

ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

**ΣΤΕΓ
ΘΕΚΑ**

**ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΑΤΗΣ ΣΤΟΝ ΟΡΕΙΝΟ
ΟΓΚΟ ΤΑΪΓΕΤΟΥ**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ : ΜΑΥΡΟΥΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΒΙΚΤΩΡ



ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2009



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ.8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΑΥΓΕΤΟΣ.....σελ12

1.1) Γεωγραφικά στοιχεία.....σελ12

1.2) Γεωμορφολογικά και εδαφολογικά στοιχεία.....σελ14

1.3) Κλιματολογικά στοιχεία.....σελ14

1.4) Η χλωρίδα του Ταύγετου.....σελ.16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ18

2.1) Μεσογειακά οικοσυστήματα.....σελ18

2.2) Τύποι οικοσυστημάτων στις μεσογειακές περιοχές.....σελ20

2.3) Γεωγραφική Εξάπλωση ελάτης.....σελ21

2.4) Βιολογικές ιδιότητες.....σελ22

2.5) Σταθμολογικές απαιτήσεις και εχθροί.....σελ22

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΤΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ
ΕΛΑΤΗΣ.....σελ.23**

3.1) Ελάτη υβριδογενής (*Abies borisii regis* Mattf).....σελ23

3.2) Ελάτη κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica* Loud).....σελ24

3.3) Ελάτη κτενοειδής ή λευκή (*Abies Alba* Mill).....σελ25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΓΕΩΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....σελ28

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ο ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΣΤΑ ΔΑΣΙΚΑ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....σελ.31**

5.1) Συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα.....σελ33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ.34

- 6.1). Επίδραση της ποιότητας τόπου στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα.....σελ.34
- 6.2) Επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων.....σελ.34
- 6.3) Εσωτερική μετακίνηση θρεπτικών στοιχείωνσελ.35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΤΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....σελ.37

- 7.1. Σίδηρος (Fe).....σελ.37
- 7.1.2Εδάφη με έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού σιδήρου.....σελ.37
- 7.2. Χαλκός (Cu).....σελ.38
- 7.2.1Πρόσληψη και ρόλος του χαλκού.....σελ.39
- 7.2.2.Τοξικότητα του χαλκού.....σελ.39
- 7.2.3 Έλλειψη χαλκού.....σελ.40
- 7.2.4 Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού.....σελ.40
- 7.3. Μαγγάνιο (Mn).....σελ.41
- 7.3.1Αφομοιώσιμες μορφές μαγγανίου.....σελ.42
- 7.3.2.Ο ρόλος του μαγγανίου στα φυτά.....σελ.42
- 7.3.3.Πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά.....σελ.43
- 7.3.4.Συνθήκες τοξικότητας μαγγανίου.....σελ.43
- 7.3.5.Συνθήκες έλλειψης μαγγανίου.....σελ.44
- 7.4. Ψευδάργυρος (Zn).....σελ.45
- 7.4.1Εδάφη με πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου.....σελ.45
- 7.4.2.Εδάφη με πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου.....σελ.47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....σελ.48

- 8.1.Πηγές βαρέων μετάλλων.....σελ.48
- 8.1.1.Φυσικές πηγές βαρέων μετάλλων.....σελ.48
- 8.1.2.Σημειακέςπηγέςβαρέων μετάλλων.....σελ.49
- 8.2.Τοξικότητα βαρέων μετάλλων.....σελ.51

8.3. Χαρακτηριστικά συγκεκριμένων βαρέων μετάλλων.....	σελ.51
8.3.1. Μόλυβδος.....	σελ.52
8.3.2. Κάδμιο.....	σελ.53
8.3.3 Χρώμιο.....	σελ.54
8.3.4 Χαλκός.....	σελ.54
8.3.5 Ψευδάργυρος.....	σελ.55
8.3.6 Νικέλιο.....	σελ.55
8.3.7 Σίδηρος.....	σελ.56
8.3.8 Μαγγάνιο.....	σελ.56

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....σελ58

1.1.Προετοιμασία δειγμάτων ορυκτού εδάφους.....	σελ60
1.2.Προετοιμασία δειγμάτων δασικού τύπτηα.....	σελ60
1.3.Προετοιμασία δειγμάτων βελόνων.....	σελ60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....σελ61

2.1 Προσδιορισμός της E.C και του pH του ορυκτού εδάφους.....	σελ61
2.2 Προσδιορισμός κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους.....	σελ62
2.3. Προσδιορισμός ελεύθερου CaCO ₃	σελ63
2.4 Προσδιορισμός ανταλλάξιμου Na, K, Ca, Mg.....	σελ63
2.5 Αποδιοργάνωση ορυκτού εδάφους με τη μέθοδο της υγρής καύσης....	σελ64
2.6. Αποδιοργάνωση βελόνων και δασικού τύπτηα.....	σελ64
2.6.1 Μέθοδος υγρής καύσης.....	σελ64

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ..... σελ.65**

3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΛΙΟΥ..... σελ.65

3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ.....σελ.65

3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΑΤΡΙΟΥ.....σελ.66

3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ.....σελ.66

3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....σελ.67

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....σελ.69

2. Συμπεράσματασελ.75

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.77

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμόσφαιρα, το έδαφος και το νερό είναι αλληλένδετες έννοιες. Δεν είναι λογικό να αναφερόμαστε μόνο στη ρύπανση του νερού, εξαιτίας των ενδιάμεσων μεταφορών στον αέρα ή στο έδαφος. Αν απομακρυνθούν ρύποι από τα υδατικά απόβλητα με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, υπολείμματα εναποτίθενται στο έδαφος ή, αν αποτεφρωθούν, στον αέρα. Η ατμόσφαιρα μεταφέρει ρύπους στο έδαφος και στο νερό μέσω της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης, δηλαδή της μεταφοράς ρύπων, τόσο των αερίων όσο και των σωματιδιακών, από τον αέρα στο έδαφος και στο νερό. Η όξινη βροχή είναι η πιο συχνή μορφή της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης και επηρεάζει τους θρεπτικούς κύκλους στο περιβάλλον (βιογεωχημεία) και τη μεταφορά των βαρέων μετάλλων.

Η ατμόσφαιρα είναι ένας σημαντικό μέσο μεταφοράς μετάλλων από διάφορες πηγές. Εδάφη είναι συχνά μολυσμένα εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το σημείο εκπομπής. Τα μέταλλα παρουσιάζονται στην ατμόσφαιρα στα μόρια του αέρα με μέγεθος της τάξης του 5nm-20μm, αλλά τα περισσότερα είναι μεταξύ 0,1 και 10μm σε διάμετρο και έχουν μέσο χρόνο ζωής 10-30 μέρες. Ένα μεγάλο κομμάτι της παραγωγής μετάλλων με τη μορφή σκόνης έχει ανθρωπογενή προέλευση. Ακόμα και πριν την ευρύτατη βιομηχανική χρήση μετάλλου, η καύση λιθάνθρακα συνέβαλε ώστε να απελευθερωθούν μεγάλες ποσότητες άνθρακα και μετάλλων στην ατμόσφαιρα.

Οι βασικές λειτουργίες των γήινων συστημάτων τα οποία είναι εκτεθειμένα σε μέτρια ή υψηλή μόλυνση αποτελεί αντικείμενο για αρκετές έρευνες. Αλλά η έκταση και η επίπτωση της μικρής, διάχυτης ανθρωπογενούς μόλυνσης στο οικοσύστημα ένα ακόμα ανεπαρκώς εκτιμημένη. Μολονότι αυτήν την κατάσταση τη συναντάμε σε τεράστια απόσταση από το σημείο παραγωγής η δυναμική των μετάλλων τα οποία μεταφέρονται σε ίχνη-μικρές ποσότητες δεν μας είναι ακριβώς γνωστές.

Το μέγεθος των προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις περιοχές όπου λειτουργούν θερμοηλεκτρικοί σταθμοί εξαρτάται από το μέγεθος της ηλεκτροπαραγωγής, από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, λιγνίτη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, από τη εγγύτητα του σταθμού σε κατοικημένες περιοχές και από τις

επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Στη χώρα μας τα κύρια προβλήματα εντοπίζονται στις λιγνιτικές μονάδες της ΔΕΗ που λειτουργούν στους νομούς Φλώρινας, Κοζάνης και Αρκαδίας.

Το δασικό οικοσύστημα του Ταΰγετου περιλαμβάνεται στο ευρύτερο χώρο πιθανής ρύπανσης του περιβάλλοντος από το θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ στη περιοχή Μεγαλόπολης του Ν. Αρκαδίας.

Οι λιθανθρακικές μονάδες παράγουν τη μεγαλύτερη (από οποιαδήποτε άλλη πηγή) μόλυνση διοξειδίου του θείου (SO_2). Στις ΗΠΑ μόνο, ο λιθάνθρακας είναι υπεύθυνος για τα δυο τρίτα ($2/3$) της συνολικής μόλυνσης από SO_2 κάθε χρόνο. Το διοξείδιο του θείου (SO_2) ταξιδεύει μεγάλες αποστάσεις στην ατμόσφαιρα πριν πέσει στο έδαφος. Μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα τόσο από μόνο του όσο και από τις ενώσεις του με άλλους ρύπους. Εκτός από την όξινη βροχή, το SO_2 μπορεί να ενωθεί με οξείδια του αζώτου (NO_x) και άλλα σωματίδια στην ατμόσφαιρα και να σχηματίσει σωματιδιόμορφες ουσίες, ή όπως είναι ευρέως γνωστά αιωρούμενα σωματίδια ($\text{PM} = \text{particulate matter}$). Μερικές φορές αποκαλούνται και αιθάλη. Εκτός από τις χημικές ενώσεις του SO_2 , τα αιωρούμενα σωματίδια απελευθερώνονται απευθείας και από τις καμινάδες των λιθανθρακικών μονάδων. Σε όλες τις περιπτώσεις ανεξάρτητα από το μέγεθος τους τα αιωρούμενα σωματίδια και η ιπταμένη τέφρα είναι ιδιαίτερα βλαβερά το περιβάλλον.

Στην ιπτάμενη τέφρα προστίθεται και η σκόνη από την αποθήκευση και διακίνηση χιλιάδων τόνων λιθάνθρακα τον χρόνο που θα καταναλώνει ως καύσιμο η μονάδα αυτή.

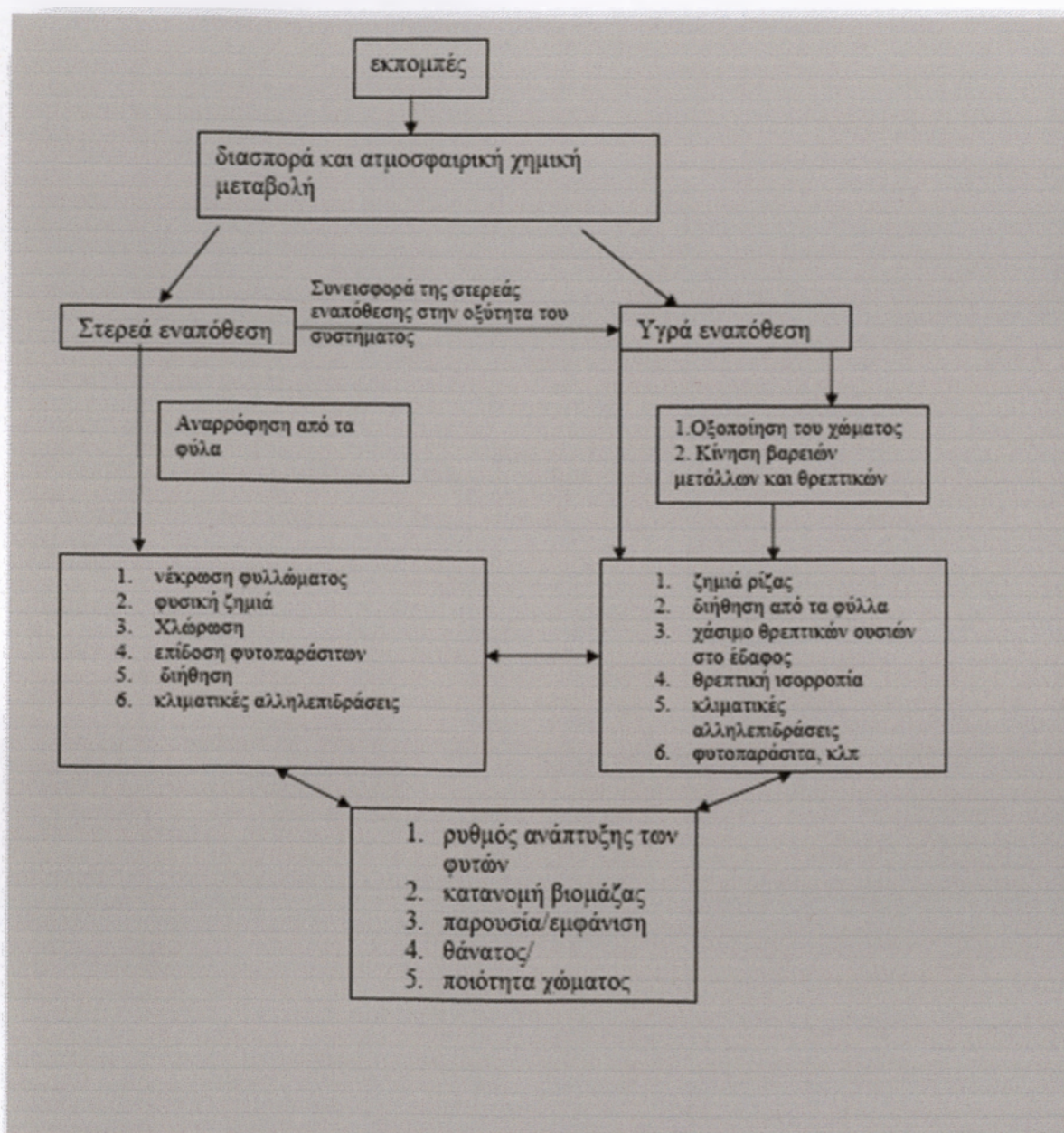
Ένα εργοστάσιο λιθάνθρακα συνεισφέρει σημαντικά στη δημιουργία όξινης βροχής και άλλων όξινων εναποθέσεων. Η όξινη βροχή δημιουργείται από την αντίδραση οξειδίων του αζώτου (NO_x) και του διοξειδίου του θείου (SO_2) με το νερό και το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Η αντίδραση αυτών των ρύπων με την βοήθεια του ηλιακού φωτός δημιουργεί οξικές ενώσεις όπως καρμπολικό οξύ, νιτρικό οξύ και θειικό οξύ που είτε πέφτουν με την βροχή ή εναποτίθενται στο. Στις ΗΠΑ οι λιθανθρακικές μονάδες είναι η πρώτη μεγαλύτερη πηγή

μόλυνσης σε SO₂ (66%) και η δεύτερη μεγαλύτερη σε NO_x. Η όξινη βροχή καταστρέφει οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων αυτών των ποταμών και λιμνών, αλλάζοντας το ευπαθές τους ισοζύγιο φυσικής οξύτητας (pH) και κατά συνέπεια κάνοντας την συντήρηση ζωής αδύνατη. Η όξινη βροχή μπορεί να καταστρέψει δάση και να αφανίσει τη χλωρίδα και πανίδα.

Οι λιθάνθρακες μονάδες είναι, με διαφορά, οι μόνες και κύριες πηγές μόλυνσης υδράργυρου σε πολλά κράτη του κόσμου, και από τις κυριότερες πηγές άλλων επιβλαβών και τοξικών ατμοσφαιρικών ρύπων. Σε εργαστηριακούς ελέγχους εκπομπών από καμινάδες, βρέθηκε ότι οι λιθανθρακικές μονάδες εκπέμπουν 67 τοξικές ουσίες στον. Ουσίες όπως αρσενικό, βηρύλλιο, χρώμιο, μαγγάνιο, νικέλιο, υδράργυρος κλπ.

Στην Ευρώπη ένα ποσοστό 60% του πληθυσμού διαβιεί σε πόλεις και το 5% του εργατικού δυναμικού της Ευρωπαϊκής Ένωσης απασχολείται σε βιομηχανίες, παρά το γεγονός ότι οι αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες αποτελούν τους βασικούς παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποιότητα της ζωής και του περιβάλλοντος. Αυτές αποτελούν μόλις το πέντε τοις εκατό της συνολικής έκτασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυξημένη βιομηχανική παραγωγή, για παράδειγμα, οδηγεί σε μεγαλύτερη ζήτηση πρώτων υλών και γης για κατασκευές, σε μείωση αποθεμάτων, σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και σε αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση. Αποτέλεσμα αυτών είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και η αυξημένη ρύπανση.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ολοκληρωμένο ερευνητικό πρόγραμμα για την ρύπανση στον ορεινό όγκο του Ταϋγέτου σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη και καταγραφή της βιοσυσσώρευσης βαρέων μετάλλων στο οικοσύστημα της ελάτης στον ορεινό όγκο του Ταϋγέτου, ώστε να έχουμε μια εικόνα της ουσιαστικής ή όχι ρύπανσης του συγκεκριμένου οικοσυστήματος από τις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον από το θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ στη περιοχή Μεγαλόπολης του Ν. Αρκαδίας.



Εικ. 1. Βιο-γεωχημικός κύκλος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ταΰγετος

1.1. Γεωγραφικά στοιχεία

Ο Ταΰγετος ή Πενταδάκτυλος, είναι η υψηλότερη οροσειρά της Πελοποννήσου, εκτεινόμενη μεταξύ των λεκανών Μεγαλόπολης - Ευρώτα και Μεσσηνίας. Η κορυφή του έχει ύψος 2.407μ.

Η οροσειρά του Ταΰγετου έχει μήκος 115 χιλιόμετρα, μέγιστο πλάτος 30 χιλιόμετρα και έκταση 2.500 τετραγωνικά χιλιόμετρα, η οποία συγκροτείται από τέσσερα κύρια τμήματα: τον Βόρειο (προς την Μεγαλόπολη), τον Μέσο Ανατολικό (προς την Σπάρτη), τον Δυτικό και τον Νότιο Ταΰγετο με τα βουνά της Μάνης.



Εικ.1.Γεωγραφική θέση Ταΰγέτου (www.haef.gr)

1.2. Γεωμορφολογικά και εδαφολογικά στοιχεία

Ο Ταΰγετος έχει ασβεστολιθικά πετρώματα εναλλασσόμενα με σχιστόλιθο.

Κατά την αρχαιότητα από τον Ταΰγετο εξορύσσονταν μέταλλα και μάρμαρα, όπως τα κόκκινα μάρμαρα της Μάνης, δηλαδή το πολύτιμο rosso antico των Ρωμαίων, το Λακεδαιμόνιο μάρμαρο που είναι Σερπεντίτης, η λευκή κρυσταλλίνα της Μάνης, καθώς και πέτρα για οικοδόμηση, η οποία χρησιμοποιείται και σήμερα.

Τα πλούσια ασβεστολιθικά πετρώματα, είναι πορώδη και στο πέρασμα των αιώνων τα νερά της βροχής και του χιονιού που κάθε χρόνο διαπερνούν τα έγκατα του βουνού δημιούργησαν πολλά σπήλαια. Τα νερά βρίσκουν διέξοδο στη θάλασσα ως υποθαλάσσιες εκβολές και είναι οι αποκαλούμενοι ανάβολοι. Μέχρι σήμερα έχουν καταμετρηθεί 116 και 22 υπόγειοι ποταμοί.

