

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-
ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΜΠΑΡΤΖΩΚΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΘΕΜΑ:

**“ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΥΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ”**

ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006



ΒΟΛΟΣ 2008



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

Αριθ. Εισ.: 6800/1
Ημερ. Εισ.: 07-01-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
631.587
ΜΠΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ Ν., Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.
ΧΑ ΑΒΡΑΑΜ ΙΜΠΡΑΧΙΜ, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

Στην Οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικών δραστηριοτήτων που διεξάγει το εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Το θέμα της μεταπτυχιακής μου διατριβής δόθηκε από την καθηγήτρια και Πρόεδρο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κ. Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. 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 κατά καιρούς. Επίσης την ευχαριστώ για την ηθική της υποστήριξη και την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Τον αναπληρωτή καθηγητή Π.Θ. κ. Τσιρόπουλο Νικόλαο και τον αναπληρωτή καθηγητή Π.Θ. κ. Χα Αβραάμ Ιμπραχίμ ευχαριστώ θερμά για την εποικοδομητική κριτική και το χρόνο που αφιέρωσαν για την ανάγνωση και διόρθωση της πτυχιακής διατριβής.

Εκφράζονται ευχαριστίες στο μέλος Ε.ΕΔ.Ι.Π. του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κ. Νικόλαο Παπανίκο, για τη αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην γεωπόνο, μεταπτυχιακή φοιτήτρια της Γεωπονικής Σχολής, κ. Σούλτη Αικατερίνη, για τις καθοριστικές της συμβουλές κατά τη διάρκεια συγγραφής της πτυχιακής μου διατριβής.

Επίσης τον κ. Παπαλέξη Δημήτριο, υποψήφιο Διδάκτορα στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του οποίου η συμβολή, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, στην πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας ήταν καθοριστική.

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

Τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου και το προσωπικό του Βιολογικού Καθαρισμού για την βοήθεια τους και τη διεξαγωγή χημικών αναλύσεων.

Την γραμματεία του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την εξυπηρέτηση της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την ηθική συμπαράσταση και την πολύτιμη βοήθεια τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ.....	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών	13
1.3 Εφαρμογές βιομάζας των ενεργειακών φυτών	15
1.3.1 Βιολογικά καύσιμα	15
1.3.1.1 Υγρά βιοκαύσιμα	15
1.3.1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
1.3.1.3 Καύσιμο αέριο	16
1.4 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΣΟΡΓΟ.....	19
2.1 Γενικά.....	19
2.2 Βοτανική ταξινόμηση	20
2.3 Βοτανικά γνωρίσματα.....	21
2.4 Οικολογικές απαιτήσεις	22
2.4.1 Κλίμα	22
2.4.2 Έδαφος.....	24
2.5 Καλλιέργεια	24
2.5.1 Κατεργασία εδάφους.....	24
2.5.2 Λίπανση	24
2.5.3 Σπορά	25
2.5.4 Άρδευση.....	26
2.6 Προϊόντα	26
2.7 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοενέργειας.....	28
2.7.1 Γλυκό σόργο (Sweet sorghum).....	28
2.7.1.1 Γενικά.....	28
2.7.1.2 Ποικιλίες γλυκού σόργου.....	28
2.7.2 Ινώδες σόργο (Fiber sorghum).....	28
2.7.2.1 Γενικά.....	28
2.7.2.2 Ποικιλίες ινώδους σόργου	29
2.8 Σημασία του σόργου για την Ελλάδα	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	31
ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	31
3.1 Γενικά.....	31
3.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων	31
3.3 Λόγοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.....	33
3.4 Επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων	33
3.4.1 Μέθοδοι επεξεργασίας.....	33
3.4.2 Στάδια καθαρισμού	34
3.4.2.1 Πρωτοβάθμιος (ή μηχανικός) καθαρισμός	35
3.4.2.2 Δευτεροβάθμιος καθαρισμός	35
3.4.2.3 Τριτοβάθμιος (ή προχωρημένος) καθαρισμός.....	35
3.4.2.4 Απολύμανση	36

3.5	Επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση.....	36
3.5.1	Σκοπός και περιορισμοί	36
3.5.2	Ποιοτικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού.....	36
3.5.3	Το είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας.....	39
3.5.4	Τα χαρακτηριστικά της περιοχής.....	39
3.5.4.1	Η τοπογραφία της περιοχής	39
3.5.4.2	Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής.....	39
3.5.4.3	Τα υπόγεια νερά.....	40
3.5.4.4	Οι υπάρχουσες και σχεδιαζόμενες χρήσεις γης	40
3.5.4.5	Το κλίμα της περιοχής	40
3.5.5	Συνέπειες της άρδευσης με υγρά αστικά απόβλητα	40
3.5.5.1	Αλκαλίωση του εδάφους.....	40
3.5.5.2	Αλάτωση του εδάφους.....	43
3.5.5.3	Διηθητικότητα του εδάφους.....	45
3.5.5.4	Τοξικότητα βορίου (B)	46
3.5.5.5	Τοξικότητα χλωρίου (Cl).....	49
3.5.5.6	Τοξικότητα μετάλλων	51
3.5.5.7	Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά.....	52
3.5.5.8	Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά	53
3.5.5.9	Περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά.....	54
3.5.5.10	Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά	56
3.5.6	Τεταρτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων	57
3.5.7	Αποθήκευση.....	59
3.5.8	Προτεινόμενη επεξεργασία.....	59
3.5.9	Επιλογή μεθόδου άρδευσης	60
3.5.9.1	Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α).....	61
3.5.9.1.1	Γενικά.....	61
3.5.9.1.2	Περιγραφή του συστήματος.....	62
3.5.9.1.3	Αποδοτικότητα του συστήματος.....	64
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	65
	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	65
4.1	Γενικά.....	65
4.2	Κλιματικά δεδομένα	65
4.3	Εδαφολογικά δεδομένα.....	65
4.4	Χάραξη πειραματικού αγρού	66
4.5.	Εγκατάσταση της καλλιέργειας Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
4.6	Υλικά άρδευσης.....	73
4.7	Εξατμισόμετρο τύπου A	76
4.8.	Μέθοδος T.D.R.....	77
4.9	Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας	78
4.10	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου.....	79
4.10.1	Μετρήσεις ύψους φυτών.....	79
4.10.2	Μετρήσεις χλωρής – ξηρής βιομάζας φυτών	80
4.11	Μετεωρολογικά δεδομένα	81
4.12	Εδαφολογικά χαρακτηριστικά των πειραματικών τεμαχίων	82
4.13	Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης.....	83
4.14	Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	94
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	95
5.1	Κλιματικά δεδομένα	95
5.1.1	Βροχόπτωση.....	95

5.1.2	Θερμοκρασία - Εξατμισοδιαπνοή.....	96
5.2	Υγρασία εδάφους.....	97
5.3	Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI).....	98
5.4	Εξοικονόμηση νερού	101
5.5	Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου	102
5.5.2	Χλωρή – ξηρή βιομάζα.....	104
5.6	Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού.....	108
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	111
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	111
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
	A. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
	B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή διερευνήθηκε η ανάπτυξη και η παραγωγή του γλυκού σόργου ως ενεργειακού φυτού (*Sorghum bicolor* L.) υπό την άρδευση με καθαρό νερό ή με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου.

Για το σκοπό αυτό διεξήχθη πείραμα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το έτος 2006 με 2 μεταχειρίσεις και 4 επαναλήψεις. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A και ως μέθοδος άρδευσης επιλέχθηκε η υπόγεια στάγδην άρδευση.

Οι μετρήσεις αφορούσαν κυρίως το ύψος, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας, τη χλωρή – ξηρή βιομάζα των φυτών καθώς και την υγρασία του εδάφους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός ανάπτυξης και η τελική απόδοση σε χλωρή και ξηρή βιομάζα δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ($P > 0,05$) στις δυο μεταχειρίσεις ενώ παράλληλα με τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών απόβλητων, επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού καθιστώντας φανερή τη δυναμική της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στο γλυκό σόργο ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας, σύμφωνα με τις σύγχρονες ανάγκες της γεωργίας χαμηλών εισροών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης νερού από τον κλάδο της γεωργίας και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν καταστήσει αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού. Στις αναπτυσσόμενες, βιομηχανικές χώρες αυξάνονται και εντείνονται τα προβλήματα, που σχετίζονται με τη διασφάλιση της υδατοτροφοδοσίας και της διάθεσης των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων.

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.

Τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα των περιοχών αυτών αποτελούν ένα ζωτικής σημασίας πρόβλημα που θα επηρεάσει τις γενιές του μέλλοντος λόγω του ότι επιδρά θετικά στην ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού, στην ρύπανση των ακτών και στην δημιουργία αισθητικών προβλημάτων. Είναι λοιπόν λογική η διερεύνηση και η ανάπτυξη διαχειριστικών μέτρων για τον περιορισμό και την εξάλειψη της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων, καθώς και την εκμετάλλευση τους με σκοπό την εξοικονόμηση πηγών νερού και το οικονομικό όφελος της άρδευσης φυτών και δέντρων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά.

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θεωρείται ότι συμβάλλει στην:

1. Ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων,
2. Προστασία υπαρχόντων υδατικών πόρων, κυρίως σε παράκτιες περιοχές, όπου παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς,
3. Μείωση του κόστους νερού,
4. Ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων με έμφαση τη διατήρηση πηγών και του φυσικού περιβάλλοντος
5. Αξιοπιστία της υδατοπρομήθειας, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές.

Σήμερα είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι οι εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν ένα πολύ προσιτό, κυρίως οικονομικά, υδατικό πόρο, ιδιαίτερα κατάλληλο για γεωργική χρήση. Σε εξέλιξη βρίσκονται πολυάριθμα έργα άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με τέτοιες εκροές σε διάφορες χώρες, όπως στις Νοτιοδυτικές πολιτείες 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 προβλέπεται να αυξηθεί στο 35 % το έτος 2010. Επίσης, είναι γνωστή η χρήση τέτοιων νερών για πυροπροστασία κυρίως δασικών εκτάσεων, που βρίσκονται σε περιοχές γειτονικές αστικών κέντρων. Πέραν όμως αυτών των έργων παραγωγής αρδευτικού νερού και νερού για άλλες χρήσεις, που ενδιαφέρει άμεσα τη χώρα μας, αναφέρεται ότι είναι σε εξέλιξη έργα ακόμη για έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού, από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που δείχνουν το υψηλό επίπεδο της υφιστάμενης τεχνογνωσίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης του Βόλου και με καθαρό νερό, στην ανάπτυξη και απόδοση του γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* L.).

Το σόργο είναι φυτό μονοετές, με μικρές απαιτήσεις σε νερό και λίπασμα, μικρής φωτοπεριόδου και ανήκει στην κατηγορία των C4 φυτών με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα επομένως καθίσταται ικανό για υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και μεγάλες δυνατότητες για ενεργειακή χρήση.

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 κατανάλωση τους, καθώς και οι πετρελαϊκές 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 συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, πριν εξαντληθούν τα εθνικά και διεθνή αποθέματα των ορυκτών καυσίμων.

Η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια είναι το αντικείμενο μεγάλων ερευνητικών προγραμμάτων σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες (αλλά και σε άλλες αναπτυγμένες χώρες) ώστε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαθέσιμες στην κάθε χώρα να μπορούν να χρησιμοποιούνται για 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.

Με τον όρο βιομάζα εννοείται κάθε οργανικό προϊόν που παίρνεται από τα φυτά, σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η ενέργεια της βιομάζας προέρχεται από φυτικές και ζωικές πρώτες ύλες, όπως ξύλο από δάση, υπολείμματα καλλιεργειών ή δασών και από ανθρώπινα, ζωικά και βιομηχανικά απόβλητα. Η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στα φυτά και στα ζώα ή στα υπολείμματα αυτών ονομάζεται βιοενέργεια. Παραγωγή βιοενέργειας σε υγρή μορφή (βιοντίζελ), αναμένεται να δώσει λύση στο υφιστάμενο ενεργειακό πρόβλημα, αντικαθιστώντας τα συμβατικά υγρά καύσιμα, γεγονός το οποίο αναμφισβήτητα θα έχει σημαντικές περιβαλλοντικές προεκτάσεις.

Ένας τρόπος παραγωγής βιοενέργειας είναι η εκμετάλλευση της βιομάζας φυτών τα οποία καλλιεργήθηκαν για την αξιοποίηση των μη-

διατροφικών, ή των δευτερεύουσας οικονομικής σημασίας προϊόντων τους, όπως σπόροι, βλαστοί, κτλ. Τέτοιου είδους καλλιέργειες ονομάζονται ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες καλλιεργούνται σχεδόν αποκλειστικά για καύσιμα. Παρόλο που χρησιμοποιείται το ξύλο ως καύσιμο από το Μεσαίωνα, η νέα μορφή των ενεργειακών καλλιεργειών αποτελεί την πιο πρόσφατη και πρωτοποριακή μορφή καυσίμου.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες αποτελούν σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, επειδή μπορούν να αναπτύσσονται έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς. Για αυτό ξεχωρίζουν από τις άλλες ανανεώσιμες πηγές και όταν υπάρχουν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Η βιομάζα μπορεί να καλύπτει πάντα τις ανάγκες, χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι οι καιρικές συνθήκες.

Η Ε.Ε. χρηματοδοτεί πλουσιοπάροχα ερευνητικά προγράμματα για τέτοιες εναλλακτικές καλλιέργειες, αλλά και προγράμματα συνδυασμένης δράσης και επίδειξης στα οποία συμμετέχουν οι φορείς μεταποίησης και παραγωγού. Στόχος της Ε.Ε. είναι η κάλυψη του ηλεκτρισμού από φυτά στα προσεχή χρόνια. Επίσης η Ε.Ε. μέσα από την Νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ), γνωστή και ως Agenda 2000, προβλέπει νέες δράσεις για την παραγωγή ανανεώσιμων ακατέργαστων υλικών για ενεργειακή χρήση, μείωση των τιμών κάποιων προϊόντων καθώς και εστίαση στην απευθείας ενίσχυση των εισοδημάτων των παραγωγών, αντικαθιστώντας τις επιδοτήσεις (Scherpennzeel, J. Agenda 2000).

1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών

Η συνεχής αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη με γνωστό επακόλουθο τις αρνητικές κλιματικές αλλαγές έχει οδηγήσει τις κυβερνήσεις των περισσότερων χωρών στην εύρεση νέων εναλλακτικών πηγών ενέργειας, φιλικών προς το περιβάλλον, που δεν παράγουν CO₂ ή σε πολύ μικρές ποσότητες. Μια από τις νέες πηγές ενέργειας είναι η βιομάζα, η οποία μπορεί εύκολα να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες σε ενέργεια. Σε πειράματα αποδείχτηκε ότι η βιομάζα προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Αρχικά, η απελευθέρωση ενέργειας μέσω των διαδικασιών μετατροπής της βιομάζας, προσομοιάζει των φυσικών διεργασιών, με μεγαλύτερη όμως ταχύτητα. Άρα η ενέργεια της βιομάζας, είναι μια ανακυκλώσιμη μορφή ενέργειας, η οποία ανακυκλώνει τον άνθρακα και δεν προσθέτει διοξείδιο στην ατμόσφαιρα. Από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βιομάζα είναι η μόνη ανακυκλώσιμη πηγή άνθρακα,

ικανή να μετατραπεί σε κάθε μορφή αέριου, υγρού ή στερεού καυσίμου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα είτε έμμεσα.

Οι εκπομπές της καύσης της βιομάζας, περιέχουν σχεδόν μηδαμινή ποσότητα SO_x σε σχέση με τα άλλα καύσιμα. Επίσης, μειώνονται οι καθαρές εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, η οποία δεν απομακρύνεται με τη διάβρωση. Καλλιέργειες πολυετείς έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ετήσιες, καθώς απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια το χρόνο για να παράγουν τη βιομάζα. Τέλος οι ενεργειακές καλλιέργειες αξιοποιούν περισσότερο CO₂ του αέρα σε σχέση τις άλλες καλλιέργειες, καθώς αποτελούν δεξαμενές άνθρακα.

Η βιομάζα των ενεργειακών καλλιεργειών βοηθάει σημαντικά τη γονιμότητα του εδάφους και προστατεύει το έδαφος από διάβρωση. Επίσης τα υπόγεια νερά δεν υφίστανται περισσότερη μόλυνση, επειδή αυτά τα φυτά έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται χωρίς πολλές απαιτήσεις (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, λιπάσματα) σε σχέση με τις άλλες αροτραίες καλλιέργειες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για παραγωγή βιομάζας έχουν φυτά τύπου C₄ γιατί είναι πιο ταχυσυζή και με μεγαλύτερο δυναμικό αφομοίωσης από τα C₃ φυτά. Φυτά τύπου C₃ μετατρέπουν σε βιομάζα μέχρι και 40% λιγότερο την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε σχέση με τα C₄ φυτά. Εξάλλου τα φυτά τύπου C₄ είναι αποδοτικότερα για ίδια ποσά άρδευσης και λίπανσης (και γενικώς νερού και θρεπτικών στοιχείων) σε σχέση με αυτά του τύπου C₃ (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Ένα κύριο πλεονέκτημα των ενεργειακών καλλιεργειών είναι ότι η σταθερή παραγωγή τους μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμη προμήθεια πρώτης ύλης, με ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε μονάδες παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων και ενέργειας. Ειδικά οι νέες καλλιέργειες, παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις ανά εδαφική μονάδα από τις συμβατικές. Αυτές οι υψηλότερες αποδόσεις βελτιώνουν την οικονομικότητά τους και ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις σε έδαφος, αγροχημικά, μεταφορικά καθώς και τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Επίσης, σημαντική είναι η συμβολή τους ακόμα στην ενδημική πανίδα. Η εισαγωγή τους σε διάφορα οικοσυστήματα, βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης της άγριας ζωής, διατηρεί τη φυσική παραλλακτικότητα και επαναφέρει τις λειτουργίες του οικοσυστήματος. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι το όφελος αυξάνεται όταν χρησιμοποιούνται πολυετή φυτά, καθώς αυτά δεν δημιουργούν μετατροπές στο φυσικό περιβάλλον όπως γίνεται με τα ετήσια (Cook, J., Beyea, J.).

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:

1. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
2. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
3. 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.
4. Έχουν συνήθως χαμηλό κόστος παραγωγής το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών, των συμβατικών καυσίμων.
5. 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.
6. Οι επενδύσεις των ενεργειακών καλλιεργειών είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
7. 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.
8. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

(Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989).

1.3 Εφαρμογές βιομάζας των ενεργειακών φυτών

1.3.1 Βιολογικά καύσιμα

1.3.1.1 Υγρά βιοκαύσιμα

Η παραγωγή βιολογικών καυσίμων, όπως αιθανόλη και βιοντίζελ, έχει τις δυνατότητες να αντικαταστήσει τα συμβατικά καύσιμα με μεγάλη επιτυχία, όπως δείχνουν διάφορα πειράματα. Στις ΗΠΑ αλλά και στην Ευρώπη, η παραγωγή βιολογικών καυσίμων αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς, ενώ τα προϊόντα χρησιμοποιούνται σε μίγματα από τα οποία το μίγμα που αποτελείται από 20% αιθανόλη και 80% πετρέλαιο, φαίνεται

ότι είναι συμβατό με τις περισσότερες μηχανές, χωρίς καμία τροποποίηση (Greer, D. 2005) . Προς το παρόν, η παραγωγή αυτή υποστηρίζεται από τις κυβερνήσεις με διάφορα κίνητρα, αλλά στο μέλλον προβλέπεται ότι με την αύξηση της καλλιέργειας "ενεργειακών" φυτών, θα μειωθεί το κόστος παραγωγής βιολογικών καυσίμων, οπότε αυτά θα γίνουν πιο ανταγωνιστικά.

1.3.1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομάζα των ενεργειακών φυτών, δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού το απελευθερούμενο διοξείδιο του άνθρακα κατά την επεξεργασία της βιομάζας, είναι ίσο με αυτό που απορροφάται από τα φυτά, κατά την ανάπτυξη τους.

1.3.1.3 Καύσιμο αέριο

Το βιολογικό αέριο, που παράγεται από αναερόβιες διαδικασίες ή από πυρόλυση, έχει πάρα πολλές εφαρμογές. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης, για τη λειτουργία τουρμπίνων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την παραγωγή θερμότητας είτε για εμπορικούς είτε οικιακούς σκοπούς, καθώς και σε ειδικά τροποποιημένα οχήματα ως καύσιμο κίνησης.

1.4 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 ΜΤΙΠ το χρόνο, ποσότητα που ισοδυναμεί με το 10% της προβλεπόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πίνακας 1.4)

Μορφή ΑΠΕ	ΜΤΙΠ*	% 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%

* ΜΤΙΠ : εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου

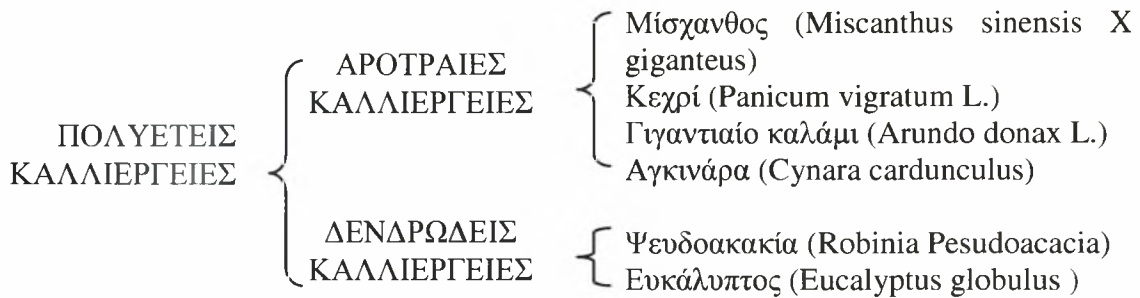
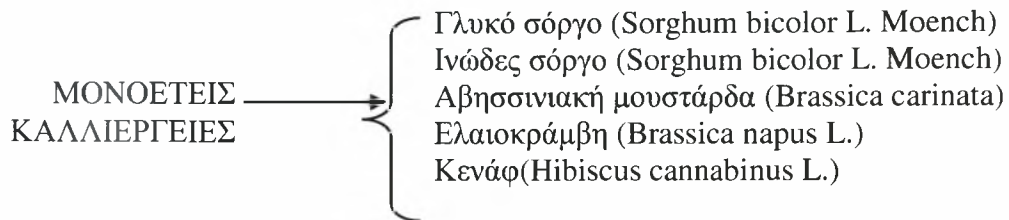
Πίνακας 1.4 Προβλεπόμενη συνεισφορά διαφόρων ΑΠΕ στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο το έτος 2000 (Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989)

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

1. Της έλλειψης συντονισμού μεταξύ διαφόρων φορέων που ασχολούνται με την αξιοποίηση των ΑΠΕ.
2. 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.
3. Των διαρθρωτικών αδυναμιών των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ).
4. 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.
5. Των θεσμών και οικονομικών προβλημάτων.

Ενθαρρυντικό είναι το γεγονός ότι από το 1995, γίνονται πειράματα με διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας. Στόχοι των πειραμάτων 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.

Οι κυριότερες ενεργειακές καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα στην Ελλάδα, είναι οι παρακάτω:



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΟΡΓΟ

2.1 Γενικά

Πιστεύεται πώς το σόργο κατάγεται από την ανατολική κεντρική Αφρική. Η ιστορία της καλλιέργειας του δεν είναι πολύ γνωστή. Φαίνεται όμως ότι είναι ένα από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήσε ο άνθρωπος. Πολύ πριν από την εποχή του Χρίστου αποτελούσε σημαντική καλλιέργεια για την Ασία και την Αφρική.

Σήμερα η καλλιέργεια του σόργου είναι πολύ διαδεδομένη στις περιοχές όπου οι καλοκαιρινές βροχές δεν επαρκούν ή οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές για την επιτυχή καλλιέργεια του καλαμποκιού. Τα 90% της παγκοσμίου παραγωγής προέρχονται από την Κίνα, Ινδία, Μαντζουρία και δυτική Αφρική. Σημαντικές εκτάσεις καταλαμβάνει η καλλιέργεια αυτή στις Ηνωμένες Πολιτείες, Ιράν, Τουρκεσταν, Πακιστάν, Κορέα, Αυστραλία, κεντρική και νότιο Αμερική. Η Ευρώπη δεν παράγει αξιόλογες ποσότητες σόργου (Φασούλας, Κ., Φωτιάδης, Α., 1984).



