



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Ημερομηνία

9-10-13



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

"ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ"

ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2010



ΜΠΟΤΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :

ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 12221/1  
Ημερ. Εισ.: 12/12/2013  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2013  
ΜΠΟ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**"ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ"**

**ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2010**

**ΜΠΟΤΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :**

**ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΔΗΜΗΡΚΟΥ ΑΝΘΗ**

**ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ**

**Καθηγήτρια Π.Θ.**

**Καθηγήτρια Π.Θ.**

**Λέκτορας Π.Θ.**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων είναι μια νέα διέξοδος για την άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με περιβαλλοντικά και ίσως οικονομικά οφέλη.

Είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, γιατί: α) αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών, β) επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία και γ) τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν έναν επιπλέον υδάτινο πόρο σε περιοχές όπου υπάρχει πρόβλημα λειψυδρίας.

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας, ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου, στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας του ηλίανθου (*Helianthus annuus*). Να ανιχνευθούν οποιεσδήποτε αλλαγές στις εδαφολογικές ιδιότητες και συνεπώς να αξιολογηθεί η εξοικονόμηση νερού από τη χρήση υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης του καθαρού νερού.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο σε μια έκταση 200m<sup>2</sup>, το έτος 2010 κατά την διάρκεια του Ιουνίου έως και του Σεπτεμβρίου. Η παραπάνω έκταση χωρίστηκε σε δύο μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις. Η μία μεταχείριση αρδευόταν μόνο με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος, ενώ η άλλη μεταχείριση με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Κάθε άρδευση με τα απόβλητα ακολουθήθηκε από δύο εφαρμογές άρδευσης με καθαρό νερό, λόγω της υψηλής συγκεντρώσεως σε άλατα των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων.

Τα υγρά απόβλητα προέρχονταν από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου (Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β) και είχαν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία και χλωρίωση. Πραγματοποιούνταν παρακολούθηση της ποιότητας των λυμάτων με μέτρηση των φυσικοχημικών τους παραμέτρων. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε σύμφωνα με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή, με την βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A, με κάλυψη 100% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας και έγινε εφαρμογή αυτόματου προγράμματος άρδευσης. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν το ύψος των φυτών, την διάμετρο της κεφαλής των φυτών, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας και την χλωρή και ξηρή βιομάζα των κεφαλών του ηλίανθου. Επίσης, λαμβάνονταν μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα, κλπ.) από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.

Η σύγκριση των μετρήσεων των δύο μεταχειρίσεων έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά και ότι παράλληλα επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση νερού.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων που διεξάγει το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε συνεργασία με τον Δήμο Βόλου και την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Μείζονος Βόλου (Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β.).

Το θέμα της πτυχιακής μου διατριβής δόθηκε από την Καθηγήτρια και Πρόεδρο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κα. Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κα. Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη την πορεία της, καθώς επίσης και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή της στην επίλυση των θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν σε όλη την διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας αυτής. Επίσης την ευχαριστώ για την ηθική της υποστήριξη και την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Επίσης, την κα. Δημήρκου Ανθούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας και τον κ. Αντωνιάδη Βασίλη, Λέκτορα του Εργαστηρίου Εδαφολογίας, για τις υποδείξεις τους, που συνέβαλλαν ουσιαστικά στη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσαν και την εποικοδομητική κριτική που άσκησαν ως μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κ. Παπανικολάου Χρήστο, Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής και στον κ. Γιουβάνη Βασίλειο, υποψήφιο Διδάκτορα στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, των οποίων η συμβολή, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, στην πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας και την συγγραφή της πτυχιακής μου διατριβής ήταν καθοριστική.

Τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. Βόλου και το προσωπικό του Βιολογικού Καθαρισμού για την άψογη συνεργασία μας στη μεταφορά των υγρών αστικών αποβλήτων.

Το Χημικό Εργαστήριο της Εταιρείας Επεξεργασίας Ελαίων και Προϊόντων Ελαίων ΜΑΝΟΣ Α.Ε., στη Β' Βιομηχανική Περιοχή Βόλου για τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποίησαν.

Τον κ. Σουίπα Σπυρίδων, τον κ. Τόλια Δημήτριο καθώς και τους εργαζόμενους στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο για την άψογη συνεργασία μας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου η οποία με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που εμφανίστηκε ο άνθρωπος στη γη, η διασφάλιση πόσιμου νερού υπήρξε ο πιο σημαντικός παράγοντας επιβίωσης και ευημερίας του. Τα τελευταία χρόνια όμως, η ζήτηση για νερό αυξάνεται συνεχώς, αφού πέραν του ότι ο πληθυσμός στη γη έχει αυξηθεί σημαντικά, ο άνθρωπος πλέον έχει ανάγκη από πολύ μεγαλύτερη ποσότητα νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων της ατομικής και οικιακής του καθαριότητας, καθώς και των λειτουργιών των πόλεων που ζει (100-500 λίτρα/άτομο/ημέρα). Εξάλλου, οι οικονομικές δραστηριότητες (γεωργία, βιομηχανία, ενέργεια, κ.λπ.), καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού και όσο κι αν το διαθέσιμο νερό στον πλανήτη είναι φαινομενικά πάρα πολύ, το σημαντικότερο μέρος του είναι αλμυρό (θάλασσα 98,78%) και δεν προσφέρεται για τις περισσότερες χρήσεις. Στην περίπτωση του γλυκού νερού (1,22%) το μεγαλύτερο ποσοστό (0,95%) είναι παγιδευμένο στα πολικά καλύμματα των πάγων και επομένως, το διαθέσιμο νερό, είναι ένα ασήμαντο ποσοστό του συνολικού (ποτάμια 0,0014%) (Μαρκαντωνάτος Π.Γ., 1990). Στην πραγματικότητα, η χρήση του νερού για αρδευτικούς σκοπούς στην γεωργία ευθύνεται για την κατανάλωση περισσότερου από 80% των υδατικών πόρων σε πολλές περιοχές με ξηρό ή ξηροθερμικό κλίμα (Kirda and Kanber, 1999).

Η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων (μεγάλη κατανάλωση νερού από τον κλάδο της γεωργίας) και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν καταστήσει αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού. Στις αναπτυγμένες, βιομηχανικές χώρες αυξάνονται και εντείνονται τα προβλήματα, που σχετίζονται με τη διασφάλιση της υδατοτροφοδοσίας και της διάθεσης των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες και ιδιαίτερα σε αυτές με ξηρικά και ημιξηρικά χαρακτηριστικά, υπάρχει η ανάγκη διαθέσιμης τεχνολογίας προσιτού κόστους για αύξηση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού και παράλληλη προστασία των φυσικών πόρων και γενικά του περιβάλλοντος (Αγγελάκης Α., 2000).

Με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση λύνεται κατά κάποιο τρόπο και το πρόβλημα της διάθεσης και διαχείρισης αυτών και μάλιστα με τρόπο οικονομικό και περιβαλλοντικά ασφαλή. Η διάθεση των υγρών αποβλήτων είναι ένα από τα πιο πιεστικά προβλήματα των κοινωνιών μιας και οι μέχρι τώρα λύσεις της απόθεσης στην επιφάνεια της γης ή σε χωματερές, της αποτέφρωσης ή της απόρριψης στη θάλασσα είναι συχνά αντιοικονομικές ή επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον. Η διάθεση των υγρών αποβλήτων έπαιξε και εξακολουθεί να παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, υπόγεια νερά), με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων - αποδεκτών, την αχρήστευση (τουλάχιστον πρόσκαιρη) πηγών νερού για ύδρευση ή/και άρδευση, τη διάδοση ασθενειών και την δημιουργία δυσάρεστων καταστάσεων για τους ανθρώπους που διαβιούν κοντά ή συνδέονται κατά κάποιο τρόπο με τους υδάτινους αυτούς αποδέκτες.

Σήμερα, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί τουλάχιστον προκαταρκτική επεξεργασία θεωρείται ότι συμβάλλει στην:

- Ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων,
- Προστασία υπαρχόντων υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος,
- Μείωση του κόστους νερού,
- Ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος,
- Αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές (Αγγελάκης Α., 2000).

Σήμερα αποτελεί κοινή διαπίστωση, ότι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων, έχει τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Για το λόγο αυτό, βρίσκονται σε εξέλιξη πολυάριθμα έργα άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με τέτοιες εκροές σε διάφορες χώρες, όπως στις Νοτιοδυτικές περιοχές των Η.Π.Α., την Αυστραλία, την Κύπρο, το Ισραήλ, την Ισπανία, τη Σαουδική Αραβία και άλλες. Σημειώνεται, ότι στο Ισραήλ, το 25% του αρδευτικού νερού προέρχεται από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 35% το έτος 2010. Επίσης, είναι γνωστή η χρήση τέτοιων νερών για πυροπροστασία δασικών εκτάσεων που βρίσκονται σε περιοχές γειτονικές αστικών κέντρων.

Στην Ελλάδα, στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. στη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα τόσο από τις δεξαμενές σταθεροποίησης, όσο και από τη συμβατική Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Θεσσαλονίκης. Αρδεύτηκαν σε φυσικό έδαφος και σε σύστημα υδροπονίας, μη εδάδιμες καλλιέργειες, όπως ζέρμπερες, αλλά και ευαίσθητες εδάδιμες καλλιέργειες, όπως πιπεριές και τομάτες. Επίσης, έγινε επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε καλλιέργειες ζαχαρότευτλων, βαμβακιού και ρυζιού, με ή χωρίς λίπανση, οι οποίες έδωσαν εντυπωσιακά αποτελέσματα όσον αφορά την βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας παραγομένων προϊόντων, καθώς και την εξοικονόμηση νερού και χημικών λιπασμάτων (Παπαδόπουλος Α. & Παρισσόπουλος Γ., 2001).

Η διαθεσιμότητα του νερού έχει φθάσει στα όριά της και πρέπει να αναζητηθούν και να εφαρμοσθούν εναλλακτικές μέθοδοι άρδευσης τόσο για τον περιορισμό των απωλειών του νερού κατά τη διανομή και χορήγησή του στα φυτά όσο και για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Ένα τέτοιο σύστημα άρδευσης, μερικώς ή πλήρως αυτοματοποιημένο, είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Η υπόγεια στάγδην άρδευση συγκαταλέγεται ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους άρδευσης που χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού και ελαχιστοποίησης του κόστους εφαρμογής του. Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι επίσης, μία μέθοδος άρδευσης η οποία διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την προστασία της δημόσιας υγείας και ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, όταν η άρδευση γίνεται με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.

Όσον αφορά το θέμα των καλλιεργειών, η αλλαγή στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της παγκόσμιας κοινότητας πάνω σε θέματα περιβάλλοντος έκανε επιτακτική την ανάγκη διερεύνησης μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον αλλά και υλικών που σκοπό έχουν τη μεγιστοποίηση των εισροών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα, με την ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών ενεργειακών καυσίμων καθώς και των ρυπογόνων αποτελεσμάτων από τη χρήση τους. Ειδικότερα την τελευταία δεκαετία μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών όπως η ελαιοκράμβη, το σόργο, ο ηλίανθος κ.ά. με στόχο την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας πρωτοπορεί στο θέμα αυτό και ανταποκρινόμενο στις απαιτήσεις των τελευταίων χρόνων πάνω σε θέματα περιβάλλοντος και παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διεξάγει έρευνα για την μελέτη της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου, στην ανάπτυξη και απόδοση του ενεργειακού φυτού ηλίανθου. Ταυτόχρονα, δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης της εξοικονόμησης νερού από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης καθαρού νερού.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΗΛΙΑΝΘΟΣ (*Helianthus Annuus*)

1.1 Ιστορική εξέλιξη - Γενικά	1
1.2 Βοτανικά γνωρίσματα	2
1.3 Ανάπτυξη	5
1.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις	8
1.4.1 Θερμοκρασία	8
1.4.2 Φως	8
1.4.3 Υγρασία	8
1.5 Διαχείριση της καλλιέργειας	9
1.5.1 Έδαφος	9
1.5.2 Προετοιμασία πριν τη σπορά	9
1.5.3 Σπορά	10
1.5.4 Αραίωμα	11
1.5.5 Αμειψισπορά	11
1.5.6 Άρδευση	12
1.5.7 Λίπανση	12
1.5.8 Ζιζανιοκτονία	13
1.5.9 Συγκομιδή	14
1.6 Αποδόσεις σε σπόρο	14
1.7 Εχθροί και ασθένειες	14
1.8 Προϊόντα ηλίανθου	17

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ

2.1 Γενικά	19
2.2 Χαρακτηριστικά των λυμάτων	19
2.3 Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων	21
2.3.1 Προκαταρκτική επεξεργασία (Preliminary treatment)	21
2.3.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Primary treatment)	22
2.3.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία (Secondary treatment)	23
2.3.4 Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (Advanced treatment)	26
2.3.5 Απολύμανση	26
2.3.6 Αποθήκευση	28
2.4 Καθορισμός της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων	28
2.5 Κριτήρια ποιότητας νερού για τη χρήση των λυμάτων στη γεωργία	31
2.5.1 Απαιτήσεις ποιότητας σε σχέση με τη δημόσια υγεία	31
2.5.2 Απαιτήσεις ποιότητας για τη γεωργία	32
2.5.2.1 Αλατότητα	32
2.5.2.2 Διηθητικότητα	33
2.5.2.3 Τοξικότητα ιόντων	33
2.5.2.4 Ιχνοστοιχεία	34
2.5.2.5 Θρεπτικά στοιχεία	34

2.5.3 Επιλογή μεθόδου άρδευσης	35
2.6 Μικροβιολογικά κριτήρια των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευτικούς σκοπούς	35
2.7 Διεθνή κριτήρια ποιότητας/νόμοι και κατευθυντήριες γραμμές	37
2.8 Επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων στις Μεσογειακές χώρες	37
2.9 Κοινωνική αποδοχή της χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων	43

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

3.1 Γενικά	45
3.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης	45
3.2.1 Άρδευση με κατάκλιση ή λωρίδες	46
3.2.2 Άρδευση με αυλάκια	46
3.2.3 Άρδευση με καταιονισμό	46
3.2.4 Μέθοδοι τοπικής άρδευσης (στάγδην άρδευση)	47
3.3 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α.)	48
3.3.1 Γενικά	48
3.3.2 Περιγραφή του συστήματος	51
3.3.3 Αποδοτικότητα του συστήματος	52
3.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	53
3.3.5 Μειονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης	55
3.4 Η πρακτική της άρδευσης	56

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

4.1 Γενικά	58
4.2 Εδαφολογικά δεδομένα	58
4.3 Χάραξη πειραματικού αγρού	61
4.4 Εγκατάσταση της καλλιέργειας	63
4.5 Υλικά άρδευσης	70
4.6 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος	76
4.6.1 Εξαμσόμετρο τύπου Α	76
4.6.2 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας	77
4.7 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης	78
4.8 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	86
4.9 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ηλίανθου	89
4.9.1 Μετρήσεις ύψους φυτών	89
4.9.2 Μετρήσεις διαμέτρου κεφαλής	89
4.9.3 Μετρήσεις δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI)	90
4.9.4 Μετρήσεις χλωρής - ξηρής βιομάζας κεφαλών των φυτών	90
4.9.5 Μετρήσεις ποσότητας σπόρου κεφαλών των φυτών	91
4.10 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	91

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	
5.1 Κλιματικά δεδομένα	92
5.1.1 Θερμοκρασία - Βροχόπτωση	92
5.1.2 Εξατμισοδιαπνοή	95
5.2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού	96
5.3 Εξοικονόμηση νερού	99
5.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού παραγωγικών χαρακτηριστικών του ηλίανθου	100
5.4.1 Ύψος φυτών	100
5.4.2 Διάμετρος κεφαλής	101
5.4.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	102
5.4.4 Χλωρή - Ξηρή βιομάζα κεφαλών	103
5.4.5 Στοιχεία τελικής παραγωγής	104
5.4.5.1 Παραγωγή σε σπόρο	104
5.4.5.2 Παραγωγή σε ηλιέλαιο	105
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	107
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	109

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΗΛΙΑΝΘΟΣ (*Helianthus annuus*)

#### 1.1 Ιστορική εξέλιξη - Γενικά

Ο ηλίανθος πρωτοχρησιμοποιήθηκε ως τροφή από τους Ινδιάνους στην Αμερική. Αργότερα διαδόθηκε ως ζιζάνιο στα χωράφια των κεντρικών πολιτειών των ΗΠΑ και κατόπιν εξημερώθηκε (προήλθε από το ζιζάνιο *Helianthus petiolaris*). Ο καλλιεργούμενος ηλίανθος είναι γνωστός και ως ήλιος ή ηλιοτρόπιο. Στην Ευρώπη ο ηλίανθος μεταφέρθηκε από τους Ισπανούς το 1550, ενώ από το 1780 άρχισε να καλλιεργείται στη Ρωσία, όπου και επεκτάθηκε σημαντικά. Από το 1969 άρχισε και η δημιουργία των πρώτων υβριδίων ηλίανθου αυξάνοντας την απόδοση, τη σταθερότητα στην παραγωγή, την ομοιομορφία του αγρού και την αντοχή στις ασθένειες. Σήμερα ο ηλίανθος καλλιεργείται σε μεγάλη έκταση στις χώρες της ανατολικής Ευρώπης, την Ισπανία, την Αργεντινή κλπ. (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

Σύμφωνα με τον FAO, η συνολική παγκόσμια παραγωγή έφθασε στα 24,2 εκατ. τόνους το 2002, καλλιεργούμενη σε 195 εκατ. στρέμματα. Από αυτό, περισσότερα από 100 εκατ. στρέμματα καλλιεργήθηκαν στην Ευρώπη και 1,7 εκατ. στην Ιταλία (0,17 εκατ. στρέμματα στην Ελλάδα) (<http://faostat.fao.org/>, 2004).

Στην Ελλάδα η καλλιέργεια του ηλίανθου συγκεντρώνεται κυρίως στο βορειοανατολικό μέρος της χώρας και ειδικότερα στις περιοχές της Θράκης (Ν. Έβρου), ενώ πιο αραιά στην κεντρική και ανατολική Μακεδονία.

Ο ηλίανθος καλλιεργείται κυρίως για το σπόρο, που είναι παγκοσμίως η δεύτερη πηγή βρώσιμου ελαίου. Το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται στη μαγειρική, καθώς επίσης και σαν παράγωγο πολλών τροφικών προϊόντων όπως είναι η μαργαρίνη. Κάποιες ιδιότητες που παρουσιάζει, όπως είναι η μεγάλη του σταθερότητα και η αντοχή του στις οξειδώσεις και την υποβάθμιση, το καθιστούν πολύ ελκυστικό σε μεγάλες παγκόσμιες αλυσίδες τηγανιτών τροφίμων.

Μετά από επεξεργασία το ηλιέλαιο σε συνδυασμό με λιναρόσπορο και άλλα ξηρά έλαια χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την παραγωγή βαφών και βερνικιών, ενώ επίσης απαντάται στη σαπωνοποιεία και τη βιομηχανία λιπαντικών. Ακόμη η αποφλοιωμένη ηλιόπιτα που παράγεται από την επεξεργασία των σπόρων, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (μέχρι 50%) και χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Τα στελέχη των φυτών χρησιμοποιούνται και αυτά ως ζωοτροφές, φρέσκες ή ξηρές, όπως επίσης και ο φλοιός.

Εκτός των παραπάνω χρήσεων ο σπόρος του ηλίανθου αποτελεί εδώδιμο προϊόν με υψηλή διατροφική αξία για τον άνθρωπο, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η δημιουργία νέων ποικιλιών για καθαρά διακοσμητικούς σκοπούς, επεκτείνοντας τη χρήση του και στην κηποτεχνία. Τέλος μία από τις σημαντικότερες χρήσεις των σπόρων του, βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία καυσίμων με την παραγωγή



βιοντίζελ, στο πλαίσιο της αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας από ανανεώσιμες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ-27) είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοντίζελ (1.504.000 τόνοι το 2003) σε παγκόσμιο επίπεδο, ([http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro161.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro161.pdf)).

Στην Ισπανία καλλιεργούνται πάνω από 6 εκατομμύρια στρέμματα και η παραγωγή ανέρχεται στα 743.000 κιλά. Στην Τουρκία με πάνω από 5 εκατομμύρια στρέμματα παράγουν πάνω από ένα εκατομμύριο τόνους έχοντας και υψηλό μέσο όρο παραγωγής που ξεπερνά τα 200 κιλά το στρέμμα. Οι επίσημοι οργανισμοί δείχνουν ότι στην Ελλάδα καλλιεργούμε μια έκταση 150.000 στρεμμάτων και παράγουμε 19.000 τόνους δηλαδή μια μέση παραγωγή 127 κιλά το στρέμμα (<http://faostat.fao.org/>, 2007).

## 1.2 Βοτανικά γνωρίσματα

Είναι δικοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην οικογένεια Asteraceae της τάξης Compositae και στο είδος *Helianthus annuus*. Το φυτό είναι ετήσιο, χωρίς κλαδιά, ευθύγραμμο και αναπτύσσεται εύκολα. Ο βασικός αριθμός χρωμοσωμάτων είναι  $x = 17$ ,  $2x = 2n = 34$  χρωμοσώματα στα σωματικά κύτταρα και πολλαπλασιάζεται με σπέρματα. Τα φύλλα είναι αντικριστά, ωσειδή, με στρώματα που έχουν 3 κύρια νεύρα μήκους 10-30 εκ και πλάτους 5-20 εκ, ενώ τα χαμηλότερα φύλλα είναι αντικριστά και καρδιόσχημα. Περιφερειακά είναι οδοντωτά ή πριονωτά και φέρουν πολλές νευρώσεις (Εικόνα 1.2.1). Η έκφυση των πρώτων πέντε ζευγαριών γίνεται αντίθετα, ενώ στα επόμενα κυλινδρικά και ο αριθμός τους κυμαίνεται από 20–30 φύλλα/φυτό.



Εικόνα 1.2.1. Φύλλα ηλιάνθου στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

Ο ηλιάνθος δεν έχει ένα μόνο άνθος αλλά υπάρχουν πολλά μικρά άνθη συγκεντρωμένα μαζί σε ένα, που είναι γνωστό ως κεφαλή. Η κεφαλή του κεντρικού άνθους έχει διάμετρο 10-40cm, ενώ τα άνθη στα πλαϊνά κλαδιά είναι μικρότερα. Οι

καλλιεργούμενες μορφές διακρίνονται από τις μεγάλες ταξιανθίες, σε ποικιλίες από γιγαντιαίους τύπους των 2m και ψηλότερα με ταξιανθίες μήκους 50cm, μέχρι τύπους νάνου που φθάνουν το 1m. Τα τυπικά ελαιοπαραγωγικά φυτά φθάνουν περίπου το 1,5m σε ύψος, με κεφαλή 25cm, και έχουν αχάινια μαύρα, λευκά ή ριγωτά.

Η ταξιανθία του ηλίανθου περιέχει από 700 έως 4.000 άνθη, σε συνάρτηση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία), τις καλλιεργητικές φροντίδες (νερό, λίπασμα) και την καλλιεργούμενη ποικιλία (Εικόνα 1.2.2). Τα άνθη της διατάσσονται σε ομόκεντρα τόξα και η άνθηση αρχίζει από τα περιφερειακά άνθη και συνεχίζεται προς το κέντρο της ταξιανθίας. Καθημερινά ανοίγουν από 1 έως 4 σειρές και η περίοδος αυτή διαρκεί από 7 έως 17 ημέρες αναλόγως των θερμοκρασιών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την περίοδο της ανθοφορίας, ενώ οι πολύ υψηλές την επιταχύνουν.

Εξωτερικά της κεφαλής υπάρχει μια σειρά ελαφρώς πράσινων μικροσκοπικών φύλλων. Δίπλα σ' αυτά βρίσκονται τα ακτινωτά άνθη (βράκτια), τα οποία είναι συνήθως κίτρινα, άγονα και έχουν σκοπό την προσέλκυση των εντόμων. Τα άνθη στο κέντρο της κεφαλής λέγονται δίσκοι, είναι μικρότερα και αρκετά διαφορετικά σε σχήμα και χρώμα.

Οι δίσκοι αποτελούνται από μία αυλακωτή στεφάνη με πέντε λοβούς, που αντιπροσωπεύει πέντε θρυαλλίδες πετάλων. Κάτω από τη στεφάνη υπάρχει η χαμηλότερη ωοθήκη. Από την άλλη πλευρά, πάνω από την ωοθήκη υπάρχουν δύο μικρά χνούδια. Σε πολλά άλλα φυτά αυτά χρησιμεύουν για τη σωστή κατανομή του καρπού. Στον ηλίανθο το χνούδι δεν έχει προφανή λειτουργία ή αυτή μειώνεται όσο ωριμάζει ο καρπός. Τα δισκοειδή άνθη είναι τέλεια, τοποθετημένα ελικοειδώς στην κεφαλή, είναι σταυρεπικονιαζόμενα και προσαρμόζονται καλά στην γονιμοποίηση που γίνεται με τη βοήθεια των εντόμων.



**Εικόνα 1.2.2.** Ταξιανθία του ηλίανθου.

Ο σπόρος του ηλίανθου είναι αχάινιο, διαφόρων σχημάτων (επίμηκες, ωοειδές, ρομβοειδές, στρογγυλό) και η διατομή του είναι στενόμακρη ή στρογγυλή.

Αποτελείται από δύο τμήματα: α) την ψίχα, που αντιστοιχεί στο έμβρυο και τις δύο κοτυληδόνες και β) τον φλοιό, που αντιστοιχεί στο περικάρπιο, το οποίο είναι σκληρό για να προφυλάσσει τον σπόρο (Εικόνα 1.2.3).



Εικόνα 1.2.3. Σπόροι ηλίανθου.

Το μήκος του σπόρου φθάνει τα 25mm και το πλάτος τα 15mm. Το βάρος 1000 σπόρων κυμαίνεται από 40 έως 100g. Οι σπόροι των ποικιλιών για λάδι είναι συνήθως πιο μικροί, πιο στρογγυλοί και συμπαγείς, έχουν χρώμα μαύρο έως γκριζο και φέρουν συχνά ραβδώσεις σκούρες καστανές έως λευκές, οι οποίες όμως θεωρούνται ανεπιθύμητες. Οι σπόροι των ποικιλιών για πασατέμπο είναι πιο μεγάλοι και επιμήκεις, πιο ανοιχτόχρωμοι, με περισσότερες ραβδώσεις και με μεγαλύτερη αναλογία περιβλημάτων. Γενικώς οι σπόροι που βρίσκονται στην περιφέρεια της ταξικαρπίας είναι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι από τους κεντρικούς (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

Ο βλαστός είναι ποώδης και μπορεί να φτάσει σε μήκος μέχρι και τα 3,5m (σε βρώσιμες ποικιλίες, ενώ σε ελαιούχες κυμαίνεται από 0,8- 2,5m) και όπως και τα φύλλα του ηλίανθου, καλύπτεται από σκληρά τριχίδια, τα οποία προστατεύουν το φυτό από τα φυτοφάγα ζώα. Ο ηλίανθος έχει ένα μόνο στέλεχος, το οποίο διακλαδίζεται σπάνια (Βαρδαβάκης, 1994).

Το ριζικό σύστημα του ηλίανθου προχωράει βαθιά στο χώμα και διακλαδίζεται σε πολλές πλάγιες δευτερογενείς ρίζες, οι οποίες είναι πυκνές και λεπτές και αναπτύσσονται σε βάθος περίπου 30cm. Οι πρωτογενείς ρίζες του φυτού μπορούν να φτάσουν μέχρι και 2m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως είναι σε θέση να αντλούν το άζωτο και την υγρασία από τα χαμηλότερα στρώματα του εδάφους, έτσι ώστε να αναπτύσσονται και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται πολύ ξηρές για άλλες καλλιέργειες και έχουν περιορισμένες βροχοπτώσεις.

Ο ηλίανθος πριν την άνθηση παρουσιάζει το φαινόμενο του φωτοτροπισμού, το οποίο παύει να λαμβάνει χώρα από την έναρξή της. Το ξημέρωμα οι δίσκοι των ηλίανθων είναι στραμμένοι προς την ανατολή σε θέση 50° έως 70° από τον βορρά και καθώς η μέρα προχωρά ακολουθούν την πορεία του ήλιου προς την δύση

στρέφοντας τις κεφαλές, ενώ το βράδυ όταν ο ήλιος δύσει, οι κεφαλές τους στρέφονται προς την ανατολή. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε συγκέντρωση ορμόνης στο βλαστικό τμήμα του φυτού, η οποία προκαλεί την επιμήκυνση των φυτικών κυττάρων. Όταν το φυτό ωριμάσει, τα φυτικά κύτταρα του βλαστού γερνάνε και η ανθοταξία γίνεται πιο βαριά, οπότε ο βλαστός δεν μπορεί να σηκώσει το βάρος για να τη στρέψει προς το φως. Κάμπτεται λοιπόν προς τη μία πλευρά, βορειανατολικά στο Βόρειο ημισφαίριο και νοτιοανατολικά στο Νότιο, μην μπορώντας να ακολουθήσει την πορεία του ήλιου. Δεν παρατηρείται ηλιοτροπισμός, όταν επικρατεί συννεφιά ή όταν το φυτό αναπτύσσεται σε τεχνητές συνθήκες φωτισμού, ή όταν αφαιρεθούν τα φύλλα, στοιχεία που δείχνουν ότι η αντίδραση του φυτού εξαρτάται από την κίνηση του ήλιου. Με τον φωτοτροπισμό υπολογίζεται ότι αυξάνει η φωτοσύνθεση κατά 10-23% αναλόγως της κατανομής των φύλλων.

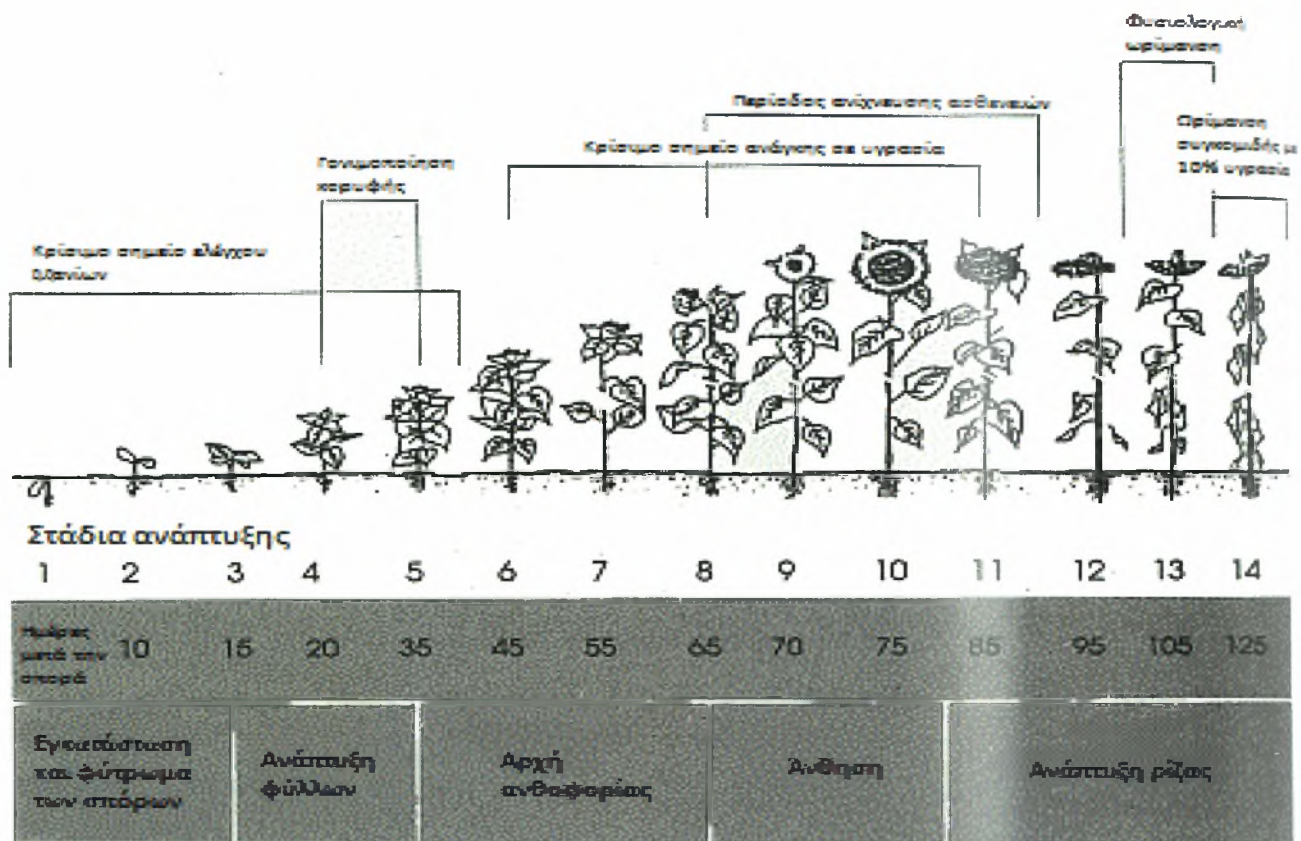
### 1.3 Ανάπτυξη

Ο συνολικός χρόνος για την ανάπτυξη του φυτού του ηλίανθου και ο χρόνος μεταξύ των διάφορων φάσεων ανάπτυξης, εξαρτάται από το γενετικό υπόβαθρο του φυτού και τις συνθήκες κατά την καλλιεργητική περίοδο. Για να προσδιοριστεί το στάδιο ανάπτυξης σε μια φυτεία ηλίανθου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος ανάπτυξης μεγάλου αριθμού φυτών. Αυτή η μέθοδος διαβάθμισης χρησιμοποιείται και για μεμονωμένα φυτά αλλά και για την ταξινόμηση μίας μόνης κεφαλής σε διακλαδωμένο φυτό ηλίανθου.

Ο ηλίανθος έχει σχετικά μικρή περίοδο ανάπτυξης. Γενικά απαιτούνται 100-150 ημέρες από την εμφύτευση μέχρι την ωρίμανση, σε συνάρτηση με το υβρίδιο, την καλλιέργεια και τη χρήση (σποροπαραγωγή, αποθήκευση για ζωοτροφή). Τα φυτά είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, εκτός της περιόδου ανθοφορίας. Κατά μέσο όρο απαιτούνται 6-10 ημέρες από τη σπορά έως το φύτρωμα, 30-40 ημέρες από το φύτρωμα έως την εμφάνιση της ταξιανθίας, 20-30 ημέρες από την εμφάνιση ταξιανθίας έως την έναρξη της ανθοφορίας, 7-12 ημέρες από την έναρξη έως την λήξη της ανθοφορίας και τέλος άλλες 30 ημέρες από τη λήξη της ανθοφορίας έως τη φυσιολογική ωρίμανση (Σχήμα 1.3.1).

Κατά τη φυσιολογική ωρίμανση το πίσω μέρος των ταξιανθιών αποκτά χρώμα καστανό-κίτρινο, με υγρασία περίπου 60-70%, ενώ οι σπόροι έχουν υγρασία 30-40%. Σε αυτό το στάδιο οι σπόροι έχουν τη μέγιστη τιμή σε ξηρό βάρος και τη μέγιστη περιεκτικότητα σε λάδι και αναλογία λινολεϊκού οξέος.





**Σχήμα 1.3.1.** Σχηματική αναπαράσταση σταδίων ανάπτυξης ηλιανθου (<http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>).

**Πίνακας 1.3.1.** Φαινολογικά στάδια του ηλιανθου (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

Στάδιο	Περιγραφή
00–09	Βλάστηση σπόρου (ξεκινά από τη σπορά και ολοκληρώνεται στο στάδιο της κοτυληδόνας)
10–19	Δημιουργία φύλλων (ολοκληρώνεται με την έκφυση 9 ή περισσότερων φύλλων στο στελέχος)
30–39	Επιμήκυνση στελέχους (ολοκληρώνεται με τη δημιουργία τουλάχιστον 9 μεσογονάτιων διαστημάτων)
50–59	Δημιουργία ταξιανθίας (ολοκληρώνεται με την εμφάνιση κίτρινων ανθέων στην κλειστή ταξιανθία)
60–69	Ανθοφορία (ολοκληρώνεται με την πτώση των περιφερειακών κίτρινων ανθέων της ταξιανθίας)
70–79	Γέμισμα σπόρου (ολοκληρώνεται όταν το 75% των σπόρων έχουν φθάσει στο τελικό τους μέγεθος)
80–89	Ωρίμανση σπόρου (ολοκληρώνεται όταν το πίσω μέρος της ταξιανθίας έχει καστανό χρώμα. Υγρασία σπόρων 20%)
90–99	Συγκομιδή προϊόντος



**Εικόνα 1.3.1.** Φαινολογικά στάδια του ηλίανθου (βλ. Πίνακα 1.3.1 για λεπτομέρειες) (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).



## 1.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις

### 1.4.1 Θερμοκρασία

Οι σπόροι αρχίζουν την βλάστηση τους στους 4°C, η οποία γίνεται με ικανοποιητική ταχύτητα στους 8-10°C και με μέγιστη στους 15°C, στοιχεία που επιτρέπουν την πρόωμη σπορά. Τα νεαρά φυτά αντέχουν πολύ στο κρύο, έως -2°C στο στάδιο των κοτυληδόνων και έως -8°C στο στάδιο του ενός ζεύγους μόνιμων φύλλων. Μετά όμως το στάδιο των 6-7 φύλλων, θερμοκρασίες κάτω του μηδενός προκαλούν σημαντικές ζημιές, ενώ κατά το στάδιο της ωρίμανσης θερμοκρασία κάτω των 2°C καταστρέφει ολόκληρο το φυτό. Άριστες θερμοκρασίες για την παραγωγή του σπόρου θεωρείται το επίπεδο των 24-26°C την ημέρα και 18-20°C την νύκτα, ενώ άριστη θερμοκρασία για τη φωτοσύνθεση θεωρείται το επίπεδο των 28°C. Η φωτοσύνθεση μπορεί να συνεχιστεί και μέχρι τους 45°C.

Υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη και μειώνουν του ελαίου. Οι απαιτούμενες θερμομονάδες με βάση τους 0°C είναι περίπου 2350 για τις πρώιμες ποικιλίες και 2425 για τις μεσοόψιμες. Η διευρυμένη βλαστική περίοδος του ηλίανθου, δηλαδή περίοδος με θερμοκρασίες πάνω από 0°C, επιτρέπει, όπως προαναφέρθηκε, δυο συγκομιδές το έτος σε ορισμένες περιοχές.

### 1.4.2 Φως

Ο ηλίανθος είναι συνήθως φυτό ουδέτερο στον φωτοπεριοδισμό και απαιτητικό σε φως. Μειωμένος φωτισμός κατά 40% σε σχέση με τον κανονικό, σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, μπορεί να μειώσει την απόδοση μέχρι και 64%. Επίσης μειωμένος φωτισμός κατά 20% βρέθηκε ότι δεν μειώνει τη συνολική βιομάζα, αλλά μειώνει τον δείκτη συγκομιδής και επομένως την οικονομική απόδοση. Σε εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας >550 W/m<sup>2</sup> ο ηλίανθος δεσμεύει από την ατμόσφαιρα περί τα 5,5kg διοξειδίου του άνθρακα ανά στρέμμα φύλλου ανά ώρα, ρυθμός πολύ υψηλός για ένα C3 φυτό. Οι άριστες θερμοκρασίες για τη φωτοσύνθεση είναι περί τους 30°C.

### 1.4.3 Υγρασία

Στο στάδιο του φυτρώματος είναι απαραίτητη η υγρασία του εδάφους για ομοιόμορφο και άριστο φύτευμα. Το κρίσιμο στάδιο αναγκών της καλλιέργειας σε νερό είναι η περίοδος της ανθοφορίας (<http://www.nk.com/gr>).

Ο ηλίανθος έχει υψηλό συντελεστή διαπνοής, περίπου 550, ίσως γιατί διαθέτει πολλά και μεγάλα στομάτια. Εντούτοις θεωρείται ανθεκτικός στην ξηρασία κυρίως χάρη στο βαθύ και εκτεταμένο ριζικό του σύστημα. Έχει επίσης την ικανότητα να ανέχεται ή και να φωτοσυνθέτει και με συνθήκες μεγάλης ξηρασίας, γι' αυτό και η επίδραση της ξηρασίας στην απόδοση είναι ελάχιστη, εφόσον η διάρκεια της

ξηρασίας δεν είναι μεγάλη. Η κριτική περίοδος είναι 20 ημέρες πριν και μετά την άνθηση, οπότε σοβαρή έλλειψη υγρασίας μειώνει την απόδοση (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

## **1.5 Διαχείριση της καλλιέργειας**

### **1.5.1 Έδαφος**

Ο ηλίανθος μπορεί να ευδοκιμήσει σε όλων των ειδών τα εδάφη. Τα βαθιά και καλά στραγγιζόμενα εδάφη δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Σε φτωχά ξηρικά χωράφια, το νερό στη διάρκεια της άνοιξης είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας. Σε γόνιμα χωράφια πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική ποσότητα αζώτου γιατί υπάρχει κίνδυνος πλαγιάσματος των φυτών (<http://www.nk.com/gr>).

