

**‘ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΕ
ΑΝΑΔΑΣΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ’**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβληθείσα στο
Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
του
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Υπό

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ν. ΠΑΝΤΑΖΗ

Για την απόκτηση του Τίτλου του
Διδάκτορα του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

ΑΓΡΙΝΙΟ 2008



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000304400



**‘ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΕ
ΑΝΑΔΑΣΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ’**

Υπό

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ν. ΠΑΝΤΑΖΗ

Εργαστήριο Γεωχημείας

Σχολή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων & Επιχειρήσεων Αγρινίου

Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- **Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία**, Καθηγήτρια τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
- **Χατζόπουλος Ιωάννης**, Καθηγητής τμήματος Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου
- **Βαρνάβας Σωτήριος**, Καθηγητής τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών
- **Δεληγιαννάκης Ιωάννης**, Αναπληρωτής Καθηγητής τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- **Μπούρτζης Κωνσταντίνος**, Αναπληρωτής Καθηγητής τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- **Βαγενάς Δημήτριος**, Αναπληρωτής Καθηγητής τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- **Καλαβρουζιώτης Ιωάννης**, Επίκουρος Καθηγητής τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Επιβλέπων)



«Σ' όλους εκείνους, που με τον τρόπο τους με στήριξαν, είτε με τις γνώσεις,
τις σκέψεις, και ενέργειές τους,
είτε με τη συμπεριφορά τους, με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας
διδακτορικής διατριβής».

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων την περίοδο 2003-2008. Η διδακτορική αυτή διατριβή έχει ως σκοπό μέσα από τη διερεύνηση της συμπεριφοράς δασικών ειδών σε σχέση με τις συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος, να μελετήσει τη δυνατότητα που υπάρχει για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων και λάσπης βιολογικών σταθμών τόσο για αρδευτικούς σκοπούς, όσο και για λίπανση.

Το γεγονός της όλο και αυξανόμενης ζήτησης νερού σε παγκόσμιο πια επίπεδο, αποτελεί το κίνητρο εκείνο που απαιτείται για την εξέταση της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ειδών που προορίζονται για αναδασώσεις αλλά και για άλλες χρήσεις όπως για παράδειγμα χώροι πρασίνου στις πόλεις.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή σκοπό έχει να απαντήσει σε ερωτήματα όπως :

- Ποιά είναι η συμπεριφορά διαφόρων δασικών ειδών σε περιβαλλοντικές συνθήκες με αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό άρδευσης;
- Πώς μπορούμε και πόσο συχνά είναι δυνατό να αρδεύουμε συγκεκριμένα φυτά με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα ;
- Μήπως υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης ενός κατάλληλου μοντέλου διαχείρισης των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων ώστε να καταστεί δυνατή η εφαρμογή τους στο έδαφος, ως μία ασφαλής και χρήσιμη μέθοδος άρδευσης ;

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν και συνέβαλλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της μελέτης :

Τους επιβλέποντες καθηγητές μου :

- α. κ. Ιωάννη Καλαβρουζιώτη, για την υπόδειξη του θέματος, την φροντίδα του καθ'όλη την διάρκεια της μελέτης, την επιστημονική καθοδήγησή του, την πολύτιμη βοήθειά του κατά την πραγματοποίηση και διεξαγωγή του πειραματικού μέρους καθώς και για τις πράγματι πολύτιμες υποδείξεις, και διορθώσεις του κατά τη συγγραφή και διατύπωση του τελικού αυτού κειμένου. Επιπροσθέτως για την όντως εποικοδομητική, πλήρη και ουσιαστική συνεργασία που είχαμε.



β. κ. Ιωάννη Δεληγιαννάκη, τις χρήσιμες υποδείξεις του, την επιστημονική καθοδήγησή του, αλλά και την φιλοξενία του στο Εργαστήριο Φυτικοχημείας που με τόσο χαρά μου παρείχε.

Ειλικρινά αισθάνομαι την ανάγκη να ομολογήσω ότι η συνεισφορά τους ήταν πολύτιμη και καθοριστική στην τελική παρουσίαση της παρούσας διατριβής.

Ακόμη θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω :

Τον κ. Πρόδρομο Κουκουλάκη, Γεωπόνο-Εδαφολόγο M.Sc., τ. Αναπλ. Έρευνητή ΕΘΙΑΓΕ, για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγησή του στην ερμηνεία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Την Δασάρχη Αγρινίου, Κυρία Παναγιώτα Λάμπου, για τη διάθεση του απαραίτητου χώρου στο θερμοκήπιο του δασικού φυτωρίου, τόσο απαραίτητου για τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της διατριβής.

Το προσωπικό του δασικού φυτωρίου που μου διευκόλυνε την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους.

Τα μέλη της επταμελούς επιτροπής μου, τον κ. Βαρνάβα Σωτήριο, την κ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία, τον κ. Χατζόπουλο Ιωάννη, τον κ. Δεληγιαννάκη Ιωάννη, τον κ. Μπούρτζη Κωνσταντίνο, τον κ. Βαγενά Δημήτριο και τον κ. Καλαβρουζιώτη Ιωάννη, που με τίμησαν με την παρουσία τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, τους γονείς μου Νικόλαο και Αγγελική, καθώς και την αδελφή μου Ναυσικά που με στήριξαν και ήταν πάντα κοντά μου όλο αυτό το χρονικό διάστημα τόσο οικονομικά αλλά κυρίως ηθικά. Τους ευχαριστώ θερμά γιατί με στήριξαν και με βοήθησαν με όποιο τρόπο μπορούσαν από τα πρώτα μου χρόνια μέχρι και τώρα, έτσι ώστε να καταφέρουν να με κάνουν ικανό και δυνατό για να φτάσω να ετοιμάζω αυτή τη στιγμή τη διδακτορική μου διατριβή και όχι μόνο....

Αγρίνιο 20/03/08

Βασίλειος Ν. Πανταζής



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

- 1.1. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ
- 1.2. ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ
- 1.3. ΣΧΕΣΗ pH ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ
- 1.4. ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΡΙΖΕΣ, ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ
- 1.5. ΑΝΟΧΗ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟ-ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

- 2.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΦΥΤΑ
 - 2.1.1. ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
 - 2.1.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
 - 2.1.3. ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
 - 2.1.4. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
- 2.2. ΕΛΛΕΙΨΗ, ΕΠΑΡΚΕΙΑ, ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΤΑ
- 2.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ
- 2.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΛΑΣΠΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :

3.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΔΑΣΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

- 3.1.1. ΓΕΝΙΚΑ
- 3.2. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΑΝ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
- 3.3. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ
- 3.4. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ
 - 3.4.1. ΑΛΓΕΡΙΑ
 - 3.4.2. ΑΙΓΥΠΤΟΣ
 - 3.4.3. ΜΑΡΟΚΟ
 - 3.4.4. ΙΣΡΑΗΛ
 - 3.4.5. ΛΙΒΥΗ
 - 3.4.6. ΤΥΝΗΣΙΑ
 - 3.4.7. ΓΑΛΛΙΑ
 - 3.4.8. ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ
 - 3.4.9. ΙΣΠΑΝΙΑ
 - 3.4.10. ΙΤΑΛΙΑ
 - 3.4.11. ΜΑΛΤΑ
 - 3.4.12. ΚΥΠΡΟΣ
- 3.5. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΑΝΑΔΑΣΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
- 3.6. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΡΟΚΥΨΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ
- 3.7. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
- 3.8. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ
 - 3.8.1. ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΩΝ

5.2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.

5.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.3. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.

5.4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΕΚΡΟΩΝ, ΕΔΑΦΩΝ, ΛΑΣΠΗΣ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

5.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΕΡΩΝ

5.5.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

5.5.2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

5.5.2.2. ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΗΘΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

5.5.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.5.3.1. ΑΤΟΜΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

5.5.3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ P ΚΑΙ B

5.5.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.

5.5.4.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

5.5.4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

5.5.4.3. ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ (K, Na, Ca, Mg)

5.5.4.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ PH

5.5.4.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

5.5.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (ΚΑΤΑ OLSEN)

5.5.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Cu, Mn, Fe, Zn)

5.5.7. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ B ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΟΥΡΚΟΥΜΙΝΗΣ)

5.5.8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

5.5.9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

5.5.10. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (B.O.D.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

6.2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.2.1.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANALYSIS OF VARIANCE)

6.2.2 ΑΥΞΗΣΗ ΡΙΖΑΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ (CONTROL) ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ.

6.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ –ΡΙΖΕΣ-ΙΣΤΟΥΣ

6.4.1 ΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

6.4.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

6.4.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.5.1. ΑΡΙΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ



6.5.2. ΑΡΙΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

6.6. ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

6.7. ΣΥΝΕΡΓΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

6.8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :

7.1. ΧΟΥΜΙΚΟ ΟΞΥ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

7.1.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

7.1.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

7.1.3. ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

7.1.4. ΧΟΥΜΙΝΗ

7.2. ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ

7.3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ, ΛΑΣΠΗΣ ΚΑΙ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

7.3.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ -ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

7.3.1.1. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ WASTEWATER, SLUDGE ΚΑΙ HUMIC ACIDS (HA) ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ-ΑΥΞΗΣΗΣ ΔΥΟ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :

8.1. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕ ΤΟ ΧΟΥΜΙΚΟ

8.1.1. ΠΟΣΟΣΤΑ ΘΗΝΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.1.2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.1.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.1.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.1.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.1.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ (CONTROL) ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

8.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΤΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ

8.3.1. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.3.2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

8.4.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.4.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.5. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.5.1. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΧΟΥΜΙΚΟ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

8.5.2. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 :



9.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 :
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ

Οι κυριότερες μορφές των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος είναι:

- 1) **Τα δομικά στοιχεία**, τα οποία συμμετέχουν στη δομή των κρυστάλλων των ορυκτών και γίνονται προσιτά στα φυτά με τη μακροχρόνια διαδικασία της αποσάθρωσης των ορυκτών. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και τα στοιχεία των οργανικών ενώσεων.
- 2) **Τα εναλλακτικά στοιχεία**, τα οποία είναι προσροφημένα υπό μορφή ιόντων στα ανόργανα και οργανικά κολλοειδή του εδάφους. Μέρος των στοιχείων αυτών προσλαμβάνονται από τα φυτά είτε με απευθείας ανταλλαγή και απορρόφηση από τις ρίζες, είτε έμμεσα διαμέσου του εδαφικού διαλύματος.
- 3) **Τα στοιχεία του εδαφικού διαλύματος**, τα οποία βρίσκονται διαλυμένα στο εδαφικό νερό υπό ιονική κυρίως μορφή. Αυτά βρίσκονται σε κατάσταση χημικής ισορροπίας με τα εναλλακτικά στοιχεία και είναι εκείνα τα στοιχεία που περισσότερο και ευκολότερα χρησιμοποιούνται από τα φυτά.
- 4) **Τα δεσμευμένα υπό μη εναλλακτική μορφή στοιχεία**, όπως το NH_4 και το K , τα οποία είναι δυνατόν να προσροφηθούν από μερικά δευτερογενή ορυκτά της αργίλου του τύπου 2:1 (ιλλίτη, μοντμοριλονίτη) υπό μη ανταλλάξιμη μορφή.

Το σύνολο των παραπάνω μορφών, αποτελούν τις ολικές ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Από αυτές, οι αφομοιώσιμες μορφές αποτελούν ένα πολύ μικρό μέρος.

1.2. ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΛΑΣΙΚΑ

ΕΙΔΗ

Οι ρίζες των φυτών προσλαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία από τον περιβάλλοντα αυτές εδαφικό χώρο. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στο χώρο αυτόν. Η αναπλήρωση των απωλειών αυτών γίνεται με τις διάφορες μετακινήσεις των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Οι διαδικασίες με τις οποίες πραγματοποιούνται οι μετακινήσεις των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος προς τη ριζόσφαιρα είναι κυρίως η διάχυση των ιόντων και η μεταφορά τους με την κίνηση του νερού.

Ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων επηρεάζει την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά. Από τους παράγοντες δε αυτούς εξαρτάται το είδος και η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων, καθώς και η μορφή πρόσληψής τους από τα φυτά. Οι σπουδαιότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι οι παρακάτω:

- 1) **Οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας.** Αυτές επηρεάζουν την πρόσληψη, τόσο άμεσα με τον περιορισμό του ριζικού συστήματος και την μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων, όσο και έμμεσα με την επίδρασή τους στη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων, στις χημικές αντιδράσεις και στη δράση των μικροοργανισμών.
- 2) **Η συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και στη ριζόσφαιρα.** Η συγκέντρωση αυτή εξαρτάται από την ύπαρξη των θρεπτικών στοιχείων, καθώς επίσης και από τις συνθήκες διαλυτότητάς τους.
- 3) **Η ταχύτητα μετακίνησης των θρεπτικών στοιχείων προς την ριζόσφαιρα.** Με τις μετακινήσεις αυτές αναπληρώνονται τα θρεπτικά στοιχεία που καταναλίσκονται από το άμεσο περιβάλλον των ριζών. Οι διαδικασίες της μετακίνησης των θρεπτικών στοιχείων προς τη ριζόσφαιρα εξαρτώνται από τη διάχυση των ιόντων και τη μεταφορά των ιόντων με την μετακίνηση του νερού.
- 4) **Το είδος και η ένταση των διαφόρων βιοχημικών αντιδράσεων του εδάφους.** Τέτοιες αντιδράσεις είναι η οξείδωση και η αναγωγή των διαφόρων στοιχείων στο έδαφος, καθώς και η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων και ο σχηματισμός ή η οξείδωση του χούμου.
- 5) **Το pH του εδάφους.** Επηρεάζει σημαντικά τη διάλυση ή τη δέσμευση υπό αδιάλυτες, μη αφομοιώσιμες μορφές, όλα σχεδόν τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους.

- 6) Η ύπαρξη μυκορριζών. Οι συμβιωτικοί αυτοί σχηματισμοί διευκολύνουν πολύ τα δασικά φυτά να προσλαμβάνουν περισσότερα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος.

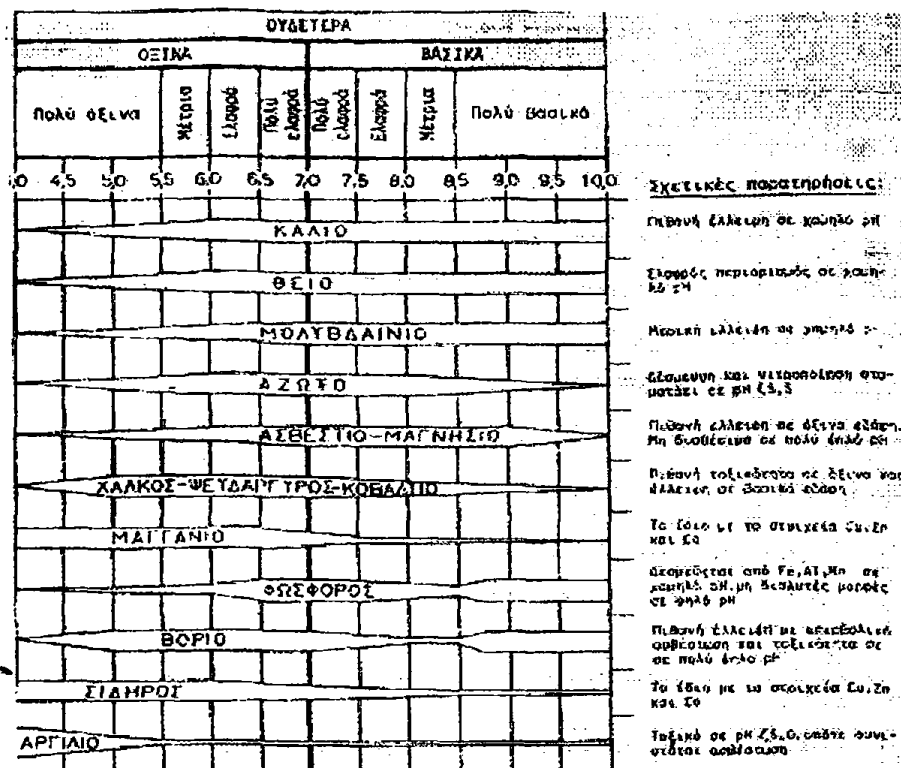
1.3. ΣΧΕΣΗ pH ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Πολύ λίγες αναφορές υπάρχουν ότι η συγκέντρωση των ιόντων H^+ ή OH^- , από μόνη της, επηρεάζει την αύξηση των φυτών. Είναι γνωστά στη Βόρεια Ευρώπη εδάφη με pH 3,5 στα οποία υπάρχουν παραγωγικά δάση ερυθρελάτης (*Picea Excelsa* Link) ή και εδάφη με pH 4 όπου παρατηρείται υψηλή παραγωγικότητα ακόμη και για πλατύφυλλα όπως η οξιά (*Fagus Silvatica* L). Ίσως συγκεντρώσεις ιόντων H^+ της τάξεως pH <3 ή ιόντων OH^- της τάξεως pH >9 να έχουν κάποια άμεση τοξική επίδραση στα φυτά.

Γενικά, η αντίδραση του εδάφους επηρεάζει την αύξηση των φυτών με:

- α) την ισχυρή επίδραση που ασκεί στη διαλυτότητα και στη δυνατότητα πρόσληψης από τα φυτά των θρεπτικών στοιχείων
- β) την επίδρασή της στους μικροοργανισμούς του εδάφους και
- γ) την επίδρασή της στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους

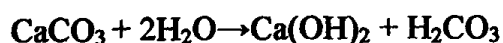
Η επίδραση του pH στην πρόσληψη των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 . Επίδραση του pH του εδάφους στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά (Παπαμύχης, 1996).

Από το σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι η περιοχή του pH που εξασφαλίζει τις καλύτερες συνθήκες διαλυτότητας και διαθεσιμότητας των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων είναι η ζώνη των ελαφρώς όξινων μέχρι ελαφρώς βασικών εδαφών (pH 5 μέχρι pH 7,5). Βέβαια διαφορετικά είδη φυτών μπορεί να έχουν ειδικές προτιμήσεις ή διαφορετικές ικανότητες να αντέχουν σε χαμηλότερες ή υψηλότερες τιμές pH του εδάφους.

Τα ασβεστούχα εδάφη περιέχουν ελεύθερο CaCO_3 . Το CaCO_3 διαλύεται σχετικά δύσκολα, αλλά όταν βρίσκεται στο έδαφος δημιουργεί πάντα συνθήκες κορεσμού με Ca . Γι'αυτό και στα ασβεστούχα εδάφη το ποσοστό κορεσμού με βάσεις είναι πάντοτε 100%. Στην περίπτωση αυτή το pH του εδάφους εξαρτάται κυρίως από την υδρόλυση του CaCO_3 :



Η μεγαλύτερη διάσταση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ έναντι του H_2CO_3 στο διάλυμα δίνει σχετικά περισσότερα OH^- από ότι H^+ κι έτσι δημιουργεί βασικές συνθήκες. Γενικά το pH των ασβεστούχων εδαφών συνήθως κυμαίνεται λίγο περισσότερο από 7 και μέχρι 8,3.

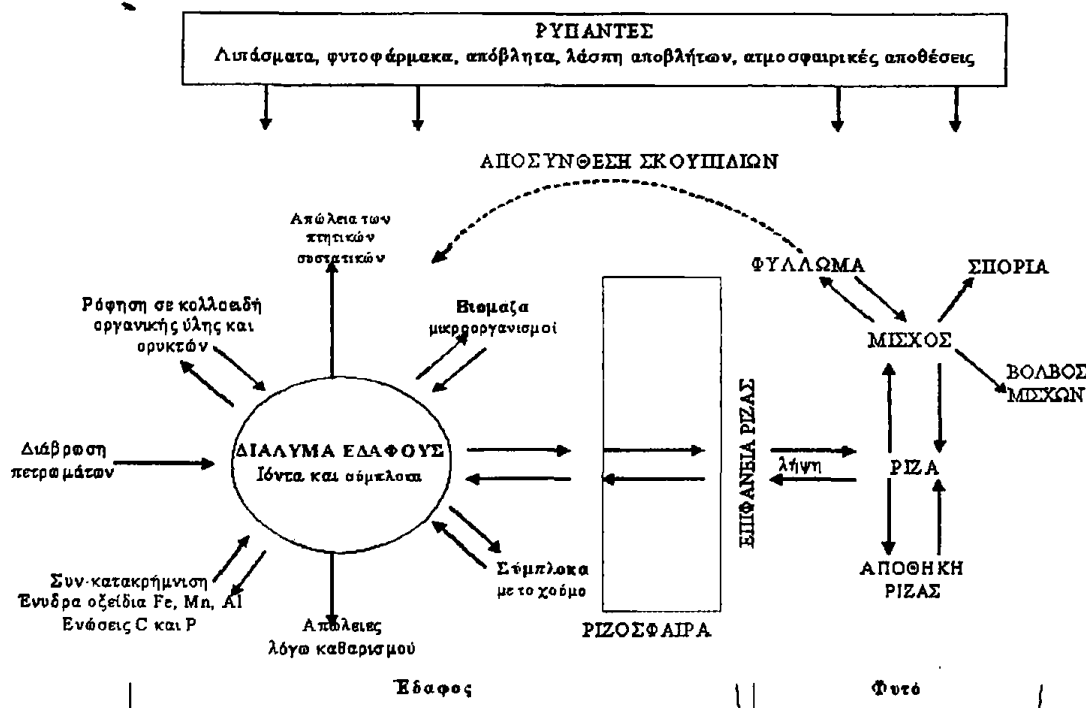
Το Na ελευθερώνεται με την αποσάθρωση των ορυκτών. Στις υγρές περιοχές με την έκπλυση γρήγορα απομακρύνεται το Na, γιατί συγκρατείται πολύ λίγο από τα εδαφосύμπλοκα. Στις ξηρές όμως και ημίξηρες περιοχές το Na μπορεί να συσσωρεύεται σαν Na_2CO_3 και κατά συνέπεια το Na είναι δυνατό να κατέχει μεγάλο ποσοστό στα ανταλλάξιμα κατιόντα. Στην περίπτωση αυτή, η υδρόλυση του Na_2CO_3 καθώς και του προσροφημένου Na, δημιουργεί πολύ βασικές συνθήκες στο έδαφος.

Τα αλατούχα εδάφη χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη περιεκτικότητα ευδιάλυτων αλάτων, τα οποία περιορίζουν την ανάπτυξη των φυτών κυρίως γιατί αυξάνουν σημαντικά την οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος και περιορίζουν την πρόσληψη του νερού. Ευδιάλυτα άλατα συχνά συσσωρεύονται σε ξηρές περιοχές είτε με φυσικό τρόπο είτε μετά από άρδευση. Ακόμη, υπερβολικές ποσότητες ευδιάλυτων λιπασμάτων, όπως KCl , είναι δυνατό να δημιουργήσουν αλατούχα εδάφη. Την τελευταία περίπτωση τη συναντάμε περισσότερο στα θερμοκήπια ή στα φυτώρια.

Το KCl ή το NaCl υδρολύονται στο έδαφος εύκολα και δίνουν ισχυρές βάσεις, KOH και NaOH και ισχυρό οξύ HCl , που έχουν περίπου την ίδια ικανότητα να παράγουν OH^- και H^+ . Επομένως, τα αλατούχα εδάφη έχουν περισσότερο την τάση να δημιουργούν ουδέτερη ή ελαφρά βασική αντίδραση.

1.4. ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΡΙΖΕΣ, ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Οι σημαντικότερες αλληλεπιδράσεις που επηρεάζουν τη δυναμική των βαρέων μετάλλων μεταξύ του εδάφους και των φυτών φαίνονται στην Εικόνα 1.1. Το σύστημα έδαφος – φυτά είναι ένα ανοιχτό σύστημα που υπόκειται σε εισροές όπως είναι οι ρυπαντές, λιπάσματα και ζιζανιοκτόνα καθώς και σε απώλειες όπως την απομάκρυνση των μετάλλων κατά την καλλιέργεια, τη δέηση, τη διάβρωση και την εξάτμιση.



Εικόνα 1.1. Το σύστημα έδαφος – φυτό όπου φαίνονται τα κύρια συστατικά που σχετίζονται με τη δυναμική των βαρέων μετάλλων (Παπαμίχος, 1996).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσό των μετάλλων που απορροφάται από το φυτό είναι αυτοί που ρυθμίζουν:

- Τις συγκεντρώσεις και τη διαφοροποίηση των μετάλλων στην υγρή φάση του εδάφους
- Την κίνηση των μετάλλων από έδαφος στις ρίζες

- Τη μεταφορά των μετάλλων από την επιφάνεια των ριζών στο εσωτερικό της ρίζας
- Τη μετατόπιση από τη ρίζα στο βλαστό

Η λήψη των κινητών ιόντων που είναι παρόντα στην υγρή φάση του εδάφους από το φυτό καθορίζεται από τη συνολική ποσότητα των ιόντων στο έδαφος. Στην περίπτωση όμως ισχυρά απορροφημένων ιόντων, η απορρόφηση εξαρτάται περισσότερο από τον αριθμό των ριζών που παράγονται. Το ριζικό σύστημα έχει μια σημαντική CEC (Cation Exchange capacity) λόγω των καρβοξυλομάδων που περιέχει και αυτό είναι μέρος του μηχανισμού μεταφοράς των ιόντων από το εξωτερικό μέρος της ρίζας στην πρωτοπλασματική επιφάνεια των κυττάρων όπου λαμβάνει χώρα η απορρόφηση.

Η απορρόφηση των μετάλλων από τις ρίζες των φυτών είναι και παθητική και ενεργητική διαδικασία. Η παθητική (μη-μεταβολική) λήψη περιλαμβάνει τη διάχυση των ιόντων από την υγρή φάση του εδάφους στην εσωτερική επιδερμίδα της ρίζας. Από την άλλη πλευρά, η ενεργητική λήψη χρειάζεται μεταβολική ενέργεια και μπορεί να ανασταλεί από τοξίνες. Οι μηχανισμοί αυτοί φαίνεται να διαφέρουν ανάμεσα στα μέταλλα. Για παράδειγμα, η λήψη του Pb θεωρείται πιο παθητική από αυτή των Cu, Mo και Zn η οποία θεωρείται είτε ενεργητικά μεταβολική ή ένας συνδυασμός ενεργητικής και παθητικής λήψης.

Οι μηχανισμοί απορρόφησης μπορεί να διαφέρουν για τα διάφορα μεταλλικά ιόντα, αλλά τα ιόντα που απορροφούνται στην ρίζα χρησιμοποιώντας τον ίδιο μηχανισμό, είναι πιθανό να συναγωνίζονται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, η απορρόφηση του Zn αναστέλλεται από Cu ή H^+ , αλλά όχι από Fe και Mn και η απορρόφηση Cu αναστέλλεται από Zn, NH_4^+ , Ca και K.

Η ριζόσφαιρα είναι μια ζώνη πάχους 1 – 2 mm και βρίσκεται ανάμεσα στις ρίζες του φυτού και του τριγύρω εδάφους. Η περιοχή αυτή εκτιμάται ότι προσλαμβάνει οργανικά υλικά από τις ρίζες, όπως εκχύσεις, κολλώδεις ουσίες, άχρηστα κύτταρα και τις ουσίες που βοηθούν στη λύση των κυττάρων αυτών. Αυτά τα οργανικά συστατικά είναι υπεύθυνα για ισχυρή μικροβιολογική και βιοχημική δραστηριότητα στη ριζόσφαιρα η οποία καθιστά ικανές τις ρίζες να κινητοποιούν μερικά από τα μέταλλα τα οποία προσροφώνται ισχυρά στο έδαφος λόγω όξυνσης, αλλαγών στο δυναμικό οξειδοαναγωγής ή τη δημιουργία οργανικών συμπλόκων. Τα φαινολικά συστατικά και συγκεκριμένα αμινοξέα είναι γνωστό ότι επιδρούν στη διαλυτοποίηση των Fe^{3+} και Mn^{4+} .



Η έλλειψη ιχνοστοιχείων όπως Fe και Zn από τα δημητριακά φαίνεται να παρουσιάζουν εκχύσεις στις ρίζες που περιέχουν ουσίες όπως phytosiderophore 2'-deoxymugineic acid οι οποίες είναι ουσιαστικές στην κινητοποίηση αυτών των μετάλλων όπως και άλλων από τις περιοχές ρόφησης μέχρι τις γύρω από τη ρίζα περιοχές (Lauchli, 1983).

Η λήψη των μετάλλων από το έδαφος είναι μεγαλύτερη στα φυτά που αναπτύσσονται σε δοχεία στο θερμοκήπιο από αυτά που αναπτύσσονται στο πεδίο. Αυτό το φαινόμενο σχετίζεται πιθανόν με τις διαφορές στο μικροκλίμα και την υγρασία του εδάφους και στο γεγονός ότι οι ρίζες των φυτών στην περίπτωση του θερμοκηπίου αναπτύσσονται μεμονωμένες σε 'μολυσμένο' έδαφος, ενώ στο πεδίο μπορεί να φτάσουν και σε περιοχές όπου το έδαφος δεν είναι τόσο 'μολυσμένο'.

Οι σχετικές διαφορές στη λήψη των ιόντων των μετάλλων ανάμεσα στα φυτά ρυθμίζονται από διάφορους παράγοντες όπως: την επιφάνεια της ρίζας, την τιμή CEC της ρίζας, τις εκχύσεις της ρίζας και την εξάτμιση και τη διασπορά των ατμών. Ο τελευταίος μηχανισμός επηρεάζει την ολική ροή της υγρής φάσης στη γύρω από τη ρίζα περιοχή και έτσι και την κίνηση των ιόντων στην περιοχή απορρόφησης της ρίζας.

Όμως πως μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε την μετακίνηση ενός στοιχείου από το έδαφος στο φυτό;

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο Partiton Coefficient ή Transfer Factor (TF), (Παράγοντας Μεταφοράς) ο οποίος περιγράφει το ποσοστό του στοιχείου που θα εισέλθει στο φυτό από το έδαφος σε συνθήκες ισορροπίας και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$TF = \frac{C_{plant}}{C_{total-soil}} \Rightarrow C_{plant} = a + TFC_{soil}$$

Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται πως η σχέση του ποσοστού των στοιχείων που λαμβάνονται με αυτή των φυτών είναι γραμμική. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του παράγοντα TF, τόσο μεγαλύτερη είναι η συσσώρευση του στοιχείου στο φυτό (Marschner, 1988).

Τα μερίδια των υλικών, που συνιστούν το έδαφος, αφήνουν μεταξύ τους μικρότερους ή μεγαλύτερους κενούς πόρους, οι οποίοι γεμίζουν με νερό. Το νερό στους πόρους αυτούς συγκρατείται τριχοειδώς, τόσο περισσότερο, όσο μικρότεροι είναι οι διάμετροι των μεριδίων και συνεπώς και των πόρων, που σχηματίζουν. Εκτός

όμως από την τριχοειδή συγκράτηση του νερού τα μόρια του εδάφους συγκρατούν μια άλλη ποσότητα νερού λόγω της ενυδάτωσής τους. Επομένως τα λεπτόκοκκα εδάφη συγκρατούν μεγάλα ποσά νερού με ισχυρές τριχοειδείς δυνάμεις προσρόφησης, εκδηλώνοντας έτσι μια μεγάλη απορροφητική δύναμη εδάφους.

Το ριζικό σύστημα, που εξαπλώνεται στο έδαφος έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό των πόρων του εδάφους, το οποίο και προσλαμβάνει. Όμως το νερό του εδάφους περιέχει εν διαλύσει διάφορα άλατα και συνεπώς έχει μια οσμωτική τιμή, η οποία μαζί με την απορροφητική δύναμη του εδάφους πρέπει να υπερκινηθεί από την **απορροφητική δύναμη των κυττάρων της ρίζας**. Η πρόσληψη του νερού προκαλεί διαταραχή της ισορροπίας με αποτέλεσμα να συρρέει νερό από όλες τις κατευθύνσεις προς τη ριζόσφαιρα. Έτσι η ρίζα έχει στη διάθεσή της όχι μόνο το νερό που βρίσκεται σε άμεση επαφή μ' αυτή, αλλά και το νερό ευρύτερης έκτασης. Επειδή όμως η μετακίνηση του νερού στα ξηρά εδάφη είναι περιορισμένη το φυτό φροντίζει να εκμεταλλευθεί συνεχώς και μεγαλύτερους εδαφικούς όγκους με την αύξηση του ριζικού του συστήματος.

Έτσι το ριζικό σύστημα εκτός από το ότι στηρίζει το φυτό στο έδαφος εξυπηρετεί και τις μεγάλες ανάγκες του σε νερό. Το νερό προσλαμβάνεται από το πιο εξωτερικό στρώμα της ρίζας, που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Ο μεγαλύτερος όμως όγκος νερού προσλαμβάνεται από τα ριζικά τριχίδια, που βρίσκονται λίγο πιο πάνω από την κορυφή της ρίζας. Πάνω από τη ζώνη των ριζικών τριχιδίων η ρίζα αποφελλώνεται και συνεπώς η πρόσληψη του νερού παρεμποδίζεται.

Οι δρόμοι που ακολουθεί το νερό, με τα εν διαλύσει συστατικά του, μέσα στο φυτό κυρίως για μικρές αποστάσεις είναι α) του **αποπλάστη** (δηλαδή μέσω των κυτταρικών τοιχωμάτων) β) του **συμπλάστη** (από πρωτόπλασμα σε πρωτόπλασμα μέσω πλασμοδεσμών) και γ) συνδυασμός των δύο. Από τη στιγμή όμως που το νερό έχει περάσει από το έδαφος στη ρίζα, θα ακολουθήσει μέσα σε αυτή το δρόμο της μικρότερης αντίστασης μέχρι που να φτάσει στον κεντρικό κύλινδρο. Έτσι μετά τα ριζικά τριχίδια, θα πρέπει να διασχίσει τα κύτταρα του φλοιού. Τα κύτταρα αυτά είναι **πορεγγυματικά** με μεγάλα χυμοτόπια, λεπτά τοιχώματα και ευδιάκριτους μεσοκυττάριους χώρους. Στη συνέχεια θα πρέπει να περάσει τα κύτταρα της ενδοδερμίδας, τα οποία περιβάλλονται από την ταινία του **Caspary** (Εικ.1.2, 1.3 και 1.4, 1.5). Η ταινία αυτή στα νεαρά κύτταρα είναι λεπτή και περιορισμένης έκτασης, ενώ στα ηλικιωμένα γίνεται πιο παχιά και καλύπτει μεγαλύτερη επιφάνεια. Έτσι στην ενδοδερμίδα το νερό αναγκάζεται να ακολουθήσει υποχρεωτικά το δρόμο του



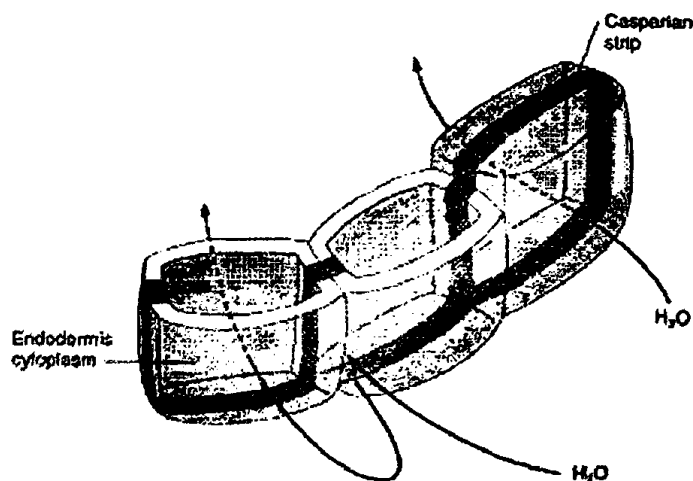
συμπλάστη διασχίζοντας τις πλασματικές μεμβράνες και τον πρωτοπλάστη των ενδοδερμικών κυττάρων λόγω της υδατόφοβης ταινίας του Caspary. Επομένως η έντονα αποφελλωμένη αυτή επιφάνεια δημιουργεί ένα αδιαπέραστο εμπόδιο στη μεταφορά του νερού και ταυτόχρονα μονόδρομη πορεία. Στη συνέχεια θα πρέπει να περάσει τα κύτταρα του **περικυκλίου**, το οποίο είναι συνήθως μονόστρωμο αποτελούμενο από λεπτότοιχα παρεγχυματικά κύτταρα. Τέλος το νερό φτάνει στον **κεντρικό κύλινδρο** της ρίζας, όπου βρίσκεται ο **αγγειώδης ιστός**, στον οποίο καταλήγει το νερό για να μεταφερθεί πλέον σε **μεγάλες αποστάσεις**.

Θα πρέπει εδώ να διευκρινιστεί, ότι η **πορεία του νερού** από τα ριζικά τριχίδια, μέχρι τον κεντρικό κύλινδρο ακολουθεί κατά πλείστον το δρόμο του **αποπλάστη** μέχρι να φτάσει στην ενδοδερμίδα, όπου η κίνηση αυτή παρεμποδίζεται από την ταινία του Caspary. Η ταινία αυτή αναγκάζει το νερό να διασχίσει τις πλασματικές μεμβράνες και τους πρωτοπλάστες των ενδοδερμικών κυττάρων προς την πορεία του για να φτάσει στο ξύλωμα. Τα **ανόργανα ιόντα** προσροφούνται ενεργά (οσμωτικά) από τα επιδερμικά κύτταρα και μετά ακολουθούν το δρόμο του συμπλάστη κατά μήκος του φλοιού και μέσα από το πρωτόπλασμα των κυττάρων, από το οποίο τελικώς περνούν στα τραχειακά κύτταρα (αγγεία).

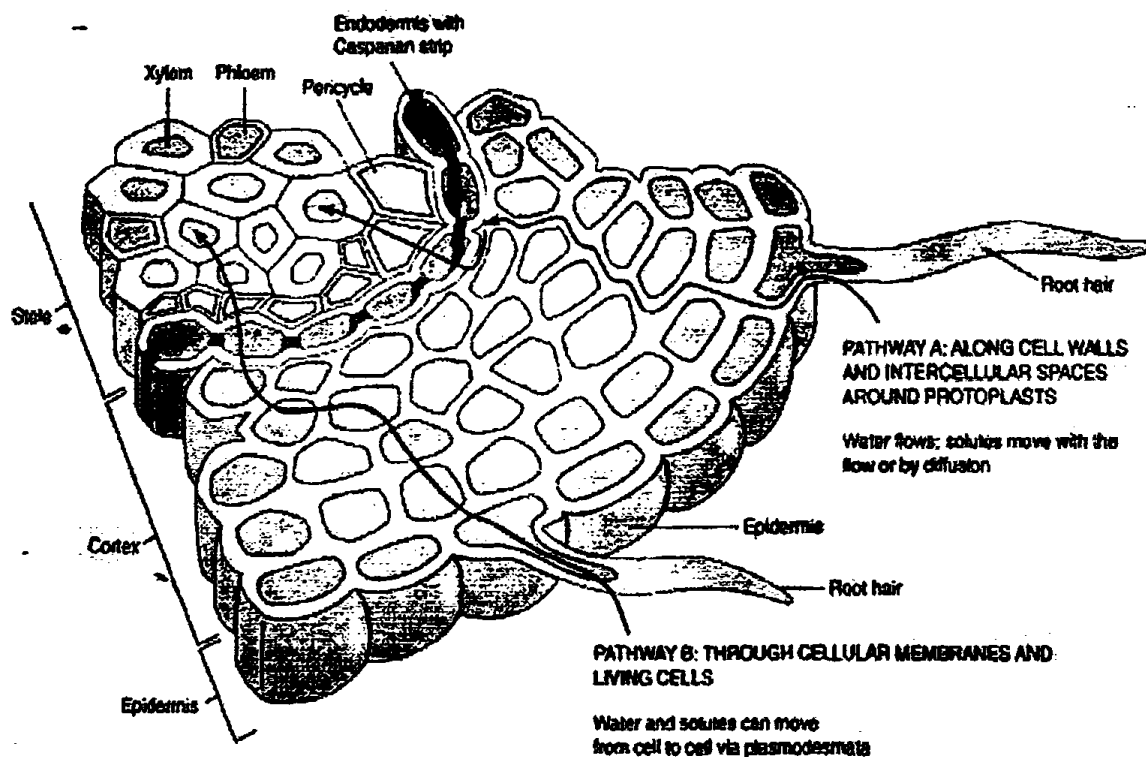
Ο μηχανισμός με τον οποίο το νερό απελευθερώνεται στα κύτταρα του ξυλώματος, δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Πάντως σήμερα πιστεύεται ότι η μεταφορά αυτή του νερού ελέγχεται από την ώσμωση και είναι στενά συνδεδεμένη με την μεταφορά των ιόντων. Στην όλη διαδικασία σπουδαίο ρόλο παίζουν τα παρεγχυματικά κύτταρα, που περιβάλλουν τον ξυλώδη ιστό (κύτταρα περικυκλίου). Πιστεύεται ότι τα ιόντα περνούν από τα κύτταρα του παρεγχύματος στα αγγεία του ξηλώματος μέσω βοθρίων. Η μεταφορά των ιόντων στα αγγεία προκαλεί πτώση στο υδατικό δυναμικό του αγγείου και συνεπώς το νερό κινείται μέσα στα αγγεία από τα γειτονικά του κύτταρα οσμωτικά. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια πίεση, η **ριζική πίεση** που εξαναγκάζει το νερό και τα διαλυμένα ιόντα σε μια **ανοδική κίνηση** μέσα στο ξύλωμα. Η πίεση αυτή όμως μόνη της δεν είναι ικανή να ωθήσει το νερό στην κορυφή ενός δένδρου. Πιθανότατα η ροή αυτή οφείλεται σε συνδυασμό περισσότερων δυνάμεων, όπως της ώθησης προς τα άνω λόγω της ριζικής πίεσης, της έλξης προς τα άνω λόγω του ρεύματος διαπνοής και των τεραστίων δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων του νερού και των δυνάμεων σνάφειας νερού και αγγείων.

Η σημασία της ριζικής πίεσης είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Αναμφίβολα στα νεαρά φυτά, η ριζική πίεση συμβάλλει στην ανοδική κίνηση του νερού και των διαλυμένων ουσιών. Όμως μόνη της δεν είναι ικανή να μεταφέρει το νερό στην κορυφή ενός ψηλού δένδρου.

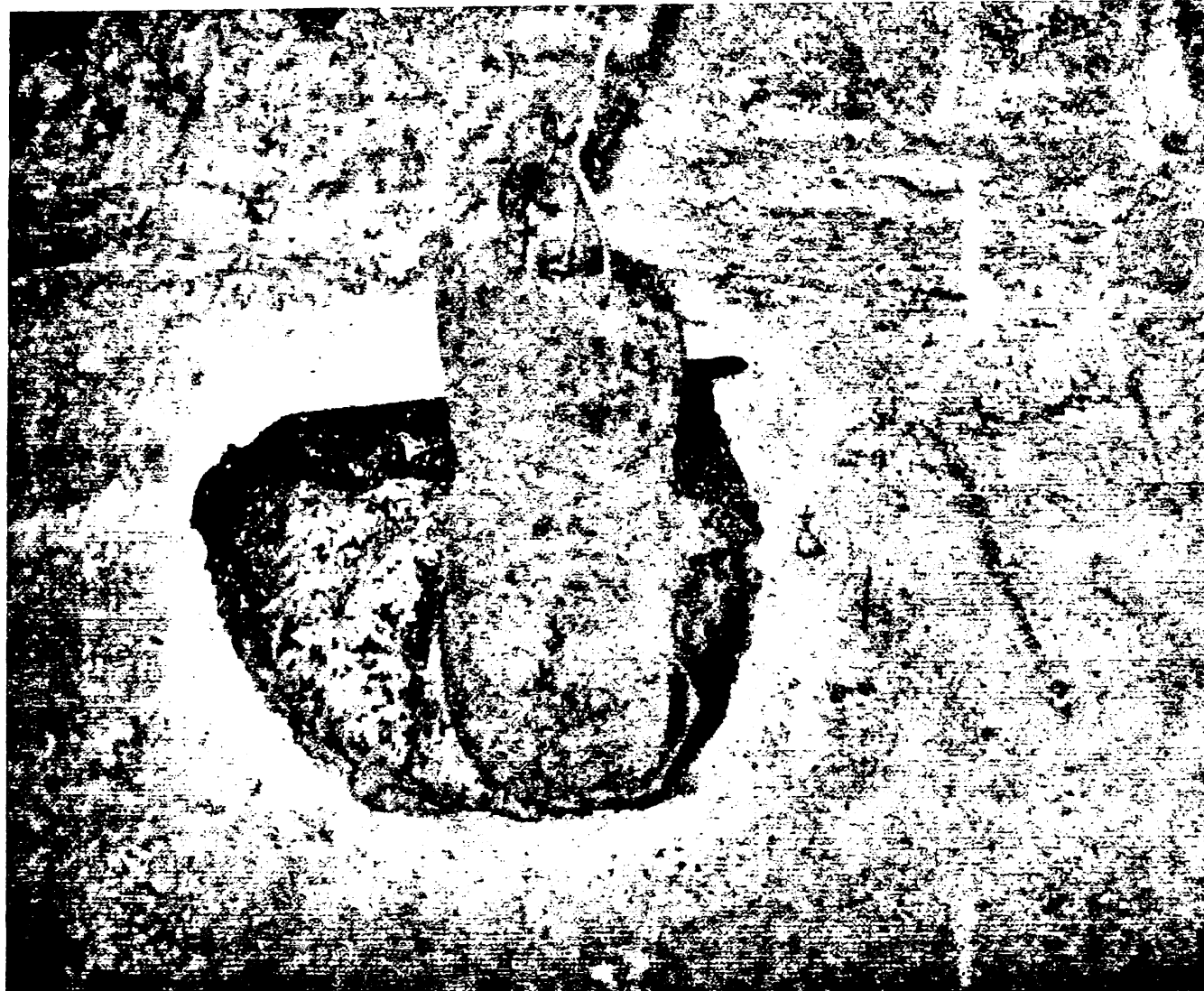
Με τη βοήθεια των τραχειακών κυττάρων (αγγειώδης ιστός) το νερό κινείται από τις ρίζες προς τους βλαστούς για να καταλήξει στα φύλλα, από τα οποία μέσω της διαπνοής το μεγαλύτερο μέρος διαφεύγει με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα.



Εικ 1.2 . Η ζώνη Caspary των κυττάρων της ενδοδερμίδας εμποδίζει την κίνηση τόσο του νερού όσο και των διαλυμένων σε αυτό θρεπτικών στοιχείων μεταξύ των κυττάρων και των μεσοκυττάρων χώρων. Ως αποτέλεσμα το νερό και τα διαλυμένα σε αυτό θρεπτικά στοιχεία οδηγούνται μεταξύ των κυτταρικών μεμβρανών και του πρωτοπλάσματος και κατά συνέπεια η κίνησή τους αυτή είναι πιο ελεγχόμενη (Παπαμίχος, 1996).



Εικ 1.3. Δρόμος της πορείας του νερού καθώς κινείται από το έδαφος, στη ρίζα και τελικά στα αγγεία του ξυλώματος. Η ζώνη Caspary εμποδίζει την κίνηση του νερού προς τα αγγεία του ξυλώματος. Εξαιτίας αυτού το νερό με τα θρεπτικά στοιχεία εισέρχονται στα αγγεία του ξυλώματος μόνο μέσα από τις κυτταρικές μεμβράνες των κυττάρων της ενδοδερμίδας (Παπαμύχης, 1996).



Εικόνα 1.4 . Άποψη εδαφικού υποστρώματος βωλοφύτου



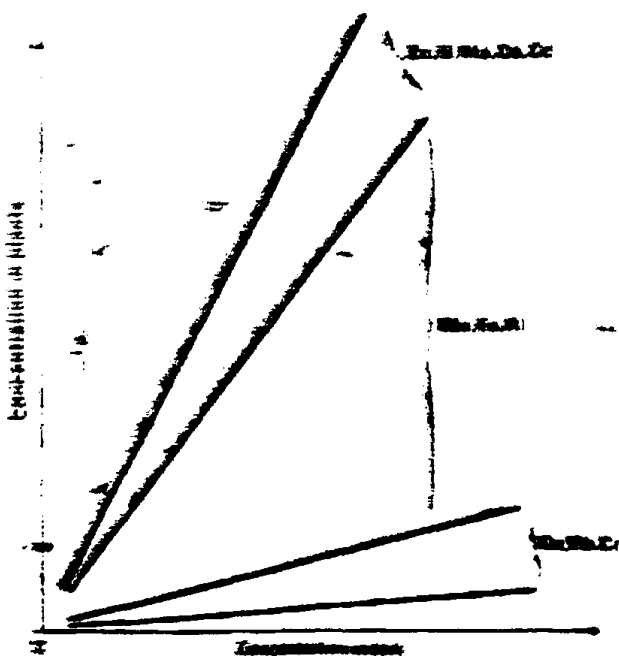
Εικόνα 1.5 . Άποψη ριζικού συστήματος βυλοφύτου εντός του εδαφικού του υποστρώματος

Εκτός από την απορρόφηση μέσω των ριζών, τα φυτά μπορούν να πάρουν σημαντικό αριθμό στοιχείων, μέσω της απορρόφησης από το φύλλωμα. Το γεγονός αυτό εκμεταλλεύεται στη γεωργία σαν μέσο εφοδιασμού των φυτών με ιχνοστοιχεία όπως Mn και Cu, αλλά μπορεί επίσης να θεωρηθεί και ως δίοδος για την εισροή ρυπαντών της ατμόσφαιρας όπως Cd στην τροφική αλυσίδα. Η απορρόφηση μέσω του φυλλώματος διαλυμένων ουσιών εξαρτάται από το είδος του φυτού, τη διατροφική του κατάσταση, το πάχος της επιδερμίδας του, την ηλικία του φυλλώματος, την παρουσία κυττάρων που προστατεύουν τα στόματα, την υγρασία στην επιφάνεια των φύλλων και τη φύση των διαλυμένων ουσιών. Στο μηχανισμό αυτό της απορρόφησης, όπως και στην περίπτωση των ριζών, παρατηρείται ανταγωνισμός μεταξύ των μετάλλων όπως για παράδειγμα μεταξύ Cu και Zn. Μόρια Pb που μεταφέρονται από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας δεν διαπερνούν την

επιδερμίδα των ανώτερων φυτών. Πάρα τείνουν να προεκλαίνονται στην επιφάνεια των φυλλών. Στην περιεκτική τους κίνηση, κινούνται μέσα στην κίνηση βρύα, πολλαπλασιάζονται πολλαπλασιάζονται του μέσω της επιδερμίδας του.

Από τη στιγμή που οι ρίζες έχουν πολλαπλασιάζονται μέσω των ριζών ή των φυλλών και έχουν πολλαπλασιάζονται στο πλάτος του χυμώδους ιστού. Παράγει τη πιθανότητα μετακίνησης του σε όλο το φυτό. Ο ρυθμός και το μέγεθος της μετακίνησης μέσω στο φυτό εξαρτάται από το μέγεθος, τη δύναμη του φυτού και την ηλικία του φυτού. Έδειξε που έγιναν στο χυμώδη των πλάτων του χυμώδους ιστού. Έχουν δείξει ότι το Μη μπορεί να είναι χωρίς την ελεύθερο να. Χωρίς που στην περιεκτική του ριζού μόνο το 35% του. Μη είναι οργανικά δεσμευμένο. Το Ni και Zn μπορεί να βρεθούν με τη μορφή οργανικών συμπλόκων και το Cr παύει να είναι πικνίτις- Cr^{3+} . Ο χυμώδης μπορεί να βρεθεί με τη μορφή οργανικών συμπλόκων με οξυγόνο ή των άλλων, όπως οργανικών συμπλόκων.

Στην περιεκτική των φυλλών, οι ρίζες των φυλλών μπορεί να ενσωματώνονται σε χυμώδη ή να μετακινούνται μέσω στο φυτό με τη βοήθεια φωτοσυνθέτων. Η σχετική δύναμη των βοτάνων μεταλλάσσονται στις κορυφές των φυτών, σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών στην υψηλή φύση του εδάφους, φαίνεται στην Εικόνα 1.6. Ακόμα και στην πολλαπλασιαστική μέσω των ριζών, ο ρυθμός μετακίνησης των μεταλλών ακολουθεί την ακόλουθη σειρά: $Cd > B > Zn > Cu > Pb$. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι πολλά είδη μικρών μπορούν να συσσωρευθούν σχετικά μεγάλες ποσότητες μεταλλών, ακόμη και στο τη ριζοστέλες εδάφη (Kabata Pendias and Pendias, 1992).



Εικόνα 1.6. Λήψη μεταλλών σε σχέση με την ποσότητα των θρεπτικών τους συστατικών και τη γρήγορη φύση του εδάφους (Kabata Pendias and Pendias, 1992).



1.5. ΑΝΟΧΗ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

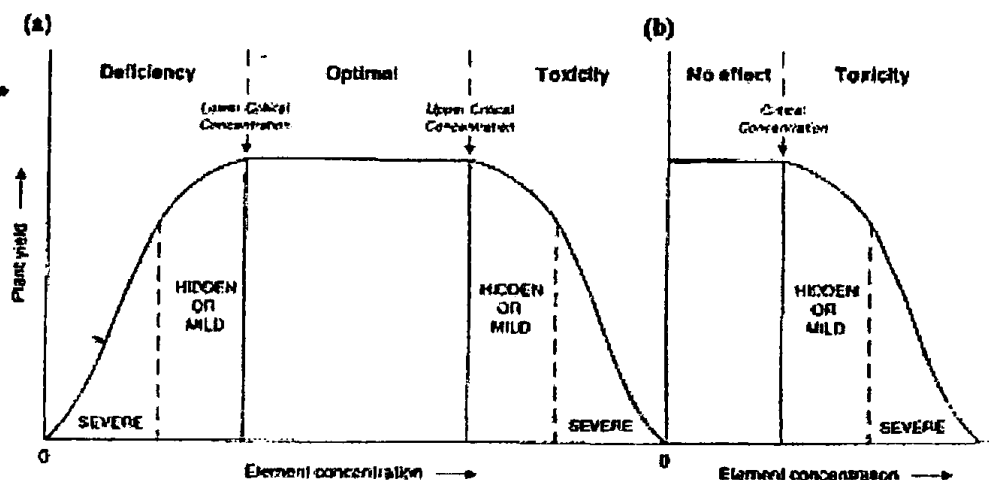
Υπάρχουν τρία κριτήρια που πρέπει να συμβαίνουν για να δούμε αν ένα ιχνοστοιχείο είναι σημαντικό για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών. Αυτά είναι τα εξής:

- 1) Ο οργανισμός δεν πρέπει να αναπτύσσεται ή να ολοκληρώνει τον κύκλο ζωής του χωρίς μια σημαντική ποσότητα του στοιχείου
- 2) Το στοιχείο να μην μπορεί να αντικατασταθεί εξ' ολοκλήρου από ένα άλλο στοιχείο
- 3) Το στοιχείο να έχει μια άμεση επιρροή στον οργανισμό και να επιδρά στο μεταβολισμό του (Kabata Pendias and Pendias, 1992).

Εκτός από τα C, H, O, N, P, K και S, τα στοιχεία που μπορεί να είναι σημαντικά για τα φυτά είναι: Al, B, Br, Ca, Cl, Co, Cu, F, Fe, I, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Rb, Si, Ti, V, Zn. Παρόλο που αυτά τα στοιχεία εκπληρώνουν τα κριτήρια, πολλά από αυτά είναι απίθανο να προκαλέσουν προβλήματα ανεπάρκειας στις αγροτικές καλλιέργειες. Τα αναμφίβολα σημαντικά ιχνοστοιχεία τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ανεπάρκειας στα φυτά είναι: B, Cu, Fe, Mn, Mo και Zn. Το κοβάλτιο είναι πολύ σημαντικό για τα συμβιωτικά βακτήρια στις ρίζες των οσπρίων.

Τα ίχνη των μετάλλων αναφέρονται σαν ιχνοστοιχεία. Αν ο εφοδιασμός ενός οργανισμού με ιχνοστοιχεία είναι ανεπαρκής, η ανάπτυξή τους είναι αντιστρόφως ανάλογη. Στο άλλο άκρο, ένας υπερβολικός εφοδιασμός με ιχνοστοιχεία θα προκαλέσει τοξικότητα. Οι τυπικές καμπύλες δόσης – ανταπόκρισης για τα ιχνοστοιχεία και τα μη ουσιαστικά ίχνη μετάλλων φαίνονται στην εικόνα 1.7. Από την εικόνα (α) βλέπουμε ότι όταν ο εφοδιασμός του φυτού με ιχνοστοιχεία είναι ανεπαρκής, η ανάπτυξη και η παραγωγή καλλιέργειας μειώνονται σημαντικά και παρουσιάζονται συμπτώματα ανεπάρκειας. Με έναν αυξανόμενο εφοδιασμό ιχνοστοιχείων, η παραγωγή μειώνεται όλο και λιγότερο και τα συμπτώματα είναι λιγότερο εμφανή. Καθώς ο εφοδιασμός με ιχνοστοιχεία αυξάνεται πάνω από την κατώτατη κρίσιμη συγκέντρωση, υπάρχει μια ζώνη κατανάλωσης χωρίς επίδραση στην παραγωγή. Η ανώτατη κρίσιμη συγκέντρωση αναγγέλλει την αρχή της μείωσης της παραγωγής λόγω τοξικότητας, η οποία γίνεται πιο σοβαρή μέχρι να φτάσουμε στο σημείο της θανατηφόρας δόσης.

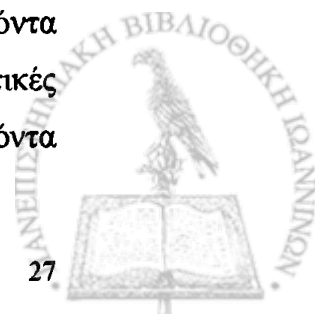
Η καμπύλη των μη ουσιαστικών στοιχείων στην εικόνα (b) δείχνει ότι δεν υπάρχει ανεπάρκεια με χαμηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων. Η παραγωγή, δεν επηρεάζεται μέχρι να φτάσουμε στο ανώτατο όριο συγκέντρωσης μετά από το οποίο παρουσιάζεται τοξικότητα με τον ίδιο τρόπο όπως με αύξηση των ιχνοστοιχείων.



Εικόνα 1.7. Τυπικές καμπύλες δόσης – απόκρισης για (α) ουσιώδη ιχνοστοιχεία και (b) μη ουσιώδη ιχνοστοιχεία (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Τα προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται εάν ορισμένα ιόντα στο έδαφος ή στο νερό προσλαμβάνονται από τα φυτά και συσσωρεύονται σε συγκεντρώσεις αρκετά υψηλές να προκαλέσουν ζημιά στην καλλιέργεια ή να μειώσουν την παραγωγή. Ο βαθμός της ζημιάς εξαρτάται από την ποσότητα που προσλαμβάνεται και την ευαισθησία της καλλιέργειας. Οι πολυετείς καλλιέργειες, όπως οι δενδρώδεις, είναι οι περισσότερο ευαίσθητες. Συνήθως τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται με περιφερειακά καψίματα των φύλλων και μεσονεύριες χλωρώσεις. Εάν η πρόσληψη των τοξικών ιόντων είναι αρκετά υψηλή τότε έχουμε μείωση των αποδόσεων. Οι περισσότερο ανθεκτικές ετήσιες καλλιέργειες δεν είναι τόσο ευαίσθητες στις χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά σχεδόν όλες οι καλλιέργειες βλάπτονται ή καταστρέφονται εάν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές.

Τα ιόντα που ενδιαφέρουν πρωταρχικά είναι τα ιόντα χλωρίου, το νάτριο και το βόριο. Μολονότι προβλήματα τοξικότητας μπορεί να εμφανισθούν όταν αυτά τα ιόντα απαντούν σε χαμηλές συγκεντρώσεις, συχνά την τοξικότητα συνοδεύουν και περιπλέκουν προβλήματα διήθησης του νερού. Οι βλάβες εμφανίζονται όταν τα ιόντα που είναι σε θέση να δημιουργήσουν τοξικότητες απορροφώνται σε σημαντικές ποσότητες με το νερό που απομυζούν οι ρίζες. Τα προσλαμβανόμενα ιόντα



μεταφέρονται στα φύλλα όπου συσσωρεύονται κατά την διαδικασία της διαπνοής. Το ιόντα συσσωρεύονται σε σημαντικό βαθμό στις περιοχές όπου οι απώλειες νερού είναι οι μεγαλύτερες δυνατές, στις άκρες των φύλλων και στην περιφέρεια. Η συσσώρευση σε τοξικές συγκεντρώσεις παίρνει αρκετό χρόνο και μια ορατή βλάβη εμφανίζεται συχνά πολύ αργά. Ο βαθμός της βλάβης εξαρτάται από την διάρκεια που η καλλιέργεια εκτίθεται στον αντίξοο παράγοντα, την συγκέντρωση του τοξικού ιόντος, την ευαισθησία της καλλιέργειας, και τον όγκο του νερού που η καλλιέργεια διαπνέει. Σε ζεστά κλίματα ή σε θερμές περιόδους του έτους (ξηροθερμική περίοδος), η συγκέντρωση είναι περισσότερο ταχεία από εκείνη που θα παρατηρείτο εάν η καλλιέργεια αναπτυσσόταν σε δροσερότερο κλίμα ή σε δροσερότερη περίοδο. Κάτω από αυτές τις συνθήκες θα μπορούσε να προκληθεί η μικρότερη ή και καθόλου ζημιά στην καλλιέργεια.

Η τοξικότητα θα μπορούσε επίσης να προκληθεί από την απορρόφηση των τοξικών ιόντων δια μέσου των φύλλων κατά την διαβροχή τους με άρδευση δια καταιονισμού. Το νάτριο και το χλώριο είναι τα κατ' εξοχήν ιόντα που απορροφώνται από τα φύλλα και η εκδήλωση τοξικότητας από το ένα ή και τα δύο ιόντα είναι δυνατόν να εμφανισθεί ως σοβαρό πρόβλημα στις ευαίσθητες καλλιέργειες όπως είναι τα εσπεριδοειδή. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται σε δασικά είδη, ειδικότερα στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους, εντός των εγκαταστάσεων του θερμοκηπίου. Καθώς η συγκέντρωση αυξάνει στο νερό άρδευσης η βλάβη αναπτύσσεται περισσότερο γρήγορα και σταδιακά γίνεται περισσότερο σοβαρή.

Οι υπερβολικές συγκεντρώσεις ουσιωδών και μη ουσιωδών μετάλλων έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση φυτοτοξικότητας. Οι Kabata-Pendias and Pendias αναφέρουν τους ακόλουθους πιθανούς μηχανισμούς που προκαλούν τη φυτοτοξικότητα:

- 1) Αλλαγές στη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών:

Ag, Au, Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb, UO₂

- 2) Αντιδράσεις της ομάδας -SH με κατιόντα:

Ag, Hg, Pb

- 3) Ανταγωνισμός για περιοχές με σημαντικούς μεταβολίτες:

As, Sb, Se, Te, W, F

- 4) Συγγένεια ώστε να αντιδρούν με ομάδες φωσφορικών αλάτων και ενεργές ομάδες ADP ή ATP:

Al, Be, Y, Zn, λανθανίδιο και πιθανώς όλα τα βαρέα μέταλλα



5) Αντικατάσταση ουσιωδών ιόντων:

Cs, Li, Rb, Se, Sr

6) Απασχόληση των περιοχών με ουσιώδεις ομάδες όπως φωσφορικών και νιτρικών αλάτων:

arsenate, fluorate, borate, bromate, selenate, tellurate, tungstate

Παρόλο που η σχετική τοξικότητα διαφορετικών μετάλλων στα φυτά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το γονότυπο του φυτού και τις συνθήκες του κάθε πειράματος (επίδραση του περιβάλλοντος), τα μέταλλα που μπορεί να είναι παρόντα σε μεγάλες συγκεντρώσεις που είναι τα πιο τοξικά στα ανώτερα φυτά και τους μικροοργανισμούς είναι: Hg, Cu, Ni, Pb, Co, Cd και πιθανόν τα Ag, Be και Sn. Τα φυτά που χρησιμοποιούνται ως τροφή και τα οποία ανέχονται σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις αυτών των επικίνδυνων μετάλλων είναι πιθανόν να δημιουργήσουν μεγαλύτερο ρίσκο από αυτά που είναι ευαίσθητα και δείχνουν συγκεκριμένα συμπτώματα τοξικότητας.

Οι τύποι των μηχανισμών ανοχής των βαρέων μετάλλων στα φυτά περιλαμβάνουν:

- 1) Εκλεκτική λήψη ιόντων
- 2) Ελαττωμένη διαπερατότητα των μεμβρανών ή άλλες διαφορές στη δομή και λειτουργία των μεμβρανών
- 3) Ακινησία των ιόντων στις ρίζες, το φύλλωμα και τους σπόρους
- 4) Απομάκρυνση των ιόντων από το μεταβολισμό με αποθήκευση σε σταθερές και αδιάλυτες μορφές
- 5) Αλλαγή του τύπου μεταβολισμού – σύστημα αυξημένων ενζύμων που εμποδίζεται ή αυξανόμενος ανταγωνιστικός μεταβολισμός ή μειωμένα μεταβολικά μονοπάτια παρακάμπτοντας μια περιοχή που εμποδίζει
- 6) Προσαρμογή σε αντικατάσταση τοξικών μετάλλων από φυσιολογικά σε ένα ένζυμο
- 7) Απελευθέρωση των ιόντων από τα φυτά μέσω διήθησης από το φύλλωμα, εκροή νερού από το φυτό, απόρριψη των φύλλων και απέκκριση από τις ρίζες.

Συνήθως παρατηρείται ανεκτικότητα σε ένα συγκεκριμένο μέταλλο, παρόλο που ένα φυτό μπορεί να έχει μηχανισμούς που να του επιτρέπουν να αντέχει περισσότερα από ένα μέταλλα. Πολλά είδη φυτών έχουν βρεθεί να δείχνουν αντοχή στα βαρέα μέταλλα.



Τα αποτελέσματα της τοξικότητας λόγω των βαρέων μετάλλων μπορεί να φανούν από διάφορα φυσικά σημάδια στα φυτά (πίνακας 1.1). Τα μικρότερα φυτά τείνουν να είναι πιο ανθεκτικά σε υψηλότερα περιεχόμενα των βαρέων μετάλλων και μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως προειδοποιητές ρύπανσης.

Πίνακας 1.1. Τοξικά φαινόμενα ορισμένων βαρέων μετάλλων στα ανώτερα φυτά

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΤΟΞΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
Al	Ερυθροκάστανα νεκρωτικά ίχνη πάνω σε παλιά φύλλα, καστανοκιτρίνισμα των ριζών, μείωση της ανάπτυξης
Cd	Καφέ περιθώρια στα φύλλα, χλώρωση, κατσάρωμα των φύλλων, κοκκίνισμα των φλεβών και των μίσχων, μείωση της αύξησης
Hg	Χλώρωση, καφέ κηλίδες στα φύλλα, μείωση της αύξησης
Pb	Σκούρα πράσινα φύλλα, κοντές καφέ ρίζες, αυξημένα ποσά βλαστών
Se	Ενδοφλεβοειδής χλώρωση, μαύρες κηλίδες, άσπρισμα και κιτρίνισμα των νεαρών φύλων, ροδόχροες κηλίδες στις ρίζες
Tl	Μείωση της αύξησης

Πηγή: (Κελεπερτζής, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟ-ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

2.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΚΑΙ ΦΥΤΑ

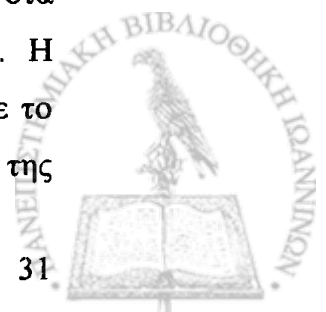
Η ανάλυση των φύλλων αντανακλά τις συνθήκες πρόσληψης των θρεπτικών. Κατά συνέπεια οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων, η επίδρασή του θα ανακλάται στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των φύλλων καθώς και στην ορθή πρόβλεψη των αναγκών των δασικών ειδών σε θρεπτικά. Οι παράγοντες λοιπόν που καθορίζουν την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τα δασικά είδη μπορεί να είναι φυτικοί, κλιματικοί, εδαφικοί και ανθρωπογενείς.

2.1.1. Φυτικοί παράγοντες

Μεταξύ των φυτικών παραγόντων που επηρεάζουν την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων περιλαμβάνονται το είδος του φυτού, η ηλικία των φύλλων, η θέση των φύλλων στο φυτό, η φάση ανάπτυξης των φυτών.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών, ταξονομικών ομάδων των φυτών (Τάξης, Οικογένειας, Είδους). Γενικά τα φυτά ελέγχουν γενετικά την πρόσληψη και συσσώρευση των θρεπτικών στοιχείων στη μάζα τους. Ο έλεγχος συντελείται στις ρίζες των φυτών όπου λαμβάνουν χώρα διάφορες μεταβολικές διεργασίες. Μερικά φυτικά είδη συσσωρεύουν θρεπτικά στοιχεία που για άλλα φυτά είναι τοξικά. Ορισμένα φυτά επίσης προσλαμβάνουν τα φυτά με απόλυτα εκλεκτικό τρόπο, ενώ άλλα μπορούν εύκολα να προσαρμόζονται στις μεταβολές συγκέντρωσης των θρεπτικών στο έδαφος (Mills and Benton, 1996).

Η περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων μεταβάλλεται στα φύλλα ανάλογα με την ηλικία τους. Οι συγκεντρώσεις των περισσότερων θρεπτικών στα φύλλα μειώνονται με την αύξηση της ηλικίας. Επίσης οι μεταβολές των θρεπτικών στα φύλλα δεν είναι ομοιόμορφες κατά την διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Η περιεκτικότητα των στοιχείων N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu και Zn μειώνεται με το χρόνο ενώ στα θρεπτικά Ca, Mg και Mn αυξάνεται. Το B αυξάνει κατά την αρχή της



περιόδου και μειώνεται στη συνέχεια, ενώ η περιεκτικότητα του Cu παραμένει σταθερή (Mills and Benton, 1996).

Τα νεότερα φύλλα περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις θρεπτικών από ότι τα παλαιότερα φύλλα. Η κίνηση των θρεπτικών από τα παλαιότερα προς τα νεότερα φύλλα έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι σχετίζεται με τη θέση του φύλλου στο φυτό. Τα στοιχεία B, Ca, Μπ δεν κινούνται εύκολα από τα παλαιότερα προς τα νεότερα φύλλα της κορυφής και παραμένουν συσσωρευμένα στα ώριμα φύλλα στο κάτω μέρος της κόμης των δένδρων. Αντίθετα, στοιχεία όπως τα N, P, K, και Mg λόγω της ευκινησίας που τα χαρακτηρίζει κινούνται από τα ώριμα προς τα νεότερα φύλλα στην κορυφή της κόμης. Η συνεχή σκίαση ορισμένων φύλλων έχει ως αποτέλεσμα την δυσμενή παραγωγή υδατανθράκων γεγονός που επιδρά αρνητικά στην παραγωγή ξηράς ουσίας και επομένως στην περιεκτικότητα των θρεπτικών των φύλλων.

Σημαντικές μεταβολές στην περιεκτικότητα των θρεπτικών στα φύλλα λαμβάνουν χώρα κατά τις διάφορες φάσεις ανάπτυξης των φυτών. Ορισμένα στοιχεία όπως το Al και ο Fe κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού μπορεί να περιέχονται σε τόσο υψηλές συγκεντρώσεις που για πολλά ώριμα φυτά θα μπορούσαν να είναι τοξικές (Mills and Benton Jones, 1996). Καθώς τα φυτά ωριμάζουν και γηράσκουν η περιεκτικότητα των N, P, K, στα φύλλα μειώνεται ενώ των Mg και Ca αυξάνεται.

2.1.2. Κλιματικοί παράγοντες

Οι επιμέρους κλιματικοί παράγοντες όπως θερμοκρασία, βροχόπτωση και φως σχετίζονται άμεσα με την πρόσληψη θρεπτικών από τα φυτά.

Ευνοϊκές συνθήκες φωτός συνεπάγονται την παραγωγή υψηλής ποσότητας βιομάζας, οι οποία αρκετές φορές λειτουργεί σαν παράγοντας αραιώσης της περιεκτικότητας των θρεπτικών, λόγω της παραγωγής υψηλής ποσότητας υδατανθράκων.

Η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει το βαθμό κινητικότητας των θρεπτικών στο φυτό, αφού συνεπάγεται την αύξηση του βαθμού μεταφοράς των θρεπτικών από τα σημεία χαμηλής μεταβολικής δράσης προς τα αντίστοιχα υψηλής αυξημένης ενεργότητας.

Η βροχόπτωση, ανάλογα πάντα και με τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, μπορεί να προκαλέσει απώλειες θρεπτικών λόγω έκπλυσης, γεγονός που επιδρά και στις συγκεντρώσεις που αυτά περιέχονται στους φυτικούς ιστούς.

Η υψηλή σχετική υγρασία, που επιδρά δυναμικά στη λειτουργία της διαπνοής, επηρεάζει άμεσα την συγκέντρωση των θρεπτικών στα φύλλα. Στοιχεία όπως τα B, Cl, K και Na αυξάνουν την συγκέντρωσή τους κυρίως στο έλασμα των φύλλων, σημείο που λόγω των στομάτων πραγματοποιείται η απώλεια νερού του φυτού, και την μειώνουν από τα χαμηλότερα σημεία του.

2.1.3. Εδαφικοί παράγοντες

Το pH του εδάφους επιδρά ρυθμιστικά στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και κατ'επέκταση στην πρόσληψή τους από τα φυτά. Μείωση του pH αυξάνει τη διαθεσιμότητα των B, Cu, Fe, Mn και Zn ενώ μειώνει εκείνη του Mo. Αύξηση του pH πέραν του 7,50 μειώνει τη διαθεσιμότητα του P λόγω δημιουργίας δυσδιάλυτου φωσφορικού ασβεστίου (απατίτη).

Η αύξηση της διαθέσιμης υγρασίας πάνω από το σημείο μάρανσης μέχρι και της υδατοικανότητας, επιδρά κατά κανόνα θετικά στην συγκέντρωση των θρεπτικών στα φύλλα. Η επίδραση αυτή μπορεί να εξουδετερωθεί όμως με την αύξηση της παραγωγής βιομάζας και κατά συνέπεια την αραίωση των θρεπτικών και μείωση έτσι της περιεκτικότητά τους. Επομένως η επίδραση μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή ακόμα και ουδέτερη. Αυτό εξαρτάται από το επίπεδο του νερού στο έδαφος, τα είδη των θρεπτικών, την διαθεσιμότητά τους καθώς και το στάδιο ανάπτυξης του ίδιου του φυτού.

Η παρουσία αλάτων δρά ευνοϊκά γιατί εξασφαλίζει θρεπτικά στοιχεία στα φυτά. Για τιμές αγωγιμότητας (E.C.) $< 0,20$ mmhos/cm στους 25°C τα φύλλα δεν έχουν επαρκείς ποσότητες θρεπτικών για την σωστή ανάπτυξή τους. Αντίθετα για τιμές αγωγιμότητας (E.C.) $> 1,50$ mmhos/cm στους 25°C η περιεκτικότητα των θρεπτικών αυξάνει σημαντικά και μπορεί να έχουμε ακόμα και τοξικές επιδράσεις. Γενικά η αυξημένη αγωγιμότητα μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην πρόσληψη ορισμένων στοιχείων και κυρίως του Ca (Mills and Benton, 1996).

Η μερική αναστολή της κυκλοφορίας του αέρα εντός του εδάφους λόγω κυρίως της συμπίεσής του, επιδρά δυσμενώς στην ανάπτυξη των ριζών και στην

προσροφητική τους ικανότητα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η περιεκτικότητα των θρεπτικών κυρίως στα φύλλα των φυτών.

Η θερμοκρασία του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων αφού αποτελεί σημαντικό παράγοντα διάσπασης της οργανικής ουσίας, της φυσικής, χημικής και βιολογικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και ορυκτών, ως αποτέλεσμα των οποίων το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά στοιχεία. Επίσης η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο της διάχυσης και της μαζικής ροής δια των οποίων γίνεται ο εφοδιασμός των φυτών με θρεπτικά.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους επιδρούν στην πρόσληψη των θρεπτικών. Στα εδάφη με υψηλό ποσοστό αργίλου οι δεσμεύσεις των θρεπτικών είναι πολύ υψηλές, γεγονός που αναμένεται να επιδράσει δυσμενώς στην πρόσληψη και συσσώρευση των στοιχείων στα φυτά.

Η υψηλή συγκέντρωση του CaCO_3 στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH με όλες τις επιπτώσεις που συνεπάγεται αυτό στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών.

2.1.4. Ανθρωπογενείς παράγοντες

Ο άνθρωπος μέσω των διαφόρων επεμβάσεων του όπως χρήση διαφόρων εδαφοβελτιωτικών, και λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και κλάδευσης επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την περιεκτικότητα των φύλλων σε θρεπτικά.

Η προσθήκη στο έδαφος διαφόρων εδαφοβελτιωτικών συμβάλει στην μεταβολή των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του εδάφους που ακολούθως επιδρούν στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στο έδαφος και επομένως στη πρόσληψή τους και στη συσσώρευση στους φυτικούς ιστούς (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

Τα προστιθέμενα θρεπτικά υπό τη μορφή λιπασμάτων προσλαμβάνονται από τα φυτά και αυξάνουν την περιεκτικότητά τους στους φυτικούς ιστούς. Πολλοί παράγοντες όμως όπως ο τύπος του λιπάσματος, η ποσότητα εφαρμογής, ο χρόνος προσθήκης και ο τρόπος εφαρμογής αλλά και παράγοντες του εδάφους όπως τα φυσικά και χημικά του χαρακτηριστικά επιδρούν στην πρόσληψή τους και αξιοποίησή τους από τα φυτά.

Το κλάδεμα τέλος ως ανθρωπογενής παρέμβαση επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα των φυτών σε θρεπτικά αφού με το αυστηρό κλάδεμα μειώνεται η παραγωγή βιομάζας γεγονός που επιδρά θετικά στη συγκέντρωση των θρεπτικών.



Αντίθετα το ελαφρύ κλάδεμα έχουμε μεγάλη παραγωγή βιομάζας, γεγονός που επιδρά αρνητικά στην συγκέντρωση των θρεπτικών, λόγω του φαινομένου της αραίωσης.

2.2. ΕΛΛΕΙΨΗ, ΕΠΑΡΚΕΙΑ, ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Ένας έμμεσος τρόπος ποιοτικής αξιολόγησης της γονιμότητας του εδάφους, αλλά και έμμεσου προσδιορισμού της θρεπτικής κατάστασης του φυτού είναι η μελέτη των μακροσκοπικών συμπτωμάτων της έλλειψης των θρεπτικών ή της τροφοπενίας.

Η ανεπάρκεια του εφοδιασμού του εδάφους με διάφορα θρεπτικά στοιχεία δημιουργεί συγκεκριμένα συμπτώματα στα φύλλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από σαφή μορφολογικά στοιχεία και συγκεκριμένη τάση εμφάνισης. Από την λεπτομερή εξέταση των συμπτωμάτων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς το στοιχείο που λείπει, προκειμένου να ληφθούν τα ενδεικνύμενα μέτρα.

Τα συμπτώματα που οφείλονται σε περιβαλλοντικό στρές, εμφανίζονται σε διάφορα σημεία του φυτού και μπορεί να επεκταθούν σε όλα τα φυτά σε χρόνο ρεκόρ, ενώ τα συμπτώματα των τροφοπενιών εμφανίζονται βραδέως μεν, αλλά σταθερά και ακολουθούν συγκεκριμένη τάση.

Οι τροφοπενίες εμφανίζονται στην διάρκεια του χρόνου, σε περιόδους έντονης αυξητικής δραστηριότητας και δημιουργούνται σε συγκεκριμένες περιοχές των φύλλων ή των βλαστών, με σαφή συμπτωματολογία.

Ειδικότερα από μορφολογική άποψη ως προς τα φύλλα οι τροφοπενίες εμφανίζονται ως εξής:

A) Χλώρωση: (κιτρινοπράσινο χρώμα διαφόρου χρωματικής έντασης ανάλογα με την οξύτητα της έλλειψης). Η χλώρωση μπορεί να είναι ενδονεύρια, εντοπισμένη, περιφερειακή ή γενικευμένη που να καλύπτει όλη την περιοχή του ελάσματος.

B) Χρωματισμός: Εμφάνιση κίτρινου, πρασινοκίτρινου, λευκού, ιώδους, ερυθρωπού χρώματος καθώς και ενδιάμεσων αποχρώσεων.

Γ) Νέκρωση: Μπορεί να είναι εντοπισμένη (Κορυφές), περιφερειακή και σε όξινες περιπτώσεις γενικευμένη. Ουσιαστικά η νέκρωση αποτελεί το τελευταίο στάδιο της χλώρωσης, η οποία σε προχωρημένο στάδιο απονεκρώνει την περιοχή όπου εμφανίζεται. Είναι μια κατάσταση μη αναστρέψιμη.

Δ) Στρέβλωση: Σε ορισμένες περιπτώσεις τροφοπενιών έχουμε στρέβλωση των φύλλων συνήθως προς τα άνω (B), χωρίς να αποκλείεται και προς τα κάτω (Mg).

Ε) Μικροφυλλία (ροζέτα): Χαρακτηριστικό σύμπτωμα έλλειψης Zn.

ΣΤ) Απίσχυνση του φυτού: Χαρακτηρίζει κυρίως την έλλειψη N, P (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

Η τάση εμφάνισης των συμπτωμάτων τροφοπενίας έχει συνήθως ως εξής:

Α) Εμφάνιση σε συγκεκριμένες θέσεις ή σημεία του φυλλώματος ή του φύλλου, των βλαστών ή των κλαδιών, ανάλογα με το βαθμό κινητικότητας του θρεπτικού στοιχείου μέσα στο φυτό. Πχ. Εάν το στοιχείο-θρεπτικό είναι ευκίνητο τα συμπτώματα θα εμφανίζονται στα ωριμότερα-παλαιότερα φύλλα. Ανάλογα και με το είδος του θρεπτικού τα συμπτώματα μπορεί καταρχήν να εμφανίζονται περιφερειακά του ελάσματος (K) ή υπό μορφή κηλίδων στις ενδονεύριες περιοχές.

Β) Εάν το στοιχείο είναι δυσκίνητο εντός του φυτού, τα συμπτώματα έλλειψης εμφανίζονται καταρχήν στα μικρά φύλλα ή στα σημεία ενεργού μεριστωματικής δραστηριότητας.

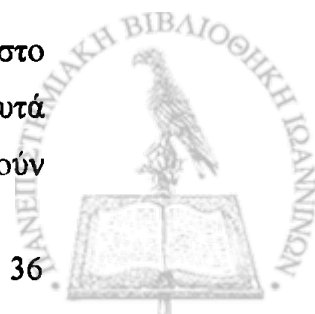
Γ) Τα συμπτώματα των τροφοπενιών εμφανίζονται βραδέως αλλά σταθερά και καθώς οξύνεται η έλλειψη επεκτείνεται σιγά-σιγά σε όλα τα φύλλα και σε οξείες περιπτώσεις το έλασμα νεκρώνεται και το φυτό τελικά καταστρέφεται. Η όλη διαδικασία γενικά απαιτεί πολύ χρόνο, στοιχείο που αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά από την εμφάνιση συμπτωμάτων που οφείλονται σε ιώσεις ή ακόμα και σε περιβαλλοντικό στρές (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

Για την αύξηση-ανάπτυξη των φυτικών ειδών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι απαραίτητη η ύπαρξη των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

Τα στοιχεία αυτά προσλαμβάνονται μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών, εισέρχονται στον μεταβολικό κύκλο και συμβάλλουν στην αύξηση και ανάπτυξή τους.

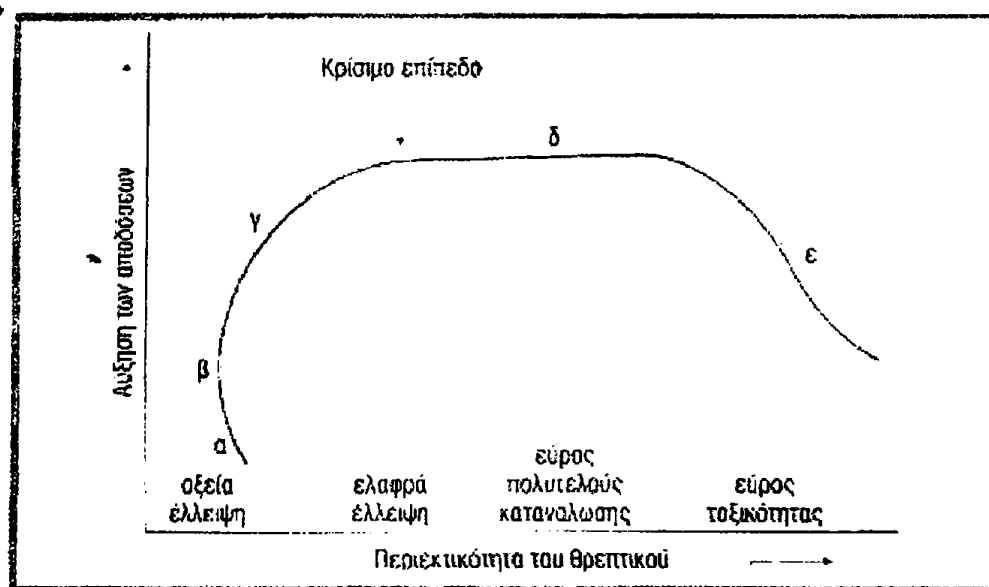
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ορισμένα από τα θρεπτικά αυτά στοιχεία προέρχονται από το νερό, το CO₂ και το O₂ της ατμόσφαιρας, ενώ τα υπόλοιπα από το έδαφος. Τα φυτά καταναλίσκουν μεγάλες ποσότητες από αυτά τα θρεπτικά στοιχεία για την παραγωγή των υδατανθράκων και των άλλων οργανικών ενώσεων απαραίτητων για την εξασφάλιση και τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη μας.

Για να είναι όμως δυνατή η σωστή ανάπτυξη των φυτών, θα πρέπει το έδαφος στο οποίο αυτά αναπτύσσονται, να περιέχει και να παρέχει τις ποσότητες που αυτά χρειάζονται. Εάν κάτι τέτοιο βέβαια δεν συμβαίνει, άμεσα μέτρα πρέπει να ληφθούν



για την αντιμετώπιση του προβλήματος, είτε με την προσθήκη του θρεπτικού στοιχείου που μπορεί να λείπει, είτε με την διαφοροποίηση των εκάστοτε εδαφικών συνθηκών.

Η σχέση που συνδέει την περιεκτικότητα των φύλλων σε θρεπτικά με την αύξηση του φυτού εκφράζεται σε μονάδες παραγωγής βιομάζας (φυτομάζας) όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1.



Εικ. 2.1 Σχέση περιεκτικότητας φύλλων σε θρεπτικά στοιχεία και ανάπτυξης του φυτού (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007).

Η ανάλυση των φύλλων ουσιαστικά αντανακλά τις συνθήκες πρόσληψης των θρεπτικών. Κατά συνέπεια, οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει την πρόσληψη των θρεπτικών, κατ'ανάγκη η επίδρασή του θα αντανακλάται στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των φύλλων και ως εκ τούτου η συνεπίδραση της εκτίμησης των παραγόντων πρόσληψης κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, θα έχει και την αντίστοιχη επίπτωση στην ορθή πρόβλεψη των αναγκών σε λιπάσματα.

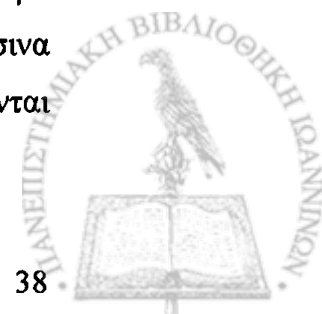
Πίνακας 2.1. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων εντός των φυτών θεωρούμενες ως επαρκείς

Στοιχείο	Χημικός συμβολισμός	Ατομικό βάρος	Συγκέντρωση στην ξηρά ουσία	
			μMols/g	ppm ή %
Μολυβδαίνιο	Mo	95,95	0,001	0,1
Χαλκός	Cu	63,54	0,1	6
Ψευδάργυρος	Zn	65,38	0,30	20
Μαγγάνιο	Mn	54,94	1,0	50
Σίδηρος	Fe	55,85	2,0	100
Βόριο	B	10,82	2,0	20
Χλώριο	Cl	35,46	3,0	100
Θείο	S	32,07	30	0,1(%)
Φώσφορος	P	30,98	60	0,2(%)
Μαγνήσιο	Mg	24,32	80	0,2(%)
Ασβέστιο	Ca	40,08	125	0,5(%)
Κάλιο	K	39,10	250	1,0(%)
Άζωτο	N	14,01	1000	1,5(%)
Οξυγόνο	O	16,00	30000	45(%)
Άνθρακας	C	12,01	40000	45(%)
Υδρογόνο	H	1,01	60000	6(%)

Πηγή: (Ντάφης, 1986.)

Ο Fe συνδέεται άμεσα με τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στους ζωντανούς οργανισμούς και συνεπώς παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Ένας μεγάλος αριθμός βασικών συστατικών στα φυτά, περιέχει σίδηρο με μορφή, που συνδέεται σταθερά στο μόριό τους. Ο Fe στις ενώσεις αυτές παίζει σημαντικό οξειδοαναγωγικό ρόλο, όπου ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται και στη συνέχεια παραχωρούνται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα εναλλάξ να ανάγεται και να οξειδώνονται. Κάτω από συνθήκες έλλειψης σιδήρου η ενζυμική δραστηριότητα ελαττώνεται. Κατά συνέπεια ο σίδηρος παίζει σπουδαίο ρόλο στις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας, τόσο στη φωτοσύνθεση όσο και την αναπνοή. Έλλειψη σιδήρου προκαλεί χλωρωτικά φαινόμενα, επειδή ο σίδηρος είναι απαραίτητο στοιχείο για τη σύνθεση της χλωροφύλλης. Για την επανάκαμψη των φυτών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται χρήση διαφόρων αλάτων στο έδαφος, ή ψεκασμός με διαλύματα αλάτων σιδήρου.

Το κυριότερο σύμπτωμα είναι μια έντονη χλόρωση που αρχίζει από τα νεότερα φύλλα και προχωρεί προς τα παλαιότερα. Στην αρχή τα νεύρα μένουν πράσινα * κατόπιν όμως κιτρινίζει όλο το φύλλο. Σε ακραίες περιπτώσεις τα φύλλα γίνονται σχεδόν άσπρα και ξηραίνονται οι ακραίοι βλαστοί.



Ως επαρκείς ποσότητες του σιδήρου στα φυτά θεωρούνται οι περιεκτικότητες μεταξύ 50 και 250 ppm. Για ποσότητες μικρότερες των 50 ppm επί της ξηράς ουσίας είναι δυνατό να εμφανιστεί τροφопενία. Ο Fe^{++} είναι περισσότερο ευκίνητος και ευκολότερα διαθέσιμος για ενσωμάτωση μέσα στο μόριο των οργανικών συμπλόκων. Μερικά φυτά είναι δυνατό να περιέχουν μεγάλες ποσότητες τρισθενούς σιδήρου και να εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη του σιδήρου από τα φυτά είναι το pH, αφού σε υψηλές τιμές του ο σίδηρος, δεν είναι προσλήψιμος, το είδος του εδάφους, το είδος και ο τρόπος της καλλιέργειας καθώς και τα γενετικά χαρακτηριστικά του δασικού είδους που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Οι συγκεντρώσεις των ανθρακικών αλάτων στο έδαφος και ιδιαίτερα στην περιοχή της ριζόσφαιρας, είναι η πηγή δημιουργίας της χλώρωσης αφού επηρεάζουν τόσο τη διαλυτότητα του σιδήρου όσο και την δραστηριότητα της Fe^{+3} -χηλικής ρεδουκτάσης.

Πίνακας 2.2. Συγκεντρώσεις ορισμένων θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται τόσο στο έδαφος όσο και εντός των φυτικών ιστών

Στοιχεία	Συγκέντρωση εδάφους ($\mu g/g$) (ppm)		Τυπικές συγκεντρώσεις ($\mu g/g$) (ppm) στους φυτικούς ιστούς (Εύρος)	Επίδραση στην αύξηση των φυτών ^a
	Εύρος	Τυπική συγκέντρωση		
As	0,1-40	6	0,1-5	Δεν απαιτείται
B	2-200	10	5-30	Απαιτείται, Ευρείς διακυμάνσεις μεταξύ των ειδών
Be	1-40	6	-	Δεν απαιτείται: Τοξικό
Bi	-	-	-	Δεν απαιτείται: Τοξικό
Cd	0,01-7	0,06	0,2-0,8	Δεν απαιτείται: Τοξικό
Cr	5-3000	100	0,2-1,0	Δεν απαιτείται: Χαμηλή τοξικότητα
Co	1-40	8	0,05-0,15	Απαιτείται από τα όσπρια < 0,2 ppm
Cu	2-100	20	2-15	Απαιτείται από 2-4 ppm : Τοξικό >20 ppm
Pb	2-200	10	0,1-10	Δεν απαιτείται: Χαμηλή τοξικότητα

Mn	100-400	850	15-100	Απαιτείται : Η τοξικότητα εξαρτάται από την αναλογία Fe/Mn
Mo	0,2-5	2	1-100	Απαιτείται <0,1 ppm : Χαμηλή τοξικότητα
Ni	10-1000	40	1-10	Δεν απαιτείται : Τοξικό >50 ppm
Se	0,1-0,2	0,5	0,02-2,0	Δεν απαιτείται : Τοξικό >50 ppm
V	20-500	100	0,1-10	Απαιτείται από μερικά είδη φυκών : Τοξικό >10 ppm
Zn	10-300	50	15-200	Απαιτείται : Τοξικό >200 ppm

Πηγή : (Lazarova et al, 2001)

^a Οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε ξηρό βάρος (70°C)

Ο Zn είναι στοιχείο που είναι απαραίτητο σε όλα τα φυτά. Στο έδαφος υπάρχει σε ποσότητες που είναι ικανοποιητικές για την αύξηση των φυτών. Οι βασικές λειτουργίες του Zn σχετίζονται με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των αυξινών και του RNA. Ο Zn δρά ως μεταλλικό συστατικό των ενζύμων, είτε ως λειτουργικός, δομικός ή ρυθμιστικός παράγοντας μεγάλου αριθμού ενζύμων. Η καρβονική ανυδράση είναι το μοναδικό ένζυμο που ενεργοποιείται ειδικά από τα ιόντα του Zn. Επίσης ο Zn είναι απαραίτητο συστατικό για τη σύνθεση της θρυπτοφάνης που αποτελεί πρόδρομο μορφή του ινδόλιλοοξικού οξέος (IAA). Συνεπώς ο σχηματισμός του IAA επηρεάζεται άμεσα από την παρουσία του Zn.

Έλλειψη Zn έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση χλωρωτικών φαινομένων, που εντοπίζεται στους μεταξύ των νευρώσεων χώρους του φύλλου. Στα καρποφόρα δένδρα αναστέλλεται η ανάπτυξη των φύλλων, ενώ σχηματίζονται ροζέτες μικρών σκληρών φύλλων στα άκρα των νεαρών βλαστών.

Η κανονική συγκέντρωση Zn στα φυτά κυμαίνεται μεταξύ 25 και 150 ppm επί του ξηρού βάρους. Συνήθως τροφοπενίες εμφανίζονται κάτω από τα 20 ppm και τοξικότητες πάνω από τα 400 ppm. Τα συμπτώματα τροφοπενίας εμφανίζονται στα φύλλα, στους καρπούς και σε ολόκληρο το φυτό και χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση επί του ελάσματος και μεταξύ των νευρώσεων των παλαιότερων και

χαμηλότερων φύλλων μιας ανοικτής στην αρχή πράσινης απόχρωσης η οποία αργότερα γίνεται κίτρινη ή και λευκή.

Πίνακας 2.3. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε εδάφη και φυτά

Στοιχεία	Συνήθεις συγκεντρώσεις σε εδάφη*	Κρίσιμες ολικές συγκεντρώσεις εδάφους (mg/kg)	Συνήθεις συγκεντρώσεις στα φυτά	Κρίσιμες συγκεντρώσεις στα φυτά	
				a	b
Ag	0,01-8	2	0,1-0,8	-	1-4
As	0,1-40	20-50	0,02-7	5-20	1-20
Au	0,001-0,02	-	0,0017	-	<1
Cd	0,01-2	3-8	0,1-2,4	5-30	4-200
Co	0,5-65	25-50	0,02-1	15-50	4-40
Cr	5-1500	75-100	0,03-14	5-30	2-18
Cu	2-250	60-125	5-20	20-100	5-64
Hg	0,01-0,5	0,3-5	0,005-0,17	1-3	1-8
Mn	20-10000	1500-3000	20-1000	300-500	100-7000
Mo	0,1-40	2-10	0,03-5	10-50	-
Ni	2-750	100	0,02-5	10-100	8-220
Pb	2-300	100-400	0,2-20	30-300	-
Sb	0,2-10	5-10	0,0001-0,2	-	1-2
Se	0,1-5	5-10	0,001-2	5-30	3-40
Sn	1-200	50	0,2-6,8	60	63
Ti	0,1-0,8	1	0,03-3	20	-
U	0,7-9	-	0,005-0,06	-	-
V	3-500	50-100	0,001-1,5	5-10	1-13
W	0,5-83	-	0,005-0,15	-	-
Zn	1-900	70-400	1-400	100-400	100-900

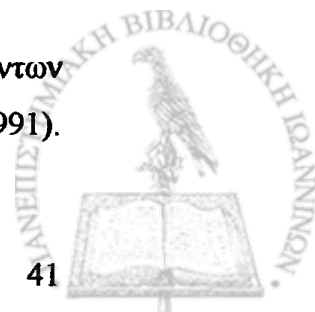
Notes and Sources

*data mainly from Bowen, H.J.M., *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London (1979)

The critical soil total concentration is the range values above which toxicity is considered to be possible. Data from Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., *Trace Elements in soils and Plants*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, Fla (1992).

The critical concentration in plants is the level above which toxicity effects are likely. a, data from Kabata-pendias and Pendias (1992); b, values likely to cause 10% depression in yield ; data from McNichol, R.D. and beckett, P.H.T., *Plant and Soil* 85 (1985), pp. 107-129.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το Mn από το έδαφος υπό τη μορφή των κατιόντων Mn^{+2} και με την ίδια μορφή μεταφέρονται από τη ρίζα στο βλαστό (Kochian, 1991).



Η περισσότερη μελετηθείσα λειτουργία του Μn είναι η συμμετοχή στη φωτοσυνθετική απελευθέρωση του οξυγόνου. Έχουν διαπιστωθεί λίγα ένζυμα που περιέχουν μαγγάνιο στο μόριό τους. Απουσία του Μn προκαλεί μείωση του ξηρού βάρους, της φωτοσυνθετικής ικανότητας, της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και της αναλογίας της κυτταροδιαίρεσης. Στην τελευταία περίπτωση έχουμε αναστολή της επιμήκυνσης των ριζών.

Η πρόσληψη του Μn προσλαμβάνεται από τα φυτά σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση που είναι και γρήγορη, το Μn προσλαμβάνεται από το κυτταρικό τοίχωμα του αποπλάστη των ριζικών κυττάρων, ενώ στη δεύτερη φάση που είναι και πιο γρήγορη και εξερτάται από τη μεταβολική λειτουργία του φυτού απορροφάτε μέσω του συμπλάστη των ριζικών κυττάρων. Πάντως η ακριβής διαδικασία πρόσληψης του Μn δεν είναι πλήρως ξεκαθαρισμένη καθώς η έρευνα ακόμη συνεχίζεται (Garnham et al., 1972).

Στην έλλειψη Μn τα φύλλα είναι με νεκρές κηλίδες ή αναπτύσσεται ανοιχτοπράσινο χρώμα μεταξύ των νεύρων, που αργότερα επεκτείνεται σε ολόκληρο το φύλλο.

Οι συνήθειες συγκεντρώσεις μαγγανίου στα φυτά κυμαίνονται από 20-500 ppm. Η τροφοπενία μαγγανίου συνήθως εμφανίζεται σε επίπεδα μεταξύ 15-25 ppm για τα ανώτερα φυτικά μέρη. Το μαγγάνιο είναι σχετικά δυσκίνητο όπως ο σίδηρος και τα συμπτώματα της τροφοπενίας εμφανίζονται πρώτα στα νεότερα όργανα. Στα φύλλα τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται υπό μορφή μεσονεύριου χλωρώσεως διαφέρουν όμως κατά περίπτωση. Η τροφοπενία μαγγανίου εμφανίζεται σε φυτά που αναπτύσσονται σε τροπικά κυρίως εδάφη με μεγάλο βαθμό εκπλύσεως ή με υψηλό pH και με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

Πίνακας 2.4. Τυπικές συγκεντρώσεις θρεπτικών στα φύλλα φυτικών ειδών

Στοιχεία	Έλλειψη (ppm)	Επάρκεια (ppm)	Τοξικότητα (ppm)
Pb		5-10	30-300
Al		135	
Cd		0,05-0,2	5-30
Zn	10-20	27-150	100-400
Cu	2-5	5-30	20-100
Ni		0,1-5	10-100
Co		0,02-1	15-50
Fe		18-1000	
Mn	10-30	30-300	400-1000



Πηγή: Kabata-Pendias, A, Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992.

Ο Cu βρίσκεται στο έδαφος σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή των δισθενών κατιόντων του Cu^{+2} . Η μέση τιμή στο έδαφος δεν υπερβαίνει τα 10-20 ppm ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά του είναι συνήθως ενωμένα με μικρού Μ.Β. οργανικά συστατικά. Συνεπώς οι μεγαλύτερες ποσότητες του Cu που βρίσκονται στο έδαφος διατίθενται με μορφή που δεν είναι άμεσα διαθέσιμη στα φυτά. Έτσι τα φυτά κάτω από φυσιολογικές συνθήκες παραλαμβάνουν από το έδαφος πολύ μικρότερες ποσότητες χαλκού. Ο Cu αποτελεί βασικό συστατικό μερικών ενζύμων, όπως πλαστοκυανίνης, υπεροξειδικής δισμουτάσης, της κυτοχρωμικής οξειδάσης, της ασκορβικής οξειδάσης και της φαινολάσης. Όταν έχουμε έλλειψη Cu παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας της πλαστοκυανίνης και ελάττωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.

Η έλλειψη χαλκού προκαλεί το μαρασμό των ανώτερων φύλλων και αποξήρανση των κορυφών των φύλλων, συχνά χωρίς αποχρωματισμό των φύλλων. Τα φυτά χαρακτηρίζονται από μικροφυλλία, σχηματισμό ροδάκων και βραχεία μεσογονάτια διαστήματα.

Οι κανονικές συγκεντρώσεις χαλκού μέσα στους φυτικούς ιστούς κυμαίνεται από 5-20 ppm. Συνήθως οι τροφοπενίες εμφανίζονται για συγκεντρώσεις κάτω των 4 ppm επί της ξηράς ουσίας των φυτών. Συμπτώματα ελλείψεως χαλκού έχουν παρατηρηθεί σε πολυάριθμα φυτά, είναι περισσότερο συνήθη σε τυρφώδη και βαλτώδη εδάφη. Τα συμπτώματα τροφοπενίας χαλκού ποικίλουν. Η έλλειψη χαλκού προκαλεί συγκέντρωση σιδήρου στους κόμβους.

Όπως και τα άλλα ιχνοστοιχεία ο χαλκός σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί τοξικότητες στα φυτά με χαρακτηριστικά συμπτώματα τη χλώρωση των φύλλων, την περιορισμένη πίεση σπαργής των βλαστών και την περιορισμένη ανάπτυξη και τον αποχρωματισμό του ριζικού συστήματος. Τα κρίσιμα επίπεδα χαλκού για την εμφάνιση τοξικότητας πιστεύεται ότι είναι πάνω από 20-30 $\mu\text{g/g}$ ξηράς ουσίας.

Πίνακας 2.5. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα φύλλα φυτικών ειδών

Μέταλλα	Έλλειψη (ppm)	Επάρκεια (ppm)	Τοξικότητα (ppm)
B	5-30	10-200	50-200
Cu	2-5	5-30	20-100
Fe	<50	100-500	>500
Mn	15-25	20-300	300-500
Zn	10-20	27-150	100-400

Μέταλλα	Έλλειψη (ppm)	Επάρκεια (ppm)	Τοξικότητα (ppm)
P	<0,05	0,12-0,16	>0,3
K	<0,6	1,2-1,7	>2,4
Ca	<1,5	3-5,5	>7
Mg	<0,15	0,3-0,6	>1,2

Πηγή: Kabata – Pendias, A, Pendias, H., *Trace Elements in Soils and Plants*/2nd Edition C.R.C. Press, 1992.

Τα περισσότερα εδάφη περιέχουν ικανοποιητικές ποσότητες Μο σε διαθέσιμη μορφή. Η κυριότερη μορφή με την οποία προσλαμβάνεται από τα φυτά είναι MoO_4^- . Οι απαιτήσεις των φυτών σε Μο είναι οι χαμηλότερες από οποιαδήποτε άλλο θρεπτικό στοιχείο, ενώ αναγνωρίζεται ως ένα από τα βασικότερα μικροστοιχεία. Το Μο παίζει σπουδαίο ρόλο στα ενζυμικά συστήματα που συμμετέχουν στη δέσμευση του αζώτου και τη μεταφορά του. Η έλλειψη Μο είναι σπάνια, όταν όμως υπάρχει, τότε εμφανίζονται συμπτώματα όπως χλώρωση, στένεμα του πλατύσματος των νεαρών φύλλων, και αναστολή της αύξησης.

Στην έλλειψη μολυβδαινίου εμφανίζονται στην αρχή συμπτώματα όμοια με την τροφопενία αζώτου. Περιορισμένη ανάπτυξη με φύλλωμα ανοιχτοπράσινο ή κιτρινωπό. Αργότερα εμφανίζονται ειδικά συμπτώματα όπως περιφερειακή ξήρανση, συδρόφι και κύρτωση των φύλλων.

Σε τοξικότητα μολυβδαινίου παρατηρείται ανώμαλος σχηματισμός των φύλλων και αποχρωματισμός των ιστών των βλαστών προς το κιτρινόχρυσο ο οποίος αποδίδεται σε σχηματισμό εντός των χυμοτοπιών των κυττάρων μολυβδαινοκατεχολικών συμπλόκων. Γονοτυπικές διαφορές μεταξύ των φυτικών ειδών αντοχής στην τοξικότητα του μολυβδαινίου σχετίζονται άμεσα με διαφορές στη μεταφορά του μολυβδαινίου από τις ρίζες προς τους βλαστούς.



Το Βόριο βρίσκεται σε πολύ μικρά ποσοστά στο έδαφος, ενώ η διαθέσιμή του μορφή γίνεται ακόμη μικρότερη επειδή σχηματίζει σταθερές ενώσεις. Τα φυτά προσλαμβάνουν το Β από τα υδατικά διαλύματα του εδάφους υπό τη μορφή κυρίως του Βορικού οξέος.

Παρόλο που τα φυτά χρειάζονται το Β για την κανονική τους ανάπτυξη, οι ποσότητες αυτές πρέπει να είναι πολύ μικρές, επειδή η άριστη συγκέντρωση για την αύξηση πλησιάζει πάρα πολύ τα τοξικά επίπεδα για αρκετά φυτά. Πολλές φορές όμως τα άριστα επίπεδα του εδάφους προσεγγίζουν τα τοξικά, εξαιτίας της αυξημένης ποσότητας Β που περιέχεται στο νερό άρδευσης. Το Β χρειάζεται για τη σύνθεση αζωτούχων βάσεων μεταξύ των οποίων και η ουρακίλη η οποία είναι βασικό συστατικό του RNA. Επομένως η έλλειψη βορίου επηρεάζει τη σύνθεση RNA και κατ'επέκτασή την πρωτεϊνσύνθεση. Ο σχηματισμός της ριβόζης, η σύνθεση των ριβονουκλεϊκών οξέων και η σύνθεση των πρωτεϊνών είναι οι πιο βασικές διαδικασίες των μεριστωματικών ιστών. Αν επομένως παρεμποδιστούν όλες αυτές οι διεργασίες εξαιτίας της έλλειψης βορίου, τότε όλη η διαδικασία της μεριστωματικής αύξησης ελαττώνεται, γεγονός που δικαιολογεί την αναστολή της επιμήκυνσης της ρίζας και του βλαστού. Η έλλειψη Β προκαλεί ανεπαρκή άνθηση και καρποφορία, συστροφή ανώτερων φύλλων, νέκρωση ακραίου οφθαλμού αναστολή της επιμήκυνσης της ρίζας και του βλαστού, αναστολή ανθοφορίας, εμφάνιση φελλώδους ιστού και άλλες βλάβες. Τα άκρα και οι περιφέρειες των φύλλων είναι δυνατό να λάβουν καστανόχροη ή ερυθρωπή προς κίτρινη απόχρωση πριν από την πρόωρη ξήρανση.

Η συγκέντρωση του Βορίου στα μονοκότυλα και δικότυλα φυτά ποικίλλει μεταξύ 6 και 18 ppm και 20-60 ppm αντίστοιχα. Η στάθμη του βορίου στα ώριμα φύλλα των περισσότερων φυτών είναι συνήθως πάνω από 20 ppm. Η τροφοπενία βορίου είναι η πλέον διαδεδομένη απ'όλα τα μικροστοιχεία.

Τοξικότητα βορίου είναι δυνατόν να εμφανιστεί όταν χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων ή και ύδατος αρδεύσεως πλούσιο σε βόριο. Στην περίπτωση του νερού αρδεύσεως έχει αναφερθεί ως κρίσιμη ποσότητα βορίου μια περιεκτικότητα της τάξεως 1-10 mg/lι για τα ευαίσθητα και ανθεκτικά φυτά αντίστοιχα. Τα τυπικά συμπτώματα στα ώριμα φύλλα είναι μια χλώρωση του περιθωρίου ή της κορυφής των φύλλων με τελική νέκρωση.

Πίνακας 2.6. Ποσότητες κρινόμενες ως ελλειψής, επαρκείς και τοξικές εντός των φυτικών ειδών

Φυτικά είδη	Β στους φυτικούς ιστούς (ppm DW)		
	Έλλειψη	Επάρκεια	Τοξικότητα
Κωνοφόρα			
Arucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze		6-19	
Picea abies Many locations		<4	5-18
Pinus caribaea Morelet var. hondurensis		6	9-21
Pinus elliotii Engelm. Elliotii, nursery		1,8-4,2	8-21
Pinus khasya Royle		7	13-36
Pinus palustris Mill.		6	6-10
Pinus patula Schl. & Cham.		6	7-22
Pinus ponderosa Laws.		20-31	
Pinus radiata, nursery			
6 yr	8	10-12	
2 yr	4-5		101
Pinus radiata 18-20 yr		10-36	
Pinus resinosa Ait.		22-27	75
Pinus sabiniana Dougl.		32	400
Pinus strobus			355
Pinus sylvestris L.		32	480
20 yr plantation			>53
Many locations		<4-9,9	
Pinus teada L. nursery		1,8-4,2	11-25
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco		<4	28-82
Αγγειόσπερμα			
Acer platanoides L.		134	400-1200
Acer saccharum Marsh.			1560
Betula spp.		8,3±1,5	21,3±2,7
Castanopsis chrysophylla			



(Dougl).			
Eucalyptus deglupta blume			30-70 (toxic)
Eucalyptus tereticornis Sm.		14-16	
Quercus stellata wang.			35

Πηγή: Gupta, U.C. 1979. *Adv. Agron* 31, pp. 273-307.

Gupta, U.C., ed. 1993. In *Boron and its Role in Crop Production*. CRC Pr, Boca Raton, FL.

Stone, E.L., 1990. *Forest Ecology Management* 37, pp. 49-75.

Το Mg είναι δομικό συστατικό των χλωροφυλλών και ενεργοποιητής ενζύμων. Είναι απαραίτητο συστατικό των ριβοσωμάτων γιατί συντελεί στη σύνδεση των δύο υπομονάδων του. Όταν ελαττώνεται η συγκέντρωσή του τότε αποχωρίζονται οι υπομονάδες με άμεσο αποτέλεσμα το σταμάτημα της πρωτεϊνσύνθεσης.

Όταν υπάρχει έλλειψη μαγνησίου τα φύλλα γίνονται (κίτρινα) ωχρά λόγω μείωσης της χλωροφύλλης. Τα συμπτώματα εμφανίζονται πρώτα στις κορυφές και στις περιφέρειες των φύλλων και επεκτείνονται στη συνέχεια στις περιοχές μεταξύ των νεύρων των φύλλων, ειδικά των γηραιότερων ή χαμηλότερων φύλλων. Το σύμπτωμα αυτό διακρίνει την τροφοπενία του μαγνησίου από τη χλώρωση σιδήρου που αρχίζει συνήθως από τα νέα φύλλα. Τελικά ο ιστός των φύλλων που προσβλήθηκαν γίνεται καστανόχρους.

Πίνακας 2.7. Ποσότητες θρεπτικών σε φύλλα φυτικών ειδών (mg/kg)

Στοιχεία	Χαμηλή	Συνήθη	Υψηλή
Ca	800	3000-30000	60000
Mg	400	1000-6000	10000
K	1000	5000-20000	50000
Na	400	1000-4000	10000
P	300	800-3000	5000
Fe	10	60-600	2500
Mn	5	20-400	2000
Zn	5	20-400	2000
Cd	0,03	0,1-3	20
Pb	0,01	0,1-5	100
Ni	0,2	1-10	100
Co	0,01	0,03-2	20
Cr	0,05	0,2-5	50
Cu	1	5-25	100
Se	0,01	0,05-1	10



Πηγή: Raskin, I., Ensley, D.B., 2000. *Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean Up the Environment*. Copyright 2000 by John Wiley & Sons, Inc.

Το Ca είναι άφθονο στα περισσότερα εδάφη και συνεπώς τα φυτά κάτω από φυσικές συνθήκες σπάνια έχουν έλλειψη του στοιχείου αυτού. Τα ανώτερα φυτά περιέχουν ασβέστιο σε αρκετά μεγάλες ποσότητες με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 5-30 mg Ca/g ξηρού βάρους. Οι μεγάλες αυτές περιεκτικότητες κυρίως οφείλονται στα υψηλά επίπεδα ασβεστίου των εδαφικών διαλυμάτων και όχι στο μηχανισμό πρόσληψης από τα ριζικά κύτταρα.

Αν σε ένα θρεπτικό διάλυμα υπάρχει έλλειψη ασβεστίου τότε σταματάει η επιμήκυνση των ριζών μέσα σε λίγες μέρες, ενώ συγχρόνως τα ακρορίζια εμφανίζουν καφετί χρώμα και παράλληλα αρχίζει η βαθμιαία νέκρωσή τους. Σε αντίθεση με άλλα μακροστοιχεία, ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ποσότητας του ασβεστίου στους φυτικούς ιστούς εντοπίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα και κυρίως στη μέση πλάκα. Πέρα όμως από τη συμμετοχή του ασβεστίου στο σχηματισμό της μέσης πλάκας είναι δυνατό να δεσμεύεται και από άλλα οργανικά οξέα μέσα στο κυτόπλασμα.

Η έλλειψη ασβεστίου προκαλεί συστροφή των νέων φύλλων. Τα αυξανόμενα άκρα γίνονται καχεκτικά και είναι δυνατό να αναπτυχθούν κατά μήκος των περιφερειών των φύλλων, και μεταξύ των νεύρων, κίτρινες ή καστανές περιοχές.

Η στέρηση ασβεστίου προκαλεί αδυναμία εκπτώξεως των κορυφαίων οφθαλμών και των κορυφαίων μεριστωμάτων βλαστών και ριζών, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση ή και την πλήρη κατάπαυση της αυξήσεως.