Εικόνα 2.1. Τυπικό φυτό σόργου

Καλλιεργείται για τον καρπό, με μέση παγκόσμια απόδοση περίπου 150 kg/στρ., για τον σανό (χορτοδοτικό διαδεδομένο στις ΗΠΑ) και σε μικρή έκταση για σάρωθρα (σκούπες) και για σιρόπι (το ζαχαροφόρο). Τελευταία, όμως αποκτά ενδιαφέρον ως φυτό

βιοενέργειας. Από πλευράς βιοενέργειας το ενδιαφέρον εστιάζεται στην παραγωγή χημικού πολτού από τις χαρτοβιομηχανίες που επεξεργάζονται άχυρα δημητριακών. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η παραγωγή ενέργειας με πυρόλυση και η παραγωγή βιοαλκοόλης (αιθανόλη) από το ζαχαροφόρο σόργο (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Στην Ελλάδα η καλλιέργεια του σόργου δεν ξεπερνά τα 10.000 στρέμματα. Καλλιεργείται κυρίως στη Θράκη, για κατασκευή σαρώθρων. Περιορισμένο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τελευταία και για καλλιέργεια χορτοδοτικών υβριδίων (χόρτου του Σουδάν) ύστερα από τις προσπάθειες του Ινστιτούτου Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών της Λάρισας (Ι.Κ.Φ. και Β). Από πρόσφατες έρευνες στον Ελλαδικό χώρο, η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μια εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα όσο και σε υποτροπικά κλίματα (Dalianis, C., 1996).

Η αντοχή του στις υψηλές θερμοκρασίες, στη ξηρασία και στις προσβολές από τα έντομα το καθιστά υποκατάστατο του αραβοσίτου σε περιοχές στις οποίες επικρατούν οι πιο πάνω δυσμενείς συνθήκες. Υπό ευνοϊκές συνθήκες δίνει μικρότερες αποδόσεις από τον αραβόσιτο, παρουσιάζει συχνότερα αποτυχία στο φύτεμα, απαιτεί έγκαιρη συγκομιδή προς αποφυγή απωλειών, ο καρπός του διατηρείται δυσκολότερα στην αποθήκη και θεωρείται απαραίτητο το άλεσμα του πριν τη χορήγηση του στα ζώα. Επίσης το σόργο θεωρείται ότι έχει μικρότερη εμπορική και θρεπτική αξία σε σχέση με τον αραβόσιτο.

2.2 Βοτανική ταξινόμηση

Το σόργο ανήκει στην υποοικογένεια Andropogoneae της οικογένειας των αγροστωδών (Gramineae), με καλλιεργούμενο το γένος *Sorghum* (Διαμάνης, Κ. 1983). Το καλλιεργούμενο είδος είναι το *Sorghum bicolor* L με $2n=20$ χρωμοσώματα. Άγρια είδη : *Sorghum versicolor* (αυτοφύεται στην Αφρική με $2n=10$ χρωμ.), *Sorghum halepense* (κοινώς Βέλιουρας - πολυετής ζιζάνιο με $2n=40$ χρωμ.). Το *Sorghum bicolor* L. ταξινομείται στους εξής τύπους ποικιλιών:

- i) Καρποδοτικές (grain sorghum): χαμηλόσωμες (Kafir), μετρίου ύψους (Dura) και υψηλόσωμες (Milo)
- ii) Χορτοδοτικές (grass sorghum). Τύπος Sudanense, το ονομαζόμενο χόρτο του Σουδάν. Χαρακτηρίζεται από πολλά αδέρφια και πλούσιο φύλλωμα (ορισμένες ποικιλίες περιέχουν αρκετή ποσότητα ενός γλυκοζίτη, που ύστερα από υδρόλυση παράγει HCN). Είναι κοπτόμενος τύπος μέχρι και 4 φορές (κόβεται όταν αποκτήσει ύψος περίπου 1 μέτρο). Ελληνική συνθετική ποικιλία

του I.K.Φ.B. με το όνομα Κρόκιο αποδίδει περίπου 8,5 τόνους χλωρό χόρτο ή 1,8 τόνους ξηρό χόρτο.

- iii) Ζαχαροφόρες (sorgo). Περιέχουν ζαχαρώδεις ουσίες στην εντεριώνη (περισσότερο από 17%) και είναι όψιμες. Χρησιμοποιούνται για ενσίρωση και παραγωγή σιροπιού.
- iv) Σκούπα (broom corn). Στην Ελλάδα (νομός Έβρου) καλλιεργούνται για καρπό και σάρωθρα. Χαρακτηριστική είναι η πολύ μακριά ταξιανθία τους, η οποία φτάνει έως 60 εκατοστά και χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκούπας (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται για καρπό υφίστανται σοβαρές ζημιές απόκτα πτηνά. Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης έχουν δημιουργηθεί ορισμένα υβρίδια τα οποία έχουν δυσάρεστη γεύση μέχρι τη ωρίμανση, ενώ μετά την ωρίμανση η γεύση αυτή εξαφανίζεται.

2.3 Βοτανικά γνωρίσματα

Το γένος *Sorghum* χαρακτηρίζεται από φυτά μόνοικα, μονόκλινα ή δίκλινα, αλλά και από φυτά με τα δύο είδη ανθέων. Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες έχουν μονοκλινή φυτά. Το σόργο μοιάζει μορφολογικά με το καλαμπόκι, εκτός από την ταξιανθία που είναι φόβη στην κορυφή του φυτού. Τα σταχύδια είναι διανθή με ένα γόνιμο άνθος το οποίο δεν έχει ποδίσκο και ένα άγονο συνήθως με ποδίσκο. Το γόνιμο άνθος αποτελείται από 2 λέπυρα, 3 στήμονες, 1 ύπερο που αποτελείται από μονόχωρη ωοθήκη, 2 στύλους και 2 γλωχίνες (που είναι στη βάση του υπέρου). Τα λέπυρα είναι παχιά, σκληρά και φέρουν τρία δόντια στα άκρα (ενίοτε άγανα). Η ταξιανθία έχει μήκος 20-70 εκ. Η άνθηση διαρκεί περίπου 6-15 ημέρες και αρχίζει από την κορυφή προς την βάση.

Η ανάπτυξη είναι παρόμοια με του καλαμποκιού. Αδελφώνει πολύ και όταν θεριστεί βγάζει άλλα αδέρφια. Με ζεστό χειμώνα μπορεί να γίνει πολυετές, το ύψος κυμαίνεται από 1,2-5,5m , ανάλογα με την ποικιλία και την καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζεται (άρδευση - λίπανση). Κάθε στέλεχος αποτελείται από 7-10 κατακόρυφα μεσογονάτια διαστήματα. Τα φύλλα εκπτύσσονται από κάθε κόμπο του στελέχους. Το φύλλο διακρίνεται στο έλασμα και στον κολεό. Το έλασμα του σόργου διακρίνεται από εκείνο του καλαμποκιού από το ότι φέρει δοντάκια περιφερειακά. Επίσης η επιφάνεια του ελάσματος είναι λεία και έχουν σαφώς μικρότερο μέγεθος.

Αυτογονιμοποιείται και σταυρογονιμοποιείται σε ίσες περίπου αναλογίες. Ο καρπός είναι καρύοψη σε σχήμα σφαιρικό ή ωοειδές, χρώματος άσπρου ή καφέ ή κόκκινου ή κίτρινου. Το βάρος 1000 σπόρων είναι 7-40 γρ. και εξαρτάται από την ποικιλία ή τον σκοπό χρήσης του

σόργου (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2001). Η σύσταση του καρπού είναι παρόμοια με αυτή του αραβοσίτου. Περιέχει περισσότερη πρωτεΐνη (κατά μέσο όρο 12%), λιγότερα έλαια (3%), γύρω στο 70% υδατάνθρακες και μικρή περιεκτικότητα βιταμινών.

Το ριζικό σύστημα διακρίνεται σε εμβρυακό και μόνιμο. Το εμβρυακό σύστημα αποτελείται μόνο από μία ρίζα σε αντίθεση με το καλαμπόκι το οποίο έχει περισσότερες από τρεις. Η ρίζα αυτή αυξάνεται μέχρι την άνθηση και διατηρείται για όλο το βιολογικό κύκλο του φυτού. Το μόνιμο ριζικό σύστημα είναι θυσανωτό και εκφύεται από τους κόμπους του στελέχους που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης μπορεί να εμφανιστούν επιγενείς ή εναέριες ρίζες, δηλαδή ρίζες οι οποίες εκφύονται από κόμπους που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Είναι C4 φυτό βραχείας φωτοπεριόδου. Η βλαστική περίοδος είναι συνήθως 100-120 ημέρες, αλλά συντομεύεται με αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της φωτοπεριόδου (μείωση 1 ώρας οδηγεί σε πρωίμιση κατά 10-14 ημέρες).

2.4 Οικολογικές απαιτήσεις

2.4.1 Κλίμα

Το σόργο είναι φυτό κατ' εξοχήν θερμών και ξηρών τόπων. Η ελάχιστη θερμοκρασία για τη βλάστηση των σπόρων είναι 7 - 10° C, αλλά το ελάχιστο για την ανάπτυξη των φυταρίων αμέσως μετά τη βλάστηση είναι 16° C. Γι' αυτό η σπορά του σόργου γίνεται αρκετά αργά. Στις Ηνωμένες Πολιτείες συνίσταται να σπέρνεται περίπου δύο εβδομάδες μετά το καλαμπόκι. Ανεπτυγμένα φυτά σόργου νεκρώνονται σε θερμοκρασίες μόλις κατώτερες του μηδενός, τα μικρά φυτά όμως, μόλις βγουν από το έδαφος, είναι κάπως πιο ανθεκτικά.

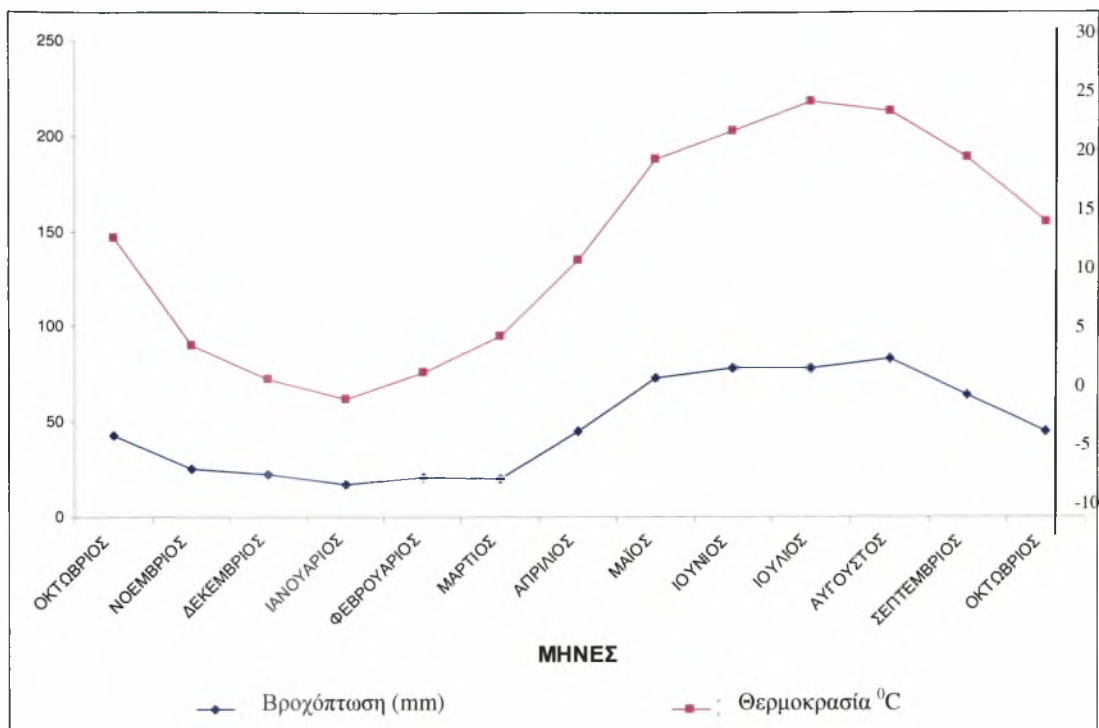
Το σόργο έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και μπορεί να υποστεί υψηλές θερμοκρασίες με λιγότερη ζημία περισσότερο από κάθε άλλη καλλιέργεια. Η ιδεώδης θερμοκρασία για την ανάπτυξη του δεν έχει βρεθεί πάντως οι μεγαλύτερες αποδόσεις λαμβάνονται όταν η μέση θερμοκρασία του Ιουλίου είναι 27° - 29° C. Υψηλές αποδόσεις δεν μπορούμε να πάρουμε σε μέρη πού η μέση θερμοκρασία του Ιουλίου είναι κάτω από 25° C. Ωστόσο στις ΗΠΑ, με τη δημιουργία πρωίμων ποικιλιών κατόρθωσαν να επεκτείνουν βόρεια την καλλιέργεια του σόργου σε περιοχές με βροχόπτωση 400 περίπου χιλιοστών, με βλαστική περίοδο απαλλαγμένη παγετών 4,5 μηνών και με μέση θερμοκρασία Ιουλίου μόλις 21° C. Υπό πειραματικές συνθήκες μέσα σε θερμοκήπιο, φυτά σόργου δεν υπέστησαν ζημίες από επανειλημμένη ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρος σε 50 - 60° C. Πάντως έχει παρατηρηθεί ότι θερμοκρασίες ανώτερες των 38° C είναι

επιζήμιες, ιδίως όταν τα φυτά πλησιάζουν το στάδιο της ανθοφορίας. Στις ΗΠΑ οι σπουδαιότερες ποικιλίες χρειάζονται 100 - 120 μέρες για να ωριμάσουν αν και μερικές πρώιμες ωριμάζουν σε 80 μόνο μέρες από τη σπορά.

Η χαρακτηριστικότερη ιδιότητα του σόργου είναι η μεγάλη του αντοχή στην ξηρασία. Το σόργο είναι το μόνο καλλιεργούμενο φυτό που μπορεί να θεωρηθεί σαν ξηρόφυτο. Πράγματι, έχει πολλές ιδιότητες που δικαιολογούν το χαρακτηρισμό αυτό. Όταν επικρατεί ξηρασία, το σόργο μπορεί να παραμείνει επί ένα χρονικό διάστημα σε μια κατάσταση λήθαργου, χωρίς να αναπτύσσεται, ούτε να διαπνέει, και να ξαναρχίσει την εντατική ανάπτυξη μόλις έχει στη διάθεσή του νερό. Αν συμβεί η ξηρασία να παραταθεί για πολύ και το κύριο στέλεχος να μη μπορεί πια να αναλάβει μετά τη βροχή, το σόργο έχει την ικανότητα να αναπτύσσει αδέρφια στη βάση του στελέχους του και να προλαμβάνει έτσι να δώσει έστω και μία μέτρια παραγωγή. Δίκαια λοιπόν έχει χαρακτηριστεί σαν «η καμήλα» των μεγάλων καλλιεργειών. Έξαλλου, το πλούσιό του ριζικό σύστημα, η σχετικά μικρή επιφάνεια του φυλλώματος, ο μικρός συντελεστής διαπνοής, η αντοχή στην αποξήρανση που του εξασφαλίζει η παχιά αδιαπέρατη επιδερμίδα των φύλλων και του στελέχους του, είναι ιδιότητες που επιτρέπουν στο σόργο να ανταπεξέλθει καλύτερα από κάθε άλλη καλλιέργεια στις συνθήκες περιορισμένης εδαφικής και ατμοσφαιρικής υγρασίας (Φασούλας, Κ., Φωτιάδης, Α., 1984).

Όλα αυτά, βέβαια, επιτρέπουν στο σόργο να περάσει μια περίοδο ξηρασίας χωρίς να πάθει μεγάλη ζημία, δεν πρέπει όμως να νομιστεί ότι μπορεί να αποδώσει χωρίς την ύπαρξη νερού. Οι περιοχές των ΗΠΑ όπου καλλιεργείται έχουν ετησία βροχόπτωση τουλάχιστον 375 – 425 mm με το μεγαλύτερο μέρος της βροχής κατά τη βλαστική περίοδο. Το Σχήμα 2.4.1. δείχνει την κατανομή θερμοκρασίας και βροχοπτώσεως στη ζώνη του σόργου στις ΗΠΑ. Στις πολύ ξηρές δυτικές πολιτείες (Καλιφόρνια, Αριζόνα), όπου η καλοκαιρινή βροχόπτωση είναι μηδαμινή, το σόργο δεν καλλιεργείται παρά μόνο με άρδευση, στην όποια και αντιδρά καλά.

Όταν οι θερμοκρασίες από τη σπορά ως την άνθιση διατηρούνται γύρω στους 30° C, το σόργο θέλει για να ωριμάσει το μισό χρονικό διάστημα από ότι στους 20°C. Την πρωίμιση της παραγωγής επηρεάζει επίσης και η φωτοπερίοδος. Το σόργο είναι φυτό βραχείας φωτοπερίοδου που πρωιμίζει ή οψιμίζει κατά 10 έως 14 μέρες για κάθε ελάττωση ή αύξηση της φωτοπερίοδου κατά μία ώρα.



Σχήμα 2.4.1. Κατανομή Θερμοκρασίας και βροχοπτώσεως σε μια περιοχή όπου το σόργο καλλιεργείται επιτυχώς.

2.4.2 Έδαφος

Οι εδαφικές απαιτήσεις του σόργου είναι επίσης μικρές. Αποδίδει σχετικά καλά σε πτωχά εδάφη και ανέχεται τα σχετικά αλατούχα η αλκαλιωμένα εδάφη (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

2.5 Καλλιέργεια

2.5.1 Κατεργασία εδάφους

Επειδή το σόργο έχει μικρό σπόρο απαιτείται καλή κατεργασία για την επίτευξη κατάλληλης σποροκλίνης, διατήρηση της εδαφικής υγρασίας και την καταστροφή των ριζωμάτων ή σπόρων των ζιζανίων. Συνιστάται ένα θερινό όργωμα ή φθινοπωρινό και σβαρνίσματα λίγο πριν τη σπορά.

2.5.2 Λίπανση

Εφαρμόζεται η λίπανση που εφηρμόζετο στα διπλά υβρίδια αραβοσίτου. Έχει μεγάλες ανάγκες σε N, P, K, Ca, Mg και S (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Το άζωτο που δίνεται σήμερα συνολικώς είναι συνήθως περισσότερο από 20 kg/στρ. Περίσσεια αζώτου προκαλεί μερική οψίμιση

γιατί παρακωλύεται η ανάπτυξη των φυτών ιδίως με συνθήκες ξηρασίας που δυσχεραίνουν τη πρόσληψη N. Προσλαμβάνεται κυρίως ως NO_3 αλλά και NH_4^+ . Μεγαλύτερες αποδόσεις αζώτου αυξάνουν και τον άριστο πλυθισμό φυτών.

Ο φώσφορος συντελεί στο ταχύτερο φύτρωμα, στην ανάπτυξη της ρίζας, στην πρωίμηση, στο καλό δέσιμο, στην καλύτερη ωρίμανση του καρπού. Έλλειψη του προκαλεί κοκκίνισμα των φύλων και παρακωλύει τη χρησιμοποίηση των νιτρικών ιδίως στη νεαρή ηλικία. Η απορρόφηση είναι συνεχής και αυξάνει από την άνθιση μέχρι την ωρίμανση. Το Ινστιτούτο Σιτηρών συνιστά 4-6 kg P/στρ.

Το κάλιο βοηθά στη σύνθεση των υδατανθράκων, τη μεταφορά αμύλου στους κόκκους, συντελεί στην αντοχή στη ξηρασία, το ψύχος, το πλάγιασμα και τις ασθένειες. Η πρόσληψη είναι μικρή στην αρχή και μεγιστοποιείται τρεις εβδομάδες πριν την άνθιση. Σε περίπτωση έλλειψης καλίου τα κατώτερα φύλλα γίνονται κιτρινοπράσινα και παρατηρείται περιφερειακή νέκρωση και εξασθένηση της ρίζας και του στελέχους. Η τροφοπενία ενισχύεται στα αμμώδη και πολύ συμπαγή, καθώς και στα πολύ οργανικά εδάφη. Σε περίπτωση έλλειψης το Ινστιτούτο Σιτηρών συνιστά 15-20 kg K/στρ.

Συνήθως χορηγούνται 4-15 μονάδες N και 4-7 μονάδες P στο στρέμμα αντίστοιχα (Dercas, N., 1995).

Απαραίτητο στοιχείο θεωρείται και το ασβέστιο αλλά μόνο σε πολύ όξινα εδάφη, μπορεί να προκληθεί τροφοπενία. Συνήθεις επίσης τροφοπενίες είναι του σιδήρου στα υγρά, ψυχρά και αλκαλικά εδάφη, του βορίου σε πολύ όξινα αμμώδη ή οργανικά εδάφη, του μαγγανίου σε οργανικά εδάφη, του μαγνησίου όταν υπάρχει περίσσεια K και του ψευδαργύρου με περίσσεια P και υγρασίας.

Στο χορτοδοτικό σόργο μετά από κάθε κοπή προστίθεται συνήθως 2 περίπου μονάδες N/στρέμμα. Αν δε βρέξει πρέπει να ποτίζεται στη περίπτωση που λιπαίνεται (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Κοινώς αποδεκτό είναι το γεγονός να αφήνεται χωρίς καμία λιπαντική αγωγή, η καλλιέργεια του σόργου, για χρονικό διάστημα από 2 έως 3 έτη, όταν έχουμε ικανοποιητικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας, καθώς το φυτό κυρίως εξαιτίας του πλούσιου και εκτεταμένου ριζικού του συστήματος, δεσμεύει το φυσικό άζωτο καθώς και άλλα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος. Γι' αυτό άλλωστε θεωρείται σημαντική η συμβολή του στην οικοδόμηση της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών.

2.5.3 Σπορά

Η σπορά γίνεται την Άνοιξη και μάλιστα περίπου δύο εβδομάδες μετά τη σπορά του αραβοσίτου. Η καλύτερη περίοδος για τις εύκρατες

περιοχές θεωρείται αυτή από τα μέσα Μαΐου έως και τις αρχές Ιουνίου. Καλά κατεργασμένο έδαφος, υγρασία και θερμοκρασία άνω των 7-10 °C απαιτούνται για την επιτυχία φυτρώματος του σόργου.

Συνήθως ο σπόρος πριν χρησιμοποιηθεί απολυμαίνεται με ειδικά μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα. Η σπορά είναι γραμμική και οι αποστάσεις εξαρτώνται από τη χρήση του φυτού. Αν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χορτοδοτικού, οι αποστάσεις των γραμμών είναι 35-40 εκ., ενώ στο καρποδοτικό οι αποστάσεις είναι 60-80 εκ. Σε περίπτωση που η καλλιέργεια είναι ξηρική τότε οι αποστάσεις είναι ακόμα μεγαλύτερες και αγγίζουν τα 100 εκ. Συνήθως για το χορτοδοτικό απαιτούνται περί τα 3-4 κιλά σπόρο, 2-2,5 κιλά για το καρποδοτικό. Επιθυμητός αριθμός φυτών στο καρποδοτικό 2.500 φ/στρ. στα ξηρικά και 5.000 στα αρδευόμενα. Το σόργο σπείρεται με κοινή σπαρτική σίτου και ο σπόρος τοποθετείται σε βάθος 3-4 εκ. Με ανεπαρκή υγρασία κυλίνδρισμα μετά τη σπορά ευνοεί το φύτρωμα (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

2.5.4 Άρδευση

Παρότι θεωρείται από τα φυτά με τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε νερό η άρδευση θεωρείται απαραίτητη (Mastrorilli, M., 1995). Η άρδευση του σόργου διενεργείται δι' οποιουδήποτε συστήματος (αύλακες, καταιονισμός, σταγόνα κ.λ.π.) σε τρεις συνήθως περιόδους για όλες τις κατηγορίες των ποικιλιών. Στις χορτοδοτικές μία άρδευση δίδεται πριν την 1η κοπή και οι 2 άλλες μετά την 1η και 2η κοπή. Η άρδευση στο καρποδοτικό τελειώνει όταν ο καρπός είναι στο γάλα (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

Ειδικότερα, για τα κλιματικά δεδομένα του Θεσσαλικού κάμπου ο μέσος όρος των συνολικών αναγκών σε αρδευτικό νερό των καλλιεργειών κατά την αρδευτική περίοδο υπολογίζεται σε 480 m³/στρ. συνυπολογιζομένου και ενός ποσοστού απωλειών περίπου 20% (Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., 1996).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, με σωστό πρόγραμμα άρδευσης σε συνδυασμό με υψηλής γονιμότητας εδάφη δύναται να επιτευχθούν πολύ υψηλές παραγωγές. Επιπλέον η επάρκεια αρδευτικού νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας καθώς και ζάχαρης.