Οι απαιτήσεις ως προς το έδαφος δεν είναι μεγάλες, αναπτύσσεται όμως καλύτερα σε εδάφη μάλλον ελαφρά (σ' αυτά δεν παρεμποδίζεται η διείσδυση της ρίζας), οργανικά και με καλή αποστράγγιση, ενώ δεν ανέχεται αλατούχα εδάφη, όπου και παρουσιάζει μειωμένη περιεκτικότητα σε λάδι. Είναι απαιτητικό φυτό σε θρεπτικά στοιχεία, ιδιαίτερα σε άζωτο και φώσφορο, υπερβολική όμως ποσότητα N ελαττώνει την περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι. Ανέχεται pH εδάφους από 5,7 έως 8, αλλά το άριστο βρίσκεται μεταξύ 6 και 7,2 (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

### **1.5.2 Προετοιμασία πριν τη σπορά**

Η προετοιμασία του αγρού είναι παρόμοια με του καλαμποκιού και του βαμβακιού. Επειδή το φυτό είναι βαθύρριζο πρέπει να καταστρέφεται το αδιαπέραστο υπεδάφιο στρώμα που τυχόν υπάρχει. Το επιφανειακό στρώμα της σποροκλίνης πρέπει να είναι ελαφρά ψιλοχωματισμένο, αλλά να αποφεύγεται η «κρούστα» που συχνά παρατηρείται λόγω και της πρώιμης σποράς.

Κατά κανόνα η προετοιμασία του αγρού αρχίζει το φθινόπωρο με ένα όργωμα (25–35 εκατοστά) για να παραχωθούν τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και να αυξηθεί ο αερισμός και η συγκράτηση της υγρασίας. Η αναστροφή του εδάφους με το όργωμα αυξάνει τη διαθεσιμότητά του σε άζωτο και κάλιο. Σε περιπτώσεις που τα εδάφη είναι ελαφρά (αμμώδη) και επικλινή, όποτε υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης, το όργωμα μπορεί να γίνει νωρίς την άνοιξη. Λίγες ημέρες πριν την σπορά πραγματοποιείται η προετοιμασία του αγρού με 1-2 περάσματα με καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα. Μετά εφαρμόζονται τα λιπάσματα και τα προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα, τα οποία θα ενσωματωθούν με τα προαναφερθέντα μηχανήματα και το χωράφι είναι έτοιμο για σπορά. Η σπορά πραγματοποιείται με τη χρήση πνευματικών μηχανών, κάνοντας χρήση ειδικού γραναζιού (26 θύρες για ηλίανθο), ενώ εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί γρανάζι με 36 θύρες (καλλιέργεια τεύτλου) (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).



### 1.5.3 Σπορά

Η εποχή σποράς είναι ιδιαίτερα σημαντική απόφαση, γιατί από αυτήν εξαρτάται το κανονικό φύτεμα του σπόρου. Η σπορά γίνεται νωρίς την άνοιξη και όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 8°C. Με την πρώιμη σπορά αυξάνονται οι στρεμματικές αποδόσεις και η ελαιοπεριεκτικότητα του σπόρου. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στο φυτό να αξιοποιήσει τις βροχές Μαΐου-Ιουνίου μια που το κρίσιμο στάδιο για την παραγωγή του ηλίανθου είναι η λήξη της ανθοφορίας. Η κατάλληλη εποχή σποράς είναι το διάστημα μεταξύ 20 Μαρτίου και 20 Απριλίου (<http://www.nk.com/gr>).

Ο ηλίανθος πρέπει να σπέρνεται όσο γίνεται πιο πρώιμα, ιδιαίτερα ο ξηρικός, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι ξηροθερμικές συνθήκες και να ικανοποιούνται οι ανάγκες σε νερό. Για τη Βόρεια Ελλάδα η κατάλληλη εποχή σποράς είναι από μέσα Μαρτίου έως μέσα Απριλίου. Η εποχή σποράς συνδέεται επίσης και με την ποιότητα του ελαίου, γιατί προσδιορίζει την περίοδο ανθήσεως. Αν μετά την άνθηση επικρατήσουν υψηλές θερμοκρασίες, τότε η περιεκτικότητα σε λινοελαϊκό οξύ μειώνεται και αντιστρόφως.

Σπέρνεται με μηχανές ακριβείας αραβοσίτου ή ζαχαρότευτλων, ύστερα από ειδική ρύθμιση ή με άλλους δίσκους. Το βάθος σποράς είναι 3-10cm, αναλόγως την υγρασία του εδάφους και του μεγέθους του σπόρου. Οι συνήθεις αποστάσεις μεταξύ γραμμών σποράς είναι 60-75cm (αναλόγως της ευρωστίας του φυτού). Σε μερικές περιπτώσεις σπέρνεται και σε διπλές γραμμές σποράς που απέχουν μεταξύ τους περί τα 25cm και από το επόμενο ζεύγος περί τα 80-120cm. Οι αποστάσεις των φυτών επάνω στη γραμμή είναι 15-20cm. Η ποσότητα του σπόρου κυμαίνεται από 0,5-1,5 kg/στρ.

Ο άριστος πληθυσμός φυτών κυμαίνεται από 5000-6000 φυτά/στρ. Με ευνοϊκές συνθήκες, κυρίως από άποψη υγρασίας, ο άριστος πληθυσμός τείνει ή και υπερβαίνει τα ανώτερο μέγεθος. Σε πολύ πυκνούς όμως πληθυσμούς οψιμίζει η καλλιέργεια και τα στελέχη γίνονται πιο υψηλά και αδύνατα, με αποτέλεσμα να πλαγιαίζουν με τον αέρα.

Σε αραιές φυτείες (3 - 4 φυτά/m<sup>2</sup>), ο ηλίανθος εξισορροπεί το μικρό αριθμό των ταξιανθιών με αύξηση του αριθμού και του βάρους των σπόρων, ενώ συμβαίνει το αντίθετο σε πυκνές φυτείες (6 - 7 φυτά/m<sup>2</sup>). Έτσι, η απόδοση παραμένει σταθερή για ένα εύρος πυκνοτήτων. Σύμφωνα με πρόσφατα πειραματικά δεδομένα υπό ελληνικές συνθήκες, σε γόνιμα, επαρκώς αρδευόμενα χωράφια, η πυκνότητα θα πρέπει να είναι 6.6 - 7.4 φυτά/m<sup>2</sup>, για μεγιστοποίηση των αποδόσεων, ενώ σε μετρίως γόνιμα εδάφη με λιγότερη άρδευση προτιμούνται πληθυσμοί 3 - 5 φυτά/m<sup>2</sup> (καλύτερη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών). Στους αραιούς πληθυσμούς ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην καταπολέμηση ζιζανίων. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγονται πληθυσμοί φυτών μεγαλύτεροι των 8 φυτών/m<sup>2</sup>, διότι τότε παρατηρείται εκτεταμένη βλαστική ανάπτυξη (τα επιπλέον φυτά λειτουργούν ως ανταγωνιστές - ζιζάνια) (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

Ο ηλίανθος, ως καθορισμένης ανάπτυξης φυτό, δεν ανέχεται μεγάλη απώλεια πληθυσμού φυτών. Εντούτοις, μείωση του αριθμού των φυτών σε ποσοστό 10-15% δεν έχει σοβαρή επίπτωση στην απόδοση, γιατί η απώλεια αντισταθμίζεται από την αύξηση του μεγέθους της ταξιανθίας και του μέσου βάρους των σπόρων.

Για τον καθορισμό της απαιτούμενης ποσότητας σπόρου (ΑΠΣ σε κιλά/στρ) θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το βάρος 1000 σπόρων, η βλαστική και η φυτρωτική ικανότητα του σπόρου στον αγρό, κάνοντας χρήση του παρακάτω τύπου. Σε περίπτωση δυσμενών εδαφικών συνθηκών ή όψιμης σποράς, θα απαιτηθεί επιπλέον ποσότητα σπόρου 5–10% .

$$\text{ΑΠΣ} = \frac{\text{φυτά / m}^2 \times \text{βάρος 1000 σπόρων} \times 10}{\text{βλαστική ικανότητα} \times \text{φυτρωτική ικανότητα} \text{ σπόρου στον αγρό}}$$

#### 1.5.4 Αραίωμα

Λόγω του ότι μετά τη φύτευση οι γραμμές φύτευσης είναι πολύ πυκνές, συνίσταται αραίωμα των σειρών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο επιθυμητός αριθμός των φυτών που πρέπει να υπάρχουν στην καλλιεργούμενη έκταση, ώστε να δοθούν οι μέγιστες αποδόσεις όσον αφορά την παραγωγή. Για το αραίωμα αποφεύγεται συνήθως η χρήση χημικών σκευασμάτων και γίνεται με το χέρι ως επιπλέον καλλιεργητική φροντίδα.

#### 1.5.5 Αμειψισπορά

Ο ηλίανθος έχει τη δυνατότητα να ακολουθήσει ποικιλία καλλιεργειών στο σύστημα αμειψισποράς. Στον ελληνικό χώρο η ιδιότητα της καλλιέργειας του ηλίανθου να αναπτύσσεται σε οποιοδήποτε είδος εδάφους, καθιστά αμειψισπορά του με τα σιτηρά και τα όσπρια πολύ διαδεδομένη, λόγω του ότι αποτελούν κύριες καλλιέργειες σε πολλές περιοχές και αναπτύσσονται υπό τις ίδιες συνθήκες.

Ιδιαίτερα το σιτάρι όταν διαδέχεται τον ηλίανθο ευνοείται τα μέγιστα σε αποδόσεις, ενώ η αμειψισπορά είναι απαραίτητη και για τον ηλίανθο με κύριο στόχο την αποφυγή ανάπτυξης του παρασίτου της οροβάγχης. Η πρακτική αυτή εναλλαγής του ηλίανθου με το σιτάρι προσφέρει επίσης στον παραγωγό το πλεονέκτημα ότι μετά τη λήξη της καλλιέργειας του σίτου, το χωράφι θα έχει τη δυνατότητα να «ξεκουραστεί» μέχρι το Μάρτιο οπότε αρχίζει και η σπορά του ηλίανθου.

Σε αλατούχα εδάφη ο ηλίανθος θεωρείται καλό προηγούμενο για τις καλλιέργειες που ακολουθούν, γιατί ιδιαίτερα σε αρδευόμενα εδάφη μετακινεί τα άλατα σε βαθύτερα στρώματα. Είναι επίσης λιγότερο εξαντλητική καλλιέργεια από το καλαμπόκι, αλλά αφαιρεί συνήθως μεγαλύτερη εδαφική υγρασία σε σχέση με τις περισσότερες καλλιέργειες.

Μία άλλη πρακτική που μπορεί να εφαρμοστεί όσον αφορά τον τομέα αυτό, είναι η τριετής αμειψισπορά με ελαιοδοτικές καλλιέργειες. Αρχικά τον πρώτο χρόνο καλλιεργείται ελαιοκράμβη, την οποία διαδέχεται το σουσάμι. Αμέσως μετά φυτεύεται βίκος και ακολουθεί ο ηλίανθος, με το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου του οποίου μπορεί να ξαναφυτευτεί ελαιοκράμβη. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται να υπάρχει εναλλαγή μεταξύ ενεργειακών καλλιεργειών για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να ωφελείται τόσο το έδαφος όσο και το εισόδημα του παραγωγού.

### **1.5.6 Άρδευση**

Για την άρδευση του ηλίανθου χρησιμοποιούνται συνήθως ο καταιονισμός και η άρδευση με σταγόνες. Η ποσότητα του αρδευτικού νερού κυμαίνεται από 200 έως 450 χιλιοστά αναλόγως των εδαφοκλιματικών συνθηκών, την εποχή σποράς και την ποικιλία. Στην βόρεια Ελλάδα (Ν. Έβρου) ο ηλίανθος συνήθως καλλιεργείται σε ξηρικά χωράφια κάνοντας χρήση των ανοιξιάτικων βροχοπτώσεων. Με άρδευση οι αποδόσεις αυξάνονται θεαματικά (από 60-90 κιλά/στρ σε 250-350 κιλά/στρ). Σε περίπτωση άρδευσης έχουμε καλύτερη αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων. Η ποσότητα του αρδευτικού νερού είναι συνισταμένη της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, που καθορίζεται από τους κλιματικούς παράγοντες της κάθε περιοχής. Ανάλογα την περιοχή ο ηλίανθος απαιτεί τουλάχιστον 3-5 ποτίσματα κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας σε ξηρά εδάφη (από το σχηματισμό της ταξιανθίας έως την πτώση των περιφερειακών κίτρινων ανθέων και την κύρτωση της κεφαλής).

### **1.5.7 Λίπανση**

Τα θρεπτικά στοιχεία που δίνονται με την λίπανση, είναι κυρίως το άζωτο που βοηθάει στην ανάπτυξη του ηλίανθου και ο φώσφορος που επηρεάζει την παραγωγή και την περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι. Λίπανση με κάλιο απαιτείται σε εδάφη όπου βρίσκεται σε έλλειψη και κυρίως σε ελαφριά. Επιστημονικά δεδομένα που βασίζονται σε εκτενή πειραματισμό σε χώρες όπου ο ηλίανθος καλλιεργείται σε πολύ μεγάλη έκταση αναφέρουν ότι, μία μέση παραγωγή 250 κιλών ανά στρέμμα απομακρύνει από το έδαφος 9 μονάδες αζώτου, 5 μονάδες φωσφόρου, 20 μονάδες καλίου, 4 μονάδες μαγνησίου και 12 μονάδες ασβεστίου.

Σύμφωνα με την πρακτική που εφαρμόζεται στις ελληνικές συνθήκες μία ισορροπημένη βασική λίπανση με 8 μονάδες αζώτου, φωσφόρου και καλίου προσφέρει επαρκή θρέψη στα φυτά. Σε γόνιμα εδάφη πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική λίπανση με άζωτο, γιατί υπάρχει κίνδυνος πλαγιάσματος των φυτών ενώ το κάλιο είναι απαραίτητο να εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις εδαφών με έλλειψη στο στοιχείο αυτό (<http://www.nk.com/gr>).

Εκτός από τα τρία κύρια θρεπτικά συστατικά ο ηλίανθος απαιτεί επίσης σχετικά μεγάλες ποσότητες ασβεστίου, σιδήρου, μαγνησίου, χαλκού και βορίου (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

Η τοποθέτηση των λιπασμάτων μπορεί να γίνει πριν τη σπορά με τη χρήση ενός λιπασματοδιανομέα, κατά την προετοιμασία του αγρού, αλλά μπορεί να γίνει και ταυτόχρονα με την σπορά, με την τοποθέτηση των λιπασμάτων γραμμικά δίπλα στο σπόρο (σε απόσταση 10–20 εκατοστά). Με τον δεύτερο τρόπο επιτυγχάνεται ομοιομορφία στον αγρό και οικονομία, καθώς παραλείπεται μια εργασία. Πιο αποτελεσματικό είναι να τοποθετηθεί μια βασική ποσότητα λιπασμάτων μαζί με την σπορά (όλο το PK και ένα 30–40% του N) και το υπόλοιπο (60–70% του N) να δοθεί με την μορφή επιφανειακής λίπανσης, με τη χρήση γραμμικού λιπασματοδιανομέα – σκαλιστηριού, όταν το φυτό βρίσκεται σε ύψος περί τα 30 εκατοστά. Εναλλακτικά, εάν ο αγρός αρδεύεται με στάγδην άρδευση (σταγόνα) προτείνεται η τοποθέτηση των συμπληρωματικών λιπασμάτων εντός του συστήματος άρδευσης, μέθοδος που θα επέφερε το καλύτερο αποτέλεσμα. Η απορρόφηση των θρεπτικών από το φυτό μεγιστοποιείται λίγο πριν έως και λίγο μετά την περίοδο της ανθοφορίας (δημιουργία και θρέψη των σπόρων που απαιτεί τριπλάσιες ανάγκες σε θρεπτικά από ότι η βλαστική περίοδος). Εφαρμογή λιπασμάτων μπορεί να γίνει και από το φύλλωμα, αλλά η μέθοδος αυτή δεν συστήνεται για τα μικροστοιχεία (NPK) λόγω του μεγάλου κόστους.

### 1.5.8 Ζιζανιοκτονία

Ο έλεγχος των ζιζανίων γίνεται με μηχανικά μέσα και με τη χρήση ζιζανιοκτόνων σκευασμάτων. Τα κυριότερα ζιζάνια που εμφανίζονται σε μια καλλιέργεια ηλίανθου είναι η αγριομελιτζάνα (*Xanthium strumarium*), το άγριο σινάπι (*Sinapis arvensis*), η σετάρια (*Setaria glauca*), το πολύγωνο (*Polygonum persicaria* L.), το ξάνθιο (*Iva xanthiifolia*), ο αγρόπυρος (*Elytrigia repens*), η μουχρίτσα (*Echinochloa orus galli*), το γαϊδουράγκαθο (*Cirsium arvensense* L.), το χηνοπόδιο (*Chenopodium album* L.) και το είδος *Amaranthus retroflexus*.

Για την καταπολέμηση των στενόφυλλων και αρκετών πλατύφυλλων ζιζανίων μπορεί να εφαρμοστεί trifluralin (200 cc/στρ.) προσπαρτικά με ενσωμάτωση στα 5-8 εκ.. Μεταπαρτικά πριν το φύτευμα μπορεί να εφαρμοστεί Prometryne (250-350 cc/στρ.) για την καταπολέμηση των πλατύφυλλων ζιζανίων. Πότισμα ή βροχή βοηθούν στην καλή ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου, ενώ η καλλιέργεια παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στα ορμονικά ζιζανιοκτόνα (2,4 D κ.α.).

Η καλλιέργεια του ηλίανθου όπως και οι περισσότερες ενεργειακές καλλιέργειες λόγω της υψηλής φυτοκάλυψης που παρουσιάζουν όταν αναπτυχθούν, περιορίζουν την ανάπτυξη των ζιζανίων. Άλλες τεχνικές για τη μείωση των ζιζανίων στον αγρό είναι η εναλλαγή καλλιεργειών και η κατεργασία του εδάφους πριν τη σπορά.



### 1.5.9 Συγκομιδή

Η συγκομιδή στην καλλιέργεια του ηλίανθου γίνεται Αύγουστο με Σεπτέμβριο. Χρησιμοποιούνται οι συμβατικές αλωνιστικές μηχανές σταριού - καλαμποκιού, ύστερα από κατάλληλη ρύθμιση, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες σπόρου που μπορεί να υπερβούν το 40-45%. Η συγκομιδή - αλωνισμός πρακτικά γίνεται, όταν τουλάχιστον τα 2/3 των φύλλων από τη βάση έχουν ξηραθεί και το κάτω μέρος της κεφαλής έχει αλλάξει χρώμα προς το καστανοκίτρινο. Συνιστάται ο παραγωγός να μην περιμένει να ξηραθεί υπερβολικά ο σπόρος, αλλά να ξεκινήσει το αλώνισμα όταν η υγρασία του είναι 12% για να μειωθεί το ρίσκο των απωλειών με το τίναγμα. Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ε.Ε. για να είναι εμπορεύσιμος ο σπόρος του ηλίανθου πρέπει να έχει υγρασία έως 10%, ποσοστό ελαίου τουλάχιστον 42% και ξένες ύλες έως 2%.

### 1.6 Αποδόσεις σε σπόρο

Οι αποδόσεις του ηλίανθου υπό ελληνικές συνθήκες καθορίζονται κυρίως από τις κλιματολογικές συνθήκες, την εποχή σποράς, την άρδευση, την λίπανση, την επιλογή της ποικιλίας, την πυκνότητα σποράς και από το έδαφος. Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η καθυστερημένη σπορά μπορεί να αποφέρει μείωση παραγωγής από 20 έως 50%. Το δυναμικό παραγωγής του ηλίανθου στην Ελλάδα είναι 450-500 κιλά/στρ (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008). Η απόδοση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού όπως αυτά της δυτικής Θεσσαλίας κάτω από μειωμένες εισροές άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης (Geronikolaou et al., 2005, Danalatos et al., 2005). Τέτοιες αποδόσεις είναι τρεις φορές υψηλότερες σε σύγκριση με τις αποδόσεις ηλίανθου που λαμβάνουν χώρα στη βόρεια Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα από τρεις νομούς (Κιλκίς, Καρδίτσα, Αγρίνιο) τα καλλιεργητικά έτη 2007 και 2008 (όχι ιδανικές κλιματολογικές συνθήκες) οι παραγωγικότητες, σε μέτρια αρδευόμενους και λιπασμένους αγρούς, κυμάνθηκε από 240-370 κιλά/στρ, ενώ σε ξηρικούς αγρούς η απόδοση ήταν 60-90 κιλά/στρ (οι απώλειες από τα πουλιά μείωσαν περαιτέρω την παραγωγή κατά 45% στο Κιλκίς, 30% στην Καρδίτσα και 53% στο Αγρίνιο). Ο δείκτης συγκομιδής της καλλιέργειας (harvest index) κυμαίνεται από 25-35%, ανάλογα με την ποικιλία και το περιβάλλον (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

### 1.7 Εχθροί και ασθένειες

Ο ηλίανθος είναι καλλιέργεια ευπρόσβλητη από διάφορους μικροοργανισμούς και έντομα. Στην Ευρώπη τα έντομα δεν αποτελούν σοβαρό πρόβλημα, γι' αυτό και σπάνια χρησιμοποιούνται εντομοκτόνα, σε αντίθεση με τις ασθένειες που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές. Στην Ελλάδα, όπου η καλλιέργεια για λάδι είναι σχετικώς πρόσφατη, δεν υπάρχει προς το παρόν σοβαρό πρόβλημα από εχθρούς και ασθένειες, ίσως και λόγω των κλιματολογικών συνθηκών. Παρακάτω αναφέρονται οι

σοβαρότεροι εχθροί και ασθένειες του ηλίανθου, ιδιαίτερα εκείνες που απαντώνται στην Ευρώπη και έχουν σημασία για την Ελλάδα (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

#### Εχθροί:

- Σκόρος ηλίανθου

Λατινικό: *Homoeosoma electellum* (*Homeosoma nebulellum*)

- Τίπουλη

Λατινικό: *Tipula paludosa*

- Μελίγκρα

Λατινικό: *Brachycaudus helichrysi*, *Aphis fabae*

- Κάμπιες

Λατινικό: *Agriotes Sp.*

Ο ηλίανθος, λόγω της ευχερούς πρόσβασης και της υψηλής θρεπτικής αξίας του σπόρου του, είναι ιδιαίτερα ευάλωτος σε ζημιές από πουλιά. Τα πουλιά καταβροχθίζουν τους σπόρους στην κεφαλή. Οι σπόροι εκτίθενται και η μεγάλη κεφαλή λειτουργεί ως φωλιά στη διάρκεια της διατροφής. Ο σπόρος του ηλίανθου είναι προτιμώμενη από τα πουλιά τροφή γιατί περιέχει πολλές πρωτεΐνες και λιπαρά που είναι ουσιαστικά για την ανάπτυξή τους, την εναποθήκευση λίπους και τις διαδικασίες διατήρησης του βάρους τους. Αν και πολλά είδη πουλιών τρέφονται από τις καλλιέργειες ώριμου ηλίανθου, οι μεγαλύτερες απώλειες σημειώνονται από τα κινούμενα σμήνη σπουργιτιών (*Passer domesticus*), σπίνων (*Carduelis chloris*) και φλώρων (*Carduelis cannabina*) (<http://www.plantprotection.hu>).



Εικόνα 1.7.1. *Helianthus annuus* (<http://www.plantprotection.hu>)



**Εικόνες 1.7.2 και 1.7.3.** Οι απώλειες σπόρου από τα πουλιά είναι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στην καλλιέργεια του ηλιάνθου σε μικρές εκτάσεις (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

#### Ασθένειες:

1) Περονόσπορος (*Plasmopara helianthii*). Ο μύκητας ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή σχετική υγρασία. Συνήθως εμφανίζονται χλωρωτικές κηλίδες, σε όλα τα μέρη του φυτού, που αργότερα γίνονται νεκρωτικές.

2) Άσπρη σήψη (*Sclerotinia sclerotiorum*). Η μολυσματική μορφή του μύκητα είναι τα σκληρώτια τα οποία διαχειμάζουν στο έδαφος, σε υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Οι δευτερογενείς μολύνσεις γίνονται από ασκοσπόρια που σχηματίζουν λευκό μυκήλιο, στη συνέχεια δημιουργούνται σκληρώτια και το φυτό εμφανίζει συμπτώματα μάρανσης.

3) Γκριζωπή μούχλα (*Botrytis cinera*). Ο μύκητας προσβάλλει εξαιρετικά μεγάλο φάσμα φυτών (αναφέρονται πάνω από 200). Ο μύκητας εμφανίζεται ως παράσιτο αλλά και ως σαπρόφυτο στο ίδιο ευρύ φάσμα προσβαλλόμενων. Προκαλεί γκρίζα μούχλα στην κεφαλή, προσβάλλει την κεφαλή του άνθους και το στέλεχος, ενώ τα φύλλα αρχίζουν να ξεραίνονται από έξω προς τα μέσα (<http://www.plantprotection.hu>).

4) Ο ηλιάνθος προσβάλλεται επίσης και από άλλες μυκητολογικές ασθένειες, όπως αδρομυκώσεις (*Verticillium dahliae*), σκωρίαση (*Puccinia helianthii*) και αλτερνάρια (*Alternaria spp.*) καθώς και από ιούς, βακτήρια και από φυτικά παράσιτα, όπως οροβάγχη κ.ά..

Εκτός από τις παραπάνω "κλασικές" ασθένειες αναφέρθηκαν σχετικώς πρόσφατα μερικές νέες όπως οι παρακάτω μυκητολογικές.

1) Καστανή κηλίδωση, καρκίνος του στελέχους ή φόμοψη (*Phomopsis helianthii*). Αναφέρθηκε για πρώτη φορά στην πρώην Γιουγκοσλαβία το 1979. Ευνοείται από συχνές βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Τα συμπτώματα είναι ορατά από την έναρξη της ανθήσεως και μετά. Παρουσιάζονται καστανές κηλίδες στους μίσχους των φύλλων, στο στέλεχος και σπανιότερα και στις κεφαλές. Οι κηλίδες επεκτείνονται και προχωρούν σε βάθος με συνέπεια να παρακωλύεται η κυκλοφορία των χυμών και το φυτό να μαυρίζει και να ξηραίνεται. Ο αγρός εμφανίζει μία μορφή μωσαϊκού με

αποξηραμένα και πράσινα φυτά. Οι βλαστοί γίνονται εύθραυστοι και σπάζουν με τον άνεμο.

2) Μαύρισμα στελέχους (*Phoma macdonaidi*). Προσβάλλει ταξιανθία, φύλλα και στελέχη. Τα συμπτώματα διακρίνονται από αυτά της φόμοψης, γιατί οι κηλίδες είναι μαύρες με περιφερειακή πράσινη απόχρωση. Όταν η προσβολή είναι σοβαρή, μαυρίζει όλο το στέλεχος και σπάζει.

3) Σήψη του στελέχους και των ριζών (*Sclerotium bataticola*, σκληρωτιακή μορφή του *Macrophomina phaseoli*). Προκαλεί πρόωμη ξήρανση των φυτών και ατελές γέμισμα των σπόρων, εξαιτίας της νέκρωσης των ηθμαγγειωδών σωλήνων και του περιορισμού του ριζικού συστήματος. Στα προσβεβλημένα τμήματα του φυτού σχηματίζει χαρακτηριστικά μικροσκοπικά μαύρα μικροσκληρώτια. Στην Ελλάδα εντοπίστηκε το 1986 και το 1987 καταστράφηκαν ολόκληρες περιοχές. Έκτοτε αποτελεί σοβαρό πρόβλημα με ζημιές που μπορεί να φτάσουν στο 40-50% της παραγωγής.

Η αντιμετώπιση των παραπάνω ασθενειών επιδιώκεται με τη μέθοδο της ολοκληρωμένης καταπολέμησης δηλαδή με τον συνδυασμό: α)κατάλληλης αμειψισποράς, β)εφαρμογής ορθής καλλιεργητικής τεχνικής (π.χ. αποφυγή υπερβολικής εδαφικής υγρασίας, εφαρμογή ορθολογικής λίπανσης, κατάλληλη εποχή σποράς, κατάλληλος πληθυσμός φυτών), γ)χρήσης ανθεκτικών γενοτύπων (σήμερα επιδιώκεται η μεταφορά γονιδίων ανθεκτικότητας από άγρια είδη) και δ)ορθολογικής χρήσης χημικών σκευασμάτων (απολύμανση σπόρου κ.ά.) (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, 2002).

## 1.8 Προϊόντα ηλίανθου

Το εμπορικό προϊόν που παράγεται από τους σπόρους του ηλίανθου είναι το έλαιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βρώσιμο (π.χ. κοινώς γνωστό ως ηλιέλαιο) ή ως βιοντίζελ.

Το έλαιο του ηλίανθου κατέχει την τέταρτη θέση στη λίστα των παραγόμενων ελαίων παγκοσμίως (FAO, 2010). Είναι μια πλούσια πηγή φυτικού ελαίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα κυρίως παλμιτικό, στεατικό, ελαϊκό και λινελαϊκό (Fuller et al., 1967). Το ελαϊκό και λινελαϊκό οξύ αποτελούν το 85-90% των συνολικών λιπαρών οξέων των σπόρων (Kilman, 1964, Lagraverre et al., 1998, Murphy, 1994). Η μέση περιεκτικότητα ολόκληρου του σπόρου σε λάδι είναι περίπου 45%.

Ο ηλίανθος είναι μια πρωτεϊνούχος καλλιέργεια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καλή πρωτεϊνούχος τροφή ζώων, αλλά και στην ανθρώπινη διατροφή (Fernandez-Martinez & Alba, 1984). Σήμερα η χρησιμοποίηση όλων των μερών του φυτού αποτελεί γεγονός αν και μεγαλύτερη αξία έχει ο σπόρος του, που είναι καλή πηγή πρωτεΐνης και ακόρεστων λιπαρών οξέων και χρησιμοποιείται στη διατροφή των ανθρώπων και των ζώων.



Το έλαιο του ηλίανθου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πολλών άλλων προϊόντων όπως, καύσιμα (βιοντήζελ), λιπαντικά, σαπούνια ιΐαι κεριά, για την παραγωγή ειδικών υδατανθράκων (Škorić, 1992, Friedt, 1992) και στη βιομηχανία χρωμάτων επειδή δεν περιέχει σχεδόν καθόλου λινολενικό οξύ, το οποίο προκαλεί μετά από κάποιο χρονικό διάστημα προβλήματα στα λευκά ελαιοχρώματα (Ξανθόπουλος, 1993).

Μετά την αφαίρεση του ελαίου από το σπόρο, η πούλπα αποτελεί σημαντική πηγή πρωτεΐνης η οποία χρησιμοποιείται κατά κανόνα ως ζωοτροφή. Οι φλοιοί των σπόρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή αλκοόλης και για τη δημιουργία υποστρωμάτων διαφόρων ενζύμων, μετά από ειδική επεξεργασία (Friedt, 1992). Επίσης, μπορεί να παραχθεί στυπόχαρτο και από το εσωτερικό του βλαστού τυπογραφικό χαρτί υψηλής ποιότητας.

Τα αποξηραμένα στελέχη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαστικού (Friedt, 1992), ινών και χαρτιού και σε φτωχές χώρες ως φτηνή πρώτη ύλη (Ξανθόπουλος, 1993). Οι ξηροί βλαστοί αποτελούν εξαιρετικό καύσιμο, ενώ η στάχτη που απομένει έχει υψηλή περιεκτικότητα σε κάλιο (Murphy, 1994, Αυγουλάς κ.ά., 2001).

Επειδή για κάθε χρήση απαιτούνται ορισμένα χαρακτηριστικά, η αξία των σπόρων καθορίζεται από το πόσο ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά αυτά (Burton et al., 2004). Ο ηλίανθος δίδει δύο τύπους σπόρων, τους μεγάλους που προορίζονται για άμεση εδώδιμη κατανάλωση και τους μικρούς που είναι κατάλληλοι για εξαγωγή ελαίου (Αυγουλάς κ.ά., 2001). Οι μικροί σπόροι με μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαιο προορίζονται για την παραγωγή ηλιέλαιου.

Η καταλληλότητα του παραγόμενου ηλιέλαιου για διαφορετικές χρήσεις καθορίζεται από τη σύσταση του σε λιπαρά οξέα και την περιεκτικότητά του σε αντιοξειδωτικά. Η σύνθεση του ηλιέλαιου εξαρτάται από το γονότυπο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Robertson et al., 1978, Lajara et al., 1990, Miller & Vick, 1999, Sobrino et al., 2003).

Το έλαιο του ηλίανθου για να χρησιμοποιηθεί σαν βιοκαύσιμο έχει υπολογιστεί ότι πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 40% ελαϊκό οξύ. Έτσι για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι κατάλληλα τα mid-oleic και τα high-oleic υβρίδια (Pereyra-Irujo et al., 2009).

Η μερική τουλάχιστον αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοκαύσιμα είναι σήμερα επιτακτική ανάγκη για τη μείωση των ρύπων που απειλούν τη ζωή στο πλανήτη. Το βιοντήζελ θα μπορούσε να παίξει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ**

#### **2.1 Γενικά**

Η έλλειψη νερού τα τελευταία χρόνια, έχει οδηγήσει την διεθνή κοινότητα στην προσπάθεια εξεύρεσης νέων πηγών νερού, όπως είναι τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Τα απόβλητα αυτά, στην περίπτωση που αποφεύγεται η διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους, οι σημαντικότεροι των οποίων, είναι η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, η χρήση τους στη βιομηχανία και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων (Angelaki et al., 2002).

Αστικά λύματα, είναι τα υγρά απόβλητα που δημιουργούνται κατά τις διαδικασίες καθαριότητας (χώροι υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια, κ.λπ.) σε μια κατοικημένη περιοχή (κατοικίες, γραφεία, ιδρύματα, βιομηχανίες, κ.λπ.). Κύριο συστατικό τους είναι το νερό με ορισμένες ξένες προσμίξεις, που το καθιστούν αρχικά ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και επηρεάζουν δυσμενώς τους διάφορους αποδέκτες (Μαρκαντωνάτος, 1990). Σύμφωνα με τους Πανώρα και Ηλία (1999), τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99% από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων στερεών.

Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα αποτελούν πηγή θρεπτικών ουσιών για το έδαφος και γενικότερα για τα φυτά, αφού παρέχουν σε αυτά σημαντικές ποσότητες αζώτου, φωσφόρου, καλίου και άλλων ιχνοστοιχείων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες (Al-Jamal, M.S. et al., 2002). Σε πολλές περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση καλλιεργειών, δασών, πάρκων αναψυχής, γηπέδων γκολφ, κ.ά. όπως στην περίπτωση των δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών, που χρησιμοποιήθηκαν δημοτικά υγρά απόβλητα για το σκοπό αυτό. Διάφοροι ερευνητές, έχουν κάνει μελέτες σχετικά με την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε άρδευση φυτειών δασικών δένδρων, που προορίζονται για υλοτομία. Επίσης, μια άλλη έρευνα αναφέρει ότι η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων, εμπλούτισε το έδαφος με ποσότητες που κυμαίνονταν από 20,5- 30,5 kg/στρ. για το N, 4,5- 6,8 kg/στρ. για τον P και 11,7- 13,5 kg/στρ. για το K (Πανώρας κ.α. 1998α, β, 1999α, β). Η επίδραση των υγρών αποβλήτων στις φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους ύστερα από πειράματα που έγιναν, φαίνεται να εξαρτάται από το είδος του εδάφους στο οποίο αυτά εφαρμόζονται, από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί κατά την εφαρμογή τους και από διάφορες άλλες καλλιεργητικές πρακτικές.

#### **2.2 Χαρακτηριστικά των λυμάτων**

Τα αστικά λύματα αποτελούνται κυρίως από νερό (99.9 %) και από σχετικά μικρές συγκεντρώσεις αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων

στερεών. Στις οργανικές ουσίες των λυμάτων εντοπίζονται υδρογονάνθρακες, λιγνίνη, λίπη, σάπωνες, συνθετικά απορρυπαντικά, πρωτεΐνες και τα αποικοδομημένα προϊόντα τους, καθώς και μεγάλο εύρος φυσικών και συνθετικών οργανικών χημικών ουσιών που προέρχονται από τη βιομηχανία.

Τα αστικά λύματα περιέχουν επίσης ποικιλία ανόργανων ουσιών από αστικές και βιομηχανικές πηγές, ανάμεσα στις οποίες απαντώνται και τοξικά στοιχεία όπως αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, ψευδάργυρος κλπ. Ακόμα και αν η συγκέντρωση των τοξικών στοιχείων δεν ενέχει κίνδυνο για τον άνθρωπο, ωστόσο μπορεί να απαντάται σε φυτοτοξικά επίπεδα, που περιορίζουν τη χρήση των λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς.

Παθογόνοι ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα και ελμινθοσπόρια, που επιβιώνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον, είναι δυνατόν να απαντώνται στα αστικά λύματα. Τα παθογόνα βακτήρια βρίσκονται σε μικρότερους πληθυσμούς από τα κολοβακτηρίδια στα λύματα, τα τελευταία δε, είναι ευκολότερο να εντοπιστούν και να μετρηθούν (σύνολο κολοβακτηριδίων/100ml). Η παρουσία του *Escherichia coli* (κολοβακτηρίδιο που ενδημεί στο κατώτερο μέρος του πεπτικού συστήματος του ανθρώπου και των ζώων) αποτελεί την καλύτερη μαρτυρία της μόλυνσης του νερού από ανθρώπινα εκκρίματα και της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών, μπορεί να αναγνωριστεί, να απομονωθεί και να μετρηθεί σε εντερόκοκκους/100ml λυμάτων.

**Πίνακας 2.2.1.** Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων.

Συστατικά	Όρια συγκέντρωσης			Μέσες τιμές Η.Π.Α.
	Μεγάλη	Μέση	Μικρή	
Ολικά στερεά (mg/l)	1200	720	350	-
Διαλυμένα (mg/l)	850	500	250	-
Αιωρούμενα (mg/l)	350	220	100	192.0
Καθιζάνοντα στερεά (ml/l)	20	10	5	-
Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (B.O.D. <sub>5</sub> , (mg/l), 20°C)	400	220	110	181.0
Ολικός οργανικός άνθρακας (T.O.C., (mg/l))	290	160	80	102.0
Χημική απαίτηση οξυγόνου (C.O.D., (mg/l))	1000	500	250	417.0
Άζωτο ολικό(ως N, (mg/l))	85	40	20	34.0
Οργ.-N (mg/l)	35	15	8	13.0
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	50	25	12	20.0
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	0	0	0	-
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	0	0	0	0.6
Φώσφορος ολικός (ως P, (mg/l))	15	8	4	9.4
Οργανικός Φώσφορος(mg/l)	5	3	1	2.6
Ανόργανος Φώσφορος(mg/l)	10	5	3	6.8
Χλωριόντα(mg/l)	100	50	30	-
Βόριο(mg/l)				0.7-1.7
Διαλυτό Na (%)				50-70
EC (dS/m)				2.0-3.0
SAR (meq/l) <sup>1/2</sup>				3.0-9.0
Σκληρότητα (CaCO <sub>3</sub> )				200-300
Αλκαλικότητα (ως CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50	211
Λίπη-Έλαια (mg/l)	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100 ml	-	-	-	22*10 <sup>6</sup>

Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, MPN/100 ml	-	-	-	8*10 <sup>6</sup>
Ιοί, PFU/100 ml	-	-	-	3.6

Πηγή: Asanoetal. (1985), U.N.D.T.C.D. (1985), Asano (1994).

## 2.3 Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων

Η αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων ώστε να ανταποκρίνονται σε πρότυπα ποιότητας νερού επαναχρησιμοποίησης και η προσπάθεια για την προστασία της δημόσιας υγείας αποτελούν τα βασικά κριτήρια για τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης νερού. Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων αποτελείται από συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών για την απομάκρυνση των στερεών, της οργανικής ουσίας, των παθογόνων, των μετάλλων και μερικές φορές των θρεπτικών στοιχείων από τα λύματα. Ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό χρήστη ή αποδέκτη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Γενικοί όροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του επιπέδου επεξεργασίας είναι προκαταρκτική, πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια, τριτοβάθμια ή/και προχωρημένη επεξεργασία. Η απολύμανση για έλεγχο του πληθυσμού των παθογόνων οργανισμών λαμβάνει χώρα τελευταία, λίγο πριν την αποθήκευση ή διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων.

### 2.3.1 Προκαταρκτική επεξεργασία (Preliminary treatment)

Περιλαμβάνει διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που συνήθως υπάρχουν στα υγρά απόβλητα όταν βρίσκονται στην αρχική ανεπεξέργαστη κατάσταση. Η επεξεργασία που υφίσταται το λύμα στην αρχή είναι η εσχάρωση (Εικόνα 2.3.1.1) κατά την οποία συγκρατούνται τα μεγάλα παρασυρόμενα υλικά, έτσι ώστε να προφυλαχθούν τα επόμενα στάδια επεξεργασίας από εμφράξεις και φθορές. Τα προϊόντα που μένουν στις σχάρες θάβονται, καίγονται, χωνεύονται ή διατίθενται ως απορρίμματα. Άλλη μια διεργασία που λαμβάνει χώρα κατά την προκαταρκτική επεξεργασία, είναι επίσης και η καθίζηση η οποία αποβλέπει στο ίδιο αποτέλεσμα.



Εικόνα 2.3.1.1. Σχάρες συγκράτησης στερεών αντικειμένων (Ράμμος, 2006).



