

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ, ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΜΑ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΔΡΕΥΣΗ ΗΛΙΑΝΘΟΥ

ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2011

ΝΤΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, ΓΕΩΠΟΝΟΣ



ΒΟΛΟΣ 2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ, ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΘΕΜΑ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΔΡΕΥΣΗ ΗΛΙΑΝΘΟΥ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2011
ΝΤΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, ΓΕΩΠΟΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

Καθηγήτρια Π.Θ.

ΔΗΜΗΡΚΟΥ ΑΝΘΗ

Καθηγήτρια Π.Θ.

ΧΑΛΚΙΔΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ

Λέκτορας Π.Θ.

Στον αγώνα ενάντια στη φτώχεια και
τον κοινωνικό ρατσισμό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή 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 μεταπτυχιακής 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 Μεταπτυχιακού 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, και την κα. Δημήτρου Ανθούλα, Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας και τον κ. Χαλκίδη Ηρακλή, Λέκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής 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. Χρήστο Παπανικολάου, Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής και στον κ. Δημήτρη Δημάκα, 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.

Να ευχαριστήσω επίσης, την προπτυχιακή φοιτήτρια της Γεωπονικής Σχολής, Μπότα Βασιλική για την αμέριστη συμπαράσταση και πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος αλλά και κατά τη διάρκεια συγγραφής της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Τον κ. Βασίλη Αντωνιάδη, Λέκτορα του Εργαστηρίου Εδαφολογίας τον κ. Νικόλαο Παπανίκο, μέλος Ε.Ε.Δ.Ι.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την σημαντική τους βοήθεια στην συγκέντρωση μερικών εκ των βασικών στοιχείων της έρευνας.

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

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

Τον κ. Σπύρο Σουίπα, 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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ	
1.1 Γενικά	15
1.2 Παραγωγή υγρών καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες	16
1.3 Πολιτική για τις ενεργειακές καλλιέργειες - Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα	18
1.4 Πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών που συνιστούν αναγκαία τη χρήση τους	22
1.5 Ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα	24
1.5.1 Καλαμπόκι ή Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	24
1.5.2 Σόργο (<i>Sorghum sp.</i>)	25
1.5.3 Ελαιοκράμβη (<i>Brassica Napus</i>)	25
1.5.4 Ηλίανθος ετήσιος (<i>Helianthus Annuus</i>)	25
1.5.5 Λινάρι (<i>Linum Usitatissimum</i>)	26
1.5.6 Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΗΛΙΑΝΘΟΣ (<i>Helianthus Annuus</i>)	
2.1 Ιστορική εξέλιξη - Γενικά	28
2.2 Βοτανικά γνωρίσματα	29
2.3 Ανάπτυξη	31
2.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις	34
2.4.1 Θερμοκρασία	35
2.4.2 Φως	35
2.4.3 Υγρασία	35
2.5 Διαχείριση της καλλιέργειας	35
2.5.1 Έδαφος	35
2.5.2 Προετοιμασία πριν τη σπορά	36
2.5.3 Σπορά	36
2.5.4 Αραίωμα	37

2.5.5 Αμειψισπορά	37
2.5.6 Άρδευση	38
2.5.7 Λίπανση	38
2.5.8 Ζιζανιοκτονία	38
2.5.9 Συγκομιδή	39
2.6 Εχθροί και ασθένειες	39
2.7 Ποικιλίες, υβρίδια και βελτίωση φυτών	42
2.8 Προϊόντα ηλίανθου	43
2.9 Χρήση του ηλιέλαιου στη βιομηχανία παραγωγής καυσίμων	45
2.10 Εξαγωγή του ελαίου από τον ηλίανθο	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

3.1 Γενικά	49
3.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης	49
3.3 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α.)	51
3.3.1 Γενικά	51
3.3.2 Περιγραφή του συστήματος	55
3.3.3 Αποδοτικότητα του συστήματος	56
3.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	56
3.3.5 Μειονεκτήματα της μεθόδου	58
3.4 Η πρακτική της άρδευσης	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

4.1 Γενικά	59
4.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων	59
4.3 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	62
4.4 Λόγοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων	64
4.5 Κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)	64
4.6 Το νομικό πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο	69
4.7 Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων	69
4.7.1 Συμβατική επεξεργασία	70
4.7.1.1 Προκαταρκτική επεξεργασία (Preliminary treatment)	70
4.7.1.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Primary treatment)	71
4.7.1.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία (Secondary treatment)	72
4.7.1.4 Τριτοβάθμια επεξεργασία (Tertiary treatment)	75
4.7.1.5 Απολύμανση	75
4.7.1.6 Αποθήκευση	76
4.8 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	77

4.9 Συνέπειες της άρδευσης με υγρά αστικά απόβλητα	81
4.9.1 Αλκαλίωση του εδάφους	81
4.9.2 Αλάτωση του εδάφους	83
4.9.3 Διηθητικότητα του εδάφους	85
4.9.4 Τοξικότητα βορίου (B)	86
4.9.5 Τοξικότητα χλωρίου (Cl)	87
4.9.6 Τοξικότητα μετάλλων	89
4.9.7 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά	90
4.9.8 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά	91
4.9.9 Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά	92
4.9.10 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Γενικά	95
5.2 Κλιματικά δεδομένα	95
5.3 Εδαφολογικά δεδομένα	97
5.4 Χάραξη πειραματικού αγρού	99
5.5 Εγκατάσταση της καλλιέργειας	102
5.6 Υλικά άρδευσης	112
5.7 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας	117
5.8 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης	118
5.9 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	126
5.10 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ηλίανθου	129
5.10.1 Μετρήσεις ύψους φυτών	129
5.10.2 Μετρήσεις διαμέτρου κεφαλής	130
5.10.3 Μετρήσεις δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI)	130
5.10.4 Μετρήσεις χλωρής-ξηρής βιομάζας κεφαλών των φυτών	131
5.10.5 Μετρήσεις ποσότητας σπόρου κεφαλών των φυτών	132
5.11 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Κλιματικά δεδομένα	133
6.1.1 Θερμοκρασία-Βροχόπτωση	133
6.1.2 Εξατμισοδιαπνοή	135
6.2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού	138
6.3 Εξοικονόμηση νερού	142
6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού παραγωγικών χαρακτηριστικών του ηλίανθου	144
6.4.1 Ύψος φυτών	144

6.4.2 Διάμετρος κεφαλής	145
6.4.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.)	147
6.4.4 Χλωρή-Ξηρή βιομάζα κεφαλών	148
6.4.5 Στοιχεία τελικής παραγωγής	152
6.4.5.1 Παραγωγή σε σπόρο	152
6.4.5.2 Παραγωγή σε ηλιέλαιο	153
6.4.5.3 Παραγωγή σε ενέργεια	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	157
--------------	-----

ABSTRACT	160
----------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	161
-----------	-----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της λειψυδρίας, έχει εμφανιστεί έντονα, λόγω των κλιματολογικών μεταβολών του πλανήτη. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τον πολλαπλασιασμό του συνεχώς αυξανόμενου αστικού πληθυσμού, είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των υγρών αποβλήτων. Το γεγονός αυτό οδήγησε την επιστημονική κοινότητα σε μια προσπάθεια για εξεύρεση λύσεων, μεταξύ των οποίων είναι και η διερεύνηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών εκτάσεων μετά από κατάλληλη επεξεργασία καθαρισμού.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου, στην ανάπτυξη και απόδοση της ενεργειακής 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 200m², το έτος 2011 κατά την διάρκεια του Μαΐου έως και του Σεπτεμβρίου. Η παραπάνω έκταση περιελάμβανε ένα σχέδιο υποδιαμεμένων πειραματικών τεμαχίων (split plot design) με δύο μεταχειρίσεις (καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα) σε τέσσερις επαναλήψεις η κάθε μια. 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 μετεωρολογικού σταθμού, με κάλυψη 100% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας που υπολογίστηκαν με την μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO-56 και έγινε εφαρμογή αυτόματου προγράμματος άρδευσης. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν το ύψος των φυτών, την διάμετρο της κεφαλής των φυτών, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας, την χλωρή και ξηρή βιομάζα των κεφαλών του ηλίανθου και τέλος την τελική παραγωγή σε σπόρο. Επίσης, λαμβάνονταν μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα, κλπ.) από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός ανάπτυξης (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας) και η τελική απόδοση σε χλωρή και ξηρή βιομάζα

καθώς και σε σπόρο δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά στις δύο αρδευόμενες μεταχειρίσεις ενώ παράλληλα με τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, καθιστώντας φανερή τη δυναμική της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.

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).

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 ασθeneιών 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 εδώδιμες καλλιέργειες, όπως ζέρμπερες, αλλά και ευαίσθητες εδώδιμες 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

1.1 Γενικά

Ένα σημαντικό πρόβλημα της σύγχρονης κοινωνίας είναι η αναζήτηση νέων ενεργειακών πηγών. Μέχρι πρόσφατα, η τεχνολογική πρόοδος βασιζόταν στην εκτεταμένη εκμετάλλευση ενεργειακών πηγών φυσικού καυσίμου, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο, το αέριο και, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, το ουράνιο. Η επικείμενη εξάντληση των φυσικών αυτών πόρων, η ρύπανση που προκαλείται στο περιβάλλον από την καύση τους, καθώς και οι πετρελαικές κρίσεις οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Έτσι προωθήθηκαν, στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, διαδικασίες ανακύκλωσης και αξιοποίησης οικονομικών και οικολογικών μορφών ενέργειας. Τέτοιες πηγές ενέργειας ονομάζονται ανανεώσιμες γιατί είναι ανεξάντλητες όπως ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα κ.ά. Από αυτές τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας η βιομάζα είναι δυνατό να συμβάλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, πριν εξαντληθούν τα εθνικά και διεθνή αποθέματα των ορυκτών καυσίμων.

Η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια έχει γίνει αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες σαν μέτρο για τη μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα καλύπτει περίπου το 13% το 1990 στη συνολική πρωτογενή παραγωγή ενέργειας, ενώ για το 2020 η πρόβλεψη είναι να καλύπτει το 38% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών, που σήμερα ικανοποιούνται με χρήση καυσίμων.

Υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα για χρήσεις «εκτός διατροφής» όπως βιοκαύσιμα, θερμότητα, χαρτοπολτό, ενώ οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν για καύσιμα λέγονται ενεργειακές καλλιέργειες. Υπάρχουν πολλά χρηματοδοτούμενα προγράμματα για τέτοιες καλλιέργειες καθώς επίσης και προγράμματα συνδυασμένης δράσης και επίδειξης όπου συμμετέχουν φορείς μεταποίησης και παραγωγοί (Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 2003). Ειδικότερα την τελευταία δεκαετία μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών όπως η ελαιοκράμβη, ο ηλιάνθος, το σόργο κ.ά. με σκοπό την παραγωγή βιοκαυσίμων (Σούλη Α., 2007).

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζεται κάθε υλικό που προέρχεται από ζώντες ή πρόσφατα αποθανόντες φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (Biomass Energy Center, 2007). Τα υπολείμματα της καύσης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας είναι βιοαποικοδομήσιμα και άρα λιγότερο ρυπογόνα από τα αντίστοιχα των ορυκτών καυσίμων. Κατά την καύση της βιομάζας παράγονται και εκπέμπονται χαμηλές ή και μηδενικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Δημιουργούνται προϋποθέσεις

οικονομικής ανάπτυξης της υπαίθρου και δίνονται ευκαιρίες για αναδιάρθρωση των καλλιεργειών με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ταυτόχρονη μείωση της ανεργίας (Ageridis et al., 2006). Η βιομάζα από φυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου, βιοντίζελ, αιθανόλης, μεθανόλης, πετρελαίου, βενζίνης και υδρογόνου (El Bassam, 1998). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για απευθείας καύση και παραγωγή θερμότητας για θέρμανση κτηρίων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επειδή τα C4 φυτά είναι πιο ταχυαυξή και έχουν μεγαλύτερο δυναμικό αφομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO₂ έναντι των C3 φυτών, προτιμώνται για την παραγωγή βιομάζας. Μετατρέπουν σε βιομάζα μέχρι και 40% περισσότερο την προσπίπτουσα ακτινοβολία από ότι τα C3 φυτά και είναι πιο αποδοτικά για τα ίδια ποσά λίπανσης και άρδευσης (Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 2003).

Οι ενεργειακές καλλιέργειες ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί μπορούν να αναπτύσσονται, έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς και η παραγόμενη βιομάζα να καλύπτει πάντα τις ανάγκες της, χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες. Επιπλέον με τη χρήση των καλλιεργειών αυτών ελαττώνεται η εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα και ωθείται η ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας. Λόγω των μικρότερων απαιτήσεων που έχουν σε ποσότητες αγροχημικών προϊόντων, από τις ενεργειακές καλλιέργειες προτιμώνται οι πολυετείς σε σχέση με τις ετήσιες.

1.2 Παραγωγή υγρών καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες συμβάλλουν σημαντικά στην απαγκίστρωση της ανθρωπότητας από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Με την παραγωγή υγρών καυσίμων από αυτές εξασφαλίζεται ένα πιο υγιές και καθαρό περιβάλλον που έχει ως συνέπεια την βελτίωση της ποιότητας ζωής των σύγχρονων κοινωνιών. Τα βιοκαύσιμα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους. Το βιοντίζελ το οποίο προέρχεται από τα φυτικά έλαια και τη βιοαιθανόλη η οποία έχει ως πηγή προέλευσης τις αλκοόλες.

Το βιοντίζελ είναι προϊόν της μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων με προσθήκη κατάλληλης αλκοόλης παρουσία καταλύτη. Χρησιμοποιείται στους πετρελαιοκινητήρες (Κύκλος Diesel) αναμειγμένο με πετρέλαιο ή σε καθαρή μορφή. Είναι καύσιμο βιοδιασπώμενο, μη τοξικό, και ουσιαστικά δεν περιέχει θείο και αρωματικές ενώσεις. Σε βιομηχανικό επίπεδο το βιοντίζελ παράγεται από τη γενική αντίδραση τριγλυκεριδίων με αλκοόλη δίνοντας ως προϊόντα αλκυλεστέρα και γλυκερίνη. Τα τριγλυκερίδια είναι τριεστέρες της γλυκερόλης δηλαδή της 1,2,3-προπανοτριόλης με λιπαρά οξέα, τα οποία αποτελούν κύριο συστατικό των φυτικών ελαίων (περίπου 98%). Επειδή σαν αλκοόλη χρησιμοποιείται η μεθανόλη, το

βιοντίζελ κατατάσσεται στους μεθυλεστέρες. Η γλυκερίνη θεωρείται παραπροϊόν και ως καταλύτες για την εστεροποίηση χρησιμοποιούνται τα NaOH, KOH και το πυκνό H₂SO₄.

Από την επεξεργασία των ενεργειακών καλλιεργειών μπορούν να παραχθούν τρεις τύποι καυσίμου. Ο τύπος B5 ο οποίος περιέχει 5% βιοντίζελ και 95% πετρέλαιο, ο B30 στον οποίο υπάρχει 30% βιοντίζελ και 70% πετρέλαιο και τέλος ο B100 ο οποίος αποτελείται αποκλειστικά από βιοντίζελ (100%). Στην Ελλάδα οι καλλιέργειες με καλές αποδόσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για βιοντίζελ είναι με βάση την απόδοσή τους σε φυτικά έλαια η ελαιοκράμβη (30-50%), ο ηλιάνθος (35-40%), το βαμβάκι (15-20%) και η σόγια (15-20%) σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).

Η βιοαιθανόλη από την άλλη πλευρά παράγεται ως προϊόν ζύμωσης των αμυλούχων, σακχαρούχων και κυτταρινούχων συστατικών των φυτών ύστερα από απόσταξη (Κ.Α.Π.Ε.). Χρησιμοποιείται στους βενζινοκινητήρες (Κύκλος Otto) με τη διαφορά από το βιοντίζελ ότι είναι πάντα σε ανάμειξη με βενζίνη. Στη βιομηχανία προκύπτει μετά από σειρά αντιδράσεων και διαδικασιών που περιλαμβάνουν υδρόλυση της πρώτης ύλης, ζύμωση με προσθήκη μαγιάς και στη συνέχεια απόσταξη.

Για την παραγωγή της η βιοαιθανόλη χρειάζεται ως πρώτη ύλη καλλιέργειες πλούσιες σε σάκχαρα, κυτταρίνη και άμυλο. Καλλιέργειες που θεωρούνται ενεργειακές, έχουν τη δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στις κλιματικές απαιτήσεις της χώρας μας και πληρούν τις άνωθεν προϋποθέσεις είναι ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, η πατάτα, το σόργο, το σιτάρι και το κριθάρι. Όπως στο βιοντίζελ έτσι και στη βιοαιθανόλη υπάρχουν τύποι παραγόμενου καυσίμου. Ο E5 ο οποίος περιέχει 5% βιοαιθανόλη και 95% βενζίνη και ο E85, στον οποίο η βιοαιθανόλη και η βενζίνη καταλαμβάνουν ποσοστό 85% και 15% αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αναπτυγμένες χώρες οι οποίες παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως είναι οι Η.Π.Α., η χρήση οξυγονομένων καυσίμων με μείγμα αιθανόλης αποτελεί πλέον θεσμοθετημένο πλαίσιο, δίνοντας οικονομικά κυρίως κίνητρα στους καταναλωτές. Ακόμη η σημασία της βιοαιθανόλης αναμένεται να αυξηθεί δεδομένου ότι τα περισσότερα ζητήματα υγείας σήμερα σχετίζονται με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας.

Γενικότερα τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν, έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε

όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υφίστανται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO₂, το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Έτσι για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου από αυτά, θα πρέπει να πραγματοποιήσει μία εξειδικευμένη ανάλυση του κύκλου ζωής.

1.3 Πολιτική για τις ενεργειακές καλλιέργειες - Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

Στόχος της Ελλάδας ήταν η συνεισφορά της βιομάζας ενεργειακών φυτών, μέχρι και 6% της πρωτογενούς ενέργειας, στο Εθνικό Ενεργειακό μας σύστημα, μέχρι το έτος 2000. Συνολικά, είχε τεθεί ως στόχος η συνεισφορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) το έτος 2000 να υποκαθιστά 2,5 ΜΤΠΠ το χρόνο, ποσότητα που ισοδυναμεί με το 10% της προβλεπόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πίνακας 1.3.1).

Πίνακας 1.3.1. Προβλεπόμενη συνεισφορά διαφόρων ΑΠΕ στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο το έτος 2000 (Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989).

Μορφή ΑΠΕ	ΜΤΠΠ*	% πρωτογενούς ενέργειας
Ηλιακή	0,25	1
Αιολική	0,25	1
Γεωθερμία	0,25	1
Μικρά υδροηλεκτρικά	0,25	1
Βιομάζα ενεργειακών φυτών	1,5	6
ΣΥΝΟΛΟ	2,5	10%

*ΜΤΠΠ: εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου

Δυστυχώς όμως, μέχρι και σήμερα, η συνεισφορά της βιομάζας των ενεργειακών φυτών στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας παραμένει χαμηλή, εξ' αιτίας:

- Της έλλειψης συντονισμού μεταξύ διαφόρων φορέων που ασχολούνται με την αξιοποίηση των ΑΠΕ.
- Της έλλειψης ενημέρωσης του κοινού για τα πολλαπλά οφέλη (οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά, κ.α.) που θα προκύψουν από μία σημαντική διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μας ισοζύγιο.
- Των διαρθρωτικών αδυναμιών των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ).
- Της έλλειψης πληροφόρησης της ελληνικής βιομηχανίας για τις κατασκευαστικές δυνατότητες που παρουσιάζονται γι' αυτήν στον τομέα των

ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την παραδοσιακά επιφυλακτική στάση της σε νέα προϊόντα και αγορές.

- Των θεσμικών και οικονομικών προβλημάτων.

Ενθαρρυντικό είναι το γεγονός ότι από το 1995, γίνονται έρευνες με διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας. Στόχοι των ερευνών αυτών είναι η μελέτη των σταδίων ανάπτυξης, η προσαρμογή των συγκεκριμένων καλλιεργειών στο Ελληνικό κλίμα καθώς και η απόδοση σε βιομάζα, κάτω από διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές και συνθήκες. Τα περισσότερα από αυτά τα πειράματα διεξάγονται κυρίως από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) σε συνεργασία με διάφορους φορείς όπως Πανεπιστήμια και Ιδρύματα (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Το ευνοϊκό κλίμα (υψηλή ηλιοφάνεια) της Ελλάδας συνέβαλε στις υψηλές αποδόσεις των περισσότερων ενεργειακών καλλιεργειών.

Στο πλαίσιο αντιστάθμισης των συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα ώστε να δοθεί διέξοδος στην επερχόμενη ενεργειακή κρίση και ακολουθώντας μία πιο πράσινη και υπεύθυνη πολιτική, το 2003, το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, ενέκριναν δύο οδηγίες που αφορούσαν τις εναλλακτικές ενεργειακές πηγές και τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Την οδηγία 2003/30/ΕΚ, η οποία προωθεί τα βιοκαύσιμα, θέτοντας σταδιακούς στόχους για την κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών, και την οδηγία 2003/96/ΕΚ η οποία αφορά την αποφορολόγηση. Αυτή επιτρέπει στα κράτη-μέλη να ορίσουν ολική ή μερική αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων.

Η Ευρωπαϊκή οδηγία 98/70/ΕΚ για την ποιότητα των καυσίμων των μεταφορών, επιτρέπει την πώληση βενζίνης με αιθανόλη μέχρι 5% καθώς και πετρέλαιο κίνησης με περιεκτικότητα μέχρι 5% σε βιοντίζελ. Έτσι, μέχρι το 2005, τα βιοκαύσιμα έπρεπε να αντιπροσωπεύουν (σε θερμικό περιεχόμενο) τουλάχιστον το 2% της βενζίνης και του ντίζελ που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές.

Η οδηγία 30 του 2003, ορίζει ως Εθνικούς ενδεικτικούς στόχους για τη χρήση των βιοκαυσίμων, το 2% του συνόλου των καυσίμων μεταφορών για το έτος 2005, το οποίο σταδιακά θα ανέλθει στο 5,75% το έτος 2010. Ο κυριότερος λόγος που οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στην εισαγωγή των βιοκαυσίμων στις μεταφορές ήταν, και παραμένει, η σταδιακή ανεξάρτηση από το πετρέλαιο. Όλες οι χώρες, καθώς και οι εμπλεκόμενοι φορείς και εταιρίες, έχουν ήδη θέσει τέτοιους στόχους χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας και ανεξάρτησης από το πετρέλαιο. Η Ελλάδα δεν θα αποτελέσει εξαίρεση και τάσσεται υπέρ της χρήσης των βιοκαυσίμων. Οι πρώτες ύλες, από τις οποίες μπορούμε να παρασκευάσουμε βιοντίζελ είναι πολλές. Για την Ελλάδα όμως ξεχωρίζουν το βαμβακέλαιο, το ηλιέλαιο, το ελαιόλαδο, τα προτηγανισμένα λάδια, ο καπνόςπορος, ο τοματόςπορος, η ελαιοκράμβη, το σογιέλαιο, κλπ.. Κρίσιμο μέγεθος είναι οι ανάγκες σε βιοντίζελ για την υλοποίηση της οδηγίας 30 του 2003 στην Ελλάδα.

Το 2% σε ενεργειακό περιεχόμενο, υπολογίστηκε ότι αντιστοιχούσε σε περίπου 45.000 τόνους βιοντίζελ, για μέχρι και το έτος 2005. Το έτος 2010, θα απαιτηθούν περίπου 150.000 τόνοι βιοντίζελ, ποσό ισοδύναμο με το 5,75%. Το βιοντίζελ, βάσει των οδηγιών, μπορεί να αναμειγνύεται σε ποσοστά μέχρι 5% με το πετρέλαιο κίνησης. Όσον αφορά τη διακίνηση του βιοντίζελ δεν αναμένονται κάποια ιδιαίτερα προβλήματα. Το βιοντίζελ μπορεί να αναμιχθεί και να διακινηθεί μέσω των διυλιστηρίων, με τις ίδιες διαδικασίες που ισχύουν σήμερα για το πετρέλαιο κίνησης. Στα ίδια τα οχήματα, δεν αναμένονται κάποιες επιπτώσεις από τη χρήση του βιοντίζελ. Ακόμη και σε ποσοστά αρκετά υψηλότερα του 5%, η χρήση του βιοντίζελ δεν επηρεάζει τα οχήματα, όπως απέδειξαν μακρόχρονες δοκιμές.

Συνοψίζοντας δηλαδή, η Ελλάδα έχει υπογράψει και επικυρώσει τόσο τη σύμβαση πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές όσο και το πρωτόκολλο του Κιότο. Επίσης έχει καταθέσει τρεις εθνικές απογραφές αερίων του θερμοκηπίου (1995, 1997 και 2003). Τέλος, και αυτό είναι το σημαντικότερο, έχει καταθέσει εθνικό σχέδιο δράσης για τη μείωση των εκπομπών ήδη από το 1995, στα πλαίσια της πρώτης εθνικής απογραφής. Το σχέδιο αυτό έγινε νόμος του κράτους μόλις το 2003 (ΦΕΚ 58Α/5.3.2003). Πολύ πρόσφατα ολοκληρώθηκε και το Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) προκειμένου να συμμετέχει η χώρα στο ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας ρύπων. Το ΕΣΚΔΕ έχει κατατεθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αναμένεται η έγκρισή του.

Εμβαθύνοντας όμως, οι εκπομπές βάση για την Ελλάδα είναι περίπου 108 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (στα αέρια του θερμοκηπίου εκτός του διοξειδίου του άνθρακα προσμετρούνται και το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και κάποιες ακόμη οργανικές ουσίες). Αυτό σημαίνει ότι σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, στην πενταετία 2008-2012 οι εκπομπές δεν πρέπει να ξεπεράσουν τους 135 εκατομμύρια τόνους. Στην τελευταία εθνική απογραφή αναφέρεται ότι οι εκπομπές του έτους 2000 ήταν περίπου 134 εκατ. τόνοι ή αυξημένες κατά 23,1% σε σχέση με τις εκπομπές βάσης. Δηλαδή, η χώρα έχει σχεδόν ήδη φτάσει τα ποσοτικά όρια που προβλέπονται από τις διεθνείς υποχρεώσεις και αν συνεχίσει με τον ίδιο ρυθμό, την πενταετία 2008-2012 οι εκπομπές θα αυξηθούν περισσότερο από 40% σε σχέση με τις εκπομπές βάσης. Οι δραστηριότητες με τις μεγαλύτερες εκπομπές είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού, οι μεταφορές, η βιομηχανία και οι εκπομπές μεθανίου από ανεξέλεγκτες χωματερές.

Στο εθνικό σχέδιο δράσης προτείνονται μια σειρά από μέτρα που αν εφαρμοστούν στο σύνολό τους θα επιτευχθεί μια μείωση των εκπομπών κατά 18 εκατ. τόνους περίπου. Η μείωση αυτή είναι οριακή για να επιτευχθεί ο στόχος που έχει τεθεί, επομένως, όλα τα μέτρα πρέπει να εφαρμοστούν πλήρως.

Στον τομέα των μεταφορών, τα βασικά μέτρα που προβλέπονται είναι η χρήση βιοκαυσίμων και η προώθηση των αστικών συγκοινωνιών. Όσον αφορά τα βιοκαύσιμα, στην Ελλάδα δεν παράγεται ούτε ένα λίτρο βιοντίζελ προς το παρόν, ενώ οι δύο μονάδες που έχουν ετοιμαστεί στο Βόλο (ΕΛΙΝΟΙΑ, με δυνατότητα

παραγωγής 60.000 τόνους βιοντίζελ) και στη Βόρεια Ελλάδα στο Κιλκίς (ΕΛΒΙ, με δυνατότητα παραγωγής 40.000 τόνους βιοντίζελ) δεν μπορούν να καλύψουν ούτε το 50% των ποσοτήτων που προβλέπονται από το σχέδιο. Όσον αφορά την προώθηση των αστικών συγκοινωνιών, το μετρό της Θεσσαλονίκης δεν αναμένεται να είναι έτοιμο πριν το 2012 ενώ οι επεκτάσεις του μετρό της Αθήνας έχουν παρεμποδιστεί από την έλλειψη πόρων.

Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής προβλέπεται η ευρεία χρήση αιολικής ενέργειας και βιομάζας. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κανένα σχέδιο αξιοποίησης βιομάζας ενώ οι επενδύσεις σε αιολικά πάρκα παρεμποδίζονται λόγω της γραφειοκρατίας και της επιμονής της ΔΕΗ να σαμποτάρει με διάφορους, ιδιαίτερα ευρηματικούς τρόπους όσους ανεξάρτητους παραγωγούς θέλουν να επενδύσουν στον συγκεκριμένο τομέα. Στην ουσία, το μόνο μέτρο που φαίνεται να εφαρμόζεται ικανοποιητικά είναι η διείσδυση του φυσικού αερίου και αυτό γιατί οι επενδυτές που ετοιμάζουν σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο είναι μεγάλοι βιομηχανικοί όμιλοι οι οποίοι έχουν συνήθως τον τρόπο τους στο να προωθούν τα συμφέροντά τους.

Στον τομέα της βιομηχανίας προβλέπεται η μείωση κατά περίπου 800 χιλιάδες τόνους των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Είναι χαρακτηριστικό για τη σοβαρότητα του σχεδίου ότι περίπου 340 χιλιάδες τόνοι αναμένεται να προέλθουν από τη χρήση ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή θερμού νερού. Μέχρι σήμερα μόνο δύο τέτοιες εφαρμογές υπάρχουν στην Ελλάδα, και βέβαια η δυναμικότητά τους καμία σχέση δεν έχει με όσα προβλέπονται στο σχέδιο.

Τέλος, στον τριτογενή και οικιακό τομέα προβλέπονται μια σειρά από μέτρα (συνολικά 15) τα οποία θεωρείται ότι μπορούν να αποφέρουν μια μείωση των εκπομπών μεγαλύτερη από 4 εκατ. τόνους. Τα περισσότερα από τα μέτρα αυτά παραμένουν ουτοπικά (π.χ. αλλαγή της μόνωσης των παλαιών κτιρίων, φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας στις ταράτσες, κλπ) καθώς, αφενός καμία κυβέρνηση δεν έχει δώσει οικονομικά κίνητρα για την εφαρμογή τους και αφετέρου, κάποια από αυτά είναι είτε οικονομικά απαγορευτικά είτε τεχνικά ανέφικτα. Σημειώνεται δε ότι σε κάποιες περιπτώσεις, το κράτος κατάργησε φορολογικά κίνητρα που προϋπήρχαν (όπως η έκπτωση φόρου για την αγορά ηλιακών συλλεκτών).

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι καθώς η επίτευξη των ποσοτικών δεσμεύσεων του Κιότο θα κριθεί στο μακρινό μέλλον (μετά το 2012), καμία κυβέρνηση δεν ενδιαφέρεται ούτε πρόκειται να ενδιαφερθεί για την εφαρμογή ενός έτσι κι αλλιώς υπερφίαλου και μη ρεαλιστικού σχεδίου. Παράλληλα, οι πολίτες αυτής της χώρας αγνοούν τόσο τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και τους πολύπλοκους μηχανισμούς με τους οποίους η διεθνής κοινότητα προσπαθεί να μειώσει τις εκπομπές. Η πορεία της σταδιακής αύξησης της θερμοκρασίας στη χώρα μας περνάει από ακραία καιρικά φαινόμενα που ήδη παρατηρούνται. Το τελικό αποτέλεσμα μιας αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 2-4 βαθμούς θα είναι

η ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων καλλιεργούμενης γης και η καταστροφή των περισσότερων δασικών συστημάτων της Ελλάδας. Παράλληλα θα υπάρξει μια άνευ προηγουμένου καταστροφή σε παραθαλάσσιες αστικές περιοχές. Φανταστείτε ότι, τα επόμενα 30-50 χρόνια, τα παιδιά μας και τα εγγόνια μας θα διδάσκονται μια εντελώς καινούργια γεωγραφία. Πόλεις όπως η Θεσσαλονίκη θα πάνε να υπάρχουν κι αυτό δεν είναι υπερβολή. Επισημαίνεται η σελίδα 82 της τελευταίας εθνικής απογραφής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για να έχουμε ελπίδα λοιπόν να αποφύγουμε όλα τα παραπάνω απαιτείται, τα επόμενα 50 χρόνια να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 60-80%, σε σχέση με το 1990.

1.4 Πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών που συνιστούν αναγκαία τη χρήση τους

Η βιομάζα των ενεργειακών καλλιεργειών στο έδαφος αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους, καθιστώντας το με τον τρόπο αυτό γονιμότερο. Αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους συνεπάγεται μείωση του ΡΗ με συνέπεια τη μείωση της αλκαλικότητας, αποτελώντας έτσι μέσο βελτίωσης εδαφών με τέτοια προβλήματα. Ακόμη το πλούσιο υπέργειο τμήμα και το ριζικό σύστημα των ενεργειακών καλλιεργειών (ειδικά των πολυετών), ελαχιστοποιεί τις δυσμενείς επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους και βελτιώνει τη δομή του.

Λόγω του ότι οι καλλιέργειες αυτές δεν έχουν πολλές απαιτήσεις σε αγροχημικά προϊόντα όπως εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και λιπάσματα, υπάρχει μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων από τέτοιες εκροές, με αποτέλεσμα την καλύτερη προστασία του υδροφόρου ορίζοντα και την εξοικονόμηση περισσότερου διαθέσιμου νερού. Επιπλέον, μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις σε εγκαταλελειμμένες περιοχές χαμηλής γονιμότητας καθώς προσαρμόζονται εύκολα και αποδίδουν ικανοποιητικά σε μεγάλο εύρος εδαφών.

Στο πλαίσιο της ενεργειακής γεωργίας δίνεται η ευκαιρία να επιλεγούν είδη που αξιοποιούν το νερό αποδοτικά, ή και σε πολλές περιπτώσεις είδη που αξιοποιούν τις χειμερινές βροχοπτώσεις για την ανάπτυξη τους και δεν απαιτούν επιπλέον άρδευση, παρουσιάζοντας ικανοποιητική ανάπτυξη και παραγωγικότητα σε βιομάζα.

Μεγάλης σημασίας είναι η συμβολή των ενεργειακών καλλιεργειών στην οικολογία, γιατί η εισαγωγή τους σε διάφορα οικοσυστήματα βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης της ενδημικής πανίδας, διατηρώντας τη φυσική παραλλακτικότητα και επαναφέροντας το οικοσύστημα σε μία πιο ομαλή κατάσταση. Χρειάζεται ακόμη να επισημανθεί ότι τα οφέλη είναι μεγαλύτερα όταν οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται είναι πολυετείς γιατί δεν δημιουργούν μετατροπές στο φυσικό περιβάλλον, γεγονός που συμβαίνει με τα ετήσια (Cook et al.).

Από την άλλη πλευρά όσον αφορά τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, η καύση της βιομάζας μειώνει τις εκπομπές των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του

θερμοκηπίου και κατ' επέκταση στις αρνητικές επιπτώσεις που έχει αυτό στο περιβάλλον. Επίσης οι ενεργειακές καλλιέργειες αξιοποιούν καλύτερα το CO₂ μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωσή του σε αυτή. Τέλος οι εκπομπές αερίων που παράγονται από την καύση της βιομάζας όπως είναι τα οξείδια του θείου είναι σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη που έχει η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, υπάρχουν και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη για την ανάπτυξη τους. Οι καλλιέργειες αυτές μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις για τους παραγωγούς, δεδομένου ότι είναι επιδοτούμενες. Με τη ανάπτυξη καλλιεργειών για ενέργεια, θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών και για βελτίωση των καλλιεργητικών μεθόδων και του εξοπλισμού που θα υποστηρίξουν την παραγωγή και την αποθήκευση των νέων φυτών. Αυτό θα δώσει ώθηση στη φθίνουσα γεωργική οικονομία και θα οδηγήσει στην ανάπτυξη της εγχώριας γεωργικής βιομηχανίας. Η διείσδυση των ενεργειακών καλλιεργειών στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες και να ενισχύσει τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων των γεωργών.

Τέλος η παραγωγή και εκμετάλλευση των ενεργειακών καλλιεργειών θα συντελεστεί σε μεγαλύτερο βαθμό στις αγροτικές περιοχές. Η εισροή επομένως νέων εισοδημάτων θα βελτιώσει τη ζωή των τοπικών κοινωνιών και θα στηρίξει την ανάπτυξη στις λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές της χώρας.

Στο μέλλον, οι ενεργειακές καλλιέργειες θα αποτελέσουν βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα χαρακτηριστικά που τις καθιστούν ελκυστικές για μια διευρυμένη συμμετοχή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Έχουν συνήθως χαμηλό κόστος παραγωγής το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών, των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης βιομάζας ενεργειακών καλλιεργειών διατίθενται σε μικρά μεγέθη και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.

- Οι επενδύσεις των ενεργειακών καλλιεργειών είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των εναλλακτικών καλλιεργειών.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίηση τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό (Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989).

1.5 Ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα

1.5.1 Καλαμπόκι ή Αραβόσιτος (Zea Mays)

Είναι C4 φυτό της οικογένειας Poaceae που αναπτύσσεται ταχύτατα και κατατάσσεται στα ετήσια εαρινά σιτηρά. Εμφανίστηκε πρώτα στην κεντρική Αμερική και το Μεξικό και κατόπιν διαδόθηκε ευρέως λόγω των πολλών τύπων με διαφορετικές βλαστικές περιόδους που έχει και των διαφορετικών υψομέτρων και κλιμάτων στα οποία μπορεί να καλλιεργηθεί. Στη χώρα μας καλλιεργείται εντατικά σε έκταση 16 εκ. στρεμμάτων και η μέση απόδοσή του σε καρπό είναι μεγαλύτερη από 1000kg/στρ. που την καθιστά μια από τις υψηλότερες ανά τον κόσμο.

Χρησιμοποιείται στην κτηνοτροφία ως ζωτροφή και ένα μέρος του καλλιεργείται για χλωρό χόρτο ή ενσίρωση. Οι καρποί του καλαμποκιού περιέχουν άμυλο, πρωτεΐνες και λάδι, με το άμυλο να κυριαρχεί (60%) και τα ποσοστά των άλλων δύο να παρουσιάζουν ευρεία διακύμανση.

Το αραβοσιτάλευρο που παράγεται, χρησιμοποιείται πάρα πολύ στον τομέα της αρτοζαχαροπλαστικής για την παρασκευή ψωμιού, γλυκισμάτων, corn flakes και άλλων ειδών και έχει υψηλή διατροφική αξία. Επίσης το περιεχόμενο στο καλαμπόκι άμυλο αποτελεί συστατικό για την κατασκευή πλαστικού όπως σακούλες, το οποίο σε σχέση με αυτό που γίνεται από παράγωγα του πετρελαίου αποικοδομείται ευκολότερα τόσο από τον ήλιο όσο και βιολογικά. Παράλληλα συμμετέχει στην φαρμακοβιομηχανία στην παρασκευή εμβολίων και υποκατάστατων πλάσματος του αίματος. Τέλος το παραγόμενο καλαμποκέλαιο είναι ένα από τα σημαντικότερα σπορέλαια που χρησιμοποιούνται στην μαγειρική παγκοσμίως.

Από πειραματικές εφαρμογές διαπιστώθηκε η δυνατότητα χρήσης των υπολειμμάτων της καλλιέργειας και ιδιαίτερα της ρόκας για την παραγωγή βιομάζας. Αναφέρεται ότι η θερμική αξία της ρόκας και του στελέχους είναι 18,9 και 18,3MJ/kg αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι με τα δεδομένα της έκτασης που καταλαμβάνει ο αραβόσιτος στην Ελλάδα θα μπορούσε να εξοικονομηθεί πετρέλαιο καύσης περίπου 350.000 τόνων, με μέση παραγωγή 220lt/στρ. (Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 2003).

1.5.2 Σόργο (*Sorghum sp.*)

Είναι C4 φυτό το οποίο προέρχεται από την κεντρική Αφρική, παρεμφερές με το καλαμπόκι με τη διαφορά ότι είναι ανθεκτικότερο στις υψηλές θερμοκρασίες και ότι έχει τη δυνατότητα να υπομείνει μια περίοδο ξηρασίας και να συνεχίσει να αναπτύσσεται μόλις βρει νερό. Έτσι μπορεί να αξιοποιήσει πιο αποτελεσματικά τα άγονα εδάφη. Στην Ελλάδα ενώ παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και έχει υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (100.000στρ.).

Αποτελεί διαδεδομένο χορτοδοτικό φυτό στις Η.Π.Α., ενώ καλλιεργείται επίσης για τον καρπό του και σε μικρότερη έκταση για σκούπες και για την παραγωγή σιροπιού (το ζαχαροφόρο).

Ως ενεργειακή καλλιέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολτού από τις χαρτοβιομηχανίες, ενώ από το σόργο παράγεται επίσης ενέργεια μέσω πυρόλυσης και με επεξεργασία βιοιθανόλη που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Το Κ.Α.Π.Ε αναφέρει ότι από τη μέση στρεμματική απόδοση (2-6τόνοι) είναι δυνατό να παραχθούν 150-400lt βιοιθανόλης (Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 2003).

1.5.3 Ελαιοκράμβη (*Brassica Napus*)

Είναι ετήσιο, ελαιούχο, εαρινό φυτό των εύκρατων περιοχών το οποίο σε περιοχές με ήπιο χειμώνα μπορεί να σπαρεί και το φθινόπωρο και ανήκει στα σταυρανή. Δεν χρειάζεται πολύ γόνιμα εδάφη για να αναπτυχθεί γεγονός που το καθιστά αρκετά ενδιαφέρον φυτό για τη χώρα μας.

Οι σπόροι που παράγει περιέχουν μεγάλες ποσότητες ερουκικού οξέως το οποίο αποτελεί μειονέκτημα, αλλά το λάδι των σπόρων βελτιωμένων ποικιλιών χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την παραγωγή βιοντίζελ. Ακόμη χρησιμοποιείται και ως λιπαντικό, ενώ τα υπολείμματα της επεξεργασίας που υφίσταται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων (Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ., 2003).