2.6 Προϊόντα

Ο καρπός του σόργου περιέχει 12% πρωτεΐνη, 3% φυτικό λίπος, 70% υδατάνθρακες και λίγες βιταμίνες, Ο καρπός χρησιμοποιείται όπως

και το ρύζι, δηλαδή ως φαγώσιμο ή μπορεί να αλεσθεί και να παραχθεί αλεύρι. Κυρίως, στην Αφρική και τη Ασία, χρησιμοποιείται στη διατροφή του ανθρώπου. Έχει δε την ίδια ή λίγο μικρότερη θρεπτική αξία σε σχέση με αυτή του καλαμποκιού. Η τιμή του είναι μικρότερη σε σχέση με του καλαμποκιού. Στην Αφρική παράγεται από το σπόρο μπύρα τύπου Kiffer, ενώ ο καψαλισμένος σπόρος χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο του καφέ. Στον Δυτικό Κόσμο χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή και τροφή για πουλιά.

Ο σπόρος αναφέρεται ότι έχει πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες όπως καταπραϋντικές, διουρητικές, μαλακτικές, αντιοξειδωτικές ενώ επίσης έχει ευεργετικές ιδιότητες κατά την εγκυμοσύνη. Υπάρχουν αναφορές, κυρίως από την λαϊκή παράδοση, που λένε ότι είναι γιατρικό για το καρκίνο, την επιληψία και για το στομαχόπονο. Στη νότια Ροδεσία οι ρίζες του φυτού χρησιμοποιούνται για την ελονοσία, οι σπόροι για ασθένειες στήθους και τη διάρροια, ενώ ο μίσχος για τη φυματίωση. Στην Ινδία το φυτό θεωρείται ανθελμινικό και εντομοκτόνο και στην Νότια Αφρική σε συνδυασμό με το *Erigeron canadense* L., χρησιμοποιείται για έκζεμα. Στην Κίνα, όπου οι σπόροι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οινοπνεύματος, το κέλυφος του σπόρου σιγοψήνεται με καφέ ζάχαρη και λίγο νερό έτσι ώστε να αντιμετωπίσει την ιλαρά. Σύμφωνα με τον Morton οι ιθαγενείς του νησιού Curacao πίνουν το αφέψημα των φύλλων για την ιλαρά, ενώ αλέθουν τους σπόρους με εκείνα της κολοκυθιάς (*Crescentia*) για ασθένειες του πνεύμονα. Οι κάτοικοι της Βενεζουέλας ζεσταίνουν και πολτοποιούν τους σπόρους για την διάρροια. Οι Βραζιλιάνοι πίνουν το αφέψημα των σπόρων για τις βρογχίτιδες, το βήχα και άλλες ασθένειες του στήθους, πιθανόν χρησιμοποιούν την στάχτη για την βρογχοκήλη. Οι κάτοικοι της Αρούμπα βάζουν κατάπλασμα στην πλάτη εκείνων που υποφέρουν από πνευμονική συμφόρηση. Σύμφωνα με τη βοτανική του Griene, ένα αφέψημα από 50 γρ. σπόρου διαλυμένα σε 1 λίτρο νερό, βράζεται έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος στο μισό, χρησιμοποιείται για τα νεφρά και τις παθήσεις του ουρικού συστήματος.

Εκ των στελεχών του σακχαροφόρου σόργου, κατόπιν ειδικής επεξεργασίας ανάλογα του σακχαροκάλαμου, εξάγεται γλυκό σιρόπι το οποίο περιέχει υψηλό ποσοστό σακχάρου. Ορισμένες ποικιλίες καλλιεργούμενες υπό κατάλληλες συνθήκες δίνουν χυμό με περιεκτικότητα 13-17% σακχάρου, εκ του οποίου το μεγαλύτερο μέρος (10-14%) είναι σακχαρόζη. Η χρήση του σόργου στη σακχαροβιομηχανία μειονεκτεί από άποψη κόστους εξαγωγής σακχάρους, συγκριτικά προς το σακχαροκάλαμο και τα σακχαρότευλα.

Το χόρτο χρησιμοποιείται ως χλωρή και ενσιρωμένη ζωοτροφή. Η θρεπτική αξία του σανού είναι παρόμοια με τα άλλα αγροστώδη. Ο σανός θεωρείται πολύ καλός για ζώα εργασίας και κρεοπαραγωγικά βοοειδή,

ενώ υστερεί για αγελάδες γαλακτοπαραγωγής όπου κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται η μηδική.

Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται για εξαγωγή αμύλου, σακχαρούχων προϊόντων, ελαίου, παρασκευή κολλητικών ουσιών και αλκοολούχων ποτών.

Το σόργο έχει επίσης διάφορες άλλες δευτερευούσης σημασίας χρήσεις, όπως η κατασκευή σαρώθρων (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003).

2.7 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοενέργειας

2.7.1 Γλυκό σόργο (Sweet sorghum)

2.7.1.1 Γενικά

Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα και υψηλή απόδοση βιομάζας. Η απόδοση του χλωρού βάρους είναι περίπου 9 ton/στρ. και του ξηρού βάρους 2 ton./στρ. Ανέχεται την ξηρασία και έχει μικρές απαιτήσεις σε λίπανση. Μπορεί να φυτρώσει σε μεγάλο εύρος εδαφών και σε δάση με μεγάλη αλατότητα, αλκαλικότητα και στράγγιση. Επίσης, είναι αρκετά ευάλωτο στο τίναγμα όταν στον αγρό επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

Γενικά, το κόστος παραγωγής είναι χαμηλό και η καλλιέργεια γίνεται χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες. Στην συγκομιδή όμως, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης ειδικού μηχανήματος που ξεχωρίζει τα φύλλα από τους μίσχους.

Το γλυκό σόργο έχει υψηλό ποσοστό από εύκολα ζυμούμενα σάκχαρα και οργανικά καύσιμα (ίνες). Με σωστή καλλιεργητική τεχνική καθώς και ορθολογική χρήση λιπασμάτων και νερού, η παραγωγή αιθανόλης φτάνει τα 670 lt/στρ. (Nicholaou, N.).

2.7.1.2 Ποικιλίες γλυκού σόργου

Ποικιλίες γλυκού σόργου είναι οι: SOFRA, KORALL, COWLEY, KELLER και MN 1500.

2.7.2 Ινώδες σόργο (Fiber sorghum)

2.7.2.1 Γενικά

Από πρόσφατες έρευνες, η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μία εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα και σε υποτροπικά κλίματα (Dalianis, C., 1996).

Το ινώδες σόργο χαρακτηρίζεται από μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μεγάλη παραγωγή βιομάζας, αντοχή στην ξηρασία και μικρές απαιτήσεις σε άζωτο. Έχει μικρή περιεκτικότητα σε ζάχαρη (9-12%), ενώ

η υψηλή ενεργειακή του αξία οφείλεται στο υψηλό ποσοστό σε λινοκυτταρικές ίνες (περίπου 2 ton/στρ) που περιέχει.

Το ινώδες σόργο μπορεί να φυτρώσει σε μεγάλο εύρος εδαφών με pH 5 ως 8. Εδάφη όξινα και βαριά θα πρέπει να αποφεύγονται. Με τις Ελληνικές συνθήκες απαιτούνται 300-700 mm άρδευση, ανάλογα φυσικά με την περιοχή στην οποία καλλιεργείται. Οι απαιτήσεις σε λίπανση είναι μικρές και συνήθως παρέχονται 5 μονάδες N. Η απόδοση σε χλωρό βάρος φτάνει τους 9 ton/στρ, ενώ για ξηρό τους 3 ton/στρ (Panoutsou, K.).

2.7.2.2 Ποικιλίες ινώδους σόργου

Ποικιλίες ινώδους σόργου είναι οι: ABF 306, NK 506, H132 και FS 5.

2.8 Σημασία του σόργου για την Ελλάδα

Το συμπέρασμα πού βγαίνει από τα όσα γράψαμε για το σόργο είναι ότι το φυτό αυτό προσαρμόζεται σε περιβάλλοντα με καλοκαιρινή βροχόπτωση, τα οποία όμως έχουν ύψος βροχής μικρότερο απ' ότι χρειάζεται το καλαμπόκι ή έχουν θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή πού είναι ευνοϊκή γι' αυτό. Στις περιοχές όπου ή βροχόπτωση και ή θερμοκρασία είναι ευνοϊκές για το καλαμπόκι, το σόργο δεν καλλιεργείται, γιατί το καλαμπόκι έχει μεγαλύτερο δυναμικό αποδόσεως.

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από βροχόπτωση κυρίως το φθινόπωρο και το χειμώνα. Επομένως τα χειμωνιάτικα σιτηρά βρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι του σόργου, όταν αυτό δεν αρδεύεται. Σε χωράφια γόνιμα και με αφθονία νερού αρδεύσεως το καλαμπόκι πλεονεκτεί έναντι του σόργου, γιατί δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις. Εκεί όμως που τα εδάφη είναι μετρίου γονιμότητας ή φτωχά και το αρδεύσιμο νερό περιορισμένο, πρώιμα και παραγωγικά υβρίδια σόργου θα μπορούσαν να συναγωνιστούν το καλαμπόκι, ιδίως το επίσπορο, που σπέρνεται και αναπτύσσεται στην πιο θερμή περίοδο του καλοκαιριού. Όπως είδαμε, ή θερμοκρασία κατά το θέρος στην Ελλάδα, ενώ είναι οριακή για το καλαμπόκι, για το σόργο είναι ευνοϊκή. Έκτος αυτού, το σόργο παρουσιάζει το πλεονέκτημα να είναι ανθεκτικότερο στην ξηρασία, σε ορισμένα έντομα, στα άλατα και αλκάλια, και να συγκομίζεται με τις θεριζοαλωνιστικές πού χρησιμοποιούνται για τη συγκομιδή του σιταριού.

Θα μπορούσε λοιπόν να πει κανείς ότι το καλαμπόκι και το σόργο είναι δύο φυτά που το ένα συμπληρώνει το άλλο στην αξιοποίηση του περιβάλλοντος. Το πρώτο αξιοποιεί γόνιμα χωράφια και άφθονο νερό, ενώ το δεύτερο φτωχότερα χωράφια και περιορισμένη βροχή ή άρδευση.

Για την ώρα το σόργο ελάχιστα καλλιεργείται στην Ελλάδα. Κατά το 1962 η καλλιέργεια του κατέλαβε μόνο 10.000 στρ. για καρπό και 52.000 στρ. για σκούπες. Το σόργο για καρπό καλλιεργήθηκε κυρίως στο νομό Καρδίτσας, ενώ το σόργο για σκούπες στο νομό Έβρου. Πάντως, επειδή και στο σόργο έχει ήδη προχωρήσει πολύ η εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της ετερώσεως με τη δημιουργία νάνων υβριδίων, φαίνεται πώς το σόργο υπό άρδευση μπορεί να καλλιεργηθεί και στον τόπο μας με επιτυχία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

3.1 Γενικά

Τα υγρά αστικά απόβλητα δημιουργούνται κατά τις διαδικασίες καθαριότητας (χώροι υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια κλπ.) σε μια κατοικημένη περιοχή (κατοικίες, γραφεία, ιδρύματα, βιομηχανίες κλπ). Κύριο συστατικό τους είναι το νερό, με ορισμένες ξένες προσμίξεις, που το καθιστούν κατ' αρχήν ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και επηρεάζουν δυσμενώς τους τελικούς αποδέκτες.

3.2 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 3.2

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%ο (κατά βάρος), δηλαδή σε 1000 λίτρα λύματα υπάρχουν περίπου 1,25 kg 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 πλευρά 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, οι στερεές γενικά ουσίες, που δημιουργούν θολότητα και αισθητικά προβλήματα και οι τοξικές, 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.

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

Πίνακας 3.2. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (Asano, T., 1994).

3.3 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 παθογενών 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. Βέβαια, οι παθογενείς 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.

Εξάλλου, όσο κι αν το διαθέσιμο νερό στον πλανήτη είναι φαινομενικά πάρα πολύ, το σημαντικότερο μέρος είναι αλμυρό (θάλασσα 98, 78%) και δεν προσφέρεται για τις περισσότερες χρήσεις, ενώ από το γλυκό νερό (1,22%) το πιο πολύ (1,195%) είναι παγιδευμένο στα πολικά καλύμματα των πάγων. Επομένως το διαθέσιμο τελικά νερό είναι ασήμαντο ποσοστό του συνολικού (ποτάμια 0,0014%), που όταν ρυπαίνεται, γίνεται ακατάλληλο 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, Γ., 1990).

3.4 Επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων

Η επεξεργασία καθαρισμού των λυμάτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά κ.λπ.) συνέπειες.

Τα αστικά λύματα, αν δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3.4.1 Μέθοδοι επεξεργασίας

Οι διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων (εκτός από τις καθαρά χημικές) αποτελούν απομίμηση με ελεγχόμενες ευνοϊκές

συνθήκες των διαφόρων διεργασιών, που γίνονται στη φύση, όταν διατεθούν υγρά απόβλητα.

Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες καθαρισμού, που εμφανίζονται, είναι:

Σχάρισμα ή άλεση: για τα χοντρά υλικά

Αμμοσυλλογή: για τα βαριά, κυρίως αδρανή, υλικά (άμμος, χαλίκια, σπόροι).

Ξάφρισμα - λιποσυλλογή: για τα επιπλέοντα υλικά (λάδια, λίπη, λεπτά υλικά κλπ.)

Καθίζηση: για την απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων λεπτών στερεών. Η καθίζηση διακρίνεται συνήθως σε απλή (πρωτοβάθμια), με χημική υποστήριξη (κροκύδωση), μετά από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια).

Δύλιση: είναι μηχανική κατ' αρχήν επεξεργασία, που εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (άρδευση, αμμοδιωλιστήριο) για τα πολύ λεπτά υλικά, αλλά συνδυάζεται ταυτόχρονα με βιολογική αποδόμηση των οργανικών με τη βοήθεια του εδαφικού οξυγόνου.

Κροκύδωση (χημική): για τα κολλοειδή υλικά (ανόργανα και οργανικά).

Βιολογική επεξεργασία : για τα πολύ λεπτά ή διαλυμένα οργανικά υλικά.

Χημική επεξεργασία: για τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά (οξέα, άλατα).

Απολύμανση: για τους παθογόνους παράγοντες.

Διευκρινίζεται ότι σε κάθε περίπτωση καθαρισμού αποβλήτων δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα όλες οι πιο πάνω επεξεργασίες, αλλά ο πιο κατάλληλος για την υπόψη περίπτωση συνδυασμός, που η εκλογή του γίνεται από τον ειδικό μελετητή με βάση την επαγγελματική του εκτίμηση και ανάλογα με την ποιότητα και ποσότητα των αποβλήτων, την αφομοιωτική ικανότητα και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη της τελικής απορροής, την οικονομικότητα, τις τοπικές συνθήκες και την ακολουθούμενη γενικά τοπική πολιτική για το περιβάλλον κλπ. και πάντα μέσα στα πλαίσια διασφάλισης της δημόσιας υγείας και γενικότερα της προστασίας του περιβάλλοντος και της ποιότητας της ζωής.

3.4.2 Στάδια καθαρισμού

Από την πρακτική εφαρμογή των διαφόρων συνδυασμών των διαδικασιών επεξεργασίας των αστικών λυμάτων έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως βασικά στάδια καθαρισμού, που εκφράζουν φραστικά το βαθμό της καθαρότητας της τελικής απορροής.

3.4.2.1 Πρωτοβάθμιος (ή μηχανικός) καθαρισμός

Περιλαμβάνει συνήθως σχάρισμα, αφαίρεση άμμου και ενδεχόμενα επιπλεόντων υλικών (προκαταρκτική επεξεργασία) και βασικά πρωτοβάθμια καθίζηση με απαραίτητο συμπλήρωμα την επεξεργασία της λάσπης (π.χ. αναερόβια χώνευση κλπ.), που δεν είναι πάντως εξολοκλήρου «μηχανική» επεξεργασία. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (οργανικά, στερεά, μικρόβια), κατά μέσον όρο, από 35-50% περίπου.

3.4.2.2 Δευτεροβάθμιος καθαρισμός

Εάν οι συνθήκες του αποδέκτη απαιτούν ψηλότερο βαθμό καθαρισμού, ακολουθεί δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση κατά το δυνατό των πολύ λεπτών και διαλυμένων ουσιών. Η επεξεργασία αυτή αποτελείται, είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζόμενων αιωρημάτων με δευτεροβάθμια καθίζηση, είτε - κυρίως παλιότερα και σε ειδικές περιπτώσεις τώρα - από χημική υποστήριξη της αρχικής απλής καθιζήσεως με κροκύνωση σε συνδυασμό με άλλες χημικές διεργασίες κυρίως για τα βιομηχανικά απόβλητα.

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία και ειδικότερα η βιολογική, που δίνει σε σημαντικό βαθμό οξειδωμένα προϊόντα (NO_3 κλπ.), αποτελεί συνήθως το τελικό στάδιο και χαρακτηρίζεται συμβατικά σαν «πλήρης». Παρότι και σήμερα εξακολουθεί να θεωρείται αρκετή σαν τελικό στάδιο, σε ειδικές περιπτώσεις γίνεται πιο προχωρημένος καθαρισμός (τριτοβάθμιος).

Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD_5 , αιωρούμενα στερεά, κολοβακτηριοειδή) κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό (σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο) είναι κατά μέσον όρο της τάξεως του 80-90%.

3.4.2.3 Τριτοβάθμιος (ή προχωρημένος) καθαρισμός

Ακολουθεί τα προηγούμενα στάδια και συμπληρώνεται με την απομάκρυνση κυρίως του αζώτου (με τη μορφή της αμμωνίας, NH_3 ή των νιτρικών, NO_3) και του φωσφόρου (PO_4), είτε για την αντιμετώπιση των κινδύνων ευτροφισμού του τελικού αποδέκτη (λίμνη, θάλασσα), είτε και για επαναχρησιμοποίηση της τελικής απορροής για δευτερεύουσες χρήσεις ή ακόμη και για ύδρευση, ύστερα από πιο πέρα επεξεργασία (ενεργό άνθρακα, απολύμανση κλπ.). Οι εφαρμοζόμενες διαδικασίες είναι φυσικές (π.χ. αερισμός για NH_3 ή αντίστροφη ώσμωση για NO_3 και PO_4) ή χημικές (ιζηματοποίηση για PO_4) ή βιολογικές (ανάπτυξη μικροφυκών, απονιτροποίηση).

3.4.2.4 Απολύμανση

Και στα τρία στάδια καθαρισμού μπορεί να εφαρμοσθεί μόνιμα ή περιοδικά απολύμανση της τελικής απορροής, αν κριθεί απαραίτητη, λόγω της φύσεως των αποβλήτων(νοσοκομειακά) ή των ειδικών χρήσεων του αποδέκτη (ύδρευση, αλιεία οστρακόδερμων, κολύμβηση, άρδευση κλπ.). Η απολύμανση μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως είναι η έγχυση αερίου χλωρίου, υποχλωριώδους νατρίου (ή ασβεστίου), όζοντος, ή με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Επισημαίνεται ότι, ελαττώνει μερικά τις οργανικές ουσίες (BOD) και κυρίως το μικροβιακό φορτίο (μέχρι και 99%) (Μακραντωνάτος, Γ., 1990).

3.5 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση

3.5.1 Σκοπός και περιορισμοί

Ο σκοπός της επαναχρησιμοποίησης είναι η διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων ως αρδευτικό νερό. Οι βασικές συνιστώσες ενός συστήματος επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση είναι:

- (i) τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού
- (ii) το είδος της καλλιέργειας
- (iii) τα χαρακτηριστικά της περιοχής
- (iv) η μέθοδος της άρδευσης και
- (v) η πρακτική της άρδευσης

Ο αντικειμενικός στόχος της επαναχρησιμοποίησης είναι η διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων, μετά από μια πρόσθετη τεταρτοβάθμια επεξεργασία με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καλλιέργειας, όχι μόνο από ποσοτική, αλλά και από ποιοτική άποψη. Ο στόχος αυτός πρέπει να επιτευχθεί χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με μια σειρά περιορισμούς που εξασφαλίζουν:

- (i) την προστασία της δημόσιας υγείας και
- (ii) την προστασία του αερίου, υγρού και εδαφικού περιβάλλοντος.

3.5.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού

Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα απόβλητα για άρδευση πρέπει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους να ικανοποιούν ορισμένα κριτήρια (Ανδρεαδάκης, Α., 1993).

Στη συνέχεια αναφέρονται τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα κριτήρια (Πίνακας 3.5.2) που πρέπει να ικανοποιούν αυτά. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- (i) η περιεκτικότητα σε άλατα ή αλατότητα,
- (ii) η περιεκτικότητα σε νάτριο,
- (iii) η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ιόντα, χλώριο και βόριο,

- (iv) η περιεκτικότητα σε μέταλλα,
- (v) η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά,
- (vi) η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά,
- (vii) η περιεκτικότητα σε παθογόνα συστατικά και
- (viii) η περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά.

Ενδεχόμενο πρόβλημα από το νερό άρδευσης	Μονάδες	Βαθμός περιορισμού στη Χρήση		
		Κανένας	Μικρός έως μέτριος	Μεγάλος
Αλατότητα (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
Διηθητικότητα (Επηρεάζει το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος. Εκτιμάται από το συνδυασμό των SAR και EC _w)				
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
Τοξικότητα ιόντων (Επηρεάζει τις αποδόσεις των ευαίσθητων φυτών)				
Νάτριο (Na)				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	SAR ή adj. SAR	<3	3-9	>9
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<69	>69	
Χλώριο (Cl) \				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	mg/L	<142	142-355	>355
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	me/L	<106	>106	
Βόριο (B)	mg/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Διάφορες επιδράσεις (Αφορούν κυρίως ευπαθή φυτά)				
Άζωτο (Ολικό-N)	mg/L	<5	5-30	>30
Όξινα ανθρακικά (HCO₃) (Μόνο για τον καταιονισμό)	me/L	<1,5	1,5-8,5	
	mg/L	<90		
Υπολειμματικό χλώριο	mg/L	<1	1-5	>5
pH	Σύνηθες εύρος 6,5-8,5			

Πίνακας 3.5.2. Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού (Ayers, S., 1977), (Ayers, s., Westcot, W., 1985), (U.L.L.L., 1974), (Pettygrove, S., Asano, T., 1985), (Pescod, B., 1992).

3.5.3 Το είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας

Η ελευθερία της επιλογής του είδους της καλλιέργειας δίδει τη δυνατότητα αποφυγής προβλημάτων στα φυτά, αλλά και στη δημόσια υγεία. Επιλέγοντας μια καλλιέργεια ανθεκτική σε αλκαλιωμένα εδάφη και σε τοξικά συστατικά περιορίζονται σημαντικά τα προβλήματα που μπορεί να προκληθούν στην καλλιέργεια. Επιλέγοντας, επίσης μια καλλιέργεια που οι καρποί της δεν καταναλώνονται ωμοί ή δεν έρχονται σε επαφή με την αρδευόμενη επιφάνεια του εδάφους περιορίζονται οι κίνδυνοι προσβολής της δημόσιας υγείας. Σε περίπτωση που το είδος της καλλιέργειας είναι δεδομένο, η προσοχή στρέφεται στα χαρακτηριστικά των αρδευτικών νερών τα οποία πρέπει να υποστούν την απαραίτητη επεξεργασία, ώστε να ικανοποιούν τις απαραίτητες προδιαγραφές.

3.5.4 Τα χαρακτηριστικά της περιοχής

3.5.4.1 Η τοπογραφία της περιοχής

Η τοπογραφία της περιοχής χαρακτηρίζεται κυρίως από την κλίση του εδάφους, αλλά και από τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων αρδευόμενων τμημάτων. Οι αρδευόμενες περιοχές δεν πρέπει να έχουν μεγάλες κλίσεις εδάφους καθόσον αυτές (i) ευνοούν τη διάβρωση του εδάφους, (ii) οδηγούν σε ασταθείς εδαφικές συνθήκες, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο, (iii) καθιστούν δύσκολη αν όχι αδύνατη την πραγματοποίηση της καλλιέργειας και (iv) καθιστούν αντικοινωνική την άρδευση. Οι μέγιστες ανεκτές κλίσεις εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας. Για αρώσιμες καλλιέργειες οι κλίσεις του εδάφους μπορεί να είναι μέχρι 15 %, για βοσκότοπους 15-20 % (ανάλογα με την απορροή) και για δέντρα που αρδεύονται με καταιονισμό 15-30 %.