### 2.3.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Primary treatment)

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι το αμέσως επόμενο στάδιο της προκαταρκτικής επεξεργασίας και στοχεύει στην απομάκρυνση τόσο των καθιζανόντων οργανικών και ανόργανων στερεών όσο και εκείνων που επιπλέουν. Τα λύματα οδηγούνται μέσα σε μεγάλες ορθογώνιες ή κυκλικές δεξαμενές καθιζήσεως (Εικόνα 2.3.2.1) και παραμένουν εκεί για περίπου 2-4 ώρες. Τα στερεά συστατικά με την πάροδο του χρόνου αρχίζουν να καθιζάνουν ενώ τα λίπη συγκεντρώνονται στην επιφάνεια των δεξαμενών (Εικόνα 2.3.2.2). Επειδή όμως ορισμένα συστατικά των υγρών αποβλήτων δύσκολα καθιζάνουν μόνο με την επίδραση της βαρύτητας, συνήθως προστίθενται κροκιδωτικές ουσίες οι οποίες προκαλούν την αποσταθεροποίηση των κολλοειδών με αποτέλεσμα την συσσωμάτωση και καθίζησή τους. Τέτοιες ουσίες είναι το θειικό αλουμίνιο, το υδροξείδιο του ασβεστίου και γενικά τα χλωριούχα, τα θειικά ή τα μικτά άλατα του σιδήρου και του αλουμινίου. Έτσι έχουμε τον σχηματισμό τριών υγρών στρωμάτων από τα οποία το ενδιάμεσο και πιο καθαρό προχωρεί στην επόμενη διαδικασία (Εικόνα 2.3.2.3), ενώ τα υπόλοιπα δύο συλλέγονται και επεξεργάζονται κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς. Γι' αυτόν το λόγο οι δεξαμενές είναι εφοδιασμένες με ειδικές ξύστρες που βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών αλλά και με αντλίες στο άνω μέρος τους ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση των δύο στρωμάτων λάσπης.

Κατά την διαδικασία αυτή απομακρύνεται περίπου το 25 με 50% του αρχικού οργανικού φορτίου (B.O.D.), το 35 με 50% του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (C.O.D.), το 50 με 70% των ολικών αιωρούμενων στερεών και το 65% των λιπών και ελαίων. Ακόμη κατακρατείται ένα μέρος οργανικού αζώτου, οργανικού φωσφόρου και βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά. Τα κολλοειδή και τα διαλυτά στερεά παραμένουν ανέπαφα.

Σε αρκετές χώρες η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι η ελάχιστη που απαιτείται πριν τα υγρά απόβλητα διατεθούν για αρδευτικούς σκοπούς. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, όταν τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργειών, τα φυτικά μέρη των οποίων δεν χρησιμοποιούνται ως τροφή από τον άνθρωπο, ή για άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων καθώς και καλλιεργειών που υπόκεινται σε επεξεργασία πριν καταναλωθούν (Πανώρας και Ηλίας, 1999).



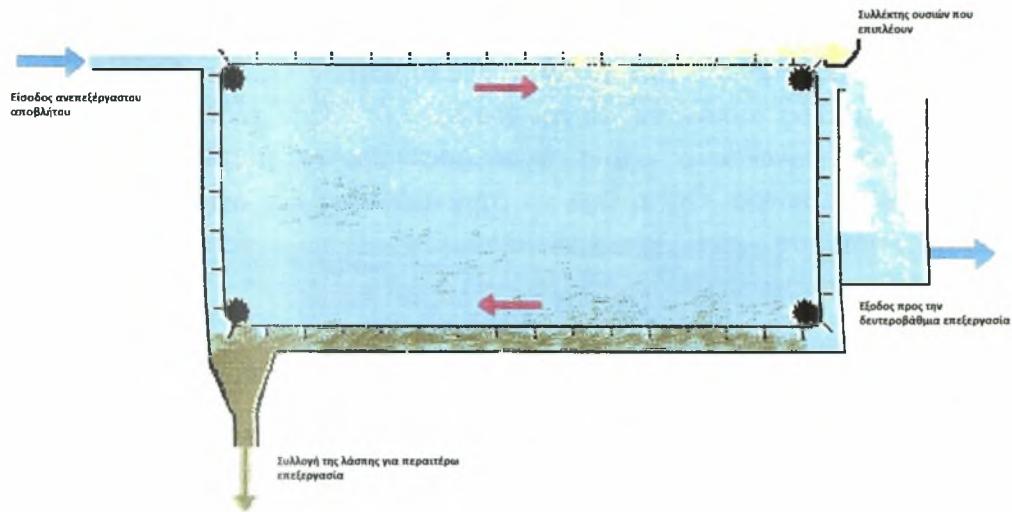
Εικόνα 2.3.2.1. Δεξαμενές καθιζήσεως  
(Ράμμος, 2006)



Εικόνα 2.3.2.2. Μηχανισμός αφαίρεσης των  
ουσιών που επιπλέουν (Ράμμος, 2006).



Εικόνα 2.3.2.3. Υπερχείλιση του καθαρού υγρού για περαιτέρω επεξεργασία (Ράμμος, 2006).



Εικόνα 2.3.2.4. Σχηματική απεικόνιση της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (Ράμμος, 2006).

### 2.3.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία (Secondary treatment)

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι μια βιολογική διαδικασία η οποία έπεται της πρωτοβάθμιας και έχει ως στόχο την περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αερόβιων μικροοργανισμών που έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν την οργανική ουσία και να την χρησιμοποιούν ως πηγή τροφής τους. Στην συνέχεια αναφέρονται ορισμένα από τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό.

Το πιο ευρέως διαδεδομένο σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η ενεργός ιλύς (activated sludge system). Αυτός ο τύπος συστήματος αποτελείται από δύο μέρη, μια δεξαμενή αερισμού (Εικόνα 2.3.3.1) και μια δεξαμενή καθίζησης ή καθαριστήρας. Η δεξαμενή αερισμού περιέχει ένα είδος 'λάσπης' αποτελούμενη από βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα και αναμιγνύεται συνεχώς υπό αερόβιες συνθήκες για τις οποίες φροντίζουν είτε ειδικές βαλβίδες με συμπιεσμένο αέρα στην βάση των δεξαμενών, είτε μηχανικοί μηχανισμοί εμπλουτισμού αέρα στην επιφάνεια των δεξαμενών. Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στις δεξαμενές αυτές και παραμένουν εκεί για περίπου 3 με 8 ώρες. Κατά την διάρκεια αυτή οι μικροοργανισμοί κάτω από ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και οξυγόνου πολλαπλασιάζονται και αρχίζουν να μεταβολίζουν την οργανική ουσία που

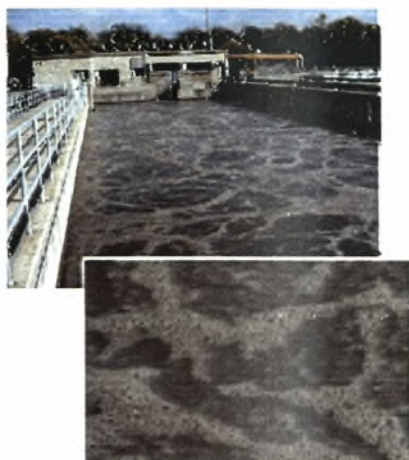
είναι διαλυμένη στα υγρά απόβλητα χρησιμοποιώντας την ως πηγή ενέργειας τους. Στην συνέχεια το μίγμα με τα απόβλητα και τους μικροοργανισμούς μεταφέρεται σε μια δεύτερη δεξαμενή, την δεξαμενή καθίζησης όπου γίνεται και ο διαχωρισμός. Οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν στο κάτω μέρος της δεξαμενής και από εκεί συλλέγονται ώστε να ξαναχρησιμοποιηθούν, ενώ τα επεξεργασμένα απόβλητα οδηγούνται σε νέα δεξαμενή.

Ένα άλλο σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αποβλήτων είναι τα σταλάζοντα φίλτρα (trickling filters). Εδώ οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται πάνω σε κατασκευές από πέτρες, ξύλα ή πλαστικά δημιουργώντας έτσι ένα στρώμα πάνω στο οποίο ρέουν τα υγρά απόβλητα. Ο αερισμός επιτυγχάνεται μέσω ειδικών φυσητήρων ή με την ροή των αποβλήτων. Όμοια είναι η λειτουργία και του συστήματος 'biotowers' με την διαφορά ότι στην προκειμένη περίπτωση το υπόστρωμα πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί είναι πλαστικό και όχι πέτρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις ακολουθεί διήθηση για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που ενδεχομένως να παρέμειναν στα επεξεργασμένα απόβλητα.

Τέλος υπάρχει και το σύστημα με τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες (Εικόνα 2.3.3.3) γνωστό ως RBC (Rotating Biological Contactors). Το εν λόγω σύστημα χρησιμοποιεί επιφάνειες, πάνω στις οποίες έχουν αναπτυχθεί οι μικροοργανισμοί, στερεωμένες πάνω σε έναν ειδικό μηχανισμό που έχει την δυνατότητα να τις βυθίζει και συγχρόνως να τις περιστρέφει μέσα στις δεξαμενές στις οποίες περιέχονται τα υγρά απόβλητα. Ο αερισμός στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται είτε κατά την έξοδο του μηχανισμού από τα απόβλητα, είτε κατά την είσοδο αυτού λόγω των αναταράξεων που προκαλεί. Για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που μεταφέρθηκαν στα απόβλητα ακολουθεί η διαδικασία της καθίζησης.

Οι βιολογικές διαδικασίες υψηλού ρυθμού, όταν συνδυάζονται με πρωτοβάθμια καθίζηση, μειώνουν κατά 85 έως 95% το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά που έχουν αρχικά τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, καθώς και ένα μέρος των βαρέων μετάλλων. Η διαδικασία της ενεργού ιλύος είναι περισσότερο αποτελεσματική ως προς τη μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρουμένων στερεών σε σχέση με τα σταλάζοντα φίλτρα και τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες. Γενικά, οι διαδικασίες αυτές δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές ως προς τη μείωση του φωσφόρου, του αζώτου, των μη βιοδιασπώμενων οργανικών ουσιών και των διαλυμένων μετάλλων (Πανώρας και Ηλίας, 1999).

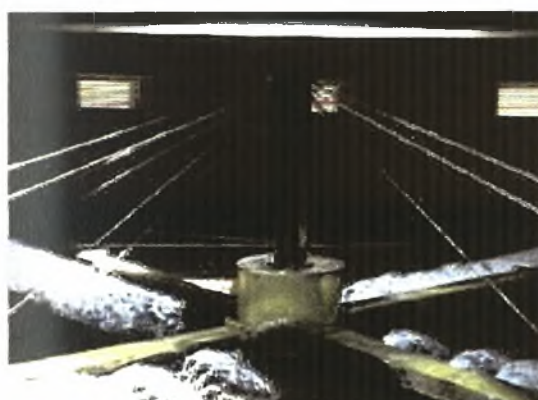




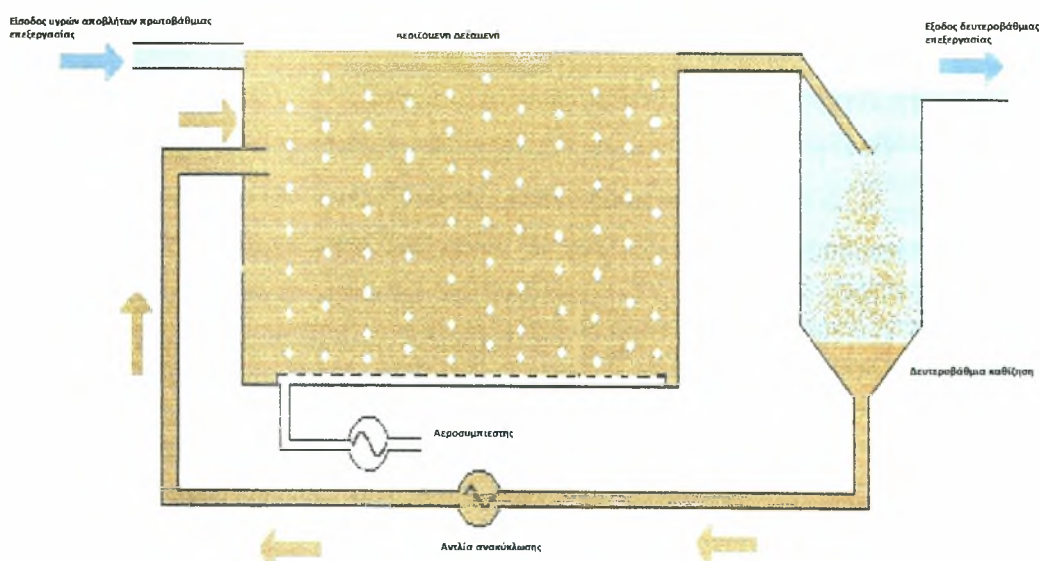
**Εικόνα 2.3.3.1.** Δεξαμενή αερισμού  
(Ράμμος, 2006).



**Εικόνα 2.3.3.2.** Σταλάζοντα φίλτρα  
(Ράμμος, 2006).



**Εικόνα 2.3.3.3.** Περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες (Ράμμος, 2006).



**Εικόνα 2.3.3.4.** Σχηματική απεικόνιση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με ενεργό ιλύ (Ράμμος, 2006).



### **2.3.4 Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (Advanced treatment)**

Η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι οποιαδήποτε πρόσθετη διαδικασία που έχει ως στόχο να επιτύχει ακόμα υψηλότερη ποιότητα νερού. Συνήθως εφαρμόζεται για την απομάκρυνση στοιχείων όπως: α) άζωτο και φώσφορο, β) μη διασπώμενες οργανικές ουσίες, γ) απολυμαντικά, απορρυπαντικά, αποσκληρυντικά νερού, δ) βαρέα μέταλλα, ε) διαλυμένα στερεά, αλλά επίσης και για περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών.

Όσον αφορά το φώσφορο, η απομάκρυνση αυτού επιτυγχάνεται με την δέσμευση του με ιόντα σιδήρου και αργιλίου και στην συνέχεια η αφαίρεση τους με την λάσπη στην οποία εγκαθίστανται. Εκτός όμως από την χημική υπάρχει και η βιολογική διαδικασία κατά την οποία οι μικροοργανισμοί, κάτω υπό ορισμένες συνθήκες, έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν το φωσφόρο στην μοριακή του μορφή και στην συνέχεια να τον δεσμεύουν στα κύτταρα τους.

Η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου κρίνεται αναγκαία, όταν ο προορισμός των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι κάποιος υδάτινος αποδέκτης. Έτσι αποφεύγεται ο εμπλουτισμός των αποδεκτών αυτών με τα ανόργανα αυτά στοιχεία και μειώνεται ο κίνδυνος ευτροφισμού τους, ο οποίος έχει σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία των εκεί οικοσυστημάτων. Ακόμη εμποδίζεται η συσσώρευση βαρέων μετάλλων, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικά με δυσμενείς βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες συνέπειες τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον άνθρωπο.

Όταν το επεξεργασμένο λύμα προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς, η ύπαρξη N και P αποτελεί κατά κάποιο τρόπο πλεονέκτημα και είναι επιθυμητή, όχι όμως σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός επαναφέρονται στο έδαφος νερό και θρεπτικά συστατικά, βοηθώντας στην εξισορρόπηση του ισοζυγίου. Αφετέρου γιατί καταναλώνονται από τους παραγωγούς μικρότερες ποσότητες λιπασμάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος των εισροών, η επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα και γενικότερα του περιβάλλοντος.

### **2.3.5 Απολύμανση**

Η απολύμανση είναι η τελική διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Εικόνα 2.3.5.1). Είναι ένα αρκετά σημαντικό στάδιο διότι καταστρέφει τους μικροοργανισμούς που έχουν απομείνει και μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Σκοπός είναι βεβαίως όχι η αποστείρωση (θανάτωση κάθε μικροοργανισμού), αλλά ο περιορισμός τους σε επίπεδα κατάλληλα για την προοριζόμενη χρήση του νερού.



Εικόνα 2.3.5.1. Δεξαμενές απολύμανσης (Ράμμος, 2006).

Το συνηθέστερα χρησιμοποιημένο απολυμαντικό είναι το χλώριο, που μπορεί να παρασχεθεί υπό μορφή διοξειδίου του χλωρίου ή υποχλωριώδους νατρίου το οποίο είναι η ίδια ένωση με την κοινή οικιακή χλωρίνη. Το χλώριο είναι αρκετά αποτελεσματικό ενάντια στα περισσότερα βακτηρίδια, αλλά απαιτούνται υψηλές δόσεις για την καταστροφή ιών, πρωτόζωων ή άλλων μορφών παθογόνων. Οι δόσεις που απαιτούνται συνήθως κυμαίνονται από 5 έως 15 mg/l, ενώ ο χρόνος επαφής είναι περίπου 15 με 30 λεπτά της ώρας. Έρευνες αναφέρουν ότι η συγκέντρωση χλωρίου στα επεξεργασμένα λύματα, τα οποία θα διατεθούν για άρδευση μετά την απολύμανση, πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 mg/l για την αποφυγή καψίματος των φύλλων (Bower & Idelonitch 1987). Ακόμη όταν πρόκειται για ευαίσθητες καλλιέργειες το επίπεδο του χλωρίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,05 mg/l (Asano et al. 1985), ενώ συγκεντρώσεις μικρότερες του 1 mg/l δεν εγκυμονούν κινδύνους για φυτά που αρδεύονται με καταιονισμό (Westcot & Ayers 1985). Η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως ο αριθμός και το είδος των μικροοργανισμών, την θερμοκρασία, το pH, την συγκέντρωση του χλωρίου κ.λπ.. Παρόλο όμως την αποτελεσματικότητας του το χλώριο μπορεί να προκαλέσει και αρκετά προβλήματα. Μπορεί να αντιδράσει με την οργανική ουσία και να σχηματίσει ουσίες καρκινογόνες και τοξικές όπως είναι το χλωροφόρμιο και είναι και ιδιαίτερα τοξικό στους υδρόβιους οργανισμούς.

Ένα άλλο ισχυρό απολυμαντικό μέσο είναι το όζον. Το όζον ( $O_3$ ) είναι μια ασταθής μορφή οξυγόνου που αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Λόγω της αστάθειας του δεν μπορεί να αποθηκευτεί γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αμέσως μετά την παραγωγή του. Το όζον σχηματίζεται με ηλεκτρική εκκένωση μέσω του αέρα και στην συνέχεια μεταβιβάζεται στο νερό. Καταστρέφει την βασική δομή του μικροβιακού κυττάρου (μέσω οξειδωτικών αντιδράσεων), εφόσον δεν υπάρχει αυξημένη θολρότητα στο νερό (η οποία προστατεύει τα κύτταρα των μικροοργανισμών). Το όζον έχει το πλεονέκτημα ότι δεν αφήνει κανένα υπόλοιπο και ότι τα προϊόντα που μπορεί να παράγει δεν είναι τόσο επιβλαβή όσο του χλωρίου.

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ένα ακόμη ισχυρό απολυμαντικό μέσο το οποίο έχει την ικανότητα να αδρανοποιεί βακτήρια και ιούς, ενώ έχει μικρότερη

αποτελεσματικότητα έναντι των πρωτόζωων. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν σκοτώνει μικροοργανισμούς αλλά αδρανοποιεί το πυρηνικό DNA με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ο αναπαραγωγικός μηχανισμός. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε το φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης (photoreactivation). Η επίδραση του φωτός ορισμένου κύματος είναι δυνατόν να επανεργοποιήσει ορισμένους μικροοργανισμούς οι οποίοι στην συνέχεια θα πολλαπλασιαστούν και θα γίνουν λοιμογόννοι. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε ορισμένα βακτήρια (κολοβακτηριοειδή) ενώ δεν παρατηρείται στους ιούς. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν έχει υπολειμματική δράση γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απολύμανσης.

Τέλος, έχουμε και την χρήση του υπερμαγγανικού καλίου το οποίο δεν χρησιμοποιείται ως κύριο απολυμαντικό, αλλά για την διατήρηση της ποιότητας του νερού. Βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του νερού, όπως την οσμή και το χρώμα, μετά την απολύμανση ενώ βοηθάει στην απομάκρυνση σιδήρου και μαγγανίου.

### **2.3.6 Αποθήκευση**

Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν αποτελεί μέρος της διαδικασίας, όμως είναι ένα ιδιαίτερο σημαντικό στάδιο το οποίο συνήθως έπεται της όλης επεξεργασίας. Ο κύριος λόγος για τον οποίον απαιτείται η αποθήκευση των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι διότι η ζήτηση μεταβάλλεται ανάλογα την εποχή του χρόνου (μεγάλη το καλοκαίρι και μικρή το χειμώνα) επομένως θα έπρεπε να υπάρχει ένας τρόπος έτσι ώστε το μεν καλοκαίρι να καλύπτονται οι απαιτήσεις και το δε χειμώνα να μπορεί το πλεόνασμα να αποθηκευτεί. Επίσης τυχόν προβλήματα στην διαδικασία επεξεργασίας μπορούν με αυτόν τον τρόπο να καλυφθούν και να αποφευχθεί έτσι η διοχέτευση ακατάλληλου ποιοτικά νερού στο δίκτυο άρδευσης. Τέλος επιτυγχάνεται μια επιπλέον επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μειώνονται κατά τον χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Ράμμος, 2006).

## **2.4 Καθορισμός της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων**

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του νερού είναι απαραίτητος για την αξιολόγηση της βιολογικής και χημικής επικινδυνότητας κατά τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων σε διάφορες εφαρμογές, καθώς και της αποτελεσματικότητας των μεθόδων επεξεργασίας των λυμάτων. Οι παράμετροι ποιότητας που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των επεξεργασμένων λυμάτων, βασίζονται στις σύγχρονες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων. Στον Πίνακα 2.4.1 παρουσιάζονται οι σχετικές με την ποιότητα του νερού παράμετροι. Τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων είναι σχεδιασμένα ώστε να ανταποκρίνονται στα κριτήρια ποιότητας του νερού σε βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>), ολικά αιωρούμενα

στερεά (TSS), ολική συγκέντρωση εντεροκόκκων, επίπεδα θρεπτικών ουσιών (άζωτο και φώσφορος) και υπολειμματικό χλώριο.

**Πίνακας 2.4.1.** Φυσικοχημικές παράμετροι, η σημασία τους και επίπεδα συγκεντρώσεων στα επεξεργασμένα λύματα (Asano, 1998).

Παράμετρος	Σημασία	Προσεγγιστικά επίπεδα συγκεντρώσεων στα επεξεργασμένα λύματα
<b>Ολικά Αιωρούμενα στερεά (TSS)</b>	Τα TSS μπορούν να οδηγήσουν σε αποθέσεις λάσπης και αναερόβιες συνθήκες. Μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν έμφραξη των αρδευτικών συστημάτων. Η παρουσία στερεών στα λύματα μπορεί να συσχετισθεί με την μικροβιακή μόλυνση, και τη θολότητα και με την αποτελεσματικότητα απολύμανσης.	< 1 έως 30 mg/l
<b>Οργανικοί δείκτες (TOC) Διασπώμενες οργανικές ουσίες (COD, BOD)</b>	Μέτρηση του οργανικού άνθρακα Η βιολογική τους αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε έλλειμμα οξυγόνου. Στην άρδευση μόνο μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν προβλήματα. Μικρές έως μέσες συγκεντρώσεις είναι επωφελής.	1 - 20 mg/l 10 - 30 mg/l
<b>Θρεπτικά στοιχεία N, P, K</b>	Στα επιφανειακά υδατικά συστήματα οδηγούν σε ευτροφισμό. Στην άρδευση αποτελούν ωφέλιμη πηγή θρεπτικών. Τα νιτρικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση των υπόγειων νερών.	N: 10 έως 30 mg/l P: 0.1 έως 30 mg/l
<b>Σταθερές οργανικές ουσίες (π.χ. φαινόλες, εντομοκτόνα, χλωράνθρακες)</b>	Κάποιες είναι τοξικές για το περιβάλλον, στο έδαφος συσσωρεύονται.	
<b>PH</b>	Επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων, την αλκαλικότητα, τη δομή του εδάφους και την ανάπτυξη των φυτών.	
<b>Βαρέα μέταλλα (Cd, Zn, Ni, etc.)</b>	Διαδικασίες συσσώρευσης στο έδαφος, τοξικά στα φυτά.	
<b>Παθογόνοι οργανισμοί</b>	Μέτρηση των κινδύνων για την υγεία εξαιτίας της παρουσίας των εντερικών ιών, των παθογόνων βακτηρίων και των πρωτόζωων.	κολοβακτηρίδια < 1 έως 10 <sup>4</sup> /100 ml Άλλα παθογόνα ελέγχονται από την τεχνολογία της επεξεργασίας
<b>Διαλυτά ανόργανα στοιχεία (TDS, EC, SAR)</b>	Υπερβολική αλατότητα μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες. Το βόριο, το νάτριο και το χλώριο είναι τοξικά σε ορισμένες καλλιέργειες, υπερβολική συγκέντρωση νατρίου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διηθητικότητας.	

Παραδοσιακά το αρδευτικό νερό κατατάσσεται με βάση διάφορα συστήματα ταξινόμησης ποιότητας με σκοπό την ενημέρωση του χρήστη για τα πλεονεκτήματα ή για τους κινδύνους που σχετίζονται με την χρήση του, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή παραγωγή. Τα συστήματα ταξινόμησης της ποιότητας του νερού αποτελούν



μόνο ενδεικτικές κατευθυντήριες γραμμές και η εφαρμογή τους θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στον αγρό, όταν το νερό προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συνθήκες στον αγρό επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες και είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση θα εξαρτάται κάθε φορά από τις κλιματικές συνθήκες, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, την ανθεκτικότητα σε άλατα των καλλιεργειών και από τις πρακτικές διαχείρισης. Έτσι η κατάταξη του νερού για άρδευση είναι πάντα γενική και εφαρμόσιμη για μέσες συνθήκες.

**Πίνακας 2.4.2.** Κατευθυντήριες γραμμές για αξιολόγηση της ποιότητας νερού για άρδευση (Ayers and Westcott, 1985).

Παράμετρος	Μονάδες	Επίπεδο περιορισμού χρήσης		
		Ασήμαντο	Μέτριο	Απαγορευτικό
Αλατότητα ( $EC_w$ )	dS/m	< 0.7	0.7 - 3	> 3
Ολικά διαλυτά στερεά (TDS)	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)	mg/l	< 50	50 - 100	> 100
Όξινο ανθρακικό ( $HCO_3^-$ )	mg/l	< 90	90 - 500	> 500
Βόριο (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3	> 3
Χλώριο ( $Cl^-$ ), ευαίσθητες καλλιέργειες	mg/l	< 140	140 - 350	> 350
Χλώριο ( $Cl^-$ ), ψεκαστήρες	mg/l	< 100	> 100	> 100
Χλώριο ( $Cl_2$ ), υπολειμματικό	mg/l	< 1.0	1 - 5	> 5
Υδρόθειο ( $H_2S$ )	mg/l	< 0.5	0.5 - 2	> 2
Σίδηρος (Fe), στάγδην άρδευση	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Μαγγάνιο (Mn), στάγδην άρδευση	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Άζωτο (N), ολικό	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Νάτριο ( $Na^+$ ), ευαίσθητες καλλιέργειες	mg/l	< 100	> 100	> 100
Νάτριο ( $Na^+$ ), ψεκαστήρες	mg/l	< 70	> 70	> 70
SAR	mg/l	< 3	3-9	> 9

Έχουν προταθεί πολλά συστήματα κατάταξης του αρδευτικού νερού (Αντωνόπουλος, 2003). Οι Ayers και Westcott (1985) κατατάσσουν το αρδευτικό νερό σε τέσσερις ομάδες βασισμένες αντίστοιχα στην αλατότητα, την διηθητικότητα, την τοξικότητα και τους υπόλοιπους κινδύνους. Αυτή η γενική ποιοτική κατάταξη βοηθά στην αναγνώριση πιθανών προβλημάτων στην παραγωγή των καλλιεργειών που σχετίζονται με τη χρήση συμβατικών πηγών νερού. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να εφαρμοσθούν για την εκτίμηση της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς, όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε χημικές ουσίες, όπως είναι τα διαλυμένα άλατα, η σχετική αναλογία νατρίου και τα τοξικά ιόντα. Ο Πίνακας 2.4.2 παρέχει τιμές της ποιότητας του νερού σαν γενικά πρότυπα για την εκτίμηση της ποιότητας νερού για άρδευση, ανάλογα με το βαθμό περιορισμού.

Κατά τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, πρέπει να γίνει εκτίμηση των πλεονεκτημάτων, μειονεκτημάτων και των πιθανών κινδύνων της

χρήσης αυτής. Ο Πίνακας 2.4.3 συνοψίζει τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και τους πιθανούς κινδύνους όσον αφορά τη αποθήκευση των λυμάτων, τις διάφορες ουσίες που περιέχουν και τις επιδράσεις τους στο έδαφος.

**Πίνακας 2.4.3.** Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και πιθανοί κίνδυνοι της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Κίνδυνοι
Βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας της επένδυσης όσον αφορά την διάθεση των λυμάτων και την άρδευση. Διατήρηση των καθαρών πηγών. Επαναπλήρωση των υδροφορέων μέσω βαθιάς διήθησης (φυσική επεξεργασία)	Τα λύματα παράγονται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ οι απαιτήσεις της άρδευσης σε νερό περιορίζονται στην καλλιεργητική περίοδο	Πιθανή ρύπανσης των υπογείων νερών εξαιτίας των βαρέων μετάλλων, νιτρικών και οργανικών ουσιών
Χρήση των θρεπτικών των λυμάτων (π.χ. άζωτο και φωσφορικά) Μείωση της χρήσης των συνθετικών λιπασμάτων Βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (γονιμότητα, υψηλότερες αποδόσεις)	Η παρουσία κάποιας ουσίας στα λύματα ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξική για τα φυτά ή επιβλαβής για το περιβάλλον.	Ρύπανση υπόγειων νερών από νιτρικά Συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα Τοξικότητα ορισμένων στοιχείων στα φυτά
Μείωση της επίδρασης των λυμάτων στο περιβάλλον (ευτροφισμός και ελάχιστες απαιτήσεις απόρριψης)		

Συνοψίζοντας τις θετικές και αρνητικές πλευρές, μπορεί να ειπωθεί ότι τα λύματα, ακόμη και επεξεργασμένα, σχετίζονται με κινδύνους στην υγεία και το περιβάλλον. Επιπρόσθετα υπάρχει συχνά μία χρονική ασυμφωνία μεταξύ της παροχής με λύματα και των απαιτήσεων από την αρδευόμενη γεωργία, που οδηγεί στην ανάγκη δαπανηρών εγκαταστάσεων αποθήκευσης τους.

## 2.5 Κριτήρια ποιότητας νερού για τη χρήση των λυμάτων στη γεωργία

### 2.5.1. Απαιτήσεις ποιότητας σε σχέση με τη δημόσια υγεία

Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία από την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων σχετίζονται με το βαθμό άμεσης έκθεσης στα επεξεργασμένα λύματα και την καταλληλότητα, την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος επεξεργασίας. Ο σκοπός κάθε προγράμματος επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι να προστατέψει τη δημόσια υγεία, χωρίς όμως περιορισμούς που να αποθαρρύνουν τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων. Κανονισμοί καθορίζουν τα πρότυπα της ποιότητας του νερού σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις επεξεργασίας, δειγματοληψίας και ελέγχου. Για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων στην υγεία και των προβλημάτων αισθητικής, εντατικοί έλεγχοι γίνονται κατά τη μεταφορά και χρήση των λυμάτων, αφού αυτά απομακρυνθούν από την

εγκατάσταση επεξεργασίας. Επειδή η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων συνδέεται κυρίως με την υγεία, οι περισσότερες έρευνες των επιπτώσεών τους έχουν στραφεί στην κατεύθυνση της προστασίας της δημόσιας υγείας.

Οργανικές χημικές ουσίες συνήθως εντοπίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα. Η συσσώρευσή τους μετά από συνεχή χρήση για μεγάλη χρονική περίοδο θα μπορούσε να προκαλέσει επιβλαβή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Το παραπάνω δεν πρόκειται να συμβεί με τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων στη γεωργία ή στην υδροπονία, εκτός αν σημειωθεί διαρροή σε πόσιμο νερό από λανθασμένες συνδέσεις στους αγωγούς μεταφοράς ή εάν οι αγρότες και άλλοι εργαζόμενοι δεν διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις για την προφύλαξή τους. Συνεπώς οι κύριοι κίνδυνοι για την υγεία από τις χημικές ουσίες των επεξεργασμένων λυμάτων, προέρχονται από μόλυνση των καλλιεργειών ή των υπόγειων νερών.

### **2.5.2. Απαιτήσεις ποιότητας για τη γεωργία**

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι μεγάλης σημασίας, ειδικά σε ξηρές περιοχές όπου υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή σχετική υγρασία έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλή εξάτμιση, με επακόλουθη απόθεση αλάτων που τείνουν να συσσωρεύονται στο εδαφικό προφίλ. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η διασπορά των τεμαχιδίων, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η δομή του εδάφους και η αγωγιμότητα, είναι χαρακτηριστικά ευαίσθητα στο είδος των ανταλλάξιμων ιόντων που εντοπίζονται στο αρδευτικό νερό. Έτσι όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επεξεργασμένα λύματα, πολλοί είναι οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Οι σημαντικές παράμετροι ποιότητας νερού για τη γεωργία περιλαμβάνουν ένα αριθμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του νερού, τα οποία είναι σχετικά με την απόδοση της καλλιέργειας, τη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βασικές παράμετροι ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων από αγρονομική σκοπιά είναι:

#### **2.5.2.1 Αλατότητα**

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν τα άλατα του νερού άρδευσης στα εδάφη και τα φυτά. Οι ζημιές που προκαλούνται στα φυτά, τόσο από το συνολικό ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό όσο και από συγκεκριμένα ιόντα, συνδέονται στενά με την αυξημένη αλατότητα.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φτάσουν σε επίπεδα που είναι βλαπτικά για το έδαφος, ή/και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης

των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσης τους στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσης τους με έκπλυση. Για μακρές χρονικές περιόδους, η ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται. Τα περισσότερα άλατα είναι διαλυτά και μετακινούνται εύκολα με το εφαρμοζόμενο νερό. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω.

### **2.5.2.2. Διηθητικότητα**

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορεί να επηρεάσουν και την εδαφική δομή, μειώνοντας τόσο το ρυθμό με το οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα εφαρμόζεται συχνά σε ήδη υποβαθμισμένα εδάφη, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα ακόμη μεγαλύτερο.

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς (Rhoades, 1977, Oster and Schroer, 1979), αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR (sodium adsorption ratio). Για δεδομένο SAR, η διηθητικότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται η αλατότητα του νερού άρδευσης και μειώνεται όσο μειώνεται η αλατότητα του. Για το λόγο αυτό το SAR και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού,  $EC_w$ , πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας.

### **2.5.2.3. Τοξικότητα ιόντων**

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από φυτά, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στο φυτό και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων



παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας κάνοντάς τα πιο πολύπλοκα, παρόλα που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα είναι το βόριο, το νάτριο και το χλώριο (Πανώρας και Ηλίας, 1999). Η συγκέντρωση των δύο τελευταίων είναι αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά νερού.

#### **2.5.2.4. Ιχνοστοιχεία**

Στο νερό άρδευσης αλλά και στα εδαφικά διαλύματα υπάρχουν διάφορα στοιχεία που βρίσκονται είτε σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις είτε σε συγκεντρώσεις μικρότερες από μερικά mg/l με συνήθεις τιμές μικρότερες από 100 μg/l (ιχνοστοιχεία). Μερικά από αυτά σε μικρές συγκεντρώσεις είναι πολύ σημαντικά για ανάπτυξη των φυτών, ενώ με την αύξηση των συγκεντρώσεων δρουν τοξικά.

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 παλαίωση και η σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά 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. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ανεπεξέργαστα απόβλητα μειώνονται κατά 70 έως 90% μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία (Πανώρας και Ηλίας, 1999).

#### **2.5.2.5. Θρεπτικά στοιχεία**

Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν πλεονέκτημα της άρδευσης με τέτοιο νερό, επειδή μειώνουν την ανάγκη προσθήκης θρεπτικών στοιχείων με χημικά λιπάσματα. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η περίσσεια θρεπτικών στοιχείων στα υγρά απόβλητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες. Η γενική αρχή είναι να γίνονται περιοδικοί έλεγχοι για την εκτίμηση των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στα απόβλητα, έτσι ώστε να υπολογίζονται οι ποσότητες που δίνονται στο έδαφος και φυσικά στην καλλιέργεια μέσω των αρδεύσεων. Τα θρεπτικά στοιχεία που συνήθως υπάρχουν στα υγρά αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν το άζωτο, το φώσφορο και περιστασιακά το κάλιο, τον ψευδάργυρο, το βόριο και το θείο.

### 2.5.3. Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Υπό κανονικές συνθήκες, το σύστημα άρδευσης που θα επιλεγεί θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος των καλλιεργειών, το κόστος της αρδευτικής μεθόδου και την ικανότητα διαχείρισης του συστήματος. Πάντως, όταν χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα λύματα σαν πηγή αρδευτικού νερού, ο παράγοντας της μόλυνσης των φυτών, των συγκομιζόμενων προϊόντων, των εργατών και του περιβάλλοντος πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Στον Πίνακα 2.5.3.1 παρουσιάζονται οι κίνδυνοι από την εφαρμογή επεξεργασμένων λυμάτων με διάφορες μεθόδους άρδευσης.

**Πίνακας 2.5.3.1.** Αξιολόγηση κοινών μεθόδων αρδεύσεων σε σχέση με τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων (Kandiah, 1990).

Παράμετρος αξιολόγησης	Μέθοδος άρδευσης			
	Αυλάκια	Λωρίδες	Καταιονισμός	Σταγόνες
Διαβροχή φύλλων και επακόλουθη ζημιά στα φύλλα με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής	Δεν προκαλείται ζημιά στα φύλλα γιατί τα φυτά βρίσκονται στον αυχένα των αυλακιών και δεν έρχονται σε επαφή με το νερό	Κάποια από τα κατώτερα φύλλα μπορεί να διαβραχούν, αλλά η ζημιά δεν μειώνει την παραγωγή	Μπορεί να προκληθούν μεγάλες ζημιά στα φύλλα με αποτέλεσμα σημαντική μείωση της παραγωγής	Δεν συμβαίνει καμία ζημιά στα φύλλα.
Συσσωρευση αλάτων στο ριζόστρωμα με τη συνεχή εφαρμογή	Συσσωρευση αλάτων στον αυχένα των αυλακιών με πιθανή πρόκληση ζημιών στα φυτά	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δεν συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δεν συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα	Η κίνηση των αλάτων είναι ακτινική κατά μήκος της κατεύθυνσης του νερού. Άλατα συσσωρεύονται μεταξύ των σημείων ενστάλαξης
Ικανότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλή διαθεσιμότητα για τα φυτά	Τα φυτά μπορεί να υποστούν στρες από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων	Τα φυτά μπορεί να υποστούν στρες από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου	Μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα νερού σε όλη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να μειώσει την επίδραση της αλατότητας
Καταλληλότητα χειρισμού μερικά αλατούχων λυμάτων χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις	Μέτρια έως ανεπαρκής. Οι περισσότερες καλλιέργειες υποφέρουν από ζημιά στα φύλλα με συνέπεια μειωμένη παραγωγή	Άριστη έως καλή. Σχεδόν όλες οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν με πολύ μικρή μείωση της παραγωγής

### 2.6 Μικροβιολογικά κριτήρια των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς

Είναι γνωστό ότι τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα που προορίζονται για γεωργική χρήση ανεξάρτητα από την κατεργασία στην οποία θα υποβληθούν, δεν παύουν να εγκυμονούν κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στην προσπάθεια να εξαλειψουν στο ελάχιστο τους κινδύνους αυτούς, πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει κριτήρια και οδηγίες όσον αφορά την καταλληλότητα των προς διάθεση αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς.

Επειδή όμως τα μικροβιακά είδη στα αστικά απόβλητα είναι πάρα πολλά και πρακτικά αδύνατο να μελετηθούν χωριστά, επινοήθηκαν οι λεγόμενοι μικροβιακοί δείκτες. Αυτοί συνίστανται σε ομάδες μικροβιακών ειδών με παραπλήσιες ιδιότητες και σε μεμονωμένα μικρόβια. Σκοπός των δεικτών είναι η εξερεύνηση της ύπαρξης ή μη μιας ευρύτερης ομάδας μικροβίων.

Ανάμεσα στους διεθνείς οργανισμούς ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) έχει θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στον αρδευτικό τομέα. Σύμφωνα με αυτά οι καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στον Πίνακα 2.5.3.2 στην κατηγορία Α περιλαμβάνονται οι καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται νωπά (φρούτα, ωμά λαχανικά), καθώς επίσης και κοινόχρηστοι χώροι οι οποίοι έχουν άμεση και συνεχή επαφή με το κοινό (γήπεδα, πάρκα αναψυχής). Κύριους συντελεστές της Β κατηγορίας αποτελούν τα βιομηχανικά φυτά, τα δημητριακά, εδώδιμες καλλιέργειες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, χορτοδοτικά φυτά, βοσκότοποι και κάποιες δασικές και δενδρώδεις καλλιέργειες. Επίσης και οι δύο κατηγορίες δίνουν έμφαση στην προστασία των αγροτών ως εκτεθειμένες ομάδες, με τη διαφορά ότι στην κατηγορία Α ως άμεσα εκτεθειμένοι εντάσσονται και οι καταναλωτές.

**Πίνακας 2.5.3.2.** Συνιστώμενα κριτήρια χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σύμφωνα με τον W.H.O. (World Health Organisation).