1.5.4 Ηλιάνθος ετήσιος (*Helianthus Annuus*)

Είναι μονοετές εαρινό φυτό το οποίο κατάγεται όπως και ο αραβόσιτος από την κεντρική Αμερική και καλλιεργείται κυρίως για τους σπόρους του και το ηλιέλαιο που παράγεται από αυτούς, τα οποία είναι εδώδιμα. Το λάδι του περιέχει ελαϊκό οξύ και πρωτεΐνη σε ποσοστά 25-45% και 35% αντίστοιχα.

Εκτός από την εδώδιμη χρήση του το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται επίσης για την παρασκευή βερνικιών, ελαιοχρωμάτων, λιπαντικών, σαπουνιών και άλλων ειδών, ενώ η ελαιόπιτα που παράγεται από την επεξεργασία των σπόρων αποτελεί πολύ καλή ζωοτροφή. Όπως και το καλαμπόκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενσίρωση και

το υπέργειο τμήμα που απομένει μετά τη συγκομιδή γίνεται εκμεταλλεύσιμο για την παραγωγή ξυλοκυτταρίνης.

Από βιομηχανικής πλευράς χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοντίζελ αφού με μέση απόδοση 150-300kg/στρ. παράγονται αναλογικά 58-116lt/στρ. και αποτελεί ελπιδοφόρο μήνυμα στην προσπάθεια αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες. Πειράματα έδειξαν ότι η απόδοση σε βιομάζα ενός νέου υβριδίου (70-G-3920) τόσο με κανονική όσο και με μειωμένη άρδευση (Archontoulis et al. 2007) ήταν πολύ ικανοποιητικές (13,9 και 12,8τόνοι/εκτάριο αντίστοιχα), πράγμα που καθιστά την καλλιέργεια του ηλίανθου ενδιαφέρουσα και από την άποψη της εξοικονόμησης νερού.

1.5.5 Λινάρι (Linum Usitatissimum)

Είναι ετήσιο, εαρινό ινωδοτικό φυτό των εύκρατων περιοχών και καλλιεργείται για τις ίνες και το σπόρο του.

Στην Ελλάδα επειδή απαιτεί λιγότερο υψηλές θερμοκρασίες σπέρνεται το φθινόπωρο και οι στρεμματικές του αποδόσεις σε ίνες κυμαίνονται από 100-200kg/στρ., ενώ σε σπόρο η μέση απόδοση είναι περίπου 100kg/στρ.

Οι ίνες χρησιμοποιούνται κυρίως στην κλωστοϋφαντουργία για την παραγωγή υφασμάτων, ενώ το λινέλαιο εκτός από μαγειρικούς σκοπούς βρίσκει χρήση στη βιομηχανία χρωμάτων, βερνικιών, πλαστικών, σαπουνιών καθώς επίσης και στη χαρτοβιομηχανία για την παραγωγή πολτού και άριστης ποιότητας χαρτιού.

1.5.6 Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες

Στις παραπάνω παραγράφους αναφερθήκαμε στις πολυετείς και ετήσιες αροτριάεις καλλιέργειες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιομάζας και κατ' επέκταση για την παραγωγή βιοκαυσίμων σαν εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχουν αντίστοιχα και δενδρώδεις καλλιέργειες οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της γλωρίδας και του δασικού πλούτου της χώρας μας, με τις ίδιες δυνατότητες στον ενεργειακό τομέα.

Ο ευκάλυπτος ο οποίος είναι αυτοφυής στην Ελλάδα, είναι ένα ταχυαυξές μεγάλο δέντρο με μακρά διάρκεια ζωής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιομάζας. Αναπτύσσεται σε λιγότερο γόνιμα εδάφη και λόγω της χαρακτηριστικής οσμής που αναδίνουν τα φύλλα του είναι πιο ανθεκτικός σε παράσιτα με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται φυτοπροστασία. Έχει σκληρό, συμπαγές και ανθεκτικό ξύλο το οποίο χρησιμοποιείται με την ίδια άνεση τόσο στη ναυπηγική, όσο και ως δομικό υλικό. Ακόμη τα αιθέρια έλαια που αποστάζονται από τα φύλλα του χρησιμοποιούνται στη φαρμακευτική, την αρωματοποιία καθώς επίσης και από τη βιομηχανία ως συστατικό εντομοαπωθητικών σκευασμάτων. Είναι κοινώς γνωστές

οι ευεργετικές επιδράσεις που έχει το ευκαλυπτέλαιο σε θέματα ιατρικής μικρής σημασίας και ότι η χρήση του ήταν διαδεδομένη σε παλιότερες εποχές.

Πειράματα στον ελλαδικό χώρο έδειξαν σε πληθυσμό 2φυτών/m², η ξηρή παραγόμενη βιομάζα ήταν 2,6-3,2τόνοι/στρ. κάθε έτος και ότι 2,5 τόνοι βιομάζας ισοδυναμούν με ένα τόνο πετρελαίου. Κάποιες ποικιλίες έδωσαν παραγωγή ξηρής ουσίας περίπου 3,5τόνους/στρ., γεγονός που σημαίνει ότι με θερμική αξία 16,6MJ/kg η παραγωγή αυτή είναι ίση με 1,4 τόνους πετρελαίου ανά στρέμμα.

Άλλα δέντρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός του ευκαλύπτου ως ενεργειακές καλλιέργειες και κάποια από αυτά αποφέρουν στους παραγωγούς ένα ικανοποιητικό και συνάμα σταθερό εισόδημα, είναι η καρυδιά, η καστανιά και ακακία η κοινή. Είναι ενδεικτικό ότι η καλλιέργεια της ακακίας επιδοτήθηκε από την Ε.Ε. και σαν δέντρο προσαρμόζεται άριστα σε ξηρικές περιοχές και απαιτεί ελάχιστη περιποίηση. Έχει ανθεκτικό και ευλύγιστο ξύλο, ενώ η παραγωγή βιομάζας φτάνει τον 1,5τόνο/στρ. γεγονός που την κάνει να θεωρείται εφάμιλλη της μηδικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΙΑΝΘΟΣ (*Helianthus annuus*)

2.1 Ιστορική εξέλιξη - Γενικά

Ο ηλιάνθος 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 ηλιάνθος είναι γνωστός και ως ήλιος ή ηλιοτρόπιο. Στην Ευρώπη ο ηλιάνθος 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 ηλιάνθου αυξάνοντας την απόδοση, τη σταθερότητα στην παραγωγή, την ομοιομορφία του αγρού και την αντοχή στις ασθένειες. Σήμερα ο ηλιάνθος 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 ηλιάνθου συγκεντρώνεται κυρίως στο βορειοανατολικό μέρος της χώρας και ειδικότερα στις περιοχές της Θράκης (Ν. Έβρου), ενώ πιο αραιά στην κεντρική και ανατολική Μακεδονία.

Ο ηλιάνθος 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 ηλιάνθου αποτελεί edώδιμο 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).

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).

2.2 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. Έχει αριθμό χρωμοσωμάτων $x = 17$, $2x = 34$ και πολλαπλασιάζεται με σπέρματα. Τα φύλλα είναι αντικριστά, ωοειδή, 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 2.2.1). Η έκφυση των πρώτων πέντε ζευγαριών γίνεται αντίθετα, ενώ στα επόμενα κυλινδρικά και ο αριθμός τους κυμαίνεται από 20–30 φύλλα/φυτό.



Εικόνα 2.2.1. Φύλλα ηλιάνθου στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

Ο ηλίανθος 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 25cm capitula, και έχουν αχαίνια 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 2.2.2). 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 (bracts), τα οποία είναι συνήθως κίτρινα, άγωνα 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 pappi (τεχνική ονομασία). Σε πολλά άλλα φυτά αυτά χρησιμεύουν για τη σωστή κατανομή του καρπού. Στον ηλίανθο το pappus 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 2.2.2. Ταξιανθία του ηλίανθου.

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, Ε., 1994).

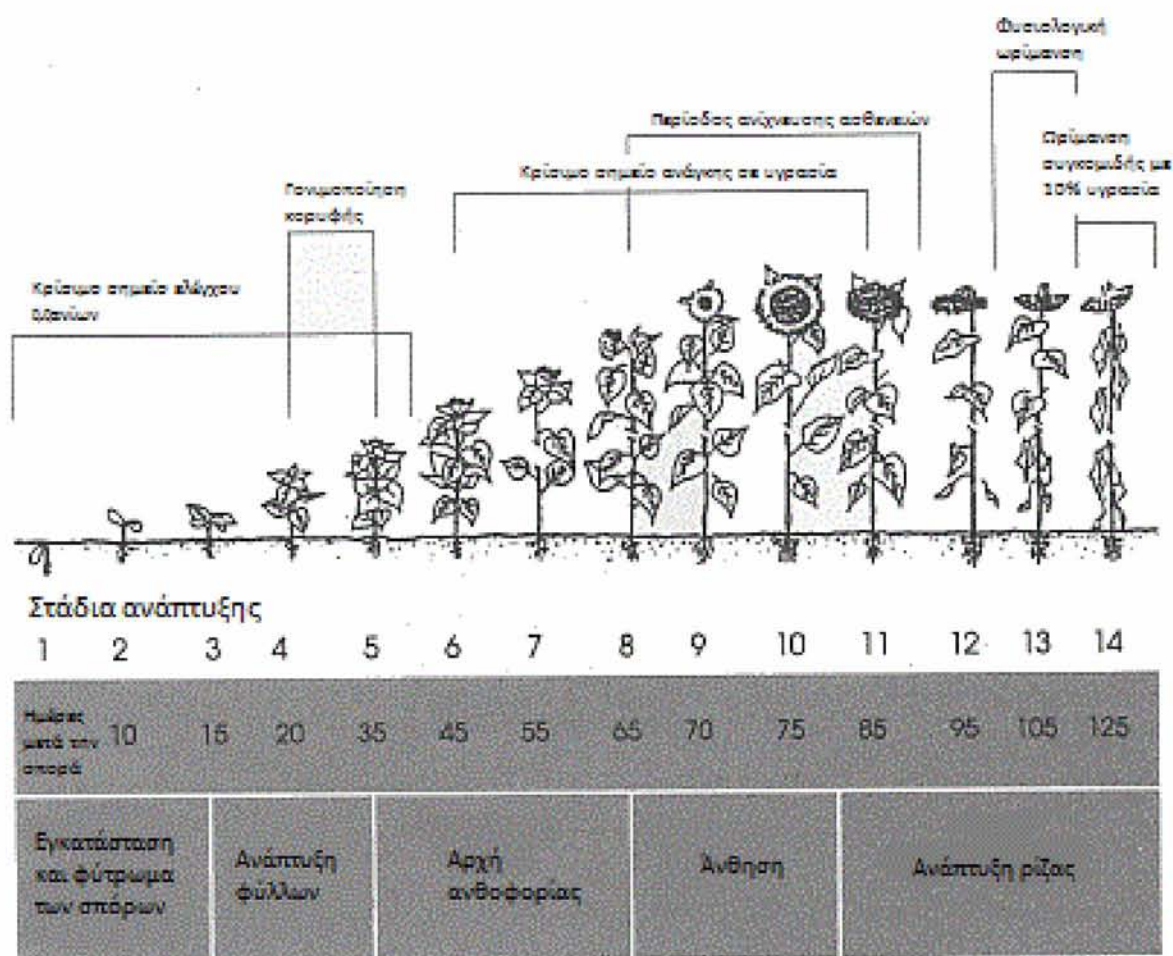
Το ριζικό σύστημα του ηλίανθου προχωράει βαθιά στο χώμα και διακλαδίζεται σε πολλές πλάγιες δευτερογενείς ρίζες, οι οποίες είναι πυκνές και λεπτές και αναπτύσσονται σε βάθος περίπου 30cm. Οι πρωτογενείς ρίζες του φυτού μπορούν να φτάσουν μέχρι και 2m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως είναι 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 και καθώς η μέρα προχωρά παρακολουθούν την πορεία του ήλιου προς την Δύση στρέφοντας τις κεφαλές προς το μέρος του, 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, μην μπορώντας ν' ακολουθήσει την πορεία του ήλιου.

2.3 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 φύτευμα, 30-40 ημέρες από το φύτευμα 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 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1. Σχηματική αναπαράσταση σταδίων ανάπτυξης ηλιάνθου (<http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>).

Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα διαχωρισμού των σταδίων ανάπτυξης είναι αυτό του Arnaud (1986), σύμφωνα με το οποίο η καλλιέργεια χωρίζεται σε πέντε κύρια στάδια, καθένα από τα οποία χωρίζεται σε επιμέρους φάσεις (Πίνακας 2.3.1).

Πίνακας 2.3.1. Σύστημα διαχωρισμού σταδίων ανάπτυξης.

A	Φύτρωμα	B	Βλαστικό στάδιο
0	Σπόρος	2.1	Το πρώτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.1	Ο σπόρος είναι ακόμη ξηρός	2.2	Το πρώτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων διακρίνεται καλά
0.2	Τέλος απορρόφησης νερού από το σπόρο	2.3	Το δεύτερο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.3	Έναρξη εξόδου του ριζιδίου	2.4	Το δεύτερο ζευγάρι αντίθετων

			φύλλων διακρίνεται καλά
0.4	Μήκος βλαστίδιου ίσο με το μισό του σπόρου	2.5	Το πέμπτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.5	Βλαστίδιο διπλάσιο σε μήκος από το σπόρο	2.v	Το νιοστό ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
1.0	Εμφάνιση κοτυληδόνων		
1.1	Εμφάνιση πρώτων φύλλων		
E	Εμφάνιση ανθικής καταβολής	F	Ανθιση
3.1	Εμφάνιση της ανθικής καταβολής ανάμεσα στα φύλλα	4.1	Τα περιφερειακά άνθη διακρίνονται καλά
3.2	Διάμετρος ταξιανθίας ίση με 0,5-2cm	4.2	Οι πρώτοι τρεις κύκλοι γόνιμων άνθεων έχουν ανοίξει
3.3	Η ταξιανθία έχει ξεχωρίσει από τα φύλλα και έχει διάμετρο 3-5cm	4.3	Οι επόμενοι τρεις κύκλοι άνθεων έχουν ανοίξει
3.4	Διάμετρος ταξιανθίας 5-8cm	4.4	Οι πρώτοι τρεις κύκλοι άνθεων έχουν γονιμοποιηθεί, οι επόμενοι τρεις έχουν ακόμη το στίγμα ανοιχτό και οι τελευταίοι τρεις μόλις ανοίγουν
3.5	Ταξιανθία ακόμη κλειστή και τα περιφερειακά άνθη μόλις που διακρίνονται	4.5	Όλα τα άνθη έχουν ανοίξει, τα περιφερειακά άνθη έχουν μαραθεί
M	Ωρίμανση		
5.0	Τα περιφερειακά άνθη έχουν πέσει, ενώ ακόμη η πίσω πλευρά της ταξιανθίας είναι πράσινη		
5.1.1	Η πίσω πλευρά της ταξιανθίας αρχίζει να κιτρινίζει, οι σπόροι έχουν υγρασία 50% και η υπόλοιπη κεφαλή 80%		
5.1.2	Η πίσω πλευρά της κεφαλής και τα βράκτια έχουν κιτρινίσει, η υγρασία των σπόρων είναι περίπου 40% και τα κάτω έχουν ξεραθεί		
5.1.3	Η πίσω πλευρά της κεφαλής είναι κίτρινη, τα βράκτια αρχίζουν να γίνονται καστανά, η υγρασία των σπόρων μειώνεται στο 30%		
5.2	Τα βράκτια της κεφαλής έχουν γίνει κατά 75% καστανά, η υγρασία των σπόρων είναι περίπου 20-25%, τα 2/3 των κατώτερων φύλλων έχουν ξεραθεί		
5.3	Όλο το πίσω μέρος της κεφαλής έχει γίνει καστανό, η υγρασία κυμαίνεται στο 15%, όλα σχεδόν τα φύλλα έχουν ξεραθεί		
5.4	Όλα τα μέρη του φυτού έχουν γίνει καστανά, η υγρασία των σπόρων κυμαίνεται στο 10%		

Πηγή: Arnaud, F. 1986.

Κατά τη φυσιολογική ωρίμανση το πίσω μέρος των ταξιανθιών αποκτά χρώμα καστανό-κίτρινο (Εικόνα 2.3.1), 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.



Εικόνα 2.3.1. Ταξιανθία ηλίανθου κατά την ωρίμανση.

2.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις

2.4.1 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 πρόωμες 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.

2.4.2 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 (Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ., 2002). Σε εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας >550 W/m² 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.

2.4.3 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, Σ., 2002).

2.5 Διαχείριση της καλλιέργειας

2.5.1 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, Σ., 2002).

2.5.2 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 χωρίς την άνοιξη. Λίγες ημέρες πριν την σπορά πραγματοποιείται η προετοιμασία του αγρού με 1-2 περάσματα με καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα.

2.5.3 Σπορά

Η εποχή σποράς είναι ιδιαίτερα σημαντική απόφαση, γιατί από αυτήν εξαρτάται το κανονικό φύτρωμα του σπόρου. Η σπορά γίνεται χωρίς 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 λιπελαϊκό 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 της υγρασίας του εδάφους και του μεγέθους του σπόρου. Οι συνήθειες 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 οπμιρίζει η καλλιέργειας και τα στελέχη γίνονται πιο υψηλά και αδύνατα, με αποτέλεσμα να πλαγιάζουν με τον αέρα.

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.

2.5.4 Αραιώμα

Λόγω του ότι μετά τη φύτευση οι γραμμές φύτευσης είναι πολύ πυκνές, συνίσταται αραιώμα 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 αραιώμα αποφεύγεται συνήθως η χρήση χημικών σκευασμάτων και γίνεται με το χέρι ως επιπλέον καλλιεργητική φροντίδα.

2.5.5 Αμειψισπορά

Ο ηλίανθος έχει τη δυνατότητα να ακολουθήσει ποικιλία καλλιεργειών στο σύστημα αμειψισποράς. Στον ελλαδικό 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.

2.5.6 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 εξαμισημοδιαπνοής 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).

2.5.7 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, Σ., 2002).

2.5.8 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 αγρόφυρος (*Elytrigia repens*), η

μουχρίτσα (*Echinochloa orus galli*), το γαιδουράγκαθο (*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.. Μετασπαρτικά 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.

2.5.9 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 ξεραθεί 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%.

2.6 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 σχετικά 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 Σ., 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 2.6.1. *Helianthus annuus* (<http://www.plantprotection.hu>)

Ασθένειες:

1) **Περνόςπορος** (*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 ηλίανθος 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, Σ., 2002).

2.7 Ποικιλίες, υβρίδια και βελτίωση φυτών

Λόγω της μεγάλης σημασίας που έχουν τα παραγόμενα από τον ηλίανθο προϊόντα τόσο στη διατροφή του ανθρώπου, όσο και στη βιομηχανία, η δημιουργία βελτιωμένων φυτών, έγινε στόχος πολλών επιστημόνων και εταιριών. Η αύξηση της παραγωγής και της απόδοσης, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι, η αντοχή σε ασθένειες, η ύπαρξη ισχυρού ριζικού συστήματος, η καλή εφαρμογή των φυτών σε μη αρδευόμενα εδάφη και η προσαρμογή τους σε όλους τους τύπους εδαφών, είναι κάποιες από τις επιθυμητές ιδιότητες του ηλίανθου, τις οποίες οι γενετιστές φρόντισαν να βελτιώσουν.

Η πρώτη συστηματική προσπάθεια βελτίωσης έγινε από τους Ρώσους με τη μέθοδο της μαζικής επιλογής με την οποία δημιουργήθηκαν βελτιωμένες ποικιλίες - πληθυσμοί. Ακολούθησαν άλλες μέθοδοι επιλογής φαινοτυπικής αλλά και με έλεγχο απογόνων που συνέβαλαν στην αύξηση των αποδόσεων της περιεκτικότητας σε λάδι και της ανθεκτικότητας σε ασθένειες.

Ακολούθησε η δημιουργία καθαρών σειρών με τη χρησιμοποίηση της αυτογονιμοποίησης (μετά το 1922) με στόχο την ανθεκτικότητα στις ασθένειες. Με την ανακάλυψη της ετέρωσης οι καθарές σειρές χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία συνθετικών ποικιλιών και πρόσφατα στη δημιουργία υβριδίων.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970 οι καλλιεργούμενες ποικιλίες ήταν κατά κανόνα συνθετικές ποικιλίες με μεγάλο αριθμό συνθετικών γενοτύπων και επομένως ικανοποιητική προσαρμοστικότητα.

Η δημιουργία υβριδίων έγινε δυνατή με την ανακάλυψη της αρρενοστεριότητας. Στην αρχή (1934) ανακαλύφθηκε γενετική αρρενοστεριότητα την οποία οι βελτιωτές προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν στη δεκαετία του 1960 για παραγωγή υβριδίων σε εμπορική κλίμακα αλλά χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα. Την ίδια περίπου εποχή ανακαλύφθηκε η κυτοπλασματική αρρενοστεριότητα η οποία επέτρεψε την παραγωγή υβριδίων σε εμπορική κλίμακα. Η χρήση των υβριδίων έχει επικρατήσει σήμερα στις περισσότερες χώρες γιατί έχουν πιο υψηλή και σταθερή απόδοση, πιο ομοιόμορφη ανάπτυξη και είναι πιο ανθεκτικά στις ασθένειες.

Ως πηγές κυτοπλασματικής αρρενοστεριότητας χρησιμοποιούνται τα άγρια είδη *H. petiolaris* και *H. bolanderi* που διασταυρώνονται εύκολα με τον καλλιεργούμενο ηλίανθο. Ο γονέας που χρησιμοποιείται ως πατέρας στην παραγωγή υβριδίου πρέπει να έχει γονίδια επαναφοράς της γονιμότητας της γύρης και είναι συνήθως διακλαδιζόμενη ποικιλία ώστε να εξασφαλίζεται γύρη για μεγαλύτερο διάστημα.

Εταιρίες που ασχολούνται χρόνια με τη βελτίωση φυτών και ιδιαίτερα του ηλίανθου παρουσιάζουν τόσο στην παγκόσμια όσο και στην ελληνική αγορά

διάφορες νέες ποικιλίες και υβρίδια με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Ορισμένα από αυτά είναι τα SunLuca, Sanbro, Oleko, NK Califa και NK Sanay τα οποία παράγονται από την εταιρία Syngenta, τα PR64A70 (RM 44), PR64E83 (RM 43), PR64E83 (RM 48), PR63A90 (RM 40) και PR64E71 (RM 46) της Pioneer, τα Coban, Cledesol, Aurasol της Bios. Πέραν τούτου και η ελληνική βιομηχανία έχει να επιδείξει ανάλογα υβρίδια και ποικιλίες, όπως είναι τα Favorit και Heliasol της εταιρίας ΥΨΙΛΟΝ και το Leila της ΕΛΛΑΓΡΕΤ.

2.8 Προϊόντα ηλίανθου

Σήμερα αξιοποιούνται όλα τα τμήματα του φυτού (Burton et al., 2004). Το προϊόν της καλλιέργειας είναι ο σπόρος, ο οποίος και αποτελεί το 25% της ξηράς ουσίας του φυτού. Υπάρχουν δυο είδη σπόρων: οι μεγάλοι, που προορίζονται για άμεση κατανάλωση (πασατέμπο) και οι μικροί, που είναι κατάλληλοι για εξαγωγή ελαίου. Οι σπόροι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως πτηνοτροφή (Αυγουλάς κ.ά., 2001). Η απόδοση σε λάδι του σπόρου είναι συνήθως 20-25%. Το υπόλοιπο λάδι παραμένει στον πλακούντα ο οποίος περιέχει επιπλέον περίπου 35% πρωτεΐνη ώστε αποτελεί εξαιρετική συμπυκνωμένη ζωοτροφή (Δαναλάτος, Ν., 2005).

Οι φλοιοί των σπόρων, μετά από ειδική επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία υποστρωμάτων διαφόρων ενζύμων (Friedt, 1992). Κατά μέσο όρο 100kg σπόρων δίνουν 40kg φλοιούς και 60kg ψίχα. Η αποφλοιώση των σπόρων γίνεται με το πέρασμα των σπόρων ανάμεσα σε δίσκους που περιστρέφονται κατ' αντίθετη φορά. Η μεταξύ του απόσταση ρυθμίζεται έτσι ώστε να σπάζει μόνο ο φλοιός. Ακολουθεί διαχωρισμός με κοσκίνισμα. Η κατεργασία των σπόρων γίνεται με πίεση σε πιεστήρια, όπου η απόδοση των αποφλοιωμένων σπόρων φτάνει το 38% κατά βάρος ή με εκχύλιση όπου η απόδοση των σπόρων φτάνει το 44-45% κατά βάρος (Μπαλατσούρας, Γ., 1995). Τα αποξηραμένα στελέχη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαστικού, ινών και χαρτιού και σε φτωχές χώρες ως πρώτη ύλη (Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993). Οι ξηροί βλαστοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως καύσιμη ύλη (Αυγουλάς κ.ά., 2001). Το ηλιέλαιο έχει μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο και είναι πλούσιο σε πολυακόρεστα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατροφή του ανθρώπου, για παρασκευή μαργαρίνης, σαπουνιών, αλλά και ως βιοντίζελ μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

Ο ηλίανθος είναι μια από τις πιο σημαντικές ελαιοδοτικές καλλιέργειες παγκοσμίως κυρίως λόγω της υψηλής προσαρμοστικότητάς του στις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες αλλά και της εύκολης μηχανοποίησης της καλλιέργειας (Tolga et al., 2001). Εξαιτίας των μέτριων καλλιεργητικών αναγκών της καλλιέργειας, αλλά και της υψηλής ποιότητας ελαίου που παράγει, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με ηλίανθο έχουν αυξηθεί τόσο στις ανεπτυγμένες, όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Με αποτέλεσμα ο ηλίανθος να αποτελεί το τέταρτο σε σημασία φυτό παραγωγής φυτικού ελαίου σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ τα τελευταία χρόνια προσελκύει σημαντικό ενδιαφέρον από την Ε.Ε. για την παραγωγή βιοντίζελ, ιδιαίτερα μετά τη

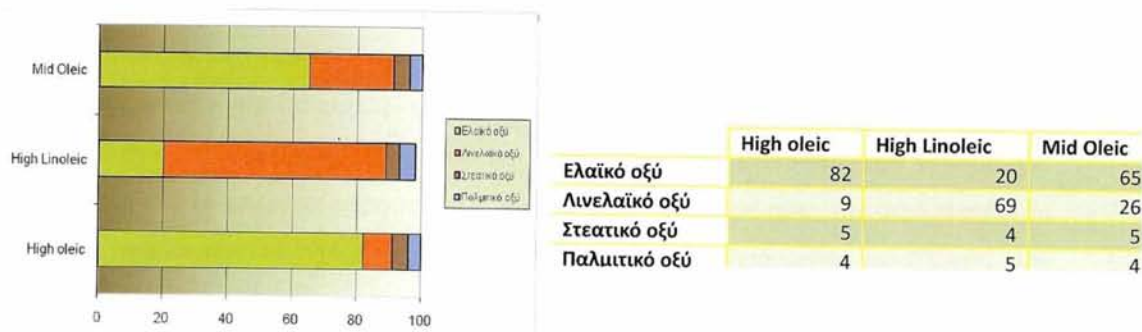
συνθήκη του Κιότο (2005) όπου οι μεγαλύτερες βιομηχανικές χώρες αποφάσισαν τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κάνοντας χρήση βιοκαυσίμων (Flagella et al., 2002). Το ηλιέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο μετά από κατάλληλη επεξεργασία και όχι κατευθείαν καθώς έχει αριθμό ιωδίου μεγαλύτερο από το όριο που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. (130 αντί για 120-125). Για τη χρήση του ως βιοντίζελ πρέπει πρώτα να αναμιχθεί με λάδια που έχουν χαμηλότερο αριθμό ιωδίου ή με ζωικά λίπη (Δαναλάτος, Ν., 2005). Ως βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί έλαιο του οποίου η περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ να υπερβαίνει το 40%. Για το λόγο αυτό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα high-oleic και mid-oleic υβρίδια, με πιο κατάλληλα τα high-oleic υβρίδια, των οποίων η σύνθεση δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Skoric, D., 1982).

Έχουν προκύψει πολλές ποικιλίες ηλιάνθου, διαφοροποιούμενες ως προς την ποιότητα λαδιού που παράγουν, με τη χρήση συγκεκριμένων μεθόδων γενετικής βελτίωσης. Το αυθεντικό ηλιέλαιο (high linoleic) είχε υψηλή περιεκτικότητα σε λινελαϊκό οξύ. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως το ελαϊκό και το λινελαϊκό οξύ είναι χρήσιμα για τον ανθρώπινο οργανισμό (Burton et al., 2004). Η σταθερότητα στην οξείδωση του ηλιέλαιου, που καθυστερεί την απώλεια της θρεπτικής του αξίας και τη δημιουργία δυσάρεστων γεύσεων, εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε ελαϊκό οξύ και σε αντιοξειδωτικά. Εναλλακτικά, η σταθερότητα στην οξείδωση μπορεί να επιτευχθεί με υδρογόνωση, μειονέκτημα της οποίας είναι η παραγωγή βλαβερών για ανθρώπινη υγεία λιπαρών οξέων. Στα τέλη του εικοστού αιώνα αναπτύχθηκε ένα στέλεχος με αυξημένη περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (high oleic) και στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα εμφανίστηκε στην αγορά και ένα ηλιέλαιο, κατάλληλο για τηγάνισμα, το οποίο έχει χαμηλά επίπεδα κορεσμένων λιπαρών οξέων χωρίς να έχει προηγηθεί υδρογόνωση (mid oleic). Τα τρία αυτά στελέχη παρουσιάζουν διαφορές στην περιεκτικότητά τους σε κορεσμένα, μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (<http://en.wikipedia.org/wiki/Sunfloweroil>).

Υπάρχουν τρεις τύποι ηλιέλαιου (Γράφημα 2.8.1) :

- Mid Oleic : Είναι σταθερό στην οξείδωση και παράγεται χωρίς τη χρήση υδρογόνωσης. Επισκιάζει τα άλλα λάδια που προορίζονται για εμπορική χρήση, παρέχοντας υπέροχη γεύση και κορυφαία απόδοση, καθώς και τα βέλτιστα για την υγεία οφέλη. Έχει λιγότερα από 10% κορεσμένα λιπαρά, 55-75% ελαϊκό οξύ και 15-35% λινελαϊκό οξύ.
- High Linoleic : Είναι το αυθεντικό ηλιέλαιο και μέχρι πρόσφατα ο πιο κοινός τύπος. Είναι κατά κύριο λόγο (68%) πολυακόρεστο έλαιο με χαμηλά επίπεδα κορεσμένων λιπαρών (λιγότερο από 11%), καθαρή και απαλή γεύση και πλούσιο σε Βιταμίνη Ε. Περιέχει περίπου 21% μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (ελαϊκό) και είναι γενικά μια υγιής και "νόστιμη" επιλογή.
- High Oleic : Έχει πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (περισσότερο από 80%), δηλαδή σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Χαρακτηριστικά του η ουδέτερη γεύση και η παροχή άριστης σταθερότητας χωρίς υδρογόνωση. Όπως συνέβη και με όλα τα υβρίδια που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε

ελαϊκό οξύ, οι ποικιλίες που δίνουν το συγκεκριμένο τύπο λαδιού προήλθαν από βελτιώσεις μέσα από συμβατικές μεθόδους αναπαραγωγής (National Sunflower Association, 2010).



Γράφημα 2.8.1. Κύριοι τύποι ηλιέλαιου και η περιεκτικότητά τους σε οξέα (National Sunflower Association, 2010).

2.9 Χρήση του ηλιέλαιου στη βιομηχανία παραγωγής καυσίμων

Ως απόρροια της κοινής πολιτικής που ακολουθείται παγκοσμίως για τη μείωση των συμβατικών καυσίμων και αντικατάστασή τους με καύσιμα τα οποία προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες, είναι αναμενόμενο να υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την εναλλακτική αυτή πηγή ενέργειας από τις βιομηχανίες. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, το έλαιο που παράγεται από τους σπόρους του ηλιάνθου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παρασκευή βιοντίζελ.

Ο βαθμός ιοδίνης είναι ένα μέτρο αστάθειας, η τιμή του οποίου καθορίζεται από την Ε.Ε. ως χαρακτηριστικό προδιαγραφών, σε συνδυασμό με κάποια άλλα όπως είναι το σημείο πήξεως του ελαίου και ο αριθμός κετανίου για την καταλληλότητα των ελαίων ως προς τη χρήση τους για την παραγωγή βιοντίζελ. Στο ηλιέλαιο ο βαθμός αυτός είναι λίγο υψηλότερος από το επιτρεπόμενο με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η ανάμειξή του με επιλεγμένα έλαια όπως είναι τα high – oleic.

Η ποιότητα του λαδιού από high – oleic ηλιάνθο μαζί με αυτό της ελαιοκράμβης πληρούν τις προδιαγραφές για την παραγωγή του EN 14214 τυποποιημένου προϊόντος βιοντίζελ που παράγει η Ε.Ε.. Η ανάγκη της βιομηχανίας και στην Ελλάδα για λάδια κατάλληλα για βιοντίζελ, ανοίγει νέους ορίζοντες για τις καλλιέργειες του ηλιάνθου και της ελαιοκράμβης. Από ένα στρέμμα ηλιάνθο, ανάλογα με το αν είναι αρδευόμενος ή μη, παράγονται κατά μέσο όρο 120-210 κιλά σπόρος με αντίστοιχη παραγωγή 43-75 λίτρα βιοντίζελ (Πίνακας 2.9.1). Για το πώς εκτυλίσσεται η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ από πρώτη ύλη τις ενεργειακές καλλιέργειες, έχει γίνει αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ένα ενδεικτικό διάγραμμα μίας μονάδας παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνει εκτός από το αυτοματοποιημένο σύστημα συνεχούς παραγωγής, λειτουργίες όπως είναι ο έλεγχος όλης της λειτουργίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή με σύστημα DCS (Digital Control System), η ανάκτηση της μεθανόλης με υποπίεση και αντλία κενού και η εφαρμογή πολυμερικών στηλών στεγνού πλυσίματος, για τον καθαρισμό του παραγόμενου προϊόντος. Ακόμη η ροή παραγωγής υπολογίζεται περίπου σε 5 τόνους/ώρα, η ετήσια παραγωγή μέχρι 43.000 τόνους και η κατασκευή να είναι σύμφωνα με όλες τις διεθνείς προδιαγραφές (API -650, ASME CODE VIII).

Οι απαιτήσεις των άνωθεν προδιαγραφών είναι οι εξής:

- 1) Δεξαμενή αποθήκευσης φυτικού λαδιού (από ελαιοκράμβη, σόγια, ηλιόσπορο). Η δεξαμενή έχει δυνατότητα θέρμανσης για τη διατήρηση του ιξώδους σε συγκεκριμένο εύρος.
- 2) Το φυτικό λάδι να προθερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας μέχρι τους 38 °C από το καθαρό παραγόμενο βιοντίζελ πριν αποθηκευτεί στη δεξαμενή αποθήκευσης.
- 3) Η θερμοκρασία του φυτικού να ελαίου αυξάνεται μέχρι τους 62-65 °C σε εναλλάκτη θερμότητας με θερμό νερό από τον ατμολέβητα.
- 4) Ατμολέβητας.
- 5) Εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης.
- 6) Αντιδραστήρας ανάμιξης μεθανόλης και καταλύτη (KOH).
- 7) Δεξαμενή αποθήκευσης methoxide για την παραγωγή.
- 8) Το φυτικό λάδι σε θερμοκρασία 62-65 °C μαζί με methoxide να εισέρχονται στον αντιδραστήρα No1.
- 9) Μετά τον αντιδραστήρα No1 το προϊόν θερμαίνεται πάλι στους 62-65 °C για τυχόν απώλειες της θερμοκρασίας του.
- 10) Αντιδραστήρας No2.
- 11) Μετά την έξοδο του προϊόντος από τον αντιδραστήρα No2 διαχωρίζεται η γλυκερίνη.
- 12) Δεξαμενή αποθήκευσης γλυκερίνης.
- 13) Ανάκτηση μεθανόλης με υποπίεση.
- 14) Στεγνός καθαρισμός του βιοντίζελ σε πύργους στεγνού πλυσίματος με πολυμερές.
- 15) Δεξαμενή αποθήκευσης καθαρού βιοντίζελ.

Πίνακας 2.9.1. Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και σε καύσιμο.

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝ (kg/ στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΥΣΙΜΟ (lt/στρ.)
ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	ΗΛΙΑΝΘΟΣ	120- 210	43- 75
	ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	150-300	58- 116
	ΑΓΡΙΟΑΓΓΙΝΑΡΑ	100- 150	28- 41
	ΒΑΜΒΑΚΙ	120- 160	20- 27
	ΣΟΓΙΑ	160- 240	32- 48
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	ΣΙΤΑΡΙ	150- 800	46-243
	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	800- 1200	240-360
	ΤΕΥΤΛΑ	5500- 7000	550- 700
	ΣΟΡΓΟ	7000- 9000	700- 900

Πηγή: Κ.Α.Π.Ε.

2.10 Εξαγωγή του ελαίου από τον ηλίανθο

Το κυριότερο παραγόμενο προϊόν από την καλλιέργεια του ηλίανθου είναι το ηλιέλαιο, το οποίο όπως αναφέρθηκε, περιέχει πολλά θρεπτικά συστατικά και ενδείκνυται για πολλές χρήσεις στην καθημερινή ζωή και τη βιομηχανία. Η εξαγωγή του ηλιέλαιου μπορεί να επιτευχθεί είτε με μηχανική επεξεργασία με τη χρήση πρέσας, είτε με χημική επεξεργασία χρησιμοποιώντας ορισμένους διαλύτες.

Ο όρος μηχανική επεξεργασία αναφέρεται στη θερμή και τη ψυχρή συμπίεση. Πειράματα που έγιναν έδειξαν ότι κατά την ψυχρή συμπίεση η ποσότητα του παραγόμενου ελαίου από καλλιέργεια ηλίανθου, εξαρτάται από την ποικιλία του σπόρου, το βαθμό συμπίεσης του σπόρου, ο οποίος μπορεί να βελτιωθεί με μείωση της διαμέτρου του ακροφυσίου εξόδου της πίτας και τη θερμοκρασία του εισαγόμενου στην πρέσα σπόρου.

Η διαδικασία της ψυχρής συμπίεσης απαιτεί έναν σχετικά απλό μηχανολογικό

εξοπλισμό. Χαρακτηριστικό είναι ότι δεν απαιτείται πολλή ενέργεια ούτε η χρήση χημικών μέσων. Με τον τρόπο αυτό, το παραγόμενο δια της ψυχρής συμπίεσης έλαιο, σε αντίθεση με το αντίστοιχο που παράγεται δια της θερμής, διατηρεί πλήρως τα υγιεινά συστατικά του όπως βιταμίνες, ένζυμα, λεκιθίνη και ιχνοστοιχεία, ενώ η γεύση του είναι πιο έντονη και το ποσοστό ακόρεστων υδρογονανθράκων πολύ υψηλότερο.

Μεγάλη σημασία για τη διεργασία αυτή έχει ο σπόρος να είναι απαλλαγμένος από προσμίξεις και φερτά υλικά (π.χ. άμμος). Επιπλέον τα επίπεδα υγρασίας του σπόρου πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 6 και 8% περίπου, διασφαλίζοντας έτσι της κατάλληλες συνθήκες για αποθήκευση και κατόπιν για ιδανική συμπίεση. Απαραίτητες είναι επίσης οι χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης και η επαρκής ανταλλαγή αέρος και θερμότητας.

Τα υπολείμματα από την κατεργασία των σπόρων του ηλίανθου με τη μέθοδο της ψυχρής συμπίεσης αποτελούν την λεγόμενη ηλιόπιτα, η οποία είναι πολύ καλή ζωοτροφή και με υψηλή διατροφική αξία. Γενικότερα η παραγόμενη αυτή πίτα είναι πλούσια σε Τ.Μ. (μεικτά άλευρα), πρωτεΐνες, λίπος, κυτταρίνη και είναι μια καλή πηγή ενέργειας για τα εκτρεφόμενα ζώα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

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, Μ., 2003, Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 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, Ζ.Γ., 1984, U.S.D.A., 1956).

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.

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 αυλακίων. 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, A.R. et al., 1982, Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. 1984, Χατζηγιαννάκης, Σ.Λ. και Θεοδώρου, Ν. 1991, Πανώρας, Α.Γ. κ.ά. 1993) και να δοθεί η κατάλληλη κλίση.

Η μέθοδος άρδευσης με καταιονισμό μπορεί να μολύνει τις καλλιέργειες και τους αγρότες. Επίσης, παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται σε καταιονιζόμενα απόβλητα, μπορεί να μεταφερθούν με τον άνεμο και να δημιουργήσουν κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων των κοντινών περιοχών. Τα συστήματα καταιονισμού επηρεάζονται πιο πολύ από την ποιότητα του νερού σε σχέση με τα επιφανειακά συστήματα άρδευσης, κυρίως λόγω της έμφραξης των ακροφυσίων των καταιονιστήρων, των ενδεχομένων ζημιών των φύλλων και της φυτοτοξικότητας, στις περιπτώσεις που το νερό είναι αλατούχο και περιέχει περίσσεια τοξικών ουσιών. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα συσσώρευσης ιζήματος στους σωλήνες, στις βάνες, στους αυτοματισμούς και στο σύστημα διανομής του νερού. Γενικά, τα αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, είναι κατάλληλα για διανομή από εκτοξευτήρες, αρκεί να μην είναι πολύ αλατούχα.

Συχνά υιοθετούνται πρόσθετα μέτρα πρόληψης, όπως επεξεργασία με χαλκικόφιλτρα ή φίλτρα σήτας και αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων (μεγαλύτερα από 5mm).

Οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης (κυρίως στάγδην άρδευση) θεωρούνται ιδανικές για χρήση με απόβλητα, επειδή:

- αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους αγρότες,
- δεν προκαλούν διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο,
- δεν δημιουργούν απορροή αποβλήτων προς γειτονικές περιοχές, όπως συμβαίνει με τις επιφανειακές μεθόδους.

