούς Κελσίου. Σε τροπικά δάση η ταχύτητα αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας είναι μεγάλη, εξαιτίας των υψηλών βροχοπτώσεων και των υψηλών θερμοκρασιών.

Βιοχημικός κύκλος

Τα δασικά φυτά μπορούν να μετακινούν θρεπτικές ουσίες από παλαιότερους φυτικούς ιστούς σε νεότερους. Με αυτόν τον τρόπο κάνουν οικονομία αφενός στο συνολικό απόθεμα θρεπτικών ουσιών, αλλά και εξαρτώνται λιγότερο από το έδαφος. Οι Cole και Rapp (1981) δίνουν την εξίσωση: μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων = απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία - πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων. Οι δύο παράγοντες της εξίσωσης μπορούν να υπολογισθούν, και να καταρτιστούν πίνακες για τα δασοπονικά είδη.

Δασικά εδάφη και κλιματική αλλαγή

Ο οργανικός άνθρακας στα δασικά εδάφη αποτελεί τη μεγαλύτερη ποσότητα αποθηκευμένου άνθρακα στα χερσαία οικοσυστήματα. Ο άνθρακας του εδάφους φτάνει το 80% του συνολικού άνθρακα (δεσμευμένου στη βιομάζα και το έδαφος) στα δάση της βόρειας ζώνης, 60% στα δάση της εύκρατης ζώνης και 50% στα τροπικά δάση (Dixon et al. 1994). Ο Lal (2005) παραθέτει τους μέσους όρους των αποθεμάτων του άνθρακα παγκοσμίως. Στη δασική βλάστηση τα αποθέματα φτάνουν τους 54 τόνους ανά εκτάριο και στα δασικά εδάφη τους 189. Στα ελληνικά δασικά εδάφη το μέσο απόθεμα του οργανικού άνθρακα βρέθηκε να ανέρχεται στους 87,5 τόνους ανά εκτάριο (Νάκος κ.ά. 2009).

Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας αυξάνει κατά 0,4% το χρόνο. Οι επιπτώσεις αυτής της αύξησης στα δασικά εδάφη δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν. Η ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι αν τα δασικά εδάφη θα αποτελέσουν στο μέλλον χώρο δέσμευσης ή εκπομπής του άνθρακα. Οι ερευνητές κατασκευάζουν μοντέλα όπου λαμβάνονται υπόψη η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας, η αύξηση της θερμοκρασίας και η ελάττωση της βροχόπτωσης. Οι περισσότερες μελέτες δείχνουν ότι θα υπάρξει αλλαγή στην κατανομή της βιομάζας των δασικών φυτών. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα προκαλέσουν αύξηση της υπέργεια βιομάζας, με συνέπεια την αύξηση των οργανικών ουσιών που επιστρέφουν στο έδαφος. Όλο και περισσότερη βιομάζα θα αποθηκεύεται στις ρίζες και στη ριζόσφαιρα των δασικών εδαφών. Οι Ceulemans et al. (1999) υποστηρίζουν ότι σε επίπεδο οικοσυστήματος, ο εμπλουτισμός της ριζόσφαιρας με άνθρακα θα οδηγήσει σε αύξηση του μεγέθους των ριζών, της μικροβιακής δραστηριότητας της ριζόσφαιρας, αλλά και σε αύξηση των απωλειών του άνθρακα εξαιτίας της αυξημένης αναπνοής των μικροοργανισμών του εδάφους.

Η δέσμευση του άνθρακα εξαρτάται και από τη διαθεσιμότητα και άλλων στοιχείων και, κυρίως, του αζώτου. Οι Hu et al. (2001) υποστήριξαν ότι εάν δεν υπάρξει περίσσεια διαθέσιμου αζώτου, η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας θα φτάσει ένα ανώτατο όριο. Τα δασικά φυτά, οι ρίζες των οποίων δημιουργούν συμβίωση με βακτήρια που δεσμεύουν τα άζωτο της ατμόσφαιρας, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες εδάφους για μεγαλύτερη δέσμευση του άνθρακα (Resh et al. 2002). Η εφαρμογή βιολογικών λιπασμάτων στα δασικά εδάφη (λάσπη βιολογικού καθαρισμού και κομπόστας) μπορεί επίσης να αυξήσει την ικανότητα των εδαφών για τη δέσμευση του άνθρακα (Harrisson et al. 1995).