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις σκώληκες (Μ.Ο. αριθμού αυγών / lt)	Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης (γεωμετρικός Μ.Ο. ανά 100 ml)	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
A	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γηπέδων, πάρκων αναψυχής.	Αγρότες, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤1000	Σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης για να πετύχουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα.
B	Άρδευση δημητριακών, βιομ. φυτών, βοσκών, δέντρων .	Αγρότες	≤1	Δεν τίθεται όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 μέρες, ισοδύναμη απομάκρυνση παρασίτων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Άρδευση καλλιεργειών της Β κατηγορίας με επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση όταν δεν εκτίθενται αγρότες και κοινό.	Καμία	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

## 2.7 Διεθνή κριτήρια ποιότητας/νόμοι και κατευθυντήριες γραμμές

Από την δεκαετία του 70, όταν άρχισε η συστηματική επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, γίνονται προσπάθειες για τον καθορισμό κριτηρίων ποιότητας για την χρήση αυτή, με σκοπό την προστασία της δημοσίας υγείας, των καλλιεργειών, του εδάφους και το περιβάλλοντος. Αυτές οι προσπάθειες αναφέρονται στους:

- FAO (1985): Ποιοτικά κριτήρια που καθορίζουν το βαθμό καταλληλότητας του νερού για άρδευση (Ayers and Westcot, 1985).
- WHO (1989): Κατευθυντήριες γραμμές υγείας για την χρήση λυμάτων στη γεωργία και την υδροπονία. Λαμβάνεται υπόψη η μέθοδος επεξεργασίας, το σύστημα άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας που πρόκειται να αρδευτεί.
- EPA (1992): Κατευθυντήριες γραμμές για επαναχρησιμοποίηση νερού. Πέρα από τις κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα επεξεργασμένου νερού, προτείνονται έλεγχοι και μέτρα ασφαλείας.

Μια σύγκριση των διεθνών προτύπων μπορεί να βοηθήσει να αναπτυχθούν κατευθυντήριες γραμμές για κάθε συγκεκριμένο πρόγραμμα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων. Ορισμένες χώρες δεν έχουν ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, όμως εφαρμόζουν ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα λύματα (Carr, 2005), ενώ κάποιες άλλες χώρες έχουν εφαρμόσει είτε δικούς τους κανονισμούς/οδηγίες, ή έχουν θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια με βάση τους διεθνείς κανονισμούς. Η συντριπτική πλειοψηφία των χωρών τείνει να υιοθετεί και να προσαρμόζει τις όχι και τόσο αυστηρές προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ. (WHO, 1989) ή τα συντηρητικά Κριτήρια Ανακύκλωσης του Νερού της Καλιφόρνια (State of California, 2000 και Brissaud, 2008). Στην Ελλάδα, η ελληνική κυβέρνηση εξέδωσε τα πρώτα κριτήρια ανακύκλωσης του νερού το 2008, επιτρέποντας την χρήση μόνο εξαιρετικά επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για απεριόριστη άρδευση γεωργικών καλλιεργειών (Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2008). Τα νέα κριτήρια ανακύκλωσης του νερού, τα οποία έχουν πρόσφατα εκδοθεί (Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2011), αν και φαίνεται να είναι μάλλον ελπιδοφόρα, δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί σε συστήματα ανακύκλωσης του νερού.

## 2.8 Επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων στις Μεσογειακές χώρες

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και στη γεωργία στις Μεσογειακές χώρες παρουσιάζει ίδια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το κλίμα, τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους καθώς και τις κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες. Αυτές πιο συγκεκριμένα αντιστοιχούν σε ένα σχετικά μακρύ καλοκαίρι και μια μάλλον σύντομη περίοδο βροχών κατά τη διάρκεια του χειμώνα και τις αρχές της Άνοιξης. Επιπρόσθετα σημαντικά είναι η έλλειψη νερού, που σχετίζεται με την ξηρασία, την εντατική γεωργία και τον τουρισμό, που είναι οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες, την έλλειψη οικονομικών πόρων για επενδύσεις κεφαλαίων και το λειτουργικό κόστος στο δημόσιο τομέα (Salinity Engineering Laboratory, 2000).



Η χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση έχει σταδιακά υιοθετηθεί ουσιαστικά από όλες τις μεσογειακές χώρες (Marecos do Monte et al., 1996). Το Ισραήλ υπήρξε πρωτοπόρος σε αυτόν τον τομέα, και σύντομα ακολούθησαν η Τυνησία, η Κύπρος και η Ιορδανία. Η Αίγυπτος, η Παλαιστίνη, το Μαρόκο και η Συρία ανήκουν στην ομάδα χωρών, οι οποίες έχουν μεγάλη ανάγκη για την ανάπτυξη πρακτικών επαναχρησιμοποίηση του νερού. Αυτές οι πρακτικές, όμως, πρέπει να είναι εφικτές σύμφωνα με τις κρατούσες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες, δηλαδή την έλλειψη κεφαλαίου, την περιορισμένη εμπειρία, τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία πολύπλοκων συστημάτων διαχείρισης, καθώς και την ακατάλληλη υποδομή συμπεριλαμβανομένων των υπονόμων και των σταθμών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυστηρά κριτήρια επαναχρησιμοποίηση, όπως αυτά που προτάθηκαν από την Καλιφόρνια και από την EPA (1992), καθώς και από βιομηχανικές χώρες, δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα στις προαναφερθείσες χώρες, λόγω των συνθηκών που επικρατούν στην οικονομία, την τεχνολογία και τη βιομηχανία τους. Οι οδηγίες του WHO (1989) είναι πολύ λιγότερο αυστηρές, έχοντας ως σκοπό να συστήσουν ορισμένους τρόπους επεξεργασίας των αποβλήτων που προηγούνται της άρδευσης των καλλιεργειών, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Andreadakis et al., 2001). Οι οδηγίες του WHO είναι, επομένως, πιο κοντά για αυτές τις χώρες.

Τα τελευταία χρόνια, οι Ευρωπαϊκές Μεσογειακές χώρες άρχισαν να μελετούν την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς (Lazarova, 2000). Μέχρι στιγμής, μόνο σε λίγες χώρες παγκοσμίως (Αυστραλία, Ισραήλ, Νότια Αφρική, Ηνωμένες Πολιτείες), η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων έχει καθιερωθεί σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό ειδικών κανονισμών ή οδηγιών. Σε ορισμένες από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κύπρος, Ισπανία, Γαλλία και Ιταλία), οι κανονισμοί που αφορούν τη χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση είναι υπό προετοιμασία ή αναθεώρηση (Angelakis et al., 2002). Στις μέρες μας, βρίσκονται υπό αναβάθμιση επίσης οι οδηγίες του WHO (1989). Οι Blumenthal et al. (2000) έχουν προτείνει συστάσεις για αυτήν την αναθεώρηση χρησιμοποιώντας εμπειρικές επιδημιολογικές μελέτες και στοιχεία που μετρούν τις τιμές της πραγματικής έκθεσης, η οποία συμβαίνει σε σχέση με το χρόνο. Στην συνέχεια, δίνονται ορισμένα στοιχεία για την κατάσταση επαναχρησιμοποίησης στις Μεσογειακές χώρες.

**Γαλλία:** Στη Γαλλία οι καλλιέργειες αρδεύονται με νερό προερχόμενο από απόβλητα (σχεδόν έναν αιώνα). Το ενδιαφέρον για την επαναχρησιμοποίηση του νερού εμφανίστηκε ξανά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για δυο κυρίως λόγους: α) η ανάπτυξη της εντατικής αρδευόμενης γεωργίας (όπως η καλλιέργεια του αραβοσίτου) και β) η πτώση της υπόγειας στάθμης έπειτα από τις διάφορες πρόσφατες σοβαρές ξηρασίες. Λόγω αυτού του καινούριου ενδιαφέροντος για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, οι Αρχές Υγείας εξέδωσαν το 1991 οδηγίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για την άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου, αφού προηγούμενα υποβλήθουν σε επεξεργασία. Αυτές οι οδηγίες ουσιαστικά ακολουθούν τις οδηγίες του WHO. Στη Γαλλία, 20 έως 30 σταθμοί

επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, καλύπτουν περισσότερα από 3000 εκτάρια αρδευόμενης έκτασης. Σήμερα, μια από τις μεγαλύτερες εν εξελίξει έρευνες της Ευρώπης, αποτελεί το σχήμα ανακύκλωσης Clermont-Ferrand για την άρδευση περισσότερων από 700 εκταρίων αραβοσίτου.

**Ιταλία:** Η χρήση αποβλήτων που δεν έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία, έχει εφαρμοστεί στην Ιταλία τουλάχιστον από την αρχή αυτού του αιώνα, ιδιαίτερα στις μικρές πόλεις και κοντά στο Μιλάνο. Η επεξεργασία βασίζεται στις γενικές προδιαγραφές, που προβλέπει η ιταλική νομοθεσία για την ποιότητα των υδάτων. Σήμερα, τα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων που καλύπτουν πάνω από 4000 εκτάρια. Μια από τις μεγαλύτερες εφαρμογές εντοπίζεται στην Emilia Romagna, όπου περισσότερα από 450000 m<sup>3</sup>/έτος επεξεργασμένων αποβλήτων χρησιμοποιούνται για την άρδευση περισσότερων από 250 εκταρίων.

**Ισπανία:** Δημοσιεύτηκε πρόσφατα ένα νέο Εθνικό Υδρολογικό Σχέδιο, το οποίο είναι ευνοϊκό απέναντι στην επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για άρδευση. Σε κάθε περίπτωση, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι ήδη μια πραγματικότητα σε αρκετές περιοχές της Ισπανίας για τρεις κύριες χρήσεις: άρδευση γηπέδων του γκολφ, άρδευση αγροτικών καλλιεργειών, αναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων.

**Ισραήλ:** Στο Ισραήλ, περίπου το 92% των αποβλήτων συλλέγεται από τους υπονόμους των δήμων. Ακολούθως, το 72% χρησιμοποιείται για άρδευση (42%) ή αναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων (30%). Η εκροή υπονόμων που χρησιμοποιείται για άρδευση, πρέπει να πληρεί τα κριτήρια ποιότητας του νερού που έχουν τεθεί από το Υπουργείο Υγείας.

**Τυνησία:** Στην Τυνησία, τα απόβλητα αξιοποιούνται (ή υποβάλλονται σε επεξεργασία) σε περίπου 45 σταθμούς επεξεργασίας αποβλήτων, με μια συνολική παροχή σχεδιασμού 130 Mm<sup>3</sup> ανά έτος. Τα αστικά λύματα έχουν κυρίως οικιακή προέλευση (περίπου 82% οικιακά λύματα, 12% από τις βιομηχανίες και 6% από τον τουρισμό) και υποβάλλονται σε δευτεροβάθμιο βιολογικό καθαρισμό. Δεν προσφέρεται καμία περαιτέρω επεξεργασία λόγω του κόστους. Από τα έτη 1992-1996 ο ετήσιος όγκος των αποβλήτων που αξιοποιούνται, ανέρχεται σε 147 Mm<sup>3</sup>/έτος, επιτρέποντας έτσι εν δυνάμει την άρδευση επιπλέον 18000 εκταρίων. Κατά το έτος 2001, τα απόβλητα που αξιοποιήθηκαν ανήλθαν στην ποσότητα των 152 Mm<sup>3</sup>/έτος επεξεργασμένων αποβλήτων (Angelakis et al., 1998).

**Κύπρος:** Στην Κύπρο, τα απόβλητα που προέρχονται από τις κύριες πόλεις, ανέρχονται σε περίπου 25 Mm<sup>3</sup>/έτος. Ο σχεδιασμός είναι να συλλέγονται και χρησιμοποιούνται για άρδευση, αφού υποβάλλονται σε τριτοβάθμια επεξεργασία. Σύμφωνα με αυτόν τον σχεδιασμό, η αρδευόμενη γεωργία θα επεκταθεί κατά 8-10%, ενώ ταυτόχρονα θα αξιοποιείται μια ανάλογη ποσότητα νερού για άλλους τομείς (Papadopoulos, 1995).

**Ελλάδα:** Στην Ελλάδα, η ζήτηση για νερό έχει αυξηθεί σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία 50 έτη. Παρά το ικανοποιητικό μέσο ύψος βροχοπτώσεων, συχνά παρατηρείται έλλειψη ισορροπίας στο υδατικό ισοζύγιο, λόγω των χρονικών και τοπικών διακυμάνσεων που παρατηρούνται όσον αφορά τη βροχόπτωση, της αυξημένης ζήτησης για νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και της δυσκολίας στη μεταφορά του νερού εξ αιτίας του ορεινού ανάγλυφου. Επιπλέον, σε πολλές περιοχές της νοτιοδυτικής Ελλάδας υπάρχει έντονη πίεση για εξεύρεση πηγών γλυκού νερού, γεγονός που οφείλεται στην ιδιαίτερα υψηλή ζήτηση για νερό με στόχο την κάλυψη των αναγκών στις περιοχές με τουρισμό και για άρδευση. Επομένως, η ένταξη της επεξεργασίας των αποβλήτων στα προγράμματα διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα.

Σήμερα, το 65% των νοικοκυριών της ελληνικής επικράτειας συνδέεται με πάνω από 350 σταθμούς επεξεργασίας υγρών απόβλητων, με συνολική χωρητικότητα πάνω από 1.45 Mm<sup>3</sup>/ημέρα (Angelakis et al., 2002). Μία ανάλυση των δεδομένων, που αφορούν το υδατικό ισοζύγιο στην περιοχή των σταθμών επεξεργασίας, έδειξε ότι περισσότερο από το 83% των επεξεργασμένων αποβλήτων παράγεται σε περιοχές με έλλειμμα στο υδατικό ισοζύγιο. Επομένως, η επαναχρησιμοποίηση του νερού σε αυτές τις περιοχές θα ικανοποιούσε την υπάρχουσα ζήτηση για νερό. Ήδη έχουν ξεκινήσει στην Ελλάδα διάφορα ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα που ασχολούνται με την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων (Angelakis et al., 1999). Οι Tsagarakis et al. (2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων των υπαρχόντων σταθμών επεξεργασίας υγρών απόβλητων, ιδιαίτερα για αρδευτικούς σκοπούς, μπορούν να αυξηθούν έως και 242 Mm<sup>3</sup>/έτος ή κατά 3.2% οι τρέχουσες χρήσεις του νερού. Επιπροσθέτως, βρίσκονται σε εφαρμογή μερικά μικρά προγράμματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων, και έχουν υιοθετηθεί οδηγίες και κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση του νερού στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Επιπρόσθετα βρίσκεται σε εξέλιξη μια προκαταρκτική μελέτη για την αναγκαιότητα καθιέρωσης κριτηρίων και στην υπόλοιπη Ελλάδα (Tsagarakis et al., 2001). Σύμφωνα με τους Andreadakis και Bontoux (2001), θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα ζητήματα για την ανάπτυξη υπολογίσιμων οδηγιών ή κανονισμών για την αξιοποίηση του νερού στην Ελλάδα.

Τα διάφορα ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα που ασχολούνται με την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού, και βρίσκονται σε εξέλιξη στην Ελλάδα είναι τα εξής:

Στην ανατολική Κρήτη, έχουν δημιουργηθεί δυο ερευνητικά προγράμματα, τα οποία βασίζονται στην επεξεργασία των λυμάτων με τεχνητά συστήματα υγροτόπων για επαναχρησιμοποίηση στην άρδευση αμπελών. Οι κύριοι στόχοι αυτών των προγραμμάτων είναι η έρευνα των υπαρχόντων φυτικών ειδών, των διαδικασιών επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων καθώς και των αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγή του ελαιολάδου. Ακόμη, ερευνάται η συμπεριφορά των αμπελών που αρδεύονται με επεξεργασμένα απόβλητα κάτω από συνθήκες παρακολούθησης.



Μια ακόμη πιλοτική έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη στην Κρήτη με πρωταρχικό στόχο την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς, χωριά και μικρές πόλεις που βασίζονται κυρίως σε σηπτικές δεξαμενές και υγροτοπικά συστήματα.

Στη Χαλκίδα, το ερευνητικό πρόγραμμα για την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση, περιλαμβάνει τη βελτίωση του νερού με το φιλτράρισμα και την απολύμανση κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περίπου 7500 m<sup>3</sup> λυμάτων ανά ημέρα και άρδευση του πρασίνου (landscape) της κατοικημένης περιοχής που περιβάλλει την πόλη.

Οι εργασίες αξιοποίησης και επαναχρησιμοποίησης στην περιοχή Άργους-Ναυπλίου περιλαμβάνουν τη βελτίωση του νερού με το φιλτράρισμα και την απολύμανση κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περίπου 17000 m<sup>3</sup> λυμάτων ανά ημέρα και άρδευση περίπου 900 εκταρίων αγροτικής καλλιέργειας.

Στη Θεσσαλονίκη υπάρχει ένας σταθμός επεξεργασίας αστικών λυμάτων, στην περιοχή της Σίνδου, ανάμεσα στη παλιά και νέα γέφυρα του Γαλλικού ποταμού, ο οποίος κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1982-1992. Το σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιείται είναι δεξαμενές σταθεροποίησης και ενεργός ιλύς, ενώ τα τελευταία χρόνια τα λύματα επεξεργάζονται σε υψηλότερο επίπεδο με ενεργό ιλύ και νιτροποιητικό/απονιτροποιητικό σύστημα επεξεργασίας. Η λειτουργία του σταθμού ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 1992, με ροή λυμάτων ίση προς 40,000 m<sup>3</sup> ανά ημέρα. Στη συνέχεια, και αφού βελτιώθηκε η αποτελεσματικότητα, η ροή των λυμάτων έφτασε τα 60,000 m<sup>3</sup> ανά ημέρα, που αντιστοιχούσε στο 30-40% του ολικού φορτίου λυμάτων της Θεσσαλονίκης. Από το Νοέμβριο του 2000 ο όγκος των λυμάτων έφτασε τα 140,000 m<sup>3</sup> ανά ημέρα, ενώ σήμερα ο αριθμός αυτός έχει αυξηθεί σε 150,000-160,000 m<sup>3</sup> ανά ημέρα. Ένα σημαντικό μέρος του όγκου αυτού χρησιμοποιείται για άρδευση.

Αρκετά ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Angelakis et al., 1999) και σχετικές έρευνες συνεχίζονται και στην πεδιάδα του Αγρινίου (Kalavrouziotis et al., 2005), της Πάτρας (Kalavrouziotis et al., 2006), σε αμπελώνες στην περιοχή της Μεταμόρφωσης στην Αττική (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2006) και στη Μακεδονία. Εκτός αυτού, μια προκαταρκτική μελέτη σχετικά με την αναγκαιότητα θέσπισης κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Ελλάδα έχει υλοποιηθεί (Tsagarakis et al., 2004). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι προσφάτως η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στη Βόρεια Ελλάδα, σε καλλιέργειες βαμβακιού ως μια πειραματική λύση για την μείωση των επιπτώσεων της ξηρασίας που είναι ένα επαναλαμβανόμενο πρόβλημα που εμφανίζεται στην Ελλάδα κάθε 5-7 χρόνια (Kalavrouziotis and Drakatos, 2001, Υπουργείο Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος, 2008). Επίσης, ο σχεδιασμός για την διαχείριση των λυμάτων έχει εφαρμοστεί σε καλλιεργημένες περιοχές της Δυτικής Ελλάδας (Ioukopoulos and Kalavrouziotis, 2008).

Σε άλλες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν οι Antonopoulos and Diamantidis



(1995) διερεύνησαν την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στους μετασηματισμούς του αζώτου του εδάφους που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα λύματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση του περιεχόμενου νερού και της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση και απονιτροποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για μοντέλα που προσομοιώνουν τη δυναμική του αζώτου υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες αγρού και περιβάλλοντος.

Οι Panoras et al. (2000) εξέτασαν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων με ενεργό ιλύ ή με δεξαμενές σταθεροποίησης για την άρδευση της καλλιέργειας τεύτλων με στάγδην άρδευση και με αυλάκια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα γιατί κανένας παθογόνος μικροοργανισμός δεν ανιχνεύτηκε στα επεξεργασμένα λύματα.

Σε μία από τις έρευνες αυτές που διεξήχθη από τους Panoras et al. (2001a), ερευνήθηκε η επίδραση επεξεργασμένων λυμάτων με ενεργό ιλύ ή με δεξαμενές σταθεροποίησης, στην απόδοση του βαμβακιού και στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους με στάγδην άρδευση και με αυλάκια. Κατέληξαν στο ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα με ενεργό ιλύ. Στην περίπτωση των επεξεργασμένων λυμάτων με δεξαμενές σταθεροποίησης ενδέχεται να υπάρχει πιθανός κίνδυνος. Όμως, η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων προκαλεί αύξηση της αλατότητας του εδάφους και στις δύο περιπτώσεις.

Η άρδευση του αραβόσιτου με επεξεργασμένα λύματα από ενεργό λάσπη ή δεξαμενές σταθεροποίησης μελετήθηκε από τους Panoras et al. (2001b). Κατέληξαν στο ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα προερχόμενα από ενεργό ιλύ. Επιπρόσθετα, η άρδευση με αυλάκια κλειστά στο πέρας και η στάγδην άρδευση προστατεύουν ικανοποιητικά τους αγρότες από το να έρχονται σε επαφή με το νερό. Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στο έδαφος και στους φυτικούς ιστούς ήταν αρκετά χαμηλή, σύμφωνα με τα διεθνή κριτήρια. Όμως, η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων αύξησε την αλατότητα του εδάφους και στις δύο περιπτώσεις.

Όσον αφορά το pH του εδάφους όμως υπάρχουν πολλοί ερευνητές που βρήκαν ότι η άρδευση με λύματα μειώνει το pH του εδάφους (Mohammad and Mazahreh, 2003, Vazquezmontiel et al., 1996), ενώ κάποιοι άλλοι ανέφεραν πως η μακροχρόνια άρδευση με λύματα αυξάνει το pH του εδάφους (Schipper et al., 1996). Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι η άρδευση με λύματα αυξάνει την αλατότητα του εδάφους (Rusan et al., 2007, Kalavroutiotis and Drakatos, 2004). Παρά το γεγονός ότι η αλατότητα του εδάφους μειώνεται από τις βροχοπτώσεις του χειμώνα, θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι τακτικά για να εξασφαλίζεται η μακροχρόνια χρήση των λυμάτων (Panoras et al., 2003). Δεδομένου ότι η αλατότητα θα μπορούσε να οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους και σε σοβαρές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, οι Rusan et al. (2007) πρότειναν ότι θα πρέπει να υπάρχει σωστή διαχείριση της άρδευσης με λύμα ώστε τα άλατα να ξεπλένονται από την ζώνη του ριζοστρώματος του φυτού. Η άρδευση με υπερχειλίση και η δημιουργία ενός συστήματος

αποστράγγισης θα μπορούσε να διορθώσει την αλατότητα του εδάφους (Papadopoulos et al., 2009).

Επιπλέον, η άρδευση με λύματα αυξάνει τα μακροστοιχεία του εδάφους N, P, K, καθώς αυτά τα θρεπτικά στοιχεία περιέχονται στα λύματα (Rusan et al., 2007, Monnett et al., 1996). Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα λιπάσματα με απώτερο σκοπό την μείωση του κόστους παραγωγής (Papadopoulos et al., 2009). Επίσης, έχει αναφερθεί πως η ικανότητα απορρόφησης των παραπάνω στοιχείων έχει αυξηθεί από τα φυτά με την άρδευση των λυμάτων (Day et al., 1979, Papadopoulos and Stylianou, 1988), με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών (Day et al., 1979, Rusan et al., 2007). Για παράδειγμα, ο Nguyen Ngoc Thu (2001) διαπίστωσε πως η απόδοση του ρυζιού αυξήθηκε κατά 10-15% όταν καλλιεργήθηκε με λύμα. Παρά το γεγονός ότι αυτά τα θρεπτικά συστατικά θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ανάπτυξη των φυτών, θα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά, ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευσή τους σε κρίσιμα επίπεδα (Rusan et al., 2007).

Τέλος, οι Panoras et al. (2003) ανέφεραν ότι η άρδευση με λύματα σε καλλιέργεια με καλαμπόκι δεν είχε σημαντική επίδραση στα ιχνοστοιχεία και στα βαρέα μέταλλα του εδάφους και των φυτών (π.χ. B, Cr, Cu, Pb, Ni), δεδομένου ότι τα στοιχεία αυτά βρέθηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Από την άλλη πλευρά, αν και οι Mohammad και Mazahreh (2003) παρατήρησαν ότι η άρδευση με λύματα δεν είχε σημαντική επίπτωση στα στοιχεία του εδάφους Pb, Cd, Cu και Zn ωστόσο παρατηρήθηκε μια αύξηση Fe και Mn. Σε πειράματα κριθαριού παρατηρήθηκε αύξηση Pb και Cd αλλά σε αποδεκτά επίπεδα (Rusan et al., 2007). Οι Papadopoulos et al. (2009) ανέφεραν ότι ακόμη και στην περίπτωση του ρυζιού δεν υπήρχε κίνδυνος για την υγεία, δεδομένου ότι η απορρόφηση των βαρέων μετάλλων από το φυτό ήταν η μικρότερη από την συγκέντρωση που είχαν στο λύμα και στο χώμα.

Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται περισσότερες έρευνες όσον αφορά στην επίδραση των επεξεργασμένων λυμάτων στην απόδοση των φυτών, στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και τη ρύπανση των υπόγειων νερών.

## **2.9 Κοινωνική αποδοχή της χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων**

Έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε περιοχές της Θεσσαλίας και της Κρήτης με στόχο την αποκάλυψη της στάσης της κοινωνίας απέναντι στη χρήση του ανακυκλωμένου νερού στην γεωργία. Η δημόσια αποδοχή είναι προαπαιτούμενη για την κοινωνία για την δημιουργία και την προώθηση έργων επαναχρησιμοποίησης του νερού. Εκτός από την ανάγκη για παράκαμψη διαρθρωτικών εμποδίων (κόστος απαιτήσεων υποδομής, έλλειψη εμπιστοσύνης στις διασφαλίσεις ποιότητας του ανακυκλωμένου νερού, κρατική ιδιοκτησία φορέα υδροδότησης κτλ.) η κοινωνική συναίνεση είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί η χρήση αυτού του νερού. Η εμπειρία έχει δείξει ότι το κοινωνικό μάρκετινγκ δεν είναι αρκετό, γι' αυτό και η απόφαση για την χρήση ανακυκλωμένου νερού πρέπει να είναι μια συμμετοχική διαδικασία, με

συνεισφορές από την εκπαίδευση και τις αρχές, μέχρι το κοινό να πειστεί για την ασφάλεια αυτού του νέου προϊόντος. Επιπλέον, η τιμή του ανακυκλωμένου νερού πρέπει να βρίσκεται σε αρμονία με τις προτιμήσεις των καταναλωτών, τις προτιμήσεις των γεωργών, και η αναθεώρηση της τιμής του αρδευτικού νερού να αντανακλά την πραγματική σπανιότητά του.

Το ανακυκλωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στην γεωργία για την άρδευση διάφορων καλλιεργειών. Οι αγρότες είναι πρόθυμοι στο να χρησιμοποιήσουν αυτό το νερό, ιδίως όταν το αρδευτικό νερό δεν επαρκεί αλλά και γιατί θέλουν να συμμετέχουν σε δράσεις φιλικές προς το περιβάλλον. Οι καταναλωτές, από την άλλη πλευρά, φαίνεται να είναι πρόθυμοι να δεχτούν το ανακυκλωμένο νερό στα τρόφιμα που καταναλώνουν αλλά διστάζουν καθώς επηρεάζονται από το περιβαλλοντικό προφίλ της ευαισθητοποίησης, το εισόδημά τους, την τιμή και την ηλικία. Επομένως, η εκπαίδευση είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για να κάνει τους ανθρώπους να συνειδητοποιήσουν τα οφέλη του ανακυκλωμένου νερού, επιτρέποντάς τους να περάσουν από την "σίγουρα αρνητική" στην "σίγουρα θετική" στάση.

Αν το φρέσκο νερό χρεωνόταν σε τιμή ώστε να αντανακλά την σπανιότητά του, τότε το νερό θα γινόταν πιο ακριβό και οι αγρότες θα ήταν διατεθειμένοι να πληρώσουν υψηλότερα ποσά για το ανακυκλωμένο νερό. Από έρευνα που έγινε οι αγρότες δηλώνουν ότι είναι πρόθυμοι να πληρώσουν κατά μέσο όρο 0,15€ / m<sup>3</sup> ανακυκλωμένου νερού, τιμή που είναι 55% του μέσου όρου της τιμής του φρέσκου νερού. Επιπλέον, προτείνεται ότι το νομικό πλαίσιο θα πρέπει να επιβάλλει την χρήση ανακυκλωμένου νερού σε ορισμένες περιοχές. Η αρχή του "πλήρωνε γιατί δεν χρησιμοποιείς ανακυκλωμένο νερό σε περιπτώσεις όπου θα μπορούσες" και του "πλήρωνε γιατί ρυπαίνεις" αν ενσωματωθεί στην τιμολόγηση του γλυκού νερού, θα οδηγήσει περισσότερο τους ανθρώπους να χρησιμοποιούν επεξεργασμένο νερό ως αντικατάσταση του φρέσκου, ακόμη και για ορισμένες οικιακές χρήσεις. Τέλος, οι καταναλωτές απαιτούν μια έκπτωση των τιμών του επεξεργασμένου νερού ώστε να ενθαρρυνθούν και να δεχτούν αυτή την εναλλακτική πηγή νερού (Bakoroulou et al., 2010, Bakoroulou and Kungolos, 2009, Menegaki et al., 2007).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

#### **3.1 Γενικά**

Η προσπάθεια για την επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών και ποικίλων μεθόδων άρδευσης.

Μέθοδοι άρδευσης ονομάζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος.

Οι μέθοδοι αυτοί εξαρτώνται από τις εδαφικές, κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας, την ποιότητα του αρδευτικού νερού και γενικά από την γεωργοτεχνική ανάπτυξη στον τομέα των αρδεύσεων.

Για να είναι επιτυχής μία άρδευση πρέπει:

1. Να εφοδιάζει το χωράφι με τόσο νερό ώστε η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος να φθάσει στην υδατοϊκανότητα, δηλαδή να εφοδιάσει το έδαφος με νερό ίσο με την ωφέλιμη υγρασία.
2. Να περιορίσει στο ελάχιστο τις επιφανειακές απώλειες από την επιφανειακή απορροή, ώστε η αποδοτικότητα εφαρμογής να φθάνει τη μονάδα.
3. Να εφαρμόζεται το νερό ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού επί όσο χρόνο χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την βαθιά διήθηση.

Οι μέθοδοι άρδευσης διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού, σε επιφανειακές μεθόδους (κατάκλιση, λωρίδες, αυλάκια), καταιονισμό (τεχνητή βροχή) και στάγδην άρδευση (πρόσφατα, και υπόγεια στάγδην άρδευση) (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 2003, Παπαζαφειρίου, 1984, U.S.D.A., 1956).

#### **3.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης**

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η παροχή και η ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος της καλλιέργειας, το κόστος της μεθόδου και η ικανότητα του καλλιεργητή να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Στην περίπτωση άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, με περισσότερο καθοριστικούς εκείνους που ελαχιστοποιούν τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Η μέθοδος άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, ο βαθμός επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων και ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης, αποτελούν ένα αλληλοεξαρτώμενο σύστημα, όπου κάθε παράμετρος επηρεάζει τις υπόλοιπες και επηρεάζεται από αυτές. Έτσι, ένα ήδη υφιστάμενο σύστημα άρδευσης, καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων, το



βαθμό ελέγχου της ανθρώπινης έκθεσης και την επιλογή των καλλιεργειών. Αντίθετα, οι δυνατότητες για την επιλογή ενός συστήματος άρδευσης, περιορίζονται όταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δεδομένη.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των καλλιεργειών διακρίνονται σε επιφανειακές (κατάκλιση, λωρίδες, αυλάκια), καταιονισμό (τεχνητή βροχή), άρδευση με σταγόνα και άρδευση με υπόγεια σταγόνα (Παπαζαφειρίου, 1984, U.S.D.A., 1956).

### **3.2.1 Άρδευση με κατάκλιση ή λωρίδες**

Η άρδευση με κατάκλιση ή λωρίδες, απαιτεί πλήρη κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Αυτός ο τρόπος άρδευσης, μολύνει τμήμα της φυλλικής επιφάνειας των φυτών που έρχεται σε επαφή με τα απόβλητα, καθώς και τη συγκομιζόμενη ρίζα. Επίσης, εκθέτει σημαντικά τους καλλιεργητές στα απόβλητα. Επομένως, σε σχέση με τη διαφύλαξη της υγείας οι δύο παραπάνω μέθοδοι, δεν είναι ικανοποιητικές.

### **3.2.2 Άρδευση με αυλάκια**

Κατά την άρδευση με αυλάκια δεν διαβρέχεται όλη η επιφάνεια του εδάφους, γεγονός που μειώνει τους κινδύνους μόλυνσης των φυτών τα οποία αναπτύσσονται στον αυχένα των αυλακιών. Η μόλυνση των αγροτών είναι μέση έως υψηλή, εξαρτώμενη από τον αυτοματισμό του συστήματος. Αν τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μεταφέρονται με σωλήνες και διανέμονται στο κάθε αυλάκι χωριστά, ο κίνδυνος για τους χειριστές είναι μηδαμινός. Για να αποφευχθεί το λίμνασμα των επεξεργασμένων αποβλήτων και για την επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης πρέπει να γίνει λεπτομερής τοπογραφική διαμόρφωση του εδάφους (Dedrick et al., 1982, Παπαζαφειρίου, 1984, Χατζηγιαννάκης και Θεοδώρου, 1991, Πανώρας κ.ά. 1993) και να δοθεί η κατάλληλη κλίση.

### **3.2.3 Άρδευση με καταιονισμό**

Θεωρείται η πιο αποδοτική μέθοδος άρδευσης όταν το δίκτυο έχει σχεδιαστεί σωστά και ο βαθμός απόδοσής του είναι υψηλός. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα απόβλητα, είναι αυξημένος ο κίνδυνος μόλυνσης τόσο της καλλιέργειας όσο και των παραγωγών. Ακόμη με τον καταιονισμό οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στο προς άρδευση λύμα, έχουν μεγάλες πιθανότητες να διασπαρθούν σε κοντινές κατοικημένες περιοχές με τη βοήθεια του ανέμου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν άμεσοι κίνδυνοι για την υγεία των κατοίκων.

Τα συστήματα καταιονισμού επηρεάζονται περισσότερο σε σχέση με τα επιφανειακά από την ποιότητα του νερού. Η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα όταν

είναι μεγάλη, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται λύμα προκαλεί εμφράξεις στα ακροφύσια των εκτοξευτήρων και συσσώρευση ιζημάτων στους αγωγούς, τις βάνες και γενικότερα στο σύστημα διανομής. Επιπλέον τα επιβαρυμένα με άλατα επεξεργασμένα απόβλητα κατά τη χρήση τους είναι δυνατό να είναι υπαίτιοι ζημιών στα φύλλα και φαινομένων τοξικότητας. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του λύματος είναι επίσης δύσκολη η επέμβαση του παραγωγού στους εκτοξευτήρες γιατί θα έρθει σε εντελώς άμεση επαφή με αυτό, γεγονός που μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του.

Σε γενικές γραμμές όμως τα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτερογενή επεξεργασία θεωρούνται κατάλληλα για διανομή με τη μέθοδο του καταιονισμού, αρκεί να μην έχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και το είδος της καλλιέργειας στο οποίο εφαρμόζονται να μην προορίζεται για νωπή κατανάλωση. Όσον αφορά το σύστημα άρδευσης, υιοθετούνται προληπτικά μέτρα όπως είναι η τοποθέτηση φίλτρων χαλκού ή σίτας και η αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων.

### **3.2.4 Μέθοδοι τοπικής άρδευσης (στάγδην άρδευση)**

Είναι τεχνικές άρδευσης που χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης, το οποίο όμως αντισταθμίζεται λόγω της υψηλής αποδοτικότητας που έχουν στην εφαρμογή του νερού και της δυνατότητας που παρέχουν για ομοιόμορφη διανομή και εξοικονόμησή του. Με την στάγδην άρδευση δίνεται επιπλέον η δυνατότητα στον παραγωγό εφόσον το επιθυμεί να εφαρμόσει στην καλλιέργεια και δόσεις λίπανσης (υδρολίπανση).

Όσον αφορά τη χρήση επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση, οι τοπικές μέθοδοι θεωρούνται ιδανικές επειδή: α) αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους παραγωγούς, β) δεν προκαλούν διασπορά των παθογόνων μικροοργανισμών με τον άνεμο, γ) δεν δημιουργούν απώλειες απορροής προς γειτονικές περιοχές και δ) ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών λόγω βαθείας διήθησης των αποβλήτων, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι όταν χρησιμοποιείται λύμα που έχει υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, η ύπαρξη σε αυτό αιωρούμενων στερεών σωματιδίων καθώς και η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών προκαλούν στο σύστημα εμφράξεις. Αυτό αντιμετωπίζεται επαρκώς με τη χρήση φίλτρων χαλκού και συχνό καθάρισμα με άφθονο νερό (Papadopoulos & Stylianos, 1988). Μία ακόμη πρακτική για την αποφυγή των εμφράξεων είναι η έγχυση χλωρίου στο σύστημα ή η χρήση αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία με χλώριο για την αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών και φυκών.

Τέλος επειδή η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε ασβέστιο (Ca) είναι κατά κανόνα μεγάλη είναι αναγκαίο να υπολογίζεται ο δείκτης LSI (Nakayama & Bucks, 1985, Πανώρας κ.α., 1992). Αυτός εκφράζει τον πιθανό κίνδυνο εμφραξης των σταλακτήρων από την καθίζηση του ασβεστίου.

### 3.3 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α.)

#### 3.3.1 Γενικά

Μια παραλλαγή της επιφανειακής άρδευσης με σταγόνα είναι αυτή της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Η διαφορά τους είναι ότι το νερό χορηγείται απευθείας στη ζώνη του εδάφους όπου υπάρχει η μεγαλύτερη δραστηριότητα από πλευράς των ριζών και όχι σε όλη την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Αποτελεί την πλέον σύγχρονη και αποδοτική μέθοδο αφού εφαρμόζονται μικρές ποσότητες νερού μέσα στο έδαφος και στο σημείο εκείνο που το φυτό μπορεί να κάνει την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευσή του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών σταλκτήρων, οι οποίοι βρίσκονται κατά μήκος πλαστικών αγωγών επί της γραμμής των φυτών. Η πρακτική αυτή αποδίδει υψηλή παραγωγικότητα της καλλιέργειας με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση νερού και μάλιστα χωρίς να υπάρχουν προβλήματα λόγω έκπλυσης ή απορροής (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2001, 2002, 2003).

Από ιστορικής άποψης οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν με την ευρύτερη έννοια τις ευεργετικές επιδράσεις της άρδευσης με μικρές παροχές ήταν κάποιοι παραγωγοί στη Γερμανία το 1860. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούσαν για άρδευση ένα σύστημα πηλοσωλήνων με ανοικτούς αρμούς, το οποίο τους εξυπηρετούσε ταυτόχρονα και για στραγγιστικούς σκοπούς (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 2003). Η στάγδην άρδευση εφαρμόστηκε αρχικά σε καλλιέργειες λαχανικών, οπωρώνες και αμπέλια, αλλά στις μέρες μας η χρήση της έχει επεκταθεί στις περισσότερες των γραμμικών καλλιεργειών (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997).

Η υπόγεια στάγδην άρδευση άρχισε να παίρνει σάρκα και οστά όταν το 1930 ένας Ισραηλινός μηχανικός, ο Symch Blas παρατήρησε δίπλα σε μια κάνουλα που είχε διαρροή ότι η ανάπτυξη των φυτών ήταν μεγαλύτερη. Την παρατήρηση αυτή έφερε προς βελτίωση τόσο ο ίδιος όσο και άλλες κατασκευαστικές εταιρίες και ειδικά μετά την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων (PE, PVC), το κόστος μειώθηκε σημαντικά και η νέα αυτή μέθοδος αναπτύχθηκε και έγινε πιο προσιτή στο ευρύ κοινό.

Η τεχνική αυτή έτυχε ευρείας αποδοχής ιδιαίτερα στη Μεγάλη Βρετανία και στις Η.Π.Α. όπου χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια οπωροφόρων, λαχανικών, βαμβακιού και αμπέλου, κυρίως σε περιοχές που διαθέτουν περιορισμένο αρδευτικό νερό με μεγάλη επιτυχία (Phene et al., 1992). Επίσης πειράματα που έχουν γίνει σε πολλές χώρες δείχνουν την υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι των λοιπών μεθόδων, όσον αφορά την απόδοση των καλλιεργειών, την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας και την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά.

Εργασία που έγινε στα νησιά Χαβάη των Η.Π.Α., έδειξε ότι η κατανάλωση ενέργειας σε αντλία που χρησιμοποιήθηκε για την παροχή νερού με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης, μειώθηκε 30-90% σε σχέση με αυτή που απαιτείται για

άρδευση με καταιονισμό σε αντίστοιχη καλλιεργούμενη έκταση (I-Pai Wu, 1994). Ο Ruskin (2000) αναφέρει επίσης ότι, σε εδάφη μέσης και βαριάς υφής η κίνηση του νερού οφείλεται κατά κύριο λόγο στις τριχοειδείς δυνάμεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό μέσω της μεθόδου αυτής να μπορεί να εφαρμόζεται σε μικρά ποσά και με μεγάλη συχνότητα.