Ωστόσο, η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στους σταλακτήρες ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, προκαλούν εμφράξεις όπως επίσης και οι μεγάλες συγκεντρώσεις φυκών και αιωρούμενων στερεών. Η ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων στα απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα που ξεπερνώνται με τη χρήση χαλκικόφιλτρου και το συχνό καθάρισμά τους με άφθονο καθαρό νερό. Οι Massoud et al. (1995) έδειξαν ότι η άρδευση των καλλιεργειών με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μέσω συστήματος σταγόνων, προϋποθέτει την ταυτόχρονη χρήση χαλκικόφιλτρου, φίλτρου σήτας και έγχυσης χλωρίου στο σύστημα άρδευσης για αποφυγή εμφράξεων. Επειδή η περιεκτικότητα του Ca στα απόβλητα είναι συνήθως υψηλή πρέπει να υπολογίζεται ο δείκτης LSI (Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. 1985; Πανώρας, Α.Γ. κ.ά., 1992), που εκφράζει τον πιθανό κίνδυνο εμφράξης των σταλακτρήρων από την καθίζηση του ασβεστίου (Ca).

Κατά την άρδευση με μικροεκτοξευτήρες, μια τεχνική που αναπτύχθηκε για την άρδευση των δενδρωδών καλλιεργειών, αποφεύγεται η ανάγκη χρησιμοποίησης σταλακτρήρων με μικρές οπές, αλλά απαιτείται και προσεκτική εγκατάσταση και χρήση για επιτυχή και ασφαλή εφαρμογή του νερού (Hillel, D., 1987). Η μέθοδος έχει πολλά πλεονεκτήματα, πρέπει όμως πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη το υψηλό κόστος εγκατάστασης, ο υψηλός βαθμός συντήρησης που απαιτεί, καθώς και οι πιθανοί κίνδυνοι από τον ψεκασμό των αποβλήτων (Πανώρας, Α.Γ. κ.ά., 1994).

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 σταλκτῆρων, 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, M. 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, Μ., 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, Γ.Α., & Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 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, C.J. et al., 1992). Επίσης πειράματα που έχουν γίνει σε πολλές χώρες δείχνουν την υπεροχή της υπόγεια 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 υπόγεια 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 σησιριζίες 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, Υπόγειας 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 Υπόγειας 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 χρησιμοποίηση 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 διακοπόμενες 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 ζαχαροτεύτλων 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 διύγρανση του ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων με τη μέθοδο T.D.R. Η μεγαλύτερη αύξηση της εδαφικής υγρασίας παρατηρήθηκε στα βάθη 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 χλοοτάπητα 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, N. 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. Το δοχείο συνδέεται με τον κύριο αγωγό με δύο πλαστικούς σωλήνες με διάετρο 12-20mm. Η χωρητικότητα των λιπαντήρων φτάνει μέχρι τα 250l.

➤ 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 άερος

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 άερος, 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 E_f είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού.

3.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης στα οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η αυξανόμενη χρήση της τα τελευταία χρόνια είναι τα εξής:

- Ο παραγωγός έχει πλήρη έλεγχο της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται κάθε στιγμή στα φυτά.

- Υπάρχει δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης, με τη χρήση μιας βαλβίδας, που ελέγχει μεγάλη έκταση.
- Ο διαβρεχόμενος όγκος είναι μεγαλύτερος και σφαιρικός σε σύγκριση με τον αντίστοιχο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης.
- Ο μεγαλύτερος όγκος του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος, έτσι το ριζικό σύστημα συνήθως λειτουργεί σε περιβάλλον με σταθερή και χαμηλή θερμοκρασία.
- Οι ανάγκες σε πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες της τάξης 15-20 PSI (Gushiken, E., 1993).
- Μειώνεται η απορροή από το άκρο του χωραφιού, καθώς και η εδαφολογική διάβρωση.
- Μειώνει τις απώλειες λόγω εξάτμισης (από 40 – 45 % στις παραδοσιακές επιφανειακές μεθόδους, σε 25 % στην επιφανειακή στάγδην άρδευση και σε 5 με 10 % στην υπόγεια άρδευση) και της διήθησης ειδικότερα στα ελαφρά εδάφη (εντοπισμένη άρδευση).
- Η φθορά των υλικών άρδευσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέργεια πανίδας, είναι μικρότερη.
- Αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού.
- Αποδοτική διανομή του νερού.
- Σοβαρή μείωση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού λόγω μείωσης των απωλειών.
- Είναι δυνατή η χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα και η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων ως το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (Devitt, D. et al., 1988).
- Μείωση των αναγκών σε ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος, ειδικότερα με τη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας (I – Pai Wu, 1994).
- Μείωση της έκπλυσης του νερού στη ζώνη του ριζώματος.
- Ελαχιστοποιείται η διάβρωση του εδάφους (ειδικότερα στα επικλινή εδάφη).
- Η μεταφορά των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος είναι καλύτερη κι επίσης παρατηρείται αποδοτικότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων όπως ο φώσφορος, το κάλιο και των απαραίτητων για τα φυτά ιχνοστοιχείων (Solomon, K., 1993).
- Η άρδευση δεν επηρεάζεται από τον άνεμο.
- Πλήρης αυτοματισμός της άρδευσης βάση των ημερήσιων αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (Sakellariou-Makrantonali, M., 2000).

- Χαμηλό εργατικό κόστος καθώς δεν γίνεται εγκατάσταση και απεγκατάσταση του συστήματος σε κάθε καλλιεργητική περίοδο, αφού γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση κάτω από το βάθος άρσης.
- Τα γεωργικά μηχανήματα διευκολύνονται για τις εργασίες τους, γιατί ευνοούνται από την ξηρότητα της επιφανείας του εδάφους (Αλεξίου, Ι. κ.ά., 2003).
- Είναι δυνατή η εξάλειψη της ανάπτυξης των ζιζανίων (διατήρηση στεγνής εδαφικής επιφάνειας), των ασθενειών και του σαπίσματος της ρίζας σε συνδυασμό με τον καλύτερο αερισμό, την αποφυγή σχηματισμού επιφανειακής κρούστας και τη καλύτερη διήθηση του νερού της βροχής (Phene, C.J. et al, 1983).
- Δυνατότητα εφαρμογής νερού βιολογικού καθαρισμού με μικροβιακό φορτίο.
- Αυξημένη ομοιομορφία κατανομής του νερού στο χωράφι.
- Θεωρείται η πλέον αποδεκτή μέθοδος διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων για γεωργική χρήση με τη ταυτόχρονη μείωση των οσμών και χωρίς την ανάγκη τριτογενούς επεξεργασίας.
- Επιτυγχάνεται αύξηση του οικονομικού οφέλους μακροπρόθεσμα από τη χρήση της μεθόδου και το μειωμένο κόστος συντήρησης.

3.3.5 Μειονεκτήματα της μεθόδου

Τα συνήθη προβλήματα είναι:

- Το αρχικό κόστος εγκατάστασης που είναι υψηλό επειδή απαιτείται η χρήση ειδικού εξοπλισμού (υπεδαφοθέτης) έτσι ώστε να δημιουργηθούν οπές μέσα στο έδαφος για να τοποθετηθεί το δίκτυο.
- Ο έλεγχος του υπόγειου συστήματος είναι δύσκολος.
- Η απόφραξη των σταλακτήρων από τις ρίζες και άλλα φερτά υλικά οδηγεί στην κακή λειτουργία του συστήματος (Phene, C.J. et al., 1993).
- Το υπόγειο σύστημα είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να επιδιορθωθεί.
- Κίνδυνος καταστροφής του δικτύου από ζώα που ζούνε στο έδαφος και κυρίως τα τρωκτικά (Αλεξίου, κ.α., 2003).

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

ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

4.1 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, Π.Γ., 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 υγρά απόβλητα είναι πραγματικά μια πολύτιμη πηγή θρεπτικών ουσιών και νερού και 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 (Sopper and Kardos, 1973; Sopper et al., 1982; Bastian and Ryan, 1986; Luecke and De la Parra, 1994). Διάφοροι ερευνητές, έχουν κάνει μελέτες σχετικά με την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε άρδευση φυτειών δασικών δένδρων, που προορίζονται για υλοτομία (Bastian et al., 1982; Cole et al., 1986).

4.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν αιωρούμενες και διαλυμένες ανόργανες και οργανικές ουσίες, που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και την ποιότητα του (πόσιμου) νερού, που χρησιμοποιείται. Η δε τυπική τους σύσταση δίνεται στον Πίνακα 4.2.1..

Η «πυκνότητα» των λυμάτων μιας περιοχής εξαρτάται από τις συνθήκες διαβίωσης και την ημερήσια κατανάλωση νερού από κάθε άτομο. Έτσι π.χ., για μέση κατανάλωση $q=150$ λίτρα το άτομο την ημέρα, το σύνολο των στερεών ουσιών (με μορφή αιωρήματος ή διαλύματος), που περιέχονται στα λύματα, είναι περίπου 1,25% κατά βάρος, δηλαδή σε 1000 λίτρα λύματος υπάρχουν περίπου 1,25kg στερεές ουσίες (οργανικές και ανόργανες).

Από υγειονομική πλευρά ιδιαίτερη σημασία έχουν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, που βρίσκονται δυνητικά στα λύματα, σαν παράγοντες ασθενειών και οι οργανικές κυρίως ουσίες, που αν υποστούν σήψη (αναερόβια αποδόμηση), δημιουργούν δυσοσμίες και ανθυγιεινές γενικά καταστάσεις.

Εξάλλου, από πλευράς επεξεργασίας καθαρισμού των λυμάτων και συνεπειών για το περιβάλλον, παίζουν σημαντικό ρόλο οι διάφοροι βιολογικοί παράγοντες (σαπροφυτικοί μικροοργανισμοί), που προκαλούν τη βιοαποδόμηση των οργανικών ουσιών, των στερεών γενικά ουσιών, που δημιουργούν θολότητα και αισθητικά προβλήματα και των τοξικών, που επηρεάζουν δυσμενώς το περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων, μπορούν να καταταχθούν σε τέσσερις κατηγορίες: βιολογικά, οργανικές ουσίες, στερεές και τοξικές ουσίες.

Πίνακας 4.2.1. Τυπική σύσταση ανεπεξεργαστων 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. ₅ , (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 ₄ -N (mg/l)	50	25	12	20.0
NO ₂ -N (mg/l)	0	0	0	-
NO ₃ -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) ^{1/2}				3.0-9.0
Σκληρότητα (CaCO ₃)				200-300
Αλκαλικότητα (ως CaCO ₃)	200	100	50	211
Λίπη-Ελαια (mg/l)	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100 ml	-	-	-	22*10 ⁶

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

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

4.3 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία

Επειδή ο κύριος όγκος των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στα ανθρώπινα εκκρίματα υπάρχουν και στα απόβλητα, με συνέπεια την πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών. Ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών στα αστικά υγρά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά. Ωστόσο, οι παθογόνοι οργανισμοί που ήταν υπεύθυνοι για τις επιδημίες του παρελθόντος είναι ακόμη παρόντες στα αστικά απόβλητα.

Τα προβλήματα υγείας που είναι δυνατό να προκληθούν από τη χρήση μη επεξεργασμένων ή μερικώς επεξεργασμένων αποβλήτων έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό από τους Feachem et. al (1980), Mara and Cairncross (1989).

Καθώς οι κίνδυνοι από τη χρήση των αποβλήτων για την ανθρώπινη υγεία είναι υπαρκτοί, τα ποιοτικά κριτήρια και οι οδηγίες αξιολόγησης της καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία των χωρών με ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου κατά κύριο λόγο εφαρμόζεται η χρήση των αποβλήτων για άρδευση. Κάποιες από αυτές έχουν θεσπίσει κριτήρια μικροβιακής ποιότητας για να εξασφαλίσουν τη χωρίς κινδύνους χρήση των υγρών αποβλήτων.

Πίνακας 4.3.1. Συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων που πρέπει να ελέγχονται.

Συστατικά	Μετρούμενες παράμετροι	Αιτία ελέγχου
Αιωρούμενα στερεά	Αιωρούμενα στερεά που περιλαμβάνουν ασταθείς και σταθερές ενώσεις	Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία λασπωδών ιζημάτων και αναερόβιων συνθηκών, όταν ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον. Υπερβολική ποσότητα αιωρούμενων στερεών.
Βιοδιασπώμενη οργανική ύλη	Βιοχημική (Biological Oxygen Demand) και χημική (Chemical Oxygen Demand) απαίτηση οξυγόνου	Συνίσταται κυρίως από πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και λίπη. Όταν αποβάλλονται σε φυσικά συστήματα, η βιολογική τους αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε έλλειμμα διαλυμένου οξυγόνου στους υδάτινους αποδέκτες και στην ανάπτυξη σπητικών συνθηκών.
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Ενδεικτικοί μικροοργανισμοί, ολικά και εντερικής προέλευσης κολοβακτηρίδια	Μπορεί να μεταδοθούν ασθένειες από βακτήρια, ιούς και παράσιτα των αποβλήτων.
Θρεπτικά στοιχεία	Άζωτο, φώσφορος, κάλιο	Το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο είναι ουσιώδη θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών και η παρουσία τους κατά κανόνα επωξάνει την αξία του νερού. Όταν εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον, το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να προκαλέσουν ανάπτυξη ανεπιθύμητης δραστηριότητας (υδροχαρής βλάστηση, ευτροφισμός). Όταν

		αποβάλλονται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος το άζωτο μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων.
Σταθερά οργανικά	Επιλεγμένες ενώσεις (π.χ. φαινόλες εντομοκτόνα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες)	Αυτά τα οργανικά τείνουν να αντιστέκονται στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων. Μερικές οργανικές ενώσεις είναι τοξικές στο περιβάλλον και η παρουσία τους μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	pH	Το pH των αποβλήτων επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων όπως επίσης και τη νατρίωση των εδαφών. Το συνηθισμένο εύρος pH σε υγρά αστικά απόβλητα είναι 6.5-8.5, αλλά οι βιομηχανικές εκροές μπορεί να μεταβάλλουν το pH σημαντικά.
Βαρέα μέταλλα	Επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Cd, Zn, Ni, Hg)	Κάποια από τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στο περιβάλλον και ασκούν τοξική δράση στα φυτά και στα ζώα. Η παρουσία τους σε ορισμένες συγκεντρώσεις μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.
Διαλυμένα ανόργανα	Ολικά διαλυμένα στερεά, ηλεκτρική αγωγιμότητα, επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Na, Ca, Mg, Cl, B)	Υπερβολική αλατότητα μπορεί να προξενήσει ζημιές σε κάποιες καλλιέργειες. Ορισμένα ιόντα, όπως το χλώριο, το νάτριο και το βόριο, δρουν τοξικά σε κάποια φυτά. Το νάτριο μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα δομής στο έδαφος.
Υπολειμματικό χλώριο	Ελεύθερο και δεσμευμένο χλώριο	Υπερβολική ποσότητα ελεύθερου χλωρίου (>0.05 mg/l Cl ₂) μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στα φύλλα και γενικά να προξενήσει ζημιές σε ορισμένες καλλιέργειες. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του χλωρίου σε ανακυκλωμένα απόβλητα βρίσκεται υπό μορφή ενώσεων, που γενικά δεν προκαλούν ζημιές στα φυτά. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων υδροφορέων με τις ιδιαίτερα τοξικές οργανοχλωριωμένες ενώσεις.

Πηγή: Pettygrove και Asamo (1985).

Τα επιδημιολογικά δεδομένα που αφορούν στις επιπτώσεις της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων στην ανθρώπινη υγεία, όταν αυτά χρησιμοποιούνται για άρδευση καλλιεργειών, δεν είναι αρκετά για να στηρίξουν με βεβαιότητα και ακρίβεια τα ποιοτικά όρια για την ασφαλή τους χρήση. Υπάρχουν ωστόσο ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρουν αύξηση περιστατικών συγκεκριμένων μολύνσεων που έχουν σχέση με την άρδευση καλλιεργειών με απόβλητα (Blum και Feachem 1985, Shuval et al. 1985, Strauss και Blumenthal 1989). Τα αστικά απόβλητα εκτός από την περίπτωση κατά την οποία είναι πλήρως επεξεργασμένα, περιέχουν μεγάλη ποικιλία παθογόνων οργανισμών και για το λόγο αυτό πρέπει η επεξεργασία, η μεταφορά και η χρησιμοποίησή τους να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

Περιορισμένος αριθμός χωρών και πολιτειών των Η.Π.Α. έχουν θεσπίσει κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης των αστικών αποβλήτων ανά χρήση. Αυτή τη δεκαετία με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων, παρατηρείται μια έντονη δραστηριότητα ανάπτυξης και θέσπισης τέτοιων κριτηρίων. Επίσης, σε άλλες χώρες

εκσυγχρονίζονται και αναπροσαρμόζονται οι ισχύοντες κανονισμοί. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή χρήση των αποβλήτων από τους Έλληνες αγρότες είναι η σύνταξη κριτηρίων μικροβιακής ποιότητας. Μέχρι τότε όμως μπορούν να υιοθετηθούν κριτήρια άλλων χωρών που επί σειρά ετών χρησιμοποιούν τα απόβλητα στην άρδευση των καλλιεργειών.

4.4 Λόγοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Ο κύριος όγκος των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στα ανθρώπινα εκκρίματα υπάρχουν και στα απόβλητα, με συνέπεια την πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών. Ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών στα αστικά υγρά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά. Ωστόσο, οι παθογόνοι οργανισμοί που ήταν υπεύθυνοι για τις επιδημίες του παρελθόντος είναι ακόμη παρόντες στα αστικά απόβλητα.

Επίσης το νερό μετά τη χρήση του – ιδίως για ύδρευση και βιομηχανία – έχει αλλοιωμένα και σημαντικά υποβαθμισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα ρυπάνσεως και ακαταλληλότητας του τελικού αποδέκτη (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι, έδαφος) για τις επιθυμητές χρήσεις.

Επομένως από την πλευρά της υδατικής οικονομίας, προκειμένου να προστατευθεί το υδατικό κεφάλαιο και παράλληλα η δημόσια υγεία και το περιβάλλον γενικότερα, είναι ανάγκη τα υγρά απόβλητα να υποβληθούν στην απαραίτητη επεξεργασία καθαρισμού, προτού φθάσουν στον τελικό αποδέκτη (Μακραντωνάτος, Π.Γ., 1990).

4.5 Κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)

Το 1989, κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των ισχυουσών οδηγιών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων διερευνήθηκαν από τον Π.Ο.Υ. με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας και άλλων διεθνών οργανισμών, οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση:

- Επεξεργασία των λυμάτων,
- Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών,
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης,
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.
- Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστο για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες, που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).
- Αποτελεσματικό μέτρο, είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.
- Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο μέτρο για την πρόληψη μετάδοσης των ασθενειών (W.H.O., 1989).

Στον Πίνακα 4.5.1 φαίνονται τα βιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, που συνιστώνται για άρδευση από τον W.H.O..

Πίνακας 4.5.1. Βιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, που συνιστώνται για άρδευση από τον W.H.O.^α.

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις ^β (αριθ. μέσος αρ. αυγών/L) ^γ	Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα.
A	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γήπεδα αθλοπαιδιών και πάρκων αναψυχής ^δ	Αγρότες Καταναλωτές Κοινό	≤1	≤1000	Μια σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης σχεδιασμένων για να πετυχαίνουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα ή ισοδύναμη μεταχείριση.
B	Άρδευση δημοτικών, βιομηχανικών φυτών, βοσκών και δένδρων ^ε	Αγρότες	≤1	Δεν συνιστάται κάποιο όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση έλμινθων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας B, όταν δε συμβαίνει έκθεση αγροτών και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

Πηγή: W.H.O. (1989).

^α Σε ειδικές περιπτώσεις τοπικοί επιδημιολόγοι, κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι οδηγίες να προσαρμόζονται κατάλληλα.

^β Είδη *Ascaris* και *Trichuris* και νηματοσκώληκες.

^γ Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

^δ Μία πιο αυστηρή οδηγία (<200 κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης ανά 100 mL) είναι κατάλληλη για κοινόχρηστες επιφάνειες πρασίνου, όπου το κοινό έρχεται σε άμεση επαφή με την αρδευόμενη επιφάνεια.

^c Στην περίπτωση των οπωροφόρων δέντρων, τα φρούτα των οποίων καταναλώνονται αμέσως μετά την κοπή, η τελευταία άρδευση πρέπει να γίνεται δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή και δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Άρδευση με καταιονισμό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται.

Όσον αφορά στα κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, για άρδευση καλλιεργειών, χωρίς περιορισμούς θεωρείται ότι η συγκέντρωση των 1000/100 ml είναι τεχνολογικά εφικτή. Επίσης, στις περιπτώσεις όπου η μόνη εκτιθέμενη ομάδα είναι οι καλλιεργητές δεν τίθεται όριο μικροβιακού φορτίου, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις για τον κίνδυνο που διατρέχουν αυτοί από τα βακτήρια. Ανεξάρτητα όμως από τη χρήση του νερού κάποια μείωση του βακτηριακού φορτίου είναι επιθυμητή. Η φυσική θανάτωση των παθογόνων εξαιτίας της δράσης της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, της αφυδάτωσης και των φυσικών τους καταστροφέων κατά την εφαρμογή των αποβλήτων στα φυτά και το έδαφος μπορεί να επιφέρουν επιπλέον μείωση του φορτίου παθογόνων κατά 90-99% μερικές ημέρες μετά την εφαρμογή του νερού.

Οι οδηγίες του Πίνακα 4.5.1 πρέπει να ερμηνεύονται και να τροποποιούνται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις όπου ευαίσθητες σε μολύνσεις ομάδες πληθυσμού έρχονται σε επαφή με απόβλητα. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις επιτρέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα. Έτσι, σε περιοχές όπου οι ελμινθικές μολύνσεις δεν είναι ενδημικές, η επιδίωξη απομάκρυνσής τους κατά 99% δεν είναι απαραίτητη. Επίσης, εδώδιμα προϊόντα όπως τομάτες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, φιστίκια που πρόκειται να ψηθούν πριν καταναλωθούν ή γήπεδα που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αρκετές εβδομάδες μετά την άρδυσή τους με απόβλητα μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν ανήκουν στην κατηγορία Β του Πίνακα 4.5.1..

Τα βιολογικά κριτήρια που έχουν θεσπιστεί από τις αρμόδιες Υγειονομικές αρχές των κρατών και των οργανισμών έλαβαν υπόψη τους μόνο την ανθρώπινη υγεία και όχι τα αγρονομικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το έδαφος και το φυτό ή την αισθητική του χώρου. Τα βακτηριακά κριτήρια για το αρδευτικό νερό είναι αμφιλεγόμενο θέμα. Έτσι, ενώ τα κριτήρια του W.H.O. για άρδευση χωρίς περιορισμούς είναι λιγότερα από 200/100 mL κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, άλλα κριτήρια σε διάφορα μέρη του κόσμου είναι πιο αυστηρά.

Επίσης, τα ιολογικά κριτήρια απασχολούν όλο και περισσότερο τη διεθνή κοινότητα, καθώς είναι γνωστά τα προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη μιας παγκόσμιας αποδεκτής μεθόδου προσδιορισμού των ιών, την ύπαρξη μεγάλου αριθμού ειδών ιών και την έλλειψη οργανισμού δείκτη για τους ιούς.

Κατά τη θέσπιση κριτηρίων για τη μικροβιακή ποιότητα των αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση καλλιεργειών γίνεται μια προσπάθεια συμβιβασμού του θεωρητικά επιθυμητού και ασφαλούς για τη δημόσια υγεία με εκείνο που είναι πρακτικά εφικτό. Όρια πολύ αυστηρά θα μπορούσαν να αποκλείσουν τη χρήση του νερού αυτού, με αποτέλεσμα την απώλεια μιας πολύτιμης πηγής νερού.

Δυνητικά υπάρχουν κάποιοι κίνδυνοι υγείας που συνδέονται με τη χρήση των αποβλήτων στην άρδευση. Στην πράξη όμως, οι κίνδυνοι ίσως δεν είναι τόσο σοβαροί, όσο δείχνουν οι επιδημιολογικές έρευνες. Αυτή η θέση δεν αναφέρεται βέβαια στις κραυγαλέες παραβιάσεις βασικών κανόνων υγείας, όπως η άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται νωπά με μη επεξεργασμένα ή ανεπαρκώς επεξεργασμένα αστικά απόβλητα (Bouwer and Idelovitch, 1987).

Ο Ali (1987) συνιστά δευτέρου βαθμού επεξεργασία (ή άλλη διαδικασία αντίστοιχου βαθμού επεξεργασίας) και χλωρίωση. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τρόπο ιδιαίτερα οικονομικό στις χώρες της Μεσογείου, όπου οι κλιματικές συνθήκες και η σχετικά μικρή αξία της γης ευνοούν τη δημιουργία δεξαμενών σταθεροποίησης, συστήματος που επιτυγχάνει υψηλά ποιοτικά κριτήρια και έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης (Pettygrove and Asano, 1985).

Εκτός από το μικροβιακό φορτίο, τίθενται και επιπρόσθετα κριτήρια σχετικά με την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για άρδευση, που έχουν να κάνουν με τη συγκέντρωση χημικών ουσιών και με έμφαση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Στον Πίνακα 4.5.2 φαίνονται τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία, σύμφωνα με την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US-EPA 1992), (FAO 1992).

Πίνακας 4.5.2. Ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για χρήση λυμάτων στη γεωργία κατά την US-EPA.

Χημικό στοιχείο		Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση (mg/l) (α)	
		Μακροχρόνια χρήση (β)	Βραχυχρόνια χρήση (γ)
Al	Αλουμίνιο	0,5	20,0
As	Αρσενικό	0,1	2,0
Be	Βηρύλλιο	0,1	0,5
Cd	Κάδμιο	0,01	0,05
Co	Κοβάλτιο	0,05	5,0
Cr	Χρώμιο	0,1	1,0
Cu	Χαλκός	0,2	5,0
F	Φθόριο	1,0	15,0
Fe	Σίδηρος	5,0	20,0
Li	Λίθιο	2,5	2,5
Mn	Μαγγάνιο	0,2	10,0
Mo	Μολυβδαίνιο	0,01	0,05
Ni	Νικέλιο	0,2	2,0
Pd	Μόλυβδος	5,0	10,0
Se	Σελήνιο	0,02	0,02
V	Βανάδιο	0,1	1,0
Zn	Ψευδάργυρος	2,0	10,0

Πηγή: US-EPA (1992).

(α) Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται σε ένα ρυθμό εφαρμογής νερού σύμφωνα με ορθολογικές πρακτικές άρδευσης (10.000 m³/h/yr). Εάν ο ρυθμός εφαρμογής νερού υπερβαίνει σημαντικά τα πιο πάνω, οι μέγιστες συγκεντρώσεις θα πρέπει να προσαρμοστούν προς τα κάτω ανάλογα. Για κατανάλωση νερού μικρότερη από 10.000 δεν γίνεται προσαρμογή των μέγιστων συγκεντρώσεων.

(β) Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις για μακροχρόνια χρήση έχουν τεθεί συντηρητικά για να συμπεριλαμβάνουν αμμώδη εδάφη τα οποία έχουν μικρή δυνατότητα στράγγισης των στοιχείων που εξετάζονται.

(γ) Τα κριτήρια για βραχυχρόνια χρήση (μέχρι 20 έτη) συνιστώνται για εδάφη με λεπτή δομή και ουδέτερο ή αλκαλικό χαρακτήρα και αυξημένη δυνατότητα απομάκρυνσης των διαφόρων ρυπογόνων στοιχείων.

Οι οδηγίες και τα όρια που τίθενται από τον Π.Ο.Υ., έχουν υποστεί κριτική από τις ανεπτυγμένες χώρες, αφού θεωρούνται αρκετά ελαστικά. Παρόλα αυτά, αποτελούν μια βάση εκκίνησης για τις υπό ανάπτυξη χώρες, όπου πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων απουσία σχετικών κριτηρίων ποιότητας. Πολλές από τις αναπτυγμένες χώρες έχουν θεσπίσει δικά τους κριτήρια, τα οποία κατά κανόνα είναι αυστηρότερα από αυτά του Π.Ο.Υ.. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο πρώτος κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία, εκδόθηκε το 1918 από την πολιτεία της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α.. Ο κανονισμός αυτός, αναθεωρήθηκε πολλές φορές μέχρι το 1978, και σήμερα αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης λυμάτων και σε άλλες πολιτείες των Η.Π.Α., αλλά και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου. Τα κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας συνοψίζονται στον Πίνακα 4.5.3..

Πίνακας 4.5.3. Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνιας για χρήση λυμάτων στη γεωργία.

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC) ανά 100mL ⁽⁵⁾	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων ⁽¹⁾	Δεν τίθεται όριο	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής ⁽²⁾ , πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λπ.	<23 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών ⁽³⁾ , τεχνητές λίμνες αναψυχής ^(2α)	<2,2 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής ^(2β)	<2,2 (διάμεση τιμή, με απόλυτο μέγιστο τα 23) ⁽⁶⁾	Οξείδωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση

(1) Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες τίθεται ως προϋπόθεση ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος.

(2) Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό.

(2^α) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

(2^β) Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

(3) Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους.

(4) Η θολερότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολερότητας κατά τη διάρκεια του 24ωρου.

- (5) Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων των 7 ημερών που αυτές πραγματοποιήθηκαν.
- (6) Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει σε περισσότερα του ενός δείγματα για οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.5.3, ο κανονισμός της πολιτείας της Καλιφόρνιας προβλέπει, ότι τα λύματα που θα χρησιμοποιηθούν για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση θα πρέπει να είναι ουσιαστικά απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή με απόλυτη μέγιστη τα 23 TC/100ml). Αν με την πρώτη ματιά φαίνεται, ότι τα όρια αυτά δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα όρια που τίθενται για την αμέσως προηγούμενη κατηγορία (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή), η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι σημαντικά βελτιωμένη, αφού το προτεινόμενο σχήμα επεξεργασίας λειτουργεί ως ασφαλιστική δικλείδα, αφ' ενός ελαχιστοποιώντας την περίπτωση αστοχίας και αφ' εταίρου διασφαλίζοντας την απομάκρυνση του συνόλου σχεδόν των ιών.

4.6 Το νομικό πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποσότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Μια γενική αναφορά στο θέμα γίνεται στην οδηγία 91/271 της Ε.Ε., όπου αναγράφεται ότι: «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο...». Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Andreadakis et al., 2003), έτσι θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι ισχύουν οι όχι και τόσο αυστηρές προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ.. Πιστεύετε, πάντως, ότι σύντομα θα καλυφθεί το νομοθετικό κενό είτε με κρατική, είτε με Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία (στην περίπτωση που η Ε.Ε. αποφασίσει να θεσπίσει ενιαία κριτήρια).

4.7 Μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων

Τα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία για να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι για το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες με σκοπό τη μείωση του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό χρήστη ή αποδέκτη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η βέλτιστη εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι αυτή που παράγει την επιθυμητή ποιότητα νερού, με λογικό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης.

Η μείωση του οργανικού φορτίου, το οποίο συχνά εκφράζεται με την τιμή της βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου (BOD), των αιωρούμενων στερεών (SS) και των παθογόνων μικροοργανισμών αποτελούν τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς ή να αποβληθούν σε υδάτινους αποδέκτες ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση ή μόλυνση του περιβάλλοντος. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η συμβατική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι αποτελεσματικές ως προς τη μείωση του οργανικού φορτίου και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, ενώ δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Αντίθετα, η παραμονή/επεξεργασία σε δεξαμενές σταθεροποίησης, όπου φύκια, βακτήρια και ηλιακό φως εξυγιαίνουν με φυσικό τρόπο τα υγρά απόβλητα, είναι περισσότερο αποτελεσματική ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, ενώ μειώνει δραστικά και το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά, εφόσον το σύστημα είναι σχεδιασμένο σωστά. Στη συνέχεια ακολουθεί μία περιγραφή των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων.

4.7.1 Συμβατική επεξεργασία

Η συμβατική επεξεργασία (conventional process) περιλαμβάνει φυσικές και βιολογικές διεργασίες με ταυτόχρονη προσθήκη ενέργειας και χημικών ουσιών, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών και του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Κατά κανόνα η επεξεργασία γίνεται σε επιλεγμένες τοποθεσίες κοντά στα αστικά κέντρα τα οποία εξυπηρετεί. Οι μονάδες επεξεργασίας αυτού του τύπου καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση σε σχέση με τον όγκο των υγρών αποβλήτων που επεξεργάζονται και μπορεί να περιλαμβάνουν το σύνολο ή ορισμένα από τα παρακάτω στάδια:

- α) προκαταρκτική επεξεργασία (preliminary treatment ή pretreatment)
- β) πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment)
- γ) δευτεροβάθμια επεξεργασία (secondary treatment)
- δ) τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (tertiary treatment)
- ε) απολύμανση (disinfection)
- ζ) αποθήκευση (effluent storage).

4.7.1.1. Προκαταρκτική επεξεργασία (Preliminary treatment)

Η πρωταρχική διαδικασία έχει ως σκοπό να απομακρύνει διάφορα μεγάλα, σκληρά υλικά όπως σκουπίδια, παιχνίδια και ξύλα που συνήθως βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και που αν δεν αφαιρεθούν ενδεχομένως να προκαλέσουν βλάβες στον υπόλοιπο εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές σχάρες (Εικόνα 4.7.1.1.1) που συγκρατούν τα μεγάλα αντικείμενα, τεμαχιστές οι οποίοι τεμαχίζουν στερεά που διέφυγαν των εσχάρων και κανάλια ροής στα οποία καθιζάνουν τα βαρύτερα υλικά όπως χαλίκια, πέτρες και άμμος. Οι εσχάρες είναι διατάξεις με παράλληλες μπάρες και διακρίνονται ανάλογα με το διάκενο που έχουν σε λεπτές (3-10mm), μεσαίες (10-25mm) και χονδρές (50-100mm).



Εικόνα 4.7.1.1.1. Σχάρες συγκράτησης στερεών αντικειμένων (Ράμμος Ι., 2006).

4.7.1.2 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 'καθίζησης (Εικόνα 4.7.1.2.1) 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 4.7.1.2.2). 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 4.7.1.2.3), 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 απομακρύνονται περίπου το 50-70% των αιωρούμενων συστατικών αλλά και το 65% των ελαίων και λιπών. Επίσης, η μείωση του οργανικού φορτίου το οποίο εκφράζεται με την τιμή της βιοχημικής απαίτησης σε οξυγόνο (B.O.D) κυμαίνεται σε ποσοστό 25-40%. Τα επεξεργασμένα απόβλητα περιέχουν όμως ακόμα βακτήρια, ιούς και κολλοειδή.



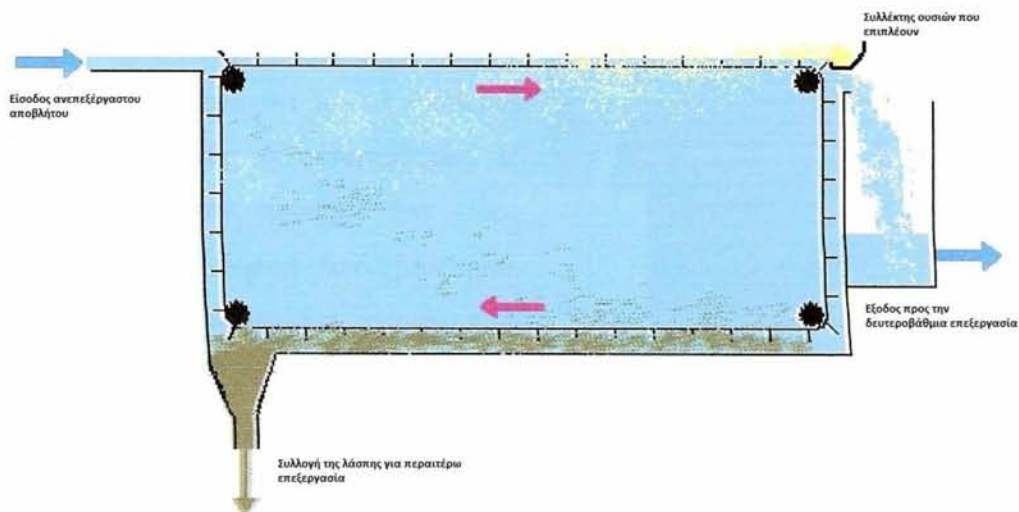
Εικόνα 4.7.1.2.1. Δεξαμενές καθιζήσεως
(Ράμμος Ι., 2006)



Εικόνα 4.7.1.2.2. Μηχανισμός αφαίρεσης των
ουσιών που επιπλέουν (Ράμμος Ι., 2006).



Εικόνα 4.7.1.2.3. Υπερχείλιση του καθαρού υγρού για περαιτέρω επεξεργασία (Ράμμος Ι., 2006).



Εικόνα 4.7.1.2.4. Σχηματική απεικόνιση της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (Ράμμος Ι., 2006).

4.7.1.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία (Secondary treatment)

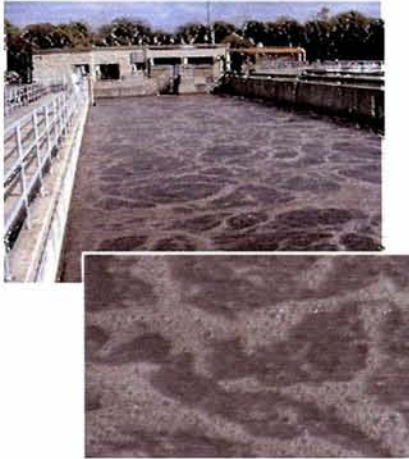
Η δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι μια βιολογική διαδικασία η οποία έπεται της πρωτοβάθμιας και έχει ως στόχο την περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αερόβιων μικροοργανισμών που έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν την οργανική ουσία και να την χρησιμοποιούν 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 ύλη (activated sludge system). Αυτός ο τύπος συστήματος αποτελείται από δύο μέρη, μια δεξαμενή αερισμού (Εικόνα 4.7.1.3.1) 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.

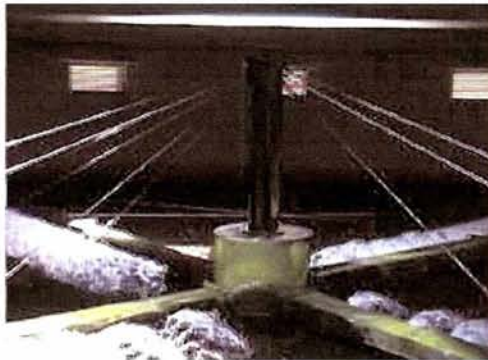
Τέλος υπάρχει και το σύστημα με τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες (Εικόνα 4.7.1.3.3) γνωστό ως RBC (Rotating Biological Contactors). Το εν λόγω σύστημα χρησιμοποιεί επιφάνειες, πάνω στις οποίες έχουν αναπτυχθεί οι μικροοργανισμοί, στερεωμένες πάνω σε έναν ειδικό μηχανισμό που έχει την δυνατότητα 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.



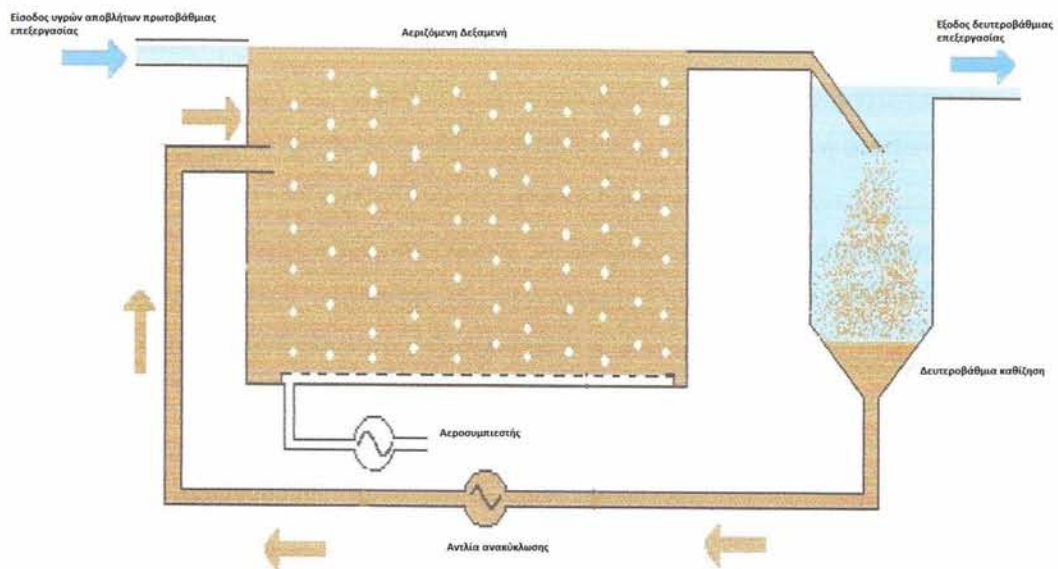
Εικόνα 4.7.1.3.1. Δεξαμενή αερισμού (Ράμμος Ι., 2006).



Εικόνα 4.7.1.3.2. Σταλάζοντα φίλτρα (Ράμμος Ι., 2006).



Εικόνα 4.7.1.3.3. Περιστεροφόμενες βιολογικές επιφάνειες (Ράμμος Ι., 2006).



Εικόνα 4.7.1.3.4. Σχηματική απεικόνιση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με ενεργό ύλο (Ράμμος Ι., 2006).

4.7.1.4 Τριτοβάθμια επεξεργασία (Tertiary 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 άζωτο, φώσφορο και άλλων ουσιών για τα οποία δεν κατέστη δυνατή η απομάκρυνση τους με κάποια από τις διαδικασίες που προηγήθηκαν.

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.

4.7.1.5 Απολύμανση

Η απολύμανση είναι η τελική διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Εικόνα 4.7.1.5.1). 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 4.7.1.5.1. Δεξαμενές απολύμανσης (Ράμμος Ι., 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. 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 αποτελεσματικότητά 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 λοιμογόνοι. 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.

4.7.1.6 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 Ι., 2006).