Πίνακας 2.8. Κριτικές συγκεντρώσεις μετάλλων στους φυτικούς ιστούς (ppm DW)

Μέταλλα	Ευαίσθητα φυτικά είδη
Cd	5-10
Co	10-20
Cr	1-2
Cu	15-20
Hg	0,5-1
Ni	20-30
Zn	150-200

Πηγή: Kabata-Pendias, A., Pendias, H., *Trace Elements in Soils and Plants* 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992.

Το κάλιο είναι απαραίτητο στοιχείο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Στη φυσιολογία του φυτού είναι ένα από τα πιο σημαντικά κατιόντα όχι μόνο γιατί περιέχεται σε μεγάλα σχετικά ποσοστά στους φυτικούς ιστούς, αλλά κυρίως για τις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες του.

Τα ορατά συμπτώματα της τροφопενίας καλίου στα φυτά ποικίλουν, ανάλογα με την έντασή της. Σε ορισμένα είδη εκδηλώνονται με λευκές, ερυθρές, κίτρινες, ή καστανόχρωες κηλίδες στα φύλλα που συνοδεύονται από κάψιμο ή καστανώμα των άκρων και των κορυφών.

Στα δικότυλα φυτά τα φύλλα αυτά γίνονται χλωρωτικά, γρήγορα όμως εμφανίζονται διασκορπισμένες πάνω στο έλασμα σκουρόχρωμες περιοχές, οι οποίες εξελίσσονται σε νεκρωτικές κηλίδες. Στα μονοκότυλα φυτά νεκρώνονται και ξηραίνονται πρώτα οι κορυφές και οι περιφέρειες των φύλλων. Η περίσσεια καλίου είναι δυνατόν να προκαλέσει έλλειψη μαγγανίου, ψευδαργύρου και σιδήρου.

Ο φώσφορος παίζει σπουδαίο ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό, κατά συνέπεια η έλλειψη του φωσφόρου επηρεάζει όλα τα στάδια του φυτικού μεταβολισμού και της ανάπτυξης.

Η έλλειψη φωσφόρου συχνά προκαλεί καθυστέρηση στη βλάστηση και στην ωρίμανση, φτωχή παραγωγή καρπών, περιορισμένη ανάπτυξη ριζών, πορφυρό χρωματισμό των φύλλων, των άκρων των φύλλων ή των στελεχών και ακανόνιστο βαθυπράσινο χρώμα σε ορισμένα είδη. Το φύλλο γίνεται κυανοπράσινο και παρουσιάζει συνήθως πορφυρές κηλίδες. Το ριζικό σύστημα δεν αναπτύσσεται κανονικά.

Αν και το ελεύθερο άζωτο αποτελεί το 78% του ατμοσφαιρικού αέρα τα φυτά δεν είναι σε θέση να το χρησιμοποιήσουν για τις ανάγκες τους. Κύριες πηγές αζώτου για τα φυτά είναι οι νιτρικές ενώσεις NaNO_3 , KNO_3 , NH_4NO_3 , και $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, καθώς και ορισμένα αμμωνιακά άλατα. Και στις δύο περιπτώσεις αυτές τα άλατα αυτά για να μεταβολισθούν χρειάζεται να αναχθούν σε NH_3 . Επειδή όμως η αμμωνία είναι τοξική για τα φυτικά κύτταρα, δεσμεύεται με αναγωγική αμίνωση των α-κετονοξέων και σχηματίζει τελικά αμινοξέα ή αμίδια. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό πολλών οργανικών ενώσεων του κυττάρου μεταξύ των οποίων είναι οι πρωτεΐνες, που αποτελούν το κύριο μέρος του πρωτοπλάσματος και τα νουκλεϊνικά οξέα που περιέχουν την κωδικοποιημένη γενετική πληροφορία.

Η έλλειψη αζώτου συνήθως απολήγει σε περιορισμένη ανάπτυξη των φυτών, σε ελαφρά ομοιόμορφο ανοικτοπράσινο ή κιτρινωπόπράσινο χρωματισμό των φύλλων και



σε κιτρίνισμα και νέκρωση των χαμηλότερων και γηραιότερων φύλλων. Ο αποχρωματισμός εμφανίζεται πρώτα στα παλαιά φύλλα και ύστερα προχωρεί προς τα νεότερα.

2.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9% από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυτών οργανικών και ανόργανων στερεών. Μεταξύ των οργανικών υλικών συμπεριλαμβάνονται υδρογονάνθρακες, λιγνίνες, λίπη, εστέρες, απορρυπαντικά, πρωτεΐνες, προϊόντα αποσύνθεσής τους και σε κάποιες περιπτώσεις ποικίλα φυσικά και συνθετικά οργανικά και ανόργανα προϊόντα βιοτεχνικής δραστηριότητας. Όσον αφορά τις διάφορες ανόργανες ουσίες των αποβλήτων δεν αποκλείεται η παρουσία τοξικών στοιχείων, όπως As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn κ.τ.λ. Η παρουσία και η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών πρέπει να ερευνάται με ιδιαίτερη προσοχή, γιατί για να αποφεύγεται η δημιουργία προβλημάτων στα φυτά και στους ανθρώπους όταν τα απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση.

Ο όρος βαρέα μέταλλα ή ιχνοστοιχεία μετάλλων, απευθύνεται σε μια μεγάλη ομάδα μετάλλων που εμφανίζονται με τη μορφή ίχνους τα οποία είναι σημαντικά τόσο στη βιομηχανία, όσο και στη βιολογία. Ο όρος βαρέα μέταλλα είναι ο πιο διαδεδομένος όρος για μια ομάδα στοιχείων με ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 6g/cm^3 . Παρόλα αυτά, κάποια όπως τα Co, Cr, Cu, Mn, Mo και Zn είναι σημαντικά για τη σωστή ανάπτυξη φυτών και ζώων όταν βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις. Ένας νέος όρος που χρησιμοποιείται όταν αναφερόμαστε στις βλαβερές συνέπειες αυτών των μετάλλων είναι 'ενδεχομένως τοξικά στοιχεία' (potentially toxic element, PTE). Τα βαρέα μέταλλα που δίνουν αφορμή για περισσότερο ενδιαφέρον είναι τα As, Cd, Hg, Pb, Ti και U και το ενδιαφέρον έγκειται στην επίδρασή του στην ανθρώπινη υγεία, τη γεωργία και την οικοτοξικολογία. Από την άλλη πλευρά, η γεωργική παραγωγικότητα μεγάλων εκτάσεων γης σε πολλά μέρη του κόσμου μπορεί να μειωθεί λόγω ανεπάρκειας ουσιαστών ιχνοστοιχείων βαρέων μετάλλων όπως οι Zn, Cu και το Mn όταν αναφερόμαστε σε σοδειές και τα Co, Mn, Cu και Zn όταν αναφερόμαστε σε ζώα.

Σε αντίθεση με τα προβλήματα που προκαλούνται από την περίσσεια βαρέων μετάλλων λόγω της ρύπανσης, υπάρχουν και γεωργικές εκτάσεις σε πολλά μέρη του κόσμου που παρουσιάζουν ανεπάρκεια σε ένα ή περισσότερα ιχνοστοιχεία. Αυτά περιλαμβάνουν μέταλλα όπως τα Cu, Mn και Zn που είναι απαραίτητα στα φυτά και τα ζώα και τα Co, Cr και το Se που είναι απαραίτητα στα ζώα. Το ιώδια, το βόριο και ο σίδηρος είναι επίσης σημαντικά ιχνοστοιχεία αλλά δεν κατατάσσονται στα βαρέα μέταλλα. Η έλλειψη ψευδαργύρου είναι το σημαντικότερο πρόβλημα όσον αφορά την έλλειψη ιχνοστοιχείων στις σοδειές σε παγκόσμια κλίμακα. Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρούνται επίσης ελλείψεις σε Cu ή Mn που επηρεάζουν επίσης τις σοδειές. Αυτές οι ελλείψεις στις σοδειές επανορθώνονται βελτιώνοντας το έδαφος με άλατα ή μεταλλικά ιόντα του μετάλλου ή με εφαρμογή αλάτων ή μεταλλικών ιόντων του μετάλλου απαιτείται απευθείας στη σοδειά με ψεκασμό του φυλλώματος. Ποσότητες σε ίχνη αρκετών μετάλλων όπως νικέλιο, μαγγάνιο, μόλυβδος, χρώμιο, κάδμιο, ψευδάργυρος, χαλκός, σίδηρος και υδράργυρος είναι σημαντικά συστατικά στα περισσότερα νερά. Τα περισσότερα από αυτά αποτελούν απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη της βιολογικής ζωής. Σε μεγαλύτερες ποσότητες όμως είναι ιδιαίτερα τοξικά και πρέπει να απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα, ιδιαίτερα όταν το επεξεργασμένο απόβλητο πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί.

Η ύπαρξη ιχνοστοιχείων στα υγρά αστικά απόβλητα σχετίζεται με την προέλευση των νερών και τις δραστηριότητες της αστικής περιοχής από την οποία προέρχονται τα απόβλητα. Η χρήση των ιχνοστοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία και στη μεταποίηση καταναλωτικών αγαθών. Επίσης, η παλαιώση και η σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά αστικά απόβλητα. Για τους λόγους αυτούς, έστω και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων βρίσκονται πάντοτε στα υγρά αστικά απόβλητα. Κάποια αποχετευτικά δίκτυα δέχονται και βιομηχανικές εκροές με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα απόβλητα.

Παρόλο που οι συμβατικές εγκαταστάσεις επεξεργασμένων αποβλήτων δεν είναι σχεδιασμένες για την απομάκρυνση των ιχνοστοιχείων, μέρος αυτών προσροφάτε στα οργανικά και ανόργανα στερεά και απομακρύνεται με τις διαδικασίες των καθιζήσεων των αιωρούμενων στερεών. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ανεπεξέργαστα απόβλητα μειώνονται κατά 70%- 90% κατά τη δευτεροβάθμια κατεργασία. Στον πίνακα . δίνονται τυπικές



συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα και στο αρδευτικό νερό.

Πίνακας 2.9. Τυπικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/l) σε επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και στο αρδευτικό νερό.

Στοιχείο	Υγρά αστικά απόβλητα που δέχτηκαν Β/βάθμα επεξεργασία		Αρδευτικό νερό
	Εύρος	Μέση τιμή	Συνιστώμενη συγκέντρωση
As	<0,005-0,023	<0,005	0,1
B	<0,1-2,5	0,7	0,75
Cd	<0,005-0,15	<0,005	0,01
Cr	<0,005-1,2	0,02	0,1
Cu	<0,006-1,3	0,04	0,2
Hg	<0,0002-0,001	0,005	-
Mo	0,001-0,018	0,007	0,01
Ni	0,003-0,6	0,004	0,2
Pd	0,003-0,35	0,008	5,00
Se	<0,005-0,02	<0,005	0,02
Zn	0,004-1,2	0,04	2,00

Πηγή: (Page and Chang, 1985)

Πίνακας 2.10. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό άρδευσης

Στοιχεία	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις (mg/l)
Al	5,00
As	0,10
Be	0,10
Cd	0,01
Co	0,05
Cr	0,1
Cu	0,2
F	1,00
Fe	5,00
Li	2,50
Mn	0,20
Mo	0,01
Ni	0,20
Pb	5,0
Se	0,02
V	0,1
Zn	2,00

Πηγή: Drakatos et al. (1996)

Η σύγκριση των μέσων τιμών συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων των αστικών αποβλήτων του παραπάνω πίνακα με τις συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό δείχνει, ότι τα επίπεδα για όλα τα ιχνοστοιχεία είναι χαμηλότερα από αυτό που τίθεται για το αρδευτικό νερό εκτός από εκείνα του



βορίου. Εάν ληφθεί υπόψη ότι τα κριτήρια για το αρδευτικό νερό ορίστηκαν με σκοπό ώστε να προστατευθούν και οι πιο ευαίσθητες καλλιέργειες γίνεται αντιληπτό ότι με προσεκτική διαχείριση, τα περισσότερα από τα υγρά αστικά απόβλητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν για άρδευση χωρίς σημαντικούς κινδύνους από την παρουσία των ιχνοστοιχείων.

Μεταξύ των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται στα απόβλητα τα στοιχεία B, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Se και Zn θεωρούνται επικίνδυνα, εάν εισαχθούν στα καλλιεργούμενα εδάφη χωρίς έλεγχο. Τα ιχνοστοιχεία αργίλιο, αρσενικό, χρώμιο, σίδηρος, μαγγάνιο, μόλυβδος και αντιμόνιο τα οποία εισάγονται στα εδάφη κατά την άρδευση με απόβλητα, δεν οδηγούν σε φυτοτοξικότητες, ούτε εκθέτουν τους καταναλωτές σε κινδύνους εφόσον εφαρμόσουν οι κοινές καλλιεργητικές πρακτικές.

2.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΛΑΣΠΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Σε ένα υγρό απόβλητο μέσης ισχύος, περίπου το 75% των αιωρούμενων στερεών και το 40% των διηθητών στερεών είναι οργανική ύλη. Αυτά τα στερεά προέρχονται από το φυτικό και το ζωικό βασίλειο και την ανθρώπινη δραστηριότητα που συνδέεται με τη σύνθεση οργανικών ενώσεων. Οι οργανικές ενώσεις αποτελούνται από ένα συνδυασμό άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου, μαζί με άζωτο σε μερικές περιπτώσεις. Επίσης, μπορεί να υφίστανται και άλλα στοιχεία όπως θείο, φώσφορος και σίδηρος. Οι βασικές ομάδες οργανικών ενώσεων που απαντώνται στα υγρά απόβλητα είναι πρωτεΐνες, και λίπη και έλαια (10%). Η ουρία, το βασικό συστατικό των ούρων, είναι μια άλλη σημαντική οργανική ένωση που απαντάται στα υγρά απόβλητα. Μαζί με τις απλές οργανικές ενώσεις που προαναφέρθηκαν, στα υγρά απόβλητα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός σύνθετων οργανικών μορίων από πολύ απλά έως πολύ σύνθετα στην δομή τους. Επιπλέον, ο αριθμός των νέων ενώσεων που συντίθεται κάθε χρόνο αυξάνει σημαντικά (Βαγενάς, 2005).

Η λάσπη που προκύπτει από τις διεργασίες επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων είναι συνήθως σε ρευστή ή ημίρευστη κατάσταση, που τυπικά περιέχει - 12 % κατά βάρος σε στερεά, ανάλογα με τις διαδικασίες που προηγήθηκαν. Από τα συστατικά που απομακρύνονται η λάσπη καταλαμβάνει τον μεγαλύτερο όγκο. Τα προβλήματα που προκύπτουν από την λάσπη είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα αφού 1)



αποτελείται από υλικά που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα 2) το κλάσμα της λάσπης που προκύπτει από τη βιολογική επεξεργασία αποτελείται από οργανική ύλη που περιέχεται στο απόβλητο σε μορφή που μπορεί να αποσυντεθεί και να καταστεί ιδιαίτερα επικίνδυνη 3) μόνο ένα μικρό μέρος της λάσπης είναι στερεή ύλη.

Η λάσπη αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα στην επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων καθώς περιέχει σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις όλους τους επικίνδυνους ρύπους και μεταξύ αυτών ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Σε περιπτώσεις όπου τα υγρά αστικά λύματα είναι μόνο αστικά και δεν περιέχουν καθόλου βιομηχανικά, γίνονται προσπάθειες για απευθείας διάθεση της λάσπης σαν εδαφοβελτιωτικό.

Για τα επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα οι φόρτοι των ρύπων κατά τη διάρκεια της χρήσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια του αθροιστικού φόρτου. Αυτή η προσέγγιση καθορισμού αριθμητικών ορίων προϋποθέτει ότι η δραστηριότητα του μετάλλου στο έδαφος και η απομάκρυνσή του από τα φυτά σε ένα καλά ισορροπημένο και επεξεργασμένο με λύματα έδαφος, θα προσεγγίσει προοδευτικά ισορροπίες αυξάνοντας τις χρήσεις λυμάτων.

Τα τελευταία χρόνια πολλά κράτη απαγόρευσαν τη χρήση λυμάτων στο έδαφος για την καλλιέργεια φρούτων και λαχανικών, περιόρισαν τη διάρκεια χρήσης λυμάτων σε δεδομένη περιοχή και όρισαν ότι αυτή δεν μπορεί να υπερβαίνει μια διάρκεια των 5 - 20 ετών (Βαγενάς, 2005).

Σ' αυτούς τους κανονισμούς, τα ανώτερα όρια των ετήσιων φορτίων ρύπων πλησιάζουν την ετήσια απομάκρυνση από τα φυτά των ωφέλιμων γι' αυτά μικροστοιχείων και μετάλλων. Σ' αυτήν την πρακτική τα μικροστοιχεία και η είσοδος μετάλλων μέσω της χρήσης λυμάτων στο έδαφος μπορούν να εξισορροπηθούν μέσω της απομάκρυνσης η οποία οφείλεται στα φυτά.

Στη συνέχεια, στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα ανώτερα αθροιστικά όρια των μετάλλων που περιέχουν τόσο η λάσπη που προέρχεται από τους σταθμούς βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων όσο και στα εδάφη όπου αυτή τελικά εφαρμόζεται.

Πίνακας 2.11. Οδηγία 86/278/EEC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για τα όρια μετάλλων στη λάσπη βιολογικών σταθμών (Sewage sludge)

Μέταλλο	Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (PH 6-7) mg/kg	Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στη λάσπη για γεωργική χρήση mg/kg	Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων που μπορούν να προστεθούν στο έδαφος σε ετήσια βάση (μέσο όρο δεκαετίας) Kg/ha/yr
Cd	1-3	20-40	0,15
Cu	50-140	1000-1750	12
Ni	30-75	300-400	3
Pb	50-300	750-1200	15
Zn	150-300	2500-4500	30
Hg	1-1,5	16-25	0,1
Cr	100-150	1000-1500	4

Πηγή: ΦΕΚ 138/Β/24-2-65

Πίνακας 2.12. Συγκεντρώσεις μετάλλων σε εδάφη που αποτέθηκε λάσπη βιολογικών καθαρισμών στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1990/91 (mg/kg dry soil)

Metal	pH class	10 percentile	50 percentile	90 percentile	UK regulation limits
Zn	A	23	57	109	200
	B	23	61	121	250
	C	29	67	124	300
	D	40	74	121	450
Cu	A	7	17	37	80
	B	7	19	38	100
	C	8	18	38	135
	D	8	17	34	200
Ni	A	5	14	29	50
	B	5	16	36	60
	C	6	17	33	75
	D	8	20	35	110
Cd	E	0,06	0,55	1,3	3
Pb	E	17	33	78	300
Hg	E	0,06	0,13	0,38	1
Cr	E	11	33	53	400

A=pH 5,5-5,0



B=pH 5,5-6

C=pH 6-7

D=pH>7

E=pH>5

Πηγή: Kabata-Pendias, A, Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992.

Πίνακας 2.13. Όρια μετάλλων ανάλογα με την ποσότητα της λάσπης που αποτέθηκε στο έδαφος στις Ηνωμένες Πολιτείες (U.S. EPA 40 CFR part 503 Standard)

Μέταλλα	Ανώτατες συγκεντρώσεις στη λάσπη (mg/kg)	Ανώτατες συγκεντρώσεις σε καθαρή λάσπη ^a (mg/kg)	Μέγιστο αθροιστικό φορτίο (Kg/ha)	Μέγιστο ετήσιο φορτίο (kg ha/yr)
As	75	41	41	2
Cd	85	39	39	1,9
Cr	3000	1200	3000	150
Cu	4300	1500	1500	75
Pb	840	300	300	15
Hg	57	17	17	0,85
Mo ^b	75	18	18	0,90
Ni	420	420	420	21
Se	100	36	100	5
Zn	7500	2800	2800	140

^a Metal concentration limits for biosolids designated as a class A sludge

^b Limits for Molybdenum stayed by court action in 1994.

Πηγή: U.S. EPA (1992).

Πίνακας 2.14. Όρια μετάλλων στο έδαφος από την απόθεση λάσπης στη Γερμανία {target (also referred to as A value or reference value) and intervention (also referred to as C value)}.

Στοιχεία	Έδαφος (mg/kg DW)	
	Τιμή στόχου	Τιμή παρέμβασης
As	29	55
B	200	625
Cd	0,8	12
Cr	100	380
Co	20	240
Cu	36	190
Pb	85	530
Hg	0,3	10
Mo	10	200
Ni	35	210



Zn	140	720

Πηγή: Vegter, 1997. Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning, and Environment, The Hague, Netherlands .

Πίνακας 2.15. Οριακές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων από την εφαρμογή λάσπης (mg/kg DW)

Στοιχεία	Ηνωμένες Πολιτείες ^a		Ηνωμένο Βασίλειο ^b		Καναδάς ^c (Μέσος όρος)
	Μέσος όρος	Εύρος	Μέσος όρος	Εύρος	
Ag	-	-	32	5-150	-
As	14,3	3-30	-	-	-
B	37	22-90	70	15-1000	1950
Ba	621	272-1066	1700	150-4000	-
Be	<8,5	-	5	1-30	-
Bi	16,8	<1-56	34	<12-100	-
Cd	104	7-444	<200	<60-1500	38
Co	9,6	4-18	24	2-260	19
Cr	1441	169-14000	980	<40-8800	1960
Cu	1346	458-2890	970	200-8000	1600
Fe	167	370-739	-	-	-
Hg	8,6	3-18	-	-	-
Mn	194	32-527	500	150-2500	2660
Mo	14,3	1-40	7	2-30	13
Ni	235	36-562	510	20-5300	380
Pb	1832	136-7627	820	120-3000	1700
Sb	10,6	2-44	-	-	-
Se	3,1	1-5	-	-	-
Sn	216	111-492	160	40-700	-
Ti	2331	1080-4580	2000	<1000-4500	-
V	40,6	15-92	75	20-400	15
W	20,2	1-100	-	-	-
Zn	2132	560-6890	4100	700-49000	6140

Πηγές:

^aFurr, K.A., et al. 1976. *Environ Sci Technol* 7, pp. 683-687. Includes Atlanta, Chicago, Denver, Houston, Miami, Los Angeles, Milwaukee, Philadelphia, San Francisco, Seattle, Washington DC, and five cities of New York.

^bBerrow, M.L., Webber, J., 1972. *J. Sci Fed Agric* 23, pp. 93-100. Includes 42 samples from different locations in England and Wales.

^cOliver, B.G., Cosgrove, E.G., 1975. *Environ Letters* 9, pp. 75-90. From 10 sites in southern Ontario, Canada.



Πίνακας 2.16. Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις Cd στην λάσπη από βιολογικούς καθαρισμούς που χρησιμοποιούνται στο έδαφος-εδάφη και όρια ετήσιων φορτίων

Χώρα	Μέγιστη συγκέντρωση	Συγκέντρωση λάσπης στο έδαφος (mg/kg DM)	Όρια ετήσιου επιτρεπόμενου φορτίου (Kg Cd/ha/y)
Ευρωπαϊκή Ένωση	20-40	1-3	0,15
Γαλλία	20	2	0,15
Γερμανία	10*	1,5	0,15
Ισπανία	20	1	0,15
Δανία	1,2	0,5	0,008
Φιλανδία	1,5	0,5	0,0015
Σουηδία	2	0,5	0,002
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	8,5	2	1,9

*Sludge concentration limit in Germany reduced to 5 mg Cd/kg where receiving soil < 5% clay or pH 5-6 and maximum soil Cd is for soils > pH 5, at pH 5-6 the Cd limit is 1 mg/kg

Πηγή: Kabata-Pendias, A, Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992.

Πίνακας 2.17. Εύρος και μέσες τιμές ολικών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων στα εδάφη (ppm DW)

Στοιχεία	Εύρος	Μέσος όρος
Pb	2,3-70	22
Al	400-5700*	95*
Cd	0,01-2,7	0,37
Zn	3,5-220	45
Cu	1-70	13
Ni	1-110	13
Co	0,1-65	5,5
Fe	30-550*	2000*
Mn	7-2000	270

* µg/l

Πηγή: Kabata-Pendias, A, Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992.

Πίνακας 2.18. Όριακές συγκεντρώσεις μετάλλων στο Βέλγιο σαν αποτέλεσμα ύστερα από αποκατάσταση εδαφών με την απόθεση λάσπης βιολογικού

Στοιχεία	Φυσικά Πάρκα	Γεωργία	Οικιστικές περιοχές	Περιοχές Αναψυχής	Βιομηχανικές Περιοχές
As	45	45	110	200	300
Cd	2	2	6	15	30
Cr ⁺³	130	130	300	500	800
Cu	200	200	400	500	800
Hg	10	10	15	20	30
Ni	100	100	470	550	700
Pb	200	200	400	1500	2500
Zn	600	600	1000	1000	3000

Πηγή: Adriano, D. Trace Elements in Terrestrial Environments.

Πίνακας 2.19. Όρια λάσπης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος (US Environmental Protection Agency Part 503)

Μέταλλα	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στη λάσπη (mg/kg)	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στη καθαρή λάσπη (mg/kg)	Μέγιστο ετήσιο φορτίο (kg/ha/gr)	Μέγιστο αθροιστικό φορτίο (kg/ha)
As	75	41	2	41
Cd	85	39	1,9	39
Cr	3000	1200	150	3000
Cu	4300	1500	75	1500
Pb	840	300	15	300
Hg	57	17	0,85	17
Mo	75	18	0,90	18
Ni	420	420	21	420
Se	100	36	5	100
Zn	7500	2800	140	2800

Πηγή: US Environmental Protection Agency (1993)

Πίνακας 2.20. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων που επιτρέπονται στα εδάφη που αποτίθενται λάσπη σε διάφορες Χώρες (mg/kg)

Χώρες	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Ευρωπαϊκή Ένωση	1-3	100-150	50-140	1-1,5	30-75	50-300	150-300
Γαλλία	2	150	100	1	50	100	300
Γερμανία	1,5	100	60	1	50	100	200
Ιταλία	3	150	100	-	50	100	300



UK	3	400	135	1	75	300	300
Δανία	0,5	30	40	0,5	15	40	100
Φιλανδία	0,5	200	100	0,2	60	60	150
Νορβηγία	1	100	50	1	30	50	150
Σουηδία	0,5	30	40	0,5	15	40	100
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	20	1500	750	8	210	150	1400

Πηγή: Alloway, B.J., 1995.

Πίνακας 2.21. Συγκεντρώσεις Cr και Ni στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών σε διάφορες χώρες (mg/kg dry weight)

Χώρες	Cr	Ni
Ηνωμένο Βασίλειο	86	37
	24-1255	15-900
Καναδάς	530	120
	100-9740	23-410
Αγγλία	250	80
	40-8800	20-5300
Ουαλία	335	94
ΗΠΑ	1290	190
	169-14000	36-562
ΗΠΑ	890	82
	10-99000	2-3520
Σουηδία	-	-
	20-40615	16-2120

Πηγή: UK DOE. *UK Sewage Sludge Survey*. Final Report. CES, Beckenham, Kent (1993).

Πίνακας 2.22. Όρια μετάλλων που περιέχονται στην λάσπη βιολογικών καθαρισμών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (mg/kg)

Μέταλλα	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις	
			Ευρωπαϊκή Ένωση	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
Ag	1	960		
As	3	10		
Cd	<1	3410	20-40	85
Co	1	260		
Cr	8	40600	600	3000
Cu	50	8000	1000-1750	4300



Hg	0,1	55	16-25	57
Mn	60	3900		
Mo	1	40		
Ni	6	5300	300-400	420
Pb	29	3600	750-1200	840
Sb	3	44		
Se	1	10		
U	<2	5		
Y	20	400		
Zn	90	49000	2500-4000	7500

Πηγές:

McGrath, S.P., Chang, A.C., Page, A.L., Witter, E., Environmental reviews 1994.

Kabata-pendias, A., Pendias, H., Trace elements in soils and plants, 2nd edition, CRC Press, Boca Ration, Fla 1992.

Webber, M.D., Kloke, A., Tjell, J.C., in Processing and Use of Sewage Sludge, eds. L'Hermite, P., Ott, J.D., Reidel, Dorchet (1984).

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ορίζεται:

A) Ιλύς

i) Η Ιλύς που προέρχεται από σταθμούς καθαρισμού που επεξεργάζονται τα οικιακά ή αστικά λύματα και από άλλους σταθμούς καθαρισμού που επεξεργάζονται λύματα των οποίων η σύνθεση είναι παρόμοια με τη σύνθεση των οικιακών ή αστικών λυμάτων.

ii) Η Ιλύς που προέρχεται από σептικούς βόθρους και άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία των λυμάτων.

iii) Η Ιλύς που προέρχεται από σταθμούς καθαρισμού μη αναφερόμενους στα σημεία i και ii.

B) Επεξεργασμένη ιλύς

Η ιλύς που έχει υποστεί βιολογική, χημική, ή θερμική κατεργασία με μακροχρόνια αποθήκευση ή με οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη επεξεργασία ώστε να έχει μειωθεί σημαντικά η ικανότητά της προς ζύμωση και ο κίνδυνος για την υγεία που προκαλεί η χρησιμοποίησή της.

Γ) Γεωργία

Κάθε καλλιέργεια προς εμπορία και διατροφή καθώς και για κτηνοτροφία, συμπεριλαμβανομένων των δασών και εν γένει δασικών εκτάσεων.

Δ) Χρησιμοποίηση

Η διασπορά της ιλύος επί του εδάφους ή οποιαδήποτε άλλη χρησιμοποίησή της πάνω και μέσα στο έδαφος.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ'έτος στα προς καλλιέργεια εδάφη, στους βοσκοτόπους και στις δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα.

Πίνακας 2.23 .Οριακές τιμές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg ξηράς ουσίας αντιπροσωπευτικού δείγματος του εδάφους με PH 6 έως 7)



Παράμετροι	Οριακές τιμές
Cd	1 έως 3
Cu	50 έως 140
Ni	30 έως 75
Pb	50 έως 300
Zn	150 έως 300
Hg	1 έως 1,5
Cr	-

Πηγή: ΦΕΚ 138/Β/24-2-65

Πρόκειμένου για τις οριακές τιμές βαρέων μετάλλων στο έδαφος μπορεί να επιτραπεί η υπέρβαση αυτών στην περίπτωση που τα εδάφη χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια προϊόντων προς εμπορία που προορίζονται αποκλειστικά για ζωοτροφές, καθώς και στην περίπτωση που το ΡΗ των εδαφών είναι σταθερά ανώτερο του 7. Σε καμιά περίπτωση οι ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις αυτών των βαρέων μετάλλων δεν πρέπει να υπερβαίνουν κατά ποσοστό ανώτερο του 50% τις παραπάνω τιμές.

Πίνακας 2.24. Οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στη γεωργία (mg/kg ξηράς ουσίας)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
Cd	20 έως 40
Cu	1000 έως 1750
Ni	300 έως 400
Pb	750 έως 1200
Zn	2500 έως 4000
Hg	16 έως 25
Cr III	500
Cr VI	10

Πηγή: ΦΕΚ 138/Β/24-2-65

Πίνακας 2.25. Οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ'έτος στα καλλιεργημένα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών (Kg/εκτάριο/έτος)

Παράμετροι	Οριακές τιμές
Cd	0,15
Cu	12
Ni	3
Pb	15
Zn	30
Hg	0,1
Cr	5

Πηγή: ΦΕΚ 138/Β/24-2-65

Προκειμένου για τις οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ'έτος στα καλλιεργημένα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών, μπορεί να επιτραπεί η υπέρβαση αυτών, στην περίπτωση που τα εδάφη προς εμπορία προϊόντα που προορίζονται αποκλειστικά για ζωοτροφές. Λαμβάνεται πάντα βέβαια μέριμνα ώστε να μην προκύψει κανένας κίνδυνος για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση της ιλύος στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- 1) Σε λειμώνες ή εκτάσεις καλλιέργειες ζωοτροφών, εφόσον οι λειμώνες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ή οι ζωοτροφές πρόκειται να συγκομισθούν πριν από την πάροδο ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Για τον καθορισμό του χρονικού αυτού διαστήματος λαμβάνεται υπόψη η γεωγραφική και κλιματολογική τους κατάσταση και δεν μπορεί να είναι κατώτερο από τρεις εβδομάδες.
- 2) Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, με εξαίρεση τις καλλιέργειες σποροφόρων δένδρων.
- 3) Σε εδάφη που προορίζονται για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών οι οποίες βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και κανονικά κατανέμονται σε νωπή κατάσταση, για περίοδο δέκα μηνών πριν τη συγκομιδή και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.

Επίσης για τη χρησιμοποίηση της ιλύος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- 1) Οι ανάγκες θρέψεως των φυτών και η αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων σε εδάφη και νερά.
- 2) Προκειμένου για εδάφη με PH χαμηλότερο του 6 μπορεί να γίνει μείωση, κατά περίπτωση, των οριακών τιμών του πίνακα 2.25.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΔΑΣΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.

3.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

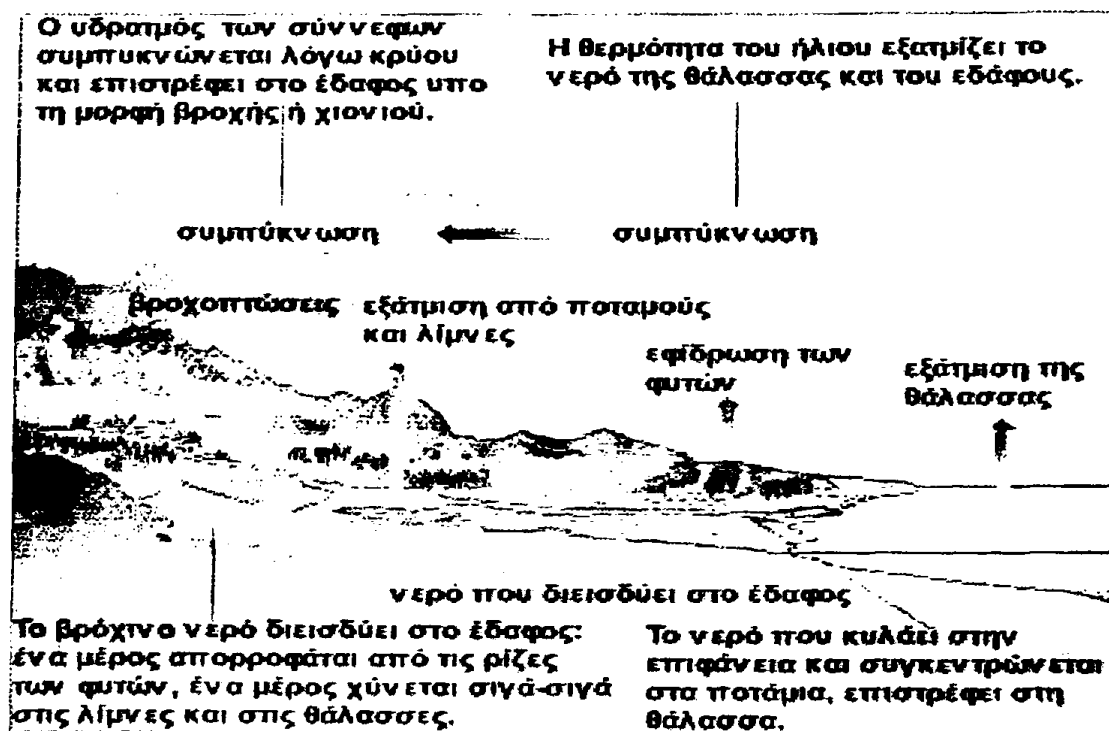
Σε όλο το σύμπαν υπάρχει ένα μόριο για το οποίο ο άνθρωπος θα μπορούσε να ψάχνει αιώνια ακόμα και στους πιο μακρινούς πλανήτες. Αυτό το μόριο μπορεί εύκολα να παρασταθεί με ένα τρίγωνο με μια γωνία 105° λόγω της ηλεκτραρνητικότητας των δύο πόλων του. Αν οι πόλοι του ήταν ισοδύναμοι τότε αυτή η γωνία θα ήταν 90° . Το μόριο του νερού έχει μια ηλεκτρική ροπή που ανακλά τις φυσικές και ηλεκτρικές του ιδιότητες. Ο τύπος του νερού μπορεί να γραφεί πολύ απλά σαν H_2O .

Το νερό είναι το πιο κοινό υλικό στην επιφάνεια της γής. Σχηματίζει την υδρόσφαιρα και ο όγκος του εκτιμάται στα 1730 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα. Ο όγκος του φρέσκου νερού κατανέμεται μεταξύ λιμνών, ποταμών και υπόγειου νερού και εκτιμάται μεταξύ 500000 και 1000000 κυβικών χιλιομέτρων. Ο όγκος των πάγων στους πόλους της γής αποτελεί 25 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα φρέσκου νερού. Ακόμη, υπάρχουν περίπου 50000 κυβικά χιλιόμετρα νερού στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή ατμού και σύννεφων (Κωτούλας, 2001).

Οι θάλασσες, οι ήπειροι και η ατμόσφαιρα όπου αποθηκεύονται μεγάλες ποσότητες νερού, δεν αποτελούν ξεχωριστούς χώρους, αλλά βρίσκονται σε μια συνεχή αλληλεπίδραση. Το νερό της Γης, ανεξάρτητα αν παρουσιάζεται με μορφή υδρατμών ή με την υγρή μορφή του βρίσκεται σε συνεχή κίνηση περνώντας από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα. Ειδικότερα το νερό της Γης διαφεύγει με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Καθώς ανέρχεται συμπυκνώνεται και επιστρέφει στη Γη με τη μορφή διαφόρων κατακρημνισμάτων, όπως βροχή, χιόνι ή χαλάζι. Όταν αυτά τα κατάκρημνίσματα φτάσουν στην επιφάνεια της Γης ένα τμήμα τους θα **εξατμιστεί άμεσα**, ένα τμήμα θα απομακρυνθεί και θα καταλήξει με **υπόγεια ή επιφανειακή απορροή** στη θάλασσα, ένα τμήμα του θα καλύψει ανθρώπινες ανάγκες και ένα τελευταίο τμήμα θα **αποθηκευτεί πάνω και κάτω από την επιφάνεια της Γης**. Στη συνέχεια το τμήμα του νερού που έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα και την επίδραση του ήλιου θα εξατμισθεί. Η κίνηση του νερού από και προς την ατμόσφαιρα είναι γνωστή ως **υδρολογικός κύκλος**. Κινητήρια δύναμη του



υδρολογικού κύκλου είναι η ηλιακή ενέργεια. Η σχέση αυτή παρίστανται με τον κύκλο του νερού στη φύση (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1. Υδρολογικός κύκλος του νερού (Κωτούλας, 2001).

Στη φύση ο κύκλος του νερού είναι ισορροπημένος. Το νερό που χάνεται με την εξατμισοδιαπνοή είναι ίσο με το νερό που επιστρέφει με τη μορφή των διαφόρων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Αυτό βέβαια ισχύει αν δούμε τη Γη σαν ολότητα, δε σημαίνει όμως ότι και βραχυπρόθεσμα υπάρχει αυτή η ισορροπία ή ότι οι βροχοπτώσεις κατανέμονται το ίδιο σε ολόκληρο τον πλανήτη. Οι κλιματολογικές συνθήκες είναι υπεύθυνες για την άνιση χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Σαν αποτέλεσμα έχουμε μία σημαντική διαφοροποίηση του ύψους και της συχνότητάς τους τόσο στη διάρκεια του έτους όσο και στις διάφορες περιοχές. Αναφορικά με την Ελλάδα, παρόλο που το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για τη χώρα δεν διαφέρει σημαντικά από το μέσο ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων του πλανήτη, είναι γνωστό ότι το δυτικό τμήμα της χώρας δέχεται ετησίως μεγαλύτερες ποσότητες νερών σε σχέση με το ανατολικό τμήμα. Αντίστοιχα η πτώση της βροχής δεν είναι ομαλή στο χρόνο με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ένα μέγιστο τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα στην περιοχή της νοτιοανατολικής Ασίας το μέγιστο της βροχόπτωσης παρατηρείται τη θερμή περίοδο του έτους (Κωτούλας, 2001);(Angelakis, 2003).

Πάνω απ' όλα όμως το νερό είναι συνώνυμο με την βιολογική ζωή. Είναι το κύριο συστατικό της έμβιας ύλης. Κατά μέσο όρο αποτελεί το 80% της σύνθεσής της. Στους υψηλότερους οργανισμούς το ποσοστό του νερού κυμαίνεται στο 60-70%.

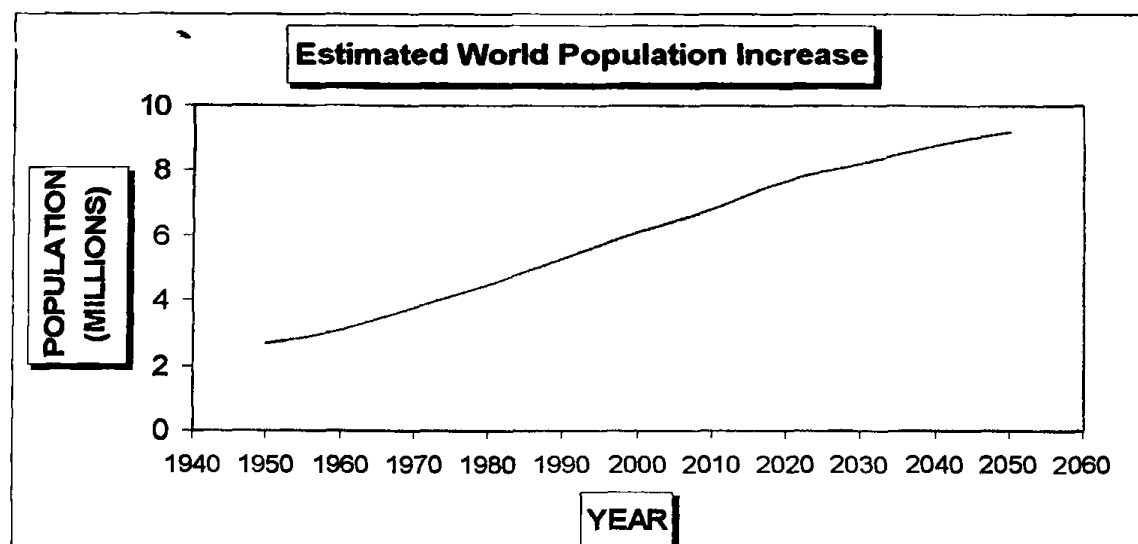
Το νερό έχει ένα ιδιαίτερο ρόλο στην ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Είναι απαραίτητο για τη διατροφή των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών.

Η προσφορά νερού (κυρίως του πόσιμου) είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που καθορίζει και κατευθύνει πολλές από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σήμερα, η παγκόσμια κατανάλωση νερού (συνυπολογίζοντας την οικιακή, βιομηχανική και αγροτική κατανάλωση) ανέρχεται στα 250 m³ ανά άτομο ανά χρόνο. Φυσικά υπάρχουν διακυμάνσεις αυτής της τιμής που κυμαίνεται από 100 m³ για τις αναπτυσσόμενες χώρες μέχρι 1500 m³ για τις ΗΠΑ. Έτσι, η παγκόσμια κατανάλωση νερού τείνει να αυξηθεί σημαντικά (Κωτούλας, 2001);(Angelakis, 2003)..

Αυτή η υπέρμετρη ανάγκη για κατανάλωση νερού καθιστά επιτακτική και την προστασία του. Πρέπει να υφίστανται επεξεργασία είτε για να παραχθεί νερό για γενική χρήση ή για ειδικές βιομηχανικές εφαρμογές ή για να περιοριστεί η έκλυση ρύπανσης στο περιβάλλον. Το νερό άρδευσης ρυπαίνεται από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που μεταβολίζονται μόνο κατά ποσοστό 20-35% και το υπόλοιπο αποβαίνει σε ρύπανση νερού και εδάφους. Αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων σε άλλες μορφές προσφοράς τους, π.χ. σε μορφές που αφομοιώνονται ποσοτικά χωρίς να ρυπαίνουν το νερό, με επιθυμητό όμως αποτέλεσμα στην παραγωγή τροφίμων, την οικονομία υλικών και στην οικονομία σε κατανάλωση ενέργειας (Angelakis, 2003)..

3.2. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΑΝ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Στην σύγχρονη εποχή, πολλές χώρες και ιδιαίτερα πολλές περιοχές της Μεσογείου αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα από την έλλειψη επαρκών ποσοτήτων νερού αλλά και ακαταλληλότητας. Τα προβλήματα αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες και αυτό εξαιτίας της εκτιμώμενης αύξησης του πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο και της ως εκ τούτου αναμενόμενης αύξησης της μέσης κατά κεφαλή χρήσης του νερού (Asano, T., 2003). Τα φαινόμενα αυτά αν συνδυαστούν με την εξαιρετικά περιορισμένη, ποσότητα γλυκού νερού στον πλανήτη μας, κάνουν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης του νερού (Τσακίρης, Γ., 1995).



Σχήμα 3.2 Εκτιμώμενη αύξηση πληθυσμού (U.S. Census Bureau, International Data Base, September 2004).

Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό σε επίπεδο Μεσογειακών χωρών αυξάνεται λόγω της επίδρασης μιας σειράς παραγόντων, όπως γεωργική χρήση, βιομηχανική κατανάλωση. Επίσης η βελτίωση της ποιότητας ζωής, η υπεράντληση του υπόγειου υδρόφωρου ορίζοντα και η τεράστια ανισοκατανομή των κατακριμνησμάτων ένεκα των κλιματολογικών αλλαγών επιβαρύνουν προσέτι την υπάρχουσα κατάσταση. Συχνά η περιορισμένη βροχόπτωση και η έλλειψη νερού εξαρτώνται από την μορφολογία του ανάγλυφου, τυπικό χαρακτηριστικό των περιοχών που έχουν ξηρά κλίματα.

Για την μείωση του ελλείμματος που παρατηρείται στην κατανάλωση του νερού μπορούν να εφαρμοστούν πολλές και διάφορες στρατηγικές μεταξύ των οποίων είναι και η μεταφορά νερού από περιοχές που το διαθέτουν σε πλεόνασμα σε περιοχές που

εμφανίζουν έλλειμμα, η εφαρμογή μεθόδων ψεκασμού των σύννεφων για την δημιουργία τεχνητής βροχής, όπως και η άντληση θαλασσινού νερού και ο καθαρισμός του από το αλάτι με την ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητάς του. Μερικές από αυτές είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν είτε για τεχνικούς είτε για καθαρά οικονομικούς λόγους (Asano, T., 2003).

Αύξηση ποσοτήτων νερού μπορεί να προέλθει από άντληση νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα για την άρδευση καλλιεργειών, για βιομηχανική χρήση και για την χρήση για λόγους υγιεινής με την προϋπόθεση να διερευνηθούν σειρά χημικών παραμέτρων και ιδιαίτερα η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (Electrical Conductivity) και του SAR (Sodium absorption ratio) .

Το νερό που προκύπτει ως αποτέλεσμα της επιφανειακής απορροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση νέων ποσοτήτων νερού για διάφορες χρήσεις. Για την πλήρη αξιοποίηση του νερού αυτού απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, κατάλληλη αποθήκευση και μεταφορά του νερού στις εκτάσεις εφαρμογής.

Ένας ακόμη τρόπος εξεύρεσης ικανών ποσοτήτων νερού είναι και η πρακτική της επαναχρησιμοποίησης υγρών αστικών λυμάτων που προκύπτουν ως εκροές από τους σταθμούς βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων στους δήμους. Οι εκροές αυτές είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, για βιομηχανική χρήση, για οικιακή χρήση, για κλιματισμό αφού πρώτα έχουν υποστεί τον κατάλληλο βαθμό επεξεργασίας ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται για την αποφυγή τυχόν κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία σε πρώτη φάση και για την προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα.

Η ασφαλής επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων μπορεί να βοηθήσει στην μείωση των αναγκών των ποσοτήτων νερού που παρατηρείται μεταξύ της ζητούμενης ποσότητας και της ήδη υπάρχουσας. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων βοηθά στην επίτευξη δύο κυρίως βασικών στόχων. Τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται σαν μια πηγή νερού με πολύ σημαντικά οφέλη και με την χρησιμοποίησή τους αυτή, αποφεύγεται η απόρριψή τους σε φυσικούς αποδέκτες, (λίμνες, ποταμούς, θάλασσες, χειμάρρους) αποφεύγοντας έτσι, την ενδεχόμενη μόλυνση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων (Asano, 1998). Βασική αρχή μιας τέτοιας πολιτικής θα πρέπει να είναι, ότι τα υγρά αστικά λύματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε χρήση απαιτηθεί, εφόσον έχουν



υποστεί τον κατάλληλο βαθμό επεξεργασίας και τηρούν τα πρότυπα ποιότητας που η χρήση αυτή απαιτεί (Ayers et al., 1985).

3.3. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ

Τα υγρά αστικά λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν α) για την άρδευση γεωργικών εκτάσεων, β) για την άρδευση τοπίων και χώρων αναψυχής, γ) για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, δ) για βιομηχανικές δραστηριότητες, ε) για την προστασία, ανάπλαση συγκεκριμένων προβληματικών περιοχών ζ) για πυροπροστασία στα αστικά κέντρα η) για εφαρμογές εντός των αστικών συγκροτημάτων (Asano, 2003), (Maeda et al., 1985).

Μια άριστη επιλογή των κατάλληλων εκτάσεων όπου τα υγρά αστικά λύματα τελικά θα χρησιμοποιηθούν προϋποθέτει την αξιοποίησή τους με εξασφάλιση κατάλληλων γεωτεχνικών κριτηρίων. Στα κριτήρια συμπεριλαμβάνονται κλιματικά και μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής όπως το ύψος των κατακρυσμνημάτων, η θερμοκρασία, ο αριθμός, η διάρκεια και η ένταση των βροχοπτώσεων, οι τιμές της εξάτμισης και διαπνοής. Γεωλογικά και υδρολογικά δεδομένα όπως υψόμετρο, ανάγλυφο, κλίση, πέτρωμα, διαπερατότητα, θέσεις συγκέντρωσης επιφανειακού νερού. Δεδομένα για τις ιδιότητες του εδάφους όπως η μηχανική σύσταση του εδάφους, η αγωγιμότητα, στοιχεία δομής, υγρασίας και πορώδους του εδάφους, η εναλλακτική ικανότητα των κατιόντων, η περιεχόμενη σε αυτό οργανική ουσία, το pH και οι συνολικές ποσότητες N και P (Kalavrouziotis et al., 2004a).

Ένας σημαντικός αριθμός χωρών ερευνούν τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των αστικών υγρών λυμάτων και ο αριθμός τους έχει αυξηθεί σημαντικά από την προηγούμενη δεκαετία. Η χρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση είναι μια αυξανόμενη πρακτική όχι μόνο σε χώρες που παρουσιάζουν έλλειμμα ύδατος όπως είναι οι χώρες της Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής και της Λατινικής Αμερικής αλλά και σε χώρες που βρίσκονται σε πιο εύκρατα κλίματα όπως είναι η Ιαπωνία, Αυστραλία, Καναδάς, Βόρεια Κίνα, Βέλγιο, Αγγλία και Γερμανία. Η σημασία της ποιότητας των υγρών λυμάτων έχει πλέον παγκοσμίως αναγνωριστεί αλλά τόσο ο τρόπος όσο και η χρήση του διαφέρει ανάλογα με την υποδομή και τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν από χώρα σε χώρα (Asano, T., 1998), (Bazza, M., 2002), (Anderson, 2002). Στον πίνακα 4.1 που

ακολουθεί παρουσιάζεται η επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών λυμάτων για την άρδευση δασικών εκτάσεων σε διάφορα μέρη του κόσμου, πλην χωρών Μεσογείου.

Πίνακας 3.1: Αναφορές επαναχρησιμοποίησης υγρών αστικών λυμάτων σταθμών σε δασικά είδη σε χώρες πλην Μεσογείου

Περιοχή επαναχρησιμοποίησης	Δασικό είδος	Τρόπος εφαρμογής και αποτελέσματα	References
Στην Πανεπιστημιούπολη του Μίτσιγκαν πραγματοποιήθηκε πείραμα που αποτελούνταν από 14 ομάδες οργανωμένες σε σειρές με φυτευτικό σύνδεσμο 1,5X2,1m. Η πρώτη ομάδα ήταν η ομάδα του μάρτυρα και αρδεύονταν με κανονικό νερό ενώ οι υπόλοιπες με αστικά υγρά λύματα.	<i>Prunus serotica</i> , <i>Junglans nigra</i> , <i>Populus deltoides</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Fraxinus americana</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Picea glauca</i>	Η επιβίωση των νεοφυτών δεν επηρεάστηκε από το επανακυλούμενο νερό. Μειωμένα ποσοστά θνησιμότητας παρουσίασαν τα <i>Populus deltoides</i> , <i>Fraxinus americana</i> , <i>Picea glauca</i> ενώ αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας τα <i>Picea abies</i> , <i>Prunus serotica</i> , <i>Junglans nigra</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> . Η <i>Pinus sylvestris</i> δεν επηρεάστηκε από την άρδευση. Η άρδευση προκάλεσε σημαντική αύξηση στα <i>Populus deltoides</i> , <i>Fraxinus americana</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> , <i>Junglans nigra</i> . Το ύψος και η διάμετρος των <i>Prunus serotica</i> και <i>Quercus rubra</i> μειώθηκε. Άριστη απόκριση στο επανακυλούμενο νερό είχαν τα γένη <i>Populus</i> και <i>Fraxinus</i> . Τα αρδεύόμενα με επανακυλούμενο νερό είχαν στους ιστούς τους μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά της ομάδας του μάρτυρα. Η <i>Populus deltoides</i> κρίνεται το καλύτερο φυτό ως προς όλους τους παράγοντες που μελετήθηκαν.	Brockway, G. D. (1980).
Στις περιοχές Horsham, Merbein, Mildura και Robinvale στην Αυστραλία μονοετή φυτάρια φυτεύτηκαν στις περιοχές αυτές και αρδεύονταν με υγρά αστικά λύματα. Ο φυτευτικός σύνδεσμος ήταν 1,5X3 m.	<i>Eucalyptus botryoides</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> Labill, <i>Eucalyptus glandis</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus robusta</i> , <i>Eucalyptus muelleriana</i> , <i>Eucalyptus maculata</i> Hook, <i>Casuarina cunninghamiana</i> <i>Pinus elliotii</i> Engelm, <i>Araucaria cunninghamii</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν τη μεγάλη θνησιμότητα των <i>Eucalyptus muelleriana</i> , <i>Araucaria cunninghamii</i> , <i>Pinus elliotii</i> Engelm στην περιοχή Mildura. Ο <i>Eucalyptus saligna</i> είχε επίσης μικρή επιβίωση. Η αύξηση των <i>Pinus Elliotii</i> Engelm, <i>Araucaria cunninghamii</i> και <i>Eucalyptus muelleriana</i> ήταν 50 (cm/yr) ενώ του <i>Eucalyptus robusta</i> 1 (cm/yr). Το ύψος των φυτών ήταν μεγαλύτερο στην περιοχή Mildura ακολουθούμενη από τις Horsham και Merbein. Η αύξηση στην περιοχή Robinvale ήταν μεγαλύτερη από την περιοχή Horsham και ίση με αυτή της Merbein. Ο <i>Eucalyptus saligna</i> εμφάνισε προβλήματα από την ολατότητα. Τα είδη <i>Pinus elliotii</i> Engelm, <i>Araucaria cunninghamii</i> , <i>Eucalyptus muelleriana</i> κρίθηκαν ακατάλληλα για άρδευση με υγρά αστικά λύματα ενώ τα πλέον επιτυχή ήταν τα <i>Eucalyptus glandis</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> Labill, <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus botryoides</i> και <i>Casuarina cunninghamiana</i> .	Steward, H.T.L., and Flinn, D.W. (1984).



Σε πειραματική εμφάνεια στην περιοχή Neeri στην Ινδία πραγματοποιήθηκε φύτευση δασικών ειδών σε ομάδες με πέντε χειρισμούς: με χρήση αστικού λύματος, λύματος διαλυμένου σε νερό σε αναλογία 1:1, λύματος προερχόμενου από δεξαμενές οξείδωσης, λάσπης πρωτογενούς κατεργασίας και τέλος με Control νερό άρδευσης.	<i>Tectona grandis</i> , <i>Bambusa sp.</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Gmelina arborea</i> , <i>Ciselpinnae ciperia</i>	Η <i>Leucaena leucocephala</i> στο χειρισμό με τη λάσπη παρουσίασε σημαντική αύξηση, ενώ η <i>Leucaena leucocephala</i> και η <i>Ciselpinnae ciperia</i> παρουσίασαν σημαντική αύξηση στο χειρισμό με το αστικό λύμα. Το <i>Ciselpinnae ciperia</i> είχε παρόμοια αύξηση με αυτή του χειρισμού με το κανονικό νερό στους άλλους χειρισμούς ενώ μικρότερη σε αυτόν με τη λάσπη. Το <i>Tectona grandis</i> είχε σημαντική αύξηση στο χειρισμό με τη διαλυμένη λάσπη, όπως και το <i>Gmelina arborea</i> στο χειρισμό με το λύμα αλλά όχι στατιστικά σημαντικά. Στο χειρισμό με τη λάσπη τα φυτά είχαν σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό φύλλων. Γενικώς η χρήση λύματος και λάσπης δεν είχαν κανένα σημαντικό επιπρόσθετο αποτέλεσμα.	Chakrabarti, C., and Nashikkar, V.J. (1994).
Σε περιαστικές δασικές περιοχές στις μεγάλες πόλεις της Κίνας όπως Πεκίνο, Σαγκάι και Ταϊβάν ορισμένη ποσότητα λάσπης βιολογικών σταθμών αναμιγνύεται με το επιφανειακό έδαφος όπου αναπτύσσονται δασικά είδη.	<i>Populus sp.</i> , <i>Pinus sp.</i> , <i>Arborvitae sp.</i> , <i>Paulownia sp.</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Paeonia suffruticosa</i>	Ένα χρόνο αργότερα η διάμετρος και το ύψος του <i>Pinus sp.</i> της <i>Populus sp.</i> και της <i>Paulownia sp.</i> αυξήθηκαν κατά 1,092-1,412 φορές σε σχέση με την ομάδα του μάρτυρα που παρουσίασε αύξηση 1,056-1,206 φορές. Ενάμιση χρόνο αργότερα η αύξηση ήταν ανώλογη με την ποσότητα της λάσπης που χρησιμοποιήθηκε. Το συνολικό άζωτο, ο φώσφορος, η οργανική ουσία και η ενολλακτική ικανότητα του εδάφους εμφάνισαν πολύ μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με το έδαφος που δεν εφαρμόστηκε λάσπη. Επίσης η πυκνότητα, το πορώδες, η δομή και η ικανότητα συγκράτησης νερού του εδάφους ήταν σημαντικά βελτιωμένες.	Min-Jian Wang. (1996).
Σε περιοχή 4 Km βόρεια της πόλης Hologuole στην εσωτερική Μογγολία μελετήθηκε η ανάπτυξη δασικών ειδών που αρδεύονταν με γιρά λύματα.	<i>Larix principis rupprechtii</i> Mayr., <i>Pinus sylvestris var. Mongolica Litv.</i> , <i>Populus xoeichenesis</i>	Ο χειρισμός με το νερό πρωτογενούς κατεργασίας υστερούσε. Η <i>Populus xoeichenesis</i> είχε κατά μέσο όρο μεγαλύτερη αύξηση 0,5-1,2 m και η <i>Larix principis rupprechtii</i> Mayr. 0,1-0,2 m αντίστοιχα.	Ziqing, O. et al, (1997).
Στην περιοχή κοντά στο βάλτο Futian στην Κίνα σε	<i>Kandelia candel</i>	Η προσθήκη υγρών αστικών λυμάτων αύξησε τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος χωρίς να δημιουργηθεί κορεσμός. Τα	Tam, N.F.Y., and Wong, Y.S., (1997).

συνθήκες φυτωρίου και παρόμοιες με το φυσικό περιβάλλον, 15 φυτά φυτεύτηκαν και αρδεύονταν για ένα χρόνο με υγρά αστικά λύματα και με νερά εμπλουτισμένα με 5 και 10 φορές περισσότερες τις συγκεντρώσεις, σε μέταλλα και οργανικό φορτίο.		φυτά είχαν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στη μάζα τους, διαφορετικές μεταξύ των χειρισμών. Τα μεγαλύτερα ποσοστά των μετάλλων βρέθηκαν στις ρίζες των φυτών. Τα μέταλλα στα φυτά ακολουθούσαν τη σειρά $Zn > Ni > Cd > Pb$. Οι συγκεντρώσεις μετάλλων ήταν μεγαλύτερες στα φυτά από το έδαφος. Το χαμηλό PH αύξησε τη διαλυτότητα των μετάλλων και βοήθησε στην πρόσληψή τους από τα φυτά.	
Σε περιοχή του Πανεπιστημίου στο New Hampshire δώδεκα τεμάχια διαστάσεων 25X25 m εμπλουτίστηκαν με λάσπη βιολογικού σταθμού με ποσότητες ολικού αζώτου από 200-800 kg/ha. Τα φυτά ήταν τα ενδημικά της περιοχής. Τρία από τα δώδεκα τεμάχια αποτελούσαν τα τεμάχια του μάρτυρα.	<i>Fagus grandifolia L.</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα τεμάχια με μικρές ποσότητες λάσπης είχαν μικρή ποσότητα αμμωνιακού αζώτου από αυτή του μάρτυρα. Υπήρξε σημαντική αύξηση του N στα φύλλα στην πρώτη αυξητική περίοδο, όχι όμως και τη δεύτερη. Η λάσπη αύξησε σημαντικά την ποσότητα N του εδάφους στα πρώτα 15 cm.	Hallett, R. A. Bowden, W.B., Smith, C.T., (1998).
Στην περιοχή St. Martin Parish της Λουιζιάνα δύο δειγματοληπτικές επιφάνειες επιλέχτηκαν, όπου για χρόνια αρδεύονταν με υγρά αστικά λύματα της πόλης Beaux Bridge. Από τις επιφάνειες αυτές τρυπανίδια από τα δένδρα πάρθηκαν και μελετήθηκαν.	<i>Taxodium distichum</i>	Τα αποτελέσματα από την μελέτη και την ανάλυση των δειγμάτων έδειξαν ότι η μέση ετήσια αύξηση των δένδρων που αρδεύονταν με τα λύματα ήταν μεγαλύτερη από αυτά του μάρτυρα. Η αύξηση της διαμέτρου ελαφρώς μειωνόταν με την ηλικία, ενώ η μέση αύξηση της κυκλικής επιφάνειας ελαφρώς αυξάνεται. Γενικά η άρδευση με επανακτούμενα υγρά αστικά λύματα επέδρασε θετικά αν και η περίσσεια νερού γενικότερα επιδρά αρνητικά στην αύξηση του <i>Taxodium distichum</i> .	Hesse, D.I. et al., (1998).
Στην Νότια Σουηδία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποίηση	<i>Salix sp.</i>	Εφαρμογή σε ποσότητα νερού μεγαλύτερη από 20 mm/d εμφάνισε τριπλασιασμό της αύξησης, ενώ το νερό δευτερογενούς καταργασίας εμφάνισε μεγαλύτερη αύξηση από το νερό πρωτογενούς	Hasselgren, K. (2000).

επανακυμμένου νερού, λάσπης και διασταλαζόντων υγρών σε φυτεία λευκής με σκοπό τη σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας.	Σε εδαφικά υποβαθμισμένη έκταση στο ανατολικό Montreal του Καναδά πραγματοποιήθηκε πειραματικός σχεδιασμός που αποτελείτο από τέσσερα τμήματα διαστάσεων 30Χ33m μέσα στα οποία φυτεύτηκαν το <i>Salix</i> sp. Τα δένδρα φυτεύτηκαν σε 5 σειρές των 20 φυτών. Το επαφανειακό έδαφος εμπλουτίστηκε με τειμαχίδια ξύλου και με λάσπη βιολογικών σταθμών επεξεργασίας λυμάτων συνεχούς ανξάνοιμης περιεκτικότητας σε άζωτο. Μετρήσεις του ύψους των φυτών και δείγματα ιστών και εδάφους πάρθηκαν και αναλύθηκαν.	Ανατολικό Montreal, Καναδά	κατεργασίας. Εφαρμογή 6 mm/d νερού καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία των φυτών με εξαίρεση το Κ. Εφαρμογή 20 ton λάσπης/ha δεν προκαλεί αρνητικές συνέπειες στα φυτά. Η εφαρμογή πρέπει να γίνεται την Άνοιξη για τα πολυετή και μετά τη συγκομιδή για τα μονοετή φυτά.	
		<i>Acer sacharrinum</i> L., <i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh, <i>Salix discolor</i> Muhl.	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επιβίωση του <i>Acer sacharrinum</i> L. και <i>Fraxinus pennsylvanica</i> ήταν 96 και 99 % αντίστοιχα. Η επιβίωση της <i>Salix</i> sp. ήταν 70 και μειώθηκε στο 57 % στο δεύτερο χρόνο. Το δεύτερο χρόνο η αύξηση ύψους του <i>Acer sacharrinum</i> L. έφτασε το 35 % και του <i>Fraxinus pennsylvanica</i> 33 %. Η αύξηση διαμέτρου ήταν 93 και 100 % για τα δύο προηγούμενα είδη. Η αύξηση ύψους της <i>Salix</i> sp. έφτασε το 86 %. Η ποσότητα αζώτου και φωσφόρου στα φύλλα των φυτών ήταν ανάλογη με την ποσότητα της λάσπης που προστέθηκε. Η προσθήκη μικρής ποσότητας λάσπης επιδρά ευνοϊκά ενώ μεγαλύτερες ποσότητες επιδρούν αρνητικά στα φυτά.	Cogliastro, A., and Gerald, D., (2001).
Στην περιοχή Upper-Saint Laurent, στο νότιο Quebec του Καναδά φυτά φυτεύτηκαν σε τρεις τοποθεσίες, δύο αργιλώδεις και 1 μία αμμώδης εμπλουτισμένες με διαφορετικές ποσότητες		<i>Salix viminalis</i> L., <i>Salix discolor</i> Muhl.	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η <i>Salix viminalis</i> L., είχε μεγαλύτερη αύξηση από την <i>Salix discolor</i> Muhl. Η προσθήκη λάσπης προκάλεσε σημαντική αύξηση διαμέτρου των φυτών καθώς και υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου. Στο αμμώδες έδαφος η προσθήκη λάσπης δεν βοήθησε τόσο την αύξηση όσο στο αργιλώδες. Το πιο παραγωγικό είδος ήταν η <i>Salix viminalis</i> L. Μικρότερη ήταν η παραγωγικότητα στους χειρισμούς χωρίς τη λάσπη.	Labracque, M., and Teodorescu, I.T., (2001).

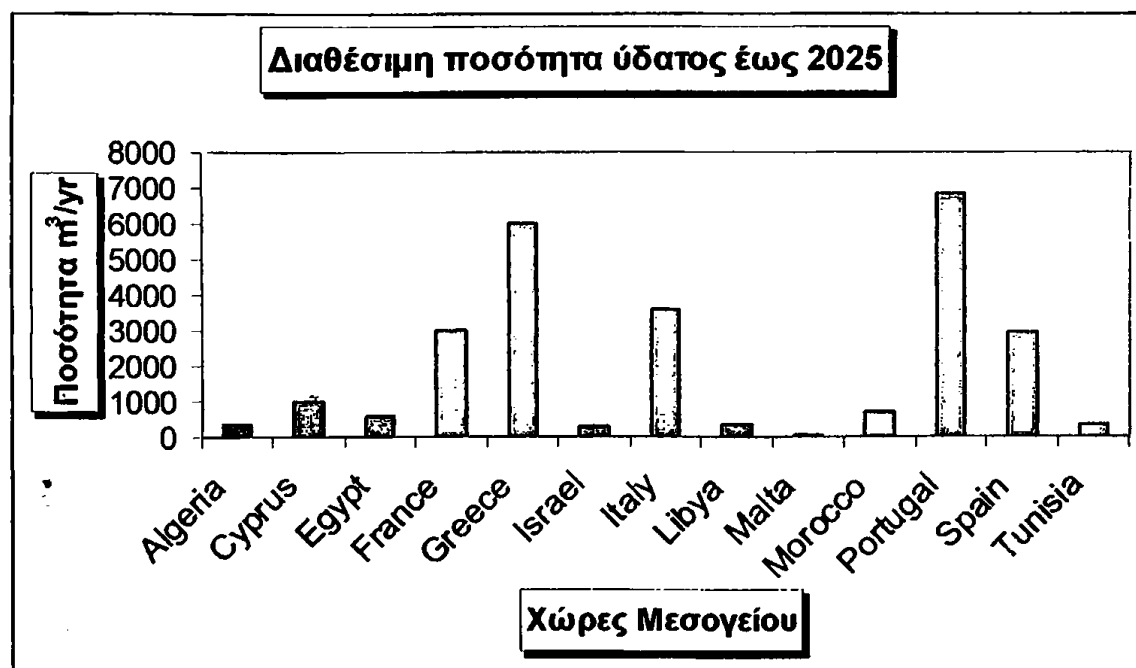
λάσπης βιολογικού σταθμού επεξεργασίας λυμάτων.			
Ποσότητα 20 t/ha λάσπης βιολογικού σταθμού εφαρμόστηκε σε 4 τοποθεσίες (Brosarp, Jdraas, Vindeln και Jukkasjarvi) στην Σουηδία σε εκτάσεις του Pinus sylvestris, ηλικίας 50-60 ετών και ακολούθησε μελέτη των συγκεντρώσεων διαφόρων μακροστοιχείων πριν και μετά την προσθήκη τόσο στο έδαφος όσο και στα δένδρα.	<i>Pinus sylvestris L.</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις N, Ca, Mg και Na στις τοποθεσίες που υπήρχε λάσπη στα πρώτα 10 cm του εδάφους. Η συγκέντρωση του P επίσης αυξήθηκε. Η συγκέντρωση του K παρουσίασε μεγάλη αύξηση. Το Mg αυξήθηκε αρχικά και μειώθηκε στη συνέχεια στις βελόνες καθώς υπήρχε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας λάσπης που εφαρμόστηκε. Γενικά υπήρχε συσχέτιση μεταξύ της λάσπης που προστέθηκε και των συγκεντρώσεων των στοιχείων στις βελόνες των πεύκων.	Bramm, T., (2002).
Σε περιοχή Ojinaga, Chihuahua στο Μεξικό φυτά φυτεύτηκαν με φυτευτικό σύνδεσμο 2X2 σε τεμάχια των επτά σειρών και αρδεύονταν με υγρά αστικά λύματα από 1-1,36 φορές περισσότερο από την απαιτούμενη ποσότητα νερού του μάρτυρα.	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Populus sp.</i> , <i>Robinia sp.</i>	Γενικά τα φυτά είχαν πολύ καλή αύξηση εκτός από αυτά που καταστράφηκαν από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Τα δένδρα αργότερα είχαν μια καλή αύξηση ύψους και διαμέτρου. Τόσο στη διάμετρο όσο και στο ύψος υπήρχαν μικρές διαφορές μεταξύ των δένδρων. Γενικά το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε προέβλεπε σωστά τις τιμές που πραγματικά βρέθηκαν.	Al-Jamal, M.S., et al., (2002).
Στην περιοχή Bromolla και Kagerod στη Σουηδία πραγματοποιήθηκε φύτευση των φυτών με μοσχεύματα σε σειρές με αποστάσεις 0,75-1,5 m μεταξύ των σειρών και 0,5-0,6 m μεταξύ των φυτών της σειράς. Η άρδευση στη Bromolla γινόταν με νερό προερχόμενο	<i>Salix viminalis L.</i> , <i>Salix dasyclados</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση των βλαστών κοντά στους εκτοξευτήρες άρδευσης ήταν μεγαλύτερη από αυτή των βλαστών που ήταν μακρύτερα από αυτούς. Στην περιοχή Kagerod το ξηρό βάρος των βλαστών τόσο κοντά όσο και μακριά από τους εκτοξευτήρες πολύ μικρή διαφορά παρουσίασαν. Γενικά η εφαρμογή επαναχρησιμοποιούμενου λύματος θητικά επέδρασε στην αύξηση των βλαστών κατά μήκος των σειρών περισσότερο από ότι κατά πλάτος. Οι βλαστοί που απείχαν 1-2m από τους εκτοξευτήρες μεγάλωσαν 4 φορές γρηγορότερα από αυτούς που βρίσκονταν 5m ή και μακρύτερα.	Aronsson, P., et al., (2002).

από τριτογενή κατεργασία και στο Kagerod από τον τοπικό βιολογικό σταθμό				
Σε περιοχή 3 Km νότια της πόλης Guyla στη Ν. Ουγγαρία εγκαταστάθηκε φυτεία που αρδεύονταν με υγρά αστικά λύματα.	<i>Populus euramericana</i> <i>Populus robusta</i> <i>Populus sp.</i>	Η αύξηση των φυτών ήταν μεγάλη και γρήγορη. Η παραγωγή βιομάζας ήταν περίπου ίδια με τα δένδρα του μάρτυρα. Η αύξηση των δένδρων με τα λύματα ήταν 4-7 φορές μεγαλύτερη από ότι του μάρτυρα.	Vermees, L., (2002).	
Σε περιοχή της Upsala στη Σουηδία φυτά φυτεύθηκαν σε οκτώ λυσιμέτρα από τα οποία το ένα ξενόφι αρδεύονταν με υγρό αστικό επεξεργασμένο λύμα, ενώ τα άλλα δύο ξενόφι αρδεύονταν με νερό που περιείχε την ίδια ποσότητα αζώτου με το υγρό επεξεργασμένο λύμα. Τα μισά λυσιμέτρα περιείχαν άργιλο και τα άλλα μισά άμμο.	<i>Salix viminalis</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φυτά στα λυσιμέτρα με την άργιλο είχαν μεγαλύτερη αύξηση από αυτά με την άμμο με αποτέλεσμα και η παραγωγή ξύλου να είναι διπλάσια στα λυσιμέτρα με την άργιλο. Υψηλότερες συγκεντρώσεις αιμμωνιακού αζώτου παρατηρήθηκαν στα λυσιμέτρα με την άργιλο. Οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα ήταν περίπου ίδιες με αυτές του αζώτου. Τα φυτά δεν υπέφεραν από τις υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου ή αιμμωνίας. Η παραγωγή ξύλου ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς με τα θρεπτικά στοιχεία απ' ότι στους χειρισμούς με το υγρό αστικό λύμα αλλά με την άμμο το αντίθετο ακριβώς παρατηρήθηκε.	Dimitriou, I., and Aronsson, P., (2003).	
Στην περιοχή του Rabbit Island, κοντά στην πόλη Nelson στη Νέα Ζηλανδία λάσπη βιολογικού σταθμού χρησιμοποιήθηκε σε φυτεία 1000 ha. Το πείραμα περιελάμβανε την ομάδα ελέγχου, χειρισμό με λάσπη που περιείχε 300 kg/ha N και λάσπη με 600 kg/ha N.	<i>Pinus radiata</i>	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λάσπη είχε σαν αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση διαμέτρου και κυκλικής επιφάνειας και όγκου αλλά σημαντικά και όχι πολύ μεγαλύτερη αύξηση σε ύψος. Οι χειρισμοί με τη λάσπη είχαν σημαντική μεγαλύτερη αύξηση διαμέτρου από την ομάδα ελέγχου. Η θνησιμότητα ήταν αμελητέα. Η χρήση λάσπης οδήγησε σε ίδια τιμή αύξησης με την ομάδα ελέγχου σε πολύ μικρότερο όμως χρονικό διάστημα. Γενικά η χρήση λάσπης μπορεί να έχει σημαντικό οικονομικό όφελος.	Kimberley, O.M., et al., (2003)	

3.4. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΔΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Στα μεσογειακά περιβάλλοντα η μη ομοιόμορφη κατανομή των κατακρημνισμάτων επιβάλλουν την κατασκευή πολυδάπανων κατασκευών για την αποθήκευση και την διατήρηση του νερού και την χρησιμοποίησή του ιδιαίτερα το θερινούς μήνες για την κάλυψη των υδατικών αναγκών. Επίσης το έντονο ανάγλυφο της περιοχής επιδρά στην έλλειψη νερού ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές όπου το πρόβλημα της έλλειψης είναι ακόμα εντονότερο. Στις περιοχές αυτές μια έρευνα-μελέτη για την επανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων επιβάλλεται αφού εάν κάτι τέτοιο τελικά επιτευχθεί, η μόλυνση που προκαλείται από την απόρριψη των υδάτων θα μειωθεί, μεγάλες ποσότητες ύδατος θα προκύψουν για διάφορες χρήσεις και τέλος ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες καθαρού και πόσιμου νερού θα εξοικονομηθούν.

Σήμερα στην περιοχή της Μεσογείου η ανάγκη για νερό άρδευσης είναι πάρα πολύ μεγάλη αφού μόνο το 30 % αυτής αρδεύεται. Η χρήση λοιπόν των υγρών αστικών λυμάτων "αντικαθιστά" κατά κάποιο τρόπο την λίπανση, αυξάνει την διαθέσιμη ποσότητα του ύδατος που διατίθεται στη γεωργία και τέλος μπορεί να εξαλείψει την ακριβή ως μέθοδο εφαρμογής τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων. Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι διαθέσιμες ποσότητες νερού των χωρών της Μεσογείου έως το 2025 (UN Population Division, 1994).



Σχήμα 3.3. Διαθέσιμη ποσότητα ύδατος των χωρών της Μεσογείου

Συνεχώς και η μια μετά την άλλη οι Μεσογειακές Χώρες υιοθετούν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων, εξαιτίας της σημαντικής έλλειψης καθαρού ύδατος που εμφανίζουν, για άρδευση δασικών κυρίως εκτάσεων, φυτειών δένδρων, τοπίων, γηπέδων γκόλφ, πάρκων και χώρων ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και πρασίνου (Bazza, 2002); (Ogon, 2002); (Lazarova et al, 2001).

3.4.1. ΑΛΓΕΡΙΑ

Στην Αλγερία ο όγκος των υγρών αστικών λυμάτων το 1985 ήταν περίπου 660 Mm³ και αναμένεται να φτάσει σε 1,5 Mm³ το 2010 από 15 περίπου εγκαταστάσεις επεξεργασίας ενώ αρχικά προγραμματίζεται η άρδευση 2000 Ha, από τα οποία 7,5 Ha θα χρησιμοποιηθούν για πειραματικές καλλιέργειες. Στην Αλγερία δεν υπάρχουν σαφείς οδηγίες για την χρήση των λυμάτων μέχρι σήμερα (Angelakis et al., 1998); (Hamoda, 2004). Οι υπάρχοντες νόμοι απαγορεύουν την απευθείας χρησιμοποίηση ακατέργαστων υγρών αστικών λυμάτων καθώς και επεξεργασμένων για την άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται ως έχουν, αλλά επιτρέπεται η χρησιμοποίησή τους για την δημιουργία ζωοτροφών και άρδευση δασικών δένδρων. Οι αρχές της Αλγερίας επιβλέπουν ένα πρόγραμμα που ως σκοπό έχει την επισκευή 28 βιολογικών σταθμών επεξεργασίας λυμάτων, την κατασκευή καινούριων εγκαταστάσεων καθώς και την κατασκευή δεξαμενών σταθεροποίησης. Για την επιτυχία του εγχειρήματος ο συνεχής έλεγχος σε συνδυασμό με τη συνεχή αξιολόγηση είναι απαραίτητα, για την επιβίωση των υπάρχοντων πηγών νερού και την προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα.

3.4.2. ΑΙΓΥΠΤΟΣ

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων στην Αίγυπτο, είναι μια εναλλακτική μέθοδος στην εξεύρεση νέων πηγών ύδατος, αφού η παραγόμενη ποσότητά τους εκτιμάται περίπου στα 4930 εκατομμύρια m³/έτος και προέρχεται κυρίως από τις μεγαλουπόλεις όπως το Κάιρο και την Αλεξάνδρεια. Η συνολική παραγωγή είναι περίπου 1752 δισεκατομμύρια m³/yr (FAO, 2000). Η άρδευση με υγρά αστικά λύματα ήταν κάτι γνωστό και εφαρμόσιμο από το 1900. Σήμερα η άρδευόμενη έκταση αγγίζει τα 4200 Ha. Η χώρα αρχικά δεν διαθέτει πρότυπα για την χρησιμοποίηση του απόβλητου ύδατος γεγονός που είχε σαν αποτέλεσμα την



δημοσιεύει πολλά απόβλητα υγείας που κατακλύζουν. Πιθανότατα είναι
τινόνται για τη χρήση των υγρών αποτικών λιπών στην καλλωπική βιοτεχνική
(Angelakis et al., 1998); (Bazza, 2002). Η μεταφορά των αλκοολικών και οξικών
την απορροφητικότητα των υγρών αποτικών λιπών είναι πολύ περιορισμένη στη
μερίτη γεγονός που συμβάλλει στη μείωση απορρόφησης και απορρόφηση (Sikali, 2001);
(Bazza, 2001).

3.4.3. ΜΑΡΟΚΚΟ

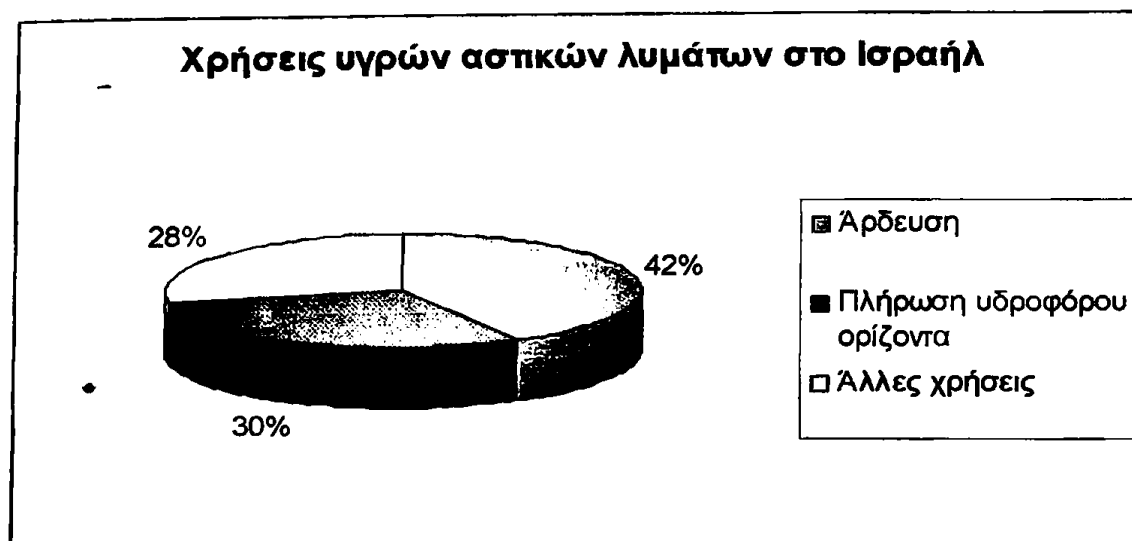
Το Μαρρόκο είναι χώρα με ημιόριστη χώρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών
υγρών αποτικών λιπών υπολογίζονται σε 380 Min^3 έως το 1998, 500 Min^3 ως το
2000 και αναμένεται να φθάσουν τα 700 Min^3 ως το 2020. Το 38 % των υγρών
λιπών πηγαίνει στη βιολογία και το 42% σε καλλωπική. Παρά το γεγονός ότι τα
υγρά αποτικά λιπώδη θεωρούνται από μια σημαντική πηγή μόχθου η χρησιμοποίησή
τους δεν θα υπερβεί το 42 % στο μέλλον (El Atti and Rezzi, 2002).
Ορισμένες ποσότητες χρησιμοποιούνται για κρέμα γυμναστικής γυμναστικής και γυμναστικής
και για καλλωπική βιοτεχνική. Το Μαρρόκο δεν έχει ακόμη συγκεκριμένες
κανονιστικές χρησιμοποίησε των υγρών αποτικών λιπών και χρησιμοποιεί αυτές
του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ((Angelakis et al., 1998); (Bazza, 2002);
(Hamada, 2004); (Gammali et al., 2002).

3.4.4. ΙΣΡΑΗΛ

Στο Ισραήλ, το 92 % των υγρών λιπών πηγαίνει στην καλλωπική. Έχουν καθιερωθεί
κρίσιμα για τη χρήση του νερού. Το σχετικά χαμηλό κόστος απόκτησης των υγρών
λιπών σε συνδυασμό με την ελάττωση του κόστους νερού από τους ενδοκρινείς
και την ανάγκη για το περιβάλλον αποτελούν τις σημαντικότερες δυνάμεις που
επηρεάζουν την όλο και αυξανόμενη χρησιμοποίησή του ((Angelakis et al., 1998);
(Bazza, 2002); (Sikali, 2002).

Στο σχήμα 3-4 φαίνεται οι χρήσεις των υγρών αποτικών λιπών στο Ισραήλ.
(Angelakis et al., 1998).





Σχήμα 3.4. Χρήσεις υγρών αστικών λυμάτων στο Ισραήλ

3.4.5. ΛΙΒΥΗ

Στη Λιβύη η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων άρχισε από το 1971 και σήμερα στην περιοχή Hadba El Khadra, 5 Km από την Τρίπολη αρδεύονται 230 Ha με φυτικά είδη που χρησιμοποιούνται σαν ανεμοθραύστες και συγκράτησης αμμόλοφων (Angelakis et al., 1998).

3.4.6. ΤΥΝΗΣΙΑ

Στην Τυνησία από το 1991, οι 24 βιολογικοί σταθμοί καθαρισμού των υγρών αστικών λυμάτων παράγουν 95 Mm^3 νερού, ποσότητα που έφτασε τα 147 Mm^3 το 1996 και αναμένεται να φτάσει τα 210 Mm^3 το 2011. Η ποσότητα των υγρών αστικών λυμάτων αναμένεται να φτάσει τα 290 Mm^3 το 2020. Τότε η ποσότητα θα αγγίζει το 18 % αυτής που προέρχεται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και θα χρησιμοποιείται για άρδευση περιοχών όπου η υπερβολική μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα προκαλεί διείσδυση θαλασσινού νερού σε αυτόν (Bahri, 2001). Η περιοχή που αρδεύεται με τα υγρά απόβλητα είναι περίπου 6600 Ha και αναμένεται να φτάσει τα 20000 Ha το 2000. Τα υγρά αστικά λύματα χρησιμοποιούνται για την άρδευση σπρωφοφόρων δένδρων και την άρδευση, σε διάφορες περιοχές, γηπέδων γκόλφ. Στην Τυνησία διάταγμα του 1989 ορίζει τη χρήση των υγρών αστικών λυμάτων και επιβάλλει φυσικοχημικό έλεγχο των παραμέτρων της ποιότητας του

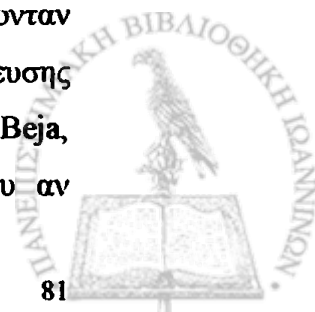
νερού μια φορά το μήνα, ιχνοστοιχείων κάθε έξη μήνες και μικροβιολογικών φορτίων κάθε δύο εβδομάδες. Επίσης το διάταγμα απαγορεύει την άμεση βόσκηση σε εκτάσεις που αρδεύονται με υγρά αστικά λύματα (Angelakis et al., 1998); (Bazza, M., 2002); (Bahri et al., 2002); (Bahri et al., 1998).

3.4.7. ΓΑΛΛΙΑ

Η Γαλλία έχει υγρό κλίμα και ένα πολύ καλά κατανεμημένο υδρογραφικό δίκτυο από το οποίο επιτυγχάνεται η αξιοποίηση του νερού με αποτέλεσμα να μην καθίστανται απόλυτα αναγκαίο για τη χώρα αυτή η επανάκτηση των εκροών. Παρόλα αυτά όμως η χρήση του νερού αυτού είναι αρκετά διαδεδομένη σε πολλά μέρη κυρίως στα νότια της χώρας. Από το 1991 οι Υγειονομικές αρχές στη Γαλλία έχουν εκδώσει οδηγίες για τη σωστή χρήση του νερού στις οποίες λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές ιδιαίτερες συνθήκες και οι απαραίτητοι περιορισμοί για την προστασία της υγείας. Γενικά δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση από αυτές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Angelakis et al., 1998); (Bontoux et al., 2002). Τον Φεβρουάριο του 1996 η οργάνωση η υπεύθυνη για την διαχείριση του νερού εξέδωσε συστάσεις σχετικές με την ασφαλή χρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων, συστάσεις που εναρμονίζονται με τις γαλλικές οδηγίες για ασφαλή χρησιμοποίηση. Οι οδηγίες αυτές βρίσκονται υπό αναθεώρηση (Angelakis et al., 2003). Μέχρι τώρα ορισμένες χρήσεις με τα υγρά αστικά λύματα ήδη εφαρμόζονται όπως είναι η άρδευση 3000 ha γής που περιλαμβάνει καλλιέργειες, φυτείες και δάση με δασικές εκτάσεις, βοσκότοπους και γήπεδα γκόλφ. Η συνεχής βελτίωση βέβαια των τεχνικών καθαρισμού των υγρών αστικών λυμάτων οδηγεί και στην χρησιμοποίησή τους για διάφορες οικιακές χρήσεις (Καθάρισμα, καζανάκια τουαλέτας κτλ.).

3.4.8. ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ

Μέχρι το 1974 η χρησιμοποίηση των επανακτώμενων υγρών αστικών λυμάτων ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτη στην Πορτογαλία. Η προσπάθεια ξεκίνησε από το 1992 και η ποσότητα του επανακτώμενου ύδατος δευτερογενούς επεξεργασίας ανέρχονταν σε 580 Mm³ το 2000, αρκετή για την κάλυψη του 10 % των αναγκών άρδευσης καλλιεργειών και γηπέδων γκόλφ, σε περιοχές ξηρές όπως αυτές των Faro, Beja, Evora, Setubal, Santarem και Lisboa, χωρίς αποθήκευση του ύδατος, που αν



συνέβαινε το νερό θα ήταν αρκετό για την άρδευση 35000 έως 100000 Ha. Τα υγρά αστικά λύματα ύστερα από δευτερογενή κατεργασία χρησιμοποιούνται για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και γηπέδων γκολφ. Μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων κοντά στη Λισαβόνα σχεδιάζει την άρδευση 1000 ha με υγρά αστικά λύματα τριτογενούς επεξεργασίας (Marecos do Monte et al, 1996). Πολλές μελέτες και έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στη χώρα για τα επανακτούμενα υγρά αστικά λύματα οι οποίες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η άρδευση ήταν κατάλληλη για τα καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και για τις ανεκτικές στην αλατότητα συγκομιδές και ακατάλληλη για τις ευαίσθητες (Angelakis et al., 1998); (Bazza, M., 2002).

3.4.9. ΙΣΠΑΝΙΑ

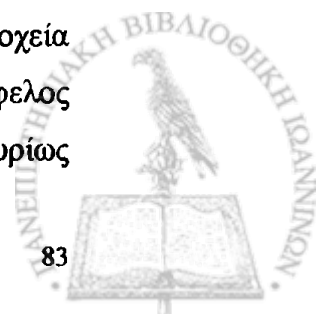
Στην Ισπανία τα υγρά αστικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την άρδευση τοπίων, αποκατάσταση υδροβιότοπων, για την πυρόσβεση και γενικά για πλύσιμο δρόμων. Η μελλοντική χρησιμοποίηση του απόβλητου ύδατος προγραμματίζεται να φτάσει τα 70 Mm³/yr. Στην περιοχή της Costa Brava (Portbou, Colera, Port de la Selva και Cadaques) υγρά αστικά λύματα ύστερα από δευτερογενή και τριτογενή κατεργασία χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση τοπίων, καταπολέμηση πυρκαγιών, καθαρισμό βαρκών και μικρών πλοίων, καθαρισμό δρόμων (Concisi de la Costa Brava, 2001) και άρδευση αμπελώνων (Mujeriego et al, 2000). Σημαντική προσπάθεια γίνεται και για την αξιοποίηση της λάσπης. Ο Alonso Alvarez και άλλοι εφάρμοσαν μια συνεχή εξαγωγή των Al, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Ti, και Zn από δείγματα λάσπης που συλλέχθηκαν από πέντε δημοτικά εργοστάσια επεξεργασίας λάσπης. Για την διεξαγωγή της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα είδη δειγμάτων : Λάσπη προερχόμενη από πρωτογενή κατεργασία, Λάσπη προερχόμενη από δευτερογενή κατεργασία, τελείως ξηρή, χωρίς υγρασία λάσπη και κοπρόχωμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η λάσπη που προέρχεται από δευτερογενή κατεργασία εμφάνισε τα υψηλότερα ποσοστά N και P. Το Mn παρουσίασε ποικιλότητα σε συγκεντρώσεις από 90mg/kg σε 364 mg/kg. Ο Cu κυμάνθηκε από 131 σε 406 mg/kg. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που βρέθηκαν σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασαν τις επιτρεπόμενες από την νομοθεσία για εναπόθεση σε εδάφη με PH μικρότερο από 7. Όσον αφορά την τοξικότητα των μετάλλων, τα στοιχεία Cd, Co, Mo, Ni και Ti είναι ασφαλή εξαιτίας των πολύ



χαμηλών συγκεντρώσεων τους (Angelakis et al., 1998); (Canellas et al., 2002); (Angelakis et al., 2002); (Salgot et al, 2002); (Sala et al, 2000).

3.4.10. ΙΤΑΛΙΑ

Στην Ιταλία η συνολική ποσότητα των υγρών αστικών λυμάτων είναι περίπου 2400 Mm³/yr. Η χρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση τόσο γεωργικών καλλιεργειών όσο και δασικών φυτών είναι μια πρακτική που εφαρμόζεται πλέον σε ευρεία κλίμακα στην Ιταλία. Στην περιοχή της Emilia Romagna 450000 Mm³/yr υγρών αστικών λυμάτων χρησιμοποιούνται για την άρδευση 250 ha. Οι (Lubello, et al, 2000) αναφέρουν ότι χρησιμοποιήθηκαν υγρά αστικά λύματα στην ανάπτυξη δασικών ειδών στην περιοχή Pistoia της κεντρικής Ιταλίας. Για την πραγματοποίηση της έρευνας μονοετή φυτάρια των ειδών *Cupressus sempervirens*, *Juniperus horizontalis*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Spiraea japonica* και *Weigelia florida* χρησιμοποιήθηκαν. Φυτεύτηκαν 100 φυτά από το κάθε είδος και συνολικά 600 σε πλαστικά δοχεία των 3 λίτρων. Η άρδευση γινόταν με νερό προερχόμενο από γεώτρηση και με υγρά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα υγρά αστικά λύματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν χωρίς κανένα περιορισμό στην άρδευση των φυτών στα δασικά φυτώρια. Το περιεχόμενο των υγρών αστικών λυμάτων σε θρεπτικά στοιχεία ήταν ικανό να διατηρήσει μια καλή αύξηση των φυτών όπως και το νερό το εμπλουτισμένο εκτός από το είδος *Arbutus unedo*. Τα φυτά *Spiraea japonica* είχαν περίπου την ίδια αντίδραση σε όλους τους χειρισμούς. Τα *Juniperus horizontalis* και *Myrtus communis* παρουσίασαν διαφορά στην αύξηση του ριζικού συστήματος μόνο στα φυτά που αρδεύονταν με υγρά αστικά λύματα. Τα φυτά *Cupressus sempervirens* και *Weigelia florida* δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων χειρισμών ως προς την αύξηση της ρίζας και του βλαστού. Η αναλογία βλαστού και ρίζας ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στα φυτά που αρδεύονταν με νερό εμπλουτισμένο με θρεπτικά στοιχεία για όλα τα είδη εκτός όμως από τα φυτά του *Weigelia florida*. Τα υγρά αστικά λύματα μπορούν αναμφίβολα να θεωρηθούν σαν μια σπουδαία πηγή θρεπτικών στοιχείων για φυτά όπως είδη των γενών *Juniperus*, *Myrtus* και *Cupressus* που μεγαλώνουν σε δοχεία ιδιαίτερα στα δασικά φυτώρια, με σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος (Lubello et al., 2002); (Angelakis et al., 2002). Σε πολλά μέρη της Ιταλίας, κυρίως



όμως στο νότιο τμήμα της είναι πολύ δύσκολο να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό αφού η ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων αποτελεί μια βιώσιμη και σίγουρη λύση για το σοβαρό αυτό πρόβλημα και ένας έμμεσος τρόπος για την μείωση της μόλυνσης των υδάτινων αποδεκτών (Barbagallo et al, 2001).

3.4.11. ΜΑΛΤΑ

Το έλλειμμα ύδατος στη Μάλτα είναι οξύ, με μέση τιμή ετήσιων κατακριμνησμάτων μικρότερο από 500 mm. Ήδη από το 1884 έγιναν προσπάθειες αξιοποίησης των υγρών αστικών λυμάτων με σκοπό να παραμένουν μεγαλύτερες ποσότητες καθαρού νερού για άλλες χρήσεις. Η παροχή των 12800 m³/ημέρα που είναι σήμερα αναμένεται να φτάσει τις 25600 m³/ημέρα με την επέκταση των εγκαταστάσεων της επεξεργασίας όταν το όλο έργο ολοκληρωθεί. Χρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ειδών δεν έχει πραγματοποιηθεί (Angelakis et al., 2002); (Paraskevas, 1997).

3.4.12. ΚΥΠΡΟΣ

Η συνολική παροχή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που παράγονται και επαναχρησιμοποιούνται στην Κύπρο είναι 3,5 εκατομμύρια m³/έτος, μια σημαντική εναλλακτική πηγή που το έτος 2005 αναμένεται να φτάσει τα 8-9 εκατομμύρια m³/year, ενώ όταν το σύνολο των εγκαταστάσεων ολοκληρωθεί η ετήσια ροή θα υπερβαίνει τα 11 εκατομμύρια m³/έτος. Δώδεκα σταθμοί βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων παράγουν υγρά αστικά λύματα για άλλες χρήσεις πλην της άρδευσης (Photiou, 2001). Η κυβέρνηση έχει δημιουργήσει ένα πρόγραμμα για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων στις περιοχές της Λιμασόλ, της Λάρνακας, και Αγία Νάπα-Παραλίμνη. Αναμένεται ότι μέχρι το 2012 η ποσότητα των υγρών αστικών λυμάτων θα είναι περίπου 30 Mm³ και διαθέσιμα προς χρήση (Photiou, 2001). Η ποιότητα των υδάτων που παράγονται και επαναχρησιμοποιούνται είναι εξαιρετικά υψηλή και τα χαρακτηριστικά του μπορούν να καλύψουν τις ακριβέστερες απαιτήσεις για ασφαλή επαναχρησιμοποίηση (Angelakis et al., 2002); (Papaïacovou, 2001); (Papadopoulos, 1995).

3.5. Η ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ ΣΕ ΑΝΑΔΑΣΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι (Καλαβρουζιώτης και Δρακάτος, 2002), μελέτησαν την ικανότητα μερικών Μεσογειακών φυτικών ειδών να απορροφούν βαρέα μέταλλα που περιέχονται στο επαναχρησιμοποιούμενο νερό που προέρχεται από σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων. Τα φυτά που επιλέχθηκαν ήταν τα *Myoporum sp.*, *Nerium oleander* και *Geranium sp.* Μονοετή φυτάρια αναπτύχθηκαν σε συνθήκες θερμοκηπίου. Τα δοχεία των φυτών πληρώθηκαν με έδαφος της περιοχής και αρδεύονταν χρησιμοποιώντας τεχνητό εμπλουτισμό σε Cu, Mn και Zn.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το *Myoporum sp.* είχε τη μέγιστη συγκέντρωση του Cu, Mn και Zn στα φύλλα του χωρίς να εμφανίσει φαινόμενα τοξικότητας. Τα φυτά έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων στις ρίζες τους απ' ότι στα φύλλα τους. Τα φυτά έδειξαν εξαιρετική αντοχή στην άρδευση, με νερό εμπλουτισμένο με βαρέα μέταλλα εκτός από το είδος *Nerium oleander*, που εμφάνισε τοξικότητα στο φύλλωμα. (Kalavrouziotis and Drakatos, 2002).

Οι (Drakatos et al., 2002), μελέτησαν την ικανότητα μεσογειακών φυτών να απορροφούν Mn^{++} όταν αρδεύονται με επαναχρησιμοποιούμενο νερό, την σχετική απορρόφηση των Mn^{++} και Fe^{++} , καθώς επίσης και την αντοχή τους στις υψηλές συγκεντρώσεις του Mn^{++} που περιέχεται στο νερό που χρησιμοποιείται για την άρδυσή τους. Τα φυτά που συμμετείχαν σε πειραματική διάταξη ήταν τα *Nerium oleander* και *Geranium sp.* Τα φυτά μεγάλωσαν μέσα σε κανονικές συνθήκες θερμοκηπίου, μέσα σε σακουλάκια τα οποία είχαν πληρωθεί με κοινό έδαφος από την περιοχή διεξαγωγής του πειράματος. Η πρώτη ομάδα αρδεύονταν με νερό που είχε υποστεί δευτερογενή κατεργασία, ενώ η δεύτερη ομάδα αρδεύονταν με κανονικό νερό και η τρίτη ομάδα με νερό τεχνητά εμπλουτισμένο με Mn^{++} (Drakatos et al., 2002).

Τα αποτελέσματα έδειξαν χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στα φύλλα και στις ρίζες των *Nerium oleander*, *Geranium sp.* και *Myoporum sp.* που αρδεύονταν με επαναχρησιμοποιούμενο νερό. Η άρδευση με το τεχνητά εμπλουτισμένο με Mn^{++} νερό είχε σαν αποτέλεσμα η αντίστοιχη συγκέντρωση του Fe^{++} στα φύλλα να μειωθεί σημαντικά. Στα 500 ppm Mn^{++} η αναλογία Mn/Fe ήταν 1:2,43, 1:1,63, 1:0,84 για τα φυτά με την σειρά που αναφέρονται ενώ στα 1000 ppm ήταν 1:1,75, 1:2,45, 1:0,92 αντίστοιχα για τα τρία φυτά. Οι ρίζες και των τριών φυτών απορρόφησαν βαρέα μέταλλα. Στο έδαφος ήταν φανερή η ανταγωνιστική δράση

μεταξύ των στοιχείων Fe και Mn (Drakatos et al., 2000), (Drakatos et al., 2002). Επίσης μελετήθηκε η συνεργιστική συμπεριφορά των Cu και Zn στα τρία ανωτέρω δασικά είδη (Drakatos, et al, 2000).

Οι (Kalavrouziotis et al., 2004), μελέτησαν την δυνατότητα που υπάρχει για καλλιέργεια δασικών ειδών, με τη χρήση νερού και λάσπης που προέρχονται από τους σταθμούς βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων. Τα δασικά είδη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η *Pinus brutia*, Ελληνικής προέλευσης και η *Pinus maritima*, προέλευσης Κορσικής. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε έκταση 28 στρεμμάτων πλησίον του Πανεπιστημίου Πατρών, το 1991 και διήρκεσε τρία χρόνια. Η φύτευση πραγματοποιήθηκε την Άνοιξη του 1991 και περιελάμβανε τέσσερις χειρισμούς : χειρισμός 1^{ος} Λάσπη και άρδευση με επαναχρησιμοποιούμενο νερό, χειρισμός 2^{ος} Άρδευση με επαναχρησιμοποιούμενο νερό και χωρίς τη χρήση λάσπης, χειρισμός 3^{ος} Λάσπη και άρδευση με κανονικό νερό, χειρισμός 4^{ος} Άρδευση με κανονικό νερό. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 1213 φυτά φυτεμένα σε οκτώ πειραματικά τεμάχια (Kalavrouziotis et al, 2004a); (Kalavrouziotis et al, 2004c);(Kalavrouziotis et al, 2005).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η *Pinus brutia* παρουσίασε μικρά ποσοστά θνησιμότητας και δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών. Τα μεγαλύτερα ποσοστά θνησιμότητας εμφανίστηκαν στον χειρισμό που χρησιμοποιούνταν λάσπη και κανονικό νερό. Η *Pinus maritima* παρουσίασε υψηλά ποσοστά θνησιμότητας και σχετίζονταν με την παρουσία λάσπης στους χειρισμούς. Ο χειρισμός με την λάσπη και το επαναχρησιμοποιούμενο νερό έδωσε την μικρότερη αύξηση ύψους ενώ οι χειρισμοί που είχαν μόνο λάσπη ή αρδεύονταν μόνο με το επαναχρησιμοποιούμενο νερό είχαν τη μεγαλύτερη αύξηση. Η χρήση μόνο λάσπης ή επαναχρησιμοποιούμενου νερού δίνει σημαντικά μεγαλύτερα ύψη και από το χειρισμό που αρδεύεται με κανονικό νερό. Στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αύξηση προέκυψαν μεταξύ του 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} χειρισμού. Η αναδάσωση με την *Pinus brutia* αποδεικνύεται επιτυχής. Αυτό το είδος αποδείχτηκε εξαιρετική επιλογή για την χρησιμοποίηση λάσπης και επαναχρησιμοποιούμενου νερού. Η αύξηση της *Pinus brutia* ήταν ικανοποιητική και η χρήση λάσπης και επαναχρησιμοποιούμενου νερού δεν επηρέασε την κανονική αύξηση του είδους. Η παρουσία της λάσπης καθυστέρησε την αύξηση της *Pinus maritima* (Kalavrouziotis et al., 2004a); (Kalavrouziotis et al, 2005);(Kalavrouziotis et al, 2006).

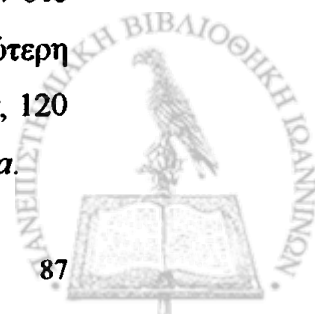
Στο ίδιο πειραματικό του Πανεπιστημίου Πάτρας, μελετήθηκε η αυξητική καθώς επίσης και θερμική και ακουστική συμπεριφορά κορμοτεμαχίων του *Eucalyptus sp.* (Drakatos and Kalavrouziotis, 1996). Δοκίμια από διαφορετικά ύψη κορμοτεμαχίων δοκιμάστηκαν για την αντοχή τους στον εφελκυσμό, θλίψη και κρούση καθώς επίσης και στην θερμική τους ικανότητα σε σχέση με όσα αρδεύτηκαν με control νερό. Η έρευνα έδειξε διαφορές στην συμπεριφορά των πιο πάνω αναφερόμενων ιδιοτήτων καθώς επίσης και της καθ' ύψος ανάπτυξης του *Eucalyptus sp.*, όταν η άρδευση πραγματοποιείται με υγρά επεξεργασμένα αστικά λύματα και λάσπη από το βιολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Πάτρας (Kalavrouziotis et al., 2002). Η χρήση της ασαφούς λογικής δίδει απαντήσεις στο σύνθετο ζήτημα της επαναχρησιμοποίησης των αστικών λυμάτων σε δασικά είδη (Drakatos et al, 2002); (Kalavrouziotis et al, 2006);(Sakellariou et al, 2006).

Οι (Tzanakakis et al., 2002) αναφέρουν την επίδραση των υγρών αστικών λυμάτων σε διάφορα δασικά είδη με την πραγματοποίηση έρευνας στο Σκαλάνι Ηρακλείου. Στην έρευνα αυτή μονοετή φυτά *Eucalyptus camandulensis*, *Acacia cyanophylus* και *Populus nigra* μεταφυτεύτηκαν τον Οκτώβριο του 2000. Επίσης φυτά *Arundo donax* φυτεύτηκαν τον Φεβρουάριο του 2001. Η άρδευση των φυτών με υγρά αστικά επεξεργασμένα λύματα άρχισε τον Ιούνιο του 2001.

Τα δένδρα της *Populus nigra* είχαν την μεγαλύτερη αύξηση καθ' ύψος ενώ αυτά της *Acacia cyanophylus* την μεγαλύτερη αύξηση διαμέτρου. Την μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας είχαν τα δένδρα της ακακίας ακολουθούμενα από αυτά του *Arundo donax* ενώ την μικρότερη είχαν ο *Eucalyptus sp.* και η *Populus nigra* (Tzanakakis et al., 2002).

Οι (Mavrogianopoulos και Kyritsis, 1995) αναφέρουν την πραγματοποίηση μιας έρευνας στην περιοχή της Μεταμόρφωσης Αττικής, χρησιμοποιώντας υγρά αστικά λύματα για την άρδευση δασικών δένδρων με σκοπό την μελέτη των χαρακτηριστικών των δένδρων και τις αντιδράσεις τους κάτω από τέτοιους χειρισμούς καθώς και την δημιουργία νέων συνθηκών με την εύρεση ειδών ανθεκτικών στις πυρκαγιές.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε 20 Km βόρεια από το κέντρο της Αθήνας σε δύο τοποθεσίες. Στην πρώτη φυτεύτηκαν 600 φυτάρια *Eucalyptus sp.* Τα μισά ανήκαν στο είδος *E. Camaldulensis* και τα άλλα μισά στο είδος *E. tereticornis*. Στη δεύτερη τοποθεσία φυτεύτηκαν 120 φυτά *Pittosporum tobira*, 120 φυτά *Nerium oleander*, 120 φυτά *Forsythia sp.*, 120 φυτά *Buddleia variabilis* και 120 φυτά *Medicago arborea*.



Το πείραμα περιλάμβανε τρεις χειρισμούς. Ο 1^{ος} περιλάμβανε καλλιέργεια των φυτών χωρίς άρδευση μετά την εγκατάστασή τους, ο 2^{ος} περιλάμβανε άρδευση με κανονικό νερό και ο τρίτος άρδευση με υγρό αστικό λύμα που είχε υποστεί όμως επεξεργασία καθαρισμού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μέχρι το Σεπτέμβριο δεν υπήρχε καμιά διαφορά στην βιομάζα του *Eucalyptus* μεταξύ των διαφόρων χειρισμών. Η αύξηση του *E. Camaldulensis* ήταν 348,3- gr ξηρής μάζας ανά m² και του *E. Tereticornis* ήταν 250,7 gr ξηρής μάζας ανά m². Σημαντική διαφορά ύψους υπήρξε μεταξύ των φυτών που αρδεύονταν και αυτών που δεν αρδεύονταν καθώς και μεταξύ αυτών που αρδεύονταν με κανονικό νερό και αυτών με το υγρό αστικό λύμα. Τα φυτά αρδευόμενα με υγρά αστικά λύματα είχαν τη μεγαλύτερη αύξηση ύψους. Σημαντικές διαφορές στην αύξηση και των άλλων φυτών παρατηρήθηκαν. Η *Forsythia sp.* είχε αύξηση 2,3 g/m², η *Medicago arborea* 5,34 g/m², η *Buddleia variabilis* 6,93 g/m² ενώ το *Nerium oleander* είχε 13,71 g/m² ανά μονάδα ξηρού βάρους. Ένα χρόνο μετά η αύξηση ύψους και διαμέτρου των φυτών δεν διέφερε σημαντικά. Τα φυτά που αρδεύονταν με τα υγρά αστικά λύματα είχαν τη μεγαλύτερη αύξηση διαμέτρου. Για τη *Buddleia variabilis* σημαντική διαφορά στην αύξηση διαμέτρου υπήρχε μεταξύ των φυτών που αρδεύονταν και αυτών που δεν αρδεύονταν καθώς και μεταξύ αυτών που αρδεύονταν με κανονικό νερό και με αστικά λύματα. Για την *Forsythia sp.* δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην αύξηση μεταξύ των φυτών των διαφορετικών χειρισμών. Για τα φυτά *Medicago arborea* και *Nerium oleander* διαφορές υπήρξαν μεταξύ των φυτών που αρδεύονταν με τα υγρά αστικά λύματα και στα μη αρδευόμενα και όχι με τα αρδευόμενα με το κανονικό νερό. Γενικά η αύξηση των φυτών που αρδεύονταν με τα υγρά αστικά λύματα ήταν μεγαλύτερη πιθανώς εξαιτίας των ωφέλιμων για τα φυτά θρεπτικών στοιχείων που τα λύματα περιέχουν (Mavrogianopoulos et al., 1995).

Οι (Manios et al., 2003) αναφέρουν την πιθανότητα για πιθανή χρήση λάσπης προερχόμενης από σταθμούς βιολογικής κατεργασίας λυμάτων, ως υπόστρωμα για χειρισμούς του επαναχρησιμοποιούμενου νερού που περιέχει βαρέα μέταλλα καθώς και, την απορροφητική ικανότητα του υποστρώματος αυτού με την χρήση φυτών *Typha latifolia*, φυτά που κυρίως χρησιμοποιούνται σε υγρότοπους.

Για την πραγματοποίηση της μελέτης αυτής που πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη, λάσπη αναμίχθηκε με άχυρο με αναλογία όγκων 1:1 (v/v). Το τελικό προϊόν όμως που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση των δοχείων ήταν ένα μίγμα από αυτή τη λάσπη με τύρφη (25% v/v) και περλίτη (25% v/v). Η χρήση τύρφης και περλίτη θεωρείται



απαραίτητη για την αποφυγή πιθανών φαινομένων τοξικότητας γιατί είναι γνωστό ότι υποστρώματα με μίγματα μεγαλύτερα από 50 % οργανική ουσία εμφανίζουν τοξικά φαινόμενα για τα φυτά.

Επίσης αριθμός φυταρίων του είδους *Typha latifolia* ύψους 10 έως 20 εκατοστών φυτεύτηκαν. Από αυτά 30 επελέγησαν και φυτεύτηκαν ανά ένα σε δοχεία και αφέθηκαν για ένα διάστημα περίπου έξι εβδομάδων προκειμένου να προσαρμοστούν. Τα φυτά χωρίστηκαν σε πέντε ομάδες από έξι φυτά η κάθε μία. Οι ομάδες A,B,C και D αρδεύονταν με διάλυμα πλούσιο σε βαρέα μέταλλα και η ομάδα M με control νερό. Τα δοχεία της κάθε ομάδας αρδεύονταν με 1 λίτρο διαλύματος αυξανόμενης συγκεντρώσεως η κάθε ομάδα, κάθε δύο εβδομάδες. Συνολικά πέντε αρδεύσεις με διάλυμα εμπλουτισμένο σε βαρέα μέταλλα έγιναν.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι το ποσό των μετάλλων που βρίσκονταν σε κάθε δοχείο αυξήθηκε σε κάθε ομάδα με εξαίρεση την ομάδα M που παρέμεινε το ίδιο και ίσο με το ποσό των μετάλλων που προυπήρχαν στο υπόστρωμα. Οι μέσες συγκεντρώσεις των Cu, Ni και Zn τόσο στα φύλλα, στις ρίζες, και στο υπόστρωμα στο τέλος του πειράματος ήταν μεγαλύτερες στις ομάδες A,B,C και D σε σχέση με την ομάδα M. Για τις ομάδες C και D η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική (5 %). Ο Cu, Ni και Zn εμφάνισαν υψηλά ποσοστά απορρόφησης, τα οποία αυξάνονταν με την αύξηση των συγκεντρώσεων τους στα διαλύματα που χρησιμοποιούνταν για άρδευση τους (από την ομάδα A στην D). Ο Zn στις ομάδες B και C και ο Cu στην ομάδα D έδειξαν ποσοστά απορρόφησης μεγαλύτερα από 100 %. (Manios et al., 2003).