Ο Solomon (1993) αναφέρει ότι με την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση το νερό άρδευσης και τα εκχυόμενα χημικά, όπως τα λιπάσματα, παροχετεύονται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των φυτών. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερο πλεονέκτημα για θρεπτικά στοιχεία με χαμηλή κινητικότητα στο έδαφος. Στην Υπόγεια Στάγδην Άρδευση τα επιφανειακά 15-20cm του εδάφους έχουν χαμηλότερη υγρασία όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος 45cm, με συνέπεια η εξάτμιση του νερού από το έδαφος να περιορίζεται. Σε ένα σχετικά ξηρό επιφανειακά χωράφι επιτρέπεται η διέλευση των μηχανημάτων καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο και αποτρέπεται η ανάπτυξη των ζιζανίων. Επιπλέον, περιορίζονται οι σηψιριζίες και άλλες ασθένειες του εδάφους που προσβάλλουν τα φυτά και αποφεύγεται η δημιουργία κρούστας στο έδαφος, η οποία εμποδίζει τον αερισμό του εδάφους και την διείσδυση του νερού της βροχής, προκαλώντας επιφανειακή απορροή. Εκτός αυτών, το υπόγειο αρδευτικό σύστημα δεν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και τις ακραίες καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το βασικότερο όμως, από όλα τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των εργατικών χεριών, το κόστος των οποίων είναι αρκετά μεγάλο στις ανεπτυγμένες χώρες.

Οι Hanson et al. (1997) σε πείραμα σύγκρισης επιφανειακής στάγδην άρδευσης, Υπόγεια Στάγδην Άρδευσης και άρδευσης με αυλάκια σε καλλιέργεια μαρουλιού, διαπίστωσαν παρόμοια απόδοση της καλλιέργειας όσον αφορά την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση και τα αυλάκια, ενώ η επιφανειακή στάγδην άρδευση έδωσε μικρότερη απόδοση. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού για τις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης κυμάνθηκε από 43% έως 74% της ποσότητας που χορηγήθηκε με τη μέθοδο των αυλακιών. Η παραλλακτικότητα στη μάζα των φυτών ήταν ανάλογη της παραλλακτικότητας της εκροής του σταλακτήρα για τις μεταχειρίσεις της στάγδην, ενώ η παραλλακτικότητα της μάζας στη μέθοδο με αυλάκια δεν επηρεάστηκε από τον τύπο του εδάφους και την υγρασία του. Η μικρότερη παραλλακτικότητα στη μάζα των φυτών παρουσιάστηκε στις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης.

Σε μια εργασία ανασκόπησης, οι Ayers et al. (1999) παρουσίασαν τα αποτελέσματα μιας 15ετούς έρευνας στην Υπόγεια Στάγδην Άρδευση. Οι καλλιέργειες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ήταν η τομάτα, το βαμβάκι, το γλυκό καλαμπόκι, η μηδική και το πεπόνι. Τα αποτελέσματα από τις παραπάνω έρευνες έδειξαν μια εμφανή υπεροχή της Υπόγεια Στάγδην Άρδευσης όσον αφορά την απόδοση και την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά. Επίσης, η εφαρμογή της άρδευσης σε τακτά χρονικά διαστήματα μείωσε τις απώλειες νερού με βαθιά διήθηση και αύξησε την αξιοποίηση του υπόγειου νερού από τα φυτά. Οι εξετάσεις ομοιομορφίας του συστήματος έδειξαν ότι διατηρούνταν στην ίδια κατάσταση όπως



και κατά την εγκατάσταση, εάν είχε ληφθεί μέριμνα για την αντιμετώπιση της έμφραξης των σταλακτήρων.

Ο Ruskin (2000) αναφέρει ότι οι δυνάμεις που ελέγχουν την κίνηση του νερού στο έδαφος είναι κυρίως οι τριχοειδείς και η βαρύτητα. Οι τριχοειδείς δυνάμεις μειώνονται όσο πιο υγρό είναι το έδαφος, ενώ σε ξηρό έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές της βαρύτητας. Η απλή και βασική αυτή έννοια οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση πρέπει να εφαρμόζεται με μικρές διακοπτόμενες δόσεις, οπότε η κίνηση του νερού στο έδαφος γίνεται κυρίως από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Με αυτό τον τρόπο, σε εφαρμογή ίσης ποσότητας νερού έχουμε διαβροχή εδάφους με την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση 46% μεγαλύτερη από αυτή της επιφανειακής στάγδην άρδευσης.

Οι Σακελλαρίου κ.ά. (2000) σε πείραμα άρδευσης καλλιέργειας ζαχαροτεύλων έδειξαν ότι κατά την υπόγεια άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες οι τιμές της υγρασίας είναι μεγαλύτερες όσο αυξάνει το βάθος του εδάφους, σε σχέση με τις αντίστοιχες κατά την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Αυτό βοηθάει στην μεγαλύτερη πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα. Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι εφαρμόζοντας το 80% της δόσης άρδευσης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση νερού χωρίς ουσιαστική μείωση της παραγωγής στην υπόγεια άρδευση.

Οι Sakellariou et al. (2001) σε πείραμα σύγκρισης επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης, σε 2 επίπεδα δόσης άρδευσης, σε ζαχαρότευτλα διαπίστωσαν ότι η παραλλακτικότητα της απόδοσης σε βάρος ριζών ήταν μικρή στα τεμάχια της Υ.Σ.Α. αλλά η περιεκτικότητα των ριζών σε ζαχαρικό τίτλο διέφερε σημαντικά. Στα τεμάχια της επιφανειακής άρδευσης ο ζαχαρικός τίτλος δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά εντός των τεμαχίων και η απόδοση σε βάρος ριζών διέφερε σημαντικά. Ακόμη, τα ζαχαρότευτλα απέδιδαν περισσότερο σε ζαχαρικό τίτλο όταν αρδεύονταν με το 100% της δόσης άρδευσης και σε βάρος ριζών όταν αρδεύονταν με το 80% της δόσης άρδευσης.

Επίσης, οι Σακελλαρίου κ.ά. (2003) σε πείραμα άρδευσης του ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor* L.) με δύο μεθόδους, επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση, διαπίστωσαν σαφή υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και σημαντικά μεγαλύτερη τελική απόδοση ξηρής βιομάζας.

Οι Αλεξίου κ.α. (2003) σε πείραμα σύγκρισης της υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαβμακιού διαπίστωσαν ότι η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι μεγαλύτερη στην υπόγεια στάγδην άρδευση λόγω της μικρότερης ισαποχής των σταλακτηφόρων αγωγών. Επίσης, η εφαρμογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του νερού κατά 20% σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο. Ακόμη, η υπόγεια στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε αργιλώδη εδάφη, τα οποία συνήθως παρουσιάζουν μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

Ακόμη, οι Sakellariou et al. (2003) σε πείραμα άρδευσης καλλωπιστικών κωνοφόρων δένδρων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και με μέθοδο την Υ.Σ.Α. διαπίστωσαν την καλή διύγνωση του ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων με τη μέθοδο T.D.R. Η μεγαλύτερη αύξηση της εδαφικής υγρασίας παρατηρήθηκε στα βάρη 15-30 και 30-45cm, όπου τα φυτά αναπτύσσουν τον κύριο όγκο ριζών.

Οι Σακελλαρίου κ.ά. (2003) χρησιμοποίησαν την Υ.Σ.Α. για άρδευση γλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Επιλέχθηκε η Υ.Σ.Α. γιατί δεν τίθεται όριο μικροβιολογικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων για άρδευση με χρησιμοποίηση της υπόγειας σταγόνας.

### 3.3.2 Περιγραφή του συστήματος

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα Υ.Σ.Α. αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- δίκτυο μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει το νερό από το χώρο υδροληψίας στους αγωγούς εφαρμογής, και αποτελείται από τους κύριους ή δευτερεύοντες αγωγούς. Οι κύριοι αγωγοί έχουν συνήθως μεγάλη διάμετρο (μεγαλύτερη από 30mm πάχος), είναι από άκαμπτο πλαστικό το οποίο συνήθως τοποθετείται υπόγεια για την αποφυγή καταστροφής από τις καιρικές συνθήκες και για διευκόλυνση των γεωργικών εργασιών.

- δίκτυο εφαρμογής

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από τους αγωγούς εκείνους που διοχετεύουν το νερό απευθείας στα φυτά μέσω των σταλακτήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι ανά σταθερά διαστήματα. Συνίστανται από μαλακό πλαστικό και έχουν μικρή διάμετρο, συνήθως 12-16mm ίσως φτάνουν και τα 25mm με αντοχή 4-6atm πίεση.

- σταλακτήρες

Οι σταλακτήρες είναι ειδικές κατασκευές από τις οποίες το νερό πρέπει να βγαίνει με την μορφή σταγόνας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η παροχή του σταλακτήρα πρέπει να παραμείνει μικρή και σταθερή, χωρίς να επηρεάζεται από μεταβολές της πίεσης στον αγωγό. Οι σταλακτήρες ανάλογα με το είδος ροής του νερού, διακρίνονται σε τυρβώδη και στρωτή. Οι σταλακτήρες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην σύγχρονη άρδευση είναι αυτή της τυρβώδης ροής, ενώ ταυτόχρονα είναι αυτορρυθμιζόμενοι και αυτοκαθοριζόμενοι, δηλαδή μπορούν να διατηρήσουν την παροχή σταθερή ανεξάρτητα από το φορτίο. Η παροχή στους σταλακτήρες δεν μπορεί να μεταβληθεί από την θερμοκρασία, επειδή χρησιμοποιούνται οι σταλακτήρες με τυρβώδη ροή, αλλά και το ότι οι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος τέτοιο που δεν επηρεάζεται εύκολα (Klocke et al., 1995). Οι σταλακτήρες τοποθετούνται πάνω στους αγωγούς εφαρμογής.

- μονάδα ελέγχου

- φίλτρα

Πρώτο στοιχείο της μονάδας ελέγχου είναι τα φίλτρα, τα οποία έχουν ως σκοπό την πρόληψη από εμφράξεις του συστήματος από τα φερτά υλικά του νερού. Ανάλογα με το μέγεθος τους τα φερτά υλικά, μπορεί να μειώσουν σημαντικά την παροχή. Τα φίλτρα χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες ανάλογα του μεγέθους των υλικών: α) φίλτρα σίτας, β) υδροκυκλώνες και γ) φίλτρα χαλικιών ή άου. Τα πρώτα φίλτρα αποτελούνται από σίτες από διηθητικό πλέγμα που συγκρατεί μεταλλικά ή πλαστικά νήματα και χρησιμοποιείται κυρίως σε περίπτωση νερού που περιέχει λεπτόκοκκα υλικά. Οι υδροκυκλώνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε υλικά σχετικής μεγάλης διαμέτρου, ενώ τα φίλτρα άου χρησιμοποιούνται κυρίως σε νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικής ύλης και μικροφύκη.

- υδρολιπαντήρες

Με τους υδρολιπαντήρες είναι εφικτή η εφαρμογή λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων εδάφους. Λειτουργούν είτε με διαφορετική πίεση είτε με αντλία.

- αντλία

Με την αντλία είναι εφικτή η μεταφορά νερού σε όλα τα μέρη του συστήματος. Λειτουργεί συνήθως με ρεύμα και έχει βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης.

- βαλβίδες κενού αέρος

Σε ένα δίκτυο υπόγειας άρδευσης είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ειδικά συστήματα με τα οποία αποφεύγονται τα προβλήματα από αναρροφήσεις ή εμφράξεις του δικτύου. Συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικές βαλβίδες κενού αέρος, που εμποδίζουν την εμφάνιση του φαινόμενου της αναρρόφησης.

- προγραμματιστής

Είναι μηχανισμός που αυτοματοποιεί πλήρως την άρδευση. Βοηθά στην έναρξη και παύση της άρδευσης.

### 3.3.3 Αποδοτικότητα του συστήματος

Η αποδοτικότητα ενός συστήματος στάγδην άρδευσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_f = TR * E_U$$

Όπου TR είναι η ποσότητα του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και Ef είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού.

### 3.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μια επαναστατική και σχετικά νέα μέθοδος, η οποία έχει σημαντικές ωφέλειες τόσο στο γεωργικό τομέα, όσο και από περιβαλλοντικής άποψης. Τόσο τα πειραματικά στοιχεία όσο και η ευρεία χρήση της σε πολλές ανά τον κόσμο χώρες αποδεικνύουν ότι είναι μια πρακτική με πολλά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές ξηρές και ημιξηρικές που αντιμετωπίζουν προβλήματα με τη διαχείριση του αρδευτικού νερού λόγω έλλειψης πόρων. Με αφορμή λοιπόν τα παραπάνω γίνεται μια παράθεση των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από την επιλογή της ως αρδευτικής μεθόδου.

- 1) Γίνεται πιο αποτελεσματική χρήση του νερού σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, αφού αυτό εφαρμόζεται σε μικρότερες ποσότητες και με μεγαλύτερη συχνότητα.
- 2) Μειώνονται οι υδατικές απώλειες λόγω εξάτμισης του από το έδαφος και διαπνοής του από την καλλιέργεια, λόγω του ότι χορηγείται στα φυτά το απαιτούμενο για τις ανάγκες τους νερό και όχι επιφανειακά. Παράλληλα μειώνεται η διαπνοή του από παρακείμενα ζιζάνια, γιατί η υγρή ζώνη του εδάφους περιορίζεται κατά μήκος του αγωγού εφαρμογής και όχι σε όλη την έκταση του αγροτεμαχίου.
- 3) Το σύστημα της υπόγειας άρδευσης έχει ευρεία χρήση σε όλους τους τύπους εδαφών.
- 4) Μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς και ειδικότερα σε αγροτεμάχια όπου το ανάγλυφό τους παρουσιάζει περίεργους σχηματισμούς ή η τοπογραφία της περιοχής είναι προβληματική, χωρίς να χρειάζονται διάφορες χωματοργικές επεμβάσεις όπως είναι η ισοπέδωση.
- 5) Η αρνητική πίεση του νερού στο έδαφος παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, διευκολύνοντας έτσι την πρόσληψη του από τα φυτά. Οι άριστες τιμές για την αρνητική πίεση κυμαίνονται μεταξύ 0 και 3 Atm, στις οποίες η διαθέσιμη για την καλλιέργεια εδαφική υγρασία προσεγγίζει την υδατοϊκανότητα του εδάφους.
- 6) Ρυθμίζοντας την εδαφική υγρασία στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με την υπόγεια στάγδην άρδευση, τα φυτά αναπτύσσονται σε ένα ιδανικό περιβάλλον από πλευράς υγρασίας χωρίς να υποστούν υδατικό στρες.
- 7) Επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις και αύξηση του όγκου παραγωγής, πράγμα το οποίο είναι και το ζητούμενο στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις.
- 8) Επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή του νερού στην καλλιέργεια.
- 9) Λόγω ομοιόμορφης κατανομής του νερού, ευνοείται η ομοιόμορφη ανάπτυξη της καλλιέργειας με αποτέλεσμα αυτή να ωριμάζει νωρίτερα. Η πρόωμη συγκομιδή σε συνδυασμό με τις υψηλές αποδόσεις που πετυχαίνονται, δίνουν ένα ικανοποιητικό



εισόδημα στον παραγωγό και συγκριτικά καλύτερο από τις άλλες μεθόδους που μπορεί να εφαρμοστούν για την ίδια καλλιέργεια.

10) Λόγω της μείωσης των υδατικών απωλειών από τη διήθηση και την επιφανειακή απορροή, καθώς επίσης από την εξάτμιση και τη διαπνοή, εξοικονομείται περισσότερο νερό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους κοινωφελείς σκοπούς. Αυτό συμβάλλει στην προστασία των υδατικών πόρων και αποτελεί μία ορθή περιβαλλοντική πρακτική.

11) Μειώνεται το κόστος άντλησης νερού και συνεπώς η κατανάλωση ενέργειας (I-Pai Wu, 1994).

12) Η εγκατάστασή του είναι μόνιμη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χειρονακτική εργασία η οποία στις αναπτυγμένες χώρες έχει μεγάλο κόστος.

13) Πλεονεκτεί στις περιοχές όπου το αρδευτικό νερό βρίσκεται σε έλλειψη ή έχει πολύ ακριβό κόστος, λόγω του ότι με τη μέθοδο αυτή εφαρμόζονται συγκεκριμένες ποσότητες νερού (Σακελλαρίου, 2003).

14) Προσφέρει τη δυνατότητα λίπανσης μέσω του συστήματος, μειώνοντας έτσι το κόστος των εισροών, ενώ παράλληλα με τη μείωση της χρήσης των λιπασμάτων αποφεύγεται και η μόλυνση των υπογείων νερών με νιτρικά λόγω έκπλυσης.

15) Η εφαρμογή των θρεπτικών συστατικών γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια όσον αφορά το πεδίο και τη χορηγούμενη ποσότητα, επειδή γίνεται απευθείας στη ζώνη διαβροχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη και πιο άμεση αφομοίωσή τους από τα φυτά (Σακελλαρίου, 2003).

16) Καθιστά δυνατή τη χρήση επανεπεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση (Σακελλαρίου, 2003, 2004), γιατί μειώνει την ανθρώπινη επαφή με αυτά. Επίσης δεν υπάρχει ανάγκη για τριτοβάθμια επεξεργασία γιατί τα νερά αυτά που περιέχουν ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λιπαντικό μέσο.

17) Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί νερό υποβαθμισμένης ποιότητας.

18) Με την εφαρμογή της αποφεύγεται η διαβροχή του φυλλώματος των φυτών, η οποία είναι παράγοντας δημιουργίας πολλών μυκητολογικών ασθενειών.

19) Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάπτυξη των ριζών και αύξηση τους προς τα βαθύτερα στρώματα. Αυτό έχει ως συνέπεια τη καλύτερη εκμετάλλευση του εδάφους και έμμεσα τη σημαντική αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών.

20) Με την εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού, αποφεύγεται η συσσώρευση του στο ριζόστρωμα, με αποτέλεσμα τον καλύτερο αερισμό των ριζών και την επάρκεια του εδάφους σε οξυγόνο που συμβάλλουν στην καλύτερη ανάπτυξη των φυτών.

21) Τα περισσότερα τμήματα ενός συστήματος υπόγειας άρδευσης είναι πλαστικά και εγκαθίστανται υπόγεια, οπότε έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση. Ακόμη το σύστημα αυτό δεν απαιτεί επανεγκατάσταση ούτε απομάκρυνσή του με αποτέλεσμα τη διασφάλιση της ακεραιότητας της

καλλιέργειας, και τη παροχή της δυνατότητας στον παραγωγό να κάνει διπλοκαλλιέργεια.

22) Η υπόγεια στάγδην άρδευση προσφέρεται για εγκατάσταση αυτοματισμών, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση χρόνου όσον αφορά το πρόγραμμα του παραγωγού.

23) Με εξαίρεση τις βροχοπτώσεις η επιφάνεια του εδάφους διατηρείται στεγνή, διευκολύνοντας την εκτέλεση καλλιεργητικών εργασιών και χωρίς να διακόπτεται η άρδευση.

24) Μέσω του συστήματος άρδευσης μπορεί να γίνει εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την καλύτερη προστασία της καλλιέργειας.

### **3.3.5 Μειονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης**

Πέρα από τον όγκο των πλεονεκτημάτων τα οποία έχει η άρδευση με σταγόνες υπογείως και την κάνουν τόσο δημοφιλή στον αναπτυγμένο κόσμο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζει η εν λόγω αρδευτική μέθοδος. Αυτά λειτουργούν ως περιοριστικός παράγοντας στη διάδοση της στις φτωχότερες κυρίως χώρες και παραθέτονται ευθύς αμέσως.

1) Το μεγαλύτερο και βασικότερο μειονέκτημα που εμποδίζει τα αναπτυσσόμενα κυρίως κράτη να ωφεληθούν από την πρακτική αυτή, είναι το μεγάλο κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης, το οποίο ποικίλει ανάλογα με την καλλιεργούμενη έκταση. Αυτό όμως λόγω της μαζικής παραγωγής των πλαστικών τμημάτων που γίνεται πλέον με επίπτωση στη μείωση των τιμών και σε συνδυασμό με τις υψηλές αποδόσεις που επιτυγχάνονται με τη μέθοδο αυτή, τείνει να αντισταθμιστεί.

2) Οι εμφράξεις που δημιουργούνται στους σταλακτήρες, αποτελούν ακόμη ένα πρόβλημα. Σε ένα σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορούν να εμφανιστούν τριών ειδών εμφράξεις. Οι μηχανικές έχουν ως αίτιο την παρουσία στερεών σωματιδίων στο αρδευτικό νερό, τα οποία με την πάροδο του χρόνου συσσωρεύονται σε διάφορα τμήματα του συστήματος δημιουργώντας προβλήματα. Οι χημικές εμφράξεις από την άλλη πλευρά προκαλούνται στο σύστημα από την καθίζηση ανθρακικών αλάτων σε συνδυασμό με την συσσώρευση ιζημάτων σιδήρου και ασβεστίου. Τέλος υπάρχουν και οι βιολογικές εμφράξεις, οι οποίες οφείλονται στην ανάπτυξη βακτηρίων, μυκήτων, αλγών και άλλων μικροοργανισμών υπό τη μορφή αποικιών εντός των δικτύων μεταφοράς και εφαρμογής.

3) Υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης αλάτων στην περιφέρεια της υγρής ζώνης και ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις σπανίζουν και το νερό το οποίο διατίθεται δεν μπορεί να τα απομακρύνει με την έκπλυση. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση της υπόγειας άρδευσης εναλλακτικά με καταιονισμό.

4) Η χρήση των γεωργικών μηχανημάτων για καλλιεργητικές εργασίες και ιδιαίτερα

στην άρροση προκαλεί μηχανικές ζημιές κυρίως στους αγωγούς μεταφοράς του αρδευτικού νερού, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ενός επιπλέον κόστους επισκευής και με ότι αυτό περικλείει.

5) Παρατηρούνται δυσκολίες όσον αφορά την παρακολούθηση και αξιολόγηση της άρδευσης, για το λόγο ότι αυτή εξελίσσεται υπογείως. Έτσι για να διαπιστωθεί αν το σύστημα είναι αποδοτικό και λειτουργεί σωστά, είναι αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση των υδρομέτρων και των καταστολέων πίεσης.

6) Τα συστήματα αυτά έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τα υπόλοιπα, γεγονός που επιβαρύνει τον παραγωγό με το επιπλέον κόστος της αντικατάστασης τμημάτων ή και ολόκληρου του συστήματος.

7) Κατά τη σπορά της καλλιέργειας και για τη φύτευση των σπόρων χρειάζεται επιπλέον επιφανειακή άρδευση, επειδή η επιφάνεια του εδάφους είναι στεγνή, με αποτέλεσμα να μην παρέχεται η επαρκής υγρασία που απαιτείται για τη διαδικασία αυτή.

8) Υπάρχει μεγάλη περίπτωση οι σταλακτήρες να φράξουν λόγω της πλευρικής ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού απαιτούνται κάποιες ενέργειες όπως είναι η χρήση εξειδικευμένων χημικών ουσιών, η χρήση σταλακτήρων με κατάλληλο σχεδιασμό και η σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Πέραν της διαχείρισης οι λοιπές ενέργειες όπως είναι λογικό ανεβάζουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

9) Η απαίτηση του συστήματος να τροφοδοτεί συνεχώς την καλλιέργεια με καθαρό νερό απαλλαγμένο από οποιουδήποτε είδους προσμίξεις και ανεπιθύμητα υλικά, καθιστά τον καθαρισμό και την αντικατάσταση των φίλτρων καθαρισμού όταν αυτό χρειάζεται αναγκαία. Αυτό έχει ως συνέπεια την επιβάρυνση του κόστους συντήρησης, καθώς επίσης και του χρόνου του παραγωγού.

### **3.4 Η πρακτική της άρδευσης**

Το βασικότερο ίσως χαρακτηριστικό της πρακτικής της άρδευσης είναι το αν αυτή είναι περιορισμένη, δηλαδή εφαρμόζεται για ορισμένα είδη καλλιεργειών ή απεριόριστη. Η περιορισμένη άρδευση, π.χ. για καλλιέργειες των οποίων οι καρποί δεν τρώγονται ωμοί προστατεύει θεωρητικά τη δημόσια υγεία, αλλά είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη. Η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης γίνεται όταν υπάρχουν οι ακόλουθες συνθήκες (Pescod, B., 1992):

- i. Εφαρμόζονται αυστηρά οι υπάρχοντες σχετικοί νόμοι και ελέγχεται η εφαρμογή τους.
- ii. Υπάρχει ειδική κρατική υπηρεσία που ελέγχει τη διακίνηση των επεξεργασμένων αποβλήτων.
- iii. Υπάρχει κεντρική διαχείριση και έλεγχος του έργου άρδευσης.

- iv. Υπάρχει μεγάλη οικονομική απόδοση (έντονη ζήτηση και υψηλή τιμή πώλησης) των προϊόντων των περιορισμένων καλλιεργειών.
- v. Δεν υπάρχουν εναλλακτικές καλλιέργειες απεριόριστης άρδευσης με σχετικά σημαντική οικονομική απόδοση.

Είναι προφανές ότι η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης είναι πολύ δύσκολη διότι απαιτεί την ύπαρξη αυστηρής νομοθεσίας, τη συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο των έργων, καθώς και την αυστηρή εφαρμογή των σχετικών νόμων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σωστή ενημέρωση των γεωργών και η προσπάθεια υποστήριξης τους με κάθε τρόπο ώστε να τους εξασφαλίζεται η σταθερή παραγωγή και η μεγαλύτερη απόδοση των περιορισμένων καλλιεργειών τους, ώστε να μην οδηγηθούν στην εφαρμογή καλλιεργειών απεριόριστης άρδευσης.

Για τις ελληνικές συνθήκες, δεν συνιστάται προς το παρόν η εφαρμογή της περιορισμένης άρδευσης. Κατά συνέπεια η προσπάθεια πρέπει αρχικά να στραφεί στην εξασφάλιση καλής ποιότητας αρδευτικού νερού, δηλαδή επεξεργασμένων αποβλήτων μετά από τουλάχιστον δευτεροβάθμια, αλλά και πρόσθετη τριτοβάθμια ή και τεταρτοβάθμια επεξεργασία.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της πρακτικής της άρδευσης είναι το αν χρησιμοποιείται στο αρδευτικό δίκτυο νερό διαφορετικής προέλευσης και όχι μόνο από επεξεργασμένα απόβλητα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μείγμα των αρδευτικών νερών ή να εφαρμοστούν τα διαφορετικά είδη αρδευτικών νερών σε διαφορετικές περιόδους, ανάλογα με τις ανάγκες και τη διαθεσιμότητα του καθενός. Η ύπαρξη εναλλακτικής πηγής αρδευτικού νερού, ακόμα και με τη μορφή της εφεδρείας εξασφαλίζει και ψυχολογικά τον αγρότη ότι ακόμα και σε περίπτωση προβλήματος στη τροφοδότηση με επεξεργασμένα απόβλητα, δε θα δημιουργηθεί πρόβλημα έλλειψης νερού στις καλλιέργειες του.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 4.1 Γενικά

Το πείραμα διεξήχθη στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην ευρύτερη περιοχή του Βελεστίνου (Ν. Μαγνησίας) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010.

Μελετήθηκε η επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση του ηλίανθου (*Helianthus annuus*) ως ενεργειακού φυτού, και η αξιολόγηση της εξοικονόμησης νερού από τη χρήση υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης καθαρού νερού.

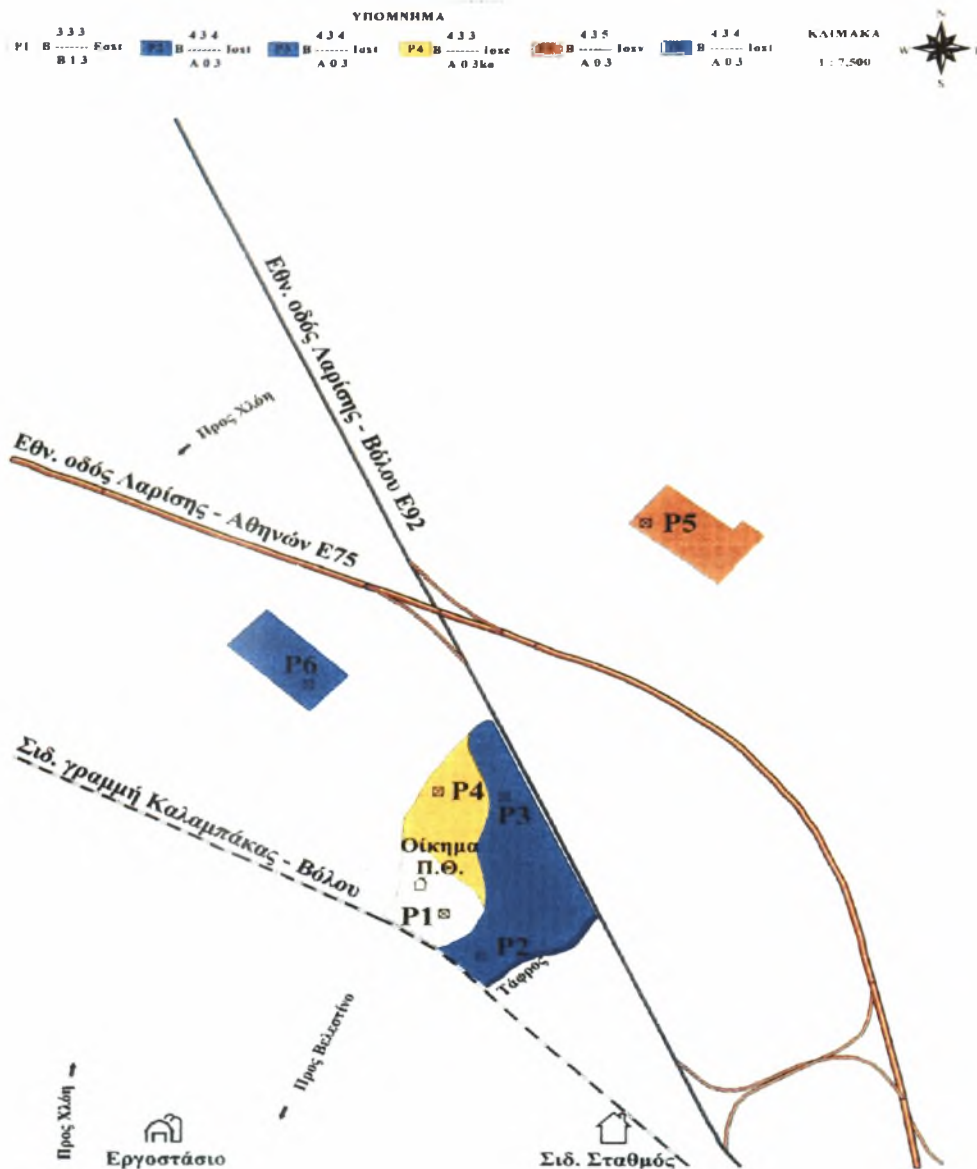
#### 4.2 Εδαφολογικά δεδομένα

Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι: Υψόμετρο 70 m, Γεωγραφικό πλάτος 39°23' Βόρειο, Γεωγραφικό μήκος 22°45' Ανατολικό. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το έδαφος στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα είναι καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλαιοαργιλοπηλώδους υφής που ανήκει στην ομάδα των Inceptisols και υπό-ομάδα των Typic Xerochrepts. Το έδαφος αυτό έχει κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη. Ο βαθμός οξύτητας του βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (pH 7,9-8,2) χωρίς ακόμα να είναι προβληματικός. Έχει πολύ καλά αναπτυγμένο πορώδες αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους. Η οργανική ουσία του είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα αλλά είναι επαρκής και μέχρι το βάθος των 60 εκ. (Μήτσιος κ.ά., 2000).

Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας *xeric* και εδαφικής θερμοκρασίας *thermic*. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Na, Mg, K και η C.E.C. γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, ενώ η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με το Cu (Μήτσιος κ.ά., 2000).

Παρόλα αυτά, παρακάτω σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων που έγιναν στον πειραματικό αγρό, κατά την έναρξη διεξαγωγής και λήξης του πειράματος (τέλος Μαΐου και τέλος Σεπτεμβρίου 2010) (Εικόνα 4.2.1).

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το τοπογραφικό διάγραμμα του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και στον Πίνακα 4.2.1 οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες της εδαφοτομής P2 (Μήτσιος κ.ά., 2000).



Σχήμα 2. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού στο Βελεστίνο.

Εδαφοτομή: P2

Τάξη: Inceptisol

Υποομάδα: Typic xerochrept

Χαρτογραφική μονάδα:  $B \frac{434}{A03} lox$

Πίνακας 4.2.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P2.

Βάθος (cm)	Ορίζοντας	Χρώμα Υφυγρο	Κοκκομετρική Σύσταση %			Υφή	Δομή	Όριο οριζόντων
			S	Si	C			
0-34	Ap	10YR 4/6	25	38	37	CL	3m sbk	A
34-62	BA	10YR 3/4	30	29	41	C	1f sbk	G
62-96	Bw	10YR 3/3	35	28	37	CL	2f sbk	G
96-114	BC	10YR 4/4	47	22	31	SCL	2f sbk	C
114-154	C	7,5YR 4/4	56	17	27	SCL	1f sbk	

Βάθος (cm)	Οργανική Ουσία (O.Y.) (g/100g εδάφους)	Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> %	pH (H <sub>2</sub> O 1:1)	P ppm Olsen	Ανταλλάξιμα Κατιόντα				I.A.K. me/100 g Εδάφους
					K	Na	Ca	Mg	
0-34	1,10	5,0	7,9	20	0,27	0,07	25,5	6,16	32,0
34-62	1,07	14,5	8,1	9	0,38	0,15	23,7	8,54	32,8
62-96	0,70	10,7	8,2	12	0,26	0,32	23,6	7,78	32,0
94-114	0,50	5,0	8,2	9	0,29	0,36	19,5	6,70	26,8
114-154	0,13	4,6	8,0	12	0,29	0,25	17,7	5,49	23,2

Βάθος (cm)	Ιχνοστοιχεία (ppm)			
	Fe	Cu	Zn	Mn
0-34	4,50	2,82	0,80	6,80
34-62	6,40	2,32	0,38	3,40



Εικόνα 4.2.1. Δειγματοληψία εδάφους.

Παρακάτω στον Πίνακα 4.2.2 παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια εδαφολογικών παραμέτρων και αξιολογούνται σε κατηγορίες (φτωχό, επαρκώς εφοδιασμένο έδαφος κλπ.) ανάλογα με τη συγκέντρωση των στοιχείων στο έδαφος.

**Πίνακας 4.2.2.** Αξιολόγηση των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν.

<b>pH</b>	6,5-7 ελαφρώς όξινο	7,6-8,2 αλκαλικό	>8,5 προβληματικό λόγω αλάτων	
<b>Αγωγιμότητα (mS/cm)</b>	<1000 χαμηλή	1000-2000 οριακή	2000-3000 υψηλή	>3000 πολύ υψηλή
<b>% CaCO<sub>3</sub></b>	1-2 μέτρια εφοδιασμένο	2-7 επαρκώς εφοδιασμένο	7-12 αρκετά εφοδιασμένο	
<b>Οργανική ουσία %</b>	<1 φτωχό	1-1,5% μετρίως εφοδιασμένο	>2 πλούσιο	
<b>P (mg/kg)</b>	<10 χαμηλή	10-18 μέτρια εφοδιασμένο	18-25 επαρκώς εφοδιασμένο	>25 υψηλή
<b>K (mg/kg)</b>	<80 χαμηλή	80-160 οριακή	160-250 ικανοποιητική	250-300 πολύ υψηλή
<b>Zn (mg/kg)</b>	χαμηλή	1-3 μέτρια εφοδιασμένο	3-6 επαρκώς εφοδιασμένο	>6 υψηλή
<b>Cu (mg/kg)</b>	<0,8 χαμηλή	0,8-1,2 μέτρια εφοδιασμένο	1,2-2 επαρκώς εφοδιασμένο	>2 υψηλή

Πηγή: Π.Ε.Γ.Ε.Α.Α. Λάρισας.

### 4.3 Χάραξη πειραματικού αγρού

Το πείραμα διεξήχθη σε πειραματικό αγρό συνολικής επιφάνειας 200m<sup>2</sup> με την εφαρμογή ενός σχεδίου υποδιαιρεμένων πειραματικών τεμαχίων (split plot design) το οποίο περιλάμβανε δύο μεταχειρίσεις σε 4 επαναλήψεις. Η πρώτη μεταχείριση ήταν η άρδευση της προς εγκατάσταση καλλιέργειας με καθαρό νερό (ΥΚ). Η δεύτερη περιλάμβανε άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, τα οποία προέρχονταν από το Τμήμα Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων που εδρεύει στην πόλη του Βόλου (ΥΛ).

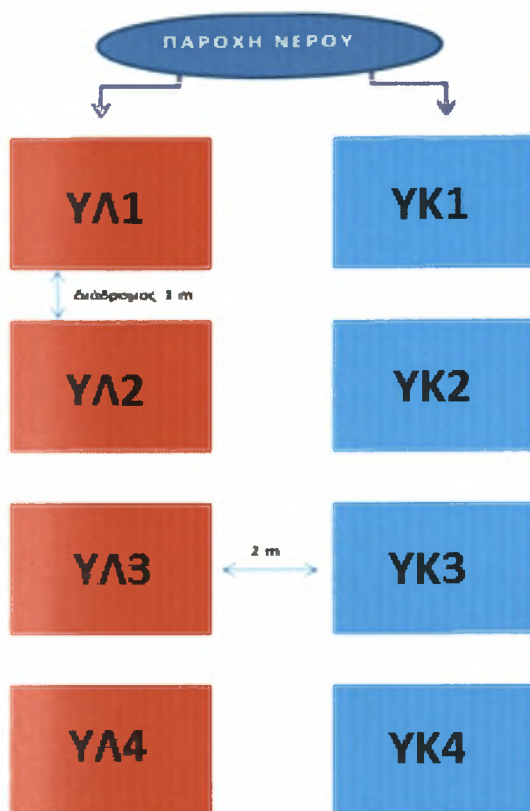


Για το σκοπό αυτό το αγροτεμάχιο υποδιαιρέθηκε σε 8 πειραματικά τεμάχια, από τα οποία τα 4 προορίστηκαν για μεταχείριση με καθαρό αρδευτικό νερό και τα υπόλοιπα 4 για μεταχείριση που περιλάμβανε άρδευση με καθαρό νερό και λύμα σε συνδυασμό. Έτσι κάθε πειραματικό τεμάχιο καταλάμβανε έκταση  $20\text{m}^2$  (5m μήκος και 4m πλάτος) και καλυπτόταν από 4 σειρές φυτών. Ανάμεσα από κάθε επανάληψη υπήρχε διάδρομος μήκους 1m και στο μέσο του αγρού, μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, παρέμεινε επίσης, χωρίς να σπαρθεί ένας διάδρομος πλάτους 2m (συνολική επιφάνεια διαδρόμων  $40\text{m}^2$ ) (Σχήμα 4.3.1).



Εικόνες 4.3.1 και 4.3.2. Χάραξη πειραματικού αγρού.

Λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε άλατα και υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου στο λύμα, κρίθηκε σκόπιμο μετά την προγραμματισμένη άρδευση με τα υγρά απόβλητα να ακολουθήσουν δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις με καθαρό νερό, αντισταθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την επιβάρυνση στο λύμα. Γενικότερα η μία μεταχείριση αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό, ενώ στην άλλη το καθαρό νερό εφαρμόστηκε σε εναλλαγή με τα υγρά απόβλητα. Επιπλέον αναφέρεται ότι η ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε και στις δύο περιπτώσεις, ήταν αρκετή για την κάλυψη του 100% της εξατμισοδιαπνοής όπως αυτή υπολογίστηκε με τη βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου A.



Σχήμα 4.3.1. Απεικόνιση πειραματικού αγρού.

#### 4.4 Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε ελαφρά κατεργασία του εδάφους με περιστροφικό καλλιεργητή (φρέζα), τύπου Terra Rotavator TM 186.

Το δεύτερο φρεζάρισμα έγινε λίγο πριν την άνοιξη και το τρίτο (δυο περάσματα) έγινε πριν τη σπορά.

Οι καλλιεργητικές εργασίες του πειραματικού αγρού ακολούθησαν την συνήθη πρακτική που εφαρμόζεται στην περιοχή για την καλλιέργεια του καλαμποκιού. Η σπορά πραγματοποιήθηκε κατά την 1 Ιουνίου του 2010, με πνευματική σπαρτική μηχανή τεσσάρων σειρών, ενώ η ποικιλία ηλίανθου που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PR64A63. Ο μέσος αριθμός φυτών ήταν 14 φυτά/m. Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε βάθος 2cm και σε αποστάσεις 80 cm μεταξύ των γραμμών και 7 cm επί της γραμμής (πληθυσμιακή πυκνότητα σποράς 13.600 φυτά/στρ.). Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε πότισμα με τη μέθοδο του καταιονισμού και το φύτρωμα της καλλιέργειας ολοκληρώθηκε περίπου στις 13 Ιουνίου και παρουσίασε περίπου 95% επιτυχία, ενώ κατά τη διάρκεια του πειράματος έγιναν όλες οι απαραίτητες καλλιεργητικές φροντίδες που χρειάστηκαν για να αναπτυχθεί η καλλιέργεια. Να σημειωθεί ότι στα τέλη Αυγούστου υπήρξαν επιδρομές από πουλιά τα οποία κατέστρεψαν μέρος της καλλιέργειας. Το γεγονός αυτό όμως ήταν σχετικά

μικρής έκτασης και δεν είχε καταστροφικές επιπτώσεις στη γενικότερη διεξαγωγή του πειράματος.