Τα δύο βασικά πετρώματα που κυριαρχούν στην έκταση του δάσους, είναι οι φυλλίτες, με τη μορφή κυρίως μαρμαρυγιακού γνεύσιου και οι ασβεστόλιθοι που παρουσιάζονται, είτε ως δολομιτικοί, είτε ως κρυσταλλικοί, είτε ως άλλης μορφής ασβεστόλιθοι.

1.3. Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα του είναι γενικά ηπειρωτικό, με μεγάλες χιονοπτώσεις κατά την διάρκεια τού χειμώνα.

Πίνακας 1 Μετεωρολογικά στοιχεία Αρτεμισίας για την περίοδο 1960- 2003

Μήνας	Μέση θερμοκρ. °C	Σχετική υγρασία	Ύψος βροχής mm
ΙΑΝ	6,2	78	167,8
ΦΕΒΡ	6,6	76	145,6
ΜΑΡΤ	8,5	70	96,7
ΑΠΡΙ	12,2	67	66,2
ΜΑΙ	17,7	62	41,0
ΙΟΥΝ	21,9	56	17,6
ΙΟΥΛ	24,4	52	15,3
ΑΥΓ	23,8	54	16,8
ΣΕΠ	20,5	63	43,4
ΟΚΤ	15,8	69	91,5
ΝΟΕ	11,6	74	168,9
ΔΕΚ	7,8	78	206,5
Μ.Ο έτους	14,7 °C	67	1.077,2 mm

Η περιοχή του δάσους εκτείνεται από το υψόμετρο των 600 περίπου μέτρων έως το υψόμετρο των 1800 περίπου μέτρων, με υψηλότερο σημείο την κορυφή Γούβες ή Ξεροβούνα Σουστιάνων στα 1852 μ. Το κλίμα διαφέρει σημαντικά στις κλιματικές ζώνες που διατρέχουν το δάσος. Για την περιγραφή του κλίματος θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του εξής μετεωρολογικού σταθμού:

- Του μετεωρολογικού σταθμού Αρτεμισίας που ανήκει στο Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) και παλαιότερα στο Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Αθηνών (ΙΔΕΑ). (Πίνακας 1)

1.4. Η χλωρίδα του Ταΰγétου

Περισσότερα από 700 είδη φυτών συνθέτουν τη σπάνια βλάστηση του Ταΰγétου, παρά τη σοβαρή καταστροφή που έχει υποστεί από τις πυρκαγιές που έχουν ξεσπάσει κατά καιρούς. Στον Ταΰγέτο φυτρώνουν 28 τοπικά ενδημικά φυτά, 11 ενδημικά που συναντώνται σε ένα ακόμη βουνό και 120 ενδημικά που υπάρχουν στα ελληνικά βουνά. Η χλωρίδα του Ταΰγétου προσδιορίζεται από τις κλιματικές ζώνες, στις οποίες χωρίζεται το βουνό.

1. Οι μεσογειακοί θαμνώνες αναπτύσσονται στις χαμηλές πλαγιές σε **υψόμετρο μέχρι 700-800 μέτρα**. Αποτελούν συνθέσεις από πουρνάρια (*Quercus coccifera*), φιλλύκια (*Phillyrea latifolia*), αγριελιές (*Olea europaea*), σχίνα (*Pistacia lentiscus*), αγριοτσικουδιές (*Pistacia terebinthus*), αιθαλή σφενδάμια (*Acer Sempervirens*), αγριοροδακινιές (*Prunus webbii*), κουτσουπιές (*Cercis siliquastrum*), χρυσόξυλα (*Cotinus coggyria*), φράξους (*Fraxinus omus*), αγριόκεδρα *Juniperus oxycedrus* 5), άγρια αγιοκλήματα (*Lonicera implexa*), αριές (*Quercus ilex*), ρείκια (*Erica manipuliflora*) κ.ά.

Στη ζώνη αυτή σποραδικά εμφανίζονται δρύες (*Quercus pubescens*), χαρουπιές (*Ceratonia siliqua*), κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens*) και άλλα είδη δένδρων. Παλαιότερα οι θαμνώνες ήταν πραγματικά δάση, αλλά σήμερα έχουν υποβαθμιστεί λόγω των πυρκαγιών και της υπερβόσκησης. Σε πολλές περιοχές του βουνού οι θαμνώνες έχουν αντικατασταθεί από φρύγανα, ενώ σε άλλες έχουν εξαφανιστεί. Ανάμεσά τους φυτρώνουν και πολλά βολβώδη ή ποώδη φυτά, όπως ανεμώνες (*Anemone ranonina*, *Anemone coronaria*), αγριοτουλίπες (*Tulipa ophaniidea*), κυκλάμινα (*Cyclanem graecum*), μαργαρίτες (*Anthemis chia*) κ.ά.

2. Στην **ορεινή ζώνη, από τα 700-1.700 μέτρα**, αναπτύσσονται τα δάση κωνοφόρων του Ταΰγétου, όπου κυριαρχούν το ελληνικό έλατο (*Abies*

cephalonica) και το μαύρο πεύκο (*Pinus nigra*), για το οποίο ο Ταύγετος είναι το νοτιότερο σημείο εξάπλωσής του στη χώρα. Τα αιωνόβια μαυρόπευκα υπάρχουν διάσπαρτα σε διάφορα μέρη του βουνού και κυρίως στο δάσος της Βασιλικής. Είναι δένδρα ηλικίας 300-500 χρόνων, των οποίων η διάμετρος του κορμού συχνά ξεπερνάει το 1 μέτρο. Είναι τα απομεινάρια των πανάρχαιων δασών του Ταύγету, πραγματικά μνημεία της φύσης, τα οποία πρέπει να τεθούν υπό αυστηρή προστασία. Στη ζώνη αυτή και σε σημεία που έχουν απογυμνωθεί από πυρκαγιές φυτρώνει ένα πλήθος φυτών, όπως αγριογαρίφαλα (*Dianthus* sp.), ανεμώνες του βουνού (*Anemone blanda*), αγριοτριανταφυλλίες (*Rosa* sp.), γεράνια (*Geranium* sp.), άγριοι μενεξέδες (*Viola odorata*), κόκκινοι κρίνοι (*Lilium chalcedonicum*) κ. ά.

3. Στην **υποαλπική ζώνη, σε υψόμετρο 1.700-2.000 μέτρα**, αρχίζουν τα γυμνά λιβάδια και οι βραχώδεις σχηματισμοί. Εδώ φυτρώνουν μόνο μικρά πολυετή φυτά, ενώ σποραδικά συναντάμε μοναχικά έλατα και μαύρα πεύκα, σε νανώδη μορφή λόγω του υψόμετρου και της συνεχούς χιονόπτωσης. Χαρακτηριστικά φυτά της υποαλπικής ζώνης είναι η βουνίσια τσουκνίδα (*Urtica dioica*) και το γνωστό τσάι του Ταύγету.

4. Στην **αλπική ζώνη, σε υψόμετρο 2.000-2.407 μέτρα**, η απουσία των δένδρων είναι ολική, λόγω της συνεχούς χιονοκάλυψης. Εδώ, όμως, φυτρώνουν τα περισσότερα και τα πιο σπάνια ενδημικά του Ταύγету, φυτά πολυετή και ανθεκτικά στο κρύο. Εδώ συναντάμε τον Νανόκεδρο (*Juniperus communis*), καθώς και τα *Beta nana*, *Minuartia stellata*, *Arabis subfiava*, *Saxifraga sibthorpii*, *Geranium subcaulescens*, *Viola chelmea*, *Veronica thymifolia* κ.ά.

5. Στις **ρεματιές και στα φαράγγια**, αναπτύσσεται ιδιόμορφη βλάστηση, η οποία δεν επηρεάζεται από την υψομετρική διαφορά. Χαρακτηριστικά είδη είναι το πλατάνι (*Platanus orientalis*), η δάφνη (*Laurus nobilis*), η μυρτιά (*Myrtus*

communis), η άγρια ροδιά (*Punica granatum*), η πικροδάφνη (*Nerium oleander*) και η λυγαριά (*Vitex agnus-castus*). (messinia-guide.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Οικοσύστημα

Κάθε οικοσύστημα αποτελείται από δύο κύρια τμήματα το ζωντανό δηλαδή τη βιοκοινότητα και το μη ζωντανό το αβιοτικό (βιότοπο). Το αβιοτικό περιβάλλον το αποτελούν στοιχεία όπως το έδαφος, το νερό, η ατμόσφαιρα. Τη βιοκοινότητα αποτελούν όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί που δέχονται τις επιδράσεις του αβιοτικού περιβάλλοντος.

Υπάρχουν πολλοί τύποι οικοσυστημάτων, στη θάλασσα έχουμε τα θαλάσσια οικοσυστήματα, στις ακτές τα παράκτια. Όταν σε μια έκταση έχουμε μόνο γεωργικές καλλιέργειες τότε μιλάμε για ένα αγροτικό οικοσύστημα.

Υπάρχουν επίσης και τα οικοσυστήματα των γλυκέων υδάτων, οι υγρότοποι . Ο ρόλος των τελευταίων είναι πολύ σημαντικός καθώς παρέχουν τροφή και προστασία σε ένα μεγάλο αριθμό πουλιών, θηλαστικών και ψαριών.

Δάσος είναι το οικοσύστημα των φυτών και ζώων στο οποίο κυριαρχούν τα δενδρώδη δασικά είδη. Τα κυριότερα δασικά είδη των ελληνικών δασών είναι οι δρυς κατά 35%, τα πεύκα κατά 25%, τα έλατα 19%, οι οξιές κατά 10% και καστανιές 2% (el.Wikipedia.org)

2.1. Μεσογειακά οικοσυστήματα

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα απαντώνται σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη, ως αποτέλεσμα της προσαρμογής των ειδών της βλάστησης στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες των περιοχών αυτών, οι οποίες χαρακτηρίζουν το μεσογειακό κλίμα. Οι περιοχές με μεσογειακού τύπου κλίμα στον πλανήτη βρίσκονται μεταξύ 30ου και 40ου παραλλήλου βόρεια και νότια του Ισημερινού. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από μακρά άνυδρα καλοκαίρια με έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ήπιους χειμώνες και βροχοπτώσεις που παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση από χρόνο σε χρόνο. Συνοπτικά, για να χαρακτηριστεί ένας κλιματικός τύπος ως μεσογειακός, πρέπει να εκπληρώνει τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Το ετήσιο ποσό βροχόπτωσης να κυμαίνεται μεταξύ 275 και 925 χιλιοστών.
- Το 65% των ετήσιων βροχοπτώσεων να αντιστοιχεί στην περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου (Μαΐου-Οκτωβρίου για το νότιο ημισφαίριο).
- Στη διάρκεια του χειμώνα να υπάρχει ένας μήνας με μέση θερμοκρασία μικρότερη των 15⁰ C.
- Η διάρκεια παγετού (θερμοκρασίες μικρότερες των 0⁰ C), να μην υπερβαίνει το 3% της διάρκειας ενός έτους.

Η ομοιότητα των κλιματικών συνθηκών στις διάφορες περιοχές της γης που απαντά μεσογειακού τύπου κλίμα (μεσογειακή λεκάνη, νότια Καλιφόρνια, νοτιοδυτική Χιλή, νοτιοδυτική Αυστραλία, Ακρωτήριο Καλής Ελπίδας στη Νότιο Αφρική) οδήγησε και στην ομοιότητα των βιολογικών δομών (ζώων, φυτών και οικοσυστημάτων).



Εικόνα 2Περιοχές του πλανήτη που απαντώνται μεσογειακά οικοσυστήματα

2.2. Τύποι οικοσυστημάτων στις μεσογειακές περιοχές.

Στις περιοχές με μεσογειακό κλίμα αναπτύσσονται οι εξής φυτικοί σχηματισμοί καθώς κινούμαστε από τις θερμότερες προς ψυχρότερες περιοχές και από τα μικρότερο προς μεγαλύτερο υψόμετρο.

Φρύγανα: Αναπτύσσονται στις ξηρότερες περιοχές του μεσογειακού κλίματος και μέχρι υψόμετρο 300 περίπου μέτρων, αλλά και σε περιοχές όπου η φωτιά και η βόσκηση έχουν υποβαθμίσει την προϋπάρχουσα βλάστηση. Απαρτίζονται από αραιούς και χαμηλούς θάμνους με μικρά και συχνά χνουδωτά φύλλα, αγκαθωτά κλαδιά και είναι προσαρμοσμένοι στη θερινή ξηρασία.

Μακί: Αναπτύσσονται στις υγρότερες περιοχές της μεσογειακής ζώνης και μέχρι υψόμετρο 700 περίπου μέτρων, και σε δασικές περιοχές που υποβαθμίστηκαν από φωτιά ή βόσκηση. Τα κυρίαρχα φυτά είναι θάμνοι ύψους μέχρι 2-2,5 μέτρα με βαθιές ρίζες για να αντλούν το απαραίτητο νερό και μικρά δερματώδη φύλλα για να περιορίζουν τη διαπνοή το καλοκαίρι, όταν η ξηρασία γίνεται έντονη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ώριμων, πυκνών και υψηλών μακί είναι η απουσία ποωδών φυτών στον υπόροφο.

Μεσογειακά δάση κωνοφόρων. Τα μεσογειακά δάση κωνοφόρων απαντούν στις παράλιες και πεδινές μεσογειακές περιοχές, όπου κατά περίπτωση κυριαρχεί ένα μόνο είδος κωνοφόρου.

Ηπειρωτικές δεινδρώδεις διαπλάσεις φυλλοβόλων δέντρων. Παρουσιάζονται σε περιοχές που η θερμοκρασία το χειμώνα πέφτει κάτω από το όριο του παγετού. Οι βροχοπτώσεις κατανέμονται σχετικά ομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και κυμαίνονται από 600 μέχρι 1500 χιλιοστά.

Ορεινά δάση κωνοφόρων. Σε υψόμετρα πάνω από τα 800 μέτρα επικρατούν είδη κωνοφόρων που αντέχουν στο ψύχος όπως η μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), η κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*), η δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*), το ρόμπολο (*Pinus leucodermis*), και η υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii-regis*). Δάση ρόμπολου εμφανίζονται από τα 1700 μέτρα και πάνω.

Το οικοσύστημα της ελάτης στον ορεινό όγκο του Ταύγετου αποτελείται από τρεις διαφορετικές ποικιλίες ελάτης:

- i) Ελάτη υβριδογενής (*Abies borisii regis* Mattf)
- ii) Ελάτη κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica* Loud)
- iii) Ελάτη κτενοειδής ή λευκή (*Abies Alba* Mill)



Εικ.2. Η υβριδογενής, η κεφαλληνιακή και η λευκή ελάτη
(images.google.gr)

2.3. Γεωγραφική Εξάπλωση ελάτης

Το άριστο της κατακόρυφης εξάπλωσης της ελάτης βρίσκεται από τα 800 - 1600 μέτρα. Η υβριδογενής ελάτη παρουσιάζεται κυρίως στα βουνά της Κεντρικής Ελλάδας μέχρι τη Ροδόπη. Η κεφαλληνιακή ελάτη εμφανίζεται στα όρη από την Κεφαλλονιά μέχρι την Εύβοια και από τον Ταύγετο μέχρι την Όθρυ. Γενικότερα θα λέγαμε ότι η ελάτη συναντάται κυρίως στην Πίνδο, στη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο.

2.4. Βιολογικές ιδιότητες

Η ελάτη είναι δέντρο ύψους 15-20 μέτρων, ανάλογα με το είδος, με στενή κόμη, καλό κορμό και λεπτά κλαδιά. Το ριζικό της σύστημα χαρακτηρίζεται ως μέτριο βαθύ και έντονο. Η έναρξη της σπερμοπαραγωγής γίνεται σε ηλικία 20-50 ετών και φτάνει στο μέγιστο της σε ηλικία 60-100 ετών. Οι σπόροι της έχουν

μικρή φυτρωτική ικανότητα και η φύτευση τους γίνεται 2-4 εβδομάδες μετά τη σπορά. Η αύξηση της σε ύψος γίνεται πολύ αργά και φτάνει στο μέγιστο στην ηλικία των 40-60 ετών. Η διάρκεια ζωής της είναι από 300 ως 500 έτη.

2.5. Σταθμολογικές απαιτήσεις και εχθροί

Η ελάτη είναι είδος σκιοφύτου και αντέχει σε σκίαση 50 με 100 έτη, ενώ, αν ελευθερωθεί, έχει τη δυνατότητα να αναπτύσσεται γρήγορα. Συναντάται σε εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά. Τα είδη της ελάτης απαντώνται στη ζώνη οξιάς-ελάτης και είναι προσαρμοσμένα στο ορεινό μεσογειακό κλίμα.

Είναι ευπαθής στους όψιμους παγετούς και στα χιόνια. Προσβάλλεται από τον ιξό (*Viscum album*) και από σηψιρριζίες όπως *Armelaria melea*, *Agrobacterium tumefaciens* κ.λ.π. Επίσης δημιουργούνται προβλήματα από ζώα όπως τα γίδια, τα πρόβατα, το ζαρκάδι και ο σκίουρος που τρώει τους σπόρους των κουκουναριών.
(easypedia.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Βοτανικά χαρακτηριστικά ποικιλιών ελάτης

3.1.Ελάτη υβριδογενής (*Abies borisii regis* Mattf)

Βελόνες: Στα κατώτερα κλαδιά ελαφρώς οξυκόρυφες ή με εντομή, μήκους ως 30χιλ. και πλάτους 2-3χιλ. στα ανώτερα κλαδιά είναι οξυκόρυφες και μεγαλύτερες. Υπόδημα σε άλλα δέντρα παχύ και κλειστό και σε άλλα λεπτό και διακεκομμένο. Στο Άγιο όρος , ο Mattfeld διέκρινε (19030) την ποικιλία *A. borisii regis* var. *pseudocilicica* με μακριές και μαλακές βελόνες.

Οφθαλμοί: Ωοειδείς ,περιχυμένοι με λίγη ρητίνη , σχηματίζουν πραγματικούς σπονδύλους.

Κλαδίσκοι: Οι ετήσιοι κλαδίσκοι πληματώδεις, ανοιχτοκίτρινοι :

Άνθη: Μονογενή. Φυτό μόνοικο. Τα αρσενικά είναι κιτρινοϊόχρωμοι ίουλοι ,ενώ τα θηλυκά όρθια, κιτρινοπράσινα, μορφής κωνίσκων. Άνθηση Απρίλιο-Μάιο.

Κώνοι: Κυλινδρικοί, μήκους 15εκ. περίπου ποικιλόχρωμοι, με ελαφρά κωνική κορυφή. Είναι περιχυμένοι με λίγη ρητίνη .Τα καρπόφυλλα και τα καλυπτήρια έχουν ενδιάμεση μορφή σε σχέση με τη λευκή και την κεφαλληνιακή ελάτη. Ωρίμανση Σεπτέμβριο-Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπέρματα: Τριγωνικά ωοειδή, ανοιχτά καστανόχρωμα, με κύστεις αιθέριων ελαίων και πτερύγιο που τα περιβάλλει σα χλαμύδα.

Κοτυληδόρες: 4-8 συνήθως 5, σε σπόνδυλο, με οριζόντια διεύθυνση, επίπεδες, οξυκόρυφες , με δύο λευκές γραμμές στην πάνω επιφάνεια. Οι πρώτες βελόνες που αναπτύσσονται σχεδόν ανάμεσά τους , σε πολύ βραχύ βλαστό ,είναι μικρότερες και έχουν δύο λευκές γραμμές στην κάτω επιφάνεια.