4.8. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

Γενικά, η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων, αποτελούν την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σε σχετικά υγρές περιοχές, η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων, με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη και αύξηση της παραγωγής των διαφόρων καλλιεργειών. Επίσης, η άρδευση εφαρμόζεται με σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση διαφόρων κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, όπως είναι τα πάρκα και τα γήπεδα γκολφ. Η άρδευση τέτοιων εκτάσεων με προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα, αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για τον αστικό σχεδιασμό (Αγγελάκης Α.Ν., 1994).

Η άρδευση των μη βρώσιμων καλλιεργειών, είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, διότι:

- αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών
- επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων (Πανώρας και Ηλίας, 1999) και
- αποτελούν έναν επιπλέον υδατικό πόρο, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα ανεπαρκείς.

Έρευνα και πειράματα άρδευσης με απόβλητα σε γκαζόν έχουν γίνει στην Αυστραλία (Menzel and Broomshall, 2001) και την Τυνησία (Bahή et al, 2002). Στην Ελλάδα διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης των υγρών αποβλήτων της Λάρισας για άρδευση καλαμποκιού και βαμβακιού (Βακάλης Π.Σ. και Τσαντήλας Χ.Δ., 2002) και των υγρών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης για άρδευση βαμβακιού (Panoras et al, 2001α), καλαμποκιού (Panoras et al, 2001 β), θερμοκηπιακών καλλιεργειών τομάτας, και πιπεριάς, καθώς και του ανθοκομικού είδους ζέρμπερα (Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999 & Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. κ.ά., 2003)

Πίνακας 4.8.1. Χρήσεις προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία και δυνατοί περιορισμοί.

	Χρήσεις	Περιορισμοί
1	Άρδευση γεωργικών εκτάσεων α) Αροτριάες καλλιέργειες β) Δενδροκομικές και Λαχανοκομικές	- Ποιότητα νερού (κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και φυτά). - Προστασίας δημόσιας υγείας (κυρίως σε σχέση με παθογόνα, όπως παράσιτα, βακτήρια και ιοί).
2	Άρδευση κοινοχρήστων - αναψυχής χώρων α) πάρκα β) σχολικοί χώροι γ) εθνικοί δρόμοι δ) ιππόδρομοι ε) νεκροταφεία στ) ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι	- Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν υφίσταται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης. - Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγομένων προϊόντων.

ζ) περιφερειακές ζώνες πρασίνου	
---------------------------------	--

Πηγή: Asano (1991) και Αγγελάκης Α.Ν. (1994).

Το ερώτημα το οποίο τίθεται είναι «αν μπορούν και με ποιες προϋποθέσεις» να χρησιμοποιηθούν για άρδευση τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα ενός οικισμού. Για να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα πρέπει να γίνει αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών, χημικών ή βιολογικών, των αποβλήτων. Με βάση τις πληροφορίες αυτές θα προταθεί ο σωστός τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων, οι κατάλληλες καλλιέργειες και άλλα πιθανά μέτρα που θα συμβάλλουν στην αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στο σύστημα: έδαφος-φυτό-αρδευτικό σύστημα-αγρότης-κοινό.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις που είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση των αστικών αποβλήτων δίνονται στον Πίνακα 4.8.2.. Στον ίδιο Πίνακα δίνεται το σύνθητες εύρος ορισμένων παραμέτρων στα νερά άρδευσης και κάποιες ενδεικτικές τιμές των ιδίων παραμέτρων για τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της μονάδας βιολογικού καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (Μ.Β.Κ.Θ.). Τα επεξεργασμένα απόβλητα της Μ.Β.Κ.Θ. χλωριώνονται στην έξοδό τους από την εγκατάσταση επεξεργασίας και είναι απαλλαγμένα, σε σημαντικό βαθμό, από παθογενείς οργανισμούς. Σε ότι αφορά τις βιολογικές παραμέτρους, έγινε αναφορά σε προηγούμενη ενότητα. Πολλές φορές, εκτός από τις αναλύσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 8 απαιτούνται και συμπληρωματικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν επιπλέον πληροφορίες για το άζωτο, το υπολειμματικό χλώριο και τα ιχνοστοιχεία, για την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση (Pettygrove and Asano, 1985). Η ανάλυση για τα θρεπτικά στοιχεία συνιστάται να γίνεται τουλάχιστον σε ετήσια βάση.

Πίνακας 4.8.2. Εργαστηριακές αναλύσεις για την εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών.

Παράμετρος του νερού	Σύμβολο	Μονάδες	Συνήθεις τιμές στο αρδευτικό	Ενδεικτικές τιμές στο νερό της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (1997)
<u>Φυσικές Ιδιότητες</u>				
<u>Περιεχόμενα άλατα</u>				
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	EC _w		0-3	1,7
Ολικά διαλυμένα στερεά	T.D.S.	mg/l	0-2000	
Θερμοκρασία	T			
Χρώμα-Θολότητα				
Σκληρότητα				
Ιζήματα				

<u>Χημικές Ιδιότητες</u>				
<u>Κατιόντα και ανιόντα</u>				
Ασβέστιο	Ca ⁺⁺	mg/l	0-400	96,0
Μαγνήσιο	Mg ⁺⁺	mg/l	0-60	32,4
Νάτριο	Na ⁺	mg/l	0-900	186,3
Ανθρακικά	CO ₃ ⁻	mg/l	0-3	0,0
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	mg/l	0-600	622,2
Χλωριούχα	Cl ⁻	mg/l	0-1100	278,0
Θειικά	SO ₄ ⁻	mg/l	0-1000	
<u>Διάφορα</u>				
Βόριο	B	mg/l	0-2	
Οξύτητα/Αλκαλικότητα			6,5-8,5	7,98
% προσρόφησης Na	SAR	(me/ L) ^{1/2}	0-15	4,2
Ιχνοστοιχεία		mg/l		
Βαρέα μέταλλα		mg/l		
Κάδμιο	Cd	mg/l		<0,01
Χαλκός	Cu	mg/l		<0,03
Σίδηρος	Fe	mg/l		0,16
Μόλυβδος	Pb	mg/l		<0,01
Μαγγάνιο	Mn	mg/l		<0,05
Νικέλιο	Ni	mg/l		<0,02
Ψευδάργυρος	Zn	mg/l		0,11
<u>Θρεπτικά</u>				
Νιτρικό N	NO ₃ -N	mg/l	0-10	1,96
Αμμωνιακό N	NH ₄ -N	mg/l		31,5
Φωσφορικός P	PO ₄ -P	mg/l	0-2	3,52
Κάλιο	K	mg/l	0-2	19,5

Πηγή: Ayers and Westcot (1985), Kandiah (1990a)

^a dS/m = deciSiemen/m = mmho/cm

^b NTU/JTU = Nephelometric Turbidity Units / Jackson Turbidity Units

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για την άρδευση των καλλιεργειών, συνιστάται η χρήση της ποιοτικής κατάταξης, των Ayers and Westcot (1985), η οποία είναι η πλέον περιεκτική και πρόσφατη. Οι Ayers and Westcot (1985) κατέταξαν το νερό άρδευσης

σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα προβλήματα που είναι δυνατό να προκύψουν όπως, αλάτωση του εδάφους, μείωση διηθητικότητας του εδάφους, τοξικές επιδράσεις στα φυτά και διάφοροι άλλοι κίνδυνοι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.8.3..

Πίνακας 4.8.3. Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού.

Ενδεχόμενο	Μονάδες	Βαθμός περιορισμού στη χρήση		
		Κανένας	Μικρός έως μέτριος	Μεγάλος
<u>Αλατότητα</u> (Επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού στα φυτά)				
EC _w , 25°C	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
T.D.S.	Mg/L	<450	450-2000	>2000
<u>Διηθητικότητα</u> (Επηρεάζει το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος. Εκτιμάται από τον συνδυασμό των SAR και EC _w) ^a				
SAR = 0-3 και EC _w		>0,7	0,7-0,2	<0,2
3-6				<0,3
6-12				<0,5
12-20				<1,3
20-40				<2,9
<u>Τοξικότητα ιόντων</u> (Επηρεάζει τις αποδόσεις των ευαίσθητων φυτών)				
Νάτριο (Na)^{b,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	8All ή adj. SAR	<3	3-9	>9
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
		<69	>69	
Χλώριο (Cl)^{b,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	mg/L	<142	142-355	>355
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<106	>106	
Βόριο (B)	mg/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
<u>Διάφορες επιδράσεις</u> (Αφορούν κυρίως ευπαθή φυτά)				

Άζωτο (Ολικό-N)^δ	mg/L	<5	5-30	>30
Όξινα ανθρακικά (HCO₃) (Μόνο για τον καταιονισμό)	me/L	<1,5	1,5-8,	>8,5
	mg/L	<90	590-520	>520
Υπολειμματικό χλώριο	mg/L	<1	1-5	>5
pH	Σύνηθες εύρος 6,5-8,5			

Πηγή: U.C.C.C. (1974), Ayers (1977), Ayers and Westcot (1985), Pettygrove and Asano (1985), Pescod (1992).

^a Για τα απόβλητα συνιστάται η χρήση του adj. SAR αντί του SAR, για να επιτυγχάνεται μία πιο σωστή εκτίμηση του ασβεστίου του εδαφικού νερού μετά την άρδευση.

^β Οι περισσότερες δενδρώδεις καλλιέργειες και τα ξυλώδη διακοσμητικά φυτά είναι ευαίσθητα στο νάτριο και το χλώριο. Οι περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες δεν είναι ευαίσθητες.

^γ Όταν η άρδευση γίνεται με καταιονισμό σε χαμηλή σχετική υγρασία (<30%) και οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου είναι μεγαλύτερες από 70 και 100mg/L αντίστοιχα προκαλείται μεγάλη απορρόφηση αυτών από τα φύλλα των φυτών, με αποτέλεσμα τα ευαίσθητα φυτά να υφίστανται σημαντικές βλάβες.

^δ Στο ολικό άζωτο πρέπει να συμπεριλαμβάνεται το νιτρικό, το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο. Παρόλο που οι μορφές του αζώτου στα απόβλητα ποικίλουν, τα φυτά ανταποκρίνονται στο ολικό Z.

4.9 Συνέπειες της άρδευσης με υγρά αστικά απόβλητα

4.9.1 Αλκαλίωση του εδάφους

Η επίδραση του νατρίου στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους (διηθητικότητα και υδραυλική αγωγιμότητα) και στις καλλιέργειες είναι σημαντική. Όταν το ποσοστό του ανταλλαξιμού νατρίου (ESP) υπερβεί το 15% της CEC του εδάφους τότε το έδαφος θεωρείται αλκαλιωμένο. Η περιεκτικότητα σε νάτριο της ανταλλάξιμης φάσης εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής περιεκτικότητας των κατιόντων, με ESP (exchangeable sodium percentage).

Το ESP υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ESP = \frac{\text{ανταλλφξιμο νφτριο} \left(\frac{\text{meq}}{100\text{g}} \text{ εδφφους} \right)}{CEC \left(\frac{\text{meq}}{100\text{g}} \text{ εδφφους} \right)} \times 100$$

Η CEC είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (Cation Exchange Capacity). Η CEC εκφράζεται σε μονάδες cmol_c· kg⁻¹ εδάφους ή σε meq/100g εδάφους (1 cmol_c· kg⁻¹ = 1 meq/100g εδάφους).

Οι τιμές της CEC του εδάφους κυμαίνονται από 2cmol_c· kg⁻¹ μέχρι

$60\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ και εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, από τον τύπο των ορυκτών της αργίλου και την περιεκτικότητα της αργίλου σε ορυκτά και από την περιεκτικότητα του εδάφους σε χούμο (Μήτσιος, Ι., 1999).

Πίνακας 4.9.1.1. Τιμές CEC σε καλλιεργούμενα εδάφη.

Τύπος εδάφους	CEC ($\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$)
Αμμώδες	2-4
Αμμοπηλώδες	7-12
Πηλώδες	7-16
Ίλυοπηλώδες	9-26
Αργιλώδες και Αργιλοπηλώδες	4-60

Πηγή: Μήτσιος, Ι. (1999)

Σε υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου σωματίδια αργίλου διασπείρονται στο έδαφος δημιουργώντας χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα, πτωχό αερισμό του εδάφους και γενικά υποβάθμιση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους (σχηματισμός κρούστας με αποτέλεσμα τη μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα). Το αποτέλεσμα είναι να μην είναι δυνατή η συγκράτηση των απαραίτητων αρδευτικών νερών και έτσι η άρδευση δεν είναι αποτελεσματική.

Στην περίπτωση αλκαλιωμένων εδαφών μπορεί να γίνει η εκσκαφή και αντικατάσταση του υποβαθμισμένου στρώματος εδάφους. Παράλληλα, μπορεί να γίνει προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος (το οποίο αντικαθιστά το νάτριο) και στη συνέχεια έκπλυση του εδάφους για να παρασυρθεί και να απομακρυνθεί το αφαιρούμενο νάτριο.

Τα τοξικά συμπτώματα του νατρίου στα φυτά δεν είναι τόσο εύκολο να τύχουν διάγνωσης. Τα τοξικά συμπτώματα από το νάτριο οφείλονται στη μεγάλη συγκέντρωση του νατρίου στο νερό άρδευσης (μεγάλη συγκέντρωση νατρίου ή μεγάλο SAR).

Στον Πίνακα 4.9.1.2 παρουσιάζεται η αντοχή των διαφόρων φυτών στο ανταλλάξιμο νάτριο. Από τα στοιχεία του Πίνακα 11 προκύπτει ότι τα πλέον ευαίσθητα φυτά στο νάτριο είναι η αμυγδαλιά, η φασολιά, το τριφύλλι, κ.ά.. Τοξικά συμπτώματα νατρίου εμφανίζονται στα φύλλα των φυτών, όταν η συγκέντρωση του νατρίου ανέρχεται σε 0,25-0,5% της ξηρής ουσίας των φύλλων.

Επίσης, από τον Πίνακα 4.9.1.2 βλέπουμε ότι ο ηλίανθος παρουσιάζει ανθεκτικότητα στα νατριωμένα εδάφη.

Πίνακας 4.9.1.2 Αντοχή ορισμένων καλλιεργειών σε συνθήκες αλατότητας με κριτήριο την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Ευαίσθητες (0-4 dS/m)	Μέτρια ανθεκτικές (4-6 dS/m)	Ανθεκτικές (6-8 dS/m)	Πολύ ανθεκτικές (8-12 dS/m)
Αμυγδαλιά	Καλαμπόκι	Συκιά	Κριθάρι
Φασολιά	Σόργο	Βρώμη	Βαμβάκι
Τριφύλλι	Μαρούλι	Ροδιά	Ελιά
Κρεμμύδι	Σόγια	Ηλιανθος	Ρύζι
Πατάτα	Τομάτα	Σιτάρι	Αγρόπυρο

Πηγή: Brady, N.C. (2002).

4.9.2 Αλάτωση του εδάφους

Όταν γίνεται συνεχής άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα που έχουν μεγάλη αλατότητα το έδαφος καθίσταται ολοένα και περισσότερο αλκαλικό, τα ανθρακικά άλατα δεσμεύονται στο έδαφος και δεν είναι πλέον διαθέσιμα στα φυτά. Το έδαφος αλατώνεται και συμπυκνώνεται με αποτέλεσμα να έχει χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα και πτωχό αερισμό.

Παράλληλα, όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα των νερών του εδάφους τόσο μεγαλύτερη ποσότητα από τη διαθέσιμη ενέργεια τους αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν τα φυτά για να ρυθμίσουν τη συγκέντρωση των αλάτων που περιέχουν τα κύτταρα τους (οσμωτική ρύθμιση). Το αποτέλεσμα είναι να μένει ολοένα και μικρότερη διαθέσιμη ενέργεια για την ανάπτυξη των φυτών, που οδηγεί φυσικά σε μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών.

Η αλατότητα των νερών του εδάφους εξαρτάται έντονα από τις απώλειες νερού εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή εξαιτίας της εξάτμισης από τις επιφάνειες του εδάφους και των φυτών καθώς και από την αναπνοή των φυτών. Η εξατμισοδιαπνοή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές με κλιματικές συνθήκες που συνδυάζουν υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές υγρασίες. Όσο μεγαλύτερη είναι η εξατμισοδιαπνοή, τόσο μεγαλύτερες ποσότητες αλάτων συσσωρεύονται κοντά στις ρίζες των φυτών και αντίστοιχα τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος αλάτωσης του εδάφους.

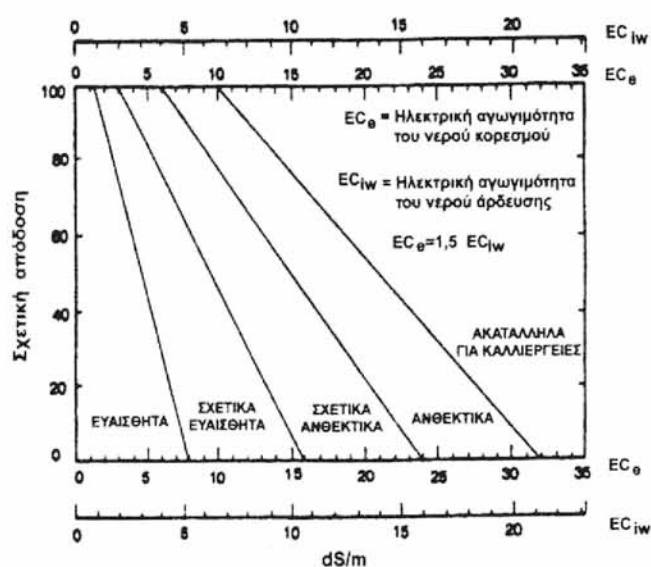
Η αλάτωση των εδαφών δεν αποτελεί συνήθως σημαντικό πρόβλημα και αντιμετωπίζεται με την καλή αποστράγγιση των εδαφών, ώστε το αρδευτικό νερό να διέρχεται από την περιοχή των ριζών των φυτών, χωρίς όμως να συσσωρεύεται σε αυτή. Παράλληλα, μπορεί να γίνεται και προσθήκη γύψου ή και θείου στο έδαφος για τη μείωση του pH.

Σημειώνεται ότι στην αλατότητα των νερών του εδάφους είναι δυνατόν να συνεισφέρουν και τα υπόγεια νερά (Στάμου, Α., 1995).

Πίνακας 4.9.2.1. Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών.

Ανθεκτικά
<u>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας:</u> κριθάρι, βαμβάκι, ζαχαρότευτλα
<u>Λαχανικά:</u> σπαράγγι
<u>Οπωροφόρα:</u> φοίνικας
Σχετικά ανθεκτικά
<u>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας:</u> κτηνοτροφικά μιζέλια, βρώμη, σίκαλη, σαφράνα, σόργο, σόγια, σιτάρι
<u>Χορτοδοτικά:</u> αγρόπυρο, σιτάρι, φάλαρη, λόλιο το πολυετές, σόργο
<u>Λαχανικά:</u> αγκινάρα, κοκκινογούλια, κολοκυθάκι
<u>Οπωροφόρα:</u> συκιά, ελιά, ανανάς, ροδιά
Σχετικά ευαίσθητα
<u>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας:</u> φακή, ρετινολαδιά, καλαμπόκι, λινάρι, ρύζι, κεχρί, ηλιανθος
<u>Χορτοδοτικά:</u> μηδική, ασπροτρίφυλλο, αγριοτρίφυλλο, τριφύλλι το λειμώνιο, τριφύλλι το χαμοκέρασο, σίκαλη, καλαμπόκι, βρώμη
<u>Λαχανικά:</u> μπρόκολο, λάχανο, κουνουπίδι, σέλινο, αγγούρι, μελιτζάνα, μαρούλι, πεπόνι, πιπεριά, πατάτα, ρεπάνι, σπανάκι, κολοκύθι, γλυκοπατάτα, γογγύλι, καρπούζι, τομάτα
<u>Οπωροφόρα:</u> αμπέλι
Ευαίσθητα
<u>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας:</u> φασόλι, σουσάμι
<u>Λαχανικά:</u> καρότο, μπάμια, κρεμμύδι
<u>Οπωροφόρα:</u> αμυγδαλιά, μηλιά, βερικοκιά, αβοκάντο, ροδακινιά, αχλαδιά, φράουλα, κερασιά, μανταρινιά, μάνγκο, λεμονιά, δαμασκηινιά, μουσμουλιά, γλυκολεμονιά, πορτοκαλιά

Πηγή: Maas, V. (1985).



Σχήμα 1. Σχετική αντοχή στην αλατότητα των καλλιεργούμενων φυτών (Maas, V., 1985)

4.9.3 Διηθητικότητα του εδάφους

Είναι γνωστό ότι πολλά καλλιεργούμενα εδάφη τα οποία δέχονται πολλές αρδεύσεις παρουσιάζουν μειωμένη διηθητικότητα με αποτέλεσμα μεγάλη επιφανειακή απορροή.

Το παραπάνω φαινόμενο παρατηρείται όταν το αρδευτικό νερό περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων νατρίου. Το νερό της άρδευσης, εκτός από τα φυτά, μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς και την εδαφική δομή με αποτέλεσμα να δημιουργείται εδαφική κρούστα η οποία αφ' ενός μεν δυσκολεύει το φύτεμα των σπόρων και τη διείσδυση του νερού στο έδαφος, αφ' ετέρου δε ευνοεί την έλλειψη επαρκούς αερισμού και το λίμνασμα νερού στον αγρό. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών (Μισοπολινός, Δ., 1985).

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. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR.

Η αλατότητα του νερού εκφράζεται συνήθως: με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του (EC_{iw}) που τη μετράμε σε μονάδες decisiemens ανά m (dSm^{-1}) στους $25^{\circ}C$ ή σε millisiemens ανά cm ($mScm^{-1}$) στους $25^{\circ}C$.

Το SAR (Sodium Absorption Ratio) εκφράζει τη δυνατότητα του νερού να εφοδιάζει το έδαφος με ιόντα νατρίου. Έτσι με αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται η διηθητικότητα του εδάφους. Οι συγκεντρώσεις των ανθρακικών ιόντων, όξινων ανθρακικών ιόντων των ιόντων του ασβεστίου και των ιόντων του μαγνησίου εκφράζονται σε $me\ l^{-1}$. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ευρύτερα, αλλά χρησιμοποιείται και σήμερα για την πρόβλεψη των προβλημάτων σχετικών με τη διηθητικότητα είναι η μέθοδος του SAR με τη γνωστή εξίσωση:

$$SAR = \frac{[(Na^{+})]}{\sqrt{\frac{[(Ca^{2+})] + [(Mg^{2+})]}{2}}}}$$

Για δεδομένο SAR, η διηθητικότητα κυμαίνεται ανάλογα με την αλατότητα του νερού άρδευσης. Για το λόγο αυτό το SAR και η EC_w πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας όπως φαίνεται στο Πίνακα 4.9.3.1.

Πίνακας 4.9.3.1. Επίπεδα SAR και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC_{iw} \times 10$) του νερού άρδευσης που επηρεάζουν την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος.

Μείωση της διηθητικότητας			
SAR	Ασήμαντη	Μικρή μέχρι Μέση	Μεγάλη
$EC_{iw}, mScm^{-1}$			
0-3	>0,7	0, 7-0, 2	<0,2
3-6	>1,2	1, 2-0, 3	<0,3
6-12	>1,9	1, 9-0, 5	<0,5
12-20	>2,9	2, 9-1, 3	<1,3
20-40	>5,0	5, 0-2, 9	<2,9

Πηγή: Oster, D., Shroer, W. (1979).

Κατά κανόνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν πολλά άλατα και άφθονο ασβέστιο, οπότε δεν αναμένεται διάλυση και έκπλυση του ασβεστίου του επιφανειακού εδάφους. Εφόσον όμως τα νερά αυτά είναι πλούσια και σε νάτριο, η πιθανή υψηλή τιμή του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων (Sakellariou-Makrandonaki, M., 1997).

4.9.4 Τοξικότητα βόριου (B)

Το βόριο βρίσκεται στα απόβλητα με τη μορφή του βορικού οξέος. Προέρχεται συνήθως από απορρυπαντικά ή και από βιομηχανικά απόβλητα. Δεν επηρεάζεται σημαντικά από την επεξεργασία των αποβλήτων. Αποτελεί απαραίτητο συστατικό των φυτών σε μικρές συγκεντρώσεις, αλλά μπορεί να είναι τοξικό σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις. Δεν κατακρατείται στο έδαφος και έτσι αν δεν προσληφθεί από τα φυτά καταλήγει στα υπόγεια νερά. Μπορεί να προκαλέσει κιτρίνισμα, κυάνισμα, κοκκίνισμα και πρόωρη πτώση των φύλλων, καθώς και μειωμένη ανάπτυξη των φυτών. Είναι ιδιαίτερα τοξικό σε ορισμένες καλλιέργειες, όπως αχλαδιές, μηλιές, αμπέλια, κερασιές, ροδακινιές, βερικοκιές, πορτοκαλιές και λεμονιές, σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1mg/l. Σε άλλες καλλιέργειες, όπως ο ηλιάνθος, οι πατάτες, το βαμβάκι, οι ντομάτες, οι ελιές, το κριθάρι, το καλαμπόκι και η βρώμη, δεν είναι τόσο τοξικό με ανώτατη αποδεκτή τιμή τα 2mg/l. Υπάρχουν και καλλιέργειες ανθεκτικές στο βόριο, όπως τα αρμυρίκια, τα σπαράγγια, τα τεύτλα, η μηδική, τα κρεμμύδια, τα λάχανα, τα μαρούλια και τα καρότα, τα οποία μπορεί να αρδευτούν με συγκεντρώσεις βόριου μέχρι 3mg/l. Οι συγκεντρώσεις του βόριου στα επεξεργασμένα απόβλητα κυμαίνονται από 0,1 μέχρι 2,5mg/l (μέση τιμή =0,7mg/l). Κατά συνέπεια μπορεί να υπερβαίνουν το απαιτούμενο όριο των 1-2mg/l για τις σχετικά ευαίσθητες καλλιέργειες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Στις περιπτώσεις που αναμένεται υπέρβαση συνιστάται να ελέγχεται τακτικά η συγκέντρωση του βόριου στα επεξεργασμένα απόβλητα.

Πίνακας 4.9.4.1. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο (B).

Αγροτικές καλλιέργειες	
Πολύ ευαίσθητες (<0,5mg/l)	Μετρίως ευαίσθητες (1,0-2,0mg/l)
Λεμονιά (<i>Citrus limon</i>)	Πιπεριά κόκκινη (<i>Capsicum annum</i>)
Βατόμουρο (<i>Rubus spp.</i>)	Μπιζέλι (<i>Pisum sativa</i>)
Ευαίσθητες (0,5-0,75mg/l)	Καρότο (<i>Dacus carota</i>)
Αβοκάντο (<i>Persea americana</i>)	Ραπανάκι (<i>Raphanus sativus</i>)
Γκρέιπφρουτ (<i>Citrus Xparadisi</i>)	Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)
Βερικοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	Μετρίως ανθεκτικές (2,0-4,0mg/l)
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)
Κερασιά (<i>Prunus avium</i>)	Μάπα (<i>Brassica oleracea capitata</i>)
Δαμασκηινιά (<i>Prunus domestica</i>)	Σέλινο (<i>Apium graveolens</i>)
Δόσπυρος (<i>Diospyros kaki</i>)	Γογγύλι (<i>Brassica rapa</i>)
Συκιά (<i>Ficus carica</i>)	Γρασίδι Κεντάκι (<i>Poa pratensis</i>)
Αμπέλι (<i>Vitis vinifera</i>)	Βρώμη (<i>Avena sativa</i>)
Καρυδιά (<i>Juglans regia</i>)	Καλαμπόκι (<i>Zea mays</i>)
Ελαιοκάρυο (<i>Carya illinoensis</i>)	Αγκινάρα (<i>Cynara scolymus</i>)
Βίγκνα (<i>Vigna unguiculata</i>)	Καπνός (<i>Nicotiana tabacum</i>)
Κρεμμύδι (<i>Allium cepa</i>)	Σινάπι (<i>Brassica juncea</i>)
Ευαίσθητα (0,75-1,0mg/l)	Μελίλωτος (<i>Melilotus indica</i>)
Σκόρδο (<i>Allium sativum</i>)	Κολοκυθάκια (<i>Cucurbita pepo</i>)
Γλυκοπατάτα (<i>Ipomoea batatas</i>)	Αρωματικό πεπόνι (<i>Cucumis melo</i>)
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i>)	Ανθεκτικές (4,0-6,0mg/l)
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)
Ηλιανθος (<i>Helianthus annuus</i>)	Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>)
Φασολιά (<i>Vigna radiata</i>)	Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)
Σουσάμι (<i>Sesamum indicum</i>)	Βίκος (<i>Vicia benghalensis</i>)
Λούπινο (<i>Lupinus hartwegii</i>)	Μαϊντανός (<i>Petroselinum crispum</i>)
Φραουλιά (<i>Fragaria spp.</i>)	Κοκκινογούλια (<i>Beta vulgaris</i>)
Αγκινάρα Jerusalem (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)
Φασολιά (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Πολύ ανθεκτικές (6,0-15,0mg/l)
Φασολιά (<i>Phaseolus lunatus</i>)	Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Αράπικο φυστίκι (<i>Arachis hypogaea</i>)	Σπαράγγι (<i>Asparagus officinalis</i>)

Πηγή: Maas, V. (1984).

4.9.5 Τοξικότητα χλωρίου (Cl)

Τα ιόντα χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη και βλάβες στα φύλλα δέντρων (όπως π.χ. λεμονιές και ακτινιδιές) και λιγότερο σημαντικά σε καλλιέργειες λαχανικών, σπόρων δημητριακών, χοντροειδών ζωοτροφών και φυτικών ινών. Για επιφανειακή άρδευση

δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων μικρότερες από 140mg/l, μικρό πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων 140-350mg/l και σημαντικό πρόβλημα για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 350 mg/l. Για άρδευση με καταιονισμό δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για συγκεντρώσεις χλωρίου μικρότερες από 100mg/l (Στάμου, Α., 1995).

Πίνακας 4.9.5.1. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο χλώριο (Cl).

Καλλιέργεια	Όριο συγκέντρωσης Cl (mol/m ³ νερού)	Μείωση απόδοσης (%) ανά mol/m ³ Cl
Φράουλα	10	3,3
Φασόλι	10	1,9
Κρεμμύδι	10	1,6
Καρότο	10	1,4
Μαρούλι	10	1,3
Γογγύλι	10	0,9
Ραπανάκι	10	1,3
Ρύζι (paddy) (a)	30 (b)	1,2 (b)
Πιπεριά	15	1,4
Τριφύλλι (red)	15	1,2
Τριφύλλι (ladino)	15	1,2
Καλαμπόκι	15	1,2
Λινάρι	15	1,2
Πατάτα	15	1,2
Γλυκοπατάτα	15	1,1
Φασόλι (Broadbean)	15	1,0
Λάχανο	15	1,0
Αλεπονουρά	15	1,0
Σέλινο	15	0,6
Τριφύλλι (Berseem)	15	0,6
Δακτυλίδα	15	0,6
Ζαχαροκάλαμο	15	0,6
Τριφύλλι (Trefoil big)	20	1,9
Εράγρωστις (Lovegrass)	20	0,8
Σπανάκι	20	0,8
Μηδική	20	0,7
Σεσμπάνια (Sesbania) (a)	20	0,7
Αγγούρι	25	1,3
Τομάτα	25	1,0
Μπρόκολα	25	0,9
Κολοκύθι (Squash scallop)	30	1,6
Βίκος (Vetch common)	30	1,1
Αγριόβριζα (Wildrye, beardless)	30	0,6
Sudangrass	30	0,4
Παντζάρι (a)	40	0,9
Φεστούκα (Fescue tall)	40	0,5
Κολοκύθι (Squash, zucchini)	45	0,9
Φάλαρη	45	0,8
Μπιζέλι (Cowpea)	50	1,2
Τριφύλλι (Narrow-leafbirdsfoot)	50	1,0
Ήρα πολυετής (Ryegrass perennial)	55	0,8
Σκληρό Σιτάρι	55	0,5
Κριθάρι για ζωοτροφή (a)	60	0,7

Σιτάρι (a)	60	0,7
Σόργο	70	1,6
Αγριάδα	70	0,6
Ζαχαρότευτλα (a)	70	0,6
Βαμβάκι	75	0,5
Κριθάρι (a)	80	0,5

(a) Καλλιέργειες λιγότερο ανθεκτικές κατά το φύτρωμα των σπόρων.

(b) Αναφέρεται σε συνθήκες κορεσμού του εδάφους με νερό.

Πηγή: Maas, V. (1990).

Οι Σακελλαρίου κ.ά. (2003) σε πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου, διαπίστωσαν ότι η συκέντρωση των ιόντων χλωρίου ήταν αρκετά υψηλή (1460mg/l) στα απόβλητα. Εντούτοις, η απόδοση του χλοοτάπητα δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τα τεμάχια που αρδεύονταν με καθαρό νερό. Οι τιμές των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων ήταν εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

4.9.6 Τοξικότητα μετάλλων

Τα μέταλλα που περιέχονται στα απόβλητα καταλήγουν κατά την επεξεργασία των αποβλήτων στην παραγόμενη λάσπη και έτσι το πρόβλημα της διάθεσης των μετάλλων ανάγεται στη διάθεση της λάσπης. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στα επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να θεωρούνται αμελητέες. Στα μέταλλα που είναι πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ανεξέλεγκτη εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση ανήκουν κυρίως το κάδμιο, ο χαλκός, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος. Τα μέταλλα αυτά μπορεί να γίνουν τοξικά στις καλλιέργειες, αλλά και στα ζώα και στον άνθρωπο, μέσω της τροφικής αλυσίδας. Γι' αυτά τα μέταλλα, αλλά και για άλλα, συνιστώνται μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στα επεξεργασμένα απόβλητα σύμφωνα με τον Πίνακα 4.9.6.1.. Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα απόβλητα για άρδευση θα πρέπει όλα τα μέταλλα που περιέχουν να βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές του Πίνακα 4.9.6.1..

Από τα στοιχεία του Πίνακα διαπιστώνεται ότι οι επιτρεπόμενες τιμές συγκεντρώσεων του χαλκού, του νικελίου και του ψευδάργυρου για μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη άρδευση είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις τυπικές τιμές τους σε βιολογικά επεξεργασμένα απόβλητα. Έτσι αυτά τα μέταλλα δεν αναμένεται να προκαλέσουν κάποιο πρόβλημα τοξικότητας.

Δεν ισχύει όμως το ίδιο για το κάδμιο, το οποίο έχει επιπλέον το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να γίνει τοξικό στον άνθρωπο και στα ζώα ακόμα και σε συγκεντρώσεις που δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να καταστήσει το κάδμιο περιοριστικό στοιχείο στην εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση.

Πίνακας 4.9.6.1. Συγκεντρώσεις μετάλλων (mg/l) στα επεξεργασμένα απόβλητα μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και ανώτατα όρια για άρδευση.

Μέταλλο	Συγκεντρώσεις στα απόβλητα		Ανώτατα όρια	
	Όρια	Μέση τιμή	Μακροχρόνια χρήση	Βραχυχρόνια χρήση
As	<0,005-0,023	<0,005	0,1	2
Cd	<0,005-0,15	<0,005	0,01	0,05
Cr	<0,005-1,2	0,02	0,05	5
Cu	<0,006-1,3	0,04	0,2	5
Hg	<0,0002-0,001	0,0005	-	-
Mo	0,001-0,018	0,007	0,01	0,05
Ni	0,003-0,6	0,004	2	
Pb	0,003-0,35	0,008	5	10
Se	<0,005-0,02	<0,005	0,02	1
Zn	0,004-1,2	0,04	2	10

Πηγή: Ayers, S., Wetscot, W. (1985).

Οι Luo et al. (2003) διερεύνησαν την άρδευση ρυζιού με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα που περιείχαν σημαντικές ποσότητες χαλκού. Η απόδοση των φυτών επηρεάστηκε αρκετά, εξαιτίας της τοξικότητας χαλκού.

Ο Βουρδουμπάς (2000), ανέφερε ότι δεν υπήρξε επιβάρυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα κατά την άρδευση φυτών ευκαλύπτου, λεύκας και πλατάνου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

4.9.7 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά

Στα συστήματα άρδευσης με καταιονισμό τα αιωρούμενα στερεά (SS) μπορεί να προκαλέσουν βιολογικές διαταραχές στα φύλλα των καλλιεργειών, ενώ στα συστήματα άρδευσης με σταγόνες υπάρχει έντονος ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτιών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού.

Στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης μεγάλες συγκεντρώσεις SS μπορεί να οδηγήσουν σε δραστική μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας και της διηθητικότητας των εδαφών (με τη δημιουργία επιφανειακής κρούστας και την έμφραξη των πόρων του εδάφους), ειδικά όταν αυτά είναι λεπτόκοκκα, καθώς και στη δημιουργία προβλημάτων στο φύτεμα των σπόρων.

Οι Παπαγιαννοπούλου et al. (1998) σε πείραμα μελέτης των χαρακτηριστικών τριών τύπων σταλακτιών ύστερα από άρδευση με καθαρό νερό και απόβλητα, διαπίστωσαν την καλή λειτουργία των σταλακτιών και με τις δυο ποιότητες νερών άρδευσης.

4.9.8 Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά

Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα επεξεργασμένα απόβλητα και τα οποία μπορεί να έχουν λιπασματική αξία για τα φυτά είναι κυρίως το άζωτο, ο φώσφορος, αλλά και το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Τα συστατικά αυτά όταν βρίσκονται σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις ανάγκες των φυτών μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα.

Το άζωτο βρίσκεται στα απόβλητα μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία κυρίως ως νιτρικά και ως αμμωνία ή αμμωνιακό άζωτο. Στα συστήματα παρατεταμένου αερισμού, όπου συνήθως επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός νιτροποίησης, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών (30-35mg/l) είναι πολύ υψηλότερες εκείνων της αμμωνίας (0.5-1.0mg/l), ενώ όταν γίνεται και βιολογική απομάκρυνση του αζώτου οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι σημαντικά μικρότερες (10-15mg/l). Το βασικό πλεονέκτημα του αζώτου είναι ότι αποτελεί σημαντικό λιπαντικό συστατικό για τις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή μέχρι και η κατάργηση των λιπασμάτων. Όμως, η προσδιδόμενη ποσότητα του στις καλλιέργειες δε μπορεί να ρυθμιστεί.

Ο φώσφορος βρίσκεται στα απόβλητα ως ανόργανος φωσφόρος, κυρίως ως φωσφορικά. Στα συστήματα παρατεταμένου αερισμού οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου στην εκροή είναι της τάξης των 10-15mg/l χωρίς βιολογική απομάκρυνση και 1-5mg/l όταν γίνεται βιολογική απομάκρυνση του.

Η άρδευση με απόβλητα αυξάνει σταδιακά τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος, μειώνοντας την ανάγκη για μελλοντική συμπληρωματική εφαρμογή φωσφορούχου λίπανσης. Περίσσεια φωσφόρου γενικά δεν αποτελεί πρόβλημα, ωστόσο είναι χρήσιμο να παρακολουθείται η παρουσία του στα απόβλητα και στο έδαφος.

Το κάλιο στα απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται από 10 έως 30mg/l (Pescod, B., 1992).

Σχεδόν όλα τα νερά που προέρχονται από απόβλητα περιέχουν αρκετό ψευδάργυρο για να διορθωθούν οι ελλείψεις του εδάφους σε διάστημα 1 έως 3 έτη. Θεωρώντας ένα ετήσιο ύψος βροχής ίσο με 1200mm και τη συγκέντρωση του Zn να κυμαίνεται από 0,15 έως 0,45mg/l, έχουμε ετήσια εισροή στο έδαφος 0,18 έως 0,54kg/στρέμμα (Page, L., Chang, L., 1985). Η ύπαρξη του ψευδαργύρου θεωρείται ευεργετική για εδάφη με ανεπαρκείς συγκεντρώσεις στο στοιχείο αυτό, αλλά η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης του στο νερό άρδευσης δεν πρέπει να υπερβαίνεται (2 mg/l).

Τα απόβλητα περιέχουν επαρκείς ποσότητες βορίου, ώστε να διορθώνουν ελλείψεις του στοιχείου αυτού στο έδαφος. Μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε πιθανή περίσσεια βορίου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητες και μειωμένη παραγωγή.

Σε μέρη όπου το ετήσιο ύψος βροχής είναι υψηλό μπορεί να υπάρξει έλλειψη θείου, που προκαλεί μειωμένη παραγωγή στις καλλιέργειες. Στα απόβλητα υπάρχει κατά κανόνα επαρκές θείο, ώστε να διορθώνονται οι ελλείψεις του στο έδαφος.

Οι Σακελλαρίου κ.ά. (2003) σε πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα που προέρχονταν από τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας και με καθαρό νερό, παρατήρησαν ότι οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων ήταν χαμηλές (κυρίως N και P). Η απόδοση του χλοοτάπητα ήταν η ίδια στατιστικά και για τις δύο μεταχειρίσεις, όπως και η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στους ιστούς των φύλλων.

4.9.9 Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά

Τα σημαντικότερα παθογόνα συστατικά που έχουν άμεση σχέση με την προστασία της υγείας είναι τα παθογόνα βακτηρίδια, οι σκώληκες, τα πρωτόζωα και οι ιοί (Κατσίκη, Α., 1992).

Τα σημαντικότερα παθογόνα βακτηρίδια είναι η Σαλμονέλα (προκαλεί τυφοειδή πυρετό, σαλμονελώσεις, κράμπες, ακόμα και θάνατο), η Σιγγέλα (προκαλεί πυρετό και διάρροιες), η Λεπτοσπείρα (προκαλεί λεπτοσπείρωση και μόλυνση των νεφρών, του συκωτιού και του κεντρικού νευρικού συστήματος), το δονάκιο της χολέρας (προκαλεί χολέρα, διάρροιες, αφυδάτωση, ακόμα και θάνατο) και ο Βάκιλος της φυματίωσης. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως με επαφή με νερά ή και ζώα που έχουν μολυνθεί.