Όσον αφορά τις διάφορες εργασίες στον αγρό κατά τη διάρκεια του πειράματος έχουμε να αναφέρουμε τα εξής. Στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική αγωγή ή άλλου είδους προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος των πειραματικών τεμαχίων. Εκτός από την εφαρμογή ζιζανιοκτόνου (PENDIGAN 33 EC) που έγινε την ίδια ημέρα μετά την σπορά, δεν εφαρμόστηκε κανένα άλλο φυτοπροστατευτικό προϊόν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. Έγιναν συγκεκριμένα δυο σκαλίσματα χειρονακτικά για τον έλεγχο των ζιζανίων όταν αυτά βρισκόνταν σε υψηλούς πληθυσμούς εντός του πειραματικού αγρού.



**Εικόνα 4.4.1.** Πειραματικός αγρός πριν τη σπορά.





Εικόνες 4.4.3 και 4.4.4. Η πνευματική σπартική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για τη σπορά.



Εικόνες 4.4.5 και 4.4.6. Η σπορά του πειραματικού αγρού στις 1/6/2010.





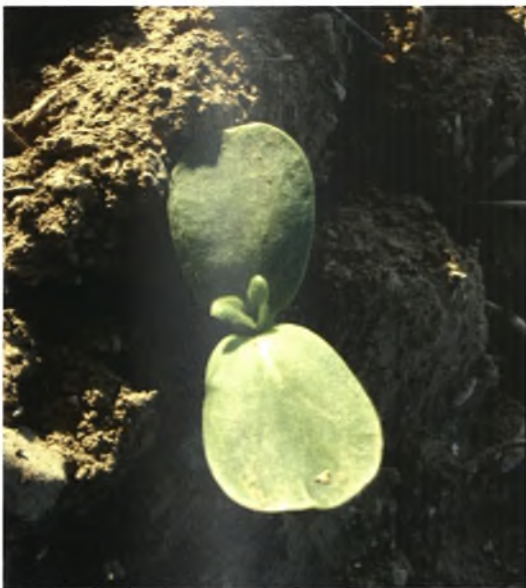
Εικόνα 4.4.7. Το ψεκαστικό μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου μετά τη σπορά.



Εικόνες 4.4.8 και 4.4.9. Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου στον πειραματικό αγρό μετά την σπορά.



Εικόνες 4.4.10 και 4.4.11. Άρδευση με καταιονισμό μετά τη σπορά.



Εικόνες 4.4.12 και 4.4.13. Φύτρωμα καλλιέργειας 13/6/2010.





**Εικόνα 4.4.14.** Πειραματικός αγρός στις 9/7/2010.



**Εικόνα 4.4.15.** Πειραματικός αγρός στις 15/7/2010.





**Εικόνα 4.4.16.** Πειραματικός αγρός στις 21/7/2011.



**Εικόνα 4.4.17.** Πειραματικός αγρός στις 27/7/2010.





**Εικόνα 4.4.18.** Πειραματικός αγρός στις 17/9/2010.

#### **4.5 Υλικά άρδευσης**

Για την άρδευση του πειραματικού αγρού, επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης (Εικόνα 4.5.1). Η τοποθέτηση του υπογείου δικτύου άρδευσης έγινε το 2005 σε βάθος 45cm με τη βοήθεια ειδικού μηχανήματος (υπεδαφοθέτη). Να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, προορίζεται για τη διεξαγωγή πειραμάτων που σχετίζονται με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση διαφόρων καλλιεργειών. Έτσι με την ύπαρξη του διπλού αυτού δικτύου εξασφαλίζονται τόσο οι εφαρμογές καθαρού νερού, όσο και αυτές με επεξεργασμένα απόβλητα.

Οι αγωγοί μεταφοράς του αρδευτικού νερού ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 32 mm και πίεση λειτουργίας στις 6 atm. Στα πειραματικά τεμάχια υπήρχε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους αγωγούς εφαρμογής οι οποίοι ήταν επίσης κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο αλλά είχαν διατομή 20 mm (Εικόνες 4.5.2 και 4.5.3). Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1,60 m και η τοποθέτησή τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας. Έτσι, ανάμεσα σε δύο σταλακτηφόρους αγωγούς παρεμβάλλονταν δύο σειρές φυτών.

Οι υπόγειοι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής 3,6l/h σε πίεση λειτουργίας 3,5atm και ωριαίου ύψους βροχής 2,86mm/h και η ισαποχή τους επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6m.

Επίσης έγινε τοποθέτηση ειδικών βαλβίδων εκτόνωσης της πίεσης για να αποφεύγεται η αναρρόφηση νερού και συνεπώς το φράξιμο των σταλακτήρων από στερεά εδαφικά σωματίδια κατά τη διακοπή της άρδευσης, καθώς και φίλτρο δίσκων (teck filter) εμποτισμένο με Treflan, ένα ζιζανιοκτόνο με δραστική ουσία Trifluralin, για την αποφυγή της έμφραξης των σταλακτών από την είσοδο των ριζών.



**Εικόνα 4.5.1.** Το διπλό υπόγειο δίκτυο άρδευσης.



**Εικόνες 4.5.2 και 4.5.3.** Σύνδεση αγωγών μεταφοράς με αγωγούς εφαρμογής.



Με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο πειραματικό τεμάχιο, χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλεκτροβάνες (μια για κάθε μεταχείριση) τύπου Aquanet II με τάση λειτουργίας 9-40V (Εικόνα 4.5.4 και Εικόνα 4.5.12). Ο έλεγχος για πιθανές αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης πραγματοποιούνταν με τη χρήση δύο υδρομέτρων (ένα για κάθε μεταχείριση) (Εικόνες 4.5.5 και 4.5.6). Η μία ηλεκτροβάνη ήταν συνδεδεμένη με τον προγραμματιστή Miracle DC (Εικόνα 4.5.7), ο οποίος κατασκευάζεται από την εταιρία Motorola και αυτοματοποιεί την όλη διαδικασία.



Εικόνα 4.5.4. Η ηλεκτροβάνη που χρησιμοποιούνταν για την άρδευση με καθαρό νερό.



Εικόνες 4.5.5 και 4.5.6. Υδρόμετρο καθαρού νερού (αριστερά) και υδρόμετρο λύματος (δεξιά).

Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC, που λειτουργεί με μπαταρία, έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού άρδευσης μέχρι και 6 ηλεκτροβανών, σε 3 διαφορετικά προγράμματα. Ο προγραμματιστής αποτελείται από τα εξής: Την οθόνη, τα τρία πλήκτρα εντολών, μια μπαταρία λιθίου 9V, το άνοιγμα για τα καλώδια, τον

πίνακα ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.

Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς άρδευσης για 9h και 59min, μπορεί να προγραμματισθεί με βάση ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα άρδευσης, διαθέτει την ικανότητα καθυστέρησης της άρδευσης έως και 99 ημέρες, παρέχει τη δυνατότητα μείωσης ή αύξησης των δόσεων άρδευσης μέχρι ποσοστού 100% σε βήματα του 10%, δίνει τη δυνατότητα της ανεξάρτητης ακύρωσης ενός ή περισσότερων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα, επίσης σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά τη προβληματική στάση και συνεχίζει την άρδευση στην επόμενη χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της κεντρικής βάνας και τέλος διαθέτει πρόγραμμα ασφαλείας 10min για την κάθε ημέρα.



**Εικόνα 4.5.7.** Προγραμματιστής άρδευσης.

Για τη συγκέντρωση και διάθεση του προς άρδευση καθαρού νερού χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50m<sup>3</sup> (Εικόνα 4.5.8). Η πλήρωση της δεξαμενής γινόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60-80m<sup>3</sup>/h με άξονα και σωλήνα 3").



**Εικόνα 4.5.8.** Τσιμεντένια δεξαμενή.



Για τη μεταχείριση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, το λύμα παραλαμβάνονταν από δεξαμενή της Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και τοποθετούνταν σε δεξαμενή χωρητικότητας 5m<sup>3</sup>, η οποία βρίσκεται στο χώρο του αγροκτήματος πλησίον του πειραματικού τεμαχίου (Εικόνες 4.5.9 και 4.5.10). Η δεξαμενή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), της εταιρείας Σύρμος-Λεβαντής και συνδεόταν με αντλία (Εικόνα 4.5.11). Η αντλία συνδεόταν μέσω πλαστικού αγωγού με την κεντρική ηλεκτροβάννα (Εικόνα 4.5.12). Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου και ισχύος 3 Ηρ.



Εικόνες 4.5.9 και 4.5.10. Τοποθέτηση λύματος σε δεξαμενή PVC.



**Εικόνα 4.5.11.** Αντλία λύματος.



**Εικόνα 4.5.12.** Μηχανολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει την ηλεκτροβάνα του λύματος, φυλασσόμενος σε ειδικά διαμορφωμένο κουτί.

## 4.6 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος

### 4.6.1 Εξατμισόμετρο τύπου A

Η χρήση του συνίσταται για τον προσδιορισμό της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ( $ET_o$ ), η γνώση της οποίας είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των αναγκών μιας καλλιέργειας σε νερό. Πρέπει να τονιστεί ότι η μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής με τον τρόπο αυτό, αποτελεί μια αρκετά αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδο.

Ένα εξατμισόμετρο τύπου A αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα και μία μεταλλική κυλινδρική λεκάνη, η οποία είναι κατασκευασμένη από γαλβανισμένο χάλυβα. Οι διαστάσεις της είναι 121cm η διάμετρος και 25,4cm το βάθος. Η λεκάνη αυτή τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση, ώστε ο πυθμένας της να απέχει 15cm από την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 4.6.1.1). Για τη σωστή εγκατάσταση ενός εξατμισιμέτρου τύπου A απαιτείται η βάση στην οποία εναποτίθεται η λεκάνη να είναι πλήρως οριζοντιοποιημένη και στη συνέχεια το έδαφος κάτω από το σύστημα να υπερυψωθεί, ώστε η απόσταση μεταξύ πυθμένα και εδάφους να είναι 5cm.

Μετά την εγκατάσταση η λεκάνη συμπληρώνεται με νερό έως το ύψος των 5cm κάτω από το χείλος της. Απαραίτητη προϋπόθεση για την άρτια λειτουργία του οργάνου είναι, η στάθμη του νερού μέσα στη λεκάνη να μην πέσει ποτέ κάτω από το επίπεδο των 7,5cm από το χείλος της λεκάνης. Επίσης είναι αναγκαίο το νερό του εξατμισιμέτρου να ανανεώνεται συχνά για να μην θολώσει και μια φορά το χρόνο η λεκάνη να συντηρείται επικαλύπτοντας τη με χρώμα αλουμινίου, για την αποφυγή της ανάπτυξης μυκήτων και αλγών.

Η λειτουργία ενός εξατμισιμέτρου τύπου A συνίσταται στη μέτρηση της ημερήσιας πτώσης της στάθμης του νερού στη λεκάνη, η οποία εκφράζεται με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς του ( $ET_{pan}$ ) και τον υπολογισμό του βάθους του νερού. Οι τιμές που λαμβάνονται πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή εξατμισιμέτρου ( $K_p$ ) και ανάγονται στην εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ( $ET_o$ ) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$ET_o = K_p * ET_{pan}$$

όπου:  $ET_o$  σε mm/ημέρα

$ET_{pan}$  σε mm/ημέρα.

Η τιμή του συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου υπολογίζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας, του είδους, όπως επίσης και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο. Βάση δεδομένων προηγούμενων ετών για το εξατμισόμετρο που είναι εγκατεστημένο στο αγρόκτημα, βρέθηκε ότι η τιμή του συντελεστή αυτού είναι 0,77 (Σακελλαρίου-



Μακρατωνάκη, 1996), ενώ η εύρεση της πτώσης της στάθμης του νερού στη λεκάνη έγινε με τη βοήθεια ενός σταθμημέτρου με ακίδα.

Οι ενδείξεις του εξατμισιμέτρου καθώς επίσης και η πραγματική ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για την καλλιέργεια του ηλίανθου κατά την αρδευτική περίοδο παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 4.7.2).



Εικόνα 4.6.1.1. Εξατμισόμετρο τύπου Α.

#### 4.6.2 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας

Η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) πραγματοποιήθηκε στον αγρό και έγινε με τη βοήθεια αυτόματου οργάνου μέτρησης επιφανειών της εταιρίας LI-COR (Εικόνα 4.6.2.1).



Εικόνα 4.6.2.1. Συσκευή μέτρησης L.A.I..

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας θεωρείται μέτρο έκφρασης της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας κι αυτό έγκειται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός του ποσοστού



αφομοίωσης για ένα φύλλο απαιτεί την ακριβή μέτρηση της περιοχής επιφάνειας του.

Η χρήση του LAI-2000 είναι μια καινοτόμος τεχνική για γρήγορες και μη καταστρεπτικές μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας (LAI). Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν κάτω από συνθήκες είτε συννεφιάς είτε ηλιοφάνειας αφού δεν εξαρτώνται από την ένταση του φωτός κάθε φορά.

Το LAI-2000 υπολογίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας και άλλες ιδιότητες από τις μετρήσεις ακτινοβολίας που γίνονται με έναν οπτικό αισθητήρα (οπτικό πεδίο 148°).

Οι μετρήσεις γίνονται με τον προσδιορισμό θέσης του οπτικού αισθητήρα και την πίεση ενός κουπιού. Τα στοιχεία καταγράφονται αυτόματα στη μονάδα ελέγχου για την αποθήκευση και τους υπολογισμούς LAI. Μετά τη συλλογή των μετρήσεων, η μονάδα ελέγχου εκτελεί όλους τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα για την άμεση επιτόπια επιθεώρηση.

#### 4.7 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης

Ο καθορισμός της δόσης άρδευσης για τις δύο αρδευόμενες μεταχειρίσεις βασίστηκε στην ημερήσια ένδειξη εξατμισοδιαπνοής αναφοράς που λαμβανόταν από το εξατμισόμετρο τύπου A του αγροκτήματος.

$$ET_o = K_p * ET_{pan}$$

όπου:  $ET_o$  σε mm/ημέρα

$ET_{pan}$  σε mm/ημέρα

$K_p = 0,77$ .

Στη συνέχεια, η τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς πολλαπλασιαζόμενη με τον αντίστοιχο φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας  $K_C$  για κάθε στάδιο ανάπτυξης, μάς δίνει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ( $ET_d$ ) ή πραγματική ET

$$ET_d = ET_o * K_C, \text{ σε mm.}$$

Οι τιμές του  $K_C$  κατά τη διάρκεια του αρχικού του σταδίου ταχείας ανάπτυξης και του τελικού σταδίου υπολογίζονται με τις παρακάτω διαδικασίες (Πίνακας 4.7.1) με τιμές  $K_C$  για τον ηλιανθο  $K_{cini} = 0,35$ ,  $K_{cmid} = 1,15$  και  $K_{cend} = 0,15$ .

Πίνακας 4.7.1. Υπολογισμός φυτικού συντελεστή (K<sub>c</sub>).

Στάδιο	Διάρκεια Σταδίου	Φυτικός συντελεστής (K <sub>c</sub> )	
		I= ημέρα του βιολογικού κύκλου του φυτού	Στο μέσον των σταδίων 2 και 4
Στάδιο 1	T <sub>1</sub>	K <sub>c1m</sub>	
Στάδιο 2	T <sub>2</sub>	$K'_{c2(i)} = K_{c1m} + \frac{K'_{cmid} - K_{c1m}}{T_2} \cdot (T_i - T_1)$	$K'_{c2(T2/2)} = \frac{K'_{cmid} + K_{c1m}}{2}$
Στάδιο 3	T <sub>3</sub>	K <sub>cmid</sub>	
Στάδιο 4	T <sub>4</sub>	$K'_{c4(i)} = K_{cmid} - \frac{K'_{cmid} - K_{cend}}{T_4} \cdot (T_i - T_1 - T_2 - T_3)$	$K'_{c4(T4/2)} = \frac{K'_{cmid} + K_{cend}}{2}$
		K <sub>cend</sub>	

Η εξατμισοδιαπνοή δηλαδή, εκφράζει τις συνολικές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας. Αν από την τιμή της ET<sub>d</sub> αφαιρεθεί το ύψος της ωφέλιμης βροχής, η τιμή που προκύπτει εκφράζει τις καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό (I<sub>n</sub>), την ποσότητα δηλαδή του νερού που πρέπει να χορηγηθεί μέσω άρδευσης. Δηλαδή, η εφαρμοζόμενη δόση άρδευσης (I<sub>da</sub>), που αντιστοιχεί στο 100% της εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{da} = I_n = ET_d - \Omega B, \text{ σε mm}$$

όπου: ΩB το ωφέλιμο ύψος βροχοπτώσεων.

Να σημειωθεί ότι το ωφέλιμο ύψος των βροχοπτώσεων υπολογίζεται ως το γινόμενο του συνολικού ύψους της βροχής με τη σταθερή ποσότητα 0,8. Δηλαδή από τη σχέση:

$$\Omega B = 0,8 * B, \text{ σε mm.}$$

Στον Πίνακα 4.7.2 παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I<sub>n</sub>), η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET<sub>d</sub>) καθώς επίσης οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων των μεταχειρίσεων.

Ο υπολογισμός της διάρκειας άρδευσης (I<sub>t</sub>) έγινε βάση της σχέσης:

$$I_t = I_{da} / I_{dh}, \text{ σε h}$$

όπου I<sub>da</sub> είναι η αντίστοιχη εφαρμοζόμενη δόση άρδευσης και I<sub>dh</sub> είναι το ωριαίο ύψος βροχής.

Το ωριαίο ύψος βροχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Idh = (q \cdot n) / (St \cdot Sr), \text{ σε mm/h}$$

όπου:  $q$  είναι η παροχή του σταλακτήρα σε l/h,

$n = St / (2 \cdot Se)$  είναι ο αριθμός σταλακτῆρων ανά φυτό

$St$  είναι η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς σε m,

$Sr$  είναι η ισαποχή των γραμμών σποράς σε m και

$Se$  είναι η ισαποχή των σταλακτῆρων επί του αγωγού σε m (Δημοπούλου Κ., 2005).

Στο συγκεκριμένο πείραμα η παροχή του σταλακτήρα ήταν  $q=3,6\text{lt/h}$ , η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής  $St=0,07\text{m}$  και η απόσταση μεταξύ των γραμμών  $Se=0,8\text{m}$ . Για τον υπολογισμό του αριθμού των σταλακτῆρων ανά φυτό η απόσταση των σταλακτῆρων επί του αγωγού ήταν  $Sr=0,6\text{m}$ , οπότε προκύπτει ότι ο αριθμός είναι  $n=0,044$ .

Στον Πίνακα 4.7.2 παρουσιάζονται η εξαμεισοδιαπνοή της καλλιέργειας, οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης καθώς και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων για κάθε μεταχείριση.



**Πίνακας 4.7.2.** Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό της καλλιέργειας. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΘΟΥ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΜΕΤΡΟ 2010**

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2010	Ημέρες από τη σπορά 1/6/10	Πλήρωση Εξαιμ/τρου mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Έραπ mm	Βροχή B mm	Οφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(7) mm	Εξαιμ/τρού αναφοράς Eo=kr*Eρα n 0,77*(6) mm	kc	Εξαιμ/τρού Κολλιέργειας In=EΤc-ΩB (ETc=Eo*Kc) (10)*(9)-(8) mm	Καθαρές ανάγκες Ida=In(100%) (1) mm	Σταλάκτες ανά φυτό n=S/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(I*π)/(St*St) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% I=Ida(100%)/Idh
1/6/2010	152	1		30,00	3,00	1,8	1,44	2,31	0,35	-0,63	-0,63		3,03	-0,21
2/6/2010	153	2		33,00	5,00	0,2	0,16	3,85	0,35	1,19	1,19		3,03	0,39
3/6/2010	154	3		38,00	6,00			4,62	0,35	1,62	1,62		3,03	0,53
4/6/2010	155	4	0	42,00	6,00			4,62	0,35	1,62	1,62		3,03	0,53
5/6/2010	156	5		6,00	2,00	3,8	3,04	1,54	0,35	-2,50	-2,50		3,03	-0,83
6/6/2010	157	6		8,00	7,00	0,8	0,64	5,39	0,35	1,25	1,25		3,03	0,41
7/6/2010	158	7	KA	15,00	7,00			5,39	0,35	1,89	1,89		3,03	0,62
8/6/2010	159	8		22,00	7,00			5,39	0,35	1,89	1,89		3,03	0,62
9/6/2010	160	9		29,00	7,00			5,39	0,35	1,89	-4,66		3,03	-1,54
10/6/2010	161	10		36,00	7,00			5,39	0,35	1,89	1,89		3,03	0,62
11/6/2010	162	11	0	43,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
12/6/2010	163	12		9,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
13/6/2010	164	13		18,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
14/6/2010	165	14	KA	27,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
15/6/2010	166	15		36,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
16/6/2010	167	16	0	45,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
17/6/2010	168	17		9,00	10,00			7,70	0,35	2,70	2,70		3,03	0,89
18/6/2010	169	18	KA	19,00	7,00			5,39	0,35	1,89	1,89		3,03	0,62
19/6/2010	170	19		26,00	7,00			5,39	0,35	1,89	1,89		3,03	0,62
20/6/2010	171	20		33,00	9,00			6,93	0,35	2,43	2,43		3,03	0,80
21/6/2010	172	21	KA	42,00	6,00			4,62	0,35	1,62	1,62		3,03	0,53
22/6/2010	173	22	0	48,00	6,00			4,62	0,35	1,62	1,62		3,03	0,53
23/6/2010	174	23		6,00	8,00			6,16	0,35	2,16	2,16		3,03	0,71
24/6/2010	175	24		14,00	5,00			3,85	0,35	1,35	1,35		3,03	0,44

Ημέρομηνία	Ημέρες από 1/1/2010	Ημέρες από τη σπορά 1/6/10	Πληρωσιμότητα Εξαίμι/τρού mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Epan mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(7) mm	Εξαίμι/τρού αναφοράς Eo=kp*Epa n 0,77*(6) mm	kc	Εξαίμι/τρού Καλιέργειας In=ETc - ΩB (ETc=Eo*Kc) (10)*(9)-(8) mm	Καθαρές ανάγκες Ida=In(100%) (11) mm	Σπαλάκτες ανά γινύ n=S/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/(St*St) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% It=Ida(100%)/Idh
25/6/2010	176	25	KA	19,00	8,00	6,16	0,35	2,16	0,35	2,16	2,16	3,03	3,03	0,71
26/6/2010	177	26		27,00	7,00	5,39	0,37	1,99	0,37	1,99	1,99	3,03	3,03	0,66
27/6/2010	178	27		34,00	7,00	5,39	0,39	2,10	0,39	2,10	2,10	3,03	3,03	0,69
28/6/2010	179	28	KA	41,00	6,00	4,62	0,41	1,89	0,41	1,89	1,89	3,03	3,03	0,63
29/6/2010	180	29	0	47,00	8,00	6,16	0,43	2,65	0,43	2,65	2,65	3,03	3,03	0,87
30/6/2010	181	30	KA	8,00	8,00	6,16	0,45	2,77	0,45	2,77	2,77	3,03	3,03	0,91
1/7/2010	182	31		16,00	6,00	4,62	0,47	2,17	0,47	2,17	2,17	3,03	3,03	0,72
2/7/2010	183	32	ΣA	22,00	6,00	4,62	0,49	0,34	0,49	0,34	0,34	0,044	3,03	0,11
3/7/2010	184	33		28,00	7,00	5,39	0,51	2,75	0,51	2,75	2,75	0,044	3,03	0,91
4/7/2010	185	34		35,00	7,00	5,39	0,54	2,91	0,54	2,91	2,91	0,044	3,03	0,96
5/7/2010	186	35		42,00	9,00	6,93	0,56	3,88	0,56	3,88	3,88	0,044	3,03	1,28
6/7/2010	187	36	0	51,00	9,00	6,93	0,58	4,02	0,58	4,02	4,02	0,044	3,03	1,33
7/7/2010	188	37		9,00	10,00	7,70	0,60	4,62	0,60	4,62	4,62	0,044	3,03	1,52
8/7/2010	189	38		19,00	10,00	7,70	0,62	4,77	0,62	4,77	4,77	0,044	3,03	1,58
9/7/2010	190	39		29,00	8,00	6,16	0,64	3,94	0,64	3,94	3,94	0,044	3,03	1,30
10/7/2010	191	40		37,00	9,00	6,93	0,66	4,57	0,66	4,57	4,57	0,044	3,03	1,51
11/7/2010	192	41		46,00	8,00	6,16	0,68	4,19	0,68	4,19	4,19	0,044	3,03	1,38
12/7/2010	193	42	0 ΣA	54,00	9,00	6,93	0,70	4,85	0,70	4,85	4,85	0,044	3,03	1,60
13/7/2010	194	43		9,00	8,00	6,16	0,73	4,50	0,73	4,50	4,50	0,044	3,03	1,48
14/7/2010	195	44		17,00	11,00	8,47	0,75	6,35	0,75	6,35	6,35	0,044	3,03	2,10
15/7/2010	196	45		28,00	10,00	7,70	0,77	5,93	0,77	5,93	5,93	0,044	3,03	1,96
16/7/2010	197	46	0 ΣA	38,00	8,00	6,16	0,79	4,87	0,79	4,87	4,87	0,044	3,03	1,61
17/7/2010	198	47		8,00	7,00	5,39	0,81	4,37	0,81	4,37	4,37	0,044	3,03	1,44
18/7/2010	199	48		15,00	9,00	6,93	0,83	5,75	0,83	5,75	5,75	0,044	3,03	1,90
19/7/2010	200	49		24,00	9,00	6,93	0,85	5,89	0,85	5,89	5,89	0,044	3,03	1,94
20/7/2010	201	50		33,00	8,00	6,16	0,87	5,36	0,87	5,36	5,36	0,044	3,03	1,77





Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2010	Ημέρες από τη σπορά 1/6/10	Παύση Εξαμ/τρον mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Epan mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(7) mm	Εξαμ/τρον αναφοράς Eo=kr*Epa n 0,77*(6) mm	Εξαμ/τρον Καλλιέργειας In=ETc - QB (ETc=Eo*Kc) (10)*(9)-(8) mm	Καθαρές ανέγκες Ida=In(100%) (11) mm	Σταλάτρες ανά φυτό n=S/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/(S*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% It=Ida(100%)/Idh
21/7/2010	202	51	ΣΑ	41,00	7,00			5,39	0,89	4,80	0,044	3,03	1,58
22/7/2010	203	52	0	48,00	12,00			9,24	0,92	8,50	0,044	3,03	2,81
23/7/2010	204	53	ΣΑ	12,00	10,00			7,70	0,94	7,24	0,044	3,03	2,39
24/7/2010	205	54		22,00	12,00			9,24	0,96	8,87	0,044	3,03	2,93
25/7/2010	206	55		34,00	8,00	3,50	2,8	6,16	0,98	3,24	0,044	3,03	1,07
26/7/2010	207	56	ΣΑ	42,00	3,00	5,50	4,4	2,31	1,00	-2,09	0,044	3,03	-0,69
27/7/2010	208	57	0	39,00	8,00			6,16	1,02	6,28	0,044	3,03	2,07
28/7/2010	209	58	ΣΑ	8,00	9,00			6,93	1,04	7,21	0,044	3,03	2,38
29/7/2010	210	59		17,00	9,00			6,93	1,06	7,35	0,044	3,03	2,42
30/7/2010	211	60		26,00	8,00			6,16	1,08	6,65	0,044	3,03	2,20
31/7/2010	212	61		34,00	7,00			5,39	1,10	5,93	0,044	3,03	1,96
1/8/2010	213	62		41,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
2/8/2010	214	63	0	49,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
3/8/2010	215	64		8,00	9,00			6,93	1,10	7,62	0,044	3,03	2,52
4/8/2010	216	65	ΣΑ	17,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
5/8/2010	217	66		25,00	7,00			5,39	1,10	5,93	0,044	3,03	1,96
6/8/2010	218	67	0	32,00	6,00			4,62	1,10	5,08	0,044	3,03	1,68
7/8/2010	219	68		6,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
8/8/2010	220	69		14,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
9/8/2010	221	70	ΣΑ	22,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
10/8/2010	222	71		30,00	9,00			6,93	1,10	7,62	0,044	3,03	2,52
11/8/2010	223	72	ΣΑ	39,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
12/8/2010	224	73		47,00	8,00			6,16	1,10	6,78	0,044	3,03	2,24
13/8/2010	225	74	0	55,00	9,00			6,93	1,10	7,62	0,044	3,03	2,52
14/8/2010	226	75		9,00	9,00			6,93	1,10	7,62	0,044	3,03	2,52
15/8/2010	227	76		18,00	9,00			6,93	1,10	7,62	0,044	3,03	2,52


Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2010	Ημέρες από τη σπορά 1/6/10	Πλήρωση Εξαιμ/τρου mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Epan mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(T) mm	Εξαιμ/τρου αναφορές Eo=kp*Epa n 0,77*(6) mm	kc	Εξαιμ/τρου Καλιέργειας In=ETc - ΩB (ETc=Eo* Kc) (10)*(9)-(8) mm	Καθαρές ανάγκες Ida=ln(100%) (11) mm	Σταλάτες ανά φυτό n=St/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% It=Ida(100%)/Idh
16/8/2010	228	77	ΣΑ	27,00	9,00			6,93	1,10	7,62	7,62	0,044	3,03	2,52
17/8/2010	229	78	0	36,00	8,00			6,16	1,10	6,78	6,78	0,044	3,03	2,24
18/8/2010	230	79	ΣΑ	44,00	8,00			6,16	1,10	6,78	6,78	0,044	3,03	2,24
19/8/2010	231	80	0	52,00	7,00			5,39	1,10	5,93	5,93	0,044	3,03	1,96
20/8/2010	232	81	ΣΑ	7,00	8,00			6,16	1,10	6,78	6,78	0,044	3,03	2,24
21/8/2010	233	82		15,00	5,00			3,85	1,10	4,24	4,24	0,044	3,03	1,40
22/8/2010	234	83		20,00	7,00			5,39	1,10	5,93	5,93	0,044	3,03	1,96
23/8/2010	235	84	0	27,00	7,00			5,39	1,10	5,93	5,93	0,044	3,03	1,96
24/8/2010	236	85		7,00	8,00			6,16	1,10	6,78	6,78	0,044	3,03	2,24
25/8/2010	237	86	ΣΑ	15,00	7,00			5,39	1,10	5,93	5,93	0,044	3,03	1,96
26/8/2010	238	87		22,00	7,00			5,39	0,98	5,28	5,28	0,044	3,03	1,74
27/8/2010	239	88	ΣΑ	29,00	7,00			5,39	0,95	5,12	5,12	0,044	3,03	1,69
28/8/2010	240	89		36,00	7,00			5,39	0,92	4,96	4,96	0,044	3,03	1,64
29/8/2010	241	90		43,00	7,00			5,39	0,89	4,80	4,80	0,044	3,03	1,58
30/8/2010	242	91	0	50,00	6,00			4,62	0,86	3,97	3,97	0,044	3,03	1,31
31/8/2010	243	92		6,00	8,00			6,16	0,83	5,11	5,11	0,044	3,03	1,69
1/9/2010	244	93	ΣΑ	14,00	9,00			6,93	0,80	5,54	5,54	0,044	3,03	1,83
2/9/2010	245	94		23,00	7,00			5,39	0,77	4,15	4,15	0,044	3,03	1,37
3/9/2010	246	95	ΣΑ	30,00	6,00			4,62	0,74	3,42	3,42	0,044	3,03	1,13
4/9/2010	247	96		36,00	3,00			2,31	0,71	1,64	1,64	0,044	3,03	0,54
5/9/2010	248	97		39,00	3,00			2,31	0,68	1,57	1,57	0,044	3,03	0,52
6/9/2010	249	98	ΣΑ	42,00	5,00	0,60	0,48	3,85	0,65	2,02	2,02	0,044	3,03	0,67
7/9/2010	250	99	0	47,00	5,00			3,85	0,62	2,39	2,39	0,044	3,03	0,79
8/9/2010	251	100	ΣΑ	5,00	6,00			4,62	0,59	2,73	2,73	0,044	3,03	0,90
9/9/2010	252	101		11,00	6,00			4,62	0,56	2,59	2,59	0,044	3,03	0,85
10/9/2010	253	102		17,00	3,00			2,31	0,53	1,22	1,22	0,044	3,03	0,40



Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2010	Ημέρες από τη σπορά 1/6/10	Πολύκωση Εξαμ/πνοή mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Epan mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(7) mm	Εξαμ/πνοή αναφοράς Eo=kp*Epa n 0,77*(6) mm	Εξαμ/πνοή Καλλιέργειας In=ETc - QB (ETc=Eo*Kc) (10)*(9)-(8) mm	Καθάρεις ανά φυτό n=S/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/(Sr*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% It=Ida(100%)/Idh
11/9/2010	254	103		20,00	2,00	21,60	17,28	1,54	-16,51	0,044	3,03	-5,45
12/9/2010	255	104		22,00	2,00	4,80	3,84	1,54	-3,12	0,044	3,03	-1,03

 Άρδευση με καταιονισμό

 Άρδευση με καθαρό νερό

 Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα

Ο προγραμματισμός της δόσης άρδευσης έγινε τηρώντας τις προδιαγραφές (παροχή σταλακτήρων, ωριαίο ύψος βροχής, διαστάσεις γραμμών άρδευσης και ισαποχή σταλακτήρων επί των γραμμών), με βάση τους μετρούμενους ρυθμούς ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Δηλαδή, η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm.

Πραγματοποιήθηκαν 30 αρδεύσεις με υπόγειες σταγόνες στο διάστημα από 2/7/2010 έως 10/9/2010. Αρχικά καθώς η καλλιέργεια δεν είχε αναπτύξει ακόμα ικανοποιητικό ριζικό σύστημα προκειμένου να εκμεταλλευτεί το νερό των υπόγειων σταγόνων, πραγματοποιήθηκαν 9 αρδεύσεις με τεχνητή βροχή σε όλες τις μεταχειρίσεις. Και οι δύο αρδευόμενες μεταχειρίσεις έλαβαν την ίδια ποσότητα νερού η οποία καθορίστηκε με βάση την εξατμισοδιαπνοή. Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση λαμβανόταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης.

#### 4.8 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

Στις 7/7/2010 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλεως του Βόλου. Η μονάδα δέχεται περίπου 22.000m<sup>3</sup> αποβλήτων/ημέρα και διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας. Τα απόβλητα δέχονταν τριτοβάθμια επεξεργασία και ως εκ τούτου, δεν περιείχαν σε μεγάλες ποσότητες τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως N, P, K. όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μία άρδευση με απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό από την γεώτρηση του αγροκτήματος.

Από παλαιότερα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του νερού της γεώτρησης διαπιστώνουμε ότι οι τιμές των παραμέτρων ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων. Εξαιρέση ίσως αποτελεί η συγκέντρωση των NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, που η τιμή τους θεωρείται επιφυλακτική.

**Πίνακας 4.8.1.** Μέσος όρος των τιμών των παραμέτρων του νερού γεώτρησης.

Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	22	0-700
SS (mg/l)	-	0-15
P (mg/l)	0,5	0-15
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	<1	0-30
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	17,9	0-10
C.O.D. (mg/l)	-	0-40

B.O.D. (mg/l)	-	1-15
E.C. (dS/m)	0,65	0-3
Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	<1	0-20
Cu <sup>2+</sup> (mg/l)	<1	0-5
Zn <sup>2+</sup> (mg/l)	<1	0-10
pH	7,65	6,5-8,5

Η σχέση που δίνει την αναλογία των όγκων νερού είναι η εξής (Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999):

$$C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) = C_{τελ}$$

Όπου

$C_a$  = η συγκέντρωση χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) της μιας ποιότητας νερού (καθαρό νερό)

$C_b$  = η συγκέντρωση χλωρίου της δεύτερης ποιότητας νερού (Cl<sup>-</sup>, mg/L) (λύμα)

$Q_a$  = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη μια ποιότητα νερού (L)

$Q_b$  = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη δεύτερη ποιότητα νερού (L)

$C_{τελ}$  = η επιθυμητή τελική συγκέντρωση του αναμειγμένου νερού

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις

$$C_a = 22 \text{mg/L Cl}^-$$

$$C_b = 2346,70 \text{mg/L Cl}^-$$

Επίσης ότι

$$Q_a + Q_b = 1 \text{L}$$

$$\text{Και } C_{τελ} = 500 \text{mg/L Cl}^-$$

Προέκυψε ότι

$$22 \text{mg/L } Q_a + 2347 \text{mg/L} * (1 - Q_a) = 500 \text{mg/L} \Rightarrow 2325 * Q_a = 1647 \text{mg/L} \Rightarrow Q_a = 0,70 \text{L}$$

Επομένως απαιτούνται τρεις αρδεύσεις με καθαρό νερό για κάθε μία με λύμα. Προκειμένου όμως να έχουμε έναν ικανοποιητικό αριθμό εφαρμογών με λύμα, στοχεύοντας σε ένα ικανοποιητικό ποσοστό εξοικονόμησης καθαρού νερού εφαρμόστηκαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό για κάθε μία άρδευση με λύμα.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν στην πλαστική δεξαμενή. Συνολικά διενεργήθηκαν 10 αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος με την τελευταία άρδευση να πραγματοποιείται στις 10/9/2010.

Για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στα απόβλητα, στις



εγκαταστάσεις του Βιολογικού Καθαρισμού. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στον Βιολογικό καθαρισμό ήταν: pH, C.O.D., Cl<sup>-</sup>, Ολικός P, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S.S. (Αιωρούμενα στερεά). Στον Πίνακα 4.8.2, φαίνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής των επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των αποβλήτων (Πίνακας 4.8.2), διαπιστώνουμε ότι πιο επικίνδυνη παράμετρος για την καλλιέργεια θεωρείται η συγκέντρωση των ιόντων Cl<sup>-</sup>. Ως ελάχιστο όριο ασφαλείας θεωρούνται τα 355mg Cl<sup>-</sup>/l, ενώ για τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί το όριο των 710mg Cl<sup>-</sup>/l. Από τις άλλες παραμέτρους η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν παραπάνω από το όριο των 3dS/m, που όμως με την εναλλαγή των αρδεύσεων με καθαρό νερό θεωρείται ότι μειώνεται σημαντικά η επίδραση της.

**Πίνακας 4.8.2.** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	pH	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SS (mg/l)	C.O.D (mg/l)	N-NH3 (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	Pολ	Αγωγιμότητα (mS/cm)
7/7/2010	7,86	2011	17,3	45,5	0,32	-	2,8	6,36
15/7/2010	7,84	2031	15	35,2	0,3	-	2,3	-
21/7/2010	7,91	2060	22	43,4	0,6	-	1,8	4,18
28/7/2010	7,85	2270	31,6	52	0,58	-	3	8,72
4/8/2010	8,05	2300	22	54	0,35	-	2,5	8,72
11/8/2010	7,99	2485	25,5	49	0,31	-	2,9	8,82
18/8/2010	7,68	2845	26,3	51,3	0,43	-	2,7	8,5
26/8/2010	7,78	2098	23,6	53,1	0,34	-	3,1	5,8
3/9/2010	7,87	3010	30,2	52,4	0,53	-	3,2	10,66
8/9/2010	7,91	2357	19,2	56	0,61	-	3,2	8,47
<b>Μ.Ο.</b>	7,87	2346,70	23,27	49,19	0,44	-	2,75	7,80
<b>Όρια ασφαλείας</b>	6,5-8,5	0-700	0-15	0-40	0-30	0-10	0-15	0-3

Γενικά η τιμή του pH βρισκόταν πάντα μέσα στα αποδεκτά όρια ασφαλείας σε αντίθεση όμως με την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα των λυμάτων που κυμαινόταν σε πολύ υψηλά επίπεδα λόγω της περιεκτικότητας του σε άλατα.

Τα νιτρικά ιόντα βρισκόταν τις περισσότερες φορές μέσα στα προτεινόμενα όρια. Άλλωστε μία ποσότητα αζώτου και φωσφόρου που περιέχεται στα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για άρδευση προσλαμβάνεται από τα φυτά. Το ποσοστό του αζώτου και του φωσφόρου που αφομοιώνεται από τα φυτά εξαρτάται μεταξύ άλλων, και από το είδος του φυτού (Πανώρας, κ.ά., 1999).

Αναφέρεται ότι μία αντιπροσωπευτική καλλιέργεια ηλίανθου με απόδοση σε σπόρο 300kg/στρέμμα απομακρύνει 10,5kg/t προϊόντος N και 1,3kg/t προϊόντος P.

Οι τιμές των αιωρούμενων στερών (S.S.) πολλές φορές βρισκόταν πάνω από το ενδεικνυόμενο όριο των 15mg/l, αλλά ποτέ δεν ξεπέρασαν τα 50mg/l, κάτι που σημαίνει ότι ο περιορισμός στη χρήση του νερού και ο κίνδυνος έμφραξης των

σταλακτήρων ήταν μικρός.

Ακόμη ο δείκτης C.O.D. σε λίγες περιπτώσεις βρισκόταν κοντά στο (ελάχιστο πάνω από το) ενδεικνυόμενο όριο των 40mg/l, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις ξεπερνούσε τα ενδεικνυόμενα όρια κατά πολύ.

Τέλος, ο  $P_{ol}$  χαρακτηρίζεται από μικρές συγκεντρώσεις σε σχέση πάντα με τα επιτρεπόμενα όρια.