Γενική περιγραφή :Είναι δέντρο ύψους 25-30μ. και διαμέτρου 0,70-1μ.,με κόμη πλατιά κωνική και κλαδιά λιγότερο πυκνά από την κεφαλληνιακή ελάτη. Φλοιός σε νεαρή ηλικία καστανοσταχτόχρωμος, σε μεγάλη ηλικία με σταχτόχρωμο

ξηρόφλοιο. Η ελάτη αυτή δεν θεωρείται ότι είναι ένα ορισμένο είδος, αλλά πληθυσμός υβριδίων που προήλθε από διασταύρωση λευκής και κεφαλληνιακής ελάτης την τελευταία παγετώδη περίοδο.

Βιολογικές απαιτήσεις: Επειδή είναι υβριδογενής πληθυσμός ,οι βιολογικές απαιτήσεις άλλοτε πλησιάζουν προς την λευκή και άλλοτε προς την κεφαλληνιακή ελάτη.

Γεωγραφική εξάπλωση: Στη ν. Βουλγαρία και ν. Γιουγκοσλαβία. Στην Ελλάδα, σποραδικά στην Πελοπόννησο, στον Τυμφρηστό και στην Οξιά και από εκεί βορειότερα ως τα σύνορα , αμιγής ή σε μικρές συστάδες.

3.2 .Ελάτη κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica* Loud)

Βελόνες: Έντονα ή ελαφρά οξύκρυφες ,μήκους 15-28 χιλ. και πλάτους 2 χιλ., στιλπνές, έχουν στο επάνω μέρος ρηχό αυλάκι και στο κάτω τρίτιδα (προεξοχή) με λευκή γραμμή και από τις δύο πλευρές της. Πολλές φορές ,οι γραμμές αυτές εκτείνονται ως την άκρη της επάνω επιφάνειας. Έχουν σπειροειδή διάταξη και μόνο σε κλαδιά που σκιάζονται και σε νεαρά φυτά είναι δίσειρες. Διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια.

Οφθαλμοί: Ωοειδείς με πολύ ρητίνη ,συνήθως ανά τέσσερις, σχηματίζουν πραγματικούς σπονδύλους. Σκεπάζονται από αδρά λέπια με καστανωπό χρώμα.

Κλαδίσκοι: Οι ετήσιοι είναι τελείως γυμνοί, στιλπνοί, καστανωποί.

Άνθη: Μονογενή. Φυτό μόνοικο .Τα αρσενικά είναι κόκκινοι ίουλοι, στο κάτω μέρος των ετήσιων βλαστών και στις μασχάλες των βελόνων. Τα θηλυκά στην άκρη των ετήσιων βλαστών , με μορφή όρθιων, κιτρινοπράσινων κωνίσκων. Ανθιση Μάιο-Ιούνιο.

Κώνοι: Όρθιοι σαν κεριά, κυλινδρικοί, πρασινοκαστανοί, με κορυφή κωνική (οξεία)μήκους 12-20εκ. περιχυμένοι με πολύ ρητίνη. Ωρίμανση Σεπτέμβριο-Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπόροι: Τριγωνικά ωοειδείς ,ανοιχτά καστανόχρωμοι , με κύστεις αιθέριων ελαίων και ξανθόχρωμο πτερύγιο που τους περιβάλλει σαν χλαμύδα.

Γενική περιγραφή : Δέντρο ύψους 15-30μ. και διαμέτρου 0,80 εκ. ,με οριζόντια κλαδιά. Φλοιός με ρητινοκύστεις ,στην αρχή λείος, καστανωπός, αργότερα σταχτόλευκος. Το ξηρόφλοιο απολεπίζεται σε γωνιώδη λέπια . Ριζικό σύστημα καρδιόρριζα. Σε ελεύθερο χώρο καρποφορεί σε ηλικία 25-40 χρονών, σε συστάδες από 40-50, και πληροκαρπεί κάθε 2-4 χρόνια. Φυτρωτική ικανότητα των σπόρων σχετικά μικρή(60-70%), διατηρείται 6 μήνες. Μετά από σπορά, η φύτευση γίνεται σε 2-3 εβδομάδες. Τα μονοετή φυτάρια έχουν τις κοτυληδόνες και τις πρώτες βελόνες ,και καταλήγουν σε ένα οφθαλμό. Το δεύτερο χρόνο σχηματίζεται ένας συμπαγής βλαστός με δύο οφθαλμούς στην άκρη. Τον τρίτο χρόνο σχηματίζεται ένας πλάγιος και ένας επικόρυφος βλαστός που καταλήγουν σε τρεις οφθαλμούς. Ο πλάγιος βλαστός είναι μακρύτερος από τον επικόρυφο.

Βιολογικές απαιτήσεις : απαιτεί βαθύ, γόνιμο ,χαλαρό και σχετικά υγρό έδαφος, μπορεί όμως να ανατηχθεί και σε αβαθή και ξηρότερα εδάφη, ιδίως σε ασβεστολιθικά πετρώματα, γιατί οι ρίζες εισχωρούν βαθιά μέσα στις ρωγμές και εξασφαλίζοντας απαραίτητες θρεπτικές ουσίες. Είναι σκιανθεκτικό είδος, αλλά λιγότερο από τον ιταμό.

Γεωγραφική εξάπλωση: Είδος της ελληνικής χλωρίδας, σχηματίζει αμιγείς συστάδες από τον Ταύγετο ως τον Τυμφρηστό και την Οξιά, ενώ βορειότερα ,μέχρι τον Όλυμπο και τον Άθωνα, μικτές με την υβριδογενή ελάτη.

3.3 Ελάτη κτενοειδής ή λευκή (Abies Alba Mill)

Βελόνες :Ακρόκοιλες μήκους 15-30χιλ. και πλάτους 2-3χιλ. στιλπνές, έχουν στο πάνω μέρος ρηχό αυλάκι και στο κάτω τρίτο(προεξοχή), με λευκή γραμμή και από τις δύο πλευρές της. Στα πλευρικά κλαδιά και στα κλαδιά που σκιάζονται,

οι βελόνες είναι τοποθετημένες σε δύο σειρές σαν χτένα ενώ στα κλαδιά της κορυφής έχουν σπειροειδή διάταξη. Διάρκεια ζωής 8-11 χρόνια.

Οφθαλμοί : Ωοειδείς χωρίς ρητίνη ,εκτός από τους οφθαλμούς της κορυφής που έχουν λίγη. Σκεπάζονται με αδρά κοκκινοσταχτόχρωμα λέπια είναι τοποθετημένοι ανά τρεις, σπάνια ανά τέσσερις και σχηματίζουν σπονδύλους. Πολλοί οφθαλμοί παραμένουν κοιμώμενοι.

Κλαδίσκοι : οι ετήσιοι έχουν σταχτί χρώμα και καστανωπά τριχίδια.

Άνθη : Μονογενή. Τα αρσενικά είναι κυλινδρικοί κίτρινοι ίουλοι ,στο κάτω μέρος των ετήσιων βλαστών και στις μασχάλες των βελόνων. Τα θηλυκά στην άκρη των ετήσιων βλαστών , με μορφή όρθιων ωχροπράσινων κωνίσκων. Άνθηση Απρίλιο-Μάιο.

Κώνοι : Όρθιοι σαν κεριά, κυλινδρικοί, ανοιχτοκαστανοί με μήκος 10-16εκ. και κορυφή ελαφρώς κωνική, δεν είναι περιχυμένοι ρητίνη. Καρπόφυλλα με σφηνοειδή βάση και πλατιά στρογγυλεμένη κορυφή, έχουν πλάτος 20-30χιλ. καλυπτήρια ταινιοειδή ,λεπταίνουν στην κορυφή τους σε ακίδα που προεξέχει από το καρπόφυλλο. Ωρίμανση Σεπτέμβριο-Οκτώβριο του χρόνου ανθήσεως.

Σπόροι : Τριγωνικοί, με κύστεις αιθέριων ελαίων και καστανωπό πτερύγιο που το περιβάλλει σαν χλαμύδα.

Γενική περιγραφή : δέντρο ύψους 30-40μ. ,σπάνια 50μ., και διαμέτρου 1μ., όμοιο με την κεφαλληνιακή ελάτη. Το όνομα λευκή προέρχεται από το σταχτόλευκο χρώμα του φλοιού. Σε ελεύθερο χώρο καρποφορεί από ηλικία 30 χρόνων, σε συστάδες από 60 και πληροκαρπεί κάθε 2-6 χρόνια. Οι σπόροι φυτρώνουν μετά από 4 εβδομάδες . μεγαλώνει σε ύψος πολύ αργά ως μια ηλικία 15 χρόνων περίπου, ύστερα η αύξηση επιταχύνεται ως τα 100χρόνια ,και τελικά παύει – εξακολουθεί όμως η αύξηση των πλάγιων κλαδιών.

Βιολογικές απαιτήσεις : χρειάζεται βαθύ, γόνιμο, χαλαρό ,υγρό έδαφος και μεγάλη υγρασία στον αέρα. Είναι σκιανθεκτικό είδος και σε νεαρή ηλικία πολύ ευαίσθητο σε όψιμους παγετούς.

Γεωγραφική εξάπλωση: σχηματίζει δάση στη Γαλλία, Ιταλία, Αυστρία, Γερμανία, Βαλκανική χερσόνησο κ.α. στην Ελλάδα ,υπάρχει κοντά στα βόρεια σύνορα σε μικτές συστάδες με άλλα ψυχρόβια κωνοφόρα ή πλατύφυλλα.(Αθανασιάδης,1986)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Γεωχημικός κύκλος

Είναι ένας ανοιχτός κύκλος, γιατί κατά τον κύκλο αυτόν συνεχώς προσθέτονται και αφαιρούνται θρεπτικά στοιχεία στο σύστημα δάσος-έδαφος.

1. Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων

α) Από την ατμόσφαιρα: Η βασική πηγή εφοδιασμού του οικοσυστήματος έδαφος-δάσος με C και N είναι η ατμόσφαιρα. Και όσον αφορά τον C, οι ποσότητες του CO₂ που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα θεωρούνται ότι ικανοποιούν πλήρως τις ανάγκες της φυσικής βλάστησης. Σχετικά με το N, παρά το γεγονός ότι βρίσκεται άφθονο στην ατμόσφαιρα, δεν είναι δυνατή η άμεση χρησιμοποίησή του από τα φυτά. Περιορισμένες σχετικά ποσότητες N εισέρχονται από την ατμόσφαιρα στο σύστημα έδαφος-δάσος με τα κατακρημνίσματα και με το μηχανισμό της δέσμευσης με τη βοήθεια μικροοργανισμών.

Οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που φτάνουν στο έδαφος με τις βροχές είναι μικρότερες στις βόρειες ψυχρές περιοχές και μεγαλύτερες στις τροπικές. Επίσης ,μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες αυτές κοντά σε βιομηχανικά κέντρα και ιδιαίτερα όσον αφορά το N και το S.

Με τη βροχή επίσης ,φτάνουν στο έδαφος και θρεπτικά στοιχεία τα οποία ξεπλένονται από την κόμη και τους κορμούς των δέντρων. Ένα μέρος των στοιχείων αυτών προέρχεται από τη σκόνη που επικάθεται στο φύλλωμα των δέντρων και ένα μέρος από τις εκκρίσεις των φύλλων. Ασφαλώς το μέρος των θρεπτικών στοιχείων που προέρχεται από τις εκκρίσεις του φυλλώματος θα πρέπει να θεωρηθεί σαν μέρος του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων μέσα στο οικοσύστημα του δάσους , και όχι σαν νέα προσθήκη στο σύστημα.

β) Από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και των ορυκτών: Η κύρια πηγή θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα έδαφος-δάσος ,εκτός από το N και το S, είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων και των ορυκτών. Υπολογίζεται ότι η αποσάθρωση των πετρωμάτων εξασφαλίζει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών

στοιχείων στο έδαφος, αν ληφθεί υπόψη ότι η διαδικασία της αποσάθρωσης συμβαίνει συνεχώς στο έδαφος και μάλιστα σε ικανοποιητικό βαθμό.

2. Αφαίρεση θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα έδαφος-δάσος

Το σύστημα έδαφος-δάσος χάνει θρεπτικά στοιχεία, όταν αυτά με αέρια μορφή κινούνται στην ατμόσφαιρα . Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση του N, το οποίο είναι δυνατόν ,με τη δράση των μικροοργανισμών στο έδαφος να μετατραπεί σε αέριο μορφή και να χαθεί στην ατμόσφαιρα. Σε δασικά εδάφη με καλό αερισμό και αποστράγγιση ,οι απώλειες αυτού του είδους είναι πολύ περιορισμένες.

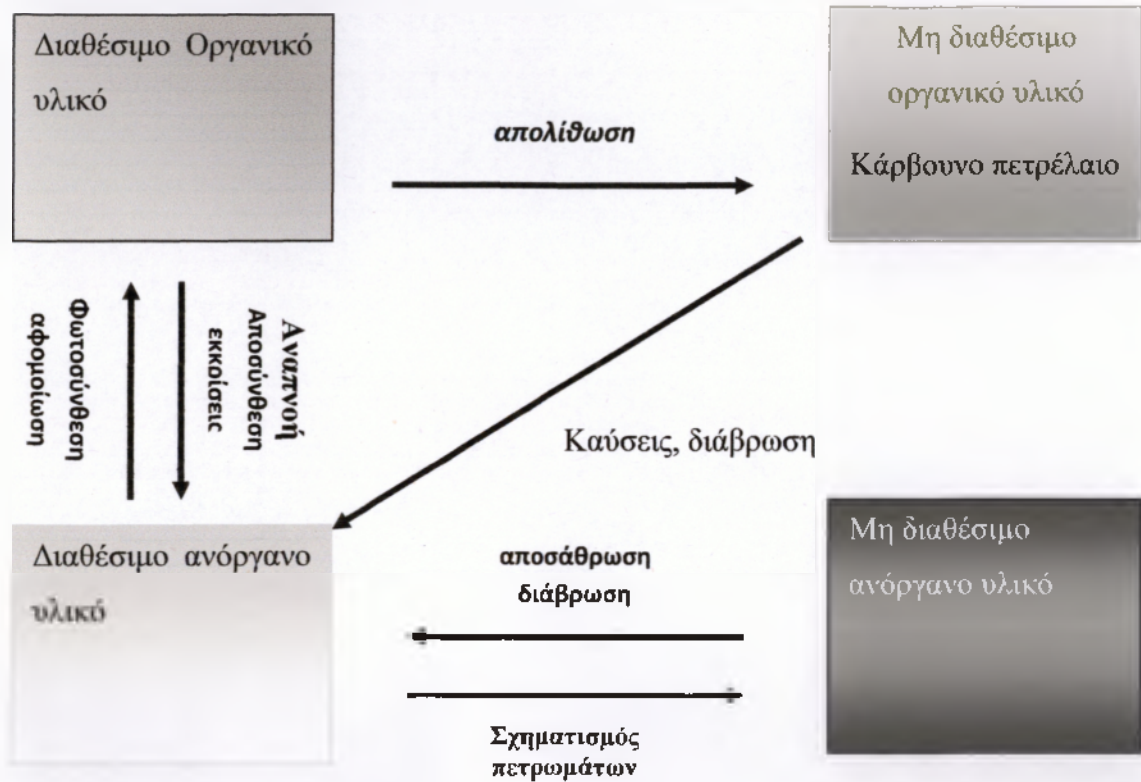
Θρεπτικά στοιχεία χάνονται από το σύστημα με την απομάκρυνση επιφανειακού εδάφους που προκαλείται από τους ισχυρούς ανέμους. Απώλειες τέτοιου είδους είναι συνήθως πολύ μικρές σε δασικά εδάφη, εκτός αν καταστραφεί η βλάστηση σε μεγάλο βαθμό, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μετά από των πυρκαγιές.

Με τις πυρκαγιές των δασών ,όπου συνήθως το φύλλωμα ,τα μικρά κλαδιά και ο ξηροτάπητας καίγονται , σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και κυρίως άζωτο χάνονται από το σύστημα.

Μερικά θρεπτικά στοιχεία χάνονται επίσης από το σύστημα έδαφος-δάσος στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους με την αποστράγγιση του νερού ή την επιφανειακή απορροή του. Οι ποσότητες αυτές είναι συνήθως μικρές , εκτός ίσως το Ca και το Na , και εξαρτώνται από το γεωλογικό υλικό , την ταχύτητα αποσάθρωσής του και την ποσότητα κατακρημνισμάτων.

Τέλος, πολύ μεγαλύτερες απώλειες θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα μπορεί να παρατηρηθεί με τη διάβρωση του εδάφους. Οι απώλειες αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με την τοπογραφική διαμόρφωση, τις κλιματικές συνθήκες και ιδιαίτερα με την κατάσταση της βλάστησης και την προστασία της επιφάνειας του εδάφους. Συχνές πυρκαγιές, αποψιλωτικές υλοτομίες και υπερβόσκηση τόπων με μεγάλες κλίσεις, έχουν ως συνέπεια την αύξηση της διάβρωσης των επιφανειακών

στρωμάτων του εδάφους και την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων. (Παπαμίχος 1990)



Κύριες διαδικασίες και στάδια των γεωχημικών κύκλων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ο βιοχημικός κύκλος στα δασικά οικοσυστήματα

Ο βιοχημικός κύκλος είναι ένας κλειστός κύκλος που σχετίζεται με τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από ένα μέρος του φυτού σε ένα άλλο. Κυρίως μετακινούνται θρεπτικά στοιχεία από ιστούς μεγαλύτερης ηλικίας σε αναπτυσσόμενα μέρη του φυτού. Θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται κατά την αυξητική περίοδο στα φύλλα φεύγουν από αυτά πριν από την πτώση των φύλλων έτσι ώστε να μη χαθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά από το δέντρο τον επόμενο χρόνο. Η μειωμένη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο εγκάρδιο ξύλο αποδίδεται στην εσωτερική μετακίνηση ενώ η εσωτερική μετακίνηση στις ρίζες θεωρείται αμελητέα. (Nambiar 1987)

Η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων καθορίζεται γενετικά και βασίζεται στη μετακίνηση σακχάρων από τα φύλλα. Ιδιαίτερα η μετακίνηση του N συνδέεται με τη διάσπαση της χλωροφύλλης (Ostman και Weaver 1982). Οι διάφορες ουσίες μετακινούνται με διαφορετική ευκολία. Θρεπτικά στοιχεία, όπως το N, P, S, Cl, μετακινούνται εύκολα σε αντίθεση με άλλα όπως τα βαριά μέταλλα, το Mg, Na και το Ca το οποίο είναι ακινητοποιημένο στο κυτταρικό τοίχωμα (Larcher 1980, Ostman και Weaver 1982, Waring και Schlesinger 1985, Nambiar 1987). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες οφείλεται σε χαρακτηριστικά των θρεπτικών στοιχείων, αλλά και στο ότι τα εδάφη σπάνια είναι ελλειμματικά σε Ca, Mg και Na, αλλά είναι συχνά σε N, P και K (Sollins και συν. 1980). Η μετακίνηση είναι μεγαλύτερη σε φτωχά εδάφη ή σε δασικά είδη προσαρμοσμένα σε φτωχές θέσεις. Το μέγεθος της εσωτερικής μετακίνησης των θρεπτικών στοιχείων φαίνεται ότι εξαρτάται από κάποιο στοιχείο που δεν είναι ακόμα γνωστό, υποτίθεται όμως ότι είναι το K. Επίσης ο P μπορεί να εξηγήσει το μέγεθος της μετακίνησης καθώς αυτή είναι μία διαδικασία ενεργοβόρα (Ostman και Weaver 1982).