Οι (Kalavrouziotis, I and Drakatos, P., 2004), μελέτησαν τη συμπεριφορά των *Eucalyptus* sp, *Pinus maritima*, *Pinus Pinea*, *Nerium oleander* που αρδεύονταν με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα σε εκτάσεις πλησίον του βιολογικού σταθμού Κέρκυρας. Ο σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας εγκατάστασης δασικών ειδών σε περιοχές πλησίον του βιολογικού σταθμού Κέρκυρας, ώστε οι εκτάσεις να αποκατασταθούν περιβαλλοντικά και να αρδευτούν με επαναχρησιμοποιούμενα υγρά λύματα, με την ταυτόχρονη εξασφάλιση περιβαλλοντικής προστασίας της θαλάσσιας περιοχής της Κέρκυρας (Kalavrouziotis, I and Drakatos, P., 2004b).

3.6. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΡΟΚΥΨΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Κατά την άρδευση με υγρά αστικά λύματα μπορεί να εμφανιστούν διάφορα προβλήματα, όπως διαφοροποιήσεις του pH, διάβρωση αγωγών και εξοπλισμού, απόφραξη συστημάτων άρδευσης, υψηλό υπολειμματικό χλώριο κτλ. Τα προβλήματα αυτά, όταν παρουσιάζονται, πρέπει να εκτιμώνται και να αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση.

Άλλα προβλήματα προέρχονται εμμέσως από την παραμονή του νερού στην επιφάνεια λόγω κακής διήθησης και την ευκαιρία που δίδεται έτσι σε ανεπιθύμητους οργανισμούς να αναπτυχθούν, όπως π.χ τα κουνούπια. Επίσης το αλατούχο νερό ευνοεί την απόρρηση και παραμονή στο νερό πολλών οργανικών ουσιών και ανόργανων ουσιών οι οποίες εν συνεχεία μπορούν να φράζουν τις εξόδους διανομής του νερού, όπως θυροφράγματα, εκτοξευτήρες και σταλάκτες. Αυτά επίσης τα αιωρούμενα συστατικά μειώνουν περαιτέρω τον ήδη χαμηλό ρυθμό διήθησης του νερού.

Αρκετά άλλα προβλήματα σχετίζονται με την ποιότητα του νερού άρδευσης και συμβαίνουν με αξιοσημείωτη συχνότητα. Σ' αυτά μπορούν να συμπεριληφθούν η υψηλή συγκέντρωση νιτρικών που εφοδιάζει την καλλιέργεια με επί πλέον άζωτο και την οδηγεί σε έντονη βλαστική δράση εις βάρος της καρπόδεσης. Οι αποθέσεις αλάτων στους καρπούς, στο ξύλο ή και στα φύλλα των παραγομένων προϊόντων μειώνει την εμπορική τους αξία, αφού υποβαθμίζει την ποιότητά τους. Το τελευταίο γίνεται με την άρδευση δια καταιονισμού με νερό πλούσιο σε ανθρακικά ιόντα, γύψο ή και σίδηρο. Ποικίλες επίσης ανωμαλίες μπορούν να προκύψουν με το νερό υψηλού pH.

Το pH του νερού σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμή του pH έξω από τα συνηθισμένα όρια (6,5-8,5) αποτελεί ένδειξη ότι το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμή του pH εκτός των παραπάνω αναφερθέντων ορίων πρέπει να αποτελεί προειδοποίηση και να οδηγεί σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητα του νερού.

Άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η έμφραξη των συστημάτων άρδευσης καταιονισμού ή στάγδην. Η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις εξόδους των ακροφυσίων και των σταλακτήρων ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, προκαλούν εμφράξεις, όπως και οι υψηλές συγκεντρώσεις φυκιών και αιωρούμενων



στερεών (English, 1985). Τα πλέον συχνά παρατηρούμενα προβλήματα αντιμετωπίζονται στα συστήματα στάγδην άρδευσης (Bucks et al, 1982).

Εάν τα επίπεδα υπολειμματικού χλωρίου παραμένουν υψηλά κατά το χρόνο εφαρμογής του νερού, προκαλούνται ζημιές στα φυτά, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συστήματα καταιονισμού. Το ελεύθερο χλώριο (Cl_2) είναι πολύ δραστικό και ασταθές στο νερό. Η ποσότητα του υπολειμματικού χλωρίου μειώνεται εντυπωσιακά αν το νερό παραμείνει σε ανοικτές δεξαμενές για αρκετές ώρες. Υπολειμματικό χλώριο (Cl_2) λιγότερο από 1 mg/l δεν επηρεάζει το φύλλωμα των φυτών, αλλά όπου υπερβαίνει τα 5 mg/l μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές. Το μέγεθος των ζημιών που προκαλεί είναι ανάλογο με την αύξηση της συγκέντρωσης του πάνω από το 1 mg/l.

3.7. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η ποιότητα του άρδευτικού νερού είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ξερικές και ημιξηρικές περιοχές, στις οποίες οι επικρατούσες υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη χαμηλή υγρασία δημιουργούν συνθήκες για υψηλές ταχύτητες εξατμισοδιαπνοής (ET).

Το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τη συγκέντρωση των διαλυμένων σ' αυτό αλάτων.

Επακόλουθο της ET είναι η εναπόθεση αλάτων στο έδαφος, που στη συνέχεια τείνουν να συγκεντρώνονται αθροιστικά σ' αυτό.

Οι διάφορες χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι ο βαθμός διασποράς των εδαφικών σωματιδίων, η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, η εδαφική δομή και η εδαφική αγωγιμότητα είναι παράμετροι ευαίσθητες στα ιόντα, που περιέχονται στο νερό άρδευσης.

Αυτό σημαίνει ότι στο σχεδιασμό κάθε έργου άρδευσης με νερό που έχει ανακτηθεί από υγρά απόβλητα, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη τόσο η φυσική παραγωγή, όσο και οι εδαφικές ιδιότητες.

Η πλέον σημαντική παράμετρος του νερού άρδευσης είναι η αλατότητα, που προσδιορίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (ECW). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS).

$\text{TDS (mg / l)} = 640 \text{ Ecw (mmhos/cm ή dS/m)}$.

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

1. ~~Την κατασκευή του έργου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο τεύχος προδιαγραφών.~~

~~Σύνολο:~~

2. ~~Την κατασκευή του έργου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο τεύχος προδιαγραφών.~~

~~Σύνολο: 1.200,00 ευρώ.~~

~~Παράρτημα 3.2.3. Τεχνική περιγραφή των εργασιών.~~

~~Αντικείμενο~~	~~Μονάδα~~	~~Ποσότητα~~	~~Τιμή~~	~~Σύνολο~~
1. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
2. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
3. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
4. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
5. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
6. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
7. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
8. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
9. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
10. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
11. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
12. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
13. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
14. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
15. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
16. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
17. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
18. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
19. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
20. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
21. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
22. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
23. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
24. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
25. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
26. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
27. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
28. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
29. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
30. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
31. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
32. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
33. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
34. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
35. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
36. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
37. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
38. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
39. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
40. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
41. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
42. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
43. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
44. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
45. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
46. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
47. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
48. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
49. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
50. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
51. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
52. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
53. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
54. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
55. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
56. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
57. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
58. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
59. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
60. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
61. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
62. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
63. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
64. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
65. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
66. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
67. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
68. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
69. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
70. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
71. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
72. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
73. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
74. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
75. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
76. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
77. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
78. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
79. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
80. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
81. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
82. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
83. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
84. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
85. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
86. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
87. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
88. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
89. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
90. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
91. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
92. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
93. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
94. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
95. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
96. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
97. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
98. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
99. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00
100. ΕΓΚ.	1/1	1	1.200,00	1.200,00

Πηγή: Αναστασίου 1985

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

~~Σύνολο:~~

1. ~~Την κατασκευή του έργου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο τεύχος προδιαγραφών.~~

~~Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.~~

~~Σύνολο:~~

Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.

Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.

Η συνολική τιμή των εργασιών είναι 1.200,00 ευρώ.

Σύνολο:



Η χρήση των αποβλήτων για άρδευση, συνήθως ρυθμίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η μεταφορά ασθενειών.

Οι απαιτήσεις βασίζονται αρχικά στο βαθμό επεξεργασίας που τα απόβλητα λαμβάνουν σε συνδυασμό με τα στάνταρ για τη βακτηριολογική ποιότητα του νερού, τη θολότητα και την κατακράτηση στερεών σωματιδίων.

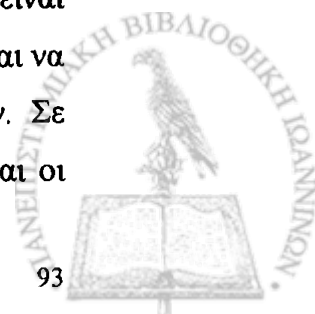
Τα κριτήρια ανακύκλωσης αποβλήτων που υιοθετήθηκαν από την πολιτεία της Καλιφόρνιας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παράδειγμα. Αυτός ο κανονισμός δεν θέτει κανένα αριθμητικό όριο εκτός από τη βακτηριολογική ποιότητα του νερού. Αντίθετα αυτός καθορίζει το ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας που απαιτείται για κάθε τρόπο χρήσης νερού, περιορίζει το κοινό να χρησιμοποιεί το νερό αυτό καθώς επίσης και να βόσκουν ζώα όπου χρησιμοποιείται το νερό αυτό. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος μεταφοράς ασθενειών. Εάν τα ανακυκλώσιμα απόβλητα ταυτίζονται με τις απαιτήσεις αυτές, υποτίθεται ότι τα χημικά συστατικά στις επεξεργασμένες εκροές δεν θα είναι βλαβερά στην ανθρώπινη υγεία και δεν θα προκαλούν μόλυνση του νερού. Αυτή η προϋπόθεση όμως μπορεί να μην ισχύει εάν τα βιομηχανικά απόβλητα δεν περιορισθούν δραστικά.

Με εξαίρεση τα στοιχεία Cd, Pb και Hg, στα κριτήρια άρδευσης νερού τα αριθμητικά όρια που έχουν τεθεί για ανόργανα χημικά συστατικά προστατεύουν τις καλλιέργειες από αρρώστιες.

Αν και πολλά στοιχεία είναι τοξικά, η ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια δεν ελήφθησαν υπ' όψιν στην πορεία της ανάπτυξης. Ο πίνακας 3.3 περιλαμβάνει τα αριθμητικά όρια των κριτηρίων που ανεπτύχθησαν από επτά κράτη, περιλαμβανόμενης και της Ταϊβάν. Πέντε από τις επτά ομάδες κριτηρίων, αναπτύχθηκαν ειδικά για την άρδευση με απόβλητα (για παράδειγμα στην Ταϊβάν, Ουγγαρία, Λαϊκή Κίνα, Σαουδική Αραβία και Τυνησία).

Χρονολογικά αυτές οι επτά ομάδες ποιοτικών κριτηρίων του νερού άρδευσης από απόβλητα, δημιουργήθηκαν σε μια περίοδο άνω των 20 ετών. Στη διάρκεια αυτής της περιόδου έγινε μεγάλη πρόοδος στην επιστημονική κατανόηση της μολυσματικής συμπεριφοράς των αποβλήτων και του εδάφους. Τα όρια που αποτυπώνονται στον πίνακα μπορεί να είναι αντιπροσωπευτικά της ανάπτυξης της επιστημονικής σκέψης.

Γενικά τα αριθμητικά όρια ρύπων που έχουν τεθεί σε αυτά τα κριτήρια, είναι σημαντικά υψηλότερα από τις συγκεντρώσεις των ίδιων στοιχείων που αναμένεται να βρεθούν στο φυσικό νερό και στα επεξεργασμένα απόβλητα των υπονόμων. Σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. συγκεντρώσεις των As, Cr, Cu, Zn κ.λ.π.) ακόμη και οι



συγκεντρώσεις των ρύπων σε ακατέργαστα απόβλητα των πόλεων, δεν υπερβαίνουν τα αριθμητικά όρια. Υπήρξαν όμως ομοιότητες μεταξύ αυτών των κριτηρίων όσον αφορά στα συστατικά που περιλαμβάνονται και τα αριθμητικά όρια. Όπως φαίνεται μερικά από τα χημικά συστατικά (π.χ. As, B, Cd, Cr, Cu, Pb και Zn) υπάρχουν σε όλες τις λίστες.

ΠΑΡΑΚΑΣ 3.3. Κριτήρια Ποιότητας Αρδεύσιμου Νερού από Επιλεγμένα Έθνη

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΚΑΝΑΔΑΣ	Η.Π.Α.	ΤΑΙΒΑΝ	ΟΥΓΓΑΡΙΑ	ΛΑΪΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΤΗΣ ΚΙΝΑΣ			Σ.ΑΡΑΒΙΑ	ΤΥΝΗΣΙΑ
		Όλα τα εδάφη	Αμμώδη εδάφη	Όλα τα εδάφη	Όλα τα εδάφη	Ριζότοπος	Ξηρότοπος	Λαχανικά	Όλα τα εδάφη	Όλα τα εδάφη
		1991	1973	1978	1991	Χ.Α.	Χ.Α.	Χ.Α.	Χ.Α.	Χ.Α.
1				6,0-9,0	6,5-8,5	5,5-8,5	5,5-8,5	5,5-8,5	6,0-8,4	6,5-8,5
2	mg/L	500-3500				1000-2000	1000-2000	1000-2000		
3	μmho/cm 25 C			750						700
4	mg/L			100		150	200	100	10	30
5	mg/L			175		250		250	280	2000
6	mg/L			200						
7	mg/L			1		12	30	30		
8	mg/L					80	150	80	10	
9	mg/L					200	300	150		90
10	C			35		35	35	35		
11				5000	5000	5000			5000	
12	μg/L	100	100	1000	200	50	100	50	100	100
13	μg/L				4000					
14	μg/L	100	100	500	100				100	
15	μg/L	500-600	750	750	700	1000-3000	1000-3000	1000-3000	500	3000
16	μg/L	10	10	10	20	5	5	5	10	10
17	μg/L	100	100	100	5000	100	100	100	100	100
18	μg/L	50	50	50	50				50	100
19	μg/L	200-1000	200	200	2000	1000	1000	1000	400	500
20	μg/L	1000			1000	2000-3000	2000-3000	2000-3000	2000	3000
21	μg/L				100				5000	5000
22	μg/L	200	5000	100	1000	100	100	100	100	1000
23	μg/L		2500	2500	2500				70	
24	μg/L		200	2000	5000				200	500
25	μg/L			5	10	1	1	1	1	1
26	μg/L	10,0-50,0	10	10	0				100	
27	μg/L	200	200	500	1000				20	200
28	μg/L	20-50	20	20		20	20	20	20	50
29	μg/L				100					
30	μg/L	100	100	10000	5000					
31	μg/L	1000-5000	2000	2000	5000	2000	2000	2000	4000	5000
32	μg/L				10000	500	500	500	50	
33	μg/L			5000	50000	5000	3000	5000		
34	μg/L			5000	8000				απουσία	
35	μg/L				2500	2500	2500	2500		
36	μg/L				30000					
37	μg/L				500	1000	500	500		
38	μg/L				100					
39	μg/L					1000	500	500		
40	μg/L					500	500	500		
41	μg/L								2000	5000

Πηγή: Καλαβρουζιώτης, 2007.

Για πολλά συστατικά (Cd, Se, Hg, κ.λ.π.) οι μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις πράγματι συμφωνούν με τα στάνταρς του πόσιμου νερού. Ενώ αυτά τα κριτήρια είναι κατάλληλα να προστατεύσουν τα φυτά από μολύνσεις, οι ρύποι μπορούν να συσσωρευτούν στο έδαφος. Επομένως οι συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία από την εφαρμογή (χρήση) των αποβλήτων που συμφωνούν με τα κριτήρια ποιότητας, είναι άγνωστες.

Στην μεταφορά ρύπων μέσω της τροφικής αλυσίδας από τα απόβλητα στους ανθρώπους από τις καλλιέργειες δεν είναι ανάγκη να περιληφθούν πολλά στοιχεία όπως Al, Ba, Be, Co, Fe, Cu, Li, Mn, Mo, Ag, V και Zn.

Τα αριθμητικά όρια σε πολλές περιπτώσεις ήταν όμοια σε πολλά κριτήρια αλλά σε άλλες περιπτώσεις διέφεραν κατά μια ή δύο τάξεις μεγέθους. Δεν είναι όμως ξεκάθαρο πότε η διαφορά αντανακλά την πραγματική διαφορά στη γνώμη ή απλώς στο κατά τόπους έδαφος και συνθήκες ανάπτυξης των φυτών.

Στον πιο κάτω πίνακα αναφέρονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των μικροστοιχείων στην παραγωγή και γίνονται επισημάνσεις για την τοξικότητα που μπορεί να παρατηρηθεί στα φυτά, λόγω υπερβολής στην χρήση.

Η σύγκριση των μέσων τιμών συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων των αστικών αποβλήτων του παραπάνω πίνακα με τις συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό δείχνει, ότι τα επίπεδα για όλα τα ιχνοστοιχεία είναι χαμηλότερα από αυτό που τίθεται για το αρδευτικό νερό εκτός από εκείνα του βορίου. Εάν ληφθεί υπόψη ότι τα κριτήρια για το αρδευτικό νερό ορίστηκαν με σκοπό ώστε να προστατευθούν και οι πιο ευαίσθητες καλλιέργειες γίνεται αντιληπτό ότι με προσεκτική διαχείριση, τα περισσότερα από τα υγρά αστικά απόβλητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν για άρδευση χωρίς σημαντικούς κινδύνους από την παρουσία των ιχνοστοιχείων.

Πίνακας 3.4. Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για τα νερά που χρησιμοποιούνται στην άρδευση

Στοιχεία	Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση (mg/lit.)	Επισημάνσεις
Al (Αργίλιο)	5,0	Μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγωγικότητας σε όξινα εδάφη (PH < 5,5), ενώ προκαλεί κατακρήμνιση του Fe σε αλκαλικά (PH > 7,0) με αποτέλεσμα να περιορίζεται η τοξικότητά του.
As (Αρσενικό)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά διαφέρει ευρέως, κυμαινόμενη από 12 mg/lit για γρασίδι (Sudan) μέχρι κάτω από 0,05 mg/lit στο ρύζι (Oryza Sativa)
Be (Βηρύλιο)	0,10	Η τοξικότητα στα φυτά διαφέρει ευρέως, κυμαινόμενη από 5 mg/lit στα λάχανα έως 0,5 mg/lit στα νάνα φασόλια.
Cd (Κάδμιο)	0,01	Τοξικό σε φασόλια και σακχαρότευτλα σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0,10 mg/lit σε θρεπτικά συστατικά.
Co (Κοβάλτιο)	0,05	Τοξικό σε τομάτες σε 0,1 mg/lit σε θρεπτικό διάλυμα. Τείνει να είναι ανενεργό σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Cr (Χρώμιο)	0,10	Δεν έχει γενικά αναγνωριστεί σαν ένα βασικό συστατικό ανάπτυξης. Συντηρητικά όρια προτάθηκαν λόγω της έλλειψης γνώσης για την τοξικότητά του στα φυτά.
Cu (Χαλκός)	0,20	Τοξικό για μεγάλο αριθμό φυτών, από 0,1 mg/lit έως 1,0 mg/lit σε θρεπτικά διαλύματα. Δρα συνεργιστικά με τον Zn.
F (Φθόριο)	1,0	Ανενεργό σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Fe (Σίδηρος)	5,0	Δεν είναι τοξικό στα φυτά σε καλώς αεριζόμενα εδάφη. Μειώνει το PH του εδάφους και ανταγωνίζεται από τα κύρια στοιχεία τον P και από τα ιχνοστοιχεία το Mn.
Li (Λίθιο)	2,5	Ανεκτό στις περισσότερες καλλιέργειες μέχρι τα 5 mg/lit. Άστατο στο έδαφος. Τοξικό στα εσπεριδοειδή σε συγκεντρώσεις (< 0,075 mg/lit). Ενεργεί παρόμοια με το Βόριο.
Mn (Μαγγάνιο)	0,20	Τοξικό σε σημαντικό αριθμό καλλιεργειών από 0,1 έως 1,0 mg/lit, αλλά μόνον σε όξινα εδάφη.
Mo (Μολυβδαίνιο)	0,01	Μη τοξικό σε φυτά, όπου οι συγκεντρώσεις στο αρδευτικό νερό είναι φυσιολογικές. Μπορεί να γίνει τοξικό σε ανατρεφόμενα ζώα, αν η βοσκή αναπτύσσεται σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Μολυβδαίνιου.
Ni (Νικέλιο)	0,20	Τοξικό σε έναν αριθμό φυτών από 0,5 mg/lit έως 1,0 mg/lit. Παρατηρείται μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη.
Pb (Μόλυβδος)	5,0	Μπορεί να εμποδίσει την κυτταρική εξέλιξη των φυτών σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Se (Σελήνιο)	0,02	Τοξικό σε φυτά με συγκεντρώσεις χαμηλές 0,025 mg/lit και τοξικό σε ζώα, αν η βοσκή αναπτύσσεται σε εδάφη με σχετικά υψηλά επίπεδα προστιθέμενου Σεληνίου. Βασικό στοιχείο στα ζώα αλλά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.
Sn (Κασσίτερος)	-	Αποτελεσματικά αποκλειόμενο από φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητα του είναι άγνωστη.
Ti (Τιτάνιο)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
W (Βολφράμιο)	-	Δεν προσλαμβάνεται ουσιαστικά από τα φυτά, αλλά η ειδική ανεκτικότητά του είναι άγνωστη.
V (Βαννάδιο)	0,10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις.
Zn (Ψευδάργυρος)	2,0	Τοξικό σε αρκετά φυτά, σε συγκεντρώσεις ευρύτερα διαφοροποιημένες. Μειωμένη τοξικότητα σε PH < 6,0 και σε καλά κατεργασμένα και οργανικά εδάφη.

Πηγή: (Drakatos P., and Kalavrouziotis I., 1998); (WHO, 2006)

Μεταξύ των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται στα απόβλητα τα στοιχεία βόριο, κάδμιο, χαλκός, υδράργυρος, μολυβδαίνιο, νικέλιο, σελήνιο και ψευδάργυρος θεωρούνται επικίνδυνα, εάν εισαχθούν στα καλλιεργούμενα εδάφη χωρίς έλεγχο. Τα ιχνοστοιχεία αργίλιο, αρσενικό, χρώμιο, σίδηρος, μαγγάνιο, μόλυβδος και αντιμόνιο τα οποία εισάγονται στα εδάφη κατά την άρδευση με απόβλητα, δεν οδηγούν σε φυτοτοξικότητες, ούτε εκθέτουν τους καταναλωτές σε κινδύνους εφόσον εφαρμόσουν οι κοινές καλλιεργητικές πρακτικές.

Η σχέση προσρόφησης νατρίου (SAR)(Sodium Absorption Ratio) εκφράζει την δυνατότητα του νερού να εφοδιάζει την εναλλακτική φάση του εδάφους με ιόντα νατρίου, επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό την διηθητικότητα του εδάφους. Το SAR υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{0.5}$$

Πολλές προσπάθειες έγιναν από διάφορους μελετητές για την ποιοτική κατάταξη των αρδευτικών νερών, που βασίζονταν κυρίως στην ολική αλατότητα και στο ποσοστό νατρίου. Το 1954 όμως, το εργαστήριο αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, δημοσίευσε ένα ευρύτερα αποδεκτό διάγραμμα κατάταξης των νερών με βάση την περιεκτικότητά τους σε άλατα και νατριο.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή αρκεί να προσδιοριστούν η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε $\mu\text{mhos/cm}$ στους 25°C και η περιεκτικότητα του νερού σε Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} εκφρασμένη σε χιλιοστοισοδύναμα ανά λίτρο (meq/l) και να υπολογιστεί το SAR. Μετά τον προσδιορισμό της EC (ηλεκτρικής αγωγιμότητας) και του SAR, τα νερά μπορούν να ταξινομηθούν σε μια από της τέσσερις (4) κατηγορίες κινδύνου αλατότητας και αλκαλίωσης. Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ταξινόμησης των νερών άρδευσης, τα νερά άρδευσης χωρίζονται σε 16 κατηγορίες καταλληλότητας. Η καταλληλότερη αποδίδεται με τα σύμβολα C_1S_1 και η χειρότερη με τα σύμβολα C_4S_4 (Παπαμίχος et al., 1995).

α) κατηγορίες αγωγιμότητας ή κινδύνου αλατότητας.

- C_1 : νερό χαμηλής αλατότητας ($< 250 \mu\text{mhos/cm}$). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση όλων σχεδόν των καλλιεργειών σε όλα σχεδόν τα εδάφη. Χρειάζεται μία ελαφρά έκπλυση, η οποία συνήθως συμβαίνει στην πράξη κατά την διενέργεια των αρδεύσεων, εκτός κι αν πρόκειται για εδάφη με υπερβολικά μικρή διαπερατότητα ($0,125 \text{ cm/ώρα}$).
- C_2 : νερό μέσης αλατότητας ($250-750 \mu\text{mhos/cm}$). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις επί των φυτών, εφόσον εφαρμόζεται μέτρια έκπλυση στα εδάφη, τα οποία πρέπει να στραγγίζουν καλά. Μπορούν να αναπτυχθούν φυτά μέτριας ανθεκτικότητας στα αλάτια, χωρίς να παρθούν ειδικά μέτρα ελέγχου της αλατότητας.
- C_3 : νερό υψηλής αλατότητας ($750-2250 \mu\text{mhos/cm}$). Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με ανεπαρκή στράγγιση. Ακόμη και στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η στράγγιση είναι επαρκής, απαιτούνται συνήθως μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργειες ανθεκτικές στα αλάτια.
- C_4 : νερό πολύ υψηλής αλατότητας ($>2250 \mu\text{mhos/cm}$). Το νερό της κατηγορίας αυτής είναι ακατάλληλο για άρδευση κάτω από ορισμένες συνθήκες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν το έδαφος είναι πολύ διαπερατό, η στράγγιση επαρκής, η εφαρμογή του νερού γίνεται σε περίσσεια και κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται σημαντική έκπλυση και όταν τέλος καλλιεργούνται φυτά πολύ ανθεκτικά στα άλατα.

β) κατηγορίες αλκαλίωσης

Το αρδευτικό νερό διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες βάσει της τιμής SAR και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτού. Οι κατηγορίες αυτές για ηλεκτρική αγωγιμότητα 100 micromhos/cm είναι οι εξής (Παπαμίχος et al., 1995):

- S_1 : Τιμή SAR μικρότερη του 10, κίνδυνος νατρίου μικρός

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση όλων σχεδόν των εδαφών χωρίς κίνδυνο ανάπτυξης αλκαλίωσης σε βαθμό επικίνδυνο για τα φυτά. Παρ'όλα αυτά σε ορισμένα πολύ ευαίσθητα όπως είναι τα εσπεριδοειδή, είναι δυνατό να προξηνηθούν βλάβες στα φύλλα τους όταν αρδεύονται με καταιονισμό.

- S_2 : Τιμή SAR 10 έως 18 κίνδυνος νατρίου μέσος

Μπορεί να προξηνήσει σοβαρή ζημιά σε πολύ λεπτόκοκκα εδάφη, ιδίως όταν η στράγγιση και η έκπλυση είναι ανεπαρκής. Όταν στο έδαφος υπάρχει επαρκής ποσότητα γύψου, ο κίνδυνος για την πρόκληση ζημιών είναι πρακτικά αμελητέος λόγω της χρήσης νερού της κατηγορίας αυτής.

- S_3 : Τιμή SAR 18 έως 26 κίνδυνος νατρίου μεγάλος

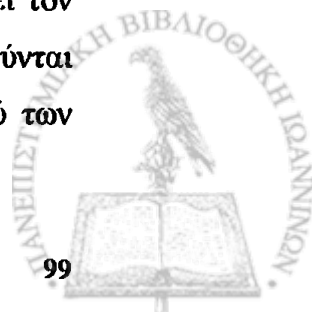
Μπορεί να αποβεί επικίνδυνο στα περισσότερα εδάφη. Χρειάζεται πλήρης στράγγιση, ισχυρή έκπλυση και προσθήκη οργανικής ουσίας. Όταν το νερό αυτό έχει χαμηλή ή μέση αλατότητα (C_1S_3 ή C_2S_3) μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφ'οσον προστεθούν εγγειοβελτιωτικές ουσίες όπως είναι η γύψος, για την αντικατάσταση του ανταλλάξιμου νατρίου από το ασβέστιο.

- S_4 : Τιμή SAR μεγαλύτερη του 26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος.

Ακατάλληλο για άρδευση για όλες τις συνηθισμένες περιπτώσεις. Όταν όμως συνδυάζεται με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (C_1S_4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προσθήκη γύψου.

Οι ανωτέρω τιμές SAR οι οποίες καθορίζουν τις αντίστοιχες τέσσερις κατηγορίες μεταβάλλονται συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού. Έτσι αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της τιμής του SAR για τιμή δε ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2250 micromhos/cm οι ανωτέρω τιμές γίνονται 4,4 έως 9, 9 έως 14 και 14 αντίστοιχα.

Η δυνατότητα του νερού άρδευσης να διαλύει σημαντικό ποσό από το περιεχόμενο ανθρακικό ασβέστιο που μπορεί να βρίσκεται στο έδαφος μειώνει τον κίνδυνο του νατρίου και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη όταν χρησιμοποιούνται νερά των κατηγοριών C_1S_3 και C_1S_4 . Στην περίπτωση χρησιμοποίησης νερού των



κατηγοριών C_1S_4 , C_1S_3 και C_2S_4 σε εδάφη που δεν περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο ή περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο αλλά το pH του εκχυλίσματος κορεσμού των είναι μεγαλύτερο από 8,5, τότε επιβάλλεται η προσθήκη γύψου στα νερά αυτά πριν τη χρησιμοποίησή τους και αυτό γιατί ο γύψος είναι πίο διαλυτός από το $CaCO_3$ και ευνοεί την παρουσία ιόντων ασβεστίου που με την σειρά αντικαθιστούν το Na στα εδαφικά κolloειδή (Παπαμίχος et al., 1995).

3.8. ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Η χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς εμπεριέχει κατά κανόνα μεγαλύτερο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία από τη χρήση νερών που προέρχονται από άλλες μη μολυσμένες πηγές, εξαιτίας της έκθεσης του κοινού σε παθογόνους μικροοργανισμούς ή τοξικές ουσίες. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους του της επεξεργασίας των υγρών αστικών λυμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία και η μείωση αυτού σε αποδεκτά επίπεδα. Σε γενικές γραμμές, οι κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων είναι ανάλογη του βαθμού έκθεσης αυτών στα υγρά απόβλητα, της ποιότητας των αποβλήτων και της αξιοπιστίας των συστημάτων επεξεργασίας τους.

3.8.1. ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Ο κύριος όγκος των υγρών αστικών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές και για το λόγο αυτό οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στον εντερικό σωλήνα των ανθρώπων βρίσκονται και στα απόβλητα. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών με πηγή τα αστικά απόβλητα. Ο αριθμός των παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά αστικά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά. Ωστόσο, οι παθογόνοι οργανισμοί που ήταν υπεύθυνοι για τις επιδημίες του παρελθόντος είναι ακόμη παρόντες στα αστικά απόβλητα.

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα βακτήρια, τα παράσιτα (πρωτόζωα και έλμινθες) και τους ιούς. Στον πίνακα 3.6 συνοψίζονται οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που κατά κανόνα



είναι παρόντες στα υγρά αστικά απόβλητα και οι ασθένειες που είναι δυνατό να προκαλέσουν.

Πίνακας 3.5. Οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που είναι πιθανό να βρίσκονται στα αστικά απόβλητα.

Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Ασθένεια
Βακτήρια	
Shigella	Σιγγέλωση
Salmonella	Τύφος
Vibrio cholerae	Χολέρα
Escherichia coli	Γαστρεντερίτιδα
Leptospira	Λεπτοσπειρώση
Πρωτόζωα	
Entamoeba histolytica	Αμοιβάδωση
Giardia lamblia	Λαμπλίωση
Balantidium coli	Βαλαντίδωση
Έλμινθες	
Ascaris lumbricoides	Ασκαρίδωση
Ancylostoma	Αγγυλοστοδίαση
Echinococcus granulosus	Εχινικοκκίαση
Ιοί	
Enteroviruses	Γαστρεντερίτιδα Καρδιακές ανωμαλίες
Polio, echo, Coxsackie	Μηνιγγίτιδα
Hepatitis A virus	Λοιμώδης ηπατίτιδα Α
Adenovirus	Αναπνευστικά νοσήματα
Rotavirus	Γαστρεντερίτιδα
Parvovirus	Γαστρεντερίτιδα

Πηγή: (Crook, 1985)

Το μικροβιακό περιεχόμενο θεωρείται διεθνώς ως ένας από τις σημαντικότερους δείκτες της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων. Τα παθογόνα μικρόβια, τα πρωτόζωα και οι ιοί εμπεριέχουν μεγάλο αριθμό ειδών, ώστε η απομόνωσή τους να είναι δύσκολη έως αδύνατη για κάθε είδος χωριστά. Μολονότι το πρόβλημα των ιών απασχολεί την επιστημονική κοινότητα, εντούτοις δεν έχει γίνει αποδεκτός κάποιος δείκτης ιολογικής μόλυνσης ο οποίος να εκφράζει αντικειμενικά το επίπεδο παρουσίας των ιών. Οι ιολογικές εξετάσεις απαιτούν ιδιαίτερη εξειδίκευση, κατάλληλο εξοπλισμό και υψηλό κόστος το οποίο προς το παρόν τις καθιστά απρόσιτες στα μικροβιολογικά εργαστήρια.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει τόσο με τους ιούς όσο και με τα παθογόνα βακτήρια, τα οποία λόγω του αριθμού, της φύσης και της ιδιορρυθμίας τους, δεν συνιστώνται για εξετάσεις ρουτίνας.

Το πρόβλημα με τα παράσιτα δεν είναι τόσο πολύπλοκο, δεδομένου ότι οι εντερικοί έλμινθες που μπορούν να προσβάλλουν τον άνθρωπο είναι συγκεκριμένοι, αντιμετωπίζονται κυρίως επί ενδημίας, αλλά και γιατί οι τεχνικές ανίχνευσης είναι δεδομένες, απλές και καθιερωμένες.

Τα πιθανά επίπεδα συγκέντρωσης ορισμένων παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά αστικά απόβλητα δίνονται στον πίνακα 3.6. Γενικά, η χρήση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, δεν συνιστανται γιατί μπορεί να θέσει σε σοβαρό κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων. Κατάλληλη επεξεργασία των αποβλήτων και εφαρμογή προστατευτικών μέτρων κατά τη χρήση του, απομακρύνει τους κινδύνους και δίνει δυνατότητα για ασφαλή αξιοποίηση αυτής της πηγής νερού.

Πίνακας 3.6. Πιθανά επίπεδα συγκέντρωσης παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά αστικά απόβλητα

Τύπος παθογόνου μικροοργανισμού		Πιθανή συγκέντρωση ανά λίτρο υγρών αστικών λυμάτων
Βακτήρια	Faecal coliforms	10^8-10^{10}
	Shigella spp	$10-10^4$
	Salmonella spp	$1-10^5$
	Vibrio cholerae	10^2-10^5
Πρωτόζωα	Entamoeba histolytica	$1-10^2$
	Cryptosporidium parvum	$1-10^4$
	Giardia intestinalis	10^2-10^5
Έλμινθες	Ascaris lumbricoides	$1-10^3$
	Ancylostoma/Necator	$1-10^3$
	Trichuris trichiura	$10-10^2$
Ιοί	Enteric viruses	10^5-10^6
	Rotavirus	10^2-10^5

Πηγή: (WHO, 2006);(Feachem et al, 1983)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ειδών είναι μία διαδικασία, που ακολουθείται σε διάφορες χώρες του κόσμου. Στην Ελλάδα ακόμη είναι μία νέα μέθοδος, που ήδη έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πειραματικά.

Η εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ειδών στην Ελλάδα, δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία εφαρμογής. Για μια σωστή και ασφαλή εφαρμογή τους είναι απαραίτητη η έρευνα τόσο της ποιότητας, και της καταλληλότητας των υγρών αστικών λυμάτων, που εξέρχονται από τους βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων, όσο και της ικανότητας των χρησιμοποιηθέντων δασικών ειδών να δέχονται την άρδευση, αυτό σημαίνει ότι για να τύχει εφαρμογής η άρδευση με τα υγρά αστικά λύματα, θα πρέπει πρώτα απ' όλα να απαντώνται τα παρακάτω ερωτήματα :

- Ποιες είναι οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που το νερό άρδευσης περιέχει ;
- Ποια είναι η αντοχή, ανοχή, ή η πιθανή τοξικότητα των φυτών που δέχονται το νερό άρδευσης, σε σχέση πάντα με τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στους φυτικούς ιστούς, τις ρίζες τους και το εδαφικό τους υπόστρωμα ;
- Ποια προβλήματα είναι πιθανόν να προκύψουν με την συνεχή εναπόθεση των υγρών αστικών λυμάτων που χρησιμοποιούνται για άρδευση στα εδάφη ;

Η απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων, που συνθέτουν το πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ειδών, δεν είναι μία εύκολη υπόθεση.

Προϋποθέτει πρώτα απ' όλα την άριστη γνώση της λειτουργίας του βιολογικού σταθμού επεξεργασίας λυμάτων και οπωσδήποτε απαιτεί τον συγχρονισμό και την ομαδική ερευνητική προσπάθεια πλήθους επιστημονικών κλάδων.

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η διερεύνηση της δυνατότητας άρδευσης με υγρά αστικά λύματα και λάσπη που προέρχονται από σταθμούς βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, φυτειών διαφόρων δασικών και φυτικών ειδών σε αναδασώσεις, με τη μελέτη ιδιοτήτων, όπως αυτών της καθ' ύψους αύξησης, της θνησιμότητας και της αντοχής των φυτικών ειδών σε μέταλλα.



Η διερεύνηση της συμπεριφοράς των φυτικών ειδών στο να απορροφούν βαρέα μέταλλα, θα μας επιτρέψει σίγουρα και τεκμηριωμένα να προτείνουμε τα κατάλληλα και ανθεκτικά εκείνα είδη προκειμένου να εφαρμοσθεί η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα. Ταυτόχρονα όμως θα πρέπει να απαντήσουμε και στο ζήτημα που δημιουργείται από την αλληλεπίδραση αρκετών μικροστοιχείων στο νερό της άρδευσης.

Διαφορετική είναι ασφαλώς η γεωχημική συμπεριφορά των περισσότερων στοιχείων, όταν αυτά δρουν μόνα τους στο εδαφικό διάλυμα και τελείως διαφορετική είναι όταν έχουμε αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Αυτό είναι πραγματικά ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, τη στιγμή όπου στα λύματα τα στοιχεία δρουν μαζί άλλοτε συνεργιστικά και άλλοτε ανταγωνιστικά μεταξύ τους.

Η ανταγωνιστική δράση του Fe και Mn καθώς και η αλληλεπίδραση των άλλων στοιχείων στο νερό της άρδευσης όπου χρησιμοποιούμε αυξανόμενες συγκεντρώσεις των υπ' όψιν στοιχείων, θα μας δώσει τη δυνατότητα να ερευνήσουμε τη συμπεριφορά των επιλεγμένων δασικών ειδών στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των μετάλλων.

Τόσο το νερό άρδευσης (υγρά αστικά λύματα), όσο το έδαφος (εμπλουτισμένο με την ανάλογη ποσότητα ιλύος προερχόμενη από βιολογικό καθαρισμό, καθώς και με την ανάλογη ποσότητα χουμικού οξέος), αλλά και το δασικό είδος, θα πρέπει να λειτουργήσει ως ένα σύστημα προκειμένου να έχει εφαρμογή η νέα αυτή μέθοδος άρδευσης.

Η απάντηση στα πιο πάνω αναφερθέντα ερωτήματα, θα αποτελέσει την αρχή για την ασφαλή και επιτυχή επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων για την άρδευση στη χώρα μας. Μία τέτοια επιτυχή κατάληξη θα αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό γεγονός, δεδομένου ότι τα επεξεργασμένα λύματα των βιολογικών καθαρισμών επεξεργασίας λυμάτων δεν θα καταλήγουν πάντα σε φυσικούς υδάτινους αποδέκτες (θάλασσες, ποτάμια, ρυάκια, λίμνες) με όλα τα δυσμενή περιβαλλοντικά αποτελέσματα που αυτά προκαλούν (μόλυνση, ευτροφισμό, περιβαλλοντική και οικολογική υποβάθμιση) αλλά θα χρησιμοποιούνται για την άρδευση άγονων, και γενικότερα υποβαθμισμένων και προβληματικών εδαφών και αναδασωτέων ως επί το πλείστον εκτάσεων, αλλά και χώρων πρασίνου και χώρων αναψυχής (περιαστικά δάση, πάρκα, γήπεδα κ.τ.λ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΦΥΤΩΝ

Η τεχνητή ίδρυση συστάδων παρουσιάζεται σ' εκείνες τις περιπτώσεις στις οποίες το φυσικό δάσος έχει καταστραφεί ή η καταστροφή του έχει προχωρήσει τόσο πολύ, ώστε να μην είναι δυνατή η φυσική αναγέννηση.

Τεχνητή ίδρυση συστάδων έχουμε επίσης στην περίπτωση που σκοπεύουμε να αλλάξουμε το δασοπονικό είδος με την εισαγωγή νέων ειδών. Συχνά η καταστροφή του φυσικού δάσους αποτελεί ένα είδος προπαρασκευής για την τεχνητή ίδρυση, είτε γιατί η αξία της παραγωγής των αυτοχθόνων ειδών είναι πολύ μικρή είτε γιατί επιθυμούμε να εισάγουμε ταχυσυζέστερα και παραγωγικότερα ξένα προς τη φυσική φυτοκοινωνία ή και ξενικά δασοπονικά είδη.

Για να μπορέσουν όμως τα δάση να πληρούν αυτούς τους σκοπούς πολύ μεγάλη προσοχή απαιτείται εκτός από τη διαδικασία της καλλιέργειας τους στην επιλογή των κατάλληλων δασοπονικών ειδών και κυρίως στην σωστή παραγωγή, ανάπτυξη και φροντίδα αυτών στα δασικά φυτώρια.

Η εκλογή των δασοπονικών ειδών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα δασοκομικά μέτρα που καθορίζουν τους παραπέρα χειρισμούς μας για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Γενικά η ορθή εκλογή των δασοπονικών ειδών αποτελεί το σημαντικότερο βήμα για την επιτυχία του τιθέμενου δασοπονικού σκοπού. Γι' αυτό τα προς την εκλογή δασοπονικά είδη πρέπει να πληρούν τις εξής βασικές προϋποθέσεις:

α) Να είναι βιολογικά προσαρμοσμένα προς τις οικολογικές συνθήκες του σταθμού στον οποίο θα εισαχθούν.

β) Να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του τεθέντος δασοπονικού σκοπού και

γ) Η εγκατάστασή τους και γενικά ο παραπέρα χειρισμός τους να είναι εύκολος χωρίς ιδιαίτερα υψηλές δαπάνες (Χατζησταύνης 1989).

Κατά την εκλογή των δασοπονικών ειδών ανάλογα με το σταθμό εκλέγονται εκείνα τα δασοπονικά είδη που οι βιολογικές ιδιοτητές τους συμπίπτουν με τις οικολογικές συνθήκες του σταθμού στον οποίο πρόκειται να εισαχθούν. Δηλαδή οι φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους θα πρέπει να συμπίπτουν με αυτές τις οποίες χρειάζεται το φυτό προκειμένου να αναπτυχθεί ικανοποιητικά.



Μια οικολογική εκλογή ενός είδους συνδυάζεται επίσης με μια ορισμένη δυνατότητα απόδοσης του είδους αυτού στο συγκεκριμένο σταθμό. Είδη οικολογικά κατάλληλα για να εισαχθούν σ'ένα συγκεκριμένο σταθμό είναι εκείνα που ανταποκρίνονται πληρέστερα στο δασοπονικό σκοπό.

Πάντοτε τα αυτόχθονα είδη που ανήκουν στη σύνθεση της φυσικής φυτοκοινωνίας ή της εκτιμώμενης φυτοκοινωνικής ένωσης μιας συγκεκριμένης περιοχής ανταποκρίνονται πληρέστερα στο δασοπονικό σκοπό και γι'αυτό προτιμώνται.

Τέλος από τα επιλεγέντα οικολογικά και με βάσει του σκοπού δασοπονικά είδη προτιμώνται εκείνα, που η εγκατάσταση και ο εν γένει δασοκομικός χειρισμός απαιτούν τις λιγότερες δυνατές δαπάνες (Χατζηστάθης, 1989).

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα δασικά είδη, το *Cupressus arizonica* Greene, το *Cotoneaster integerrimus* Med, το *Pinus pinea* L. και το *Pinus halepensis* Mill. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων ύστερα από δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι για την Ελλάδα μια αρκετά καινούρια πρακτική, αφενός που βρίσκεται σε πρωταρχικά στάδια, αφ' ετέρου δε το ότι οι βιολογικοί σταθμοί βρίσκονται πλησίον ποταμών, στους οποίους τελικά καταλήγουν τα λύματα, είναι λογικό η χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων να αρχίσει με την άρδευση δασικών ειδών που θα φυτευτούν πλησίον των εγκαταστάσεων των βιολογικών καθαρισμών. Έτσι και οι χώροι πλησίον των εγκαταστάσεων θα αξιοποιηθούν και προστασία των υδάτινων αποδεκτών θα επιτευχθεί με την αξιοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων.

Τα δασικά εκείνα είδη που επελέγησαν όπως έχει ήδη αναφερθεί για την πραγματοποίηση του πειράματος είναι τα εξής:

***Cupressus arizonica* Greene**

(Κυπαρίσσι Αριζόνας)

- **Βελόνες.** Ωοειδείς, οξυκόρυφες, λεπιοειδής, γαλανοπράσινες, χοντρές με τρόπιδα και εμφανή αδένα στη ράχη τους. Είναι πολύ πυκνές και πιεσμένες πάνω στα κλαδιά, ώστε να τα καλύπτουν σαν κεραμίδα.

- **Άνθη.** Μονογενή. Φυτό μόνικο. Τα αρσενικά στις κορυφές των κλαδίσκων σε ωοειδείς ή κυλινδρικούς ιούλους. Αποτελούνται από ασπιδοειδείς στήμονες, τοποθετημένους σταυρωτά και αντίθετα σε 4 σειρές, με 3-4 γυρεόσακκους στην κάτω επιφάνεια. Τα θηλυκά, επίσης στις κορυφές των κλαδίσκων, σε οωειδείς ιούλους. Αποτελούνται από 6-8 ασπιδοειδή καρπόφυλλα, με πολυάριθμες σπερμοβλάστες στη βάση τους. Άνθηση Ιανουάριο-Απρίλιο.
- **Καρπός.** Στρόβιλος σφαιρικός, με μικρό ποδίσκο και διάμετρο 3 εκ., στην αρχή κοκκινοκαστανός, αργότερα σταχτογάλανος. Αποτελείται από 6-8 ασπιδοειδή, ξυλώδη καρπόφυλλα, ελαφρά βαθουλωμένα και ακιδωτά στο μέσο τους. Είναι ενωμένα μεταξύ τους στο κέντρο του κώνου με μικρούς ποδίσκους. Ωρίμανση το δεύτερο χρόνο από την άνθηση, βαθμιαία το καλοκαίρι ή το φθινόπωρο
- **Σπέρματα.** Πολλά μαζί σε κάθε καρπόφυλλο, κόκκινα και με εξάρσεις. Πτώση το φθινόπωρο ή το χειμώνα.
- **Γενική περιγραφή.** Δένδρο ύψους 25-30 m. Κόμη πλατιά κωνική και κλαδιά οριζόντια. Φλοιός κοκκινοκαστανός, απολεπίζεται σε μακρές λωρίδες.
- **Βιολογικές απαιτήσεις.** Είδος με λίγες απαιτήσεις. Είναι ξηρόβιο και μπορεί να αναπτυχθεί στην ευμεσογειακή ζώνη και στην κατώτερη υποζώνη της παραμεσογειακής ζώνης βλαστήσεως, σε αβαθή, βραχώδη εδάφη.
- **Γεωγραφική εξάπλωση.** Στην Αριζόνα της Β. Αμερικής ως τις ερήμους του Μεξικού και στα βουνά ως υψόμετρο 2000 m. (Αθανασιάδης, 1986) (Εικόνα 6.1).



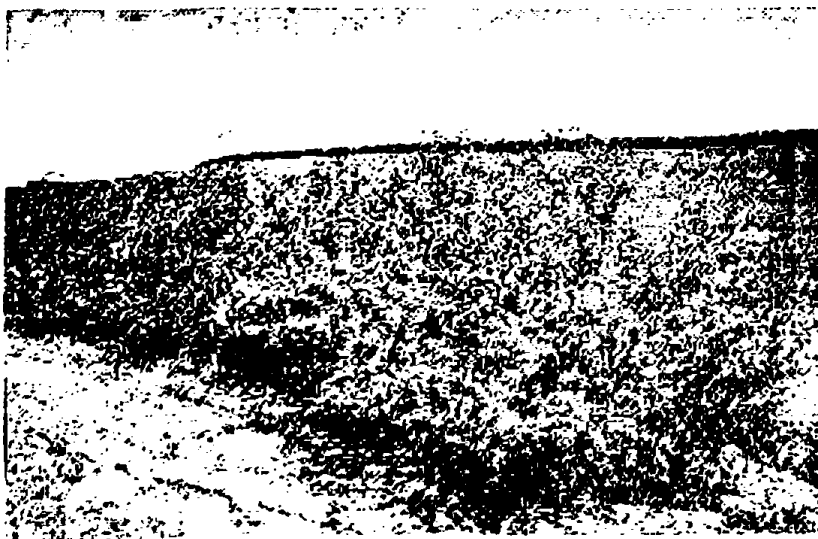
Εικόνα 5.1 : Cupressus Arizona Greene

Cotoneaster integerrimus Med.

(C. vulgaris Lindl.)

(Κοτονεάστερ ακεραιότατη)

- **Φύλλα.** Βραχύμίσχα ωοειδή ως κυκλικά, αμβλυκόρυφα ή οξυκόρυφα, μήκους 2-5 εκ., λειόχειλα. Βάση συνήθως στρογγυλεμένη. Πάνω επιφάνεια βαθυπράσινη, γυμνή, κάτω με σταχτόλευκο πύλημα.
- **Άνθη.** Στις μασχάλες των φύλλων, κουδουνοειδή, κοκκινόλευκα, μονά ή ανά 2-5 σε σκιαδόμορφο βότρυ, με βραχύ ποδίσκο, γυρτά προς τα κάτω. Κάλυκας και ποδίσκοι γυμνοί. Πέταλα λίγο μακρύτερα από τα σέπαλα. Άνθηση Απρίλιο – Μάιο.
- **Καρπός.** Σφαιρικός, διαμέτρου 6 - 8 χιλ. κόκκινος, γυμνός, γυρτός προς τα κάτω, με 3 λιθώδη σπέρματα. Ωρίμανση Ιούνιο – Αύγουστο του χρόνου ανθήσεως.
- **Γενική περιγραφή.** Μικρός θάμνος, ύψους 0,60-1,5 m. Κλαδίσκοι αρχικά πηληματώδεις, αργότερα γυμνοί, γυαλιστεροί.
- **Γεωγραφική εξάπλωση.** Στην Ν., ΝΑ. και μέση Ευρώπη. Στην Ελλάδα σε βραχώδεις θέσεις στην Κέρκυρα και στην Μακεδονία (Αθανασιάδης, 1986) (Εικόνα 6.2).



Εικόνα 5.2 : Cotoneaster Integerrimus Med

Pinus pinea L.
(κ. Κουκουναριά)

- **Βελόνες.** Ανά δύο σε βραχυκλάδια με σπειροειδή διάταξη, μήκους 10-15 εκ. ανοιχτοπράσινες, δύσκαμπτες, λίγο περιστραμμένες. Διάρκεια ζωής 4-5 χρόνια.
- **Οφθαλμοί.** Ωοειδής, χωρίς ρητίνη. Λέπια λευκωπά, θυσανωτά, στραμμένα προς τα πίσω.
- **Κλαδίσκοι.** Νεαροί σταχτοπράσινοι.
- **Άνθη.** Μονογενή. Φυτό μόνοικο. Τα αρσενικά είναι επιμήκεις ωοειδείς, κίτρινοι ίουλοι μήκους 1 εκ. ενώ τα θηλυκά πρασινοκίτρινα, όρθια, μορφής κωνίσκων, με ποδίσκο. Είναι μονά ή ανά δύο, σπάνια ανά τρία, στην άκρη των ετήσιων βλαστών. Άνθηση Απρίλιο-Μάιο.
- **Κώνοι.** Πλατιά ωοειδείς ως σφαιρικοί, μήκους 8-15 εκ. και πλάτους 7-10 εκ. Είναι απόδισκοι, συμμετρικοί, κάθετοι πάνω στα κλαδιά, γυαλιστεροί, καστανωποί. Η ωρίμανση γίνεται το Νοέμβριο-Δεκέμβριο του τρίτου χρόνου από την άνθηση και τα σπέρματα πέφτουν την επόμενη Άνοιξη. Τον πρώτο χρόνο οι κώνοι έχουν μέγεθος καρυδιού, το δεύτερο μέγεθος αυγού και τον τρίτο εξελίσσονται γρήγορα και παίρνουν την τελική τους μορφή.
- **Σπέρματα.** Επιμήκη ωοειδή, μήκους 15-20 χιλ. και πάχους 5 χιλ. Είναι λιθώδη και σκεπασμένα με μαύρο επίχρισμα. Πτερύγιο πολύ μικρό, κρατά το σπέρμα σαν τσιμπίδα και πέφτει εύκολα.
- **Κοτυληδόνες.** 10-13, τριγωνικές, γαλαζοπράσινες, μήκους 6 εκ.
- **Γενική περιγραφή.** Δένδρο ύψους 15-25 m. Κόμη στην αρχή σχεδόν σφαιρική, αργότερα θολωτή, σαν ομπρέλα, με κλαδιά οριζόντια. Φλοιός σταχτοκόκκινος ως σταχτόμαυρος με ξηρόφλοιο σχισμένο κατά μήκος.
- **Βιολογικές απαιτήσεις.** Είδος αδιάφορο για τη φύση του εδάφους και το μητρικό πέτρωμα. Χρειάζεται αμμοαργιλώδη ή αργιλοαμμώδη εδάφη και αποφεύγει τα πολύ συμπαγή αργιλλώδη. Είναι φιλόφωτο, με απαιτήσεις σε φώς μεγαλύτερες από όλα τα ελληνικά πεύκα.
- **Γεωγραφική εξάπλωση.** Σ' όλη την παραμεσόγεια Ευρώπη, στις παραλίες της Μ. Ασίας και του Εύξεινου πόντου. Στην Ελλάδα, στη δυτική



Πελοπόννησο, Αττική, Εύβοια, Νάξο, Σκόπελο, Σκιάθο, Χαλκιδική και αλλού (Αθανασιάδης, 1986) (Εικόνα 6.3).



Εικόνα 5.3 Pinus pinea L.

Pinus halepensis Mill.

(Πεύκη χαλέπιος)

- **Βελόνες.** Ανά δύο σε βραχυκλάδια, με σπειροειδή διάταξη, ανοικτοπράσινες, λεπτές, στιλπνές, ευθείες, μήκους 8-13 εκ. και πλάτους 1 χιλ. Παρυφές ελαφρά οδοντωτές, με οδόντωση που δεν είναι αισθητή στην αφή. Ρητινοφόροι αγωγοί στην πάνω επιφάνεια, στην κάτω επιφάνεια περισσότεροι. Διάρκεια ζωής 2 χρόνια.
- **Οφθαλμοί.** Κωνικοί αμβλυκόρυφοι ή ελαφρά οξυκόρυφοι, χωρίς ρητίνη, μήκους 2 εκ. Λέπια κοκκινοκαστανά στραμμένα προς τα εμπρός. Οφθαλμοί σχηματίζονται όχι μόνο στην άκρη των κλαδιών, αλλά και ενδιάμεσα, με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται διακεκριμένοι σπόνδυλοι.
- **Κλαδίσκοι.** Νεαροί σταχτόλευκοι.
- **Άνθη.** Μονογενή. Φυτόμόνοικο. Τα αρσενικά είναι κίτρινοι ίουλοι, ενώ τα θηλυκά έχουν τη μορφή μικρών κωνίσκων, πορφυροκόκκινου χρώματος, με ποδισκο μήκους 1 εκ. Στην αρχή είναι όρθια, μετά την επικονίαση στρέφονται προς τα κάτω. Άνθηση Μάρτιο – Απρίλιο.

- **Κώνοι.** Ωοειδείς, οξυκόρυφοι, μήκους 5-10 εκ. και πλάτους 6 εκ., ευθείς ή λίγο κυρτοί. Είναι μονοί ή ανά δύο σε σπονδύλους και κρέμονται από τα κλαδιά με κυρτό ποδίσκο που έχει μήκος 1,5-3 εκ. Το χρώμα των ώριμων κώνων είναι κοκκινοκαστανό, όταν όμως μένουν πολλά χρόνια πάνω στα δένδρα παίρνουν χρώμα σκούρο σταχτί. Ωρίμανση τον Απρίλιο - Μάιο του τρίτου χρόνου από την άνθηση, δηλαδή μετά διετία. Οι περισσότεροι από τους κώνους ανοίγουν ως το φθινόπωρο, άλλοι τον επόμενο ή τον μεθεπόμενο χρόνο, και μερικοί μένουν κλειστοί για πολλά χρόνια. Ανοιχτοί κώνοι επίσης μένουν πάνω στα κλαδιά πολύ καιρό.
- **Σπέρματα.** Αχλαδόμορφα, αμβλέα στο πάνω άκρο και οξέα στο κάτω μήκους 5-7 χιλ. με καστανοσταχτί χρώμα και μαύρα στίγματα. Το κέλυφος είναι μαλακό και σπάει με τα δάχτυλα. Το πτερύγιο είναι ανοικτοκαστανό, κρατά το σπέρμα σαν τσιμπίδα και συνήθως είναι πλατύτερο στο πάνω μισό.
- **Κοτυληδόνες.** 7-9 δρεπανοειδείς, τριγωνικές, σταχτοπρά-σινες, μήκους 2-3 εκ.
- **Γενική περιγραφή.** Δένδρο ύψους 10-20 m. σπάνια 30 m. Κορμός συνήθως στρεβλός και διακλάδωση όχι σε σπονδύλους. Κόμη σε νεαρή ηλικία κωνική, σε μεγαλύτερη πλατιά και ακανόνιστη. Φλοιός στην αρχή λείος, γυαλιστερός, σταχτόλευκος, αργότερα σχηματίζει ξηρόφλοιο κοκκινοκαστανό, με απιμήκες σχισμές.
- **Βιολογικές απαιτήσεις.** Είδος με μεγάλη προσαρμοστική ικανότητα, λιτοδίαιτο. Αναπτύσσεται σε πολύ διαφορετικά εδάφη, ακόμα και σε άγονα, ξηρά και αβαθή. Είναι πολύ φωτόφιλο και έχει απαιτήσεις σε φως μεγαλύτερες από όλα τα πεύκα εκτός από την κουκουναριά (*P. pinea*).
- **Γεωγραφική εξάπλωση.** Στη Β. Αφρική, Ισπανία, Ν. Γαλλία, Ιταλία, Αλβανία, Γιουγκοσλαβία, Τουρκία, Συρία, Λίβανο και Παλαιστίνη. Στην Ελλάδα στην Ήπειρο, Στερεά Ελλάδα, Πελοπόννησο, Χαλκιδική, Πήλιο, Εύβοια, Σκύρο και μερικά άλλα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους (Αθανασιάδης, 1986) (Εικόνα 6.4).



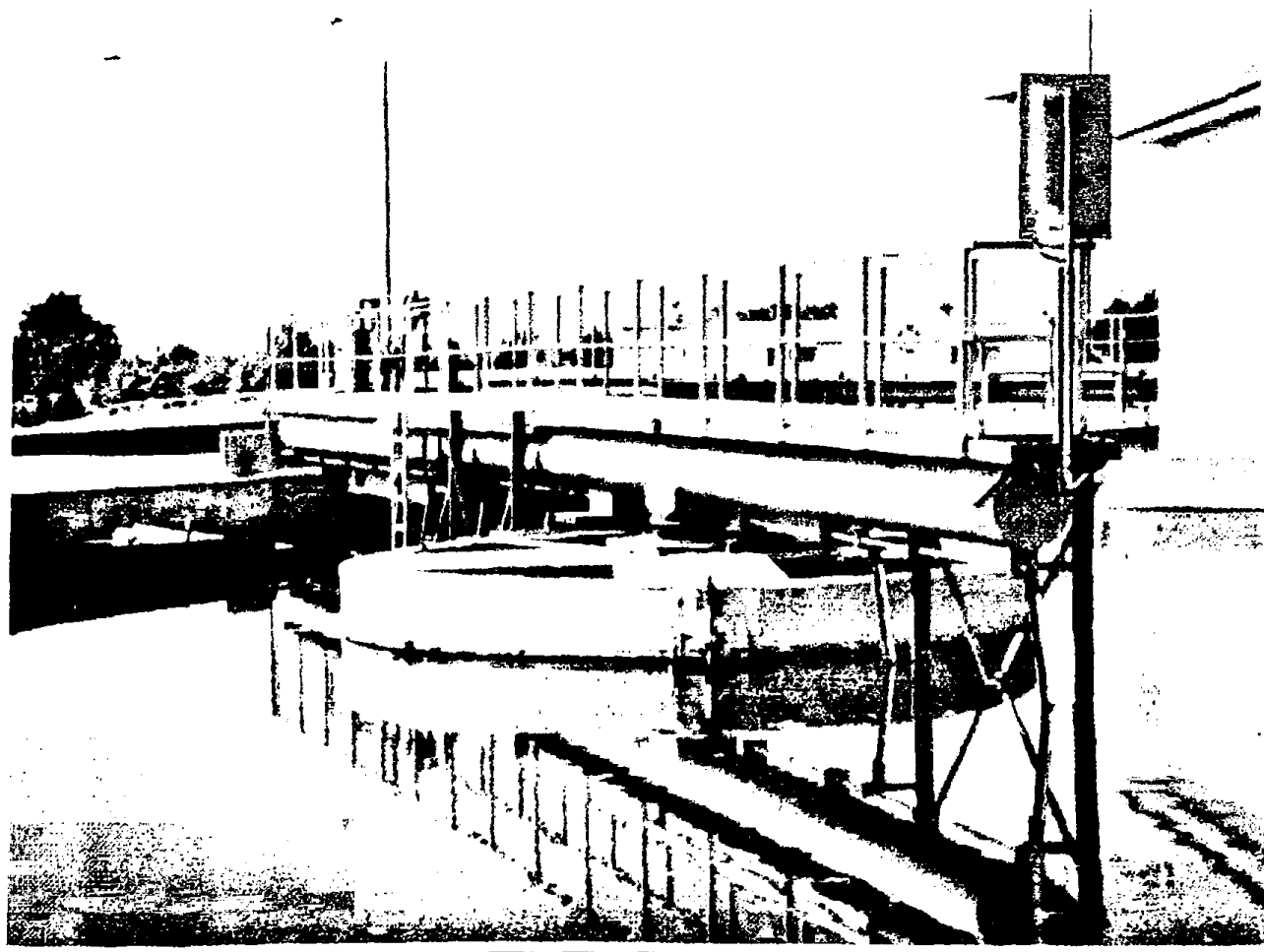
Εικόνα 5.4 : Pinus halepensis Mill.

Η επιλογή των παραπάνω δασικών ειδών για την πραγματοποίηση του πειράματος πραγματοποιήθηκε αφενός γιατί:

- α) τα τέσσερα δασικά είδη πληρούν τις απαραίτητες και βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση και ίδρυση αναδασώσεων αφού διαθέτουν τα απαραίτητα οικολογικά χαρακτηριστικά αλλά και γιατί
- β) δεν έχει αναφερθεί ότι τα συγκεκριμένα είδη έχουν χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση αντίστοιχων πειραμάτων.

Όλα τα φυτά και των τεσσάρων δασικών ειδών αναπτύχθηκαν από σπόρο μέσα σε πλαστικές σακούλες που είχαν πληρωθεί με χώμα από την γύρω περιοχή και με διαφορετική αναλογία χώματος και ιλύς βιολογικού καθαρισμού επεξεργασίας λυμάτων της πόλης του Αγρινίου (Εικόνα 6.5). Τα φυτά καλλιεργήθηκαν κάτω από οικολογικές συνθήκες ανάλογα με το είδος των πειραμάτων, εντός θερμοκηπίου και κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες.

Αυτό έγινε προκειμένου να υπάρχει πλήρης έλεγχος των εξωτερικών παραγόντων που ενδεχόμενα είναι δυνατόν να επηρεάσουν τόσο την ανάπτυξη των φυτών όσο και την απορρόφηση των μετάλλων από τους φυτικούς ιστούς και το έδαφος.



Εικόνα 5.5 : Άποψη του Βιολογικού Καθαρισμού Αγρινίου και Μείζονος Περιοχής.

5.2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.

5.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Με σκοπό να εξετάσουμε τις ιδιότητες των φυτών που αναφέραμε προηγουμένως ο πειραματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει πέντε χειρισμούς. Οι πέντε χειρισμοί είναι ως εξής:

- Χειρισμός 1: Έδαφος περιοχής και άρδευση με κανονικό νερό.
- Χειρισμός 2: Έδαφος περιοχής και άρδευση με επεξεργασμένο υγρό λύμα
- Χειρισμός 3: Έδαφος περιοχής με λάσπη και άρδευση με επεξεργασμένο υγρό λύμα.
- Χειρισμός 4: Έδαφος περιοχής με λάσπη και άρδευση με κανονικό νερό.

- Χειρισμός 5: Έδαφος περιοχής με διαλυμένη λάσπη (20%) και άρδευση με επεξεργασμένο υγρό λύμα.

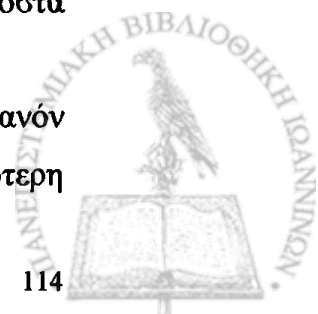
Όπως ήδη έχει αναφερθεί χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα φυτικά είδη. Από κάθε είδος χρησιμοποιήσαμε δέκα (10) φυτά και επειδή έχουμε πέντε χειρισμούς συνολικά στο πείραμά μας έλαβαν μέρος διακόσια (200) φυτά (Εικόνα 5.6).

Τα βωλόφυτα στο δασικό φυτώριο του Δασαρχείου Αγρινίου, φυτεύονται σε χαρτοδοχεία και στη συνέχεια τοποθετούνται μέσα σε θερμοκήπια τα οποία έχουν διαστάσεις 30 επί 12 μέτρα και χωράνε περίπου 60000 φυτά, τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με τσιμεντένιους διαδρόμους κατάλληλα κατασκευασμένους για να εξυπηρετούν κυρίως πρακτικούς σκοπούς κατά την εκτέλεση των απαραίτητων εργασιών για την περιποίηση των βολωφύτων (Εικόνα 5.6).

Η ορθή Έκλογή της εποχής σποράς παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του σκοπού ενός φυτωρίου. Αυτή εξαρτάται από το φυτικό είδος και το περιβάλλον, στο οποίο βρίσκεται το φυτώριο. Από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες την επιτυχία ενός φυτωρίου επηρεάζουν, η θερμοκρασία του εδάφους και οι κίνδυνοι από όψιμους παγετούς. Η υγρασία του εδάφους είναι δυνατό να ρυθμιστεί με άρδευση είτε αυτό είναι έδαφος μέσα στο θερμοκήπιο είτε ανήκει σε πρασιές μεταφύτευσης. Για τη χώρα μας συνίσταται, στη θερμότερη περιοχή των αειφύλλων πλατυφύλλων (Oleo-Ceratonion), η σπορά να γίνεται στα τέλη Φεβρουαρίου ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες του συγκεκριμένου έτους σποράς. Λαμβάνοντας όμως υπόψην μας ότι το δασικό φυτώριο Αγρινίου φυτεύει βωλόφυτα μέσα στο θερμοκήπιο όπου οι συνθήκες είναι ελεγχόμενες, η εποχή σποράς μπορεί να αρχίσει πολύ πιο νωρίς.

Το δασικό φυτώριο Αγρινίου ξεκινά την φύτευση των φυτών το φθινόπωρο και συγκεκριμένα μέσα Νοεμβρίου έως μέσα Δεκεμβρίου για τα κωνοφόρα ανάλογα βέβαια με τις καιρικές συνθήκες και συνεχίζει την φύτευση των πλατύφυλλων μέχρι τα μέσα Απριλίου. Ο χρόνος αυτός είναι φυσικά ο κατάλληλος για την δημιουργία ανθεκτικών φυταρίων τα οποία αφού μεγαλώσουν αρκετά και φυτευτούν στο συγκεκριμένο χώρο που επιθυμούμε να παρουσιάσουν μεγάλα ποσοστά επιτυχίας. Για τις ανάγκες του πειράματός μας όμως αρχίσαμε την φύτευση των σπόρων των βολωφύτων λίγο πιο νωρίς ακόμη χωρίς να διακινδυνεύουμε καθόλου τα ποσοστά επιτυχίας αφού εμείς φροντίζουμε οι συνθήκες να είναι απολύτως ελεγχόμενες.

Τα φυτά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν έρχονται σε επαφή με τις πιθανόν δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες, η θερμοκρασία στο εσωτερικό είναι πολύ υψηλότερη



από αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος και η υγρασία καθορίζεται πάντα έτσι ώστε να βρίσκεται στα αναγκαία επίπεδα για τα φυτά.

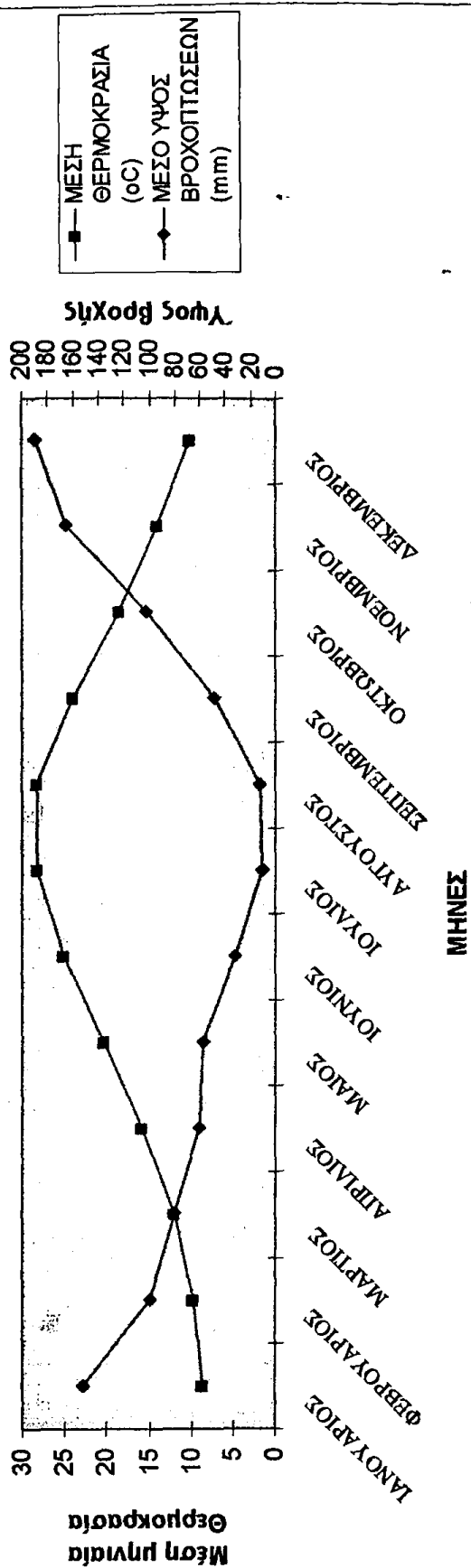
Τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, για τους υπ' όψιν μήνες, δηλαδή η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία, η ηλιοφάνεια παρουσιάζονται στα ακόλουθα ιστογράμματα.



Πίνακας 5.1. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών και κατακρημνισμάτων για τη χρονική περίοδο 1995-2002

Μετεωρολογικά στοιχεία	Είδος μονάδας	Μέσες μηνιαίες τιμές												Μέσες ετήσιες τιμές
		Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	
Θερμοκρασία	°C	8,6	9,8	11,9	15,9	20,4	25	28,1	28,2	23,9	18,6	13,9	10,2	17,9
Υψος βροχής	mm	152,2	99,8	79,8	60,3	57,4	31,5	11	12	48,6	101,9	165,2	190,2	1009,9

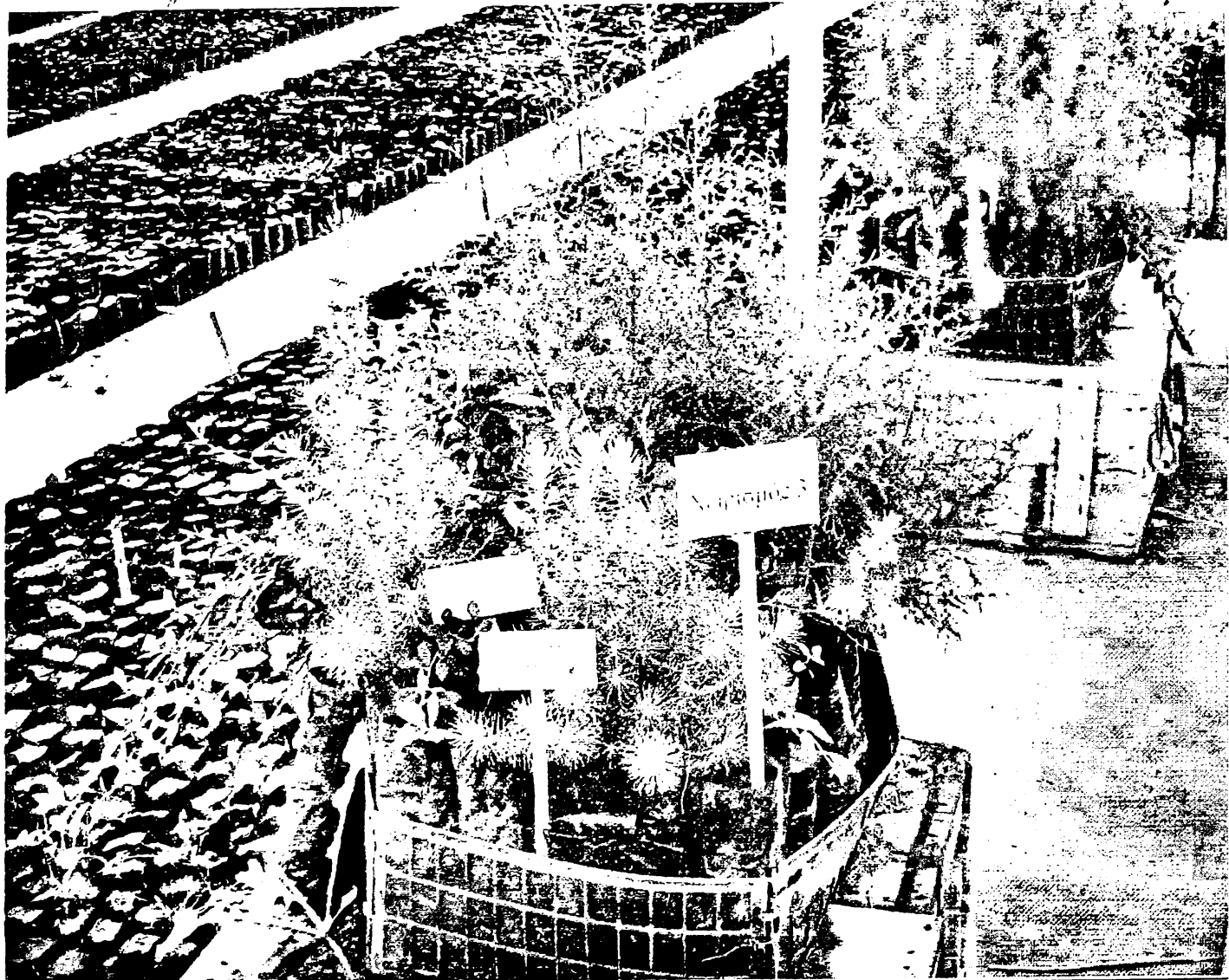
ΟΜΒΡΟΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΓΡΙΝΙΟΥ 1995-2007



Σχ. 5.1. Ομβροθερμικό διάγραμμα για τη χρονική περίοδο 1995-2007



Εικόνα 5.6. Εγκατάσταση και άρδευση δασικών ειδών του δεύτερου χειρισμού στο θερμοκήπιο.



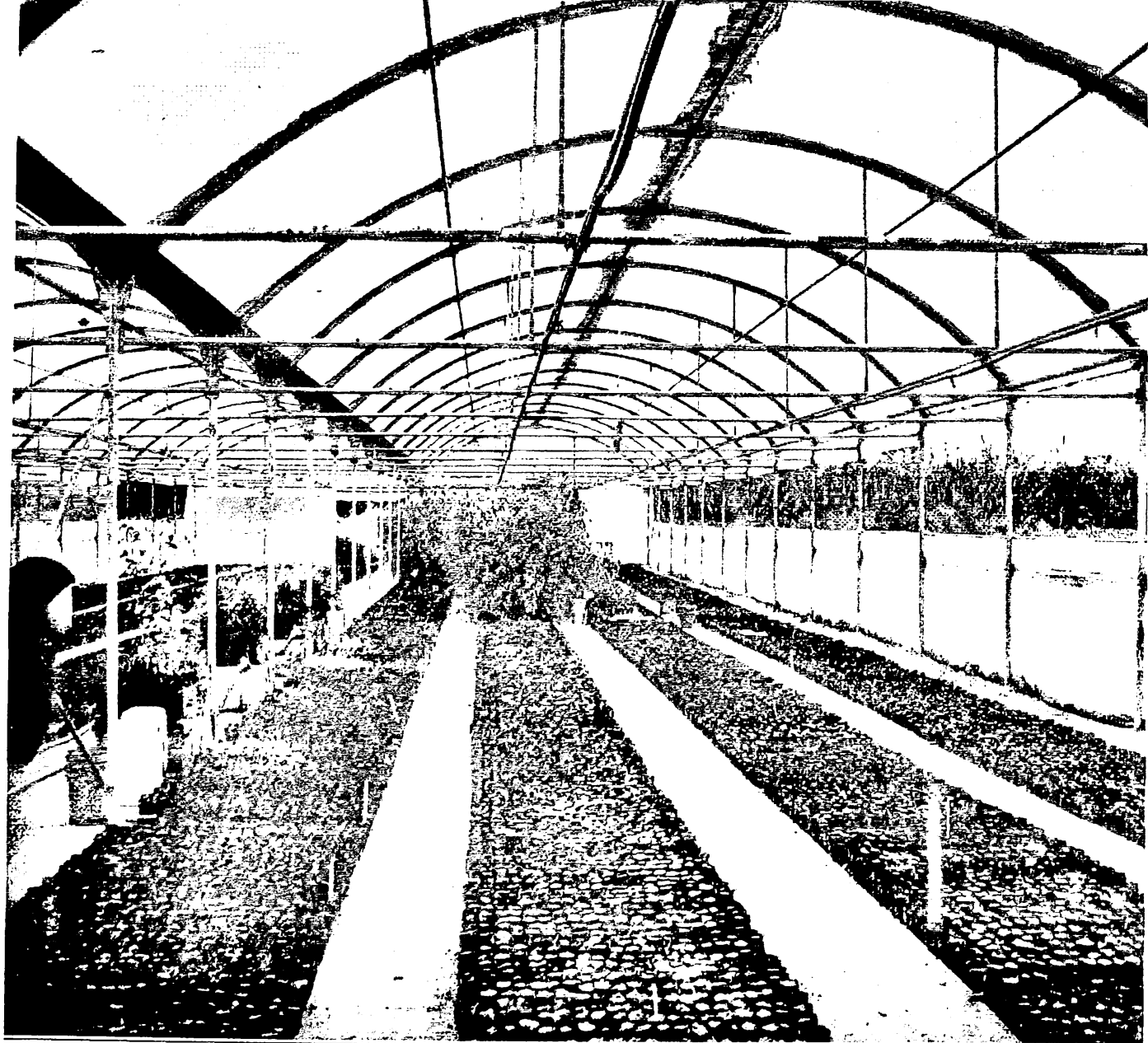
Εικόνα 5.7. Εγκατάσταση και άρδευση δασικών ειδών του τρίτου χειρισμού στο θερμοκήπιο.



Εικόνα 5.8. Εγκατάσταση και άρδευση δασικών ειδών του τέταρτου χειρισμού στο θερμοκήπιο.



Εικόνα 5.9. Γενική άποψη των εξωτερικών εγκαταστάσεων του δασικού φυτωρίου στην περιοχή πλατάνου καλυβίων.



Εικόνα 5.10. Γενική άποψη των εγκαταστάσεων εντός του δασικού φυτωρίου στην περιοχή πλατάνου καλυβίων.

5.3. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.

Πριν από την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας των φύλλων προκειμένου να προχωρήσουμε σε χημική ανάλυση και να βρεθούν οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που αυτά περιείχαν, στο τέλος της αυξητικής περιόδου, πραγματοποιήσαμε μακροσκοπικές παρατηρήσεις στα φύλλα των φυτών, στο θερμοκήπιο.

Στα φυτά εντός του θερμοκηπίου παρατηρήθηκαν μακροσκοπικά τα εξής:

-Όλα τα φυτά του 1^{ου} χειρισμού και από τα τέσσερα είδη έχουν έντονο πράσινο χρώμα και δείχνουν υγιή.

-Όλα τα φυτά του 2^{ου} χειρισμού και από τα τέσσερα είδη έχουν έντονο πράσινο χρώμα και δείχνουν υγιή.

-Γενικά τα φυτά του 3^{ου} χειρισμού δεν φαίνεται να πηγαίνουν ιδιαίτερα καλά, γιατί πέρα από την υψηλή θνησιμότητα εμφανίζουν έντονο κίτρινο χρώμα με νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα στα χαμηλότερα κλαδιά τους, τα φύλλα τους είναι στα περισσότερα φυτά ήδη ξερά. Η χλώρωση προκαλεί το θάνατο τόσο των φύλλων όσο και των ίδιων των φυτών. Πιθανώς η έλλειψη κάποιου μακροστοιχείου ή ιχνοστοιχείου να επηρεάζει τόσο πολύ όχι μόνο την αύξηση αλλά και την θνησιμότητα των φυτών του χειρισμού αυτού. Γενικώς όλα τα φυτά φαίνονται πολύ στρεσαρισμένα, με εξαίρεση το *Cupressus Arizonica* Greene λόγω πιθανώς του υποστρώματος.

-Τα φυτά του 4^{ου} χειρισμού δεν δείχνουν όλα υγιή. Τα κωνοφόρα φαίνεται να αντέχουν περισσότερο τις συνθήκες της λάσπης ενώ το *Cotoneaster* όχι. Γενικώς τα φυτά φαίνονται στρεσαρισμένα εξαιτίας της λάσπης. Υπάρχουν έντονα χλωρωτικά φαινόμενα και νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα σχεδόν σε όλα τα φυτά. Η χλώρωση προχωρά σε βαθμό μέχρι πλήρους νεκρώσεως των φύλλων και κατά συνέπεια και των φυτών τόσο στα κωνοφόρα όσο και στα πλατύφυλλα.

-Τα φυτά του 5^{ου} χειρισμού φύτευαν και στην αρχή είχαν γρήγορη ανάπτυξη αλλά τα περισσότερα ξεράθηκαν. Αυτά που τώρα έμειναν είναι καχεκτικά και πολύ μικρά σε ανάπτυξη. Τα φυτά αυτά υστερούν κατά πολύ στην ανάπτυξή τους σε σχέση με τα φυτά των άλλων χειρισμών. Τα κωνοφόρα φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικά από τα πλατύφυλλα. Η χλώρωση δεν μπορούσε να είναι εντονότερη και εμφανίζεται με νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα, τόσο στο έλασμα όσο και στα ίδια τα νεύρα και





Εικόνα 5.12. Φύλλα του *Cupressus Arizona* Greene 3^{ου} χειρισμού με έντονα φαινόμενα χλώρωσης.



Εικόνα 5.13. Φύλλα του *Pinus halepensis* Mill 5^{ου} χειρισμού με πολύ έντονα φαινόμενα χλώρωσης, εντελώς ξηρό.



Εικόνα 5.14 : Φύλλα του *Cotoneaster Integerrimus* Med 3^{ου} χειρισμού με εμφανή χλώρωση και νεκρωτικές κηλίδες στο έλασμα του φύλλου.

5.4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΕΚΡΟΩΝ, ΕΔΑΦΩΝ, ΛΑΣΠΗΣ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

Στο πείραμα άρδευσης των φυτών που πραγματοποιήθηκε με τα επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα του βιολογικού καθαρισμού επεξεργασίας λυμάτων, η δειγματοληψία, όσον αφορά τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και τους φυτικούς ιστούς (φύλλα, βλαστό, ρίζα), έγινε ως εξής:

α) Ύστερα από κάθε άρδευση με 50 l νερού ή λύματα, αντίστοιχα μία φορά την εβδομάδα, λαμβάναμε δείγματα του αρδευτικού νερού, δηλαδή των υγρών αστικών λυμάτων καθώς και του control, τα οποία νερά τα τοποθετούσαμε μέσα σε πλαστικά δοχεία, τα οποία προηγουμένως είχαμε φροντίσει να καθαρίσουμε χρησιμοποιώντας οξύ και ξεπλένοντάς τα πριν από την χρησιμοποίησή τους με απιονισμένο νερό.

Συνολικά τα δείγματα νερών που πάρθηκαν ήταν 62. Τα 31 από αυτά αφορούσαν δείγματα υγρών αστικών λυμάτων και τα υπόλοιπα 31 δείγματα του control νερού άρδευσης.

β) Με το τέλος της καλλιέργειας των φυτών στο θερμοκήπιο, στο τέλος της αυξητικής περιόδου, ελήφθησαν δείγματα φύλλων, βλαστών, ριζών και εδάφους ξεχωριστά και από τα τέσσερα (4) δασικά είδη. Τα φύλλα, οι βλαστοί, οι ρίζες αλλά και το εδαφικό υπόστρωμα των φυτών τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για ανάλυση. Συνολικά όλα τα φυτικά είδη ελήφθησαν και από τους πέντε (5) διαφορετικούς χειρισμούς του εν λόγω πειράματος.

5.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.5.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΕΡΩΝ

Στα δείγματα νερών ο προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων έγινε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης με την τεχνική της φλόγας ακετυλίνης αέρα. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν AAS 700 Perkin Elmer (Official methods of analysis of AOAC International, 1996).

5.5.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ.

Η διαδικασία της ανάλυσης των φυτικών ιστών που ακολουθήθηκε στο εργαστήριο έγινε σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία (Official methods of analysis of AOAC International, 1996).

5.5.2.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.

1. Πλύσιμο των φυτικών ιστών:

Τα συγκομισθέντα φύλλα πλένονται με την βοήθεια πινέλου καλά με διάλυμα (5 lt νερό και 1 κουταλιά απορρυπαντικού alconox 0,1%) και στη συνέχεια



ξεπλένονται βουτώντας τα διαδοχικά σε 4 λεκάνες που περιέχουν απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό.

2. Στραγγισμα :

Οι φυτικοί ιστοί τοποθετούνται σε ειδικό απορροφητικό χαρτί στεγνώματος (WHATMAN) όπου παραμένουν εκεί για περίπου 1-2 ώρες.

3. Ξήρανση :

Τα στραγγισμένα φύλλα μεταφέρονται σε ειδικό ξηραντήριο με αερισμό και θερμοκρασία 65°C (όχι μεγαλύτερη από 80°C) για 48 ώρες.

4. Άλεσμα :

Μετά την ξήρανση του δείγματος ακολουθεί το άλεσμά του το οποίο συνήθως πραγματοποιείται σε σφυρόμυλο με μπίλιες (Retsch) από ανοξείδωτο ατσάλι, για 10 λεπτά.

5. Αποθήκευση προϊόντων αλέσματος :

Τα λαμβανόμενα προϊόντα (σκόνη δείγματος) μετά το άλεσμα τοποθετούνται σε πλαστικά ή γυάλινα αεροστεγή τριβλία. (Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 1995), (Καλαβρουζιώτης, 2007).

5.5.2.2. ΚΑΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΗΘΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗΣ (DRY ASHING)

Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και ακίνδυνη ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δείγματα μεγάλου βάρους (1-2 g) που περιορίζουν τα σφάλματα

των αναλύσεων. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία.

Κατά τη μέθοδο αυτή κονιοποιούμενα δείγματα βάρους 1 g φυτικής ύλης τοποθετούνται σε χωνευτήρια από πορσελάνη Νο 102/40. Τα χωνευτήρια τοποθετούνται σε φούρνο υψηλής θερμοκρασίας και αποτεφρώνονται τα δείγματα στους 560°C για 48 ώρες. Μετά από την καύση αφήνουμε το δείγμα να κρυώσει και προσθέτουμε 1-2 ml νερό και 3 ml HCL 6N. Καλύπτουμε το χωνευτήρι με ύαλο ωρολόγιου και το τοποθετούμε σε ατμόλουτρο στους 250°C για 15 λεπτά. Ακολούθως διηθείται το δείγμα με ηθμό Νο 44 ο οποίος έχει προηγουμένως εκπληθεί με διάλυμα HCl. Το διήθημα συλλέγεται σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml. Μετά τη διήθηση του δείγματος το χωνευτήρι και ο ηθμός ξεπλένονται 3-4 φορές με νερό. Τέλος γίνεται αναγωγή του όγκου του διηθήματος στα 100 ml με την προσθήκη νερού.

Το διάλυμα που παρασκευάζεται με τον τρόπο αυτό θεωρείται κατάλληλο για τον προσδιορισμό των Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Mn, Al, Zn και Cu. Τα διηθήματα ανάλογα με το είδος του προσδιοριζόμενου στοιχείου μεταφέρονται για μετρήσεις στην Ατομική Απορρόφηση ή το Φλογοφωτόμετρο.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις επαναλήψεις, στο κατάλληλο μήκος κύματος για κάθε στοιχείο που θέλουμε να προσδιορίσουμε (Αλιφραγκής, 1995) (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15. Καύση των φυτικών ιστών στους 560°C για 48 ώρες

5.5.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.5.3.1. ΑΤΟΜΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Στην Ατομική Απορρόφηση τύπου AAS 700 Perkin Elmer μετρήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία στα αντίστοιχα μήκη κύματος και διαφράγματα.

Πίνακας : 5.1. Τιμές μήκους κύματος και διαφράγματος στην Ατομική Απορρόφηση

Προσδιοριζόμενο στοιχείο	Μήκος κύματος (nm)	Διάφραγμα (nm)	Είδος φλόγας
Ca	239.9	0.2	Οξειδωτική φλόγα (N ₂ O ₂ + ασετυλίνη)
Mg	202.6	1.0	
Fe	248.3	0.2	Αναγωγική φλόγα (αέρας + ασετυλίνη)
Cu	324.7	0.5	
Mn	279.5	0.2	
Zn	213.9	1.0	

5.5.3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ Ρ ΚΑΙ Β

Τόσο το Βόριο όσο και ο Φωσφόρος μετρήθηκαν χρωματομετρικά με τη χρήση του φασματοφωτόμετρου. Για να προσδιορίσουμε τον Ρ στα φύλλα ακολουθούμε την πιο κάτω μεθοδολογία.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ.

(Σε φυτικούς ιστούς)

1. Απαιτούμενα αντιδραστήρια :

α) Βαναδομολυβδαινοτιτρικό αμμώνιο.

1.25 gr Βαναδικό αμμώνιο, προστίθεται σε 300 ml ζεστό νερό. Αφού ψυχθεί προστίθενται 250 ml πυκνό νιτρικό οξύ (HNO_3). Το λαμβανόμενο διάλυμα ονομάζεται Διάλυμα Α.

β) 22.5 gr μολυβδαινικό αμμώνιο - 4 H_2O προστίθενται σε 400 ml νερό. Ακολουθεί ελαφρά θέρμανση. Το λαμβανόμενο διάλυμα ονομάζεται Διάλυμα Β.

γ) Μετά την ψύξη, το διάλυμα Α αναμιγνύεται με το διάλυμα Β και συμπληρώνεται με νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης 1lt. Το λαμβανόμενο διάλυμα ονομάζεται Διάλυμα Γ (παράγοντας).

2. Απαιτούμενα σταθερά διαλύματα:

α) Standard διάλυμα P (συγκέντρωσης 100 ppm P).

0.5624 gr K_2HPO_4 ή

0.4392 gr KH_2PO_4 τοποθετούνται σε 400 ml νερό.

Προστίθενται 5 ml πυκνού θειϊκού οξέος (π. H_2SO_4), και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης 1lt. Το λαμβανόμενο διάλυμα τοποθετείται στο ψυγείο.

β) Σταθερά (Standards) διαλύματα P.

0.1, 2.5, 5 και 7.5 ml από το Stock διάλυμα τοποθετούνται σε φιάλες των 50 ml.

Προσθέτουμε 10 ml διαλύματος Γ (παράγοντας) και συμπληρώνουμε με νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης των 50 ml.

Συγκέντρωση P / 50ml

0 mg P, 100 mg P, 250 mg P, 500 mg και 750 mg P.

3. Τεχνική αναλύσεως

10 ml από το διάλυμα των φύλλων τοποθετούνται σε φιαλίδια των 50 ml.

Προστίθενται 10 ml από το διάλυμα Γ (παράγοντα). Ακολουθεί ήπια ανάδευση και συμπλήρωση με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης των 50 ml. Στη συνέχεια οι φιάλες των 50 ml αφήνονται σε ηρεμία επί 30 λεπτά και μετά πραγματοποιούνται μετρήσεις τυφλού, σταθερών διαλυμάτων και δειγμάτων στο

φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 470 nm (Αλιφραγκής, 1995), (Καλαβρουζιώτης, 2007).

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΟΡΙΟΥ.

(Σε φυτικούς ιστούς)

1. Απαιτούμενα αντιδραστήρια

α) Buffer solution: (Διάλυμα εξουδετέρωσης)

Διαλύουμε 250 gr οξικού αμμωνίου και 15 g ethylene-diamine tetraacetic acid (EDTA) disodium salt σε 400 ml απεσταγμένο νερό. Προσθέτουμε αργά 125 ml glacial acetic acid και ανακατεύουμε.

β) Azomethine reagent: (Αντιδραστήριο Azomethine)

Διαλύουμε 0.45 gr azomethine-H σε 100 ml διαλύματος L-ascorbic acid 1%. Το ως άνω αντιδραστήριο πρέπει να φυλάσσεται στο ψυγείο και έχει διάρκεια ζωής μία εβδομάδα.

γ) (Σταθερά διαλύματα Βορίου)

Διαλύουμε 0.114 gr βορικού οξέος (HBO_3) σε απεσταγμένο νερό και ρυθμίζουμε τον όγκο στα 1000 ml με απεσταγμένο νερό (μέχρι τη χαραγή της φιάλης των 1000 ml).

Σ' αυτό το διάλυμα κάθε millimeter περιέχει 20 μg B. Διαλύουμε 10, 20, 30, 40 και 50 ml από το stock solution σε 100 ml με απεσταγμένο νερό και έτσι παίρνουμε διαλύματα με συγκεντρώσεις B 2, 4, 6, 8 και 10 mg B/ml αντίστοιχα. Παρασκευάζουμε και ένα δείγμα με απεσταγμένο νερό για standard διάλυμα 0 mg B/ml.

2. Τεχνική ανάλυσης

Μεταφέρουμε 1 ml από το λευκό δείγμα, από το διαλυμένο standard B ή από το διήθημα του δείγματος των φύλλων σε ογκομετρικό σωλήνα των 10 ml. Προσθέτουμε 2 ml από το Buffer solution (25 gr οξικό αμμώνιο + 1.5 gr EDTA +

40 ml + 12.5 ml glacial οξικό οξύ) και ανακινούμε τους σωλήνες προσεκτικά. Στη συνέχεια προσθέτουμε επίσης 2 ml azomethine-H (0.45 gr azomethine + 1 gr ascorbic acid + 100 ml H₂O). Ανακινούμε προσεκτικά, οπότε η ανάπτυξη του χρώματος γίνεται σε 30 λεπτά.

Διαβάζουμε την ένδειξη στο φασματοφωτόμετρο στα 420 nm. Τις μετρήσεις αυτές τις μεταφέρουμε για σύγκριση στην καμπύλη των standards που προετοιμάστηκαν με διαλύματα των 0, 2, 4, 6, 8 και 10 mg B/ml, και ούτως προσδιορίζεται σε ppm η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε B.

5.5.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.

Η μεθοδολογία ανάλυσης του εδάφους, έγινε σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Official methods of analysis of AOAC International, 1996).

5.5.4.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το χώμα βάρους περίπου 1 kgf απλώνεται σε χαρτί (ελεύθερο παρουσίας Βορίου) προκειμένου να χάσει μέρος της υγρασίας του. Στη συνέχεια κοσκινίζεται με κόσκινα οπών 2 mm και επανατοποθετείται σε χαρτί, όπου παραμένει συνήθως 2-3 ημέρες προκειμένου η τελική του υγρασία να μην υπερβαίνει το 5% - 4%.

5.5.4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Αντιδραστήρια.

α) Διάλυμα 0.2 N οξαλικού αμμωνίου

Παρασκευάζεται με διάλυση 14.212 g C₂O₄(NH₄)₂ σε 1 lt νερού.

β) Διάλυμα $\cong 3\text{NH}_2\text{SO}_4$

Παρασκευάζεται με αραίωση 1 όγκου π. H₂SO₄ σε 10 όγκους νερού.

γ) Διάλυμα 0.1 N υπερμαγγανικού καλίου.

Παρασκευάζεται με διάλυση 3.16 g KMnO₄ σε 1 lt νερού. Το διάλυμα φυλάσσεται σε σκούρα φιάλη μακριά του φωτός.

Μέθοδος Προσδιορισμού :

10 g αεροξηραθέντος εδάφους τοποθετούνται σε ειδική φιάλη ανακινήσεως, όπου προστίθενται 250 ml διαλύματος 0.2 N οξαλικού αμμωνίου. Η φιάλη ανακινείται επί 2 ώρες και στη συνέχεια αφήνεται σε ηρεμία επί 5 λεπτά για την διαύγαση του περιεχομένου. Το υπερκείμενο υγρό διηθείται. Λαμβάνουμε από το διήθημα 10 ml και προσθέτουμε στη συνέχεια 10 ml 3N διαλύματος H_2SO_4 . Θερμαίνουμε το μίγμα σε φιάλη των 250 ml μέχρι θερμοκρασία $70\text{ }^{\circ}C$ (αρχίζει σχεδόν ο βρασμός) και ογκομετρούμε με διάλυμα 0.1 N $KMnO_4$ τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα μέχρις εμφανίσεως μονίμου ροδόχρου χροιάς.

Επίσης πραγματοποιείται ογκομέτρηση σε τυφλό δείγμα.

Έστω $A\text{ cm}^3$ η κατανάλωση διαλύματος 0.1 N $KMnO_4$

Τυφλός προσδιορισμός :

10 ml διαλύματος οξαλικού αμμωνίου και

10 ml διαλύματος H_2SO_4 εξουδετερώνονται όπως παραπάνω με διάλυμα $KMnO_4$.

Έστω $B\text{ cm}^3$ η κατανάλωση διαλύματος 0.1N $KMnO_4$.

Υπολογισμός ενεργού ανθρακικού ασβεστίου

Ενεργό $CaCO_3$ (%) = $(B - A) \times 1.25$

5.5.4.3.ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ (K, Na, Ca, Mg)

5 g εδάφους (+4% υγρασία) δηλαδή 5.2 g αεροξηραθέντος εδάφους τοποθετούνται σε σωλήνα της φυγοκέντρου στο οποίο προσθέτουμε και 33 ml εκχυλιστικού διαλύματος οξικού αμμωνίου (εκχυλιστικό CH_3COONH_4 1N - διαλύονται 77 g στο 1 lt, ρύθμιση $pH=7$), ανακινούνται με υάλινη ράβδο και μετά τοποθετούνται στη φυγόκεντρο όπου φυγοκεντρώνονται επί 15 λεπτά στις 2500 στρ./min. Το υπερκείμενο υγρό διηθείται και προστίθενται στο σωλήνα εκ νέου 33 ml εκχυλιστικό.

Η διαδικασία αυτή (εκχυλιστικό - ανάδευση - φυγοκέντριση - διήθηση) γίνεται συνολικά τρεις φορές. Στο τέλος λαμβάνεται εκχύλισμα 100 ml περίπου, το οποίο συμπληρώνεται με νερό.

Ο προσδιορισμός (μετρήσεις) του K και Na γίνονται στο φλογοφωτόμετρο.

Ο προσδιορισμός (μετρήσεις) του Ca και Mg γίνεται στην Ατομική Απορρόφηση.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράζονται σε ppm και ανάγονται σε ml/100g εδάφους.

$$\text{Ca} : \frac{\text{ppm Ca}}{10} = \frac{\text{ml Ca}}{100\text{g εδ.}}$$

$$\text{Mg} : \frac{\text{ppm Mg}}{6} = \frac{\text{ml Mg}}{100\text{g εδ.}}$$

$$\text{K} : \frac{\text{ppm K}}{19.5} = \frac{\text{ml K}}{100\text{g εδ.}}$$

$$\text{Na} : \frac{\text{ppm Na}}{11.5} = \frac{\text{ml Na}}{100\text{g εδ.}}$$

5.5.4.4.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

- Δείγμα εδάφους απλώνεται σε χαρτί προκειμένου να χάσει μέρος της υγρασίας του
- Πραγματοποιείται απομάκρυνση των χαλίκων
- Ενδεχόμενο μικρό κοπάνισμα σε γουδί πορσελάνης
- Το ληφθέν νέο εδαφικό δείγμα επανατοποθετείται σε χαρτί όπου παραμένει συνήθως 2-3 ημέρες προκειμένου η τελική υγρασία να μην υπερβαίνει το 4-5%
- Το ληφθέν δείγμα που ονομάζεται «λεπτή γη» χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση των εδαφικών αναλύσεων
- Σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml τοποθετούνται 20 gr κοσκινισμένου και ξηραμένου εδάφους
- Προστίθεται με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου 50 ml νερό (αιώρημα 1:2,5)

(Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πενταπλάσια ποσότητα νερού για εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία 1:5 και ο προσδιορισμός ύστερα από 2 ώρες)

- Περιοδικός και με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου για διάστημα 30 λεπτών το αιώρημα αναδεύεται
- Μετά τα 30 λεπτά αφήνουμε το αιώρημα για άλλα 30 λεπτά για μερική καθίζηση

- Μετά την καθίζηση προσεκτικά εισάγονται στο αιώρημα τα ηλεκτρόδια και μετρείται το PH με τη βοήθεια πεχαμέτρου το οποίο πριν έχει ρυθμιστεί με τη βοήθεια κατάλληλων Standards (Αλιφραγκής, 1995).

5.5.4.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (E.C.)

- Δείγμα εδάφους απλώνεται σε χαρτί προκειμένου να χάσει μέρος της εργασίας του
- Πραγματοποιείται απομάκρυνση των χαλίκων
- Ενδεχόμενο μικρό κοπάνισμα σε γουδί πορσελάνης
- Το ληφθέν νέο εδαφικό δείγμα επανατοποθετείται σε χαρτί όπου παραμένει συνήθως 2-3 ημέρες προκειμένου η τελική υγρασία να μην υπερβαίνει το 4-5%
- Το ληφθέν δείγμα που ονομάζεται «λεπτή γη» χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση των εδαφικών αναλύσεων
- Σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml τοποθετούνται 20 gr κοσκινισμένου και ξηραμένου εδάφους
- Προστίθεται με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου 500 ml νερό
- Φέρουμε το μίγμα σε φιάλη ανακίνησης
- Ανακινούμε για διάστημα μιας ώρας με περιστροφικό ανακινητήρα
- Μετά την ανακίνηση, αφήνουμε για διάστημα 15-20 λεπτών την φιάλη σε ηρεμία ώστε το περιεχόμενο να υποστεί μερική διαύγαση
- Ακολουθεί διήθηση του διαλύματος με χαρτί ταχείας διήθησης

Ακολουθεί μέτρηση της αγωγιμότητας με το αγωγιμόμετρο σε mmhos ή $\mu\text{S}/\text{cm}$.
(Αλιφραγκής, 1995)

5.5.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ (ΚΑΤΑ OLSEN)

Αντιδραστήρια:

- 1) Διάλυμα Μολυβδαινικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$



15 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ σε 300 ml περίπου απεσταγμένου νερού. Το διάλυμα διηθείται, ψύχεται και προστίθενται 410 ml 10N HCl ($242,4 \text{ ml } 12 \text{ N HCl} + 67,6 \text{ ml H}_2\text{O}$) με γρήγορη ανάδευση. Όταν ψυχθεί στη θερμοκρασία του δωματίου αραιώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τελικού όγκου 1000 ml. Αποθηκεύεται σε σκοτεινή φιάλη.

2) Διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου

25 g $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ διαλύονται σε 1000 ml αραιού HCl οξέος (στην αρχή διαλύονται σε 50 ml πυκνού HCl με θέρμανση αραιώνονται στα 500 ml και στη συνέχεια συμπληρώνονται στα 1000 ml. Το διάλυμα φυλάσσεται σε σκοτεινή φιάλη με ένα στρώμα παραφινέλαιο.

3) Διάλυμα 0,5 M NaHCO_3 pH 8,5

Για την παρασκευή 9 lt. απαιτούνται 378 g $\text{NaHCO}_3 + 8830 \text{ lt H}_2\text{O} + 70 \text{ ml } 10\% \text{ NaOH}$.

4) Ενεργός άνθρακας ελεύθερος Φωσφόρου

5) Standard διαλύματα φωσφορικών 50 ppm

0,2195 g KH_2PO_4 ξηραίνονται στους 40°C και διαλύονται σε 400 ml απεσταγμένου νερού σε φιάλη ογκομετρική του 1 lt. Κατόπιν προσθέτονται 25 ml 7N H_2SO_4 και συμπληρώνονται στο λίτρο με απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα αυτό είναι 50 ppm σε φώσφορο και χρησιμοποιείται για την παρασκευή σειράς Standard διαλυμάτων που έχουν σκοπό την κατασκευή καμπύλης βαθμολόγησης του οργάνου.

Διεργασία:

5 gr εδάφους και 1 gr άνθρακα και 100 ml 0,5 M NaHCO_3 pH 8,5 ανακινούνται για 30 λεπτά και διηθούνται. Από το διήθημα λαμβάνονται 10 ml σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml προσθέτονται 10 ml μολυβδαινικό αμμώνιο, 40 ml νερό και 5 σταγόνες χλωριούχου κασσιτέρου συμπληρώνεται ο όγκος μέχρι της χαραγής. Μετά 10 λεπτά



μετρείται η ένταση του μπλέ συμπλόκου στα 700 nm και ακολούθως προσδιορίζεται η συγκέντρωση του φωσφόρου στο έδαφος (Εικόνα 5.16.).

5.5.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Cu, Mn, Fe, Zn)

Μέθοδος DTPA (Lindsay and Norvell) **DTPA (Diethylene-triaminopentacetic acid)**

Το εκχυλιστικό αυτό διάλυμα παρασκευάζεται με την χρησιμοποίηση 0,005 M DTPA, 0,01M CaCl₂, 0,1 M TEA. Το pH του εκχυλιστικού διαλύματος διορθώνεται στο 7,3. Για να παρασκευασθούν 10 lt του εκχυλιστικού διαλύματος διαλύουμε 149,2 g TEA, 19,67 g DTPA και 14,7 g CaCO₃ σε 200 ml απεσταγμένο νερό. Αφήνουμε το διάλυμα για αρκετή ώρα ώστε να διαλυθεί το DTPA. Ακολούθως ανάγουμε τον όγκο του διαλύματος σε 7,3±0,05 με τη χρησιμοποίηση κανονικού διαλύματος 1N HCL με ταυτόχρονη ανάδευση. Μετά την διόρθωση του pH γίνεται εκ νέου αναγωγή του όγκου του εκχυλιστικού διαλύματος στα 10 lt. Το διάλυμα αυτό είναι σταθερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρκετούς μήνες.

Διαδικασία προσδιορισμού

Σε κωνική φιάλη των 100 ml φέρονται 10 g αεροξηραθέντος εδάφους. Προστίθενται 20 ml από το παραπάνω αναφερόμενο εκχυλιστικό διάλυμα. Πωματίζουμε την κωνική φιάλη με πλαστικά πώματα και την ανακινούμε σε παλμικό ανακινητήρα για 2 ώρες. Τέλος το αιώρημα του εδάφους διηθείται με τη χρησιμοποίηση ηθμού Whatman No 42. Το διήθημα αυτό θεωρείται κατάλληλο για τη μέτρηση των Cu, Mn, Fe, και Zn με ατομική απορρόφηση (Αλιφραγκής και Παπαμύχος, 1995).

5.5.7. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ Β ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΟΥΡΚΟΥΜΙΝΗΣ)

Αντιδραστήρια

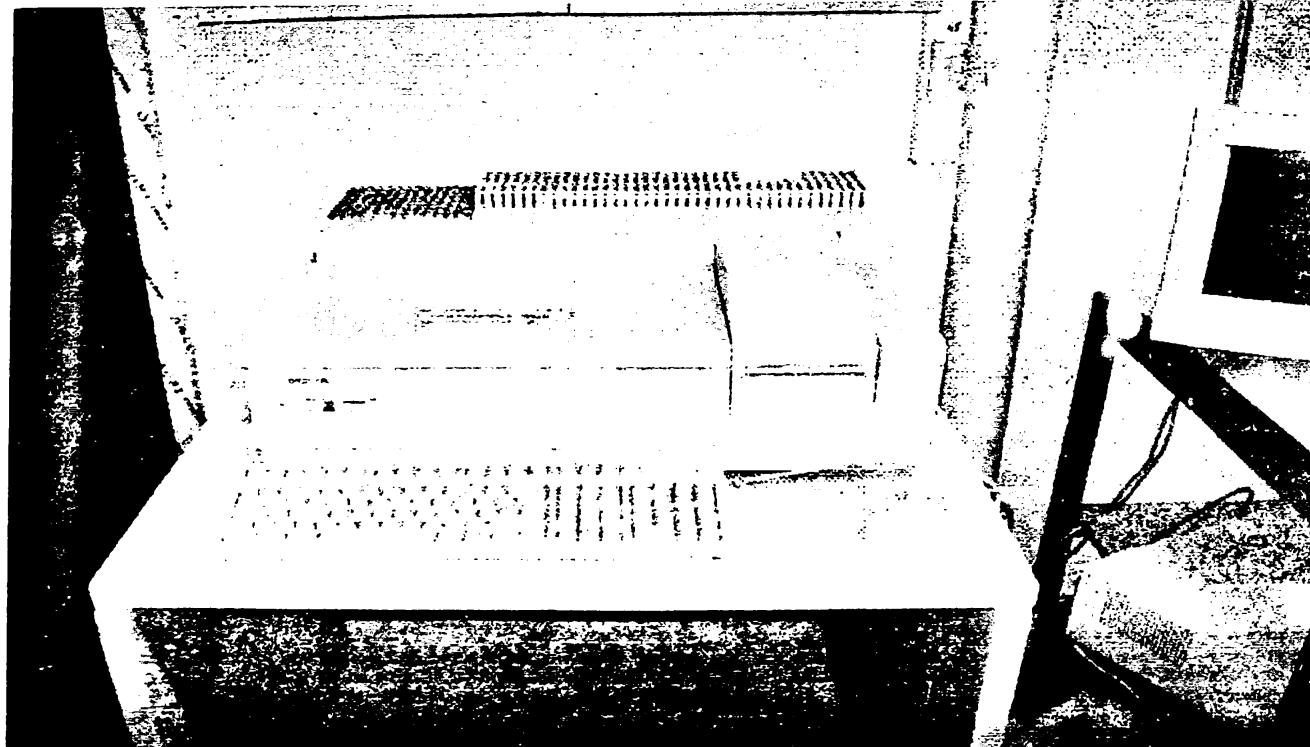
- 1) Απεσταγμένο νερό
- 2) 1 N CaCl_2
- 3) 0,1 N HCl
- 4) Κορεσμένο διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που προφυλάγεται από CO_2
- 5) Αλκοόλη 95%
- 6) Κουρκουμίνη-Οξαλικό οξύ (0,04 gr κουρκουμίνης και 0,5 gr $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ διαλύονται σε 100 ml αιθυλικής αλκοόλης 95%, ελεύθερης Βορίου). Το διάλυμα φυλάγεται σε σκοτεινή φιάλη σε σκοτεινό και δροσερό μέρος ανακινούμενο καλά και συχνά.
- 7) Standard Βορίου. Παρασκευάζεται διάλυμα βορικού οξέος με τη διάλυση 0,572 gr ξηρού αναλυτικού H_3BO_3 σε 1 lt απεσταγμένου νερού. Το διάλυμα αυτό περιέχει 100 μgm B ανα ml διαλύματος. Με αραιώση 50 ml του διαλύματος σε 500 ml λαμβάνεται διάλυμα με συγκέντρωση 10 μgm B ανα ml διαλύματος. Το διάλυμα χρησιμοποιείται για την παρασκευή standard σε ογκομετρικές φιάλες για την κατασκευή καμπύλης.

Συσκευές

- 1) Σπεκτροφωτόμετρο 540-550 nm για 0,1-0,2 μgm B
580-600nm για 1-7 μgm B
- 2) Ποτήρια 100 ml ελεύθερα Βορίου
- 3) Κωνικές φιάλες 125 ml ελεύθερα Βορίου
- 4) Ψυκτήρες ελεύθερα Βορίου
- 5) Σωλήνες φυγοκεντρήσεως
- 6) Σιφόνια 20 ml
- 7) Κάψες πορσελάνης 9 cm
- 8) Ηθμοί διηθήσεως ελεύθεροι Βορίου Whatman No 2 (μπλέ ταινία)

Διαδικασία προσδιορισμού

Λαμβάνονται 20 gr αεροξηραθέντος εδάφους σε κωνική φιάλη 125 ml ελεύθερα Βορίου και προσθέτουμε 40 ml απεσταγμένου νερού. Συνδέουμε την φιάλη με κάθετο ψυκτήρα και μετά από βρασμό επί 5 λεπτά το αφήνουμε να κρυώσει. (έδαφος /νερό = 1:2). Γίνεται και ένα λευκό δείγμα με 40 ml H₂O. Μεταφέρουμε το υγρό που βρίσκεται πάνω σε σωλήνα φυγοκεντρήσεως και προσθέτουμε 2 ή 4 σταγόνες διάλυμα 1 N CaCl₂. Φυγοκεντρείται το δείγμα 5-10 λεπτά. Η φυγοκέντρηση αποφεύγεται με διήθηση. Από το διαυγές διάλυμα λαμβάνεται 1 ml για την ανάπτυξη του χρώματος. Εάν τα νιτρικά του εδάφους είναι περισσότερα από 20 ppm στα 20 ml του διαυγούς σε κάψα πορσελάνης προστίθενται 2 ml κορεσμένου διαλύματος Ca(OH)₂ και το διάλυμα εξατμίζεται μέχρι ξηρού σε ατμόλουτρο. Το υπόλειμμα καίγεται ήπια (550-560°C) για την καταστροφή των νιτρικών και της οργανικής ουσίας. Όταν ψυχθεί προστίθενται 5 ml 0,1N HCl. Το υπόλειμμα κονιοποιείται με μια ράβδο για να μπορεί να διαλυθεί όλο το διαλυτό υλικό. Το διάλυμα διηθείται από μικρό χωνί σε μπλέ ηθμό. Ένα aliquot 1 ml λαμβάνεται για την ανάπτυξη του χρώματος σε ποτήρι των 100 ml. Προστίθενται 4 ml διαλύματος κουρκουμίνης και αναμιγνύεται με το δείγμα με περιστροφική κίνηση του ποτηριού. Το διάλυμα εξατμίζεται μέχρι ξηρού σε υδρόλουτρο στους 55±3 °C και το υπόλειμμα θερμαίνεται σ' αυτή τη θερμοκρασία για άλλα 15 λεπτά. Η έγχρωμος ροζοκυανή χροιά αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της εξατμίσεως και ξηράνσεως. Το ξηρό υπόλειμμα αφήνεται να ψυχθεί στη θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν προστίθενται 25 ml αλκοόλης το υπόλειμμα θρύβεται κατά την εκχύλιση του χρώματος και το διάλυμα διηθείται με Whatman No 2 σε κωνικές φιάλες. Το χρώμα προσδιορίζεται στο spectrophotometer εντός 2 ωρών σε μήκος κύματος 540 nm (μετά από 2 ώρες η ροζοκυανίνη υδρολύεται σε κουρκουμίνη). Εάν το ποσοστό του διερχόμενου φωτός είναι πολύ χαμηλό (λιγότερο από 25-30%) ένδειξη ότι το B είναι πάνω από 1,5 µgm, το διάλυμα μετρίεται πάλι σε μήκος 580-600 nm maximum (Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 1995), (Καλαβρουζιώτης, 2007), (Εικόνα 6.16).