## **4.9 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ηλίανθου**

### **4.9.1 Μετρήσεις ύψους φυτών**

Με σκοπό να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του ηλίανθου, διενεργήθηκαν δειγματοληπτικά 13 μετρήσεις του ύψους του σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Σε κάθε δειγματοληψία, το μέσο ύψος της κάθε μεταχείρισης προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 80 διαφορετικά φυτά για κάθε μία από τις δύο αρδευόμενες μεταχειρίσεις. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν όταν το ύψος των φυτών έφτασε περί τα 25cm και συνεχίστηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μία μέτρηση ανά επτά ημέρες) γιατί στην αρχή του περιάματος, ο ρυθμός αύξησης των φυτών ήταν μεγάλος.

Στην πρώτη μέτρηση του ύψους απορρίψαμε από τις τέσσερις γραμμές της καλλιέργειας του κάθε πειραματικού τεμαχίου τις δύο ακραίες λόγω φαινομένων ανταγωνισμού. Οι σειρές αυτές δέχονταν μειωμένο ανταγωνισμό καθώς δεν είχαν και από τις δυο πλευρές γειτονικές σειρές με αποτέλεσμα να εμφανίζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα από τις υπόλοιπες εσωτερικές όσον αφορά την αύξηση και ανάπτυξη τους. Στις δυο μεσαίες σειρές λοιπόν και σε κάθε μία από αυτές οριστήκαν δυο τυχαία σημεία, κατά μήκος της σειράς, ώστε η απόσταση μεταξύ τους να ανέρχεται περίπου στα 70cm. Τα σημεία αυτά σημαδεύτηκαν με την τοποθέτηση μικρού μήκους πασάλων ώστε να διακρίνονται κάθε φορά. Σε αυτή την απόσταση περιέχονταν 10 φυτά. Έτσι λοιπόν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο μετρούσαμε συνολικά 20 φυτά. Όλες οι μετρήσεις που έγιναν (ύψος φυτών, διάμετρος κεφαλής, LAI) αφορούσαν τα ίδια φυτά κάθε φορά.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 13 μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 25/6/2010 και οι επόμενες στις 2/7/2010, 9/7/2010, 16/7/2010, 23/7/2010, 30/7/2010, 8/8/2010, 15/8/2010, 22/8/2010, 27/8/2010, 3/9/2010, 10/9/2010 και 17/9/2010.

### **4.9.2 Μετρήσεις διαμέτρου κεφαλής**

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ανάπτυξης του ηλίανθου είναι και η αύξηση της ανθοδόχης (κεφαλής) όπου εκεί αναπτύσσεται ο σπόρος. Η ανθοδόχη από τη στιγμή της εμφάνισής της αρχίζει να αυξάνει την διάμετρό της μέχρι αυτή να φτάσει στην τελική τιμή της.

Για τη διερεύνηση της μέτρησης αυτής χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια φυτά που

χρησιμοποιήθηκαν και για τη μέτρηση του ύψους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις της διαμέτρου των κεφαλών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Σε κάθε δειγματοληψία, ο μέσος όρος της διαμέτρου της κάθε μεταχείρισης προκύπτει από μετρήσεις των παραπάνω 80 φυτών των δύο αρδευόμενων μεταχειρίσεων.

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 23/7/2010 και οι επόμενες στις 8/8/2010, 22/8/2010, 3/9/2010 και 17/9/2010.

#### **4.9.3 Μετρήσεις δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI)**

Για τον προσδιορισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις, στο διάστημα από 12 Ιουλίου έως 30 Αυγούστου. Γινόταν μετρήσεις σε προεπιλεγμένο σημείο (μήκος 1m περίπου) του κάθε πειραματικού τεμαχίου όπου η ανάπτυξη των φυτών ήταν αντιπροσωπευτική της καλλιέργειας και επαναλαμβάνονταν κάθε φορά στο ίδιο σημείο. Έτσι, και στις τρεις μεταχειρίσεις τα αποτελέσματα ανά ημερομηνία μέτρησης προκύπτουν από το μέσο όρο των μετρήσεων των πειραματικών τεμαχίων κάθε μεταχείρισης. Οι μετρήσεις γινόταν πάντα την ίδια ώρα του 24ώρου (12:00 μμ).

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 12/7/2010 και οι επόμενες στις 17/7/2010, 26/7/2010, 2/8/2010, 9/8/2010, 16/8/2010, 23/8/2010 και στις 30/8/2010.

#### **4.9.4 Μετρήσεις χλωρής - ξηρής βιομάζας κεφαλών των φυτών**

Η παραγωγικότητα της καλλιέργειας του ηλιάνθου εκφράζεται με την παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα και κυρίως με την παραγωγή σπόρου. Στη παρούσα διατριβή ως βιομάζα θα θεωρήσουμε το βάρος της ανθοδόχης του φυτού μαζί με το σπόρο (κεφαλή). Η κοπή αυτών των κεφαλών έγινε πριν την καθολική ξήρανση τους στον αγρό αλλά μέσα στα πλαίσια της περιόδου συγκομιδής της καλλιέργειας.

Τα φυτά τα οποία επιλέξαμε για την κοπή είναι τα ίδια φυτά (είκοσι για κάθε πειραματικό τεμάχιο) που χρησιμοποιήθηκαν για όλα τα είδη των μετρήσεων που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Έχουμε λοιπόν δύο σειρές μετρήσεων, η μια σειρά αφορά το βάρος των κεφαλών στην περίοδο συγκομιδής και η άλλη το ξηρό βάρος αυτών όπως προέκυψε μετά από ξήρανση σε ειδικό φούρνο.

Η κοπή των κεφαλών έγινε στις 18/9/2010 και ακολούθησε άμεσο ζύγισμα προκειμένου οι κεφαλές να μην αποβάλουν υγρασία. Μετά τοποθετήθηκαν σε ειδικό φούρνο μέσα σε χαρτοσακούλες όπου έμειναν εκεί για 48 ώρες ώστε να χάσουν το 91-95% της υγρασίας τους. Μετά τη διαδικασία της ξήρανσης, οι κεφαλές ζυγίστηκαν ξανά, στην ίδια ζυγαριά ακριβείας, ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος.

Η μέση παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα κάθε μεταχείρισης προέκυψε από τον μέσο όρο των μετρήσεων του βάρους των κεφαλών 80 φυτών σε κάθε μεταχείριση.



#### **4.9.5 Μετρήσεις ποσότητας σπόρου κεφαλών των φυτών**

Η κάθε κεφαλή που κόπηκε εισήρθε σε μηχανήμα διαχωρισμού του σπόρου (αλωνιστική μηχανή) με αποτελεσματικότητα αλωνισμού 90%. Ύστερα ζυγίστηκε το συνολικό βάρος του σπόρου των 20 φυτών που αντιστοιχούν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Συνολικά είχαμε τέσσερα βάρη για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιήθηκε στις 25/9/2010.

Ως τελική παραγωγή του ηλίανθου με βάση τον σκοπό του πειράματος θεωρήθηκε ο μέσος όρος του βάρους των σπόρων της κάθε επανάληψης για κάθε μεταχείριση. Η αναγωγή του βάρους του σπόρου σε απόδοση έγινε διαιρώντας το βάρος του σπόρου με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα φυτά από τα οποία προήλθε ο σπόρος (ένα φυτό καταλαμβάνει επιφάνεια ίση με το γινόμενο τις απόστασης των γραμμών σποράς επί την απόσταση των φυτών πάνω στη γραμμή σποράς).

Για κάθε μεταχείριση λήφθηκε τυχαίο δείγμα σπόρου για εξαγωγή ηλιέλαιου και εκτίμηση της οξύτητας αυτού. Τα δείγματα αυτά αποστάλθηκαν στο Χημικό Εργαστήριο της Εταιρείας Επεξεργασίας Ελαίων και Προϊόντων Ελαίων ΜΑΝΟΣ Α.Ε., στη Β' Βιομηχανική Περιοχή Βόλου, όπου και έγινε η εξαγωγή του ηλιέλαιου από τον σπόρο (εκτίμηση περιεκτικότητας ελαίου) και η ανάλυση της οξύτητάς του.

#### **4.10 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων**

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v. 17.0. Επειδή έπρεπε να γίνει σύγκριση μεταξύ δύο μεταβλητών (άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με λύμα) ενός παράγοντα (καλλιέργεια ηλίανθου), από τις λειτουργίες του στατιστικού πακέτου χρησιμοποιήθηκε μόνο αυτή του Independent-Samples T-test. Έγινε σύγκριση των μέσων όρων του ύψους, της διαμέτρου κεφαλής, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της χλωρής και ξηρής βιομάζας καθώς και της ποσότητας σπόρου μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

Επίσης για τη δημιουργία διαγραμμάτων και γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Microsoft Excel.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 5.1 Κλιματικά δεδομένα

##### 5.1.1 Θερμοκρασία - Βροχόπτωση

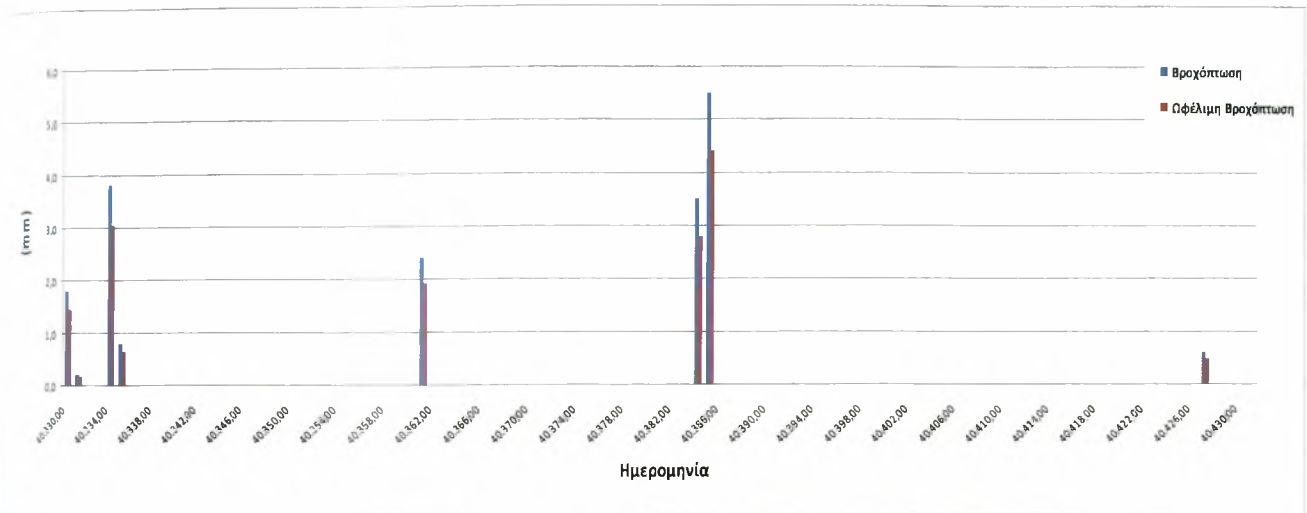
Στον Πίνακα 5.1.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου του 2010 σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες της τελευταίας 25ετίας καθώς και η ποσοστιαία επί τοις εκατό απόκλισή τους. Στον Πίνακα 5.1.1.1 καθώς και στο Διάγραμμα 5.1.1.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2010. Στον Πίνακα 5.1.1.3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των θερμοκρασιών των τριών δεκαημέρων για κάθε μήνα της καλλιεργητικής περιόδου του 2010 συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους της τελευταίας 25ετίας. Στο Διάγραμμα 5.1.1.2 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών βροχόπτωσης ανά μήνα του 2010 με τους μέσους όρους της τελευταίας 25ετίας.

**Πίνακας 5.1.1.1.** Ποσοστιαία απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για την καλλιεργητική περίοδο του 2010.

Μήνας	Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του 2010 (mm)	Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης 25ετίας (mm)	Ποσοστιαία απόκλιση για την καλλιεργητική περίοδο του 2010 (%)
ΙΟΥΝΙΟΣ	6,8	27,4	-75
ΙΟΥΛΙΟΣ	9,4	15,3	-38,6
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	7,8	-100
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	35,6	36,3	-1,9

**Πίνακας 5.1.1.2.** Βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2010.

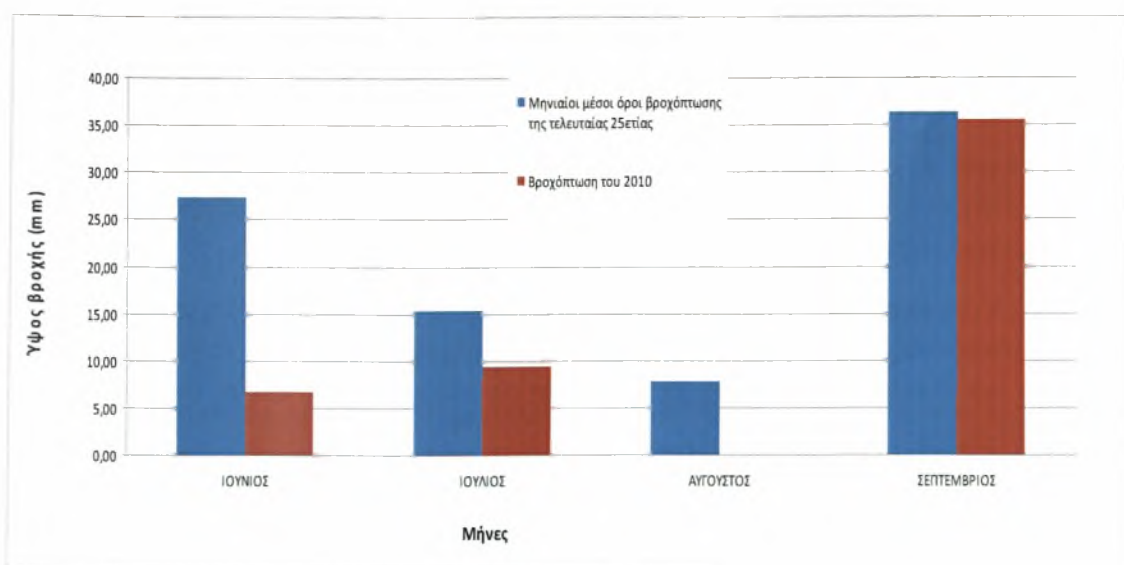
Βροχόπτωση του 2010 (mm)	Ημερομηνία
1,8	1/6/2010
0,2	2/6/2010
3,8	5/6/2010
0,8	6/6/2010
2,40	2/7/2010
3,50	25/7/2010
5,50	26/7/2010
0,60	6/9/2010
18,6	Σύνολο



Διάγραμμα 5.1.1.1. Βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου 2010.

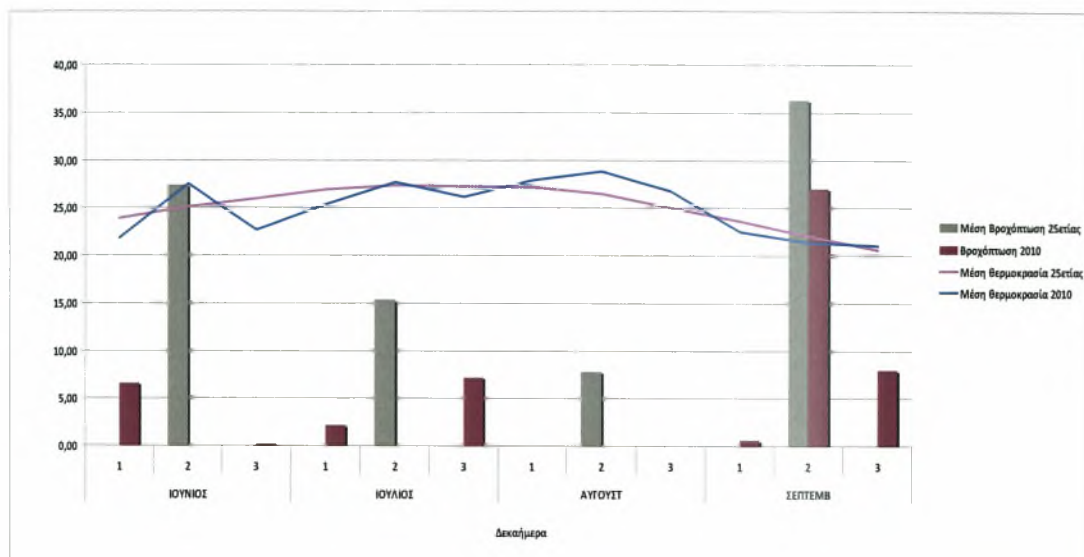
Πίνακας 5.1.1.3. Μέσες θερμοκρασίες της καλλιεργητικής περιόδου του 2010 και αντίστοιχες της τελευταίας 25ετίας.

Μήνας	Θερμοκρασία πρώτου 10ημέρου 2010	Θερμοκρασία πρώτου 10ημέρου 25ετίας	Θερμοκρασία δεύτερου 10ημέρου 2010	Θερμοκρασία δεύτερου 10ημέρου 25ετίας	Θερμοκρασία τρίτου 10ημέρου 2010	Θερμοκρασία τρίτου 10ημέρου 25ετίας
Ιούνιος	21,78	23,90	27,51	25,10	22,65	26,00
Ιούλιος	25,33	26,90	27,68	27,40	26,11	27,30
Αύγουστος	27,85	27,20	28,84	26,50	26,77	25,00
Σεπτέμβριος	22,51	23,60	21,37	22,10	21,08	20,60



Διάγραμμα 5.1.1.2. Σύγκριση βροχόπτωσης του 2010 με την τελευταία 25ετία.

Στο Διάγραμμα 5.1.1.3 φαίνονται η μέση θερμοκρασία και η ωφέλιμη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010 καθώς και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων της τελευταίας 25ετίας.



**Διάγραμμα 5.1.1.3.** Μέσοι όροι θερμοκρασίας και βροχόπτωσης Ιουνίου-Σεπτεμβρίου 2010 και των τελευταίων 25 ετών (ανά 10ήμερο).

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 5.1.1.3 οι βροχοπτώσεις από το 2ο δεκαήμερο του Ιουνίου έως το 2ο δεκαήμερο του Ιουλίου αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος και της ανάπτυξης της ταξιανθίας. Από τη σπορά (1/6/2010) έως και την έναρξη της άρδευσης (2/7/2010) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 9mm. Συγκεκριμένα στις 5/6/2010 σημειώθηκε η βροχόπτωση αυτής της περιόδου με τη μεγαλύτερη ένταση (3,8mm).

Από την έναρξη (4/6/2010) μέχρι και τη λήξη των αρδεύσεων (10/9/2010) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 18,6 mm ενώ κατά την άρδευση με υπόγειες σταγόνες από 2/7 έως 10/9/2010 αυτό έφτασε μόλις τα 12 mm.

Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος-Αύγουστος), συνέβησαν 8 βροχοπτώσεις με την μεγαλύτερης έντασης βροχόπτωση να είναι εκείνη που σημειώθηκε στις 26/7/2010 (5,5mm).

Οι βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν κατά το θέρος δεν είχαν το ανάλογο ύψος για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό. Έτσι, επιβεβαιώνεται η ανάγκη των φυτών για άρδευση με σκοπό τη σωστή ανάπτυξη και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας.

Τέλος, οι μειωμένες βροχοπτώσεις συντέλεσαν στις γρήγορες και ακριβείς μετρήσεις του νερού που δέχθηκε η καλλιέργεια, αφού η μεγαλύτερη ποσότητα χορηγήθηκε μέσω της άρδευσης. Αυτό έχει σαν επακόλουθο, τη σωστή σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, αφού μειώνεται η πιθανότητα του λάθους και η παραλλακτικότητα, εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων.



### 5.1.2 Εξατμισοδιαπνοή

Στα διαγράμματα 5.1.2.1, 5.1.2.2, και 5.1.2.3 απεικονίζονται η χρονική εξέλιξη της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο διάγραμμα 5.1.2.2 παρουσιάζονται οι δόσεις άρδευσης για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις που συμπίπτουν με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εφόσον η άρδευση γίνεται σε ποσοστό 100% αυτής.

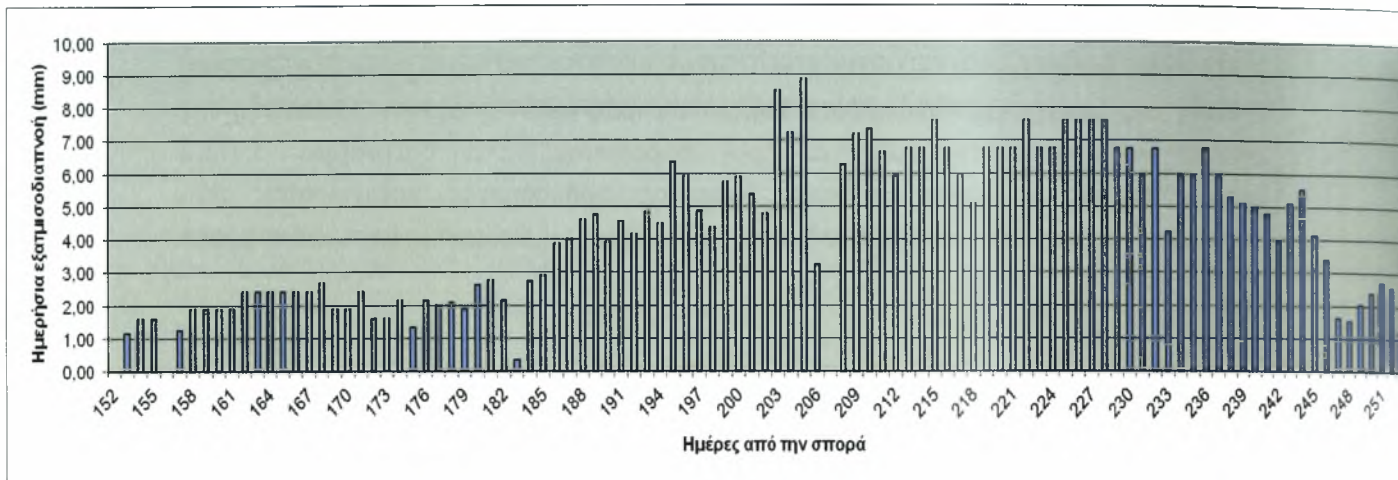


Διάγραμμα 5.1.2.1. Διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά τη διάρκεια του πειράματος.



Διάγραμμα 5.1.2.2. Διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 8,87mm στις 24/7/2010 (205 ημέρες από 01/01/2010), χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και μηδενική βροχόπτωση. Από τις 19/8/2010 (231 ημέρες από 01/01/2010) και μετά η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σταδιακά μειωνόταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της εποχής.



**Διάγραμμα 5.1.2.3.** Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του ηλιάνθου κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Εδώ βλέπουμε ότι οι ανάγκες σε νερό είναι αυξημένες από το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου. Από το τέλος Αυγούστου έως και το τέλος των αρδεύσεων παρατηρείτε όπως είναι φυσικό μια πτώση των απαιτήσεων σε νερό δεδομένου των χαμηλότερων τιμών εξατμισοδιαπνοης.

## 5.2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στον Πίνακα 5.2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων για τις δύο επεμβάσεις (καθαρό και λύμα) που έγιναν στον πειραματικό αγρό κατά την έναρξη διεξαγωγής και λήξης του πειράματος.

Οι μετρήσεις που βλέπουμε στον Πίνακα 5.2.2 στις στήλες ΠΙΠΙΝ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ αφορούν το δείγμα του χώματος πριν την σπορά της καλλιέργειας το 2010. Θα πρέπει να αναφερθεί πως το 2009 το πείραμα αυτό είχε επαναληφθεί επομένως είχε αρδευτεί το κατά τον ίδιο τρόπο, συγκομίστηκε η καλλιέργεια, και εφαρμόστηκε ελαφρά κατεργασία στον πειραματικού αγρό πριν τη σπορά. Από την άλλη, οι μετρήσεις που βλέπουμε στις στήλες ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ αφορούν το δείγμα του εδάφους μετά την συγκομιδή της καλλιέργειας το 2010.

Ο τρόπος λήψης των δειγμάτων του εδάφους ήταν: Από τρία διαφορετικά σημεία σε κάθε μεταχείριση λαμβανόταν δείγμα εδάφους από εδαφικές ζώνες βάθους 0-10cm, 10-30cm, 30-50cm. Επομένως, για παράδειγμα ένα δείγμα εδάφους, βάθους 0-10cm είχε ληφθεί από τρία διαφορετικά σημεία μέσα στο αγροτεμάχιο της εκάστοτε μεταχείρισης. Το αντίστοιχο συνέβη και για τα υπόλοιπα βάθη.

Το έδαφος ανήκει στην υποομάδα Typic Xerochrept της τάξης Inceptisols. Σύμφωνα με την μηχανική ανάλυση που έγινε είναι αμμοαργιλοπηλώδες, είναι δηλαδή ένα έδαφος μέσης σύστασης που χαρακτηρίζεται ως αλκαλικό σύμφωνα με το pH.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το pH παρέμεινε σχεδόν το ίδιο και ότι σε

ελάχιστες περιπτώσεις ξεπέρασε το κρίσιμο σημείο που είναι το 8,5. Από πλευράς ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρούμε ότι το έδαφος μας είναι μη αλατούχο καθώς  $EC_e < 2dS/m$  αλλά και ότι οι τιμές μετά την άρδευση με απόβλητα είναι λίγο αυξημένες λόγω της ύπαρξης του χλωρίου, αλλά πολύ μικρότερες του  $1dS/m$  που είναι το όριο ασφαλείας.

Το ολικό άζωτο επίσης δεν παρουσίασε μεταβολή καθώς δεν μεταβάλλεται με το πέρασμα του χρόνου. Επίσης, βάσει του ποσοστού οργανικής ουσίας το έδαφος χαρακτηρίζεται φτωχό και είναι επαρκώς εφοδιασμένο σε  $CaCO_3$ .

Όσον αφορά τον ψευδάργυρο και τον χαλκό παρατηρήθηκε πως οι τιμές τους μειώθηκαν μετά την άρδευση με λύμα, αλλά γενικώς το έδαφος μας ήταν χαμηλής περιεκτικότητας σε ψευδάργυρο αλλά επαρκώς εφοδιασμένο σε χαλκό. Στον φώσφορο (κατά Olsen) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στις τιμές του ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις.

Τέλος, τα ανταλλάξιμα κατιόντα του καλίου θεωρούνται ότι βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα.

**Πίνακας 5.2.2.** Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων και για τις δύο επεμβάσεις.

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Βάθος (cm)											
		0-10				10-30				30-50			
		Πριν την άρδευση		Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση		Μετά την άρδευση		Πριν την άρδευση		Μετά την άρδευση	
		ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ
		Αμμοαργιλοπηλώδες SCL											
Μηχανική Σύσταση		Αμμοαργιλοπηλώδες SCL											
Οργανική Ουσία	%	2,54	0,94	0,94	0,98	0,86	0,78	0,85	0,78	0,92	0,66	0,59	0,71
pH		8,18	8,35	8,43	8,52	8,24	8,36	8,38	8,59	8,19	8,51	8,43	8,49
CaCO <sub>3</sub>	%	5,45				4,49				8,09			
P	mg/kg	22,62	19,84	29,86	32,95	19,52	18,11	21,05	18,59	16,73	18,78	27,88	21,06
Ηλ. Αγωγιμότητα	dS/m	0,252	0,295	0,189	0,239	0,218	0,319	0,193	0,258	0,235	0,249	0,189	0,334
K	mg/kg	20,02	20,91	19,25	20,68	13,92	13,42	14,38	13,12	18,96	18,43	16,1	12,92
Zn	mg/kg	0,54	0,76	0,51	0,48	0,30	0,42	0,32	0,39	0,34	0,42	0,36	0,36
Cu	mg/kg	1,15	0,89	1,45	0,66	0,57	0,43	1,05	1,15	0,66	0,52	0,61	0,66
N	%	0,48	0,48			0,39	0,53			0,59	0,36		

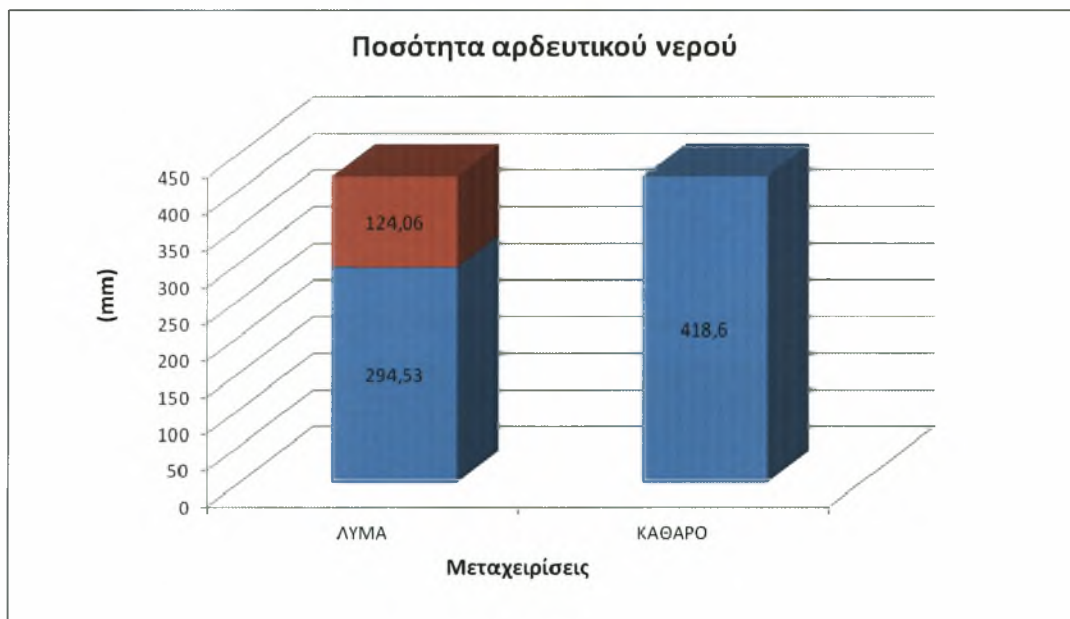


### 5.3 Εξοικονόμηση νερού

Ο ηλιάνθος είναι ένα φυτό απαιτητικό στην άρδευση προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική απόδοση. Όσον αφορά την περιγραφή της άρδευσης στις μεταχειρίσεις αναφέρονται τα παρακάτω.

Στην μια μεταχείριση η άρδευση έγινε εξολοκλήρου με καθαρό νερό προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες της καλλιέργειας (30 αρδεύσεις). Στη μεταχείριση με το λύμα πραγματοποιήθηκαν επίσης 30 αρδεύσεις αλλά οι 10 από αυτές ήταν αποκλειστικά με λύμα (124,06 mm) ενώ οι υπόλοιπες με καθαρό νερό (294,53 mm). Όσον αφορά το εύρος των αρδεύσεων αυτές πραγματοποιούνταν περίπου κάθε τρεις ημέρες και μετά από κάθε άρδευση με λύμα ακολουθούσαν δύο με καθαρό νερό στην μεταχείριση του λύματος.

Ημερολογιακά το νερό φυτρώματος εφαρμόστηκε στις 4/6/2010 και σαν ποσότητα κάλυψε την υδατοϊκανότητα του εδάφους σε ένα επαρκές βάθος και ακολούθησαν 8 αρδεύσεις με τεχνητή βροχή που πραγματοποιήθηκαν στις 7/6, 11/6, 14/6, 18/6, 21/6, 25/6, 28/6 και 30/6/2010. Η πρώτη άρδευση με υπόγειες σταγόνες έγινε στις 2/7/2010 εφαρμόζοντας καθαρό νερό σε κάθε μια από τις δυο αρδευόμενες μεταχειρίσεις και η πρώτη άρδευση με λύμα ακολούθησε στις 7/7/2010. Παρακάτω στο Διάγραμμα 5.3.1 βλέπουμε τη συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε στις μεταχειρίσεις.



Διάγραμμα 5.3.1. Εξοικονόμηση νερού.

Στην μεταχείριση του λύματος έπεσαν συνολικά 418,60mm νερού όσα και στην μεταχείριση του καθαρού από τα οποία τα 124,06mm ήταν λύμα και τα υπόλοιπα 294,53mm ήταν καθαρό νερό. Στην μεταχείριση του λύματος το ποσοστό της ποσότητας του λύματος επί της συνολική ποσότητας του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε αποτελεί το ποσοστό εξοικονόμησης σε καθαρό νερό και ανέρχεται στο 29,64%. Πετύχαμε δηλαδή **περίπου 30% εξοικονόμηση σε καθαρό νερό.**

## 5.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού παραγωγικών χαρακτηριστικών του ηλιάνθου

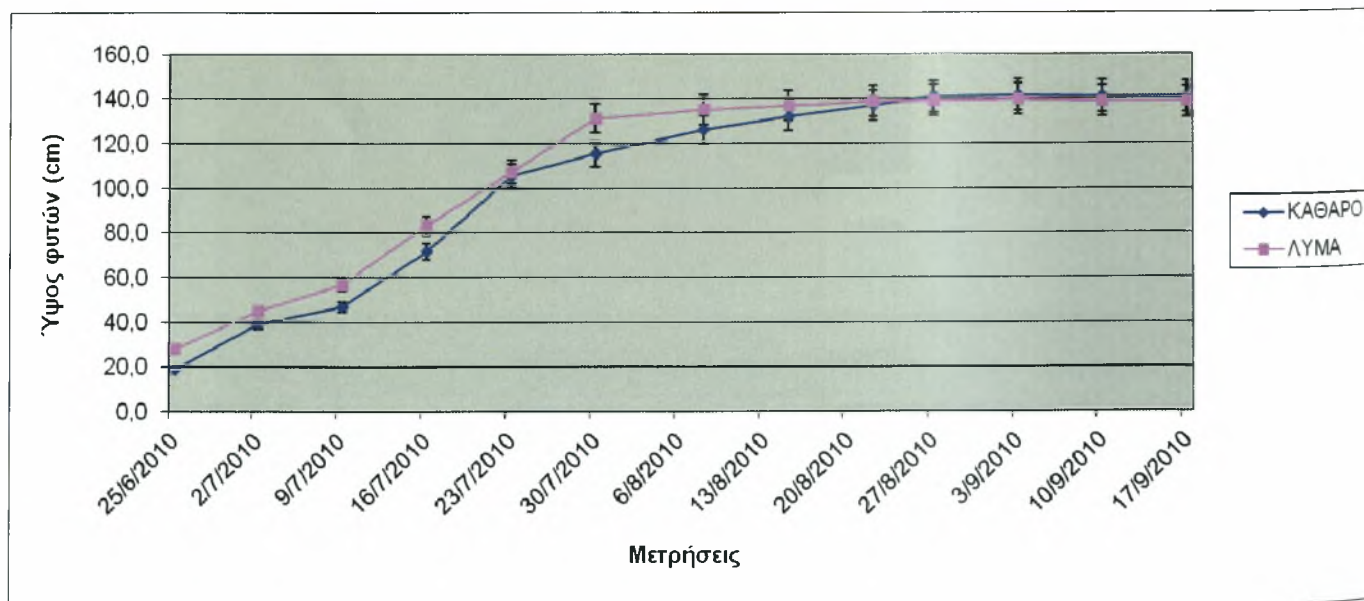
### 5.4.1 Ύψος φυτών

Στον Πίνακα 5.4.1.1 και στο Διάγραμμα 5.4.1.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων του ύψους για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2010 στο Βελεστίνο.

Πίνακας 5.4.1.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων του ύψους.

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις	
	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ
25/6/2010	19,0	28,1
2/7/2010	39,0	45,1
9/7/2010	46,8	56,7
16/7/2010	71,5	83,2
23/7/2010	105,5	107,5
30/7/2010	115,3	131,4
8/8/2010	126,2	135,4
15/8/2010	132,3	137,1
22/8/2010	137,2	139,1
27/8/2010	141,0	139,4
3/9/2010	141,8	139,8
10/9/2010	141,2	139,1
17/9/2010	141,0	138,7

Παρατηρούμε ότι ο τελικός μέσος όρος ύψους στη μεταχείριση του καθαρού ο τελικός μέσος όρος ήταν 141,2cm και στην μεταχείριση με το λύμα έφτασε τα 139,1cm.



Διάγραμμα 5.4.1.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανά μεταχείριση.

Στο Διάγραμμα 5.4.1.1 βλέπουμε την χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Παρατηρούμε πως η μεταχείριση του λύματος από την αρχή της ανάπτυξής της υπερτερούσε αισθητά έναντι της μεταχείρισης με το καθαρό νερό αλλά στη συνέχεια, αυτή η διαρκώς μειούμενη διαφορά έγινε ελάχιστη. Από τη στατιστική ανάλυση φαίνεται ότι η διαφορά των τιμών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν είναι στατιστικά σημαντική στο σύνολο των μετρήσεων για τις δύο μεταχειρίσεις, όμως παρουσιάζονται κάποιες στατιστικά σημαντικές διαφορές στις εξής ημερομηνίες: 23/7, 6/9, 20/8, 10/9 και 17/9. Ο ρυθμός αύξησης του ύψους ήταν σε υψηλά επίπεδα έως και το τέλος Ιουλίου όπου από εκεί και πέρα άρχισε να μειώνεται έως ότου η καλλιέργεια να αποκτήσει το τελικό ύψος περί τις 20 Αυγούστου.

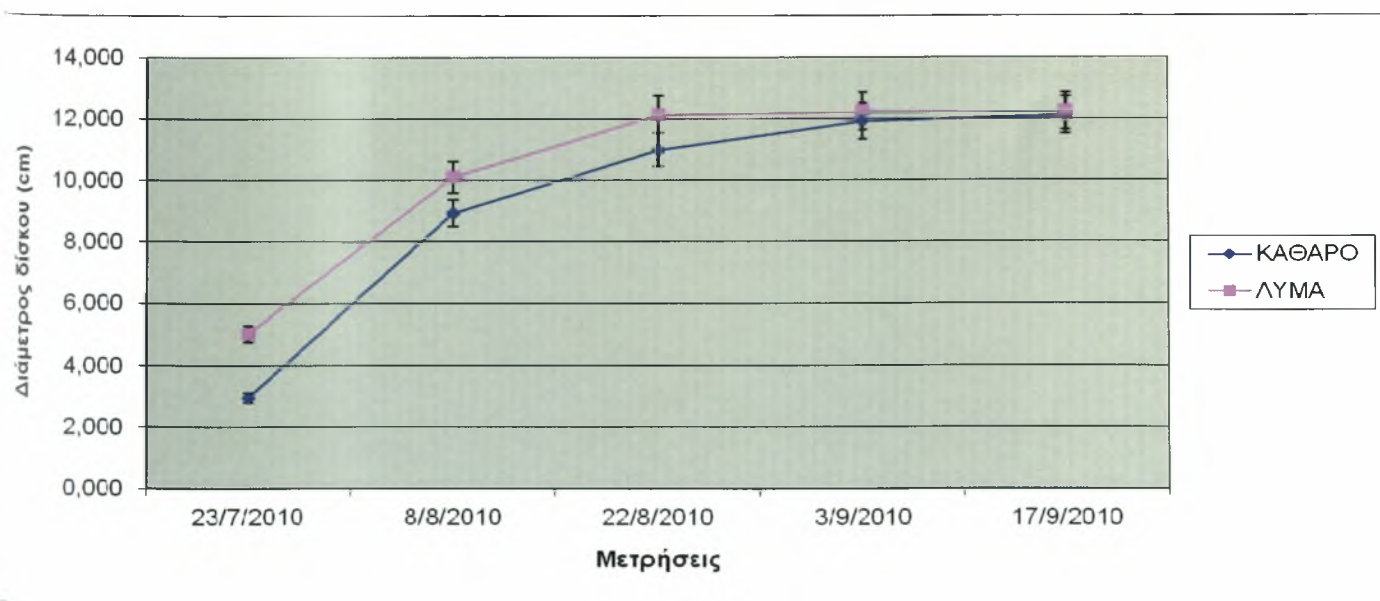
### 5.4.2 Διάμετρος κεφαλής

Στον Πίνακα 5.4.2.1 και στο Διάγραμμα 5.4.2.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων διαμέτρου κεφαλής για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 5.4.2.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων της διαμέτρου κεφαλής.

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις	
	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ
23/7/2010	2,963	5,025
8/8/2010	8,925	10,100
22/8/2010	10,988	12,138
3/9/2010	11,913	12,238
17/9/2010	12,113	12,238

Παρατηρούμε ότι ο τελικός μέσος όρος διαμέτρου κεφαλής στη μεταχείριση με καθαρό νερό ο τελικός μέσος όρος ήταν 12,113cm και στη μεταχείριση του λύματος έφτασε τα 12,238cm.



Διάγραμμα 5.4.2.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων διαμέτρου κεφαλής ανά μεταχείριση.

Στο Διάγραμμα 5.4.2.1 βλέπουμε την χρονική εξέλιξη της διαμέτρου κεφαλής των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις για την καλλιεργητική περίοδο του 2010. Αρχικά βλέπουμε ότι υπάρχει σε όλες τις μεταχειρίσεις μια απότομη αύξηση της διαμέτρου κεφαλής. Η αύξηση αυτή κορυφώνεται περί το τέλος του δεύτερου δεκαημέρου του Σεπτεμβρίου. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων υπάρχουν στις τρεις πρώτες ημερομηνίες μέτρησης.