Η εσωτερική μετακίνηση είναι μικρή στη νεαρή ηλικία, αλλά γίνεται σημαντική καθώς η ηλικία των δέντρων αυξάνει. Μετά τη συγκόμωση η συστάδα εξαρτάται όλο και περισσότερο από θρεπτικά στοιχεία που προέρχονται από τις ποσότητες

που είναι συσσωρευμένες στη βιομάζα, γεγονός που εξηγεί τη μικρότερη αντίδραση των συστάδων στη λίπανση σε προχωρημένη ηλικία (Miller και συν. 1979, Lim και Cousens 1986α).

Ο βιοχημικός κύκλος συντελεί στη σωστή χρήση των θρεπτικών στοιχείων γιατί αυτά παραμένουν περισσότερο μέσα στη βιομάζα, οι απώλειες από την έκπλυση τους μειώνονται και ένα ελάχιστο ανάπτυξης μπορεί να διατηρηθεί ανεξάρτητα από τα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους (Whittaker 1970, Lim και Cousens 1986β). Έτσι η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων μπορεί να είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σε φτωχές θέσεις ή όταν ο βιογεωχημικός κύκλος διακόπτεται, όπως στην περίπτωση απομάκρυνσης του δασικού τάπητα (Ostman και Weaver 1982). Για τη σπουδαιότητα του βιοχημικού κύκλου στην κυκλοφορία των θρεπτικών στοιχείων συμφωνούν οι περισσότεροι από τους ερευνητές που ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα. Οι Sollins και συν. (1980) βρήκαν ότι σε συστάδες *Pseudotsuga menziesii* από τις ανάγκες του φυτού για την παραγωγή νέου φυλλώματος το 56 % του N, το 31 % του P και το 30 % του K προέρχονται από το παλαιότερο φύλλωμα. Αναφέρουν επίσης ότι ο Cole και συν. (1977) σε συστάδες του ίδιου είδους υπολόγισαν ότι η εσωτερική μετακίνηση κυμαίνεται από 43 – 47 % για το N, από 46 – 95 % για το P και 2 – 25 % για το K. Οι Switzer και Nelson (1972) δέχονται ότι σε συστάδες *Pinus teada*, το 45 % του N και το 66 % από το P που βρίσκεται στο φύλλωμα, προέρχεται από τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από τις βελόνες πριν πέσουν. Τη μικρότερη μετακίνηση παρουσιάζει το Ca για το οποίο συνήθως παρουσιάζονται αρνητικές τιμές, δηλαδή παρατηρείται μετακίνηση Ca από τους νεότερους στους γηραιότερους ιστούς (Sollins και συν. 1980, Lim και Cousens 1986β). Την ιδιότητα αυτή του Ca χρησιμοποιεί ο Nambiar (1987) για να εξετάσει τις σχέσεις του Ca προς το N, P και K με σκοπό να μελετήσει τη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων στις ρίζες.

5.1 . Συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα

Σε ένα δασικό οικοσύστημα, η βλάστηση (υπέργεια και υπόγεια), ο δασικός τάπητας και το έδαφος αποτελούν τα σημεία εκείνα στα οποία συσσωρεύονται η οργανική ουσία, η ενέργεια και τα θρεπτικά στοιχεία. Η διαδικασία αποτελεί το βασικό μηχανισμό διατήρησης της γονιμότητας των δασικών εδαφών και διακρίνει κυρίως τα δασικά από τα γεωργικά εδάφη (Παπαμίχος 1990).

Η υπέργεια βιομάζα, η οποία αποτελείται από φύλλα, κλαδιά διαφόρων μεγεθών, φλοιό και ξύλο, μπορεί να φτάσει έως και 80% της συνολικής βιομάζας ενός οικοσυστήματος (Pehl και συν. 1984, Borgetti και συν. 1988, George και Varghese 1990). Η κατανομή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα τμήματα της βλάστησης εξαρτάται από το δασοπονικό είδος, το κλίμα (θερμοκρασία και υγρασία), την ηλικία της συστάδας, την ποιότητα τόπου και τις συνθήκες εκμετάλλευσης (Αλιφραγκής 1984). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται μερικά στοιχεία για την κατανομή της βιομάζας στα διάφορα μέρη της βλάστησης.

Οι συνολικές ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν στη βιομάζα (υπέργεια και υπόγεια) ακολουθούν τη σειρά: $N > Ca > K > Mg > S > P$ (Bockheim και συν. 1983).

Ο ρυθμός συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και στις λεπτές ρίζες είναι μεγαλύτερος κατά τα πρώτα στάδια της ζωής μιας συστάδας. Όταν η κομοστέγη της συστάδας κλείσει, τότε η βιομάζα και τα θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται στα φύλλα παίρνουν τη μεγαλύτερη τιμή. Στη συνέχεια, παρατηρείται περιορισμός της παραγωγής των φύλλων και συνέχιση της αύξησης των ξυλωδών μερών του φυτού (κορμός, κλαδιά, χονδρές ρίζες) (Miller και συν. 1980, Sprugel 1984, Χατζηστάθης 1986).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

6.1. Επίδραση της ποιότητας τόπου στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα

Η ποιότητα τόπου επηρεάζει τη διαδικασία της συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα και ιδιαίτερα:

1. Την ταχύτητα αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων. Η ανάμιξη των φυτικών υπολειμμάτων με το ανόργανο έδαφος είναι μεγαλύτερη όσο ανώτερη είναι η ποιότητα τόπου.
2. Τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που εκπλύνονται από το δασικό τάπητα. (Αλιφραγκής 1990, Παπαϊωάννου 1993)
3. Την έκπλυση του K και Mg από την κομοστέγη.
4. Τη χημική σύσταση της παρεδαφιαίας βλάστησης.
5. Την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων στα διάφορα μέρη του οικοσυστήματος (Αλιφραγκής 1984)

Γενικά η κακή ποιότητα τόπου τείνει να συγκεντρώσει μεγάλο ποσοστό θρεπτικών στοιχείων που είναι συσσωρευμένα στο δασικό τάπητα του οικοσυστήματος.

6.2. Επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων

Η συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στο οικοσύστημα εξαρτάται από όλους εκείνους τους κλιματικούς παράγοντες που ευνοούν τις προσθήκες και περιορίζουν την απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από το οικοσύστημα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η επίδραση του κλίματος στη συσσώρευση θρεπτικών

στοιχείων στα διάφορα μέρη του οικοσυστήματος, η οποία και καθορίζει την όλη λειτουργία και ανάπτυξη του οικοσυστήματος.

Σε περιοχές που έχουν ομοιόμορφη θερμοκρασία οι εναλλασσόμενες εποχές με πολύ διαφορετικό ποσοστό υγρασίας αυξάνουν την ταχύτητα αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στα κλίματα μεσογειακού τύπου παρουσιάζεται σχετικά ταχεία αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων, έτσι ώστε είναι πρακτικά αδύνατο να βρεθεί χούμος τύπου Μορ ακόμα και στα πιο φτωχά όξινα περιβάλλοντα. Η επίδραση των γρήγορων μεταβολών του μικροκλίματος με το χρόνο είναι σημαντική. Οι εναλλαγές σκιάς και φωτός προκαλούν επίσης εναλλαγή στις διαδικασίες συσσώρευσης και ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας και με αυτό τον τρόπο ο χούμος μπορεί να απελευθερώσει τα ακινητοποιημένα θρεπτικά στοιχεία του αμέσως και ο φυσιολογικός κύκλος να επιταχυνθεί (Duchaufour, 1982).

6.3. Εσωτερική μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων

Για να εκτιμηθεί η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά είναι απαραίτητο να εξετάζεται η ανακύκλωσή τους μέσα στο οικοσύστημα. Οι Αλιφραγκής και Τσιόντισης (1995) αναφέρουν ότι ο Vitousek πρότεινε, για τα ώριμα δάση την έννοια της αποτελεσματικής χρήσης των θρεπτικών στοιχείων. Αποτελεσματική δε χρήση θεωρούν τη σχέση της ποσότητας των θρεπτικών στοιχείων που είναι συσσωρευμένα στη βιομάζα και της ποσότητας αυτών που επιστρέφουν στο έδαφος με τα φυτικά υπολείμματα και την έκπλυση.

Η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από την ποιότητα τόπου, την ηλικία της συστάδας (Bockein και συν. 1983), το δασοπονικό είδος (Lim και Causens 1986) και την αναπαραγωγική κατάσταση των δένδρων. Επίσης σημαντικότερα επηρεάζεται η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από την εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων από γηραιότερους ιστούς, πριν τη νέκρωσή τους, προς τους νεότερους ιστούς (Millard και Proe 1982). Αυτό βέβαια αφορά την πτώση των φύλλων οπότε γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό. Γενικά η αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων

επηρεάζεται από όλους εκείνους τους παράγοντες που ευνοούν την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων στα οικοσυστήματα.

Η εσωτερική μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων αναφέρεται κυρίως στη μετακίνηση σακχάρων και αμινοξέων από τα φύλλα προς τους διάφορους ιστούς, έχει σχέση με τη διάσπαση της χλωροφύλλης, καθορίζεται γενετικά και η ένταση της επηρεάζεται από τη φύση κάθε θρεπτικού στοιχείου. Τα N, P, S, Cl, μετακινούνται εύκολα ενώ τα Mg, Ca και τα βαρέα μέταλλα μετακινούνται αργά. Το Ca παρουσιάζει τη μικρότερη μετακίνηση και συνήθως παρουσιάζονται αρνητικές τιμές εσωτερικής μετακίνησης, δηλαδή παρουσιάζεται συνεχής απόθεση Ca στους γηραιότερους ιστούς (Larcher 1980, Lim και Causens 1986, Τσιόντσης 1991).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Τα γνωστοιχεία στο έδαφος

7.1. Σίδηρος (Fe)

Προέλευση: Ο σίδηρος είναι το περισσότερο κοινό στοιχείο της λιθόσφαιρας αφού υπολογίζεται ότι η μέση περιεκτικότητα αυτής ανέρχεται σε 5,1%, ενώ στο έδαφος σε 3,8% (Lindsey 1979) και κυμαίνεται από 3-5% (Bohn και συν. 1979), σε σπάνιες δε περιπτώσεις η συγκέντρωση στο έδαφος είναι μικρότερη από 1 %.

Ρόλος του σιδήρου στα φυτά: Ο σίδηρος είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο φυτό (Hewitt 1983). Ο σίδηρος συμμετέχει στη δομή του μορίου της χλωροφύλλης και έλλειψη αυτού περιορίζει την πρόσληψη του CO₂ της ατμόσφαιρας, τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή χλωροφύλλης και ιδιαίτερα επηρεάζει τις μεμβράνες των θυλακοειδών των χλωροπλαστών (Terry και Rao 1991). Η μείωση δε αυτή των θυλακοειδών λόγω έλλειψης Fe περιορίζει τη μεταφορά ηλεκτρονίων και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των φωτοσυνθετικών μονάδων ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου. Επίσης ο Fe συμμετέχει σ' έναν μεγάλο αριθμό ενζύμων της διαπνοής όπως είναι η υπεροξειδάση, η καταλάση κλπ.

7.1.2 Εδάφη με έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού σιδήρου

Τα εδάφη που παρουσιάζουν έλλειψη αφομοιώσιμου και προσιτού στα φυτά σιδήρου είναι:

- 1) ασβεστούχα εδάφη
- 2) εδάφη με υψηλό pH
- 3) εδάφη πλούσια σε Mn
- 4) όξινα εδάφη πλούσια σε βαρέα μέταλλα όπως Zn, Cu, Mn και Ni.
- 5) κακώς αεριζόμενα εδάφη.

Το CaCO_3 των ασβεστούχων εδαφών επιδρά στην πρόσληψη του Fe έμμεσα με την επίδραση που ασκεί αυτό στο pH του εδάφους.

7.2. Χαλκός (Cu)

Προέλευση: Ο χαλκός του εδάφους προέρχεται από τα διάφορα ορυκτά στα οποία περιέχεται το στοιχείο αυτό. Η μέση περιεκτικότητα σε Cu της λιθόσφαιρας ανέρχεται σε 70ppm (Lindsay 1979), ενώ σύμφωνα με τους Aubert και Pinta (1977) σε 10ppm πώς συμβαίνει και με τα άλλα ιχνοστοιχεία η φύση του πετρώματος επηρεάζει την περιεκτικότητα αυτή. Σύμφωνα με Aubert και Pinta (1977) στα βασικά πυριγενή πετρώματα (βασάλτης, δολερίτης) η περιεκτικότητα κυμαίνεται από 100 έως 200 ppm, στα όξινα πυριγενή (γρανίτης, ρυόλιθος) από 10 έως 20 ppm, στα μεταμορφωσιγενή από 30 έως 40 ppm και στους αμμόλιθους και ασβεστόλιθους από 3 έως 15ppm.

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε χαλκό κυμαίνεται από ίχνη (αμμώδη εδάφη) έως και 200-250ppm (Vertisols) Σύμφωνα με τον Lindsay (1979) η μέση περιεκτικότητα σε Cu των εδαφών είναι γύρω στα 30ppm, ενώ σύμφωνα με τους Aubert και Pinta (1977) αυτή κυμαίνεται από 15-40ppm.. Η μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας αυτής οφείλεται κυρίως στη διαφορετική περιεκτικότητα των μητρικών πετρωμάτων και λιγότερο στις κλιματολογικές συνθήκες.

Ο Cu του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση και διάλυση των ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό

7.2.1 Πρόσληψη και ρόλος του χαλκού

Η πρόσληψη γίνεται από το εδαφικό διάλυμα και με απ' ευθείας ανταλλαγή από τα προσροφημένα στα κolloειδή ιόντα. Οι μορφές πρόσληψης είναι κυρίως το ιόν Cu^{2+} καθώς και ορισμένες χηλικές ενώσεις Cu. Στην τελευταία περίπτωση οι χηλικές αυτές ενώσεις Cu αποδιοργανώνονται πριν από την πρόσληψή τους (Goodman και Linehan 1979).

Η ποσότητα του αφομοιώσιμου Cu συνήθως βρίσκεται μετά από εκχύλιση του εδάφους με κατάλληλα εκχυλιστικά διαλύματα όπως π.χ. τα NH_4NO_3 ζεστό

νερό, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ αραιό HNO_3 . Στα φυτά ο Cu βρίσκεται ενωμένος με οργανικές ενώσεις σχηματίζοντας σύμπλοκα. Επίσης είναι στοιχείο ορισμένων ενζύμων όπως π.χ. της οξειδάσης του ασκορβικού οξέος και της τυροσινάσης. Τα ένζυμα αυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο σε ορισμένες βασικές λειτουργίες του κυττάρου, όπως στο μεταβολισμό του CO_2 , (φωτοσύνθεση) και του N. Ο Cu συνήθως συσσωρεύεται κατά μήκος του ξυλλώδους άξονα της ρίζας και παρουσιάζει πολύ μικρή ευκινησία μέσα στο φυτό.

7.2.2. Τοξικότητα του γαλκού

Η κρίσιμη συγκέντρωση Cu στο έδαφος για την εμφάνιση τοξικών φαινομένων δεν είναι σταθερή για όλα τα δασοπονικά είδη. Τα επίπεδα της κρίσιμης αυτής συγκέντρωσης επηρεάζονται σημαντικά από το pH του εδάφους. Γενικά η τοξικότητα Cu αυξάνεται με τη μείωση του pH του εδάφους. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ενεργότητας των ιόντων Cu που παρατηρείται με την πτώση του pH.

Φαινόμενα τοξικότητας Cu δεν εμφανίζονται τακτικά. Συνήθως παρατηρούνται σε περιοχές με ισχυρή ρύπανση από εργοστάσια επεξεργασίας μεταλλευμάτων ή μετά από έντονη χρήση χαλκούχων γεωργικών παρασκευασμάτων (μυκητοκτόνα). Σύμφωνα με τον Chapman (1966) φαινόμενα τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του Cu στο έδαφος υπερβεί τα 150 ppm.

Η τοξικότητα για την οποία έγινε λόγος παραπάνω διορθώνεται με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους η οποία δεσμεύει τα Cu^{2+} σχηματίζοντας ισχυρά σύμπλοκα (χηλικές ενώσεις) ή με την αύξηση του pH του εδάφους. Η αύξηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργότητας των Cu^{2+} στο έδαφος.

7.2.3 Έλλειψη γαλκού

Έλλειψη Cu παρατηρείται συχνότερα σε πολλά οργανικά εδάφη στα οποία ο Cu δεσμεύεται ισχυρά, σχηματίζοντας οργανομεταλλικά σύμπλοκα καθώς και σε αμμώδη ποσοτικά, ισχυρώς εκπλυμένα εδάφη των υγρών περιοχών. Η έλλειψη αυτή παρατηρείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου το έδαφος προέρχεται από μητρικά

υλικά που είναι πτωχά σε Cu όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα όξινα πυριγενή, και τον ασβεστόλιθο (Ryan και συν., 1967).

Φαινόμενα έλλειψης Cu εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του εναλλακτικού Cu στο έδαφος πέσει κάτω από 0,5-3 ppm, αν και η μέθοδος εκχύλισης του αφομοιώσιμου Cu επηρεάζει την κρίσιμη αυτή συγκέντρωση και όταν η συγκέντρωση ολικού Cu στο έδαφος είναι μικρότερη από 7-8 ppm (Aubert και Pinta , 1977, Corpenet και Juste 1982). Η αντιμετώπιση των συνθηκών έλλειψης Cu γίνεται με την προσθήκη στο έδαφος CuSO_4 .

7.2.4 Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού

Εδάφη με πιθανή έλλειψη χαλκού είναι:

1. τα εκπλυμένα όξινα εδάφη
2. τα εκπλυμένα αμμώδη εδάφη
3. οι ασβεστούχοι άμμοι
4. τα αλκαλικά και ασβεστούχα εδάφη
5. τα τυρφώδη οργανικά εδάφη
6. τα εδάφη με ισχυρή αζωτούχο λίπανση.

7.3. Μαγγάνιο (Mn)

.Προέλευση: Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε Mn ανέρχεται σε 900 ppm (Lindsay 1979). Η περιεκτικότητα των διαφόρων πετρωμάτων σε Mn ποικίλλει πολύ. Έτσι στα όξινα πετρώματα (γρανίτης, ρυόλιθος) καθώς και σε ορισμένα δευτερογενή ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα (σχιστόλιθοι) κυμαίνεται από 200 έως 1200 ppm. Στους ασβεστολίθους σε 400-600 ppm, ενώ στους αμμολίθους σε 20-500 ppm (Aubert και Pinta , 1977).

Η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε Mn κυμαίνεται από 20 έως 3.000 ppm με μέσο όρο γύρω στα 600 ppm (Lindsay 1979). Η φύση του μητρικού

πετρώματος είναι καθοριστική στην περιεκτικότητα αυτού σε Mn. Αναφέρεται από τους Aubert και Pinta (1977) ότι σε ορισμένα δασικά εδάφη που προέρχονται από ασβεστόλιθο η περιεκτικότητα αυτή ανέρχεται σε 250 ppm ενώ σε δασικά εδάφη που προέρχονται όμως από μητρικό πέτρωμα δολερίτη αυτή ανέρχεται σε 3150 ppm. Στο έδαφος το Mn προέρχεται Κυρίως από την αποσάθρωση διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων πετρωμάτων.

Τα ορυκτά του εδάφους που περιέχουν Mn είναι διάφορα οξείδια, υδροξείδια, ανθρακικά, θειικά και πυριτικά άλατα.