Οι σημαντικότεροι σκώληκες που μπορεί να βρεθούν στα απόβλητα είναι τα *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Αγγυλόστομα* και *Taenia saginata*. Προκαλούν ασκαρίαση, σχιστοσωμίαση και ταινίες, ακόμα και με τη μορφή προνυμφών (larvae) ή αυγών. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως με επαφή με μολυσμένα νερά.

Τα σημαντικότερα πρωτόζωα είναι τα *Gardia lamblia* και *Entamoeba histolytica*, που προκαλούν αμοιβαδικές δυσεντερίες και ηπατίτιδες. Η μετάδοση των ασθενειών γίνεται συνήθως με επαφή με μολυσμένα νερά.

Από τους ιούς ιδιαίτερη σημασία έχουν οι εντερικοί ιοί, οι οποίοι εισέρχονται στον οργανισμό δια της στοματικής οδού. Προκαλούν την ηπατίτιδα Α, την πολιομυελίτιδα, καθώς και διαταραχές του αναπνευστικού και του πεπτικού συστήματος.

Για την προστασία της δημόσιας υγείας έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες ανώτατες τιμές συγκεντρώσεων των παραπάνω βιολογικών χαρακτηριστικών στα επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτές οι τιμές θεωρείται ότι εξασφαλίζουν τη χωρίς δυσάρεστες επιπτώσεις εφαρμογή της άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα χωρίς όμως να βασίζονται συνήθως σε κάποια επιδημιολογική έρευνα με την οποία μπορεί να εκτιμηθούν πλήρως οι κίνδυνοι στη δημόσια υγεία. Οι τιμές αυτές ποικίλλουν έντονα ανάλογα με τη χώρα, την περιοχή, τη μέθοδο άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, το βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων (από πρωτοβάθμια μέχρι τεταρτοβάθμια) και άλλους παράγοντες.

Στις αυστηρές περιπτώσεις ανήκουν οι απαιτήσεις της Πολιτείας της

Καλιφόρνια, γνωστές και ως Title 22 (State of California, 1978) τμήμα των οποίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.9.9.1.. Σύμφωνα με την Title 22 για την άρδευση καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα τρώγονται ωμά, πάρκων, γηπέδων και γενικά εκτάσεων στις οποίες επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού τα επεξεργασμένα απόβλητα θα πρέπει να έχουν υποστεί επαρκή οξείδωση, διύλιση και απολύμανση με μέση συγκέντρωση (MPN) ολικών κολοβακτηριδίων (TC) 2,2/100ml. Η Πολιτεία της Αριζόνα προτείνει περιοριστικές τιμές και για τους εντερικούς ιούς (1PFU/40ml). Η Πολιτεία της Φλόριντα απαιτεί την έλλειψη ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων περιττωματικής προέλευσης (FC), που ουσιαστικά επιτυγχάνεται με τεταρτοβάθμια επεξεργασία (διύλιση) και με χλωρίωση που εξασφαλίζει υπολειμματικό χλώριο 1mg/l μετά από επαφή 30 λεπτών στη μέση παροχή (Bower, H., Chase, L., 1985).

Στις λιγότερο αυστηρές ανήκουν οι παλαιές τιμές που πρότεινε ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO), σύμφωνα με τον οποίο η μέγιστη συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων μπορεί να φτάνει τα 100/100ml στο 80% των δειγμάτων (WHO, 1973, 1980).

Σε πιο πρόσφατη έκθεση επιτροπής ειδικών επιστημόνων του WHO προτείνονται νέες τιμές. Όσον αφορά τα FC οι νέες τιμές είναι λιγότερο συντηρητικές (με το σκεπτικό ότι οι προηγούμενες τιμές υπερεκτιμούσαν τον κίνδυνο μόλυνσης), αλλά όσον αφορά τους σκώληκες (*Ascaris*, *Trichuris* και *Αγκυλόστομα*) και τις κύστες πρωτόζωων είναι περισσότερο αυστηρές. Έτσι, για την άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, πάρκων, σχολείων και γηπέδων προτείνεται το όριο των 100/100ml (γεωμετρικός μέσος) και το όριο του 1 αυγού/l (γεωμετρικός μέσος) για τους εντερικούς ιούς. Το όριο των κολοβακτηριδίων προτείνεται να είναι αυστηρότερο (200/100ml) στην περίπτωση άρδευσης πράσινων εκτάσεων, όπου επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού (WHO, 1989).

Για την περίπτωση της Ελλάδας και των άλλων μεσογειακών χωρών οι απαιτήσεις της Πολιτείας της Καλιφόρνια θεωρείται ότι είναι ιδιαίτερα αυστηρές και αντιοικονομικές, ενώ οι απαιτήσεις του WHO όσον αφορά τα κολοβακτηρίδια κρίνονται μάλλον ως ανεπαρκείς. Τιμές συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων της τάξης των 20-30/100ml πιστεύεται ότι μπορεί να αποτελέσουν ένα ικανοποιητικό αρχικό βήμα για την περίπτωση της χώρας μας μέχρι να πραγματοποιηθεί μια συστηματική έρευνα (WHO, 1989).

Πίνακας 4.9.9.1. Απαιτήσεις της Πολιτείας της Καλιφόρνια.

Καλλιέργεια - Είδος άρδευσης	Πρωτοβάθμια Επεξεργασία	Δευτεροβάθμια Επεξεργασία - Απολύμανση	Τεταρτοβάθμια Επεξεργασία	Ολικά Κολοβακτηρίδια MPN/100ml
Καλλιέργειες για ζωοτροφές, φυτικές ίνες και φυτικούς σπόρους	X			Καμία απαίτηση
Προϊόντα που τρώγονται ωμά. Επιφανειακή άρδευση.		X		2,2
Προϊόντα που τρώγονται ωμά. Άρδευση με καταιονισμό. Πάρκα, σχολεία, γήπεδα.			X	
Προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά. Επιφανειακή άρδευση.	X			Καμία απαίτηση
Προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά. Άρδευση με καταιονισμό. Γήπεδα γκολφ, νεκροταφεία.		X		

Πηγή: W.H.O. (1989).

4.9.10 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά

Στα απόβλητα μπορεί να υπάρχουν σύνθετα οργανικά συστατικά (π.χ. χλωροφόρμιο, χλωροβενζόλιο, μαλαθίο κ.ά.) τα οποία αν και βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (1ppb) θεωρείται ότι πιθανόν να είναι τοξικά ή και να εγκυμονούν κίνδυνο καρκίνου. Τα συστατικά αυτά με τη διαδικασία της άρδευσης καταλήγουν στο έδαφος. Στο έδαφος μέρος τους συγκρατείται και μέρος τους απορροφάται από τα φυτά και καταλήγει τελικά στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας σε σημαντικά μικρότερες συγκεντρώσεις από τις αρχικές. Εξαιτίας των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων τους δεν αναμένεται να έχουν κάποια σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση στην υγεία του ανθρώπου κατά την άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα (Pettygrove, S., Asano, T., 1985). Τα πιθανά προβλήματα όμως στην ανθρώπινη υγεία πρέπει να ληφθούν υπόψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ - ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Γενικά

Το πείραμα διεξήχθη στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην ευρύτερη περιοχή του Βελεστίνου (Ν. Μαγνησίας) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011.

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.

5.2 Κλιματικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση, ατμοσφαιρική υγρασία, ηλιοφάνεια, ταχύτητα ανέμου σε ύψος δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους) καταγράφηκαν σε ωριαία βάση από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής ο οποίος βρίσκεται στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο δίπλα στον πειραματικό αγρό (Εικόνα 5.2.1). Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το υγρό και ξηρό θερμοόμετρο, το βροχόμετρο, το πυρανόμετρο και το ανεμόμετρο (Εικόνες 5.2.2 και 5.2.3). Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια data logger (Εικόνα 5.2.4) και η επεξεργασία τους έγινε με το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Το κλίμα του Βελεστίνου θεωρείται ως τυπικό ηπειρωτικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, με μεγάλες διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου (υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα).



Εικόνα 5.2.1. Ο μετεωρολογικός σταθμός του Αγροκτήματος.



Εικόνες 5.2.2 και 5.2.3. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων.



Εικόνα 5.2.4. Ο data logger που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των κλιματολογικών δεδομένων.

5.3 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, ιλυοαργιλοπηλώδους 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, Ι., κ.ά., 2000).

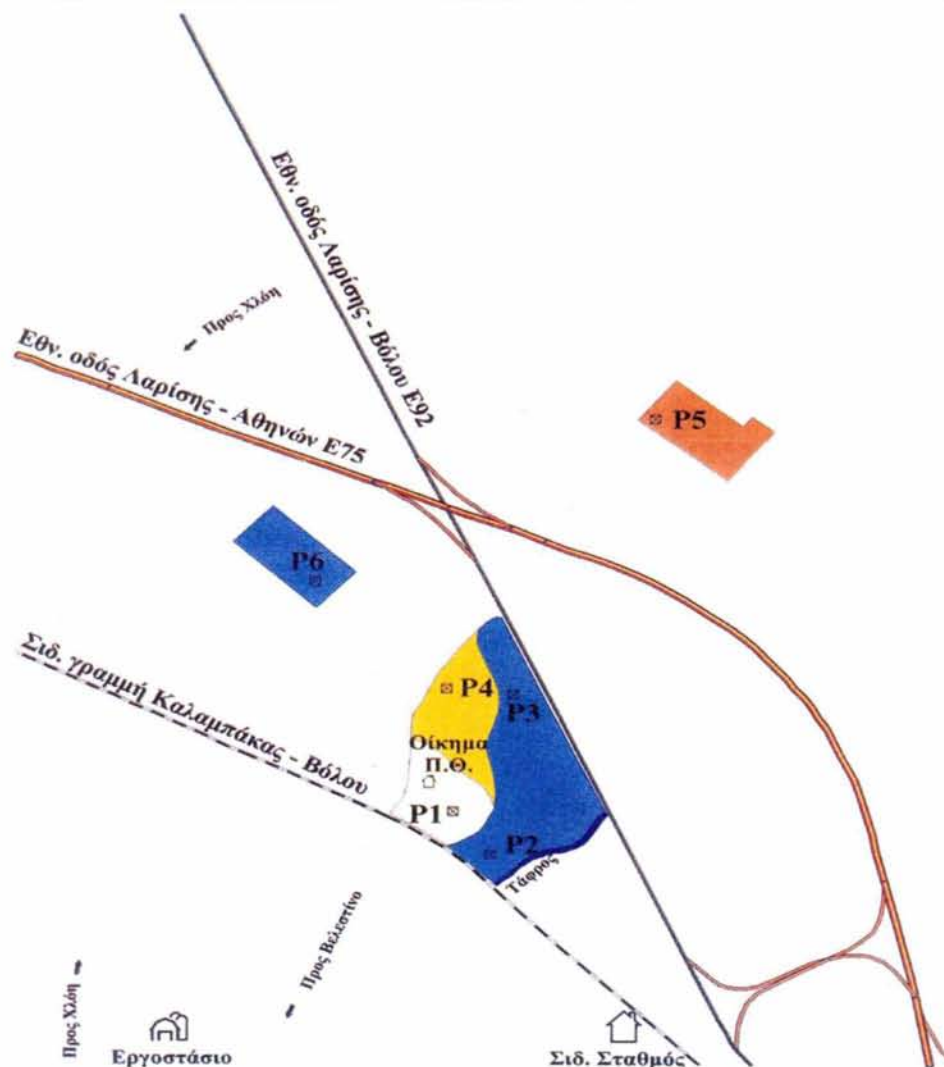
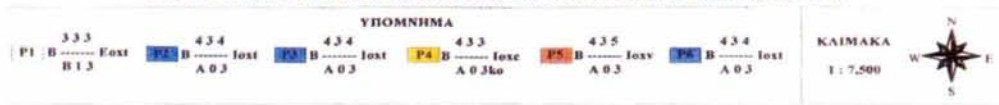
Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας χερσι και εδαφικής θερμοκρασίας θερμής. Τα ανταλλάξιμα κατίοντα Na, Mg, K και η C.E.C. γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, ενώ η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με το Cu (Μήτσιος, Ι., κ.ά., 2000).

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 (αρχές Μαΐου και τέλος Σεπτεμβρίου 2011) (Εικόνα 5.3.1).



Εικόνα 5.3.1. Δειγματοληψία εδάφους.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το τοπογραφικό διάγραμμα του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και στον Πίνακα 5.3.1 οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες της εδαφοτομής P2 (Μήτσιος, Ι., κ.ά., 2000).



Σχήμα 2. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού στο Βελεστίνο.

Εδαφοτομή: P2

Τάξη: Inceptisol

Υπομάδα: Typic xerochrept

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

Πίνακας 5.3.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P2.

Βάθος (cm)	Οριζοντας	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 ₂ CO ₃ %	pH (H ₂ 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

5.4 Χάραξη πειραματικού αγρού

Το πείραμα διεξήχθη σε πειραματικό αγρό συνολικής επιφάνειας 200m² με την εφαρμογή ενός σχεδίου υποδιαιρεμένων πειραματικών τεμαχίων (split plot design) το οποίο περιλάμβανε τρεις συνολικά μεταχειρίσεις. Οι δύο μεταχειρίσεις (άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε συνδυασμό με καθαρό νερό) ήταν εγκατεστημένες σε τέσσερα πειραματικά τεμάχια (plots) η κάθε μία και η τρίτη μεταχείριση (χωρίς άρδευση) σε δύο πειραματικά τεμάχια (συνολικά 10 πειραματικά τεμάχια για όλες). Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 5m μήκος και 3,2m πλάτος, δηλαδή εμβαδόν 16m² και περιλάμβανε τέσσερις σειρές φυτών (Σχήμα 3). 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 m²).



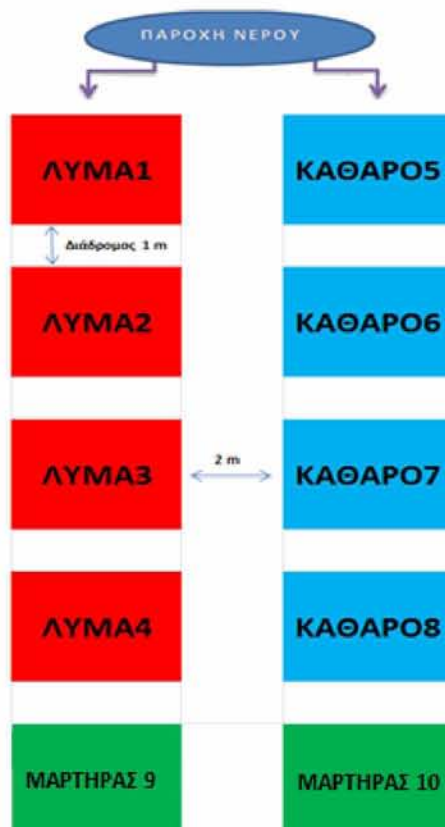
Εικόνες 5.4.1 και 5.4.2. Χάραξη πειραματικού αγρού.



Εικόνα 5.4.3. Χάραξη πειραματικού αγρού.

Συγκεκριμένα, έχουμε τέσσερα πειραματικά τεμάχια στα οποία αρδεύσαμε με καθαρό νερό, τέσσερα πειραματικά τεμάχια που αρδεύσαμε με συνδυασμό καθαρού νερού και λύματος και τέλος δύο πειραματικά τεμάχια που καθορίστηκαν ως μάρτυρας και δεν αρδεύτηκαν καθόλου. Κάθε άρδευση με υγρά αστικά απόβλητα

ακολουθήθηκε από δύο εφαρμογές άρδευσης με καθαρό νερό, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων και ιόντων χλωρίου στο λύμα προς αποφυγή συσσώρευσης αυτών στο έδαφος. Και στις δύο μεταχειρίσεις οι ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για να καλύψουν το 100% της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, βάση του μαθηματικού αρδευτικού προσομοιώματος Penman-Monteith κατά F.A.O.-56.



Σχήμα 3. Απεικόνιση πειραματικού αγρού.

Τα πειραματικά τεμάχια με τις μεταχειρίσεις είναι:

- ΛΥΜΑ1, ΛΥΜΑ2, ΛΥΜΑ3, ΛΥΜΑ4 που αρδεύτηκαν με δόση άρδευσης που αντιστοιχεί στο 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με εγκατάσταση υπόγειων σταγόνων. Σε αυτά εφαρμόστηκαν καθαρό νερό και λύμα.
- ΚΑΘΑΡΟ5, ΚΑΘΑΡΟ6, ΚΑΘΑΡΟ7, ΚΑΘΑΡΟ8 που αρδεύτηκαν με δόση άρδευσης που αντιστοιχεί στο 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με εγκατάσταση υπόγειων σταγόνων. Σε αυτά εφαρμόστηκε αποκλειστικά καθαρό νερό.
- ΜΑΡΤΗΡΑΣ9, ΜΑΡΤΗΡΑΣ10 που δεν αρδεύτηκαν καθόλου (0% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής).

Για της ανάγκες της συντομογραφίας, προκειμένου να γίνει καλύτερα κατανοητή η ανάγνωση των δεδομένων του πειράματος, οι μεταχειρίσεις στο εξής θα διατυπώνονται ως:

ΚΑΘΑΡΟ (οι μέσοι όροι των τιμών που αφορούν τη μεταχείριση που αρδεύτηκε αποκλειστικά με καθαρό νερό και προκύπτουν από μετρήσεις των πειραματικών τεμαχίων της. Δηλαδή των ΚΑΘΑΡΟ5, ΚΑΘΑΡΟ6, ΚΑΘΑΡΟ7, ΚΑΘΑΡΟ8).

ΛΥΜΑ (οι μέσοι όροι των τιμών που αφορούν τη μεταχείριση που αρδεύτηκε με συνδυασμό καθαρού νερού και λύματος και προκύπτουν από μετρήσεις των πειραματικών τεμαχίων της. Δηλαδή των ΛΥΜΑ1, ΛΥΜΑ2, ΛΥΜΑ3, ΛΥΜΑ4).

ΜΑΡΤΥΡΑΣ (οι μέσοι όροι των τιμών που αφορούν τη μεταχείριση του μάρτυρα (μηδενική άρδευση) και προκύπτουν από μετρήσεις των πειραματικών τεμαχίων της. Δηλαδή των ΜΑΡΤΗΡΑΣ9, ΜΑΡΤΗΡΑΣ10).

5.5 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 στις 10 Μαΐου του 2011, με πνευματική σπартική μηχανή τεσσάρων σειρών, ενώ η ποικιλία ηλιάνθου που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PR64A63. Ο μέσος αριθμός φυτών ήταν 11 φυτά/m. Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε βάθος 2cm και σε αποστάσεις 80 cm μεταξύ των γραμμών και 11 cm επί της γραμμής (πληθυσμιακή πυκνότητα σποράς 11.364 φυτά/στρ.). Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε πότισμα με τη μέθοδο του καταιονισμού και το φύτρωμα της καλλιέργειας ολοκληρώθηκε περίπου στις 20 Μαΐου.

Όσον αφορά της 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 βρίσκονταν σε υψηλούς πληθυσμούς εντός του πειραματικού αγρού.



Εικόνα 5.5.1. Πειραματικός αγρός πριν τη σπορά.



Εικόνα 5.5.2. Η ποικιλία ηλίανθου που χρησιμοποιήθηκε για την σπορά.



Εικόνες 5.5.3 και 5.5.4. Η πνευματική σπартική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για τη σπορά.



Εικόνες 5.5.5 και 5.5.6. Η σπορά του πειραματικού αγρού στις 10/5/2011.



Εικόνα 5.5.7. Το ψεκαστικό μηχανήμα που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου μετά τη σπορά.



Εικόνες 5.5.8 και 5.5.9. Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου στον πειραματικό αγρό μετά την σπορά.



Εικόνες 5.5.10 και 5.5.11. Άρδευση με καταιονισμό μετά τη σπορά.



Εικόνες 5.5.12 και 5.5.13. Φύτρωμα καλλιέργειας 20/5/2011.



Εικόνα 5.5.14. Πειραματικός αγρός στις 21/5/2011.



Εικόνα 5.5.15. Πειραματικός αγρός με άρδευση με καταιονισμό στις 3/6/2011.



Εικόνα 5.5.16. Πειραματικός αγρός με άρδευση με καταιονισμό στις 16/6/2011. Ύψος φυτών περί τα 44cm.



Εικόνα 5.5.17. Πειραματικός αγρός στις 1/7/2011. Άρδευση με Υ.Σ.Α., ύψος φυτών περί τα 103cm.



Εικόνα 5.5.18. Πειραματικός αγρός στις 15/7/2011. Άρδευση με Υ.Σ.Α., ύψος φυτών περί τα 140cm.



Εικόνα 5.5.19. Πειραματικός αγρός στις 21/7/2011. Άρδευση με Υ.Σ.Α., ύψος φυτών περί τα 144cm.



Εικόνα 5.5.20. Πειραματικός αγρός στις 27/7/2011.



Εικόνα 5.5.21. Πειραματικός αγρός στις 2/8/2011.



Εικόνα 5.5.22. Πειραματικός αγρός στις 8/8/2011.



Εικόνα 5.5.23. Πειραματικός αγρός στις 17/9/2011.

5.6 Υλικά άρδευσης

Για την άρδευση του πειραματικού αγρού, επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης (Εικόνα 5.6.1). 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 5.6.2 και 5.6.3). 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 σταλακτιών 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 5.6.1. Το διπλό υπόγειο δίκτυο άρδευσης.



Εικόνες 5.6.2 και 5.6.3. 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 5.6.4 και Εικόνα 5.6.12). Ο έλεγχος για πιθανές αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης πραγματοποιούνταν με τη χρήση δύο υδρομέτρων (ένα για κάθε μεταχείριση) (Εικόνες 5.6.5 και 5.6.6). Η μία ηλεκτροβάννα ήταν συνδεδεμένη με τον προγραμματιστή Miracle DC (Εικόνα 5.6.7), ο οποίος κατασκευάζεται από την εταιρία Motorola και αυτοματοποιεί την όλη διαδικασία.



Εικόνα 5.6.4. Η ηλεκτροβάννα που χρησιμοποιούνταν για την άρδευση με καθαρό νερό.



Εικόνες 5.6.5 και 5.6.6. 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 5.6.7. Προγραμματιστής άρδευσης.

Για τη συγκέντρωση και διάθεση του προς άρδευση καθαρού νερού χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50m³ (Εικόνα 5.6.8). Η πλήρωση της δεξαμενής γινόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60-80m³/h με άξονα και σωλήνα 3").



Εικόνα 5.6.8. 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 5m³, η οποία βρίσκεται στο χώρο του αγροκτήματος πλησίον του πειραματικού τεμαχίου (Εικόνες 5.6.9 και 5.6.10). Η δεξαμενή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), της εταιρείας Σύρμος-Λεβαντής και συνδεόταν με αντλία (Εικόνα 5.6.11). Η αντλία συνδεόταν μέσω πλαστικού αγωγού με την κεντρική ηλεκτροβάννα (Εικόνα 5.6.12). Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου και ισχύος 3 Hp.



Εικόνες 5.6.9 και 5.6.10. Τοποθέτηση λύματος σε δεξαμενή PVC.



Εικόνα 5.6.11. Αντλία λύματος.



Εικόνα 5.6.12. Μηχανολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει την ηλεκτροβάννα του λύματος, φυλασσόμενος σε ειδικά διαμορφωμένο κουτί.

5.7 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 5.7.1).



Εικόνα 5.7.1. 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.

5.8 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 τον μετεωρολογικό σταθμό του αγροκτήματος και υπολογιζόταν αυτόματα από το μαθηματικό προσομοίωμα προσέγγισης Penman-Monteith κατά FAO-56.

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

$$ET_d = ET_0 * K_C, \text{ σε mm.}$$

Οι τιμές του K_C κατά τη διάρκεια του αρχικού του σταδίου ταχείας ανάπτυξης και του τελικού σταδίου υπολογίζονται με τις παρακάτω διαδικασίες (Πίνακας 5.8.1) με τιμές K_C για τον ηλίανθο $K_{cini} = 0,35$, $K_{cmid} = 1,15$ και $K_{cend} = 0,15$.

Πίνακας 5.8.1. Υπολογισμός φυτικού συντελεστή (K_C).

Στάδιο	Διάρκεια Σταδίου	Φυτικός συντελεστής (K_C)	
		i = ημέρα του βιολογικού κύκλου του φυτού	Στο μέσον των σταδίων 2 και 4
Στάδιο 1	T_1	K_{cini}	
Στάδιο 2	T_2	$K_{c2(i)} = K_{cini} + \frac{K_{cmid} - K_{cini}}{T_2} \cdot (T_i - T_1)$	$K_{c2(T2/2)} = \frac{K_{cmid} + K_{cini}}{2}$
Στάδιο 3	T_3	K_{cmid}	
Στάδιο 4	T_4	$K_{c4(i)} = K_{cmid} - \frac{K_{cmid} - K_{cend}}{T_4} \cdot (T_i - T_1 - T_2 - T_3)$	$K_{c2(T4/2)} = \frac{K_{cmid} + K_{cend}}{2}$
		K_{cend}	

Η εξατμισοδιαπνοή δηλαδή, εκφράζει τις συνολικές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας. Αν από την τιμή της ET_d αφαιρεθεί το ύψος της ωφέλιμης βροχής, η τιμή που προκύπτει εκφράζει τις καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό (I_n), την ποσότητα δηλαδή του νερού που πρέπει να χορηγηθεί μέσω άρδευσης. Δηλαδή, η εφαρμοζόμενη δόση άρδευσης (I_{da}), 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 5.8.2 παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I_n), η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_d) καθώς επίσης οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων των

μεταχειρίσεων.

Ο υπολογισμός της διάρκειας άρδευσης (I_t) έγινε βάση της σχέσης:

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

όπου I_{da} είναι η αντίστοιχη εφαρμοζόμενη δόση άρδευσης και I_{dh} είναι το ωριαίο ύψος βροχής.

Το ωριαίο ύψος βροχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

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 $q = 3,6 \text{ l/h}$, η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής $St = 0,1 \text{ m}$ 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 $n = 0,07$.

Στον Πίνακα 5.8.2 παρουσιάζονται η εξαμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης καθώς και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων για κάθε μεταχείριση.

Πίνακας 5.8.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό της καλλιέργειας. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ 2011




Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2011	Ημέρες από τη σορά 10/5/11	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B mm	Εξατμ/νοή αναφοράς Eo mm	Kc	Εξατμ/νοή Καλλιέργειας In=ET _d - ΩB (ET _d =Eo*Kc) mm	Καθαρές ανάγκες Ida=In(100%) mm	αριθμός Σταλακτήρων ανά φωτό n=St/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/Sr*St mm/h	Διάρκεια άρδευσης (h) 100% It=Ida(100%)/Idh
10/5/2011	130	1			2,12			2,12		1,8	1,18
11/5/2011	131	2			2,18			2,18		1,8	1,21
12/5/2011	132	3			3,13			3,13		1,8	1,74
13/5/2011	133	4			4,13			4,13		1,8	2,29
14/5/2011	134	5			4,7			4,70		1,8	2,61
15/5/2011	135	6			5,38			5,38		1,8	2,99
16/5/2011	136	7			3,59			3,59		1,8	1,99
17/5/2011	137	8			4,44			4,44		1,8	2,47
18/5/2011	138	9			3,66			3,66		1,8	2,03
19/5/2011	139	10	0,4	0,32	1,73			1,41		1,8	0,78
20/5/2011	140	11			3,9	0,35	1,37	1,37		1,8	0,76
21/5/2011	141	12			4,17	0,35	1,46	1,46		1,8	0,81
22/5/2011	142	13			4,24	0,35	1,48	1,48		1,8	0,82
23/5/2011	143	14			4,21	0,35	1,47	1,47		1,8	0,82
24/5/2011	144	15			3,93	0,35	1,38	1,38		1,8	0,76
25/5/2011	145	16			4,62	0,35	1,62	1,62		1,8	0,90
26/5/2011	146	17			4,93	0,35	1,73	1,73		1,8	0,96
27/5/2011	147	18	5,4	4,32	1,16	0,35	-3,91	-3,91		1,8	0,00

28/5/2011	148	19	2	1,6	3,89	0,35	-0,24	-0,24	1,8	0,00	
29/5/2011	149	20			3,61	0,35	1,26	1,26	1,8	0,70	
30/5/2011	150	21			3,81	0,35	1,33	1,33	1,8	0,74	
31/5/2011	151	22			3,3	0,35	1,16	1,16	1,8	0,64	
1/6/2011	152	23			4,40	0,35	1,54	1,54	1,8	0,86	
2/6/2011	153	24			3,74	0,35	1,31	1,31	1,8	0,73	
3/6/2011	154	25			3,77	0,35	1,32	1,32	1,8	0,73	
4/6/2011	155	26			3,25	0,35	1,14	1,14	1,8	0,63	
5/6/2011	156	27			4,33	0,35	1,52	1,52	1,8	0,84	
6/6/2011	157	28			4,81	0,35	1,68	1,68	1,8	0,94	
7/6/2011	158	29			4,50	0,35	1,58	1,58	1,8	0,88	
8/6/2011	159	30			5,40	0,35	1,89	1,89	1,8	1,05	
9/6/2011	160	31			5,39	0,35	1,89	1,89	1,8	1,05	
10/6/2011	161	32			6,79	0,37	2,53	2,53	1,8	1,41	
11/6/2011	162	33	6,4	5,12	4,98	0,40	-3,15	-3,15	1,8	0,00	
12/6/2011	163	34	8,8	7,04	2,50	0,42	-5,99	-5,99	1,8	0,00	
13/6/2011	164	35	0,2	0,16	4,06	0,44	1,63	1,63	1,8	0,91	
14/6/2011	165	36	0,2	0,16	3,70	0,46	1,56	1,56	2,86	0,54	
15/6/2011	166	37	4,0	3,2	2,98	0,49	-1,75	-1,75	2,86	0,00	
16/6/2011	167	38	8,4	6,72	4,39	0,51	-4,48	-4,48	2,86	0,00	
17/6/2011	168	39			4,85	0,53	2,58	2,58	2,86	0,90	
18/6/2011	169	40			5,00	0,56	2,78	2,78	2,86	0,97	
19/6/2011	170	41			5,73	0,58	3,32	3,32	2,86	1,16	
20/6/2011	171	42			6,33	0,60	3,81	3,81	2,86	1,33	
21/6/2011	172	43			5,17	0,62	3,23	3,23	2,86	1,13	
22/6/2011	173	44			5,50	0,65	3,56	3,56	2,86	1,24	
23/6/2011	174	45			6,12	0,67	4,10	4,10	0,07	2,86	1,43

24/6/2011	175	46			5,84	0,69	4,05	4,05	0,07	2,86	1,41
25/6/2011	176	47			6,71	0,72	4,80	4,80	0,07	2,86	1,68
26/6/2011	177	48	0,40	0,32	8,92	0,74	6,27	6,27	0,07	2,86	2,19
27/6/2011	178	49			6,60	0,76	5,03	5,03	0,07	2,86	1,76
28/6/2011	179	50			6,18	0,78	4,85	4,85	0,07	2,86	1,69
29/6/2011	180	51			4,37	0,81	3,53	3,53	0,07	2,86	1,23
30/6/2011	181	52			4,69	0,83	3,89	3,89	0,07	2,86	1,36
1/7/2011	182	53			4,93	0,85	4,20	4,20	0,07	2,86	1,47
2/7/2011	183	54			6,11	0,88	5,35	5,35	0,07	2,86	1,87
3/7/2011	184	55			5,16	0,90	4,64	4,64	0,07	2,86	1,62
4/7/2011	185	56			5,76	0,92	5,31	5,31	0,07	2,86	1,86
5/7/2011	186	57			6,23	0,94	5,88	5,88	0,07	2,86	2,06
6/7/2011	187	58			6,17	0,97	5,97	5,97	0,07	2,86	2,09
7/7/2011	188	59			5,98	0,99	5,92	5,92	0,07	2,86	2,07
8/7/2011	189	60			5,89	1,01	5,97	5,97	0,07	2,86	2,09
9/7/2011	190	61			6,54	1,04	6,77	6,77	0,07	2,86	2,37
10/7/2011	191	62			6,64	1,06	7,03	7,03	0,07	2,86	2,46
11/7/2011	192	63			5,93	1,08	6,41	6,41	0,07	2,86	2,24
12/7/2011	193	64			5,88	1,10	6,49	6,49	0,07	2,86	2,27
13/7/2011	194	65			5,98	1,13	6,74	6,74	0,07	2,86	2,36
14/7/2011	195	66			5,58	1,15	6,42	6,42	0,07	2,86	2,24
15/7/2011	196	67			5,57	1,15	6,41	6,41	0,07	2,86	2,24
16/7/2011	197	68			5,98	1,15	6,88	6,88	0,07	2,86	2,40
17/7/2011	198	69			6,17	1,15	7,10	7,10	0,07	2,86	2,48
18/7/2011	199	70			5,80	1,15	6,67	6,67	0,07	2,86	2,33
19/7/2011	200	71			6,09	1,15	7,00	7,00	0,07	2,86	2,45
20/7/2011	201	72			7,00	1,15	8,05	8,05	0,07	2,86	2,81

21/7/2011	202	73			9,03	1,15	10,38	10,38	0,07	2,86	3,63
22/7/2011	203	74			6,49	1,15	7,46	7,46	0,07	2,86	2,61
23/7/2011	204	75			6,14	1,15	7,06	7,06	0,07	2,86	2,47
24/7/2011	205	76			5,46	1,15	6,28	6,28	0,07	2,86	2,20
25/7/2011	206	77			5,12	1,15	5,89	5,89	0,07	2,86	2,06
26/7/2011	207	78			4,92	1,15	5,66	5,66	0,07	2,86	1,98
27/7/2011	208	79			6,21	1,15	7,14	7,14	0,07	2,86	2,50
28/7/2011	209	80			5,78	1,15	6,65	6,65	0,07	2,86	2,32
29/7/2011	210	81			5,26	1,15	6,05	6,05	0,07	2,86	2,12
30/7/2011	211	82			6,61	1,15	7,60	7,60	0,07	2,86	2,66
31/7/2011	212	83			6,01	1,15	6,91	6,91	0,07	2,86	2,42
1/8/2011	213	84	20,80	16,64	4,30	1,15	-11,70	-11,70	0,07	2,86	-4,09
2/8/2011	214	85			4,54	1,15	5,22	5,22	0,07	2,86	1,83
3/8/2011	215	86			4,56	1,15	5,24	5,24	0,07	2,86	1,83
4/8/2011	216	87			4,70	1,15	5,41	5,41	0,07	2,86	1,89
5/8/2011	217	88	4,80	3,84	4,20	1,15	0,99	0,99	0,07	2,86	0,35
6/8/2011	218	89			3,96	1,15	4,55	4,55	0,07	2,86	1,59
7/8/2011	219	90			4,39	1,15	5,05	5,05	0,07	2,86	1,77
8/8/2011	220	91			4,59	1,15	5,28	5,28	0,07	2,86	1,85
9/8/2011	221	92			4,90	1,15	5,64	5,64	0,07	2,86	1,97
10/8/2011	222	93			4,88	1,15	5,61	5,61	0,07	2,86	1,96
11/8/2011	223	94			5,76	1,15	6,62	6,62	0,07	2,86	2,32
12/8/2011	224	95			5,24	1,15	6,03	6,03	0,07	2,86	2,11
13/8/2011	225	96			4,85	1,15	5,58	5,58	0,07	2,86	1,95
14/8/2011	226	97			4,96	1,15	5,70	5,70	0,07	2,86	1,99
15/8/2011	227	98			4,83	1,15	5,55	5,55	0,07	2,86	1,94
16/8/2011	228	99			4,84	1,15	5,57	5,57	0,07	2,86	1,95

17/8/2011	229	100	5,24	1,15	6,03	6,03	0,07	2,86	2,11
18/8/2011	230	101	4,96	1,15	5,70	5,70	0,07	2,86	1,99
19/8/2011	231	102	4,69	1,15	5,39	5,39	0,07	2,86	1,89
20/8/2011	232	103	4,86	1,15	5,59	5,59	0,07	2,86	1,95
21/8/2011	233	104	5,13	1,15	5,90	5,90	0,07	2,86	2,06
22/8/2011	234	105	4,82	1,15	5,54	5,54	0,07	2,86	1,94
23/8/2011	235	106	5,03	1,15	5,78	5,78	0,07	2,86	2,02
24/8/2011	236	107	5,43	1,15	6,24	6,24	0,07	2,86	2,18
25/8/2011	237	108	5,54	1,15	6,37	6,37	0,07	2,86	2,23

-  Άρδευση με καταιονισμό
-  Άρδευση με καθαρό νερό
-  Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα

Ο προγραμματισμός της δόσης άρδευσης έγινε τηρουμένων των προδιαγραφών (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 21 αρδεύσεις με υπόγειες σταγόνες στο διάστημα από 23/6/2011 έως 25/8/2011. Αρχικά καθώς η καλλιέργεια δεν είχε αναπτύξει ακόμα ικανοποιητικό ριζικό σύστημα προκειμένου να εκμεταλλευτεί το νερό των υπόγειων σταγόνων, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αρδεύσεις με τεχνίτη βροχή σε όλες τις μεταχειρίσεις και στον ΜΑΡΤΗΡΑ. Οι δύο αρδευόμενες μεταχειρίσεις (ΚΑΘΑΡΟ, ΛΥΜΑ) 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.

5.9 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

Στις 26/6/2011 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση στη μεταχείριση ΛΥΜΑ 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 22.000m³ 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 ΛΥΜΑΤΟΣ και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης 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 NO₃⁻, που η τιμή τους θεωρείται επιφυλακτική.

Πίνακας 5.8.1. Μέσος όρος των τιμών των παραμέτρων του νερού γεώτρησης.

Παράμετρος	Μ.Ο.	Όρια ασφαλείας
Cl ⁻ (mg/l)	22	0-700
SS (mg/l)	-	0-15
P (mg/l)	0,5	0-15
N-NH ₄ (mg/l)	<1	0-30
N-NO ₃ (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 ³⁺ (mg/l)	<1	0-20
Cu ²⁺ (mg/l)	<1	0-5
Zn ²⁺ (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):

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

Όπου

C_a = η συγκέντρωση χλωρίου (Cl^-) της μιας ποιότητας νερού (καθαρό νερό)

C_b = η συγκέντρωση χλωρίου της δεύτερης ποιότητας νερού (Cl^- , 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)

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

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις

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

$$C_b = 1400\text{mg/L } \text{Cl}^-$$

Επίσης ότι

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

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

Προέκυψε ότι

$$22\text{mg/L } Q_a + 2900\text{mg/L} * (1 - Q_a) = 700\text{mg/L} \Rightarrow 2878 * Q_a = 2200\text{mg/L} \Rightarrow Q_a = 0,76\text{L}.$$

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 7 αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση ΛΥΜΑ με την τελευταία άρδευση να πραγματοποιείται στις 19/8/2011.

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⁻, Ολικός P, NH₃-N, NO₃-N, S.S. (Αιωρούμενα στερεά). Στον Πίνακα 5.8.2, 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 5.8.2), διαπιστώνουμε ότι πιο επικίνδυνη παράμετρος για την καλλιέργεια θεωρείται η συγκέντρωση των ιόντων Cl⁻. Ως ελάχιστο όριο ασφαλείας θεωρούνται τα 355mg Cl⁻/l, ενώ για τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί το όριο των 710mg Cl⁻/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 5.8.2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Παράμετρος μέτρησης - Ημερομηνία	pH	Cl ⁻ (mg/l)	S.S. (mg/l)	C.O.D. (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	P _{ολ} (mg/l)	Αγωγιμότητα (dS/m)
26/6/2011	7,82	2770	28	57,6	0,42	-	2,8	-
5/7/2011	7,82	3266	20	85,2	0,65	-	2,2	-
14/7/2011	7,88	2590	40	86,4	0,54	-	1,3	-
23/7/2011	7,13	2910	30,8	51,3	1,1	-	1,3	-
1/8/2011	7,53	2911	16	42,8	0,8	-	0,95	10,67
10/8/2011	7,62	3195	20	52,8	0,76	-	1,7	10,65
19/8/2011	7,83	2670	32	63,4	0,47	-	1,8	-
M.O.	7,66	2901,71	266,69	62,79	0,68	-	1,72	10,66
Όρια ασφαλείας:	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 $P_{ολ}$ χαρακτηρίζεται από μικρές συγκεντρώσεις σε σχέση πάντα με τα επιτρεπόμενα όρια.

5.10 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ηλίανθου

5.10.1 Μετρήσεις ύψους φυτών

Με σκοπό να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του ηλίανθου, διενεργήθηκαν δειγματοληπτικά 10 μετρήσεις του ύψους του σε κάθε πειραματικό τεμάχιο (Εικόνα 5.10.1.1). 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 και σε 40 διαφορετικά φυτά για την μεταχείριση του μάρτυρα. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν όταν το ύψος των φυτών έφτασε περί τα 40cm και συνεχίστηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μία μέτρηση ανά επτά ημέρες) γιατί στην αρχή του πειράματος, 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 1,10m. 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 10 μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 17/6/2011 και οι επόμενες στις 24/6/2011, 1/7/2011, 8/7/2011, 15/7/2011, 22/7/2011, 29/7/2011, 5/8/2011, 12/8/2011 και 19/8/2011.



Εικόνα 5.10.1.1. Μέτρηση ύψους φυτών.

5.10.2 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 9 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 και των 40 φυτών της μεταχείριση του μάρτυρα. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν όταν η ανθοδόχη έφτασε σε διάμετρο περί τα 7,5cm και συνεχίστηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (μία μέτρηση ανά επτά ημέρες).

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 13/7/2011 και οι επόμενες στις 20/7/2011, 27/7/2011, 3/8/2011, 10/8/2011, 17/8/2011, 24/8/2011, 31/8/2011 και 7/9/2011.

5.10.3 Μετρήσεις δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Για τον προσδιορισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκαν 11 μετρήσεις, στο διάστημα από 29 Ιουνίου έως 7 Σεπτεμβρίου. Γινόταν μετρήσεις σε προεπιλεγμένο σημείο (μήκος 2m περίπου) του κάθε πειραματικού τεμαχίου όπου η ανάπτυξη των φυτών ήταν αντιπροσωπευτική της καλλιέργειας και επαναλαμβανόταν 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 29/6/2011 και οι επόμενες στις 6/7/2011, 13/7/2011, 20/7/2011, 27/7/2011, 3/8/2011, 10/8/2011, 17/8/2011, 24/8/2011, 31/8/2011 και στις 7/9/2011.