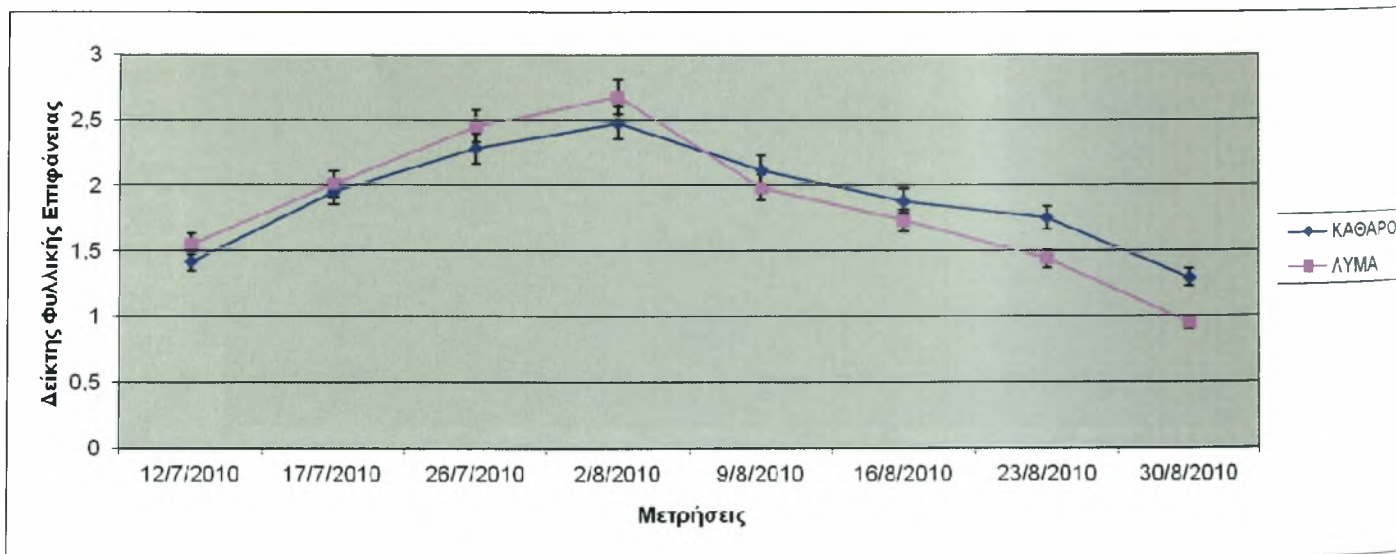
### 5.4.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Στον Πίνακα 5.4.3.1 και στο Διάγραμμα 5.4.3.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων του LAI για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 5.4.3.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων του L.A.I..

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις	
	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ
12/7/2010	1,42	1,55
17/7/2010	1,95	2,01
26/7/2010	2,28	2,45
2/8/2010	2,48	2,68
9/8/2010	2,12	1,98
16/8/2010	1,88	1,73
23/8/2010	1,75	1,44
30/8/2010	1,29	0,95

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή του L.A.I. στη μεταχείριση με καθαρό νερό έφτασε την τιμή 2,48 ενώ στη μεταχείριση του λύματος πήρε την τιμή 2,68.



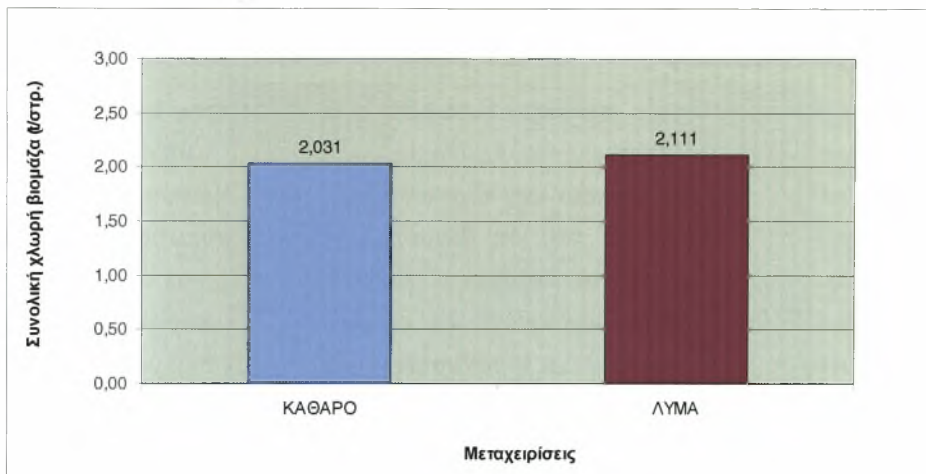
Διάγραμμα 6.4.3.1. Χρονική εξέλιξη των μέσων όρων του L.A.I. ανά μεταχείριση.



Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Στην αρχή παρατηρείται μια αύξηση του L.A.I δεδομένου ότι η καλλιέργεια αναπτύσσεται και λόγω της διατήρησης της υγρασίας του εδάφους σε καλά επίπεδα. Από τις αρχές Αυγούστου και μετά δεδομένου της έναρξης της γήρανσης της καλλιέργειας το L.A.I. αρχίζει να μειώνεται και από το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου η τιμή του θα πέσει κάτω από τη μονάδα. Στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει μεταξύ των μεταχειρίσεων τις ημερομηνίες 12/7, 23/8 και 30/8.

#### 5.4.4 Χλωρή - Ξηρή βιομάζα κεφαλών

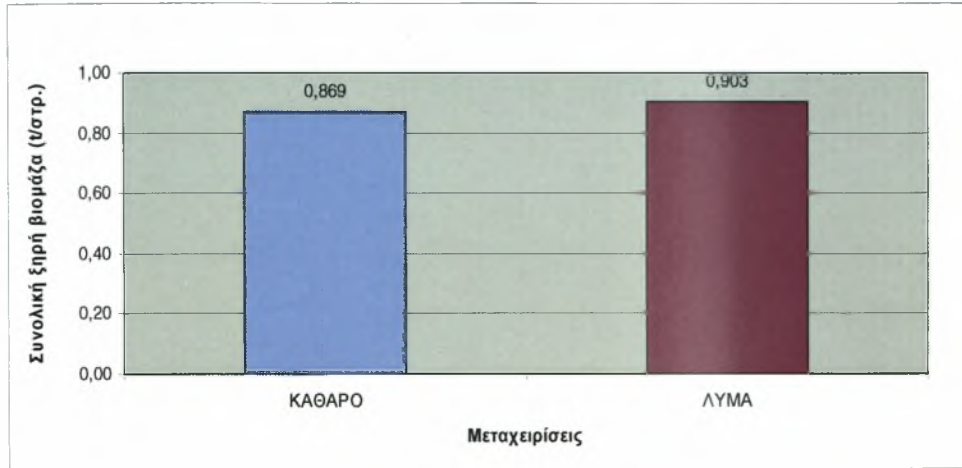
Παρακάτω παρουσιάζονται με γραφήματα οι τιμές βιομάζας για τις μεταχειρίσεις τόσο για το νωπό βάρος όσο και για το ξηρό εκφρασμένες σε τόνους ανά στρέμμα (t/στρ.).



Διάγραμμα 5.4.4.1. Χλωρή βιομάζα κεφαλής.

Στο Διάγραμμα 5.4.4.1 βλέπουμε την απεικόνιση για την παραγωγή της χλωρής βιομάζας των κεφαλών μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη μεταχείριση του λύματος η τιμή της βιομάζας ανήλθε στους 2,111t/στρ., ενώ στην μεταχείριση με το καθαρό νερό στους 2,031t/στρ.. Οι μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν στατιστικές σημαντικές διαφορές.

Στο Διάγραμμα 5.4.4.2 βλέπουμε την απεικόνιση για τη παραγωγή της ξηρής βιομάζας των κεφαλών ανά στρέμμα μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στην μεταχείριση του λύματος η τιμή της ανήλθε στους 0,903t/στρ. ενώ στην μεταχείριση του καθαρού νερού ανήλθε στους 0,869t/στρ.. Στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν παρατηρούνται μεταξύ των μεταχειρίσεων.

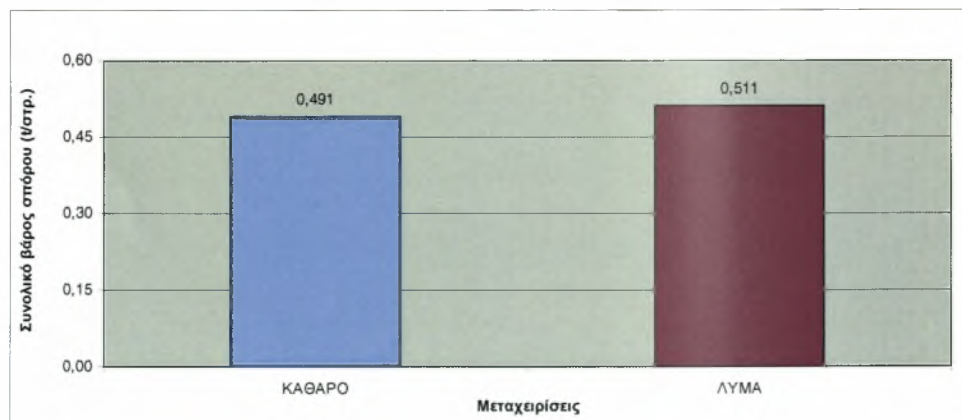


Διάγραμμα 5.4.4.2. Ξηρή βιομάζα κεφαλής.

## 5.4.5 Στοιχεία τελικής παραγωγής

### 5.4.5.1 Παραγωγή σε σπόρο

Ως τελικό προϊόν στη παρούσα διατριβή είναι ο σπόρος που συγκομίστηκε κατά την μηχανική συγκομιδή της καλλιέργειας. Ο σπόρος αυτός θα οδηγηθεί σε βιομηχανική επεξεργασία με σκοπό την εξαγωγή του περιεχόμενου σε αυτόν ελαίου (ηλιέλαιου) και την μετατροπή του σε βιοντίζελ (μετεστεροποίηση ελαίων). Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δεδομένα παραγωγής τόσο για το σπόρο όσο και για το ηλιέλαιο καθώς και η παραγωγή σε ενέργεια. Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται τα στοιχεία παραγωγής και η σύγκριση τους μεταξύ των μεταχειρίσεων.

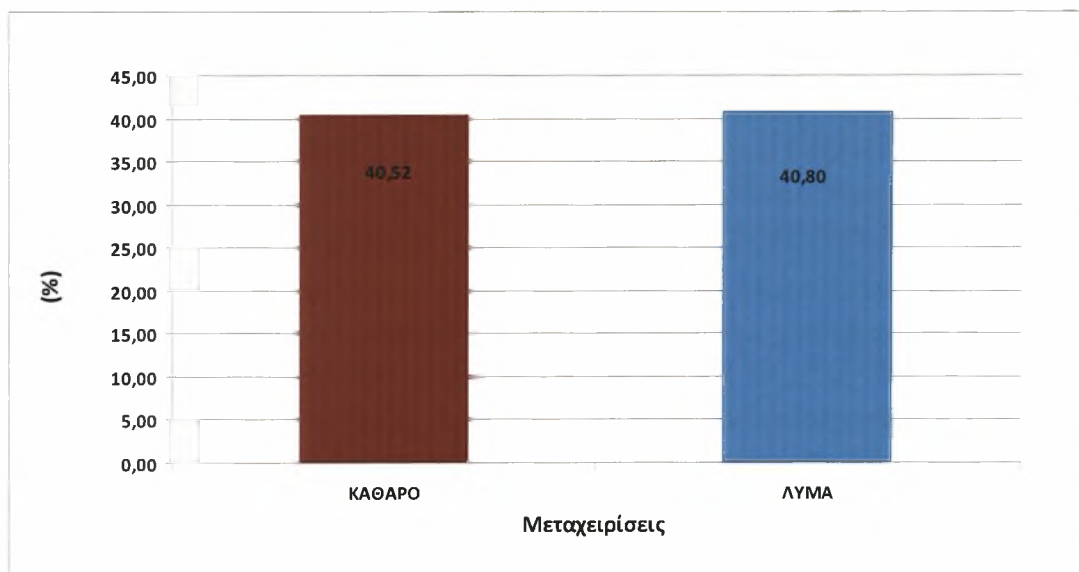


Διάγραμμα 5.4.5.1. Παραγωγή σε σπόρο.

Στο Διάγραμμα 5.4.5.1 βλέπουμε την τελική παράγωγη σε σπόρο ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Βλέπουμε ότι η μεταχείριση του λύματος εμφανίζει δυναμικό παραγωγής τους 0,511t/στρ. και ακολουθεί η μεταχείριση του καθαρού με 0,491t/στρ.. Η διαφορά στη σύγκριση των τιμών ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν είναι στατιστικά σημαντική.

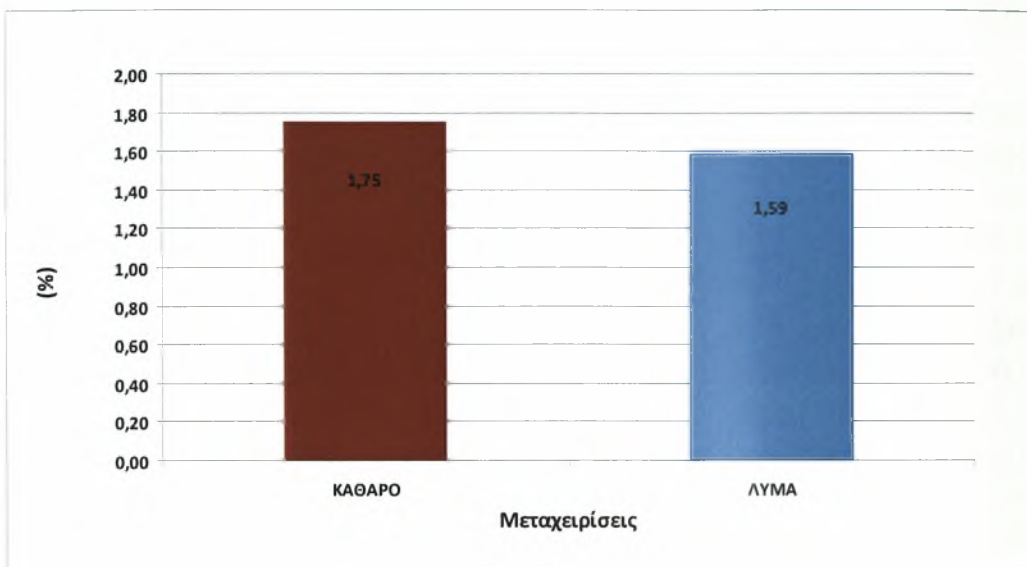
### 5.4.5.2 Παραγωγή σε ηλιέλαιο

Μετά τον διαχωρισμό του σπόρου από τις κεφαλές ένα μικρό δείγμα αυτού στάλθηκε προς ανάλυση στο Χημικό Εργαστήριο της Εταιρείας ΜΑΝΟΣ Α.Ε. Τα φυτά τα οποία επιλέξαμε για την εξαγωγή του σπόρου είναι τα ίδια φυτά (είκοσι για κάθε πειραματικό τεμάχιο) που χρησιμοποιήθηκαν για όλα τα είδη των μετρήσεων που παρουσιάζονται σε αυτήν τη διατριβή. Συγκεκριμένα λήφθηκε δείγμα σπόρου από κάθε πειραματικό τεμάχιο. Ύστερα κάθε δείγμα αναμίχτηκε ανάλογα με τη μεταχείριση από την οποία προήλθε και τελικά για κάθε μια μεταχείριση προέκυψαν δύο δείγματα τα οποία αναλύθηκαν ξεχωριστά το ένα από το άλλο. Οι τελικές τιμές που πήραμε κατά την ανάλυση προέκυψαν από τον μέσο όρο των παραπάνω δειγμάτων. Στην ανάλυση μελετήθηκαν ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που είναι η οξύτητα του ηλιέλαιου και ένα ποσοτικό που είναι η περιεκτικότητα του σπόρου σε ηλιέλαιο. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται αυτά τα χαρακτηριστικά.



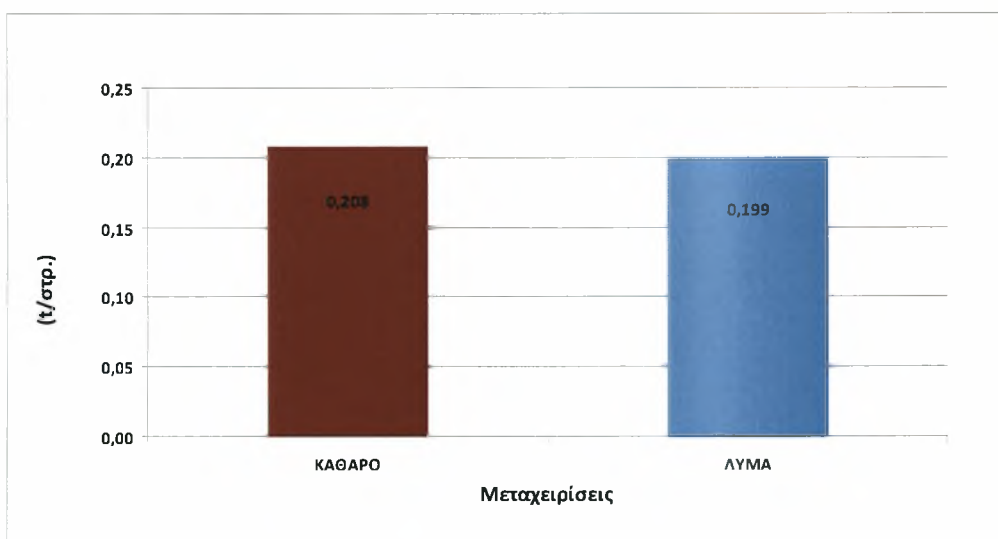
Διάγραμμα 5.4.5.2.1. Περιεκτικότητα σπόρου σε ηλιέλαιο.

Στο Διάγραμμα 5.4.5.2.1 παρατηρούμε ότι οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις εμφανίζουν κοινή περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο. Συγκεκριμένα για τη μεταχείριση με λύμα έχουμε τιμή 40,80% ενώ για την μεταχείριση με καθαρό έχουμε 40,52%. Παρατηρούμε ότι η ποιοτική διάφορα στο αρδευτικό νερό δεν επηρεάζει το ποσοστό της περιεκτικότητας σε ηλιέλαιο.



**Διάγραμμα 5.4.5.2.2.** Οξύτητα ηλιέλαιου.

Η οξύτητα ενός ελαίου είναι η ποσότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων που υπάρχουν σε αυτό. Όσο μικρότερη είναι αυτή η ποσότητα τόσο καλύτερη θα είναι η ποιότητά του. Όσον αφορά την οξύτητα του ηλιέλαιου στο Διάγραμμα 5.4.5.2.2 παρατηρούμε ότι είναι μικρή η διαφορά ανάμεσα στις μεταχειρίσεις.



**Διάγραμμα 5.4.5.2.3.** Παραγωγή σε ηλιέλαιο.

Στο Διάγραμμα 5.4.5.2.3 βλέπουμε την τελική παράγωγη σε ηλιέλαιο. Συγκεκριμένα η μεταχείριση με το λύμα εμφανίζει παραγωγικότητα ηλιέλαιου 0,208t/στρ. με την μεταχείριση του καθαρού να ακολουθεί με 0,199t/στρ..



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2010 δεν υπήρχε μεγάλη βροχόπτωση για τους κρίσιμους μήνες ενώ τους υπόλοιπους μήνες εκτός του Σεπτεμβρίου (Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος) παρατηρήθηκαν υπερβολικά χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης από τις αντίστοιχες τιμές της τελευταίας 25ετίας. Οι θερμοκρασίες του αέρα ήταν παρόμοιες σε σχέση με την τελευταία 25ετία. Όπως προκύπτει λοιπόν το καλοκαίρι του 2011 ήταν αρκετά πιο ξηρό σε σχέση με το μέσο όρο της τελευταίας 25ετίας. Κάτι τέτοιο επιβάλλει ακόμα περισσότερο την εφαρμογή στάγδην άρδευσης, καθώς επωφελούμαστε από την εξοικονόμηση και τη σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού.

Οι κλιματικές συνθήκες (θεοκρασία αέρα και βροχόπτωση) που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια του θέρους του 2010 βοήθησαν στη σύγκριση μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το χαμηλό ύψος βροχής κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την αναπτυξιακή διαδικασία της καλλιέργειας η οποία επομένως επηρεάστηκε στο μεγαλύτερο βαθμό από την άρδευση που δέχθηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος της έρευνας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις αρδευόμενες μεταχειρίσεις σε όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν (ύψος φυτών, διάμετρος κεφαλής, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας και παραγωγή σε σπόρο και ηλιέλαιο) γεγονός πολύ ενθαρρυντικό αν λάβουμε υπόψη την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού που έγινε. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έδωσε παρόμοια ή και σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με το καθαρό νερό.

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι η μεταχείριση του λύματος εμφανίζει οριακά μεγαλύτερες τιμές από την μεταχείριση του καθαρού χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικές σε χαρακτηριστικά όπως η παραγωγή βιομάζας και σπόρου. Με την άρδευση με λύμα επιτυγχάνονται εξίσου σημαντικές αποδόσεις στη καλλιέργεια του ηλιάνθου με ταυτόχρονη εξοικονόμηση καθαρού νερού.

Από την εδαφολογική ανάλυση που διεξήχθη, στην μεταχείριση του λύματος δεν καταγράφηκε οποιαδήποτε συγκέντρωση τοξικών στοιχείων. Η θετική συμπεριφορά της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα ενθαρρύνει τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για την άρδευση φυτών βιοενέργειας, όπως ο ηλιάνθος, με άριστα αποτελέσματα εφόσον ακολουθείται ένα πρόγραμμα εναλλαγής καθαρού νερού και λυμάτων.

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα είναι ικανά να αποτελέσουν μια λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού και να χρησιμοποιηθούν για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών στο άμεσο μέλλον όπως οι ενεργειακές και ανθοκομικές καλλιέργειες. Προϋπόθεση της άρδευσης με λύμα είναι ο έλεγχος των χημικών του συστατικών και του μικροβιακού του φορτίου. Επίσης η άρδευση είναι αναγκαίο να γίνεται με συστήματα υπόγειων σταγόνων διότι λόγω της υπόγειας στάγδην άρδευσης δεν υπάρχει υγειονομικός κίνδυνος, αφού τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα δεν έρχονται σε επαφή με το κοινό και τους εργαζομένους στο χώρο.

Η άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται παντού, διότι θα ήταν επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία να εφαρμοστεί σε καλλιέργειες όπου τα προϊόντα τους περνούν στην τροφική αλυσίδα. Επίσης θα πρέπει να ελέγχεται και ο κίνδυνος μείωσης της γονιμότητας του εδάφους σε περίπτωση χρόνιας εφαρμογής των λυμάτων λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης τους σε χλώριο καθώς και σε άλλα συστατικά που περιέχουν. Στη παρούσα διατριβή τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. ήταν σχετικά ισορροπημένα σε θρεπτικά συστατικά, περιείχαν όμως μεγάλες ποσότητες χλωρίου γι' αυτό και η άρδευση γινόταν με εναλλαγή καθαρού νερού - λύματος σε αναλογία συχνότητας δύο προς ένα.

Κατά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για την άρδευση καλλιέργειας του ηλίανθου δεν τίθεται θέμα κινδύνου για τους καταναλωτές εφόσον ο συγκεκριμένος τύπος καλλιέργειας δεν χρησιμοποιείται σαν προϊόν διατροφής του ανθρώπου αλλά μόνο για παραγωγή ενέργειας (βιοντίζελ).

Συνολικά η Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. σε όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου μας εφοδίασε με  $124\text{m}^3$  λύματος. Επιτεύχθηκε έτσι μια εξοικονόμηση της τάξης του 30% σε καθαρό αρδευτικό νερό.

Οι αποδόσεις των φυτών σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, δίνουν πολλές ελπίδες για μελλοντική χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση τόσο σε χώρους πρασίνου εντός πόλης (πάρκα) όσο και σε μη βρώσιμες καλλιέργειες και κυρίως σε ενεργειακές όπως ο ηλίανθος όπου η ανάγκη εξοικονόμησης σε καθαρό αρδευτικό νερό κρίνεται επιβεβλημένη.

Τέλος, σαν γενικό συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι η άρδευση με υγρά αστικά απόβλητα μπορεί να αποτελέσει έναν πολύ σημαντικό παράγοντα εξοικονόμησης αρδευτικού νερού για ένα σύνολο καλλιεργειών ιδιαίτερα σε συνθήκες ξηρασίας όπου οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης, Α., 2000. Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία, Τεύχος 1 (14) Ιούλιος – Σεπτέμβριος 2000. Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε..
2. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ., 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-206.
3. Αντωνόπουλος, Β.Ζ., 2003. Υδραυλική περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ.520.
4. Αυγουλάς, Χρ., Ποδηματάς, Κ., Παπαστυλιανού, Π., 2001. Φυτά Μεγάλης Καλλιέργειας. Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, σ. 324-350, 486.
5. Βαρδαβάκης, Ε., 1994. Συστηματική Βοτανική. Έκδοση Τέταρτη. Τόμος Ι, Εκδόσεις Δ.Κ. Σαλονικίδη, Θεσσαλονίκη.
6. Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ., 2002. Βιομηχανικά φυτά: βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά - ελαιοδοτικά - ζαχαρότευτλα - καπνός. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.
7. Δαναλάτος, Ν. και Αρχοντούλης, Σ., 2008. Οδηγός Καλλιεργητικών Φροντίδων Αγριαγκινάρας, Ηλιάνθου και Σόργου. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
8. Δημοπούλου, Κ., 2005. Μεταπτυχιακή διατριβή. Επίδραση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τεύτλων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
9. Επίσημη Εφημερίδα Κυβερνήσεως, 2008. Ελληνική Δημοκρατία, ΦΕΚ Β 2089/09-10-2008.
10. Επίσημη Εφημερίδα Κυβερνήσεως, 2011. Ελληνική Δημοκρατία, ΦΕΚ Β 354/08-03-2011.
11. Μακραντωνάτος, Π.Γ., 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Β' Έκδοση, Αθήνα.
12. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ., και Φλωράς, Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
13. Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993. Ο Ηλιάνθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών.
14. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρούδης, Ι.Γ., Βαξεβάνη, Χ.Η. και Χατζηγιαννάκης, Σ.Λ., 1992. Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτιήρων από την χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. Υδροτεχνικά, 2 (1): 5-13.

15. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρούδης, Ι.Γ. και Χατζηγιαννάκης, Σ.Λ., 1993. Εφαρμογή της ισοπέδωσης με laser στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα, 4 (4): 14-19.
16. Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Πατέρας, Δ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1998 α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (II). Πρακτικά ημερίδας με τίτλο ‘ Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου Ανάκτησης Αστικών Αποβλήτων με Χρήση Φυσικών Συστημάτων και Επαναχρησιμοποίησής τους για Άρδευση και Ανάπλαση Υγροτόπων’, 132- 145.
17. Πανώρας, Α. Γ., Καλαφατέλη, Δ. και Ρέρη, Ε., 1998 β. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, ISSN 1105- 9478.
18. Πανώρας, Α. και Ηλίας, Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
19. Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999 α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (I). *Biologia Callo-Hellenica*.
20. Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999 β. Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης Θεσσαλονίκης για άρδευση ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ με θέμα ‘ Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου’, Βόλος, 17- 19 Ιουνίου.
21. Παπαδόπουλος, Α. και Παρισόπουλος, Γ., 2001. Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. Γεωργική Έρευνα, Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. Ιανουάριος – Μάρτιος.
22. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 484.
23. Ράμμος, Ι., 2006. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλωπιστικών κωνοφόρων. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
24. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούντζος, Δ., Παπανίκος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 157-164. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου.
25. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
26. Γερζίδης, Γ. Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
27. Υπουργείο Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος, 2008. Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. Αθήνα (CD), σελ.125.



28. Χατζηγιαννάκης, Σ. και Θεοδώρου, Ν., 1991. Η χρήση των ακτινών laser στην ισοπέδωση των χωραφιών. Έκδοση Ι.Ε.Β., σελ. 13. Θεσσαλονίκη.

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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* 56: 57-59.
2. Andreadakis, A.N., and Bontoux, L., 2001. Wastewater reclamation and reuse in EU countries. *Wat. Policy.*, 3, 47-59.
3. Andreadakis, A., Gavalaki, E., Mamais, D., and Tzimas, A., 2001. Wastewater reuse criteria in Greece. 7<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. Ermoupolis, Syros Island, Sept. 2001.
4. Angelaki, A., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., 2002. Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure. 5<sup>th</sup> International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4-8 September 2002 – oral presentation, proceedings, pp 172-183. Athens.
5. Angelakis, A.N., Marecos de Monte, M.H., Bontoux, L., and Asano, T., 1999. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Wat. Res.*, 33(10), 2201-2217.
6. Angelakis, A.N., Bontoux, L., and Lazarona, V., 2002. Main challenges for water recycling and reuse in EU countries. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September 2002.
7. Antonopoulos, V.Z., and Diamantidis, G.D., 1995. Analysis of environmental factors affect on nitrification and denitrification of nitrogen applied in the soil by wastewater. Angelakes et al. (Eds.), *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. (IAWQ), Iraklio, Crete. Vol. 1 pp. 461470.*
8. Asano, T., Smith, R. G., Tsobanoglous, G., 1985. Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In *irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater- A guidance manual. 2<sup>nd</sup> edition*, Pettygrove, G. S. and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
9. Asano, T., 1998. *Wastewater reclamation and reuse, water quality management library, Volume 10, Technomic Publishing company, Lancaster, Pennsylvania.*
10. Ayers, R.S., and Westcott, D.W., 1985. *Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Rome, Italy.*
11. Ayers, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., Mead, R.M., 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42 (1999): 1-27.

12. Bakopoulou, S. and Kungolos, A., 2009. Investigation of wastewater reuse potential in Thessaly region, Greece. *Desalination* 248, 1029-1038.
13. Bakopoulou, S., Polyzos, S., Kungolos, A., 2010. Investigation of farmers' willingness to pay for using recycled water for irrigation in Thessaly region, Greece. *Desalination* 250, 329-334.
14. Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palcios, G., and Stott, R., 2000. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1104-1116.
15. Bower, H. and Idelovitch, E., 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. Water reuse for drip irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, 113(4): 516- 535.
16. Brissaud, F., 2008. Criteria for waterrecycling and reuse in the Mediterranean region. *Desalination* 218, 24-33.
17. Burton, J.W., Miller, J.F., Vick, B.A., Scarth R. and Holbrook C.C., 2004. Altering fatty acid composition of sunflower oil. *Adv. Agron.*, 84: 273-306.
18. Carr, R., 2005. WHO guidelines for safe wastewater use-more than just numbers. *Irrigation drainage* 54, 103-111.
19. Danalatos, N.G., Skoufogianni, E., Giannoulis, K.G., Archontoulis, S.V., 2007. Responses of *Cynara Cardunculus* to Irrigation and N-Fertilization in Central Greece. 15<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany.
20. Day, A.D., McFadyen, J.A., Tucker, T.C., Cluff, C.B., 1979. Commercial production of wheat grain irrigated with municipal waste water and pump water. *J. Environ. Qual.* 8, 403-406.
21. Dedrick, A.R., Erie, L.J. and Clemmens, A.X., 1982. Level basin irrigation. *Advances in irrigation* (edited by D.Hillel). Academic Press, N.Y., Vol. 1 05-145.
22. EPA: Environmental Protection Agency, 1992. Guidelines for water Reuse: Manual U.S. EPA and U.S. Agency of Int. Development. EPA/625/R-92/004, Cincinnati, OH.
23. FAO, 2010. Sunflower, Crude and Refined Oil, Rome, Italy.
24. Fernandez Martinez, J. and Alba, E., 1984. Breeding for oil and meal quality in sunflower. In: *Proc. Int. Symp. On Science and Bio-Technology for an Integral Sunflower Utilization*, Bari, Italy, pp. 75-97.
25. Friedt, W., 1992. Present state and future prospects of biotechnology in sunflower breeding. *Fields Crop Res.*, 30: 425-442.
26. Fuller, M., Diamond, J., Applewhite, T., 1967. High oleic sunflower oil. Stability and chemical modification. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 44: 264-267.
27. Geronikolaou, L., Archontoulis, S.V., Danalatos, N.G., Papadakis G., Kyritsis, S., 2005. Economic Opportunity for Seed Oil Production in S. Europe by New Sunflower Varieties and under New C.A.P. Conditions. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and

- Climate Protection. Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17-21 October Paris, pp. 1917-1920.
28. Hanson, B.R., Schwankl, L.J., Schulbach, K.F., Pettygrove, G.S., 1997. A comparison of furrow, surface drip and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water. *Agricultural Water Management*, 33 (1997): 139-157.
  29. Ioukopoulos, B., Kalavrouziotis, I.K., 2008. Reuse of municipal reclaimed wastewater for the irrigation in soils and plants: Aitolokarnania in Western Greece as an example. *Fresenius Environ. Bull.* 17 (4), 434-438.
  30. I-Pai, Wu, 1994. Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc.. Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
  31. Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A., 2001. The future of irrigation by processed wastewater in Greece. *J. Environ. Waste Manage.* 4 (2), 107-110.
  32. Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A., 2004. Investigation of Corfu-Greece reclaimed municipal wastewater suitability for irrigation. *Int. J. Water.* 2, 284-296.
  33. 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. *Fresenius Environ. Bull.* 14 (3), 204-211.
  34. 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. *Int. J. Environ. Pollut.* 28 (3-4), 485-495.
  35. Kandiah, A., 1990. Criteria and classification of saline water. Water, soil and crop management practices relating to the use of saline water. Kandiah, A. (Eds.), *AGL/MIC/16/90*. FAO, Rome. 34-51.
  36. Kilman, M.L. and Earle, F.R., 1964. Agronomic performance and chemical composition of the seed of sunflower hybrids and introduced varieties. *Crop Sci.*, 4: 417-420.
  37. Kirda, C., and Kanber, R., 1999. Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigated agriculture. In: Kirda, C., Mountonnet, P., Hera, C., Nielson D.R. (Eds.), *Crop yield response to deficit irrigation. Development in Plant and Soil Sciences*, Vol. 84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 1-20.
  38. Lagravere, T., Kleiber, D., Dayde, J., 1998. Performance agronomique et conduits culturales du tournesol oléique. *Réalités et perspectives. Oléagineux Crops Gras Lipides*, 5 (6): 477-485.
  39. Lajara, J.R., Diaz, U. and Quidiello, R.D., 1990. Definite influence of location and climatic conditions on the fatty acid composition of sunflower oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 67: 618-623.
  40. Lazarova, V., 2000. Wastewater disinfection: assessment of the available technologies for water reclamation. Chapter In: *Water Conservation* vol. 3.

- Water Management, Purification and Conservation in Arid Climate. Goosen, M.F.A., Shayya, W.H. (Eds.), Technomic Publishing Co. Inc., 171-198.
41. Marecos do Monte, M.H.F., Angelakis, A.N., and Asano, T., 1996. Necessity and basis for the establishment of European guidelines on wastewater reclamation and reuse in Mediterranean region. *Water Sci. Tech.*, 33(10-11), 303-316.
  42. Menegaki, A.N., Hanley, N., Tsagarakis, P., 2007. The social acceptability and valuation of recycled water in Crete: A study of consumers' and farmers' attitudes. *Ecological Economics* 62, 7-18.
  43. Miller, J.f., and Vick, B.A., 1999. Inheritance of reduced stearic and palmitic acid content in sunflower oil. *Crop Sci.*, 27: 923-926.
  44. Mohammad, M.J., Mazahreh, N., 2003. Changes in soil fertilities parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 1281-1294.
  45. Monnett, G.T., Reneau, R.B., Hagedorn, C., 1996. Evaluation of spray irrigation for on-site wastewater treatment and disposal on marginal soils. *Water Environ. Res.* 68, 11-18.
  46. Murphy, D.J., 1994. *Designer Oil Crops, Breeding, Processing and Biotechnology*. VCH Press, Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany.
  47. Nakayama, F. S. and Bucks, D. A., 1985. Drip/trickle irrigation in action: temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging on trickle emitters. . *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California, USA, pp. 45- 50.
  48. Nguyen Ngoc Thu, 2001. Urbanization and wastewater reuse in peri-urban areas: a case study in Thanh Tri District, Hanoi City. *Wastewater reuse in agriculture in Vietnam: water management, environment and human health aspects*. In: *Proceedings of a workshop in Hanoi, Vietnam*.
  49. Oster, J.D., and Schroer, F.W., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci.*, 43, 444-447.
  50. Panoras, A., Ilias, A., Skarakis, G., Papadopoulos, A., Papadopoulos, F., Parisopoulos, G., Papayiannopoulou, A., and Zdragas, A., 2000. Reuse of treated municipal wastewater for sugar beet irrigation. *J. of Balkan Ecology*, 3(4), 91-95.
  51. Panoras, A., Kexagia, O., Xanthopoulos, F., Doitsinis, A., and Samaras, I., 2001a. The reuse of municipal wastewater in cotton irrigation. *Inter-Regional Research Network on Cotton*, 27 September - 1 October 2001, Chania, Greece.
  52. Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulou, S., Melidis, B., Doitsinis, A., Samaras, I., Dragkas, A., and Matsi, T., 2001b. Corn irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology*. University of the Aegean, 3-6 September 2001.



53. Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulou, S., Melidis, V., Doitsinis, A., Samaras, I., Zdragas, A., Matsi, Th., 2003. Corn irrigation with reclaimed municipal wastewater. In: Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology, Ermoupolis, Greece, pp. 699-706.
54. Papadopoulos, I., Stylianou, Y., 1988. Trickle irrigation of cotton with treated sewage effluent. *J. Environ. Qual.* 17, 574-580.
55. Papadopoulos, I., 1995. Present and perspective use of wastewater for irrigation in the Mediterranean basin. Angelakis et al. (Eds.), Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. (IAWQ), Iraklio, Crete. Vol. 2, pp. 735-746.
56. Papadopoulos, F., Parissopoulos, G., Papadopoulos, A., Zdragas, A., Ntanos, D., Prochaska, C., Metaxa, I., 2009. Assessment of reclaimed municipal wastewater application on rice cultivation. *Environ. Manage.* 43,135-143.
57. Pereyra-Irujo A. Gustavo, Izquierdo, M. Covi, Nolasco, S.M., Quiroz, F. and Aguirrezabal L.A.N., 2009. Variability in sunflower oil quality for biodiesel production: A simulation study. *Biomass Bioen.*, 33: 459-468.
58. Pescod. M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. F.A.O.. Irrigation and Drainage Paper 47.
59. Phene, C.J., Blume, M.F., Hile, M.M.S., Meek, D.W. and Re, J.V., 1983. Management of Subsurface Trickle Irrigation Systems. ASAE paper No. 83-2598.
60. Rhoades, J.D., 1977. Potential for using saline agriculture drainage for irrigation. Proceedings of Water Management for Irrigation and Drainage, A.S.C.E., Reno, Nevada, 177, 85-116.
61. Robertson, J.A., Chapman, Jr.G.W., and Wilson, Jr.R.L., 1978. Relation of days after flowering to chemical composition and physiological maturity of sunflower seed. *J. Am. Oil Chem., Soc.*, 55: 266-269.
62. Ruskin, R., 2000. Subsurface drip irrigation and yields. Geoflow, Inc..
63. Rusan, M.J.M., Hinnawi, S., Rousan, L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215, 143-152.
64. Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D. And Vyrlas, P., 2001. Irrigation water saving and yield increase with subsurface drip irrigation. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Environmental Science and Technology, 3- 6 September, Syros, Greece, Vol. C, 466- 473.
65. Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. and Kapetanios, P., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Proceedings of Hydrorama 2002, 3<sup>rd</sup> International Forum: Integrated Water Management: The Key to Sustainable Water Resources, EYDAP. 21- 22 March, Athens, Greece, pp. 96- 102.
66. Sakellariou- Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., and Vyrlas, P., 2003. Irrigation of ornamental shrubs with treated municipal wastewater. Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Environmental



- Science and Technology (CEST), September 8- 11, Lemnos, Greece, Vol. B, pp. 707- 714.
67. 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 vinecultures in Attica, Greece. *Fresenius Environ. Bull.* 15 (2), 129-135.
  68. Salinity Engineering Laboratory (SEL), 2000. Treatment and reuse of sewage and sludge in the south Mediterranean and Middle East countries. Final report ministry of environment and public works of Greece.
  69. Schipper, L.A., Williamson, J.C., Kettles, H.A., Speir, T.W., 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *J. Environ. Qual.* 25, 1073-1077.
  70. Škorić, D., 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. Field breeding. *Fields Crop Res.*, 30: 425-442.
  71. Sobrino, E., Tarquis, A.M. and Diaz, M.C., 2003. Modeling the oleic acid content in sunflower oil. *Agron. J.*, 95: 329-334.
  72. Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In *subsurface drip irrigation: Theory, practices and application*, eds. Jorgensen, G. S. and K. N. Norum, CATI Publication No: 921001.
  73. State of California, 2000. Title 22, Code of regulation, 24 p. November 2000.
  74. Tsagarakis, K.P., Tsoumanis, P., Charzoulakis, K., and Angelakis, A.N., 2001. Water resources status including wastewater treatment and reuse in Greece: Related Problems and Prospectives. *Water Intern.*, 26(2), 252-258.
  75. Tsagarakis, K.P., Dialynas, G.E., Angelakis, A.N., 2004. Water resources management in Crete, Greece and proposed quality criteria for use of recycled water in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.* 66 (1), 35-47.
  76. U.S.D.A., 1956. Soil conservation service. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C..
  77. Westcot, D. W. and Ayers, R., 1985. Irrigation water criteria. In: *Irrigation with reclaimed municipal wastewater- A guidance manual*. Third edition, Pettygrove, G. S. and Asano, T. (Eds), Lewis Publishers, Chelsea MI.
  78. WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Tech. Report Series No. 77, WHO, Geneva, Switzerland.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>
2. <http://faostat.fao.org/>
3. [http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat\\_baro/observ/baro161.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat_baro/observ/baro161.pdf)
4. <http://www.nk.com/gr>
5. <http://www.plantprotection.hu>