Εικόνα 5.16. Φασματοφωτόμετρο

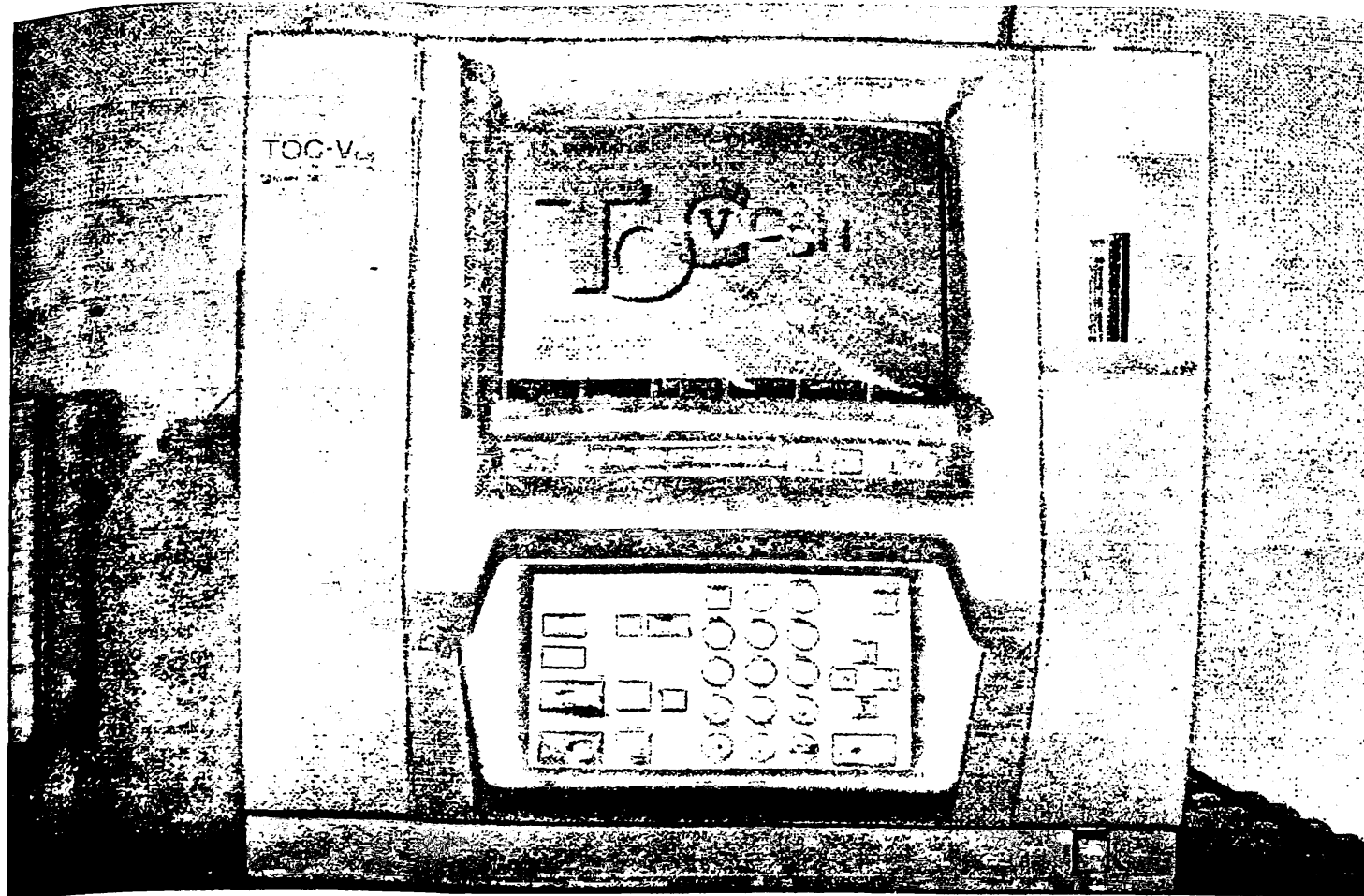
5.5.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

- Ξηραίνουμε το δείγμα για 1 εβδομάδα αφήνοντας το εκτεθειμένο στο περιβάλλον
- Κοσκινίζουμε με κόσκινο των 2 mm
- Σε 100 ml Milli-Q προσθέτω 0,1 gr λάσπης ή χώμα
- Προσθέτω και 1 κόκκο NaOH
- Ανάδευση 1 νύχτα με μαγνητάκι
- Φυγοκεντρώ στις 4000 στροφές για 5 λεπτά
- Το υπερκείμενο πηγαίνει προς μέτρηση

Απαιτούνται περίπου 10 ml διαλύματος για κάθε μέτρηση 1 gr/l λάσπη ή χώμα

Η μέτρηση πραγματοποιείται από ειδικό για το σκοπό αυτό όργανο TOC (Δεληγιαννάκης, 2003), (Εικόνα 5.17).



Εικόνα 5.17. Αναλυτής ολικού άνθρακα (TOC)

5.5.9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

- Αποξήρανση δειγμάτων στον ξηραντήρα ή φούρνο στους 60-70 °C
- Διαχωρισμός χρώματος - οργανικής ύλης – ανόργανων συστατικών με το χέρι, σπάτουλα ή άλλο εργαλείο. Τεμαχισμός συμπαγών κομματιών χρώματος.
- Κοσκίνισμα με κόσκινο των 2 mm
- Επεξεργασία με γουδί – Σχηματισμός ομοιόμορφης σκόνης
- Προσθέτω σε πυρέξ δοκιμαστικό των 10 ml
- 0,5 gr δείγματος σκόνης
- 5 ml MQ
- 2,5 ml HCl 37 %
- 2,5 ml HNO₃ 65 %. Αφήνω 2-3 ημέρες

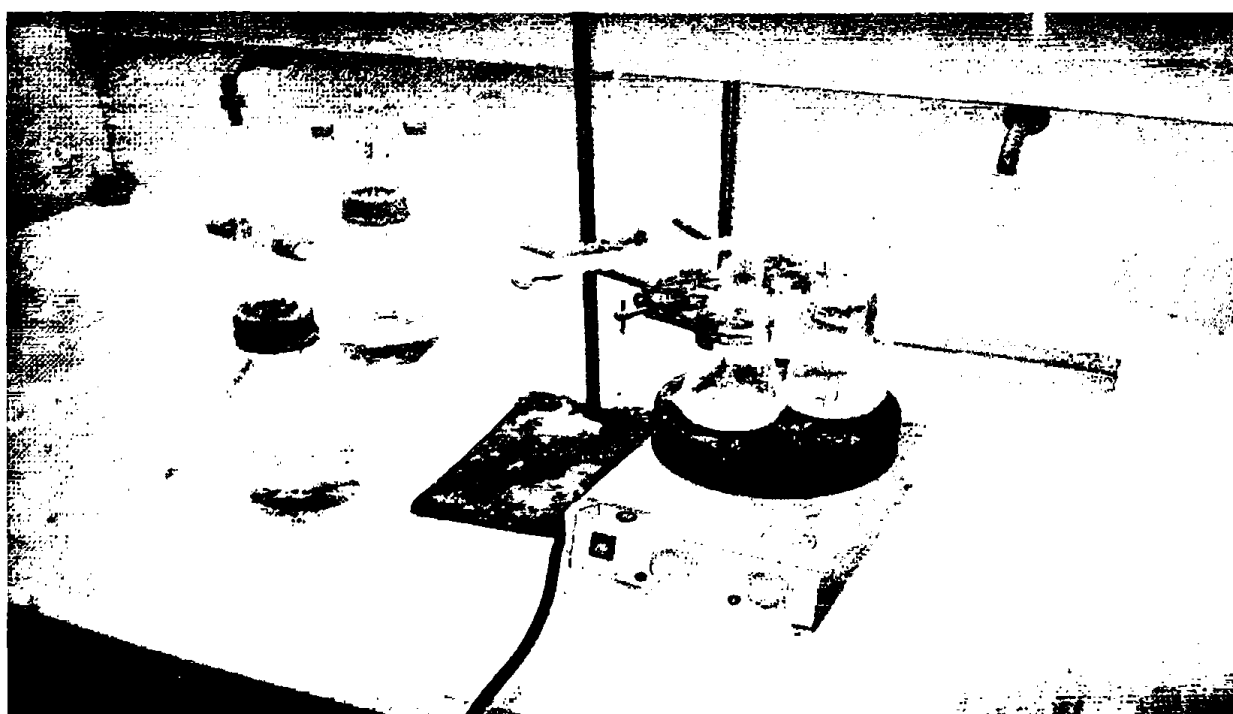
- Βράζω στους 130-150 °C μέχρι το διάλυμα να είναι κίτρινο διαυγές, όχι θολό πορτοκαλί.
 - (Αφού κρυώσει προσθέτω 4 ml H_2SO_4 και αυξάνεται πάλι η θερμοκρασία 130-150°C)
 - Εάν μειωθεί ο όγκος του διαλύματος λόγω εξάτμισης προσθέτω MQ μέχρι αρχικού όγκου.
 - Αδειάζω το περιεχόμενο σε Falcon (δεν ενδιαφέρει εάν μείνει χόμα στα τοιχώματα του δοκιμαστικού σωλήνα) και φυγοκεντρώ.
- Φυγοκεντρώ στις 4000 στροφές για 5 λεπτά
- Αφαιρώ 1 ml από το εναίωρημα και αραιώνω σε MQ ή απεσταγμένο (50 ml).

Στον υπολογισμό της αραιώσης να ληφθεί υπόψη και η αρχική όταν προσθέσω 0,5 gr χόματος σε νερό και οξέα.

Επίσης προσοχή να δοθεί στην προσθήκη των οξέων γιατί η αντίδραση είναι βίαιη.

Η μάζα χόματος καθώς και οι όγκοι MQ και οξέων δεν είναι απόλυτοι.

Οι διαδικασίες χώνευσης και βρασμού να έλαβαν χώρα σε Αποροφητήρα (Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 1995), (Εικόνα 5.18).



Εικόνα 5.18. Διαδικασία χώνευσης δειγμάτων εδάφους

5.5.10. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (B.O.D.)

Βάζουμε στο ποτήρι ποσότητα υγρού δείγματος (428 ml για τιμή B.O.D 0-40 mg O₂/lt ή 360 ml για τιμή B.O.D 0-80 mg O₂/lt) ανάλογα με την τιμή B.O.D που αναμένουμε.

Υπολογίζουμε πόσα ml tris χρειάζεται να προσθέσουμε ώστε ο τελικός όγκος να έχει περιεκτικότητα σε tris 10mM.

Αφαιρούμε τα ml του tris από τον αρχικό μας όγκο και στη συνέχεια προσθέτουμε το tris έτσι ώστε να μην υπάρχει μεταβολή του όγκου του διαλύματος.

Ρυθμίζουμε το pH σε 7,00, 7,01 ή 7,02.

Ρίχνουμε 10 σταγόνες από τον αναστολέα νιτροποίησης

Ρίχνουμε 5 σταγόνες KOH (45%) στην παγίδα CO₂ στο ειδικό ελαστικό πώμα.

Βιδώνουμε τον BOD Sensor στο μπουκάλι.

Ενεργοποιούμε τον BOD Sensor πατώντας ταυτόχρονα τα πλήκτρα S και M.

Το δείγμα τοποθετείται για πέντε ημέρες μέσα σε ειδικό θάλαμο στους 20°C (Εικόνα 5.19).

Ακολουθεί καταγραφή των τιμών των 5 ημερών και κατασκευάζεται η αντίστοιχη γραφική παράσταση (Δεληγιαννάκης, 2003).



Εικόνα 5.19. Ειδικός θάλαμος μέτρησης BOD

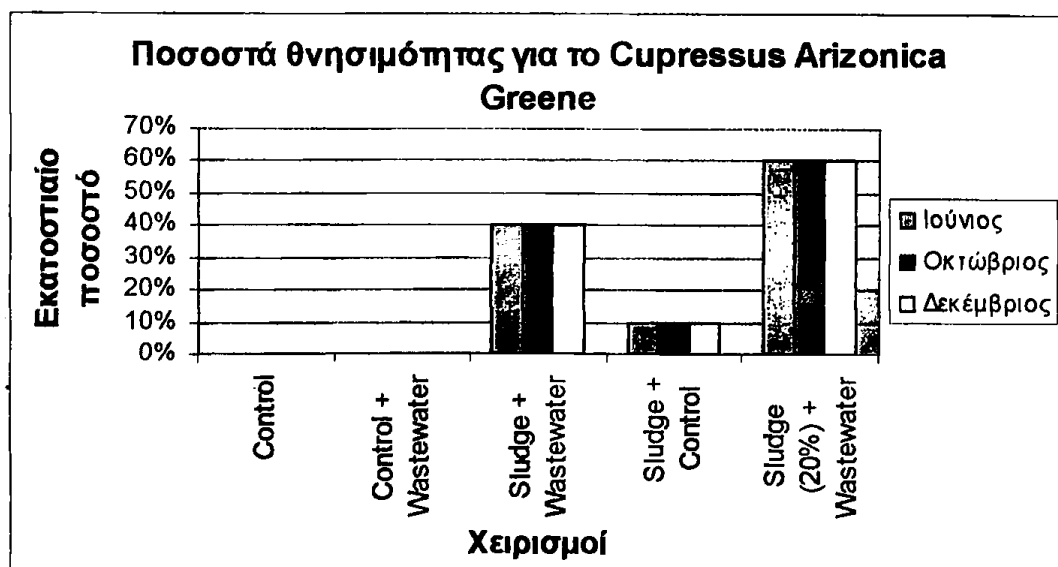
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

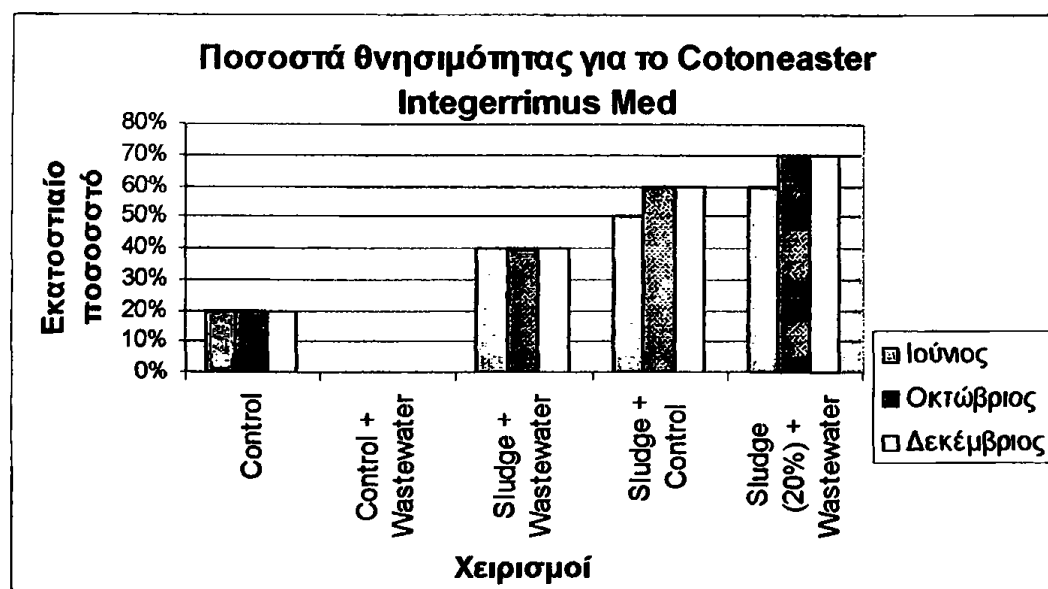
Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα δασικά είδη, το *Cupressus Arizona* Greene, το *Cotoneaster Integerrimus* Med, το *Pinus pinea* L. και το *Pinus halepensis* Mill. τα ποσοστά θνησιμότητας των οποίων στην αρχή, στη μέση και στο τέλος της αυξητικής περιόδου, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Τα σπόρια, φυτεύτηκαν σε πλαστικά σακουλάκια τον Δεκέμβριο του 2003. Στα σπόρια, αφού τους δόθηκε αρκετός χρόνος για να φυτρώσουν και να αναπτυχθούν και εν τέλει να προσαρμοστούν στις συνθήκες του περιβάλλοντος, τα νεαρά φυτά, ελέγχθηκαν αρκετές φορές στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου, έτσι ώστε να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα για το ποσοστό θνησιμότητας τους. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στην διάρκεια της αυξητικής περιόδου γιατί μόνο την περίοδο αυτή τα φυτά βρίσκονται σε φάση δραστηριοποίησης ενώ τον υπόλοιπο χρόνο αδρανοποιούνται. Τα ποσοστά θνησιμότητας των δασικών ειδών παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα.



Γράφημα 6.1. Ποσοστά θνησιμότητας για το *Cupressus Arizona* Greene στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.1 τα ποσοστά θνησιμότητας για το *Cupressus Arizona Greene* ήταν μικρότερα στους χειρισμούς control, control+wastewater, και sludge+Control και πολύ μεγαλύτερα στους sludge+wastewater, και sludge (20%) + wastewater. Τα φυτά του χειρισμού control+wastewater εμφάνισαν θεαματικά ποσοστά θνησιμότητας, γεγονός που αποδεικνύει ότι το συγκεκριμένο είδος δεν επηρεάζεται καθόλου από την άρδευσή του με τα υγρά αστικά λύματα. Η θνησιμότητα στους άλλους χειρισμούς φαίνεται να σχετίζεται με την ύπαρξη της λάσπης στους χειρισμούς. Δηλαδή, η λάσπη φαίνεται ή να μην περιέχει κάτι ή περιέχει κάτι σε υψηλή συγκέντρωση που προκαλεί τοξικότητα. Η χρήση μόνο των υγρών αστικών λυμάτων δεν έχει καμιά επίδραση στη θνησιμότητα, αλλά συνδυαστικά με την λάσπη την αυξάνει σε ορισμένους χειρισμούς πάρα πολύ (Kalavrouziotis, 2006).

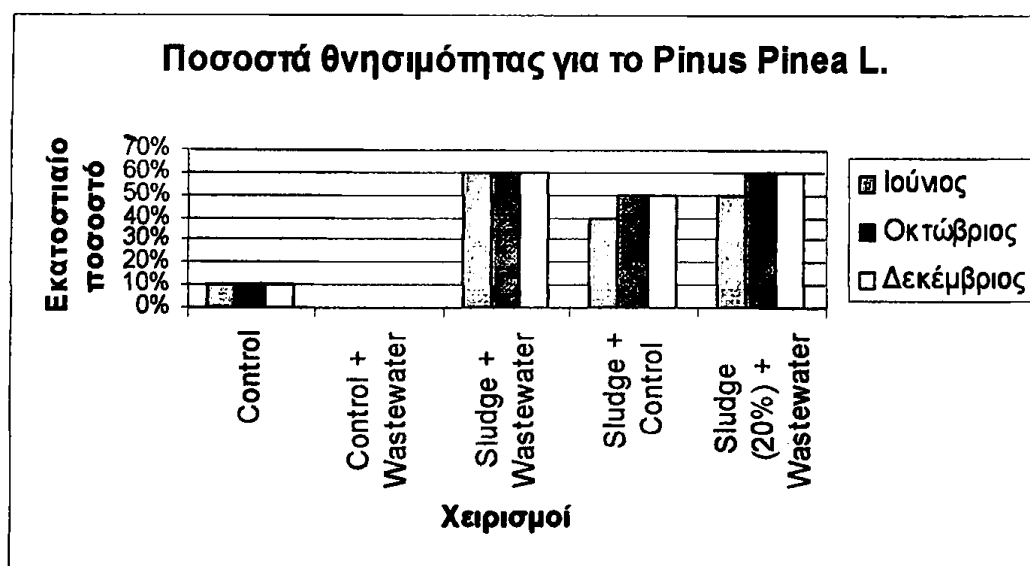


Γράφημα 6.2. Ποσοστά θνησιμότητας για το Cotoneaster Integerrimus Med στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.2 τα ποσοστά θνησιμότητας για το Cotoneaster Integerrimus Med ήταν μικρότερα στους χειρισμούς control, και control+wastewater, και πολύ μεγαλύτερα στους χειρισμούς sludge+wastewater, sludge +control και sludge (20%) + wastewater. Τα φυτά του χειρισμού control+wastewater εμφάνισαν θεαματικά ποσοστά θνησιμότητας, γεγονός που αποδεικνύει ότι το συγκεκριμένο είδος δεν επηρεάζεται καθόλου από την άρδευσή του με τα υγρά αστικά λύματα. Η θνησιμότητα στους άλλους χειρισμούς ακόμη

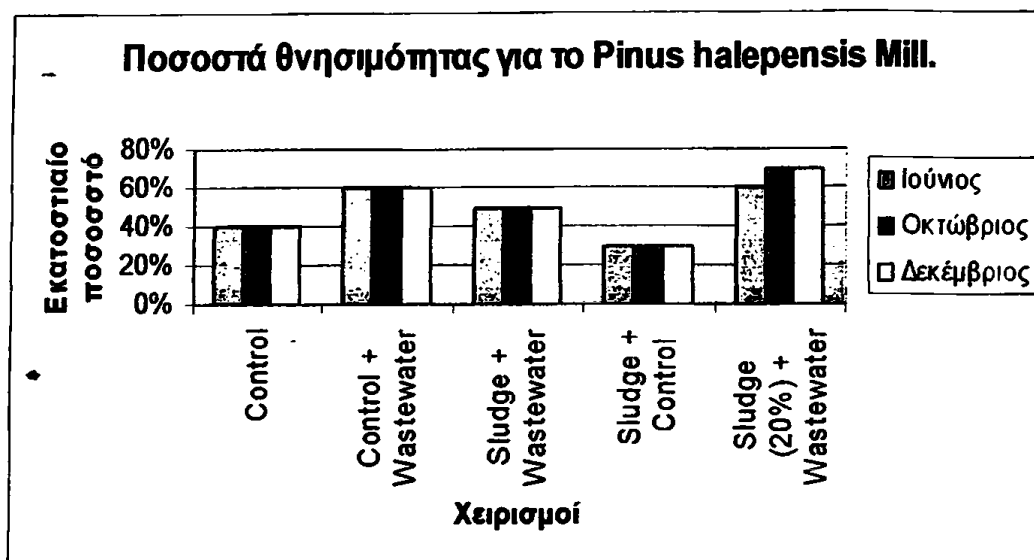
φαίνεται να σχετίζεται με την ύπαρξη της λάσπης στους χειρισμούς. Δηλαδή, η λάσπη φαίνεται ή να μην περιέχει κάτι ή περιέχει κάτι σε υψηλή συγκέντρωση που προκαλεί τοξικότητα. Η χρήση μόνο των υγρών αστικών λυμάτων δεν έχει καμιά επίδραση στη θνησιμότητα, αλλά συνδυαστικά με την λάσπη την αυξάνει σε ορισμένους χειρισμούς πάρα πολύ.

Γενικότερα, το *Cupressus Arizonica Greene* εμφάνισε σημαντικά μικρότερα ποσοστά θνησιμότητας σε σχέση με το *Cotoneaster integerrimus Med* σε όλους τους χειρισμούς (Πανταζής, 2006).



Γράφημα 6.3. Ποσοστά θνησιμότητας για την *Pinus pinea* L στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.3 τα ποσοστά θνησιμότητας για την *Pinus pinea* L ήταν μικρότερα στους χειρισμούς control, και control+wastewater, και πολύ μεγαλύτερα στους sludge+wastewater, sludge +control and sludge (20%) + wastewater. Τα φυτά του χειρισμού control+wastewater εμφάνισαν θεαματικά ποσοστά θνησιμότητας, γεγονός που αποδεικνύει ότι το συγκεκριμένο είδος δεν επηρεάζεται καθόλου από την άρδευσή του με τα υγρά αστικά λύματα. Η θνησιμότητα στους άλλους χειρισμούς φαίνεται να σχετίζεται με την ύπαρξη της λάσπης στους χειρισμούς. Δηλαδή, η λάσπη φαίνεται ή να μην περιέχει κάτι ή περιέχει κάτι σε υψηλή συγκέντρωση που προκαλεί τοξικότητα. Η χρήση μόνο των υγρών αστικών λυμάτων δεν έχει καμιά επίδραση στη θνησιμότητα, αλλά συνδυαστικά με την λάσπη την αυξάνει σε ορισμένους χειρισμούς πάρα πολύ.



Γράφημα 6.4. Ποσοστά θνησιμότητας για την *Pinus halepensis* Mill στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.4 τα ποσοστά θνησιμότητας για την *Pinus halepensis* Mill ήταν μικρότερα στους χειρισμούς control, και sludge+control, και πολύ μεγαλύτερα στους sludge+wastewater, control+wastewater και sludge (20%) + wastewater. Η θνησιμότητα, επίσης στους χειρισμούς φαίνεται να σχετίζεται με την ύπαρξη της λάσπης στους χειρισμούς. Δηλαδή, η λάσπη φαίνεται ή να μην περιέχει κάτι ή περιέχει κάτι σε υψηλή συγκέντρωση που προκαλεί τοξικότητα.

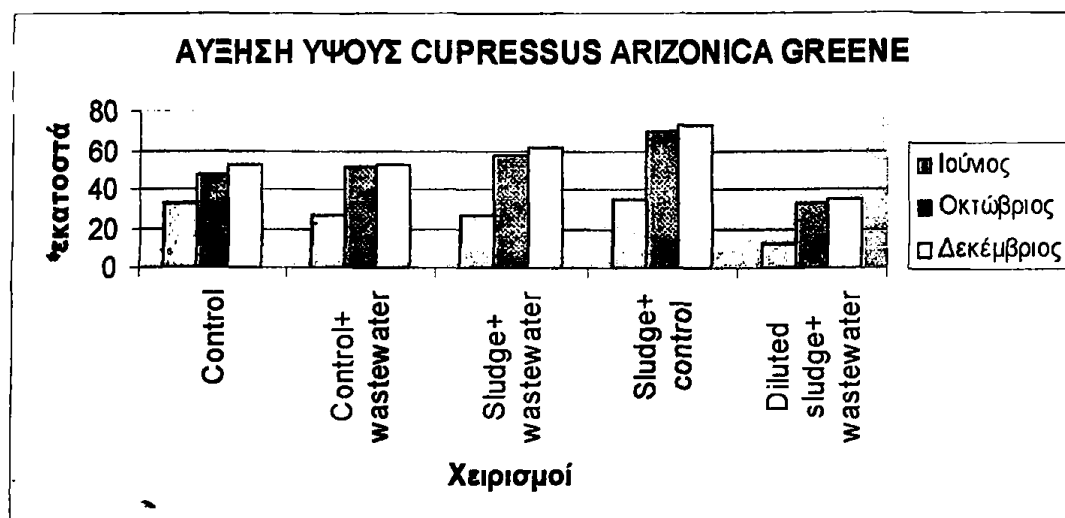
Γενικότερα, μεταξύ των δύο δασικών ειδών της οικογένειας Pinaceae η *Pinus pinea* L εμφανίζει μικρότερα ποσοστά θνησιμότητας από την *Pinus halepensis* Mill πραγματικά σε όλους τους χειρισμούς του συγκεκριμένου πειραματικού.

6.2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Η αύξηση των φυτών, μετρήθηκε τρεις φορές συνολικά, στην αρχή στο μέσο και στο τέλος της αυξητικής περιόδου. Η αύξηση ύψους εκτιμήθηκε, με την μέτρηση του ύψους όλων των φυτών που τελικά επιβίωσαν σε κάθε χειρισμό, από ένα σημείο

κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μέχρι το υψηλότερο σημείο της κόμης του κάθε είδους ξεχωριστά.



Γράφημα 6.5 Αύξηση ύψους του Cupressus Arizona Greene στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.5, ο χειρισμός Sludge + Control εμφάνισε την μεγαλύτερη αύξηση ύψους από όλους τους χειρισμούς ακολουθούμενος από τους χειρισμούς Sludge + wastewater, Control + wastewater, Control και Sludge (20%) + wastewater (Kalavrouziotis, 2006);(Πανταζής, 2006).

Με σκοπό να βρεθεί, εάν δύο αριθμητικοί μέσοι όροι πληθυσμών είναι ίσοι ή όχι πραγματοποιήσαμε ανάλυση διακύμανσης.

6.2.1.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANALYSIS OF VARIANCE)

Με την τεχνική της ανάλυσης της διακύμανσης (ANOVA) μπορούμε να ελέγξουμε εάν οι μέσοι όροι είναι όλοι ίσοι ή όχι (δηλαδή ένας ή περισσότεροι διαφέρουν). Με τον τρόπο αυτό υπολογίζουμε δύο εκτιμήσεις της διακύμανσης του πληθυσμού με τη βοήθεια δύο τρόπων που είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Η πρώτη εκτίμηση γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ανεξάρτητη από το αν οι μέσοι όροι είναι ίσοι ή όχι. Η δεύτερη εκτίμηση γίνεται έτσι ώστε να είναι ορθή εάν και μόνον εάν οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Αν δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μέσων όρων οι δύο παραπάνω εκτιμήσεις της διακύμανσης του πληθυσμού δεν θα πρέπει να διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους.

Εάν οι δύο εκτιμήσεις είναι περίπου ίσες συμπεραίνουμε ότι κατά πάσα πιθανότητα δεν θα πρέπει να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μέσων όρων. Αντίθετα, αν η δεύτερη εκτίμηση διαφέρει σημαντικά από την πρώτη, τότε συμπεραίνουμε ότι πιθανόν οι μέσοι όροι θα πρέπει να διαφέρουν.

Για να εφαρμόσουμε την Ανάλυση της Διακύμανσης σε κάποια δεδομένα θα πρέπει προηγουμένως να ελέγξουμε οι όροι που προϋποτίθενται έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να έχουν κάποια αξία. Οι προϋποθέσεις που θα πρέπει να ισχύουν είναι οι ακόλουθες:

- 1) Τα κ δείγματα θα πρέπει να είναι τυχαία και ανεξάρτητα. Οι παρατηρήσεις κάθε δείγματος θα πρέπει να παίρνονται έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από αυτές που πάρθηκαν μέχρι τώρα ή να επηρεάζουν αυτές που θα παρθούν στη συνέχεια.
- 2) Η κατανομή των πληθυσμών από τους οποίους πάρθηκαν τα κ δείγματα θα πρέπει να είναι κατά προσέγγιση κανονική. Η ANOVA είναι πολύ ευαίσθητη μόνο σε διαφορές μεταξύ των μέσων όρων. Έχει βρεθεί ότι δεν επηρεάζεται πάρα πολύ από αποκλίσεις από την κανονική κατανομή εκτός και αν η ασυμμετρία είναι πολύ μεγάλη και προς διαφορετικές κατευθύνσεις στους κ πληθυσμούς.
- 3) Όλοι οι πληθυσμοί από τους οποίους πάρθηκαν τα κ δείγματα θα πρέπει να έχουν την ίδια διακύμανση σ^2 . Και εδώ μέτριες αποκλίσεις από την ισότητα των διακυμάνσεων δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την ορθότητα της δοκιμασίας. Η ανισότητα των διακυμάνσεων, αν δεν είναι πολύ μεγάλη, επηρεάζει λίγο την τιμή του α , έτσι μπορεί να τεθεί η τιμή του λίγο μικρότερη από ότι είχε σχεδιαστεί αρχικά.
- 4) Η τελευταία υπόθεση μηδέν που θέλουμε να ελέγξουμε. Η H_0 δηλώνει ότι οι κ πληθυσμοί από τους οποίους πάρθηκαν τα δείγματα έχουν τον ίδιο αριθμητικό μέσο όρο:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \mu_k$$

Η εναλλακτική υπόθεση για την παραπάνω H_0 δηλώνει ότι:

H_1 : Όλοι οι αριθμητικοί μέσοι όροι είναι ίσοι.

Δίνοντας λίγη προσοχή στην H_1 βλέπουμε ότι αυτή μας λέει ότι αν τη δεχτούμε συμπεραίνουμε ότι **τουλάχιστον ένας**, μπορεί και περισσότεροι, από τους μέσους όρους των πληθυσμών δεν είναι ίσος με τους υπόλοιπους. Δεν μας λέει, δηλαδή,

ούτε πόσοι μέσοι όροι διαφέρουν, πολύ περισσότερο, ποιοι μέσοι όροι διαφέρουν από ποιους.

Οι τρεις πρώτες υποθέσεις θα πρέπει να ισχύουν ούτως ή άλλως. Αν ισχύει και η τέταρτη συμπεραίνουμε ότι όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι και συνήθως η στατιστική ανάλυση σταματάει σε αυτό το σημείο. Αν δεν ισχύει η H_0 δεχόμαστε την H_1 και τότε, συνήθως θα θέλουμε να βρούμε ποιοι μέσοι όροι διαφέρουν από ποιους (Μάτης, 1994)(Δαφέρμος, 2005).

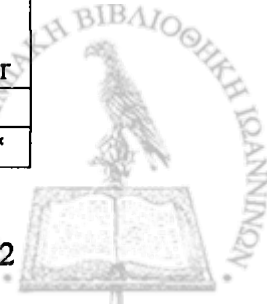
Πίνακας 6.1 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizona Greene*. (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control		6,0000***	5,76666		20,600***
Control + Wastewater					14,600***
Sludge + Wastewater		0,23333			14,833***
Sludge + Control	2,28888	8,2888***	8,0555***		22,888***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.2 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizona Greene*. (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control +	3,700000				18,5000***



Wastewater					
Sludge + Wastewater	10,366667	6,666667			25,1666***
Sludge + Control	22,144***	18,4444***	11,777***		36,9444***
Sludge (20%) + Wastewater	-14,80***				

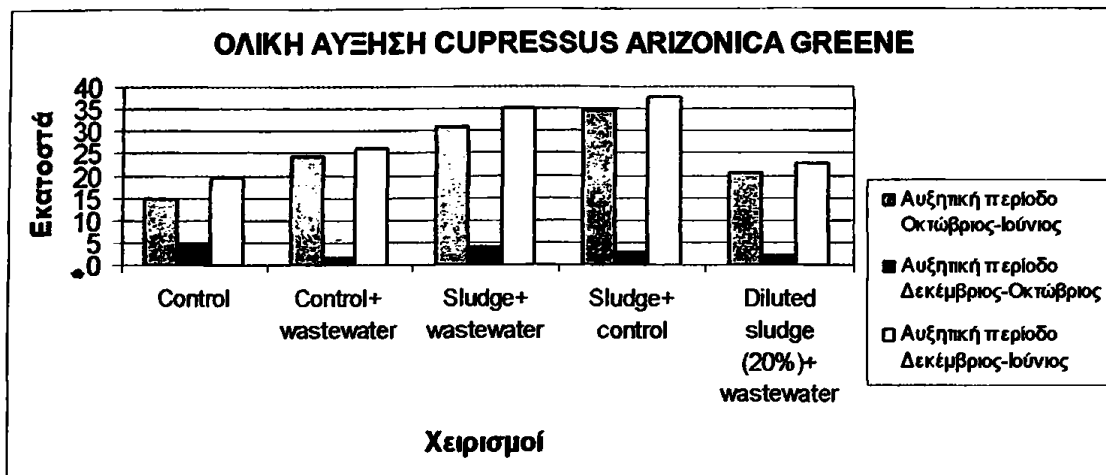
*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.3 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica Greene*. (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control		-0,6000000	-9,8333333		17,5000***
Control + Wastewater					18,1000***
Sludge + Wastewater		9,23333333			27,3333***
Sludge + Control	20,333***	19,7333***	10,500000		37,8333***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων για την αύξηση ύψους για το *Cupressus Arizonica Greene*, στο τέλος της αυξητικής περιόδου, ο χειρισμός Sludge + Control παρουσιάζει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους από τον χειρισμό Control. Οι χειρισμοί Control + wastewater, Control, Sludge + wastewater παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους από τον χειρισμό Sludge (20%) + wastewater (Kalavrouziotis, 2006);(Πανταζής, 2006).



Γράφημα 6.6 Αύξηση του Cupressus Arizona Greene στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

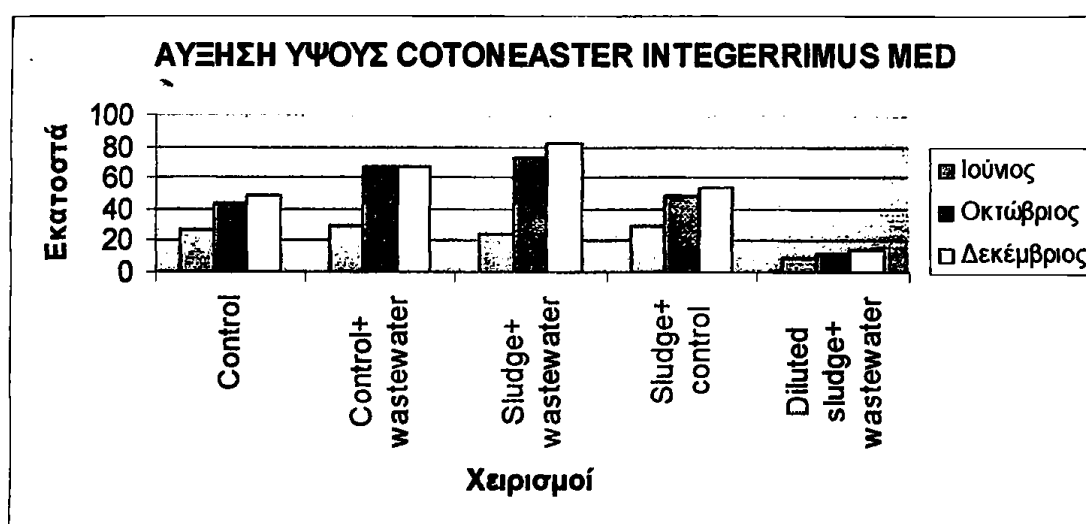
Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.6, την μεγαλύτερη αύξηση εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Control, ακολουθούμενος από τους χειρισμούς Sludge + wastewater, control + wastewater, sludge (20%) + wastewater και Control.

Πίνακας 6.4 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της ολικής αύξησης στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το Cupressus Arizona Greene. (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	6,70000				3,500000
Sludge + Wastewater	15,700***	9,00000			12,50000
Sludge + Control	18,144***	11,4444***	2,4444444		14,9444***
Sludge (20%) + Wastewater	3,20000				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Από την Ανάλυση Διακύμανσης που πραγματοποιήθηκε, για το τέλος της αυξητικής περιόδου, για το *Cupressus Arizonica Greene*, προέκυψε ότι ο χειρισμός Sludge + wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση από τον χειρισμό Control. Ο χειρισμός Sludge + Control παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση από τους χειρισμούς Control, Control + wastewater, and Sludge (20%) + wastewater.



Γράφημα 6.7 Αύξηση ύψους του Cotoneaster Integerrimus Med στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα την μεγαλύτερη αύξηση ύψους εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Wastewater, ακολουθούμενος από τους Control + Wastewater, Sludge + Control, Control και Sludge (20%) + Wastewater (Kalavrouziotis, 2006); (Πανταζής, 2006).

Πίνακας 6.5 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το Cotoneaster Integerrimus Med (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) +

					Wastewater
Control					18,1250***
Control+ Wastewater	3,27500				21,4000***
Sludge + Wastewater	-2,1250	-5,4000000		-5,5000	16,0000***
Sludge + Control	3,37500	0,1000000			21,5000***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.6 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cotoneaster Integerrimus* Med (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					31,5000***
Control + Wastewater	23,100***			17,850000	54,6000***
Sludge + Wastewater	30,000***	6,90000000		24,750***	61,5000***
Sludge + Control	5,2500000				36,7500***
Sludge (20%) + Wastewater					

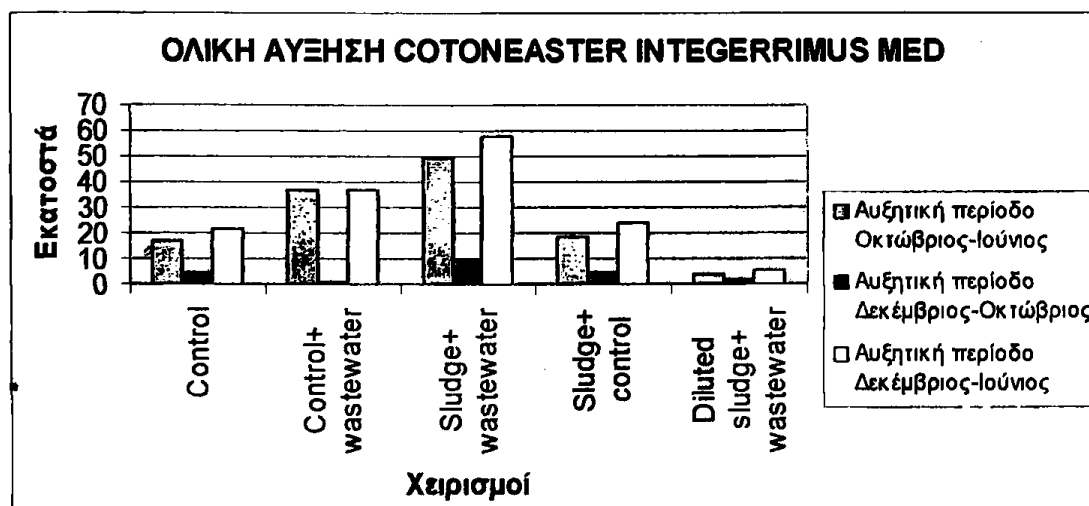
*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.7 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cotoneaster Integerrimus* Med (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί –	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					34,70833***
Control + Wastewater	18,625***		13,500000		53,33333***
Sludge + Wastewater	34,125***	15,500000		29,000***	68,83333***
Sludge + Control	5,125000				39,83333***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Από την στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, για το *Cotoneaster integerrimus* Med, προκύπτει ότι ο χειρισμός Control + Wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους από τους χειρισμούς Control και Sludge(20%) + Wastewater. Επίσης ο χειρισμός Sludge + Wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους από τους χειρισμούς Control, Sludge + Control, και Sludge(20%) + Wastewater. Ο χειρισμός Sludge(20%) + Wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μικρότερη αύξηση ύψους από όλους τους χειρισμούς και ειδικότερα από τους Control και Sludge + Control.



Γράφημα 6.8 Αύξηση του *Cotoneaster Integerrimus* Med στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

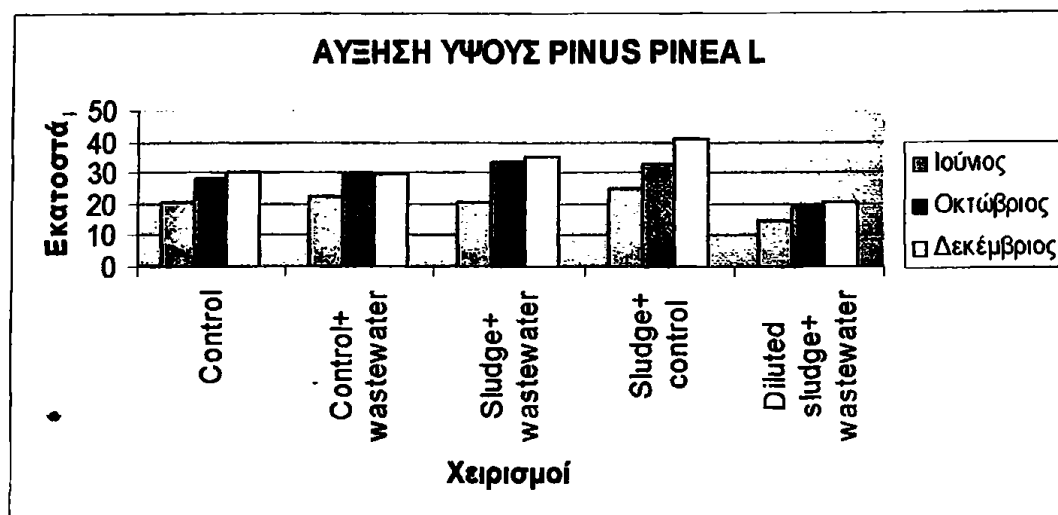
Όπως προκύπτει από το γράφημα την μεγαλύτερη αύξηση εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Wastewater ακολουθούμενος από τους Control + Wastewater, Sludge + Control, Control και Sludge(20%) + Wastewater.

Πίνακας 6.8 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της ολικής αύξησης στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cotoneaster integerrimus* Med (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					15,750000
Control + Wastewater	15,3500			10,350000	31,1000***
Sludge + Wastewater	36,2500***	20,900***		31,2500***	52,0000***
Sludge + Control	5,00000				20,750000
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Από την στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε για το *Cotoneaster integerrimus* Med , για το τέλος της αυξητικής περιόδου, ο χειρισμός Sludge + wastewater παρουσιάζει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση από τους χειρισμούς Control, Control + Wastewater, Sludge + Control, και Sludge (20%) + Wastewater. Ο χειρισμός Sludge (20%) + Wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μικρότερη αύξηση από τον χειρισμό Control + Wastewater (Kalavrouziotis, 2006);(Πανταζής, 2006).



Γράφημα 6.9 Αύξηση ύψους της *Pinus pinea* L στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.28 την μεγαλύτερη αύξηση ύψους εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Control , ακολουθούμενος από τους χειρισμούς sludge + wastewater, Control, Control+wastewater, και Sludge(20%) + wastewater.

Πίνακας 6.9 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control		-2,066667			5,73333***
Control + Wastewater			1,65000000		7,80000***
Sludge + Wastewater	0,416667				6,15000***
Sludge + Control	4,500***	2,43333333	4,08333333		10,2300***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.10 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στη μέση της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					9,00000***
Control + Wastewater	1,5000000				10,5000***
Sludge + Wastewater	5,2500***	3,75000000		0,4500	14,2500***
Sludge + Control	4,8000***	3,30000000			13,8000***
Sludge (20%) + Wastewater					

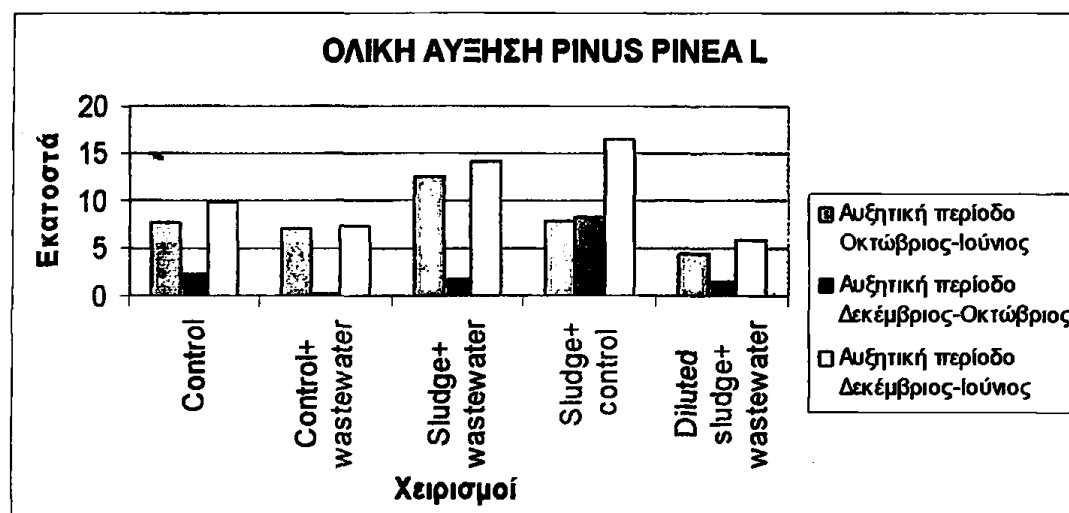
*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.11 . Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

	Χειρισμοί				
Χειρισμοί	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control		0,52222222			9,72222***
Control + Wastewater					9,20000***
Sludge + Wastewater	4,777778	5,30000***			14,5000***
Sludge + Control	10,977***	11,5000***	6,20000***		20,7000***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων για την *Pinus pinea* L., για το τέλος της αυξητικής περιόδου, ο χειρισμός sludge + control παρουσιάζει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους σε σχέση με τους χειρισμούς control, control+wastewater and sludge+wastewater. Επιπλέον οι χειρισμοί control + wastewater, control, sludge + wastewater και sludge+control παρουσίασαν στατιστικά σημαντικότερη μεγαλύτερη αύξηση από τον χειρισμό sludge (20%) + wastewater.



Γράφημα 6.10 Αύξηση της *Pinus pinea* L., στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.29 την μεγαλύτερη αύξηση εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Control ακολουθούμενος από τους sludge + wastewater, control, control+ wastewater, και sludge (20%) + wastewater.

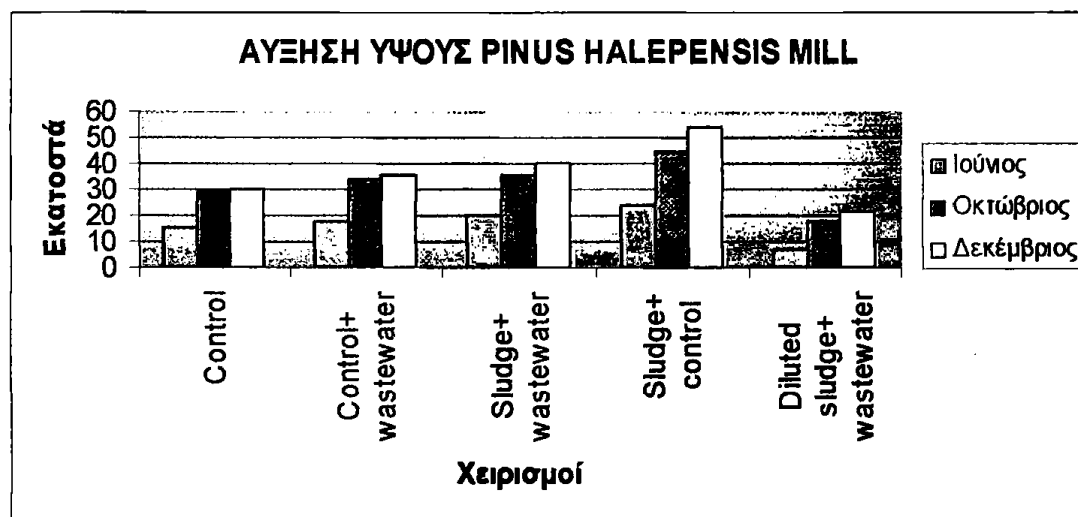
Πίνακας 6.12 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της ολικής αύξησης στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L., (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control		2,588889			3,638889

Control + Wastewater					1,0500000
Sludge + Wastewater	4,3611	6,95000***			8,00000***
Sludge + Control	7,111***	9,70000***	2,7500000		10,7500***
Sludge (20%) + Wastewater	3,638889				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Στο τέλος της αυξητικής περιόδου, από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων, για την *Pinus pinea L.*, ο χειρισμός sludge + wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση από το χειρισμό control+wastewater. Επίσης ο χειρισμός Sludge and control παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση από τους χειρισμούς control, control + wastewater, και sludge (20%) + wastewater.



Γράφημα 6.11 Αύξηση ύψους της *Pinus halepensis* Mill στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.11 την μεγαλύτερη αύξηση ύψους εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Control, ακολουθούμενος από τους χειρισμούς sludge + wastewater, Control+wastewater, Control, και Sludge(20%) + wastewater.

Πίνακας 6.13 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus halepensis* Mill (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					8,4166***
Control + Wastewater	2,33333				10,750***
Sludge + Wastewater	5,033333	2,7000000			13,45***
Sludge + Control	8,404762***	6,07142***	3,371429		16,82142***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.14 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus halepensis* Mill (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					11,500***
Control + Wastewater	4,50000				16,000***
Sludge + Wastewater	5,70000	1,20000000			17,200***
Sludge + Control	15,357143***	10,857143***	9,657143***		26,8571***
Sludge (20%) + Wastewater					

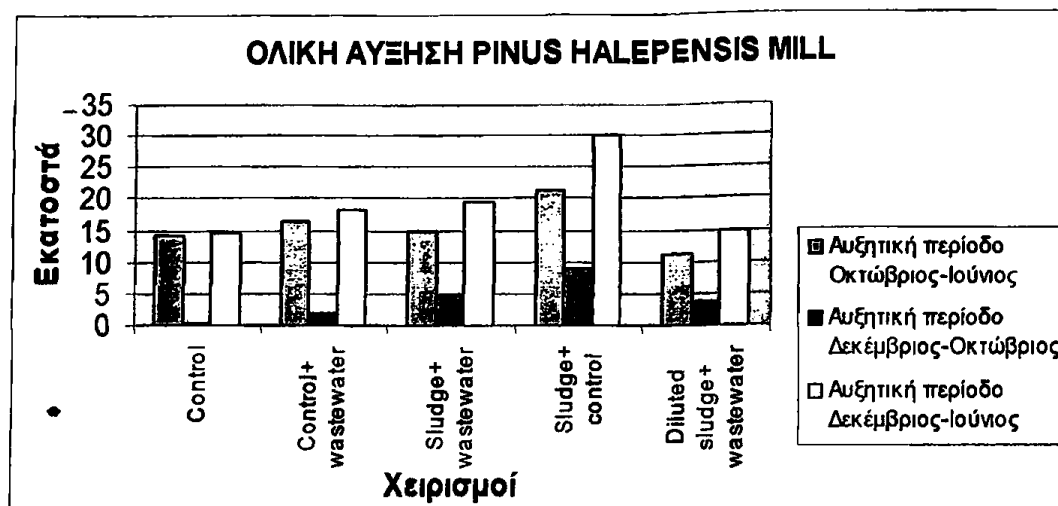
*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.15 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus halepensis* Mill (ANOVA) (Tukey HSD, LSD).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					8,0000000
Control + Wastewater	6,0833333				14,0833***
Sludge + Wastewater	10,133***	4,0500000			18,1333***
Sludge + Control	24,04761***	17,96442***	13,91428***		32,0476***
Sludge (20%) + Wastewater					

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων για την *Pinus halepensis* Mill, για το τέλος της αυξητικής περιόδου, ο χειρισμός sludge + control παρουσιάζει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους σε σχέση με τους χειρισμούς control, control+wastewater και sludge(20%) + wastewater. Επιπλέον ο χειρισμός sludge (20%) + wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικότερη μικρότερη αύξηση ύψους από όλους τους χειρισμούς και ειδικότερα από τους control + wastewater, sludge + wastewater και sludge+control (Kalavrouziotis, 2006);(Πανταζής, 2006).



Γράφημα 6.12 Αύξηση της *Pinus halepensis* Mill., στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει από το γράφημα 6.12 την μεγαλύτερη αύξηση εμφάνισε ο χειρισμός Sludge + Control, ακολουθούμενος από τους χειρισμούς sludge + wastewater, Control+wastewater, Control Sludge(20%) + wastewater και Control.

Πίνακας 6.16 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της ολικής αύξησης στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus halepensis* Mill., (ANOVA) (Tukey HSD, LSD)

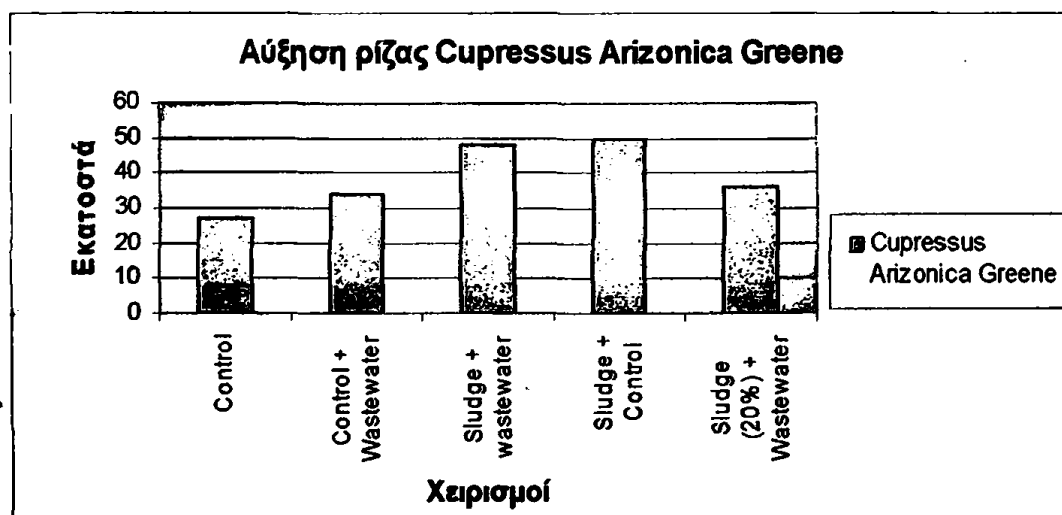
Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	4,0000				2,833333
Sludge + Wastewater	4,3000	0,300000			3,133333
Sludge + Control	15,3571***	11,3571***	11,05714***		14,1904***
Sludge (20%) + Wastewater	1,16666				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της ολικής αύξησης για την *Pinus halepensis* Mill, για το τέλος της αυξητικής περιόδου, ο χειρισμός sludge + control παρουσιάζει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με τους χειρισμούς control, control+wastewater, Sludge+wastewater και sludge(20%) + wastewater. Επιπλέον ο χειρισμός sludge (20%) + wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μικρότερη αύξηση από τον χειρισμό sludge+control.

6.2.2 ΑΥΞΗΣΗ ΡΙΖΑΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Με το τέλος της αυξητικής περιόδου και κατά συνέπεια του πειραματικού πραγματοποιήθηκε μέτρηση του ριζικού συστήματος των φυτών που επιβίωσαν. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε από τον ριζικό κόμβο μέχρι του κατώτατου σημείου της ρίζας για κάθε χειρισμό και για το κάθε φυτό ξεχωριστά. Επίσης για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, στα στοιχεία που προέκυψαν πραγματοποιήθηκε κατάλληλη στατιστική επεξεργασία (Ανάλυση της Διακύμανσης).



Γράφημα 6.13 Αύξηση της ρίζας του *Cupressus Arizonica Greene* στο τέλος της αυξητικής περιόδου.



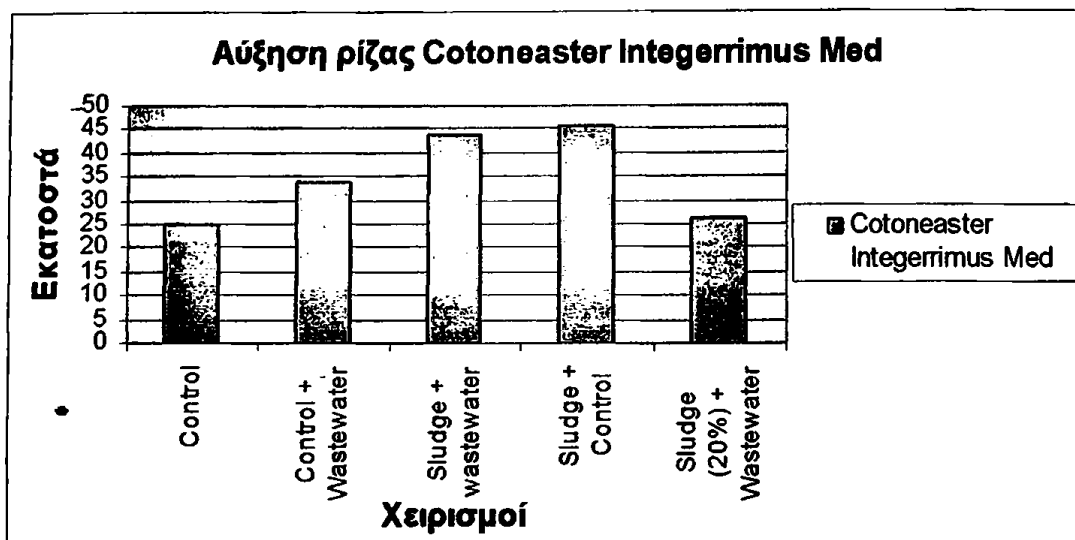
Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.13 την μεγαλύτερη αύξηση του ριζικού συστήματος εμφάνισε ο χειρισμός sludge+control, ακολουθούμενος από τους Sludge+wastewater, sludge(20%) + wastewater, control+wastewater και control.

Πίνακας 6.17. Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης του ριζικού συστήματος στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica* Greene (ANOVA).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	6,9000				
Sludge + Wastewater	20,966***	14,0666***			11,666667
Sludge + Control	22,466***	15,5666***	1,5000000		13,166667***
Sludge (20%) + Wastewater	9,30000	2,400000			

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων υπάρχει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος μεταξύ των χειρισμών Sludge + Wastewater, Sludge + Control σε σχέση με το χειρισμό Control + Wastewater. Ο χειρισμός Sludge + Control παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος σε σχέση με τον χειρισμό Sludge (20%) + Wastewater.



Γράφημα 6.14 Αύξηση της ρίζας του Cotoneaster Integerrimus Med στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

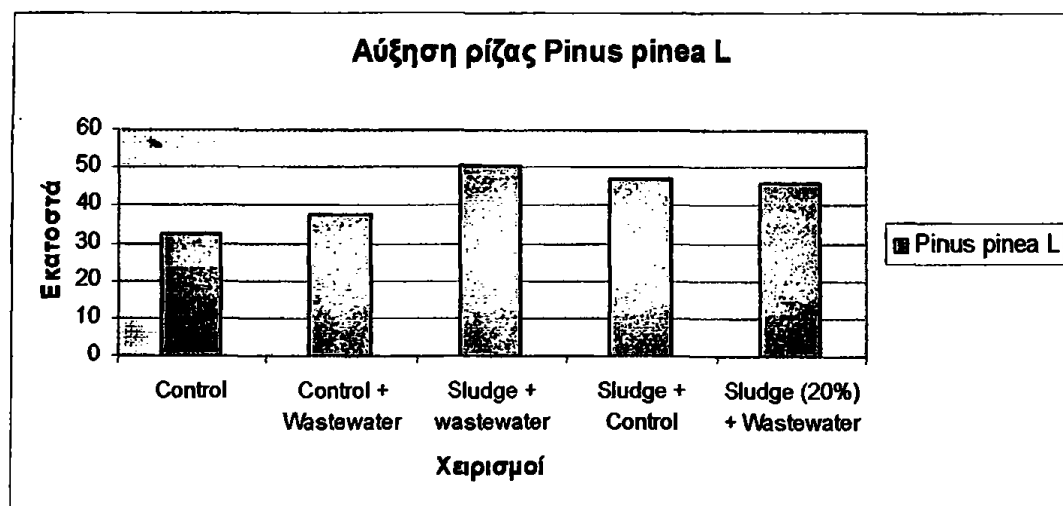
Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.14 την μεγαλύτερη αύξηση του ριζικού συστήματος εμφάνισε ο χειρισμός sludge+control, ακολουθούμενος από τους Sludge+wastewater, control+wastewater, sludge(20%) + wastewater και control.

Πίνακας 6.18 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης του ριζικού συστήματος στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για το Cotoneaster Integerrimus Med (ANOVA).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	8,700***				7,366***
Sludge + Wastewater	18,333***	10,133***			17,500***
Sludge + Control	20,750***	12,050***	1,916667		19,4166***
Sludge (20%) + Wastewater	1,333333				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων υπάρχει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος μεταξύ των χειρισμών Sludge + Wastewater, Sludge + Control και Control + Wastewater σε σχέση με το χειρισμό Sludge (20%) + Wastewater. Ο χειρισμός Sludge + Wastewater παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος σε σχέση με τον χειρισμό Control + Wastewater. Επίσης ο χειρισμός Sludge + Control παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος σε σχέση με τον χειρισμό Control + Wastewater.



Γράφημα 6.15 Αύξηση της ρίζας της Pinus pinea L στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

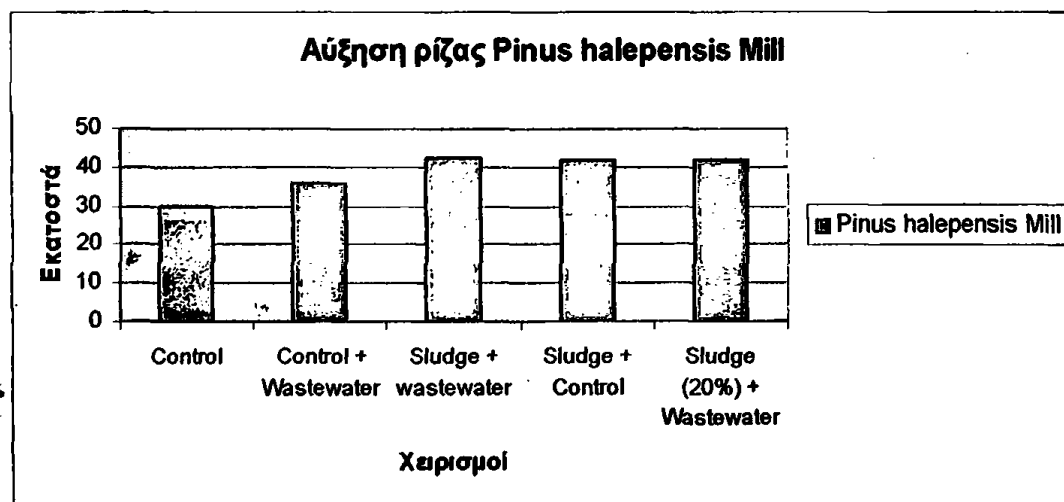
Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.15 την μεγαλύτερη αύξηση του ριζικού συστήματος εμφάνισε ο χειρισμός sludge+ wastewater ακολουθούμενος από τους Sludge+ control, sludge(20%) + wastewater, control+wastewater, και control.

Πίνακας 6.19 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης του ριζικού συστήματος στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την Pinus pinea L (ANOVA).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	4,944***				
Sludge + Wastewater	17,944***	13,000***		3,5000	4,7500000
Sludge + Control	14,444***	9,500***			1,250000
Sludge (20%) + Wastewater	13,194***	8,250***			

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων υπάρχει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος μεταξύ των χειρισμών Sludge + Wastewater, Sludge + Control και Sludge (20%) + Wastewater σε σχέση με το χειρισμό Control + Wastewater. Οι χειρισμοί Sludge + Wastewater, Sludge + Control, Sludge (20%) + Wastewater, και Control + Wastewater παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος σε σχέση με τον χειρισμό Control.



Γράφημα 6.16 Αύξηση της ρίζας της *Pinus halepensis* Mill στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Όπως προκύπτει και από το γράφημα 6.16 την μεγαλύτερη αύξηση του ριζικού συστήματος εμφάνισε ο χειρισμός sludge+ wastewater ακολουθούμενος από τους sludge(20%) + wastewater, Sludge+ control, control+wastewater, και control.

Πίνακας 6.20 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης του ριζικού συστήματος στο τέλος της αυξητικής περιόδου μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus halepensis* Mill (ANOVA).

Χειρισμοί	Χειρισμοί				
	Control	Control + Wastewater	Sludge + Wastewater	Sludge + Control	Sludge (20%) + Wastewater
Control					
Control + Wastewater	5,91666***				
Sludge + Wastewater	125666***	6,650***		0,5428	0,40000
Sludge + Control	12,023***	6,1071***			
Sludge (20%) + Wastewater	12,1666***	6,250000		0,1428	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Όπως προκύπτει από την στατιστική επεξεργασία των στοιχείων υπάρχει στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος μεταξύ των χειρισμών Sludge + Wastewater, και Sludge + Control σε σχέση με το χειρισμό Control + Wastewater. Οι χειρισμοί Sludge + Wastewater, Sludge + Control, Sludge (20%) + Wastewater, και Control + Wastewater παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ριζικού συστήματος σε σχέση με τον χειρισμό Control.

6.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ (CONTROL) ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ.

Οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που βρέθηκαν να περιέχονται τόσο στο Control νερό όσο και στα υγρά αστικά λύματα του βιολογικού σταθμού (εκφρασμένα σε mg/l), (πίνακας 6.22) κυμαίνονται μέσα στα διεθνώς παραδεκτά όρια, όσον αφορά την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε νερά, που χρησιμοποιούνται για άρδευση, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία.

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων τόσο του μάρτυρα (Control) νερού όσο και των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων κατά την φάση της άρδευσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.21 (Kalantrouziotis, 2006); (Πανατζής, 2006).

Πίνακας 6.21 Φυσικοχημικές παράμετροι του Control και των επεξεργασμένων υγρών λυμάτων και περιεκτικότητα των Cu, Zn, Fe, Mn (mg/l).

Φυσικοχημικές παράμετροι νερού άρδευσης	Είδος νερού				p*
	Control (n=31)		Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Λύματα(n=31)		
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	
Αγωγιμότητα μS/cm (25°C)	465,45	80,83	573,22	48,87	0,000
pH	7,40	0,26	7,45	0,24	0,506
TC (ppm)	66,53	18,87	42,75	9,8	0,000*
IC (ppm)	59,67	16,48	35,36	9,15	0,000*
TOC (ppm)	6,26	4,46	7,02	3,53	0,461
NPOC (ppm)	4,58	4,2	6,62	4,82	0,081
BOD (mg/l)	3,58	1,23	24,67	3,55	0,000*
Cu (mg/l)	0,009	0,007	0,013	0,01	0,058
Zn (mg/l)	0,16	0,15	0,099	0,07	0,048*
Fe (mg/l)	0,019	0,019	0,029	0,016	0,042*
Mn (mg/l)	0,006	0,006	0,016	0,015	0,001*
Al (mg/l)	0,078	0,068	0,129	0,024	0,000*
Ca (mg/l)	505	500	436	407	0,558
Cr (mg/l)	0,013	0,009	0,024	0,018	0,004*
Co (mg/l)	0,047	0,033	0,067	0,042	0,046*
Ni (mg/l)	0,014	0,013	0,029	0,02	0,001*
Mg (mg/l)	13,74	3,26	13,49	3,16	0,759
Sr (mg/l)	0,16	0,029	0,17	0,036	0,037*



											***0,289
N(mg/kg)	14,9	11,7	19,4	37,9	31,9	21,2	14,9	31,8	36,2	36,6	*0,005
	-										**0,000
											***0,091
C(mg/kg)	22,9	20,5	29,3	24,3	24,4	19,1	17,6	33,7	29,8	26,8	*0,001
											**0,001
											***0,602
C(mg/kg)	11,9	8,62	9,49	12,7	13,7	10,9	12,6	12,6	17,2	20,3	*0,001
											**0,001
											***0,008
P(mg/kg)	*1582	2051	2173	1680	1408	1577	1072	1455	1761	1660	*0,000
											**0,333
											***0,085
C(mg/kg)	0,6	1,1	1,02	1	1,12	0,59	0,92	0,99	0,86	1,06	*0,000
											**0,000
											***0,000
P(mg/kg)	1,75	3,56	8,46	4,57	10,2	1,99	3,8	9,91	4,63	9,82	*0,015
											**0,000
											***0,462
P(mg/kg)	497	480	457	395	393	452	348	397	331	299	*0,000
											**0,019
											***0,024
P(mg/kg)	240	475	290	326	286	224	390	331	261	289	*0,000
											**0,003
											***0,081

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 6.23 Ολικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για τα *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

στοιχεία (mg/kg)	Pinus pinea L					Pinus halepensis Mill					
	Χειρισμοί					Χειρισμοί					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	P
Nu (mg/kg)	14,7	28,4	29	30,6	40,9	14,7	19,8	32,1	33,7	24,8	*0,003 **0,001 ***0,647
Fe (mg/kg)	75,1	78,4	65,8	82,1	92,2	98,3	57,7	67,3	58,6	72,1	*0,039 **0,880 ***0,200
Mn (mg/kg)	87,1	91,1	147,4	171,4	147,4	129,3	123,6	144,6	155,1	152	*0,001 **0,011

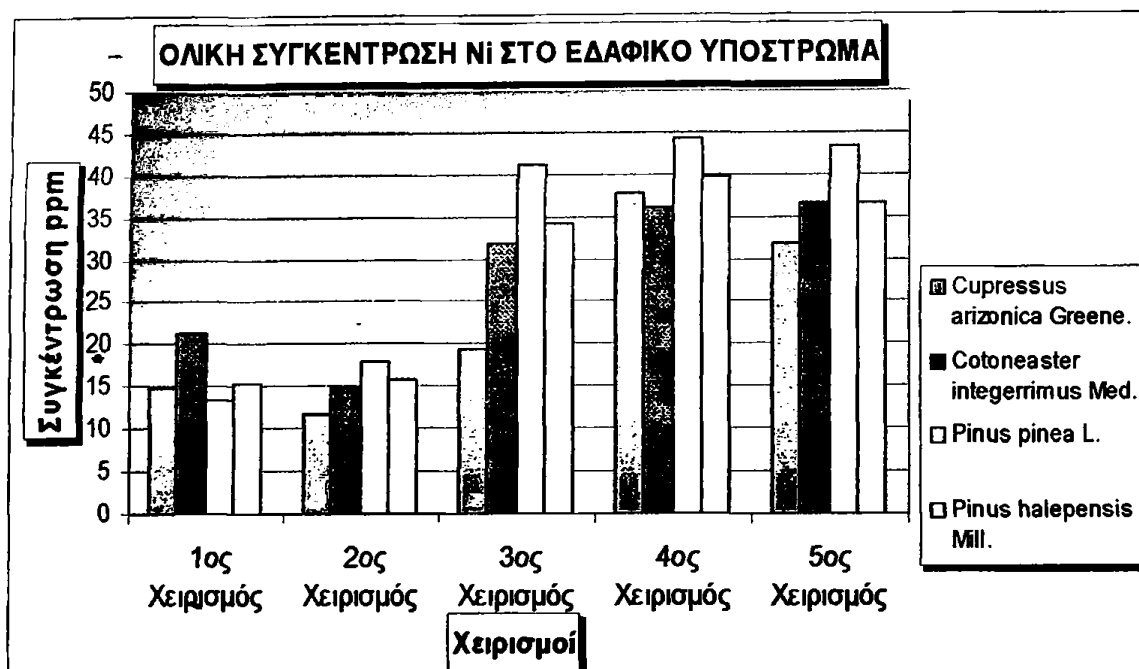
											***0,153
Z(mg/kg)	9,79	12,6	50,7	33,4	36,7	9,12	10,9	41,2	39,2	39,7	*0,018
	-										**0,000
											***0,163
S(mg/kg)	5	15,7	16,9	15,4	14,4	8,37	11,6	12,2	13,5	14,7	*0,001
											**0,000
											***0,289
N(mg/kg)	13,5	18	41,2	44,2	43,3	15,3	15,7	34,2	39,7	36,7	*0,005
											**0,000
											***0,091
P(mg/kg)	20	19,4	30,1	31,6	30,5	17,9	12,8	35,4	27,6	28	*0,001
											**0,001
											***0,602
P(mg/kg)	9,52	13,5	14,4	24,7	26,2	9,7	14,3	14,9	26,9	26,5	*0,001
											**0,001
											***0,008
P(mg/kg)	1527	1718	1988	1383	1448	1341	1154	1546	1448	1155	*0,000
											**0,333
											***0,085
P(mg/kg)	0,67	1,27	1,3	1,02	1,16	0,61	1,53	1,6	1,23	1,14	*0,000
											**0,000
											***0,000
P(mg/kg)	2,32	4,24	10,15	5,27	9,11	2,75	5,25	10,97	5,52	8,02	*0,015
											**0,000
											***0,462
P(mg/kg)	594	479	230	232	285	343	330	238	251	245	*0,000
											**0,019
											***0,024
P(mg/kg)	321	386	224	217	239	197	331	175	264	251	*0,000
											**0,003
											***0,081

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

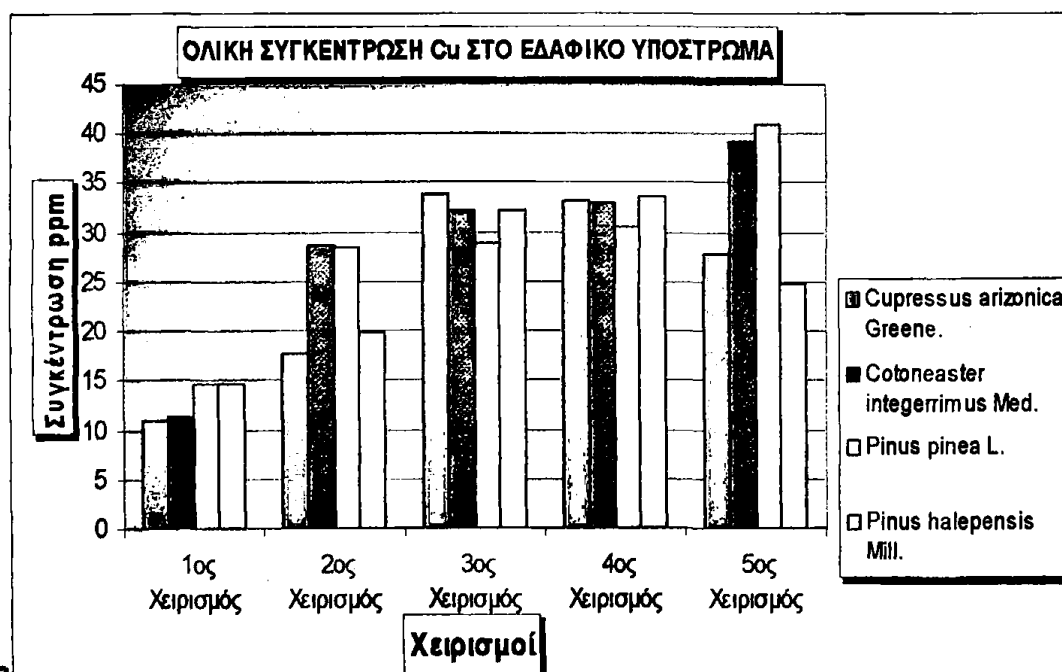
**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.



Γράφημα 6.17 Ολική ποσότητα Νι στο εδαφικό υπόστρωμα των διαφορετικών χειρισμών



Γράφημα 6.18. Ολική ποσότητα Cu στο εδαφικό υπόστρωμα των διαφορετικών χειρισμών

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους ως προς τις ολικές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες 6.22 και 6.23 και στα σχήματα 6.17 και 6.18. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Ca, Cd, Pb, Sr, Ni, Co, Cr και Al του εδαφικού υποστρώματος όσο και τα δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Mn, Zn, Sr, Ca, Cd, Pb, Cr, Co, Mg και Ni αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Co, Cd και Ca αντίστοιχα.

Αντίθετα τα φυτικά είδη δεν φαίνεται να έχουν καμία επίδραση στις συγκεντρώσεις τόσο του Fe, όσο και του Al του εδαφικού υποστρώματος. Ο συνδυασμός τόσο του διαφορετικού χειρισμού όσο και του φυτικού είδους δεν παίζει στατιστικά σημαντικό ρόλο στις συγκεντρώσεις των Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Sr, Cr, Pb και Al του εδαφικού υποστρώματος.

6.4.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Οι συγκεντρώσεις των διαθέσιμων συγκεντρώσεων των μετάλλων που περιέχονταν στο εδαφικό υπόστρωμα των χειρισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 6.24 και 6.25

Πίνακας 6.24 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για τα Cupressus Arizona Greene και Cotoneaster Integerrimus Med.

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)	Cupressus Arizona Greene					Cotoneaster Integerrimus med					
	Χειρισμοί					Χειρισμοί					P
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Cu (mg/l)	6,52	10,02	5,42	2,21	5,12	7,16	12,07	2,97	2,78	3,05	*0,022
											**0,000
											***0,338
Fe (mg/kg)	3,86	3,41	2,32	1,63	1,29	3,19	3,82	2,98	1,86	0,75	*0,009
											**0,000

											***0,183
Mn (mg/kg)	6,98	7,95	13,33	13,22	22,63	10,62	12,71	11,4	23,13	15,94	*0,006
											**0,033
											***0,845
Zn (mg/kg)	4,84	6,56	4,59	3,84	5,71	6,35	7,39	5,12	4,94	3,67	*0,001
											**0,076
											***0,162
Sr (mg/kg)	3,23	5,77	8,66	12,03	18,73	2,81	4,87	8,79	12,05	13,63	*0,015
											**0,000
											***0,474
Ni (mg/kg)	3,02	1,73	0,75	3,43	2,13	2,63	1,19	1,23	1,73	1,41	*0,005
											**0,001
											***0,109
Cr (mg/kg)	2,15	3,47	8,26	3,72	1,24	1,85	2,12	3,29	3,43	5,13	*0,876
											**0,549
											***0,840
Co (mg/kg)	4,45	1,53	1,08	0,35	1,66	2,37	1,86	1,22	0,33	1,41	*0,038
											**0,001
											***0,09
Al (mg/kg)	18,39	11,83	24,66	14,94	17,64	20,25	17,54	20,86	14,39	9,81	*0,025
											**0,886
											***0,178
Cd (mg/kg)	0,18	0,47	0,82	0,69	0,7	0,15	0,6	0,72	0,58	0,75	*0,006
											**0,000
											***0,041
Pb (mg/kg)	0,46	1,48	4,29	3,8	7,3	0,36	1,87	3,97	2,95	8,34	*0,037
											**0,000
											***0,669
Ca (mg/kg)	38,04	37,28	26,99	27,2	22,4	36,88	31,61	27,12	29,8	22,8	*0,000
											**0,002
											***0,746
Mg (mg/kg)	1,57	2,61	1,92	1,8	2,37	2,18	2,75	1,57	2,77	3,01	*0,000
											**0,135
											***0,005
B (mg/kg)	0,22	0,36	0,56	0,22	0,48	0,37	0,41	0,43	0,22	0,49	*0,022
											**0,157
											***0,897
P (mg/kg)	1,48	2,05	5,15	6,21	5,54	1,51	2,49	4,19	6,02	5,83	*0,010
											**0,000
											***0,475
pH	8	8,1	7,5	7,4	7,4	8,1	8	7,5	7,5	7,5	*0,000
											**0,000
											***0,224
EC	0,16	0,33	2,79	3	2,6	0,17	0,27	3,5	2,6	2,5	*0,048
											**0,000
											***0,452
TC (ppm)	74,68	55,95	250,5	800	346,1	30,54	50,83	199,8	297,7	478,9	*0,049
											**0,000



											***0,632
IC (ppm)	15,30	14,86	53,79	21,31	25,8	12,14	19	33,73	42	24	*0,010
											**0,011
											***0,932
TOC(ppm)	59,38	35,3	196,7	778,6	320,3	18,4	31,7	165,6	255,7	451,9	*0,065
											**0,002
											***0,621
NPOC (ppm)	22,42	28,4	152,9	607,6	249	19,2	33,4	107,4	115,9	273,1	*0,049
											**0,014
											***0,504
CaCO ₃ %	5,63	12,6	18,9	20,9	20,4	10,5	13,5	19,6	21	20,6	*0,002
											**0,000
											***0,172
TDS (mg/l)	105,6	215	1791	1980	1672,3	110,72	177,2	2245	1687	1649,2	*0,048
											**0,000
											***0,455

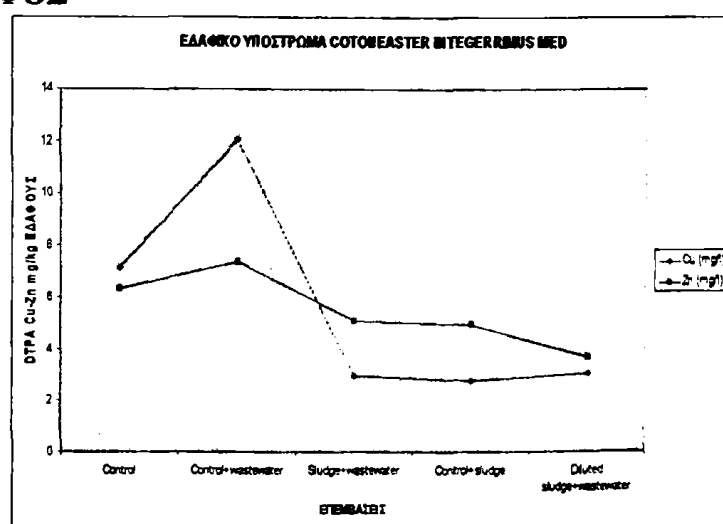
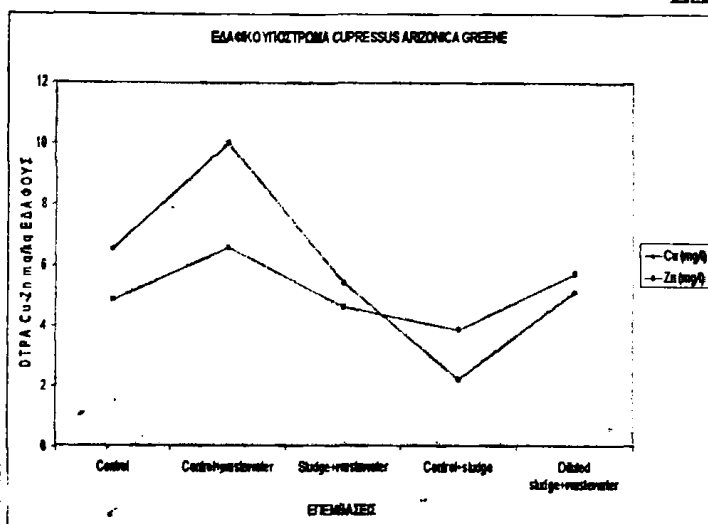
* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

ΕΔΑΦΟΣ

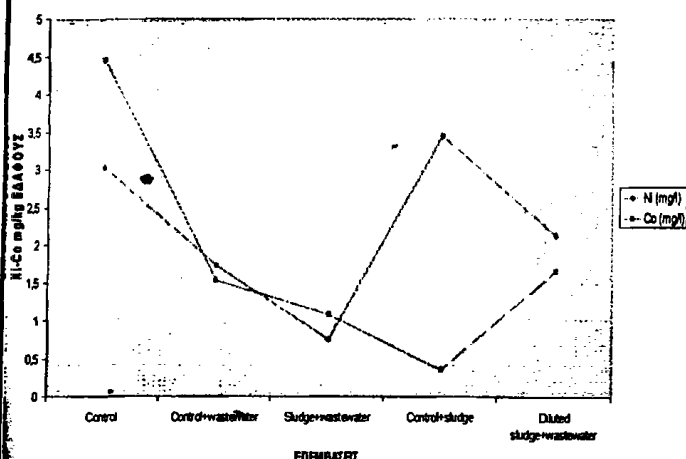


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

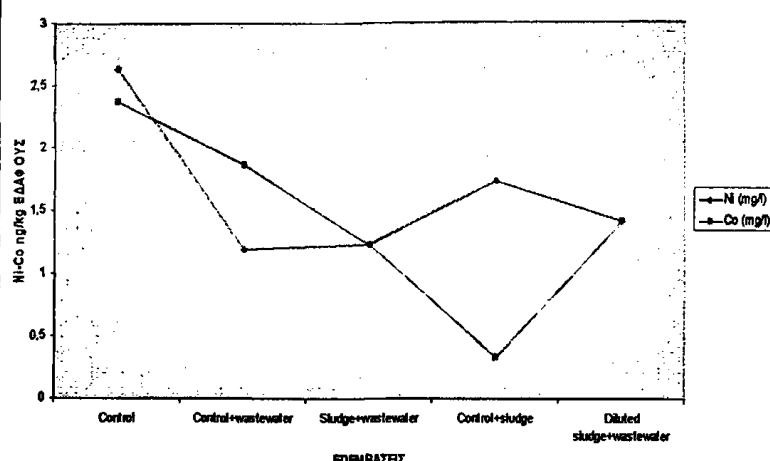
Γράφημα 6.19. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε διαθέσιμο Cu και Zn για το Cupressus Arizona Greene και Cotoneaster Integrerrimus Med.

ΕΔΑΦΟΣ

ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ CUPRESSUS ARIZONICA GREENE



ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ COTONEASTER INTEGERRIMUS MED

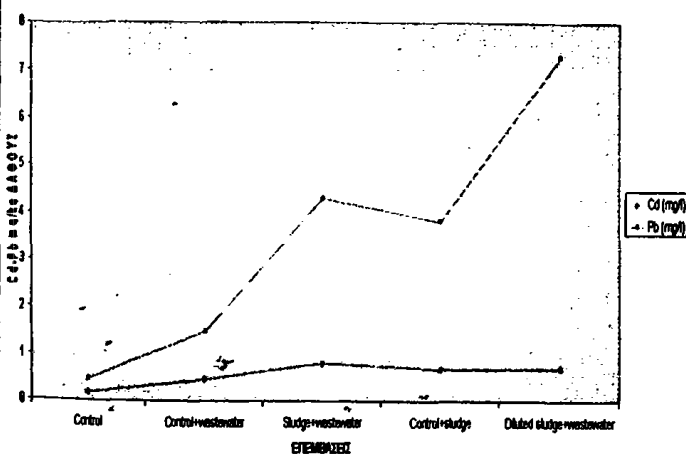


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

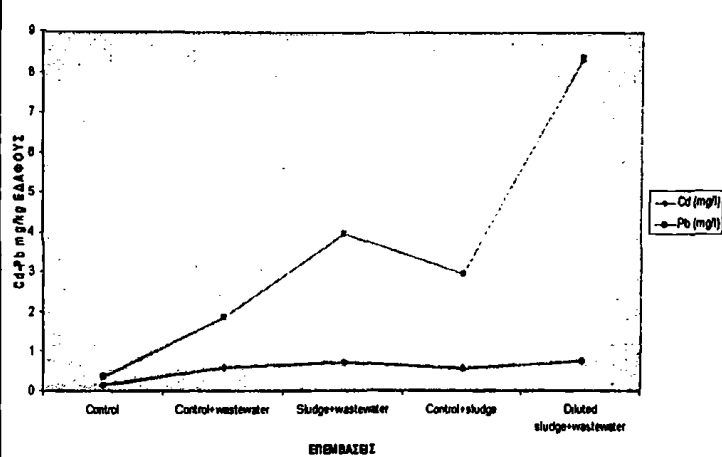
Γράφημα 6.20. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Ni και Co για το Cupressus Arizona Greene και Cotoneaster Integerrimus Med.

ΕΔΑΦΟΣ

ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ CUPRESSUS ARIZONICA GREENE



ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ COTONEASTER INTEGERRIMUS MED



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.21. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Pb και Cd για το Cupressus Arizona Greene και Cotoneaster Integerrimus Med.

Πίνακας 6.25 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για τα *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)	Pinus pinea L					Pinus halepensis Mill					
	Χειρισμοί					Χειρισμοί					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	P
Cu (mg/kg)	7,89	11,35	2,58	1,98	2,54	6,13	13,38	5,91	4,78	3,42	*0,022
											**0,000
											***0,338
Fe (mg/kg)	4,88	4,04	1,99	1,95	1,11	2,82	3,09	0,83	2,41	0,51	*0,009
											**0,000
											***0,183
Mn (mg/kg)	10,86	9,6	13,17	13,78	25,6	10,23	9,89	13,38	15,21	12,27	*0,006
											**0,033
											***0,845
Zn (mg/kg)	5,98	8,36	5,46	4,22	2,25	5,34	7,78	10,22	8,62	4,29	*0,001
											**0,076
											***0,162
Sr (mg/kg)	2,74	4,96	7,69	13,54	17,67	3,92	6,07	9,57	9,11	11,24	*0,015
											**0,000
											***0,474
Ni (mg/kg)	3,83	1,56	1,11	1,61	1,99	4,73	1,29	2,28	2,95	1,97	*0,005
											**0,001
											***0,109
Cr (mg/kg)	5,74	2,17	3,06	3,55	1,22	2,11	4,86	3,85	4,5	3,81	*0,876
											**0,549
											***0,840
Co (mg/kg)	4,23	1,74	1,87	1,02	1,84	7,88	3,9	2	0,53	1,55	*0,038
											**0,001
											***0,09
Al (mg/kg)	23,57	12,22	19,74	16,11	15,68	28,58	18,09	10,44	25,88	12,44	*0,025
											**0,886
											***0,178
Cd (mg/kg)	0,25	0,65	1,09	0,72	0,9	0,15	0,8	1,47	0,82	0,81	*0,006
											**0,000
											***0,041
Pb (mg/kg)	0,51	2,35	5,1	4,65	6,86	0,22	2,05	6,6	4,3	6,52	*0,037
											**0,000
											***0,669
Ca (mg/kg)	33,06	30,29	21,7	27,6	27,7	31,68	34,6	17,6	33,2	26,7	*0,000
											**0,002
											***0,746
Mg (mg/kg)	1,65	3,02	2,24	2,57	3,97	2,09	2,53	2	3,36	2,93	*0,000



											**0,135
											***0,005
B (mg/kg)	0,45	0,34	0,23	0,26	0,46	0,43	0,4	0,15	0,3	0,42	*0,022
											**0,157
											***0,897
P (mg/kg)	2,03	3,16	5,29	6,22	5,19	1,27	1,69	6,03	5,30	4,86	*0,010
											**0,000
											***0,475
pH	7,97	7,92	7,55	7,69	7,91	8,09	7,87	7,27	7,42	7,29	*0,000
											**0,000
											***0,224
EC	0,16	0,37	3,42	3,57	2,43	0,3	0,46	3,83	2,91	2,72	*0,048
											**0,000
											***0,452
TC (ppm)	30,7	60,5	304,8	381	548,8	52,9	88,9	237,6	468,1	325,3	*0,049
											**0,000
											***0,632
IC (ppm)	13,15	20,95	30,84	50,71	29,36	14,80	25,19	37,44	28	38,14	*0,010
											**0,011
											***0,932
TOC (ppm)	17,55	40,45	273,9	331,5	519,3	38,1	63,65	173,3	440,1	287,1	*0,065
											**0,002
											***0,621
NPOC (ppm)	22,27	43,52	175,13	235,9	349	39,99	57,37	222,9	167,6	184,3	*0,049
											**0,014
											***0,504
CaCO ₃ %	10,6	14,6	19,3	20,3	21,4	11,5	14	19	20,5	20,8	*0,002
											**0,000
											***0,172
TDS (mg/l)	108,1	238,7	2190	2284,1	1557,7	192	291,8	2451,8	1860,4	1731,8	*0,048
											**0,000
											***0,455

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους ως προς τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα και στα σχήματα. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Ca, Cd, Pb, Sr, Ni, Co, B, TC, EC, P, NPOC,

IC, CaCO₃, TDS και Al του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Mn, Fe, Sr, Ca, Cd, Pb, Co, P, pH, EC, TC, IC, TOC, CaCO₃, TDS και Ni αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Cd και Mg αντίστοιχα.

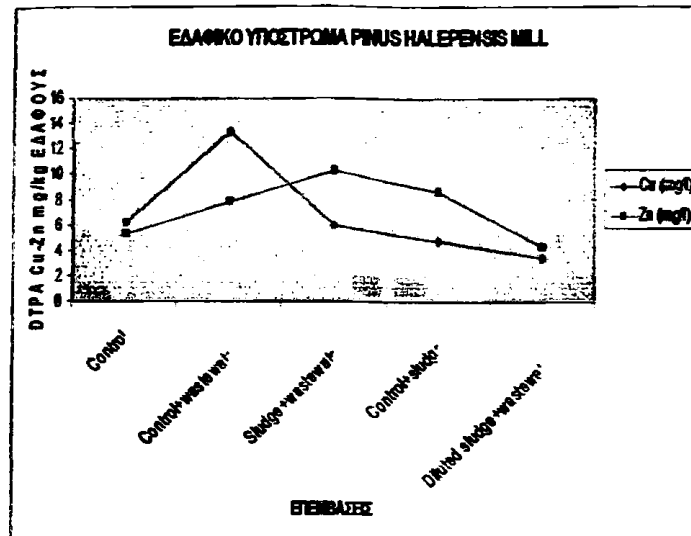
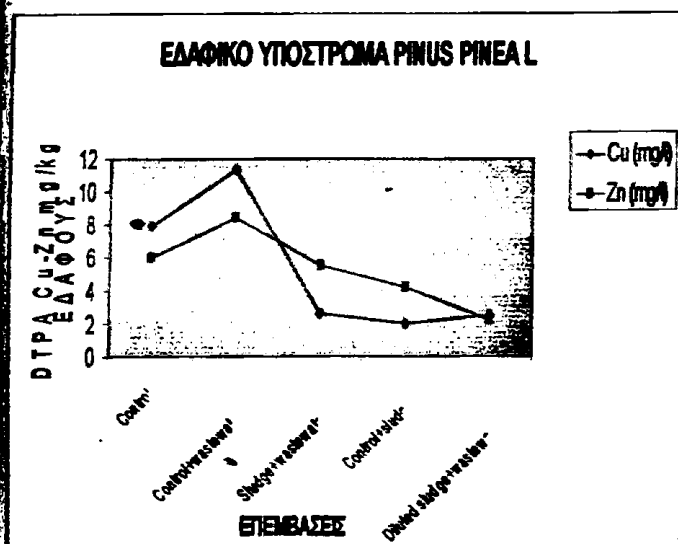
Αντίθετα οι χειρισμοί δεν φαίνεται να έχουν καμία επίδραση στις συγκεντρώσεις τόσο του Cr, όσο και του TOC του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη δεν ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Zn, Cr, Al, B και Mg αντίστοιχα. Ο συνδυασμός **τόσο του διαφορετικού χειρισμού όσο και του φυτικού είδους** δεν παίζει στατιστικά σημαντικό ρόλο στις συγκεντρώσεις των Cu, Fe, Mn, Zn, Sr, Cr, Pb, Co, Ca, B, P, pH, EC, TC, IC, TOC, NPOC, CaCO₃, TDS και Al του εδαφικού υποστρώματος (Pantazis, 2008).

Πίνακας 6.26. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε μικροθρεπτικά

Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά εδάφους (mg/Kg)	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)				
	1 ^{ος} Χειρισμός	2 ^{ος} Χειρισμός	3 ^{ος} Χειρισμός	4 ^{ος} Χειρισμός	5 ^{ος} Χειρισμός
Χαλκός (Cu)	0,903***	4,245***	3,108***	3,614***	2,942***
Ψευδάργυρος (Zn)	0,623ns	0,814ns	3,126***	3,321***	3,165***
Σίδηρος (Fe)	2,976***	0,607ns	3,390***	0,951ns	3,896***
Μαγγάνιο (Mn)	1,386***	3,474***	2,886***	3,782***	5,512***
Νικέλιο (Ni)	1,434***	0,226ns	5,060***	3,715***	0,239ns
Κοβάλτιο (Co)	4,302***	2,972***	4,386***	5,057***	0,152ns
Χρώμιο (Cr)	2,883***	2,973***	5,179***	0,384ns	4,323***
Αργίλιο (Al)	1,206ns	4,430***	3,343***	3,750***	3,641***

(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

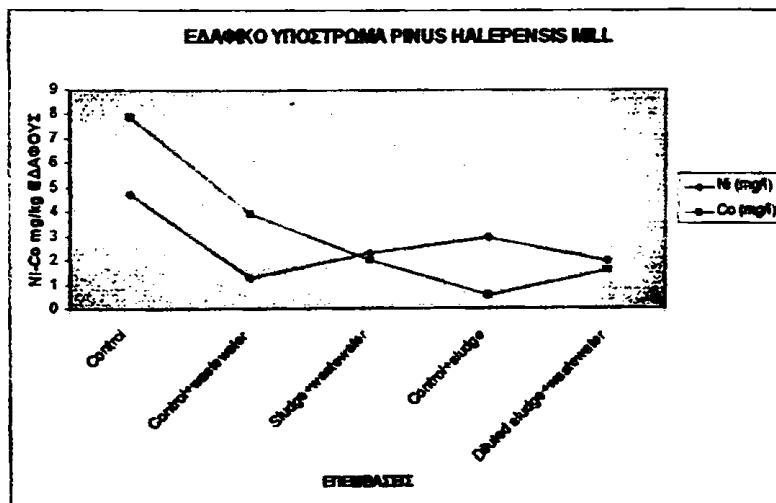
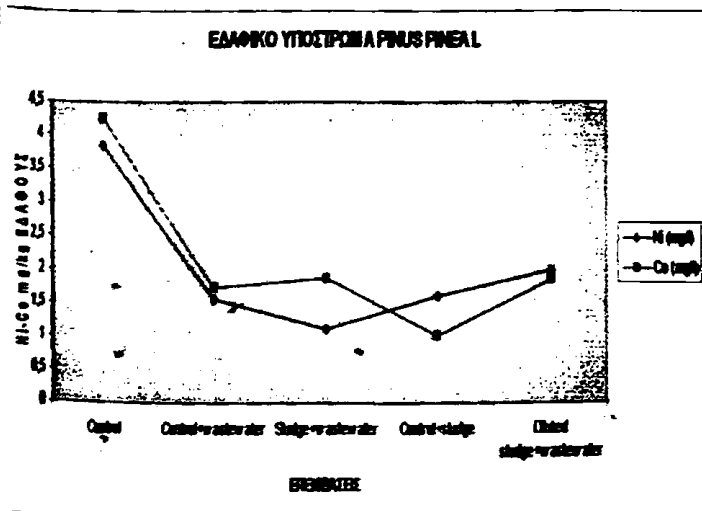
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.22. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε διαθέσιμο Cu και Zn για το *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.23. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Ni και Co για το *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

6.4.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που περιέχονται στους ιστούς των δασικών ειδών παρουσιάζονται στους πίνακες 6.27 και 6.28.

Πίνακας 6.27 Συγκεντρώσεις των μετάλλων (μg/g) στους φυτικούς ιστούς και ρίζες των *Cupressus Arizonica* Greene και του *Cotoneaster Integerrimus* Med.

Ιχνοστοιχεία (μg/g)	Cupressus Arizonica Greene					Cotoneaster Integerrimus med					
	Φύλλα										
	Χειρισμοί					Χειρισμοί					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	P
Cu (μg/g)	9,92	5,1	2,5	2,78	1,97	10,35	5,17	3,58	2,61	0,43	*0,060
											**0,000
											***0,925
Fe (μg/g)	67,8	73,5	21,5	36,22	25,5	92,62	80,5	35,5	27,83	14,83	*0,017
											**0,000
											***0,427
Mn (μg/g)	26,3	24,7	77,66	86,11	68,25	28,25	24,7	100,6	56,66	45,66	*0,011
											**0,000
											***0,901
Zn (μg/g)	25,3	24,9	17,16	15	5,6	27,37	29,1	21,16	17,66	2,63	*0,008
											**0,000
											***0,410
Ni (μg/g)	2,35	4,72	7,15	7,86	12,9	3,61	6,13	8,23	8,2	10,1	*0,012
											**0,001
											***0,880
Cr (μg/g)	4,51	1,16	6,23	4,47	16,2	4,61	5,36	7,33	6,35	9,6	*0,026
											**0,000
											***0,994
Co (μg/g)	0,16	1,1	2,78	2,51	8,42	0,2	0,47	3,36	1,68	7,76	*0,059
											**0,000
											***0,103
Pb (μg/g)	0,18	1,18	1,85	1,98	2,28	0,1	0,52	0,93	1,2	1,23	*0,011
											**0,000
											***0,000
Cd (μg/g)	0,1	0,26	0,5	0,44	0,7	0,092	0,13	0,19	0,1	0,14	*0,009
											**0,001
											***0,008

Βλαστός											
Cu (µg/g)	6,67	4,03	2,31	1,58	2,75	5,33	3,35	5,68	1,61	0,63	*0,020
											**0,001
											***0,206
Fe (µg/g)	38	13,9	20,3	7,3	3,77	39,5	18,9	28,1	7,13	0,7	*0,0500
											**0,000
											***0,142
Mn (µg/g)	3,7	5,08	45,6	32,3	18,8	2,77	11,4	56,3	39,1	5	*0,090
											**0,000
											***0,391
Zn (µg/g)	6,58	6,53	7,45	3,8	10,05	6,35	5,68	6,46	8,16	1,4	*0,005
											**0,254
											***0,132
Ni (µg/g)	2,47	3,94	3,03	4,56	9,25	1,52	5,01	5,7	4,61	5,53	*0,008
											**0,000
											***0,074
Cr (µg/g)	4,58	0,53	4,66	4,08	8,02	4,08	4,29	9,58	5,61	13,26	*0,029
											**0,000
											***0,146
Co (µg/g)	0,18	0,29	1,71	2,15	5,57	0,16	1,18	2,1	1,3	5,36	*0,071
											**0,000
											***0,202
Pb (µg/g)	0,14	2,35	3,35	3,32	4,05	0,17	1,61	2,01	0,28	1,96	*0,010
											**0,000
											***0,005
Cd (µg/g)	0,135	0,24	0,4	0,25	0,62	0,1	0,2	0,33	0,23	0,46	*0,005
											**0,000
											***0,800
Πίζα											
Cu (µg/g)	8,1	5,14	5,2	10,58	7,77	13,40	17,6	14,8	29	14,23	*0,007
											**0,269
											***0,003
Fe (µg/g)	268	136,4	102,66	99,55	43,50	270,75	106,9	67,33	86,50	67	*0,030
											**0,000
											***0,555
Mn (µg/g)	62,8	65,5	199,6	210,44	155	28,26	50,2	118,3	216,16	150,6	*0,016
											**0,000
											***0,130
Zn (µg/g)	41,6	37	62,16	35,66	21	19,75	36,6	49,66	72,50	16,60	*0,009
											**0,003
											***0,180
Ni (µg/g)	4,56	7,59	14,38	12,5	18,7	3,71	8,53	8,93	8,58	13,8	*0,010
											**0,000
											***0,231
Cr (µg/g)	4,95	1,4	7,58	6,1	20,6	5,11	6,06	4,16	12,4	10,2	*0,033
											**0,000
											***0,666
Co	0,77	1,59	4,93	4,12	15,5	0,62	1,71	7,33	6,95	16,6	*0,075

(μg/g)											**0,000
											***0,487
Pb (μg/g)	0,45	2,75	4,26	3,34	4,7	0,62	3,7	5,31	5,68	7,83	*0,011
											**0,000
											***0,104
Cd (μg/g)	0,22	0,44	0,65	0,54	0,85	0,25	0,64	0,63	0,61	0,78	*0,001
											**0,000
											***0,470

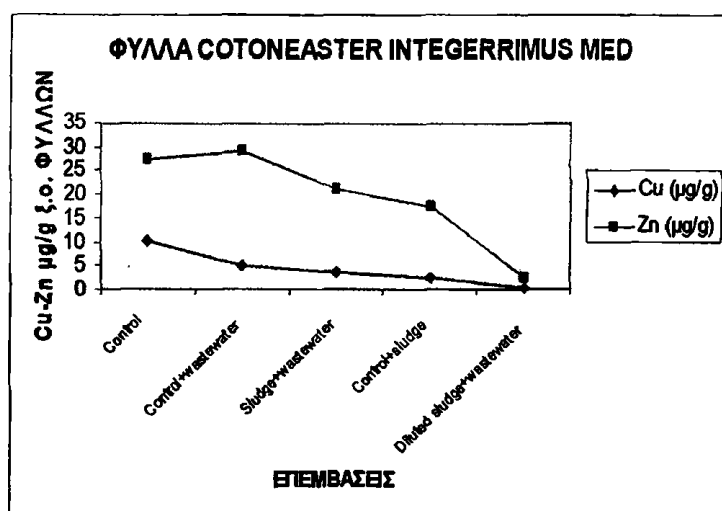
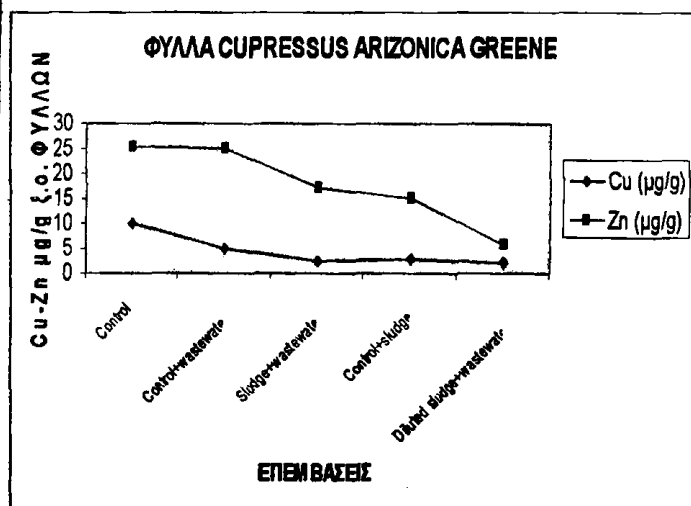
* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

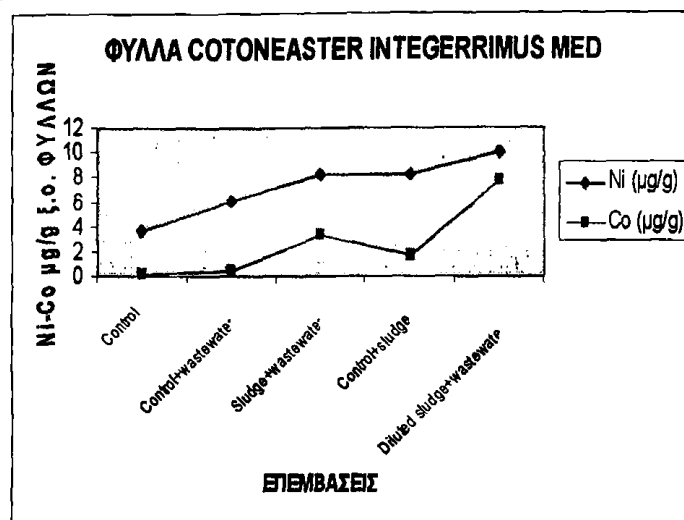
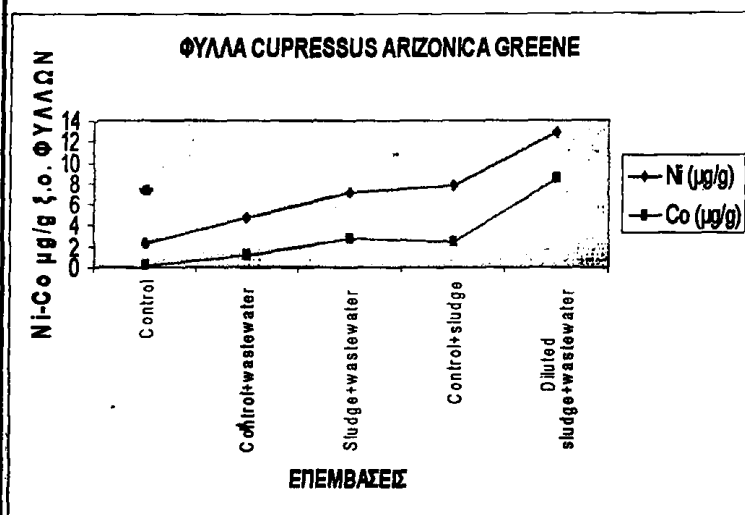
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.24. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των φύλλων σε διαθέσιμο Cu και Zn για το Cupressus Arizona Greene και Cotoneaster Integerrimus Med.

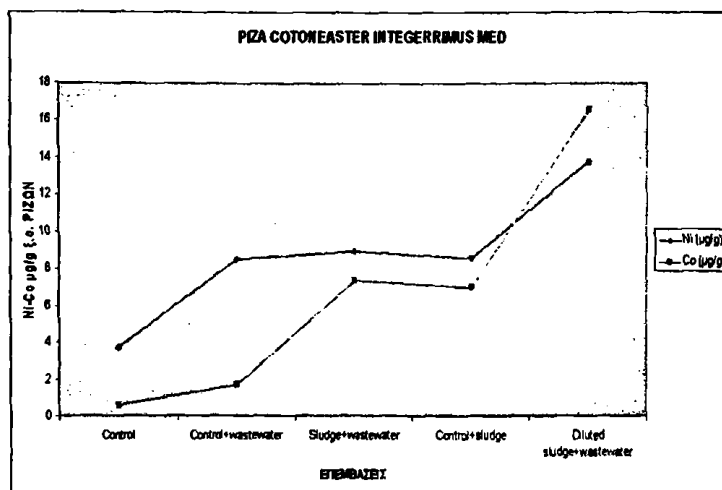
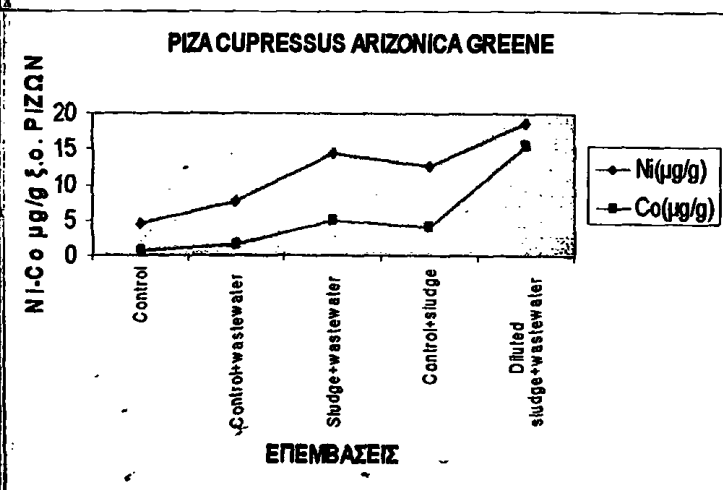
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.25. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των φύλλων σε διαθέσιμο Ni και Co για το *Cupressus Arizona Greene* και *Cotoneaster Integerrimus Med*.