Στα δάση των ψυχρών περιοχών, η αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας και, συνεπώς, στην απώλεια του άνθρακα. Το φαινόμενο αυτό θα είναι έντονο καθόσον ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας της οργανικής ουσίας στα εδάφη των δασών της βόρειας ζώνης δεν είναι χουμοποιημένο και συνεπώς δεν περιέχει μεγάλες ποσότητες λιγνίνης, που είναι ανθεκτική στη δράση των μικροοργανισμών (Neff and Hooper 2002). Οι Melillo et al. (2002) διεξήγαγαν ένα πείραμα σε δάσος πλατύφυλλων σε μεσαίο γεωγραφικό πλάτος. Βρήκαν ότι η θέρμανση του εδάφους προκάλεσε αύξηση του ρυθμού αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, αλλά αυτή η αύξηση ήταν πρόσκαιρη, καθόσον το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ουσίας είχε ήδη χουμοποιηθεί.

Η αλλαγή χρήσης γης επηρεάζει τη μάζα του οργανικού άνθρακα στο έδαφος. Η μετατροπή των δασών σε αγρούς ελαττώνει το ποσό του αποθηκευμένου άνθρακα στο έδαφος σε ποσοστό 20-50% (Davidson and Ackerman 1993). Οι αναδάσώσεις γεωργικών γαιών, αντίθετα, συμβάλλουν στη δέσμευση του οργανικού άνθρακα (Ross et al. 2002). Οι Paul et al. (2002) υποστηρίζουν ότι το είδος που φυτεύεται, το κλίμα και το παρελθόν της περιοχής παίζουν ρόλο στη δέσμευση του άνθρακα. Οι παραπάνω ερευνητές βρήκαν ότι η μεγαλύτερη δέσμευση εμφανίζεται όταν οι αναδάσώσεις γίνονται με πλατύφυλλα είδη και ιδίως με είδη οι ρίζες των οποίων σχηματίζουν συμβιωτικές υφές με βακτήρια που δεσμεύουν το άζωτο.

Γενικά, όμως, η δέσμευση του άνθρακα της ατμόσφαιρας πρέπει να θεωρείται σε όλο το δασικό οικοσύστημα (βιομάζα και έδαφος) και όχι μόνο στο έδαφος. Τα μοντέλα που κατασκευάζονται αναφέρονται στην ολότητα του δάσους. Οι Davi et al. (2006) εφάρμοσαν μοντέλα που καλύπτουν την περίοδο από το 1960 μέχρι το 2100 σε δάση της Γαλλίας. Βρήκαν ότι τα δάση των σκλη-

ρόφυλλων πλατύφυλλων (αριά) της μεσογειακής ζώνης, καθώς και των πλατύφυλλων, μπορούν να δεσμεύουν άνθρακα μέχρι το τέλος της περιόδου του 2100. Τα δάση των κωνοφόρων εμφανίζουν μείωση της ικανότητας αυτής, αν και αυτά παραμένουν αποθηκευτές του άνθρακα.

Βιβλιογραφία

Α. Ελληνική

Νάκος, Γ. 1991. Ταξινόμηση, χαρτογράφηση και αξιοποίηση των γαιών: τεχνικές προδιαγραφές. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Αθήνα.

Νάκος, Γ., Π. Μιχόπουλος, Α. Οικονόμου, και Κ. Καούκης. 2009. Εκτίμηση της ποσότητας οργανικού άνθρακα στα ελληνικά δασικά εδάφη. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Αθήνα.

Οικονόμου Α., Π. Μιχόπουλος, Μ. Βουλαλά, Ουρ. Μαυρουδή, και Τρ. Δασκαλάκης. 2007. Αποτελέσματα Ταξινόμησης, Χαρτογράφησης και Αξιολόγησης των Γαιών. Αυτοτελής έκδοση του Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Αθήνα.