7.3.1 Αφομοιώσιμες μορφές μαγγανίου

Οι αφομοιώσιμες μορφές Mn στο έδαφος είναι:

α. Υδατοδιαλυτό Mn. Βρίσκεται στο έδαφος με μορφές ευδιάλυτων αλάτων όπως είναι τα ανθρακικά, τα δισανθρακικά και τα θειικά

β. Εναλλακτικό Mn. Είναι το Mn που βρίσκεται προσροφημένο από τα κολλοειδή του εδάφους και μπορεί να εκχυλιστεί με διάλυμα οξικού αμμωνίου pH 7.

γ. Διαλυτό σε διάλυμα οξέων (π.χ. σε 2.5% CH₃COOH διάλυμα H₂SO₄ και HCl). Στην ποσότητα αυτή περιλαμβάνονται οι δύο προηγούμενες μορφές, καθώς και οι αντίστοιχες ποσότητες των αλάτων που είναι διαλυτές σε pH μικρότερο από 6.

Η ποσότητα των παραπάνω αναφερομένων μορφών σε σχέση με την ολική περιεκτικότητα του εδάφους σε Mn είναι συνήθως μικρή και αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 20% του ολικού Mn αν και υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο.

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την περιεκτικότητά του σε αφομοιώσιμες μορφές είναι:

1. Η οργανική ουσία του εδάφους με την οποία σχηματίζει διάφορα αδιάλυτα σύμπλοκα.
2. Η μηχανική σύσταση του εδάφους. Γιατί αυτή επηρεάζει την ταχύτητα έκπλυσης του εδάφους, αν και το Mn δεν εκπλύνεται εύκολα όταν το pH είναι ανώτερο από 7

και το έδαφος αερίζεται καλά. Κάτω όμως από αναερόβιες συνθήκες εκπλώνεται εύκολα.

3.Ο τύπος του εδάφους.

4. Το pH του εδάφους. Σε εδάφη με αλκαλικό pH οι προσιτές και αφομοιώσιμες μορφές είναι ελάχιστες γιατί σχηματίζονται πολύ σταθερά οξείδια τα οποία δύσκολα διαλύονται.

5. Οι κλιματολογικές συνθήκες και ιδίως η υγρασία και η θερμοκρασία.

6. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του εδάφους. Έτσι η αναγωγή της δυσκίνητης και μη αφομοιώσιμης μορφής του Mn^{4+} προς τη διαλυτή μορφή του Mn^{2+} παρατηρείται όταν το δυναμικό αναγωγής στο έδαφος είναι μικρότερο από +300mv, που είναι σχεδόν το ίδιο με αυτό της απονιτροποίησης (Grass και συν., 1973).

7. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους. Η μορφή Mn^{2+} μπορεί να διαλυτοποιηθεί από ορισμένα βακτήρια του γένους Thiobacillus. Στην περίπτωση αυτή το Mn^{4+} χρησιμοποιείται ως ένας ενδιάμεσος δέκτης ηλεκτρονίων που παράγονται κατά την οξείδωση του S (Martin και Focht, 1977).

8. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε φωσφορικά ανιόντα. Η επίδραση αυτή είναι σημαντική γιατί σχηματίζονται αδιάλυτες φωσφορικές ενώσεις του Mn.

7.3.2.Ο ρόλος του μαγγανίου στα φυτά

Το μαγγάνιο είναι συστατικό των χλωροπλαστών με αποτέλεσμα να παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση της χλωροφύλλης και στο μεταβολισμό του CO_2 . Παράλληλα το Mn παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργοποίηση ενός αριθμού ενζύμων και πιθανόν επηρεάζει και την προσιτότητα του Fe

7.3.3.Πρόσληψη του μαγγανίου από τα φυτά

Η πρόσληψη του Mn από τα φυτά γίνεται με τη μορφή του Mn^{2+} από το εδαφικό διάλυμα καθώς και από ορισμένα ευδιάλυτα σύμπλοκα του Mn με οργανική ουσία. Η πρόσληψη αυτής της μορφής υποβοηθείται από την ύπαρξη μυκόρριζας. Η πρόσληψη αυτή εξαρτάται κυρίως από τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες του εδάφους, από το pH του εδάφους καθώς και από το μηχανισμό

κίνησης του Mn προς τις ρίζες. Ο τελευταίος εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους (Oliver και Barber 1966, Halstead και συν., 1968). Όταν η περιεκτικότητα σε Mn του εδαφικού διαλύματος είναι χαμηλή (<0.4μmolar Mn) στην κίνηση του Mn επικρατεί η κίνηση με διάχυση προς την επιφάνεια των ριζών. Όταν το εδαφικό διάλυμα περιέχει περισσότερο Mn (>14μmolar Mn) τότε η μεταφορά με το νερό είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση του Mn προς τις ρίζες.

7.3.4. Συνθήκες τοξικότητας μαγγανίου

Τοξικότητα Mn εμφανίζεται σε όξινα εδάφη (Ryan και Peebles 1967), ιδιαίτερα σε τροπικές υγρές περιοχές με pH εδάφους μικρότερο από 5. Η τοξικότητα αυτή περιορίζεται σημαντικά με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους καθώς και με την προσθήκη CaCO₃. Με τα μέτρα αυτά βελτιώνεται η ακινητοποίηση των διαλυτών ενώσεων του Mn του εδαφικού διαλύματος (σχηματισμός οργανομεταλλικών ενώσεων, ακινητοποίηση με το σχηματισμό αδιάλυτων οξειδίων π.χ. MnO₂). Τα συμπτώματα τοξικότητας εμφανίζονται με μαύρες κηλίδες και γραμμές που εκτείνονται κατά μήκος των αγωγών ιστών στον κορμό, τα κύρια νεύρα των φύλλων και τους μίσχους. Αυτές οι σκούρες κηλίδες σχηματίζονται από τη συσσώρευση ενώσεων του Mn, όπως MnO καθώς και οργανομεταλλικών συμπλόκων. Επειδή το Mn κινείται εύκολα προς το υπέργειο τμήμα των φυτών, είναι εύκολη η διάγνωση των συνθηκών τοξικότητας.

Η τοξικότητα παρατηρείται όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε όξινα εδάφη και ιδιαίτερα όταν η ποσότητα της ανηγμένης μορφής Mn²⁺ είναι μεγαλύτερη από 100 mg/kg εδάφους (Corpenet και Juste, 1982).

7.3.5. Συνθήκες έλλειψης μαγγανίου

Όπως τονίσθηκε προηγουμένως το μεγαλύτερο ποσό Mn του εδάφους βρίσκεται με τις μορφές οξειδίων του Mn⁴⁺ και λιγότερο του Mn³⁺ ενώ ένα μικρό μέρος βρίσκεται με τη μορφή Mn²⁺ που είναι και αφομοιώσιμο από τα φυτά. Όλες οι εδαφικές συνθήκες που μειώνουν τη διαλυτότητα του Mn του εδάφους δημιουργούν συνθήκες έλλειψης.

Ιδιαίτερα οι εδαφικές συνθήκες που ευνοούν την έλλειψη Mn είναι:

1. Αβαθή οργανικά εδάφη επί ασβεστούχων μητρικών υλικών.
2. Αλλουβιακά εδάφη που προέρχονται από την απόθεση ιλύος και αργίλου που είναι πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο.
3. Κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.
4. Όξινα εδάφη στα οποία συνήθως καλύπτονται με Erica
5. Πολύ όξινα αμμώδη ορυκτά εδάφη τα οποία φυσικώς περιέχουν μικρές ποσότητες Mn.
6. Παλαιά όξινα εδάφη δασικών φυτωρίων και κήπων στα οποία προστίθενται για πολλά χρόνια οργανική ουσία και CaCO_3
7. Εδάφη τα οποία παρουσιάζουν εναλλαγές συνθηκών κορεσμού με νερό και ξήρανσης, Στην πρώτη περίπτωση το Mn μετατρέπεται με την αναγωγή σε διαλυτές μορφές, μετακινείται και εναποτίθεται κατά Θέσεις ενώ όταν επικρατούν συνθήκες ξηρασίας οι ενώσεις του Mn οξειδώνονται εκ νέου και το Mn ακινητοποιείται.

7.4. Ψευδάργυρος (Zn)

Προέλευση: Η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρου του στερεού φλοιού της γης είναι μικρή και ανέρχεται σε 0,001%, ενώ ακόμη μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους. Αυτή κυμαίνεται από 0,0002% έως 0,0012%, ενώ η μέση περιεκτικότητα των εδαφών είναι 0,0005%.

Ο ψευδάργυρος στο έδαφος προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων στα ορυκτά των οποίων περιέχεται το στοιχείο αυτό. Τα διάφορα είδη πετρωμάτων περιέχουν διαφορετικές ποσότητες ψευδαργύρου. Αναφέρεται ότι στα βασικά πετρώματα η συγκέντρωση αυτού ανέρχεται σε 0,0013%, και στα όξινα πυριγενή 0,006%. Τα σπουδαιότερα ορυκτά που περιέχουν το στοιχείο αυτό είναι ο ζινκίτης ZnO , υδροξυζινκίτης $\text{Zn}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})$ και ο γλλενίτης Zn_2SiO_4 .

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε ψευδάργυρο εξαρτάται κυρίως:

- 1) Από τη φύση του μητρικού υλικού και του πετρώματος.

- 2) Από την οργανική ουσία του εδάφους η οποία σχηματίζει με τα ιόντα ψευδαργύρου οργανομεταλλικά σύμπλοκα με αποτέλεσμα να προστατεύονται από την έκπλυση.
- 3) την μηχανική σύσταση των εδαφών η οποία επηρεάζει την έκπλυση των ιόντων ψευδαργύρου.
- 4) την εναλλακτική ικανότητα του εδάφους.
- 5) Από το pH του εδάφους. Ο ψευδάργυρος είναι πολύ ευκίνητος σε όξινα εδάφη και ιδιαίτερα σ' αυτά που σχηματίζονται από γρανίτες, ενώ αντίθετα είναι λιγότερο ευκίνητος σε αλκαλικά εδάφη και ιδιαίτερα όταν προέρχονται αυτά από αποσάθρωση ασβεστόλιθων. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει η οξύτητα του εδαφικού διαλύματος η οποία επηρεάζει την ποσότητα του Zn που εκχυλίζεται από το έδαφος.

Στο έδαφος μόνον ένα μικρό μέρος του ψευδαργύρου (<5%) βρίσκεται υπό εναλλακτική μορφή.

7.4.1 Εδάφη με πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου

Πιθανή έλλειψη ψευδαργύρου παρουσιάζουν τα παρακάτω είδη εδαφών:

1. Όξινα, εκπλυμένα, αμμώδη εδάφη.
2. Αλκαλικά εδάφη στα οποία η ποσότητα του προσιτού ψευδαργύρου είναι μικρή.
3. Εδάφη που προέρχονται από γρανίτες και γνευσίους.
4. Εδάφη τα οποία περιέχουν άργιλο με χαμηλή σχέση Si/Mg Στην περίπτωση αυτή ο Zn δεσμεύεται υπό μη προσιτή μορφή.

7.4.2. Εδάφη με πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου

Πιθανή τοξικότητα ψευδαργύρου παρουσιάζεται στις εξής περιπτώσεις:

1. Σε εδάφη που προέρχονται από πλούσια σε Zn μητρικά υλικά.
2. Σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε βιομηχανίες επεξεργασίας μεταλλευμάτων.

3. Σε ορισμένα όξινα οργανικά εδάφη.

4. Σε εδάφη που βρίσκονται κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ρύπανση των εδαφών με Zn που προέρχεται από την τριβή των ελαστικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Τα βαρέα μέταλλα

Ο όρος βαρέα μέταλλα έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες για την αναφορά σε μια ομάδα μετάλλων που σχετίζονται με μόλυνση και δυνητική τοξικότητα. Παρότι έως σήμερα δεν υπάρχει επίσημος ορισμός της έκφρασης «βαρέων μετάλλων», χρησιμοποιείται ευρέως ως γενικός όρος με πολλούς διαφορετικούς ορισμούς όπως η ομάδα μετάλλων που η πυκνότητά τους είναι πάνω από 4 ή 5 ή 6 g/cm³ ή το ειδικό τους βάρος είναι μεγαλύτερο από 4 ή 5. Ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως για τα ακόλουθα μέταλλα: κάδμιο (Cd), χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), υδράργυρος (Hg), νικέλιο (Ni), μόλυβδος (Pb) και ψευδάργυρος (Zn).

Κυρίως τέσσερα στοιχεία, ο υδράργυρος (Hg), ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd) και το αρσενικό (As) (παρότι μη αустηρά μέταλλο) είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης τους και ανίχνευσής τους, της τοξικότητάς τους και της ευρείας κατανομής τους. Κανένα από τα παραπάνω στοιχεία δεν έχει διεισδύσει μέχρι σήμερα στο περιβάλλον σε τέτοια έκταση, ώστε ν' αποτελέσει εκτεταμένο κίνδυνο. Εν τούτοις, το κάθε ένα έχει ανιχνευθεί σε τοξικά επίπεδα σε συγκεκριμένα μέρη τα τελευταία χρόνια.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα προκαλεί σοβαρές διαταραχές στη βλάστηση που σε αρκετές περιπτώσεις είναι ορατές στους φυτικούς οργανισμούς. Μπορούν να αναστείλουν ορισμένες βιολογικές λειτουργίες όπως υδρόλυση του αμύλου και της σουκρόζης. Παρεμποδίζουν επίσης τη μεταφορά της σουκρόζης και αυτό προκαλεί δευτερογενείς επιπτώσεις όπως διαταραχές στο μεταβολισμό του αζώτου. Συνήθως οι συγκεντρώσεις σακχάρων, αμύλου και μερικών αμινοξέων αυξάνουν με την παρουσία βαρέων μετάλλων, ενώ η συγκέντρωση πρωτεϊνών μειώνεται.

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά παρόντα στα πετρώματα και τα μεταλλεύματα και γι' αυτό εμφανίζονται πάντα στο έδαφος, τα ιζήματα, τα προϊόντα και σε ζωντανούς οργανισμούς. Η υπερβολική, ασυνήθιστη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων σε ιδιαίτερα μέσα οδηγεί σε μόλυνση. Τα μέταλλα - σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ενώσεις - δεν αποικοδομούνται, και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Τελικά, ένα μέρος αυτών καταλήγει με τη βιολογική τροφική αλυσίδα στον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες.

8.1. ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

8.1.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Φυσικές διεργασίες όπως η αποσάθρωση και η διάβρωση των πετρωμάτων και του εδάφους απελευθερώνουν συχνά τα βαρέα μέταλλα στα υδάτινα οικοσυστήματα και στον αέρα. Άλλες μη σημειακές συνεισφορές προέρχονται από τη σήψη των φυτών και τα κατάλοιπα των ζώων, την ατμοσφαιρική εναπόθεση των αερομεταφερόμενων μορίων από την ηφαιστειακή δραστηριότητα, τη διάβρωση που προκαλεί ο αέρας, τον καπνό της δασικής πυρκαγιάς, τα εκκρίματα των φυτών κλπ. Λόγω των φυσικών πηγών, τα φυσικά επιφανειακά νερά περιέχουν πάντοτε ίχνη μετάλλων.

8.1.2. ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Στα απόβλητα των αποχετεύσεων περιέχονται μέταλλα από μεταβολικά απόβλητα, διαβρώσεις των υδροσωλήνων και καταναλωτικά προϊόντα. Βιομηχανικά απόβλητα και λάσπη αποβλήτων από πολλούς τομείς της βιομηχανικής δραστηριότητας που σχετίζονται με τη χρήση μετάλλων (μεταλλουργίας και κατασκευής μεταλλικών αντικειμένων, ηλεκτρονικών, χρωμάτων και χρωστικών, υφασμάτων, χάρτου κλπ.) αυξάνουν το φορτίο των

μετάλλων σε υδάτινα οικοσυστήματα. Αγροτικά απόβλητα όπως τα απορρίμματα χοίρων και πουλερικών, οι κοπριές και τα λύματα αλλά και η αποτέφρωση αστικών και μη αποβλήτων (διαρροές, ατμοσφαιρική καθίζηση, διάβρωση των αποβλήτων) οδηγούν στην ρύπανση των επιφανειακών υδάτων με βαρέα μέταλλα.

Τα βαρέα μέταλλα στα επιφανειακά νερά μπορούν να βρεθούν είτε ως διαλυμένα ή ως δεσμευμένα σε μικροσωματίδια υδροξειδίων, οξειδίων κλπ. Η διαλυτή φάση είναι συνήθως ως ιόντα και οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Η δυναμική τους συμπεριφορά στα επιφανειακά νερά εξαρτάται από τη σύνθεση των ιζημάτων και της χημείας του νερού. Ίζημα αποτελούμενο από λεπτή άμμο και λάσπη, γενικά περιέχει υψηλά επίπεδα προσροφημένων μετάλλων ενώ η παρουσία χουμικών οξέων, οργανο-αργίλων και οργανο-οξειδίων είναι περιοριστική ως προς την διαλυτή διαθεσιμότητά τους. Η χημεία του νερού καθορίζει το ποσοστό απορρόφησης και προσρόφησης των μετάλλων από και προς το ίζημα. Η προσρόφηση αφαιρεί το μέταλλο από την υδάτινη στήλη και αποθηκεύει το μέταλλο στο υπόστρωμα. Η απορρόφηση επιστρέφει το μέταλλο στην υδάτινη στήλη, όπου η επανακυκλοφορία και η βιοαφομοίωση μπορούν να πραγματοποιηθούν. Τα μέταλλα μπορούν να εκροφηθούν από το ίζημα εάν το νερό εμφανίσει συνθήκες αύξησης της αλατότητας, μείωσης της οξειδοαναγωγικής ικανότητας, ή μείωσης του pH

8.2.ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τη διαβίωση τους, η πλειοψηφία των οργανισμών χρειάζονται ίχνη βαρέων μετάλλων όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το σελήνιο και το μολυβδαίνιο. Τα περισσότερα από τα ιχνοστοιχεία είναι συστατικά των ενζύμων και άλλων πρωτεϊνών που είναι σημαντικά για τις μεταβολικές διαδικασίες. Οι συγκεντρώσεις των απαραίτητων ιχνομετάλλων στους οργανισμούς είναι συνήθως ομοιοστατικά ελεγχόμενες και έτσι ώστε η λήψη από το περιβάλλον να ρυθμίζεται ανάλογα με τη θρεπτική απαίτηση. Τα αποτελέσματα στους οργανισμούς είναι προφανή όταν ο μηχανισμός πρόσληψης παραβιάζεται είτε ως αποτέλεσμα της ανεπάρκειας πηγών ή λόγω υπερβολικού φορτίου μετάλλου (τοξικότητα). Οι οργανισμοί είναι σε θέση να

ανεχτούν τις μικρές διακυμάνσεις στη συγκέντρωση των πιο πολλών ιχνομετάλλων ενώ επίσης πολλοί οργανισμοί είναι σε θέση να ρυθμίσουν τις συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς τους. Τα ψάρια και τα αρθρόποδα οστρακόδερμα, μπορούν να εκκρίνουν ουσιώδη μέταλλα, όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και ο σίδηρος, τα οποία βρίσκονται σε περίσσεια. Μερικά, μπορούν επίσης να εκκρίνουν μη ουσιώδη, δευτερεύοντα μέταλλα, όπως ο υδράργυρος και το κάδμιο, αν και αυτό δεν επιφέρει μεγάλα αποτελέσματα. Η έκταση της προσρόφησης εξαρτάται από το μέταλλο, το προσροφητικό μέσο, τα φυσιοχημικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (π.χ. pH, σκληρότητα ύδατος και οξειδοαναγωγική ικανότητα) και τις συγκεντρώσεις άλλων μετάλλων και σύνθετων χημικών ουσιών παρόντων στα επιφανειακά νερά. Η συγκέντρωση του μετάλλου σε βιοδιαθέσιμη μορφή δεν είναι απαραίτητως ανάλογη προς τη συνολική συγκέντρωση του μετάλλου. Η τοξικότητα για τα βαρέα μέταλλα εξαρτάται ισχυρά από τη χημική μορφή του στοιχείου (speciation). Για παράδειγμα οι τοξικότητες του μεταλλικού Pb^{2+} και του Pb στη μορφή ομοιοπολικών μορίων διαφέρουν σημαντικά. Οι ενώσεις των βαρέων μετάλλων που είναι σχεδόν πλήρως αδιάλυτες περνούν μέσα από το οργανισμό χωρίς να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα.

Βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο και το αρσενικό είναι επικίνδυνα στη μορφή των ιόντων τους και όταν είναι συνδεδεμένα με μικρές αλυσίδες ατόμων άνθρακα. Βιοχημικά, ο μηχανισμός της τοξικής δράσης τους οφείλεται στην ισχυρή συγγένεια των μεταλλοκατιόντων τους με το θείο. Έτσι οι σουλφυδρυλικές ομάδες, -SH, οι οποίες συχνά εμφανίζονται στα ένζυμα που ελέγχουν την ταχύτητα των κρίσιμων μεταβολικών αντιδράσεων στο ζωντανό οργανισμό, ενώνονται εύκολα με τα κατιόντα των βαρέων μετάλλων που προσλήφθηκαν με την τροφή, ή με μόρια που περιέχουν μέταλλα. Αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μπορούν να προκαλέσουν ιστολογικές και μορφολογικές αλλαγές στους ιστούς και αλλαγές στη φυσιολογία, βιοχημεία, συμπεριφορά και αναπαραγωγή των υδρόβιων οργανισμών.

8.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

8.3.1. ΜΟΛΥΒΔΟΣ

Ο μόλυβδος είναι ιχνοστοιχείο και βρίσκεται φυσικά στο έδαφος και το νερό. Είναι από τα πιο παλιά χρησιμοποιούμενα μέταλλα και λόγω της ευρύτατης χρήσης του είναι ευρέως διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Η χρήση του μολύβδου αυξήθηκε ως υλικό για την κατασκευή συσσωρευτών, προστασία καλωδίων, εξωτερικών επενδύσεων, και για τη σύνθεση αντικροτικών τα οποία προστίθενται στη βενζίνη. Ο μόλυβδος εξέρχεται με τα καυσαέρια, στα οποία βρίσκεται ως οξείδιο του μολύβδου και ως χλωριούχος και βρωμιούχος μόλυβδος (Chettri et al. 1998, Sawidis and Reiss 1995).

Είναι ένα πολύ μαλακό μέταλλο και χρησιμοποιήθηκε στους σωλήνες, τους αγωγούς, και τα συγκολλητικά υλικά για πολλά έτη. Εκατομμύρια σπιτιών που χτίστηκαν πριν από το 1940 ακόμα περιέχουν το μόλυβδο (π.χ., στις χρωματισμένες επιφάνειες), οδηγώντας στη χρόνια έκθεση από τη διάβρωση, το ξεφλούδισμα και τη σκόνη. Τα αυξανόμενα ποσά μολύβδου που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, προκαλούνται με την καύση των καυσίμων και την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, τη χρήση των μπογιών, την αποτέφρωση των αποβλήτων, τη χρήση των φυτοφαρμάκων και τις γεωργικές δραστηριότητες. Οι πηγές μολύβδου στα φυσικά νερά περιλαμβάνουν επίσης τις εναποθέσεις σκόνης μολύβδου από την ατμόσφαιρα, υγρά απόβλητα από τις βιομηχανίες (κυρίως χαλυβουργίες και παραγωγής μολύβδου), αστικές απορροές και εκροές από μεταλλεία. Σήμερα, μεγαλύτερες ποσότητες μολύβδου παράγονται από την ανακύκλωση παρά από μεταλλεύματα

Ο μόλυβδος από τους μεσαιωνικούς χρόνους έχει χρησιμοποιηθεί στη μεταλλουργία, στις υγρές και ξηρές μπαταρίες, στις βαφές, στην τυπογραφία, στα βερνίκια, στην υαλουργία, στην αγγειοπλαστική, στις επιμεταλλώσεις στα κουτιά κονσερβών, στα μαγειρικά σκεύη π.χ. κεραμικά που γίνονται από πηλό που περιέχει μόλυβδο, στην κατασκευή καλλυντικών, στα εντομοκτόνα, στην επικάλυψη καλωδίων, στα βλήματα πυροβόλων όπλων, στη μη αμόλυβδη βενζίνη, στους σωλήνες παροχής, στα οικοδομικά υλικά, στις ύλες συγκολλήσεως, ως ιατρική προστασία στην ακτινοβολία κλπ.

Η οξεία δηλητηρίαση από μόλυβδο στους ανθρώπους προκαλεί σοβαρή δυσλειτουργία στα νεφρά, στο αναπαραγωγικό σύστημα, στο συκώτι, και το κεντρικού νευρικό σύστημα εγκεφάλου. Παρά την αυξανόμενη συνολική χρήση του μολύβδου από τη βιομηχανία, στοιχεία από διάφορες πηγές δείχνουν ότι τα επίπεδα του τοξικού μολύβδου έχουν μειωθεί κατά τη διάρκεια των πρόσφατων δεκαετιών.

8.3.2.ΚΑΔΜΙΟ

Το κάδμιο είναι ένα από τα πιο τοξικά και επικίνδυνα μέταλλα. Παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα έναντι της υγρασίας και του αέρα. Είναι από τα λίγα στοιχεία που δεν είναι απαραίτητα στα βιοχημικά συστήματα. Αντίθετα είναι πολύ τοξικό για τους οργανισμούς.

Παρεμποδίζει την απορρόφηση του ψευδαργύρου και αντικαθιστά τον ψευδάργυρο.

Το κάδμιο είναι φυσικό συστατικό των επιφανειακών και των υπόγειων νερών και βρίσκεται σε κατάσταση οξείδωσης Cd^{+2} . Μπορεί να υπάρχει στο νερό ως ένυδρο ιόν, ως ανόργανα σύμπλοκα όπως τα ανθρακικά άλατα, τα υδροξειδία, χλωριούχα ή θειικά άλατα, ή ως οργανικά σύμπλοκα με χουμικά οξέα. Μόλυνση του νερού από το κάδμιο μπορεί να υπάρξει από τα βιομηχανικά απόβλητα (κυρίως βιομηχανίες - διαδικασίες επεξεργασίας μετάλλων) και τα νερά των μεταλλείων, διάβρωση και αποσάθρωση εδάφους και πετρωμάτων, ατμοσφαιρική απόθεση, διαρροές στη ξηρά από μολυσμένες περιοχές (λιπάσματα φωσφορικού άλατος), διασπορά της χρήσης της λάσπης και των λιπασμάτων στη γεωργία και την καύση των φυσικών καυσίμων.

Το κάδμιο και οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές βιομηχανικών προϊόντων και διαδικασιών. Κυρίως είναι τα ακόλουθα: ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, χρωστικές, πλαστικοί σταθεροποιητές (χημικοί) στην παραγωγή PVC, μπαταρίες. Τυπικές συγκεντρώσεις του καδμίου σε επιφανειακά νερά είναι από 0.01 έως 0.5 $\mu\text{g/L}$ με 0.08 $\mu\text{g/L}$ παγκόσμια μέση τιμή. Ο ανθρωπογενής παράγοντας εμπλουτισμού για τη συνολική παγκόσμια εκπομπή του Cd είναι 89% ενώ μόνο 11% προέρχεται από φυσικές πηγές.

Το κάδμιο ανήκει στις καρκινογόνες ενώσεις και είναι γνωστό ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και εδάφη. Δεν απαιτείται για τη φυσιολογική λειτουργία ενός οργανισμού, έχει μεγάλη βιοσυσσωρευση και συσσωρεύεται κυρίως σε βασικά όργανα ενός οργανισμού. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο για πόσιμο νερό είναι 5 μg/L.

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος με κάδμιο είναι τα αερολύματα των μεταλλουργείων και της καύσης των απορριμμάτων, τα απόβλητα των εργοστασίων επιμετάλλωσης και των βιομηχανιών παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων (Kabata – Pendias and Dudka 1989).

8.3.3.ΧΡΩΜΙΟ

Το χρώμιο είναι ένα στοιχείο που υπάρχει σε πετρώματα, στα ζώα, στα φυτά, στο έδαφος και στη σκόνη και στα αέρια ηφαιστειών. Υπάρχουν δύο μορφές ειδών χρωμίου που μπορούν να βρεθούν στο νερό: χρώμιο Cr⁺³ και χρώμιο Cr⁺⁶. Η τρισθενής μορφή είναι περισσότερο άφθονη στα φυσικά νερά. Το χρώμιο εισάγεται στο νερό κυρίως από ανθρωπογενές πηγές όπως εργοστάσια ηλεκτροεπιμεταλλώσεων, επεξεργασίας δέρματος και εγκαταστάσεις παραγωγής υφαντών, επεξεργασία ξύλου, καίγοντας άνθρακα και πετρέλαιο, παραγωγή χάλυβα και ανοξειδωτού χάλυβα (περιέχει 12-15% χρώμιο), παραγωγή ραδιοφώνων και βίντεο και στα laser. Η μέση τιμή σε ποταμούς παγκοσμίως είναι 0.7 μg/L ενώ έχουν μετρηθεί και τιμές έως 20 μg/L στον ποταμό Ρήνο το 1988.

Η τοξικότητα του χρωμίου στους υδρόβιους οργανισμούς είναι συνήθως χαμηλή. Το τρισθενές χρώμιο είναι απαραίτητο για αρκετούς οργανισμούς ενώ το εξασθενές είναι πολύ τοξικό στη γλωρίδα και πανίδα. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος, το νικέλιο κι ο ψευδάργυρος είναι περισσότερο τοξικά από το χρώμιο. Οι χρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία είναι αναπνευστικές και δερματολογικές.

8.3.4.ΧΑΛΚΟΣ

Ο χαλκός είναι από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και οι ενώσεις του είναι ευρέως κατανεμημένες στη φύση . Εμφανίζεται με τη μορφή διαλυμένων ή αδιάλυτων ενώσεων.

Μόλυνση χαλκού μπορεί να προέλθει κυρίως από τις ακόλουθες πηγές: μετάλλευση και μεταλλουργία (βιομηχανικά λύματα), παραγωγή κραμάτων Cu (ορείχαλκος, μπρούντζος), διάβρωση των καλωδίων και των συσκευών που είναι φτιαγμένες από χαλκό, μπρούντζο, ή ορείχαλκο, υπερβολική χρήση των φυτοφαρμάκων που περιέχουν χαλκό. Οι διαλυτές ενώσεις του χαλκού αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Συνήθως οι υδατοδιαλυτές ενώσεις χαλκού εμφανίζονται στο περιβάλλον κατά την αποδέσμευσή τους κατά τη διάρκεια γεωργικών εφαρμογών.

Ο χαλκός είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο συστατικό για τον ανθρώπινο μεταβολισμό. Η καθημερινή απαίτηση Cu από έναν ενήλικα ισούται με 1.25 mg (WHO 1996). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του χαλκού είναι επιβλαβείς για την υγεία. Επειδή ο χαλκός δεν συσσωρεύεται στον οργανισμό τόσο εύκολα όπως ο υδράργυρος ή ο μόλυβδος, έχει καθοριστεί πως για να είναι επιβλαβής, η ημερήσια δόση χαλκού πρέπει να φτάνει τόσο ψηλά όσο τα 100 mg. Συγκεντρώσεις χαλκού πάνω από 1 mg/L μπορεί να περιορίζει την ανάπτυξη της βλάστησης.

8.3.5.ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

Ο ψευδάργυρος είναι σχετικά συνηθισμένο στοιχείο που βρίσκεται στο περιβάλλον. Ο ψευδάργυρος είναι φυσικά παρών στο φλοιό της γης, με μορφή μεταλλευμάτων. Διαπερνά στα υπόγεια νερά από το έδαφος που βρίσκεται κοντά σε αποθέσεις μεταλλευμάτων ψευδάργυρου ή άλλων αποθέσεων που είναι πλούσιες σε ενώσεις ψευδάργυρου ανθρωπογενούς προέλευσης. Ο ψευδάργυρος φτάνει στα επιφανειακά νερά με τους ρύπους σκόνης και τα βιομηχανικά λύματα (μεταλλουργία και χημικές βιομηχανίες). Οι ενώσεις ψευδαργύρου, μεταξύ άλλων,

χρησιμοποιούνται, για παραγωγή χρωμάτων, βάψιμο, παραγωγή υφαντών, απολυμαντικά μέσα, συντηρητικά ξύλου κ.ά

Η πιο σχετικά διαδεδομένη πηγή του ψευδαργύρου στο περιβάλλον είναι ο γαλβανισμένος χάλυβας. Η διάθεση λυμάτων και η χρήση των λιπασμάτων είναι επίσης μία σημαντική πηγή του ψευδαργύρου στο έδαφος και το νερό. Από περιβαλλοντικής άποψης ο ψευδάργυρος είναι κυρίως τοξικός για τα φυτά, ενώ ελαφρώς τοξικός για τα ζώα και τους ανθρώπους.

8.3.6.ΝΙΚΕΛΙΟ

Το νικέλιο είναι μια ένωση που εμφανίζεται στο περιβάλλον μόνο σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Τυπικές συγκεντρώσεις νικελίου σε ποταμούς είναι 0.3-1.0 μg/L ενώ η μέση τιμή μεγάλων ποταμών παγκοσμίως είναι 0.8 μg/L. Εμφανίζεται με τη μορφή Ni^{2+} στο νερό και ορισμένες φορές ως ανθρακικό νικέλιο. Χρησιμοποιείται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Η πιο κοινή εφαρμογή του νικελίου είναι η χρήση του ως συστατικό του χάλυβα και σε άλλα μεταλλικά προϊόντα. Μπορεί να βρεθεί, επίσης, σε συνήθη μεταλλικά αντικείμενα όπως τα κοσμήματα, στις μπαταρίες και στις χρωστικές. Τα τρόφιμα περιέχουν φυσικώς μικρές ποσότητες νικελίου. Η σοκολάτα και τα λίπη είναι γνωστό ότι περιέχουν σημαντικά υψηλές ποσότητες. Το νικέλιο μπορεί επίσης να βρεθεί στα απορρυπαντικά. Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν στο νικέλιο με την αναπνοή του αέρα, το πόσιμο νερό, την κατανάλωση των τροφίμων ή το κάπνισμα τσιγάρων. Η επαφή του δέρματος με το μολυσμένο από νικέλιο χώμα ή νερό, μπορεί επίσης να οδηγήσει στην έκθεση στο νικέλιο. Σε μικρές ποσότητες το νικέλιο είναι απαραίτητο, αλλά όταν η λήψη είναι πολύ υψηλή μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

8.3.7.ΣΙΔΗΡΟΣ

Ο σίδηρος αποτελεί το σπουδαιότερο βιομηχανικό μέταλλο το οποίο υπάρχει σε αφθονία στη φύση και αποτελεί το 5% περίπου του στερεού φλοιού της γης. Η ποιότητα και ποσότητα του παραγόμενου σιδήρου παρουσιάζουν μεγάλη σημασία για την οικονομία. Ο σίδηρος ανήκει στα απαραίτητα μέταλλα για τους

ζωντανούς οργανισμούς. Τα φυτά παραλαμβάνουν τον σίδηρο από το έδαφος. Η έλλειψή του προκαλεί "χλώρωση" των φυτών, μια ασθένεια η οποία προκαλείται και από έλλειψη μαγνησίου και μαγγανίου (Schlote et al. 1989).

Ο σίδηρος εφαρμόζεται παγκοσμίως για εμπορικούς λόγους, και παράγεται στα ποσά των 500 εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Περίπου 300 εκατομμύρια τόνοι ανακυκλώνονται. Ο κύριος λόγος είναι ότι ο σίδηρος χρησιμοποιείται σε περισσότερες εφαρμογές από ενδεχομένως οποιοδήποτε άλλο μέταλλο. Τα κράματα σιδήρου χρησιμοποιούνται σε δοχεία, στα αυτοκίνητα, στις μηχανές πλυντηρίων, στις γέφυρες, στα κτήρια, ακόμη και στα μικρά ελατήρια. Οι ενώσεις σιδήρου εφαρμόζονται ως χρωστικές ουσίες στο γυαλί και εμπεριέχονται στα φαρμακευτικά προϊόντα, τις χημικές ουσίες, τα λιπάσματα σιδήρου, ή τα φυτοφάρμακα.

8.3.8.ΜΑΓΓΑΝΙΟ

Το μαγγάνιο είναι μια πολύ κοινή ένωση που μπορεί να βρεθεί παντού στη γη. Το μαγγάνιο είναι ένα από τα τρία απαραίτητα τοξικά ιχνοστοιχεία, το οποίο σημαίνει ότι είναι όχι μόνο απαραίτητο για τους ανθρώπους να επιζήσουν, αλλά είναι και τοξικό όταν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις είναι παρούσες στο ανθρώπινο σώμα.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Μέθοδοι και υλικά

Η έρευνα έχει ως αντικείμενο την μελέτη της βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων στο οικοσύστημα της ελάτης στον ορεινό όγκο του Ταΰγétου.

Για την έρευνα επιλέχθηκαν ορισμένες περιοχές στον ορεινό όγκο του Ταΰγétου με βασικό κριτήριο την απόσταση της θέσης από τη πηγή ρύπανσης, το μητρικό υλικό από το οποίο προήλθε το έδαφος καθώς και από τη ποιότητα τόπου.

Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τρεις συστάδες Ελάτης στη περιοχή του βορείου Ταΰγétου στις θέσεις Δυρράχιο με υψόμετρο 860 μ. (θέση BT1, 37°11' N, 22° 13' E), Δυρράχιο-στροφή με υψόμετρο 1064 μ. (θέση BT2, 37°11' N, 22° 13' E), Νεοχώριο με υψόμετρο 1330 μ. (θέση BT3 337°10' N, 22° 14' E). Η θέση αυτή (BT3) αντιπροσωπεύει καλύτερη ποιότητα τόπου γιατί έχει βαθύτερο και πλουσιότερο σε θρεπτικά στοιχεία έδαφος από τις άλλες δυο θέσεις ενώ η BT2 αντιπροσωπεύει τη χειρότερη ποιότητα τόπου.

Τα εδάφη προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων, ενώ εκείνα που βρίσκονται σε κολλούβια και αλλούβια προέρχονται από μεταφερθέντα υλικά. Τα κυριότερα πετρώματα είναι οι φυλλίτες (μεταμορφωμένα) και οι ασβεστόλιθοι.

Τα εδάφη σε φυλλίτες, οι οποίοι είναι μεταμορφωμένα πετρώματα, αποτελούν προϊόν φυσικής αποσαθρώσεως των πετρωμάτων, με την συνέργεια του ύδατος και των παγετών. Επειδή έχουν ομαλές κλίσεις και συνήθως μεγάλο βάθος, με ευνοϊκό κλίμα, αποτελούν τα πλέον παραγωγικά εδάφη της Ελλάδας. Σε αυτά ασκείται έντονη δασοπονία με παραγωγικά δάση οξιάς και δρυός στην Βόρεια Ελλάδα και μαύρης πεύκης και ελάτης στην Νότια Ελλάδα.