Εκτός από την κλίση του εδάφους δεν πρέπει να υπάρχουν σημαντικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων αρδευόμενων τμημάτων, γιατί μπορεί να οδηγήσουν σε (i) μεγάλη οικονομική επιβάρυνση, εξαιτίας των απαιτούμενων αντλήσεων και (ii) σε δυσκολία υδραυλικής κατανομής του αρδευτικού νερού.

3.5.4.2 Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και ασυνέχειες μπορεί να δημιουργήσουν διόδους στην πορεία των αρδευτικών νερών προς τα υπόγεια νερά. Έτσι, όταν π.χ. κάτω από το επιφανειακό έδαφος υπάρχει βραχώδες έδαφος με ρήγματα, όπως π.χ. ασβεστόλιθος, τότε τα νερά καταλήγουν γρήγορα στον υπόγειο ορίζοντα. Οι γεωλογικές συνθήκες δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία όταν το βάθος του εδάφους είναι αρκετό για τη συγκράτηση του νερού και των απαραίτητων συστατικών του.

3.5.4.3 Τα υπόγεια νερά

Το βάθος του υπόγειου ορίζοντα και η ποιότητα των υπόγειων νερών έχουν ιδιαίτερη σημασία. Όταν ο υπόγειος ορίζοντας βρίσκεται υψηλά μπορεί να επιδράσει σημαντικά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και στη μακροπρόθεσμη διήθηση των αρδευτικών νερών, ενώ παράλληλα απαιτείται και υπόγεια αποστράγγιση. Γενικά, κατά την άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα προτιμούνται υπόγειοι ορίζοντες με βάθη μεγαλύτερα από 0.9-1.2 m

3.5.4.4 Οι υπάρχουσες και σχεδιαζόμενες χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης έχουν σημαντική σημασία για την επιλογή μιας περιοχής για άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα, η οποία θα πρέπει να έχει αντικειμενικό στόχο που εναρμονίζεται με τους στόχους των σημερινών και μελλοντικών χρήσεων της περιοχής.

3.5.4.5 Το κλίμα της περιοχής

Ως σημαντικοί κλιματικές παράμετροι θεωρούνται οι κατακρημνίσεις, η εξατμισοδιαπνοή, η θερμοκρασία και ο άνεμος. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν σημαντικά (i) το υδάτινο ισοζύγιο της καλλιέργειας, (ii) τη χρονική διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, (iii) τη χρονική διάρκεια της περιόδου μη-άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα, (iv) τις απαιτήσεις αποθήκευσης του αρδευτικού νερού και (v) τις ποσότητες της αναμενόμενης απορροής.

3.5.5 Συνέπειες της άρδευσης με υγρά αστικά απόβλητα

3.5.5.1 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 ανταλλάξιμου 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 :

$$ESP = \frac{\text{ανταλλάξιμο νάτριο (meq/100g εδάφους)}}{CEC \text{ (meq/100g εδάφους)}} \times 100$$

Η CEC είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (Cation Exchange Capacity). Η CEC εκφράζεται σε μονάδες $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ εδάφους ή σε meq/100g εδάφους ($1 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1} = 1 \text{ meq/100g}$ εδάφους)

Οι τιμές της CEC του εδάφους κυμαίνονται από 2 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ μέχρι 60 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ 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).

Τύπος εδάφους	CEC ($\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$)
Αμμώδες	2-4
Αμμοτηλώδες	7-12
Πηλώδες	7-16
Ιλυοτηλώδες	9-26
Αργιλώδες και Αργιλοπηλώδες	4-60

Πίνακας 3.5.5.1.α. Τιμές CEC σε καλλιεργούμενα εδάφη

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 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 3.5.5.1.β παρουσιάζεται η αντοχή των διαφόρων φυτών στο ανταλλάξιμο νάτριο. Από τα στοιχεία του πίνακα 3.5.5.1.β. προκύπτει ότι τα πλέον ευαίσθητα φυτά στο νάτριο είναι η κερασιά, η ροδακινιά, η βερικοκιά, η πορτοκαλιά, ο βοτρυόκαρπος, το αβοκάντο, η φουντουκιά, η φιστικιά και άλλα φυτά. 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 3.5.5.1.β βλέπουμε ότι το σόργο παρουσιάζει σχετικά μικρή ευαισθησία στα νατριωμένα εδάφη.

Ευαίσθητα φυτά	
Βοτανικό είδος	Κοινή ονομασία
Persea americana	Αβοκάντο
Prunus avium	Κερασιά
Prunus persica	Ροδακινιά
Prunus armeniaca	Βερικοκιά
Pistacia spp	Φιστικιά
Corylus avellana	Φουντουκιά
Phaseolus vulgaris	Φασόλι
Gossypium hirsutum	Βαμβάκι (στο φύτρωμα των σπόρων)
Zea mays	Αραβόσιτος
Pisum sativum	Μπιζέλι
Citrus paradisi	Βοτρυόκαρπος
Citrus sinensis	Πορτοκαλιά
Citrus verticulata	Μανταρινιά
Lens caiinaris	Φακιές
Arachis hypogaea	Αράπικο φιστίκι
Cicer arietinum	Ρεβίθι
Daucus carota	Καρότο
Trifolium repens	Ασπροτρίφυλλο
Festuca arundinacea	Φεστούκα
Lactuca sativa	Μαρούλι
Trifolium alexandrinum	Τρφύλλι αλεξανδρινό
Avena sativa	Βρώμη
Allium cepa	Κρεμμύδι
Raphanus sativus	Ραπανάκι
Oryza sativa	Ρύζι
Secale cereale	Σίκαλη
Lolium multiflorum	Ήρα η πολυανθή
Sorghum vulgare	Σόργο
Spinacia oleracea	Σπανάκι
Lycopersicum esculentum	Τομάτα
Vicia sativa	Βίκος
Triticum vulgare	Σιτάρι
Ανθεκτικά φυτά	
Βοτανικό είδος	Κοινή ονομασία
Medicago sativa	Μηδική
Hordeum vulgare	Κριθάρι
Cynodon dactylon	Ζαχαρότευτλα
Gossypium hirsutum	Βερμούδα
Agropyron cristatum	Αγρόπυρο
Agropyron elongatum	Αγρόπυρο

Πίνακας 3.5.5.1.β. Αντοχή των φυτών στο νάτριο.

3.5.5.2 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, δηλ. 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.

Ανθεκτικά

Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Κριθάρι, Βαμβάκι, Ζαχαρότευτλα

Λαχανικά : Σπαράγγι

Οπωροφόρα : Φοίνικας

Σχετικά ανθεκτικά

Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Κτηνοτροφικά Μπιζέλια, Βρώμη, Σίκαλη, Σαφράνα, Σόργο, Σόγια, Σιτάρι

Χορτοδοτικά : Αγρόπυρο, Σιτάρι, Φάλαρη, Λόλιο το πολυετές, Σόργο

Λαχανικά: Αγκινάρα, Κοκκινογούλια, Κολοκυθάκι

Οπωροφόρα : Συκιά, Ελιά, Ανανάς, Ροδιά

Σχετικά ευαίσθητα

Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Φακή, Ρετινολαδιά, Καλαμπόκι, Λινάρι, Ρύζι, Κεχρί, Ηλίανθος

Χορτοδοτικά : Μηδική, Ασπροτρίφυλλο, Αγριοτρίφυλλο, Τριφύλλι το λειμώνιο, Τριφύλλι το χαμοκέρασο, Σίκαλη, Καλαμπόκι, Βρώμη

Λαχανικά: Μπρόκολο, Λάχανο, Κουνουπίδι, Σέλινο, Αγγούρι,

Μελιτζάνα, Μαρούλι, Πεπόνι, Πιπεριά, Πατάτα, Ρεπάνι,

Σπανάκι, Κολοκύθι, Γλυκοπατάτα, Γογγύλι, Καρπούζι, Τομάτα

Οπωροφόρα: Αμπέλι

Ευαίσθητα

Φυτά μεγάλης καλλιέργειας: Φασόλι, Σουσάμι

Λαχανικά : Καρότο, Μπάμια, Κρεμμύδι

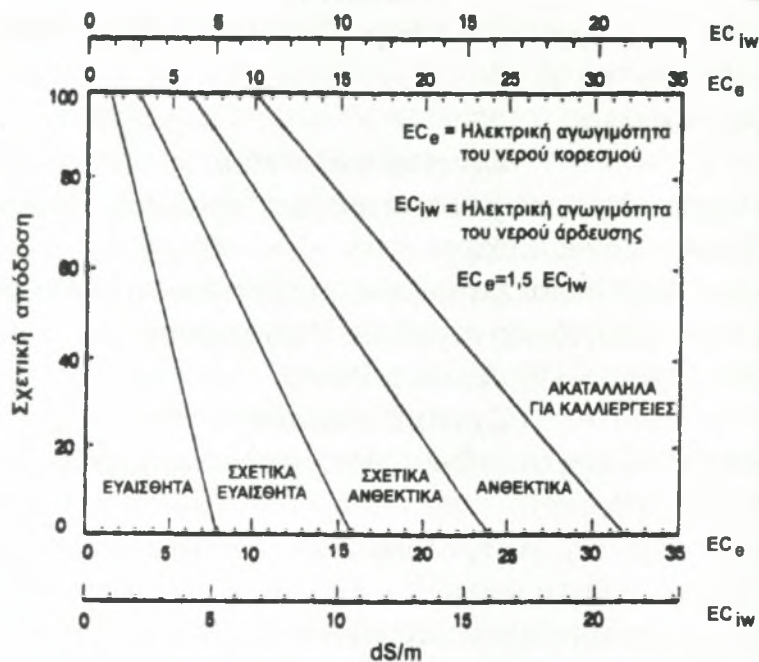
Οπωροφόρα : Αμυγδαλιά, Μηλιά, Βερικοκιά, Αβοκάντο,

Ροδακινιά, Αχλαδιά, Φράουλα, Κερασιά, Μανδαρινιά, Μάνγκο, Λεμονιά,

Δαμασκηλιά Μουσμουλιά, Γλυκολεμονιά, Πορτοκαλιά

Πίνακας 3.5.5.2. Σχετική ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών (Maas, V., 1985).

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



Σχήμα 3.5.5.2. Σχετική αντοχή στην αλατότητα των καλλιεργούμενων φυτών (Maas, V., 1985).

3.5.5.3 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 φύτρωμα 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

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

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 3.5.5.3

Μείωση της διηθητικότητας			
SAR	ασήμαντη	μικρή μέχρι μέση	μεγάλη
$EC_{iw}, mS\text{cm}^{-1}$			
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

Πίνακας 3.5.5.3. Επίπεδα SAR και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC_{iw} \times 10$) του νερού άρδευσης που επηρεάζουν την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος. (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)

3.5.5.4 Τοξικότητα βορίου (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, βερυκοκιές, πορτοκαλιές και λεμονιές, σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1 mg/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 2 mg/l. Υπάρχουν και καλλιέργειες ανθεκτικές στο βόριο, όπως τα αρμυρίκια, τα σπαράγγια, τα τεύτλα, η μηδική, τα κρεμύδια, τα λάχανα, τα μαρούλια και τα καρότα, τα οποία μπορεί να αρδευτούν με συγκεντρώσεις βόριου μέχρι 3 mg/l. Οι συγκεντρώσεις του βόριου στα επεξεργασμένα απόβλητα κυμαίνονται από 0.1 μέχρι 2.5 mg/l (μέση τιμή = 0.7 mg/l). Κατά συνέπεια μπορεί να υπερβαίνουν το απαιτούμενο όριο των 1-2 mg/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.

Αγροτικές καλλιέργειες	
Πολύ ευαίσθητες (<0.5 mg/l)	Μετρίως ευαίσθητες (1.0-2.0 mg/l)
Λεμονιά (<i>Citrus ilmon</i>)	Πιπεριά κόκκινη (<i>Capsicum annum</i>)
Βατόμουρο (<i>Rubus spp.</i>)	Μπιζέλι (<i>Pisum sativa</i>)
Ευαίσθητες (0.5-0.75 mg/l)	Καρότο (<i>Dacus carota</i>)
Αβοκάντο (<i>Persea americana</i>)	Ραπανάκι (<i>Raphanus sativus</i>)
Γκρέϊπφρουτ (<i>Citrus Xparadisi</i>)	Πατάτα (<i>Solarium tuberosum</i>)
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)
Βερυκοκιά (<i>Prunus armeniacd</i>)	Μετρίως ανθεκτικές (2.0-4.0 mg/l)
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)
Κερασιά (<i>Prunus avium</i>)	Μάππα (<i>Brassica oleracea capitata</i>)
Δαμασκηλιά (<i>Prunus domestica</i>)	Σέλινο (<i>Apium graveolens</i>)
Διόσπυρος (<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 cera</i>)	Σινάπι (<i>Brassica juncea</i>)
Ευαίσθητα (0.75-1.0 mg/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 (4.0-6.0 mg/l)
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)
Ηλιάνθος (<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>Heliantus tuberosus</i>)	Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)
Φασολιά (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Πολύ ανθεκτικές (6.0-15.0 mg/l)
Φασολιά (<i>Phaseolus lunatus</i>)	Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Αράπικο φυστίκι (<i>Arachis hypogaea</i>)	Σπαράγγι (<i>Asparagus officinalis</i>)

Πίνακας 3.5.5.4. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο(B) (Maas, V., 1984).

3.5.5.5 Τοξικότητα χλωρίου (Cl)

Τα ιόντα χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη και βλάβες στα φύλλα δέντρων (όπως π.χ. λεμονιές, ακτινίδια) 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 140 mg/l, μικρό πρόβλημα για τιμές συγκεντρώσεων 140-350 mg/l και σημαντικό πρόβλημα για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 350 mg/l. Για άρδευση με καταιονισμό δεν αναμένεται κανένα πρόβλημα για συγκεντρώσεις χλωρίου μικρότερες από 100 mg/l. (Στάμου, Α., 1995).

Καλλιέργεια	Όριο συγκέντρωσης CI- (mol/m ³ νερού)	Μείωση απόδοσης % ανά mol/m ³ CI-
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-leaf birdsfoot)	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 φύτεμα των σπόρων

b Αναφέρεται σε συνθήκες κορεσμού του εδάφους με νερό

Πίνακας 3.5.5.5. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιεργειών στο χλώριο (Cl) ((Maas, V., 1990).

Οι Σακελλαρίου κ.α. (2003) σε πείραμα άρδευσης χλοοτάπητα με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου, διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου ήταν αρκετά υψηλή (1460 mg/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.

3.5.5.6 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 μολυβδένιο, 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 3.5.5.6. Για να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα απόβλητα για άρδευση θα πρέπει όλα τα μέταλλα που περιέχουν να βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές του Πίνακα 3.5.5.6.

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.

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

Πίνακας 3.5.5.6. Συγκεντρώσεις μετάλλων (mg/l) στα επεξεργασμένα απόβλητα (i) μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και (H) ανώτατα όρια για άρδευση.(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.

3.5.5.7 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 σταλλακτών 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 φύτρωμα των σπόρων.

Οι Παπαγιαννοπούλου et al. (1998) σε πείραμα μελέτης των χαρακτηριστικών 3 τύπων σταλακτών ύστερα από άρδευση με καθαρό

νερό και απόβλητα, διαπίστωσαν την καλή λειτουργία των σταλακτήρων και με τα 2 ποιότητες νερών άρδευσης.

3.5.5.8 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 (30-35 mg/l) είναι πολύ υψηλότερες εκείνων της αμμωνίας (0.5-1.0 mg/l), ενώ όταν γίνεται και βιολογική απομάκρυνση του αζώτου οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι σημαντικά μικρότερες (10-15 mg/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 προστιδόμενη 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 10-15 mg/l χωρίς βιολογική απομάκρυνση και 1-5 mg/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 30 mg/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 1200 mm και τη συγκέντρωση του Ζη να κυμαίνεται από 0,15 έως 0,45 mg/L, έχουμε ετήσια εισροή στο έδαφος 0,18 έως 0,54 kg/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.α. (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 2 μεταχειρίσεις, όπως και η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης στους ιστούς των φύλλων.

3.5.5.9 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 (Κατσίρη, Α., 1992).

Τα σημαντικότερα παθογόνα βακτηρίδια είναι η Σαλμονέλλα (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 Βάκιλλος 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, σχιστοσομίαση 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 αμοιβικές 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 πολυομελίτιδα, 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 3.5.5.9. 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, δύλιση και απολύμανση με μέση συγκέντρωση (MPN) ολικών κολοβακτηριδίων (TC) 2.2/100 ml. Η Πολιτεία της Αριζόνα προτείνει περιοριστικές τιμές και για τους εντερικούς ιούς (1 PFU/40 ml). Η Πολιτεία της Φλόριδα απαιτεί την έλλειψη ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων περιττωματικής προέλευσης (FC), που ουσιαστικά επιτυγχάνεται με τεταρτοβάθμια επεξεργασία (δύλιση) και με χλωρίωση που εξασφαλίζει υπολειμματικό χλώριο 1 mg/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 100/100 ml 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 1000/100 ml (γεωμετρικός μέσος) και το όριο του 1 αυγού/l (γεωμετρικός μέσος) για τους εντερικούς ιούς. Το όριο των κολοβακτηριδίων προτείνεται να είναι αυστηρότερο (200/100 ml) 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 20-30/100 ml πιστεύεται ότι μπορεί να αποτελέσουν ένα ικανοποιητικό αρχικό βήμα για την περίπτωση της χώρας μας μέχρι να πραγματοποιηθεί μια συστηματική έρευνα (WHO, 1989).

Καλλιέργεια Είδος άρδευσης.	Πρωτοβάθμια Επεξεργασία	Δευτεροβάθμια Επεξεργασία + Απολύμανση.	Τεταρτοβάθμια Επεξεργασία	Ολικά Κολοβακτηρίδια MPN/100ml
Καλλιεργείες για ζωοτροφές, φυτικές ίνες και φυτικούς σπόρους	X			Καμιά 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			Καμιά απαίτηση
Προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά Άρδευση με καταιονισμό. Γήπεδα γκολφ, νεκροταφεία		X		



Πίνακας 3.5.5.9. Απαιτήσεις της Πολιτείας της Καλιφόρνια.

3.5.5.10 Περιεκτικότητα σε τοξικά οργανικά συστατικά

Στα απόβλητα μπορεί να υπάρχουν σύνθετα οργανικά συστατικά (π.χ. χλωροφόρμιο, χλωροβενζόλιο, μαλαθίο κ.α.) τα οποία αν και βρίσκονται σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (1 ppb) 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).

3.5.6 Τεταρτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως και θεωρώντας ότι τα απόβλητα που θα χρησιμοποιηθούν ως αρδευτικό νερό έχουν υποστεί κατ' ελάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία, τότε για την ικανοποίηση των επιθυμητών τιμών των παθογόνων βακτηριδίων, των ιών και των σκωλήκων θα πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις (Metcalf and Anddy, 1991).

(i) οι τιμές των συγκεντρώσεων των SS και της θολότητας θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλές, ώστε να είναι αποτελεσματική η απολύμανση, δηλ. τα αιωρούμενα στερεά να μη λειτουργούν ως ασπίδες των παθογόνων μ/ο και οι απαιτήσεις χλωρίου να είναι ελάχιστες και

(ii) η δόση και ο χρόνος επαφής της απολύμανσης να εξασφαλίζει τα απαραίτητα όρια συγκεντρώσεων των παθογόνων μ/ο στην εκροή.

Η ικανοποίηση της πρώτης προϋπόθεσης εξασφαλίζεται με τη διεργασία της δύλισης η οποία εφαρμόζεται για (i) την πρόσθετη απομάκρυνση των SS μετά από τη δευτεροβάθμια (ή τριτοβάθμια επεξεργασία), (ii) την πρόσθετη απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων, οι οποίες μπορεί να αντιδράσουν με το απολλυμαντικό μέσο, αυξάνοντας έτσι τις απαιτήσεις κατανάλωσης του απολλυμαντικού μέσου και (iii) την ποιοτική αναβάθμιση της οπτικής εμφάνισης των επεξεργασμένων αποβλήτων, εξαιτίας της μείωσης της θολότητας.

Στον Πίνακα 3.5.6 παρουσιάζονται τυπικές τιμές απομακρύνσεων των συστατικών βιολογικά επεξεργασμένων αποβλήτων κατά τη διεργασία της δύλισης.

Συστατικό	Απομάκρυνση (%)	Συστατικό	Απομάκρυνση (%)
BOD ₅	39	Φώσφορος	57
COD	34	Αρσενικό	67
TOC	33	Κάδμιο	32
NH ₃ -N	33	Χρώμιο	53
NO ₃ -N	56	Σίδηρος	56
Αλκαλικότητα	83	Μόλυβδος	16
Χρώμα	31	Μαγγάνιο	80
TSS	73	Σελένιο	90
Θολότητα	71	Υδράργυρος	33

Πίνακας 3.5.6. Απομακρύνσεις συστατικών κατά τη δύλιση.

Η ικανοποίηση της δεύτερης προϋπόθεσης εξασφαλίζεται με τη διεργασία της πρόσθετης απολύμανσης. Από τις διαφόρους, η χλωρίωση φαίνεται προς το παρόν ως επικρατέστερη εξαιτίας της αξιοπιστίας, της ευελιξίας, της απλότητας και της οικονομικότητάς της. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος με ακτινοβολία UV κερδίζει συνεχώς έδαφος, αλλά δεν έχει ακόμα διαπιστωθεί αν μπορεί να επιτύχει πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης κολοβακτηριδίων (π.χ. 2.2/100ml)(WPCF, 12988).

Έτσι η πρόσθετη επεξεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί μετά από τη δευτεροβάθμια ή την τριτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων με σκοπό αυτά να χρησιμοποιηθούν ως αρδευτικό νερό συνίσταται από τις διεργασίες της δύλισης και της πρόσθετης απολύμανσης. Οι διεργασίες αυτές μπορεί να συνδυαστούν και με άλλες διεργασίες αποτελώντας την καλούμενη "τεταρτοβάθμια ή πρόσθετη επεξεργασία".

Ένας συνδυασμός διεργασιών, που αποκαλείται "Διαδικασία του Title 22", επειδή συμπεριλαμβάνεται ως Title 22 στους Κανονισμούς της Πολιτείας της Καλιφόρνια προτάθηκε το 1978 (State of California, 1978). Ο συνδυασμός αυτός συνίσταται από τις ακόλουθες διεργασίες :

- (i) Προσθήκη χημικών (150 mg/1 θειικό αργίλιο και 0.2 mg/1 πολυμερή).
- (ii) Κροκίδωση-συσσωμάτωση.
- (iii) Δύλιση.
- (iv) Καθίζηση.
- (v) Χλωρίωση με δόση χλωρίου 10 mg/1.

Το σύνολο των παραπάνω διεργασιών εξασφαλίζει την πλήρη απολύμανση των αποβλήτων στον επιθυμητό βαθμό που απαιτεί η Πολιτεία της Καλιφόρνια, δηλ. μέχρι μηδενικής συγκέντρωσης ιών. Εκτός του ότι ο συνδυασμός αυτός είναι ιδιαίτερα αντικοινομικός, προϋποθέτει και τη συστηματικά υψηλή απόδοση της δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας που προηγείται στα επίπεδα των 14-22 mg/1 SS, θολότητας 7-9 NTU και 40-80 mg/1 COD. Όταν οι τιμές της θολότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι μικρότερες από 7-9 NTU, έχει παρατηρηθεί ότι επιτυγχάνεται στην εκροή θολότητα 2 NTU με δύλιση χωρίς τη χρήση χημικών. Η προσθήκη χημικών είναι όμως απαραίτητη, όταν η θολότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων υπερβαίνει τα 10 NTU. Στην περίπτωση όμως αυτή ο συνδυασμός των μονάδων προκύπτει συνήθως αντικοινομικός. Γι' αυτό το λόγο συνιστάται η βελτίωση της υπάρχουσας δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας, ώστε να ικανοποιείται η κρίσιμη οριακή τιμή της θολότητας των 10 NTU.

Ο συνδυασμός των διεργασιών της Title 22 παρατηρήθηκε μετά από πειράματα με ιούς πολυομελίτιδας (Dryden et al., 1979) ότι επιτυγχάνει απομάκρυνση τους 5.2 λογαρίθμους, όταν ο χρόνος απολύμανσης είναι 2 ώρες και η συγκέντρωση του υπολειμματικού

χλωρίου είναι περίπου 5 mg/l. Χωρίς τη χρήση χημικών (κροκίδωση-καθίζηση) η απομάκρυνση των ιών ήταν 4.7 λογάριθμοί για υπολειμματικό χλώριο 5.2 mg/l και 4.9 λογάριθμοι για υπολειμματικό χλώριο 3.9 mg/l. Η αντικατάσταση της δύλισης με ενεργό άνθρακα δεν είχε σημαντική επίδραση και η απομάκρυνση των ιών ήταν 5.1, λογάριθμοι, όταν το υπολειμματικό χλώριο ήταν 5.4 mg/l. Αυξάνοντας το υπολειμματικό χλώριο σε 10 mg/l παρατηρήθηκε ότι η απομάκρυνση των ιών ήταν περίπου η ίδια (5.2 λογάριθμοι) για όλους τους συνδυασμούς.