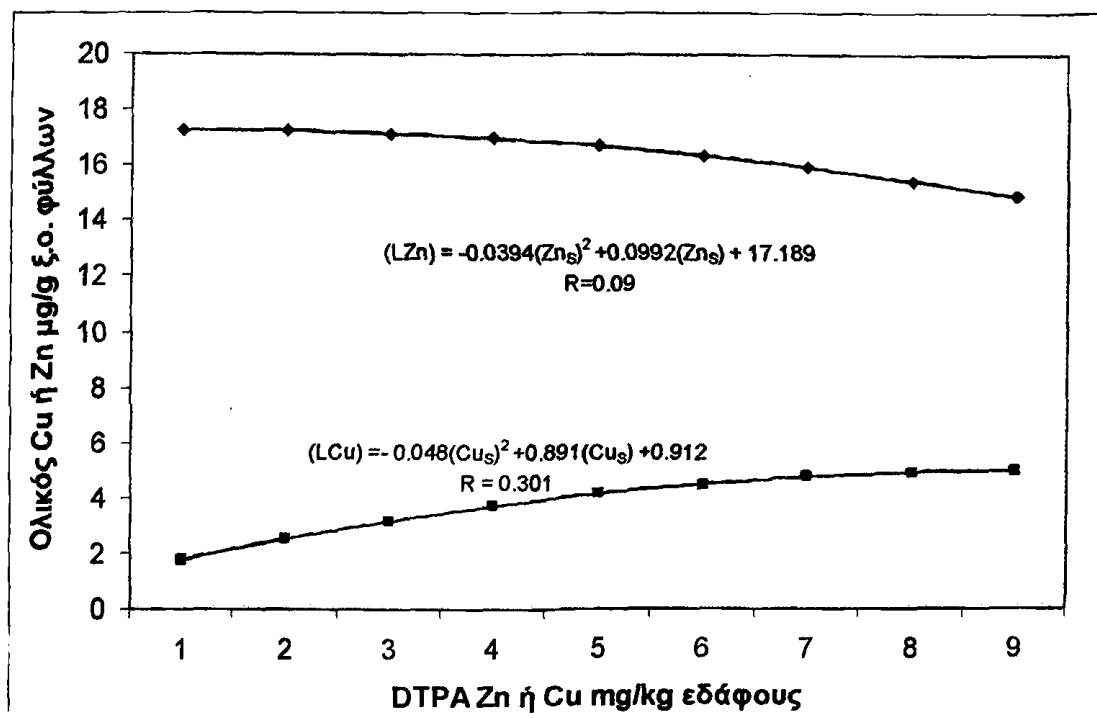
ΡΙΖΑ



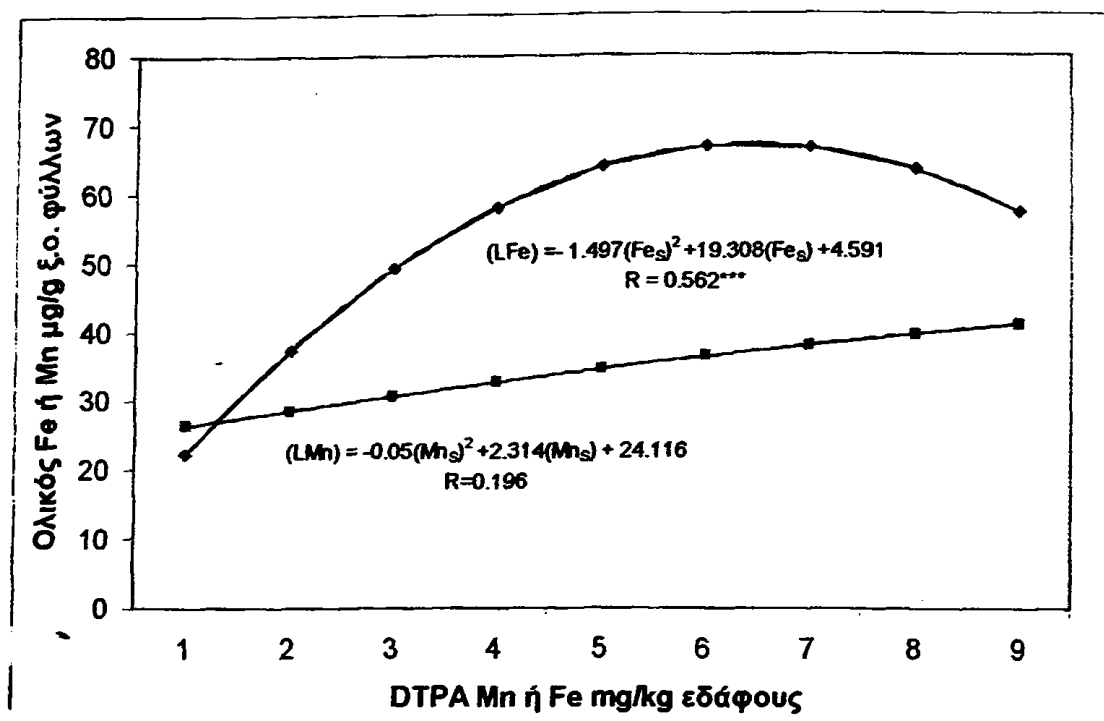
ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.26. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των ριζών σε Ni και Co για το *Cupressus Arizona Greene* και *Cotoneaster Integerrimus Med*.

Από την προκαταρκτική συµµεταβολή (Γράφηµα 6.27) που πραγµατοποιήθηκε µεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cupressus Arizona Greene*, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (17,2 (µg/g) αντιστοιχεί στη χαµηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (5 µg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Cu στο έδαφος, συµβάλλει στην δραστική µείωση της αντίστοιχης συγκέντρωσής του ανωτέρω στοιχείου στα φύλλα του µελετηθέντος δασικού είδους, ενώ το αντίθετο συµβαίνει για τον Zn.



Γράφηµα 6.27. Συµµεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων της *Cupressus Arizona Greene*.

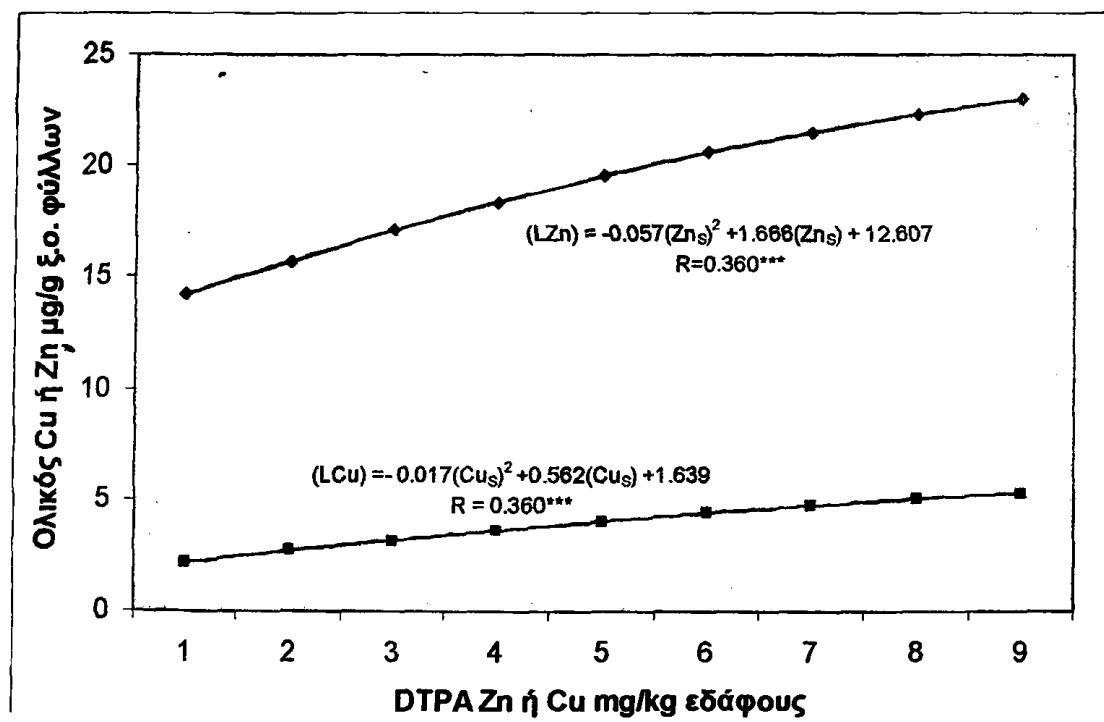


Γράφημα 6.28. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων της *Cupressus Arizona* Greene.

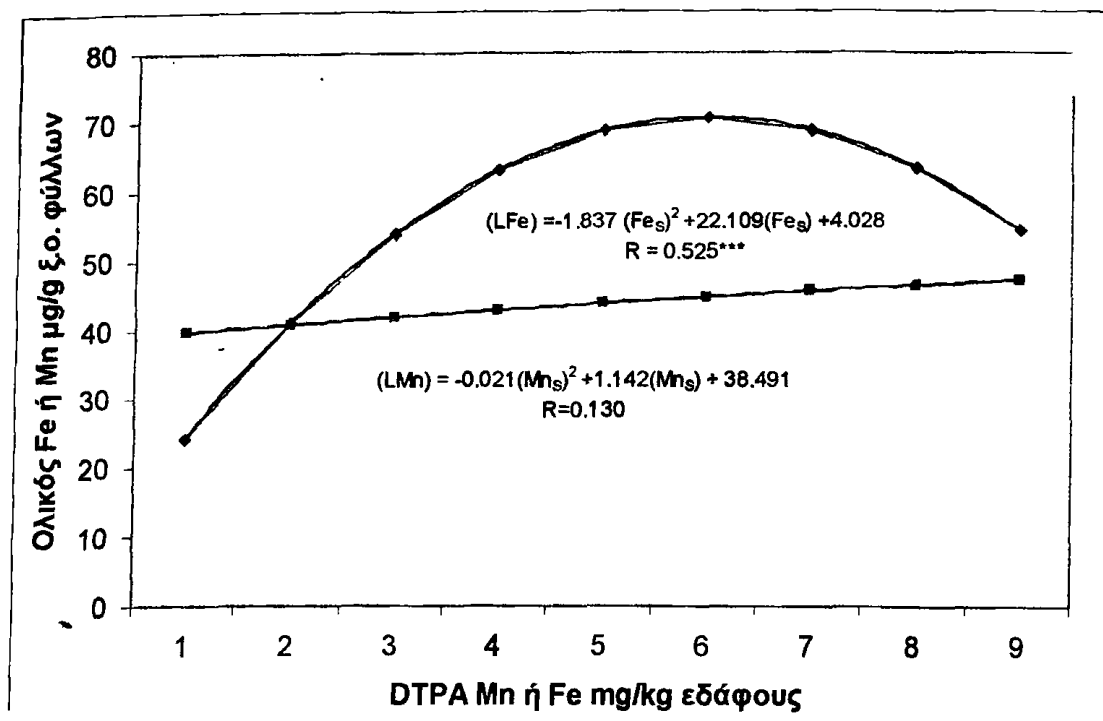
Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 6.28) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cupressus Arizona* Greene, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (40,8 (μg/g) αντιστοιχεί στη υψηλότερη συγκέντρωση Mn (9 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του Fe (66,5 μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 6 mg/kg, όριο μετά το οποίο η συγκέντρωση του στα φύλλα αρχίζει να μειώνεται, χωρίς εμφανή στη φάση αυτή χλωρωτικών φαινομένων.

Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 6.29) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cotoneaster Integerrimus* Med, προέκυψε ότι η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (14,2 (μg/g) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η χαμηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (2

μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Zn όσο και του Cu στο έδαφος, συμβάλλει στην δραστική αύξηση της αντίστοιχης συγκέντρωσής του ανωτέρω στοιχείου στα φύλλα του μελετηθέντος δασικού είδους.



Γράφημα 6.29. Συμμεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων της *Cotoneaster Integerrimus* Med.



Γράφημα 6.30. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων της *Cotoneaster Integerrimus Med*.

Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 6.30) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cotoneaster Integerrimus Med*, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (47 $\mu\text{g/g}$) αντιστοιχεί στη υψηλότερη συγκέντρωση Mn (9 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του Fe (70,5 $\mu\text{g/g}$ ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 6 mg/kg , όριο μετά το οποίο η συγκέντρωση του στα φύλλα αρχίζει να μειώνεται, με εμφανή στη φάση αυτή έντονων χλωρωτικών φαινομένων.

Πίνακας 6.28 Συγκεντρώσεις των μετάλλων ($\mu\text{g/g}$) στους φυτικούς ιστούς και ρίζες των *Pinus pinea L* και του *Pinus halepensis Mill*.

Ιχνοστοιχεία (µg/g)	Pinus pinea L					Pinus halepensis Mill					
	Φύλλα										
	Χειρισμοί					Χειρισμοί					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	P
Cu (µg/g)	11,8	4,3	2,05	2,28	1,57	9,71	4,67	3,48	3,5	2	*0,060

Pb (μg/g)	0,24	2,35	4,2	2,56	2,9	0,26	2,77	2,52	2,38	3,43	*0,010
											**0,000
											***0,005
Cd (μg/g)	0,16	0,28	0,46	0,37	0,48	0,2	0,3	0,38	0,31	0,46	*0,005
											**0,000
											***0,800
Ρίζα											
Cu (μg/g)	11,7	15,6	17,67	15,44	18	15,51	12,35	14,92	15,28	17,6	*0,007
											**0,269
											***0,003
Fe (μg/g)	280,2	98,1	73	109,2	59,75	239	140	75,6	64,42	51,33	*0,030
											**0,000
											***0,555
Mn (μg/g)	53,88	43,1	128,75	222,4	138,25	52,16	39,5	148,6	175,57	144,66	*0,016
											**0,000
											***0,130
Zn (μg/g)	16,8	37,8	63	72,6	7,8	22,16	30,75	30,8	28,71	5,23	*0,009
											**0,003
											***0,180
Ni (μg/g)	6,88	6,92	9,07	7,62	20,3	4,3	9,4	9,66	9,31	20,86	*0,010
											**0,000
											***0,231
Cr (μg/g)	5,05	5,15	7,92	6,74	19,85	4,83	0,525	7,5	7,42	16,5	*0,033
											**0,000
											***0,666
Co (μg/g)	0,91	1,17	4,75	4,24	13,0	0,65	0,825	9,3	7,32	10,0	*0,075
											**0,000
											***0,487
Pb (μg/g)	0,64	2,83	4,2	4,14	4,5	0,61	3,725	4,36	3,75	3,27	*0,011
											**0,000
											***0,104
Cd (μg/g)	0,41	0,64	0,725	0,56	0,675	0,48	0,65	0,68	0,58	0,73	*0,001
											**0,000
											***0,470

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που μελετήθηκαν στους ιστούς των φύλλων, των βλαστών και των ριζών των δασικών ειδών στο τέλος του πειράματος, παρουσιάζονται στον πίνακα αντίστοιχα. Από τα δεδομένα λοιπόν του πίνακα

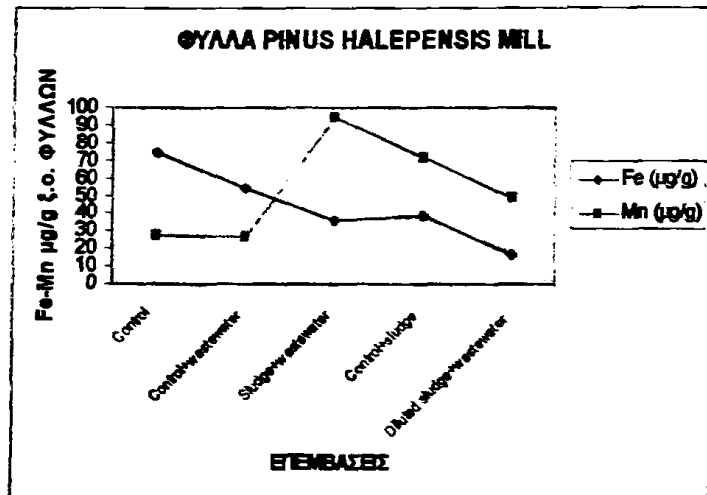
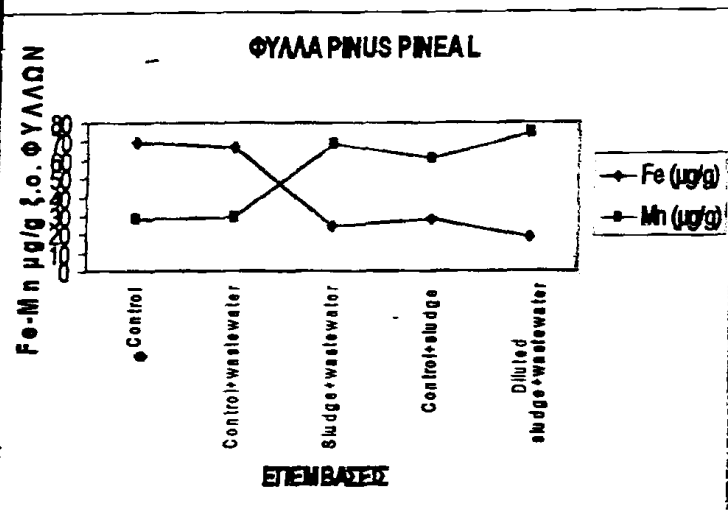
προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την περιεκτικότητα των φύλλων σε Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Pb και Cd τόσο μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών όσο και μεταξύ των χρησιμοποιηθέντων δασικών ειδών. Επίσης προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την περιεκτικότητα του Cu και Co μεταξύ των δασικών ειδών και όχι μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών. Επιπλέον τόσο τα διαφορετικά δασικά είδη, σε συνδυασμό με τους διαφορετικούς χειρισμούς ασκούν σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα του Pb και Cd μεταξύ των φύλλων των φυτικών ειδών (Pantazis, 2008).

Πίνακας 6.29. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των φύλλων των δασικών ειδών σε μικροθρεπτικά

Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά φύλλων (μg/g) ξο	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)				
	1 ^{ος} Χειρισμός	2 ^{ος} Χειρισμός	3 ^{ος} Χειρισμός	4 ^{ος} Χειρισμός	5 ^{ος} Χειρισμός
Χαλκός (Cu)	3,258***	3,798***	4,662***	3,614***	9,833***
Ψευδάργυρος (Zn)	0,778ns	13,227***	3,920***	3,053***	17,576***
Σίδηρος (Fe)	5,698***	15,170***	4,847***	17,381***	10,799***
Μαγγάνιο (Mn)	0,182ns	4,563***	7,594***	22,992***	73,774***
Νικέλιο (Ni)	8,408***	9,069***	34,443***	4,835***	12,916***
Κοβάλτιο (Co)	2,161ns	5,108***	223,032***	48,340***	5,163***
Χρώμιο (Cr)	87,306***	225,242***	24,545***	45,233***	22,084***

(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

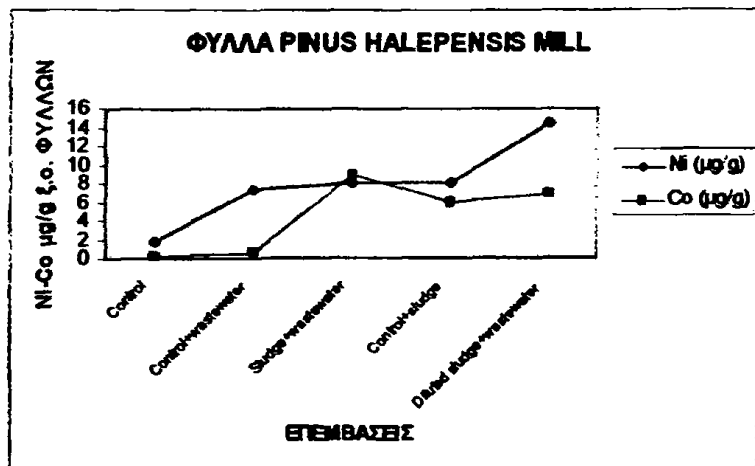
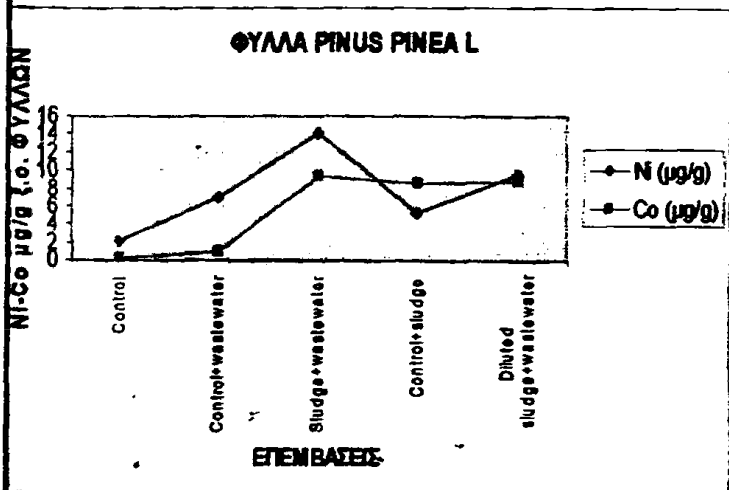
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.31. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των φύλλων σε διαθέσιμο Fe και Mn για το *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

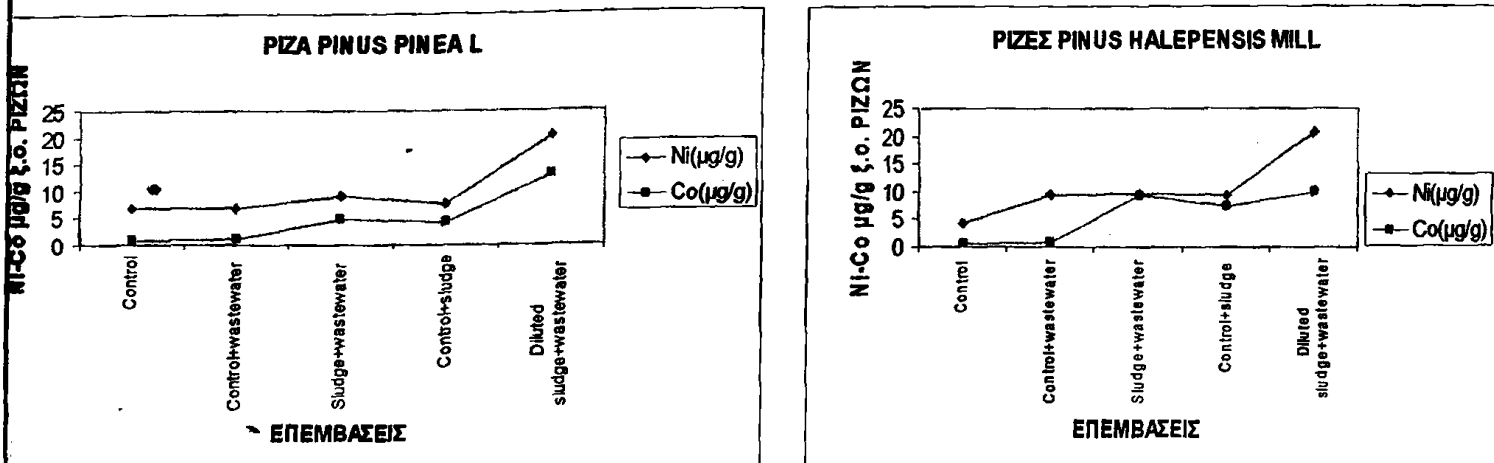
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.32. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των φύλλων σε διαθέσιμο Ni και Co για το *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

PIZA



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 6.33. Επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των ριζών σε διαθέσιμο Ni και Co για το *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill.

Από την ανάλυση των στοιχείων του πίνακα προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την περιεκτικότητα των βλαστών σε Cu, Fe, Ni, Cr, Pb και Cd τόσο μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών όσο και μεταξύ των διαφορετικά χρησιμοποιηθέντων δασικών ειδών. Επίσης προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την περιεκτικότητα του Zn μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών και τόσο του Mn όσο και του Co μεταξύ των διαφορετικών δασικών ειδών. Επιπλέον τόσο τα διαφορετικά δασικά είδη, σε συνδυασμό με τους διαφορετικούς χειρισμούς ασκούν σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα του Pb μεταξύ των βλαστών των δασικών ειδών.

Πίνακας 6.30. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των ριζών των δασικών ειδών σε μικροθρεπτικά

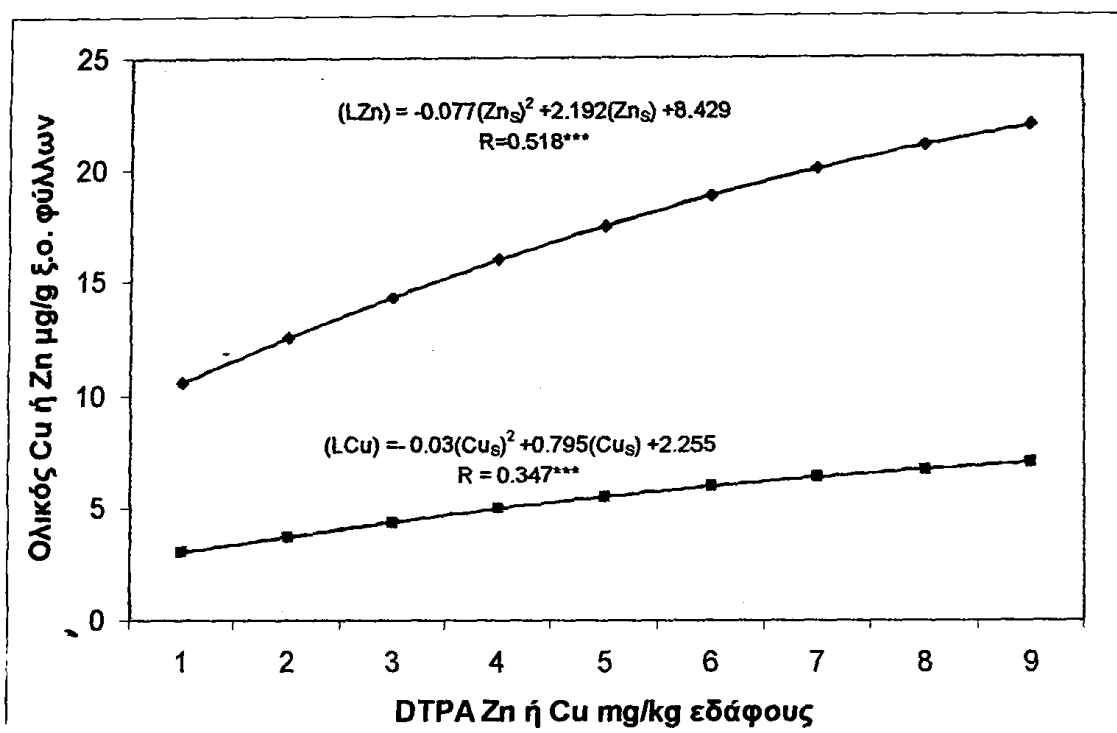
Μελετώμενος	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)

παράγων	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}
Μικροθρεπτικά ριζών (μg/g) ξο	Χειρισμός	Χειρισμός	Χειρισμός	Χειρισμός	Χειρισμός
Χαλκός (Cu)	0,527ns	16,972***	93,534***	70,659***	979,902***
Ψευδάργυρος (Zn)	16,412***	5,774***	15,085***	307,903***	67,804***
Σίδηρος (Fe)	0,475ns	17,893***	41,043***	45,652***	26,066***
Μαγγάνιο (Mn)	3,087***	12,756***	18,123***	31,827***	5,730***
Νικέλιο (Ni)	32,789***	5,748***	22,065***	53,905***	14,843***
Κοβάλτιο (Co)	3,191***	4,669***	20,998***	48,534***	17,743***
Χρώμιο (Cr)	0,108ns	442,554***	64,916***	368,385***	8,287***

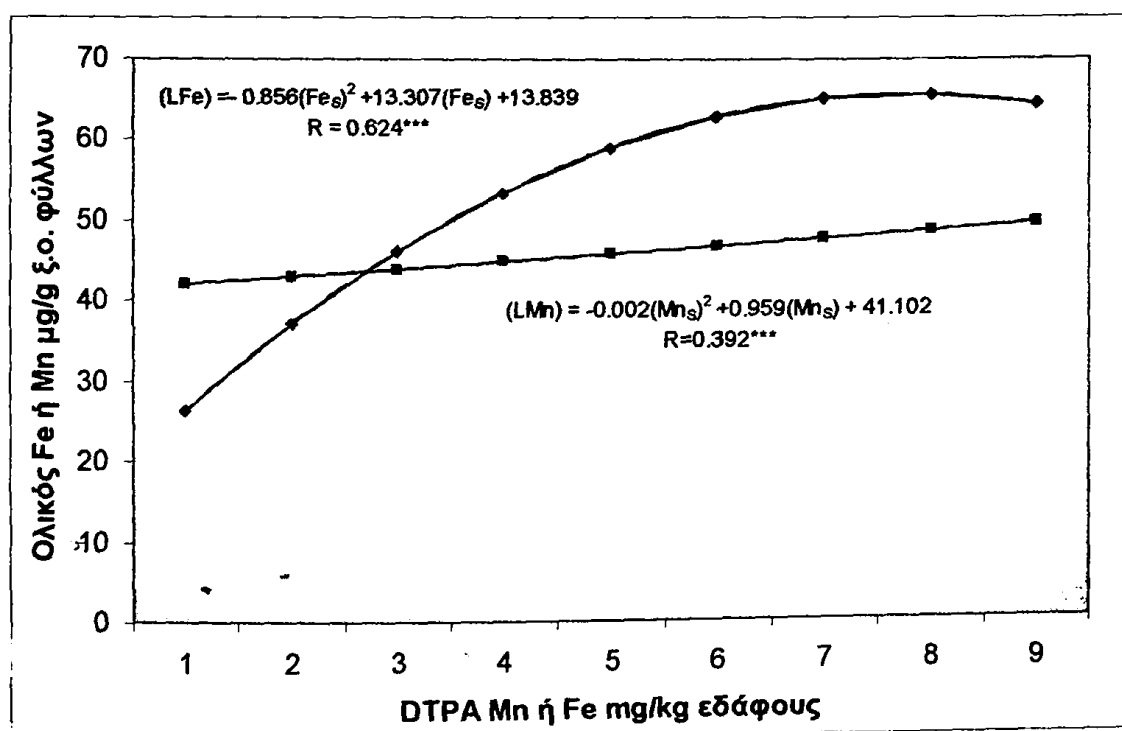
(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στις ρίζες των δασικών ειδών προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών όσο και μεταξύ των διαφορετικών δασικών ειδών για το Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Pb και το Cd. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς τον Cu μόνο μεταξύ των διαφορετικών χειρισμών και ως προς το Co μόνο ως προς τα διαφορετικά φυτικά είδη. Τέλος τόσο τα διαφορετικά δασικά είδη, σε συνδυασμό με τους διαφορετικούς χειρισμούς ασκούν σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα του Cu μεταξύ των ριζών των δασικών ειδών (Pantazis, 2008);(Kalantrouziotis, 2008).

Από την προκαταρκτική συµµεταβολή (Γράφηµα 6.34) που πραγµατοποιήθηκε µεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus pinea* L. προέκυψε ότι η χαµηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (10,5 (μg/g) αντιστοιχεί στη χαµηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η χαµηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (3 μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Zn όσο και του Cu στο έδαφος, συµβάλλει στην δραστική αύξηση της αντίστοιχης συγκέντρωσής των ανωτέρω στοιχείων στα φύλλα του µελετηθέντος δασικού είδους.



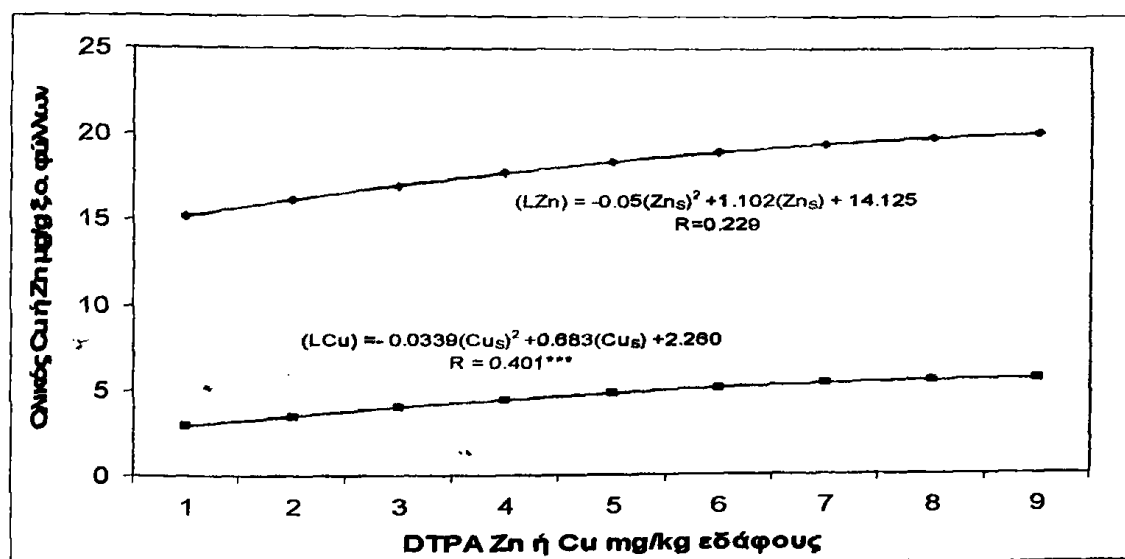
Γράφημα 6.34. Συμμεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων της *Pinus pinea* L.



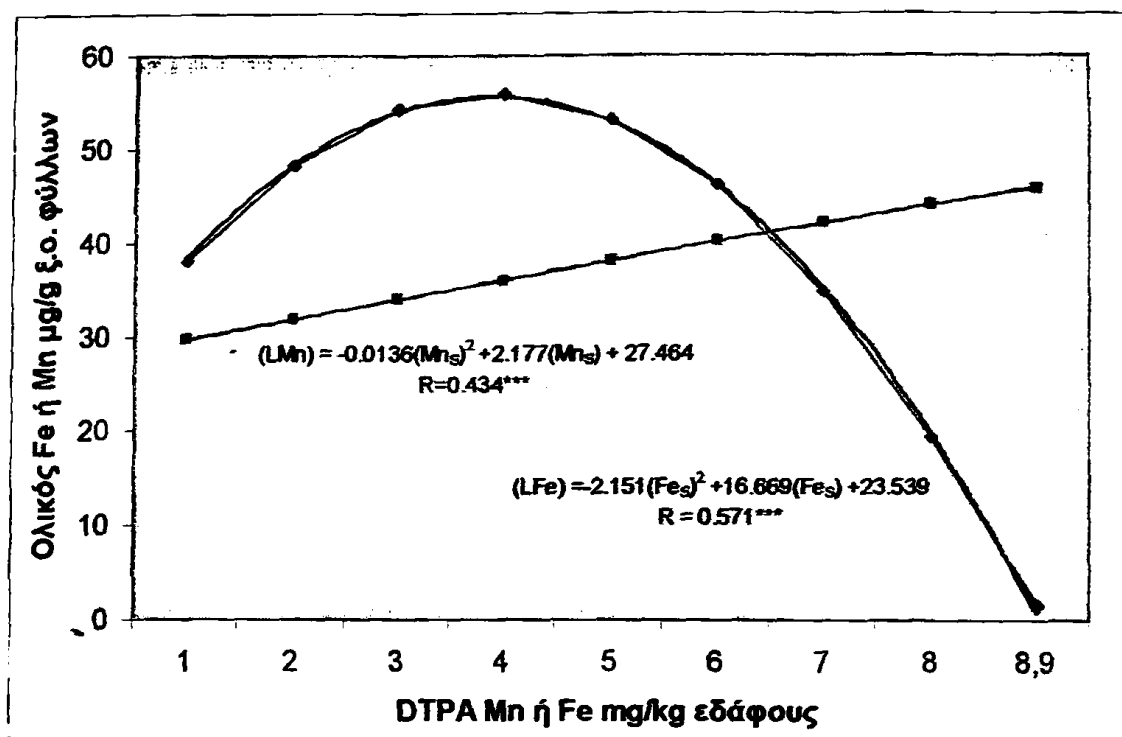
Γράφημα 6.35. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων της *Pinus pinea* L.

Από την προκαταρκτική συµµεταβολή (Γράφηµα 6.35) που πραγµατοποιήθηκε µεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus pinea* L, προέκυψε ότι η χαµηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (42 (µg/g) αντιστοιχεί στη χαµηλότερη συγκέντρωση Mn (1 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η χαµηλότερη περιεκτικότητα του Fe (26,2 µg/g ξ.ο.) που δεν θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 1 mg/kg, µε εµφανή στη φάση αυτή έντονων χλωρωτικών φαινοµένων.

Από την προκαταρκτική συµµεταβολή (Γράφηµα 6.36) που πραγµατοποιήθηκε µεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus halepensis* Mill, προέκυψε ότι η χαµηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (15,1 (µg/g) αντιστοιχεί στη χαµηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η χαµηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (2,9 µg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Zn όσο και του Cu στο έδαφος, συµβάλλει στην δραστική αύξηση της αντίστοιχης συγκέντρωσής των ανωτέρω στοιχείων στα φύλλα του µελετηθέντος δασικού είδους.



Γράφηµα 6.36. Συµµεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων της *Pinus halepensis* Mill.



Γράφημα 6.37. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων της *Pinus halepensis* Mill.

Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 6.37) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus pinea* L, προέκυψε ότι η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (29,6 (μg/g) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Mn (1 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996).

Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του Fe (55,7 μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 4 mg/kg, όριο μετά το οποίο η συγκέντρωση του στα φύλλα αρχίζει να μειώνεται σε πάρα πολύ χαμηλές τιμές, με εμφανή στη φάση αυτή από και την μακροσκοπική πλέον παρατήρηση του είδους έντονων χλωρωτικών φαινομένων.

6.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΑΡΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΛΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

6.5.1. ΑΡΙΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΛΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

- Για την αύξηση-ανάπτυξη των φυτικών ειδών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι
- απαραίτητη η ύπαρξη των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

Τα στοιχεία αυτά προσλαμβάνονται μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών, εισέρχονται στον μεταβολικό κύκλο και συμβάλλουν στην αύξηση και ανάπτυξή τους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ορισμένα από τα θρεπτικά αυτά στοιχεία προέρχονται από το νερό, το CO_2 και το O_2 της ατμόσφαιρας, ενώ τα υπόλοιπα από το έδαφος. Τα φυτά καταναλίσκουν μεγάλες ποσότητες από αυτά τα θρεπτικά στοιχεία για την παραγωγή των υδατανθράκων και των άλλων οργανικών ενώσεων απαραίτητων για την εξασφάλιση και τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη μας.

Για να είναι όμως δυνατή η σωστή ανάπτυξη των φυτών, θα πρέπει το έδαφος στο οποίο αυτά αναπτύσσονται, να περιέχει και να παρέχει τις ποσότητες που αυτά χρειάζονται. Εάν κάτι τέτοιο βέβαια δεν συμβαίνει, άμεσα μέτρα πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος, είτε με την προσθήκη του θρεπτικού στοιχείου που μπορεί να λείπει, είτε με την διαφοροποίηση των εκάστοτε εδαφικών συνθηκών. Στους πίνακες παρουσιάζονται οι ποσότητες των μετάλλων που τα εδάφη του πειραματικού περιείχαν συγκρινόμενα με τις ποσότητες των μετάλλων εκείνες που καθιστούν ένα έδαφος κατάλληλο για την σωστή αύξηση και ανάπτυξη των φυτικών ειδών σε αυτό.

Πίνακας 6.31. Σύγκριση ποσοτήτων μετάλλων εδάφους για βέλτιστη ανάπτυξη των δασικών ειδών

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)	Cupressus Arizona Greene					Cotoneaster Integerrimus med								
	Χειρισμοί					Χειρισμοί								
	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater				
Cu	6,52	10,02	5,42	2,21	5,12	7,16	12,07	2,97	2,78	3,05	Cu	1, 0,75, <0,2	13, >0,2	70
Fe	3,86	3,41	2,32	1,63	1,29	3,19	3,82	2,98	1,86	0,75	Fe	30, 2,5-4,5, <2,5	150, >4,5	2000
Mn	6,98	7,95	13,33	13,22	22,63	10,62	12,71	11,4	23,13	15,94	Mn	7, 1-5, 5-9, <1	270, >1	2000
Zn	4,84	6,56	4,59	3,84	5,71	6,35	7,39	5,12	4,94	3,67	Zn	3,5, 0,4-1,5, <0,5	45, >1	220
Ni	3,02	1,73	0,75	3,43	2,13	2,63	1,19	1,23	1,73	1,41	Ni	1	13	110
Co	4,45	1,53	1,08	0,35	1,66	2,37	1,86	1,22	0,33	1,41	Co	0,1	5,5	65
Cr	2,15	3,47	8,26	3,72	1,24	1,85	2,12	3,29	3,43	5,13				
Al	15,29	11,33	23,66	14,94	17,64	20,25	1, 34	20,30	1, 39	0,81	Al	95	400	5700
Ca	38,04	37,28	26,99	27,2	22,4	36,88	31,61	27,12	29,8	22,8				
Mg	1,57	2,61	1,92	1,8	2,37	2,18	2,75	1,57	2,77	3,01				
Cd	0,18	0,47	0,82	0,69	0,7	0,15	0,6	0,72	0,58	0,75	Cd	0,01	0,37	2,7
Pb	0,16	1,48	1,29	3,8	3	0,36	1,8	3,97	2,95	8,34	Pb	2,3	22	70
P	1,48	2,05	5,1	6,2	5,5	1,5	2,49	4,19	6	5,83				
B	0,22	0,36	0,56	0,22	0,18	0,37	0,41	0,13	0,22	0,19	B ^h	0,1-0,3, 0,1-0,7		

Πίνακας 6.32. Σύγκριση ποσοτήτων μετάλλων εδάφους για βέλτιστη ανάπτυξη των δασικών ειδών

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)	Pinus pinex L					Pinus halepensis Mill					Μη επαρκής συνγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συνγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συνγκέντρωση (High)	
	Χειρισμοί					Χειρισμοί								
	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater				
	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater				
Cu	7,89	11,35	2,58	1,98	2,54	6,13	13,38	5,91	4,87	3,42	Cu	1, 0,75, <0,2	13, >0,2	70
Fe	4,88	4,04	1,99	1,99	1,99	2,82	3,09	0,83	2,41	0,31	Fe	30, 2,5-4,5, <2,5	150, >4,5	2000
Mn	10,86	9,6	13,07	13,78	25,6	10,23	9,89	18,38	15,21	12,27	Mn	7, 1-5, 5-9, <1	270, >1	2000
Zn	5,98	8,36	5,46	4,22	2,25	5,34	7,78	10,22	8,62	4,29	Zn	3,5, 0,4-1,5, <0,5	45, >1	220
Ni	3,83	1,56	1,11	1,61	1,99	4,73	1,29	2,28	2,95	1,97	Ni	1	13	110
Co	4,23	1,74	1,87	1,02	1,84	7,88	3,9	2	0,53	1,55	Co	0,1	5,5	65
Cr	5,74	2,17	3,06	3,55	1,22	2,11	4,86	3,85	4,5	3,81				
Al	23,97	12,22	19,74	16,11	15,68	28,38	18,00	10,44	25,89	2,34	Al	95	400	5700
Ca	33,06	30,24	21,7	27,6	27,7	31,68	34,6	17,6	33,2	26,7				
Mg	1,65	3,02	2,24	2,57	3,97	2,09	2,53	2	3,36	2,93				
Cd	0,25	0,65	1,09	0,72	0,9	0,15	0,8	1,47	0,82	0,81	Cd	0,01	0,37	2,7
Pb	0,51	2,35	5,1	4,65	6,86	0,22	2,05	6,6	4,3	6,52	Pb	2,3	22	70
P	2,03	3,16	5,29	6,22	5,18	1,26	1,68	6,02	5,29	4,86				
B	0,35	0,31	0,23	0,26	0,44	0,15	0,39	0,15	0,5	0,11	B	0,1-0,3, 0,1-0,7		

Από την προσεκτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν βλέπουμε ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο συγκεκριμένο εδαφικό περιβάλλον, και με τη χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων, αντιμετώπισαν κάποια προβλήματα όσον αφορά την σωστή τους πρόσληψη και τροφοδοσία από το έδαφος μερικών θρεπτικών στοιχείων, που είναι απαραίτητα και αναγκαία για την σωστή και καλή ανάπτυξη τους.

Από την ανάλυση των τιμών των συγκεντρώσεων των μετάλλων προκύπτει ότι υπάρχει έλλειψη Fe για το *Cupressus Arizonica* Greene, *Pinus halepensis* Mill και *Pinus pinea* L. στους χειρισμούς Sludge+wastewater, Sludge+control και Dilluted sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus* Med η έλλειψη του Fe παρατηρείται στους χειρισμούς Sludge+control και Dilluted sludge+wastewater.

Επίσης παρατηρείται έλλειψη τόσο του B όσο και του Al και για τα τέσσερα είδη σε όλους τους χειρισμούς.

Η συγκέντρωση του Pb για την *Pinus pinea* L. είναι πολύ χαμηλή για τον χειρισμό Control και για το *Pinus halepensis* Mill στους χειρισμούς Control και Control+wastewater.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων και κυρίως των τοξικών είναι πολύ μικρές σε όλους τους χειρισμούς και δεν προκύπτει κίνδυνος μόλυνσης από την χρησιμοποίηση-αξιοποίηση των υγρών αστικών λυμάτων σε ανάπτυξη-καλλιέργεια φυτικών ειδών εντός θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων με πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες.

6.5.2. ΑΡΙΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΩΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

Η ανάλυση των φύλλων ουσιαστικά αντανακλά τις συνθήκες πρόσληψης των θρεπτικών. Κατά συνέπεια, οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει την πρόσληψη των θρεπτικών, κατ'ανάγκη η επίδρασή του θα αντανακλάται στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των φύλλων και ως εκ τούτου η συνεπίδραση της εκτίμησης των παραγόντων πρόσληψης κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, θα έχει και την αντίστοιχη επίπτωση στην ορθή πρόβλεψη των αναγκών σε λιπάσματα.

Πίνακας 6.33. Σύγκριση συγκεντρώσεων των φύλλων με τις απαιτούμενες για σωστή ανάπτυξη των δασικών ειδών

Ιχνοστονχεία (µg/g)	Cupressus Arizonica Greene					Cotoneaster Integerrimus med Φύλλα					Μη επαρκής συγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συγκέντρωση (High)	
	Χειρισμοί					Χειρισμοί								
	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater				
	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater	Control	Control+ wastewater	Sludge+ wastewater	Sludge+ control	Diluted sludge (20%)+ wastewater				
Cu	9,92	5,1	2,5	2,78	1,97	10,35	5,17	3,58	2,61	0,43	Cu	2-5, <4	5-30, 5-20	>30-100
Fe	67,8	73,5	21,5	36,22	25,5	92,62	80,5	35,5	27,83	14,83	Fe	<50	18-1000, 100-500, 60-600, 50-250	>500
Mn	26,3	24,7	77,66	86,11	68,25	28,25	24,7	100,6	56,66	45,66	Mn	10-30, <20	20-300, 20-500	300-500
Zn	25,3	24,9	17,16	15	5,6	27,37	29,1	21,16	17,66	2,63	Zn	10-20, <20	27-150, 25-150	>400
Ni	2,35	4,72	7,15	7,86	12,9	3,61	6,13	8,23	8,2	10,1	Ni	<0,1	0,1-5	10-100
Co	0,16	1,1	2,78	2,51	8,42	0,2	0,47	3,36	1,68	7,76	Co	<0,02	0,02-1	20
Cr	4,51	1,16	6,23	4,47	16,2	4,61	5,36	7,33	6,35	9,6	Cr	0,05	0,2-5	50
Pb	0,18	1,18	0,18	1,98	2,28	0,1	0,52	0,93	1,2	1,23	Pb	5	5-10	100
Cd	0,1	0,26	0,5	0,44	0,7	0,09	0,13	0,19	0,1	0,1	Cd	0,05	0,05-0,2	20

Με την ανάλυση των στοιχείων που προκύπτουν βλέπουμε ότι τα δασικά είδη, που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πειραματικό, δηλαδή τα *Cupressus Arizonica* Greene, *Cotoneaster Integerrimus* Med, *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill, αντιμετωπίζουν έλλειψη Cu, στα φύλλα τους στους χειρισμούς Sludge+ wastewater, Sludge+ control, και Diluted sludge (20%)+ wastewater.

Επίσης παρατηρείται έλλειψη Fe στα φύλλα για το *Cupressus Arizonica* Greene, *Cotoneaster Integerrimus* Med και *Pinus halepensis* Mill στους χειρισμούς Sludge+ wastewater, Sludge+ control, και Diluted sludge (20%)+ wastewater. Για την *Pinus pinea* L η έλλειψη Fe παρατηρείται μόνο στους χειρισμούς Sludge+ control, και Diluted sludge (20%)+ wastewater.

Έλλειψη Zn στα φύλλα παρατηρείται για τα *Cupressus Arizonica* Greene, *Pinus pinea* L και *Pinus halepensis* Mill στους χειρισμούς Sludge+ wastewater, Sludge+ control, και Diluted sludge (20%)+ wastewater, ενώ για το *Cotoneaster Integerrimus* Med στους χειρισμούς Sludge+ control, και Diluted sludge (20%)+ wastewater.

Τόσο το *Cupressus Arizonica* Greene, όσο και το *Cotoneaster Integerrimus* Med καθώς και το *Pinus halepensis* Mill παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση Ni στα φύλλα τους στον χειρισμό Diluted sludge (20%)+ wastewater, ενώ αντίστοιχο φαινόμενο για την *Pinus pinea* L παρατηρείται στον χειρισμό Sludge+ wastewater.

Οι συγκεντρώσεις του Pb είναι πολύ χαμηλές στα φύλλα και των τεσσάρων δασικών ειδών.

Δεν υπάρχουν προβλήματα από υψηλές συγκεντρώσεις κυρίως των τοξικών μετάλλων και για τα τέσσερα είδη που χρησιμοποιήθηκαν.

6.6. ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

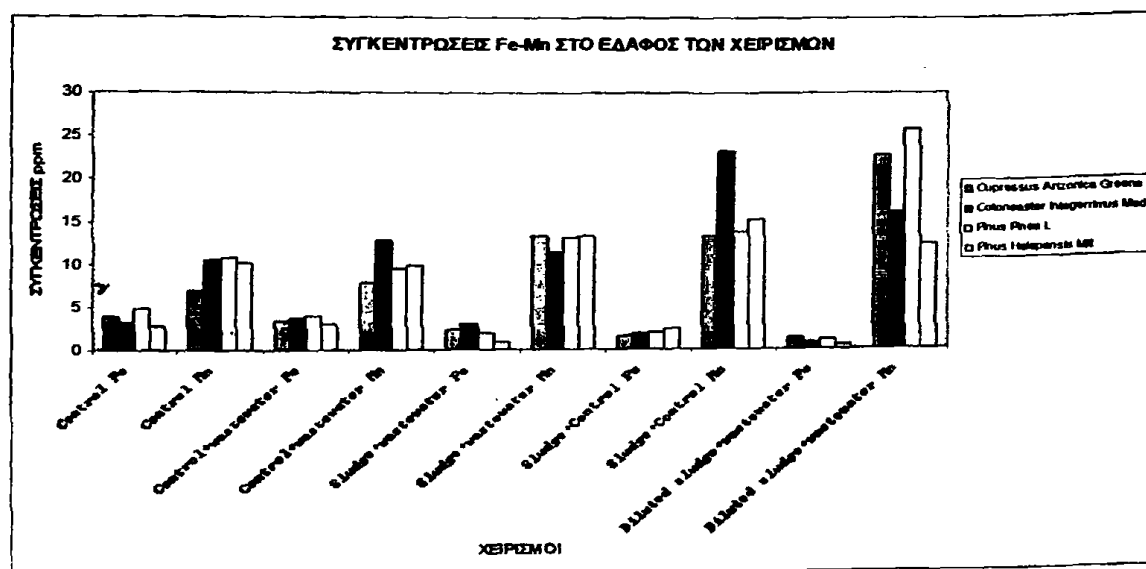
Τα μικροθρεπτικά, αλληλεπιδρούν με τα μακροθρεπτικά, αλλά και επιπλέον και μεταξύ τους. Οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές με αντίστοιχες επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών.

Γενικά, οι αλληλεπιδράσεις των μικροθρεπτικών με τα μακροθρεπτικά φαίνεται να έχουν σοβαρότερες επιπτώσεις στα φυτά απ'ότι των μικροθρεπτικών μεταξύ τους. Επιπλέον οι πρώτες λαμβάνουν χώρα πιο συχνά, διότι τα λιπάσματα των μακροθρεπτικών χρησιμοποιούνται πιο συχνά και σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα αντίστοιχα των μικροθρεπτικών.

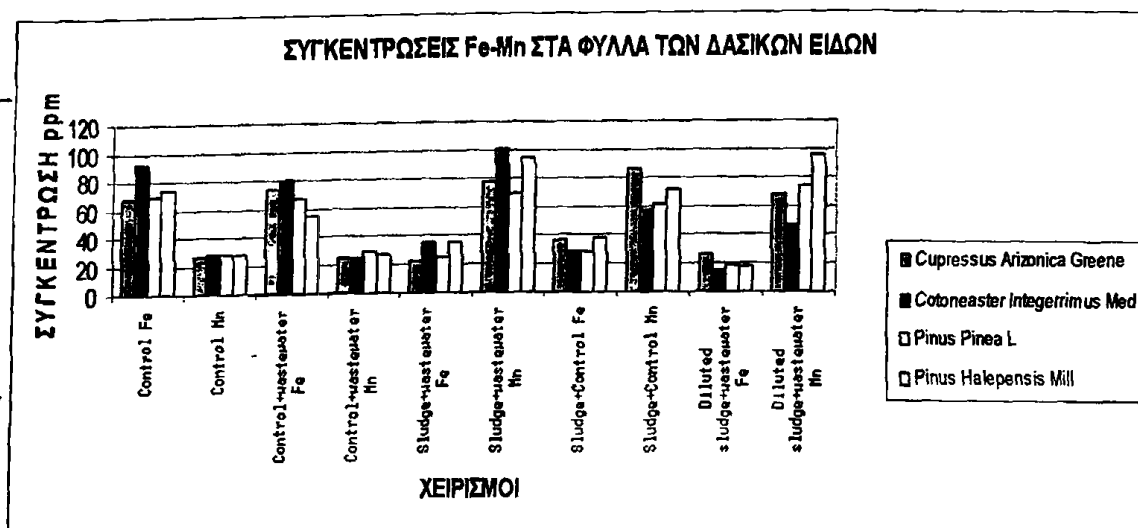
Ο Χαλκός αλληλεπιδρά ανταγωνιστικά με τον P όπου σε υψηλά επίπεδα εφαρμογής του P παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας του Cu. Ομοίως και η

αλληλεπίδραση Cu με Fe είναι ανταγωνιστική. Εφαρμογή του Fe σε υψηλές ποσότητες μπορεί να προκαλέσει έλλειψη Cu. Αλλά και η σχέση Cu με Mo είναι επίσης ανταγωνιστική, όπου η δράση του Cu μπορεί να μειώσει την περιεκτικότητα του Mo γεγονός που μπορεί να έχει δυσμενή επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών. Ομοίως και η αλληλεπίδραση Cu με Al είναι ανταγωνιστική. Η ανταγωνιστική σχέση του P με τον Zn οφείλεται στο ότι ο P επηρεάζει το μεταβολισμό του Zn. Επίσης ανταγωνιστικά δρούν Zn με Fe, Zn με Mg, Zn με Ca, Zn με B καθώς και Zn με Sr. Η σχέση B με K είναι ανταγωνιστική όπως επίσης και η σχέση Ca με B διότι αύξηση του επιπέδου του Ca στο φυτό συνεπάγεται μείωση της συγκέντρωσης του B. Το K ανταγωνίζεται έντονα το Mg. Υψηλές ποσότητες K μειώνουν τις συγκεντρώσεις Mg στα φύλλα με αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων. Η νιτρική μορφή (NO_3^-) ευνοεί την συσσώρευση K στα φύλλα, ενώ η αμμωνιακή μορφή (NH_4^+) δρα ανταγωνιστικά σε βάρος του K. (Κουκουλάκης, 2007).

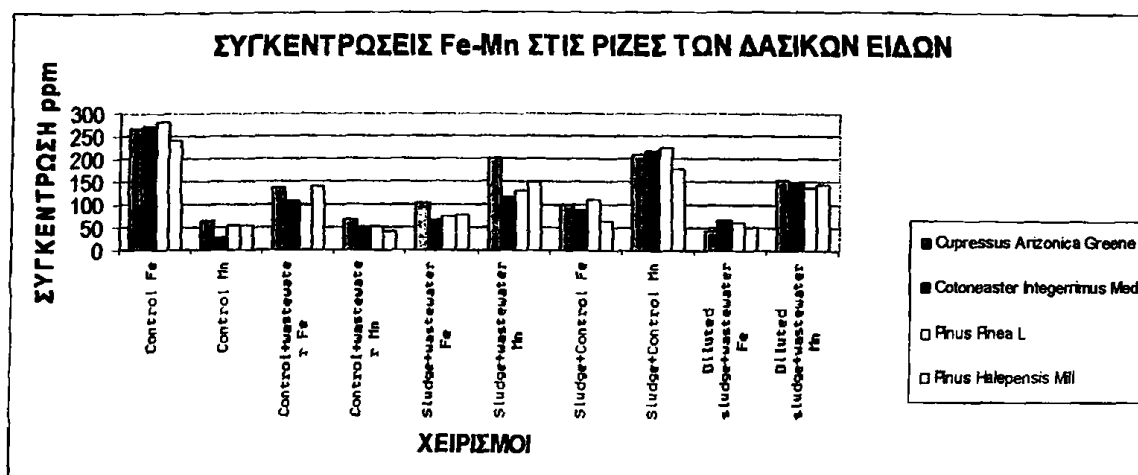
Οι συγκεντρώσεις του Σιδήρου και του Μαγγανίου τόσο στο έδαφος, όσο και στα φύλλα και τις ρίζες των διαφορετικών χειρισμών φαίνονται στα σχήματα 6.38, 6.39, 6.40.



Γράφημα 6.38 Συγκεντρώσεις Fe-Mn στο έδαφος των χειρισμών



Γράφημα 6.39 . Συγκεντρώσεις Fe-Mn στα φύλλα των δασικών ειδών



Γράφημα 6.40 Συγκεντρώσεις Fe-Mn στις ρίζες των δασικών ειδών

Στο έδαφος μια εμφανής ανταγωνιστική συμπεριφορά παρατηρήθηκε μεταξύ του Mn και Fe αφού οι αυξημένες συγκεντρώσεις του Mn στους διαφορετικούς χειρισμούς του πειράματος είχαν ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του Fe στους ίδιους χειρισμούς. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του Mn η αναλογία Fe/ Mn στα φύλλα του *Cupressus Arizona Greene* ήταν 2.5 στο χειρισμό Control, 2.9 στο χειρισμό Wastewater, 0.27 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.42 στο χειρισμό Sludge+control και 0.37 στο χειρισμό diluted sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus med* η αναλογία Fe/Mn στα φύλλα του ήταν 3.2 στο χειρισμό Control, 3.25 στο χειρισμό Wastewater, 0.35 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.49 στο χειρισμό Sludge+control και 0.32 στο χειρισμό diluted sludge+wastewater. Για την *Pinus pinea L.* η αναλογία Fe/Mn στα φύλλα του

ήταν 2.4 στο χειρισμό Control, 2.28 στο χειρισμό Wastewater, 0.35 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.46 στο χειρισμό Sludge+control και 0.24 στο χειρισμό diluted sludge+wastewater. Για την *Pinus halepensis* Mill. η αναλογία Fe/Mn στα φύλλα του ήταν 2.6 στο χειρισμό Control, 2 στο χειρισμό Wastewater, 0.37 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.53 στο χειρισμό Sludge+control και 0.17 στο χειρισμό diluted sludge+wastewater.

Για τις ρίζες τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe για το *Cupressus Arizonica* Greene εμφάνισαν οι χειρισμοί wastewater, Sludge+wastewater, και sludge+control. Αντίθετα για το *Cotoneaster Integerrimus* Med τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe εμφάνισε ο χειρισμός Control. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe για την *Pinus pinea* L εμφάνισαν οι χειρισμοί Control και sludge+control ενώ για το *Pinus halepensis* Mill οι χειρισμοί Control, Control+wastewater και Sludge+wastewater.

Η ανταγωνιστική συμπεριφορά Mn-Fe είναι πλέον παγκοσμίως γνωστή και παρατηρείται κυρίως σε όξινα εδάφη και σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις Mn. Γενικά τόσο το Mn όσο και ο Fe συσχετίζονται στις διάφορες μεταβολικές δραστηριότητες του φυτού και μια τιμή της αναλογίας Fe/Mn που υποδηλώνει σωστή και απρόσκοπτη ανάπτυξη του φυτού κυμαίνεται μεταξύ 1.5-2.5. Για τιμές μικρότερες από 1.5 συμπτώματα τοξικότητας Mn και έλλειψης Fe εμφανίζονται ενώ για τιμές μεγαλύτερες του 2.5 συμπτώματα τοξικότητας Fe και έλλειψης Mn παρατηρούνται. Γενικά η άρδευση των δασικών ειδών με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα φαίνεται να αυξάνει τις συγκεντρώσεις τόσο του Mn όσο και του Fe στο έδαφος.

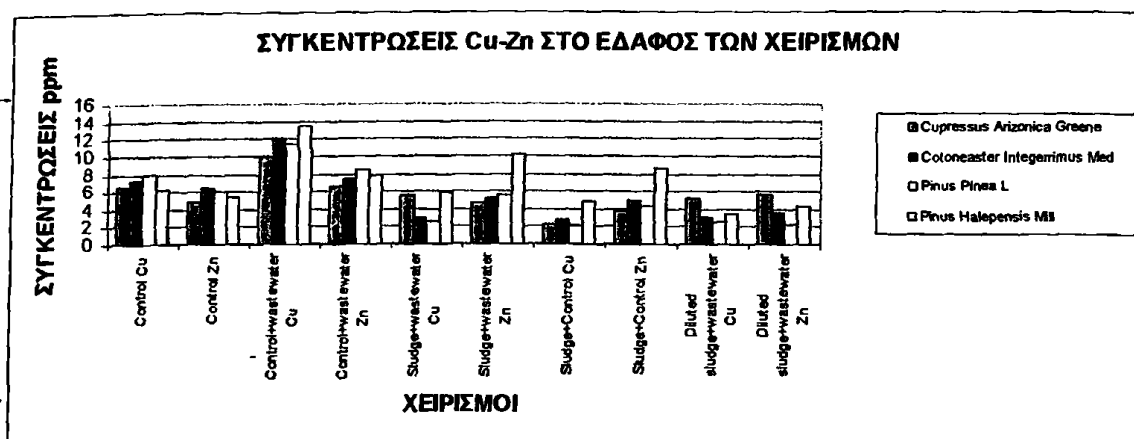
Η αφομοίωση του Mn πραγματοποιήθηκε σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τις ρίζες των δασικών ειδών παρά στα φύλλα τους, χωρίς βέβαια να παρατηρηθούν καθόλου φαινόμενα τοξικότητας αφού οι συγκεντρώσεις ήταν σαφώς μικρότερες από τα 500 ppm (DW). Αντίθετα η αφομοίωση του σιδήρου ήταν πράγματι σε πολύ χαμηλά επίπεδα ιδιαίτερα στα φύλλα των δασικών ειδών, κάτι που επιβεβαιώθηκε και από τα έντονα φαινόμενα χλώρωσης που εκδηλώθηκαν κατά την διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Η μικρή αφομοίωση του Fe πιθανώς να εξηγείται, είτε λόγω της μικρής συγκέντρωσης του που μπορεί να βρισκόταν στο έδαφος, είτε από το γεγονός ότι οι συνθήκες ήταν τέτοιες που να ευνοούν την δημιουργία και διατήρηση στο εδαφικό διάλυμα με την μορφή Fe^{3+} , μορφή στην οποία ο Fe δεν είναι προσλήψιμος από τα φυτά. Η ικανότητα γενικά των φυτών να απορροφούν το Fe δεν είναι πάντα

σταθερή και επηρεάζεται τόσο από τις συνθήκες του εδάφους όσο και του κλίματος αλλά και από τα στάδια ανάπτυξης του φυτού (Pantazis, 2006).

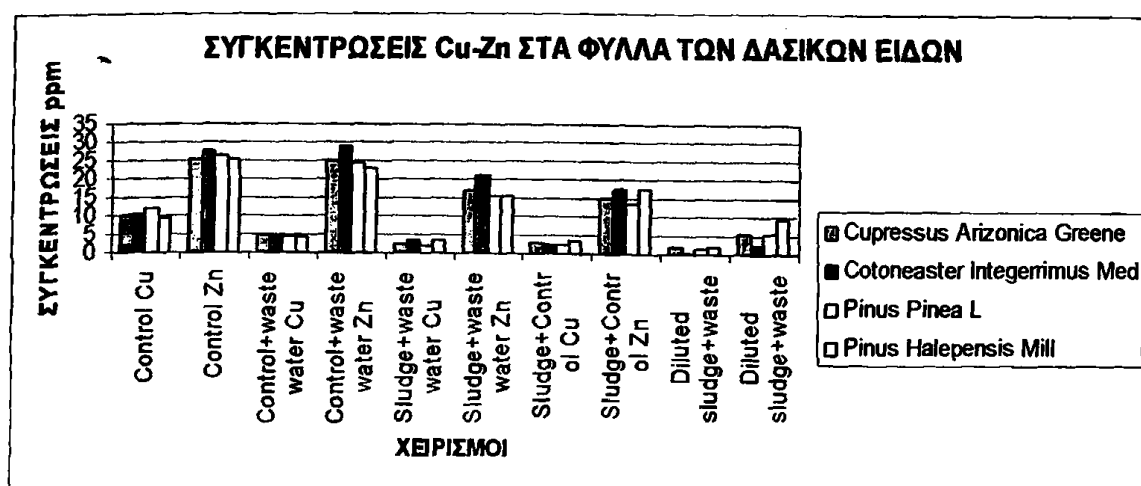
6.7. ΣΥΝΕΡΓΙΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Αντίθετα, με την ανταγωνιστική συμπεριφορά, η αλληλεπίδραση Cu με K και Cu με Mn είναι συνεργιστικές, όπου αυξανόμενου του επιπέδου του K αυξάνεται η πρόσληψη του Cu ή αυξανόμενου του Cu ευνοείται η πρόσληψη του Mn. Η σχέση Fe με K είναι συνεργιστική και τούτο διότι το K αυξάνει τη διαλυτότητα του K στο φυτό και έμμεσα το ρυθμό πρόσληψής του. Η σχέση Fe με Cl είναι συνεργιστική και τούτο διότι το Cl ευνοεί την πρόσληψη του Fe (Mills and Benton Jones Jr. 1996). Η σχέση του Mn με το N είναι γενικά συνεργιστική. Η αλληλεπίδραση του Mn με το NO_3^- είναι συνεργιστική όπως επίσης και του NH_4^+ όμως σε υψηλά επίπεδα NH_4^+ η πρόσληψη του Mn ευνοείται λόγω της επίδρασης των ιόντων H^+ που παράγονται κατά τη νιτροποίηση και οξιντοποιούν το pH. Η σχέση του B με το P είναι συνεργιστική δεδομένου ότι συμβάλλει στη συσσώρευση του P στα νουκλειικά οξέα. Με μείωση του B μειώνεται και ο P και κατά συνέπεια και η συγκέντρωση της ATP δεδομένου ότι ο P αποτελεί βασικό συστατικό της. Έτσι μη επαρκείς ποσότητες B εμφανίζουν και μη επαρκείς ποσότητες P λόγω της μερικής αναστολής της μεριστωματικής δραστηριότητας των επικόρυφων κυττάρων εξαιτίας της μειωμένης παραγωγής ATP. Ο P συνεργεί με το N όταν αυτό προστίθενται υπό αμμωνιακή μορφή (NH_4^+) και τούτο διότι το NH_4^+ νιτροποιούμενο στο έδαφος ελευθερώνει ιόντα H^+ με συνέπεια να οξινοποιεί το περιβάλλον και να αυξάνει τη διαθεσιμότητα των δυσδιάλυτων μορφών του P. (Κουκουλάκης, 2007).

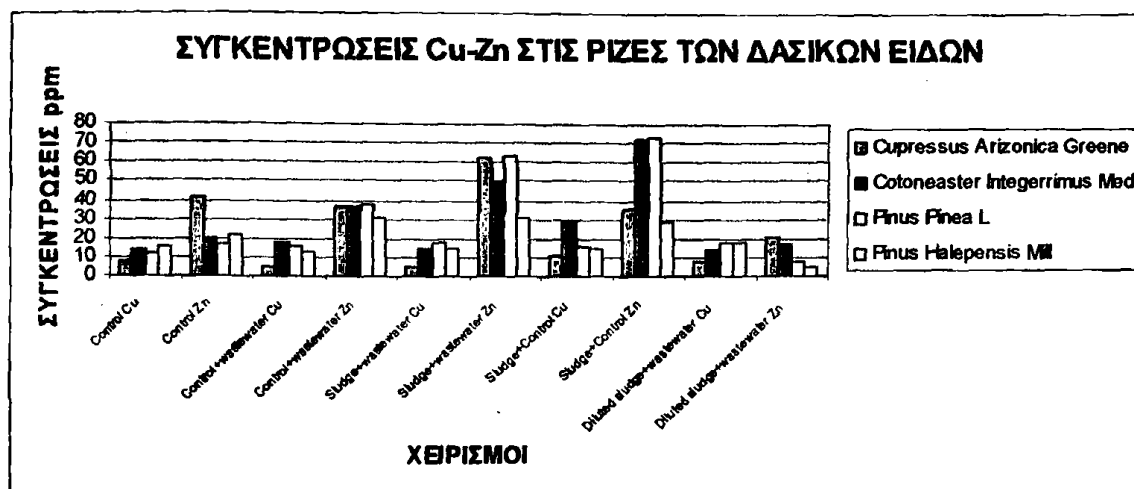
Οι συγκεντρώσεις του Χαλκού και του Ψευδαργύρου τόσο στο έδαφος, όσο και στα φύλλα και τις ρίζες των διαφορετικών χειρισμών φαίνονται στα σχήματα 6.41, 6.42, 6.43.



Γράφημα 6.41 Συγκεντρώσεις Cu-Zn στο έδαφος των χειρισμών



Γράφημα 6.42 Συγκεντρώσεις Cu-Zn στα φύλλα των δασικών ειδών



Γράφημα 6.43. Συγκεντρώσεις Cu-Zn στις ρίζες των δασικών ειδών

Για το έδαφος, αυξημένες συγκεντρώσεις Cu για το *Cupressus Arizonica Greene* και *Cotoneaster Integerrimus Med* παρατηρήθηκε στο χειρισμό Sludge+Wastewater.

Επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Sludge+wastewater για το *Cotoneaster Integerrimus Med* και στο diluted sludge (20%) +wastewater για το *Cupressus Arizonica Greene*. Αυξημένες συγκεντρώσεις Cu για την *Pinus pinea L* παρατηρήθηκε στο χειρισμό Control+wastewater, ενώ για τον Zn αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν επίσης στον ίδιο χειρισμό. Επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις Cu για την *Pinus halepensis Mill* παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Control+wastewater, ενώ για τον Zn αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στον χειρισμό Sludge+wastewater.

Η άρδευση των δασικών ειδών με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα είχε σαν συνέπεια των μείωση των διαθέσιμων συγκεντρώσεων στο έδαφος τόσο του Cu όσο και του Zn. Η αφομοίωση τόσο του Cu όσο και του Zn πράγματι δεν ήταν πολύ καλή, και ιδιαίτερα στους χειρισμούς Sludge+wastewater, Sludge+control και στον diluted sludge(20%)+wastewater treatment.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στα φύλλα του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς Sludge+control, και Sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Sludge+wastewater. Για την *Pinus pinea L*. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Control, ενώ για την *Pinus halepensis Mill*. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν επίσης στο χειρισμό Control. Οι συγκεντρώσεις του Zn στα φύλλα του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερη στο χειρισμό Sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* η μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν επίσης στο χειρισμό Sludge+wastewater. Για την *Pinus pinea L*. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Control, ενώ για την *Pinus halepensis Mill*. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν επίσης στο χειρισμό Control.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στις ρίζες του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς Sludge+Control, και Diluted sludge (20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* η μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Sludge+Control, και Sludge+wastewater. Για την *Pinus pinea L*. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Diluted sludge (20%)+wastewater και Sludge+wastewater, ενώ για την *Pinus halepensis Mill*. οι χειρισμοί Diluted sludge (20%)+wastewater και Control. Οι συγκεντρώσεις του Zn στις ρίζες του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερες στους χειρισμούς Sludge+wastewater και Sludge+Control. Για το *Cotoneaster*

integerrimus med οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Sludge+Control, και Sludge+wastewater. Για την Pinus pinea L. οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Control+sludge και Sludge+wastewater, ενώ για την Pinus halepensis Mill. οι χειρισμοί sludge+wastewater και Control+wastewater (Pantazis et al, 2007).

6.8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι χειρισμοί, δηλαδή η διαφορετική περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε θρεπτικά στοιχεία, συμβάλει καθοριστικά και στην ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που οι φυτικοί ιστοί και στην προκειμένη περίπτωση τα φύλλα των δασικών ειδών θα περιέχουν.

Στο πλαίσιο αυτό, φαίνεται ότι είναι δυνατόν με την κατάλληλη αναλογία ιλύος (που προέρχεται από εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων), και εδάφους να καθορίσουμε την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που θέλουμε τα δασικά είδη, να λαμβάνουν κάθε φορά. Το γεγονός αυτό θα μας δώσει την δυνατότητα να βελτιώσουμε προβληματικά εδάφη, καθώς επίσης λαμβάνοντας υπόψη την απαραίτητη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων για τη σωστή ανάπτυξη των δασικών ειδών, να καθορίσουμε την αναλογία κατά τρόπο που να αποφεύγονται μελλοντικά πιθανές εμφανίσεις τοξικότητας.

Η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε θρεπτικά στοιχεία φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε αυτά, σχέση η οποία όμως πέρα από το γεγονός ότι επηρεάζεται άμεσα από τα διαφορετικά γενοτυπικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών ειδών που χρησιμοποιούνται, εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό τόσο από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδαφικού υποστρώματος που κάθε φορά χρησιμοποιείται, όσο και από τις σχέσεις και αλληλεπιδράσεις που φαίνεται να υπάρχουν και να υφίστανται μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1. ΧΟΥΜΙΚΟ ΟΞΥ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Η οργανική ουσία, το πολύτιμο αυτό συστατικό του εδάφους, ήταν γνωστό εδώ και χιλιάδες χρόνια. Με την εξέλιξη των φυσικών, χημικών και βιολογικών επιστημών, το ενδιαφέρον των επιστημόνων για την οργανική ουσία του εδάφους, όπως ήταν φυσικό άρχισε να αυξάνει. Με βάση τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, ο 18^{ος} αιώνας αποτελεί την απαρχή της συστηματικής επιστημονικής μελέτης του συστατικού αυτού του εδάφους και σηματοδοτεί την ερευνητική βάση της μελέτης της οργανικής ουσίας.

Ένας από τους πρωτοπόρους ερευνητές που μελέτησε την οργανική ουσία και επιχείρησε να απομονώσει τα επιμέρους συστατικά της, δηλ. χουμικές ουσίες ήταν ο Achard (1786), ο οποίος εκχύλισε για πρώτη φορά την τύρφη με αλκάλια και κατόρθωσε να λάβει ένα μαύρο και άμορφο ίζημα, με οξינוποίηση του διαλύματος.

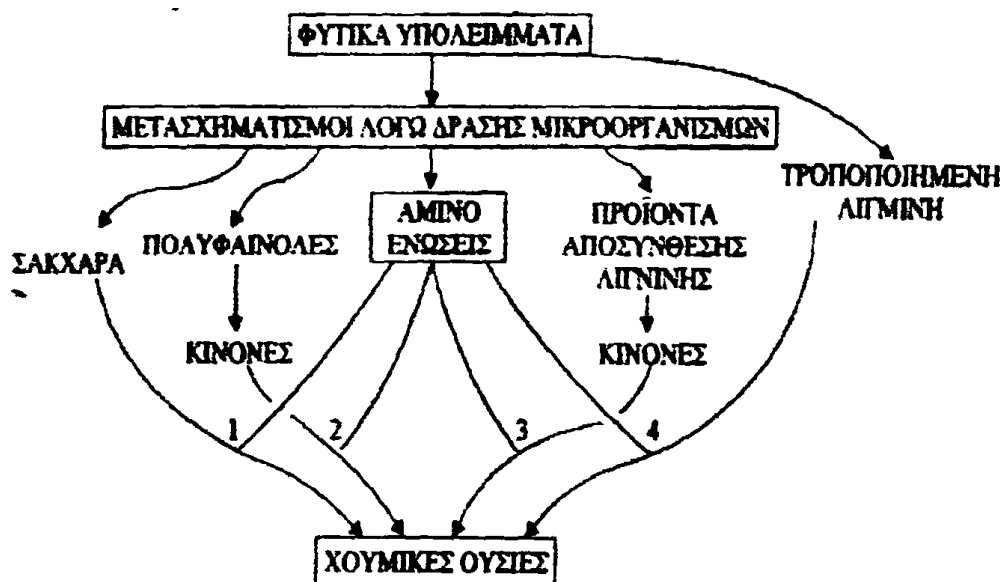
Εκείνος που συστηματικά μελέτησε την προέλευση και την χημική φύση των χουμικών ουσιών υπήρξε ο Sprengel (1826). Κατέληξε δε στο συμπέρασμα ότι τα εδάφη που είναι πλούσια σε βάσεις έχουν τα χουμικά τους οξέα εξουδετερωμένα και επομένως η αντίδρασή τους είναι ουδέτερη. Τα εδάφη αυτά θεωρούνται υψηλής γονιμότητας και παραγωγικότητας. Αντίθετα, εδάφη φτωχά σε βάσεις, έχουν χουμικά οξέα που είναι ακόρεστα και η αντίδρασή τους είναι όξινη. Τα εδάφη αυτά θεωρούνται μικρής γονιμότητας.

Σημαντική υπήρξε και η συμβολή του Berzelius (1839) στην μελέτη των χημικών ιδιοτήτων χουμικών οξέων, με την απομόνωση δύο ελαφρά κίτρινων χουμικών ουσιών από τη λάσπη μεταλλικών νερών με την εκχύλιση με αλκαλικό διάλυμα.

Κατά το τέλος του 19^{ου} αιώνα, καθιερώθηκε και έγινε αποδεκτό, ότι ο χούμος είναι ένα σύμπλοκο μίγμα οργανικών ουσιών, κολλοειδούς φύσης με ασθενείς όξινες ιδιότητες.

Το ενδιαφέρον των επιστημόνων εντατικοποιήθηκε κατά το πρώτο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα. Γενικά ο (Waksman, 1936) θεωρεί το χούμο ότι είναι ένα μίγμα φυτικής προέλευσης και περιλαμβάνει λίποι, κηρούς, ρητίνες, ημικυτταρίνες, κυτταρίνες και λιγνιτοπρωτεΐνες των οποίων το άζωτο προέρχεται από τους μικροοργανισμούς.

- Μέρος του οργανικού στρώματος που βρίσκεται στα δυο ανώτερα εδαφικά στρώματα διασπάται σε κολλώδη , καφέ υπολειμματική οργανική ύλη, μερικά αποσυντιθέμενη που ονομάζεται χούμος (Εικόνα 7.1).



Εικόνα. 7.1. Πορεία μετασχηματισμού των φυτικών υπολειμμάτων προς σχηματισμό του πολυμερούς συμπλόκου δηλ. του χούμο, (Stevenson J.F., *Humus Chemistry*, Ed.6th John Wiley & Son, Inc., New York, 1994, p.189)

Η φυσική οργανική ύλη (natural organic mater-NOM) που συναντάμε στο εδαφικό και υδατικό περιβάλλον διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Διαλυμένη (Dissolved Organic Mater-DOM) με διάμετρο σωματιδίων από 1μm μέχρι 0.001μm και
- Σωματιδιακή (Particulate Organic Mater-POM) με διάμετρο 0.5μm

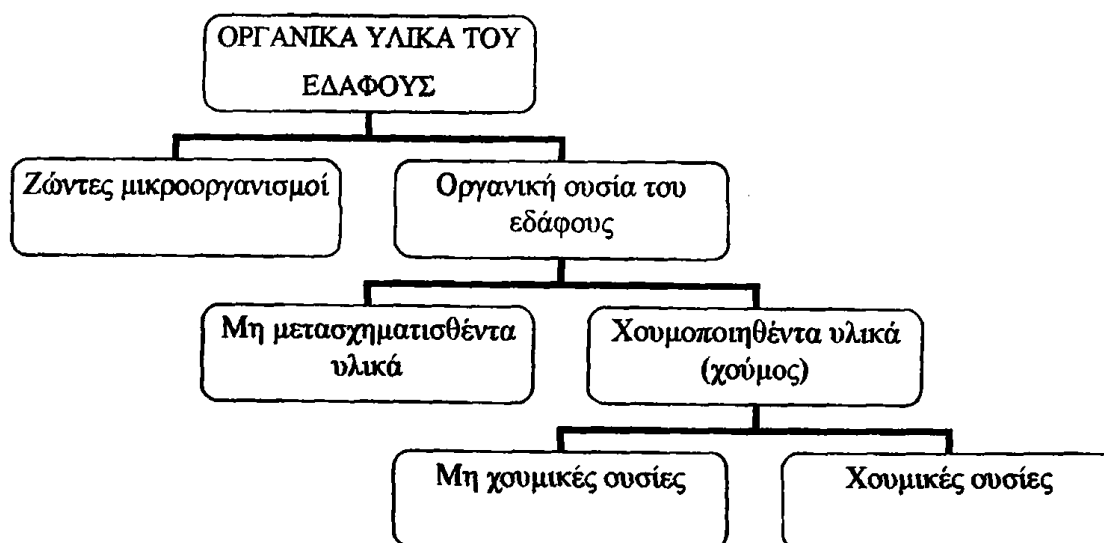
Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon-TOC) είναι μονάδα μέτρησης της ποσότητας της φυσικής οργανικής ύλης (NOM) ενώ ο διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC) είναι μονάδα μέτρησης της ποσότητας της διαλυμένης οργανικής ύλης (DOM) (Rytwo et al., 1991).

Στα εδαφικά περιβάλλοντα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ρόλο του διαλυμένου κλάσματος της οργανικής ύλης (DOM) που είναι υπεύθυνο για την προσρόφηση και μεταφορά των ρύπων. Ο σχηματισμός, ο μετασχηματισμός και η μεταφορά της οργανικής ύλης συνδέονται με τις διαδικασίες προσρόφησης μεταξύ οργανικής ύλης και άλλων ουσιών. Αυτές οι διαδικασίες είναι οι κυρίως υπεύθυνες για την μεταφορά, υποβάθμιση-αδρανοποίηση και βιοδιαθεσιμότητα διαφόρων ρυπαντών στο περιβάλλον. Η ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση αυτού του κλάσματος είναι αρκετά σημαντική κυρίως στις περιοχές εντατικής γεωργίας για βέλτιστη παραγωγή.

Η οργανική ουσία, όπως προσδιορίζεται στο εργαστήριο, περιλαμβάνει το 70-80% του άνθρακα που περιέχεται στο αναλυόμενο εδαφικό δείγμα. Ο άνθρακας αυτός προέρχεται από τις εξής πηγές:

- α) από το χουμοποιημένο κλάσμα δηλ. το χούμο, ο οποίος αποτελείται από τις χουμικές και μη χουμικές ουσίες. Οι πρώτες είναι μακρομοριακές ενώσεις μη καλώς κατανοητής χημικής δομής, ενώ οι δεύτερες είναι γνωστές χημικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους. Ο χούμος αποτελεί τουλάχιστον το 90% της οργανικής ουσίας.
- β) από τη μη ή μερικώς αποσυντεθειμένη οργανική ύλη, η οποία περιλαμβάνει αποξηραμένα σωματίδια φυτικών υπολειμμάτων (φύλλα, ριζίδια)
- γ) από τη βιομάζα, δηλ. τους μικροοργανισμούς του εδάφους

Σύμφωνα με τον Κοπονονα (1961) τα οργανικά υλικά του εδάφους ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:



Εικόνα 7.3. Οργανικά υλικά του εδάφους (Κουκουλάκης et al. 2000).

Με το κλάσμα μη χουμικές ουσίες εννοούμε ενώσεις που βρίσκονται στην αρχική ή ελαφρώς τροποποιημένη μορφή τους και δεν έχουν ακόμη επηρεαστεί από τη διαδικασία της χουμοποίησης. Οι ενώσεις αυτές είναι: Υδατάνθρακες, αμινοξέα, λίπη, πρωτεΐνες, λιγνίνες, χρωστικές καθώς και μια μεγάλη ποικιλία από οξέα, τα οποία μπορεί να είναι από αλειφατικά μέχρι σύμπλοκα αρωματικά ετεροκυκλικά (Flaig 1971).

Τα οργανικά οξέα απαντώνται στο έδαφος σε χαμηλές συγκεντρώσεις πχ. Το μυρμηγκικό οξύ σε ποσότητα 0,2-0,9 mmol/100gr εδάφους, οξικό οξύ 0,7-1 mmol/100gr εδάφους. Η συγκέντρωση των οργανικών οξέων στο έδαφος μειώνεται

ανάλογα με την πολυπλοκότητα του μορίου τους ως εξής: οξικό οξύ>βουτυρικό>φουμαρικό, προπιονικό, ηλεκτρονικό και γαλακτικό οξύ.

Η σπουδαιότητα των οξέων αυτών είναι πολύ σημαντική αφού επιδρούν στη διαλυτοποίηση και ακινητοποίηση των θρεπτικών στοιχείων των πετρωμάτων και των ορυκτών (Huang και Keller, 1970). Γενικά οι μη χουμικές ουσίες αποτελούν την πρώτη ύλη για τον σχηματισμό του χούμου.

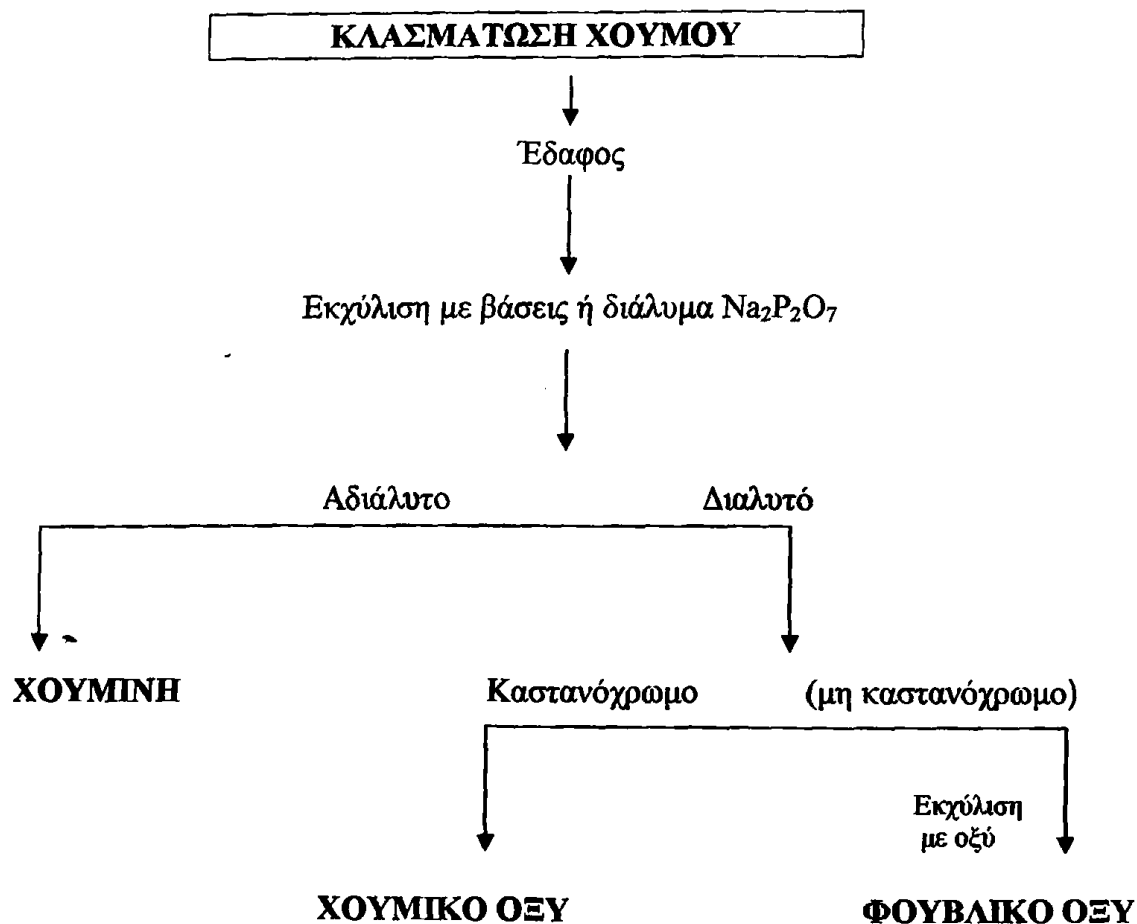
Οι χουμικές ουσίες περιλαμβάνουν μια σειρά πολύπλοκων οργανικών ενώσεων σκοτεινού μαύρου χρώματος υψηλού μοριακού βάρους. Πρόκειται για τον χούμο που αποτελεί συστατικό βασικής σπουδαιότητας για τις φυσικές, χημικές, και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Ο χούμος αποτελείται από τρία επιμέρους κλάσματα το χουμικό οξύ, το φουλβικό οξύ και τη χουμίνη (Schnitzer and Khan, 1982). Σύμφωνα με σύγχρονες αναλύσεις με φάσμα πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, οι χουμικές ουσίες έχουν σαφή χημική και δομική σύνθεση. Πάντως, μέχρι σήμερα η ακριβής χημική δομή των χουμικών ουσιών δεν στάθηκε δυνατόν να καθοριστεί με σαφήνεια παρά τη σημειωθείσα πρόοδος στον τομέα αυτό (Schitzer 1986).

Ο Tan (1989) κατατάσσει το χούμο σε τρεις κατηγορίες:

- α) Εδαφικός χούμος: Απαντάται στο έδαφος
- β) Υδατικός χούμος: Απαντάται στα επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, λεκάνες απορροής, ωκεανοί). Συσσωρεύεται στα επιφανειακά νερά λόγω έκπλυσης των χουμικών ουσιών από το έδαφος, καθώς επίσης είναι και συνέπεια της διάσπασης και αποσύνθεσης της υδροχαρούς βλάστησης
- γ) Γεωλογικός χούμος: Απαντάται στους διάφορους τύπους γαιάνθρακα και κυρίως λιγνίτη και βασικά λεοναρδίτη (Παλαιοχούμος).

Η κλασμάτωση του χούμου, δηλαδή ο διαχωρισμός του στις επί μέρους χουμικές ουσίες, επιτυγχάνεται με βάση τη διαλυτότητά τους στις βάσεις και οξέα. Έτσι ο χούμος διακρίνεται στα εξής κλάσματα: (Schitzer 1986)

- 1^ο κλάσμα: Χουμικό οξύ διαλυτό στα αλκάλια
- 2^ο κλάσμα: Φουλβικό οξύ διαλυτό στα οξέα
- 3^ο κλάσμα: Χουμίνη, αδιάλυτη σε οξέα και βάσεις



Εικόνα 7.4. Κλασμάτωση του χούμου (Schitzer 1986)

Τα προαναφερθέντα κλάσματα του χούμου, αποτελούν συστατικά του ίδιου συστήματος, αλλά δεν είναι καθ'ολοκληρία ταυτόσημα. Το χουμικό και το φουλβικό είναι εκείνα που επιδρούν κυρίως στο έδαφος και στα φυτά.

Οι χουμικές ουσίες είναι γενικά αδιάλυτες στο νερό. Εξ' αιτίας της κολλοειδούς φύσης των μορίων των χουμικών ουσιών, δηλ. βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ ενός πραγματικού διαλύματος όπου τα σωματίδια έχουν μοριακό ή ιοντικό μέγεθος και του εναιωρήματος του οποίου τα σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ώστε να κατακρίνίζονται από την επίδραση της βαρύτητας, παρουσιάζουν έντονη φυσική και χημική ενεργότητα, αφ' ενός μεν λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειάς τους και αφετέρου λόγω των ενεργών λειτουργικών ομάδων που περιέχουν. Λόγω της κολλοειδούς φύσης τους, οι χουμικές ουσίες συμπεριφέρονται ως ασθενή οξέα ή ασθενείς πολυηλεκτρολύτες. Η ενεργότητά τους είναι συνάρτηση του

μεγέθους των μορίων τους, του μοριακού βάρους και της ποσότητας των λειτουργικών ομάδων που κάθε μια από αυτές τις ουσίες περιέχει. Επίσης χαρακτηρίζονται από την παρουσία αρνητικών φορτίων λόγω της διάστασης των ενεργών λειτουργικών ομάδων (COOH , φαινολικών, OH , κινονών ($\text{C}=\text{O}$), ενολικών, ιμιδίων ($=\text{NH}$)) και ενδεχομένως άλλων ομάδων. Οι χουμικές ουσίες έχουν υψηλή εναλλακτική ικανότητα ($200\text{--}400 \text{ meq}/100\text{g}$) και επομένως συγκρατούν περισσότερα θρεπτικά σε εναλλάξιμη μορφή. Περιέχουν υψηλές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων. Οι χουμικές ουσίες περιέχουν υψηλά ποσοστά σιδήρου, οργανικής ουσίας και ασβεστίου. Ωστόσο οι περιεκτικότητες αυτές μεταβάλλονται κατά περίπτωση. Η CEC δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται με το pH. Αύξηση του pH συνεπάγεται αντίστοιχη άνοδο των αρνητικών φορτίων εξαιτίας του ιονισμού των λειτουργικών ομάδων.

Έχουν επίσης υψηλή χηλική ικανότητα και μπορούν να σχηματίζουν σύμπλοκες χηλικές ενώσεις με τα πολυσθενή μεταλλικά ιόντα (Fe^{+3} , Al^{+2} , Cu^{+2} κτλ). Τα μονοσθενή ή δισθενή κατιόντα (Na^{+} , K^{+} , NH_4^{+} , Ca^{+} , Mg^{++}) συγκρατούνται σε εναλλακτική μορφή στην επιφάνεια των χουμικών κolloειδών με ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Επίσης και τα πολυσθενή κατιόντα (Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++}) έχουν τη δυνατότητα να σχηματίζουν με τις χουμικές ουσίες ημιπολικούς δεσμούς, δηλαδή δεσμούς που το ζεύγος των ηλεκτρονίων που μοιράζεται μεταξύ των δύο στοιχείων προέρχεται και από το μεταλλικό ιόν και από την ενεργό ομάδα της χουμικής ουσίας. Έτσι σχηματίζονται οι λεγόμενες χηλικές ενώσεις που χαρακτηρίζονται από διάφορο βαθμό σταθερότητας που εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που σχηματίζουν το δεσμό, τον αριθμό των δακτυλίων που σχηματίζονται, τη φύση και τη συγκέντρωση του μεταλλικού κατιόντος και το pH. Η σειρά σταθερότητας ορισμένων δισθενών μεταλλικών κατιόντων είναι η εξής: $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Ca} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn}$ (Stevenson, 1982).

7.1.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Σύμφωνα με τον (Schnitzer, 1986), το χουμικό οξύ σχηματίζεται με τον οξειδωτικό πολυμερισμό των φαινολών και του φαινολικού οξέος σε δύο φάσεις: κατά την πρώτη σχηματίζεται ελεύθερη ρίζα της ημικινόνης η οποία σε βασικό διάλυμα σταθεροποιείται ως ανιόν ημικινόνης. Το ανιόν αυτό συνήθως είναι ασταθές και ως εκ τούτου ενώνεται με άλλα ανιόντα ημικινόνης με συνέπεια να παραχθεί το καστανόχρωμο πολυμερές, δηλαδή το χουμικό οξύ (Mathur και Schnitzer 1978).

Το χουμικό οξύ παράγεται κατά τα πρώτα στάδια της χουμοποίησης των χουμικών υλών και προστίθενται στο έδαφος. Είναι ουσία υψηλού μοριακού βάρους (10.000-100.000) και περιέχει αρωματικούς δακτυλίους καθώς και N υπό μορφή κυκλικών ενώσεων και χαρακτηρίζεται από την παρουσία των ομάδων -COOH και -OH όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Το μέγεθος των σωματιδίων του χουμικού οξέος επηρεάζεται από τη συγκέντρωσή του στο διάλυμα, το pH και την ιοντική ισχύ του. Σε υψηλές συγκεντρώσεις και σε υψηλή ιοντική ισχύ αλλά χαμηλό pH, το χουμικό οξύ έχει την τάση να σχηματίζει σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους μέσω των δεσμών υδρογόνου ή με την δράση των δυνάμεων van der Waals. Με την αύξηση του pH τα σωματίδια αποσυνδέονται συνέπεια της εξασθένησης των συγκρατούντων αυτά δυνάμεων με αποτέλεσμα να απωθούνται τα μόρια. Σε pH 3,5-9,0 το χουμικό οξύ γίνεται γραμμικός πολυηλεκτρολύτης (Schnitzer 1986).

7.1.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ

Η σύνθεση του χουμικού οξέος σε C, H, N και S φαίνεται να είναι σταθερή. Το χουμικό οξύ περιέχει υψηλότερα επίπεδα των ανωτέρω στοιχείων και λιγότερο O από το φουλβικό οξύ (Πιν 7.1 και Πιν 7.2).

Πίνακας 7.1. Στοιχειακή σύνθεση και περιεκτικότητα σε λειτουργικές ομάδες του χουμικού και φουλβικού οξέος (Paul και Clark 1989).

Χουμική ουσία	Στοιχειακή σύνθεση(%)					
	C	H	N	S	O	Τέφρα
Φουλβικό οξύ	49,5	4,5	0,8	0,3	44,9	2,4
Χουμικό οξύ	56,4	5,5	4,1	1,1	32,9	0,9
Σύνθεση λειτουργικών ομάδων (meq/g)						
	OCH ₂	COOH	Φαινολικά OH		Ολική οξύτητα	
Φουλβικό	0,5	9,1	3,3		12,4	

οξύ				
Χουμικό οξύ	1	4,5	2,1	6,6

Πίνακας 7.2. Αναλυτικά χαρακτηριστικά χουμικών οξέων (Schnitzer 1986)

Στοιχείο	Χουμικό οξύ (Χ.Ο) %	Φουλβικό οξύ (Φ.Ο) %
Ανθρακας	56,4	50,9
Υδρογόνο	5,5	3,3
Άζωτο	4,1	0,7
Θείο	1,1	0,3
Οξυγόνο	33,9	44,8
Λειτουργικές ομάδες meq (functional groups)		
Ολική οξύτητα	6,6	12,4
COOH	4,5	9,1
Φαινολικά OH	2,1	3,3
Αλκοολικά OH	2,8	3,6
Κιονοειδή C=O	2,5	0,6
Κετονικά C=O	1,9	2,5
OCH ₃	0,3	0,1
E4/E6 (Αναλογία προσρόφησης σε μήκος κύματος 465/665nm)	4,3	7,1

Τα επιμέρους συστατικά του χούμου δηλαδή το χουμικό και το φουλβικό οξύ αποτελούνται ουσιαστικά από μια σειρά μορίων διαφόρου μεγέθους, από τα οποία ελάχιστα έχουν την ίδια χημική δομή ή την αυτή σειρά λειτουργικών ομάδων. Επίσης διαφέρουν και ως προς τη στοιχειακή σύνθεση. Το πολύπλοκο της φύσης των χουμικών μορίων κάνει εξαιρετικά δύσκολη τη διατύπωση ενός δομικού χημικού τύπου. Για την κατά το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση του θέματος μια σειρά συντακτικών τύπων που προκύπτουν από διάφορα μοντέλα, όπως του Fuchs, Flaig, Druganov, Schnitzer and Khan, Buffle, Stevenson, Langford et al, Schulten έχουν αναπτυχθεί. Η κατανόηση του πολύπλοκου αυτού θέματος, θα μπορούσε να

επιτευχθεί με την συσχέτιση των χημικών και δομικών πληροφοριών, και τον ρόλο και το σκοπό των χουμικών ουσιών στο περιβάλλον.

7.1.3. ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Οι χουμικές ουσίες είναι «ετερογενή μίγματα χημικών ενώσεων» και επομένως η χημική τους δομή είναι ανομοιομόρφη. Ως εκ τούτου, η διατύπωση ενός δομικού χημικού τύπου είναι εξαιρετικά δύσκολη. Πολλοί ερευνητές επιχείρησαν να διατυπώσουν τέτοιους τύπους, άλλοι με μεγαλύτερη προσέγγιση προς την υποτιθέμενη δομή και άλλοι με μικρότερη. Ωστόσο κανένα από τα διατυπωθέντα δομικά μοντέλα των χουμικών οξέων δεν έχουν απολύτως υιοθετηθεί. Πιο κάτω δίνονται μερικά από αυτά ως παράδειγμα ανάδειξης της υφιστάμενης δυσκολίας για να τονιστεί ταυτόχρονα ότι τα μοντέλα αυτά απλά προσεγγίζουν την «πραγματικότητα»

A. Χουμικά οξέα

α) Μοντέλο του Fuchs: Απλά ικανοποιεί τις απαιτήσεις ως προς τον αριθμό των λειτουργικών ομάδων (COOH , OH , C=O)

β) Μοντέλο Flaig: Ικανοποιεί πολλές από τις απαιτήσεις ενός «τυπικού» χουμικού οξέος, ήτοι περιέχει φαινολικά OH , κινόνες, N και O ως τρόπο σύνδεσης καθώς και καρβοξυλικές ομάδες.

γ) Μοντέλο Druganov: Θεωρείται πιο σύγχρονο γιατί αντανakλά νεότερες αντιλήψεις και ανταποκρίνεται καλύτερα στα σύγχρονα δεδομένα. Όμως δεν γίνεται πλήρης αποδεκτό διότι δεν έχει αρκετά μεγάλο αριθμό καρβοξυλικών ριζών (COOH)

δ) Μοντέλο Stevenson: Φαίνεται να είναι πιο πλήρες από τα προαναφερθέντα. Έχει ελεύθερες καρβοξυλικές ομάδες (COOH), αρωματικούς δακτυλίους, τριϋδροξύ φαινολικού τύπου, γεφυρωμένους με $-\text{O}-\text{O}-$, CH_2 , $-\text{NH}-$, $-\text{NH}\equiv$, $-\text{S}-$ και άλλες ομάδες με ελεύθερες υδροξυλικές ρίζες (OH) και διπλούς δεσμούς.

ε) Μοντέλο Schulten: Πρόκειται για ένα σύγχρονο μοντέλο του χουμικού οξέος δισδιάστατης, αλλά και τρισδιάστατης μορφής, που κατασκευάστηκε με βάση δεδομένα χουμικών ουσιών του εδάφους με τη μέθοδο της πυρόλυσης και CNMR καθώς και οξειδοαναγωγής. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Β. Φουλβικά οξέα

α) Μοντέλο Buffle: Χαρακτηρίζεται από αλειφατικές και αρωματικές δομές με εκτεταμένη αντικατάσταση από λειτουργικές ομάδες που περιέχουν οξυγόνο.

β) Μοντέλο Schnitzer and Khon: Τα φουλβικά οξέα αποτελούνται μερικώς από φαινολικά και βενζοκαρβοξυλικά οξέα που συγκρατούνται με δεσμούς H και σχηματίζουν μια σταθερή δομή.

γ) Μοντέλο Langford et al: Πρόκειται για μια μακρομοριακή δομή που αποτελείται από αρωματικές, φαινολικές και ετεροκυκλικές δομικές μονάδες με τυχαιοποιημένη σύνδεση ή συμπύκνωση με αλειφατικές γέφυρες O, N, και S. Το μακρομόριο φέρει ενεργές λειτουργικές καρβοξυλικές ομάδες και δευτερευόντως φαινολικές, αλκοολικές και υδροξυλικές. Επίσης φέρει αμινοξικές, λιπιδικές και άλλες αλυσίδες.

7.1.4. ΧΟΥΜΙΝΗ

Το κλάσμα της χουμίνης ανακαλύφθηκε το 1862 από τον Γερμανό Mulder. Οι γνώσεις μας ωστόσο γύρω από τη σύνθεσή της παρέμειναν σχεδόν μέχρι προ-ολίγων ετών ελάχιστες. Αυτό οφείλεται στη σχεδόν αδιάλυτη φύση της. Κατά την κλασμάτωση του χούμου η χουμίνη λαμβάνεται ως αδιάλυτο στερεό υπόλειμμα.

Όσον αφορά ειδικότερα το κλάσμα της χουμίνης, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η αδιαλυτότητα της ουσίας αυτής και η μεγάλη ικανότητά της να ενώνεται με διάφορες οργανικές ενώσεις ανθρωπογενούς προέλευσης, καθιστά αυτή σημαντικό παράγοντα προστασίας του περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιμέρους συστατικά της χουμίνης έχουν χημικώς ενεργή επιφάνεια που παίζει σημαντικό ρόλο στις διάφορες αλληλεπιδράσεις της με τις ανθρωπογενείς ενώσεις

του περιβάλλοντος (Κουκουλάκης, 2000). Υποστηρίζεται ότι πολλές αντιδράσεις στο έδαφος σχετίζονται με τις χημικές ιδιότητες των επί μέρους συστατικών της χουμίνης (Theng, 1974). Η μεγάλη προσροφητική ικανότητα της χουμίνης καθιστά αυτή κύριο παράγοντα που σχετίζεται με την τύχη των ανθρωπογενών ουσιών του εδάφους. Και τούτο διότι σε επιφάνειες των συστατικών της χουμίνης κυριαρχούνται από μικρο και μεσο-πόρους και αυτοί ουσιαστικά είναι υπεύθυνοι για την υψηλή προσροφητική ικανότητα της χουμίνης.

7.2. ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ

Οι χουμικές ουσίες μπορούν να προσλαμβάνονται αμέσως από τα φυτά. Τα χουμικά οξέα μπορούν να διέλθουν μέσω των φυτικών μεμβρανών. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος ή το βάρος των μορίων. Όσο πιο μικρό είναι το βάρος τόσο πιο εύκολα οι ουσίες αυτές διέρχονται μέσα από τις μεμβράνες.

Η οριακή τιμή μβ 5000 μονάδων αποτελεί το ανώτατο όριο κατά το οποίο μπορεί ένα χουμικό μόριο να εισέλθει και να διέλθει μέσα από τις φυτικές μεμβράνες (Dell Agnolla and Nardi, 1986).

Τα χουμικά μόρια εισέρχονται στα φυτά με την διαδικασία της αποπολυσυμπύκνωσης που προκαλείται από τις μεταβολές του pH, δηλαδή κατά την οξινοποίηση η οποία είναι αποτέλεσμα της ριζικής δραστηριότητας. Ως γνωστόν, οι ρίζες εκκρίνουν διάφορα οξέα όπως οξαλικό, φουμαρικό, μηλικό και ηλεκτρικό οξύ. Επίσης, οξέα παράγονται και από την δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Η πρόσληψη των χουμικών από τα φυτά φαίνεται ότι εξαρτάται από το βαθμό της μεταβολικής ενεργότητας αυτού, καθ'αυτού του φυτού. Η κολλοειδής φύση του πρωτοπλάσματος των κυτταρικών μεμβρανών επηρεάζεται από τα χουμικά οξέα, αφού σε χαμηλές συγκεντρώσεις μειώνεται το ιζώδες του πρωτοπλάσματος και το καθιστά πιο ευκίνητο, ενώ σε υψηλότερες αυξάνει το ιζώδες και το καθιστά λιγότερο ευκίνητο. Το γεγονός αυτό δημιουργεί κύτταρα περισσότερο δύσκαμπτα (Rypacek, 1962).

Οι χουμικές ουσίες παίζουν σπουδαίο ρόλο στη θρέψη των φυτών, γεγονός που εξηγείται ως εξής: Η παρουσία των χουμικών κατ'αρχήν δρα αρνητικά στην ενεργό μεταφορά των ιόντων. Η μείωση αυτή ξεπερνιέται από τη βαθμιαία αύξηση της διεγερτικής επίδρασής τους, έτσι ώστε σε τελευταία ανάλυση, οι χουμικές ουσίες να ασκούν μια ευεργετική (θετική) δράση αυξάνοντας τη μεταφορά των ανιόντων μέσω

των ριζών. Όμως όταν η συγκέντρωση των χουμικών αυξηθεί σημαντικά, τότε ασκεί μια αρνητική επίδραση.

Επίσης, οι χουμικές ουσίες συμβάλλουν στην καλύτερη κατανομή ορισμένων κατιόντων με συνέπεια να εξασφαλίζουν την αποφυγή θρεπτικών ανωμαλιών στα φυτά. Τα χουμικά αυξάνουν την πρόσληψη του Fe, Mn και επιβεβαιώνεται με σαφήνεια ότι συνεργούν με τα ανόργανα θρεπτικά και ευεργετούν την ανάπτυξη των φυτών. Συμβάλλουν στην καλύτερη αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων και βοηθούν το φυτό στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των χαμηλών επιπέδων διαθέσιμου αζώτου, όπου βέβαια αυτά υπάρχουν. Επίσης αυξάνουν την συγκέντρωση των θρεπτικών στα φυτά (Chaminade, 1966). Σημαντικό ρόλο στην προκειμένη περίπτωση παίζει η συγκέντρωση των χουμικών, το μοριακό τους βάρος και ο βαθμός παρουσίας των ενεργών λειτουργικών ομάδων. Γενικά, οι επιδράσεις αυτές των χουμικών εκδηλώνονται σε πολύ πρώιμα στάδια της φυτικής ανάπτυξης. Η επίδραση των χουμικών ουσιών στην αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών, εξηγείται από το γεγονός ότι οι χουμικές ουσίες επιδρούν στην περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών (Khristeva 1953).

Οι χουμικές ουσίες αυξάνουν τη χλωροφύλλη και συμβάλλουν στην αποτροπή της χλώρωσης σιδήρου στα φυτά. Προφανώς οι χουμικές ουσίες ευνοούν τόσο την πρόσληψη του σιδήρου όσο και τη μεταφορά του στο ίδιο το φυτό (Tan and Noramornbodi, 1979). Η ευνοϊκή δράση των χουμικών ουσιών εκδηλώνεται ιδιαίτερα έντονα στα ασβεστούχα εδάφη, τα οποία ως γνωστό είναι φτωχά σε διαθέσιμο σίδηρο και ανεπαρκώς εφοδιασμένα σε οργανική ουσία (Visser, 1986).

Το χουμικό και το φουλβικό οξύ διεγείρουν την αύξηση των ριζιδίων και προάγουν την ανάπτυξη των σπόρων όχι όμως και το ποσοστό βλάστησης αυτών. Τα χουμικά οξέα επιδρούν στις ρίζες περισσότερο από οποιαδήποτε άλλο όργανο του φυτού. Το υπέργειο τμήμα επηρεάζεται λιγότερο, και τα στελέχη ακόμα λιγότερο από τα φύλλα. Γενικά η ένταση της επίδρασης εξαρτάται από το είδος του φυτού.

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο οι χουμικές ουσίες επιδρούν στον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά και ιδίως των μετάλλων (μικροθρεπτικών) είναι η ικανότητά τους να σχηματίζουν σύμπλοκες χηλικές ενώσεις με τα μεταλλικά κατιόντα. Η δράση αυτή των χουμικών οφείλεται στην παρουσία των καρβοξυλικών ομάδων στα μόριά τους. Τα χηλικά μόρια που περιέχουν τα μεταλλικά κατιόντα, προσλαμβάνονται αυτούσια από τις ρίζες των φυτών, αν και όπως έχει ήδη αναφερθεί έχουν τη δυνατότητα να διέλθουν δια των κυτταρικών μεμβρανών, αν και αυτό δεν είναι

πάντοτε αναγκαίο διότι οι αναγωγικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια των ριζών, μπορούν να επιτρέψουν την προσρόφηση μόνο του κατιόντος (Tiffin and Brown, 1959).

Βεβαίως η πρόσληψη των χουμικών ουσιών εξαρτάται και από τη μεταβολική ενεργότητα των φυτών.

Οι χουμικές ουσίες παίζουν σπουδαίο ρόλο στις μεταβολικές διεργασίες του φυτού και συνιστάται στο ότι επιδρούν στις εξής διεργασίες:

α) **Στην Αναπνοή:** Αυξάνεται ο ρυθμός κατανάλωσης O_2 παρουσία του φουλβικού οξέος.

β) **Στην ενζυμική ενεργότητα:** Τα χουμικά οξέα επηρεάζουν την ενεργότητα των διαφόρων ενζύμων των φυτών και τείνουν να δράσουν ως «αυξητικοί» ή «ορμονικοί» παράγοντες, διότι η δράση τους αυτή μοιάζει με εκείνη των ορμονών των φυτών.

γ) **Στο ιζώδες του κυτταρικού πρωτοπλάσματος:** Υποστηρίζεται ότι οι χουμικές ουσίες επηρεάζουν το ιζώδες της κολλοειδούς φύσης του κυτταρικού πρωτοπλάσματος. Έτσι επιταχύνεται η μετακίνηση του πρωτοπλάσματος στα κύτταρα ορισμένων φυτών.

δ) **Στην κατανομή των σακχάρων:** Τα χουμικά οξέα συμβάλλουν στην κατανομή στο φυτό των ολίγο και πολύ-σακχαριτών.

ε) **Στη σύνθεση των πρωτεϊνών:** Οι χουμικές ουσίες επιδρούν στη γένεση ορισμένων ενζύμων που έχουν σχέση με την παραγωγή πρωτεϊνών. Στην προκειμένη περίπτωση τα χουμικά οξέα αυξάνουν την ενεργότητα της ιμβέρτασης που σχετίζεται με την παραγωγή των πρωτεϊνών.

στ) **Στην παραγωγή χλωροφύλλης:** Οι χουμικές ουσίες αυξάνουν το επίπεδο της χλωροφύλλης και αποτρέπουν την εμφάνιση της χλώρωσης σιδήρου στα φυτά.

ζ) **Στη ριζοβολία:** Τα χουμικά οξέα αλλά και το φουλβικό οξύ διεγείρουν την αύξηση των ριζιδίων και προάγουν τη ριζοβολία επιταχύνοντας το φύτρωμα (βλάστηση) του σπόρου.

η) **Στα φυμάτια των ψυχανθών:** Αποδείχτηκε από σχετικά πειράματα ότι το χουμικό και το φουλβικό οξύ μείωσαν τον αριθμό των φυματίων του τριφυλλίου του λειμωνίου και αύξησαν την παραγώμενη ολική μάζα αυτών.

θ) **Στην αναστολή της δράσης του φωτός σε ορισμένα φυτά:** Οι χουμικές ουσίες περιορίζουν την ανασταλτική δράση του φωτός σε ορισμένα φυτά

ι) Στην προστασία των φυτών από τοξικές ουσίες: Η παρουσία των χουμικών ουσιών αυξάνει την αντοχή των φυτών σε ορισμένες τοξικές ουσίες που παράγονται από μερικούς μικροοργανισμούς.

Ιδιαίτερο ρόλο παίζουν οι χουμικές ουσίες στην εξουδετέρωση της τοξικής δράσης των υψηλών συγκεντρώσεων στα όξινα εδάφη του ΑΙ, καθώς και των άλλων μετάλλων των οποίων αυξάνει η διαλυτότητα λόγω του χαμηλού pH.

Οι χουμικές ουσίες μπορούν επίσης να συγκεντρώσουν ενώσεις όπως: ζιζανιοκτόνα, βαρέα μέταλλα, και να απορροφούν τις δυσάρεστες οσμές του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων.

Εξαιτίας, της ανωτέρω δράσης τους, οι χουμικές ουσίες ενεργούν προστατευτικά στο περιβάλλον τόσο υπέρ των φυτών όσο και των ανθρώπων (Κουκουλάκης et al., 2000).

7.3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ, ΛΑΣΠΗΣ ΚΑΙ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

7.3.1. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΧΟΥΜΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ -ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Με σκοπό να εξετάσουμε τις ιδιότητες των φυτών που αναφέραμε προηγουμένως, και να διορθώσουμε τα προβλήματα που προέκυψαν ο πειραματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει ένα νέο πειραματικό σχέδιο με την χρησιμοποίηση τόσο την άρδευση με Control νερό βρύσης και wastewater αλλά και με την προσθήκη χουμικού οξέος. Οι χειρισμοί που περιελάμβανε το νέο αυτό πειραματικό σχέδιο είναι οι εξής:

7.3.1.1. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ WASTEWATER, SLUDGE ΚΑΙ HUMIC ACIDS (ΗΑ) ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ-ΑΥΞΗΣΗΣ ΔΥΟ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

I. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ

A) ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ



E1 CONTROL (C)

E2 C + 200 HA

E3 WW

E4 WW+200 HA

E5 S

E6 S+200 HA

E7 S+ WW

E8 S+ WW+200 HA

E9 C+ WW

E10 C+S

E11 WW+C+200 HA

E12 C+S+200 HA

S=Sludge

WW=Wastewater

HA=Humic acids

B) ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ: 4

Γ) ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΑ ΕΙΔΗ: 2

Δ) ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΩΝ/ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΤΕΜΑΧΙΟ: 5

Ε) ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: $48 \times 2 = 96$

ΣΤ) ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΑΙΤΗΘΕΙΣΟΜΕΝΩΝ ΦΥΤΩΝ: $96 \times 5 = 480$ (240+240)

II) ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ

1) ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΝΕΙ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ:

A) Της επίδρασης των επεμβάσεων στις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών (βλαστοί, φυλλική επιφάνεια, ανάπτυξη ρίζας και ανόργανη σύνθεση όλων αυτών).