Ο μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος και ο γνεύσιος είναι τα δύο βασικά πετρώματα που αποτελούν τους φυλλίτες και έχουν αμφότερα παρουσία στον Ταΰγετο. Το βάθος του εδάφους είναι σημαντικό και γίνεται μεγάλο σε θέσεις με μικρή κλίση ή αδιατάρακτες από φωτιά και ανθρώπινη παρουσία.

Τα εδάφη σε ασβεστολιθικό γεωλογικό υπόθεμα είναι γενικά μικρού βάθους και με μέτρια γονιμότητα, ανάλογα με τις επικρατούσες κλίσεις και την ανθρωπογενή επίδραση που έχουν υποστεί. Στην περιοχή του Ταυγέτου τα εδάφη αυτά είναι μέτριας ποιότητας, όσον αφορά την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία, ενώ και η οξύτητά τους είναι μικρότερη από αυτή των εδαφών σε μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο. Τα εδάφη σε ασβεστόλιθο φιλοξενούν τις περισσότερες συστάδες ελάτης, ενώ στους φυλλίτες επικρατεί ως είδος η Μαύρη Πεύκη.

Κάθε πειραματική επιφάνεια που επιλέχθηκε είχε έκταση περίπου 1,5 στρέμμα. Για την επιλογή των θέσεων των δειγματοληπτικών επιφανειών λάβαμε υπόψη μας ότι οι επιφάνειες αυτές πρέπει να αποτελούνται από αμιγείς συστάδες ελάτης σε ομοιογενή κατά το δυνατόν ποιότητα τόπου σε κάθε επιφάνεια. Σε κάθε πειραματική επιφάνεια επιλέχθηκαν έξη υγιή δένδρα μέσης κυκλικής επιφάνειας και κόμης όπου συλλέχθηκαν βελόνες από τέσσερα εξωτερικά σημεία της περιφέρειας του κάθε δένδρου και σε ύψος περίπου στα 2/3 του ύψους των δένδρων. Με συστηματική δειγματοληψία ελήφθησαν δείγματα δασικού τάπητα για τον προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων που συσσωρεύονται σε αυτόν. Η δειγματοληψία έγινε με τη βοήθεια ενός μεταλλικού πλαισίου διαστάσεων 30X30X10 cm. Το μεταλλικό πλαίσιο τοποθετούνταν πάνω στο δασικό τάπητα και πιεζόμενο προσεκτικά, για να μη διαταραχθεί ο δασικός τάπητας, έφτανε μέχρι το έδαφος. Στη συνέχεια λήφθηκαν δείγματα από τους οργανικούς ορίζοντες O1 και O2 χωριστά. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου ξηραίνονταν στους 80 °C για 48 ώρες και μετά ζυγίζονταν για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους τους.

Με συστηματική δειγματοληψία ελήφθησαν δείγματα εδάφους για τον υπολογισμό των θρεπτικών στοιχείων που είναι αποθηκευμένα στο έδαφος καθώς και για τη μελέτη των εδαφικών χαρακτηριστικών με ιδιαίτερη έμφαση στην συγκέντρωση βαρέων μετάλλων. Τα δείγματα εδάφους λήφθηκαν κατά στρώματα πάχους 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm.

1.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΟΡΥΚΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Πραγματοποιήθηκε ξήρανση, λειοτρίβηση και προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα τους σε μακροστοιχεία K,Ca,Mg,Na, ιχνοστοιχεία Fe ,Cu ,Zn ,Mn ,Cd ,Pb ,Ni και Cr. Το κάθε δείγμα ορυκτού εδάφους αναλύθηκε δυο φορές.

1.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΔΑΣΙΚΟΥ ΤΑΠΗΤΑ

Με συστηματική δειγματοληψία ελήφθησαν δείγματα δασικού τάπητα για τον προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων που συσσωρεύονται σε αυτόν. Η δειγματοληψία έγινε με τη βοήθεια ενός μεταλλικού πλαισίου διαστάσεων 30X30X10 cm. Το μεταλλικό πλαίσιο τοποθετούνταν πάνω στο δασικό τάπητα και πιεζόμενο προσεκτικά, για να μη διαταραχθεί ο δασικός τάπητας, έφτανε μέχρι το έδαφος. Στη συνέχεια λήφθηκαν δείγματα από τους οργανικούς ορίζοντες O1 και O2 χωριστά. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, όπου ξηραίνονταν στους 80 °C για 48 ώρες και μετά ζυγίζονταν για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους τους. Στη συνέχεια αντιπροσωπευτικό δείγμα αλέστηκε για τον προσδιορισμό της συνολικής περιεκτικότητας του σε μακροστοιχεία K, Ca, Mg, Na, και μικροστοιχεία Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni, και Cr. Το κάθε δείγμα δασικού τάπητα αναλύθηκε δυο φορές.

1.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΒΕΛΟΝΩΝ

Μετά τη δειγματοληψία οι βελόνες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου ξηράθηκαν στους 80°C με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας τους. Ακολούθησε η άλεση των δειγμάτων και η τοποθέτησή τους σε σακουλάκια με σκοπό τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας τους σε μακροθρεπτικά K, Ca, Mg, Na, μικροθρεπτικά Fe, Cu, Zn, Mn, και βαρέα μέταλλα Cd, Pb, Ni, και Cr. Το κάθε δείγμα αναλύθηκε δύο φορές.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

2.1 Προσδιορισμός της E.C και του pH του ορυκτού εδάφους.

Ζυγίζονται 200gr αεροξηραμένου εδάφους υγρασίας και μεταφέρονται σ' ένα πλαστικό δοχείο. Προστίθενται σταδιακά μικρές ποσότητες αποσταγμένου νερού και αναμιγνύονται με το έδαφος με τη βοήθεια σπάτουλας μέχρι περίπου τον κορεσμό του. Η πάστα του εδάφους καλύπτεται και αφήνεται για μισή περίπου ώρα προκειμένου να διαποτιστεί το έδαφος από το νερό. Στη συνέχεια προστίθεται νερό μέχρι τον κορεσμό της. Το σημείο κορεσμού έχει επιτευχθεί όταν πας να αποκτήσει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

- Η επιφάνεια της πάστας πρέπει να γαλιρίζει, χωρίς όμως να εμφανίζει περίσσια νερού.
- Αν με τη σπάτουλα χαραχθεί ένα αυλάκι στην πάστα, τότε αυτό θα πρέπει να κλείνει σιγά-σιγά με μετακίνηση υγρής μάζας εδάφους
- Η πάστα θα πρέπει να γλιστρά ελεύθερα πάνω στη σπάτουλα, όταν αφεθεί να πέσει απ αυτή.

Στη συνέχεια η πάστα αφήνεται σε ηρεμία, για τέσσερις ώρες. Γίνεται επανέλεγχος χαρακτηριστικών της και αν διαπιστωθεί ότι η ποσότητα του νερού που προστέθηκε υπερβαίνει το νερό κορεσμού, προστίθεται ακόμα μια μικρή προζυγισμένη ποσότητα εδάφους προκειμένου να αποκτήσει η πάστα τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά. Η συνολική ποσότητα του νερού που προστέθηκε στο έδαφος ανάγεται επί τοις εκατό ξηρού βάρους εδάφους και αντιπροσωπεύει το SP.

Μετά την παρέλευση του τετράωρου ισορροπίας ακολουθεί η διήθηση της πάστας εδάφους με τη βοήθεια χωνιού Buchner μη ηθμό και συσκευής κενού. Η διήθηση σταματά όταν αρχίζει να περνά αέρας από το χωνί. Όταν το παραλαμβανόμενο εκχύλισμα είναι θολό η διήθηση επαναλαμβάνεται. Η ποσότητα του εκχυλίσματος όπου παραλαμβάνεται με διήθηση με τη βοήθεια χωνιού αντιστοιχεί στο ένα τρίτο ή ένα τέταρτο περίπου του νέου κορεσμού.

Αμέσως μετά την παραλαβή του εκχύλισματος κορεσμού μετρείται ηλεκτρική του αγωγιμότητα και μέσω αυτής υπολογίζεται το σύνολο των υδατοδιαλυτών αλάτων στο εκχύλισμα και στη συνέχεια το pH.

2.2 Προσδιορισμός κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους

Ζυγίζονται 100g αεροξηραθέντος εδάφους και μεταφέρονται στο δοχείο του αναδευτήρα. Προστίθενται 250ml νερού και 50 ml εξαμεταφωσφορικού Νατρίου 0,1N και το δείγμα αναδεύεται για 10 λεπτά. Βυθίζεται το υγρόμετρο στο δείγμα και έπειτα συμπληρώνεται με νερό.

Στη συνέχεια αφαιρείτε το υδρόμετρο και ανακινείται το αιώρημα ζωηρά με τον αναδευτήρα. Στο τέλος της ανακίνησης, τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και μετά 20 δευτερόλεπτα βυθίζεται το υδρόμετρο στο αιώρημα. Μετά 40 δευτερόλεπτα από το τέλος της ανακίνησης σημειώνεται η ένδειξη του υδρόμετρου, αφαιρείται ξανά το υδρόμετρο και ακολουθεί λήψη της θερμοκρασίας. Η ένδειξη του υδρόμετρου και του θερμομέτρου σημειώνονται. Το υδρόμετρο είναι βαθμολογημένο, έτσι ώστε σε κάθε στιγμή η ανάγνωση του να αντιπροσωπεύει την ποσότητα των στερεών τεμαχιδίων σε γραμμάρια ανά λίτρο αιωρήματος. Η ένδειξη του υδρόμετρου μετά την παρέλευση των σαράντα δευτερολέπτων με την κατάλληλη διόρθωση για την θερμοκρασία, αντιπροσωπεύει τα γράμματά της ιλύος και της αργίλου στο αιώρημα, δεδομένου ότι στο χρόνο αυτό το τεμαχίδια της άμμου έχουν καθιζάνει στο βάθος μεγαλύτερο από το βάθος της υδρομέτρησης.

Ανακινείται ξανά ζωηρά το αιώρημα και στο τέλος της ανακίνησης, τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο. 20 δευτερόλεπτα πριν συμπληρωθούν 2 ώρες βυθίζετε εκ νέου το υδρόμετρο στο αιώρημα και ακριβώς με τη συμπλήρωση δύο ωρών από την έναρξη του χρόνου σημειώνεται η ένδειξη του υδρόμετρου. Τέλος αφαιρείται το υδρόμετρο και θερμομετριέται ξανά το αιώρημα. Μετά την παρέλευση δύο ωρών έχει κατακαθίσει και η ιλύς, άρα η ένδειξη του υδρόμετρου διορθωμένη για τη θερμοκρασία θα αντιστοιχεί στα γραμμάρια της αργίλου που εξακολουθούν να υπάρχουν στο αιώρημα.

2.3 Προσδιορισμός ελεύθερου CaCO₃

Ζυγίζονται 5 γρ. εδάφους και μεταφέρονται ποσοτικά στον πυθμένα της φιάλης της συσκευής. Ο δοκιμαστικός σωλήνας της συσκευής γεμίζεται κατά τα δύο τρίτα του όγκου του με διάλυμα HCl και τοποθετείται όρθιος στην κωνική φιάλη. Με το αριστερό χέρι το απιοειδές δοχείο της συσκευής φέρεται σε τέτοιο ύψος έτσι ώστε οι στάθμες των υγρών μέσα σε αυτό και στο βαθμολογημένο σωλήνα της συσκευής να ισορροπούν λίγο πιο κάτω από το μηδέν της κλίμακας. Με το δεξί χέρι πωματίζεται η κωνική φιάλη που περιέχει το δείγμα του εδάφους και το HCl ,οπότε η στάθμη του υγρού στο βαθμολογημένο σωλήνα θα πρέπει να κατέβει μέχρι το μηδέν.

Στη συνέχεια δίδεται στη φιάλη αρκετή κλίση ώστε να αδειάσει ο δοκιμαστικός σωλήνας από το HCl και ανακινείται ήπια για μικρό χρονικό διάστημα. Το παραγόμενο CO₂ συμπιέζει τη στήλη του υγρού στο βαθμολογημένο σωλήνα, η οποία αρχίζει να κατέρχεται μέσα σε αυτό, η δε κάθοδος της στάθμης του υγρού παρακολουθείται από το απιοειδές δοχείο, έτσι ώστε η στάθμη του υγρού μέσα σε αυτό και στο βαθμολογημένο σωλήνα να βρίσκονται πάντα στο ίδιο ύψος. Όταν η έκκλιση CO₂ σταματήσει, λαμβάνεται η ένδειξη από το βαθμολογημένο σωλήνα που αντιστοιχεί στον όγκο του CO₂ που εκλύθηκε κατά την αντίδραση.

2.4 Προσδιορισμός ανταλλάξιμου Na, K, Ca, Mg

Ζυγίζουμε 5g εδάφους και μεταφέρονται ποσοτικά σε σωλήνα φυγόκεντρον των 50ml , μαζί με 33ml κανονικού διαλύματος οξικού αμμωνίου με pH=7. Το περιεχόμενο του σωλήνα ανακινείται για 5 λεπτά , στη συνέχεια φυγοκεντρείται και το υπερκείμενο υγρό συλλέγεται σε φιάλη των 100ml .η εργασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές στο ίδιο δείγμα εδάφους και στο συνολικό εκχύλισμα που έχει συλλεχτεί στην ογκομετρική φιάλη αραιώνεται στα

100ml. Ακολουθεί ο προσδιορισμός του K και του Na στα αντίστοιχα εκχυλίσματα ο οποίος γίνεται φλογοφωτομετρικά.

2.5 Αποδιοργάνωση ορυκτού εδάφους με τη μέθοδο της υγρής καύσης (Tuzen 2003)

Κατά την υγρή καύση των δειγμάτων μας, παίρνουμε 1gr δείγματος και το τοποθετούμε σε φιάλη Kjeldahl των 50ml. Στην συνέχεια προσθέτουμε την αντίστοιχη ποσότητα των οξέων HCl HNO₃ και HClO₄. Ακολούθως, τοποθετούμε τις φιάλες στη συσκευή πέψης στους 90°C για 6 ώρες. Αφού συμπληρωθεί η καύση των δειγμάτων τα αφήνουμε να ψυχθούν και προβαίνουμε σε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25ml αραιώνοντας με απιονισμένο νερό. Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται και η διαδικασία για τον τυφλό προσδιορισμό των δειγμάτων.

Τα διαλύματα είναι έτοιμα για μέτρηση της περιεκτικότητας τους σε K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn καθώς και Ni, Cr, Pb και Cd μέσω του φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης έχοντας τα αντίστοιχα πρότυπα διαλύματα με τις ανάλογες συγκεντρώσεις σε ppm.

2.6. ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ ΒΕΛΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΟΥ ΤΑΠΗΤΑ

Για την αποδιοργάνωση του φυτικού υλικού ακολουθήθηκε η μέθοδος της υγρής καύσης

2.6.1 Μέθοδος υγρής καύσης (Allen et al, 1974).

Βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για την πραγματοποίηση της υγρής καύσης (acid digestion) λαμβάνουμε ξηρό δείγμα βάρους 0,20-0,50 gr. Για κάθε 1 gr ξηρού δείγματος χρησιμοποιούμε 2 ml HClO₄ 60%, 10 ml HNO₃ και 1 ml H₂SO₄.

Κατά την υγρή καύση των δειγμάτων μας, παίρνουμε 1,5 – 2,5 gr ξηρού δείγματος και το τοποθετούμε σε φιάλη Kjeldahl των 50 ml. Στην συνέχεια προσθέτουμε την αντίστοιχη ποσότητα οξέων HClO₄ 60%, HNO₃ και H₂SO₄. Ακολούθως, τοποθετούμε τις φιάλες στη συσκευή πέψης (DIGESTION SYSTEM 6 / 1007

DIGESTER) για θέρμανση σε χαμηλή θερμοκρασία και αναμένουμε μέχρι να εμφανιστούν άσπροι καπνοί. Όταν συμβεί αυτό, τα αφήνουμε για λίγα λεπτά να ψυχθούν και προβαίνουμε σε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml. Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται και η διαδικασία για τον τυφλό προσδιορισμό των δειγμάτων.

3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΛΙΟΥ

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1. Stock διάλυμα K 1000 mg/l (MERCCK, 1000 ppm, KCl)
2. Πρότυπα Διαλύματα K 0, 10, 20, 30, 60, 80, 100, 120, και 140 ppm μετά από κατάλληλη αραιώση του Stock διαλύματος

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο προσδιορισμός του K στα αποδιοργανωμένα δείγματα πραγματοποιήθηκε σε φλογοφωτόμετρο (Sherwood Flame Photometer 410) με τη βοήθεια των πρότυπων διαλυμάτων. Στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του K στο αποδιοργανωμένο δείγμα ήταν υψηλότερη από τη συγκέντρωση του μεγαλύτερου standard τότε ο προσδιορισμός γίνονταν σε κατάλληλα αραιωμένα δείγματα.

3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1. Stock διάλυμα Ca 1000 mg/l
2. Πρότυπα Διαλύματα Ca μετά από κατάλληλη αραιώση του Stock διαλύματος

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο προσδιορισμός του Ca πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της ατομικής απορρόφησης . Σε κάποια από τα δείγματα έγιναν αραιώσεις 1/15 ή 0,5/50 για τον καλύτερο προσδιορισμό του στοιχείου.

3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΑΤΡΙΟΥ

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1. Stock διάλυμα Na 1000 mg/l (MERCK, 1000 ppm, NaCl)
2. Πρότυπα Διαλύματα Na 0, 10, 40, 60, 80, 120, και 140 ppm μετά από κατάλληλη αραιώση του Stock διαλύματος

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο προσδιορισμός του N έγινε στο φλογοφωτόμετρο (Sherwood Flame Photometer 410) με τη χρήση πρότυπων διαλυμάτων από 0 ppm έως 140 ppm.

3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ

ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1. Stock διάλυμα Mg 1000 mg/l (Perkin Elmer Pure, Atomic Spectrometry Standard, 1000 ppm, Mg (NO₃)₂·6 H₂O)
2. Πρότυπα Διαλύματα μετά από κατάλληλη αραιώση του Stock διαλύματος

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για τον προσδιορισμό του Mg πραγματοποιήθηκαν δυο αραιώσεις 1/10 ή 0,5/50 σε κάθε δείγμα φυτικού ιστού εκτός των τυφλών δειγμάτων. Ακολούθησε η μέτρηση του στοιχείου στην ατομική απορρόφηση.

3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων πραγματοποιήθηκε στην ατομική απορρόφηση (A Analyst 100/ Atomic Absorption Spectrometer, Perkin Elmer Instruments) με χρήση προτύπων διαλυμάτων. Για τα μικροθρεπτικά Mn (Perkin Elmer Pure, Atomic Spectrometry Standard, 1000 ppm, $\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), Fe (Perkin Elmer Pure, Atomic Spectrometry Standard, 1000 ppm, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$), Cu (Perkin Elmer Pure, Atomic Spectrometry Standard, 1000 ppm, Copper Metal Cu), Zn (Perkin Elmer Pure, Atomic Spectrometry Standard, 1000 ppm, Zinc Metal) χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα από 0 ppm μέχρι 10 ppm, ενώ για τα μικροθρεπτικά Cd (MERCK, 1000 ppm, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$), Pb (J.T Baker, Atomic Absorption Standard, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), Cr (J.T Baker, Atomic Absorption Standard, 1000 ppm, 7.696 g $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), Ni (J.T Baker, Atomic Absorption Standard, 1000 ppm, 4.953 g $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) από 0 ppm μέχρι 1 ppm. Αυτά προήλθαν μετά από κατάλληλες αραιώσεις από πυκνά διαλύματα συγκέντρωσης 1000 ppm για τα αντίστοιχα στοιχεία.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους πίνακες 2, 3 και 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους του ορεινού όγκου του Ταυγέτου: Μηχανική σύσταση, την αντίδραση του εδάφους pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C) και την περιεκτικότητα σε CaCO₃.