3.5.7 Αποθήκευση

Η αποθήκευση ιών επεξεργασμένων αποβλήτων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα στάδιο της τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας, καθόσον συχνά αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο που συνδέει την εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΕΕΑΑ) με το αρδευτικό σύστημα.

Ως πιθανοί Λόγοι χρησιμοποίησης της αποθήκευσης θεωρούνται οι ακόλουθοι:

- (i) Επίτευξη εξισορρόπησης των σχετικά μικρών (π.χ. ημερήσιων), αλλά Γ και μεγάλων (π.χ. εποχιακών χειμερινών) μεταβολών της παροχής της ΕΕΑΑ με αποθήκευση της παροχής, που υπερβαίνει τη ζήτηση για άρδευση.
- (ii) Ικανοποίηση της ζήτησης για άρδευση, όταν αυτή υπερβαίνει την παροχή της ΕΕΑΑ.
- (iii) Εξασφάλιση του απαραίτητου χρόνου, για προγραμματισμένη αντίδραση σε περίπτωση προβλήματος στη λειτουργία της ΕΕΑΑ ή του αρδευτικού συστήματος.
- (iv) Πραγματοποίηση πρόσθετης επεξεργασίας, καθόσον τα SS, το άζωτο και οι μ/ο μειώνονται κατά την αποθήκευση. Παράλληλα όμως, μειώνεται και το χλώριο.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε έρευνα στο Ισραήλ κατά την αποθήκευση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων αποβλήτων (73 ημέρες κατά το χειμώνα και 35 ημέρες κατά το καλοκαίρι) παρατηρήθηκε μείωση των FC, TC και στρεπτόκοκων κατά 2-4 λογάριθμους. Οι εντερικοί ιοί μειώθηκαν από 1100/100 ml το χειμώνα και 200/100 ml το καλοκαίρι σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα (Kott et al., 1978).

3.5.8 Προτεινόμενη επεξεργασία

Όσον αφορά τις ελληνικές συνθήκες, προς το παρόν και μέχρι να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες έρευνες, συνιστώνται τα ακόλουθα:

- (i) Να γίνεται προσπάθεια βελτίωσης της απόδοσης της δευτεροβάθμιας ή τριτοβάθμιας επεξεργασίας της ΕΕΑΑ στα επιθυμητά επίπεδα συγκεντρώσεων SS, COD και θολότητας που αναφέρθηκαν

προηγούμενως. Η καλή απόδοση της ΕΕΑΑ θα πρέπει να εξασφαλίζεται σταθερά καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας και να περιορίζονται στο ελάχιστο οι πιθανότητες υπέρβασης των ορίων αυτών.

(ii) Ως πρόσθετη επεξεργασία και για οικονομικούς λόγους να χρησιμοποιηθεί προς το παρόν η μέθοδος της κατευθείαν διύλισης (δηλ. χωρίς κροκίδωση-καθίζηση) με μικρή αν απαιτηθεί δόση χημικών (π.χ. θειικού αργιλίου της τάξης των 2-5 mg/l), η οποία θα ακολουθείται από χλωρίωση (π.χ. με δόση 10 mg/l και χρόνο παραμονής 1.5 ώρες). Δεν συνιστάται η αφαίρεση των τοξικών μετάλλων κατά τη δευτεροβάθμια ή τεταρτοβάθμια επεξεργασία, καθόσον αυτή αναμένεται να είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση της καλλιέργειας με άλλες ανθεκτικότερες.

(iii) Εφόσον είναι οικονομικά εφικτό ή/και το επιβάλλει η πρακτική της άρδευσης μπορεί να γίνεται και αποθήκευση μετά τη δευτεροβάθμια ή την τριτοβάθμια επεξεργασία.

3.5.9 Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Οι βασικότεροι μέθοδοι άρδευσης που εφαρμόζονται είναι οι ακόλουθες (Τσακίρης, Γ., 1986):

- (i) Άρδευση με καταιονισμό,
- (ii) Επιφανειακή άρδευση και η
- (iii) Τοπική άρδευση.

Στη μέθοδο του καταιονισμού το νερό εκτοξεύεται υπό πίεση από κατάλληλους εκτοξευτήρες και διαβρέχει, όπως η βροχή όλη την επιφάνεια του εδάφους ή τα φύλλα της καλλιέργειας. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα σχεδόν πλήρους αυτοματοποίησης, ενώ το βασικότερο μειονέκτημα της είναι η μεταφορά αερίων σταγονιδίων (aerosols) από τον άνεμο, που μπορεί να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Κατά συνέπεια η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί τη συστηματικά καλή ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων, που πρέπει να έχουν υποστεί τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία και πρόσθετη απολύμανση.

Η επιφανειακή άρδευση μπορεί να γίνει με κατάκλυση (το νερό διοχετεύεται σε επίπεδες λεκάνες και διηθείται κατακόρυφα), με περιορισμένη διήθηση (το νερό διοχετεύεται σε λωρίδες κάθετες στο αυλάκι προσαγωγής και διηθείται κατακόρυφα) ή με αυλάκια (το νερό διοχετεύεται σε αυλάκια με μικρή κατά μήκος κλίση και διηθείται κατακόρυφα και οριζόντια). Το σύστημα της επιφανειακής άρδευσης αυτοματοποιείται πολύ δύσκολα και έτσι απαιτεί την παρουσία εργατών. Παράλληλα, πρόβλημα αποτελεί η διάθεση των σημαντικών ποσοτήτων νερού που περισσεύουν μετά την άρδευση.

Η τοπική άρδευση μπορεί να γίνει με σταγόνες (στάγδην άρδευση) από κατάλληλες οπές (σταλλακτήρες) ή σταγονίδια με μικροεκτοξευτήρες. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι υγραίνει μέρος μόνο της αρδευόμενης επιφάνειας, ώστε να γίνεται εύκολα η απορρόφηση του νερού από το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών.

Οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης (κυρίως στάγδην άρδευση) θεωρούνται ιδανικές για χρήση με απόβλητα, επειδή: 1) αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους αγρότες, 2) δεν προκαλούν διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο, όπως υπάρχει πιθανότητα να συμβεί με τον καταιονισμό και 3) δε δημιουργούν απορροή αποβλήτων προς γειτονικές περιοχές όπως συμβαίνει με τις επιφανειακές μεθόδους.

3.5.9.1 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α)

3.5.9.1.1 Γενικά

Μια παραλλαγή της επιφανειακής άρδευσης με σταγόνα είναι αυτή της υπόγεια στάγδην άρδευσης. Η μέθοδος αυτή γίνεται όλο και περισσότερο γνωστή ανά το κόσμο και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσει στο άμεσο μέλλον την επιφανειακή στάγδην άρδευση σε μεγάλο ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (Υ.Σ.Α.) είναι η συχνή εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού στο έδαφος διαμέσου σταλακτών που είναι τοποθετημένοι σε αγωγό μεταφοράς που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η υπόγεια στάγδην άρδευση εμφανίστηκε πριν 50 περίπου χρόνια στις Η.Π.Α και τη Μεγάλη Βρετανία με τη λήξη του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υλικών Ρ.Ε. και Ρ.Υ.

Η εφαρμογή της μεθόδου στη δυτική ακτή των Η.Π.Α για την άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών δίπλα σε λεωφόρους, είχε ως συνέπεια την ταχεία εξάπλωση αυτής σε ολόκληρο το κόσμο.

Οι Σακελλαρίου κ.α. (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 υπόγεια σταγόνας.

Σε πειράματα στη Χαβάη το 1994 ο καθηγητής I Pai Wu αναφέρει ότι η κατανάλωση ενέργειας της αντλίας για την παροχή νερού στην υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μειωμένη σε ποσοστό 30 έως 90% σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για άρδευση με τεχνητή βροχή της αντίστοιχης καλλιεργήσιμης έκτασης.

Επίσης, οι Σακελλαρίου κ.α. (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 υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού διαπίστωσαν ότι η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι μεγαλύτερη στην υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση λόγω της μικρότερης ισαποχής των σταλακτηφόρων αγωγών. Επίσης, η εφαρμογή της υποεπιφανειακής στάγδην άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του νερού κατά 20% σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο. Ακόμη, η υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε αργιλώδη εδάφη, τα οποία συνήθως παρουσιάζουν μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

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.

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 30-45 cm, όπου τα φυτά αναπτύσσουν τον κύριο όγκο ριζών.

3.5.9.1.2 Περιγραφή του συστήματος

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα Υ.Σ.Α. αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία: i) δίκτυο μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει το νερό από το χώρο υδροληψίας στους αγωγούς εφαρμογής, και αποτελείται από τους κύριους αγωγούς.

Οι κύριοι αγωγοί έχουν συνήθως μεγάλη διάμετρο (μεγαλύτερη από 30 mm πάχος), είναι από άκαμπτο πλαστικό το οποίο συνήθως τοποθετείται υπόγεια για την αποφυγή καταστροφής από τις καιρικές συνθήκες και για διευκόλυνση των γεωργικών εργασιών.

ii) 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 12-16 mm ίσως φτάνουν και τα 25 mm με αντοχή 4-6 atm πίεση.

iii) 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 τυρβώδους ροής, ενώ ταυτόχρονα είναι αυτορρυθμιζόμενοι και αυτοκαθοριζόμενοι, δηλαδή μπορούν να διατηρήσουν την παροχή σταθερή ανεξάρτητα από το φορτίο. Η παροχή στους σταλακτήρες δεν μπορεί να μεταβληθεί από την θερμοκρασία, επειδή χρησιμοποιούνται οι σταλακτήρες με τυρβώδη ροή, αλλά και το ότι οι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος τέτοιο που δεν επηρεάζεται εύκολα (Klocke et al.,). Οι σταλακτήρες τοποθετούνται πάνω στους αγωγούς εφαρμογής.

iv) 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 το μέγεθος των φερτών υλικών, μπορούν 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 άμμου. 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 άμμου 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 διάμετρο 12 ή 16 mm. Η χωρητικότητα των λιπαντήρων φτάνει μέχρι τα 250 l.

* αντλία

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

* Βαλβίδες κενού αέρος

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

* προγραμματιστής

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

3.5.9.1.3 Αποδοτικότητα του συστήματος

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

$$E_f = TR * E_U$$

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Γενικά

Το πείραμα διεξήχθη στο Αγρόκτημα του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην ευρύτερη περιοχή του Βελεστίνου (Ν. Μαγνησίας) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2006.

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

4.2 Κλιματικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση) καταγράφηκαν σε ωριαία βάση από αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στον πειραματικό αγρό. Το κλίμα του Βελεστίνου θεωρείται το τυπικό ηπειρωτικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, με μεγάλες διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου (υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα).

4.3 Εδαφολογικά δεδομένα

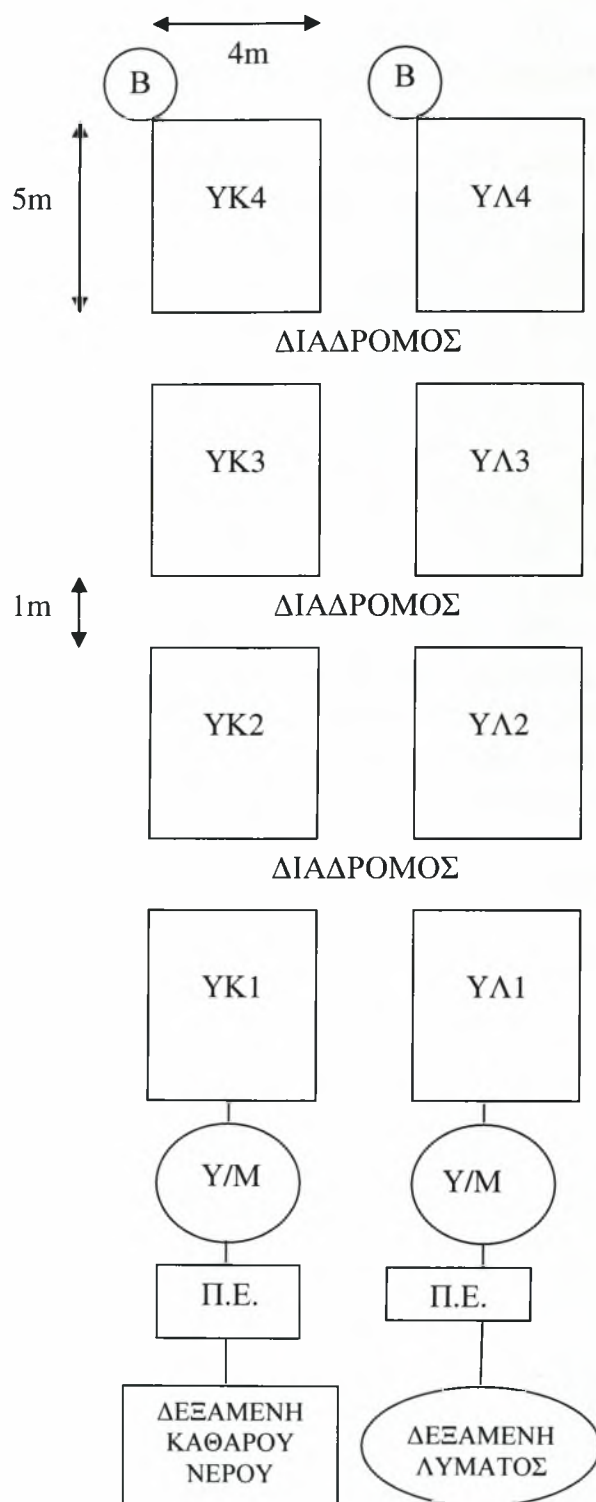
Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι: Ψύομετρο 50 m, Γεωγραφικό πλάτος 39°23', Γεωγραφικό μήκος 22°45'. Το έδαφος στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα είναι καλά αποστράγγιζαμενο, ασβεστούχο, ίλυο-αργιλοπηλώδους υφής που ανήκει στην ομάδα των Inceptisols και υπό-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1980). 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., 2000).

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

4.4 Χάραξη πειραματικού αγρού

Το πείραμα διεξήχθη με την εφαρμογή ενός πλήρους τυχαιοποιημένου σχεδίου (τροποποιημένο) το οποίο περιλάμβανε 2 μεταχειρίσεις (άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα) σε 4 επαναλήψεις. Έτσι, ο αγρός χωρίστηκε σε 8 πειραματικά τεμάχια, από τα οποία τα 4 τεμάχια προοριζόταν για τη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και τα άλλα 4 για τη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και λύμα. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 5 m μήκος και 4 m πλάτος, δηλαδή εμβαδόν 20 m² και περιλάμβανε 4 σειρές φυτών. Ανάμεσα από κάθε επανάληψη υπήρχε διάδρομος μήκους ενός μέτρου. Στο μέσο του αγρού, μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, παρέμεινε επίσης, χωρίς να σπαρθεί ένας μικρός διάδρομος (μικρότερος από εκείνον ανάμεσα στις επαναλήψεις).

Η μία μεταχείριση ποτίστηκε μόνο με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος. Η δεύτερη μεταχείριση ποτίστηκε εναλλάξ με απόβλητα και καθαρό νερό. Κάθε άρδευση με τα απόβλητα ακολουθήθηκε από δύο εφαρμογές άρδευσης με καθαρό νερό, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων και ιόντων χλωρίου στο λύμα. Και στις δύο μεταχειρίσεις οι ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για να καλύψουν το 100 % της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, βάση εξατμισιμέτρου τύπου A.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

YK: Σόργο αρδευόμενο με καθαρό νερό με υπόγεια στάγδην άρδευση.
YΛ: Σόργο αρδευόμενο με λύμα με υπόγεια στάγδην άρδευση.
 (Με τους δείκτες 1, 2, 3 και 4 σημειώνονται οι επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης)

Π.Ε.: Πίνακας Ελέγχου.
Y/M: Υδρομετρητές
B: Βαλβίδες εκτόνωσης κενού.

- Απόσταση σταλακτηφόρων σωλήνων 1,6m
- Απόσταση σταλακτήρων 0,6m
- Απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς 0,8m

Σχήμα 4.4. Απεικόνιση πειραματικού αγρού

4.5. 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 (2-3 περάσματα) έγινε πριν τη σπορά.

Στις 11 Μαΐου 2006 πραγματοποιήθηκε σπορά του αγρού με τετράσειρη σπαρτική μηχανή βαμβακιού. Για τη σπορά επιλέχθηκε η ποικιλία γλυκού σόργου Keller, εξ' αιτίας της μεγάλης παραγωγικότητας βιομάζας (3,8 ton/στρ.).

Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε βάθος 4,5cm και σε αποστάσεις 80cm μεταξύ των γραμμών και 14cm επί της γραμμής. Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε πότισμα με τη μέθοδο του καταιονισμού και το φύτευμα της καλλιέργειας έγινε περίπου στις 20 Μαΐου με 95% επιτυχία.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκε σκάλισμα με το χέρι για τον έλεγχο των ζιζανίων. Τέλος, σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν πραγματοποιήθηκε λίπανση του αγρού και δεν έγινε καμία εφαρμογή γεωργικών φαρμάκων.



Εικόνα 4.5.α Πειραματικός αγρός πριν τη σπορά.



Εικόνα 4.5.β Πειραματικός αγρός στις 7/6/2006.



Εικόνα 4.5.γ Πειραματικός αγρός στις 20/6/2006.



Εικόνα 4.5.δ Πειραματικός αγρός στις 4/8/2006.



Εικόνα 4.5.ε Πειραματικός αγρός στις 18/8/2006.



Εικόνα 4.5.στ Πειραματικός αγρός στις 30/8/2006.



Εικόνα 4.5.ζ Πειραματικός αγρός στις 15/9/2006.



Εικόνα 4.5.η Φυτά σόργου του πειραματικού αγρού στις 10/7/2006.



Εικόνα 4.5.θ Φυτά σόργου του πειραματικού αγρού στις 22/8/2006.



Εικόνα 4.5.1. Φυτά σόργου του πειραματικού αγρού στις 13/9/2006

4.6 Υλικά άρδευσης

Για την άρδευση του πειραματικού αγρού, επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Την προηγούμενη χρονιά (2005), πραγματοποιήθηκε στον ίδιο αγρό το ίδιο πείραμα και εγκαταστάθηκε διπλό δίκτυο μεταφοράς των νερών καθώς η μία μεταχείριση ποτιζόταν μόνο με καθαρό νερό και η άλλη μεταχείριση ποτιζόταν εναλλάξ με καθαρό νερό και απόβλητα. Το ίδιο δίκτυο μεταφοράς νερού χρησιμοποιήθηκε και τη δεύτερη χρονιά (2006) που επαναλαμβάνεται το πείραμα. Η τοποθέτηση του υπογείου δικτύου άρδευσης έγινε σε βάθος 45cm με τη βοήθεια υπεδαφοθέτη.

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

Για την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν 2 ηλεκτροβάνες (μία για κάθε μεταχείριση) τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9-40V. Ο έλεγχος για πιθανές αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης πραγματοποιούνταν με τη χρήση 2 υδρομέτρων (ένα για κάθε μεταχείριση). Ένα από τα υδρόμετρα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα φαίνεται στην Εικόνα 4.6.α.



Εικόνα 4.6.α. Υδρόμετρο

Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή Miracle DC της εταιρίας Motorola (Εικόνα 4.6.β).



Εικόνα 4.6.β. Προγραμματιστής άρδευσης

Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC 6, 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 9 V, το άνοιγμα για τα καλώδια, τον πίνακα ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.

Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς άρδευσης για 9 h και 59 min, 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 περισσοτέρων 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 10 min για την κάθε ημέρα.

Για τη συγκέντρωση και διάθεση του προς άρδευση καθαρού ύδατος χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50m³ (Εικόνα 4.6.γ)



Εικόνα 4.6.γ. Τσιμεντένια δεξαμενή

Η πλήρωση της δεξαμενής γινόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60 - 80 m³/h με άξονα και σωλήνα 4").

Για την υποδοχή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων της πόλεως του Βόλου και του καθαρού νερού της γεώτρησης υπήρχε δεξαμενή. Η δεξαμενή ήταν κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), με χωρητικότητα 5m³, της εταιρείας Σύρμος-Λεβαντής και συνδεόταν με αντλία. Η αντλία συνδεόταν μέσω πλαστικού αγωγού με την κεντρική ηλεκτροβάνα. Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου και ισχύος 3 Hp.

Τοποθετήθηκαν επίσης, η αντλία προώθησης του νερού στα δίκτυα, η κεντρική ηλεκτροβάνα, τα διάφορα φίλτρα, η βαλβίδα κενού, ο αγωγός των επιστρεφόμενων και τα μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών. Όλα τα παραπάνω μαζί με τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό της άρδευσης τοποθετήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένα κουτιά (Εικόνα 4.6.δ).



Εικόνα 4.6.δ. Μηχανολογικός εξοπλισμός φυλλασόμενος σε ειδικά διαμορφωμένο κουτί

4.7 Εξατμισίμετρο τύπου Α

Το συγκεκριμένο εξατμισίμετρο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για τη μέτρηση της εξάτμισης. Η τιμές της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής είναι απαραίτητο δεδομένο για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας.



Εικόνα 4.7. Εξατμισίμετρο τύπου Α

Το Εξατμισίμετρο Τύπου Α (Εικόνα 4.7) είναι μια κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121cm και βάθος 25.4cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15cm από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5cm από τον πυθμένα της.

Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5cm από το χείλος αυτό. Το νερό της λεκάνης

πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο θα πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου. Η εύρεση της πτώσης της στάθμης γινόταν μέσω ενός γυάλινου ογκομετρικού σωλήνα. Ο ογκομετρικός σωλήνας ήταν κατασκευής της εταιρείας Fortuna (Γερμανία). Είχε μήκος 28,5cm και διάμετρο 1,2cm. Είχε χωρητικότητα 50ml, με διακριτότητα 0,1ml. Ο κύλινδρος ήταν κατασκευασμένος σύμφωνα με τα πρότυπα DIN AS με σφάλμα ανάγνωσης 0,05ml.

Η σχέση που δίνει τη βασική εξατμισοδιαπνοή στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου είναι: $ET_r = K_p * E_{pan}$. Όπου E_{pan} είναι η μέση εξατμιοση του 24ώρου από το εξατμισόμετρο σε mm/ημέρα και K_p είναι ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου. Ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου λήφθηκε ίσος με 0,8.

Η βασική εξατμισοδιαπνοή πολλαπλασιάζονταν με τον φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας, για την εύρεση της ημερήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

4.8. Μέθοδος T.D.R.

Για την εύρεση του χρόνου και της δόσης άρδευσης κρίνεται αναγκαία να προσδιορίζεται η υγρασία του εδάφους. Η μέτρηση ηε εδαφικής υγρασίας στο συγκεκριμένο πείραμα έγινε με τη μέθοδο T.D.R. η οποία είναι γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους.

Η μέθοδος T.D.R. (Time Domain Reflectometry), χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ογκομετρικής περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό και αποτελεί σήμερα μια από τις πλέον αξιόπιστες και ακριβείς μεθόδους.

Η τεχνική βασίζεται στη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του υπό μέτρηση εδάφους και κατόπιν τον υπολογισμό της ογκομετρικής περιεκτικότητας σε νερό. Η διηλεκτρική σταθερά του υπό μέτρηση δείγματος επιδρά και καθορίζει την ταχύτητα κίνησης ενός υψηλής συχνότητας σήματος το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω κατάλληλου κυματοδηγού. Η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους είναι γνωστό ότι εξαρτάται από το ποσοστό του νερού που περιέχεται σε αυτό (Topp et al., 1980).

Το σύστημα για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. στην βασική του διαμόρφωση (συσσκευή ή όργανο και παρελκόμενα) περιλαμβάνει:

- τη συσκευή T.D.R. (Εικόνα 4.8)
- το probe (αισθητήρας του οργάνου)
- ένα σετ εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή του probe
- το φορτιστή για της εσωτερικές μπαταρίες της συσκευής T.D.R.
- το καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με το probe και
- το καλώδιο σύνδεσης της συσκευής T.D.R. με τον υπολογιστή



Εικόνα 4.8. Συσκευή T.D.R.