5.10.4 Μετρήσεις χλωρής - ξηρής βιομάζας κεφαλών των φυτών

Η παραγωγικότητα της καλλιέργειας του ηλίανθου 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 (Εικόνα 5.10.4.1).

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 18/9/2011 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.



Εικόνα 5.10.4.1. Κοπή κεφαλών ηλίανθου.

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 και 40 φυτών για την μεταχείριση του μάρτυρα. Η κοπή των κεφαλών για τη μεταχείριση του μάρτυρα έγινε νωρίτερα στις 20/8/2011 για το λόγο ότι η γήρανση της καλλιέργειας συντόμευσε με αποτέλεσμα την προώθηση της παραγωγής.

5.10.5 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 και δύο για τον μάρτυρα. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιήθηκε στις 25/9/2011.

Ως τελική παραγωγή του ηλιάνθου 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.

5.11 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v. 17.0. Έγινε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με One-way ANOVA που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τη σύγκριση περισσότερων από δύο μέσων όρων. 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 τριών μεταχειρίσεων (ΛΥΜΑ-ΚΑΘΑΡΟ-ΜΑΡΤΥΡΑΣ), για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Κλιματικά δεδομένα

6.1.1 Θερμοκρασία - Βροχόπτωση

Στον Πίνακα 6.1.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου του 2011 σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες της τελευταίας 25ετίας καθώς και η ποσοστιαία επί τοις εκατό απόκλιση τους. Στον Πίνακα 6.1.1.1 καθώς και στο Διάγραμμα 6.1.1.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2011. Στον Πίνακα 6.1.1.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των θερμοκρασιών των τριών δεκαημέρων για κάθε μήνα της καλλιεργητικής περιόδου του 2011 συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους της τελευταίας 25ετίας. Στο Διάγραμμα 6.1.1.2 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών βροχόπτωσης ανά μήνα του 2011 με τους μέσους όρους της τελευταία 25ετία.

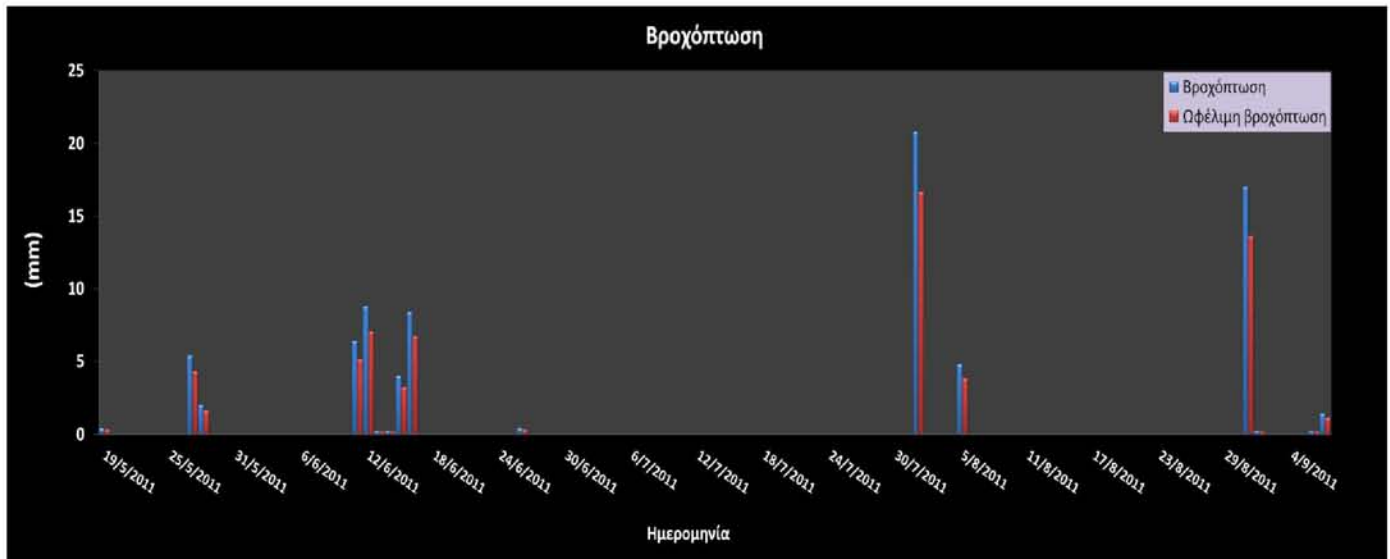
Πίνακας 6.1.1.1. Ποσοστιαία απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για την καλλιεργητική περίοδο του 2011.

Μήνας	Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του 2011 (mm)	Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης 25ετίας (mm)	Ποσοστιαία απόκλιση για την καλλιεργητική περίοδο του 2011 (%)
ΜΑΙΟΣ	26	37,5	- 31
ΙΟΥΝΙΟΣ	28,4	27,4	3,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	15,3	-100
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	42,6	7,8	- 34
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	23,8	36,3	- 30

Πίνακας 4.2. Βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2011.

Βροχόπτωση του 2011 (mm)	Ημερομηνία
0,4	19/5/2011
5,4	27/5/2011
2,0	28/5/2011
6,4	11/6/2011
8,8	12/6/2011
0,2	13/6/2011
0,2	14/6/2011
4,0	15/6/2011
8,4	16/6/2011
0,40	26/6/2011
20,80	1/8/2011

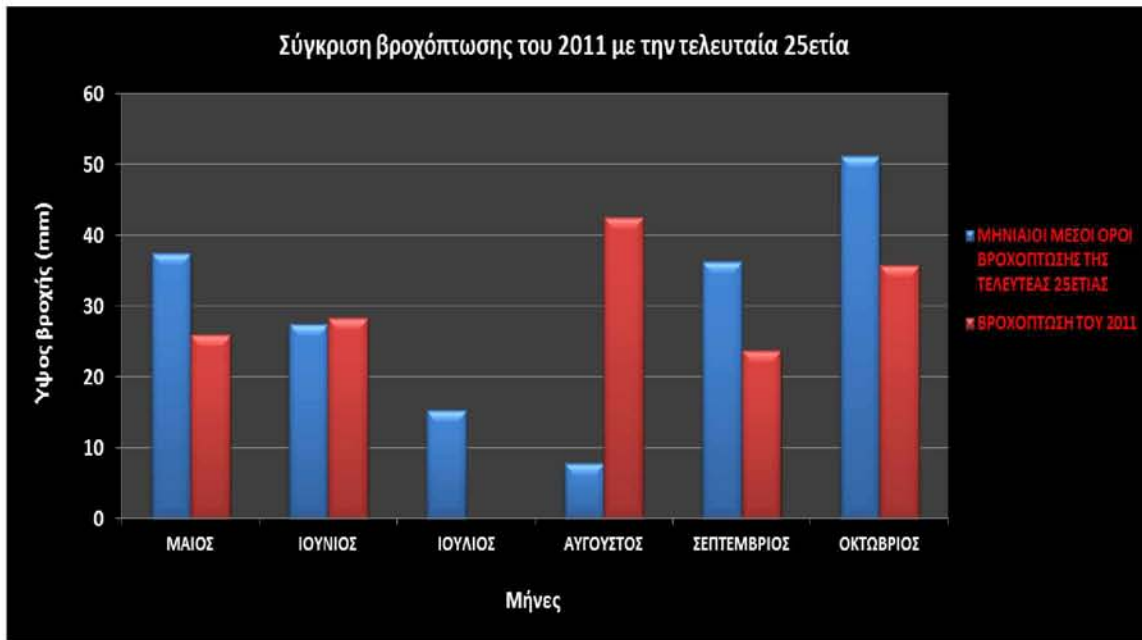
4,80	5/8/2011
17,0	31/8/2011
0,2	1/9/2011
0,2	6/9/2011
1,4	7/9/2011
80,6	Σύνολο



Διάγραμμα 6.1.1.1. Βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου 2011.

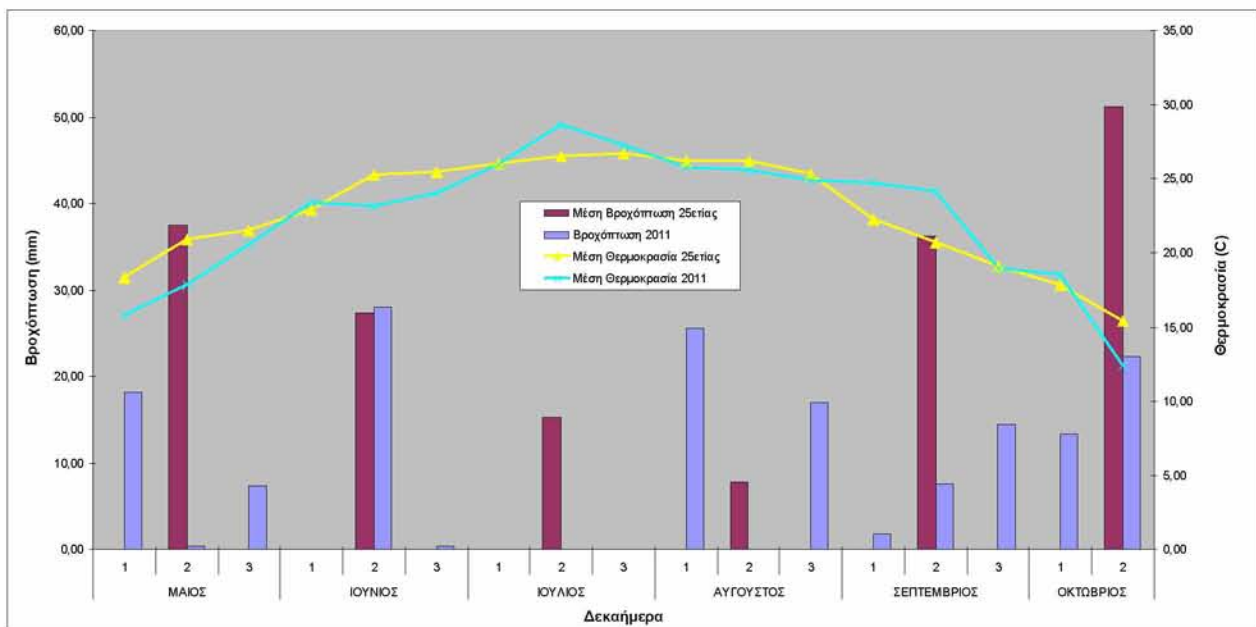
Πίνακας 6.1.1.2. Μέσες θερμοκρασίες της καλλιεργητικής περιόδου του 2011 και αντίστοιχες της τελευταίας 25ετίας.

Μήνας	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία
	πρώτου	πρώτου	δευτέρου	δευτέρου	τρίτου	τρίτου
	10ημέρου	10ημέρου	10ημέρου	10ημέρου	10ημέρου	10ημέρου
	2011	25ετίας	2011	25ετίας	2011	25ετίας
Μάιος	15,81	18,35	17,83	20,90	20,50	21,50
Ιούνιος	23,40	22,92	23,13	25,28	24,01	25,47
Ιούλιος	25,93	25,99	28,65	26,54	27,27	26,70
Αύγουστος	25,79	26,22	25,57	26,20	24,88	25,31
Σεπτέμβριος	24,72	22,29	24,12	20,74	18,95	19,12
Οκτώβριος	18,54	17,85	12,41	15,39	-	-



Διάγραμμα 6.1.1.2. Σύγκριση βροχόπτωσης του 2011 με την τελευταία 25ετία

Στο Διάγραμμα 6.1.1.3 φαίνονται η μέση θερμοκρασία και η ωφέλιμη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 καθώς και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων της τελευταίας 25ετίας.



Διάγραμμα 6.1.1.3. Μέσοι όροι θερμοκρασίας και βροχόπτωσης Μαΐου-Οκτωβρίου 2011 και των τελευταίων 25 ετών (ανά 10ήμερο).

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 6.1.1.3 οι βροχοπτώσεις από το 2ο δεκαήμερο του Μαΐου έως το 2ο δεκαήμερο του Ιουνίου αξιοποιήθηκαν από την

καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος και της ανάπτυξης της ταξιανθίας. Από τη σπορά (10/5/2011) έως και την έναρξη της άρδευσης (23/6/2011) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 35,8mm. Συγκεκριμένα στις 12/6/2011 σημειώθηκε η βροχόπτωση αυτής της περιόδου με τη μεγαλύτερη ένταση (8,8mm).

Από την έναρξη (20/5/2011) μέχρι και τη λήξη των αρδεύσεων (25/8/2011) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 61,4 mm ενώ κατά την άρδευση με υπόγειες σταγόνες από 23/6 έως 25/8/2011 αυτό έφτασε μόλις τα 26 mm.

Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος-Αύγουστος), συνέβησαν δέκα βροχοπτώσεις με την μεγαλύτερης έντασης βροχόπτωση να είναι εκείνη που σημειώθηκε στις 1/8/2011 (20,8mm).

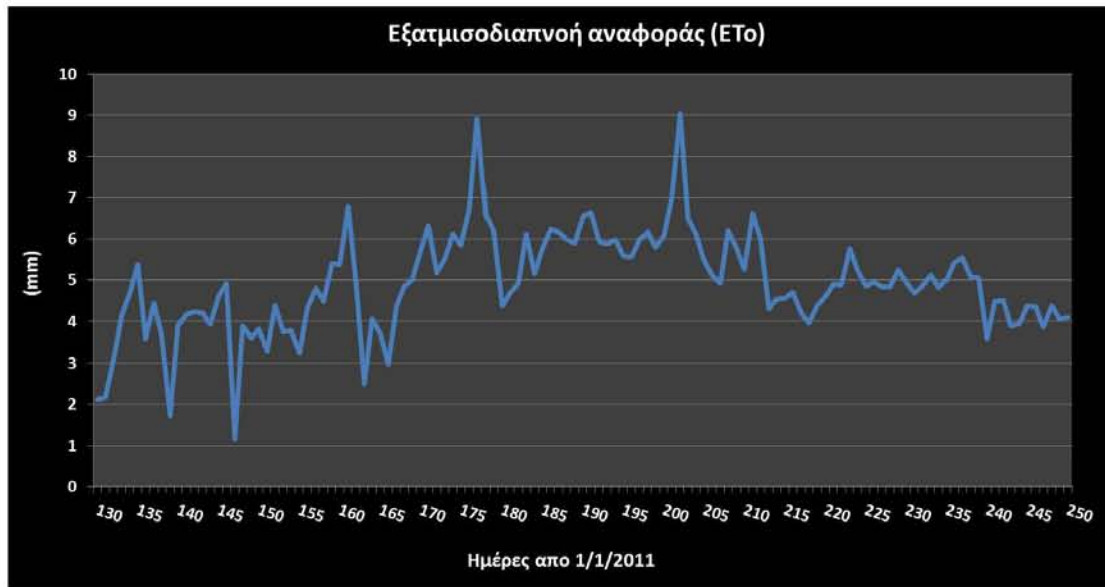
Από τη λήξη των αρδεύσεων (25/8/2011) μέχρι και την κοπή (18/9/2011) η βροχόπτωση ήταν συνολικά 18,8mm, με μεγαλύτερης έντασης εκείνη που σημειώθηκε στις 31/8/2011 (17,0mm).

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.

6.1.2 Εξατμισοδιαπνοή

Στα διαγράμματα 6.1.2.1, 6.1.2.2, και 6.1.2.3 απεικονίζονται η χρονική εξέλιξη της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο διάγραμμα 6.1.2.2 παρουσιάζονται οι δόσεις άρδευσης για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις που συμπίπτουν με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εφόσον η άρδευση γίνεται σε ποσοστό 100% αυτής.

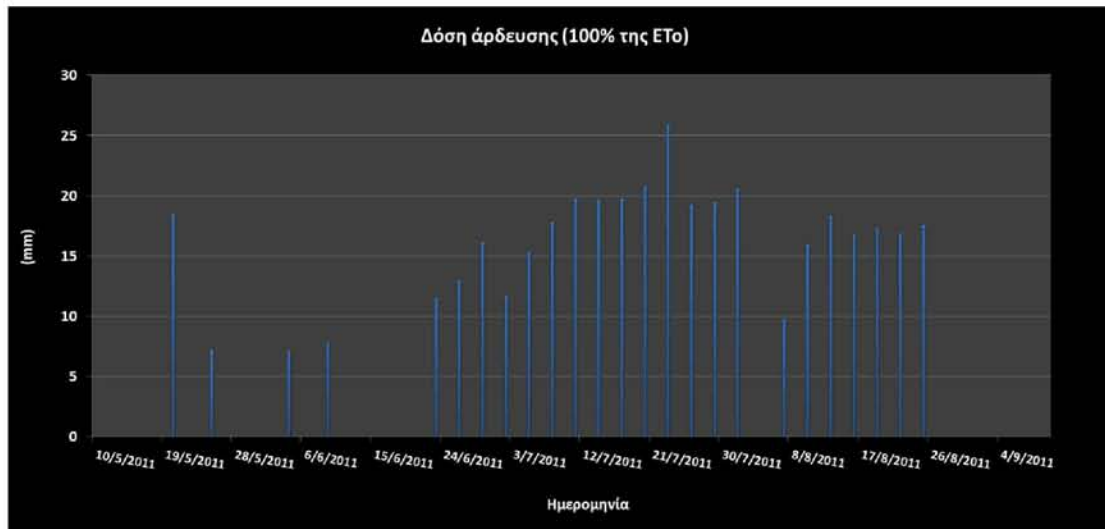


Διάγραμμα 6.1.2.1. Διακύμανση της εξατμισσοδιαπνοής αναφοράς κατά τη διάρκεια του πειράματος.



Διάγραμμα 6.1.2.2. Διακύμανση της εξατμισσοδιαπνοής κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Η διακύμανση της εξατμισσοδιαπνοής της καλλιέργειας παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 10,38mm στις 21/7/2011 (202 ημέρες από 01/01/2011), χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και μηδενική βροχόπτωση. Από τις 8/8/2011 (220 ημέρες από 01/01/2008) και μετά η εξατμισσοδιαπνοή καλλιέργειας σταδιακά μειωνόταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της εποχής.



Διάγραμμα 6.1.2.3. Δόσεις άρδευσης στην υπόγεια στάγδην άρδευση στο 100% της ΕΤο.

Εδώ βλέπουμε ότι οι ανάγκες σε νερό είναι αυξημένες (σύμφωνα με το μοντέλο άρδευσης Penman–Monteith κατά FAO-56) από το τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου και αρκετά αυξημένες τον κρίσιμο μήνα Ιούλιο. Από τις αρχές Αυγούστου έως και το τέλος των αρδεύσεων παρατηρείτε όπως είναι φυσικό μια πτώση των απαιτήσεων σε νερό δεδομένου των χαμηλότερων τιμών εξατμισοδιαπνοής.

6.2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στον Πίνακα 6.2.1 παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια εδαφολογικών παραμέτρων και αξιολογούνται σε κατηγορίες (φτωχό, επαρκώς εφοδιασμένο έδαφος κλπ.) ανάλογα με τη συγκέντρωση των στοιχείων στο έδαφος.

Επίσης, στον Πίνακα 6.2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων για τις δύο επεμβάσεις (ΚΑΘΑΡΟ και ΛΥΜΑ) που έγιναν στον πειραματικό αγρό κατά την έναρξη διεξαγωγής και λήξης του πειράματος.

Οι μετρήσεις που βλέπουμε στον Πίνακα 6.2.2 στις στήλες ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ αφορούν το δείγμα του χώματος πριν την σπορά της καλλιέργειας το 2011. Θα πρέπει να αναφερθεί πως το 2010 το πείραμα αυτό είχε επαναληφθεί επομένως είχε αρδευτεί το κατά τον ίδιο τρόπο, συγκομίστηκε η καλλιέργεια, και εφαρμόστηκε ελαφρά κατεργασία στον πειραματικό 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 2011.

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

Το ολικό άζωτο επίσης δεν παρουσίασε μεταβολή καθώς δεν μεταβάλλεται με το πέρασ 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 παρατηρήθηκε καμία σημαντική αλλαγή στις τιμές του ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις.

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

Παρόλο αυτά υπήρχαν και κάποιες τιμές που δεν μπόρεσαν να αιτιολογηθούν (οργανική ουσία βάθος 0-10cm, πριν την άρδευση και φώσφορος βάθος 30-50cm, μετά την άρδευση). Οι τιμές αυτές μπορεί να οφείλονται σε αποτέλεσμα επιμόλυνσης δειγμάτων.

Πίνακας 6.2.1. Αξιολόγηση των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν.

pH	6,5-7 ελαφρώς όξινο	7,6-8,2 αλκαλικό	>8,5 προβληματικό λόγω αλάτων	
Αγωγιμότητα (mS/cm)	<1000 χαμηλή	1000-2000 οριακή	2000-3000 υψηλή	>3000 πολύ υψηλή
% CaCO_3	1-2 μέτρια εφοδιασμένο	2-7 επαρκώς εφοδιασμένο	7-12 αρκετά εφοδιασμένο	
Οργανική ουσία %	<1 φτωχό	1-1,5% μετρίως εφοδιασμένο	>2 πλούσιο	

P (mg/kg)	<10 χαμηλή	10-18 μέτρια εφοδιασμένο	18-25 επαρκώς εφοδιασμένο	>25 υψηλή
K (mg/kg)	<80 χαμηλή	80-160 οριακή	160-250 ικανοποιητική	250-300 πολύ υψηλή
Zn (mg/kg)	χαμηλή	1-3 μέτρια εφοδιασμένο	3-6 επαρκώς εφοδιασμένο	>6 υψηλή
Cu (mg/kg)	<0,8 χαμηλή	0,8-1,2 μέτρια εφοδιασμένο	1,2-2 επαρκώς εφοδιασμένο	>2 υψηλή

Πηγή: Π.Ε.Γ.Ε.Α.Α. Λάρισα.

Πίνακας 6.2.2. 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	
		ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ											
		ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΛΥΜΑ
Μηχανική Σύσταση		Αμμοαργιλοπηλώδες SCL				Αμμοαργιλοπηλώδες SCL				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	8,11	8,14	8	8,03	8,16	8,08	8	8,07	8,19	8	8,07
CaCO ₃	%	5,45	-	-	-	4,49	-	-	-	8,09	-	-	-
P	mg/kg	19,06	17,74	19,62	19,97	16,43	16,36	16,86	17,55	15,18	16,31	20,01	14,03
Ηλ. Αγωγιμότητα	dS/m	0,21	0,23	0,23	0,38	0,20	0,23	0,22	0,37	0,21	0,27	0,23	0,36
K	mg/kg	51,69	52,62	67,38	75,28	41,72	43,03	67,38	71,33	40,85	29,80	75,28	79,24
Zn	mg/kg	0,67	1,04	0,30	0,68	0,70	1,58	0,41	0,34	1,97	0,45	1,18	0,23
Cu	mg/kg	1,43	1,45	1,65	1,40	2,87	0,93	1,69	1,06	1,12	0,87	1,76	0,96
N (Kjeldahl)	%	0,48	0,48	-	-	0,39	0,53	-	-	0,59	0,36	-	-

6.3 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.

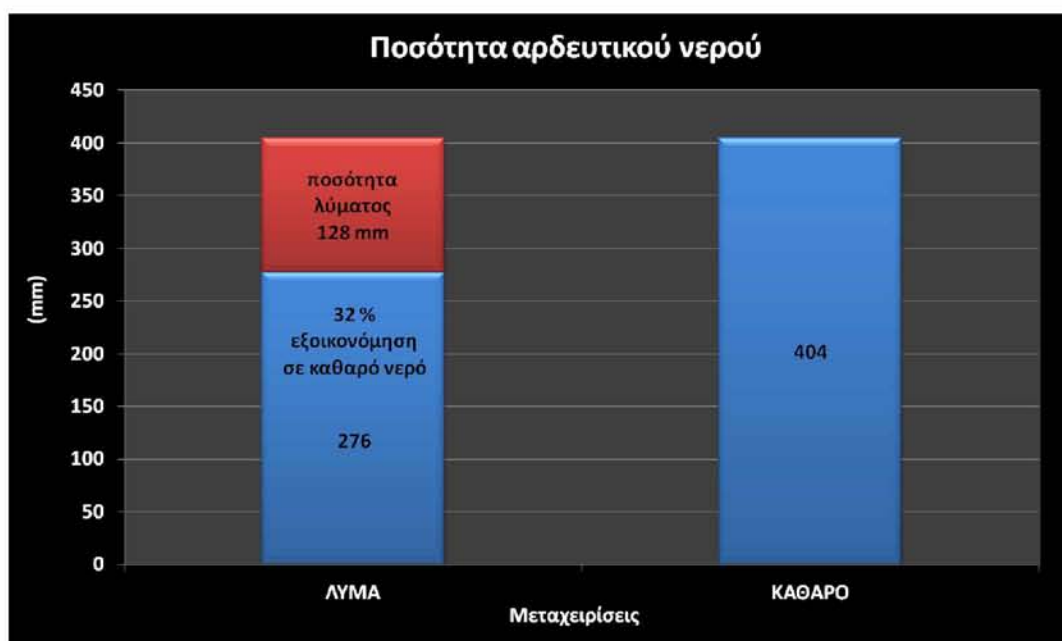
Στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ η άρδευση έγινε εξολοκλήρου με καθαρό νερό προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες της καλλιέργειας (25 αρδεύσεις). Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ πραγματοποιήθηκαν επίσης 25 αρδεύσεις αλλά οι 7 από αυτές ήταν αποκλειστικά με λύμα (128 mm) ενώ οι υπόλοιπες με καθαρό νερό (276 mm). Τέλος στη μεταχείριση του ΜΑΡΤΥΡΑ δεν πραγματοποιήθηκε άρδευση παρά μόνο η αρχική για να φυτρώσει η καλλιέργεια. Όσον αφορά το εύρος των αρδεύσεων αυτές πραγματοποιούνταν κάθε τρεις ημέρες και μετά από κάθε άρδευση με λύμα ακολουθούσαν δύο με καθαρό νερό στην μεταχείριση ΛΥΜΑ.

Ημερολογιακά το νερό φυτρώματος εφαρμόστηκε στις 15/5/2011 και σαν ποσότητα κάλυψε την υδατοϊκανότητα του εδάφους σε ένα επαρκές βάθος και ακολούθησαν τέσσερις αρδεύσεις με τεχνητή βροχή που πραγματοποιήθηκαν στις 20/5, 25/5, 4/6 και 9/6/2011. Η πρώτη άρδευση με υπόγειες σταγόνες έγινε στις 23/6/2011 εφαρμόζοντας καθαρό νερό σε κάθε μια από τις δυο αρδευόμενες μεταχειρίσεις και η πρώτη άρδευση με λύμα ακολούθησε στις 26/6/2011 για την μεταχείριση ΛΥΜΑ. Παρακάτω στον Πίνακα 6.3.1 παρουσιάζουμε τα στοιχεία των αρδεύσεων και στο Διάγραμμα 6.3.1 βλέπουμε τη συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε στις μεταχειρίσεις.

Πίνακας 6.3.1. Στοιχεία των αρδεύσεων.

Αριθμός άρδευσης	Ημερομηνία άρδευσης	Εξατμισοδιαπνοή Καλλιέργειας αθροιστικά (mm)	Ποσότητα νερού άρδευσης στη μεταχείριση Καθαρό (mm)	Ποσότητα άρδευσης καθαρού νερού στη μεταχείριση Λύμα (mm)	Ποσότητα άρδευσης λύματος στη μεταχείριση Λύμα (mm)
1	20/5/2011	18,48	18,48	18,48	
2	25/5/2011	7,16	7,16	7,16	
3	4/6/2011	7,11	7,11	7,11	
4	9/6/2011	7,80	7,80	7,80	
5	23/6/2011	11,51	11,51	11,51	
6	26/6/2011	12,95	12,95		12,95
7	29/6/2011	16,14	16,14	16,14	
8	2/7/2011	11,62	11,62	11,62	
9	5/7/2011	15,29	15,29		15,29
10	8/7/2011	17,77	17,77	17,77	
11	11/7/2011	19,77	19,77	19,77	
12	14/7/2011	19,65	19,65		19,65
13	17/7/2011	19,70	19,70	19,70	

14	20/7/2011	20,77	20,77	20,77	
15	23/7/2011	25,90	25,90		25,90
16	26/7/2011	19,23	19,23	19,23	
17	29/7/2011	19,45	19,45	19,45	
18	1/8/2011	20,56	20,56		20,56
19	7/8/2011	9,72	9,72	9,72	
20	10/8/2011	15,96	15,96		15,96
21	13/8/2011	18,26	18,26	18,26	
22	16/8/2011	16,84	16,84	16,84	
23	19/8/2011	17,30	17,30		17,30
24	22/8/2011	16,88	16,88	16,88	
25	25/8/2011	17,57	17,57	17,57	
Σύνολο		404	404	276	128



Διάγραμμα 6.3.1. Εξοικονόμηση νερού.

Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι στη μεταχείριση ΛΥΜΑ έπεσαν συνολικά 404mm νερού (όσα και στην μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ) από τα οποία τα 128mm ήταν λύμα και τα υπόλοιπα 276mm ήταν καθαρό νερό. Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ 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 31,68%. Πετύχαμε δηλαδή **περίπου 32% εξοικονόμηση σε καθαρό νερό.**

6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού παραγωγικών χαρακτηριστικών του ηλίανθου

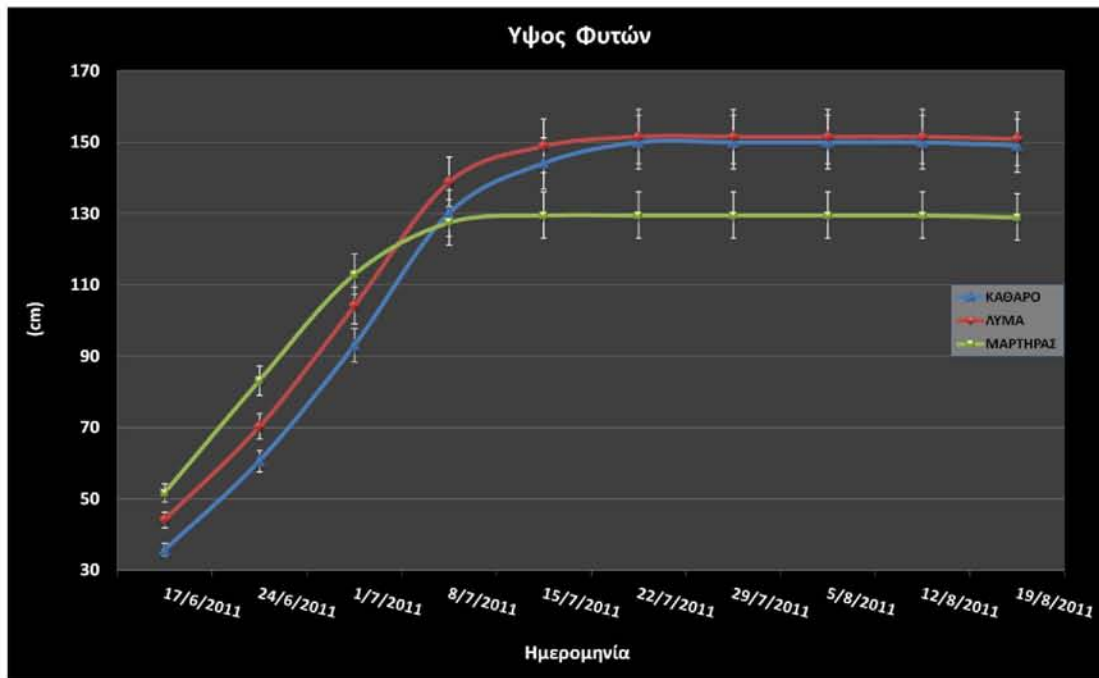
6.4.1 Ύψος φυτών

Στον Πίνακα 6.4.1.1 και στο Διάγραμμα 6.4.1.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων του ύψους για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2011 στο Βελεστίνο.

Πίνακας 6.4.1.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων του ύψους.

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις		
	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ
17/6/2011	44	36	52
24/6/2011	70	61	83
1/7/2011	104	93	113
8/7/2011	139	130	128
15/7/2011	149	144	130
22/7/2011	152	150	130
29/7/2011	152	150	130
5/8/2011	152	150	130
12/8/2011	152	150	130
19/8/2011	151	149	129

Παρατηρούμε ότι ο τελικός μέσος όρος ύψους στο ΜΑΡΤΥΡΑΣ δεν ξεπέρασε τα 130cm ενώ στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ ο τελικός μέσος όρος ήταν 150cm και στη μεταχείριση ΛΥΜΑ αυτός έφτασε τα 152cm. Οι τιμές των αρδευόμενων μεταχειρίσεων διαφέρουν ελάχιστα και υπερτερούν έναντι του ΜΑΡΤΥΡΑΣ.



Διάγραμμα 6.4.1.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανά μεταχείριση.

Στο Διάγραμμα 6.4.1.1 βλέπουμε την χρονική εξέλιξη του ύψους των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Βλέποντας το γράφημα παρατηρούμε ότι τα φυτά του ΜΑΡΤΥΡΑ είχαν μια απότομη αύξηση ύψους έναντι των άλλων μεταχειρίσεων που διήρκεσε όμως μέχρι τις αρχές Ιουλίου. Από εκεί και μετά η μειωμένη παροχή νερού στα φυτά λόγω μηδενικής άρδευσης οδήγησε στη μη κανονική ανάπτυξη τους, γεγονός που τα έκανε να υποχωρήσουν σε ύψος έναντι των άλλων μεταχειρίσεων. Οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις από τα μέσα Ιουλίου και μετά υπερτερούν έναντι του ΜΑΡΤΥΡΑ χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Η μεταχείριση ΛΥΜΑ από την αρχή της ανάπτυξής της υπερτερούσε αισθητά έναντι της μεταχείρισης ΚΑΘΑΡΟ αλλά στη συνέχεια, αυτή η διαρκώς μειούμενη διαφορά έγινε ελάχιστη. Από τη στατιστική ανάλυση φαίνεται ότι η διαφορά των τιμών ανάμεσα σε όλες τις μεταχειρίσεις, ακόμα και στο ΜΑΡΤΥΡΑ, δεν είναι στατιστικά σημαντική σε καμία από τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση εκτός της πρώτης (17/6/2011). Ο ρυθμός αύξησης του ύψους ήταν σε υψηλά επίπεδα έως και τις αρχές Ιουλίου όπου από εκεί και πέρα άρχισε να μειώνεται έως ότου η καλλιέργεια να αποκτήσει το τελικό ύψος περί τις 20 Ιουλίου.

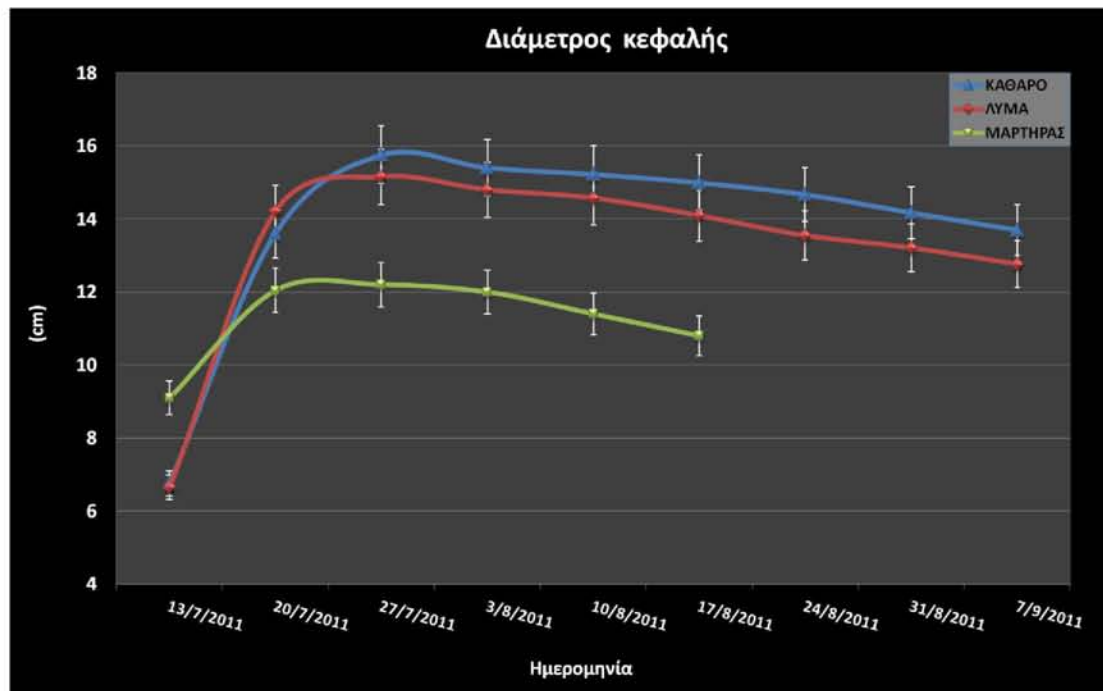
6.4.2 Διάμετρος κεφαλής

Στον Πίνακα 6.4.2.1 και στο διάγραμμα απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων διαμέτρου κεφαλής για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 6.4.2.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων της διαμέτρου κεφαλής.

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις		
	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ
13/7/2011	14	14	12
20/7/2011	15	16	12
27/7/2011	15	15	12
3/8/2011	15	15	11
10/8/2011	14	15	11
17/8/2011	14	15	
24/8/2011	13	14	
31/8/2011	13	14	
7/9/2011	13	14	

Παρατηρούμε ότι ο τελικός μέσος όρος διαμέτρου κεφαλής στο ΜΑΡΤΥΡΑ δεν ξεπέρασε τα 11cm, ενώ στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ ο τελικός μέσος όρος ήταν 14cm και στη μεταχείριση ΛΥΜΑ αυτός έφτασε τα 13cm.



Διάγραμμα 6.4.2.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων διαμέτρου κεφαλής ανά μεταχείριση.

Στο Διάγραμμα 6.4.2.1 βλέπουμε την χρονική εξέλιξη της διαμέτρου κεφαλής των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις για την καλλιεργητική περίοδο του 2011. Αρχικά βλέπουμε ότι υπάρχει σε όλες τις μεταχειρίσεις μια απότομη αύξηση της διαμέτρου κεφαλής. Στις αρδευόμενες μεταχειρίσεις, η αύξηση αυτή θα κορυφωθεί περί το τέλος του τρίτου δεκαημέρου του Ιουλίου ενώ στο ΜΑΡΤΗΡΑ θα σημειωθεί λίγες μέρες πιο πριν. Από εκεί και ύστερα παρατηρείται μια πτώση της διαμέτρου κεφαλής σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτό οφείλεται στην απώλεια υγρασίας των κεφαλών λόγω της φυσιολογικής γήρανσης της καλλιέργειας. Στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται στη σύγκριση των μέσων όρων της μεταχείρισης ΚΑΘΑΡΟ με το ΜΑΡΤΗΡΑ από τη 3^η έως την 6^η κατά σειρά μέτρηση ενώ δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ΛΥΜΑ και ΚΑΘΑΡΟ σε καμιά ημερομηνία μέτρησης.

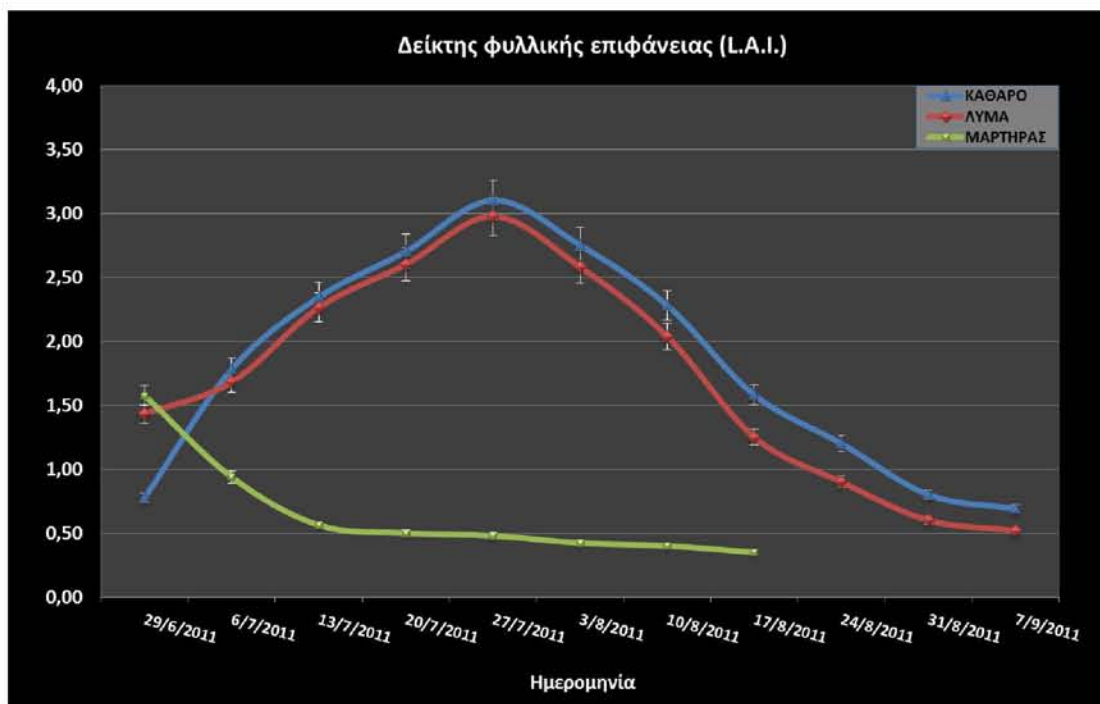
6.4.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Στον Πίνακα 6.4.3.1 και στο Διάγραμμα 6.4.3.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων του LAI για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Πίνακας 6.4.3.1. Μέσοι όροι των μετρήσεων του L.A.I..