Επίσης στα χαρακτηριστικά του εδάφους (χημικά, φυσικά και βιολογικά)

B) Της επίδρασης του HA σ' όλα τα πιο πάνω χαρακτηριστικά του φυτού και του εδάφους, αλλά με σχετικά μικρή ακρίβεια λόγω του περιορισμένου βαθμού ελευθερίας (2 β.ε.) (0 και 200 ppm).

2) ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Δεν επιτρέπει τη λεπτομερή μελέτη της επίδρασης των HA λόγω του περιορισμένου αριθμού των επεμβάσεων (Μόνο δύο επίπεδα 0 και 200 ppm).

Κατά συνέπεια δεν θα μπορεί να βοηθήσει στη στοιχειοθέτηση της εφαρμογής των συμπερασμάτων στην πράξη λόγω του μικρού αριθμού των βαθμών ελευθερίας. Ωστόσο μπορεί να αποτελέσει μια καλή αρχή.



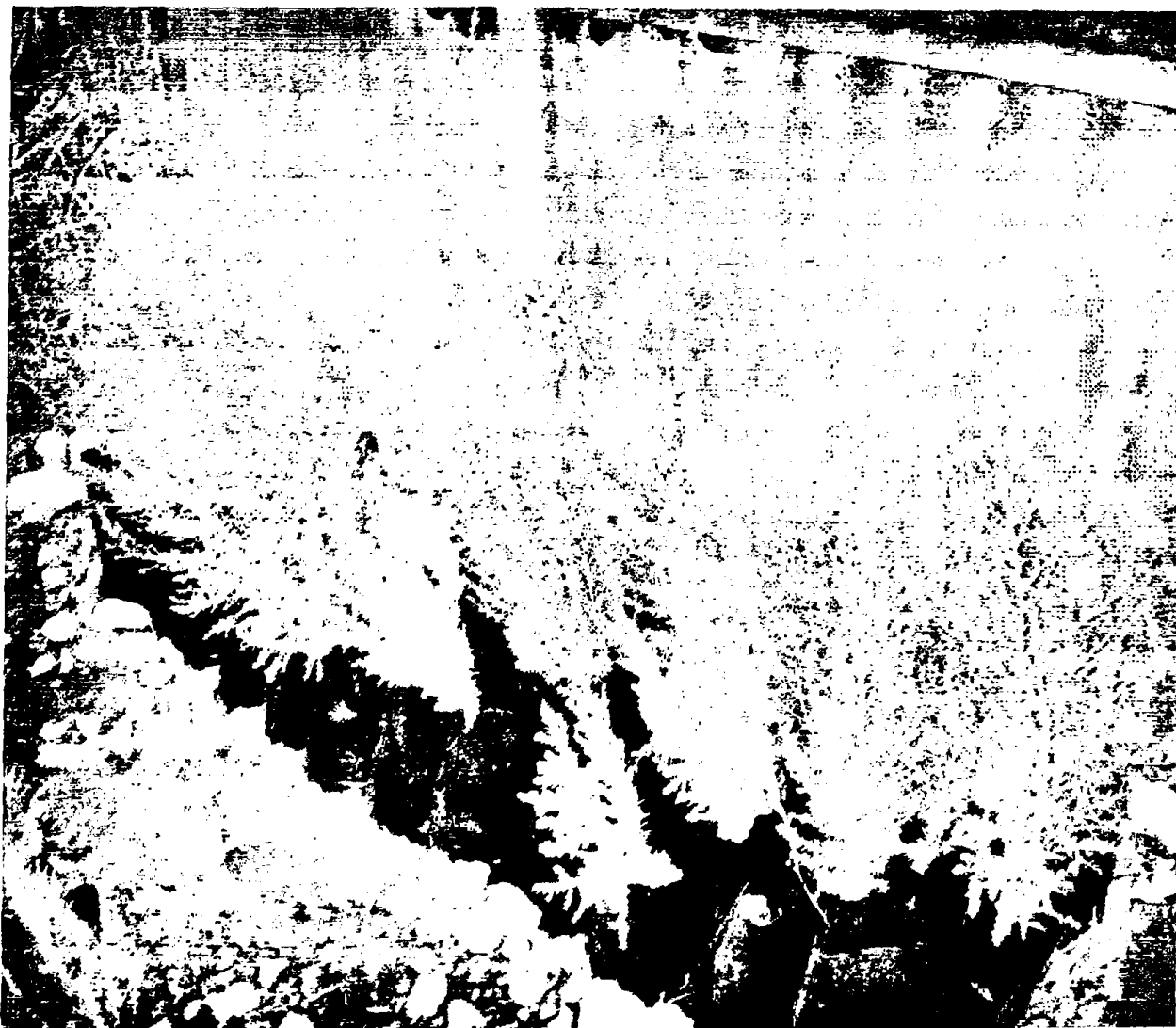
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Cupressus Arizona Greene												Pinus pinea L											
E4	E3	E8	E7	E12	E11	E1	E10	E5	E2	E6	E9	E11	E9	E12	E4	E5	E8	E6	E5	E10	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Pinus pinea L												Cupressus Arizona Greene											
E10	E12	E1	E5	E6	E2	E7	E8	E11	E9	E10	E4	E12	E1	E9	E4	E5	E8	E11	E3	E5	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Cupressus Arizona Greene												Pinus pinea L											
E6	E3	E5	E12	E11	E1	E10	E8	E2	E7	E9	E4	E9	E2	E4	E10	E5	E8	E1	E10	E6	E12	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Pinus pinea L												Cupressus Arizona Greene											
E3	E10	E6	E1	E4	E7	E11	E12	E5	E8	E9	E2	E6	E9	E3	E10	E5	E11	E7	E2	E8	E4	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ WASTEWATER, SLUDGE ΚΑΙ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

• ΦΥΤΟ
E1, E2....E12=ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση αυτού του πειραματικού ήταν τα *Cupressus Arizonica* Greene και η *Pinus pinea* L. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την φύτευση, ανάπτυξη, καλλιέργεια, και δειγματοληψία είναι αντίστοιχες με αυτές που έχουν ήδη περιγραφεί και εξηγηθεί για τα αντίστοιχα δείγματα, σε προηγούμενο κεφάλαιο.



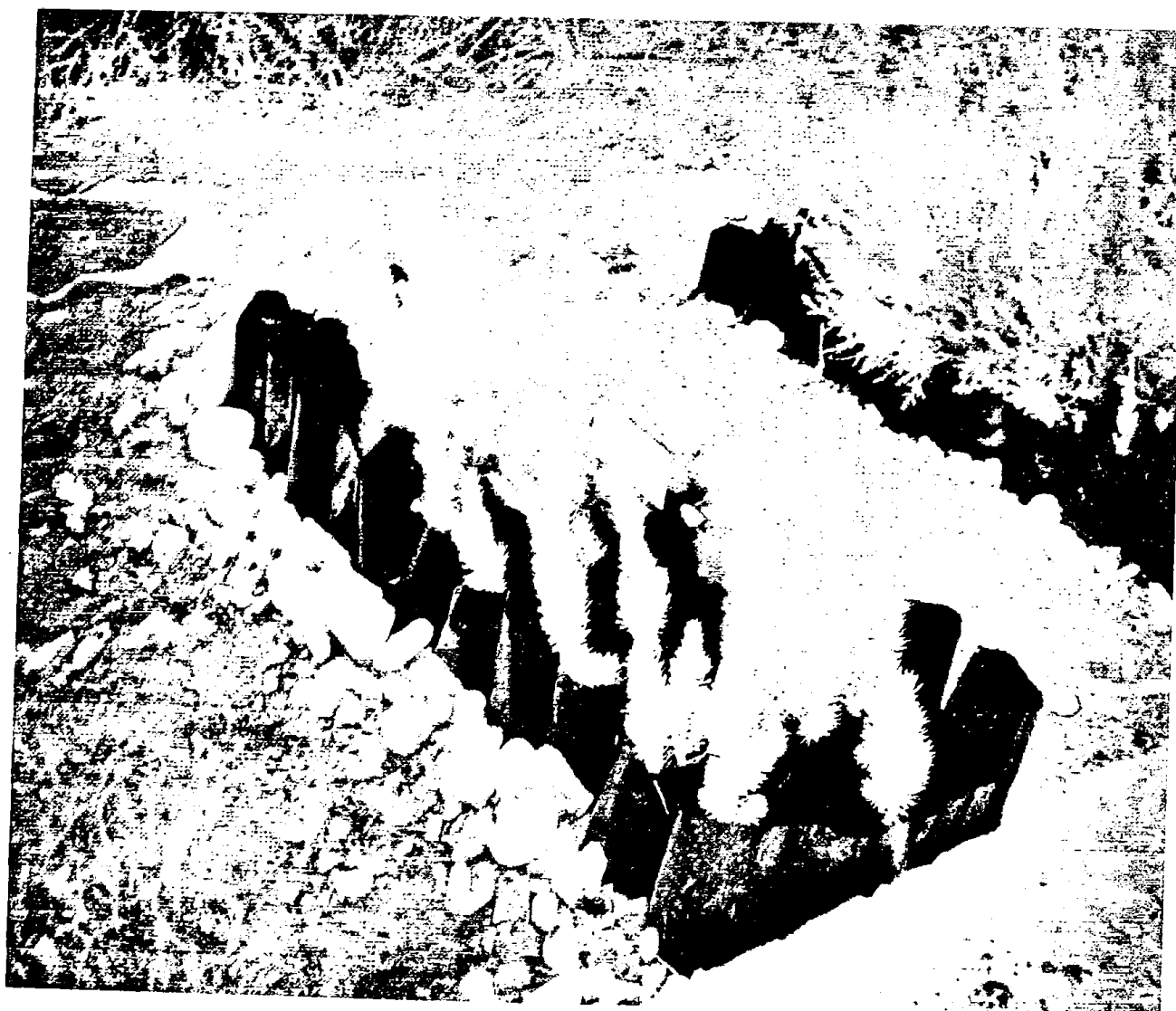
Εικόνα 7.5 Βωλόφυτο *Cupressus Arizonica* Greene της πρώτης επανάληψης



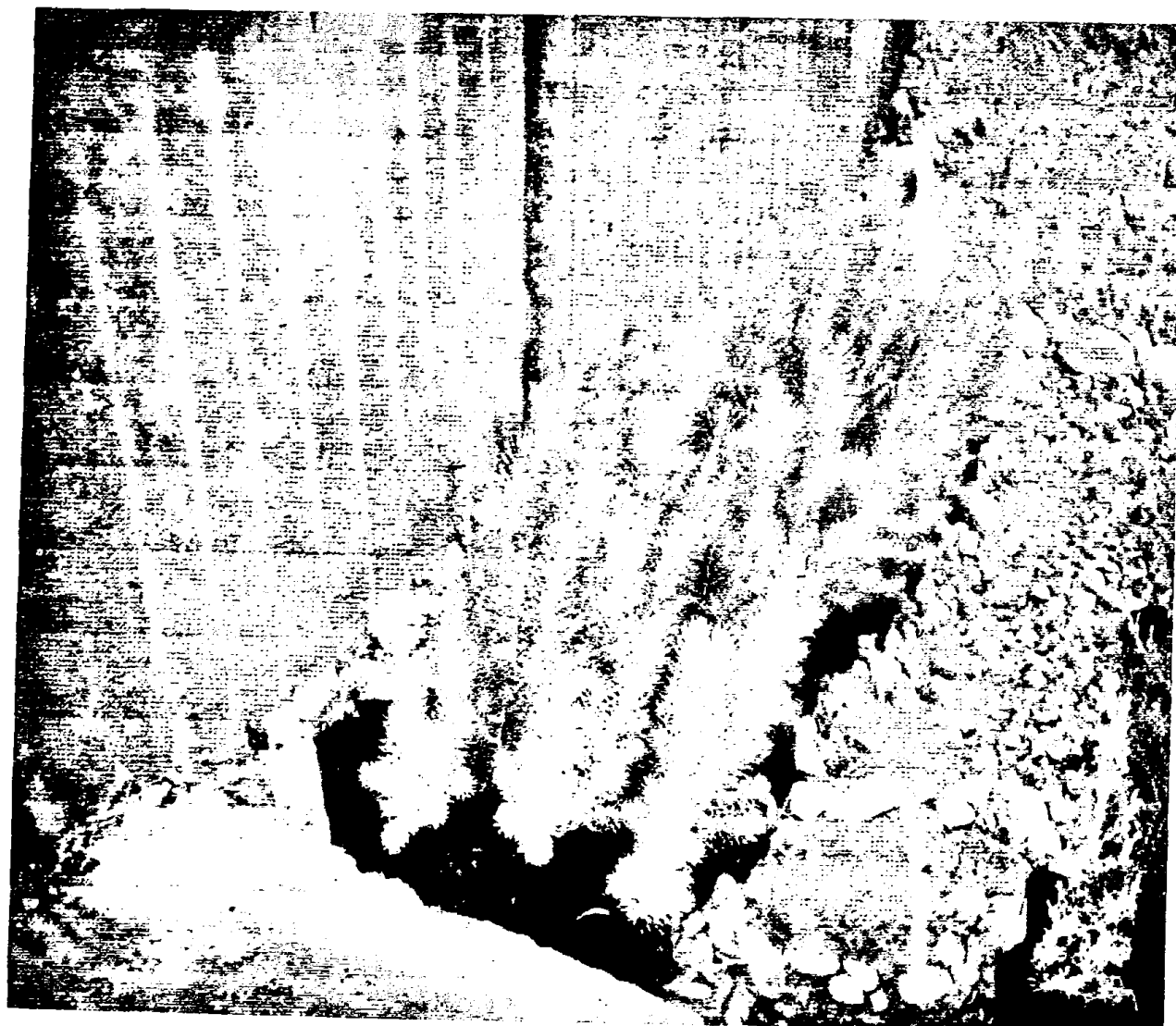
Εικόνα 7.6 Βωλόφυτο *Cupressus Arizona* Greene της δεύτερης επανάληψης



Εικόνα 7.7 Βωλόφυτο *Cupressus Arizona* Greene της τέταρτης επανάληψης



Εικόνα 7.8 Βωλόφυτο *Pinus pinea* L της πρώτης επανάληψης



Εικόνα 7.9 Βολόφυτο *Pinus pinea* L της δεύτερης επανάληψης



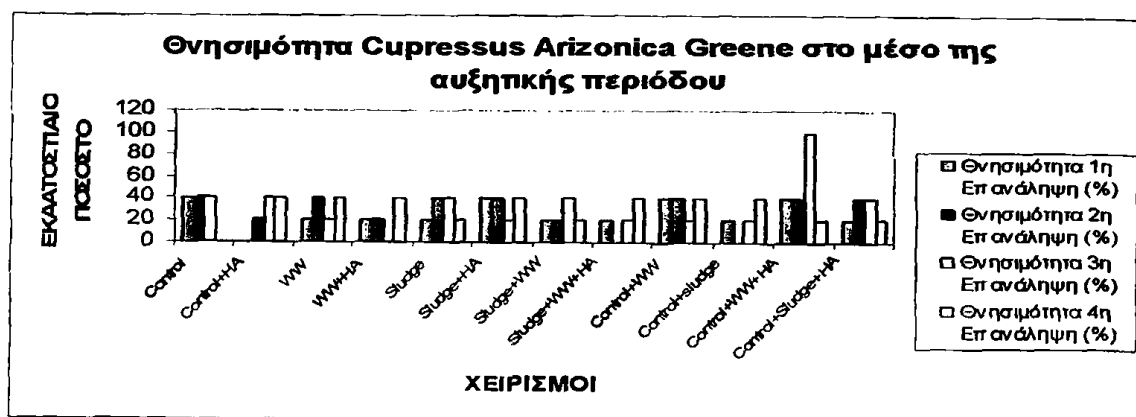
Εικόνα 7.10 Βωλόφυτο *Pinus pinea* L της τρίτης επανάληψης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

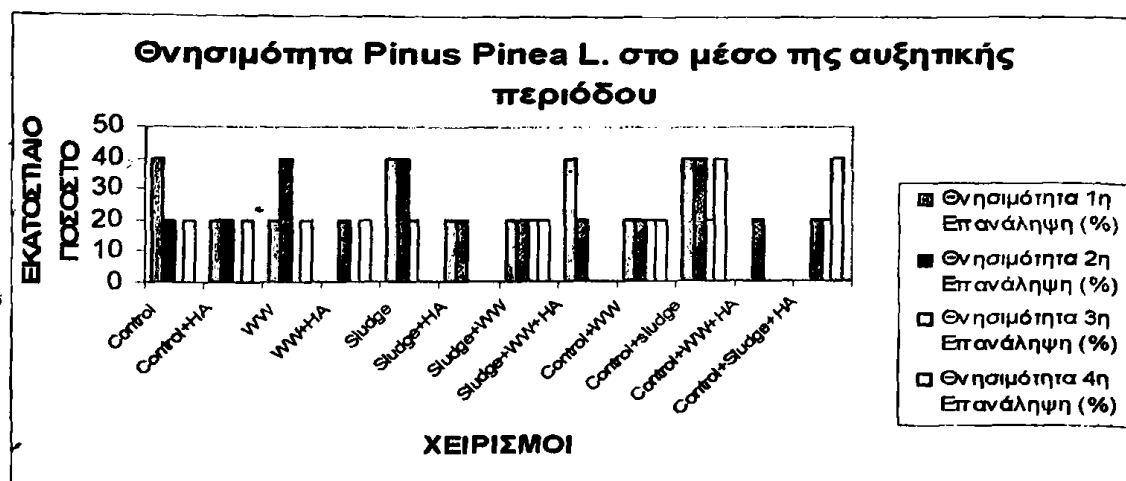
8.1. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕ ΤΟ ΧΟΥΜΙΚΟ

8.1.1. ΠΟΣΟΣΤΑ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

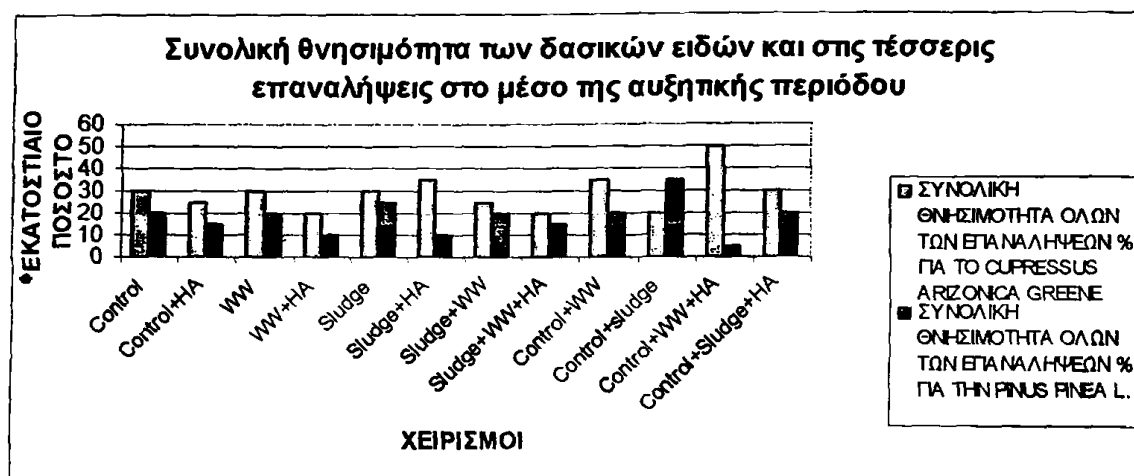
Η θνησιμότητα των φυτών, μετρήθηκε δύο φορές συνολικά, στο μέσο και στο τέλος της αυξητικής περιόδου. Η θνησιμότητα εκτιμήθηκε, με την μέτρηση των νεκρών-ξεραμένων δασικών ειδών που υπήρχαν την αντίστοιχη της μέτρησης χρονική περίοδο.



Γράφημα 8.1 Θνησιμότητα του Cupressus Arizonica Greene στο μέσο της αυξητικής περιόδου.



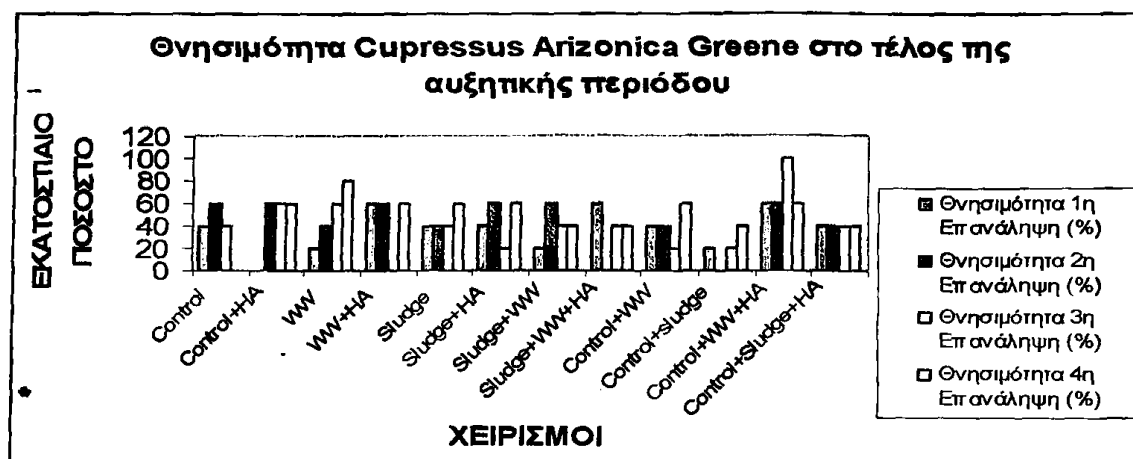
Γράφημα 8.2 Θνησιμότητα της Pinus Pineae L. στο μέσο της αυξητικής περιόδου.



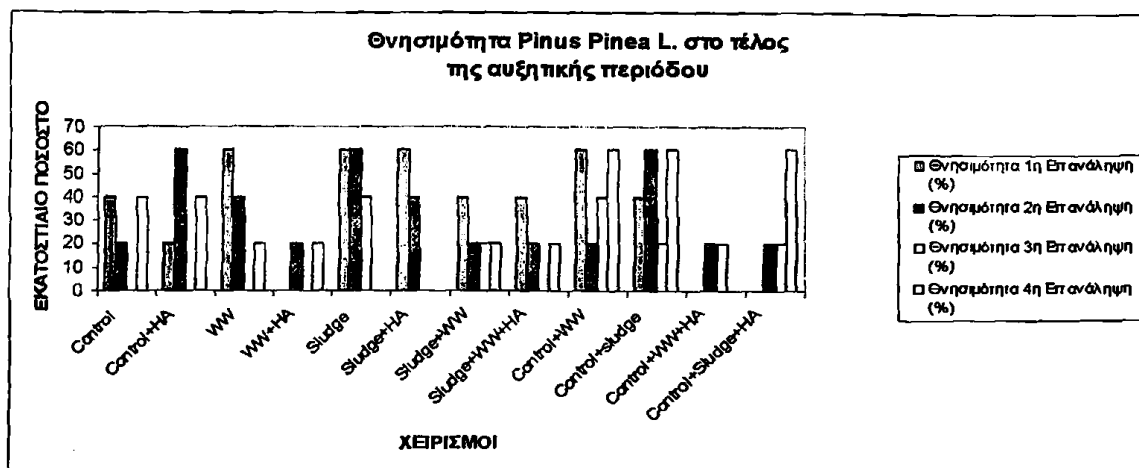
Γράφημα 8.3 Συνολική θνησιμότητα των δασικών ειδών στο μέσο της αυξητικής περιόδου.

Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική θνησιμότητα στο μέσο της αυξητικής περιόδου του *Cupressus Arizonica Greene* βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει ο χειρισμός **Control+WW+HA**, ακολουθούμενος από τους **Control+WW**, **Sludge+HA**, **WW**, **Sludge**, **Control** και **Control+Sludge+HA**. Την μικρότερη τιμή της εμφάνισε η συνολική θνησιμότητα στους χειρισμούς **Control +HA**, **WW+HA**, **Sludge+WW+HA** και **Control+Sludge**.

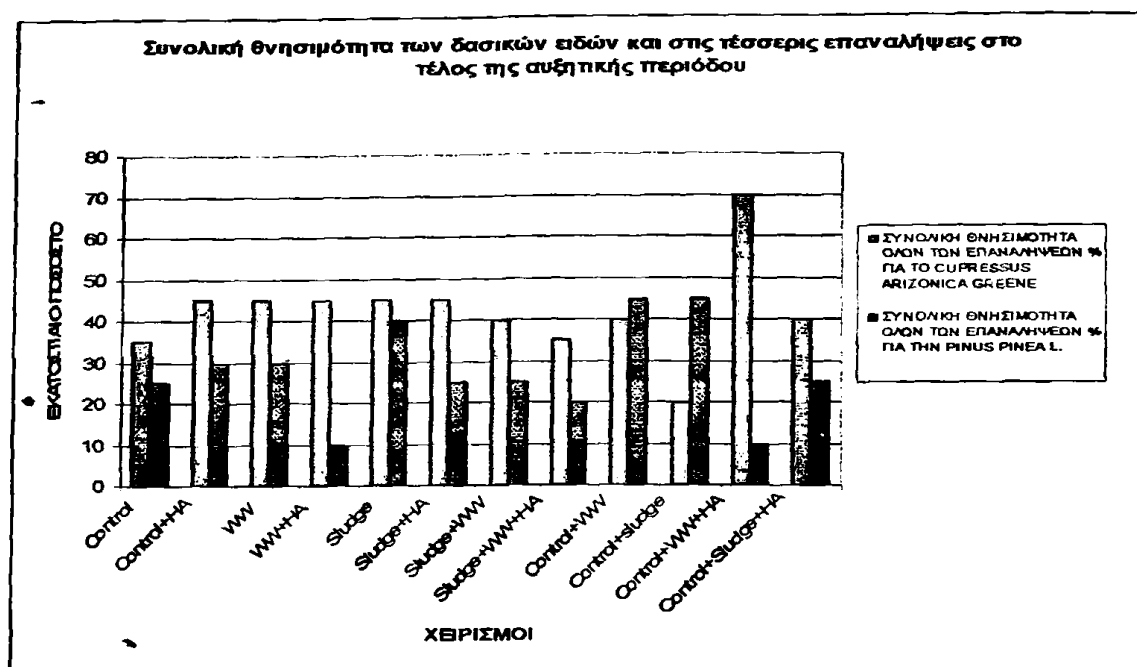
Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική θνησιμότητα στο μέσο της αυξητικής περιόδου της *Pinus pinea L.* βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη τιμή εμφάνισαν οι χειρισμοί **Control+Sludge**, ακολουθούμενος από τους **Sludge**, **Control+WW**, **Control**, **WW**, **Sludge+WW**, **Control+WW**, και **Control+sludge+HA**, **Control+HA**, **Sludge+WW+HA**, **WW+HA**, **Sludge+HA**. Την μικρότερη τιμή της εμφάνισε η συνολική θνησιμότητα στο χειρισμό **Control+WW+HA**.



Γράφημα 8.4 Θνησιμότητα του *Cupressus Arizona* Greene στο τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.5 Θνησιμότητα της *Pinus Pineae* L. στο τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.6 Συνολική θνησιμότητα των δασικών ειδών στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

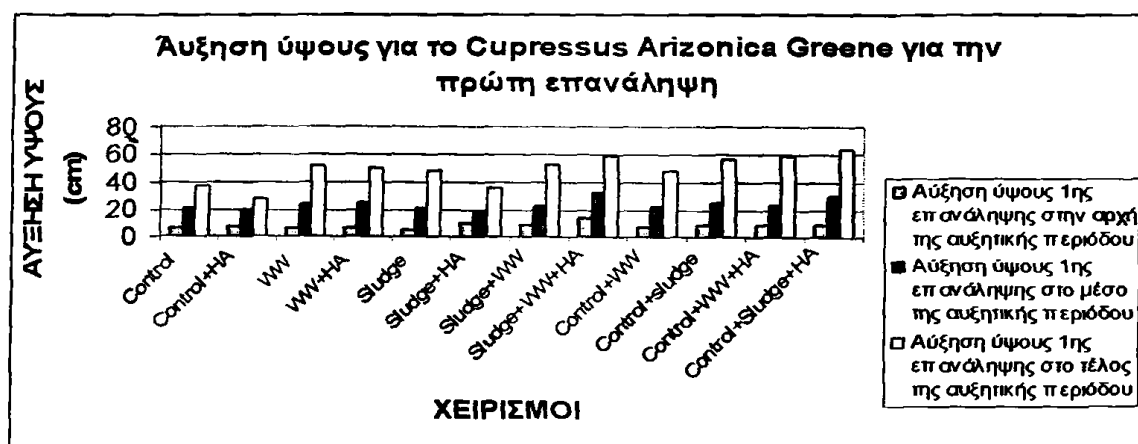
Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική θνησιμότητα στο τέλος της αυξητικής περιόδου του *Cupressus arizonica Greene* βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει ο χειρισμός Control+WW+HA, ακολουθούμενος από τους Control+HA, WW, WW+HA, Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Control+WW και Control+Sludge+HA. Την μικρότερη τιμή της εμφάνισε η συνολική θνησιμότητα στους χειρισμούς Control, Sludge+WW+HA και Control+Sludge.

Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική θνησιμότητα στο τέλος της αυξητικής περιόδου της *Pinus pinea L.* βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη τιμή εμφάνισαν οι χειρισμοί Control+Sludge και Control+WW, ακολουθούμενος από τους Sludge, Control+HA, WW, Control, Sludge+HA, Sludge+WW, Control+Sludge+HA. Την μικρότερη τιμή της εμφάνισε η συνολική θνησιμότητα στους χειρισμούς WW+HA και Control+WW+HA.

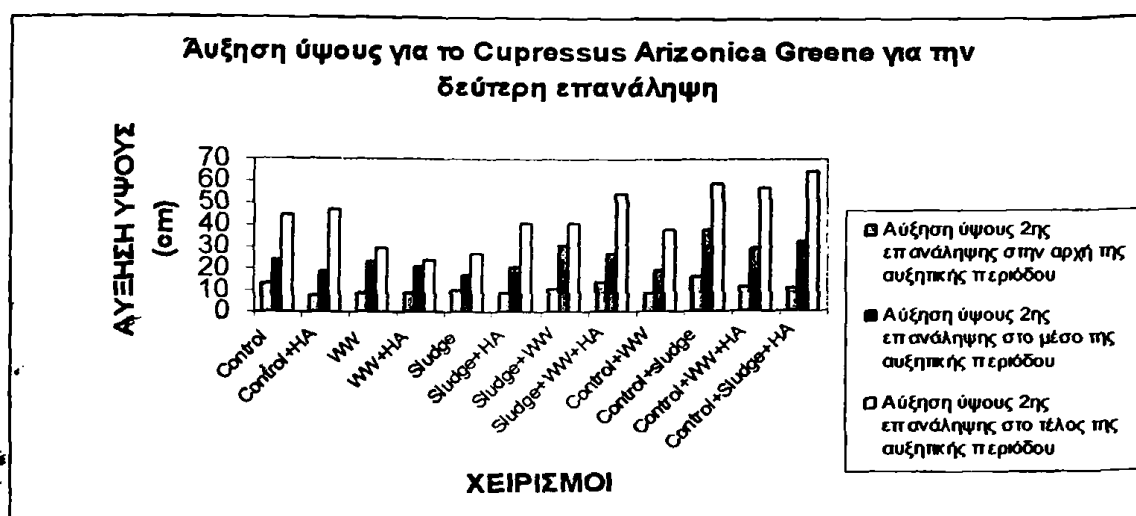
8.1.2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.1.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

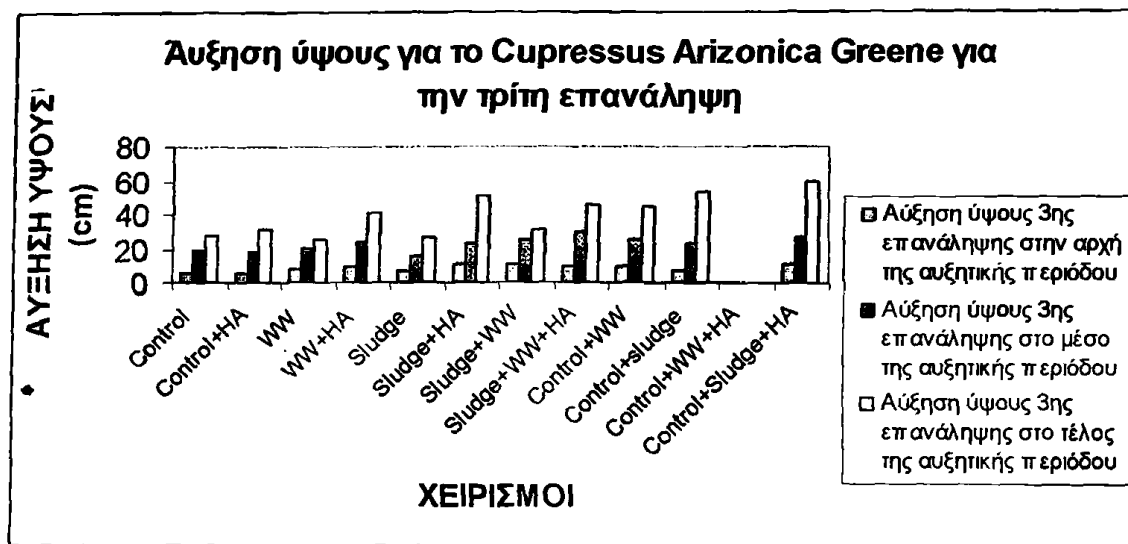
Η αύξηση των φυτών, μετρήθηκε τρεις φορές συνολικά, στην αρχή στο μέσο και στο τέλος της αυξητικής περιόδου. Η αύξηση ύψους εκτιμήθηκε, με την μέτρηση του ύψους όλων των φυτών που τελικά επιβίωσαν σε κάθε χειρισμό, από ένα σημείο κοντά στην επιφάνειά του εδάφους μέχρι το υψηλότερο σημείο της κόμης του κάθε είδους ξεχωριστά.



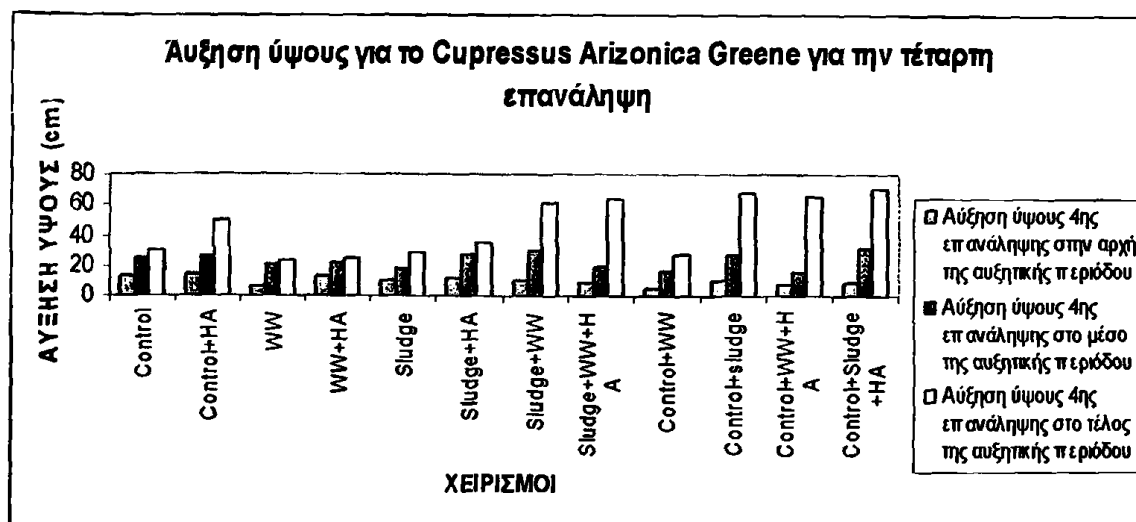
Γράφημα 8.7 Αύξηση ύψους του Cupressus Arizona Greene της πρώτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



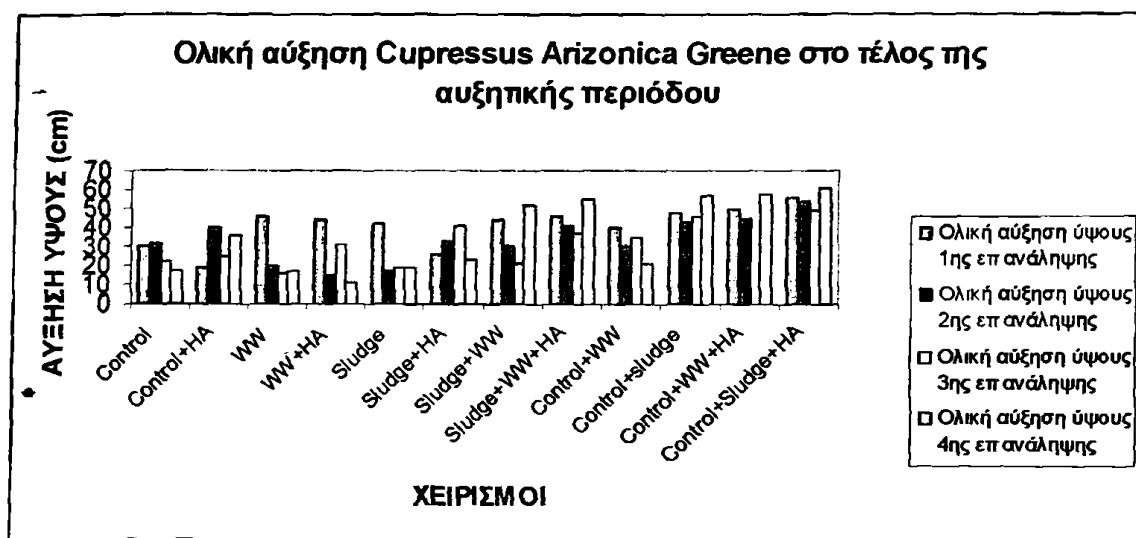
Γράφημα 8.8 Αύξηση ύψους του Cupressus Arizona Greene της δεύτερης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.9 Αύξηση ύψους του Cupressus Arizona Greene της τρίτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

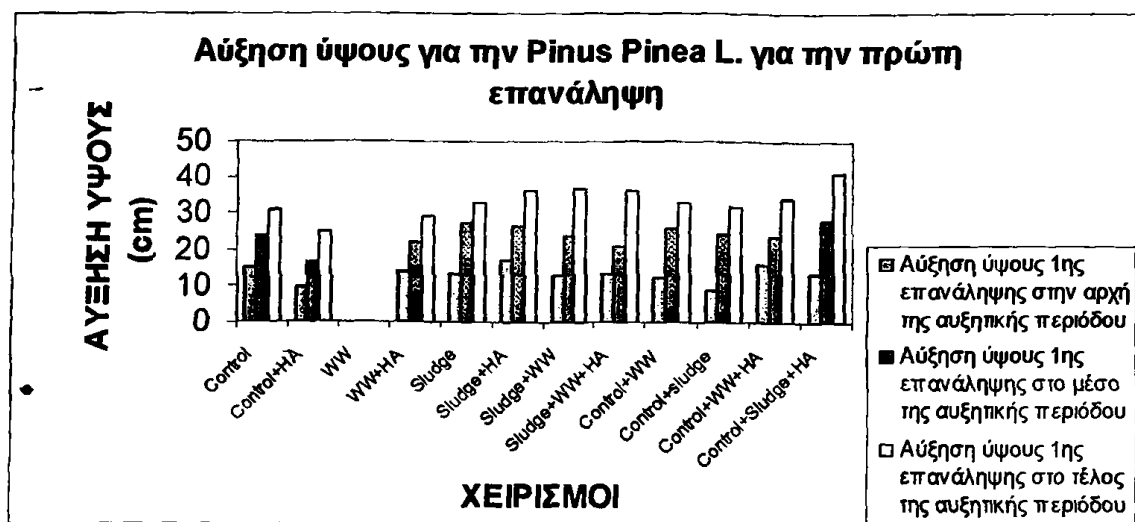


Γράφημα 8.10 Αύξηση ύψους του Cupressus Arizona Greene της τέταρτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.

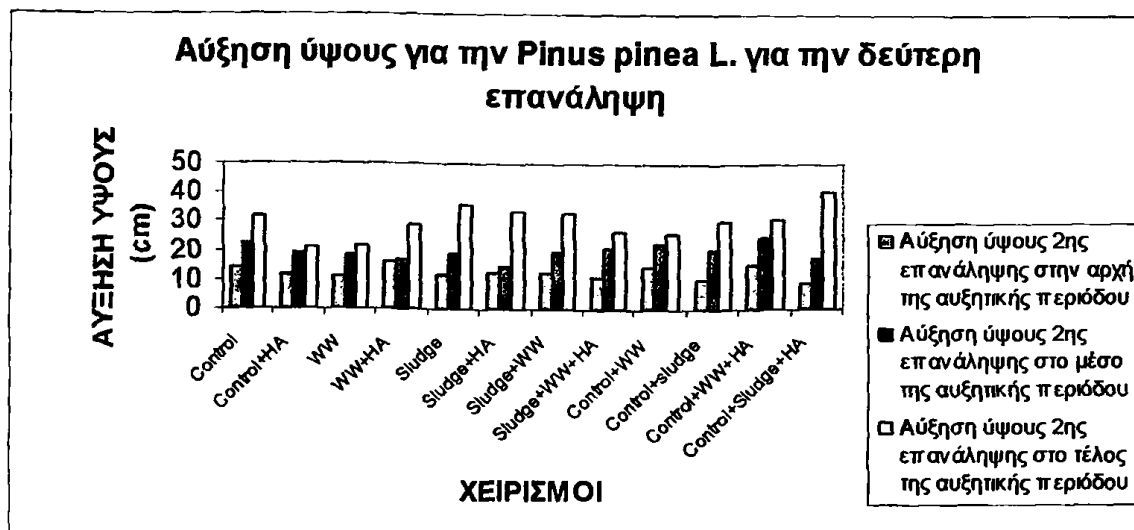


Γράφημα 8.11 Ολική αύξηση ύψους του Cupressus Arizonica Greene σε όλες τις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

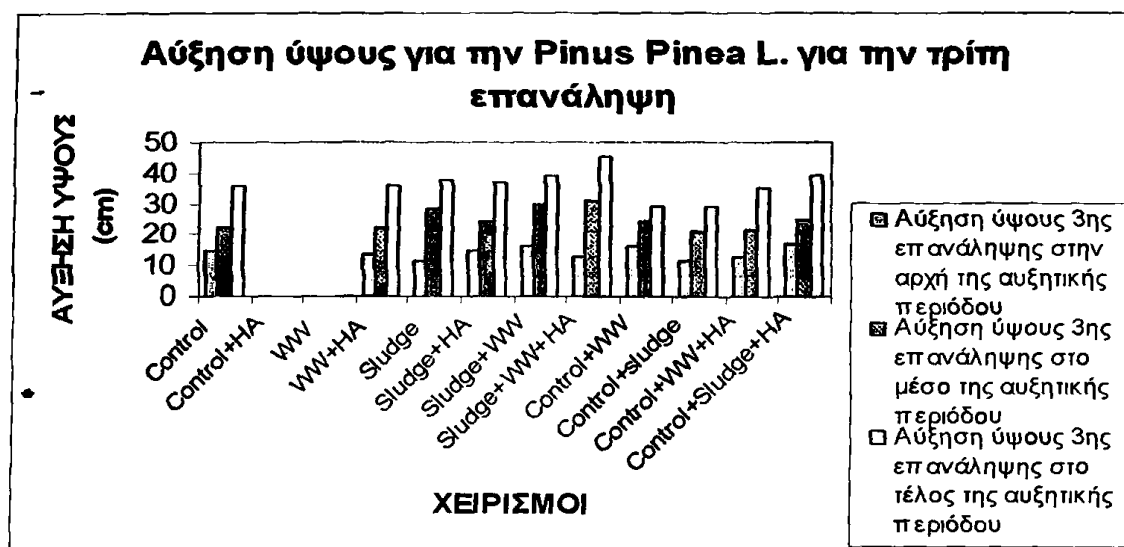
Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική αύξηση στο τέλος της αυξητικής περιόδου του Cupressus Arizonica Greene βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη αύξηση για την πρώτη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA ακολουθούμενος από τους Control+WW+HA και Control+sludge. Την μικρότερη αύξηση για την πρώτη επανάληψη εμφάνισε ο χειρισμός Control+HA. Την μεγαλύτερη αύξηση για την δεύτερη επανάληψη εμφανίζει επίσης ο χειρισμός Control+sludge+HA ακολουθούμενος από τους Control+WW+HA και Control+sludge, ενώ την μικρότερη ο χειρισμός Sludge. Για την τρίτη επανάληψη την μεγαλύτερη αύξηση εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA ακολουθούμενος από τους Control+sludge και Sludge+HA. Την μικρότερη αύξηση για την τρίτη επανάληψη εμφάνισε ο χειρισμός WW. Για την τέταρτη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA ακολουθούμενος από τους Control+WW+HA και Control+sludge. Την μικρότερη αύξηση για την πρώτη επανάληψη εμφάνισε ο χειρισμός WW.



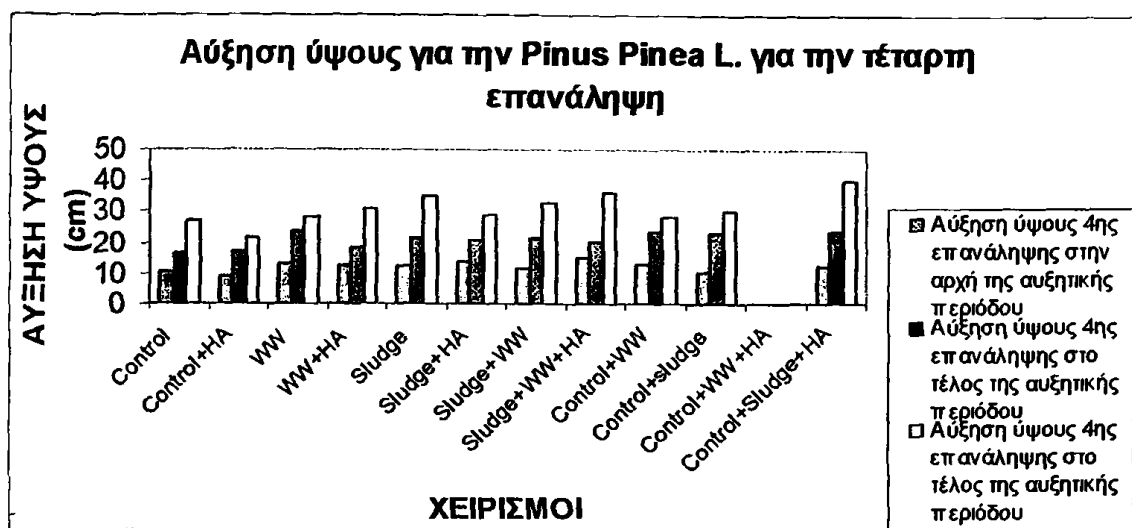
Γράφημα 8.12 Αύξηση ύψους της Pinus pinea L. της πρώτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



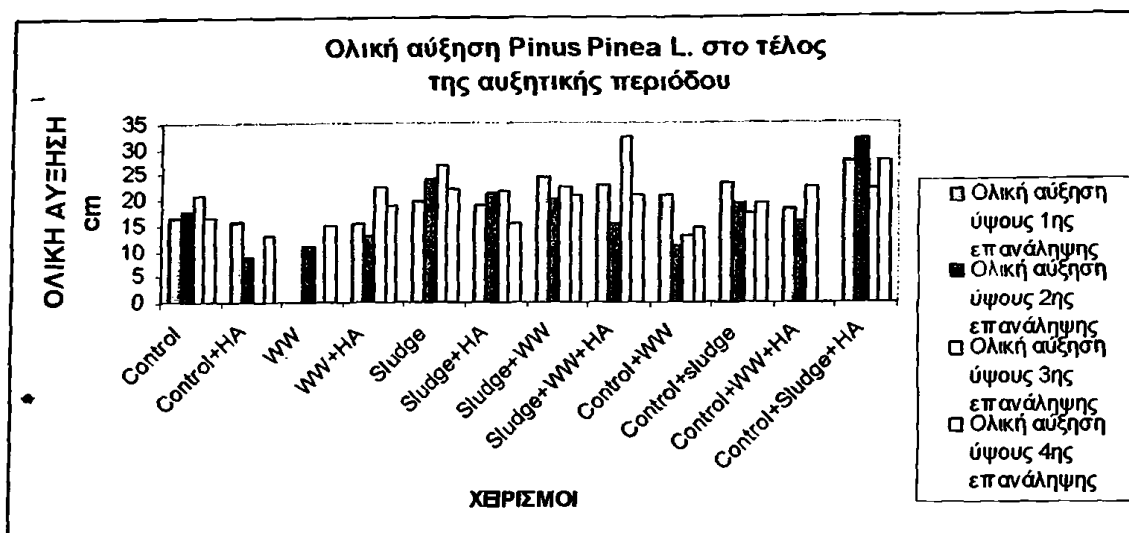
Γράφημα 8.13 Αύξηση ύψους της Pinus pinea L. της δεύτερης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.14 Αύξηση ύψους της Pinus pinea L. της τρίτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.15 Αύξηση ύψους της Pinus pinea L. της τέταρτης επανάληψης στην αρχή, στη μέση και το τέλος της αυξητικής περιόδου.



Γράφημα 8.16 Ολική αύξηση ύψους της *Pinus pinea* L. σε όλες τις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Από την προσεκτική μελέτη των παραπάνω γραφημάτων για την συνολική αύξηση στο τέλος της αυξητικής περιόδου της *Pinus pinea* L. βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη αύξηση για την πρώτη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA, ακολουθούμενος από τους Sludge+WW, Control+sludge, Sludge+WW+HA, Control+WW, Sludge, Sludge+HA, Control+WW+HA, Control. Την μικρότερη τιμή της αύξησης εμφάνισαν οι χειρισμοί Control +HA, και WW+HA. Την μεγαλύτερη αύξηση για την δεύτερη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA, ακολουθούμενος από τους Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Control+sludge, Control, Control+WW+HA, Sludge+WW+HA, WW+HA, Control+WW. Την μικρότερη τιμή της αύξησης εμφάνισαν οι χειρισμοί WW και Control +HA. Την μεγαλύτερη αύξηση για την τρίτη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Sludge+WW+HA, ακολουθούμενος από τους Sludge, Sludge+WW, Control+WW+HA, WW+HA, Control+sludge+HA, Sludge+HA, Control, Control+sludge. Την μικρότερη τιμή της αύξησης εμφάνισε ο χειρισμός Control+WW. Την μεγαλύτερη αύξηση για την τέταρτη επανάληψη εμφανίζει ο χειρισμός Control+sludge+HA, ακολουθούμενος από τους Sludge, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge, WW+HA, Control, Sludge+HA, WW, Control+WW. Την μικρότερη τιμή της αύξησης εμφάνισε ο χειρισμός Control+HA.

8.1.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Πίνακας 8.1 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την πρώτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica Greene*. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control						-3,2***	-2,4***	-6,4***		-2,6***	-2,4***	
Control+			2,2***		2,6***			-5***				
WW		-2,2***				-4***	-3,2***	-7,2***		-3,4***	-3,2***	-2,6***
WW+						3,05***	2,25***	-6,25***		-2,45***	-2,25***	
Sludge		-2,6***				-4,4***	-3,6***	-7,6***	-2,2***	-3,8***	-3,6***	-3***
Sludge+	3,2***		4***	3,05***	4,4***			-3,2***	2,2***			
Sludge+	2,4***		3,2***	2,25***	3,6***			-4***				
Sludge+	6,4***	5***	7,2***	6,25***	7,6***	3,2***	4***		5,4***	3,8***	4***	4,6***
Control+					2,2***	-2,2***		-5,4***				
Control+	2,6***		3,4***	2,45***	3,8***			-3,8***				
Control+	2,4***		3,2***	2,25***	3,6***			-4***				
Control+			2,6***		3***			-4,6***				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.2 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica Greene*. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		5,6***	4,2***	4,4***			4,75***		4,6***			

Control+	-5,6***					-3,4***		-6,6***		-8,4***	-4,35***	-3,6***
HA												
WW	-4,2***							-5,2***		-7***		
WW+	-4,4***							-5,4***		-7,2***	-3,15***	
HA												
Sludge								-4***		-5,8***		
Sludge+		3,4***						-3,2***		-5***		
HA												
Sludge+								-5,75***		-7,55***	-3,50***	
WW	4,75***											
Sludge+		6,6***	5,2***	5,4***	4***	3,2***	5,75***		5,6***			
WW+												
HA												
Control+	-4,6***							-5,6***		-7,4***	-3,35***	
WW												
Control+		8,4***	7***	7,2***	5,8***	5***	7,55***		7,4***		4,05***	4,8***
Sludge												
Control+		4,35***		3,15***			3,5***		3,35***	-4,05***		
WW+												
HA												
Control+		3,6***								-4,8***		
Sludge+												
HA												

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.3 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica* Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control			3***	4,2***		-4,6***	-4,8***	-3,53***	-4***			-4,6***
Control+ HA				-4***		-4,4***	-4,6***		-3,8***			-4,4***
WW	3***											
WW+ HA	4,2***	4***								2,8***		
Sludge						-2,8***	-3***					-2,8***
Sludge+ HA	4,6***	4,4***			2,8***					3,2***		
Sludge+ WW	4,8***	4,6***			3***					3,4***		
Sludge+ WW+HA	3,53***											
Control+ WW	4***	3,8***								2,6***		
Control+ Sludge				2,8***		-3,2***	-3,4***		-2,6***			-3,2***
Control+ WW+HA												
Control+ Sludge+HA	4,6***	4,4***			2,8***					3,2***		

	Χειρισμοί											
Χειρισμοί	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control					-4***		2,6***	-5***				3,2***
Control+ HA					- 3,4***		3,2***	-4,4***				3,8***
WW												
WW+ HA					-4***			-5***				3,2***
Sludge	4***	3,4***		4***		3***	6,6***			2,6***	2,8***	7,2***
Sludge+ HA				-3***			3,6***	-4***				4,2***
Sludge+ WW	- 2,6***	-3,2***		- 2,6***	- 6,6***	-3,6***		-7,6***		-4,2***	-3,8***	
Sludge+ WW+ HA	5***	4,4***		5***		4***	7,6***			3,4***	3,8***	8,2***
Control+ WW							5,26***					5,86***
Control+ Sludge							4,2***	-3,4***				4,8***
Control+ WW+ HA					- 2,8***		3,8***	-3,8***				4,4***
Control+ Sludge+ HA	- 3,2***	-3,8***		- 3,2***	- 7,2***	-4,2***		-8,2***	-5,86***	-4,8***	-4,4***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.6 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

	Χειρισμοί											
Χειρισμοί	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		2,2***			2,4***			2,8***		3,73***		5,4***
Control+ HA	-2,2***			-3,8***					-2,8***		-3,2***	3,2***
WW	-3,4***			-5***					-4***		-4,4***	
WW+ HA		3,8***	5***		4***	3,33***	3***	4,4***		5,33***		7***
Sludge	-2,4***			-4***					-3***		-3,4***	3***
Sludge+ HA				- 3,33***					-2,33***		-2,73***	3,66***
Sludge+ WW				-3***					-2***	2,33***	-2,4***	4***
Sludge+ WW+ HA	-2,8***			-4,4***					-3,4***		-3,8***	2,6***
Control+ WW												
Control+ Sludge	- 3,73***	2,8***	4***	3***		2,33***	2***	3,4***	-4,33***	4,33***	-4,73***	6***
Control+ WW+ HA		3,2***	4,4***		3,4***	2,73***	2,4***	3,8***	4,73***			6,4***

Control+ Sludge+ HA	-5,4***	-3,2***		-7***	-3***	-3,66***	-4***	-2,6***	-6***		-6,4***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.7 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control					3,6***			2,2***		3,2***	2,4***	-2***
Control+ HA												
WW												
WW+ HA					2,2***		-2,8***		-2,6***	1,8***		-3,4***
Sludge						-3,8***	-5***		-4,8***			-5,6***
Sludge+ HA	3,6***			2,2***								
Sludge+ WW					3,8***			2,4***		3,4***	2,6***	-1,8***
Sludge+ WW+ HA				2,8***	5***			3,6***		4,6***	3,8***	
Sludge+ WW+ HA	2,2***					-2,4***	-3,6***		-3,4***			-4,2***
Control+ WW				2,6***	4,8***			3,4***		4,4***	3,6***	
Control+ Sludge	3,2***			1,8***	3,4***		-4,6***		-4,4***			-5,2***
Control+ WW+ HA	2,4***					-2,6***	-3,8***		-3,6***			-4,4***
Control+ Sludge+ HA	2***			3,4***	5,6***	1,8***		4,2***		5,2***	4,4***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.8 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην αρχή της αυξητικής περιόδου για την τέταρτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control			-		-	-		-4,6***	-3,06***			-2,06***
Control+ HA			2,86***		2,46***	3,46***						
WW			-4***	-3***	-3,6***	-4,6***	-2,8***	-5,8***	-4,2***			-3,2***
WW+ HA	2,86***	4***						-1,8***		2,53***		
Sludge		3***						-2,8***				
Sludge+ HA	2,46***	3,6***						-2,2***		2,13***		
Sludge+ WW	3,46***	4,6***					1,8***			3,13***		
Sludge+ WW+HA		2,8***				-1,8***		-3***				
Control+ WW	4,6***	5,8***	1,8***	2,8***	2,2***		3***			4,3***		2,6***
Control+ Sludge	3,066***	4,2***								2,73***		
Control+ WW+HA			-		-	-		-4,33***	-2,73***			
Control+ Sludge+HA			2,53***		2,13***	3,13***						
Control+ WW+HA												
Control+ Sludge+HA	2,066***	3,2***						-2,6***				

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

8.1.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Πίνακας 8.9 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου για την πρώτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica* Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control				5,4***								

Control+ HA				5,6***								
WW												
WW+ HA	5,4***	-5,6***					-5***	-6,25***		-6,2***		-8***
Sludge												
Sludge+ HA												-4,8***
Sludge+ WW				5***								
Sludge+ WW+ HA				6,25***					4,65***			
Control+ WW								-4,65***		-4,6***		-6,4***
Control+ Sludge				6,2***					4,6***			
Control+ WW+ HA												
Control+ Sludge+ HA				8***		4,8***			6,4***			

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.10 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica Greene*. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control								-5,9***				
Control+ HA			4,2***					-9,6***		-7***	-6,7***	-4,86***
WW		4,2***			5,5***			-5,4***				
WW+ HA								-7,4***				
Sludge			5,5***					-		-8,3***	-8***	-6,16***
Sludge+ HA								10,90***		-4,6***		
Sludge+ WW								-6,4***				
Sludge+ WW+ HA	5,9***	9,6***	5,4***	7,4***	10,9***	7,2***	6,4***		8,4***			
Control+ WW								-8,4***		-5,8***		
Control+ Sludge		7***		4,8***	8,3***	4,6***			5,8***			
Control+ WW+ HA		6,7***			8***				5,5***			
Control+ Sludge+ HA		4,86***			6,16***							

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.11 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το Cupressus Arizonica Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		-3,33***	-	-8***		-8,8***	-6***	-5,5***	-5,8***			-9,2***
Control+ HA	3,33***			-		-						-5,86***
WW	3,8***			4,66***		5,46***						-5,4***
WW+ HA	8***	4,66***	4,2***		5,8***					6,5***		
Sludge				-5,8***		-6,6***	-3,8***	-3,3***	-3,6***			-7***
Sludge+ HA	8,8***	5,46***	5***		6,6***			3,3***	3***	7,3***		
Sludge+ WW	6***				3,8***					4,5***		-3,2***
Sludge+ WW+ HA	5,5***				3,3***	-3,3***				4***		-3,7***
Control+ WW	5,8***				3,6***	-3***				4,3***		-3,4***
Control+ Sludge				-6,5***		-7,3***	-4,5***	-4***	-4,3***			-7,7***
Control+ WW+ HA												
Control+ Sludge+ HA	9,20***	5,86***	5,4***		7***		3,2***	3,7***	3,4***	7,7***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.12 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στην μέση της αυξητικής περιόδου για την τέταρτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το Cupressus Arizonica Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		-3,8***		-5***		-4***	-	-4,6***		-4,8***		-5,93***
Control+ HA	3,8***		4,8***				4,35***					

HA												
WW	-	-4,8***		-6***		-5***	-	-5,35***	-5,6***		-5,8***	-6,93***
WW+ HA	5***		6***		4,2***					3,73***		
Sludge				-4,2***		-3,2***	-	3,55***	-3,8***		-4***	-5,13***
Sludge+ HA	4***				3,2***					5***		
Sludge+ WW	4,35***		5,35***		3,55***							
Sludge+ WW+ HA	4,6***		5,6***		3,8***							
Control+ WW				3,73***								-4,66***
Control+ Sludge	4,8***		5,8***		4***							
Control+ WW+ HA												-4,08***
Control+ Sludge+ HA	5,93***		6,93***		5,13***					4,66***	4,083***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.13 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο μέσο της αυξητικής περιόδου για την πρώτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

	Χειρισμοί											
Χειρισμοί	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control						-6,5***					-4,45***	-6,85***
Control+ HA				-3,6***	- 4,45***	- 8,45***	-3,4***	-3,7***	-4,2***	-2,8***	-6,4***	-8,8***
WW												
WW+ HA		3,6***				- 4,85***					-2,8***	-5,2***
Sludge		4,45***				-4***						-4,35***
Sludge+ HA	6,5***	8,45***		4,85***	4***		5,05***	4,75***	4,25***	6,25***		
Sludge+ WW		3,4***				- 5,05***					-3***	-5,4***
Sludge+ WW+ HA		3,7***				- 4,75***					-2,7***	-5,1***
Control+ WW		4,2***				- 4,25***						-4,6***
Control+ Sludge						- 6,25***					-4,2***	-6,6***
Control+ WW+ HA	4,45***	6,4***		2,8***			3***	2,7***		4,2***		
Control+ Sludge+ HA	6,85***	8,8***		5,2***	4,35***		5,4***	5,1***	4,6***	6,6***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.14 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο μέσο της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control			2,15***				-3***	-2,05***	-4,65***		-2,25***	-4,05***
Control+ HA							-3,55***	-2,6***	5,2***	-2,22***	-2,8***	-4,6***
WW	2,15***				-2,9***		5,15***	-4,2***	-6,8***	-3,8***	-4,4***	-6,2***
WW+ HA							-4***	-3,05***	5,65***	-2,65***	-3,25***	-5,05***
Sludge			2,9***				2,25***		-3,9***			-3,3***
Sludge+ HA							3,75***	-2,8***	-5,4***	-2,4***	-3***	-4,8***
Sludge+ WW	3***	3,55***	5,15***	4***	2,25***	3,75***						
Sludge+ WW+ HA	2,05***	2,6***	4,2***	3,05***		2,8***			-2,6***			-2***
Control+ WW	4,65***	5,2***	6,8***	5,65***	3,9***	5,4***		2,6***		3***	2,4***	
Control+ Sludge		2,2***	3,8***	2,65***		2,4***			-3***			-2,4***
Control+ WW+ HA	2,25***	2,8***	4,4***	3,25***		3***			-2,4***			-1,8***
Control+ Sludge+ HA	4,05***	4,6***	6,2***	5,05***	3,3***	4,8***		2***		2,4***	1,8***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.15 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο μέσο της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+ HA
Control						2,55***	3,35***	-5,75***	-6,55***		-2,95***	-3,95***
Control+ HA												

WW												
WW+ HA						-2,8***	-3,6***	-6***	-6,8***		-3,2***	-4,2***
Sludge						-3,2***	-4***	-6,4***	-7,2***	-2,2***	-3,6***	-4,6***
Sludge+ HA	2,55***			2,8***	3,2***			-3,2***	-4***			
Sludge+ WW	3,35***			3,6***	4***			-2,4***	-3,2***	1,8***		
Sludge+ WW+ HA	5,75***			6***	6,4***	3,2***	2,4***			4,2***	2,8***	1,8***
Control+ WW	6,55***			6,8***	7,2***	4***	3,2***			5***	3,6***	2,6***
Control+ Sludge					2,2***		-1,8***		-5***			-2,4***
Control+ WW+ HA	2,95***			3,2***	3,6***			-2,8***	-3,6***			
Control+ Sludge+ HA	3,95***			4,2***	4,6***			-1,8***	-2,6***	2,4***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.16 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο μέσο της αυξητικής περιόδου για την τέταρτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control						-2,4***	-4,6***	-7***	-8***	-3,33***		-5,8***
Control+ HA			2,83***	2,33***	2,13***	3,73***	5,93***	-8,33***	-9,33***	-4,66***		-7,13***
WW		2,83***					-3,1***	-5,5***	-6,5***	-1,9***		-4,3***
WW+ HA		2,33***					-3,6***	-6***	-7***	-2,33***		-4,8***
Sludge		2,13***						-6,2***	-7,2***	-2,53***		-5***
Sludge+ HA	2,4***	3,73***					-2,2***	-4,6***	-5,6***			-3,4***
Sludge+ WW	4,6***	5,93***	3,1***	3,6***	3,8***	2,2***		-2,4***	-3,4***			
Sludge+ WW+ HA	7***	8,33***	5,5***	6***	6,2***	4,66***	2,4***			3,66***		
Control+ WW	8***	9,33***	6,5***	7***	7,2***	5,6***	3,4***			4,66***		2,2***
Control+ Sludge	3,33***	4,66***		2,33***	2,53***			-3,66***	-4,66***			-2,46***
Control+ WW+ HA												
Control+ Sludge+ HA	5,8***	7,13***	4,3***	4,8***	5***	3,4***			-2,2***	2,46***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

8.1.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Πίνακας 8.17 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την πρώτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica Greene.* (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		9,6***	-	-13,5***	-	-	-	-22***	-11***	-	-22***	-27,33***
Control+HA	-9,6***		-	-23,1***	-	-8,26***	-	-31,6***	-20,6***	-	-31,6***	-36,93***
WW	14,75***	24,35***			4,083***	16,083***		-7,25***	3,75***	-5,00***	-7,25***	-12,58***
WW+HA	13,50***	23,10***				14,83***		-8,5***		-6,25***	-8,5***	-13,83***
Sludge	10,66***	20,26***	-			12***	-			-9,08***	-	-16,66***
Sludge+HA		8,26***	-	-	-12***		-				11,33***	-
Sludge+WW		16,08***	14,83***			17,83***	23,33***	12,33***	21,08***	23,33***		-28,66***
Sludge+WW+HA	15,75***	25,35***			5,083***	17,08***		-6,25***	4,75***	-4***	-6,25***	-11,58***
Control+WW	22***	31,6***	7,25***	8,5***	11,33***	23,33***	6,25***		11***			-5,33***
Control+Sludge	11***	20,6***	-3,75***			12,33***	-4,75***	-11***		-8,75***	-11***	-16,3***
Control+WW+HA	19,75***	29,35***	5***	6,25***	9,08***	21,08***	4***		8,75***			-7,58***
Control+Sludge+HA	22***	31,6***	7,25***	8,5***	11,33***	23,33***	6,25***		11***			-5,33***
Sludge+HA	27,33***	36,93***	1,58***	13,83***	16,66***	28,66***	11,58***	5,33***	16,33***	7,58***	5,33***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.18 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το Cupressus Arizonica Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		-2,5***	15,83***	20,5***	17,83***	3,5***	4***	-10,10***	6,83***	-14,3***	-12,5***	-20,16***
Control+	2,5***		18,33***	23***	20,33***	6***	6,5***	-7,6***	9,33***	-11,8***	-10***	-17,66***
WW	-15,83***	-18,33***		4,6***	2***	-12,33***	-11,83***	-25,93***	-9***	-30,13***	-28,33***	-36***
WW+	-20,5***	-23***	-4,66***		-2,66***	-17***	-16,5***	-30,6***	-13,66***	-34,8***	-33***	-40,6***
Sludge	-17,83***	-20,33***	-2***	2,66***		-14,33***	-13,83***	-27,93***	-11***	-32,13***	-30,33***	-38***
Sludge+	-3,5***	-6***	12,33***	17***	14,33***	3,33***		-13,6***		-17,8***	-16***	-23,66***
Sludge+ WW	-4***	-6,5***	11,83***	16,5***	13,83***			-14,1***	2,83***	-18,3***	-16,5***	-24,16***
Sludge+ WW+HA	10,10***	7,6***	25,93***	30,6***	27,93***	13,6***	14,10***		16,93***	-4,2***	-2,4***	-10,06***
Control+ WW	-6,83***	-9,33***	9***	13,66***	11***	-3,33***	-2,83***	-16,93***		-21,13***	-19,33***	-27***
Control+ Sludge	14,3***	11,8***	30,13***	34,8***	32,13***	17,8***	18,3***	4,2***	21,13***		1,8***	-5,86***
Control+ WW+HA	12,5***	10***	28,33***	33***	30,33***	16***	16,5***	2,4***	19,33***	-1,8***		-7,66***
Control+ Sludge+HA	20,16***	17,66***	36***	40,66***	38***	23,66***	24,16***	10,06***	27***	5,86***	7,66***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.19 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το Cupressus Arizonica Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		-3,33***	2,66***	-13,13***	1***	-23,08***	-4***	-18,33***	17,08***	-24,83***		-31***
Control+	3,33***		6***	-9,8***	4,33***	-19,75***		-15***	-13,75***	-21,5***		-27,66***
WW	-2,66***	-6***		-15,8***	-1,66***	-25,75***	-6,66***	-21***	-19,75***	-27,5***		-33,66***
WW+	13,13***	9,8***	15,8***	14,13***		-9,95***	9,13***	-5,2***	-3,95***	-11,7***		-17,86***

ge	-1***	-4,33***	1,66***	-	14,13***	-	24,08***	-5***	-	19,33***	-	18,08***	-	25,83***	-	-32***
ge+	23,08***	19,75***	25,75***	9,95***	24,08***	-	19,08***	4,75***	6***	-1,75***	-	-7,91***	-	-	-	-7,91***
ge+	4***	-	6,66***	-9,13***	5***	-	19,08***	-	14,33***	-	13,08***	-	20,83***	-	-27***	-27***
ge+	18,33***	15***	21***	5,2***	19,33***	-4,75***	14,33***	-	1,25***	-6,5***	-	-12,66***	-	-	-	-12,66***
rol+	17,08***	13,75***	19,75***	3,95***	18,08***	-6***	13,08***	-1,25***	-	-7,75***	-	-13,91***	-	-	-	-13,91***
rol+	24,83***	21,5***	27,5***	11,7***	25,83***	1,75***	20,83***	6,5***	7,75***	-	-	-6,16***	-	-	-	-6,16***
rol+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
rol+	31***	27,66***	33,66***	17,86***	32***	7,91***	27***	12,66***	13,91***	6,16***	-	-	-	-	-	-

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.20 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την τέταρτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για το *Cupressus Arizonica* Greene. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
rol	-	19,8***	-18,7***	11,8***	-21,2***	24,3***	-	22,13***	17,8***	-2,86***	-23,7***	-12,86***
rol+	-19,8***	-	-38,5***	-8***	-41***	4,5***	-16,86***	2,33***	-2***	-22,6***	-43,5***	-32,6***
rol+	18,7***	38,5***	-	30,50***	-2,5***	43***	1,83***	40,83***	36,5***	15,83***	-5***	5,8***
rol+	-11,8***	8***	-30,5***	-	-33***	12,5***	-	10,33***	6***	-	-35,5***	-24,66***
ge	21,2***	41***	2,5***	33***	-	45,5***	4,33***	43,3***	39***	-	14,66***	8,33***
ge+	-24,3***	-4,5***	-43***	-12,5***	-45,5***	-	-	-2,16***	-6,5***	-	-48***	-37,16***
ge+	16,86***	36,66***	-1,83***	28,66***	-4,33***	41,16***	36,66***	39***	34,66***	14***	-6,83***	4***
ge+	-	-2,33***	-	-	-	2,16***	-39***	-	-4,33***	-25***	-	-35***
ge+	22,13***	-	40,83***	10,33***	43,33***	-	-	-	-	-	45,83***	-
rol+	-17,8***	2***	-36,5***	-6***	-39***	6,5***	-34,6***	4,3***	-	-	-41,5***	-30,6***
rol+	2,86***	22,6***	-	14,66***	-	27,16***	-14***	25***	20,66***	20,66***	-	-10***
rol+	23,7***	43,5***	5***	35,5***	2,5***	48***	6,83***	45,83***	41,5***	20,83***	-	10,83***
rol+	12,86***	32,66***	-5,83***	24,66***	-8,3***	37,16***	-4***	35***	30,66***	10***	-	-
ge+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,83***	-

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.21 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την πρώτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		6,25***		2,4***	-2***	-5***	-6***	-4,66***	-2***		-2,8***	-9,8***
Control+ HA	- 6,25***			- 3,85***	- 8,25***	- 11,25***	- 12,25***	- 10,91***	-8,25***	-6,91***	-9,05***	-16,05***
WW												
WW+ HA	-2,4***	3,85***			-4,4***	-7,40***	-8,4***	-7,06***	-4,4***	-3,06***	-5,2***	-12,2***
Sludge	2***	8,25***		4,4***		-3***	-4***	-2,66***		1,33***	-0,8***	-7,8***
Sludge+ HA	5***	11,25***		7,4***	3***		-1***		3***	4,33***	2,2***	-4,8***
Sludge+ WW	6***	12,25***		8,4***	4***	1***		1,33***	4***	5,33***	3,2***	-3,8***
Sludge+ WW+ HA	4,66***	10,91***		7,06***	2,66***		-1,33***		2,66***	4***	1,86***	-5,13***
Control+ WW	2***	8,25***		4,4***		-3***	-4***	-2,66***		1,33***	-0,8***	-7,8***
Control+ Sludge		6,91***		3,06***	- 1,33***	-4,33***	-5,33***	-4***	-1,33***		-2,13***	-9,13***
Control+ WW+ HA	2,8***	9,05***		5,2***	0,8***	-2,2***	-3,2***	-1,86***	0,8***	2,13***		-7***
Control+ Sludge+ HA	9,8***	16,05***		12,2***	7,8***	4,8***	3,8***	5,13***	7,8***	9,13***	7***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.22 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την δεύτερη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		10,75***	10,083***	3***	-4,25***	-2,25***	-1***	5***	6***	1,75***	1***	9***
Control+ HA	-10,75***			-7,75***	-15***	-13***	-11,75***	-5,75***	-4,75***	-9***	-9,75***	-19,75***
WW												
WW+ HA	- 10,083***			- 7,083***	- 14,33***	- 12,33***	- 11,083***	- 5,083***	- 4,083***	-8,33***	- 9,083***	-19,083***
Sludge	-3***	7,75***	7,083***		-7,25***	-5,25***	-4***	2***	3***	-1,25***	-2***	-12***
Sludge+ HA	4,25***	15***	14,33***	7,25***		2***	3,25***	9,25***	10,25***	6***	5,25***	-4,75***
Sludge+ WW	2,25***	13***	12,33***	5,25***	-2***		1,25***	7,25***	8,25***	4***	3,25***	-6,75***
Sludge+ WW+ HA	1***	11,75***	11,083***	4***	-3,25***	-1,25***		6***	7***	2,75***	2***	-8***

	-5***	5,75***	5,083***	-2***	-9,25***	-7,25***	-6***		1***	-3,25***	-4***	-14***
+	-6***	4,75***	4,083***	-3***	10,25***	-8,25***	-7***	-1***		-4,25***	-5***	-15***
+	-1,75***	9***	8,33***	1,25***	-6***	-4***	-2,75***	3,25***	4,25***			-10,75***
+	-1***	9,75***	9,083***	2***	-5,25***	-3,25***	-2***	4***	5***			-10***
+	9***	19,75***	19,083***	12***	4,75***	6,75***	8***	14***	15***	10,75***	10***	

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.23 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την τρίτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control					-2,2***	-1,2***	-2,2***	-9***	6,8***	7,05***	1,05***	0,8***
Control+ HA												
WW												
WW+ HA					-2,2***	-1,2***	-2,2***	-9***	6,8***	7,05***	1,05***	0,8***
Sludge	2,2***			2,2***		1***		-6,8***	9***	9,25***	3,25***	3***
Sludge+ HA	1,2***			1,2***	-1***		-1***	-7,8***	8***	8,25***	2,25***	2***
Sludge+ WW	2,2***			2,2***		1***		-6,8***	9***	9,25***	3,25***	3***
Sludge+ WW+ HA	9***			9***	6,8***	7,8***	6,8***		15,8***	16,05***	10,05***	9,8***
Control+ WW	-6,8***			-6,8***	-9***	-8***	-9***	-15,8***			-5,75***	-6***
Control+ Sludge	7,05***			7,05***	9,25***	8,25***	9,25***	16,05***			-6***	-6,25***
Control+ WW+ HA	1,05***			1,05***	3,25***	2,25***	3,25***	10,05***	5,75***	6***		
Control+ Sludge+ HA	-0,8***			-0,8***	-3***	-2***	-3***	-9,8***	6***	6,25***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.24 Στατιστικά σημαντικές διαφορές του μέσου όρου της αύξησης ύψους στο τέλος της αυξητικής περιόδου για την τέταρτη επανάληψη μεταξύ των χειρισμών για την *Pinus pinea* L. (ANOVA)

Χειρισμοί	Χειρισμοί											
	Control	Control+ HA	WW	WW+ HA	Sludge	Sludge+ HA	Sludge+ WW	Sludge+ WW+HA	Control+ WW	Control+ Sludge	Control+ WW+HA	Control+ Sludge+HA
Control		5***		- 4,083***	-8,13***		-6,08***	-5,08***				-13,33***
Control+	-5***		-6,08***	- 9,083***	- 13,13***	- 7,13***	- 11,08***	- 10,08***	-6,33***	-8,33***		-18,33***
WW		6,083***			-7,05***		-5***	-4***				-12,25***
WW+	4,083***	9,083***			-4,05***							-9,25***
Sludge	8,13***	13,13***	7,05***	4,05***		6***			6,8***	4,8***		-5,2***
Sludge+		7,13***			-6***		-3,95***					-11,2***
Sludge+ WW	6,083***	11,08***	5***			3,95***			4,75***			-7,25***
Sludge+ WW+	5,083***	10,08***	4***									-8,25***
Control+ WW		6,33***			-6,8***		-4,75***					-12***
Control+ Sludge		8,33***			-4,8***							-10***
Control+ WW+												
Control+ Sludge+	13,33***	18,33***	12,25***	9,25***	5,2***	11,2***	7,25***	8,25***	12***	10***		

*** Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων όρων, με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

8.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ (CONTROL) ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ.

Οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που βρέθηκαν να περιέχονται τόσο στο Control νερό όσο και στα επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα του βιολογικού σταθμού (mg/l), (πίνακας 8.25) κυμαίνονται μέσα στα διεθνώς παραδεκτά όρια, όσον αφορά την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε νερά, που χρησιμοποιούνται για άρδευση, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων τόσο του μάρτυρα (Control) νερού όσο και των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων (wastewater) που προέκυψαν

από την ανάλυση των δειγμάτων κατά την φάση της άρδευσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 8.25.

Πίνακας 8.25 Φυτικοχημικές παράμετροι του Control και των επεξεργασμένων υγρών λυμάτων και περιεκτικότητα των Cu, Zn, Fe, Mn (mg/l).

Φυτικοχημικές παράμετροι νερού άρδευσης	Είδος νερού				P*
	Control (n=14)		Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Λύματα(n=14)		
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	
Αγωγιμότητα μS/cm (25°C)	427,8	26,07	695,7	33,6	0,000*
pH	7,98	0,08	7,26	0,20	0,000*
TC (ppm)	35,41	5,37	46,03	5,68	0,000*
IC (ppm)	32,29	5,01	39,62	6,5	0,003*
TOC (ppm)	3,11	3,44	6,40	4,70	0,044*
BOD (mg/l)	2,57	0,51	22,00	1,46	0,000*
Cu (mg/l)	0,007	0,004	0,020	0,009	0,028*
Zn (mg/l)	0,17	0,12	0,3	0,2	0,000*
Fe (mg/l)	0,003	0,01	0,02	0,018	0,000*
Mn (mg/l)	0,002	0,0007	0,007	0,003	0,000*
Pb (mg/l)	0,0002	0,00007	0,0017	0,0011	0,000*
Ca (mg/l)	67,56	7,19	85,1	9,74	0,290
Cr (mg/l)	0,002	0,001	0,005	0,0008	0,003*
Co (mg/l)	0,0007	0,0005	0,0027	0,0022	0,000*
Ni (mg/l)	0,004	0,002	0,003	0,001	0,000*
Mg (mg/l)	6,65	2,35	11,28	4,67	0,008*
Cd (mg/l)	0,0003	0,0001	0,0016	0,0013	0,000*

* Τιμές $P < 0,05$ σημαίνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών του Control και Επεξεργασμένων Υγρών Αστικών Λυμάτων

Όπου n = αριθμός δειγμάτων

Από την ανάλυση των στοιχείων του πίνακα 8.25 προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του Control νερού και των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων για τις τιμές της αγωγιμότητας, pH, TC, TOC, IC, BOD, καθώς και για αυτές των ιχνοστοιχείων Fe, Mn, Cd, Ni, Co, Cr, Pb, Mg, Cu και Zn,

ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά για τις τιμές του Ca.

8.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΤΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ

8.3.1. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Οι συγκεντρώσεις των διαθέσιμων συγκεντρώσεων των μετάλλων που περιέχονταν στο εδαφικό υπόστρωμα των διαφορετικών χειρισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 8.26 και 8.27.

Πίνακας 8.26 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για το Cupressus Arizona Greene και στις τέσσερις επαναλήψεις στο μέσο της αυξητικής περιόδου.

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)		Cupressus Arizona Greene												
		Χειρισμοί												P
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	
Cu (mg/kg)	1 ^η	1,8	3,4	0,6	5,2	2,8	6,4	3,2	8	3,4	5,2	3	6,1	*0,000 *0,000
	2 ^η	1,9	3,2	0,9	5,8	3	6,8	3,8	9	3,8	5,7	3,7	7	**0,000 **0,000
	3 ^η	1,2	3	1,3	5	2	6	3,5	7,5	3,3	5	3,5	6,5	***0,144 ***0,768
	4 ^η	1,8	2,6	2	4,5	1,5	4,5	5	6,2	2,2	4,8	3	5,6	
Mn (mg/kg)	1 ^η	2	2,9	1	6,4	3,5	6,2	4,4	8,2	2,9	5,6	2,5	7,6	*0,000 *0,000
	2 ^η	1,7	3,4	1,2	6,9	4	6	4,9	9	2,5	6	3,4	7,8	**0,000 **0,000
	3 ^η	2,2	3	1,5	6	3	7	4,5	8,5	2	5	3	7,5	***0,148 ***0,132
	4 ^η	2,6	3	1,6	4	2	4,5	4,6	6,6	2,5	5,2	3,3	5	
Zn (mg/kg)	1 ^η	13	2,4	2,3	9,6	2,4	10,4	1,8	16,4	2,4	1,6	2,8	24	*0,001 *0,011
	2 ^η	16	2	2,5	10	4	9,8	1,8	17	2,8	2,3	2	20	**0,000 **0,001
	3 ^η	12	2	1,5	9	2	9	1,7	15	2	2,4	1,6	19	***0,151 ***0,078
	4 ^η	12	4	2	12	3	16	1,7	18	4	2	1,4	24	
Fe (mg/kg)	1 ^η	69	46	84,8	138,4	60,6	71,4	20,5	40,6	50	154	70,4	44,2	*0,087 *0,125
	2 ^η	55	39	70,6	98	57	68	35	31	43	128	70	40	**0,062 **0,065
		50	56	75	120	59	63	28	39	51	100	79	48	***0,017

	3 ^η													***0,002
	4 ^η	51	46	85	120	58	70	60	47	56	90	79	50	
pH	1 ^η	7,96	7,68	7,8	7,54	7,38	7,26	7,44	7,2	7,82	7,3	7,4	7,29	*0,000
														*0,000
	2 ^η	8,22	8,17	7,9	7,5	7,35	7,28	7,42	7,2	7,95	7,5	7,4	7,38	**0,004
														**0,000
	3 ^η	8,27	8,1	7,9	7,6	7,3	7,2	7,42	7,21	7,99	7,6	7,4	7,3	*0,087
														***0,008
	4 ^η	8,2	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,4	7,21	8	7,6	7,5	7,3	
EC	1 ^η	250	170	660	430	670	410	700	390	450	500	400	530	*0,001
														*0,002
	2 ^η	230	140	690	420	650	410	680	400	400	530	420	540	**0,001
														**0,001
	3 ^η	240	150	700	430	660	420	670	420	410	550	440	550	***0,042
														***0,031
	4 ^η	250	160	720	440	650	410	680	400	430	530	390	590	
TC (ppm)	1 ^η	23,98	35,85	79,17	84,35	65,68	68,87	79,24	77,49	76,38	75,85	80,9	130,4	*0,000
														*0,000
	2 ^η	25,25	31,45	81,81	87,89	64,69	69,09	76,78	73,36	72,35	75,67	88	136,7	**0,000
														**0,000
	3 ^η	26,8	32,5	82,82	88,9	65,8	70,5	77	74	79	78,9	89	145	***0,493
														***0,685
	4 ^η	24	31	84,8	89	64	73	75	79	70	81	92	150	
IC (ppm)	1 ^η	8,65	7,07	7,13	14,28	26,11	33,05	25,3	46,68	25,48	32,06	28,35	39,54	*0,000
														*0,000
	2 ^η	10,34	6,09	14,9	23,67	27,78	39,9	25,6	44,9	28,78	31,08	45	46,78	**0,000
														**0,000
	3 ^η	11,7	5,07	15	25	28	40	28	46	27,16	34	47	56	***0,693
														***0,145
	4 ^η	11	5,6	17	27	29	45	30	46	26	34	45	61	
TOC (ppm)	1 ^η	15,33	28,78	72,04	70,07	39,57	35,82	53,94	30,81	50,9	43,79	52,55	90,86	*0,000
														*0,000
	2 ^η	10,34	6,09	14,9	23,67	27,78	39,9	25,6	44,9	28,78	31,08	45	46,78	**0,000
														**0,000
	3 ^η	15,1	27,43	67,82	63,9	37,8	30,5	48	28	51,84	44,9	42	89	***0,759
														***0,070
	4 ^η	13	25,4	67,8	62	35	28	45	33	44	47	49	89	

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

** Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

• Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.27 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για την *Pinus pinea* L. και στις τέσσερις επαναλήψεις στο μέσο της αυξητικής περιόδου.

Ιχνοστοιχεία (mg/kg)		Pinus pinea L.												
		Χειρισμοί												P
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	
N	1 ^η	1,6	3	2,2	4,7	4,8	7,4	2,8	7,8	3,8	6,8	3,5	5,7	*0,000
														*0,002
	2 ^η	2	2,8	2,4	4	4,8	7	2,5	8,6	4,2	7,5	3,6	6,4	**0,000
														**0,003
	3 ^η	1	2,5	2	4,5	4,9	7,7	2	9	3,5	7	3,3	6	***0,239
P														***0,073
	4 ^η	1,9	3	2,5	4,3	5	6,4	3,2	8	3,8	5	3,7	6,5	
	1 ^η	1	3,3	1,6	5,6	4,4	8,4	4,2	8,6	3,9	7,7	3,8	6,6	*0,000
														*0,004
	2 ^η	1,5	3	2	6	4,5	7,5	4,6	9,5	4,5	8	3,9	7,4	**0,000
K														**0,000
	3 ^η	1,3	3,6	2,6	5,7	4,1	8	4	9	4	8,7	3,4	7	***0,132
														***0,015
	4 ^η	2	4,2	3	4,5	4	5,2	4,9	10	4	5,6	2,7	5,8	
	1 ^η	16,2	1,6	1,3	11,8	5	19,5	1,4	17,4	2,2	2,3	4	30	*0,098
Ca														*0,128
	2 ^η	18	1,9	1	12	6,8	22	1,7	23	2	2,3	3,4	33	**0,002
														**0,011
	3 ^η	15	1	1,9	14	7	27	1,4	31	3	1,9	4,9	37	***0,006
														***0,008
Mg	4 ^η	18	2	3	13,4	9	24	1	34	2	1,7	5	36	
	1 ^η	80,4	120	143	92,5	170	164,8	34,8	116,6	24	181	83,6	98,4	*0,151
														*0,130
	2 ^η	70	90	110	84	139	148	45	126	63	160	74	99	**0,201
														**0,436
pH	3 ^η	73	110	123	88	145	157	78	104	65	179	71	120	***0,002
														***0,008
	4 ^η	73	99	123	78	130	146	65	112	50	148	88	136	
	1 ^η	8	7,7	7,6	7,5	7,2	7,1	7,27	7	7,7	7,27	7,6	7,4	*0,000
														*0,000
EC	2 ^η	8	7,7	7,6	7,3	7,2	7,1	7,27	7	7,7	7,37	7,6	7,48	**0,000
														**0,003
	3 ^η	8,1	7,9	7,8	7,5	7,2	7,4	7,27	7,15	7,7	7,27	7,7	7,4	***0,195
														***0,172
	4 ^η	8,4	8	7,8	7,6	7,2	7,4	7,27	7,17	7,6	7,27	7,7	7,1	
	1 ^η	280	200	630	420	770	520	960	800	430	620	390	580	*0,001
														*0,001
	2 ^η	280	200	630	440	770	520	960	800	430	620	390	580	**0,001
														**0,001
	3 ^η	290	210	620	440	770	540	980	780	420	630	380	600	***0,047
														***0,050
	4 ^η	200	190	640	430	760	520	970	790	410	670	440	680	
		28,9	33,33	78,09	83,33	66,34	70,7	84,56	88,56	70,19	75,75	71,89	141,5	*0,000

TC (ppm)	1 ^η	28,9	33,33	78,09	83,33	66,34	70,7	84,56	88,56	70,19	75,75	71,89	141,5	*0,000
														*0,000
	2 ^η	27,9	31,67	77,45	82,22	65,78	69,9	83,67	87,67	68,8	76,87	73,56	148,9	**0,000
														**0,000
	3 ^η	29,9	32	78,4	83	66,9	68	87	86	71	77	72	154	***0,605
IC (ppm)														***0,316
	4 ^η	31	35	77	87	68	74	90	85	72	80	79	164	
	1 ^η	9,09	9	8	14,56	28,89	31,67	34,34	32,32	23,45	31,31	24,89	56,54	*0,000
														*0,000
TOC (ppm)	2 ^η	8,9	8,97	7,99	13,67	28,67	30,8	33,16	31,31	22	32,58	27,67	54,79	**0,000
														**0,000
	3 ^η	9	9	8	13	30	31	33	31,31	20	38	27,67	55	***0,060
														***0,937
	4 ^η	11	9	12	14	28	33	35	32	25	32	37	67	
	1 ^η	19,81	24,33	70,09	68,77	37,45	39,03	50,22	56,24	46,74	44,44	47	85,02	*0,000
														*0,000
	2 ^η	19	22,7	69,46	68,55	37,11	39,1	50,51	56,36	46,8	44,29	45,89	94,11	**0,000
														**0,000
	3 ^η	20,9	23	70,4	70	36,9	37	54	54,69	51	39	44,33	99	***0,098
														***0,021
	4 ^η	20	26	65	73	40	41	55	53	47	48	42	97	

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους ως προς τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες 7.28 και 7.29. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την **πρώτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, TC, EC, IC, TOC και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Mn αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την **δεύτερη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, TC, EC, IC, TOC και pH του

εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Mn αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του καθώς και του pH του. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την **τρίτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Zn, TC, EC, IC, TOC και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Fe, Mn αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την **τέταρτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Zn, TC, EC, IC, TOC και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Fe, Mn, Zn, TOC αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του.

Αντίθετα οι χειρισμοί δεν φαίνεται να έχουν καμία επίδραση στις συγκεντρώσεις του Mn του εδαφικού υποστρώματος και στις τέσσερις επαναλήψεις. Τα δασικά είδη δεν ασκούν στατιστικά σημαντικά επίσης στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Mn αντίστοιχα. Ο συνδυασμός **τόσο του διαφορετικού χειρισμού όσο και του φυτικού είδους** δεν παίζει στατιστικά σημαντικό ρόλο στις συγκεντρώσεις των Cu, TC και IC του εδαφικού υποστρώματος σε καμία από τις τέσσερις επαναλήψεις.

8.3.2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Οι συγκεντρώσεις των διαθέσιμων συγκεντρώσεων των μετάλλων που περιέχονταν στο εδαφικό υπόστρωμα των διαφορετικών χειρισμών στο τέλος της αυξητικής περιόδου παρουσιάζονται στους πίνακες 8.28 και 8.29.

Πίνακας 8.28 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για το Cupressus Arizonica Greene και στις τέσσερις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Cupressus Arizonica Greene														
Ιχνοστοιχεία		Χειρισμοί												
(mg/kg)		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
Cu (mg/kg)	1 ^η	2	3,6	0,9	5,8	3,7	7	3	9	3,8	5,9	2,6	6,9	*0,000
														**0,000
														***0,591
	2 ^η	1,8	3,5	1	6	3,6	6,8	2,8	8,5	3,9	6	3,1	7	*0,000
														**0,000
														***0,356
	3 ^η	2,2	3,8	1,2	5,5	3,4	6,9	3	8	3,7	6,2	3	6,5	*0,000
														**0,000
														***0,789
	4 ^η	1,9	3,3	1,5	5	3	6	3,5	7,5	3,5	6,5	3	6,4	*0,000
														**0,000
														***0,020
Zn (mg/kg)	1 ^η	2,6	2,8	1,3	6,8	4	6,7	4	8,9	3	6	3	8	*0,000
														**0,000
														***0,788
	2 ^η	2,7	2,9	1,4	6,9	4,1	6,8	4,1	9	3,1	6,1	3,1	8,1	*0,000
														**0,000
														***0,788
	3 ^η	2,3	2,5	1	6,5	3,7	6,4	3,7	8,6	2,7	5,7	2,7	7,7	*0,000
														**0,000
														***0,062
	4 ^η	3,2	3,4	1,9	7,4	4,6	7,3	4,6	9,5	3,6	6,6	3,6	8,6	*0,000
														**0,000
														***0,095
Fe (mg/kg)	1 ^η	15	3	2	10	2	10,4	1,8	18	2,4	1,8	2,5	40	*0,012
														**0,000
														***0,175
	2 ^η	19	2,4	4	14	7,2	14,4	1,2	22	2,3	2,5	1,9	44	*0,007
														**0,000
														***0,101
	3 ^η	18	2,5	2	13	2,5	13,4	1,9	21	2,4	2,1	1,8	43	*0,019

	4 ⁿ	14	2	1	9	2,2	9,4	1,7	17	3	2	2,4	39	**0,000
														***0,011
														*0,016
														**0,000
Mn (mg/kg)	1 ⁿ	71	49	90	147	58	73	21	39	55	162	74	43	***0,283
														*0,094
														**0,088
														***0,020
	2 ⁿ	72	50	91	148	59	74	22	40	56	163	75	44	*0,126
														**0,088
														***0,007
														*0,308
	3 ⁿ	64	42	83	140	51	66	14	32	48	155	67	36	**0,428
														***0,003
														*0,136
														**0,232
pH	1 ⁿ	7,9	7,6	7,8	7,68	7,38	7,26	7,49	7,12	7,92	7,4	7,7	7,33	***0,008
														*0,000
														**0,003
														***0,548
	2 ⁿ	8,22	7,95	7,9	7,58	7,45	7,28	7,42	7,28	7,98	7,7	7,5	7,38	*0,000
														**0,000
														***0,032
														*0,000
	3 ⁿ	8,37	8,2	7,9	7,4	7,3	7,2	7,42	7,17	7,9	7,6	7,6	7,3	**0,000
														***0,515
														*0,000
														**0,000
EC	1 ⁿ	260	190	690	430	670	420	740	420	450	510	390	560	***0,141
														*0,000
														**0,001
														***0,055
	2 ⁿ	230	170	690	450	690	430	700	400	400	530	420	540	*0,000
														**0,001
														***0,032
														*0,003
	3 ⁿ	240	180	700	460	660	420	670	420	440	550	440	550	**0,002
														***0,033
														*0,000
														**0,001
TC (ppm)	1 ⁿ	24,68	36,14	79,17	86,46	65,34	70,24	81,24	78,8	76,38	74,89	86	142	***0,147
														*0,000
														**0,000
														***0,740
	2 ⁿ	25,75	33,45	85	89,8	64,68	69,29	77,68	74,02	72,35	77	91	147,8	*0,000
														**0,000
														***0,485
														*0,000
	3 ⁿ	26,82	32,68	83,15	88,4	65,9	71	75,75	74,4	79	78,79	94	146,7	**0,000
														***0,871
														*0,000
														**0,000
4 ⁿ	27,15	34	87,18	89	66	74,4	75,69	80	70	84	96	158		***0,674
														*0,000

IC (ppm)	1 ⁿ	9,15	7	7,3	14,68	26,9	35	46,86	48,85	25	32	48,46	59,69	*0,000
														**0,000
														***0,138
	2 ⁿ	10,4	6,19	13,6	24,68	28	41	26,8	46,79	25,7	31	47	56,16	*0,000
														**0,000
														***0,364
	3 ⁿ	11,5	5,67	16	27	29	44	29,19	47	27	36	47,8	56,9	*0,002
														**0,000
														***0,027
	4 ⁿ	11,1	6	18	25	31	46	34	48,79	27,59	35	48,25	64	*0,000
														**0,000
														***0,018
TOC (ppm)	1 ⁿ	15,53	29,14	71,87	71,78	38,44	35,24	34,38	29,95	51,38	42,89	37,54	82,31	*0,000
														**0,000
														***0,114
	2 ⁿ	15,35	27,26	71,4	65,12	36,68	28,29	50,88	27,23	46,65	46	44	91,64	*0,000
														**0,000
														***0,142
	3 ⁿ	15,32	27,01	67,15	61,4	36,9	27	46,56	27,4	52	42,79	46,2	89,8	*0,000
														**0,000
														***0,026
	4 ⁿ	16,05	28	69,18	64	35	28,4	41,69	31,21	42,41	49	47,75	94	*0,000
														**0,000
														***0,030
B (mg/kg)	1 ⁿ	7	10	8,6	15,4	4	5	5,4	5,2	13	9	2,9	11	*0,000
														**0,000
														***0,259
	2 ⁿ	9	11	10	13	5	7	5	6	12	11	3	13	*0,000
														**0,000
														***0,463
	3 ⁿ	8	12	9	14	4	6	5	5	12	10	3	12	*0,000
														**0,000
														***0,111
	4 ⁿ	9	10	9	12	6	5	6	5	14	10	4	11	*0,000
														**0,000
														***0,633
P (mg/kg)	1 ⁿ	21,5	30	58,4	59	41	47	43	34	46	29	33	31	*0,000
														**0,008
														***0,340
	2 ⁿ	22	29	55	62	43	49	42	36	47	33	36	28	*0,000
														**0,037
														***0,481
	3 ⁿ	23	29	52	55	43	50	41	33	42	28	33	35	*0,000
														**0,031
														***0,476
	4 ⁿ	24	27	51	57	40	43	41	37	44	32	34	34	*0,000
														**0,085
														***0,416
Co (mg/kg)	1 ⁿ	0,7	1,2	0,5	0,1	4	2,4	3,5	2,4	2,2	2,7	1,6	1,2	*0,000
														**0,000
														***0,032
	2 ⁿ	0,8	1,3	0,6	0,2	4,1	2,5	3,6	2,5	2,3	2,8	1,7	1,3	*0,000
														**0,000
														***0,032
	3 ⁿ	1,1	1,6	0,9	0,5	4,4	2,8	3,9	2,8	2,6	3,1	2	1,6	*0,000
														**0,000
														***0,032

[illegible]

Οι διαφορές στην περιεκτικότητα του εδάφους σε μικροθρεπτικά (Πίνακας) όπως εκτιμήθηκαν με την ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σφάλματος P 0,001% (Πίνακας 8.29).

Περαιτέρω, εξετάστηκε η επίδραση των εφαρμοσθέντων χουμικών οξέων στην περιεκτικότητα των μικροθρεπτικών με σύγκριση των επεμβάσεων "χωρίς χουμικά" με τις αντίστοιχες όμοιες επεμβάσεις αλλά και με την "παρουσία χουμικών".

Από την δοκιμή t-test που πραγματοποιήθηκε στην περίπτωση των μετάλλων βρέθηκε ότι οι διαφορές των μέσων όρων είναι στατιστικά σημαντικές όπως φαίνεται και από την εικόνα 8.17 καθώς και στον πίνακα 8.30. Αποδείχτηκε ότι τα χουμικά ενδεχομένως σε συνέργεια με τα επιμέρους οργανικά συστατικά των μελετηθεισών επεμβάσεων, αυξάνουν τη διαλυτότητα του Cu, Fe, Ni, Cd, Pb και Zn δημιουργώντας χηλικές ενώσεις, η διαλυτότητα των οποίων εξαρτάται από το pH, την παρουσία αλάτων, δηλ. από την ιοντική ισχύ και από το βαθμό κορεσμού των θέσεων σύνδεσης (Stevenson and Cole, 1999). Από την εικόνα προκύπτει επίσης ότι στη μεν περίπτωση της απουσίας των HA η υψηλότερη και στατιστικά σημαντική συγκέντρωση τόσο του Cu όσο και του Zn επιτεύχθηκε υπό την επίδραση της επέμβασης E10 (Control+ιλύς(S)), ενώ στην περίπτωση της παρουσίας των HA, υπό την επίδραση της επέμβασης E8 (TMWW+S+200 ppm HA).

Πίνακας 8.29. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους του Cupressus Arizonica Greene σε μικροθρεπτικά

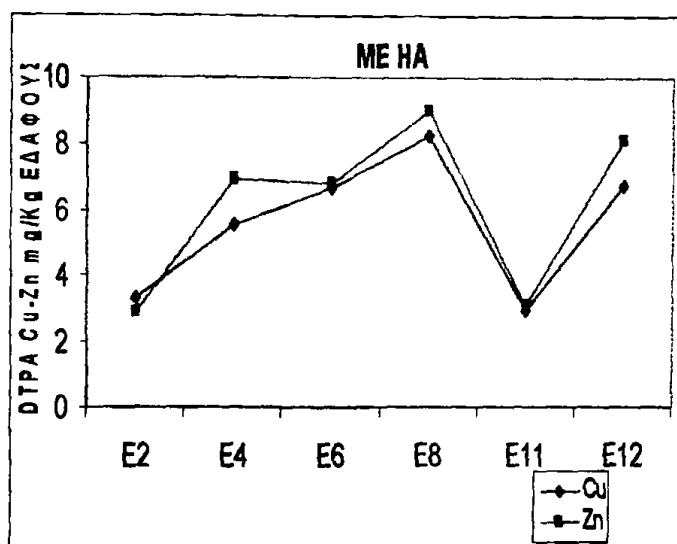
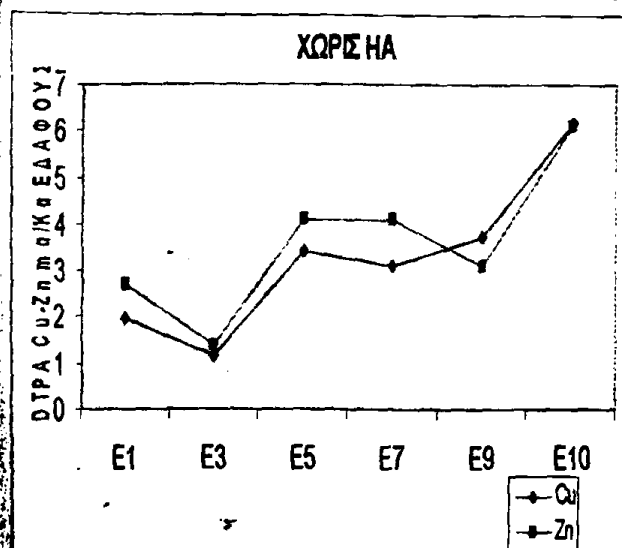
Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά εδάφους (mg/Kg)	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	165,431***
Ψευδάργυρος (Zn)	168,647***
Σίδηρος (Fe)	187,378***
Μαγγάνιο (Mn)	477,148***
Βόριο (B)	63,843***
Φώσφορος (P)	88,664***
Κοβάλτιο (Co)	173,482***
Νικέλιο (Ni)	333,845***
Κάδμιο (Cd)	24,245***
Μόλυβδος (Pb)	44,207***

(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

Πίνακας 8.30. Σύγκριση των δεδομένων της περιεκτικότητας του εδάφους, του *Cupressus Arizona* Greene σε Cu και Zn εκτιμώμενη με την δοκιμή t (t-test) παρουσία ή απουσία χουμικών (HA)

Παράγων	Στοιχεία	Τιμή t
Έδαφος	Cu	-5,232***
	Zn	-5,811***
	Fe	-2,935***
	Mn	0,459ns
	Ni	4,246***
	Co	5,219***
	Pb	10,849***
	Cd	8,488***

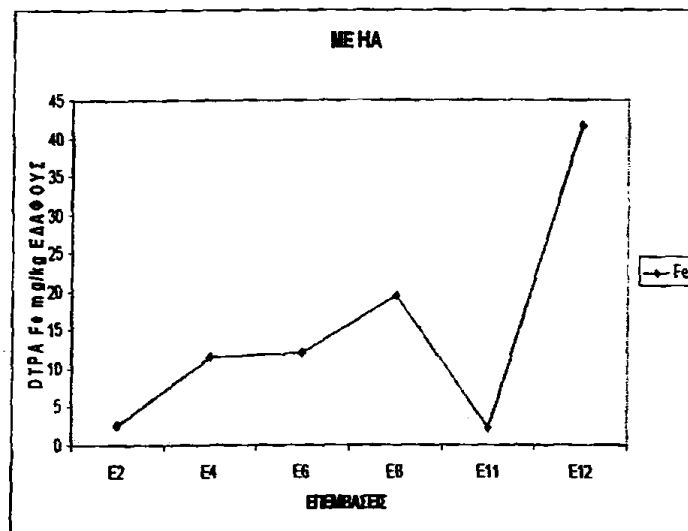
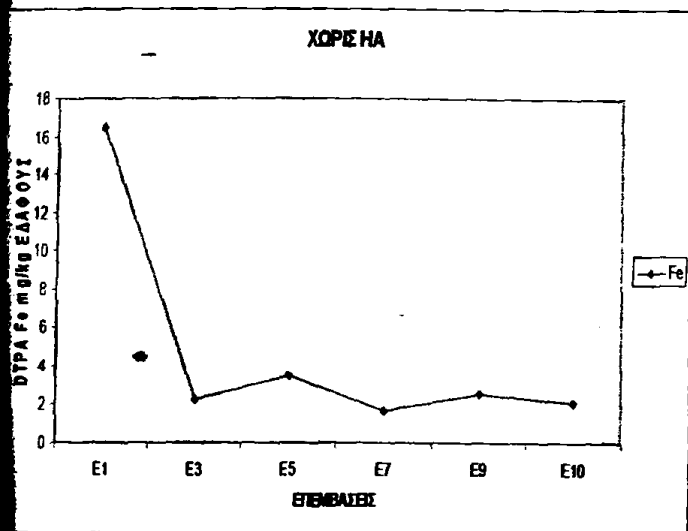
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.17 . Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (HA) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizona* Greene σε διαθέσιμο Cu και Zn

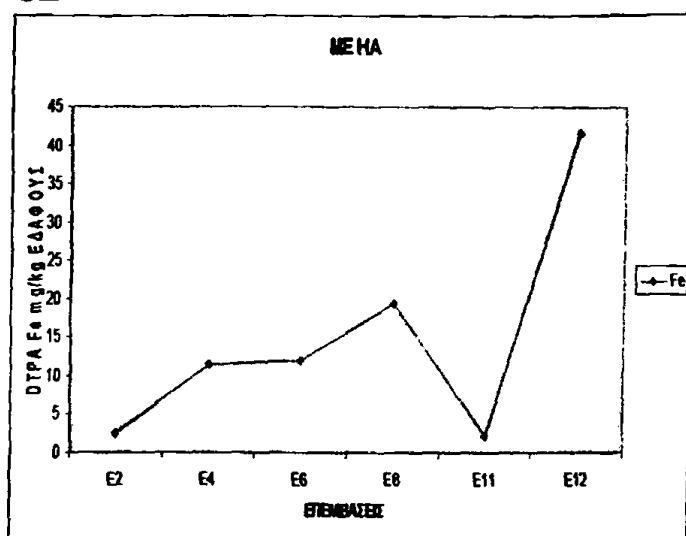
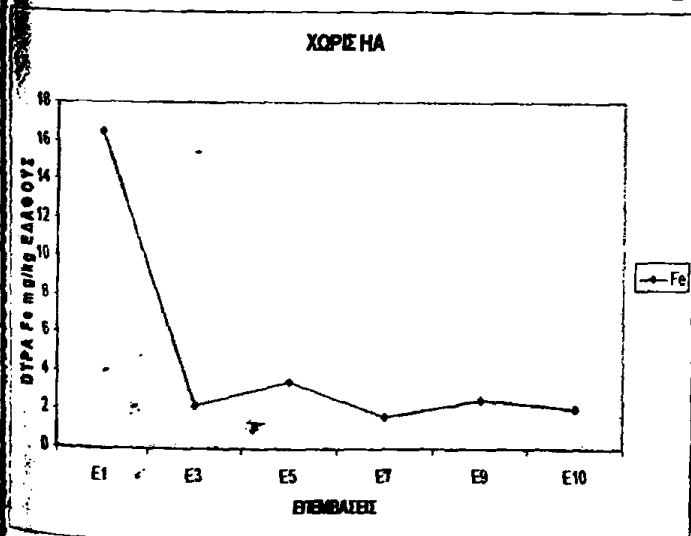
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.18. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizonica* Greene σε διαθέσιμο Fe

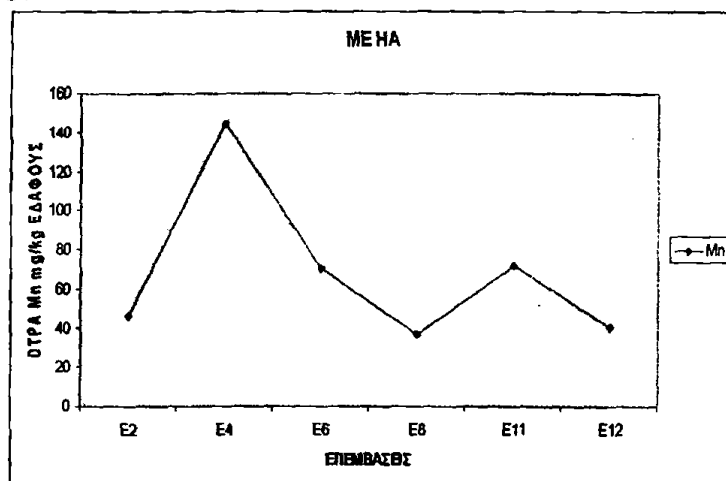
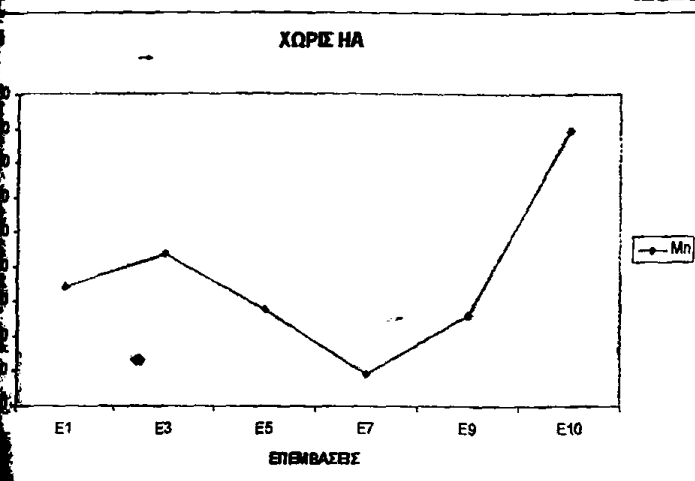
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.19. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizonica* Greene σε διαθέσιμο Fe

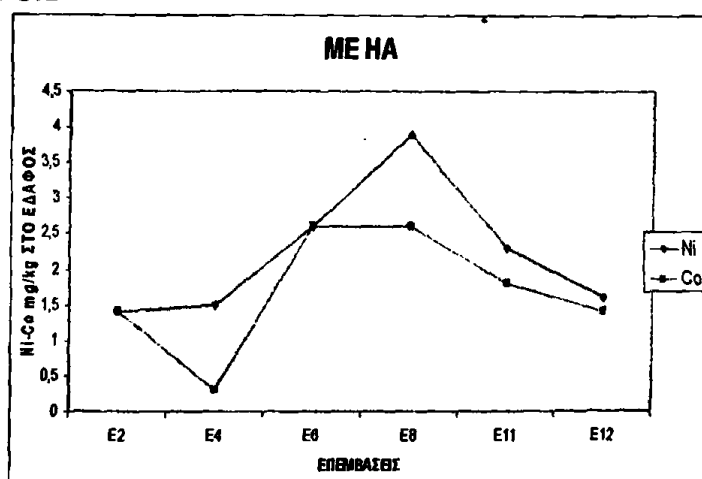
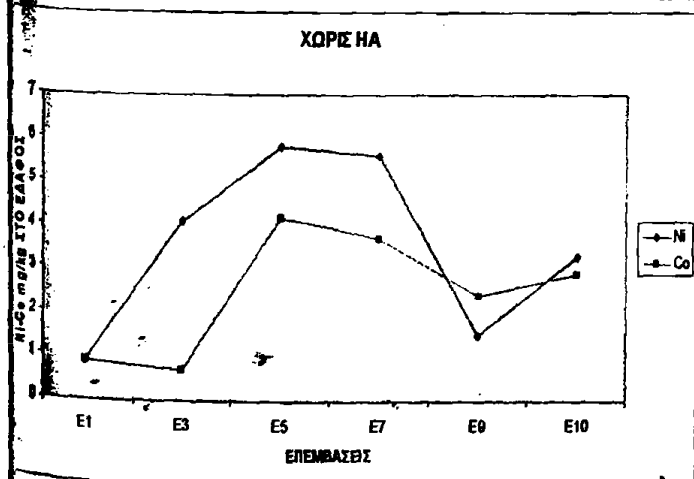
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.20. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizona* Greene σε διαθέσιμο Mn

ΕΔΑΦΟΣ

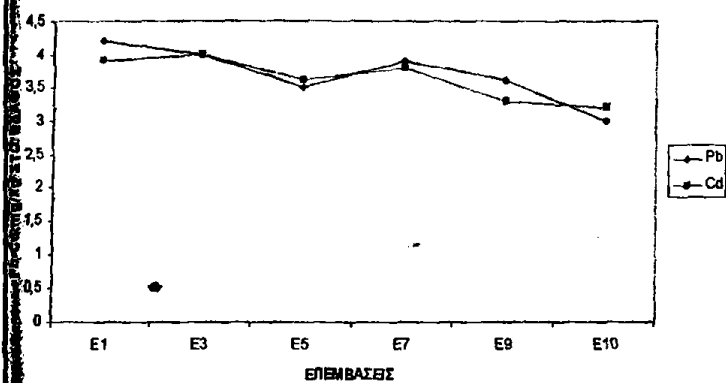


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

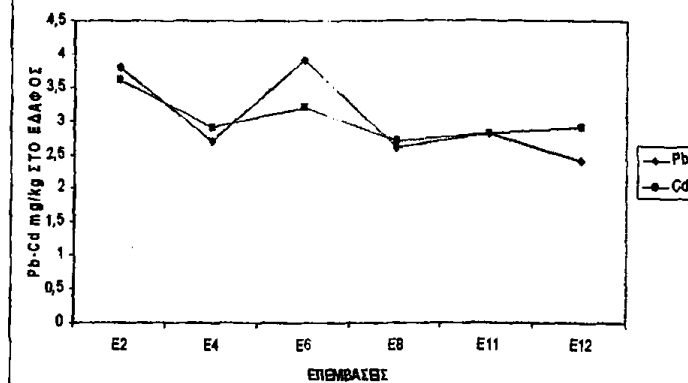
Γράφημα 8.21. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizona* Greene σε διαθέσιμο Ni και Co

ΕΔΑΦΟΣ

ΧΩΡΙΣ ΗΑ



ΜΕ ΗΑ

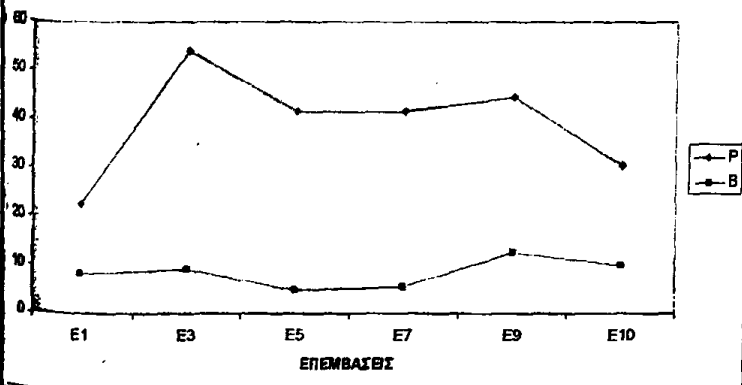


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

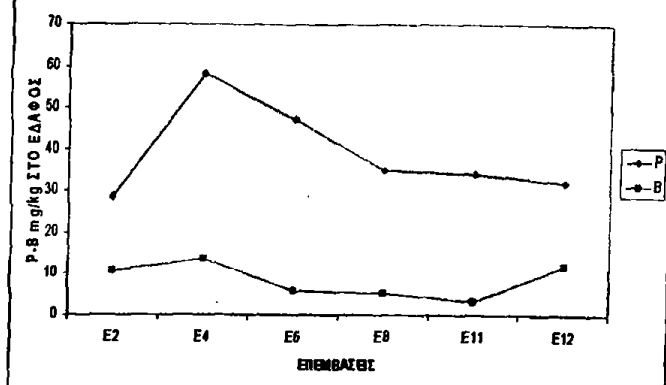
Γράφημα 8.22. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizona* Greene σε διαθέσιμο Cd και Pb

ΕΔΑΦΟΣ

ΧΩΡΙΣ ΗΑ



ΜΕ ΗΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.23. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους του *Cupressus Arizona* Greene σε B και P

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει με σαφήνεια ότι η παρουσία των χουμικών οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητας των διαθέσιμων επιπέδων του Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, P και B στο έδαφος. Η αύξηση αυτή θα πρέπει να αποδοθεί στον σχηματισμό ευδιάλυτων χηλικών ενώσεων με τον Cu και τον Zn καθώς και τα υπόλοιπα μέταλλα.