Στον πειραματικό αγρό τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες μήκους 120 cm, έτσι ώστε να αντιστοιχεί ένας αισθητήρας σε κάθε μεταχείριση. Η θέση των αισθητήρων ήταν επί της γραμμής σποράς στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών φυτών. Με τη βοήθεια των αισθητήρων αυτών μετρήθηκε η υγρασία στα 0 - 15 cm, 15-30 cm, 30 - 60 cm, 60-90 cm, 90- 120 cm.

Για την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και των διακυμάνσεων αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατατομής (0-120cm) πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις υγρασίας για την κάθε μεταχείριση (μία μέτρηση πριν την άρδευση και μία δύο ημέρες μετά την άρδευση).

4.9 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας

Η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) πραγματοποιήθηκε στον αγρό και έγινε με τη βοήθεια αυτόματου οργάνου μέτρησης επιφανειών της εταιρίας LI-COR (Εικόνα 4.9).

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.



Εικόνα 4.9. Συσκευή μέτρησης L.A.I.

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 κουμπιού. 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.

Πραγματοποιήθηκαν 12 μετρήσεις, στο διάστημα από 5 Ιουλίου έως 7 Οκτωβρίου. Γινόταν μετρήσεις σε τυχαίες θέσεις σε οποιαδήποτε σειρά φυτών και σε όλα τα πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης. Έτσι, και στις δύο μεταχειρίσεις τα αποτελέσματα ανά ημερομηνία μέτρησης προκύπτουν από το μέσο όρο των μετρήσεων και στα 4 πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης. Οι μετρήσεις γινόταν πάντα την ίδια ώρα του 24ώρου.

4.10 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου

4.10.1 Μετρήσεις ύψους φυτών

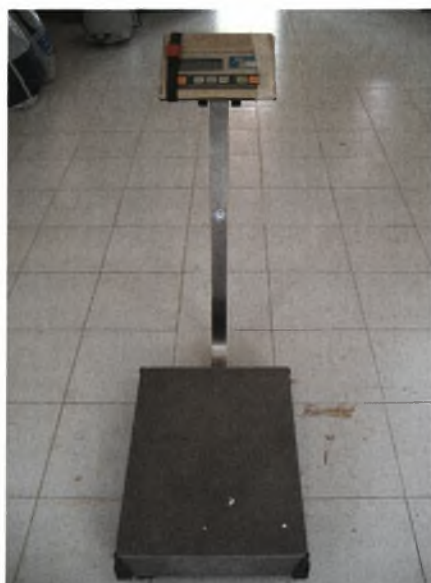
Με σκοπό να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του σόργου, διενεργήθηκαν δειγματοληπτικά 10 μετρήσεις του ύψους του σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Σε κάθε δειγματοληψία, το μέσο ύψος της κάθε μεταχείρισης προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 40 διαφορετικά φυτά μέσα σε κάθε μεταχείριση. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν αμέσως μετά το φύτευμα των φυτών και συνεχίστηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα γιατί στην αρχή του πειράματος, ο ρυθμός αύξησης των φυτών ήταν μεγάλος.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις όπως θα φανεί παρακάτω στα αποτελέσματα.

4.10.2 Μετρήσεις χλωρής – ξηρής βιομάζας φυτών

Η παραγωγικότητα της καλλιέργειας σόργου εκφράζεται με την παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα. Έτσι για την εύρεση της παραγωγικότητας σε χλωρή και ξηρή βιομάζα των δύο μεταχειρίσεων του σόργου, γίνονταν κατά τη διάρκεια του πειράματος κοπές του υπέργειου τμήματος του σόργου σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: ψαλίδι κλαδέματος, κολλητική ταινία, μαρκαδόρος, σακούλες και ειδική ζυγαριά ακριβείας (Εικόνα 4.10.2), με μέγιστο αποδεκτό βάρος τα 100 kg.



Εικόνα 4.10.2. Ζυγαριά ακριβείας

Από κάθε πειραματικό τεμάχιο συγκομίζονταν, με τη βοήθεια του ψαλιδιού κλαδέματος, 5 φυτά από τα οποία αφαιρούνταν τα φύλλα, και αργότερα και οι ταξιανθίες, με το χέρι. Το κόψιμο των φυτών γινόταν ακριβώς πάνω από το έδαφος γιατί σε αυτό το σημείο συγκομίζει και η μηχανή.

Η επιλογή των φυτών γινόταν έτσι ώστε σε κάθε κοπή - δειγματοληψία να υπάρχουν φυτά ψηλά, κοντά και μετρίου ύψους (δεν επιλεγόταν φυτά όμως στα οποία γινόταν άλλα είδη μετρήσεων όπως ύψος, αριθμός φύλλων κλπ). Σε κάθε κοπή, λοιπόν, παίρνονταν συνολικά 20 δείγματα φυτών για την κάθε μεταχείριση.

Στη συνέχεια, σε κάθε φυτό ζυγίζοταν με ζυγαριά ακριβείας το χλωρό του βάρος (φύλλα και στέλεχος χωριστά). Το στέλεχος κάθε φυτού είχε προηγουμένως κοπεί στη μέση ή σε μικρότερα τμήματα (ίσα μεταξύ τους), τα οποία δένονταν με ταινία στην οποία αναγραφόταν με μαρκαδόρο το είδος της μεταχείρισης, ο αριθμός της επανάληψης και ο αριθμός του δείγματος.

Δηλαδή, σε κάθε μια από τις 4 επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης (Καθαρό, Λύμα) το ζύγισμα της νωπής βιομάζας του κάθε φυτού γινόταν χωριστά.

Έπειτα, τα φύλλα και τα στελέχη του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετούνταν ξεχωριστά σε σακούλες και μεταφερόταν για ξήρανση σε ειδικό χώρο (θερμοκήπιο), μέχρι σταθεροποίησης των βαρών τους. Μετά τη διαδικασία της ξήρανσης, στελέχη και φύλλα ζυγίζονταν ξανά, στην ίδια ζυγαριά ακριβείας, ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος. Σε αυτή τη φάση, όσον αφορά τα φύλλα γινόταν μέτρηση του συνολικού ξηρού βάρους των φύλλων και των δύο μεταχειρίσεων, δηλαδή τα φύλλα και των δύο μεταχειρίσεων ζυγίζονταν όλα μαζί έτσι ώστε να προσδιοριστεί απλά η απώλεια υγρασίας.

Σε αντίθεση το ξηρό βάρος των στελεχών προσδιοριζόταν χωριστά για κάθε δείγμα φυτού. Άλλωστε, αυτό που μας ενδιέφερε ήταν το ξηρό βάρος των στελεχών, αφού η βιοαιθανόλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο βγαίνει από τα στελέχη και όχι από τα φύλλα.

Η μέση παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα κάθε μεταχείρισης σε κάθε κοπή προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 20 διαφορετικά φυτά μέσα σε κάθε μεταχείριση (5 φυτά από κάθε επανάληψη, 4 επαναλήψεις). Η ίδια διαδικασία επαναλαμβανόταν σε κάθε κοπή. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 κοπές κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι κοπές έγιναν περίπου 60, 80, 100, 120, 135 και 150 ημέρες από τη σπορά, μέχρι που σταθεροποιήθηκε το ξηρό βάρος. Η πρώτη κοπή έγινε στις 10/7/2006 και οι επόμενες στις 31/7/2006, 18/8/2006, 8/9/2006, 26/9/2006 και στις 7/10/2006.

Η αντιστοιχία της παραγωγής ξηρής βιομάζας σε τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) έγινε με βάση την ακόλουθη σχέση: η μέση θερμογόνος δύναμη της βιομάζας αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti et al., 1996).

4.11 Μετεωρολογικά δεδομένα

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής ο οποίος βρίσκεται στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο (Εικόνα 4.11.α).



Εικόνα 4.11.α. Μετεωρολογικός σταθμός του Αγροκτήματος

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα υγρό και ξηρό θερμόμετρο, βροχόμετρο (Εικόνα (4.11.β)), πυρανόμετρο και ανεμόμετρο.



Εικόνα 4.11.β. Βροχόμετρο

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Τονίζεται ότι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων έγινε σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

4.12 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά των πειραματικών τεμαχίων

Πριν αρχίσουν οι αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, πραγματοποιήθηκε στις 20/6/2006 η πρώτη δειγματοληψία εδάφους. Αυτό έγινε με σκοπό τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων

του εδάφους. Ελήφθησαν 2 δείγματα, ένα για κάθε μεταχείριση. Η επιλογή του πειραματικού τεμαχίου από το οποίο έγινε δειγματοληψία εδάφους ήταν τυχαία. Τα μέσα πού χρησιμοποιήθηκαν ήταν δειγματολήπτης εδάφους και σακουλάκια, δειγματοληψίας. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Υπολογίστηκαν: μηχανική σύσταση, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm), οργανική ουσία (%), CaCO₃ (%), K (ppm), P (ppm), N (ppm), Cu (ppm) και Zn (ppm).

Μετά την τελευταία άρδευση, και συγκεκριμένα στις 7/10/2006 έγινε πάλι δειγματοληψία εδάφους σε κάθε μεταχείριση, με τον ίδιο τρόπο όπως στην αρχή του πειράματος, και προσδιορίστηκαν και πάλι οι ίδιες παράμετροι.

Η όλη διαδικασία έγινε με σκοπό να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, πριν και μετά την άρδευση με απόβλητα, και να βρεθεί αν υπήρξε επίδραση των υγρών αποβλήτων στις συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων και στις ιδιότητες του εδάφους.

4.13 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης

Ο καθορισμός της δόσης άρδευσης και για τις δύο μεταχειρίσεις βασίστηκε στην ημερήσια ένδειξη εξάτμισης του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Με βάση αυτές υπολογίζονται οι καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας, το ποσό δηλαδή του νερού που θα πρέπει να προστεθεί στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης.

Η ένδειξη του εξατμισιμέτρου (E_{pan}), που εκφράζει τη μέση εξάτμιση του 24ώρου σε mm/ημέρα, πολλαπλασιαζόμενη με το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου K_p μας δίνει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_0 . Δηλαδή:

$$ET_0 = K_p * E_{pan}, \text{ (mm/ημέρα)} \quad (1)$$

Ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισιμέτρου, K_p , υπολογίζεται σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του είδους, και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο. Στη συγκεκριμένη θέση η τιμή του είναι 0,80 (FAO, 1998).

Στη συνέχεια, η τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς πολλαπλασιαζόμενη με το φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας K_c , μάς δίνει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) ή πραγματική ET.

$$ET_c = ET_0 * K_c, \text{ σε mm} \quad (2)$$

Η εξατμισοδιαπνοή δηλαδή, εκφράζει τις συνολικές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας. Αν από την τιμή της ET_c 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 πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}), που αντιστοιχεί στο 100% της εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{da} = I_n = ET_c - \Omega B, \text{ σε mm} \quad (3)$$

όπου: B είναι το ύψος βροχής και ΩB είναι το ωφέλιμο ύψος βροχής που υπολογίζεται ίσο με $0,8 B$ (Μιχαλάκης, Ν., 1998).

Στο εξατμισόμετρο τύπου A όμως, η ημερήσια ένδειξη, αν δεν συμπεριληφθεί η βροχή οδηγεί απευθείας στις καθαρές ανάγκες σε νερό (FAO, 1998), με τη χρήση των Σχέσεων (1) και (2). Συνεπώς, για να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας πρέπει στην τιμή των καθαρών αναγκών, σε νερό που προκύπτει από την ένδειξη του εξατμισιμέτρου, να προστεθεί το ωφέλιμο ύψος βροχής. Δηλαδή σύμφωνα με τη Σχέση (3), στην περίπτωση αυτή θα ισχύει:

$$ET_c = I_n + \Omega B, \text{ σε mm} \quad (4)$$

Στον Πίνακα 4.13.α παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I_n) και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) με βάση την ημερήσια ένδειξη εξάτμισης (E_{pan}) του εξατμισιμέτρου τύπου A .

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

$$I_t = I_{da} / I_{dh}, \text{ σε h} \quad (5)$$

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

Το ωριαίο ύψος βροχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_{dh} = (q * n) / (St * Sr), \text{ σε mm/h} \quad (6)$$

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

$n = St / (2 * Se)$ είναι ο αριθμός σταλακτάρων 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 σταλακτήρων επί του αγωγού σε m (Δημοπούλου, Κ., 2005).

Στον Πίνακα 4.13.β παρουσιάζονται οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης καθώς και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων για κάθε μεταχείριση.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερίδα	Ημέρες από 1/1/2006	Πλάτος εξαστι/τρού mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας E_{plan} mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη Βροχή $\Omega B=0,8*B$ 0,8*(6) mm	Εξαστι/πνοή αναφορής $E_0=K_p*E_{plan}$ 0,8*(5) mm	K_c	Κ.σθιρές αν/γκές $ln=E_0*K_c$ (8)*(9) mm	Εξαστι/πνοή καλλιέργειας $E_{TC}=ln+\Omega B$ (10)+(7) mm
19/6/2006	170		26	8			6,4	1,088	6,96	6,96
20/6/2006	171		34	6	0,25	0,2	4,8	1,094	5,25	5,45
21/6/2006	172		40	7			5,6	1,1	6,16	6,16
22/6/2006	173		47	8			6,4	1,106	7,08	7,08
23/6/2006	174		55	2			1,6	1,112	1,78	1,78
24/6/2006	175		57	5	6,3	5,04	4	1,118	4,47	9,51
25/6/2006	176		62	6			4,8	1,124	5,39	5,39
26/6/2006	177		68	8			6,4	1,129	7,23	7,23
27/6/2006	178		76	6	1	0,8	4,8	1,135	5,45	6,25
28/6/2006	179		82	8			6,4	1,141	7,3	7,3
29/6/2006	180		90	6			4,8	1,147	5,51	5,51
30/6/2006	181		96	6			4,8	1,153	5,53	5,53
1/7/2006	182		102	5		1	4	1,159	4,64	4,64
2/7/2006	183		107	5			4	1,165	4,66	4,66
3/7/2006	184		112	-7	4	3,2	-5,6	1,171	-6,56	-3,36
4/7/2006	185		105	3	8,75	7	2,4	1,176	2,82	9,82
5/7/2006	186		108	7			5,6	1,182	6,62	6,62
6/7/2006	187		115	6			4,8	1,188	5,7	5,7
7/7/2006	188	10	121	5			4	1,194	4,78	4,78
8/7/2006	189		15	4			3,2	1,2	3,84	3,84
9/7/2006	190		19	4			3,2	1,2	3,84	3,84
10/7/2006	191		23	4			3,2	1,2	3,84	3,84
11/7/2006	192		27	7			5,6	1,2	6,72	6,72
12/7/2006	193		34	6			4,8	1,2	5,76	5,76
13/7/2006	194		40	5	0,25	0,2	4	1,2	4,8	5
14/7/2006	195		45	7			5,6	1,2	6,72	6,72
15/7/2006	196		52	6			4,8	1,2	5,76	5,76
16/7/2006	197		58	6			4,8	1,2	5,76	5,76
17/7/2006	198		64	9			7,2	1,2	8,64	8,64
18/7/2006	199		73	3			2,4	1,2	2,88	2,88
19/7/2006	200		76	6	2,64	2,11	4,8	1,2	5,76	7,87
20/7/2006	201		82	7			5,6	1,2	6,72	6,72
21/7/2006	202		89	7			5,6	1,2	6,72	6,72
22/7/2006	203		96	7			5,6	1,2	6,72	6,72
23/7/2006	204		103	7			5,6	1,2	6,72	6,72
24/7/2006	205		110	7			5,6	1,2	6,72	6,72
25/7/2006	206		117	5			4	1,2	4,8	4,8
26/7/2006	207	1	122	5			4	1,2	4,8	4,8
27/7/2006	208		6	7			5,6	1,2	6,72	6,72
28/7/2006	209		13	7			5,6	1,2	6,72	6,72

Πίνακας 4.13.α. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημ/νία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξαρμ/τρου mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημεφρας E _{pan} mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B 0,8*(6) mm	Εξαρμ/πνοή αναφορής E _{j0} =K _p *E _{pan} 0,8*(5) mm	K _c	Καθαρές ανάγκες In=E ₀ *K _c (8)*(9) mm	Εξαρμ/πνοή καλλιέργειας ETc=In+ΩB (10)+(7) mm
29/7/2006	210		20	7			5,6	1,2	6,72	6,72
30/7/2006	211		27	7			5,6	1,2	6,72	6,72
31/7/2006	212		34	6	0,25	0,2	4,8	1,2	5,76	5,96
1/8/2006	213		40	7			5,6	1,2	6,72	6,72
2/8/2006	214		47	7			5,6	1,2	6,72	6,72
3/8/2006	215		54	8			6,4	1,2	7,68	7,68
4/8/2006	216		62	7			5,6	1,2	6,72	6,72
5/8/2006	217		69	8			6,4	1,2	7,68	7,68
6/8/2006	218		77	8			6,4	1,2	7,68	7,68
7/8/2006	219		85	7			5,6	1,2	6,72	6,72
8/8/2006	220		92	8			6,4	1,2	7,68	7,68
9/8/2006	221		100	6			4,8	1,2	5,76	5,76
10/8/2006	222	1	7	J			2,4	1,2	2,88	2,88
11/8/2006	223		10	6	2,77	2,22	4,8	1,2	5,76	7,98
12/8/2006	224		16	I			5,6	1,2	6,72	6,72
13/8/2006	225		23	7			5,6	1,2	6,72	6,72
14/8/2006	226		30	6			4,8	1,2	5,76	5,76
15/8/2006	227		36	7			5,6	1,2	6,72	6,72
16/8/2006	228		43	7			5,6	1,2	6,72	6,72
17/8/2006	229		50	7			5,6	1,2	6,72	6,72
18/8/2006	230		57	6			4,8	1,2	5,76	5,76
19/8/2006	231		63	8			6,4	1,2	7,68	7,68
20/8/2006	232		71	8			6,4	1,2	7,68	7,68
21/8/2006	233		79	8			6,4	1,195	7,65	7,65
22/8/2006	234		87	7			5,6	1,189	6,66	6,66
23/8/2006	235		94	6			4,8	1,184	5,68	5,68
24/8/2006	236		100	5			4	1,179	4,72	4,72
25/8/2006	237		105	7			5,6	1,173	6,57	6,57
26/8/2006	238		112	6			4,8	1,168	5,61	5,61
27/8/2006	239		118	6			4,8	1,163	5,58	5,58
28/8/2006	240		124	7			5,6	1,157	6,48	6,48
29/8/2006	241	1	131	7			5,6	1,152	6,45	6,45
30/8/2006	242		8	8			6,4	1,146	7,33	7,33
31/8/2006	243		16	8			6,4	1,141	7,3	7,3
1/9/2006	244		24	6			4,8	1,136	5,45	5,45
2/9/2006	245		30	5			4	1,13	4,52	4,52
3/9/2006	246		35	5			4	1,125	4,5	4,5
4/9/2006	247		40	6			4,8	1,12	5,38	5,38
5/9/2006	248		46	6			4,8	1,114	5,35	5,35
6/9/2006	249		52	7			5,6	1,109	6,21	6,21

Πίνακας 4.13.α. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημ/νία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξαιτμ/τρου mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας E_{pan} mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη Βροχή $\Omega B = 0,8 * B$ mm	Εξαιτμ/πνοή αναφοράς $E_0 = K_p * E_{pan} 0,8 * (5)$ mm	K_c	Καθαρές ανάγκες $In = E_0 * K_c (8) * (9)$ mm	Εξαιτμ/πνοή καλλιέργειας $ET_c = In + \Omega B (10) + (7)$ mm
7/9/2006	250		59	5			4	1,104	4,42	4,42
8/9/2006	251		64	6			4,8	1,098	5,27	5,27
9/9/2006	252		70	4			3,2	1,093	3,5	3,5
10/9/2006	253		74	5			4	1,088	4,35	4,35
11/9/2006	254		79	5			4	1,082	4,33	4,33
12/9/2006	255		84				2,4	1,077	2,58	2,58
13/9/2006	256		87	4			3,2	1,071	3,43	3,43
14/9/2006	257		91	5			4	1,066	4,26	4,26
15/9/2006	258		96	4			3,2	1,061	3,39	3,39
16/9/2006	259		100	3			2,4	1,055	2,53	2,53
17/9/2006	260		103	0,5			0,4	1,05	0,42	0,42
18/9/2006	261		103,5	1,5	2,39	1,91	1,2	1,05	1,26	3,17
19/9/2006	262		105	4			3,2	1,05	3,36	3,36
20/9/2006	263		109	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ					28,6	22,88			507,95	530,83

Πίνακας 4.13.α. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5		7	8	9
				Δόση άρδευσης mm ή m ³ /στρ.	m ³ /20m ²			
Ημ/νία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Άθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		n St/(2*Se)	Idh (q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια. Άρδευσης (5)/(8) h
19/6/2006	170	6,96						
20/6/2006	171	5,25	12,21					
21/6/2006	172	6,16		12,21	0,2442	0,12	3,75	3h 16'
22/6/2006	173	7,08	13,24					
23/6/2006	174	1,78		13,24	0,2648	0,12	3,75	3h 32'
24/6/2006	175	4,47						
25/6/2006	176	5,39	11,64					
26/6/2006	177	7,23		11,64	0,2328	0,12	3,75	3h 06'
27/6/2006	178	5,45	12,68					
28/6/2006	179	7,3		12,68	0,2536	0,12	3,75	3h 23'
29/6/2006	180	5,51	12,81					
30/6/2006	181	5,53		12,81	0,2562	0,12	3,75	3h 25'
1/7/2006	182	4,64						
2/7/2006	183	4,66	14,83					

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h

Ισοποχή φυτών επί της γραμμής σποράς St = 0,14 m

Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12

Ισοποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m

Ισοποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 4.13.β. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο.