Ημερομηνία	Μεταχειρίσεις		
	ΛΥΜΑ	ΚΑΘΑΡΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ
29/6/2011	1,4	0,8	1,6
6/7/2011	1,7	1,8	0,9
13/7/2011	2,2	2,3	0,6
20/7/2011	1,9	1,7	0,4
27/7/2011	3,1	3,0	0,5
3/8/2011	2,0	2,5	0,4
10/8/2011	2,0	2,5	0,4
17/8/2011	1,2	1,3	0,3
24/8/2011	0,8	1,1	
31/8/2011	0,5	0,7	
7/9/2011	0,6	0,7	

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή του L.A.I. στο ΜΑΡΤΥΡΑ ήταν 1,6 ενώ στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ έφτασε την τιμή 2,5 και τέλος στη μεταχείριση ΛΥΜΑ πήρε την τιμή 3,1.

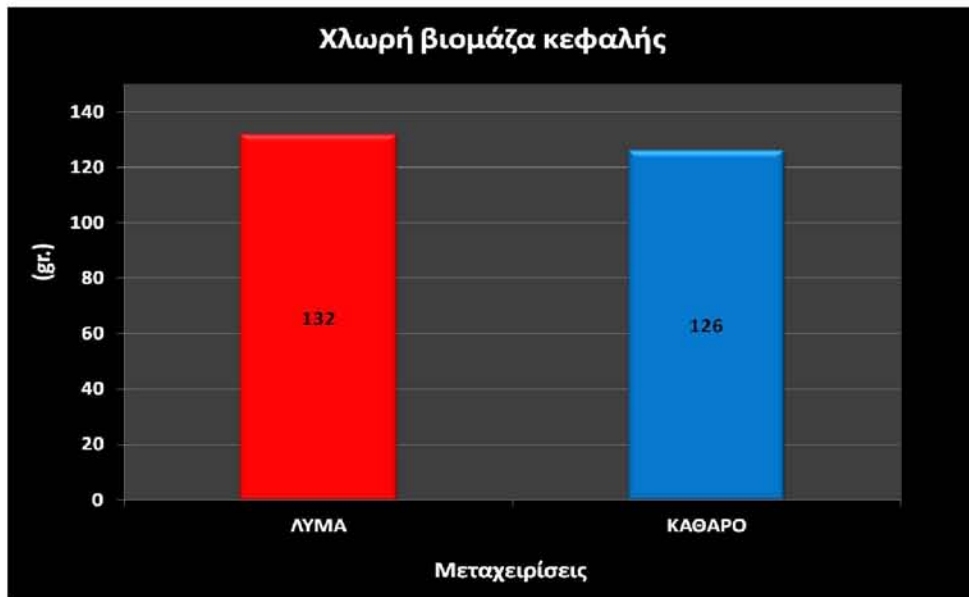


Διάγραμμα 6.4.3.1. Χρονική εξέλιξη των μέσων όρων του L.A.I. ανά μεταχείριση.

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Παρατηρούμε ότι οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις με εξαίρεση την πρώτη μέτρηση έχουν κοντινές τιμές έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. 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 τα τέλη Ιουλίου 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. Στη μεταχείριση του ΜΑΡΤΥΡΑ η τιμή του δείκτη LAI θα βρεθεί σε τιμή χαμηλότερη της μονάδας από τις αρχές Ιουλίου έως την συγκομιδή του. Οι χαμηλές τιμές στο μάρτυρα οφείλονται στην ανεπάρκεια της καλλιέργειας σε νερό και των φαινομένων που αυτή προκαλεί. Στατιστικά σημαντική διαφορά δεν υπάρχει μεταξύ των αρδευόμενων μεταχειρίσεων αλλά υπάρχει μεταξύ αυτών και του ΜΑΡΤΗΡΑ από την 3^η έως την 10^η μέτρηση.

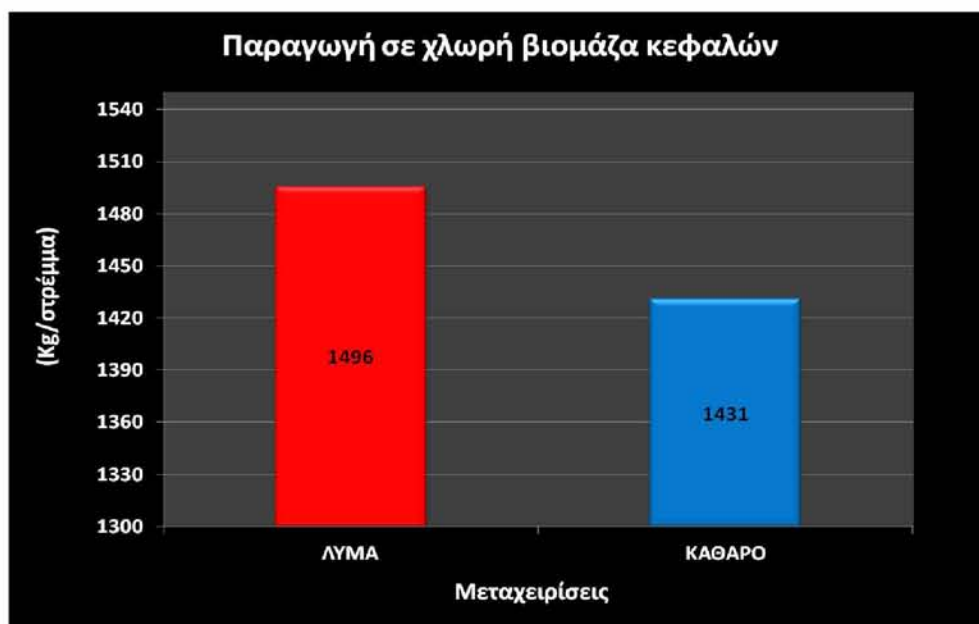
6.4.4 Χλωρή - Ξηρή βιομάζα κεφαλών

Παρακάτω παρουσιάζονται με γραφήματα οι τιμές βιομάζας για τις τρεις μεταχειρίσεις τόσο για το νωπό βάρος όσο και για το ξηρό. Κάνοντας αναγωγή του βάρους των κεφαλών στο στρέμμα προκύπτει και η τιμή της συνολικής βιομάζας τους ανά στρέμμα. Επίσης παρουσιάζετε και το ποσοστό νερού των κεφαλών για το σύνολο των μεταχειρίσεων. Τέλος παρουσιάζετε ένα ακόμα στατιστικό που δείχνει το μέσο βάρος της ποσότητας σπόρου που περιέχει κάθε κεφαλή.



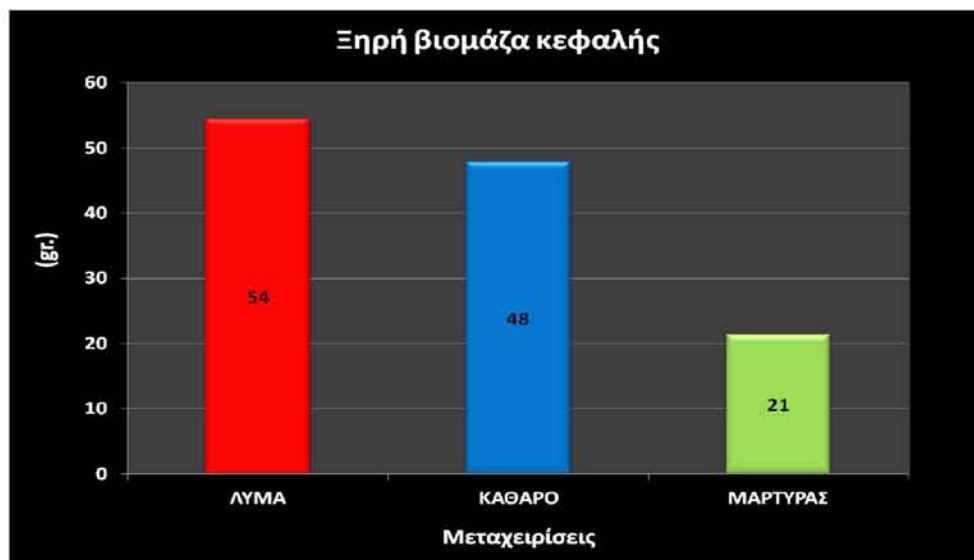
Διάγραμμα 6.4.4.1. Χλωρή βιομάζα κεφαλής.

Στο Διάγραμμα 6.4.4.1 βλέπουμε την απεικόνιση για το νωπό βάρος της κεφαλής μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ η τιμή της ανήλθε στα 132gr ανά κεφαλή ενώ στη ΚΑΘΑΡΟ τα 126gr. Για το ΜΑΡΤΥΡΑ δεν γνωρίζουμε το νωπό βάρος διότι η κοπή έγινε καθυστερημένα και τα φυτά έχασαν ένα μεγάλο μέρος της υγρασίας τους στον αγρό με τα περισσότερα από αυτά να έχουν οδηγηθεί σε απόλυτη ξήρανση. Παρόλα αυτά τα φυτά του ΜΑΡΤΥΡΑ οδηγήθηκαν σε ξήρανση στο φούρνο προκειμένου να χάσουν όλη την ποσότητα της υγρασίας τους και στο παρακάτω διάγραμμα που δείχνει τα ξηρά βάρη παρουσιάζονται και αυτά. Όσον αφορά τα νωπά βάρη οι μεταχειρίσεις δεν παρουσιάζουν στατιστικές διαφορές.



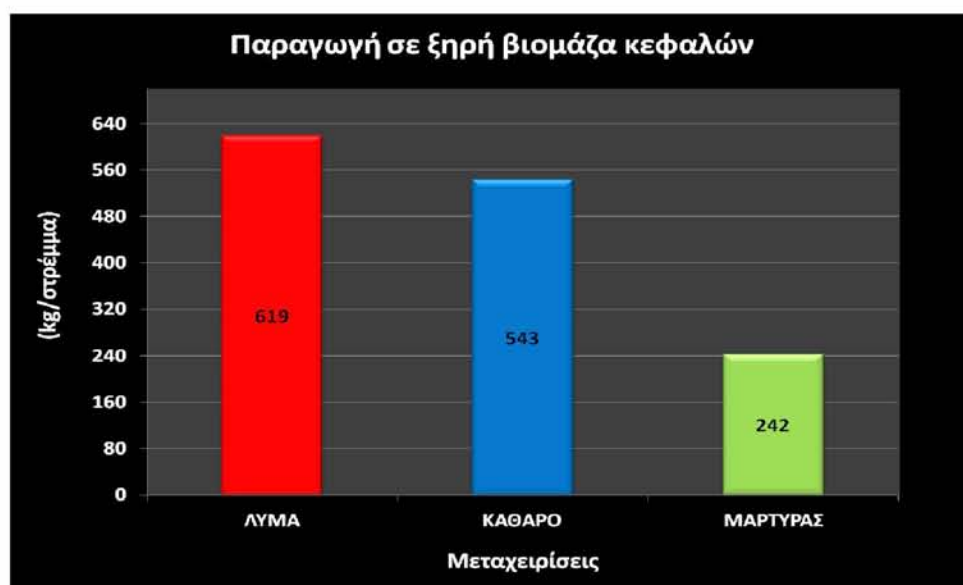
Διάγραμμα 6.4.4.2. Παραγωγή σε χλωρή βιομάζα κεφαλών ανά στρέμμα.

Στο Διάγραμμα 6.4.4.2 βλέπουμε την απεικόνιση για τη παραγωγή της χλωρής βιομάζας των κεφαλών ανά στρέμμα μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ η τιμή της ανήλθε στους 1,496 τόνους ανά στρέμμα ενώ στη ΚΑΘΑΡΟ στους 1,431 τόνους ανά στρέμμα.



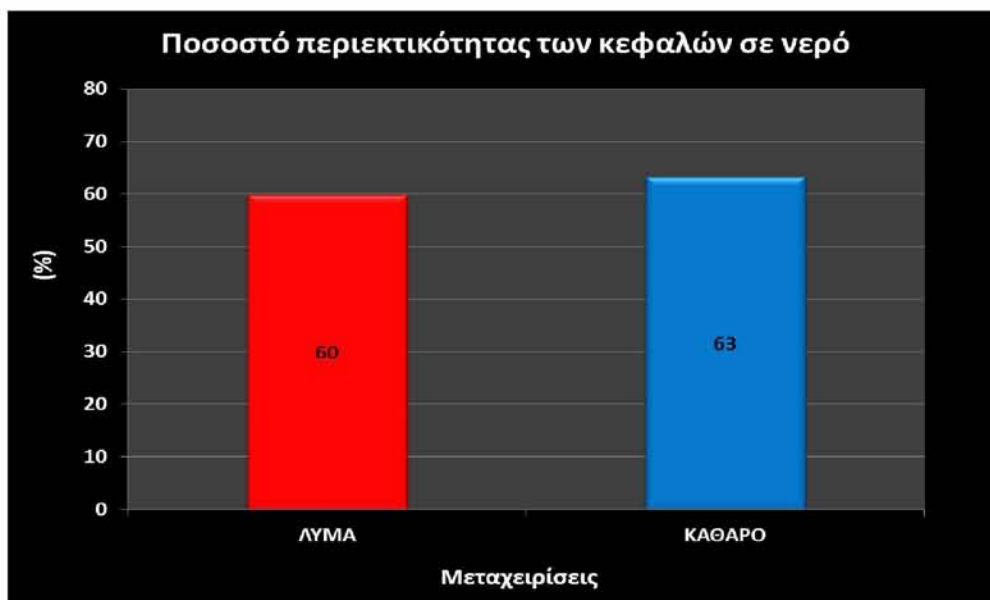
Διάγραμμα 6.4.4.3. Ξηρή βιομάζα κεφαλής.

Στο Διάγραμμα 6.4.4.3 βλέπουμε την απεικόνιση για το ξηρό βάρος της κεφαλής μεταξύ των μεταχειρίσεων και παρατηρούμε ότι το ξηρό βάρος για τη μεταχείριση ΛΥΜΑ έφτασε τα 54gr ανά κεφαλή ενώ στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ τα 48gr και τέλος ο ΜΑΡΤΗΡΑΣ έμεινε στα 21gr. Στατιστικά σημαντική διαφορά εμφανίζουν μόνο οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις σε σχέση με τον ΜΑΡΤΗΡΑ αλλά όχι αυτές μεταξύ τους.



Διάγραμμα 6.4.4.4. Παραγωγή σε ξηρή βιομάζα κεφαλών ανά στρέμμα.

Στο Διάγραμμα 6.4.4.4 βλέπουμε την απεικόνιση για τη παραγωγή της ξηρής βιομάζας των κεφαλών που υπάρχουν σε κάθε στρέμμα μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ η τιμή ανήλθε στα 619kg/στρ. ενώ στη μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ στα 543kg/στρ.. Τέλος η παραγωγή για το ΜΑΡΤΗΡΑ ανήλθε μόλις στα 242kg/στρ.



Διάγραμμα 6.4.4.5. Ποσοστό περιεκτικότητας των κεφαλών σε νερό.

Στο Διάγραμμα 6.4.4.5 βλέπουμε το ποσοστό περιεκτικότητας σε νερό των κεφαλών στις μεταχειρίσεις και παρατηρούμε ότι η μεταχείριση ΛΥΜΑ έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό με τιμή 60% ενώ η μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ περιέχει περισσότερο νερό κατά τρεις περίπου ποσοστιαίες μονάδες με τιμή 63%.



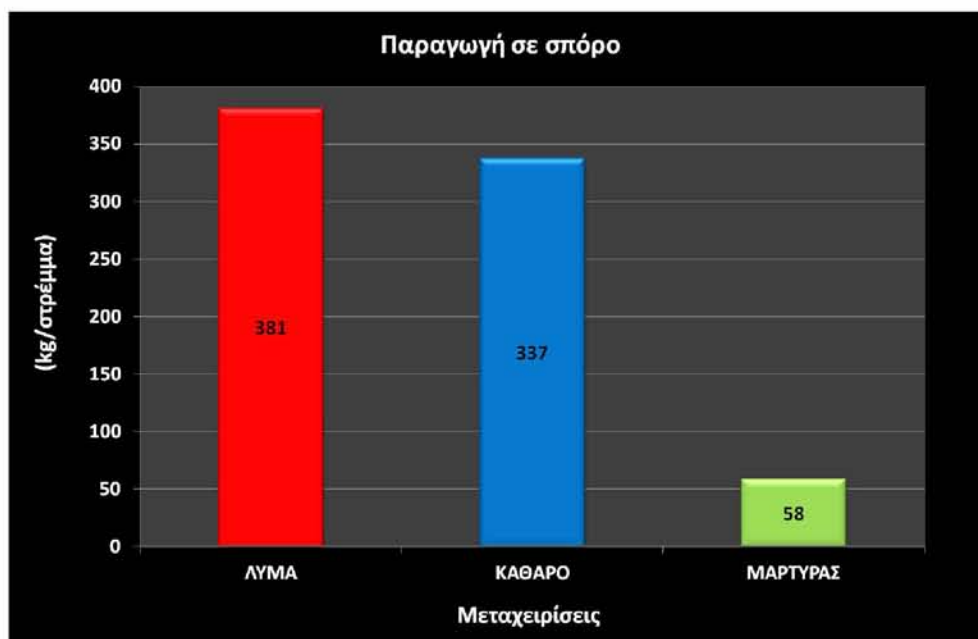
Διάγραμμα 6.4.4.6. Μέσο βάρος σπόρου ανά κεφαλή.

Όσον αφορά την παραγωγή βιομάζας ένα ακόμη στατιστικό που θεωρήσαμε σημαντικό ήταν το μέσο βάρος της ποσότητας σπόρου που περιέχει κάθε κεφαλή. Οι τιμές αυτού του χαρακτηριστικού προέκυψαν με βάση τα τελικά στοιχεία παραγωγής σπόρου, όπου αναφέρονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, ανάγοντάς τα ανά κεφαλή. Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές του για κάθε μεταχείριση. Παρατηρούμε ότι η μεταχείριση ΛΥΜΑ εμφανίζει οριακά μεγαλύτερη δυναμική έναντι της ΚΑΘΑΡΟ με τιμή 33,5gr/κεφ.. Η μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ ακολουθεί με 29,7gr/κεφ. και τέλος ο ΜΑΡΤΥΡΑΣ έμεινε σε χαμηλά επίπεδα με μόλις 5gr/κεφ..

6.4.5 Στοιχεία τελικής παραγωγής

6.4.5.1 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.



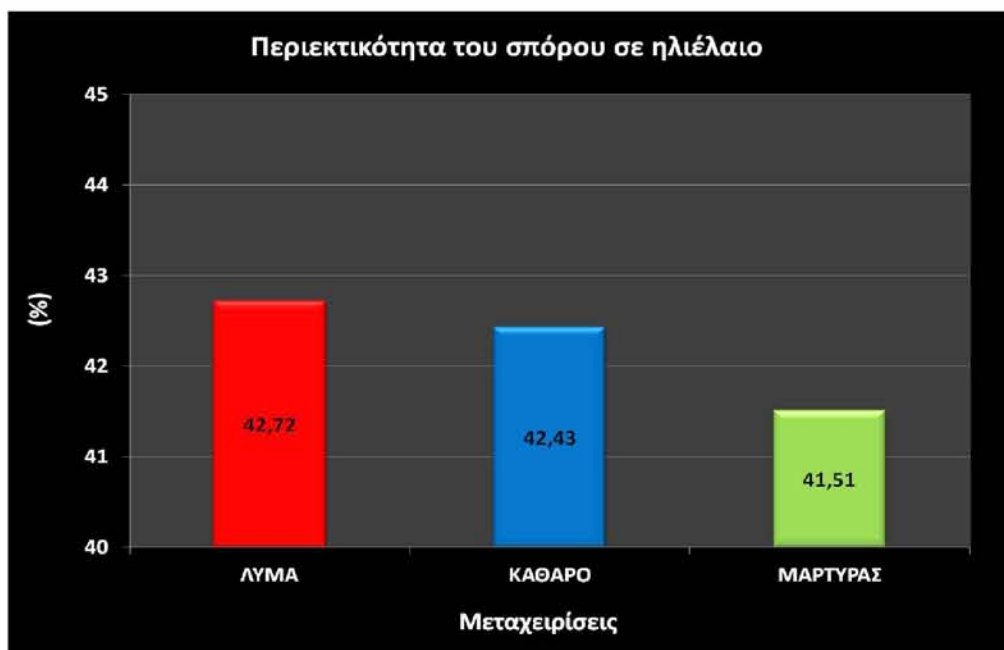
Διάγραμμα 6.4.5.1. Παραγωγή σε σπόρο.

Στο Διάγραμμα 6.4.5.1 βλέπουμε την τελική παράγωγη σε σπόρο ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Βλέπουμε ότι η μεταχείριση ΛΥΜΑ εμφανίζει δυναμικό παραγωγής τα 381kg/στρ. και ακολουθεί η μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ με 337kg/στρ..

Τέλος, ο ΜΑΡΤΥΡΑΣ έμεινε σε χαμηλά επίπεδα με μόλις 58kg/στρ.. Η διαφορά στη σύγκριση των τιμών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις ΛΥΜΑ και ΚΑΘΑΡΟ δεν είναι στατιστικά σημαντική. Ο ΜΑΡΤΥΡΑΣ εμφανίζει πολύ χαμηλή τιμή με στατιστικά σημαντική τη διαφορά της από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

6.4.5.2 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 6.4.5.2.1. Περιεκτικότητα σπόρου σε ηλιέλαιο.

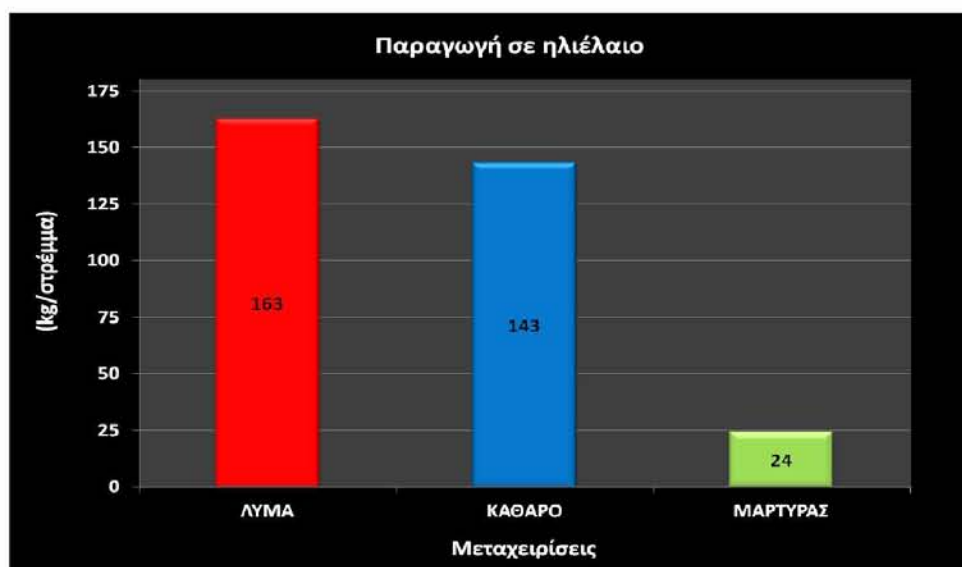
Στο Διάγραμμα 6.4.5.2.1 παρατηρούμε ότι οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις εμφανίζουν κοινή περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο και μόνο η μεταχείριση του ΜΑΡΤΥΡΑ εμφανίζει οριακά χαμηλότερη τιμή σχεδόν αμελητέα. Συγκεκριμένα για τη μεταχείριση ΛΥΜΑ έχουμε τιμή 43% ενώ για τη ΚΑΘΑΡΟ και ΜΑΡΤΥΡΑ έχουμε 42,5% και 41,5% αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι η ποιοτική διάφορα στο

αρδευτικό νερό δεν επηρεάζει το ποσοστό της περιεκτικότητας σε ηλιέλαιο. Κάτι τέτοιο δεν αλλάζει ακόμα και χωρίς άρδευση όπως φαίνεται από τη μεταχείριση του ΜΑΡΤΥΡΑ.



Διάγραμμα 6.4.5.2.2. Οξύτητα ηλιέλαιου.

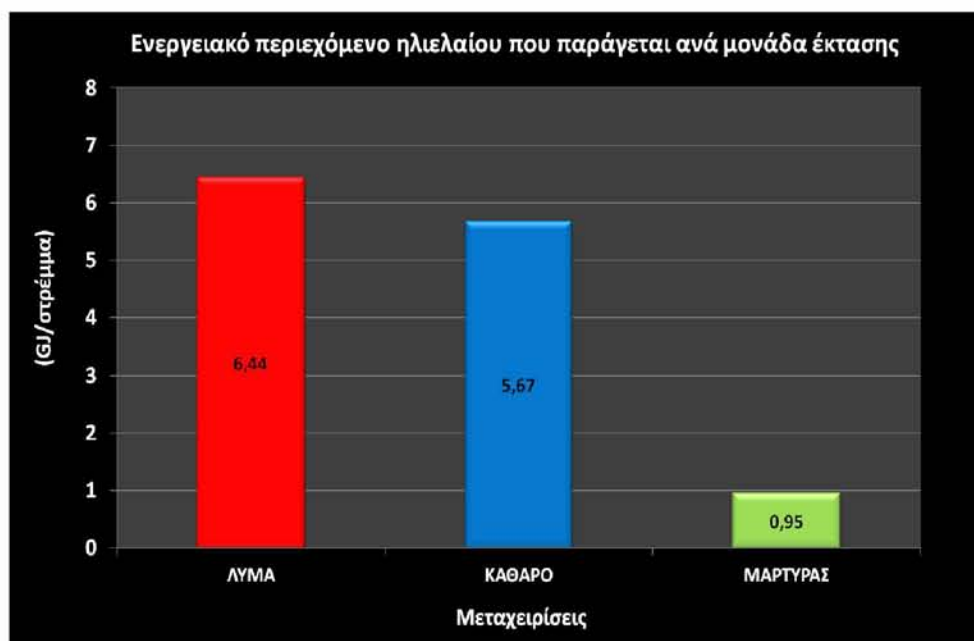
Η οξύτητα ενός ελαίου είναι η ποσότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων που υπάρχουν σε αυτό. Όσο μικρότερη είναι αυτή η ποσότητα τόσο καλύτερη θα είναι η ποιότητά του. Όσον αφορά την οξύτητα του ηλιέλαιου στο Διάγραμμα 6.4.5.2.2 παρατηρούμε ότι είναι μικρή η διαφορά ανάμεσα στις αρδευόμενες μεταχειρίσεις, με αυτήν του ΜΑΡΤΥΡΑ να εμφανίζει την μεγαλύτερη οξύτητα και του ΚΑΘΑΡΟΥ να ακολουθεί με ελαφρός μικρότερη τιμή και τέλος αυτή του ΛΥΜΑΤΟΣ να εμφανίζει την μικρότερη τιμή με μόλις 0,86%. Οι αντίστοιχες τιμές για τις άλλες μεταχειρίσεις είναι 1,22% για την μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ και 1,32% για την μεταχείριση του ΜΑΡΤΥΡΑ.



Διάγραμμα 6.4.5.2.3. Παραγωγή σε ηλιέλαιο.

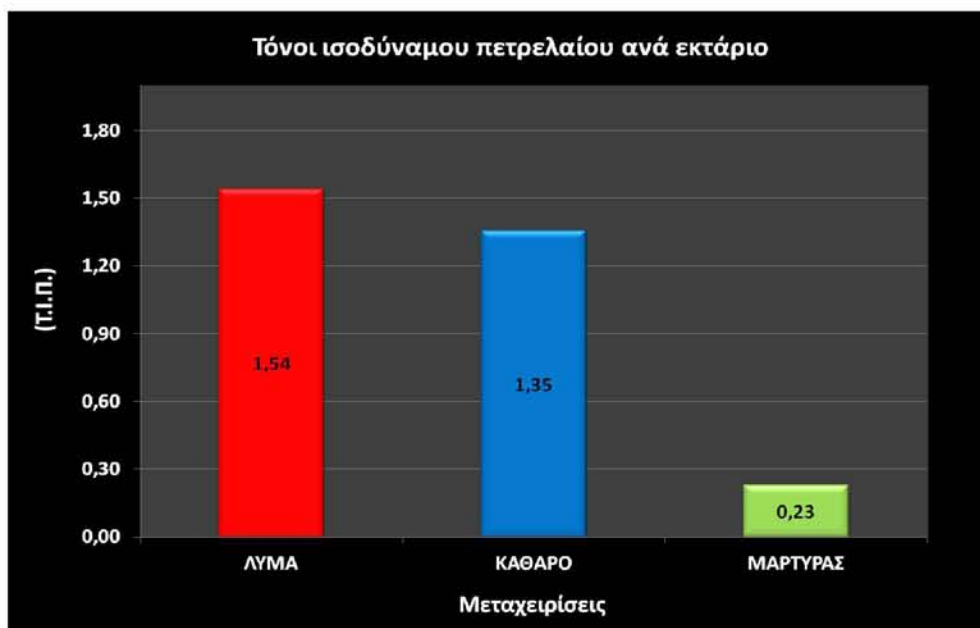
Στο Διάγραμμα 6.4.5.2.3 βλέπουμε την τελική παράγωγη σε ηλιέλαιο ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Όπως είναι φυσικό βλέπουμε και εδώ μια ανάλογη εικόνα. Συγκεκριμένα η μεταχείριση ΛΥΜΑ εμφανίζει παραγωγικότητα ηλιέλαιου 163kg/στρ. με την μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ να ακολουθεί με 143kg/στρ.. Τέλος, η μεταχείριση ΜΑΡΤΥΡΑΣ έμεινε σε χαμηλά επίπεδα με μόλις 24kg/στρ.

6.4.5.3 Παραγωγή σε ενέργεια

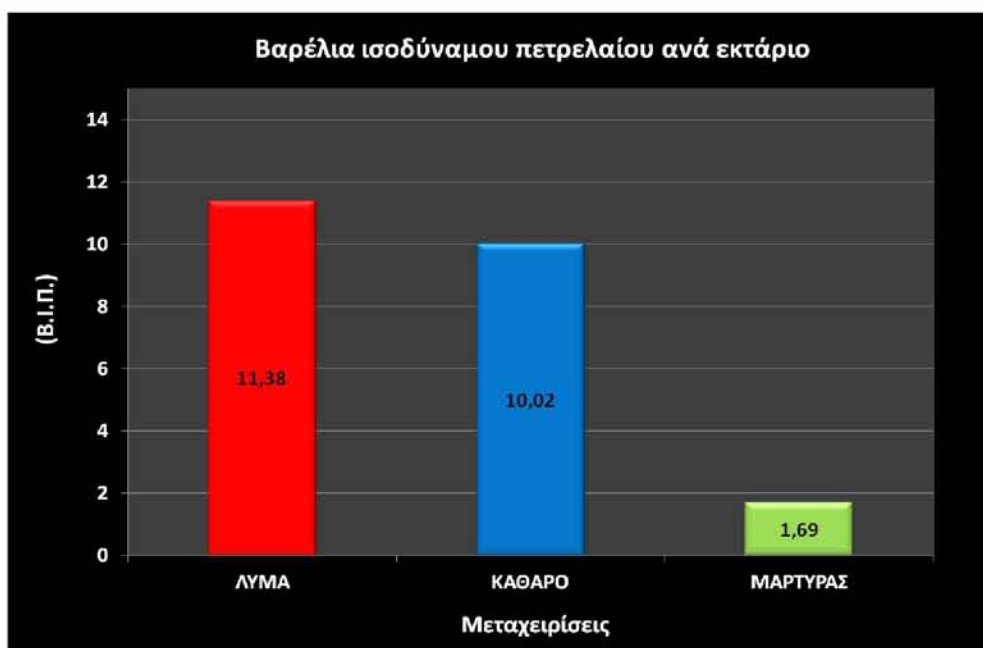


Διάγραμμα 6.4.5.3.1. Ενέργεια που εμπεριέχετε στο παραγόμενο ηλιέλαιο ανά στρέμμα.

Δεδομένου ότι η θερμογόνος δύναμη του ηλιέλαιου ανέρχεται περίπου στα 39,6MJ/kg. εκτιμήσαμε την ενέργεια που περιέχετε στο ηλιέλαιο που παράγετε σε κάθε στρέμμα καλλιέργειας. Στο παραπάνω διάγραμμα ακολουθεί η απεικόνιση. Συγκεκριμένα η μεταχείριση ΛΥΜΑ εμφανίζει ενεργειακό περιεχόμενο 6,44GJ/στρ. με την μεταχείριση ΚΑΘΑΡΟ να ακολουθεί με 5,67GJ/στρ. Τέλος ο ΜΑΡΤΥΡΑΣ έμεινε σε χαμηλά επίπεδα με μόλις 0,95GJ/στρ. Στην εκτίμηση της περιεκτικότητας του ηλιέλαιου σε ενέργεια και την αναγωγή αυτής παρακάτω σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου έγινε η εξής παραδοχή. Θεωρήσαμε ότι η θερμογόνος δύναμη του ηλιέλαιου είναι ή ίδια ανεξαρτήτως της μεταχείρισης.



Διάγραμμα 6.4.5.3.2. Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου ανά εκτάριο.



Διάγραμμα 6.4.5.3.3. Βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου ανά εκτάριο.

Στα Διαγράμματα 6.4.5.3.2 και 6.4.5.3.3 βλέπουμε το ενεργειακό περιεχόμενο του ηλιέλαιου, που παράγεται από κάθε εκτάριο καλλιέργειας, σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου και βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου για κάθε μεταχείριση. Ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου και είναι περίπου ίσος με 41,87GJ. ή 11,63MWh (International Energy Agency). Ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου επίσης ισοδυναμεί περίπου με 7,4 βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου. Στη μεταχείριση ΛΥΜΑ έχουμε παραγωγή 1,54 Τ.Ι.Π. ή 11,38 Β.Ι.Π., στη ΚΑΘΑΡΟ 1,35 Τ.Ι.Π. ή 10,02 Β.Ι.Π. και στο ΜΑΡΤΗΡΑ 0,23 Τ.Ι.Π. ή 1,69 Β.Ι.Π..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2011 δεν υπήρχε καθόλου βροχόπτωση για το κρίσιμο μήνα Ιούλιο ενώ στους υπόλοιπους μήνες εκτός του Αυγούστου (Μάιος, Ιούνιος και Σεπτέμβριος) 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 2011 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. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις χαμηλές αποδόσεις του μάρτυρα.

Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος της έρευνας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις αρδευόμενες μεταχειρίσεις σε όλες σχεδόν 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.

Ο μάρτυρας υποχωρούσε συγκριτικά έναντι των αρδευόμενων μεταχειρίσεων σε όλα τα παραγωγικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν επιβεβαιώνοντας την

ανάγκη για επαρκή άρδευση του ηλίανθου προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις. Οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά σε κανένα χαρακτηριστικό.

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 8.192 λίτρα λύματος. Επιτεύχθηκε έτσι μια εξοικονόμηση της τάξης του 32% 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. Παρόλο αυτά η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα θα πρέπει να περιοριστεί σε καλλιέργειες όπου τα προϊόντα τους δεν είναι βρώσιμα αλλά ούτε έρχονται σε άμεση επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι μικροβιακοί και τοξικοί

παράγοντες που πιθανόν περνούν στα προϊόντα και εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα ώστε να μην υπάρξουν σοβαροί υγειονομικοί κίνδυνοι. Η θέση μας είναι ότι η άρδευση με υγρά αστικά απόβλητα θα πρέπει να περιοριστεί σε ενεργειακές καλλιέργειες ή σε άρδευση καλλωπιστικών φυτών και αστικού πράσινου επωφελούμενοι την εξοικονόμηση σε καθαρό νερό. Για οποιαδήποτε άλλη αρδευτική χρήση με υγρά αστικά απόβλητα θα πρέπει να διεξαχθούν εξειδικευμένες χρόνιες διεπιστημονικές έρευνες που αφορούν την ασφάλεια τόσο του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων (έδαφος, αέρας, υδάτινοι πόροι) όσο και της ανθρώπινης υγείας. Θα πρέπει να μελετηθούν επικίνδυνοι παράγοντες που προκύπτουν από την χρήση λυμάτων όπως μικροβιολογικοί και βιοχημικοί καθώς και ο κύκλος ζωής αυτών των παραγόντων λαμβάνοντας πάντα υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος, την δημόσια υγεία και την διατήρηση της ισορροπίας των γεωργικών και όχι μόνο οικοσυστημάτων.

ABSTRACT

Last few years the problem of limited precipitations and consequently the lack of water, as a result of the rapid climatic changes, have been one of the main topics of discussion in environmental forums all over the world. On the other hand the more world population increases the more water consumption for civil and agriculture use increases and the more the urban wastewaters increases too. Under those circumstances, the national scientific community focuses their research on the possibility of reusing treated urban wastewaters in agriculture as a source of irrigation water.

The purpose of this study was to investigate the effects of treated urban wastewater, by using subsurface drip irrigation, on growth and crop yield of the energy plant helianthus. As well as to detect any change in soil properties and thus to evaluate the fresh water saving.

The field experiment was conducted in the farm of the University of Thessaly in Velestino, in an area 200m², in 2011 during May to September. The above area consisted of a split plot design with two treatments (fresh water and wastewater) in four replications. One treatment irrigated with fresh water from a borehole on the farm, while the other treatment irrigated with fresh water and wastewater. Each irrigation with wastewater is followed by two applications of freshwater irrigation, because of the high concentration of salts of wastewater.

The wastewater came from the Municipal Water Supply and Sewerage Company of Volos and had higher treatment and chlorination. There was also close monitoring of the quality of wastewater by measuring their physicochemical parameters. The amount of applied water was determined according to the daily evapotranspiration with the help of an A class evaporation pan, covering 100% of the water needs of the crop and implemented automatic irrigation program. The measurements taking place pertained to the height of the plants, the diameter of the heads of the plants, the leaf area index and the fresh and dry biomass of the sunflower heads. Furthermore, meteorological data (rainfall, air temperature etc.) were recorded in an automatic weather station of Agricultural Hydraulics Laboratory which was placed in the farm.

The results showed that the rate of growth (height of plants, leaf area index) and the final yield in fresh and dry biomass differed but not significantly in both treatments. However through the use of processed urban wastewater, a significant saving in fresh irrigation water was achieved.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στατιστική ανάλυση

Στους πίνακες της ANOVA που ακολουθούν έγινε σύγκριση των μέσων όρων για τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που μετρήθηκαν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. Για το ύψος, τη διάμετρο κεφαλής και τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) ακολουθεί ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA). Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις (μία για το κάθε ένα) για αυτά τα χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια ακολουθεί T-test που συγκρίνει τους μέσους όρους των αρδευόμενων μεταχειρίσεων όσον αφορά τη χλωρή βιομάζα κεφαλής. Σε αυτό το χαρακτηριστικό δεν υπάρχει τιμή για το MARTYPA για τον λόγο που αναφέραμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Ύστερα ακολουθούν δύο ακόμα αναλύσεις παραλλακτικότητας, μια για τη ξηρή βιομάζα της κεφαλής και μία για την παραγωγή σε σπόρο.

Στους πίνακες και συγκεκριμένα στις συγκρίσεις των μέσων όρων των ζευγαριών στην τιμή (1) αντιστοιχούν οι μέσοι όροι τις μεταχειρίσεις LYMA στην τιμή (2) τις ΚΑΘΑΡΟ και στην τιμή (3) του MARTYPA.

- Τα κελία VAR00001 έως VAR00010 δείχνουν την σύγκριση των μέσων όρων για το ύψος στις ημερομηνίες διεξαγωγής τη μέτρησης από την πρώτη έως την τελευταία σε σειρά μέτρηση.
- Τα κελία VAR00013 έως VAR00021 δείχνουν την σύγκριση των μέσων όρων για τη διάμετρο κεφαλής στις ημερομηνίες διεξαγωγής τη μέτρησης από την πρώτη έως την τελευταία σε σειρά μέτρηση.
- Τα κελία VAR00023 έως VAR00032 δείχνουν την σύγκριση των μέσων όρων για τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) στις ημερομηνίες διεξαγωγής τη μέτρησης από την πρώτη έως την τελευταία σε σειρά μέτρηση.
- Το κελί VAR0035 δείχνει την σύγκριση των μέσων όρων για τη χλωρή βιομάζα της κεφαλής.
- Το κελί VAR0037 δείχνει την σύγκριση των μέσων όρων για τη ξηρή βιομάζα της κεφαλής.
- Το κελί VAR0039 δείχνει την σύγκριση των μέσων όρων για τη για τη τελική παραγωγή σε σπόρο.