Παπαμίχος, Ν. 1985. Δασικά Εδάφη. Σχηματισμός, Ιδιότητες, Συμπεριφορά. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Γραμματεία Δασών & Φυσικού Περιβάλλοντος. 1992. Αποτελέσματα Πρώτης Εθνικής Απογραφής Δασών. Έκδοση Υπουργείου Γεωργίας, Αθήνα.

Β. Ξενόγλωσση

Allen, M. 1996. The Ecology of Mycorrhizae. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Australia.

Berg, B. 1986. Nutrient release from litter and humus from coniferous forest soils- a mini review. Scandinavian Journal of Forest Research 1:359-369.

Blanco, J.A., M.A. Zavala, J.B. Imbert, and F.J. Castillo. 2005. Sustainability of forest management practices: Evaluation through a simulation model of nutrient cycling. Forest Ecology and Management 213:209-228.

Brady, N. 1984. The Nature and Properties of Forest Soils. Macmillan Publishing Company, New York.

Cole, D.W., and M. Rapp. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. Pages 341-409 in D.E. Reichle, editor. Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge University Press, London.

Davi, H., E. Dufrêne, C. Francois, G. Le Maire, D. Loustau, A. Bosc, S. Rambal, A. Granier, and E.J. Moors. 2006. Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology 141:35-36.

Davidson, E.A., and I.L. Ackerman. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry 20:161-193.

Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler, and J. Wissiniewski. 1994. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. Science 263:185-190.

Harley, J., and S.E. Smith. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London.

Harrisson, R.B, C.L. Henry, D.W. Cole, and D. Xue. 1995. Long term changes in organic matter in soils receiving applications of municipal biosolids. Pages 139-153 in W. McFee, and J.M. Kelly, editors. Carbon Forms and Functions in Forest Soils. Soil Science Society American Madison.

Hu, S., F.S. Chapin III, M.K. Firestone, C.B. Field, and N.R. Chiariello. 2001. Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO₂. Nature 409:188-191.

Kimmins, J.P. 1996. Forest Ecology. A Foundation for Sustainable Management. Prentice Hall, New Jersey.

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management 220:242-258.

Likens, E., and E.H. Bormann. 1995. Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. 2nd edition. Springer-Verlag, New York.

Lindberg, S.E., G.M. Lovett, D.D. Richter, and D.W. Johnson. 1986. Atmospheric deposition and canopy inreractions of major ions in a forest. Science 231:141-145.

Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. Ecology 59: 465-472.

Melillo, J.M., P.A. Steudler, J.D. Aber, K. Newkirk, H. Lux, F.P. Bowles, C. Catricala, A. Magill, T. Ahrens and S. Morrisseau. 2002. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. Science 298:2173-2176.

Michopoulos, P., G. Baloutsos, G. Nakos, and A. Economou. 2001. Effects of bulk precipitation pH and growth period on cation enrichment in precipitation beneath the canopy of a beech (*Fagus moesiaca*) forest stand. Science of the Total Environment 281:79-85.

- Nakos, G. 1984. Relationships of bioclimatic zones and lithology with various characteristics of forest soils in Greece. *Plant Soil* 79:101-121.
- Neff, J.C., and D.U. Hooper. 2002. Vegetation and climate controls on potential CO₂, DOC and DON production in northern latitude soils. *Global Change Biology* 8:872-884.
- Parker, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research* 13:57-133.
- Paul, K.I., P.J. Polglase, J.G. Nyakuengama, and P.K. Khanna. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168:241-257.
- Pritchett, L., and R. Fisher. 1987. *Properties and Management of Forest Soils*. John Wiley and Sons, New York.
- Raab, T.K., D.A. Lipson, and R.K. Monson. 1996. Non-mycorrhizal uptake of organic N by the alpine dry meadow sedge, *Kobresia myosuroides*. Implications for the alpine nitrogen cycle. *Oecologia* 108:488-496.
- Resh, S.C., D. Binkley, and J.A. Parrotta. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen fixing trees compared with eucalyptus species. *Ecosystems* 5:217-231.
- Soil Science Society of America. 1973. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Vogt, C.C., C.E. Greier, M.R. Meier, and R. Keyes. 1983. Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in Western Washington. *Ecology* 63:370-380.