1	2	3	4	5		6	7	8	9
				mm ή m ² /στρ.	Δόση φρέσκατος m ³ /20m ²				
3/7/2006	184	6,56		14,81			0,12	3,75	3h 57'
4/7/2006	185	2,82							
5/7/2006	186	6,62							
6/7/2006	187	5,7	8,58						
7/7/2006	188	4,78							
8/7/2006	189	3,84					0,12	3,75	2h 17'
9/7/2006	190	3,84	12,46						
10/7/2006	191	3,84					0,12	3,75	3h 19'
11/7/2006	192	6,72	10,56						
12/7/2006	193	5,76					0,12	3,75	2h 49'
13/7/2006	194	4,8	10,56						
14/7/2006	195	6,72					0,12	3,75	2h 49'
15/7/2006	196	5,76							
16/7/2006	197	5,76	18,24						
17/7/2006	198	8,64		18,24			0,12	3,75	4h 52'
18/7/2006	199	2,88	11,52						
19/7/2006	200	5,76					0,12	3,75	3h 01'
20/7/2006	201	6,72	12,48						
21/7/2006	202	6,72					0,12	3,75	3h 20'
22/7/2006	203	6,72							
23/7/2006	204	6,72	20,16						
24/7/2006	205	6,72					0,12	3,75	5h 23'
25/7/2006	206	4,8	11,52						
26/7/2006	207	4,8					0,12	3,75	3h 01'
27/7/2006	208	6,72	11,52						
28/7/2006	209	6,72					0,12	3,75	3h 01'
29/7/2006	210	6,72							
30/7/2006	211	6,72	20,16						
31/7/2006	212	5,76					0,12	3,75	5h 23'
1/8/2006	213	6,72	12,48						
2/8/2006	214	6,72					0,12	3,75	3h 20'
3/8/2006	215	7,68	14,4						
4/8/2006	216	6,72					0,12	3,75	3h 50'
5/8/2006	217	7,68							
6/8/2006	218	7,68	22,08						
7/8/2006	219	6,72					0,12	3,75	5h 53'
8/8/2006	220	7,68	14,4						
9/8/2006	221	5,76					0,12	3,75	3h 50'
10/8/2006	222	2,88	8,64						
11/8/2006	223	5,76					0,12	3,75	2h 18'
12/8/2006	224	6,72							
13/8/2006	225	6,72	19,2						

Παροχή σταλακτήρια: $q = 3,6 \text{ l/h}$

Ισοποχή φυτών επί της γραμμής σποράς $St = 0,14 \text{ m}$

Αριθμός σταλακτήριων ανά φυτό: $n = Su/(2*Se) = 0,12$

Ισοποχή σειρών φυτών: $St = 0,80 \text{ m}$

Ισοποχή σταλακτήριων επί του αγωγού: $Se = 0,60 \text{ m}$

Πίνακας 4.13.β. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5		6	7	8	9
				mm ή m ³ /στρ.	Δοση άρδευσης m ³ /20m ²				
Ημε/νια	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Άθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Αριθμός αεζώνων	Δοση άρδευσης mm ή m ³ /στρ.	m ³ /20m ²	SI/(2*Se) n	Idh (q*n)/(SI*Sr) mm/h	Διάρκεια Άρδευσης (SI/Sr) h
14/8/2006	226	5,76		12,48	19,2	0,384	0,12	3,75	5h 07'
15/8/2006	227	6,72		12,48	12,48	0,2496	0,12	3,75	3h 20'
16/8/2006	228	6,72		13,44	13,44	0,2688	0,12	3,75	3h 35'
17/8/2006	229	6,72		21,12	21,12	0,4224	0,12	3,75	5h 38'
18/8/2006	230	5,76		10,4	10,4	0,208	0,12	3,75	2h 46'
19/8/2006	231	7,68		17,76	17,76	0,3552	0,12	3,75	4h 44'
20/8/2006	232	7,68		12,93	12,93	0,2586	0,12	3,75	3h 27'
21/8/2006	233	7,65		14,63	14,63	0,2926	0,12	3,75	3h 54'
22/8/2006	234	6,66		14,47	14,47	0,2894	0,12	3,75	3h 52'
23/8/2006	235	5,68		10,73	10,73	0,2146	0,12	3,75	2h 52'
24/8/2006	236	4,72		10,63	10,63	0,2126	0,12	3,75	2h 50'
25/8/2006	237	6,57		13,12	13,12	0,2624	0,12	3,75	3h 30'
26/8/2006	238	5,61		7,69	7,69	0,1382	0,12	3,75	1h 50'
27/8/2006	239	5,58		7,69	7,69	0,1382	0,12	3,75	2h00'
28/8/2006	240	6,48		6,34	6,34	0,1268	0,12	3,75	1h 41'
29/8/2006	241	6,45		4,62	4,62	0,0924	0,12	3,75	1h 14'
30/8/2006	242	7,33							
31/8/2006	243	7,3							
1/9/2006	244	5,45							
2/9/2006	245	4,52							
3/9/2006	246	4,5							
4/9/2006	247	5,38							
5/9/2006	248	5,35							
6/9/2006	249	6,21							
7/9/2006	250	4,42							
8/9/2006	251	5,27							
9/9/2006	252	3,5							
10/9/2006	253	4,35							
11/9/2006	254	4,33							
12/9/2006	255	2,58							
13/9/2006	256	3,43							
14/9/2006	257	4,26							
15/9/2006	258	3,39							
16/9/2006	259	2,53							
17/9/2006	260	0,42							
18/9/2006	261	1,26							
19/9/2006	262								
20/9/2006	263								
ΣΥΝΟΛΟ				507,95	507,95	10,159	0,12	3,75	1h 14'

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h Αισιοχη φυτών επί της γραμμής σποράς Si = 0,14 m Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = SI/(2*Se) = 0,12

Ισαποχη σειρών φυτών: Sr = 0,80 m Ισαποχη σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 4.1.3.β. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

Η δόση άρδευσης και το εύρος άρδευσης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία να βρίσκεται κοντά στην υδατοϊκανότητα (FC) και πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP). Απαιτείται δηλαδή ο προσδιορισμός της πρακτικής δόσης άρδευσης την οποία η αθροιστική ένδειξη του εξατμισιμέτρου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης προϋποθέτει τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας (FC, % ξηρού βάρους εδάφους), του σημείου μόνιμης μάρανσης (PWP, % ξηρού βάρους εδάφους) και του φαινόμενου ειδικού βάρους (ΦΕΒ, g/m³) του εδάφους του αγρού. Ο προσδιορισμός τους έγινε εργαστηριακά και οι τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.γ.

Στον ίδιο Πίνακα 4.13.γ δίνονται επίσης, το ποσοστό διαβροχής (P) του εδάφους για τη συγκεκριμένη διάταξη των σταλακτηφόρων αγωγών στον πειραματικό αγρό (Τερζίδης κ.ά., 1997), καθώς και οι τιμές του βάθους του ριζικού συστήματος των φυτών (h), του ορίου εξαντλήσεως της εδαφικής υγρασίας (c) (Σακελλαρίου, Μ., 1993), του συντελεστή που εξαρτάται από την καλλιέργεια (f1) (F.A.O., 1998) και του συντελεστή που εξαρτάται από την αναμενόμενη φυτοσκίαση του εδάφους (f2) (Σακελλαρίου, Μ., 1993) για κάθε έναν από τους τέσσερις άρδευτικούς μήνες.

	FC % κ.β.	PWP % κ.β.	Φ Ε Β g/m ³	h m	C	P	f1	f2	E ₀ mm/ημ
ΙΟΥΝΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	0,40	0,55	1	0,39	0,68	5,07
ΙΟΥΛΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	0,75	0,55	1	0,83	0,88	6,10
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	21,2	11,64	1,23	1,10	0,55	1	1	0,95	5,50
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	1,30	0,55	1	1	0,95	3,58

Πίνακας 4.13.γ. Τιμές δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης.

Με βάση τα δεδομένα αυτά η διαδικασία υπολογισμού της πρακτικής δόσης άρδευσης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.13.δ.). Η μεθοδολογία αυτή οδηγεί επίσης, στον υπολογισμό της διάρκειας και του εύρους της στάγδην άρδευσης με θεωρητικό τρόπο, βασιζόμενο στα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (παρά μόνο για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης), διότι αφ' ενός η ημερήσια

εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός μήνα δεν είναι ποτέ σταθερή και αφετέρου, διότι απαιτούνται συνήθως πολύ μεγάλοι χρόνοι λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος.

	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
Διαθέσιμη υγρασία $\Delta. Y. = [(FC - PWP) / 100] * \Phi EB,$ % κ.ο.	11,7588	11,7588	11,7588	11,7588
Θεωρητική δόση άρδευσης $Id = \Delta. Y. * h * c * P,$ mm ή m ³ /στρ.	25,87	48,50	71,14	84,07
Πρακτική δόση άρδευσης $Ida = Id / 0,95,$ mm ή m ³ /στρ. (0,95 είναι ο βαθμός εφαρμογής νερού στην στάγδην άρδευση)	27,23	5,05	74,88	88,49
Ωριαίο ύψος βροχής $Idh = (q * n) / (St * Sr),$ mm/h	3,75	3,75	3,75	3,75
Μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή $ETd - Eo * f1 * f2,$ mm/ημέρα	1,34	4,46	5,23	3,40
Εύρος άρδευσης $Ir = Ida / ETd,$ ημέρες	20,32	11,45	14,32	26,03
Διάρκεια άρδευσης $It = Ida / Idh,$ h	7h 15'	13h 36'	19h 58'	23h 36'

Παροχή σταλακτήρα: $q = 3,6 \text{ l/h}$

Ισαποχή μεταξύ των γραμμών σποράς: $Sr = 0,80 \text{ m}$

Ισαποχή φυτών μεταξύ τους επί της γραμμή σποράς: $St = 0,14 \text{ m}$

Ισαποχή σταλακτρήρων επί του αγωγού: $Se = 0,60 \text{ m}$

Αριθμός σταλακτρήρων ανά φυτό: $n = St / (2 * Se) = 0,12$

Πίνακας 4.13.δ. Θεωρητικός τρόπος υπολογισμού της δόσης, του εύρους και της διάρκειας άρδευσης (Σακελλαρίου, Μ., 1993).

Από τον Πίνακα 4.13.δ. φαίνεται ότι το άθροισμα των καθαρών αναγκών που λαμβάνεται υπόψη από το εξατμισόμετρο σε κάθε άρδευση,

δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την πρακτική δόση άρδευσης, δηλαδή τον Ιούνιο τα 27,23 mm, τον Ιούλιο τα 51,05 mm, τον Αύγουστο τα 74,88 mm και το Σεπτέμβριο τα 88,49 mm.

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 εξάτμισης. Δηλαδή, η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm.

Πραγματοποιήθηκαν 39 αρδεύσεις στο διάστημα από 21/6/2006 έως 20/9/2006. Και οι δύο μεταχειρίσεις (Καθαρό, Λύμα) έλαβαν την ίδια ποσότητα νερού η οποία καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου Α. Η αθροιστική, εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση λαμβανόταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι στο ότι στη μεταχείριση του "Λύματος" κάποια ποσότητα από τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκε με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

4.14 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v. 11.0. Έγινε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με το t-test που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τον έλεγχο δύο μέσων όρων ή μιας σειράς, δύο μέσων όρων. Έγινε σύγκριση μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων των μέσων όρων της μεταβολής του ύψους, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της χλωρής και ξηρής βιομάζας και του αριθμού φύλλων και αδελφιών τόσο ανά ημερομηνία μέτρησης, όσο και συνολικά.

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

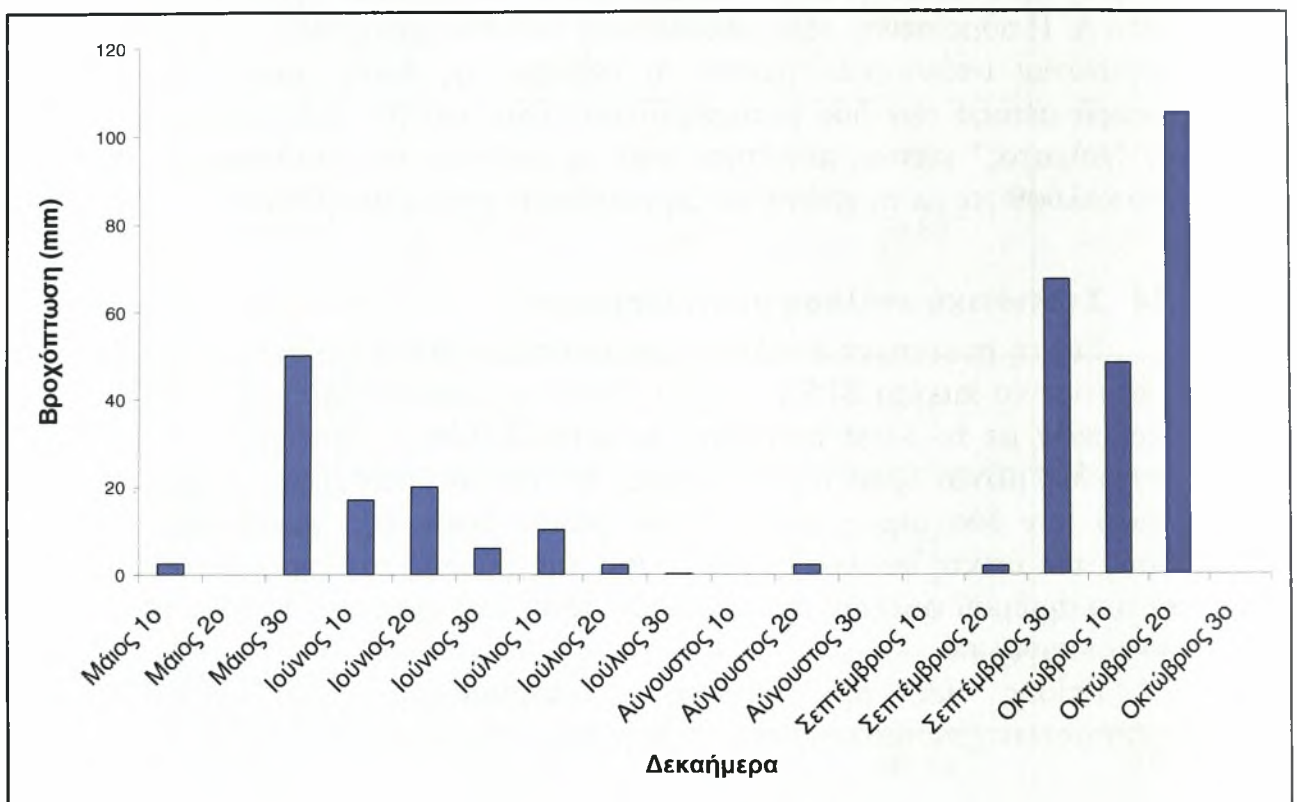
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Κλιματικά δεδομένα

5.1.1 Βροχόπτωση

Με τη βοήθεια του βροχομέτρου καταγράφηκαν και μετρήθηκαν σε mm όλες οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια το πειράματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, στο Σχήμα 5.5.1.



Σχήμα 5.1.1. Τιμές βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πειράματος (έτος 2006)

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 5.1.1 ο βροχοπτώσεις από το 3^ο δεκαήμερο έως το 2^ο δεκαήμερο του Ιουνίου αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος. Από τη σπορά (11/5/2006) έως και την έναρξη της άρδευσης (21/6/2006) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 81,85 mm. Συγκεκριμένα στις 21/5/2006 σημειώθηκε η βροχόπτωση με τη μεγαλύτερη ένταση(47,8mm)

Από την έναρξη (21/6/2006) μέχρι και τη λήξη των αρδεύσεων (20/9/2006) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 28,35 mm.

Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος - Σεπτέμβριος), συνέβησαν εννέα επεισόδια βροχόπτωσης αλλά σε κανένα το ύψος βροχής δεν ήταν μεγάλο. Μάλιστα, τα οχτώ από αυτά ήταν ύψους βροχής κάτω από 8 mm. Μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο βροχόπτωσης ήταν εκείνο που σημειώθηκε στις 04/07/2006 (8,75 mm).

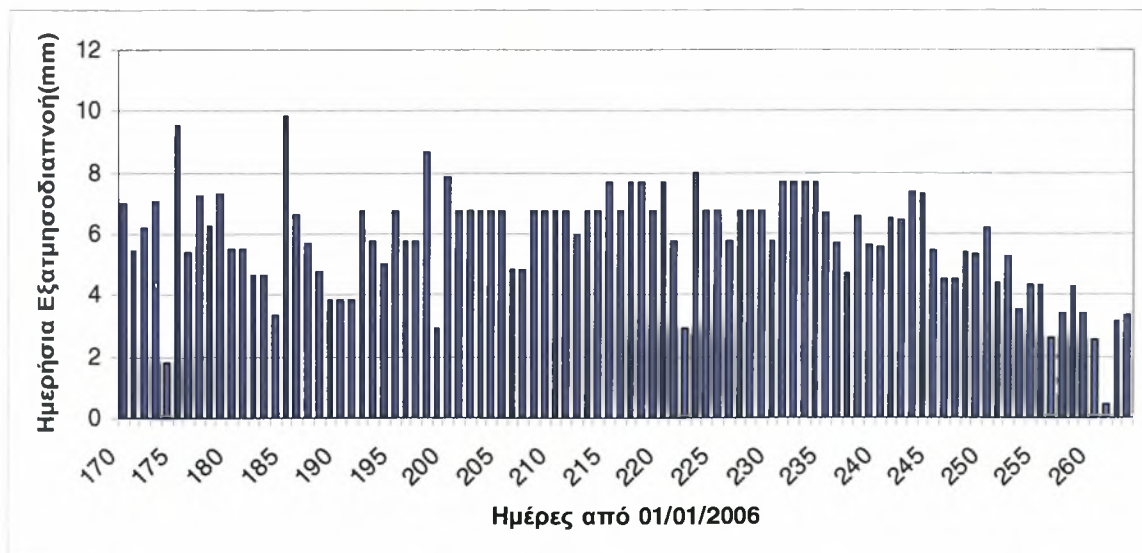
Από τη λήξη των αρδεύσεων (20/9/2006) μέχρι και την τελευταία κοπή (7/10/2006) για τον προσδιορισμό της βιομάζας η βροχόπτωση ήταν συνολικά 61,88mm, με μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο εκείνο που σημειώθηκε στις 25/09/2006 (42 mm).

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

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

5.1.2 Θερμοκρασία - Εξατμισοδιαπνοή

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα μέσες θερμοκρασίες 24ωρου μεγαλύτερες των 25 °C. Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν έντονη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.2.

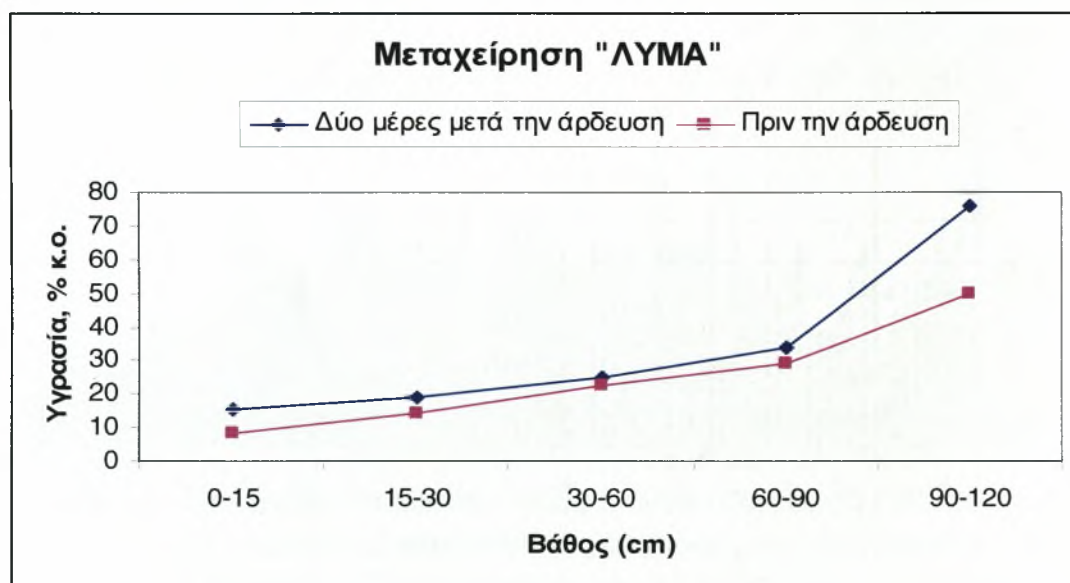
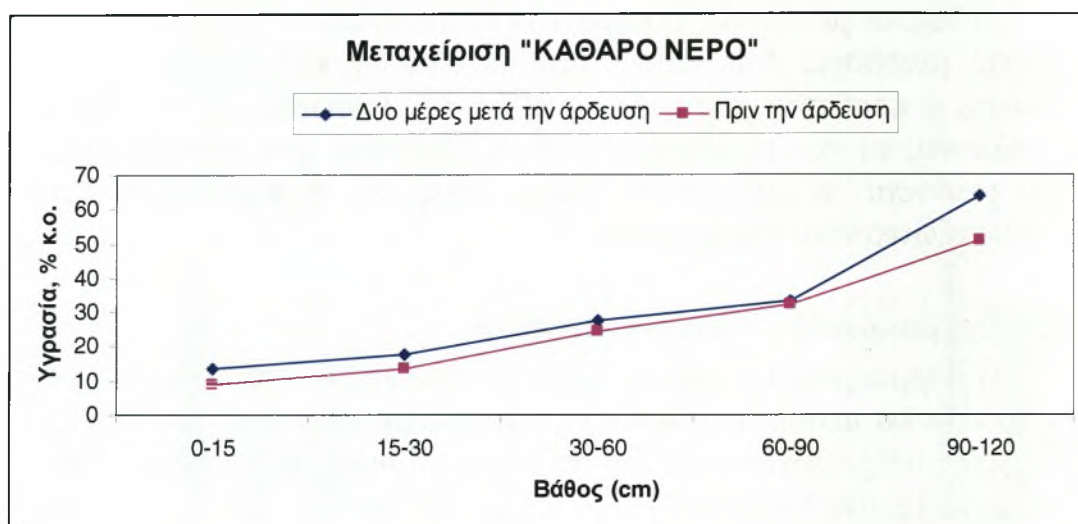


Σχήμα 5.1.2. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή τις καλλιέργειας

Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 9,82 mm στις 4/7/2006 (185 ημέρες από 01/01/2006), χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς, επίσης και καθόλου ή μικρή βροχόπτωση. Από τις 10/9/2006 (253 ημέρες από 01/01/2006) και μετά η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σταδιακά μειωνόταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της εποχής.

5.2 Υγρασία εδάφους

Στο σύνολο των μετρήσεων η υγρασία κυμαινόταν στα ίδια σχεδόν επίπεδα και για τις δύο μεταχειρίσεις. Ενδεικτικά παραθέτονται τα Σχήματα 5.2 (α) και (β) που αναφέρονται στις μετρήσεις πριν και μετά την άρδευση της 9/8/2006.



Σχήμα 5.2.(α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 7^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 9/8/2006 – 11/8/2006

Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 5.2. (α) και (β) για τις δύο μεταχειρίσεις η υγρασία σε βάθος 0-15cm και 15 - 30cm πριν την άρδευση έχει αρκετά χαμηλές τιμές σε σχέση με τις μετρήσεις τη δεύτερη ημέρα μετά την άρδευση.

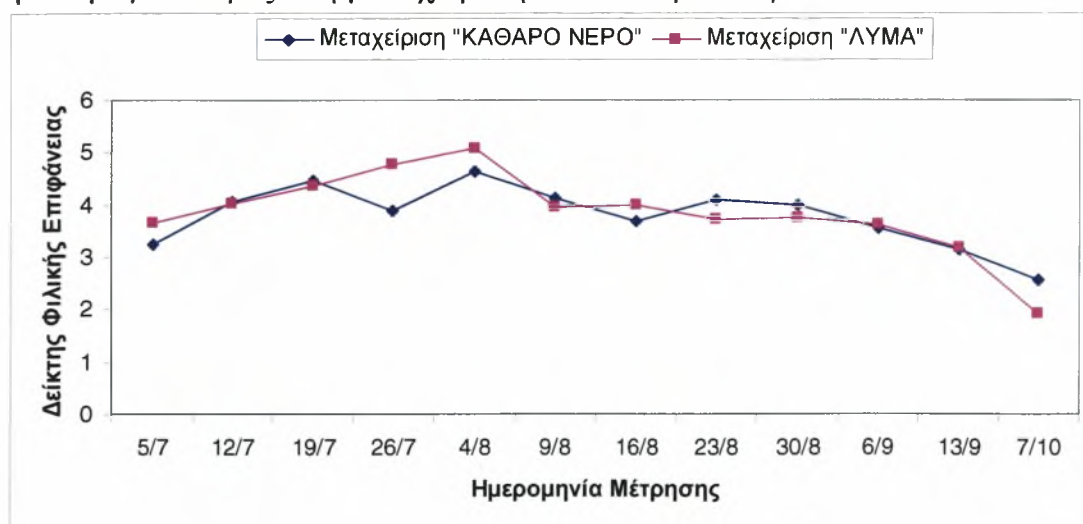
Όμως, σε βάθος μεγαλύτερο των 30cm το έδαφος έχει υψηλές τιμές υγρασίας τόσο πριν όσο και δύο ημέρες μετά την άρδευση. Το γεγονός ότι η υγρασία είναι αυξημένη στο βάθος των 30 - 60cm, γύρω δηλαδή από το βάθος που έχουν τοποθετηθεί οι σταλάκτες, και μειωμένη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους έχει ως συνέπεια το νερό να είναι πιο εύκολα διαθέσιμο για πρόσληψη από τις ρίζες των φυτών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, έγινε σωστή επιλογή της μεθόδου άρδευσης για τις δύο μεταχειρίσεις. Έτσι με την μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης επιτευχθηκε οικονομία στο νερό άρδευσης και η εδαφική υγρασία στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος (μεταξύ 30 - 60cm) βρίσκονταν πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας.

Τέλος, μελετώντας τα μέτωπα της εδαφικής υγρασίας, πριν και μετά την άρδευση, παρατηρούμε ότι σε μεγάλο βάθος (90 - 120cm) πιθανόν να υπάρχει σκληρό αδιαπέρατο στρώμα είτε λόγω της συνεχής χρήσης μηχανημάτων είτε λόγω της ύπαρξης ορίζοντα με βαριά μηχανική σύσταση και μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

5.3 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 5.3. οι μεταβολές στο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (ΔΦΕ), δίνουν υπεροχή πότε στη μία και πότε στην άλλη μεταχείριση. Στη μέτρηση της 5/7, 26/7, 4/8, 16/8, 6/9 και 13/9 οι τιμές του ΔΦΕ (LAI) ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του λύματος ενώ στη μέτρηση της 12/7, 19/7, 9/8, 23/8, 30/8 και 7/10 οι τιμές του ΔΦΕ ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του καθαρού νερού.



Σχήμα 5.3. Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Από το σύνολο 12 μετρήσεων διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη τιμή του ΔΦΕ για τη μεταχείριση του καθαρού νερού παρατηρείται στην 5^η μέτρηση (4/8/2006), ενώ η ελάχιστη στην 12^η μέτρηση (7/10/2006).

Για τη μεταχείριση του λύματος η μέγιστη τιμή του ΔΦΕ παρατηρείται επίσης στις 4/8/2006 όπως και η ελάχιστη στις 7/10/2006.

Επίσης, οι μεταχειρίσεις έχουν τη μέγιστη φυλλική επιφάνεια την ίδια χρονική περίοδο. Ενώ πτώση του ΔΦΕ παρουσιάζεται στην 6^η μέτρηση (9/8/2006) και στις δύο μεταχειρίσεις, που προφανώς οφείλεται στην επίδραση στο φύλλωμα των πολύ υψηλών θερμοκρασιών ημέρας που επικράτησαν εκείνη την περίοδο.