Oneway

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
VAR00001	1,00	4	44,2500	7,97392	3,98696	31,5617	56,9383	37,00	53,00
	2,00	4	35,7500	4,99166	2,49583	27,8072	43,6928	29,00	40,00
	3,00	4	51,7500	4,50000	2,25000	44,5895	58,9105	46,00	57,00
	Total	12	43,9167	8,73299	2,52100	38,3680	49,4653	29,00	57,00
VAR00002	1,00	4	70,5000	15,71623	7,85812	45,4920	95,5080	56,00	89,00
	2,00	4	60,7500	10,65755	5,32877	43,7915	77,7085	47,00	71,00
	3,00	4	83,2500	12,20314	6,10157	63,8321	102,6679	66,00	94,00
	Total	12	71,5000	15,21662	4,39266	61,8318	81,1682	47,00	94,00
VAR00003	1,00	4	104,2500	20,99802	10,49901	70,8375	137,6625	84,00	127,00
	2,00	4	92,7500	15,94522	7,97261	67,3776	118,1224	72,00	108,00
	3,00	4	113,0000	13,63818	6,81909	91,2986	134,7014	95,00	128,00
	Total	12	103,3333	17,75763	5,12619	92,0507	114,6160	72,00	128,00
VAR00004	1,00	4	138,7500	20,82266	10,41133	105,6165	171,8835	116,00	161,00
	2,00	4	130,2500	17,21191	8,60596	102,8620	157,6380	108,00	147,00
	3,00	4	128,7500	9,17878	4,58939	114,1445	143,3555	119,00	141,00
	Total	12	132,5833	15,59405	4,50161	122,6753	142,4913	108,00	161,00
VAR00005	1,00	4	149,0000	17,18527	8,59263	121,6544	176,3456	133,00	168,00
	2,00	4	144,0000	11,43095	5,71548	125,8108	162,1892	130,00	156,00
	3,00	4	128,2500	7,93200	3,96600	115,6284	140,8716	120,00	139,00
	Total	12	140,4167	14,78610	4,26838	131,0220	149,8113	120,00	168,00
VAR00006	1,00	4	151,7500	17,50000	8,75000	123,9036	179,5964	135,00	171,00
	2,00	4	150,2500	11,02648	5,51324	132,7044	167,7956	137,00	162,00
	3,00	4	129,2500	8,05709	4,02854	116,4294	142,0706	121,00	140,00
	Total	12	143,7500	15,79485	4,55958	133,7144	153,7856	121,00	171,00
VAR00007	1,00	4	151,0000	16,51262	8,25631	124,7247	177,2753	136,00	169,00
	2,00	4	148,2500	10,27538	5,13769	131,8996	164,6004	136,00	159,00
	3,00	4	129,2500	7,71902	3,85951	116,9673	141,5327	122,00	140,00
	Total	12	142,8333	14,88033	4,29558	133,3788	152,2878	122,00	169,00
VAR00008	1,00	4	151,2500	16,87947	8,43974	124,3910	178,1090	136,00	170,00
	2,00	4	149,0000	10,09950	5,04975	132,9294	165,0706	137,00	160,00
	3,00	4	129,7500	7,58837	3,79418	117,6752	141,8248	122,00	140,00
	Total	12	143,3333	14,92608	4,30879	133,8498	152,8169	122,00	170,00
VAR00009	1,00	4	151,5000	14,84363	7,42181	127,8805	175,1195	136,00	167,00
	2,00	4	149,0000	9,86577	4,93288	133,3014	164,6986	138,00	160,00
	3,00	4	130,2500	6,70199	3,35099	119,5856	140,9144	125,00	140,00
	Total	12	143,5833	14,03540	4,05167	134,6657	152,5010	125,00	167,00
VAR00010	1,00	4	151,7500	16,37834	8,18917	125,6884	177,8116	136,00	170,00
	2,00	4	149,7500	9,50000	4,75000	134,6334	164,8666	139,00	160,00
	3,00	4	130,2500	6,70199	3,35099	119,5856	140,9144	125,00	140,00
	Total	12	143,9167	14,58180	4,20940	134,6518	153,1815	125,00	170,00

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VAR00001	2,719	2	9	,119
VAR00002	,888	2	9	,445
VAR00003	1,534	2	9	,267
VAR00004	2,836	2	9	,111
VAR00005	4,082	2	9	,055
VAR00006	4,460	2	9	,045
VAR00007	4,900	2	9	,036
VAR00008	4,940	2	9	,036
VAR00009	4,736	2	9	,039
VAR00010	6,220	2	9	,020

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	512,667	2	256,333	7,071	,014
VAR00001 Within Groups	326,250	9	36,250		
Total	838,917	11			
Between Groups	1018,500	2	509,250	2,999	,100
VAR00002 Within Groups	1528,500	9	169,833		
Total	2547,000	11			
Between Groups	825,167	2	412,583	1,405	,294
VAR00003 Within Groups	2643,500	9	293,722		
Total	3468,667	11			
Between Groups	232,667	2	116,333	,429	,664
VAR00004 Within Groups	2442,250	9	271,361		
Total	2674,917	11			
Between Groups	938,167	2	469,083	2,878	,108
VAR00005 Within Groups	1466,750	9	162,972		
Total	2404,917	11			
Between Groups	1266,000	2	633,000	3,854	,062
VAR00006 Within Groups	1478,250	9	164,250		
Total	2744,250	11			
Between Groups	1122,167	2	561,083	3,844	,062
VAR00007 Within Groups	1313,500	9	145,944		
Total	2435,667	11			
Between Groups	1117,167	2	558,583	3,770	,065
VAR00008 Within Groups	1333,500	9	148,167		
Total	2450,667	11			
Between Groups	1079,167	2	539,583	4,464	,045
VAR00009 Within Groups	1087,750	9	120,861		
Total	2166,917	11			
Between Groups	1128,667	2	564,333	4,197	,052
VAR00010 Within Groups	1210,250	9	134,472		
Total	2338,917	11			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I) VAR00011	(J) VAR00011	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
VAR00001	1,00	2,00	8,50000	4,25735	,231	-3,9882	20,9882
		3,00	-7,50000	4,25735	,336	-19,9882	4,9882
	2,00	1,00	-8,50000	4,25735	,231	-20,9882	3,9882
		3,00	-16,00000*	4,25735	,013	-28,4882	-3,5118
	3,00	1,00	7,50000	4,25735	,336	-4,9882	19,9882
		2,00	16,00000*	4,25735	,013	3,5118	28,4882
VAR00002	1,00	2,00	9,75000	9,21502	,953	-17,2807	36,7807
		3,00	-12,75000	9,21502	,599	-39,7807	14,2807
	2,00	1,00	-9,75000	9,21502	,953	-36,7807	17,2807
		3,00	-22,50000	9,21502	,112	-49,5307	4,5307
	3,00	1,00	12,75000	9,21502	,599	-14,2807	39,7807
		2,00	22,50000	9,21502	,112	-4,5307	49,5307
VAR00003	1,00	2,00	11,50000	12,11863	1,000	-24,0479	47,0479
		3,00	-8,75000	12,11863	1,000	-44,2979	26,7979
	2,00	1,00	-11,50000	12,11863	1,000	-47,0479	24,0479
		3,00	-20,25000	12,11863	,387	-55,7979	15,2979
	3,00	1,00	8,75000	12,11863	1,000	-26,7979	44,2979
		2,00	20,25000	12,11863	,387	-15,2979	55,7979
VAR00004	1,00	2,00	8,50000	11,64820	1,000	-25,6679	42,6679
		3,00	10,00000	11,64820	1,000	-24,1679	44,1679
	2,00	1,00	-8,50000	11,64820	1,000	-42,6679	25,6679
		3,00	1,50000	11,64820	1,000	-32,6679	35,6679
	3,00	1,00	-10,00000	11,64820	1,000	-44,1679	24,1679
		2,00	-1,50000	11,64820	1,000	-35,6679	32,6679
VAR00005	1,00	2,00	5,00000	9,02697	1,000	-21,4790	31,4790
		3,00	20,75000	9,02697	,141	-5,7290	47,2290
	2,00	1,00	-5,00000	9,02697	1,000	-31,4790	21,4790
		3,00	15,75000	9,02697	,345	-10,7290	42,2290
	3,00	1,00	-20,75000	9,02697	,141	-47,2290	5,7290
		2,00	-15,75000	9,02697	,345	-42,2290	10,7290
VAR00006	1,00	2,00	1,50000	9,06228	1,000	-25,0826	28,0826
		3,00	22,50000	9,06228	,104	-4,0826	49,0826
	2,00	1,00	-1,50000	9,06228	1,000	-28,0826	25,0826
		3,00	21,00000	9,06228	,137	-5,5826	47,5826
	3,00	1,00	-22,50000	9,06228	,104	-49,0826	4,0826
		2,00	-21,00000	9,06228	,137	-47,5826	5,5826
VAR00007	1,00	2,00	2,75000	8,54238	1,000	-22,3076	27,8076
		3,00	21,75000	8,54238	,094	-3,3076	46,8076
	2,00	1,00	-2,75000	8,54238	1,000	-27,8076	22,3076
		3,00	19,00000	8,54238	,160	-6,0576	44,0576
	3,00	1,00	-21,75000	8,54238	,094	-46,8076	3,3076
		2,00	-19,00000	8,54238	,160	-44,0576	6,0576
VAR00008	1,00	2,00	2,25000	8,60717	1,000	-22,9976	27,4976

		3,00	21,50000	8,60717	,102	-3,7476	46,7476
	2,00	1,00	-2,25000	8,60717	1,000	-27,4976	22,9976
		3,00	19,25000	8,60717	,156	-5,9976	44,4976
	3,00	1,00	-21,50000	8,60717	,102	-46,7476	3,7476
		2,00	-19,25000	8,60717	,156	-44,4976	5,9976
VAR00009	1,00	2,00	2,50000	7,77371	1,000	-20,3028	25,3028
		3,00	21,25000	7,77371	,069	-1,5528	44,0528
	2,00	1,00	-2,50000	7,77371	1,000	-25,3028	20,3028
		3,00	18,75000	7,77371	,117	-4,0528	41,5528
	3,00	1,00	-21,25000	7,77371	,069	-44,0528	1,5528
		2,00	-18,75000	7,77371	,117	-41,5528	4,0528
VAR00010	1,00	2,00	2,00000	8,19976	1,000	-22,0526	26,0526
		3,00	21,50000	8,19976	,083	-2,5526	45,5526
	2,00	1,00	-2,00000	8,19976	1,000	-26,0526	22,0526
		3,00	19,50000	8,19976	,124	-4,5526	43,5526
	3,00	1,00	-21,50000	8,19976	,083	-45,5526	2,5526
		2,00	-19,50000	8,19976	,124	-43,5526	4,5526

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Oneway

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
VAR00013	1,00	4	6,5000	1,73205	,86603	3,7439	9,2561	5,00	8,00
	2,00	4	6,5000	1,29099	,64550	4,4457	8,5543	5,00	8,00
	3,00	4	9,0000	1,63299	,81650	6,4015	11,5985	7,00	11,00
	Total	12	7,3333	1,87487	,54123	6,1421	8,5246	5,00	11,00
VAR00014	1,00	4	14,2500	3,20156	1,60078	9,1556	19,3444	11,00	17,00
	2,00	4	13,5000	3,10913	1,55456	8,5527	18,4473	10,00	17,00
	3,00	4	12,0000	1,82574	,91287	9,0948	14,9052	10,00	14,00
	Total	12	13,2500	2,70101	,77971	11,5339	14,9661	10,00	17,00
VAR00015	1,00	4	15,0000	2,30940	1,15470	11,3252	18,6748	13,00	17,00
	2,00	4	16,0000	1,82574	,91287	13,0948	18,9052	14,00	18,00
	3,00	4	12,0000	1,41421	,70711	9,7497	14,2503	11,00	14,00
	Total	12	14,3333	2,46183	,71067	12,7692	15,8975	11,00	18,00
VAR00016	1,00	4	14,5000	1,91485	,95743	11,4530	17,5470	13,00	17,00
	2,00	4	15,7500	1,50000	,75000	13,3632	18,1368	14,00	17,00
	3,00	4	12,2500	1,50000	,75000	9,8632	14,6368	11,00	14,00
	Total	12	14,1667	2,12489	,61340	12,8166	15,5168	11,00	17,00
VAR00017	1,00	4	14,5000	2,38048	1,19024	10,7121	18,2879	12,00	17,00
	2,00	4	15,5000	1,73205	,86603	12,7439	18,2561	14,00	17,00
	3,00	4	11,0000	1,15470	,57735	9,1626	12,8374	10,00	12,00
	Total	12	13,6667	2,60536	,75210	12,0113	15,3220	10,00	17,00
VAR00018	1,00	4	14,0000	1,82574	,91287	11,0948	16,9052	12,00	16,00
	2,00	4	15,2500	1,50000	,75000	12,8632	17,6368	14,00	17,00
	3,00	4	11,0000	1,15470	,57735	9,1626	12,8374	10,00	12,00
	Total	12	13,4167	2,31432	,66809	11,9462	14,8871	10,00	17,00
VAR00019	1,00	4	13,7500	2,06155	1,03078	10,4696	17,0304	12,00	16,00
	2,00	4	14,7500	2,06155	1,03078	11,4696	18,0304	13,00	17,00
	3,00	4	11,0000	1,15470	,57735	9,1626	12,8374	10,00	12,00
	Total	12	13,1667	2,32900	,67232	11,6869	14,6464	10,00	17,00
VAR00020	1,00	4	13,2500	2,06155	1,03078	9,9696	16,5304	11,00	15,00
	2,00	4	14,2500	1,50000	,75000	11,8632	16,6368	13,00	16,00
	3,00	4	11,0000	1,15470	,57735	9,1626	12,8374	10,00	12,00
	Total	12	12,8333	2,03753	,58818	11,5388	14,1279	10,00	16,00
VAR00021	1,00	4	12,5000	1,73205	,86603	9,7439	15,2561	11,00	14,00
	2,00	4	13,7500	1,50000	,75000	11,3632	16,1368	12,00	15,00
	3,00	4	11,0000	1,15470	,57735	9,1626	12,8374	10,00	12,00
	Total	12	12,4167	1,78164	,51432	11,2847	13,5487	10,00	15,00

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VAR00013	,600	2	9	,569
VAR00014	2,864	2	9	,109
VAR00015	3,000	2	9	,100
VAR00016	,250	2	9	,784
VAR00017	9,000	2	9	,007
VAR00018	1,500	2	9	,274
VAR00019	6,750	2	9	,016
VAR00020	5,250	2	9	,031
VAR00021	4,500	2	9	,044

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00013	Between Groups	16,667	2	8,333	3,409	,079
	Within Groups	22,000	9	2,444		
	Total	38,667	11			
VAR00014	Between Groups	10,500	2	5,250	,677	,532
	Within Groups	69,750	9	7,750		
	Total	80,250	11			
VAR00015	Between Groups	34,667	2	17,333	4,875	,037
	Within Groups	32,000	9	3,556		
	Total	66,667	11			
VAR00016	Between Groups	25,167	2	12,583	4,622	,042
	Within Groups	24,500	9	2,722		
	Total	49,667	11			
VAR00017	Between Groups	44,667	2	22,333	6,700	,017
	Within Groups	30,000	9	3,333		
	Total	74,667	11			
VAR00018	Between Groups	38,167	2	19,083	8,277	,009
	Within Groups	20,750	9	2,306		
	Total	58,917	11			
VAR00019	Between Groups	30,167	2	15,083	4,602	,042
	Within Groups	29,500	9	3,278		
	Total	59,667	11			
VAR00020	Between Groups	22,167	2	11,083	4,245	,050
	Within Groups	23,500	9	2,611		
	Total	45,667	11			
VAR00021	Between Groups	15,167	2	7,583	3,456	,077
	Within Groups	19,750	9	2,194		
	Total	34,917	11			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I) VAR00011	(J) VAR00011	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
VAR00013	1,00	2,00	,00000	1,10554	1,000	-3,2429	3,2429
		3,00	-2,50000	1,10554	,150	-5,7429	,7429
	2,00	1,00	,00000	1,10554	1,000	-3,2429	3,2429
		3,00	-2,50000	1,10554	,150	-5,7429	,7429
	3,00	1,00	2,50000	1,10554	,150	-,7429	5,7429
		2,00	2,50000	1,10554	,150	-,7429	5,7429
VAR00014	1,00	2,00	,75000	1,96850	1,000	-5,0243	6,5243
		3,00	2,25000	1,96850	,848	-3,5243	8,0243
	2,00	1,00	-,75000	1,96850	1,000	-6,5243	5,0243
		3,00	1,50000	1,96850	1,000	-4,2743	7,2743
	3,00	1,00	-2,25000	1,96850	,848	-8,0243	3,5243
		2,00	-1,50000	1,96850	1,000	-7,2743	4,2743
VAR00015	1,00	2,00	-1,00000	1,33333	1,000	-4,9111	2,9111
		3,00	3,00000	1,33333	,153	-,9111	6,9111
	2,00	1,00	1,00000	1,33333	1,000	-2,9111	4,9111
		3,00	4,00000*	1,33333	,045	,0889	7,9111
	3,00	1,00	-3,00000	1,33333	,153	-6,9111	,9111
		2,00	-4,00000*	1,33333	,045	-7,9111	-,0889
VAR00016	1,00	2,00	-1,25000	1,16667	,936	-4,6722	2,1722
		3,00	2,25000	1,16667	,258	-1,1722	5,6722
	2,00	1,00	1,25000	1,16667	,936	-2,1722	4,6722
		3,00	3,50000*	1,16667	,045	,0778	6,9222
	3,00	1,00	-2,25000	1,16667	,258	-5,6722	1,1722
		2,00	-3,50000*	1,16667	,045	-6,9222	-,0778
VAR00017	1,00	2,00	-1,00000	1,29099	1,000	-4,7869	2,7869
		3,00	3,50000	1,29099	,072	-,2869	7,2869
	2,00	1,00	1,00000	1,29099	1,000	-2,7869	4,7869
		3,00	4,50000*	1,29099	,021	,7131	8,2869
	3,00	1,00	-3,50000	1,29099	,072	-7,2869	,2869
		2,00	-4,50000*	1,29099	,021	-8,2869	-,7131
VAR00018	1,00	2,00	-1,25000	1,07367	,823	-4,3994	1,8994
		3,00	3,00000	1,07367	,063	-,1494	6,1494
	2,00	1,00	1,25000	1,07367	,823	-1,8994	4,3994
		3,00	4,25000*	1,07367	,010	1,1006	7,3994
	3,00	1,00	-3,00000	1,07367	,063	-6,1494	,1494
		2,00	-4,25000*	1,07367	,010	-7,3994	-1,1006
VAR00019	1,00	2,00	-1,00000	1,28019	1,000	-4,7552	2,7552
		3,00	2,75000	1,28019	,181	-1,0052	6,5052
	2,00	1,00	1,00000	1,28019	1,000	-2,7552	4,7552
		3,00	3,75000	1,28019	,050	-,0052	7,5052
	3,00	1,00	-2,75000	1,28019	,181	-6,5052	1,0052
		2,00	-3,75000	1,28019	,050	-7,5052	-,0052
VAR00020	1,00	2,00	-1,00000	1,14261	1,000	-4,3516	2,3516

		3,00	2,25000	1,14261	,241	-1,1016	5,6016
	2,00	1,00	1,00000	1,14261	1,000	-2,3516	4,3516
		3,00	3,25000	1,14261	,058	-,1016	6,6016
	3,00	1,00	-2,25000	1,14261	,241	-5,6016	1,1016
		2,00	-3,25000	1,14261	,058	-6,6016	,1016
VAR00021	1,00	2,00	-1,25000	1,04748	,790	-4,3226	1,8226
		3,00	1,50000	1,04748	,558	-1,5726	4,5726
	2,00	1,00	1,25000	1,04748	,790	-1,8226	4,3226
		3,00	2,75000	1,04748	,083	-,3226	5,8226
	3,00	1,00	-1,50000	1,04748	,558	-4,5726	1,5726
		2,00	-2,75000	1,04748	,083	-5,8226	,3226

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Oneway

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
VAR00023	1,00	4	1,4500	,86987	,43493	,0658	2,8342	,70	2,30
	2,00	4	,8000	,24495	,12247	,4102	1,1898	,60	1,10
	3,00	4	1,6000	,56569	,28284	,6999	2,5001	,80	2,00
	Total	12	1,2833	,66447	,19181	,8612	1,7055	,60	2,30
VAR00024	1,00	4	1,7000	,49666	,24833	,9097	2,4903	1,10	2,20
	2,00	4	1,7750	,25000	,12500	1,3772	2,1728	1,50	2,10
	3,00	4	,9750	,23629	,11815	,5990	1,3510	,80	1,30
	Total	12	1,4833	,49144	,14187	1,1711	1,7956	,80	2,20
VAR00025	1,00	4	2,2750	,61305	,30653	1,2995	3,2505	1,70	2,90
	2,00	4	2,3500	,42032	,21016	1,6812	3,0188	1,80	2,80
	3,00	4	,5750	,27538	,13769	,1368	1,0132	,30	,90
	Total	12	1,7333	,95092	,27451	1,1291	2,3375	,30	2,90
VAR00026	1,00	4	2,1000	,60000	,30000	1,1453	3,0547	1,60	2,80
	2,00	4	1,7500	,36968	,18484	1,1617	2,3383	1,30	2,20
	3,00	4	,4250	,20616	,10308	,0970	,7530	,20	,60
	Total	12	1,4250	,84544	,24406	,8878	1,9622	,20	2,80
VAR00027	1,00	4	2,9750	,68496	,34248	1,8851	4,0649	2,00	3,50
	2,00	4	3,0000	,63770	,31885	1,9853	4,0147	2,10	3,50
	3,00	4	,5250	,09574	,04787	,3727	,6773	,40	,60
	Total	12	2,1667	1,30825	,37766	1,3354	2,9979	,40	3,50
VAR00028	1,00	4	2,0500	,19149	,09574	1,7453	2,3547	1,90	2,30
	2,00	4	2,5250	,34034	,17017	1,9834	3,0666	2,10	2,80
	3,00	4	,4250	,15000	,07500	,1863	,6637	,30	,60
	Total	12	1,6667	,96421	,27834	1,0540	2,2793	,30	2,80
VAR00029	1,00	4	2,0500	,19149	,09574	1,7453	2,3547	1,90	2,30
	2,00	4	2,5250	,34034	,17017	1,9834	3,0666	2,10	2,80
	3,00	4	,4250	,15000	,07500	,1863	,6637	,30	,60
	Total	12	1,6667	,96421	,27834	1,0540	2,2793	,30	2,80
VAR00030	1,00	4	1,2750	,12583	,06292	1,0748	1,4752	1,10	1,40
	2,00	4	1,3000	,18257	,09129	1,0095	1,5905	1,10	1,50
	3,00	4	,3000	,08165	,04082	,1701	,4299	,20	,40
	Total	12	,9583	,50174	,14484	,6395	1,2771	,20	1,50
VAR00031	1,00	4	,8750	,15000	,07500	,6363	1,1137	,80	1,10
	2,00	4	1,1250	,20616	,10308	,7970	1,4530	,90	1,30
	3,00	4	,3000	,08165	,04082	,1701	,4299	,20	,40
	Total	12	,7667	,38691	,11169	,5208	1,0125	,20	1,30
VAR00032	1,00	4	,5250	,17078	,08539	,2532	,7968	,30	,70
	2,00	4	,7250	,17078	,08539	,4532	,9968	,50	,90
	3,00	4	,3000	,08165	,04082	,1701	,4299	,20	,40
	Total	12	,5167	,22496	,06494	,3737	,6596	,20	,90

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VAR00023	7,750	2	9	,011
VAR00024	2,893	2	9	,107
VAR00025	3,989	2	9	,058
VAR00026	4,255	2	9	,050
VAR00027	2,148	2	9	,173
VAR00028	3,321	2	9	,083
VAR00029	3,321	2	9	,083
VAR00030	2,492	2	9	,138
VAR00031	4,412	2	9	,046
VAR00032	1,125	2	9	,366

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00023	Between Groups	1,447	2	,723	1,909	,204
	Within Groups	3,410	9	,379		
	Total	4,857	11			
VAR00024	Between Groups	1,562	2	,781	6,418	,019
	Within Groups	1,095	9	,122		
	Total	2,657	11			
VAR00025	Between Groups	8,062	2	4,031	19,245	,001
	Within Groups	1,885	9	,209		
	Total	9,947	11			
VAR00026	Between Groups	6,245	2	3,122	17,374	,001
	Within Groups	1,617	9	,180		
	Total	7,862	11			
VAR00027	Between Groups	16,172	2	8,086	27,410	,000
	Within Groups	2,655	9	,295		
	Total	18,827	11			
VAR00028	Between Groups	9,702	2	4,851	83,157	,000
	Within Groups	,525	9	,058		
	Total	10,227	11			
VAR00029	Between Groups	9,702	2	4,851	83,157	,000
	Within Groups	,525	9	,058		
	Total	10,227	11			
VAR00030	Between Groups	2,602	2	1,301	69,896	,000
	Within Groups	,167	9	,019		
	Total	2,769	11			
VAR00031	Between Groups	1,432	2	,716	29,965	,000
	Within Groups	,215	9	,024		
	Total	1,647	11			
VAR00032	Between Groups	,362	2	,181	8,346	,009
	Within Groups	,195	9	,022		
	Total	,557	11			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
VAR00023	1,00	2,00	,65000	,43525	,509	-,6267	1,9267
		3,00	-,15000	,43525	1,000	-1,4267	1,1267
	2,00	1,00	-,65000	,43525	,509	-1,9267	,6267
		3,00	-,80000	,43525	,298	-2,0767	,4767
	3,00	1,00	,15000	,43525	1,000	-1,1267	1,4267
		2,00	,80000	,43525	,298	-,4767	2,0767
VAR00024	1,00	2,00	-,07500	,24664	1,000	-,7985	,6485
		3,00	,72500*	,24664	,050	,0015	1,4485
	2,00	1,00	,07500	,24664	1,000	-,6485	,7985
		3,00	,80000*	,24664	,030	,0765	1,5235
	3,00	1,00	-,72500*	,24664	,050	-1,4485	-,0015
		2,00	-,80000*	,24664	,030	-1,5235	-,0765
VAR00025	1,00	2,00	-,07500	,32361	1,000	-1,0242	,8742
		3,00	1,70000*	,32361	,002	,7508	2,6492
	2,00	1,00	,07500	,32361	1,000	-,8742	1,0242
		3,00	1,77500*	,32361	,001	,8258	2,7242
	3,00	1,00	-1,70000*	,32361	,002	-2,6492	-,7508
		2,00	-1,77500*	,32361	,001	-2,7242	-,8258
VAR00026	1,00	2,00	,35000	,29977	,819	-,5293	1,2293
		3,00	1,67500*	,29977	,001	,7957	2,5543
	2,00	1,00	-,35000	,29977	,819	-1,2293	,5293
		3,00	1,32500*	,29977	,005	,4457	2,2043
	3,00	1,00	-1,67500*	,29977	,001	-2,5543	-,7957
		2,00	-1,32500*	,29977	,005	-2,2043	-,4457
VAR00027	1,00	2,00	-,02500	,38406	1,000	-1,1516	1,1016
		3,00	2,45000*	,38406	,000	1,3234	3,5766
	2,00	1,00	,02500	,38406	1,000	-1,1016	1,1516
		3,00	2,47500*	,38406	,000	1,3484	3,6016
	3,00	1,00	-2,45000*	,38406	,000	-3,5766	-1,3234
		2,00	-2,47500*	,38406	,000	-3,6016	-1,3484
VAR00028	1,00	2,00	-,47500	,17078	,064	-,9760	,0260
		3,00	1,62500*	,17078	,000	1,1240	2,1260
	2,00	1,00	,47500	,17078	,064	-,0260	,9760
		3,00	2,10000*	,17078	,000	1,5990	2,6010
	3,00	1,00	-1,62500*	,17078	,000	-2,1260	-1,1240
		2,00	-2,10000*	,17078	,000	-2,6010	-1,5990
VAR00029	1,00	2,00	-,47500	,17078	,064	-,9760	,0260
		3,00	1,62500*	,17078	,000	1,1240	2,1260
	2,00	1,00	,47500	,17078	,064	-,0260	,9760
		3,00	2,10000*	,17078	,000	1,5990	2,6010
	3,00	1,00	-1,62500*	,17078	,000	-2,1260	-1,1240
		2,00	-2,10000*	,17078	,000	-2,6010	-1,5990
VAR00030	1,00	2,00	-,02500	,09647	1,000	-,3080	,2580

		3,00	,97500*	,09647	,000	,6920	1,2580
	2,00	1,00	,02500	,09647	1,000	-,2580	,3080
		3,00	1,00000*	,09647	,000	,7170	1,2830
	3,00	1,00	-,97500*	,09647	,000	-1,2580	-,6920
		2,00	-1,00000*	,09647	,000	-1,2830	-,7170
VAR00031	1,00	2,00	-,25000	,10929	,144	-,5706	,0706
		3,00	,57500*	,10929	,002	,2544	,8956
	2,00	1,00	,25000	,10929	,144	-,0706	,5706
		3,00	,82500*	,10929	,000	,5044	1,1456
	3,00	1,00	-,57500*	,10929	,002	-,8956	-,2544
		2,00	-,82500*	,10929	,000	-1,1456	-,5044
VAR00032	1,00	2,00	-,20000	,10408	,261	-,5053	,1053
		3,00	,22500	,10408	,177	-,0803	,5303
	2,00	1,00	,20000	,10408	,261	-,1053	,5053
		3,00	,42500*	,10408	,008	,1197	,7303
	3,00	1,00	-,22500	,10408	,177	-,5303	,0803
		2,00	-,42500*	,10408	,008	-,7303	-,1197

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

T-Test

Group Statistics

VAR00034	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
1,00	8	131,7500	47,82334	16,90810
2,00	8	126,0000	44,82346	15,84749

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
								95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VAR00035	Equal variances assumed	,072	,792	,248	14	,808	5,75000	23,17384	-43,95294	55,45294
	Equal variances not assumed			,248	13,942	,808	5,75000	23,17384	-43,97246	55,47246

Oneway

Descriptives

VAR00038

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	8	54,6250	16,98686	6,00576	40,4236	68,8264	34,00	80,00
2,00	8	47,8750	14,44633	5,10755	35,7976	59,9524	26,00	66,00
3,00	4	21,2500	3,09570	1,54785	16,3241	26,1759	17,00	24,00
Total	20	45,2500	18,59789	4,15862	36,5459	53,9541	17,00	80,00

Test of Homogeneity of Variances

VAR00038

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4,844	2	17	,022

ANOVA

VAR00038

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3062,250	2	1531,125	7,417	,005
Within Groups	3509,500	17	206,441		
Total	6571,750	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

VAR00038

Bonferroni

(I) VAR00034	(J) VAR00034	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	6,75000	7,18403	1,000	-12,3236	25,8236
	3,00	33,37500*	8,79860	,004	10,0147	56,7353
2,00	1,00	-6,75000	7,18403	1,000	-25,8236	12,3236
	3,00	26,62500*	8,79860	,023	3,2647	49,9853
3,00	1,00	-33,37500*	8,79860	,004	-56,7353	-10,0147
	2,00	-26,62500*	8,79860	,023	-49,9853	-3,2647

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Oneway

Descriptives

VAR00044

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	8	335,0000	106,34793	37,59967	246,0909	423,9091	216,40	509,00
2,00	8	296,8500	103,67110	36,65327	210,1788	383,5212	154,40	452,50
3,00	4	51,0750	19,06259	9,53130	20,7422	81,4078	26,80	73,00
Total	20	262,9550	142,49295	31,86239	196,2662	329,6438	26,80	509,00

Test of Homogeneity of Variances

VAR00044

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4,749	2	17	,023

ANOVA

VAR00044

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	230287,362	2	115143,681	12,589	,000
Within Groups	155493,208	17	9146,659		
Total	385780,570	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

VAR00044

Bonferroni

(I) VAR00034	(J) VAR00034	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	38,15000	47,81908	1,000	-88,8095	165,1095
	3,00	283,92500*	58,56618	,000	128,4321	439,4179

2,00	1,00	-38,15000	47,81908	1,000	-165,1095	88,8095
	3,00	245,77500*	58,56618	,002	90,2821	401,2679
3,00	1,00	-283,92500*	58,56618	,000	-439,4179	-128,4321
	2,00	-245,77500*	58,56618	,002	-401,2679	-90,2821

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης, Α.Ν., 1994. Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων στα πλαίσια ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. Επιστήμες και περιβάλλον στα τέλη του αιώνα: προβλήματα και προοπτικές. Ρόκος Δ. (Ed), Εναλλακτικές Εκδόσεις, σελ.345-358.
2. 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..
3. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ., 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάθμης άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-206.
4. Αυγουλάς, Χ., Ποδηματάς, Κ., Παπαστυλιανού, Π., 2001. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Εκδόσεις Σταμούλη.
5. Βαρδαβάκης, Ε., 1994. Συστηματική Βοτανική. Έκδοση Τέταρτη. Τόμος Ι, Εκδόσεις Δ.Κ. Σαλονικίδη, Θεσσαλονίκη.
6. Βουρδουμπάς, Ι., 2000. Άρδευση δασικής φυτείας με επεξεργασμένα αστικά λύματα. Γεωργία - Κτηνοτροφία 6, 2000. Σελ. 64-68. Αθήνα.
7. Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ., 2002. Βιομηχανικά φυτά: βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά - ελαιοδοτικά - ζαχαρότευτλα - καπνός. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.
8. Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ., 2003. Ειδική Γεωργία Ι. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
9. Δαναλάτος, Ν., 2005. Ειδική Γεωργία ΙΙ. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
10. Δαναλάτος, Ν. και Αρχοντούλης, Σ., 2008. Οδηγός Καλλιεργητικών Φροντίδων Αγριαγκινάρας, Ηλιάνθου και Σόργου. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
11. Δημοπούλου, Κ., 2005. Μεταπτυχιακή διατριβή. Επίδραση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τεύτλων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
12. Κακάλης, Π.Σ., και Τσαντήλας, Χ.Δ., 2002. Επίδραση άρδευσης βαμβακιού και καλαμποκιού με αστικά απόβλητα στο γεωργικό εισόδημα. Αγροτική Έρευνα. Επιστημονική επιθεώρηση του Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. Αθήνα. 25(1): 13-20.
13. Κασίρη, Α., 1992. Μέθοδοι βελτίωσης ποιότητας πόσιμου νερού. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
14. Μακραντωνάτος, Π.Γ., 1990. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Β' Έκδοση, Αθήνα.
15. 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.
16. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1985. Κίνδυνοι υποβάθμισης εδαφών - Βελτίωση νατριομένων εδαφών. Θεσσαλονίκη.
 17. Μιχελάκης, Ν., 1998. Συστήματα αυτόματης άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Εκδοτική Αγροτεχνική Α.Ε., σελ. 319.
 18. Μπαλατσούρας, Γ., 1995. Ελαιόλαδο-Σπορέλαια. Τόμος Α. Εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
 19. Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993. Ο Ηλιάνθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών.
 20. Παπαδόπουλος, Α. και Παρισόπουλος, Γ., 2001. Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. Γεωργική Έρευνα, Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. Ιανουάριος – Μάρτιος.
 21. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 484.
 22. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρούδης, Ι.Γ., Βαξεβάνη, Χ.Η. και Χατζηγιαννάκης, Σ.Λ., 1992. Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων από την χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. Υδροτεχνικά, 2 (1): 5-13.
 23. 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.
 24. Πανώρας, Α.Γ., Χατζηαθανασιάδου, Α.Μ και Τόπη, Χ.Γ., 1994. Είδος φθορών και κόστος συντήρησης δικτύων άρδευσης με σταγόνες. Γεωπονικά, 35: 35-40.
 25. Πανώρας, Α. και Ηλίας, Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
 26. Ράμμος, Ι., 2006. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλωπιστικών κωνοφόρων. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
 27. 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.
 28. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
 29. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναλάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π., Νάκος, Κ., 2003. Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 183-190.
 30. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τέντας, Ι., Κολιού, Α., Καλφούντζος, Δ., Παπανίκος, Ν., 2003. Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου, σελ. 265-272.

31. Σούλτη, Α., 2007. Υπόγεια άρδευση του ενεργειακού φυτού σόργου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.
32. Στάμου, Ι.Α., 1995. Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων. Αθήνα.
33. Τερζίδης, Γ. Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
34. 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. Ageridis, G. and Christou, M., 2006. Biofuels and their developmental role to the industry and agriculture. In: two days gala. Thessaloniki 3-4 November, pp. 1-6.
2. 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.
3. Angelaki, A., Sakellariou – Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., 2002. Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure. 5th International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4-8 September 2002 – oral presentation, proceedings, pp 172-183. Athens.
4. Archontoulis, S. V., Danalatos, N. G., Struik, P. C., Tsalikis, D., 2007. Irrigation and N- fertilization effects on the growth and productivity of sunflower in aquic soil in central Greece. 15th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, May 7-11 (in press), Berlin.
5. Arnaud, F., 1986. Cahier technique: plante-selection. Tournesol. Paris. Center Technique Interprofesional des Olagineux Metropolitains (CETIOM).
6. Asano, T., Smith, R.G., and Tsobanoglous, G., 1985. Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In: *Irrigation with reclaimed municipal wastewater – A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
7. Asano, T., 1991. Planning and Implementation of water reuse projects. *Wastewater reclamation and reuse by R. Mujeriego and T. Asano (Eds.) IAWPRC, Water Sci. and Techn. Vol. 24, No. 9, Pergamon Press, NY.*
8. Asano, T., 1994. Irrigation with treated sewage effluents. In: *Series in agricultural sciences (K.K. Tanji and B. Yaron, Eds.)*. Ch. 9., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
9. Ayers, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. *Journal irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.*, 103 (1): 135-154.
10. Ayers, R.S., and Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. *F.A.O.. Irrigation and Drainage Paper 29: 99-104, Rev. 1.*

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. Bahri, A., and Brissaud, F., 2002. Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries. World Health Organization , Regional Office for Europe, WHO/EURO Project Office, Mediterranean Action Plan.
13. Biomass Energy Center 2007 url: <http://www.biomassenergycentre.org.uk>.
14. Blum, D., and Feachem., R.G., 1985. Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part III: An epidemiological perspective. Dubendorf, International Reference Center for waste disposal, Report No. 05/85.
15. Bower, H., and Chase, W.L., 1985. Water reuse in Phoenix Arizona. Future of water reuse. *Water Reuse Symposium III*, Vol. 1, 337, AWWA Research Foundation, Denver.
16. 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.
17. Brady, N.C., 2002. *The Nature and Properties of Soils*, New Jersey, USA, Prentice Hall.
18. Burton, J.W., Miller, B.A, Vick, R., Scarth, and C.C. Holbrook, 2004. Altering fatty acid composition in oil seed crops. *Adv. Agron.*, 84:273-306.
19. Cook, J., and Beyea, J.. An analysis of the environmental impacts of energy crops in the U.S.A.: methodologies, conclusions and recommendations.
20. 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.
21. Devitt, D. and Miller, W., 1988. Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline iter. *Applied Agricultural Res.* Vol. 3, No 3, p. 133-143.
22. El Bassam, N., 1998. *Energy plant species: Their use and impact on environment and development*. James & James Science Publishers, U.K..
23. FAO, 1992. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*, M.B. Westcot. FAO water report 10. FAO. Rome.
24. Flaggela, Z., Rotunno, T., Tarantino, R., Di Caterina, R., De Caro A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus L.*) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *Eur J Argon* 17:221-230.
25. Friedt, 1992. Present state and future prospects of biotechnology in sunflower breeding. *Fields Crop Res.*, 30:425-442.
26. Gushiken, E., 1993. *Effluent Disposal Trough Subsurface Drip Irrigation Systems*. Hawaii Water Pollution Control Ass. Proceedings of the 15th Annual Conf. Honolulu. Hawaii.

27. 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.
28. Hillel, D., 1987. The effluent use of water in irrigation. World Bank Technical Paper No 64. The World Bank, Washington D.C..
29. I-Pai, Wu, 1994. Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc.. Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
30. Kandiah, A., 1990a. Water quality management for sustainable agricultural development. *Natural Resources Forum*, 14 (1): 22-32.
31. Klocke, N., Hubbard, K., Kranz, W., Watts, D.. Evapotranspiration (ET) or Crop water use.
32. Luo, Y., Jiang, X., Wu, L., Song, J., Wu, S., Lu, R., Christie, P., 2003. Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu-rich wastewater. *Geoderma*, 115 (2003) 113-120. Elsevier Science.
33. Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. *The handbook of plant science in agriculture*. B.R. Christie (ed) CRC Press, Florida.
34. Maas, E.V., 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant and soil* 89, 273-284.
35. Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., 103: 115-134.
36. Massoud, T.A., Hills, D.J. and Tchobanoglous, G., 1995. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 120 (4): 716-731.
37. Nakayama, F.S. and Bucks, D.A., 1985. Drip/Trickle irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate logging on trickle emitters. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 45-50.
38. Oster, J.D., and Shroer, F.W., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43 444-447.
39. Page, A.L., and Chang, A.C., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater trace elements. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A guidance manual 2nd Edition*, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
40. Panoras, A., Kehagia, O., Xanthopoulos, F., Doitsinis, A., Samaras, I., 2001b. The reuse of municipal wastewater in cotton irrigation. *Interregional research network in cotton*. F.A.O. - NAGREF. 27 September - 1 October 2001, Chania, Greece.
41. Papayiannopoulou, A., Parissopoulos, G., Panoras, A., Kampel, S., Papadopoulos, F., Papadopoulos, A., Ilias, A., 1998. Emitter performance in conditions of treated municipal wastewater. *Proc. Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Fiera Milano, 14-16 September 1998, p. 1011-1014.

42. Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. F.A.O.. Irrigation and Drainage Paper 47.
43. Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), 1985. Irrigation with reclaimed municipal wastewater – A guidance manual. 2nd Edition, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, ML.
44. 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.
45. Ruskin, R., 2000. Subsurface drip irrigation and yields. Geoflow, Inc..
46. Sakellariou-Makradonaki, M., 1997. Water drainage in layered soils.
47. Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D. And Vyrlas, P., 2001. Irrigation water saving and yield increase with subsurface drip irrigation. Proceedings of the 7th International Congress of Environmental Science and Technology, 3- 6 September, Syros, Greece, Vol. C, 466- 473.
48. Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. and Kapetanos, P., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Proceedings of Hydorama 2002, 3rd International Forum: Integrated Water Management: The Key to Sustainable Water Resources, EYDAP. 21- 22 March, Athens, Greece, pp. 96- 102.
49. Sakellariou- Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., and Vyrlas, P., 2003. Irrigation of ornamental shrubs with treated municipal wastewater. Proceedings of 8th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST), September 8- 11, Lemnos, Greece, Vol. B, pp. 707- 714.
50. Skoric, D., 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. Field Crops Res, 30:231-270.
51. 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.
52. State of California, 1978. Wastewater reclamation criteria. California Administrative Code, Title 22, Division 4, Environmental Health, Department of Health Services, Berkeley, California.
53. Tolga, E., Delibas, L., Orta, H., 2001. Water use characteristics of sunflower under deficit irrigation. Pakistan Journal of bioogical sciences 4, 766-769.
54. U.C.C.C. 1974. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Memo Report, p.13.
55. U.N. Department of Technical Cooperation for Development, 1985. The use of non-conventional water resources in developing countries. Natural water resources series No14, United Nations, D.T.C.D., New York.
56. U.S.D.A., 1956. Soil conservation service. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C..
57. US-EPA, 1992. Guidelines for Waste Reuse. EPA manual 625/R-92/004. Washington D.C. van der Merwe, B. And J. Menge (1996). Water reclamation

- for portable reuse in Windhoek Namibia. Aust Water and Wastewater Assn Water Tach, Sydney, Australia.
58. W.H.O., 1980. Health aspects of treated sewage re-use. Report on a W.H.O. Seminar, EURO Reports and Studies 42, Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark.
 59. W.H.O., 1983. Reuse of effluent: Method of wastewater treatment and health safeguards. Technical Report Series No. 517, Geneva, Switzerland.
 60. W.H.O., 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series No. 778, Geneva, Switzerland.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sunfloweroil>
3. <http://faostat.fao.org/>
4. http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat_baro/observ/baro161.pdf
5. <http://www.iea.org/>
6. <http://www.nk.com/gr>
7. <http://www.plantprotection.hu>