(Stevenson and Cole, 1999). Το χρησιμοποιηθέν χουμικό οξύ περιέχει καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες σε συνολική συγκέντρωση 8 mmols/ Kgr [Drosos, M., Jerzykiewitz, M, Deligiannakis, Y.2007). Αυτές οι ομάδες δεσμεύουν ιόντα Zn και Cu σε μία ευρεία περιοχή pH 4-9 (Drosos 2007). Επιπλέον αυτό το χουμικό οξύ περιέχει κλάσματα μικρού μοριακού βάρους <2000kDa (Drosos 2007) τα οποία είναι πολύ πιθανόν να καθορίζουν την παρατηρηθείσα αύξηση των διαθέσιμων επιπέδων του Cu και του Zn και λοιπών μετάλλων στο έδαφος.

Πίνακας 8.32 Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/kg) στο έδαφος για την *Pinus pinea* L. και στις τέσσερις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Pinus pinea L.														
Ιχνοστοιχεία		Χειρισμοί												
(mg/kg)		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
Cu (mg/kg)	1 ^η	1,5	2,8	2	4,5	5	8	2,5	9	3,7	7,5	3,6	6	*0,000
														**0,000
														***0,591
	2 ^η	1,6	2,9	2,1	4,6	5,1	8,1	2,6	9,1	3,8	7,6	3,7	6,1	*0,000
														**0,000
														***0,356
	3 ^η													*0,000
		1,2	2,5	1,7	4,2	4,7	7,7	2,2	8,7	3,4	7,2	3,3	5,7	**0,000
														***0,789
	4 ^η	1,9	3,2	2,4	4,9	5,4	8,4	2,9	9,4	4	7,9	4	6,4	*0,000
														**0,000
														***0,020
Zn (mg/kg)	1 ^η	1,3	3	1,8	6	4,4	8,3	2,8	8,7	3,9	7,9	3,8	6,3	*0,000
														**0,000
														***0,788
	2 ^η	1,4	3,1	1,9	6,1	4,5	8,4	2,9	8,8	4	8	3,9	6,4	*0,000
														*0,000
														***0,788
	3 ^η	1,6	3,3	2,1	6,3	4,7	8,6	3,1	9	4,2	8,2	4,1	6,6	*0,000
														**0,000
														***0,062
	4 ^η	1,2	2,9	1,7	5,9	4,3	8,2	2,7	8,6	3,8	7,8	3,7	6,2	*0,000
														**0,000
														***0,095
	1 ^η	18	1,4	1,1	12	5,5	21	14,6	19	2	28	4,8	38	*0,012
														**0,000
														***0,175
	2 ^η	22	5,4	5,1	16	9,5	25	18,6	23	6	32	8,8	42	*0,007
														**0,000

Fe (mg/kg)	3 ⁿ	24,7	8,1	7,8	18,7	12,2	27,7	21,3	25,7	8,7	34,7	11,5	44,7	***0,101
														*0,019
														**0,000
	4 ⁿ	16,95	0,35	0,05	10,95	4,45	19,95	13,55	17,95	0,95	26,95	3,75	36,95	***0,011
														*0,016
														**0,000
Mn (mg/kg)	1 ⁿ	84	135	155	94	178	169	37	121	27	186	86	99	***0,283
														*0,094
														**0,088
	2 ⁿ	94,4	145,4	165,4	104,4	188,4	179,4	47,4	131,4	37,4	196,4	96,4	109,4	***0,020
														*0,126
														**0,088
	3 ⁿ	93,8	144,8	164,8	103,8	187,8	178,8	46,8	130,8	36,8	195,8	95,8	108,8	***0,007
														*0,308
														**0,428
	4 ⁿ	87,9	105	133	80	140	146	77	122	60	160	93	144	***0,003
														*0,136
														**0,232
pH	1 ⁿ	8,6	7,7	7,6	7,5	7,1	7	7,27	7	7,78	7,29	7,7	7,46	***0,008
														*0,000
														**0,003
	2 ⁿ	8,4	7,8	7,5	7,4	7,2	7,1	7,2	7,12	7,79	7,37	7,68	7,48	***0,548
														*0,000
														**0,000
	3 ⁿ	8,2	7,9	7,8	7,6	7,3	7,4	7,27	7,15	7,7	7,39	7,74	7,49	***0,032
														*0,000
														**0,000
	4 ⁿ	8,4	7,9	7,6	7,6	7,2	7,3	7,33	7,17	7,6	7,27	7,75	7,38	***0,515
														*0,000
														**0,000
EC	1 ⁿ	290	190	640	430	780	510	980	810	420	630	400	590	***0,141
														*0,000
														**0,001
	2 ⁿ	300	200	650	440	790	520	990	820	430	640	410	600	***0,055
														*0,002
														**0,001
	3 ⁿ	310	210	660	450	800	530	1000	830	440	650	420	610	***0,032
														*0,003
														**0,002
	4 ⁿ	280	180	630	420	770	500	970	800	410	620	390	580	***0,033
														*0,000
														**0,001
TC (ppm)	1 ⁿ	29,9	35,33	80	84	67,9	71,8	85,9	88,56	71	77	72	145	***0,147
														*0,000
														**0,000
	2 ⁿ	31,57	37	81,67	85,67	69,57	73,47	87,57	90,23	72,67	78,67	73,67	146,67	***0,740
														*0,000
														**0,000
	3 ⁿ	29,9	34	78,4	83	70	74	87	88	71	77	72	158	***0,485
														*0,000
														**0,000
	4 ⁿ	30	37	77	87	68	74	95	85	72	83	79	168	***0,871
														*0,000
														**0,000

														**0,000
														***0,674
IC (ppm)	1 ⁿ	10	9,4	8,4	16,8	31	32,7	34,43	32,12	24	31,8	25	57	*0,000
														**0,000
														***0,138
	2 ⁿ	11,43	10,83	9,83	18,23	32,43	34,13	35,86	33,55	25,43	33,23	26,43	58,43	*0,000
														**0,000
														***0,364
	3 ⁿ	9,27	8,67	7,67	16,07	30,27	31,97	33,7	31,39	23,27	31,07	24,27	56,27	*0,002
														**0,000
														***0,027
	4 ⁿ	11,38	10	12	15,57	28	34	35	32	26	32	37	62	*0,000
														**0,000
														***0,018
TOC (ppm)	1 ⁿ	19,9	25,93	71,6	67,2	36,9	39,1	51,47	56,44	47	45,2	47	88	*0,000
														**0,000
														***0,114
	2 ⁿ	20,14	26,17	71,84	67,44	37,14	39,34	51,71	56,68	47,24	45,44	47,24	88,24	*0,000
														**0,000
														***0,142
	3 ⁿ	20,63	25,33	70,73	66,93	39,73	42,03	53,3	56,61	47,73	45,93	47,73	101,73	*0,000
														**0,000
														***0,026
	4 ⁿ	18,62	27	65	71,43	40	40	60	53	46	51	42	106	*0,000
														**0,000
														***0,030
B (mg/kg)	1 ⁿ	8	11	8	16	3	6	5,1	5,5	12	10	3	13	*0,000
														**0,000
														***0,259
	2 ⁿ	10	9	10	15	4	7	6	7	13	11	4	12	*0,000
														**0,000
														***0,463
	3 ⁿ	9	10	9	15	4	6	7	6	12	11	4	13	*0,000
														**0,000
														***0,111
	4 ⁿ	8	11	10	14	5	7	5	7	11	12	2	12	*0,000
														**0,000
														***0,633
P (mg/kg)	1 ⁿ	26	38	55	42	39	44	49	32	51	41	47	38	*0,000
														**0,008
														***0,340
	2 ⁿ	27	39	53	40	41	45	52	31	49	43	48	39	*0,000
														**0,037
														***0,481
	3 ⁿ	25	36	50	40	37	42	51	33	47	42	45	38	*0,000
														**0,031
														***0,476
	4 ⁿ	28	35	48	37	40	43	49	33	46	45	46	40	*0,000
														**0,085
														***0,416
Co (mg/kg)	1 ⁿ	0,9	1,4	0,7	0,3	4,5	2,2	3,8	2,7	2	2,9	1,8	1,1	*0,000
														**0,000
														***0,032
	2 ⁿ	1	1,5	0,8	0,4	4,6	2,3	3,9	2,8	2,1	3	1,9	1,2	*0,000
														**0,000
														***0,032
	3 ⁿ	1,3	1,8	1,1	0,7	4,9	2,6	4,2	3,1	2,4	3,3	2,2	1,5	*0,000

														***0,000
														***0,032
	4 ^η	1,2	1,7	1	0,6	4,8	2,5	4,1	3	2,3	3,2	2,1	1,4	*0,000
														***0,000
														***0,032
Ni (mg/kg)	1 ^η	2	1,6	3,7	1,2	5,1	2,2	5,1	3,3	1,2	3	2,7	1,3	*0,000
														***0,000
														***0,867
	2 ^η	2,1	1,7	3,8	1,3	5,2	2,3	5,2	3,4	1,3	3,1	2,8	1,4	*0,000
														***0,000
														***0,867
	3 ^η	2,4	2	4,1	1,6	5,5	2,6	5,5	3,7	1,6	3,4	3,1	1,7	*0,000
														***0,000
														***0,867
	4 ^η	2,3	1,9	4	1,5	5,4	2,5	5,4	3,6	1,5	3,3	3	1,6	*0,000
														***0,000
														***0,867
Cd (mg/kg)	1 ^η	3	2,6	2,7	2	3,3	3	3,7	2,3	2,8	3,2	2,7	2,6	*0,004
														***0,022
														***0,032
	2 ^η	3,1	2,7	2,8	2,1	3,4	3,1	3,8	2,4	2,9	3,3	2,8	2,7	*0,004
														***0,022
														***0,032
	3 ^η	3,4	3	3,1	2,4	3,7	3,4	4,1	2,7	3,2	3,6	3,1	3	*0,004
														***0,022
														***0,032
	4 ^η	3,3	2,9	3	2,3	3,6	3,3	4	2,6	3,1	3,5	3	2,9	*0,004
														***0,022
														***0,032
Pb (mg/kg)	1 ^η	4,7	3,8	4	2,8	3,6	2,6	3,9	2,7	3,3	2,9	3	2,1	*0,000
														***0,000
														***0,021
	2 ^η	4,8	3,9	4,1	2,9	3,7	2,7	4	2,8	3,4	3	3,1	2,2	*0,000
														***0,000
														***0,021
	3 ^η	5,1	4,2	4,4	3,2	4	3	4,3	3,1	3,7	3,3	3,4	2,5	*0,000
														***0,000
														***0,021
	4 ^η	5	4,1	4,3	3,1	3,9	2,9	4,2	3	3,6	3,2	3,3	2,4	*0,000
														***0,000
														***0,021

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

*

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους ως προς τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στο πίνακα 8.32. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την πρώτη επανάληψη του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, TC, EC,

IC, TOC, B, P, Pb, Co, Ni, Cd και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, pH, EC, TC, IC, Pb, Co, Ni, Cd, B, P και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Mn, Co, Cd και Pb. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την δεύτερη επανάληψη του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, TC, EC, IC, TOC, B, P, Pb, Co, Ni, Cd και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, Pb, Co, Cd, Ni, B, P, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Mn, Pb, Co, Cd, αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του καθώς και του pH του. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την τρίτη επανάληψη του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Zn, Fe, Co, Pb, Cd, Ni, B, P, TC, EC, IC, TOC και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, B, P, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Fe, Mn, IC, TOC, Co, Cd, Pb αλλά και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα για την τέταρτη επανάληψη του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Zn, Fe, P, B, Co, Ni, Cd, Pb, TC, EC, IC, TOC και pH του εδαφικού υποστρώματος. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cu, Fe, Zn, Co, Ni, Cd, Pb, B, pH, EC, TC, IC, και TOC αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα του εδαφικού υποστρώματος σε Cu, Mn, Pb, IC, TOC, Cd.

Από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, για τον προσδιορισμό της επίδρασης των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους της Κουκουναριάς σε μικροθρεπτικά, προέκυψαν τα εξής:

Οι διαφορές στην περιεκτικότητα του εδάφους σε μικροθρεπτικά (Πίνακας) όπως εκτιμήθηκαν με την ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σφάλματος $P 0,001\%$ (Πίνακας 8.33).

Περαιτέρω, εξετάστηκε η επίδραση των εφαρμοσθέντων χουμικών οξέων στην περιεκτικότητα των μικροθρεπτικών με σύγκριση των επεμβάσεων *'' χωρίς χουμικά ''* με τις αντίστοιχες όμοιες επεμβάσεις αλλά και με την *'' παρουσία χουμικών ''*.

Από την δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στην περίπτωση των μετάλλων βρέθηκε ότι οι διαφορές των μέσων όρων είναι στατιστικά σημαντικές όπως φαίνεται και από την εικόνα 8.24 καθώς και στον πίνακα 8.34. Αποδείχτηκε ότι τα χουμικά ενδεχομένως σε συνέργεια με τα επιμέρους οργανικά συστατικά των μελετηθεισών επεμβάσεων, αυξάνουν τη διαλυτότητα του Cu και Zn δημιουργώντας χηλικές ενώσεις, η διαλυτότητα των οποίων εξαρτάται από το pH, την παρουσία αλάτων, δηλ. από την ιοντική ισχύ και από το βαθμό κορεσμού των θέσεων σύνδεσης (Stevenson and Cole, 1999).

Πίνακας 8.33. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus Pinea L.* σε μικροθρεπτικά

Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά εδάφους (mg/Kg)	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	299,796***
Ψευδάργυρος (Zn)	887,564***
Σίδηρος (Fe)	42,144***
Μαγγάνιο (Mn)	38,192***
Βόριο (B)	73,980***
Φώσφορος (P)	70,477***
Κοβάλτιο (Co)	194,427***
Νικέλιο (Ni)	228,017***
Κάδμιο (Cd)	24,900***
Μόλυβδος (Pb)	64,764***

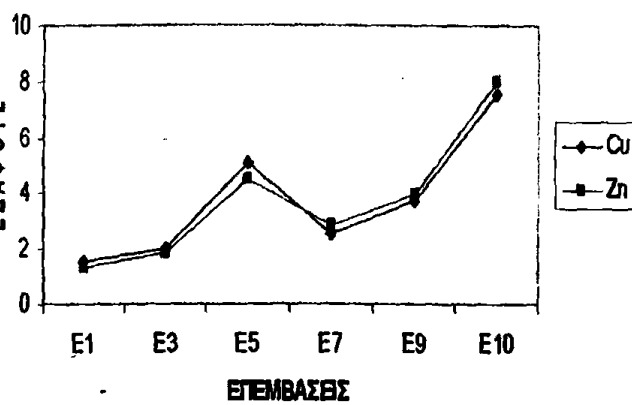
(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

Πίνακας 8.34. Σύγκριση των δεδομένων της περιεκτικότητας του εδάφους, της *Pinus pinea* L σε μέταλλα εκτιμώμενη με την δοκιμή t (t-test) παρουσία ή απουσία χουμικών (HA)

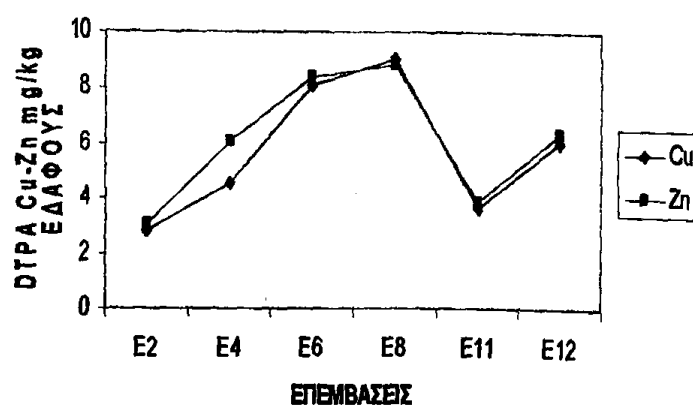
Παράγων	Στοιχεία	Τιμή t
Έδαφος	Cu	-3,698***
	Zn	-4,310***
	Fe	-2,090***
	Mn	0,498ns
	Ni	4,262***
	Co	4,419***
	Pb	14,066***
	Cd	6,758***

ΕΛΑΦΟΣ

ΧΩΡΙΣ HA



ΜΕ HA

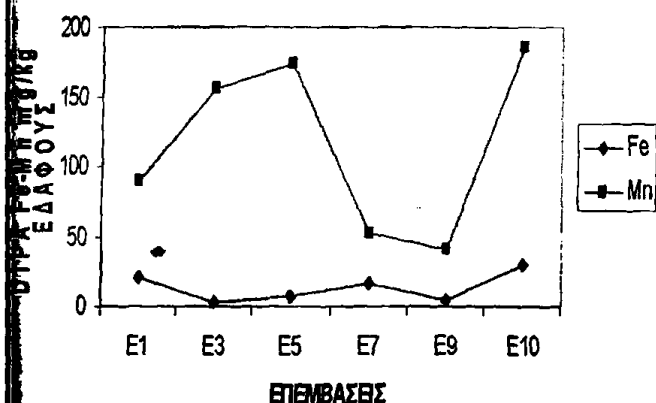


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

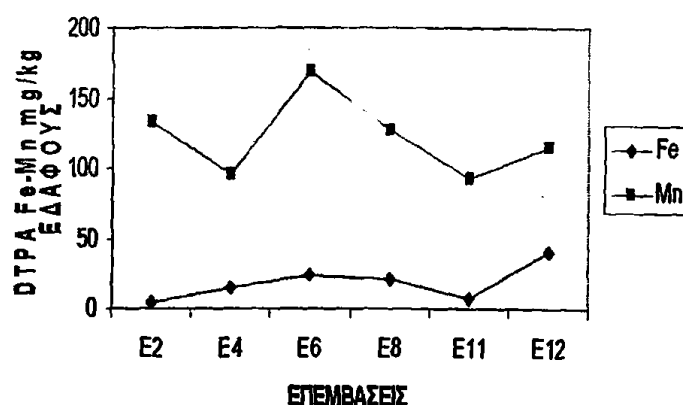
Γράφημα 8.24. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (HA) στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus pinea* L σε διαθέσιμο Cu και Zn

ΕΔΑΦΟΣ

ΧΩΡΙΣ ΗΑ



ΜΕ ΗΑ

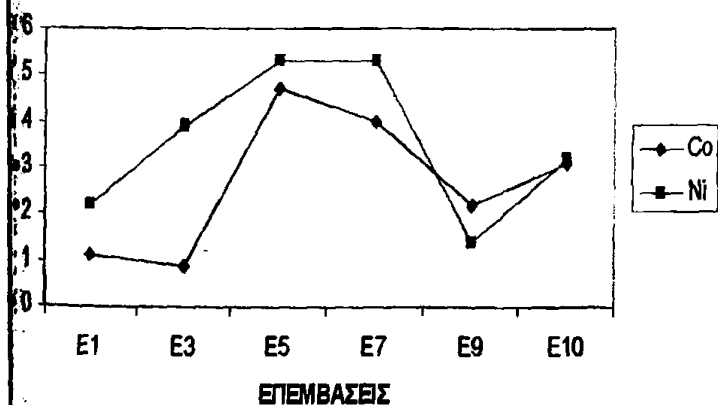


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

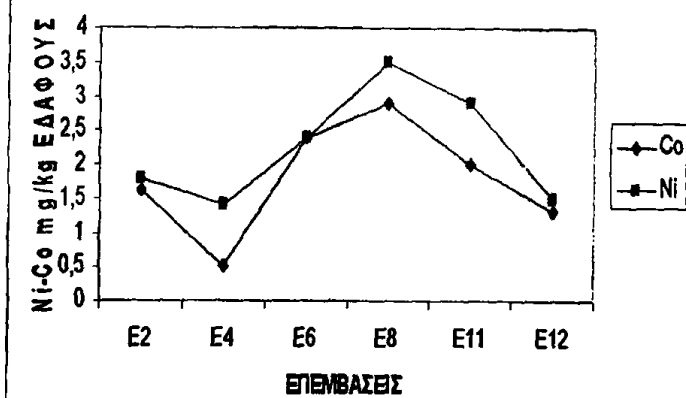
Γράφημα 8.25. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus pinea* L. σε διαθέσιμο Fe και Mn

ΕΔΑΦΟΣ

ΧΩΡΙΣ ΗΑ



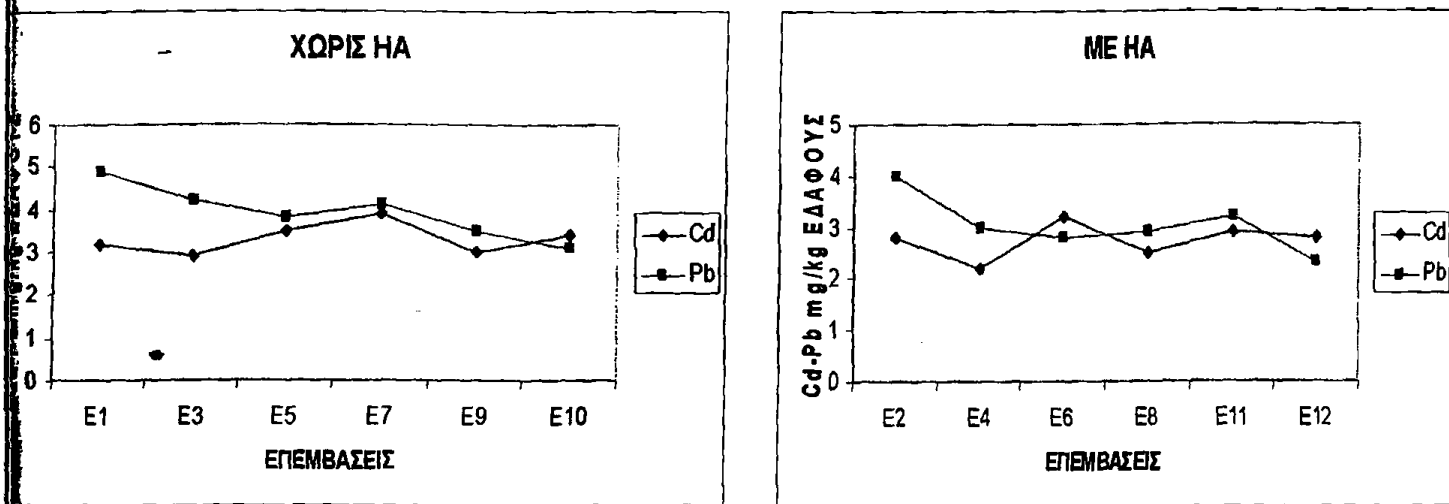
ΜΕ ΗΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.26. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus pinea* L. σε διαθέσιμο Co και Ni

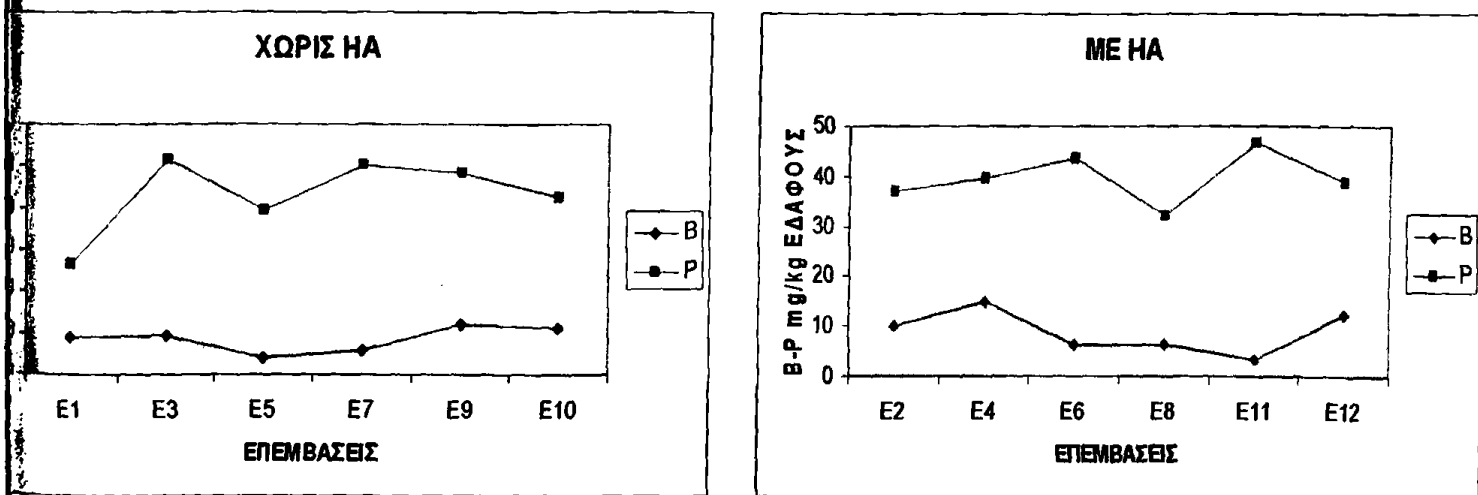
ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.27. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus pinea* L. σε διαθέσιμο Cd και Pb

ΕΔΑΦΟΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.28. Επίδραση των επεμβάσεων με ή χωρίς χουμικό (ΗΑ) στην περιεκτικότητα του εδάφους της *Pinus pinea* L. σε διαθέσιμο B και P

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει με σαφήνεια ότι η παρουσία των χουμικών οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητας των διαθέσιμων επιπέδων του Cu, Zn, Fe, Mn, και P του εδάφους. Αντίθετα δεν παρατηρήθηκε αύξηση των συγκεντρώσεων του Cd, Pb και B.

8.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

8.4.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που περιέχονται στους ιστούς των δασικών ειδών παρουσιάζονται στους πίνακες 8.35 και 8.36.

Πίνακας 8.35 Συγκεντρώσεις των μετάλλων (μg/g) στους φυτικούς ιστούς και ρίζες του *Cupressus Arizona Greene* και στις τέσσερις επαναλήψεις στο μέσο της αυξητικής περιόδου.

στοιχεία (μg/g)		Cupressus Arizona Greene												
		Χειρισμοί												
		Φύλλα												
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
g))	1 ^η	11	9	7	6	3	3,5	2,6	3,9	6	2	7	3	*0,000
														*0,000
	2 ^η	13	10	8	5	2,7	3,8	2,5	3,7	7	1,5	8	2	**0,000
														**0,000
g))	3 ^η	14	10	9	4	3	2	2,5	3,5	8	2	11	2,9	***0,072
														***0,137
	4 ^η	14	11	7	4	3	2	2,9	3,6	8	2	14	2	
g))	1 ^η	34	24	22	20	16	14	12	18	19	11	26	17	*0,000
														*0,000
	2 ^η	38	26	21	19	15	16	11	17	20	10	27	18	**0,000
														**0,000
g))	3 ^η	40	25	20	17	14	16	9	17	21	11	28	17	***0,761
														***0,082
	4 ^η	44	27	19	16	15	18	8	17	20	10	28	19	
g))	1 ^η	62	67	51	54	46	48	26	35	50	35	53	40	*0,000
														*0,000
	2 ^η	67	70	50	53	44	46	26	33	48	37	54	42	**0,000
														**0,000
g))	3 ^η	70	72	50	51	43	44	24	30	46	32	57	40	***0,888
														***0,497
	4 ^η	74	72	50	48	44	46	22	48	46	32	58	40	
g))	1 ^η	80	85	80	75	70	67	71	69	70	67	77	85	*0,000
														*0,000
	2 ^η	84	87	80	77	72	68	73	70	72	69	78	87	**0,011
														**0,005
g))	3 ^η	88	86	80	77	74	69	73	71	72	67	79	88	***0,117
														***0,057
	4 ^η	99	87	80	82	91	72	74	70	72	67	84	97	
		Ρίζες												
g))	1 ^η	22	20	9	11	13	14	8	10	15	14	17	8	*0,000
														*0,000
	2 ^η	24	21	11	13	12	15	9	11	17	14	19	10	**0,001
														**0,004

	3 ^η	26	20	12	14	15	17	11	16	19	18	22	16	*0,299
														***0,751
	4 ^η	27	21	11	15	16	17	10	18	19	17	23	14	
/g)	1 ^η	55	46	39	38	28	32	27	35	27	19	38	25	*0,000
														*0,000
	2 ^η	57	47	41	49	30	31	28	36	26	17	39	23	**0,000
														**0,000
	3 ^η	60	46	40	54	36	30	26	35	24	19	38	24	***0,000
														***0,050
	4 ^η	65	45	43	54	35	30	28	37	24	20	40	24	
/g)	1 ^η	75	84	65	68	62	69	55	62	67	54	70	78	*0,000
														*0,000
	2 ^η	76	86	66	69	61	70	54	63	68	54	71	80	**0,000
														**0,000
	3 ^η	77	88	66	67	64	72	56	63	69	55	72	83	***0,228
														***0,106
	4 ^η	79	88	69	67	64	71	55	64	69	58	71	89	
n /g)	1 ^η	96	98	94	96	84	97	95	99	92	94	108	106	*0,000
														*0,000
	2 ^η	99	97	93	95	87	96	94	101	91	95	109	105	**0,002
														**0,033
	3 ^η	100	97	92	95	88	96	94	103	92	99	110	105	***0,032
														***0,265
	4 ^η	104	107	99	112	117	137	128	103	109	100	127	131	

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 8.36 Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (mg/l) στους φυτικούς ιστούς των φύλλων και της ρίζας για την *Pinus pinea* L. και στις τέσσερις επαναλήψεις στο μέσο της αυξητικής περιόδου.

στοιχεία (μg/g)		Pinus pinea L												
		Χειρισμοί												
		Φύλλα												
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
)	1 ^η	9	8,6	6	5	3,2	3,8	2	4	5	2,5	6	3,5	*0,005
														*0,004
	2 ^η	11	9	7	6	2,5	3,5	1,8	3,4	4,5	2	7	3,3	**0,000
														**0,000
	3 ^η	12	8	6	3,8	2	3	1	3	4	2,5	6	3	***0,018
														***0,061
	4 ^η	11	9	6	4	2	3	1,7	3,6	4	2,2	7	3,1	

g)	1 ⁿ	31	26	23	22	14	16	11	19	20	10	24	15	*0,000
														*0,000
	2 ⁿ	30	24	22	20	13	17	10	18	19	9	25	13	**0,000
														**0,000
	3 ⁿ	33	22	21	18	12	18	10	17	15	8	22	12	***0,034
														***0,020
	4 ⁿ	35	24	20	19	11	17	9	16	15	7	20	13	
g)	1 ⁿ	59	57,9	55	53	44,5	46,5	28,5	33	49	39,5	52	47	*0,000
														*0,000
	2 ⁿ	60	58	54	50	45	42	30	36	49	40	51	43	**0,000
														**0,000
	3 ⁿ	67	59	55	50	44	43	31	35	46	40	53	42	***0,761
														***0,901
	4 ⁿ	68	59	56	50	42	43	31	36	46	39	51	42	
g)	1 ⁿ	77	75	79	73	69	65	72	68	74	69	75	72	*0,000
														*0,000
	2 ⁿ	79	76	81	75	70	66	74	69	74	65	79	74	**0,005
														**0,046
	3 ⁿ	80	76	75	74	70	67	77	69	72	65	78	74	***0,017
														***0,225
	4 ⁿ	88	86	75	79	73	89	76	75	64	68	78	82	
Pileş														
g)	1 ⁿ	19	21,5	10	12	7	11	7	9	13	11	15	14	*0,001
														*0,001
	2 ⁿ	20	22	12	14	8	14	8	10	15	17	14	18	**0,195
														**0,177
	3 ⁿ	19	22	13	19	9	18	16	9	13	17	15	23	***0,495
														***0,611
	4 ⁿ	21	20	12	14	11	19	16	10	15	20	16	24	
g)	1 ⁿ	50	41	37	35	26	29	25	34	26	17	36	21	*0,000
														*0,000
	2 ⁿ	51	45	34	31	23	30	27	37	27	19	38	20	**0,001
														**0,003
	3 ⁿ	56	45	36	30	22	31	27	36	29	18	40	23	***0,149
														***0,350
	4 ⁿ	55	46	37	30	26	31	27	39	29	26	43	27	
g)	1 ⁿ	79	70	68	64	60	63	58	61	62	51	68	82	*0,000
														*0,000
	2 ⁿ	77	71	67	63	59	64	57	61	64	50	70	84	**0,000
														**0,000
	3 ⁿ	79	70	67	62	59	64	58	60	65	52	75	86	***0,121
														***0,074
	4 ⁿ	82	71	67	62	63	64	58	58	65	52	77	84	
g)	1 ⁿ	90	88	93	95	83	96	98	95	88	97	104	96	*0,000
														*0,029
	2 ⁿ	91	87	95	96	82	97	100	94	84	107	103	99	**0,045
														**0,489
	3 ⁿ	93	88	93	98	82	99	102	93	84	109	102	97	***0,236
														***0,056
	4 ⁿ	120	98	103	114	116	108	102	105	84	101	106	97	

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των φυτικών ιστών (φύλλα, ρίζες) ως προς τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες 8.35 και 8.36. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **πρώτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, την **πρώτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των ριζών τόσο σε Mn αλλά και σε Zn. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **δεύτερη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, την **δεύτερη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των ριζών σε Zn. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **τρίτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά

σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών τόσο σε Cu, Mn όσο και σε Zn. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, για την **τρίτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, και Zn αντίστοιχα. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **τέταρτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά επίσης σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών σε Zn. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, για την **τέταρτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Fe, και Zn αντίστοιχα.

8.4.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ-ΒΛΑΣΤΟΥΣ-ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Πίνακας 8.37. Συγκεντρώσεις των μετάλλων (μg/g) στους φυτικούς ιστούς και ρίζες του *Cupressus Arizona* Greene. και στις τέσσερις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Cupressus Arizona Greene													
Χειρισμοί													
Ιχνοστοιχεία (μg/g)	Φύλλα												
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
1 ^η	9	12	8	6	3,5	3,8	3,5	3	8	2,5	9	3,5	*0,000

Cu (µg/g)														**0,000
														***0,236
	2 ⁿ	10	13	9	7	4,5	4,8	4,5	4	9	3,5	10	4,5	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	11,5	14,5	10,5	8,5	6	6,3	6	5,5	10,5	5	11,5	6	*0,001
														**0,000
														***0,005
	4 ⁿ	8	11	7	5	2,5	2,8	2,5	2	7	1,5	8	2,5	*0,000
														**0,000
														***0,236
Zn (µg/g)	1 ⁿ	42	27	23	21	19	16	14	19	19	13	30	19	*0,000
														**0,000
														***0,432
	2 ⁿ	45	30	26	24	22	19	17	22	22	16	33	22	*0,000
														**0,000
														***0,278
	3 ⁿ	46	31	27	25	23	20	18	23	23	17	34	23	*0,000
														**0,000
														***0,018
	4 ⁿ	50	35	31	29	27	24	22	27	27	21	38	27	*0,085
														**0,000
														***0,000
Fe (µg/g)	1 ⁿ	66	70	54	56	47	49	28	37	51	38	55	42	*0,000
														**0,000
														***0,812
	2 ⁿ	74	78	62	64	55	57	36	45	59	46	63	50	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	71	75	59	61	52	54	33	42	56	43	60	47	*0,000
														**0,000
														***0,247
	4 ⁿ	69	73	57	59	50	52	31	40	54	41	58	45	*0,000
														**0,000
														***0,000
Mn (µg/g)	1 ⁿ	86	88	84	77	73	69	74	70	72	68	79	90	*0,000
														**0,017
														***0,050
	2 ⁿ	96	98	94	87	83	79	84	80	82	78	89	100	*0,030
														**0,017
														***0,000
	3 ⁿ	100	102	98	91	87	83	88	84	86	82	93	104	*0,067
														**0,017
														***0,000
	4 ⁿ	103	105	101	94	90	86	91	87	89	85	96	107	*0,018
														**0,017
														***0,000
Ni (µg/g)	1 ⁿ	3,7	4	4,9	1,7	6	5,2	6,2	2,2	2,5	3,9	2,2	1,5	*0,000

	2 ⁿ	3,8	4,1	5	1,8	6,1	5,3	6,3	2,3	2,6	4	2,3	1,6	**0,000
														***0,505
														*0,009
	3 ⁿ	4	4,3	5,2	2	6,3	5,5	6,5	2,5	2,8	4,2	2,5	1,8	**0,000
														***0,000
														*0,018
	4 ⁿ	3,5	3,8	4,7	1,5	5,8	5	6	2	2,3	3,7	2	1,3	**0,000
														***0,000
														*0,000
Co (μg/g)	1 ⁿ	3,1	0,2	2,7	0,2	4	3	2,3	1,6	1,3	0,6	0,1	0,1	**0,000
														***0,000
														*0,002
	2 ⁿ	3,3	0,4	2,9	0,4	4,2	3,2	2,5	1,8	1,5	0,8	0,3	0,3	**0,000
														***0,000
														*0,001
	3 ⁿ	3,4	0,5	3	0,5	4,3	3,3	2,6	1,9	1,6	0,9	0,4	0,4	**0,000
														***0,000
														*0,002
	4 ⁿ	3,2	0,3	2,8	0,3	4,1	3,1	2,4	1,7	1,4	0,7	0,2	0,2	**0,000
														***0,058
														*0,001
P(μg/g)	1 ⁿ	0,47	0,7	0,85	0,75	0,71	0,8	0,82	0,6	0,81	0,75	0,81	0,74	**0,000
														***0,000
														*0,000
	2 ⁿ	0,48	0,71	0,86	0,76	0,72	0,81	0,83	0,61	0,82	0,76	0,82	0,75	**0,000
														***0,000
														*0,000
	3 ⁿ	0,51	0,74	0,90	0,78	0,75	0,85	0,87	0,65	0,86	0,79	0,87	0,78	**0,000
														***0,000
														*0,033
	4 ⁿ	0,44	0,66	0,8	0,68	0,68	0,74	0,76	0,55	0,76	0,66	0,78	0,7	**0,000
														***0,000
														*0,000
Cd (μg/g)	1 ⁿ	0,019	0,025	0,040	0,045	0,065	0,07	0,09	0,097	0,049	0,07	0,06	0,085	**0,000
														***0,002
														*0,146
	2 ⁿ	0,02	0,03	0,038	0,048	0,067	0,075	0,095	0,099	0,053	0,076	0,065	0,08	**0,315
														***0,313
														*0,000
	3 ⁿ	0,021	0,031	0,042	0,048	0,07	0,079	0,093	0,096	0,05	0,07	0,06	0,08	**0,000
														***0,1
														*0,000
	4 ⁿ	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,1	0,05	0,071	0,06	0,085	**0,000
														***0,031
														*0,095
Pb(μg/g)	1 ⁿ	2	2,6	2,8	2,3	3	2	3	2,1	3,2	2,1	2,4	2	**0,670

	2 ^η	1,5	2	2,7	2	2,6	1,8	2,6	2	3	2	2,2	1,5	***0,283	
														*0,095	
														**0,676	
	3 ^η	2	2,3	2,5	2,1	2,7	1,6	2,5	2	3	2	2	1,8	***0,239	
														*0,709	
														**0,779	
	4 ^η	2	2	2,8	1,9	2,8	2	2,7	1,9	2,8	1,8	2	2	***0,480	
														*0,169	
														**0,677	
															***0,387
		Πίξες													
Cu (μg/g)	1 ^η	24	21	9	12	13	14	9	11	17	15	19	9	*0,000	
														**0,000	
														***0,701	
	2 ^η	27	24	12	15	16	17	12	14	20	18	22	12	*0,000	
														**0,000	
														***0,144	
	3 ^η	29	26	14	17	18	19	14	16	22	20	24	14	*0,000	
														**0,000	
														***0,019	
	4 ^η	31	28	16	19	20	21	16	18	24	22	26	16	*0,126	
														**0,000	
														***0,000	
Zn (μg/g)	1 ^η	59	47	41	39	29	34	28	37	28	21	40	27	*0,000	
														**0,000	
														***0,002	
	2 ^η	63	51	45	43	33	38	32	41	32	25	44	31	*0,000	
														**0,000	
														***0,000	
	3 ^η	65	53	47	45	35	40	34	43	34	27	46	33	*0,000	
														**0,000	
														***0,000	
	4 ^η	68	56	50	48	38	43	37	46	37	30	49	36	*0,032	
														**0,000	
														***0,000	
Fe (μg/g)	1 ^η	77	89	66	68	64	72	59	64	68	55	73	84	*0,000	
														**0,000	
														***0,175	
	2 ^η	81	93	70	72	68	76	63	68	72	59	77	88	*0,000	
														**0,000	
														***0,024	
	3 ^η	84	96	73	75	71	79	66	71	75	62	80	91	*0,036	
														**0,000	
														***0,000	
	4 ^η	86	98	75	77	73	81	68	73	77	64	82	93	*0,016	
														***0,000	
														***0,000	
	1 ^η	104	99	96	97	87	99	96	102	94	97	112	108	*0,000	

Mn (µg/g)														**0,006
														***0,057
	2 ⁿ	114	109	106	107	97	109	106	112	104	107	122	118	*0,016
														**0,006
														***0,000
	3 ⁿ	119	114	111	112	102	114	111	117	109	112	127	123	*0,027
														**0,006
														***0,000
	4 ⁿ	107	102	99	100	90	102	99	105	97	100	115	111	*0,068
														**0,006
														***0,000
Ni (µg/g)	1 ⁿ	5	6	5,2	3	7	6	7,2	3	4	4,9	2,9	2	*0,000
														**0,000
														***0,000
	2 ⁿ	7	8	7,2	5	9	8	9,2	5	6	6,9	4,9	4	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	7,9	8,9	8,1	5,9	9,9	8,9	10,1	5,9	6,9	7,8	5,8	4,9	*0,006
														**0,000
														***0,000
Co (µg/g)	4 ⁿ	9,3	10,3	9,5	7,3	11,3	10,3	11,5	7,3	8,3	9,2	7,2	6,3	*0,151
														**0,000
														***0,000
	1 ⁿ	4	0,5	3	0,4	4,8	3,9	4	2,2	2,4	1	0,5	0,8	*0,000
														**0,000
														***0,000
	2 ⁿ	4,2	0,7	3,2	0,6	5	4,1	4,2	2,4	2,6	1,2	0,7	1	*0,000
														**0,000
														***0,000
P (µg/g)	3 ⁿ	3,9	0,4	2,9	0,3	4,7	3,8	3,9	2,1	2,3	0,9	0,4	0,7	*0,023
														**0,000
														***0,000
	4 ⁿ	4,4	0,9	3,4	0,8	5,2	4,3	4,4	2,6	2,8	1,4	0,9	1,2	*0,001
														**0,000
														***0,000
	1 ⁿ	0,25	0,15	0,4	0,3	0,28	0,38	0,42	0,21	0,65	0,72	0,70	0,6	*0,000
														**0,000
														***0,000
P (µg/g)	2 ⁿ	0,3	0,17	0,4	0,31	0,31	0,4	0,4	0,23	0,7	0,77	0,74	0,65	*0,000
														**0,000
														***0,001
	3 ⁿ	0,28	0,18	0,37	0,35	0,27	0,37	0,41	0,25	0,65	0,71	0,73	0,64	*0,003
														**0,000
														***0,001
	4 ⁿ	0,31	0,2	0,4	0,33	0,28	0,41	0,4	0,2	0,7	0,6	0,7	0,6	*0,001
														**0,000
														***0,000
	1 ⁿ	0,049	0,055	0,060	0,075	0,095	0,09	0,1	0,12	0,07	0,09	0,08	0,14	*0,000

Cd(μg/g)	1 ^η	0,049	0,055	0,060	0,075	0,095	0,09	0,1	0,12	0,07	0,09	0,08	0,14	*0,000
														**0,000
														***0,044
	2 ^η	0,05	0,06	0,058	0,07	0,09	0,09	0,11	0,13	0,075	0,095	0,085	0,13	*0,000
														**0,000
														***0,010
	3 ^η	0,052	0,065	0,06	0,075	0,095	0,09	0,12	0,13	0,07	0,095	0,08	0,14	*0,000
														**0,000
														***0,235
	4 ^η	0,05	0,06	0,06	0,07	0,09	0,095	0,1	0,11	0,07	0,09	0,08	0,14	*0,000
														**0,000
														*0,033
Pb(μg/g)	1 ^η	3	2,9	3	2,5	2,8	1,8	2,7	2,2	3,1	2	2,4	1,9	*0,085
														**0,336
														***0,801
	2 ^η	4	2,5	3	2	2,5	1,5	2,5	2	3	1,5	2	1,7	*0,004
														**0,245
														***0,447
	3 ^η	3	2,6	3	2,6	2,8	1,5	2,5	2	3	1,5	2,4	1,9	*0,019
														**0,381
														***0,377
	4 ^η	3	2,7	3	2,5	2,5	1	2	2,1	3	1,5	2	1,8	*0,140
														**0,377
														***0,746

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Από την ANOVA προέκυψε ότι οι διαφορές στην περιεκτικότητα των μικροθρεπτικών υπό την επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων, υπήρξε στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σφάλματος $P 0,001$ (Πιν.8.38).

Πίνακας 8.38. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα της Ξηρής Ουσίας (ξ.ο) των φύλλων του Cupressus Arizona Greene

Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά φύλλων (μg/g) ξο	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	17,428***
Ψευδάργυρος (Zn)	23,573***
Σίδηρος (Fe)	576,356***

Μαγγάνιο (Mn)	241,818***
Νικέλιο (Ni)	252,811***
Κάδμιο (Cd)	375,916***
Μόλυβδος (Pb)	18,511***
Φώσφορος (P)	28,049***
Κοβάλτιο (Co)	462,109***

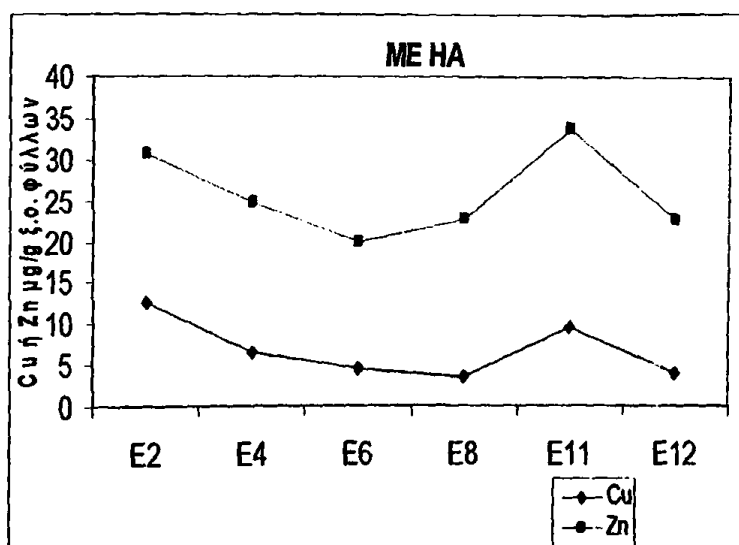
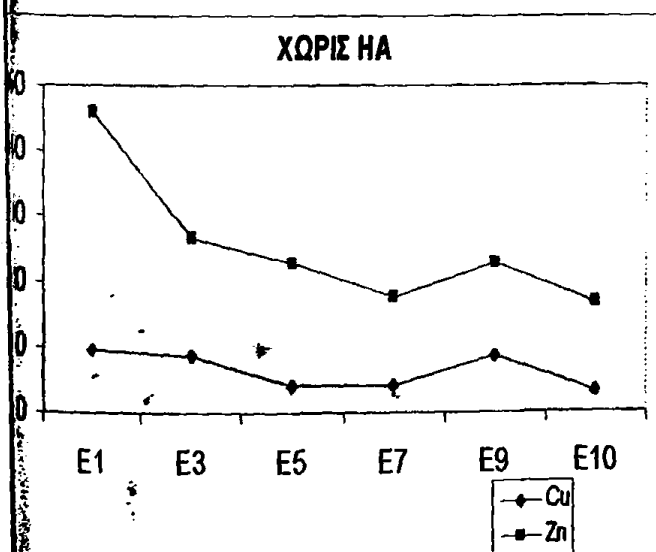
Πίνακας 8.39. Σύγκριση των δεδομένων της περιεκτικότητας των ριζών και των φύλλων του *Cupressus Arizonica* Greene σε μέταλλα εκτιμώμενη με την δοκιμή t (t-test) παρουσία ή απουσία χουμικών (HA)

Παράγων	Στοιχεία	Τιμή t
Φύλλα	Cu	-1,483ns
	Zn	-0,191ns
	Fe	-8,542***
	Mn	-1,306***
	Ni	5,294***
	Co	7,757***
	Cd	-13,702***
	Pb	4,793***
Ρίζα	Cu	0,247ns
	Zn	-1,808ns
	Fe	-5,435***
	Mn	-4,547***
	Ni	5,079***
	Co	8,119***
	Cd	0,536ns
	Pb	5,130***

Ως τόσο όμως, οι διαφορές στην περιεκτικότητα του Cu και Zn της Ξηρής Ουσίας (ΕΟ) των φύλλων παρουσία ή απουσία HA βρέθηκε στατιστικά μη σημαντική (Πίνακας 8.39), (Εικόνα), ενώ αντίθετα για τα Fe, Mn, Ni, Co, Cd και Pb στατιστικά σημαντική. Οι διαφορές στην περιεκτικότητα του Cu, Cd και Zn της Ξηρής Ουσίας

(ΕΟ) των ριζών παρουσία ή απουσία ΗΑ βρέθηκε στατιστικά μη σημαντική (Πίνακας 8.39), (Εικόνα 8.29), ενώ αντίθετα για τα Fe, Mn, Ni, Co, και Pb στατιστικά σημαντική. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στην περίπτωση των φύλλων, η υψηλότερη συγκέντρωση τόσο του Cu όσο και του Zn, επιτεύχθηκε απουσία μεν των ΗΑ, υπό την επίδραση της επέμβασης E1 (Control), παρουσία δε των ΗΑ υπό την επίδραση της επέμβασης E11 (Control+TMWW+200 ppm ΗΑ). Προφανώς, η παρουσία των επεξεργασμένων λυμάτων στον συνδιασμό εφοδίασε τα φυτά με άμεσα διαθέσιμες μορφές θρεπτικών, συνεργούντων των χουμικών οξέων, τα οποία συνέβαλαν στη δημιουργία ευδιάλυτων χηλικών ενώσεων, ευκόλως προσλήψιμων από τα φυτά. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών λυμάτων συμβάλλει στην αύξηση της περιεκτικότητας των φυτών και ειδικότερα των φύλλων, σε θρεπτικά του *Brassica oleracea* var *italica* (Μπρόκολο)(Kalavrouziotis et. al., 2008). Από τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, φαίνεται ότι η παρουσία των χουμικών ενισχύει και αυξάνει την διαθεσιμότητα του Cu, Fe, Mn, και Zn που περιέχονται στα επεξεργασμένα αστικά λύματα. Αυτή η ένδειξη θα πρέπει να επιβεβαιωθεί με περαιτέρω πειράματα.

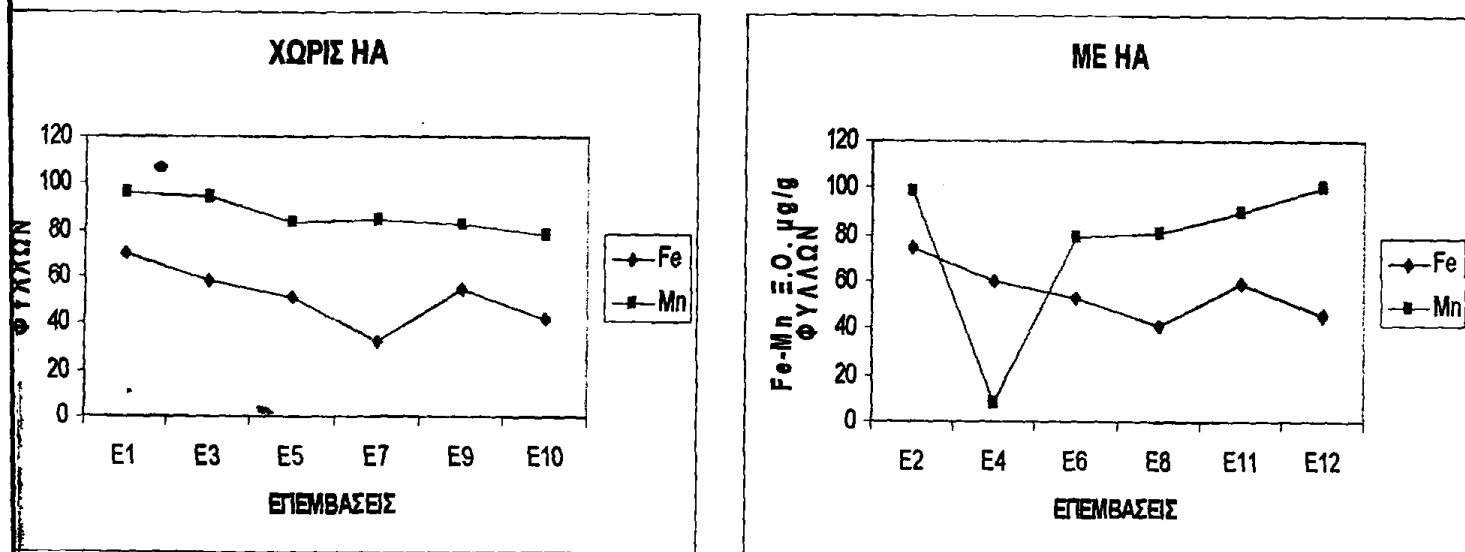
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.29. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Cu, Zn των φύλλων του Cupressus Arizonica Greene απουσία ή παρουσία των χουμικών (HA)

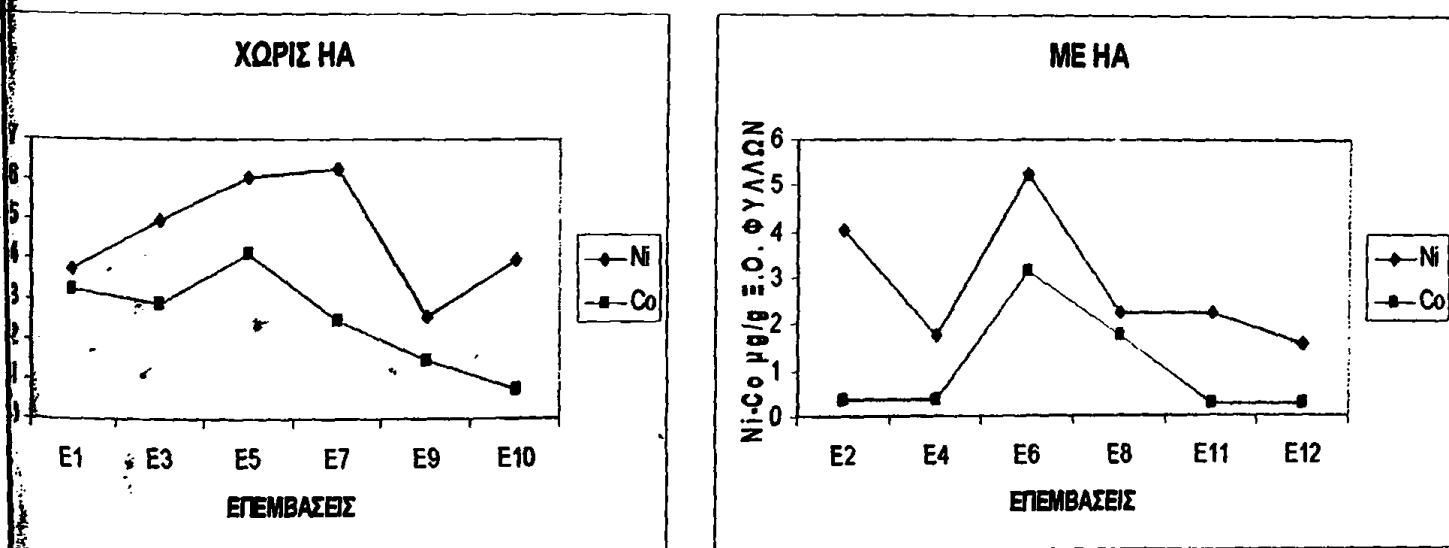
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.30. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Fe, Mn των φύλλων του Cupressus Arizonica Greene απουσία ή παρουσία των χουμικών (HA)

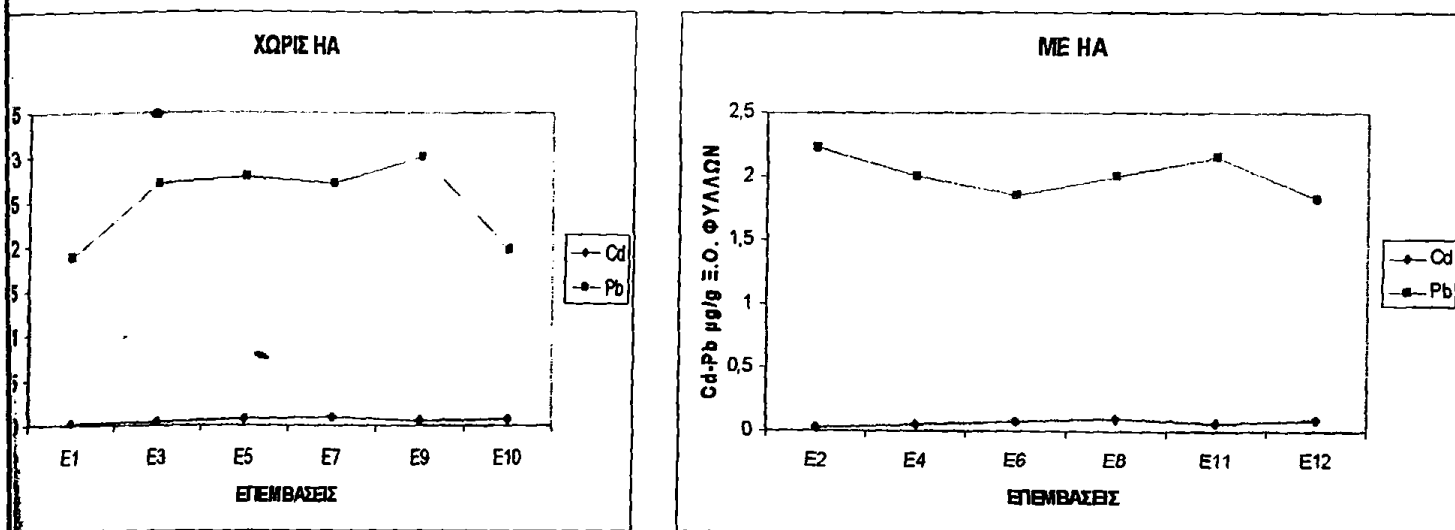
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.31. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Ni, Co των φύλλων του *Cupressus Arizona* Greene απουσία ή παρουσία των χουμικών (HA)

ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.32. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Pb, Cd των φύλλων του *Cupressus Arizona* Greene απουσία ή παρουσία των χουμικών (HA)

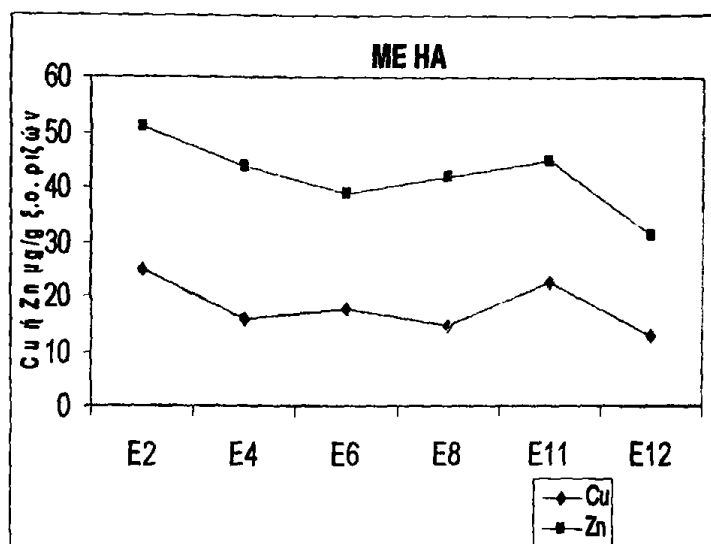
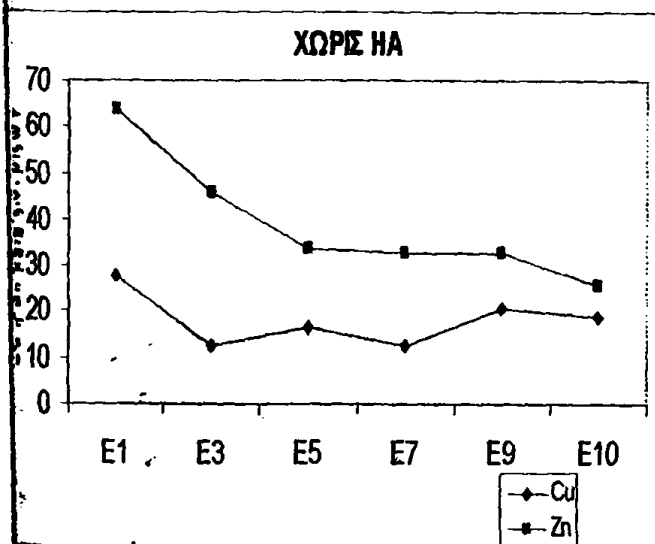
Και στην περίπτωση των ριζών, ενώ οι διαφορές στην περιεκτικότητα της ξ.ο. σε Cu και Zn υπήρξαν στατιστικά σημαντικές ($P < 0,001$) (Πίνακας V) ως τόσο οι διαφορές στην περιεκτικότητα των θρεπτικών αυτών στοιχείων υπο την επίδραση της παρουσίας των HA ή της απουσίας αυτών, βρέθηκε στατιστικά μη σημαντικές (Πίνακας III), (Εικόνα III). Μελετώντας την εικόνα αυτή διαπιστώνεται ότι και στην περίπτωση των ριζών η μέγιστη συγκέντρωση σε Cu και Zn, επιτεύχθηκε απουσία των HA, υπό την επίδραση της επέμβασης E1 (Control), παρουσία δε των HA υπό την επίδραση της επέμβασης E2 (Control+200 ppm HA). Αποδεικνύεται και εδώ ο σημαντικός ρόλος των χουμικών στην αύξηση της διαθεσιμότητας των μικροθρεπτικών στα φυτά και στην προκειμένη περίπτωση στο *Cupressus Arizona* Greene.

Πίνακας 8.40. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των ριζών του *Cupressus Arizona* Greene σε μικροθρεπτικά (μg/g) ξ.ο.

Μελετώμενος παράγοντας Μικροθρεπτικά ριζών (μg/g) ξο	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	11,048***
Ψευδάργυρος (Zn)	30,307***
Σίδηρος (Fe)	25,160***
Μαγγάνιο (Mn)	3,781***
Κάδμιο (Cd)	1,276
Μόλυβδος (Pb)	21,795***
Νικέλιο (Ni)	3,595***
Κοβάλτιο (Co)	215,439***
Φώσφορος (P)	179,591***

(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

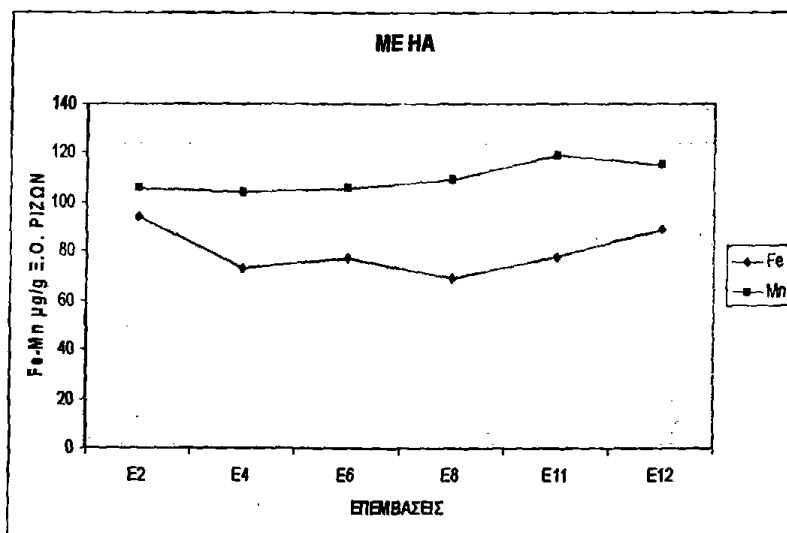
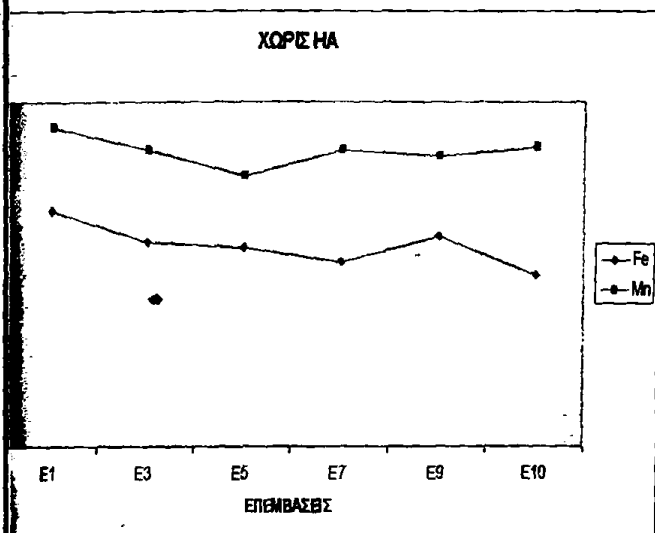
ΡΙΖΕΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.33. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών του *Cupressus Arizona* Greene σε Cu και Zn.

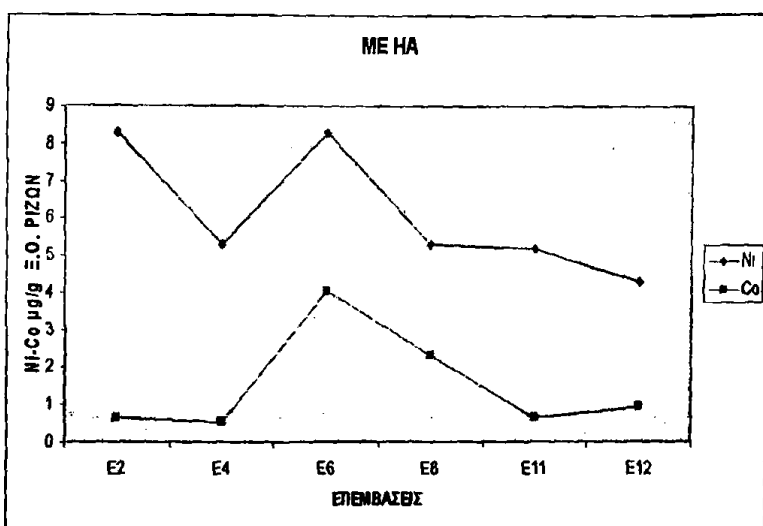
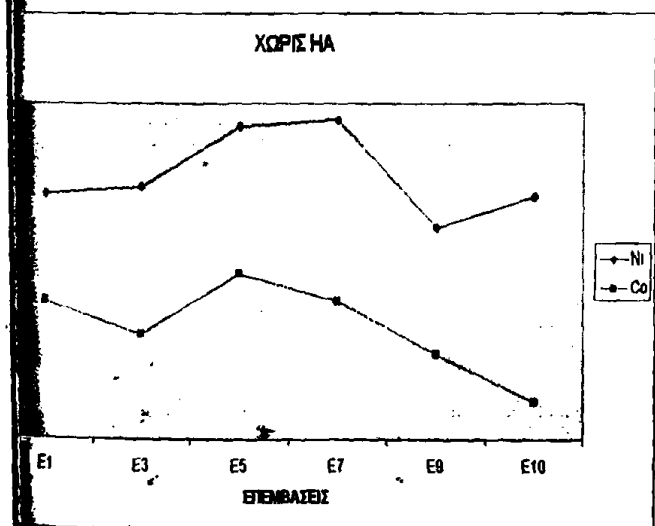
ΡΙΖΕΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.34. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών του *Cupressus Arizona Greene* σε Fe και Mn.

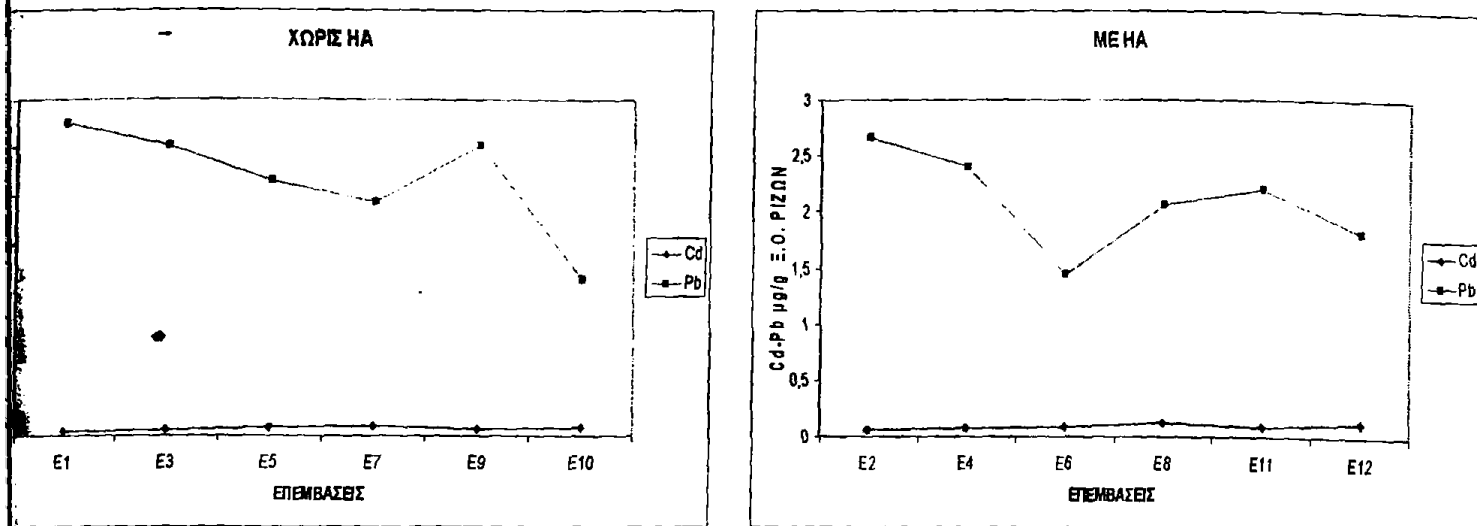
ΡΙΖΕΣ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.35. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών του *Cupressus Arizona Greene* σε Ni και Co.

ΡΙΖΕΣ



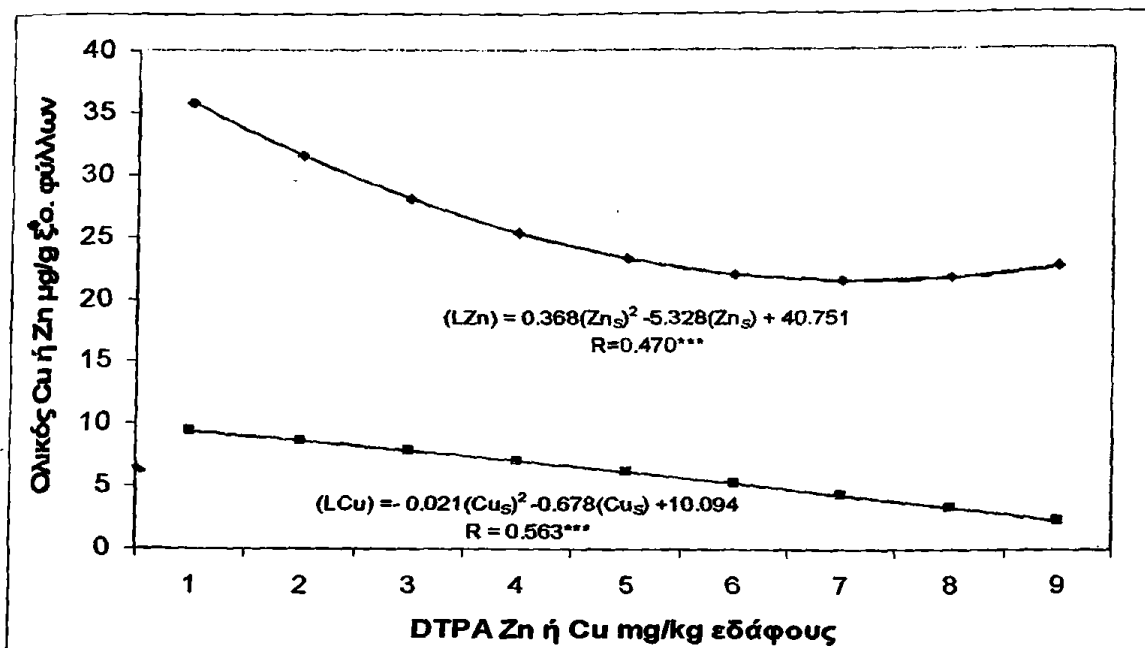
ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.36. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών του *Cupressus Arizonica Greene* σε Pb και Cd.

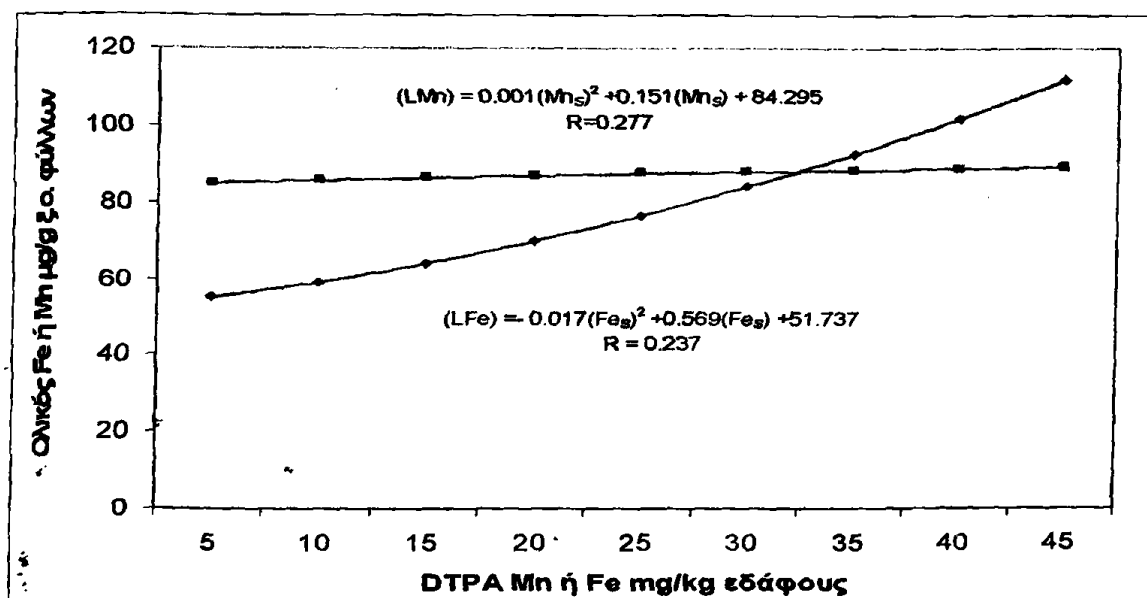
Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 8.37) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cupressus Arizonica Greene*, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (35 μg/g) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (9,8 μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Zn όσο και του Cu στο έδαφος, συμβάλλει στην δραστική μείωση της αντίστοιχης συγκέντρωσής των ανωτέρω στοιχείων στα φύλλα.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι με την αύξηση των επιπέδων των Cu και Zn στο έδαφος παρατηρείται μια προϊούσα κ, στην αντίστοιχη περιεκτικότητά τους στα φύλλα, η οποία ενδεχομένως με την περαιτέρω αύξηση των επιπέδων των στοιχείων αυτών στο έδαφος μπορεί να αποβεί τοξική σε βάρος των φυτών, συνεπεία βασικά, της μείωσης των επιπέδων τους στα φύλλα. Το θέμα αυτό βέβαια θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, λόγω του ενδιαφέροντος και της άμεσης σχέσης του με την

ορθολογική αξιοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων στα πλαίσια της ανάπτυξης και εν τέλει της αειφορικής διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων.



Γράφημα 8.37. Συμμεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων του *Cupressus Arizona Greene*.



Γράφημα 8.38. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων του *Cupressus Arizona Greene*.

Από την προκαταρκτική συµµεταβολή που πραγµατοποιήθηκε (Γράφηµα 8.38) µεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Cupressus Arizonica* Greene, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (85 µg/g) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Mn (5 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του Fe (55 µg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 5 mg/kg.

Πίνακας 8.41 Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (µg/g) στους φυτικούς ιστούς των φύλλων και της ρίζας για την *Pinus pinea* L. και στις τέσσερις επαναλήψεις στο τέλος της αυξητικής περιόδου.

Pinus pinea L														
Χειρισμοί														
Ιχνοστοιχεία		Φύλλα												
(µg/g)		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	P
Cu (µg/g)	1 ^η	10	9,6	7	6	3,5	4	2,4	4,6	5	2,9	7	3,7	*0,000
														**0,000
														***0,236
	2 ^η	11	10,6	8	7	4,5	5	3,4	5,6	6	3,9	8	4,7	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ^η	11,6	11,2	8,6	7,6	5,1	5,6	4	6,2	6,6	4,5	8,6	5,3	*0,001
														**0,000
														***0,005
	4 ^η	9	8,6	6	5	2,5	3	1,4	3,6	4	1,9	6	2,7	*0,000
														**0,000
														***0,236
Zn (µg/g))	1 ^η	33	28	25	24	16	18	12	22	20	11	26	17	*0,000
														**0,000
														***0,432
	2 ^η	38	33	30	29	21	23	17	27	25	16	31	22	*0,000
														**0,000
														***0,278
	3 ^η	35	30	27	26	18	20	14	24	22	13	28	19	*0,000
														**0,000
														***0,018
	4 ^η	32	27	24	23	15	17	11	21	19	10	25	16	*0,085
														**0,000
														***0,000
	1 ^η	64	62	58	55	46	48	30	35	51	40	53	48	*0,000

Fe (µg/g)														**0,000
														***0,812
	2 ⁿ	66	64	60	57	48	50	32	37	53	42	55	50	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	68	66	62	59	50	52	34	39	55	44	57	52	*0,000
														**0,000
														***0,247
	4 ⁿ	62	60	56	53	44	46	28	33	49	38	51	46	*0,000
														**0,000
														***0,000
Mn (µg/g)	1 ⁿ	80	76	81	75	70	66	73	69	76	70	77	73	*0,000
														**0,017
														***0,050
	2 ⁿ	83	79	84	78	73	69	76	72	79	73	80	76	*0,030
														**0,017
														***0,000
	3 ⁿ	79	75	80	74	69	65	72	68	75	69	76	72	*0,067
														**0,017
														***0,000
	4 ⁿ	92	88	93	87	82	78	85	81	88	82	89	85	*0,018
														**0,017
														***0,000
Ni(µg/g)	1 ⁿ	4	4,1	4,5	1,5	7	4,9	6,5	2	2,8	4,9	1,7	1,3	* 0,000
														**0,000
														***0,505
	2 ⁿ	5,1	5,2	5,6	2,6	8,1	6	7,6	3,1	3,9	6	2,8	2,4	*0,009
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	5,5	5,6	6	3	8,5	6,4	8	3,5	4,3	6,4	3,2	2,8	* 0,018
														**0,000
														***0,000
	4 ⁿ	3,8	3,9	4,3	1,3	6,8	4,7	6,3	1,8	2,6	4,7	1,5	1,1	*0,000
														**0,000
														***0,505
Co (µg/g)	1 ⁿ	3	0,4	3,1	0,5	4,7	3,3	2,5	1,8	1,7	0,9	0,5	0,7	*0,002
														**0,000
														***0,000
	2 ⁿ	3,2	0,6	3,3	0,7	4,9	3,5	2,7	2	1,9	1,1	0,7	0,9	*0,001
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	3,5	0,9	3,6	1	5,2	3,8	3	2,3	2,2	1,4	1	1,2	*0,002
														**0,000
														***0,000
	4 ⁿ	2,9	0,3	3	0,4	4,6	3,2	2,4	1,7	1,6	0,8	0,4	0,6	*0,001
														**0,000
														***0,058
(µg/g)	1 ⁿ	0,50	0,76	0,93	0,79	0,73	0,88	0,89	0,64	0,87	0,77	0,87	0,79	*0,000
														**0,000

														***0,000
	2 ⁿ	0,51	0,77	0,94	0,8	0,74	0,89	0,9	0,65	0,88	0,78	0,88	0,8	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	0,53	0,79	0,97	0,83	0,77	0,92	0,94	0,67	0,90	0,8	0,91	0,84	*0,000
														**0,000
														***0,000
	4 ⁿ	0,55	0,8	0,99	0,84	0,78	0,93	0,92	0,69	0,93	0,82	0,93	0,87	*0,033
														**0,000
														***0,000
Cd (μg/g)	1 ⁿ	0,025	0,033	0,037	0,049	0,069	0,078	0,093	0,099	0,055	0,078	0,068	0,084	*0,000
														**0,000
														***0,002
	2 ⁿ	0,028	0,034	0,038	0,05	0,07	0,08	0,09	0,1	0,059	0,08	0,07	0,08	*0,146
														**0,315
														***0,313
	3 ⁿ	0,024	0,032	0,039	0,048	0,065	0,077	0,094	0,099	0,06	0,079	0,071	0,084	*0,000
														**0,000
														***0,1
	4 ⁿ	0,024	0,033	0,04	0,05	0,07	0,076	0,095	0,1	0,06	0,078	0,07	0,087	*0,000
														**0,000
														***0,031
Pb (μg/g)	1 ⁿ	4	3,1	2,3	2,1	2,9	3	3,2	2,5	2	2,5	3	2	*0,095
														**0,670
														***0,283
	2 ⁿ	3,5	3	2	2	2,5	3	3	2	2	2	3	1,5	*0,095
														**0,676
														***0,239
	3 ⁿ	4	2,5	1,5	1,4	2	2,5	2,6	2,4	2	2,5	3	2	*0,709
														**0,779
														***0,480
	4 ⁿ	3,5	3	2	2	2,5	2	2	2,5	2	2,6	2,5	2	*0,169
														**0,677
														***0,387
Πίνακας														
Cu (μg/g)	1 ⁿ	22	23	12	14	9	12	8	10	15	12	17	15	*0,000
														**0,000
														***0,701
	2 ⁿ	24	25	14	16	11	14	10	12	17	14	19	17	*0,000
														**0,000
														***0,144
	3 ⁿ	25	26	15	17	12	15	11	13	18	15	20	18	*0,000
														**0,000
														***0,019
	4 ⁿ	21	22	11	13	8	11	7	9	14	11	16	14	*0,126
														**0,000
														***0,000
Zn	1 ⁿ	52	43	39	37	28	32	27	36	28	19	39	24	*0,000
														**0,000

(μg/g)	2 ⁿ	54	45	41	39	30	34	29	38	30	21	41	26	***0,002
														*0,000
														**0,000
	3 ⁿ	56	47	43	41	32	36	31	40	32	23	43	28	***0,000
														*0,000
														**0,000
	4 ⁿ	53	44	40	38	29	33	28	37	29	20	40	25	***0,000
														*0,032
														**0,000
	1 ⁿ	84	72	69	66	60	64	59	62	64	53	70	86	***0,000
														*0,000
														**0,000
Fe (μg/g)	2 ⁿ	86	74	71	68	62	66	61	64	66	55	72	88	***0,175
														*0,000
														**0,000
	3 ⁿ	80	68	65	62	56	60	55	58	60	49	66	82	***0,024
														*0,000
														**0,000
	4 ⁿ	85	73	70	67	61	65	60	63	65	54	71	87	***0,000
														*0,036
														**0,000
Mn (μg/g)	1 ⁿ	94	90	98	97	85	99	100	96	89	100	108	97	***0,000
														*0,006
														***0,057
	2 ⁿ	98	94	102	101	89	103	104	100	93	104	112	101	*0,016
														**0,006
														***0,000
	3 ⁿ	100	96	104	103	91	105	106	102	95	106	114	103	*0,027
														**0,006
														***0,000
	4 ⁿ	126	122	130	129	117	131	132	128	121	132	140	129	*0,068
														**0,006
														***0,000
Ni (μg/g)	1 ⁿ	5,4	6,8	5,9	4	7,9	6,5	7,8	4	5	5,3	3,6	1,6	*0,000
														**0,000
														***0,000
	2 ⁿ	5,9	7,3	6,4	4,5	8,4	7	8,3	4,5	5,5	5,8	4,1	2,1	*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	6,2	7,6	6,7	4,8	8,7	7,3	8,6	4,8	5,8	6,1	4,4	2,4	*0,006
														**0,000
														***0,000
	4 ⁿ	5,2	6,6	5,7	3,8	7,7	6,3	7,6	3,8	4,8	5,1	3,4	1,4	*0,151
														**0,000
														***0,000
1 ⁿ	4,2	1	3,6	0,8	5	4	4,2	2,5	2,7	1,2	0,7	0,9	0,9	*0,000
														**0,000

Co (μg/g)	2 ⁿ	4,4	1,2	3,8	1	5,2	4,2	4,4	2,7	2,9	1,4	0,9	1,1	***0,000
														*0,000
														**0,000
														***0,000
	3 ⁿ	4,8	1,6	4,2	1,4	5,6	4,6	4,8	3,1	3,3	1,8	1,3	1,5	*0,023
														**0,000
														***0,000
														*0,001
	4 ⁿ	3,8	0,6	3,2	0,4	4,6	3,6	3,8	2,1	2,3	0,8	0,3	0,5	**0,000
														***0,000
														*0,001
														**0,000
P (μg/g)	1 ⁿ	0,35	0,22	0,5	0,35	0,4	0,48	0,54	0,25	0,8	0,79	0,71	0,64	*0,000
														**0,000
														***0,000
	2 ⁿ	0,39	0,2	0,5	0,4	0,45	0,5	0,6	0,3	0,87	0,8	0,73	0,64	*0,000
														**0,000
														***0,001
	3 ⁿ	0,37	0,24	0,52	0,38	0,5	0,53	0,55	0,28	0,9	0,77	0,76	0,63	*0,003
														**0,000
														***0,001
	4 ⁿ	0,4	0,2	0,53	0,4	0,4	0,5	0,55	0,3	0,85	0,8	0,7	0,6	*0,001
														**0,000
														***0,000
Cd (μg/g)	1 ⁿ	0,055	0,068	0,05	0,079	0,097	0,099	0,12	0,14	0,085	0,1	0,08	0,13	*0,000
														**0,000
														***0,044
	2 ⁿ	0,06	0,07	0,055	0,07	0,09	0,1	0,11	0,14	0,08	0,11	0,09	0,13	*0,000
														**0,000
														***0,010
	3 ⁿ	0,055	0,063	0,053	0,076	0,1	0,11	0,12	0,14	0,08	0,1	0,08	0,13	*0,000
														**0,000
														***0,235
	4 ⁿ	0,05	0,07	0,05	0,07	0,1	0,1	0,12	0,14	0,09	0,11	0,09	0,13	*0,000
														**0,000
														*0,033
Pb(μg/g)	1 ⁿ	3,4	3	2	2	2,5	2,8	3,1	2,2	1,7	2,4	2,8	1,8	*0,085
														**0,336
														***0,801
	2 ⁿ	3	2,5	1,5	2	2	2,5	3	2	1,5	2	2,5	1,5	*0,004
														**0,245
														***0,447
	3 ⁿ	3,3	2	1,5	2	2,3	2	3	2	1,5	2,2	2,8	1,8	*0,019
														**0,381
														***0,377
	4 ⁿ	4	2,5	2	2	2	2,5	3	2,1	1,6	2	2,6	1,8	*0,140
														**0,377
														***0,746

* Σύγκριση μεταξύ των χειρισμών (Treatment)

**Σύγκριση μεταξύ των δασικών ειδών (Plant)

*** Σύγκριση επίδρασης χειρισμού-φυτικού είδους (TreatmentXplant)

Όταν $P < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά με επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των φυτικών ιστών (φύλλα, ρίζες) ως προς τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες 8.41. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **πρώτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών τόσο σε Mn, P, Cd αλλά και σε Co. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, την **πρώτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των ριζών τόσο σε Ni, Co, P, Cd αλλά και σε Zn. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **δεύτερη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών τόσο σε Ni, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, P, αλλά και σε Co. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, την **δεύτερη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd, Pb, και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι**

διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη στην περιεκτικότητα των ριζών σε Zn, Fe, Mn, Ni, P, Cd και Co. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **τρίτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών τόσο σε Cu, Ni, Co, Mn, P, όσο και σε Zn. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, για την **τρίτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd, Pb και Mn των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Mn, Ni, Co, P, Cd και Zn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των ριζών τόσο σε Cu, Ni, Co, Mn, P όσο και σε Zn. Από την μελέτη των δεδομένων του πίνακα, για τα φύλλα (βελόνες) των δασικών ειδών, για την **τέταρτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά επίσης σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Cu, Fe, Ni, Co, P, Cd, και Mn των βελονών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των βελονών τους σε Cu, Fe, Zn, Ni, Co, P, Cd, και Mn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των βελονών σε Zn, Fe, P, Cd, και Mn. Από την μελέτη επίσης των δεδομένων του πίνακα, για τις ρίζες των δασικών ειδών, για την **τέταρτη επανάληψη** του πειραματικού βλέπουμε την στατιστικά σημαντική επίδραση που ασκούν οι διαφορετικοί χειρισμοί στον καθορισμό της συγκέντρωσης σε Fe, Zn, P, Cd, και Co των ριζών. Τα δασικά είδη ασκούν στατιστικά σημαντικά στην περιεκτικότητα των ριζών τους σε Cu, Fe, Mn, Ni, Co, P, Cd και Zn αντίστοιχα. Σημαντική στατιστικά επίδραση ασκούν **τόσο οι διαφορετικοί χειρισμοί όσο και τα διαφορετικά δασικά είδη** στην περιεκτικότητα των ριζών σε Cu, Zn, Fe, Ni, Co, P, Cd και Mn αντίστοιχα.

Από την ANOVA προέκυψε ότι οι διαφορές στην περιεκτικότητα των μικροθρεπτικών υπό την επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων, υπήρξε στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σφάλματος P 0,001 (Πιν.).

Πίνακας 8.42. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα της Ξηρής Ουσίας (ξ.ο) των φύλλων της *Pinus pinea* L.

Μελετώμενος παράγων Μικροθρεπτικά φύλλων (μg/g) ξο	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	19,125***
Ψευδάργυρος (Zn)	24,727***
Σίδηρος (Fe)	64,345***
Μαγγάνιο (Mn)	2,345***
Νικέλιο (Ni)	21,578***
Κάδμιο (Cd)	747,211***
Μόλυβδος (Pb)	11,282***
Φώσφορος (P)	94,981***
Κοβάλτιο (Co)	111,494***

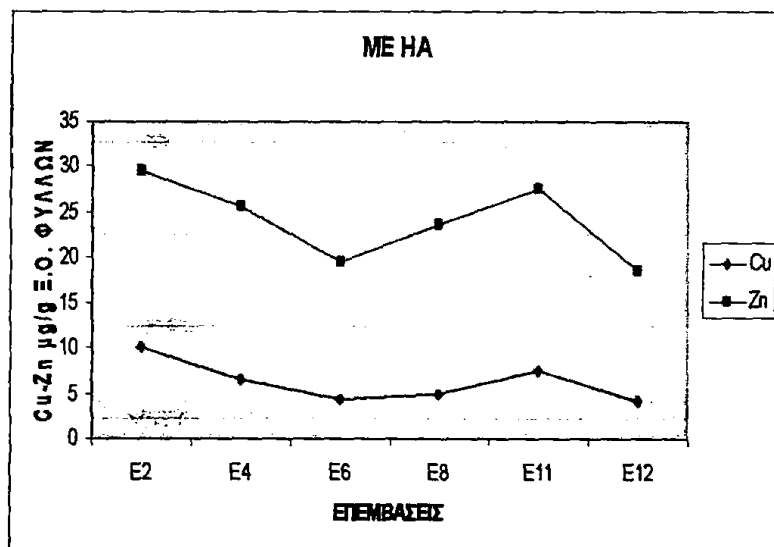
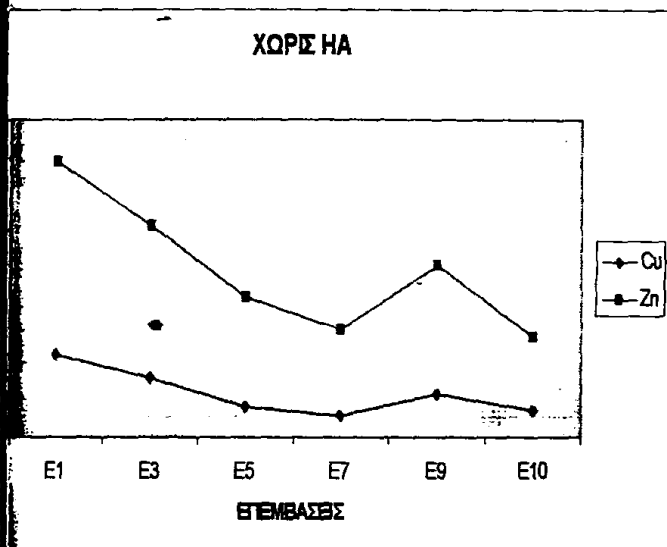
Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στην περίπτωση των φύλλων, η υψηλότερη συγκέντρωση τόσο του Cu όσο και του Zn, επιτεύχθηκε απουσία μεν των HA, υπό την επίδραση της επέμβασης E1 (Control), παρουσία δε των HA υπό την επίδραση της επέμβασης E2 (Control+200 ppm HA) για τον Zn και τον Cu. Προφανώς, και στην περίπτωση αυτή η παρουσία των επεξεργασμένων λυμάτων εφοδίασε τα φυτά με άμεσα διαθέσιμες μορφές θρεπτικών, συνεργούντων των χουμικών οξέων, τα οποία συνέβαλαν στη δημιουργία ευδιάλυτων χηλικών ενώσεων, ευκόλως προσλήψιμων από τα φυτά.

Πίνακας 8.43. Σύγκριση των δεδομένων της περιεκτικότητας των ριζών και των φύλλων της *Pinus pinea* L σε μέταλλα εκτιμώμενη με την δοκιμή t (t-test) παρουσία ή απουσία χουμικών (HA)

Παράγον	Στοιχεία	Τιμή t
Φύλλα	Cu	-2,823***
	Zn	-2,897***
	Fe	-2,533***
	Mn	3,500***
	Ni	7,369***
	Co	7,747***
	Cd	-13,523***
	Pb	0,954ns
Ρίζα	Cu	-15,121***
	Zn	-2,129***
	Fe	-1,795ns
	Mn	-1,795ns
	Ni	4,959***
	Co	8,872***
	Cd	-6,942***
	Pb	0,719ns

Ως τόσο όμως, οι διαφορές στην περιεκτικότητα του Cu, Fe, Mn, Ni, Co, Cd, Pb και Zn της Ξηρής Ουσίας (ΞΟ) των φύλλων παρουσία ή απουσία HA βρέθηκε στατιστικά σημαντική (Πίνακας 8.43), (Εικόνα 8.39). Οι διαφορές στην περιεκτικότητα του Cu, Cd, Co, Ni και Zn της Ξηρής Ουσίας (ΞΟ) των ριζών παρουσία ή απουσία HA βρέθηκε στατιστικά σημαντική, ενώ αντίθετα για τα Fe, Mn, και Pb στατιστικά μη σημαντική.

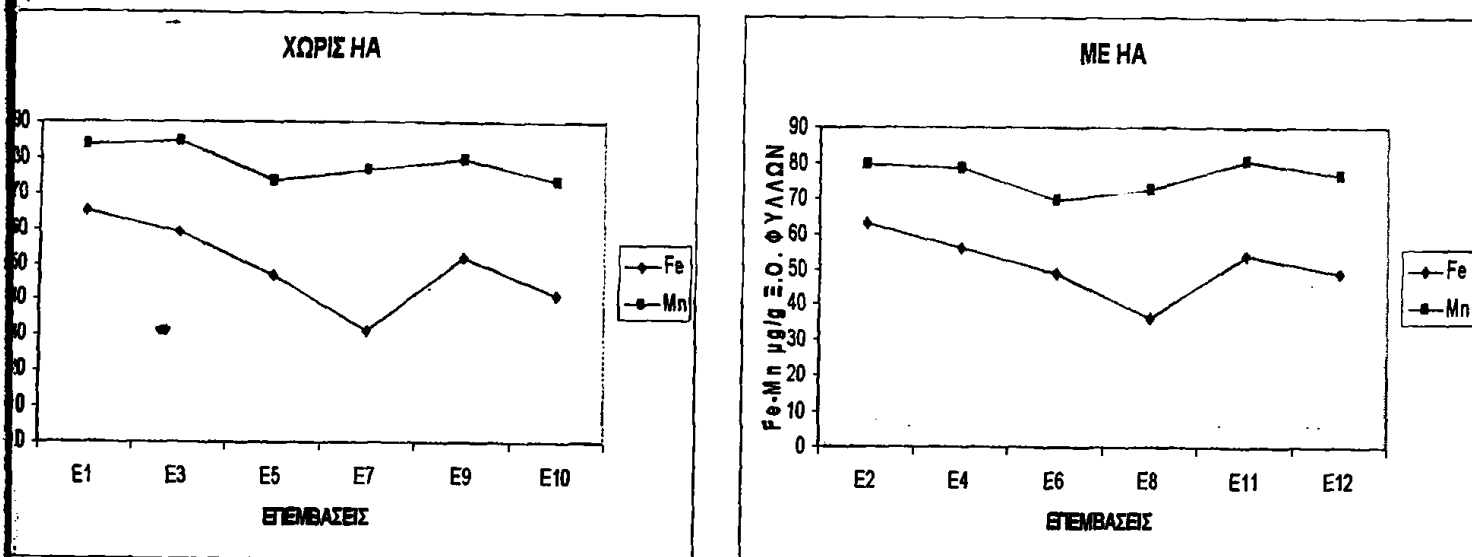
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.39. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Cu, Zn των φύλλων της *Pinus pinea* L. απουσία ή παρουσία των χουμικών (ΗΑ)

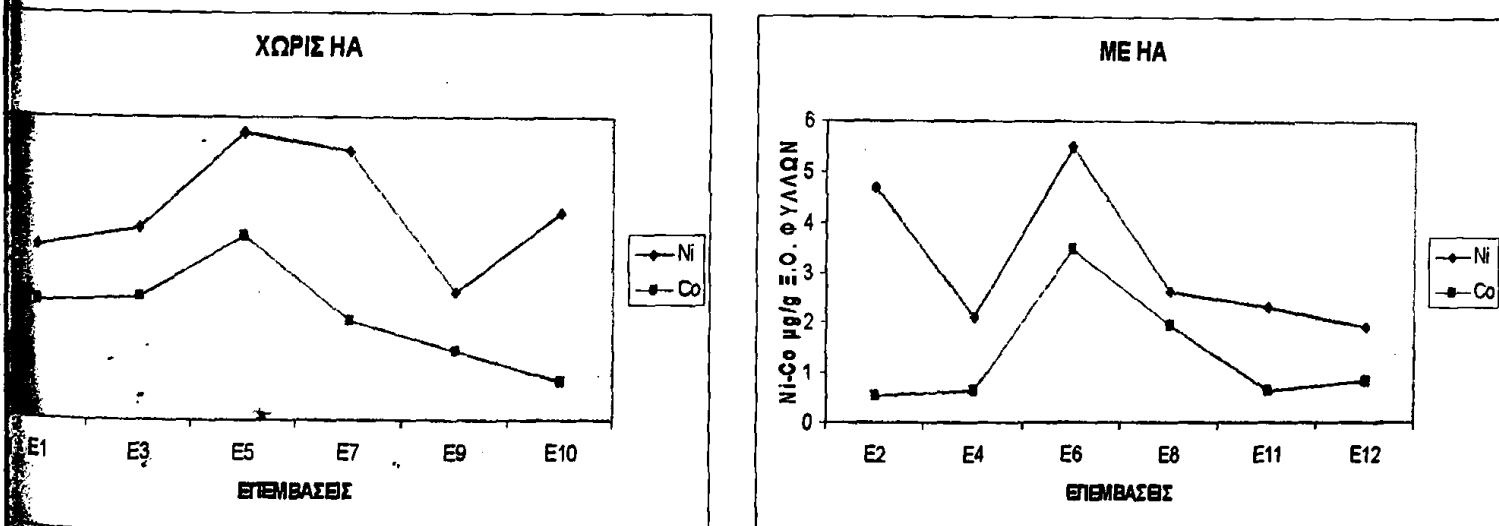
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.40. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Fe, Mn των φύλλων της *Pinus pinea* L. απουσία ή παρουσία των χουμικών (ΗΑ)

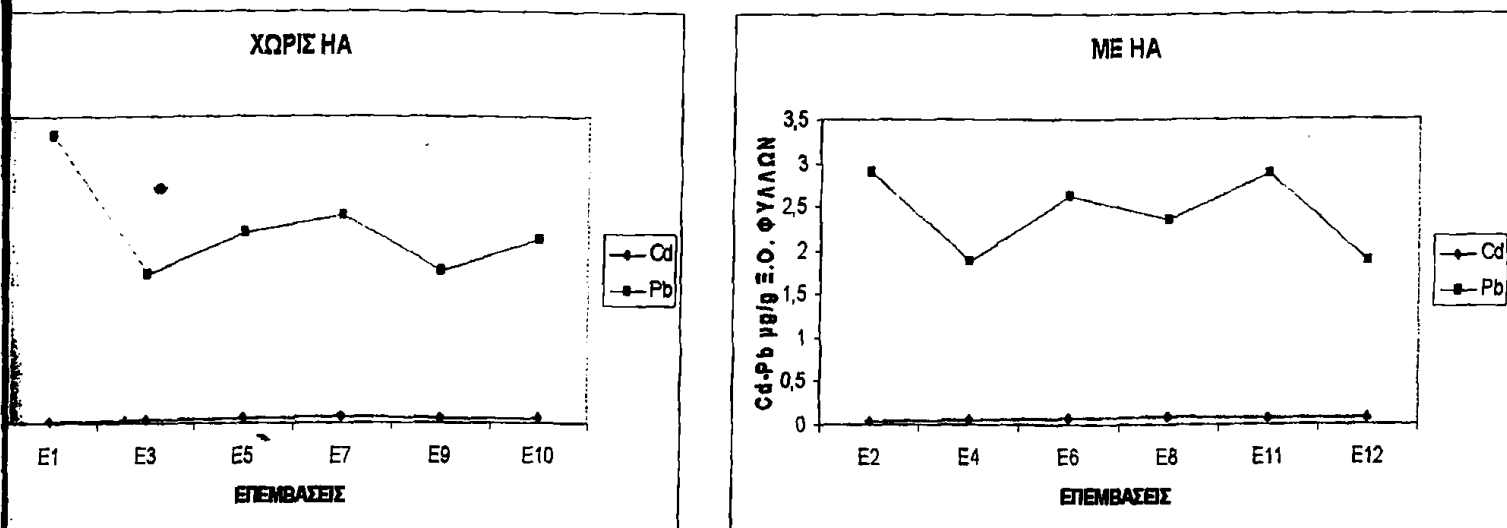
ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.41. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Ni, Co των φύλλων της *Pinus pinea* L. απουσία ή παρουσία των χουμικών (ΗΑ)

ΦΥΛΛΑ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.42. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των Cd, Pb των φύλλων της *Pinus pinea* L. απουσία ή παρουσία των χουμικών (ΗΑ)

Μελετώντας την εικόνα αυτή διαπιστώνεται ότι και στην περίπτωση των ριζών η μέγιστη συγκέντρωση σε Cu και Zn, επιτεύχθηκε απουσία μεν των ΗΑ, υπό την επίδραση της επέμβασης E1 (Control), παρουσία δε των ΗΑ υπό την επίδραση της επέμβασης E2 (Control+200 ppm ΗΑ). Αποδεικνύεται και εδώ ο σημαντικός ρόλος των χουμικών στην αύξηση της διαθεσιμότητας των μικροθρεπτικών στα φυτά και στην προκειμένη περίπτωση της *Pinus pinea* L.

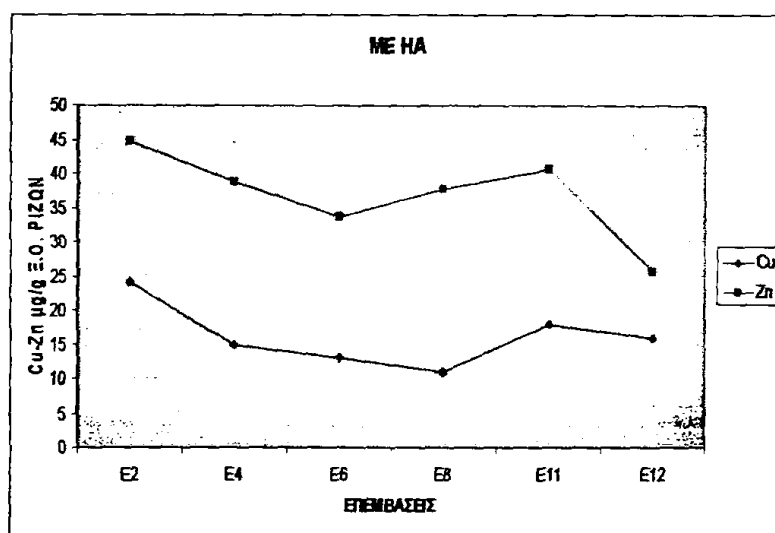
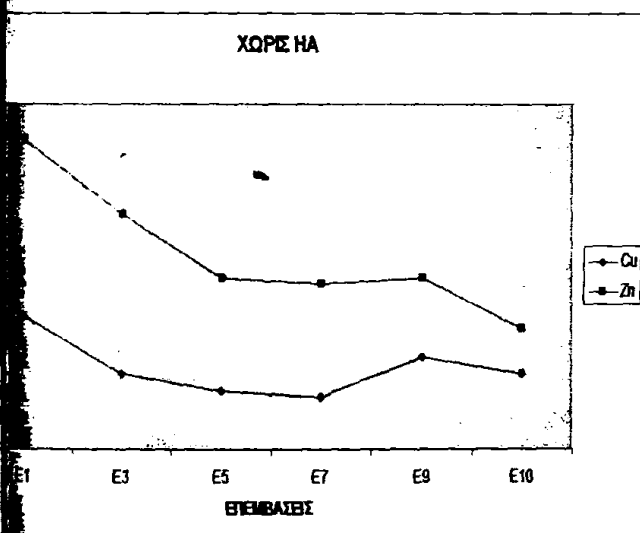
Πίνακας 8.44. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων στην περιεκτικότητα των ριζών της *Pinus pinea* L. σε μικροθρεπτικά (μg/g) ξ.ο.

Μελετώμενος παράγοντας Μικροθρεπτικά ριζών (μg/g) ξο	Επίδραση των επεμβάσεων με βάση την τιμή του F (ANOVA)
Χαλκός (Cu)	26,718***
Ψευδάργυρος (Zn)	114,286***
Σίδηρος (Fe)	54,620***

Μαγγάνιο (Mn)	0,689
Κάδμιο (Cd)	174,482***
Μόλυβδος (Pb)	20,783***
Νικέλιο (Ni)	64,527***
Κοβάλτιο (Co)	58,965***
Φώσφορος (P)	219,342***

(***) Στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο σφάλματος 1%

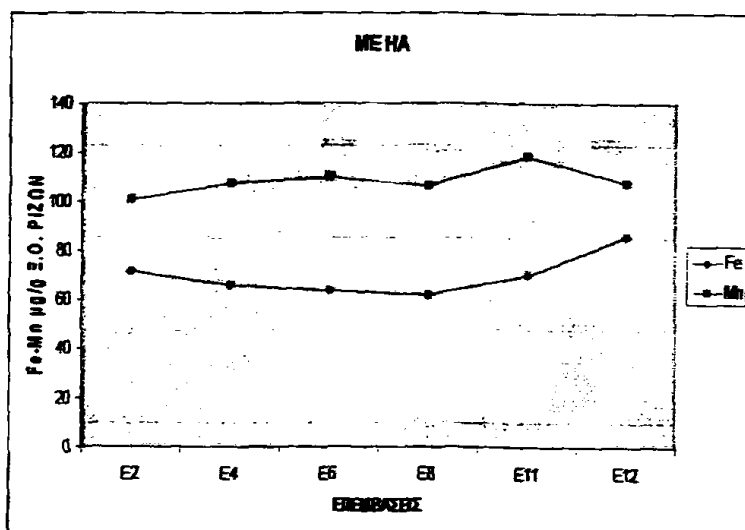
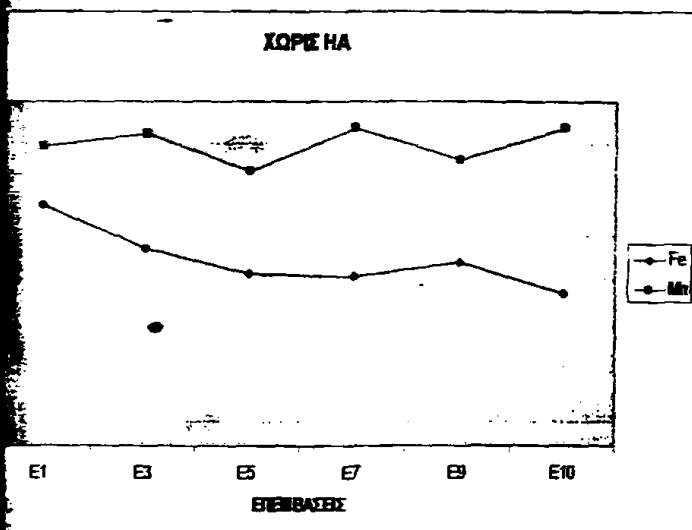
ΡΙΖΩΝ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.43. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών της *Pinus pinea* L. σε Cu και Zn.

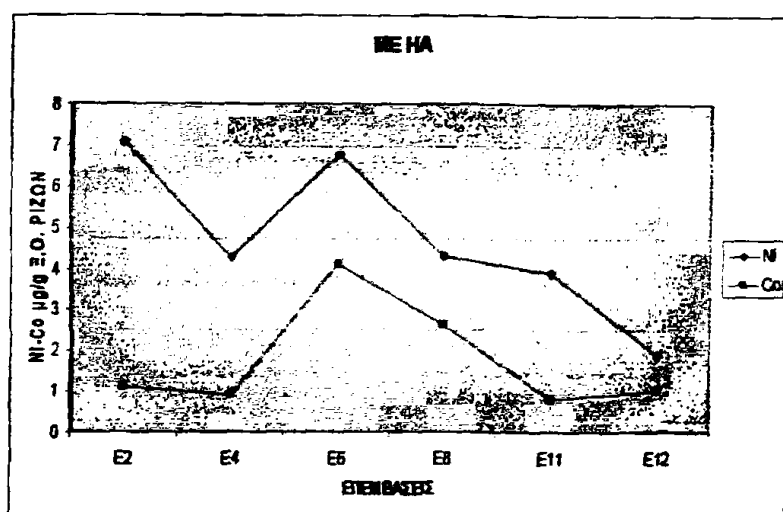
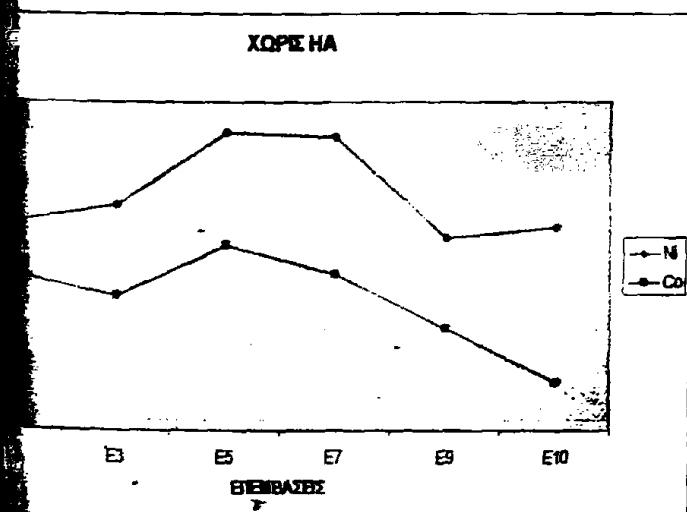
ΡΙΖΩΝ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.44. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών της *Pinus pinea* L. σε Fe και Mn.