Στους πίνακες 5, 6 και 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους σε μακροθρεπτικά K, Na, Ca, Mg, και ιχνοστοιχεία Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Pb.

Στους πίνακες 8, 9 και 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του δασικού τύπτηα σε μακροθρεπτικά K, Na, Ca, Mg, και ιχνοστοιχεία Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Pb.

Στους πίνακες 11, 12 και 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των βελονών, διαφορετικής ηλικίας, σε μακροθρεπτικά K, Na, Ca, Mg, και ιχνοστοιχεία Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Pb.

Πιν.2 Μηχανική σύσταση του εδάφους

ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ cm	Ιλύς %	Άμμος %	Αργίλος %	Μηχανική Σύσταση
BT1	0-5	38	52	10	SL
	5-10	38	54	8	SL
	10-15	37	53	10	SL
BT2	0-5	30,8	38,4	30,9	CL
	5-10	29,4	38,9	31,7	CL
	10-15	33,0	35,9	31,1	CL
BT3	0-5	20,3	42,4	37,3	CL
	5-10	21,0	41,0	38,0	CL
	10-15	24,9	34,0	41,1	CL

Από τα στοιχεία του πίνακα 1 προκύπτουν σημαντικές διαφορές ως προς τη μηχανική σύσταση μεταξύ των διαφόρων θέσεων και περιοχών δειγματοληψίας του εδάφους.

Το έδαφος στη θέση ΒΤ 2 και ΒΤ3 έχει πολύ βαριά μηχανική σύσταση. Στη θέση ΒΤ 1 έχει μέτρια.

Πιν.3. pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C., $\mu\text{S}/\text{cm}$) του εδάφους

ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ cm	Μητρικό υλικό	pH	E.C. $\mu\text{S}/\text{cm}$
BT1	0-5	Ασβεστόλιθος	6,83	279,0
	5-10		6,67	298,3
	10-15		6,75	322,5
BT2	0-5	Ασβεστόλιθος	7,05	131,5
	5-10		6,60	190,0
	10-15		6,80	194,0
BT3	0-5	Σχιστόλιθος	6,23	317,0
	5-10		6,17	788,0
	10-15		6,20	656,0

Το έδαφος στις θέσεις 1 και 2 έχει ελαφρώς όξινο έως ουδέτερο pH και δεν παρουσιάζει προβλήματα αλατότητας

Πιν.4 Περιεκτικότητα του εδάφους σε CaCO_3

ΘΕΣΗ	ΒΑΘΟΣ cm	CaCO_3 σε gr.
BT1	0-5	-
	5-10	-
	10-15	-
BT2	0-5	0,86
	5-10	-
	10-15	-
BT3	0-5	-
	5-10	-
	10-15	-

Το έδαφος δεν περιέχει ανθρακικό ασβέστιο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τις τιμές pH.

Πιν.5 Συγκεντρώσεις ανταλλαξιμών K, Na, Ca, Mg (meq/100g) στο έδαφος

ΘΕΣΗ	Μητρικό υλικό	Ca meq/100g	Mg meq/100g	Na meq/100g	K meq/100g
BT1	Ασβεστόλιθος	22,4-32,3	1,08-1,75	1,69-5,89	0,63-0,64
BT2	Ασβεστόλιθος	21,9-43,5	1,13-2,43	3,12-5,82	0,22-0,93
BT3	Σχιστόλιθος	8,3-13,2	1,01-1,81	5,12-5,82	0,31-0,41

Επίσης τα μελετώμενα εδάφη ήταν γενικά επαρκώς εφοδιασμένα με K, Ca, Mg. Όμως στα εδάφη στη περιοχή του Βορείου Ταυγέτου υπάρχει κίνδυνος νατρίωσης τους λόγω της πολύ υψηλής συγκέντρωσης τους σε ανταλλάξιμο Na.

Πιν.6 Ολικές συγκεντρώσεις Fe (%), και Cu, Zn, Mn (ppm) στο έδαφος (0-5cm)

ΘΕΣΗ	Fe	Cu	Zn	Mn
BT1	4,25	27,75	118,49	579,07
BT2	1,23	13,68	30,47	207,38
BT3	4,55	32,00	81,91	850,93

Πιν.7.Συγκεντρώσεις Cd, Ni, Cr, Pb (ppm) στο έδαφος (0-5cm)

ΘΕΣΗ	Pb	Cd	Cr	Ni
BT1	64,38	5,70	132,66	83,15
BT2	45,36	2,91	47,98	20,74
BT3	39,71	1,89	53,52	39,34

Οι τιμές των ολικών συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων θεωρούνται φυσιολογικές εκτός από τις συγκεντρώσεις Cd, Ni, (σε όλες τις θέσεις) του Mn (στις BT1 και BT2) και του Cr στη θέση BT1, σύμφωνα με τον (Calmey, 1993), Η χαμηλότερη θέση BT1 εμφανίζει να συσσωρεύει τις μεγαλύτερες ποσότητες Cd, Cr, και Ni. Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν την ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα. Η

περαιτέρω διερεύνηση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στον ορεινό όγκο του Βορείου Ταύγετου κρίνεται απαραίτητη.

Πίνακας 8 Ολικές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, και Na (ppm) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα κεφαλληνιακής ελάτης στη περιοχή του βόρειου Ταύγετου.

ΘΕΣΗ	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm
1 ^ο οργανικός ορίζοντας (O1)	2735	81	1284	167
2 ^ο οργανικός ορίζοντας (O2)	2539	61	1335	177

Πίνακας 9 Ολικές συγκεντρώσεις Mn, Fe, Zn και Cu (ppm) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα κεφαλληνιακής ελάτης στη περιοχή του βόρειου Ταύγετου.

	Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm
1 ^ο οργανικός ορίζοντας (O1)	254,8	7515,9	29,7	9,2
2 ^ο οργανικός ορίζοντας (O2)	271,2	8622,1	34,9	4,5

Πίνακας 10 Ολικές συγκεντρώσεις, Cd, Ni, Cr και Pb (ppm) στο δασικό τάπητα σε οικοσύστημα κεφαλληνιακής ελάτης στη περιοχή του βόρειου Ταύγετου.

	Cd ppm	Ni ppm	Cr ppm	Pb ppm
1 ^ο οργανικός ορίζοντας (O1)	2	24,4	47,6	12,9
2 ^ο οργανικός ορίζοντας (O2)	1,4	21,5	39,8	13,6

Στην περιοχή του Β.Τ. ο οργανικός ορίζοντας O2 (2^ο στρώμα δασικού τάπητα το οποίο είναι πλήρως αποσυνθεμένο) ήταν πλουσιότερος σε Mg, Na, Mn, Fe, Zn και Pb σε σύγκριση με τον ορίζοντα O1 (1^ο στρώμα δασικού τάπητα το οποίο δεν έχει αποσυντεθεί πλήρως) (. Οι ολικές συγκεντρώσεις των Ca, Cu και Cr στον O1 ορίζοντα ήταν πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στον O2 ορίζοντα. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα και όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο θα πρέπει να συνεχιστεί η έρευνα πάνω στη συσσώρευση βαρέων μετάλλων στο Οικοσύστημα του Ταϊγέτου.

Πιν.11. Ολικές συγκεντρώσεις K, Na, Mg (%) στις βελόνες της Ελάτης

ΘΕΣΗ	ΗΛΙΚΙΑ Βελονών	K	Na	Mg
BT1	ΤΩΡΙΝΑ	1,62	0,17	0,25
	1 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	1,35	0,15	0,23
	2ος ΧΡΟΝΟΣ	1,26	0,14	0,21
	≥3 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	1,22	0,14	0,23
BT2	ΤΩΡΙΝΑ	1,51	0,16	0,54
	1 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	1,05	0,14	0,54
	2ος ΧΡΟΝΟΣ	0,92	0,12	0,56
	≥3 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	0,84	0,12	0,54
BT3	ΤΩΡΙΝΑ	1,56	0,18	0,29
	1 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	1,38	0,16	0,24
	2ος ΧΡΟΝΟΣ	1,40	0,18	0,24
	≥3 ^ο ΧΡΟΝΟΣ	1,41	0,18	0,24

Από τα στοιχεία του πίνακα 11 προκύπτει ότι οι βελόνες των δένδρων στη θέση BT2 είναι φτωχότερες σε K και Na. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κακή κατάσταση των δένδρων όπου τα περισσότερα από αυτά παρουσίαζαν μικρή ανάπτυξη και ήταν γενικά καχεκτικά. Η θέση αυτή χαρακτηρίζεται από μικρό βάθος εδάφους.. Όμως παρά τη κακή ποιότητα τόπου της θέσης BT2 οι

συγκεντρώσεις του Mg υπερέχουν κατά πολύ των άριστων επιπέδων συγκέντρωσης.

Πιν.12. Ολικές συγκεντρώσεις Mn, Fe, Zn, Cu (ppm) στις βελόνες της Ελάτης

ΘΕΣΗ	ΗΛΙΚΙΑ Βελονών	Mn	Fe	Zn	Cu
BT1	ΤΩΡΙΝΑ	73,87	65,19	23,74	9,50
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	72,71	65,30	23,27	9,12
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	92,90	51,01	20,32	7,97
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	92,90	65,19	23,74	9,50
BT2	ΤΩΡΙΝΑ	44,55	48,49	25,51	4,73
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	55,02	45,15	17,81	8,07
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	65,36	58,69	16,88	8,24
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	58,53	59,77	14,31	7,19
BT3	ΤΩΡΙΝΑ	15,60	40,97	30,94	5,35
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	11,43	25,99	31,09	7,63
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	11,34	42,55	29,29	8,48
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	9,45	38,88	24,63	7,31

Οι συγκεντρώσεις των Mn, Cu, Zn, Fe στις βελόνες της ελάτης στη περιοχή του Ταύγετου κυμάνθησαν σε κανονικά επίπεδα (Stone 1968)

Πιν.13 Ολικές συγκεντρώσεις Cd, Ni, Cr (ppm) στις βελόνες της Ελάτης

ΘΕΣΗ	ΗΛΙΚΙΑ Βελονών	Cd	Ni	Cr
Α	ΤΩΡΙΝΑ	0,63	80,33	16,62
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,61	15,95	72,71
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,64	16,69	77,37
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,66	42,88	76,04
Β	ΤΩΡΙΝΑ	0,41	23,80	72,39
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,45	24,29	76,24
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,45	22,98	80,33
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,35	23,20	77,53
Γ	ΤΩΡΙΝΑ	0,67	19,90	65,40
	1 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,52	21,27	79,14
	2 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,55	19,75	82,73
	≥3 ^{ος} ΧΡΟΝΟΣ	0,70	20,79	77,34

Οι συγκεντρώσεις των Cd, Ni, Cr στις βελόνες της ελάτης στη περιοχή του Ταύγετου κυμάνθηκαν ήταν πολύ υψηλές σε σχέση με τις φυσιολογικές τιμές (Ceburnis and Steinnes 2000) γεγονός που υποδηλώνει πιθανόν κίνδυνο μόλυνσης του δασικού Οικοσυστήματος της Ελάτης με βαρέα μέταλλα.

2.Συμπεράσματα

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω μελέτη είναι ότι οι συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών στο δασικό οικοσύστημα του Βόρειου Ταύγετου τόσο στο έδαφος όσο και στις βελόνες της ελάτης κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα γεγονός που φανερώνει ικανοποιητική θρεπτική κατάσταση στο οικοσύστημα. Όμως θα πρέπει να διερευνηθεί η πιθανότητα μόλυνσης του

Οικοσυστήματος από βαρέα μέταλλα αφού τόσο οι συγκεντρώσεις στο δασικό τάπητα και στο έδαφος όσο και στις βελόνες βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baule and Fricker, C 1970. The fertilizer treatment of forest trees, BVL Munich.
- Bockein, J.G., S.W. Lee and J.E. Leide. 1983. Distribution and cycling of elements in a pinus resinosa plantation ecosystem Wisconsin. Can. J. of For. Res. 13Q4, 609-619.
- Camey, T. 1993. Contaminated land problems and solutions. Blackie academic & professional, USA and Canada.
- Ceburnis D. and E. Steinnes, 2000. Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation, role of the canopy Atmospheric Environment 34: 4265-4271
- Chapman, H.D. 196. Diagnostic criteria for plants and soils p.487-99. University of California, Riverside, USA.
- Copenet M., and C. Juste. 1982. Trace elements effects to the growth of plants and toxicity phenomena. In "Constituents and Properties of soils" p.458-465. M. Bonneau, B. Souchier (eds). Academic press London.
- D. W. Lawlor, R. A. C. Mitchell, Plant, Cell & Environment, Blackwell, Oxford 1991
- Duchaufour, P 1982. The dynamics of organic matter. Pedology.
- Goodman B.A., and D.J. Linehan 1979. An electron paramagnetic resonance study of the uptake of Mn (II) and Cu (II) by wheat roots. P.67-82. "In the soil – roots interface". J.L. Harley and R. Scott Russel (eds). Academic press London.
- Hewitt, E.J. 1983. Essential and functional metal in plants. "In metals and micronutrients, uptake and utilization by plants". D.A. Robb and W.S. pier point (eds). Academic press N.Y. pp277-323.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Larcher, W. 1980. *Physiological in plants ecology*. 2nd edition. Springer-Varlog. Heidelberg N.Y.
- Leaf A.L. 1968. K, Mg and S deficiencies in forest trees. In "forest fertilizations, theory and practice". P.88-122. Tennessee Valley authority. Muscle Shoals.
- Leigh R. A. and R. and Storey 1991. Nutrient compartmentation in cells and its relevance to the nutrition of the whole plant. In "plant growth: interaction with nutrition and environment". J. R. Porter. And B. W. Lawlor (eds) . Cambridge university press. Cambridge pp.33-4
- Lim, M.T., and J.E. Causens 1986. The internal transfer of nutrients in a Scotch pine plants II. The patterns of transfer and the effects of nitrogen availability. *Forestry* 59(1) 17-27.
- Lindsay, W.L., 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and sons. N.Y, p.449
- M. K. Chettri, C. M. Cook, E. Vardaka, T. Sawidis and T. Lanaras, The effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis* , Department of Botany, University of Thessaloniki, P.O. Box 109 GR-540 06 Thessaloniki, 1998
- Martin, J.P. and D.D. Focht, 1977. Biological properties of soils. In "soils for management of organic wasters and wastewater. Stevenson F.J. and L.E. Elior (eds) pp.115-169. Am. Soc. Agron., Crop. Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc Am., Madison , Wisconsin.
- Millard, P., and Proe. 1982. Storage and internal cycling of nitrogen in relation of seasonal of Sitka spruce. *Tree physiology*. 10:33-43
- Miller, H.G., J.M. Cooper, J.D. Miller and Pauline 1979. Nutrient cycles in pine: their adaption in poor soils. *Can. J. For. Res.* 9:19-26

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- N. Terry and I.M. Rao, Nutrient and photosynthesis: iron and phosphorus as case studies, 1991
- Nambiar E.K.S. 1987. Do nutrient retranslocate from fine roots? Can. J. For. Res.17:913-918.
- Oliver, S. and S.A. Barber. 1966. Mechanism for the movement of Mn,Fe,B,Cu,Zn,Al and Sr from one soil to the surface of soybean roots. Soil sci. soc. Am. Proc. 30:468-470.
- Ostman, N.L., and G.T. Weaver. 1982. Autumnal nutrient transfer by retranslocation, leaching and litter fall in a chestnut oak forest in southern Illinois. Can. J. For. Res. 12:40-51.
- Russ, Peter; Tanner, Lindsay. (1978) *The politics of pollution*. Camberwell, VIC: Widescope. ISBN 0-869-32072-6.
- Ryan P., Lee J. and Peebles, T.F. 1967. Trace elements problems in relation to soil units in Europe. Working party on soil classification and survey of the European commission on agriculture. F.A.O. of the United Nations. Rome world soil resources, reports 31.
- Sollins, P., Grier, C.C., McCorison, F.M. Cromack, K.Jr., Fogel, R., and Fredriksen. R.L.1980. The internal element cycles of an old growth Douglas-fir ecosystem in western Oregon. Ecological monographs.59:261-285.
- Sprugel, D.G.1984. Density biomass , productivity, and nutrient-cycling changes during stand developments in Wave-regenerator balsam fir forests. Ecological monographs. 54:2, 165-166.
- switzer ,G.L., L.E. Nelson 1972. Nutrient accumulation

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Stone E.L. 1968. Microelement Nutrition of Forest Trees: A review. Forest Fertilization, Theory and practice, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama. P. 132-174
- Turner J. and M. J. Singer, Nutrient Distribution and Cycling in a Sub-Alpine Coniferous Forest Ecosystem, British Ecological Society ,1976

- Αθανασιάδης, ΗΡ. Ν. 1986. Δασική Φυτοκοινωνιολογία. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. σελ. 109.
- Αλιφραγκής, Δ, και Α. Ι. Τσιόντσης, 1994. Επίδραση των δασικών υλοτομιών στην ισορροπία των δασικών οικοσυστημάτων. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, 25-27 Μαΐου 1994, σελ., 787-803.
- Αλιφραγκής, Δ. και Α. Ι. Τσιόντσης, 1995. Αποτελεσματική χρήση των θρεπτικών στοιχείων από τα δασικά οικοσυστήματα. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 6 (3) : 21-26.
- Αλιφραγκής, Δ. και Α. Ι. Τσιόντσης, 1995. Χρήση των θρεπτικών στοιχείων από δύο δασικά οικοσυστήματα της Βόρειας Ελλάδας. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 6 (4) : 7-17.
- Αλιφραγκής, Δ. 1984. Δυναμική των θρεπτικών στοιχείων και παραγωγή οργανικής ουσίας σε οικοσύστημα δρυός(Q. Conferta Kit) Διδακτορική διατριβή, πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη σελ 162.
- Παπαμίχος Ν.Θ. 1990. Δασικά εδάφη. Θεσσαλονίκη
- Σινάνης, Κ. Ν. 1997. Εργαστηριακές ασκήσεις Αξιοποίησης εδαφών. Τ.Ε.Ι Ηρακλείου. Σινάνης, Κ. Ν. 1998. Σημειώσεις Αξιοποίησης εδαφών. Τ.Ε.Ι, Ηρακλείου
- Τσιόντσης Α, 1991. Παραγωγή και κατανομή οργανικής ουσίας και δυναμική των θρεπτικών στοιχείων σε οικοσυστήματα Μαύρης Πεύκης (*Pinus nigra*). Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Χατζηστάθης, Α 1986. Η επίδραση της ανακύκλωσης των συστατικών του εδάφους και των διάφορων δασοκομικών χειρισμών στην προστασία των δασικών οικοσυστημάτων. Ανακοινώσεις και πορίσματα του συνεδρίου για την προστασία των δασών . Αθήνα ,Μάιος ,1986
- Χουλιάρης Ν. Εργαστηριακά μαθήματα εφαρμοσμένης εδαφολογίας Εκδότης: Ίων ,ISBN: 960-411-286-4, Αθήνα 2002

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- www.aegean.gr/environment
- www.gnest.org
- www.ecocrete.gr
- www.geol.uoa.gr/pdf/perivallon.pdf
- el.wikipedia.org/
- www.minagric.gr/greek/data/anthrax_greek.doc
- www.prasino.gr
- www.naef.gr
- www.easypedia.gr