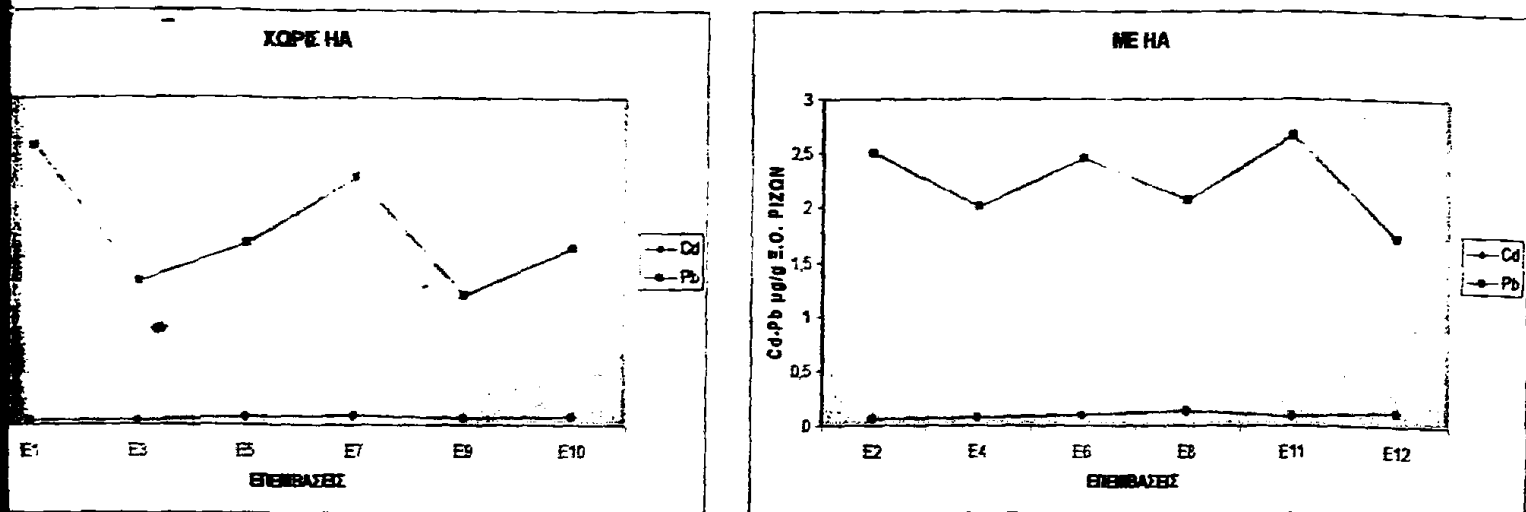
ΡΙΖΩΝ



ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Γράφημα 8.45. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών της *Pinus pinea* L. σε Ni και Co.

ΡΙΖΩΝ

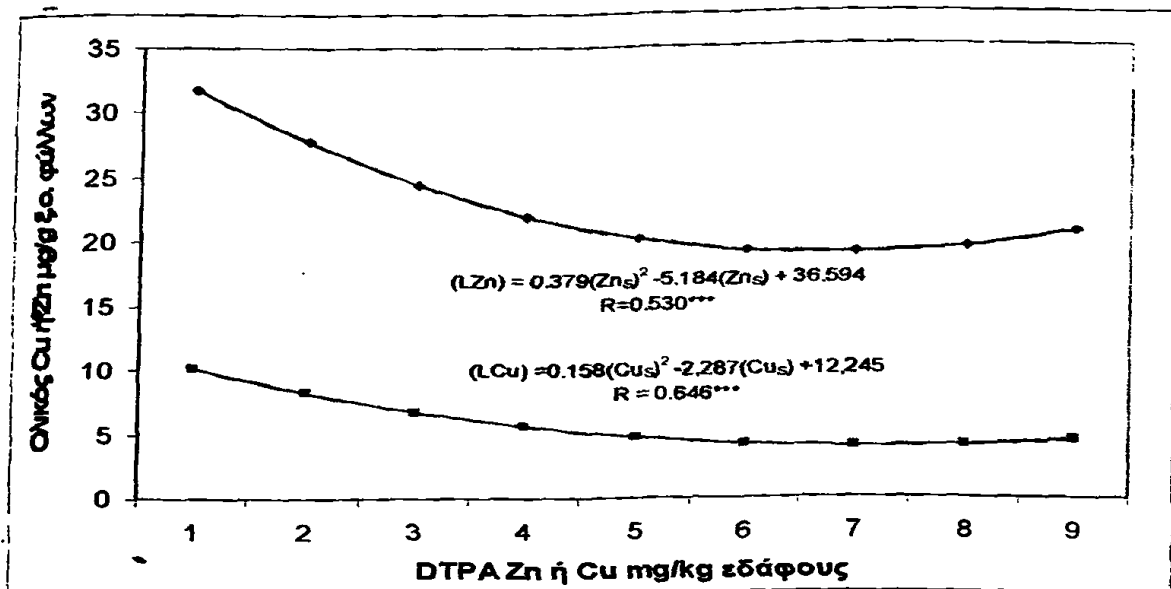


ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

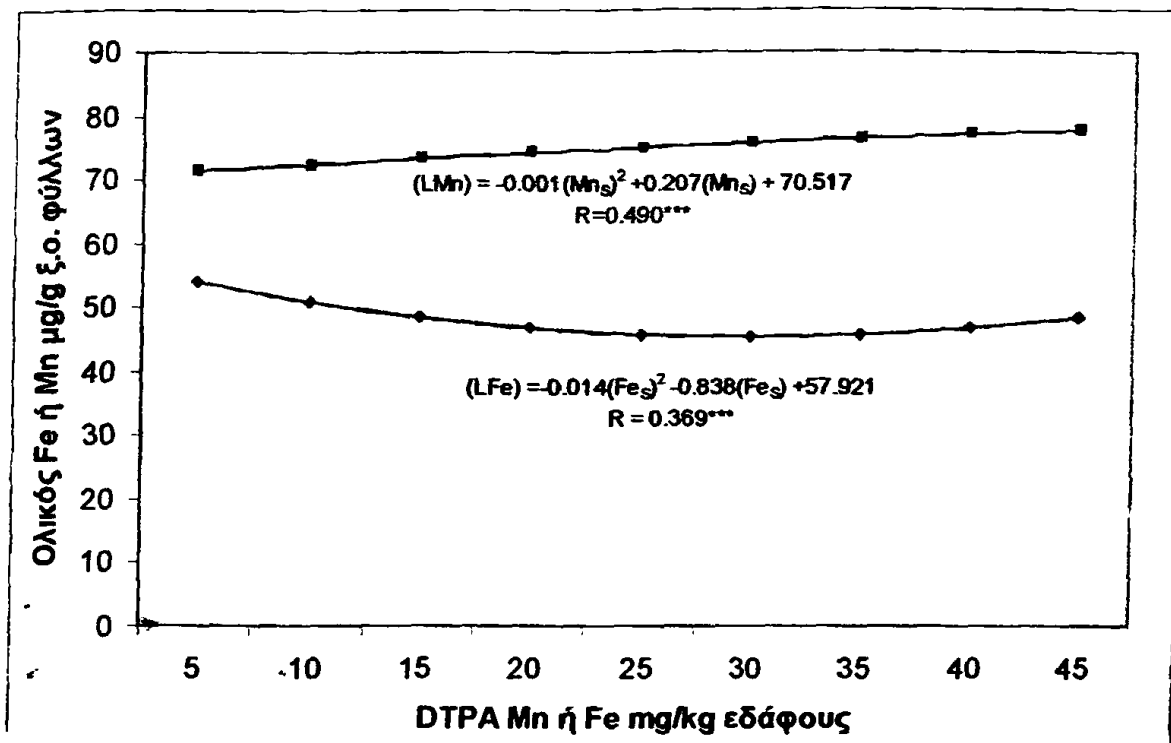
Γράφημα 8.46. Επίδραση των μελετηθεισών επεμβάσεων-χειρισμών στην περιεκτικότητα των ριζών της *Pinus pinea* L. σε Pb και Cd.

Παρά το ότι τα χουμικά αύξησαν την περιεκτικότητα του Cu και Zn στο έδαφος στατιστικά σημαντικά, εν τούτοις δεν έδρασαν σημαντικά στη συγκέντρωση των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων και των ριζών. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση των μικροθρεπτικών αυτών στο υπόστρωμα ανάπτυξης που δημιουργήθηκε από την ανάμιξη του εδάφους με τις μελετηθείσες επεμβάσεις.

Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 8.47) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Cu ή Zn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus pinea* L, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Zn των φύλλων (32 (μg/g) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Zn (1-2 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του χαλκού (10 μg/g ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Cu στο έδαφος 1 mg/kg. Περαιτέρω αύξηση τόσο του Zn όσο και του Cu στο έδαφος, συμβάλλει στην δραστική μείωση της αντίστοιχης συγκέντρωσής των ανωτέρω στοιχείων στα φύλλα του μελετηθέντος δασικού είδους.



Γράφημα 8.47. Συμμεταβολή του Zn και Cu του εδάφους και του ολικού Zn και Cu της ξο των φύλλων της *Pinus pinea* L.



Γράφημα 8.48. Συμμεταβολή του Mn και Fe του εδάφους και του ολικού Mn και Fe της ξο των φύλλων της *Pinus pinea* L.

- Από την προκαταρκτική συμμεταβολή (Γράφημα 8.48) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ της περιεκτικότητας του Fe ή Mn και της αντίστοιχης συγκέντρωσης των

στοιχείων αυτών στην ξηρά ουσία των φύλλων του δασικού είδους *Pinus pinea* L, προέκυψε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Mn των φύλλων (72 $\mu\text{g/g}$) αντιστοιχεί στη χαμηλότερη συγκέντρωση Mn (5 mg/Kg) στο έδαφος, εύρος το οποίο για τις περισσότερες καλλιέργειες ή φυτά, θεωρείται ως επαρκείς (Mills and Benton, 1996). Επίσης, και η υψηλότερη περιεκτικότητα του Fe (54 $\mu\text{g/g}$ ξ.ο.) που θεωρείται γενικά επαρκής για τα φυτά, αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις Fe στο έδαφος 5 mg/kg .

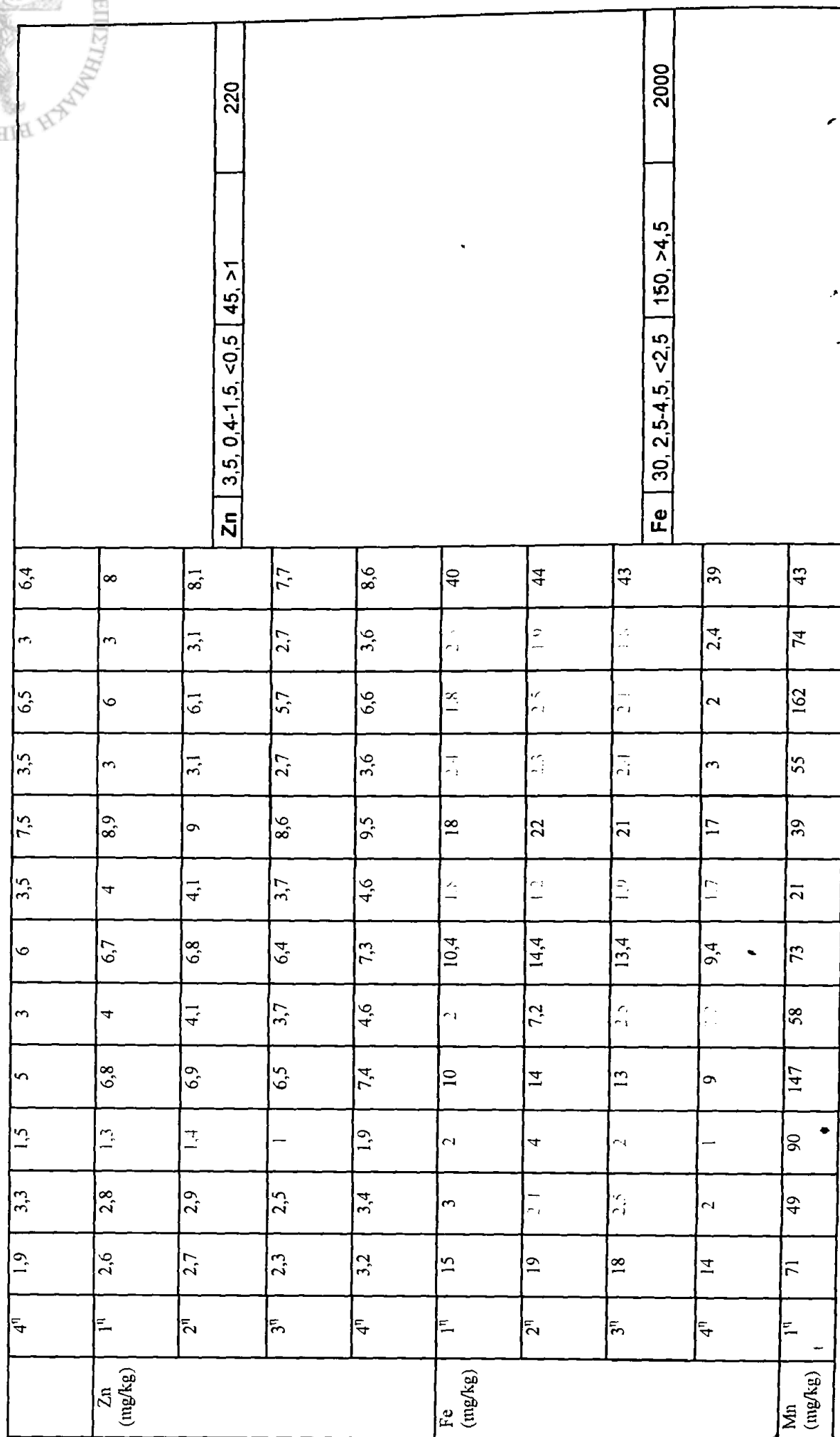


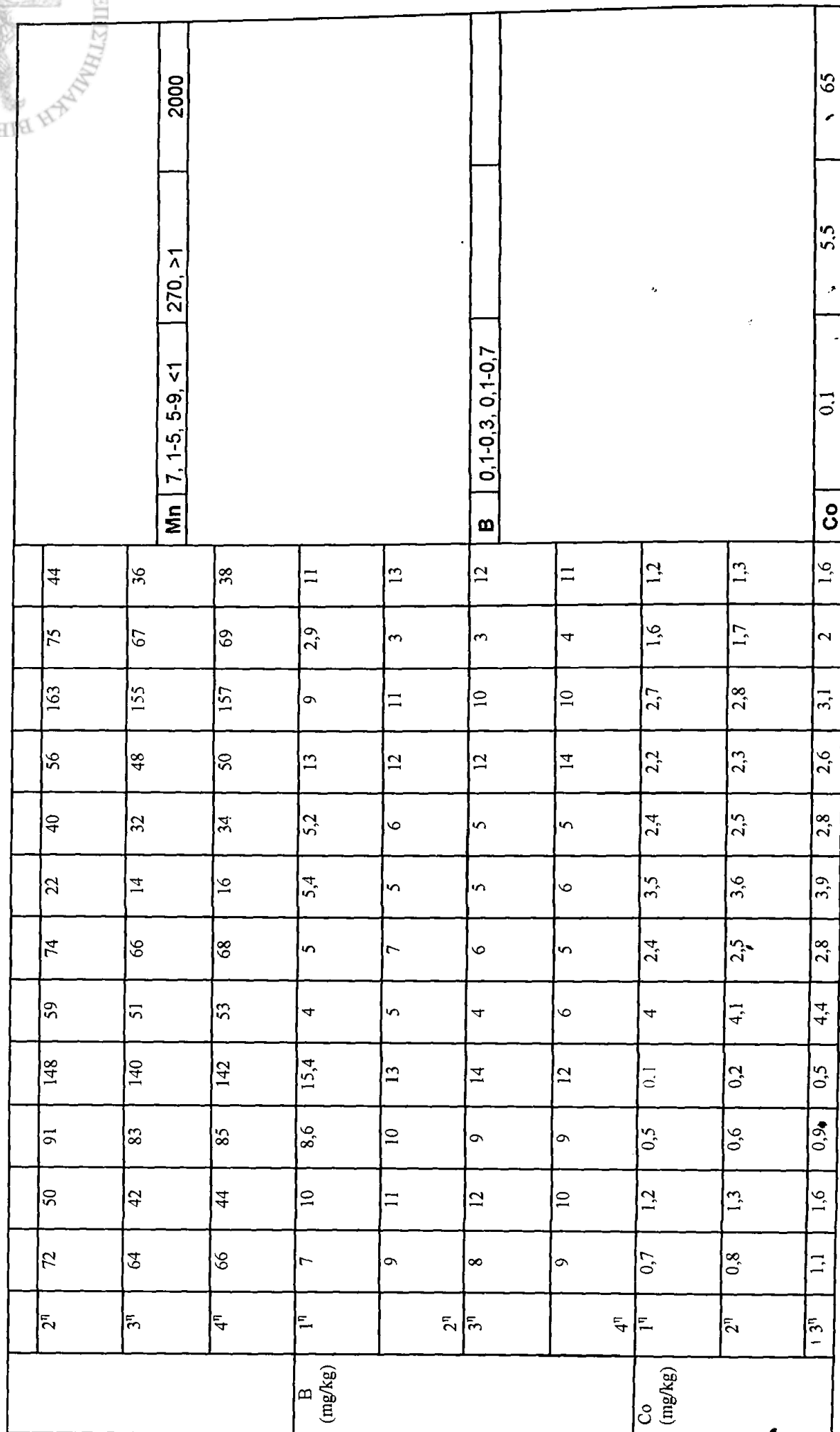
8.5. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΕΝΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

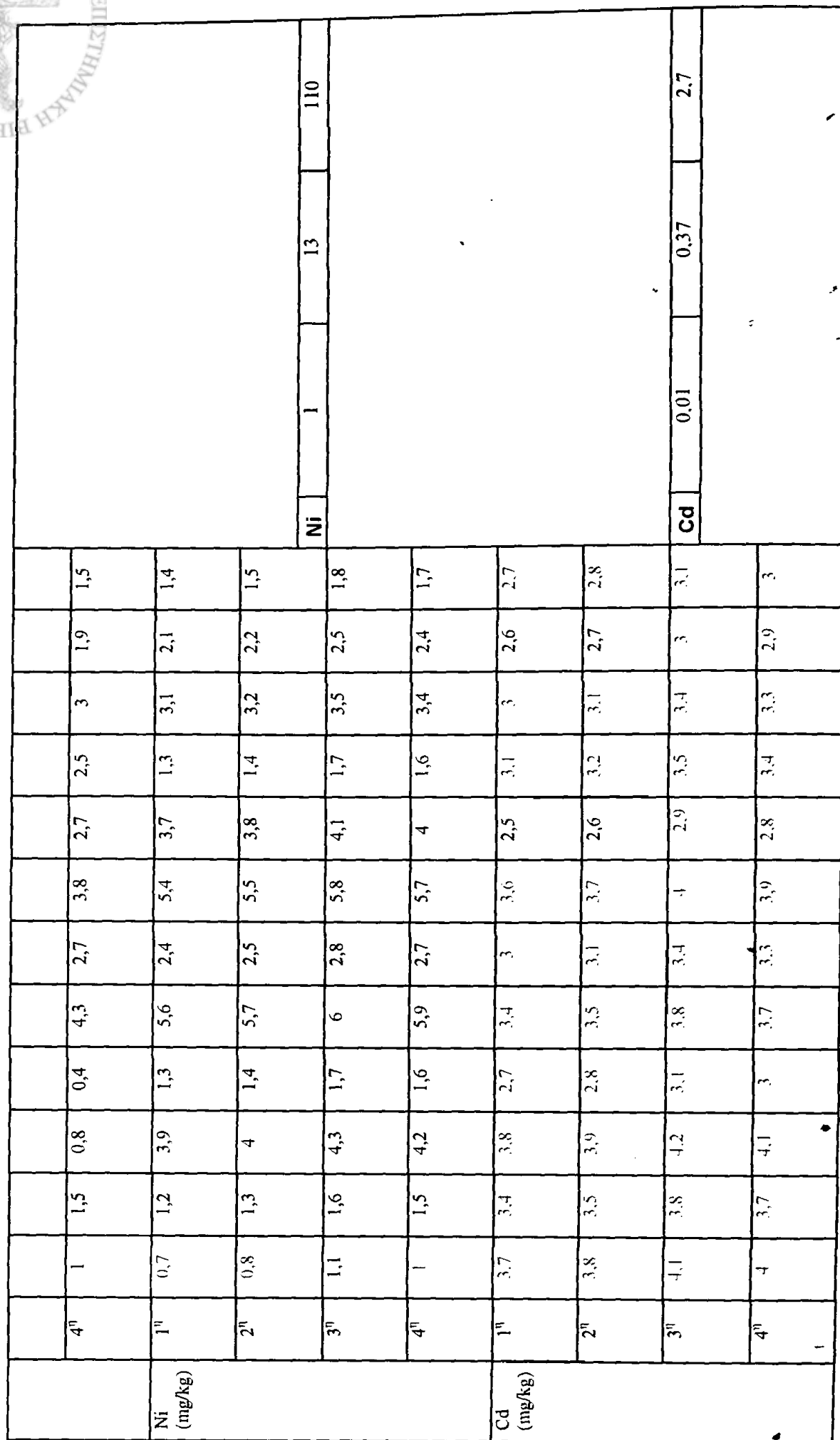
8.5.1. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΧΟΥΜΙΚΟ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΥΕΝΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Πίνακας 8.49 Έλλειψη μετάλλων εδάφους με το χουμικό για το Cupressus Arizonica Greene

		Cupressus Arizonica Greene													Μη επαρκής συγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συγκέντρωση (High)
		Χειρισμοί															
Ιχθυοστονχεία		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12				
Cu (mg/kg)	1 ^η	2	3,6	0,9	5,8	3,7	7	3	9	3,8	5,9	2,6	6,9				
	2 ^η	1,8	3,5	1	6	3,6	6,8	2,8	8,5	3,9	6	3,1	7				
	3 ^η	2,2	3,8	1,2	5,5	3,4	6,9	3	8	3,7	6,2	3	6,5				
														Cu	1, 0,75, <0,2	13, >0,2	70









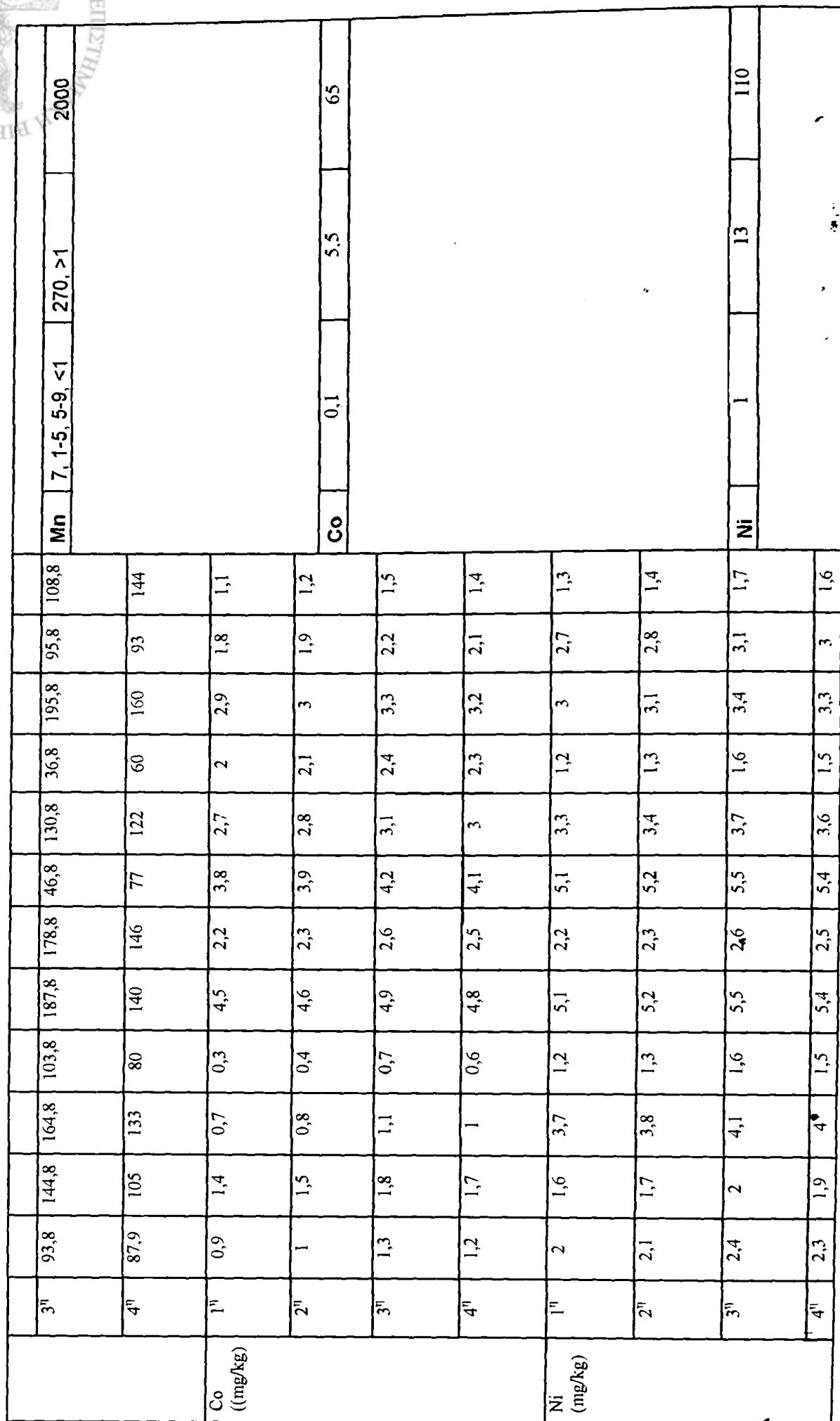
Pb (mg/kg)	1 ⁿ	4	3,6	3,8	2,5	3,3	2,8	3,7	2,4	3,4	2,8	2,6	2,2				
	2 ⁿ	4,1	3,7	3,9	2,6	3,4	2,9	3,8	2,5	3,5	2,9	2,7	2,3				
	3 ⁿ	4,4	4	4,2	2,9	3,7	3,2	4,1	2,8	3,8	3,2	3	2,6				
	4 ⁿ	4,3	3,9	4,1	2,8	3,6	3,1	4	2,7	3,7	3,1	2,9	2,5				
														Pb	2,3	22	70

Πίνακας 8.50 Έλλειψη μετάλλων εδάφους με το χορμικό για την *Pinus pinea* L.

		Pinus pinea L.												Μη επαρκής συγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συγκέντρωση (High)	
Ιχνοστοιχεία		Χειρισμοί															
	(mg/kg)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12				
Cu (mg/kg)	1 ^η	1,5	2,8	2	4,5	5	8	2,5	9	3,7	7,5	3,6	6				
	2 ^η	1,6	2,9	2,1	4,6	5,1	8,1	2,6	9,1	3,8	7,6	3,7	6,1				
	3 ^η																
Zn	1 ^η	1,3	3	1,8	6	4,4	8,3	2,8	8,7	3,9	7,9	3,8	6,3				
														Cu	1, 0,75, <0,2	13, >0,2	70



(mg/kg)											Zn				Fe				2000
											3,5, 0,4-1,5, <0,5	45, >1	30, 2,5-4,5, <2,5	150, >4,5					
Fe (mg/kg)	2 ⁿ	1,4	3,1	1,9	6,1	4,5	8,4	2,9	8,8	4	8	3,9	6,4						
	3 ⁿ	1,6	3,3	2,1	6,3	4,7	8,6	3,1	9	4,2	8,2	4,1	6,6						
	4 ⁿ	1,2	2,9	1,7	5,9	4,3	8,2	2,7	8,6	3,8	7,8	3,7	6,2						
	1 ⁿ	18	1,1	1,1	12	5,5	21	1,2	19	2	1,8	4,8	38						
Mn (mg/kg)	2 ⁿ	22	2,4	2,1	16	9,5	25	1,8	23	2,6	2,2	8,8	42						
	3 ⁿ	24,7	2,1	1,8	18,7	12,2	27,7	2,1	25,7	2,4	2,2	11,5	44,7						
	4 ⁿ	16,95	0,35	0,05	10,95	4,45	19,95	1,3	17,95	0,95	2,5	3,75	36,95						
	1 ⁿ	84	135	155	94	178	169	37	121	27	186	86	99						
	2 ⁿ	94,4	145,4	165,4	104,4	188,4	179,4	47,4	131,4	37,4	196,4	96,4	109,4						





Cd (mg/kg)	1 ^н	3	2,6	2,7	2	3,3	3	3,7	2,3	2,8	3,2	2,7	2,6
	2 ^н	3,1	2,7	2,8	2,1	3,4	3,1	3,8	2,4	2,9	3,3	2,8	2,7
	3 ^н	3,4	3	3,1	2,4	3,7	3,4	4,1	2,7	3,2	3,6	3,1	3
	4 ^н	3,3	2,9	3	2,3	3,6	3,3	4	2,6	3,1	3,5	3	2,9
Pb (mg/kg)	1 ^н	4,7	3,8	4	2,8	3,6	2,6	3,9	2,7	3,3	2,9	3	2,1
	2 ^н	4,8	3,9	4,1	2,9	3,7	2,7	4	2,8	3,4	3	3,1	2,2
	3 ^н	5,1	4,2	4,4	3,2	4	3	4,3	3,1	3,7	3,3	3,4	2,5
B (mg/kg)	4 ^н	5	4,1	4,3	3,1	3,9	2,9	4,2	3	3,6	3,2	3,3	2,4
	1 ^н	8	11	8	16	3	6	5,1	5,5	12	10	3	13
Cd 0,01 0,37 2,7 Pb 2,3 22 70													

Από την προσεκτική μελέτη των πινάκων 8.49 και 8.50 παρατηρούμε ότι για το *Cupressus Arizona* Greene για την πρώτη και δεύτερη επανάληψη εμφανίζεται έλλειψη της διαθέσιμης ποσότητας Cu στο χειρισμό WW. Επίσης έλλειψη εμφανίζεται και για την διαθέσιμη ποσότητα του Zn και για τις τρεις επαναλήψεις του χειρισμού WW. Ο διαθέσιμος σίδηρος βρίσκεται σε ικανοποιητική ποσότητα στους περισσότερους χειρισμούς εκτός από τους Control+HA της 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης, WW της 1^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης, Sludge της 1^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης, Sludge+WW 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης, Control+WW 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} επανάληψης, Control+sludge 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης καθώς επίσης και στον Control+WW+HA της 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} επανάληψης. Ακόμη τόσο η ποσότητα του Mn όσο και αυτή του B του εδάφους σε όλους τους χειρισμούς είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών για τη βέλτιστη ανάπτυξή τους. Η συγκέντρωση του Co είναι μικρή στο χειρισμό WW+HA της πρώτης επανάληψης. Στους υπόλοιπους χειρισμούς και επαναλήψεις η συγκέντρωσή του εμφανίζει μέσες τιμές χωρίς να αγγίζει σε καμιά περίπτωση τοξικά όρια. Οι συγκεντρώσεις του Ni είναι γενικά μικρές σε όλους σχεδόν τους χειρισμούς και τις επαναλήψεις εκτός από τους χειρισμούς Control της 1^{ης}, 2^{ης} και 4^{ης} επανάληψης, όπου είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Η συγκέντρωση του Pb είναι μικρή στο χειρισμό Control+sludge+HA της 1^{ης} και 2^{ης} επανάληψης. Στους υπόλοιπους χειρισμούς και επαναλήψεις η συγκέντρωσή του εμφανίζει μέσες τιμές χωρίς να αγγίζει σε καμιά περίπτωση τοξικά όρια. Αντίθετα, με ότι συμβαίνει με τα αναφερθέντα μέχρι τώρα στοιχεία το Cd όχι μόνο δεν εμφανίζεται με τις μικρότερες το δυνατόν συγκεντρώσεις αλλά στους περισσότερους χειρισμούς και επαναλήψεις οι τιμές τους υπερβαίνουν και τις υψηλότερα επιτρεπόμενες. Από τον πίνακα βλέπουμε ότι όλοι σχεδόν οι χειρισμοί σε όλες τις επαναλήψεις εμφανίζουν συγκεντρώσεις Cd πολύ υψηλές.

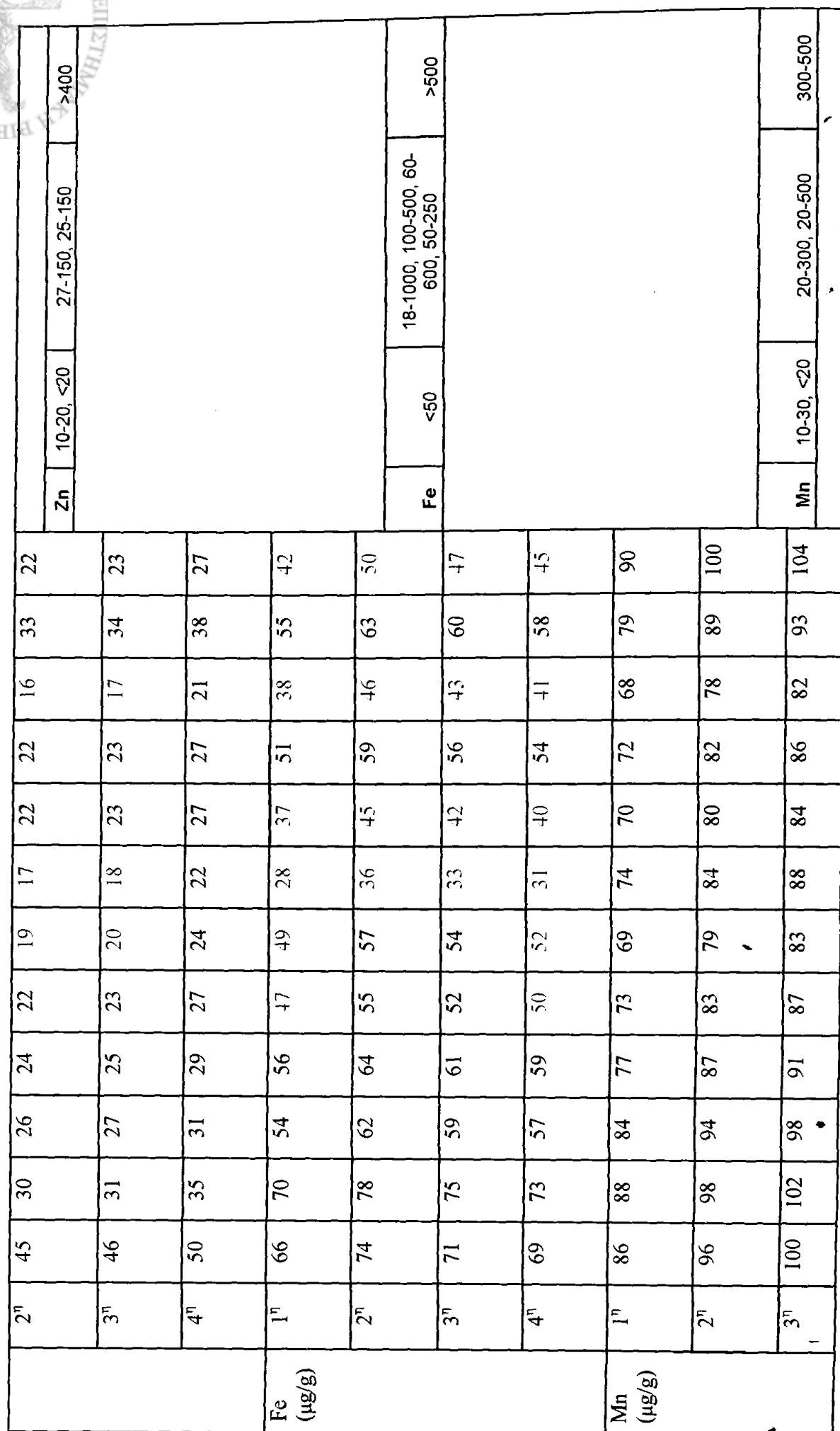
Από την προσεκτική μελέτη των πινάκων και παρατηρούμε ότι για την *Pinus pinea* L. η διαθέσιμη ποσότητα του Cu είναι αρκετή για να παρέχει την βέλτιστη ανάπτυξη των δασικών ειδών σε όλους τους χειρισμούς και τις επαναλήψεις. Αντίθετα, για τον Zn ο χειρισμός Control εμφανίζει έλλειψη τόσο για την 1^η, 2^η αλλά και την 4^η επανάληψη. Ο διαθέσιμος σίδηρος βρίσκεται σε ικανοποιητική ποσότητα σε όλους τους χειρισμούς εκτός από τους Control+HA, WW, Sludge+WW, Control+WW+HA, όπου η διαθέσιμη ποσότητα του σιδήρου στο έδαφος δεν επαρκεί για την πλήρη ανάπτυξη των δασικών ειδών. Έλλειψη διαθέσιμου σιδήρου εμφανίζεται επίσης και στο χειρισμό Control+WW για την 1^η, 3^η και 4^η επανάληψη.

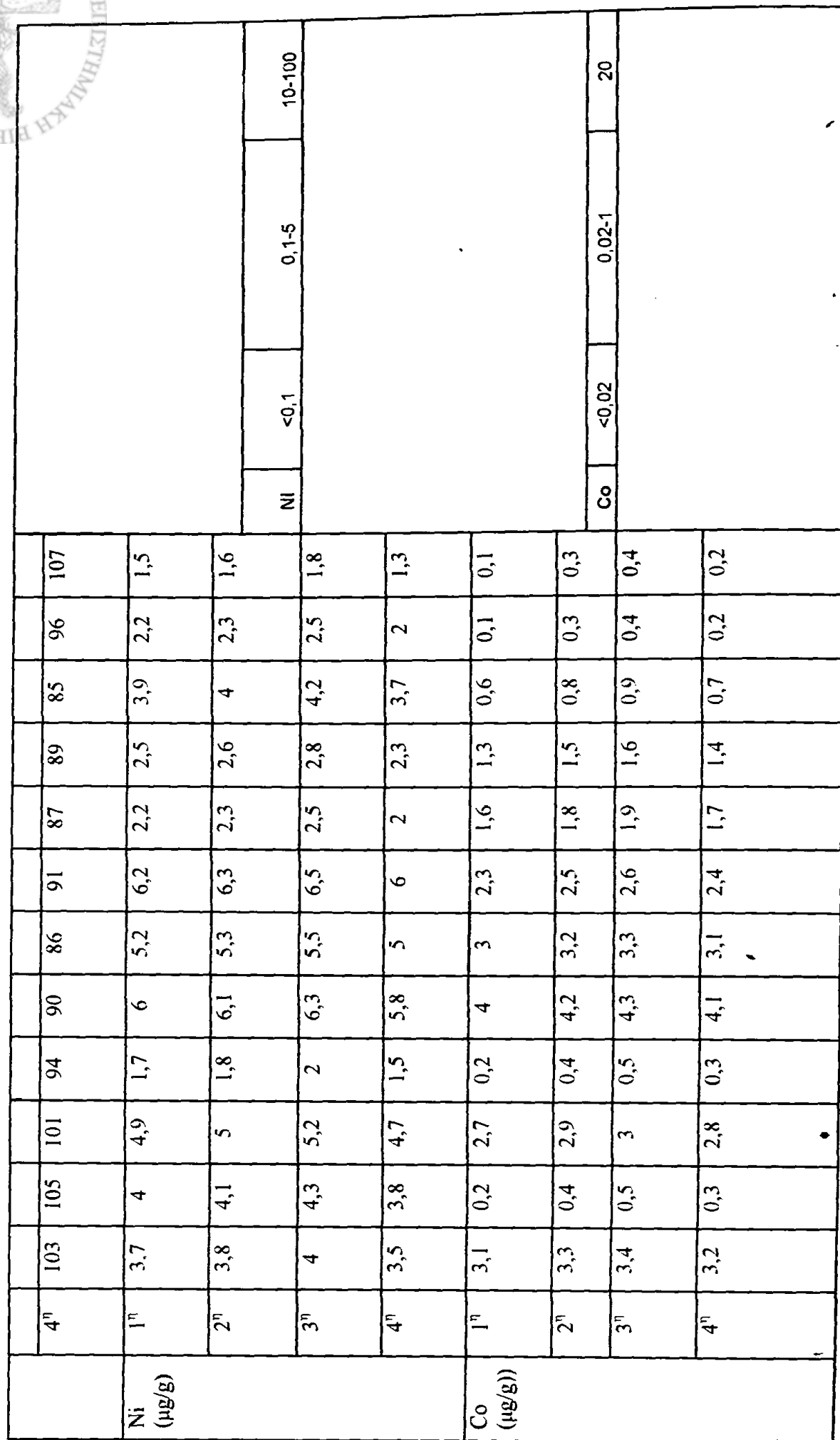
Επίσης τόσο η ποσότητα του Mn όσο και αυτή του B του εδάφους σε όλους τους χειρισμούς είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών για τη βέλτιστη ανάπτυξή τους. Οι συγκεντρώσεις τόσο του Ni όσο και του Co είναι γενικά μικρές σε όλους σχεδόν τους χειρισμούς και τις επαναλήψεις και εντός των προβλεπόμενων ορίων. Επίσης η συγκέντρωση του Pb είναι μικρή στο χειρισμό Control+sludge+HA της 1^{ης} και 2^{ης} επανάληψης. Στους υπόλοιπους χειρισμούς και επαναλήψεις η συγκέντρωσή του εμφανίζει μέσες τιμές χωρίς να αγγίζει σε καμιά περίπτωση τοξικά όρια. Αντίθετα, το Cd όχι μόνο δεν εμφανίζεται με τις μικρότερες το δυνατόν συγκεντρώσεις αλλά στους περισσότερους χειρισμούς και επαναλήψεις οι τιμές του υπερβαίνουν και τις υψηλότερα επιτρεπόμενες. Από τον πίνακα βλέπουμε ότι όλοι σχεδόν οι χειρισμοί σε όλες τις επαναλήψεις εμφανίζουν συγκεντρώσεις Cd πολύ υψηλές.

8.5.2. ΕΛΛΕΙΨΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

Πίνακας 8.51 Έλλειψη μετάλλων στα φύλλα του Cupressus Arizona Greene στους χειρισμούς με το χουμικό

		Cupressus Arizona Greene												Μη επαρκής συγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συγκέντρωση (High)	
		Χειρισμοί															
		Φύλλα															
Ιχνοστοιχεία																	
(μg/g)		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12				
Cu (μg/g))	1 ^η	9	12	8	6	3,5	3,8	3,5	3	8	2,5	9	3,5				
	2 ^η	10	13	9	7	4,5	4,8	4,5	4	9	3,5	10	4,5				
	3 ^η	11,5	14,5	10,5	8,5	6	6,3	6	5,5	10,5	5	11,5	6				
	4 ^η	8	11	7	5	2,5	2,8	2,5	2	7	1,5	8	2,5				
Zn (μg/g)		42	27	23	21	19	16	14	19	19	13	30	19				
														Cu	2-5, <4	5-30, 5-20	>30-100







Πίνακας 8.52 Έλλειψη μετάλλων στα φύλλα της *Pinus pinea* L. στους χειρισμούς με το χουμικό

		Pinus pinea L													Μη επαρκής συγκέντρωση (Deficient level)	Επαρκής συγκέντρωση (Sufficient level)	Πολύ υψηλή συγκέντρωση (High)
		Χειρισμοί															
Ιχνοστοιχεία		Φύλλα															
(μg/g)		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12				
Cu (μg/g)	1 ^η	10	9,6	7	6	3,5	4	2,4	4,6	5	2,9	7	3,7				
	2 ^η	11	10,6	8	7	4,5	5	3,4	5,6	6	3,9	8	4,7				
	3 ^η	11,6	11,2	8,6	7,6	5,1	5,6	4	6,2	6,6	4,5	8,6	5,3				
	4 ^η	9	8,6	6	5	2,5	3	1,4	3,6	4	1,9	6	2,7				
Zn (μg/g)		33	28	25	24	16	18	12	22	20	11	26	17				
	2 ^η	38	33	30	29	21	23	17	27	25	16	31	22				
														Cu	2-5, <4	5-30, 5-20	>30-100
														Zn	10-20, <20	27-150, 25-150	>400



		3 ^{II}	35	30	27	26	18	20	14	24	22	13	28	19				
															Fe	<50	18-1000, 100-500, 60-600, 50-250	>500
Fe (μg/g)	3 ^{II}																	
	4 ^{II}		32	27	24	23	15	17	11	21	19	10	25	16				
	1 ^{II}		64	62	58	55	46	48	30	35	51	40	53	48				
	2 ^{II}		66	64	60	57	48	50	32	37	53	42	55	50				
	3 ^{II}		68	66	62	59	50	52	34	39	55	44	57	52				
Mn (μg/g)	4 ^{II}		62	60	56	53	44	46	28	33	49	38	51	46				
	1 ^{II}		80	76	81	75	70	66	73	69	76	70	77	73				
	2 ^{II}		83	79	84	78	73	69	76	72	79	73	80	76				
	3 ^{II}		79	75	80	74	69	65	72	68	75	69	76	72			10-30, <20	20-300, 20-500
	4 ^{II}		92	88	93	87	82	78	85	81	88	82	89	85				300-500



Ni(μg/g)	1 ⁿ	4	4,1	4,5	1,5	7	4,9	6,5	2	2,8	4,9	1,7	1,3				
	2 ⁿ	5,1	5,2	5,6	2,6	8,1	6	7,6	3,1	3,9	6	2,8	2,4				
	3 ⁿ	5,5	5,6	6	3	8,5	6,4	8	3,5	4,3	6,4	3,2	2,8				
	4 ⁿ	3,8	3,9	4,3	1,3	6,8	4,7	6,3	1,8	2,6	4,7	1,5	1,1				
Co(μg/g)	1 ⁿ	3	0,4	3,1	0,5	4,7	3,3	2,5	1,8	1,7	0,9	0,5	0,7				
	2 ⁿ	3,2	0,6	3,3	0,7	4,9	3,5	2,7	2	1,9	1,1	0,7	0,9				
	3 ⁿ	3,5	0,9	3,6	1	5,2	3,8	3	2,3	2,2	1,4	1	1,2				
	4 ⁿ	2,9	0,3	3	0,4	4,6	3,2	2,4	1,7	1,6	0,8	0,4	0,6				
														Co	<0,02	0,02-1	20



Cd ($\mu\text{g/g}$)	1 ⁿ	0,025	0,033	0,037	0,049	0,069	0,078	0,093	0,099	0,055	0,078	0,068	0,084				
	2 ⁿ	0,028	0,034	0,038	0,05	0,07	0,08	0,09	0,1	0,059	0,08	0,07	0,08				
	3 ⁿ	0,024	0,032	0,039	0,048	0,065	0,077	0,094	0,099	0,06	0,079	0,071	0,084	0,05	0,05-0,2	20	
	4 ⁿ	0,024	0,033	0,04	0,05	0,07	0,076	0,095	0,1	0,06	0,078	0,07	0,087				
Pb ($\mu\text{g/g}$)	1 ⁿ	4	3,1	2,3	2,1	2,9	3	3,2	2,5	2	2,5	3	2				
	2 ⁿ	3,5	3	2	2	2,5	3	3	2	2	2	3	1,5				
	3 ⁿ	4	2,5	1,5	1,4	2	2,5	2,6	2,4	2	2,5	3	2	5	5-10	100	
	4 ⁿ	3,5	3	2	2	2,5	2	2	2,5	2	2,6	2,5	2				

Από την προσεκτική παρατήρηση των στοιχείων των πινάκων 8.51 και 8.52 για τους ιστούς (βελόνες) του *Cupressus Arizonica Greene* βλέπουμε ότι υπάρχει έλλειψη του Cu στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge, Control+sludge+HA της 1^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge+WW+HA και Control+sludge της 2^{ης} επανάληψης καθώς επίσης στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, και Control+sludge, Control+sludge+HA της 4^{ης} επανάληψης. Επίσης οι βελόνες του *Cupressus Arizonica Greene* εμφανίζουν έλλειψη Zn στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+WW, Control+sludge και Control+sludge+HA της 1^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge+WW, Sludge+HA, και Control+sludge της 2^{ης} και 3^{ης} επανάληψης. Έλλειψη του σιδήρου, συνοδευόμενη από έντονα φαινόμενα χλώρωσης στους φυτικούς ιστούς παρατηρήθηκε στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge και Control+sludge+HA της 1^{ης} και 4^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge και Control+sludge+HA της 2^{ης} και 3^{ης} επανάληψης. Οι συγκεντρώσεις τόσο του Mn, του Cd, Pb όσο και του Ni και του Co σε όλους τους χειρισμούς και τις επαναλήψεις βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες που χαρακτηρίζονται σαν επαρκείς και αναγκαίες για την σωστή ανάπτυξη και τη διατήρηση των φυτικών ιστών.

Ακόμη από την προσεκτική παρατήρηση των στοιχείων του πίνακα για τους ιστούς (βελόνες) της *Pinus pinea L.* βλέπουμε ότι υπάρχει έλλειψη του Cu στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Control+sludge, Control+sludge+HA της 1^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge+WW και Control+sludge της 2^{ης} επανάληψης. Στο χειρισμό Sludge+WW της 3^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+WW, Control+sludge, Control+sludge+HA της 4^{ης} επανάληψης. Οι βελόνες της *Pinus pinea L.* εμφανίζουν έλλειψη Zn στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Control+WW, Control+sludge και Control+sludge+HA της 1^{ης} και 4^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge+WW και Control+sludge της 2^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge, Sludge+WW, Control+sludge και Control+sludge+HA της 3^{ης} επανάληψης. Επιπλέον έλλειψη του σιδήρου, συνοδευόμενη επίσης και από έντονα φαινόμενα χλώρωσης στους φυτικούς ιστούς της κουκουναριάς παρατηρήθηκε στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge και Control+sludge+HA της 1^{ης} και

2^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+sludge της 3^{ης} επανάληψης. Στους χειρισμούς Sludge, Sludge+HA, Sludge+WW, Sludge+WW+HA, Control+WW, Control+sludge και Control+sludge+HA. Επίσης οι συγκεντρώσεις τόσο του Mn του Cd, Pb όσο και του Ni και του Co σε όλους τους χειρισμούς και τις επαναλήψεις βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες που χαρακτηρίζονται σαν επαρκείς και αναγκαίες για την σωστή ανάπτυξη και τη διατήρηση των φυτικών ιστών.

8.6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για το *Cupressus Arizonica* Greene από την προσεκτική ανάλυση και μελέτη των στοιχείων φαίνεται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην μείωση της θνησιμότητας μεταξύ των χειρισμών που περιέχουν HA σε σύγκριση με αυτούς που δεν το περιέχουν. Δεν φαίνεται η προσθήκη HA να έχει καμιά ουσιαστική επίδραση του συγκεκριμένου δασικού είδους.

Για την *Pinus pinea* L. αντίθετα δεν φαίνεται να συμβαίνει φυσικά το ίδιο, μιας και στους χειρισμούς όπου πραγματοποιήθηκε η προσθήκη HA, εμφανίστηκε σημαντική μείωση των ποσοστών θνησιμότητας. Η προσθήκη HA είχε ουσιαστική επίδραση στην μείωση της θνησιμότητας του συγκεκριμένου δασικού είδους.

Για το *Cupressus Arizonica* Greene υπάρχει σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση ύψους στους χειρισμούς που περιέχουν συνδυασμό ιλύος βιολογικού καθαρισμού και HA. Αντίθετα η προσθήκη μόνο του HA στους χειρισμούς δεν φαίνεται να επιφέρει σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση σε σύγκριση με αυτή του μάρτυρα.

Για την *Pinus pinea* L. τα αποτελέσματα που αφορούν την αύξηση ύψους είναι παρόμοια με αυτά που εμφάνισε και το *Cupressus Arizonica* Greene. Φαίνεται ότι το χουμικό δεν επιδρά από μόνο του σε κάτι αλλά σε συνδυασμό βελτιώνει τις συνθήκες της αύξησης των δασικών ειδών στους χειρισμούς οι οποίοι χωρίς την προσθήκη του θα εμφάνιζαν σαφώς μικρότερες τιμές αύξησης.

Για το *Cupressus Arizonica* Greene η προσθήκη του HA βελτιώνει την διαθεσιμότητα κυρίως του Fe αλλά και των άλλων θρεπτικών στοιχείων στους χειρισμούς που αυτό συμμετέχει μειώνοντας την τιμή του pH του εδάφους. Το χουμικό οξύ σε συνδυασμό με τις ελεύθερες θέσεις που περιέχει δεσμεύει και συγκρατεί τα θρεπτικά και τα ελευθερώνει διαδοχικά, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες

των δασικών ειδών μειώνοντας έτσι τις εποχιακές διακυμάνσεις που αυτά εμφανίζουν.

Για την *Pinus pinea* L. η προσθήκη του HA βοήθησε θετικά είτε με την μείωση του pH του εδαφικού διαλύματος είτε με την μείωση των συγκεντρώσεων των αλάτων του εδάφους. Γενικά παρατηρήθηκε μια ομαλή κατανομή και τροφοδοσία του εδάφους με διαθέσιμες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και κυρίως του σιδήρου σε σχέση πάντα με τους χειρισμούς που δεν περιέχουν HA.

• Σύμφωνα με τους Dell'Angolla και Nardi, 1986 τα χουμικά μόρια μικρού μοριακού βάρους ($\mu\beta. < 3000$) έχουν μια δράση, η οποία μοιάζει με εκείνη των ορμονών. Τα χουμικά μόρια με την πρόσληψή τους από τα δασικά είδη του συγκεκριμένου πειραματικού είχαν ως αποτέλεσμα τα φυτά να παρουσιάσουν έντονα φαινόμενα βλαστητικής και κατά συνέπεια αυξητικής δραστηριότητας. Η αύξηση αυτή ήταν αρχικά κοινή και γρήγορη για όλους τους χειρισμούς και διαφοροποιήθηκε στη συνέχεια επηρεαζόμενη τόσο από την αύξηση των συγκεντρώσεων του χουμικού οξέος που προστέθηκαν εντός των ανάλογων χειρισμών όσο και από την διαφορετικότητα των εδαφικών υποστρωμάτων των χειρισμών. Οι χουμικές ουσίες αρχικά ασκούν ευεργετική επίδραση στα φυτά αυξάνοντας τη μεταφορά των ανιόντων μέσω των ριζών. Όταν όμως η συγκέντρωση των χουμικών αυξηθεί σημαντικά, τότε ασκείται μια αρνητική επίδραση. Επίσης, οι χουμικές ουσίες συμβάλλουν στην καλύτερη κατανομή ορισμένων κατιόντων με συνέπεια την αποφυγή θρεπτικών ανωμαλιών στα φυτά, κάτι που παρατηρήθηκε στο συγκεκριμένο πειραματικό. Οι επιδράσεις των χουμικών εκδηλώνονται στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης των φυτών και αυξάνουν την πρόσληψη του Fe και του Mn όπως και των N, Ca και Mg διορθώνοντας έτσι τις ανωμαλίες αφού επιδρούν στην περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών (κουκουλάκης, 2000). Αντίθετα τα χουμικά οξέα σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στην κυτταρική μεμβράνη των ιστών των ριζών, επηρεάζοντας έτσι την πρόσληψη των θρεπτικών, γεγονός που παρατηρήθηκε στο συγκεκριμένο πειραματικό. Ωστόσο η μείωση των διαθέσιμων συγκεντρώσεων των θρεπτικών όπως π.χ. του Cu μπορεί να οφείλεται από την δέσμευσή τους από το χουμικό.

Σημαντικό ρόλο και επίδραση άσκησαν οι διάφορες αλληλοεπιδράσεις και αλληλεξαρτήσεις που φαίνεται να υπάρχουν και να υφίστανται μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων και καθόρισαν σε σημαντικό βαθμό το τελικό αποτέλεσμα.



Και τα δύο δασικά είδη αξίζει να σημειωθεί ότι δεν εμφάνισαν καθόλου φαινόμενα τοξικότητας παρά το γεγονός ότι μερικά στοιχεία εμφανίζονταν σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα ανώτερα επιτρεπτά για το έδαφος όρια. Το ΗΑ φαίνεται στις ελεύθερες θέσεις του να συγκράτησε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα βλαβερά αυτά στοιχεία και δεν πέρασαν στο εσωτερικό των φυτικών ιστών, γεγονός που ενισχύει το ρόλο του ΗΑ στην προστασία και ασφαλή διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος.

• Η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών, όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, σε θρεπτικά στοιχεία φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε αυτά, αλλά και από τα διαφορετικά γενοτυπικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών δασικών ειδών που χρησιμοποιούνται κάθε φορά, αλλά και από τον σκοπό που επιδιώκεται να επιτευχτεί κάθε φορά από την εκάστοτε πειραματική ή διαχειριστική μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη συμπεριφορά των χρησιμοποιηθέντων δασικών ειδών που αναπτύσσονται σε δυσμενή και πολλές φορές αφιλόξενα περιβάλλοντα που μπορεί να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Ταυτόχρονα τα αποτελέσματα δίδουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αντοχή των φυτικών ειδών σε αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, γεγονός που μας επιτρέπει να προχωρήσουμε σ' έναν σωστό σχεδιασμό σε Δήμους (πάρκα, εθνικοί οδοί, άλση, γήπεδα, χώροι πρασίνου), όπου η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων θα είναι πρωταρχικής σημασίας για την άρδευση του περιαστικού πρασίνου χώρου.

Η κατανομή των βαρέων μετάλλων στα φύλλα των τεσσάρων φυτικών ειδών που επιλέχθηκαν παρουσιάστηκαν με ιστογράμματα σε προηγούμενο κεφάλαιο και από τα οποία διακρίνονται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις κύριες κατηγορίες των δασικών ειδών που χρησιμοποιήθηκαν, δηλαδή του *Cupressus Arizona Greene*, *Cotoneaster Integerrimus Med*, *Pinus pinea L.*, και *Pinus halepensis Mill*.

Για το έδαφος, αυξημένες συγκεντρώσεις Cu για το *Cupressus Arizona Greene* και *Cotoneaster Integerrimus Med* παρατηρήθηκε στο χειρισμό Sludge+Wastewater. Επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Sludge+wastewater για το *Cotoneaster Integerrimus Med* και στο diluted sludge (20%) +wastewater για το *Cupressus Arizona Greene*.

Για το έδαφος, στο πειραματικό με τη χρήση χουμικού οξέος, αυξημένες συγκεντρώσεις Cu για το *Cupressus Arizona Greene* παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Sludge+WW+HA και Sludge+HA. Επίσης οι ίδιοι χειρισμοί (Sludge+WW+HA και Sludge+HA) εμφανίζουν και αυξημένες συγκεντρώσεις Zn. Αντίθετα, αυξημένες συγκεντρώσεις Fe εμφανίζουν οι χειρισμοί Control+sludge+HA και Sludge+WW+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn εμφανίζουν οι χειρισμοί Control+sludge και WW+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις B εμφανίζουν οι χειρισμοί WW+HA και Control+WW. και τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Co και Ni εμφανίζουν οι χειρισμοί Sludge και Sludge+WW. Για το Pb και το Cd ειδικότερα αν και όλοι οι χειρισμοί περιέχουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα ανώτερα

επιτρεπόμενα όρια τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν οι χειρισμοί WW και Control. Για την *Pinus Pinea L.* αυξημένες συγκεντρώσεις Cu εμφανίστηκαν στους χειρισμούς Sludge+WW+HA και Sludge+HA. Επίσης οι ίδιοι χειρισμοί (Sludge+WW+HA και Sludge+HA) εμφανίζουν και αυξημένες συγκεντρώσεις Zn. Αυξημένες συγκεντρώσεις Fe εμφανίζουν οι χειρισμοί Control+sludge+HA και sludge+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn εμφανίζουν οι χειρισμοί Control+sludge και Sludge. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις B εμφανίζουν οι χειρισμοί WW+HA και Control+WW και τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Co και Ni εμφανίζουν οι χειρισμοί Sludge και Sludge+WW. Για το Cd αν και όλοι οι χειρισμοί και για το έδαφος της κουκουναριάς, περιέχουν συγκεντρώσεις υψηλότερες από τα ανώτερα επιτρεπόμενα όρια τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν οι χειρισμοί Sludge+WW και Sludge. Τέλος για το Pb τις υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν οι χειρισμοί Sludge+WW και Control.

Με σκοπό να εξετάσουμε πιθανή τοξικότητα του εδάφους από υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κάποιες εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν που εκφράζουν τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των συγκεντρώσεων των μετάλλων στο έδαφος και του κινδύνου μόλυνσης των φυτών από αυτά. Με βάση λοιπόν το κριτήριο αυτό έδαφος με ισοδύναμο Zn μεγαλύτερο από 250 ppm είναι πιθανά τοξικό για τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό. Ο ισοδύναμος Zn περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση $\text{Equal Zn(mg/kg dry matter)} = \text{Zn} + 2\text{Cu} + 8\text{Ni}$. Ο ισοδύναμος Zn για το *Cupressus Arizona Greene* ήταν, 21.43 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 35.7 στο χειρισμό Sludge+control και 32.99 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus med* ο ισοδύναμος Zn ήταν 20.9 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 24.34 στο χειρισμό Sludge+control και 21.05 στο χειρισμό diluted sludge (20%)+wastewater. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι και τα δύο δασικά είδη εμφανίζουν τιμές ισοδύναμου Zn μικρότερες από τα 250 ppm, σε όλους τους διαφορετικούς χειρισμούς που χρησιμοποιήθηκαν, και επίσης δεν παρατηρήθηκε κανένα φαινόμενο τοξικότητας, μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι το έδαφος με τις δεδομένες πάντα συνθήκες είναι σίγουρα κατάλληλο για μια πλήρη και υγιή ανάπτυξη των συγκεκριμένων δασικών ειδών, αν και χρησιμοποιήθηκε λάσπη προερχόμενη από σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων.

- Η αναλογία διαθέσιμη/συνολική ποσότητα ενός μετάλλου στο έδαφος είναι ένας δείκτης που δείχνει την ποσότητα του μετάλλου που είναι διαθέσιμη και που τελικά

είναι αυτή που θα αφομοιωθεί από το εκάστοτε δασικό είδος. Η αναλογία διαθέσιμη/συνολική ποσότητα για τον Cu για το *Cupressus Arizona Greene* ήταν 0.143 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.066 στο χειρισμό Sludge+control και 0.183 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus med* η αναλογία διαθέσιμη/συνολική ποσότητα για τον Cu ήταν 0.094 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.086 στο χειρισμό Sludge+control και 0.077 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Η αναλογία διαθέσιμη/συνολική ποσότητα για το Zn για το *Cupressus Arizona Greene* ήταν 0.103 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.122 στο χειρισμό Sludge+control και 0.198 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus med* η αναλογία διαθέσιμη/συνολική ποσότητα ήταν 0.110 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 0.178 στο χειρισμό Sludge+control και 0.108 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η άρδευση των δασικών φυτών με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα είχε σαν συνέπεια των μείωση των διαθέσιμων συγκεντρώσεων στο έδαφος τόσο του Cu όσο και του Zn. Η αφομοίωση τόσο του Cu όσο και του Zn πράγματι δεν ήταν πολύ καλή, και ιδιαίτερα στους χειρισμούς Sludge+wastewater, Sludge+control και στον diluted sludge(20%)+wastewater treatment.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους σχετίζονται είτε με τον σχηματισμό ιζήματος, είτε με την δημιουργία συμπλόκων ανάλογα με την διαλυτότητά τους και τις ιδιαίτερες συνθήκες του εδαφικού διαλύματος. Ο σχηματισμός συμπλόκων μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων και οργανικών διαλυτών έχει πάντα σημαντικές επιδράσεις στα εδαφικά διαλύματα. Όσον αφορά λοιπόν την διαλυτότητα των συμπλόκων τόσο του Cu όσο και του Zn, στα αλκαλικά εδάφη αυτή μειώνεται, με αποτέλεσμα την μείωση της διαθέσιμης ποσότητας των στοιχείων αυτών για τα φυτά (Lindsay, 1978). Παρόλα αυτά επειδή ο Cu σχηματίζει πιο εύκολα σύμπλοκα με την οργανική ουσία από ότι ο Zn (Hodgson et al, 1966), η αυξημένη τιμή του pH επηρεάζει περισσότερο τον Zn και την αφομοίωσή του από τα φυτά από ότι την αφομοίωση του Cu (Piper and Beckwith, 1949). Εντούτοις, στο εδαφικό διάλυμα (Hodgson et al, 1966), στις ρίζες των φυτών και στο ξύλωμα (Graham, 1979), περισσότερο από το 98-99% του Cu βρίσκεται με την μορφή συμπλόκων. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί οι συγκεντρώσεις του ελεύθερου Cu^{+2} και Cu^{+} είναι εξαιρετικά χαμηλές.



Η έλλειψη Zn είναι ένα αρκετά έντονο και διαδεδομένο φαινόμενο που παρατηρείται μεταξύ των φυτικών ειδών που αναπτύσσονται σε αλκαλικά εδάφη. Η έλλειψη Zn συχνά σχετίζεται με την έλλειψη Fe (χλώρωση). Η χαμηλή διαθεσιμότητα του Zn στα αλκαλικά εδάφη οφείλεται κυρίως από την απορρόφηση του από την άργιλο ή το CaCO_3 και όχι τόσο από το σχηματισμό του διαλυτού $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ή ZnCO_3 (Trehan and Sekhon, 1977). Το πιο έντονο χαρακτηριστικό των δικοτυλήδων φυτών που προκαλείται από την έλλειψη του Zn είναι ο νανισμός και δραστική μείωση της φυλλικής επιφάνειας.

Η χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων σε ευρεία χρήση στα εδάφη φτωχά σε Zn μπορεί να επιφέρει έλλειψη Zn (Robson and Pitman, 1983), είτε αλλάζοντας τους εδαφικούς παράγοντες είτε τους παράγοντες που επιδρούν εσωτερικά του φυτού και καθορίζουν την ανάπτυξή του. Υψηλές συγκεντρώσεις Φωσφόρου στο έδαφος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διαλυτότητας του Zn (Marschner, 1993). Ο ανταγωνισμός αυτός, και οι υψηλές συγκεντρώσεις P, έχουν ως αποτέλεσμα ο Zn καθώς και ο Fe, να καθιζάνει είτε στη ρίζα είτε ακόμα και εσωτερικά του φυτού, φαινόμενο που εξηγεί και την έλλειψη που άλλωστε παρατηρείται (West, 1938). Σε αυτές τις περιπτώσεις η καθίζηση των στοιχείων αυτών ως ενώσεις με Φώσφορο, φαίνεται να εξηγεί το φαινόμενο.

Η σημασία του αερισμού του εδάφους είναι προφανώς πάρα πολύ σημαντική και δεν θα πρέπει να αγνοείται, ιδιαίτερα αν πρόκειται για αργιλώδη εδάφη. Ανεπαρκής αερισμός περιορίζει την ανάπτυξη των ριζών, την πρόσληψη του νερού από τα φυτά και προκαλεί ακόμη και πρόωμη μαρανση των φυτών. Η έλλειψη ή απουσία του αέρα από το έδαφος δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν αναγωγικές αντιδράσεις, αφ' ενός μεν χημικές και αφ' ετέρου βιοχημικές. Επίσης μπορεί να προκαλέσουν και απονιτροποίηση (denitrification) μετατρέποντας τα $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$, αναγωγή του $\text{Mn}^{8+} \rightarrow \text{Mn}^{3+}$, $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, η $\text{SO}_4^{=} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$, παραγωγή αιθυλενίου, οξικού, βουτυρικού και φαινολικού οξέος.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στα φύλλα του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς Sludge+control, και Sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* η μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στο χειρισμό Sludge+wastewater. Οι συγκεντρώσεις του Zn στα φύλλα του *Cupressus Arizonica Greene* ήταν μεγαλύτερη στο χειρισμό Sludge+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν επίσης στο χειρισμό Sludge+wastewater.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στις βελόνες του *Cupressus Arizona Greene* στο πειραματικό με τη χρήση χουμικό οξύ εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές τους στους χειρισμούς Control+HA, Control+WW+HA, Control. Για τον Zn τις υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφάνισαν οι χειρισμοί Control και Control+WW+HA. Για τον Fe τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν οι χειρισμοί Control+HA και Control. Για το Mn τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν οι χειρισμοί Control+sludge+HA και Control+HA. Για το Ni τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν οι χειρισμοί Sludge+WW και Sludge. Για το Co τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν οι χειρισμοί Control και Sludge. Οι συγκεντρώσεις του Cu, Zn και του Fe στις βελόνες της *Pinus pinea L.* εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές τους στους χειρισμούς Control και Control+HA. Για τον Mn τις υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφάνισαν οι χειρισμοί WW και Control. Για το Ni και Co τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν οι χειρισμοί Sludge+WW και Sludge.

Η αναλογία Zn/Cd στα φύλλα του *Cupressus Arizona Greene* ήταν 5.59 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 5.56 στο χειρισμό Sludge+control και 8.15 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster Integerrimus med* η αναλογία Zn/Cd στα φύλλα ήταν 7.11 στο χειρισμό Sludge+wastewater, 8.51 στο χειρισμό Sludge+control και 4.89 στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater.

Η αναλογία Zn/Cd περιγράφει την ανταγωνιστική δράση που υπάρχει μεταξύ Zn και Cd και καθορίζει την αφομοίωση του Cd από τα φυτά. Για αποδεκτές συνθήκες ανταγωνιστικότητας των δύο στοιχείων χωρίς προβλήματα στην αφομοίωσή τους από τα δασικά είδη και κατά συνέπεια την σωστή και ανεμπόδιστη ανάπτυξή τους, η αναλογία θα έπρεπε να έχει τιμές μεγαλύτερες από 200 (Chaney, 1981). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, αυτές είναι μικρότερες από την ζητούμενη τιμή (δηλ. 200) και κατά συνέπεια δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων. Επιπλέον, κανενός είδους μόλυνσης του εδάφους δεν παρατηρήθηκε από τη χρήση λάσπης και υγρών αστικών λυμάτων (Jones and Jarvis, 1981).

Τα δασικά είδη για να έχουν μια σωστή και πλήρη ανάπτυξη, θα πρέπει να έχουν στις σωστές συγκεντρώσεις από όλα τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται. Εάν ένα ή περισσότερα από τα θρεπτικά στοιχεία δεν βρίσκονται στις σωστές συγκεντρώσεις, τότε αυτό που βρίσκεται στη μικρότερη συγκέντρωση καθορίζει και το ρυθμό ανάπτυξης του εκάστοτε φυτικού είδους (Νόμος του ελαχίστου). Η κριτική λουπόν συγκέντρωση για τον Cu στα διάφορα φυτικά μέρη κυμαίνεται από 1-5 $\mu\text{g/g}$ ανά μονάδα ξηρού βάρους, ανάλογα πάντα με το φυτικό είδος, το μέρος του φυτού, το

στάδιο ανάπτυξης του φυτού και το απόθεμα αζώτου που το φυτό περιέχει (Robson and Pitman, 1983). Νανισμός, νέκρωση του κορυφαίου μεριστώματος, καλοκαιρινές ασθένειες, άσπρισμα των νεαρών φύλλων, είναι τυπικά οπτικά συμπτώματα από την έλλειψη Cu. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν λοιπόν, το περιεχόμενο των φυτικών ιστών, σχετίζεται άμεσα με την διαθέσιμη ποσότητα των αντίστοιχων θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

Από την ερμηνεία λοιπόν των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι υπάρχει μια εμφανής έλλειψη Cu στους χειρισμούς Sludge+wastewater, Sludge+control καθώς και στον χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater. Ο Cu είναι ένα βασικό δομικό συστατικό σε τρία διαφορετικά είδη πρωτεϊνών: α) Μπλέ πρωτεΐνες χωρίς δραστηριότητα από τις οξειδάσες (πλαστοκυανίνη) β) Μη μπλέ πρωτεΐνες που αντιπροσωπεύουν τις περοξειδάσες οι οποίες οξειδώνουν τις μονοφαινόλες σε διφαινόλες και γ) πρωτεΐνες που περιέχουν περισσότερα μόρια Cu και ενεργούν σαν οξειδάσες. Κάτω από συνθήκες έλλειψης Cu, υπάρχει σαφή σχέση μεταξύ της ποσότητας Cu των φύλλων και του περιεχομένου της πλαστοκυανίνης και της δραστηριότητας του φωτοσυστήματος I, αφού η πλαστοκυανίνη αποτελεί ένα βασικό συστατικό της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων, απαραίτητα για την εξέλιξη της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Κάτω από συνθήκες έλλειψης Cu η δραστηριότητα των ενζύμων που χρειάζονται τον Cu μειώνεται δραστικά, και κάτω από τέτοιες συνθήκες, συμβαίνουν έντονες διακυμάνσεις στο μεταβολισμό των φυτών και κατά συνέπεια αναστέλλεται έτσι η αύξηση των φυτών.

Στα φύλλα των δασικών ειδών, το όριο κάτω από το οποίο παρατηρείται έλλειψη Zn στα φυτά ανέρχεται στο 15-20 $\mu\text{g/g}$ Zn ανά μονάδα ξηρού βάρους. Τα διάφορα δασικά είδη διαφέρουν ως προς την ευαισθησία τους απέναντι στην έλλειψη Zn. Συμπτώματα όπως αυτά της χλώρωσης και νέκρωσης των παλαιότερων φύλλων καθώς και μικρή αύξηση των βλαστών είναι τα τυπικά φαινόμενα της έλλειψης του στοιχείου αυτού από τα δασικά είδη. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι έλλειψη Zn παρατηρήθηκε για τα δασικά είδη που χρησιμοποιήσαμε στους χειρισμούς Sludge+wastewater, Sludge+control καθώς και στο χειρισμό diluted sludge(20%)+wastewater.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ενζύμων στα οποία ο Zn αποτελεί βασικό συστατικό της δομής τους. Σε αυτά τα ένζυμα ο Zn έχει κυρίως τρεις λειτουργίες: είτε λειτουργεί ως καταλύτης, είτε ως συγκαταλύτης είτε απλά αποτελεί βασικό στοιχείο της δομής τους (Vallee and Auld, 1990). Στην μεταφορά μεγάλων αποστάσεων εντός

του ξυλώματος, ο Zn είτε είναι δεσμευμένος πάνω στα οργανικά οξέα ή βρίσκεται με την μορφή δισθενούς κατιόντος Zn^{+2} . Εντός του φυλλώματος (χυμούς) ο Zn σχηματίζει σύμπλοκα με τους οργανικούς διαλύτες μικρού μοριακού βάρους. Η μεταβολική δραστηριότητα του Zn εξηγείται από την δυνατή τάση που εμφανίζει να σχηματίζει τετράεδρα σύμπλοκα με N-, O-, και ιδιαίτερα με ουσίες που περιέχουν S- και το γεγονός αυτό καθιστά τον Zn ικανό να παίζει έναν λειτουργικό και ταυτόχρονα δομικό ρόλο στις ενζυμικές λειτουργίες. Γενικά οι αλλαγές που συμβαίνουν στο μεταβολισμό των δασικών ειδών εξαιτίας του Zn είναι σχεδόν πάντα αρκετά πολύπλοκες. Τις περισσότερες όμως φορές αυτές ερμηνεύονται από την δραστηριότητα των διαφόρων ενζύμων που περιέχουν Zn.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στις ρίζες του *Cupressus Arizona Greene* ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς Sludge+Control, και Diluted sludge (20%)+wastewater. Για το *Cotoneaster integerrimus med* οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cu παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Sludge+Control, και Sludge+wastewater. Οι συγκεντρώσεις του Zn στις ρίζες του *Cupressus Arizona Greene* ήταν μεγαλύτερη στους χειρισμούς Sludge+wastewater και Sludge+Control. Για το *Cotoneaster integerrimus med* οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς Sludge+Control, και Sludge+wastewater.

Οι ρίζες των δασικών ειδών περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις τόσο Cu όσο και Zn σε σχέση με τα φύλλα τους. Οι συγκεντρώσεις σε μέταλλα τόσο του βλαστού όσο και της ρίζας μπορούν να ποικίλουν και ένα εξαρτώμενες από την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτός μπορεί να είναι ένας λόγος που να εξηγεί την μεγάλη ποικιλότητα στην μεταφορά των ιόντων κατά μήκος των ριζών (Rovira and Bowen, 1973). Μεταξύ των ανώτερων φυτών υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ριζών με ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά, με σκοπό και στόχο πάντα να εξυπηρετούν ιδιαίτερες ανάγκες και απαιτήσεις. Οι ρίζες των φυτικών ειδών είναι επίσης τόσο πολύ πολύπλοκες με την τρισδιάστατη μορφή τους και τις δομικές και μορφολογικές διαφοροποιήσεις τους. Διακυμάνσεις στο χρόνο, λόγω των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών, της επάρκειας ή μη, των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων προσθέτουν στην πολυπλοκότητα και την λειτουργία των αντιδράσεών τους. Αλλά πάντα με την μορφή και τον τρόπο αυτό μπορούν οι ρίζες να ικανοποιήσουν τις πολλές απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία των φυτών (Clarkson and • Hanson, 1980).

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων των πινάκων προκύπτει ότι την μεγαλύτερη συγκέντρωση του Cu και Zn στις ρίζες του *Cupressus Arizonica Greene* εμφάνισαν οι χειρισμοί Control και Control+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe εμφάνισαν οι χειρισμοί Control+HA και Control+sludge+HA, ενώ τις υψηλότερες στο Mn οι χειρισμοί Control+WW+HA και Control+sludge+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τόσο Ni όσο και Co εμφάνισαν οι χειρισμοί Sludge+WW και Sludge. Αντίστοιχα για τις ρίζες της *Pinus pinea L.* τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Cu και Zn εμφάνισαν οι χειρισμοί Control και Control+HA. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe εμφάνισαν οι χειρισμοί Control και Control+sludge+HA ενώ τις υψηλότερες στο Mn οι χειρισμοί Control+WW+HA και Control+sludge. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τόσο Ni όσο και Co εμφάνισαν οι χειρισμοί Sludge και Sludge+WW.

Προσθήκη Cu ή άλλων στοιχείων από το φύλλωμα στα φυτά με την μορφή ανόργανων αλάτων, οξειδίων ή χηλικών ενώσεων απαιτούνται και εφαρμόζονται σαν μέσα της έλλειψης των στοιχείων στα εδάφη που αναπτύσσονται τα φυτά. Εφαρμογές στο έδαφος ανόργανων αλάτων ή οξειδίων ή ακόμα και ενώσεων αργής αποδέσμευσης των μετάλλων είναι περισσότερο κατάλληλες με περισσότερο όμως μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Επιλέγοντας γονότυπους φυτών που είναι περισσότερο εξειδικευμένα στην αφομοίωση των μετάλλων και ιδιαίτερα στην αποτελεσματική μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες στους βλαστούς και στην επανακυκλοφορία μεταξύ του βλαστού είναι μια ελπιδοφόρα μακροπρόθεσμη προσέγγιση στην αντιμετώπιση της έλλειψης των θρεπτικών στοιχείων κάτω από συγκεκριμένες οικολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο Zn επηρεάζει τον μεταβολισμό του Φωσφόρου στις ρίζες (Loughman et al. 1982), καθώς επίσης και την μεταφορά του εντός του ξυλώματος. Η υψηλή συγκέντρωση του Φωσφόρου, στους βλαστούς των δασικών ειδών που εμφανίζουν έλλειψη Cu, είναι το αποτέλεσμα της επανακυκλοφορίας του εντός του φυλλώματος, και ένα ισχυρό σημάδι της πρόσληψης του από τις ρίζες.

Γενικά η προσθήκη χουμικού οξέος στους χειρισμούς του πειραματικού σχεδιασμού είχε πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα. Η προσθήκη του χουμικού βοήθησε σημαντικά στη δημιουργία μακροπόρων και χαλάρωση του εδάφους λόγω βελτίωσης της μακροσυσσωμάτωσής του. Σταθεροποιεί της συσσωμάτωση και βοηθά στη δημιουργία καλής δομής. Αυξάνει τη διήθηση του νερού, βελτιώνει το θερμικό καθεστώς του εδάφους, βοηθά στην επίτευξη σταθερότερου pH, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό όταν πραγματοποιείται άρδευση με υγρά αστικά λύματα, η τιμή του pH

παρουσιάζει πολλές φορές διακυμάνσεις. Αυξάνει την προσρόφηση τοξικών μετάλλων και ουσιών ανθρωπογενούς φυσικής προέλευσης, με αποτέλεσμα την αποφυγή διαφόρων φαινομένων τοξικότητας. Βελτιώνει τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, αυξάνει την ικανότητα προσρόφησης ιόντων, βελτιώνει τις συνθήκες της ανοργανοποίησης των οργανικών μορφών-ενώσεων των θρεπτικών στοιχείων, Βοηθά στην αυξημένη συγκράτηση κατιόντων, αυξάνει τον εφοδιασμό του εδάφους με N, P, και S, και τέλος αυξάνει τη διαθεσιμότητα των μικροθρεπτικών Zn, Mn, Cu, Fe, και B. *

Λόγω της κολλοειδούς φύσης τους, οι χουμικές ουσίες συμπεριφέρονται ως ασθενή οξέα ή ασθενείς πολυηλεκτρολύτες. Επίσης χαρακτηρίζονται από την παρουσία αρνητικών ή ηλεκτρικών φορτίων λόγω της διάστασης των ενεργών λειτουργικών φορτίων λόγω της διάστασης των ενεργών λειτουργικών μονάδων (COO^- , OH^- , C=O , ενολικών OH , ιμιδίων $\text{C}=\text{NH}$) και ενδεχομένως άλλων ομάδων. Η παρουσία των αρνητικών φορτίων στις χουμικές ουσίες του εδάφους προσδίδουν σ' αυτό εκτεταμένες ιοντοανταλλακτικές ιδιότητες, αφ' ενός και αφ' ετέρου την ικανότητα της συγκράτησης των θρεπτικών κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , K^+ , και τα οποία αποδίδονται σε διαθέσιμη μορφή στα φυτά για την ανάπτυξή τους. Έτσι οι χουμικές ουσίες συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της ιοντοανταλλακτικής ικανότητας (CEC) του εδάφους. Οι χουμικές ουσίες έχουν ισχυρή χημική συγγένεια με το νερό διότι είναι υδρόφιλες. Έτσι ευνοούν την συγκρότηση νερού στο έδαφος.

Στην ιλύ των μονάδων βιολογικού καθαρισμού περιέχονται τεράστιες ποσότητες χουμικών ουσιών, οι οποίες μπορεί να είναι αναμεμειγμένες με βαριά μέταλλα (Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, κλπ), και ως εκ τούτου να μην είναι περιβαλλοντικά αποδεκτές.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων σε ιλύ βιολογικού καθαρισμού οφείλεται στη μεγάλη προσροφητική της ικανότητα. Και στο έδαφος οι χουμικές ουσίες προσροφούν όχι μόνο βαριά μέταλλα, αλλά και διάφορες ανθρωπογενείς ενώσεις (ζιζανιοκτόνα, απολυμαντικά κλπ) και ως εκ τούτου ενεργεί ως παράγων βελτίωσης του περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια η οργανική ουσία μέσω των χουμικών της ουσιών ενεργεί προστατευτικά στο περιβάλλον βελτιώνοντας την ποσότητά του και καθιστώντας το πιο φιλικό προς τον άνθρωπο.

* Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών λυμάτων των Βιολογικών Σταθμών για άρδευση δασικών φυτών, θα δημιουργήσει ασφαλώς ένα νέο και ασφαλή τρόπο διαχείρισης των αστικών λυμάτων στις μεγαλουπόλεις. Το

σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του προτεινόμενου μοντέλου διαχείρισης, είναι ότι οι εκτάσεις που βρίσκονται πλησίον των Βιολογικών Σταθμών μετατρέπονται σε δασικά και γεωργικά οικοσυστήματα και αξιοποιούνται πλήρως και με τον τρόπο αυτόν παύει, η περιβαλλοντική υποβάθμιση όλων αυτών.

Το γεγονός δε ότι οι παροχές των εκροών από τα επεξεργασμένα λύματα είναι υψηλές κατ' έτος και οι ανάγκες για άρδευση πλησίον των βιολογικών σταθμών, σημαντικά μικρότερες, θα μπορούσε κάλλιστα μέρος των εκροών να διοχετευθεί σε δεινδροστοιχίες, περιαστικά δάση και πάρκα των πόλεων, με χρήσιμα αποτελέσματα.

Η έρευνα θα μπορούσε στο άμεσο μέλλον να επεκταθεί και να περιλαμβάνει μια σειρά άλλων δασικών ειδών που θα αρδεύαμε με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα. Μεγάλος αριθμός δασικών ειδών, που θα χρησιμοποιηθούν για την αναδάσωση των χιλιάδων στρεμμάτων καμένης γής της χώρας μας, που αναπτύσσονται στα δασικά φυτώρια και που έχουν ανάγκη σημαντικών αρδευτικών ποσοτήτων, για να αναπτυχθούν, είναι αναγκαίο να μελετηθούν με την άρδυσή τους με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα.

Τόσο η γνώση όσο και η εμπειρία πάνω στην αντοχή των δασικών ειδών στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, που τα υγρά αστικά λύματα περιέχουν, θα μας δώσει πολλά και χρήσιμα συμπεράσματα για την συμπεριφορά των διαφόρων ειδών, όταν αρδεύονται με επεξεργασμένα λύματα, και θα δημιουργήσει την ανάγκη άμεσα, για την εύρεση και δημιουργία νέων ποικιλιών ανθεκτικών σε βαρέα μέταλλα στα εργαστήρια όσο και στο πεδίο εφαρμογής τους σποροπαραγωγούς κήπους της χώρας μας.

Η διάρθρωση της χώρας μας σε 13 περιφέρειες θα μπορούσε να προταθεί, και κατ' επέκταση να λειτουργήσει σαν ένα μοντέλο επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών λυμάτων, σε συνεργασία με τις κατά τόπους δασικές αρχές, για άρδευση στα δασικά φυτώρια της χώρας μας (Loukopoulos et al., 2008).

Σε κάθε περιφέρεια θα πρέπει το τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων να είναι σε θέση να σχεδιάσει το κατάλληλα προσαρμοσμένο και απόλυτα εφαρμόσιμο μοντέλο διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών λυμάτων, και έτσι με τον τρόπον αυτό να υπάρξει μια σωστή και ολοκληρωμένη διαχείριση τόσο των χερσαίων όσο και των υδάτινων αποδεκτών των λυμάτων, και κυρίως την αναβάθμιση και προστασία χερσαίων και ερημωμένων εδαφικών εκτάσεων, με στόχο την δημιουργία

- ζωνών πρασίνου και χώρων αναψυχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adriano, D. C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag (Publisher), Berlin, Germany, pp.1-867.

Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A., Zachritz, W.H., 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management* Vol. 56, Issue 1, pp. 57-79.

Αλιφραγκής, Α. Δ., Παπαμίχος, Θ. Ν., 1995. Περιγραφή-Δειγματοληψία Εργαστηριακές Αναλύσεις Δασικών Εδαφών και Φυτικών Ιστών. Εκδόσεις Δεδούση Θεσσαλονίκη, pp 1-181.

Alloway, B.J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie London, pp.1-368.

Anderson, J., 2002. "The environmental benefits of water recycling and reuse", *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September*, pp. 11-20.

Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V., 2002. Main challenges for water recycling and reuse in the EU countries. *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September*, pp. 71-79.

Angelakis, A.N., Marecos Do Monte, M.H.F., Bontoux, L., Asano, T., 1998. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: Need for guidelines. *Wat. Res. Vol. 33, No 10*, pp. 2201-2217.

Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. 2003. Main Challenges and Prospectives for Water Recycling and Reuse in EU Countries, *Wat. Sci. Tech., Wat. Supply*, 3 (4), pp. 59-68.

Archard, P.K. 1786. *Crell's Chem. Ann.* 2:391.

Aronsson, P., Heinsoo, K., Perttu, K., Hasselgren, K., 2002. Spatial variation in above ground growth in unevenly wastewater irrigated willow *Salix viminalis* plantations. *Ecological Engineering* Vol. 19, Issue 4, pp. 281-287.

Asano, T., 2003. Water Reuse: A Future Perspective. *Water resources and Water Supply in the 21st Century*, Hokkaido University Press, Sapporo.

Asano, T. (Editor) 1998. "Wastewater Reclamation and Reuse", Book volume 10, Technomic Publishing, Canaster-Pennsylvania, USA.

Αθανασιάδης, Ν., 1986. Δασική Βοτανική (Δένδρα και Θάμνοι των Δασών της Ελλάδος). Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Θεσσαλονίκη 1986, pp.1-309.

Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality of Agriculture, FAO irrigation and Drainage paper 29, pp. 99-104 Rev. 1.



Βαγενάς, Δ. (2005). Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, pp. 1-182.

Bahri, A. (1998). Water reclamation and reuse in Tunisia. *Wastewater Reclamation and Reuse*, T. Asano (Ed.). Water Management Library. Vol. 10, Technomic Publishing Company, Inc.

Bahri, A. (2001). Water reclamation and reuse in Tunisia. *Joint FAO/WHO Consultation for Launching the Regional Network on Wastewater Reuse. Amman, Jordan*.

Bahri, A., Brissaud, F., 2002. "Wastewater reuse in Tunisia: Assessing a national policy", *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 103-110.

Barbagallo, S., Cirelli, G.L., Indelicato, S. (2001). Wastewater reuse in Italy. *Wat. Sci.Tech.* 43 (10), pp. 43-50.

Bazza, M., 2002. "Wastewater recycling and reuse in the Near-east region: Experience and Issues", *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 43-59.

Berrow, M.L., Webber, J., 1972. *J. Sci Fed Agric* 23, pp. 93-100.

Berzelius, J.J., 1839. *Lehrbuch der Chemie*, Whohler, Dresden and Leipzig.

Bontoux, J., Courtois, G., 2002. "Wastewater reuse for irrigation in France", *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September*, pp. 49-53.

Bowen, H.J.M., *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London (1979).

Bramryd, T., 2002. Impact of Sewage Sludge Application on the Long-Term Nutrient Balance in Acid soils of Scots Pine (*Pinus Sylvestris*, L.) Forests. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 140, pp. 381-399.

Brockway, G.D., 1980. Tree seedling responses to wastewater irrigation on a forested old field in southern Michigan. *Water quality division*, pp. 165-179.

Bucks, D.A., Nakayama, F.S., Warrick, A.W., 1982. Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In : *Advances in Irrigation*, pp. 219-298.

Canellas, N., Amengual, A., Perez, F.X., Caus, J.M., Salgot, M., 2002. Specific Project of Wastewater Reclamation and Reuse in the Balearic Islands (Spain). *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 501-508.

• Chakrabarti, C., Nashikkar, V.J., 1994. Forest tree fertilization with sewage. *Bioresource Technology* Vol. 50, pp. 185-187.



Chaminade, R., 1966. Effect physiologique des constituants de la matiere organique des sols sur la metabolisme des plantes, la croissance et la vendement. In : The use of isotopes in soil organic matter studies. Report FAO/AEA. Tech. Meeting Brunswick Volken Rode 1963. Pergamon, Oxford, pp. 35-47.

Chaney, R.I., Stowesand, G.S., Bache, C.A., 1981. Cadmium deposition in the hepatic microsomal induction in mice fed lettuce grown on municipal sludge amended soil. J. Agric Food Chem 26, pp. 992-996.

Clarkson, D.T., Hanson, J.B., 1980. The mineral nutrition of higher plants. Annu Rev Plant physiol 31, pp. 239-298.

Cogliastro, A., Gerald, D., Daigle, S., 2001. Effects of wastewater sludge and woodchip combinations on soil properties and growth of planted hardwood trees and willows on a restored site. *Ecological Engineering* Vol. 16, Issue 4, pp. 471-485.

Consorci de la Costa Brava. (2001). Proposta per a la Millora de la Garantia d'Abastament d'Aigua Potable al Municipi de Portbou. Technical report prepared for the municipality of Portbou and the Catalan Water Agency, July 2001.

Crook, J., 1985. Health and regulatory considerations. In irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A Guidance manual.

Δαφέρμος, Β., 2005. Κοινωνική Στατιστική με το SPSS. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη 2005, pp 1-685.

Δεληγιαννάκης Ι., Χελά, Δ., 2003. Ενόργανη Περιβαλλοντική ανάλυση. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, pp.1-356.

Dell' Agnolla, G., Nardi, S., 1986. News about biological effect of humic substances. In: Burns G.R. et al. (eds). Humic substances effect on soil and plants. REDA Edizioni per l' agricoltura, Milan, Italy.

Dimitriou, I., Aronsson, P., 2003. Nitrogen leaching from short rotation willow coppice after intensive irrigation with wastewater. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 26, Issue 5, pp. 433-441.

Drakatos, P.A., Fanariotou, I.N., Kalavroyziotis, I.K., Skuras, D.G., 1996. "Impact on Mechanical acoustic and thermal properties of Eucalyptus Wood", Proceedings of an International Conference on Restoration and Protection of the Environment III 28-30 August 1996 Chania-Crete-Greece, pp. 723-726.

Drakatos, P.A., Kalavrouziotis, I., Drakatu, S.P., 2000. Synergism of Cu and Zn in the plants irrigated via processed liquid wastewater. *Journal of Land Contamination and Reclamation*, Vol. 8, Issue 3, EPP publications, pp. 201-207.

• Drakatos, P.A., Kalavrouziotis, I.K., Hortis, T., Varnavas, P.S., Drakatos, S.P., Blandenopoulou, S., Fanariotou, I.N., 2002. Antagonistic Action of Fe and Mn in

Mediterranean – type plants irrigated with wastewater effluents following biological treatment. *Intern. J. Environ. Studies* Vol. 59, Issue 1, pp. 125-132.

Drakatos, P., Kalavrouziotis, I., Stepashko, V., Vissikirsky, V., 2002. The Usage of Fuzzy modeling for Cultivation of forest irrigated by wastewater treatment plants. *International Journal Environmental Studies*, Vol. 58, Issue 6, pp. 813-833.

El Atiri, R., Rezgui, F. (2002). Wastewater reuse: the case of Tunisia. *First WDM Forum on Wastewater Reuse, IDRC. Rabat, Morocco, 26-27 March*.

English, D., 1985. Filtration and water treatment for microirrigation. Proceedings of the 3rd international drip/trickle irrigation congress, November 18-21, Fresno, California, I pp. 50-57.

EPA (1992) Manual. Guidelines for water reuse. Washington, D.C.

FAO (2000). Water Quality Management and Pollution Control in the Near East: An Overview Regional Workshop on Water Quality Management and Pollution Control in the Near East, Cairo, Egypt.

FAO (2001). Strengthening Capacity for the reuse of Treated Wastewater in Irrigation. *Draft Project Document for Syria*. FAO regional Office for the Near East, Cairo, Egypt.

Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelich, H., Mara, D.D., 1983. Sanitation and disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management.

Flaig, W., 1971. Organic Compounds in Soils. *Soil Sci.* 111, pp. 19-33.

Furr, K.A., 1976. *Environ Sci Technol* 7, pp. 683-687.

Garnham, G.W., Codd, G.A., Gadd, G.M., 1972. Kinetics of uptake and intercellular location of cobalt, manganese and zinc in the estuarine green alga *Chlorella salina*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 37, pp. 270-276.

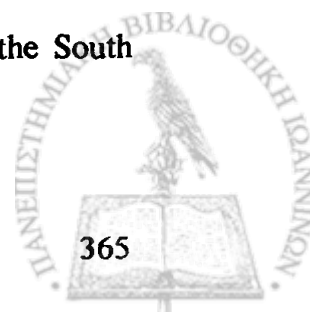
Graham, R.D., 1979. Transfer of Copper and Manganese to the xylem exudate of sunflower. *Plant Cell Environ.* 2, pp. 139-143.

Gupta, U.C., ed. 1993. In Boron and its Role in Crop Production. CRC Pr, Boca Raton, FL.

Gupta, U.C. 1979. *Adv. Agron* 31, pp. 273-307.

Hallett, R.A., Bowden, W.B., Smith, T.C., 1998. Nitrogen Dynamics in Forest Soils After Municipal Sludge Additions. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 112, pp. 259-278.

Hamoda, F.M., 2004. Water Strategies and Potential of water Reuse in the South Mediterranean Countries, *Desalination* 165, pp. 31-41.



Hasselgren, K. 2000. Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. *Biomass and Bioenergy*, 15, pp.71-74.

Hesse, I.D., Day jr, J.W., Doyle, T.W., 1998. Long term enhancement of Baldcypress (*Taxodium distichum*) from Municipal Wastewater Application. *Environmental Management Vol. 22*, Issue 1, pp. 119-127.

Hodgson, J. F. 1969. Contribution of metal-organic complexing agents to the transport of metals to roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:68-75.

<http://www.census.gov/ipc/www/world.html>

<http://www.et.gr>

Huang, W.H., Keller, W.D., 1970. Dissolution of rock forming silicate minerals in organic acids: Simulated first stage weathering of fresh mineral surfaces *Am. Mineral*, 55, pp. 2076-2094.

Jemmali, A., Abdel-Majid, K. (2002). Wastewater Reuse: the case of Morocco. *First WDM Forum on Wastewater Reuse, IDRC. Rabat, Morocco, 26-27 March*.

Jones, L.P.H., Jarvis, S.C., 1981. The fate of heavy metals. In: John Wiley and Sons (Eds.) *The chemistry of soil processes*, New York, pp. 593-615.

Kabata-Pendias, A, Pendias, H.1992. *Trace Elements in Soils and Plants* 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton Ann Arbor London, 1992, pp 1-365.

Καλαβρουζιώτης I.K., 2007. Αειφορική Διαχείριση Εδαφικών Πόρων. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, pp.1-266.

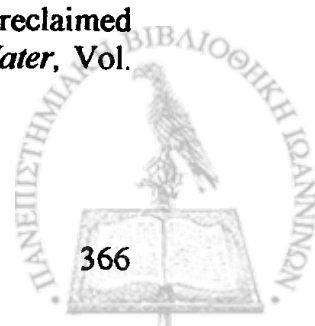
Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A., 2001. "The future of irrigation by processed wastewater in Greece", *Journal of Environmental and Waste Management*, Vol. 4, Issue 2, pp. 107-110.

Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A., 2002. Irrigation of certain Mediterranean plants with heavy metals. *Int. Journal of Environment and pollution Vol. 18*, Issue 3, pp. 294-300.

Kalavrouziotis, I., Stepashko, V., Vissikirsky, V., Drakatos, P., 2002. Group method of Data handling (GMDH) application for modeling of mechanical properties of trees irrigated with wastewater, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 18, No 6, pp. 589-601.

Kalavrouziotis, I.K., Hortis, T., Drakatos, P.A., 2004a. The reuse of wastewater and sludge for cultivation of forestry trees in dessert areas in Greece. *Int. Environment and pollution Vol. 21*, Issue 6, pp. 425-439.

Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A., 2004b. "Investigation of Corfu-Greece reclaimed municipal wastewater suitability for irrigation", *International Journal of Water*, Vol. 2, No. 4, pp. 284-296.



Kalavrouziotis, I., Stepashko, V., Vissikirsky, V., 2004c. Group method of Data hadling (GMDH) in modeling of growth dynamics of trees irrigated with wastewater, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 21, No 4, pp. 350-364.

Kalavrouziotis, I.K., Hortis, T., Drakatos, P.A., 2004a. The reuse of wastewater and sludge for cultivation of forestry trees in dessert areas in Greece. *Int. Environment and pollution* Vol. 21, Issue 6, pp. 425-439.

Kalavrouziotis I.K., Sakellariou,-Makrantomaki, M, Vagenas, I., Hortis, T., Drakatos, P.A., 2005, The potential for the systematic reuse of the wastewater effluents by the biological treatment plant of Agrinio, Greece on soils and agriculture, *Freshenius Environmental Bulletin*, Vol 14 (3), pp.204-211.

Kalavrouziotis I.K., Kanatas P.I., Papadopoulos A.H., Blademopoulou S., Koukoulakis P.H. and Leotsinides M.N. 2005, 'Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro and microelement status of soil and plants' *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 14; No. 11, pp. 1050-1057.

Kalavrouziotis, I.K., Sakellariou-Makrantonaki, M., Vagenas, I.N., Lemesios, I., 2006. Assessment of water requirements of crops for the reuse of municipal wastewaters from the W.W.T.P. of Patras, Greece, *International Journal of Environment and Pollution*, Vol.28, no 3-4,pp. 485-495.

Kalavrouziotis I.K., Apostolopoulos, 2006. 'An integrated environmental plan for the reuse of treaded wastewater from W.W.T.P. in urban areas', *International Journal of Building and Environment*, Elsevier, vol. 42, issue 4, pp. 1862-1868.

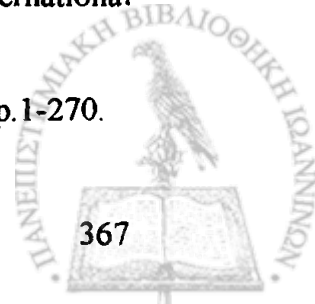
Kalavrouziotis I.K., Pantazis V.N Vissikirsky V. Stepashko., 2006. 'Irrigation with wastewater and sludge for Greenhouse forest species:Experiments,Modeling and Qualitative Assessment', *International Journal of Instrumentation Science and Technology*,Dekker Publishers, vol. 34:727-742.

Kalavrouziotis, I.K., P. Robolas, P. H. Koukoulakis, A. H. Papadopoulos, 2008. 'Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro and microelements status of soil and of *Brassica oleracea* var. *Italica*, and *Brassica oleracea* var. *gemmifera*' *International Journal 'Agricultural Water Management'* Vol. 95, issue 4, pp. 419-426.

Kalavrouziotis I.K., Koukoulakis, H., Robolas, P., Papadopoulos , A., Pantazis, V., 2008. 'Interrelationship of heavy metals and properties of a soil cultivated with *Brassica oleracea* var. *Italica* (*Broccoli*), under the effect of Treated Municipal Wastewater' *International Journal Air, Soil and Water Pollution*, Vol 190, no 1-4, pp. 309-321.

Kalavrouziotis I.K., Koukoulakis, H., Robolas, P., Papadopoulos , A. ,Pantazis, V., 2008. 'Macro and micronutrient interactions in soil under the effect of *Brassica oleracea* var. *Italica*, irrigated with Treated Municipal Wastewater,' *International Journal 'Fresenius Environmental Bulletin'*, Vol. 17; No 8, in press.

Κελεπερτζής Α. Ε. (2000). Εφαρμοσμένη Χημεία. *Μακεδονικές Εκδόσεις*, pp.1-270.



Khristeva, L.A., Manoilova, 1950. The nature of the direct effect of humic acids on the growth and development of plants. Dokl. Vse. Soyuz Akad. S-Kh Nawk. Lemina 11, pp. 10-16.

Kimberley, O.M., Wang, H., Wilks, J.P., Fisher, R.C., Magesan, N.G. (2003). Economic analysis of growth response from a pine plantation forest applied with biosolids. *Forest Ecology and Management.*, 189 (1-3), pp. 345-351.

Kochian, L.V. (1991). Mechanism of micronutrient uptake and translocation in plants. In *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Am. Book Series No 4. Madison WI. pp. 229-296.

Κολύβα-Μαχαίρα, Φ., Μπόρα-Σέντα, Ε., 1999. Στατιστική Θεωρία -Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη 1999, pp. 1-495.

Kononova, M.M., 1961. Soil Organic Matter, Pergamon press, London U.K., 2nd Ed. pp.544.

Κουκουλάκης, Π.Χ., Παπαδόπουλος Α.Η., 2007. Η ερμηνεία της Φυλλοδιαγνωστικής. Εκδόσεις Σταμούλης. Αθήνα, pp 1-515.

Κουκουλάκης Π., Σιμώνης Α., Γκέρτσος Α., 2000. *Οργανική Ύλη του Εδάφους*, Εκδ. Σταμούλης, pp.1-491.

Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Ι, 'Τα ρέοντα ύδατα', Τμήμα εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη, pp. 1-681.

Labrecque, M., Teodorescu, I.T., 2001. Influence of Plantation Site and Wastewater Sludge Fertilization on the Performance and Foliar nutrient Status of two Willow Species Grown under SRIC in Southern Quebec (Canada). *Forest Ecology and Management Vol.* 150, Issue 3, pp. 223-239.

Lauchli, A., Bielecki, L., 1983. Inorganic Plant Nutrition. Encyclopedia of plant Physiology. Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York, Tokyo, pp.1-449.

Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M., Brissaud, F. (2001). Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Wat. Sci. Tech.*, 43 (10), pp. 25-33.

Lindsay, W.L., 1978. Chemical reactions affecting the availability of micronutrients in soil. In : Andrew CS, Kamparth EJ (eds) Mineral nutrition in legumes in tropical and sub-tropical soils. CSIRO, Melbourne.

Loughman, B.C., Webb, M.J., Loneragan, J.G., 1982. Zinc and the utilization of phosphate in wheat plants. In *Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium*, Warwick, England (A Scaife, ed) pp.335-340. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal Bucks.

Loukopoulos, B., Kalavrouziotis, I.K., 2008. 'Reuse of municipal reclaimed wastewater for the irrigation in soils and plants: Aitolokarnania in Western Greece as an example', *International Journal 'Fresenius Environmental Bulletin'*, Vol 17, No 4, pp.434-438.

Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P., Ferrini, F., 2004. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, Vol. 38, Issue 12, pp. 2939-2947.

Maeda, M., Nakada, K., Kawamoto, K., Ikeda, M., 1985. Area-wide Use of reclaimed water in Tokyo, Japan. . *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 55-62.

Manios, T., Stentiford, E.I., Millner, P., 2003. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by a *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere Vol. 53*, pp. 487-494.

Marecos do Monte, M.H.F., Angelakis, A.N., Asano, T. (1996). Necessity and basis for establishment of European Guidelines for reclaimed wastewater in the Mediterranean region. *Wat. Sci. Tech.*, 33 (10-11), pp. 303-316.

Marschner, H., 1993. zinc uptake from soils. In "Zinc in Soils and Plants" (A.D. Robson, ed.), pp. 59-77. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands

Marschner, H., 1988. Mineral Nutrition of Higher plants. Academic Press, pp.1-889.

Mathur, S.P., Schnitzer, M., 1978. A Chemical and spectroscopic characterization of some synthetic analogues of humic acids. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42, pp. 591-596.

Μάτης, Κ., 1994. Δασική βιομετρία Ι. Στατιστική. Εκδόσεις Δεδούση Θεσσαλονίκη 1994, pp.1-358.

Mavrogianopoulos, G., Kyritsis, S., 1995. Use of municipal wastewater for biomass production. Agricultural University of Athens.

McGrath, S.P., Chang, A.C., Page, A.L., Witter, E., Environmental reviews 1994

McNichol, R.D. and beckett, P.H.T., *Plant and Soil* 85 (1985), pp. 107-129.

Mills, H.A., and Benton Jones Jr., 1996. Plant Analysis Handbook. II-A. Practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide, Micro Macro Publishing Inc. USA, pp.1-422.

Min-Jian wang, 1996. Land application of sewage sludge in china. *The Science of the Total Environment Vol. 197*, pp. 149-160.

Mujeriego, R., Serra, M., Sala, L. (2000). Ten years of planned wastewater reclamation and reuse in Costa Brava, Spain. *Proc. Of the Water Reuse 2000*, San Antonio (USA), 31 January-3 February, 2000.

Ντάφης, Σ., 1986. Δασική Οικολογία. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 1986, pp.1-443.

Official methods of Analysis of AOAC International, (1996) Sixteenth ed. Publ. International Suite AOAC 481 North Frederick Avenue Gaithersburg, Maryland 20877-2417 U.S.A.

Oliver, B.G., Cosgrove, E.G., 1975. *Environ Letters* 9, pp. 75-90. From 10 sites in southern Ontario, Canada.

Oron, G., 2002. Agriculture, Water and the Environment: Future Challenges. *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 61-67.

Page, E.R., Dainty, J., 1964. Manganese uptake by excised oat roots. *J. Exp. Bot.* 15. pp. 428-443.

Page, A.L., Chang, A.C., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater trace elements. In irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A Guidance manual.

Πανταζής, Β., Καλαβρουζιώτης, Ι., Δελιγιαννάκης, Ι. 2006. Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης υγρών αστικών λυμάτων και λάσπης βιολογικών καθαρισμών στο έδαφος νεαρών αναπτυσσόμενων φυταρίων *CUPRESSUS ARIZONICA GREENE* και *COTONEASTER INTEGERRIMUS MED*, Πρακτικά Εδαφολογικού συνεδρίου, Οκτώβριος, Αρτα, σελ. 467-477.

Pantazis, V., Kalavrouziotis, I., Deligiannakis, I. 2006. Irrigation with wastewater and sludge utilization on forest species grown under greenhouse conditions, Proceedings in International Conference 'Sustainable Management and development of Mountainous and island Areas, September 29,30 and 1 October, Naxos island, Cyclades, Greece, pp.11-19.

Pantazis, V., Kalavrouziotis, I. Deligiannakis, I. 2006. Antagonistic action of Fe and Mn in soils and plants irrigated with wastewater effluents, IV European Soil Agronomy Congress, Poland, 4-7 September, vol.11, Part I, pp. 433-434.

Pantazis, V., Kalavrouziotis, I. Deligiannakis, I. 2007. Cu-Zn accumulation on soil-plant system irrigated with wastewater. Facing Sludge Diversities: Challenges, Risks and Opportunities, International Conference, 28-30 march, 2007, Antalya, Turkey, pp. 673-680.

Pantazis V., Kalavrouziotis I., Deligiannakis I. 2008. Irrigation with wastewater and sludge utilization on forest species grown under greenhouse conditions, submitted in International Journal of Environment and Waste management.

Papaiacovou, I., 2001. Case Study-wastewater reuse in Limassol as an alternative water source. *Desalination*, Vol. 13, Issue 8, pp. 55-59.



Papadopoulos, I. (1995). Wastewater Management for Agricultural Production and Environmental Protection in the NER.. FAO regional Office for the Near East, Cairo, Egypt.

Παπαμίχος, Θ. Ν, 1996. Δασικά εδάφη. Σχηματισμός, Ιδιότητες, Συμπεριφορά. Εκδόσεις Δεδούση Θεσσαλονίκη, pp.1-414.

Paraskevas, P.A. (1997). Needs for wastewater reuse in Mediterranean countries. *Proc. Of the 3rd Int. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 97*, (ed. E. Ozhan), Qawra Malta, November 11-14, A, pp. 299-314.

Paul, E.A., Clark, F.E., 1989. Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press Inc. London.

Photiou, C. (2001). Status of Water and Wastewater Reuse in Cyprus. *Joint FAO/WHO Consultation for Launching the Regional Network on Wastewater Reuse. Amman, Jordan*.

Piper, C.S., Beckwith, R.S., 1949. The uptake of Copper and Molybdenum by plants. In: Plant and animal nutrition in relation to soil and climatic factors. Br Comm Spec Conf Agric HMSO London.

Raskin, I., Ensley, D.B., 2000. Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean Up the Environment. Copyright 2000 by John Wiley & Sons, Inc.

Robson, A.D., Pitman, M.G., 1983. Interactions between nutrients in higher plants. In "Encyclopedia of Plant Physiology, New series" Vol. 15A, pp.147-180. Springer-Verlag, Berlin and New York.

Rovira, A.D., Bowen, G.D., 1973. The influence of root temperature on ¹⁴C assimilate profiles of wheat roots. *Planta* 114, pp. 101-107.

Rypacek, V., 1962. Studies about Humus. Chechoslovak Academy of sciences, Prague, pp. 235-243.

Rytwo, G.C., Serbans, N.S., Marglies, L., 1991. Use of Methylene Blue and Crystal Violet for Determination of Exchangable Cations in Montmorillonite Clay and Clay Minerals, 39. pp. 551-555.

Shaaan, N.S. (2001). Egypt Country Paper on Wastewater Reuse. *Joint FAO/WHO Consultation for Launching the Regional Network on Wastewater Reuse. Amman, Jordan*.

Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalavrouziotis, I.K., Giakos, D., Vagenas, I.N., 2006. Potential and planning for the reuse of municipal wastewater for the irrigation of vinicultures in Attica, Greece, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 15, No 2, pp.129-135.

Sala, L., Mujeriego, R., Serra, M. (2002). Water policy criteria derived from planned water reuse. *Proc. Of the Water Sources 2002*, Las Vegas, Nevada, USA, 27-31 January, 2002.

Salgot, M., Folch, M., Huertas, E., Tapias, J., Deacon, M., Verges, C., Pigem, J., Torrens, A. (2002). Aguas residuales tratadas mediante sistemas avanzados de disinfección y su reutilization. *Int. Conf. on small Wastewater Tech. and Management for the Mediterranean Area. Seville, 20-22 March, 2002.*

Schnitzer, M., Khan, S.V., 1982. Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker, New York.

Schnitzer, M., 1986. The synthesis and chemical structure, reactions and functions of Humic substances. In: Humic Substances (Eds) Burns et al. REDA Edizioni per l'agricoltura, Milano Italy.

Shelef, G., Halperin, R., 2002. The development of wastewater effluent quality requirements for reuse in agricultural irrigation in Israel. *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 443-449.

Sprengel, C., 1826. Kastner's Arch. Naturlehre 8:145.

Stevenson J.F., 1994. *Humus Chemistry*, Ed.6th John Wiley & Son, Inc., New York.

Stevenson, J.F., 1982. Humic Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Son, New York.

Steward, H.T.L., Flinn, D.W., 1984. Establishment and early growth of trees irrigated with wastewater at four sites in Victoria, Australia. *For. Ecol. Manage.* Vol. 8, pp. 243-256.

Stone, E.L., 1990. *Forest Ecology Management* 37, pp. 49-75.

Tam, N.F.Y., Wong, S.Y., 1997. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. *Hydrobiologia* Vol. 352, pp. 67- 75.

Tan, K.H., Napamornbodi, Y., 1989. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of Corn (*Zea Mays* L.) *Plant Soil*, 51, pp. 283-287.

Theng, B.K., 1974. The chemistry of clay-organic reactions. John Wiley, New York.

Tiffin, L.O., Brown, J.C., 1959. Absorption of iron from iron chelate by sunflower roots. *Science* 130, pp. 274-275.

Trehan. S.P., Sekron, G.S., 1977. Effect of clay, organic matter and CaCO₃ content of Zinc adsorption by soils. *Plant Soil* 46, pp.329-336.

Τσακίρης, Γ., 1995. *Υδατικοί Πόροι: I. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία σελ. 675.



Tzanakakis, V.E., Paranychianakis, N.V., Kyritsis, S., Angelakis, A.N., 2002. Evaluation of wastewater treatment and biomass production by a slow rate system using different plant species. *IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region. Iraklio, Greece, 26-29 September*, pp. 353-360.

UK DOE. *UK Sewage Sludge Survey*. Final Report. CES, Beckenham, Kent (1993).

UN Population Division 1994. *World Population Prospects (Sustaining Water: An Update)*, New York.

Vallee, B.L., Auld, D.S., 1990. Zinc coordination, function and structure of zinc enzymes and other proteins. *Biochemistry* 29, pp. 5647-5659.

Vegter, 1997. Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning, and Environment, The Hague, Netherlands.

Vermes, L., 2002. "Poplar plantations for wastewater treatment and utilization in Hungary" *IWA regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26 - 29 September*, pp. 297-300.

Visser, S.A., 1986. Effects of humic substances on plant growth. In: Burns R.G. et al. (Eds) *Humic substances effects on soils and plants REDA Edizioni per Agricoltura*, Milan, Italy.

Waksman, S.A., 1936. *Humus* Williams and Wilkins, Baltimore USA.

Webber, M.D., Klokke, A., Tjell, J.C., 1984. In *Processing and Use of Sewage Sludge*, eds. L'Hermite, P., Ott, J.D., Reidel, Dorchester (1984).

West, E.S., 1938. Zinc-cured mottle leaf in citrus induced by excess phosphate. *J. Councl Sci Ind Res Aust* 11, pp. 182-184.

WHO, 2006. *Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture*. Geneva. World Health Organization.

Χατζησταθης, Α., Ντάφης, Σ., 1989. Αναδασώσεις Δασικά φυτώρια. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 1989, pp.1-265.

Ziqing, O., Tieheng, S., Peijun, L., Yediler, A., Guifen, Y., Kettrup, A., 1997. *Ecological Engineering Vol. 9*, pp. 71-88.