Η ανοδική πορεία ανάπτυξης του φυλλώματος επανέρχεται στην 7^η μέτρηση (16/8/2006) στη μεταχείριση του λύματος, ενώ στη μεταχείριση του καθαρού νερού επανέρχεται στην 8^η μέτρηση (23/8/2006).

Από τις 30/8/2006 και ως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (7/10/2006) οι τιμές του ΔΦΕ και των δύο μεταχειρίσεων μειώνονται σταδιακά, γεγονός που σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του φυτού και τη γήρανση της καλλιέργειας.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας για κάθε ημερομηνία μέτρησης και για το σύνολο των μετρήσεων δίνονται στους Πίνακες 5.3.α και 5.3.β αντίστοιχα. Στο σύνολο των μετρήσεων, η σύγκριση των δύο μεταχειρίσεων δίνει υπεροχή στη μεταχείριση του λύματος, όχι όμως στατιστικά σημαντική. Μόνο στην τελευταία μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας, στις 7/10/2006, η μεταχείριση με καθαρό νερό υπερείχε στατιστικά σημαντικά του λύματος.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	1η μέτρηση			
	5/7*	"Καθαρό νερό"	3,25	1,281
	(56)**	"Λύμα"	3,65	1,586
	2η μέτρηση			
	12/7	"Καθαρό νερό"	4,07	1,014
	(63)	"Λύμα"	4,02	1,637
	3η μέτρηση			
	19/7	"Καθαρό νερό"	4,45	1,053
	(70)	"Λύμα"	4,35	1,791
	4η μέτρηση			
	26/7	"Καθαρό νερό"	3,90	1,272
	(77)	"Λύμα"	4,77	1,257
	5η μέτρηση			
	4/8	"Καθαρό νερό"	4,65	0,648
	(86)	"Λύμα"	5,08	1,483
	6η μέτρηση			
	9/8	"Καθαρό νερό"	4,11	1,133
	(91)	"Λύμα"	3,97	1,547
	7η μέτρηση			
	16/8	"Καθαρό νερό"	3,68	0,935
	(98)	"Λύμα"	4,00	1,189
	8η μέτρηση			
	23/8	"Καθαρό νερό"	4,10	0,934
	(105)	"Λύμα"	3,71	1,042
9η μέτρηση				
30/8	"Καθαρό νερό"	4,00	1,353	
(112)	"Λύμα"	3,75	1,263	
10η μέτρηση				
6/9	"Καθαρό νερό"	3,54	1,376	
(119)	"Λύμα"	3,61	1,566	
11η μέτρηση				
13/9	"Καθαρό νερό"	3,12	0,891	
(126)	"Λύμα"	3,18	1,378	
12η μέτρηση				
7/10	"Καθαρό νερό"	2,57	0,853	
(150)	"Λύμα"	1,92	0,871	

* Ημερομηνία μέτρησης

** Ημέρες από τη σπορά

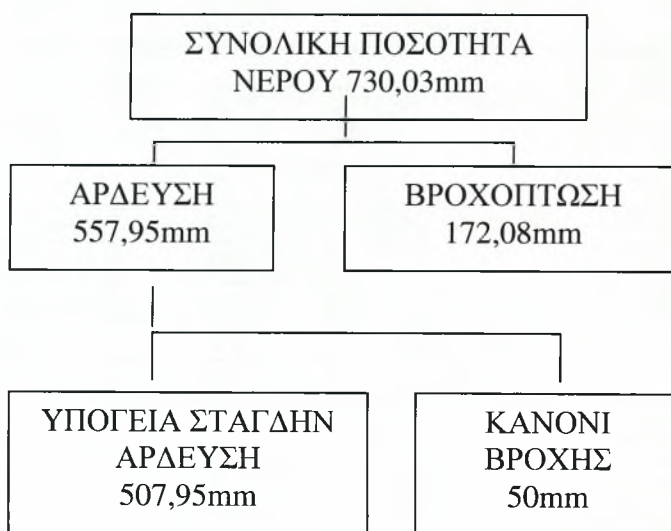
Πίνακας 5.3.α. Μέσος όρος (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)	"ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ"	3,78	0,587
	"ΛΥΜΑ"	3,83	0,795

Πίνακας 5.3.β. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

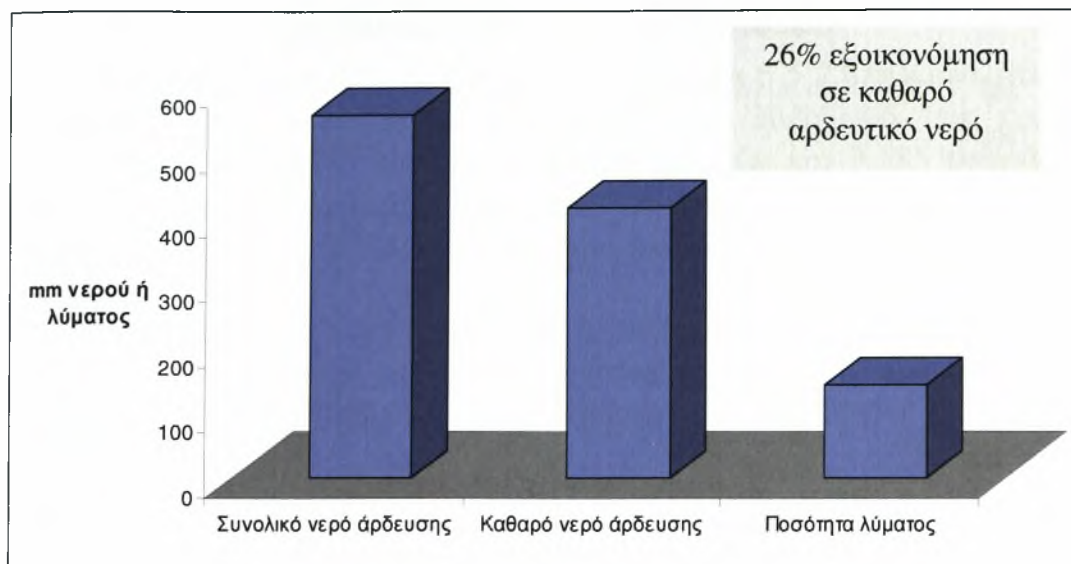
5.4 Εξοικονόμηση νερού

Η συνολική ποσότητα νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια καθώς και οι τρόποι με τους οποίους ελήφθηκε από αυτή συνοψίζονται στο Σχήμα 5.4.α.



Σχήμα 5.4.α. Συνολικό νερό που δέχθηκε η καλλιέργεια και τρόποι λήψης.

Η μεγαλύτερη δόση νερού εφαρμόστηκε στις 6/8/2006 και ήταν ίση με 22,08mm. Η ποσότητα των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων που χορηγήθηκε στη μεταχείριση του Λύματος ήταν ίση με 143,75mm/στρ. Έτσι επιτεύχθηκε εξοικονόμηση της τάξεως του 26% σε καθαρό αρδευτικό νερό, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4.β.



Σχήμα 5.4.β. Συνολικό νερό που εφαρμόστηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση, καθαρό αρδευτικό νερό και ποσότητα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

5.5 Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου

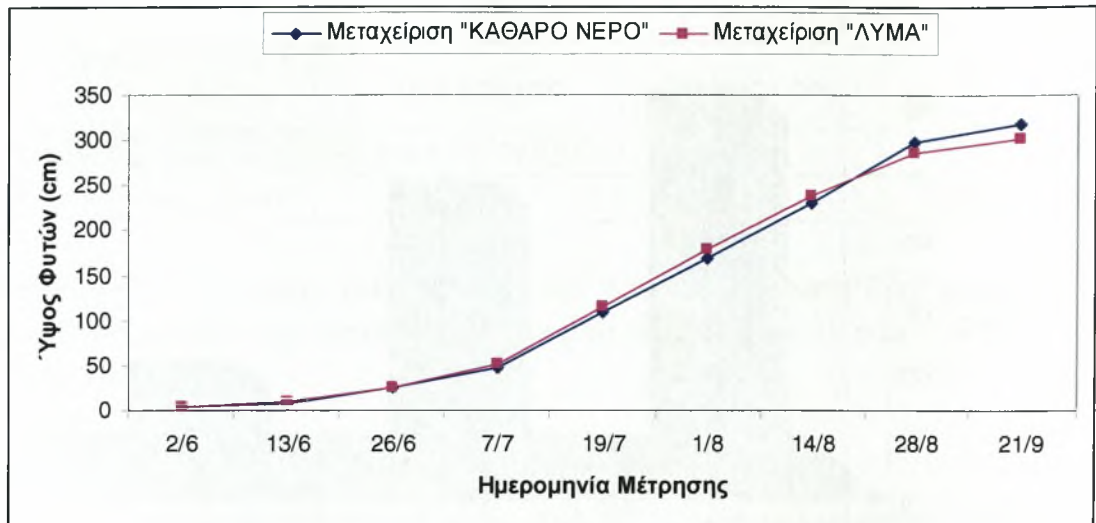
5.5.1 Αριθμός φύλλων-αδελφιών

Οι μετρήσεις του ύψους των φυτών πραγματοποιήθηκαν από τις 2/6/2006 μέχρι τις 21/9/2006. Στο Σχήμα 5.5.1 φαίνεται ότι, το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδεύονταν μόνο με καθαρό νερό έφτασε τα 317,941cm ενώ το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδεύονταν με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έφτασε τα 303,097cm.

Από τις 2/6/2006 έως και τις 7/7/2006 η μεταβολή του ύψους στις δυο μεταχειρίσεις ήταν παρόμοια.

Όμως, από τις 19/7/2006 έως και τις 14/8/2006 η μεταχείριση που αρδεύτηκε με λύμα υπερέβη ελάχιστα το ύψος των φυτών της μεταχείρισης που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό. Ο πιθανός λόγος αυτής της μικρής υπεροχής είναι ότι τα φυτά που αρδεύονταν με λύμα αξιοποίησαν τα θρεπτικά στοιχεία, N και P, που περιέχονταν στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, έστω και σε μικρές ποσότητες.

Από τις 28/8/2006 έως τις 21/9/2006 η μεταχείριση που αρδεύονταν μόνο με καθαρό νερό υπερείχε αυτής που αρδεύονταν με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Αυτή η απόκλιση μπορεί να οφείλεται σε αυξημένη συγκέντρωση ιόντων χλωρίων, αφού το χλώριο θεωρείται ένα από τα τοξικότερα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών.



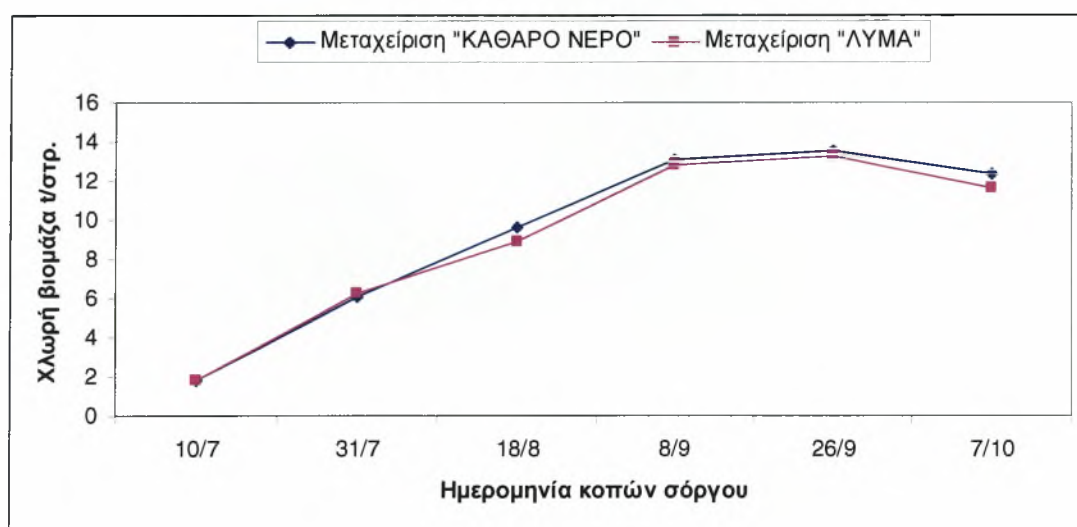
Σχήμα 5.5.1. Μέσο ύψος φυτών σόργου και στις δύο μεταχειρίσεις.

Κατά την τελευταία κοπή στις 21/9/2006, παρατηρείται και στις δύο μεταχειρίσεις πολύ μικρή αύξηση του ύψους σε σχέση με την αύξηση που πραγματοποιήθηκε στις άλλες μετρήσεις. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από εδώ και πέρα το ύψος αρχίζει να σταθεροποιείται, αφού πλησιάζει το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου.

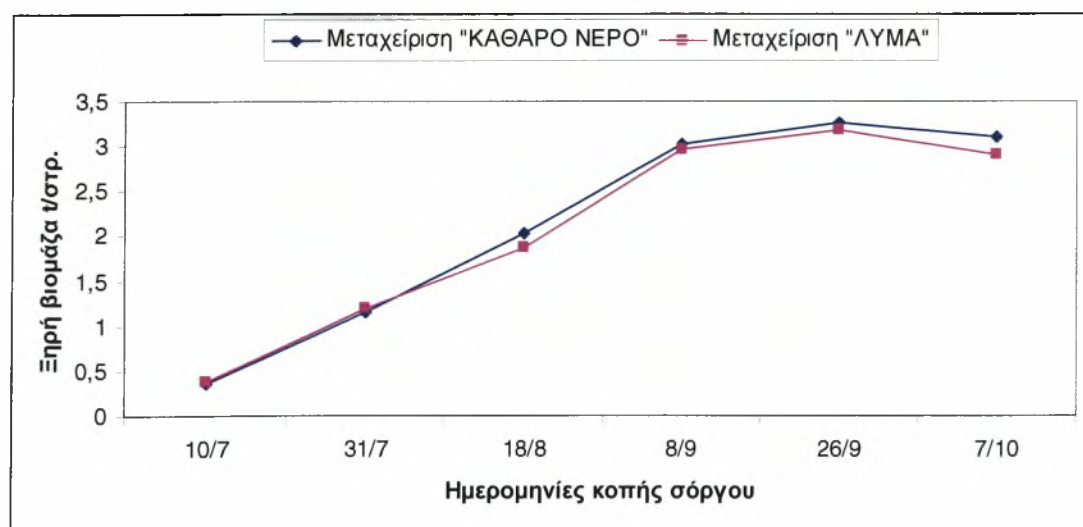
5.5.2 Χλωρή – ξηρή βιομάζα

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 5.5.2.α και 5.5.2.β, οι μεγαλύτερες αποδόσεις που επιτεύχθηκαν στην κοπή της 26/9/2006 (5η κοπή), αντιστοιχούν σε 13,272 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,185 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση του λύματος και 13,558 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,253 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση του καθαρού νερού.

Η τελική παραγωγή ξηρής βιομάζας έπεσε στους 2,903 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και στους 3,095 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό.

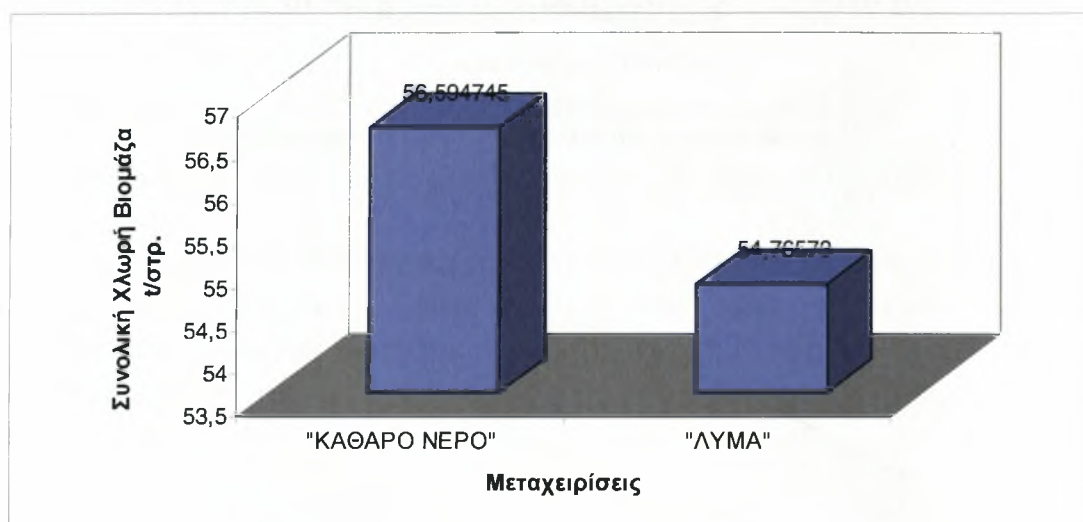


Σχήμα 5.5.2.α. Διακύμανση της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

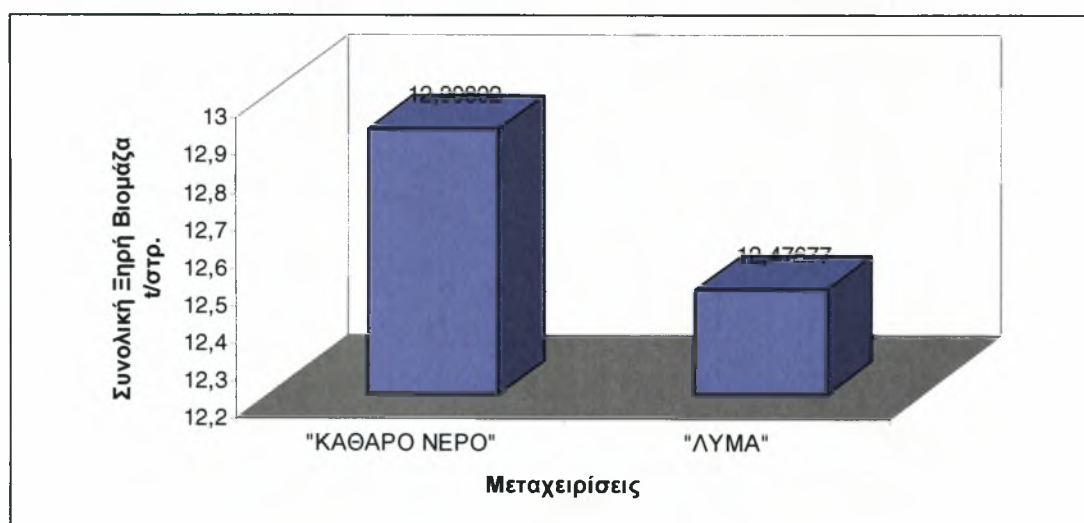


Σχήμα 5.5.2.β. Διακύμανση της ξηρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις

Όσον αφορά την αθροιστική απόδοση, για το διάστημα από 10/7/2006 έως 7/10/2006, η μεταχείριση του λύματος έδωσε 54,765 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 12,476 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα και η μεταχείριση του καθαρού νερού έδωσε 56,594 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 12,908 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή βιομάζας ήταν ελαφρώς υψηλότερη στη μεταχείριση του καθαρού νερού, όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.5.2.γ και 5.5.2.δ, αλλά δεν υπήρξε σαφή υπεροχή της μιας μεταχείρισης έναντι της άλλης.



Σχήμα 5.5.2.γ. Συνολική χλωρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις στο διάστημα από 10/7 / 2006 έως 7/10/2006.



Σχήμα 5.5.2.δ. Συνολική ξηρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις στο διάστημα από 10/7/2006 έως 7/10/2006

Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στο επίπεδο του 0,05 τόσο μεταξύ των ημερομηνιών κοπής (Πίνακας 5.5.2.α και 5.5.2.γ), όσο και συνολικά (Πίνακας 5.5.2.β και 5.5.2.δ).

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Χλωρή βιομάζα (t/στρ.)	1η μέτρηση - κοπή			
	10/7	"Καθαρό νερό"	0,2115	0,173
		"Λύμα"	0,2205	0,160
	2η μέτρηση - κοπή			
	31/7	"Καθαρό νερό"	0,7270	0,311
		"Λύμα"	0,7495	0,328
	3η μέτρηση - κοπή			
	18/8	"Καθαρό νερό"	1,1535	0,474
		"Λύμα"	1,0590	0,436
	4η μέτρηση - κοπή			
	8/9	"Καθαρό νερό"	1,5615	0,385
		"Λύμα"	1,5320	0,450
	5η μέτρηση - κοπή			
	26/9	"Καθαρό νερό"	1,6160	0,442
		"Λύμα"	1,5820	0,560
	6η μέτρηση - κοπή			
	7/10	"Καθαρό νερό"	1,4760	0,388
		"Λύμα"	1,3845	0,272

Πίνακας 5.5.2.α. Μέσος όρος (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
Χλωρή βιομάζα (t/στρ.)	"ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ"	1,1243	0,5565
	"ΛΥΜΑ"	1,0879	0,5286

Πίνακας 5.5.2.β. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) της χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Ξηρή βιομάζα (t/στρ.)	1η μέτρηση - κοπή			
	10/7	"Καθαρό νερό"	0,0423	0,034
		"Λύμα"	0,0441	0,032
	2η μέτρηση - κοπή			
	31/7	"Καθαρό νερό"	0,1381	0,059
		"Λύμα"	0,1424	0,062
	3η μέτρηση - κοπή			
	18/8	"Καθαρό νερό"	0,2422	0,099
		"Λύμα"	0,2224	0,091
	4η μέτρηση - κοπή			
	8/9	"Καθαρό νερό"	0,3591	0,088
		"Λύμα"	0,3524	0,103
	5η μέτρηση - κοπή			
	26/9	"Καθαρό νερό"	0,3878	0,106
		"Λύμα"	0,3797	0,134
	6η μέτρηση - κοπή			
	7/10	"Καθαρό νερό"	0,3690	0,097
		"Λύμα"	0,3461	0,068

Πίνακας 5.5.2.γ. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
Ξηρή βιομάζα (t/στρ.)	"ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ"	1,1243	0,5565
	"ΛΥΜΑ"	1,0879	0,5286

Πίνακας 5.5.2.δ. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) της ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

Τελικά, με τη μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας να αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti et al., 1996), η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του καθαρού νερού, 3,253 t/στρέμμα, αντιστοιχεί σε 1,301 ΤΙΠ ενώ η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του λύματος, 3,185 t/στρέμμα, αντιστοιχεί σε 1,274 ΤΙΠ.

5.6 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στον Πίνακα 5.6.β που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης που διεξήχθη πριν την έναρξη των αρδεύσεων.

Επίσης στον Πίνακα 5.6.α παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν και αξιολογούνται σε κατηγορίες (φτωχό, επαρκώς εφοδιασμένο έδαφος κλπ) ανάλογα με τη συγκέντρωση των στοιχείων στο έδαφος.

Σύμφωνα την ανάλυση που έγινε, το έδαφος χαρακτηρίζεται αλκαλικό ως προς το pH (Methods of Soil Analysis, 1982). Γενικά θεωρείται ότι σε αυτό το pH οι περισσότερες καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα βρίσκεται σε οριακά επίπεδα ενώ το CaCO₃ είναι αρκετό, ώστε το έδαφος να χαρακτηρίζεται ως ασβεστούχο.

Βάσει του ποσοστού οργανικής ουσίας, το έδαφος θεωρείται ότι είναι φτωχό σε οργανική ουσία. Το Κ βρίσκεται σε ικανοποιητική συγκέντρωση σε αντίθεση με τον διαθέσιμο Ρ ο οποίος είναι σε μέτρια γενικά επίπεδα.

Ως προς τη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Cu και Zn, το έδαφος χαρακτηρίζεται επαρκώς εφοδιασμένο σε Cu σε αντίθεση με τον Zn ο οποίος βρίσκεται σε μέτρια επίπεδα.

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.Λ Λάρισα

Πίνακας 5.6.α. Αξιολόγηση των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν.

pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	CaCO ₃ %	Οργανική ουσία %	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Μηχανική σύσταση
7,25	1250	12,56	0,93	70	10	165	1,9	2,2	Sandy Clay Loam

Πίνακας 5.6.β. Εδαφολογική ανάλυση κατά μέσο όρο των μεταχειρίσεων πριν την έναρξη των αρδεύσεων

Με το πέρας των αρδεύσεων διεξήχθη εδαφολογική ανάλυση (Πίνακας 5.6.γ) και στις δύο μεταχειρίσεις με σκοπό να μελετηθούν οι ιδιότητες του εδάφους καθώς και οι περιεκτικότητες των στοιχείων στο

έδαφος μετά την άρδευση με καθαρό νερό και κυρίως μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι:

- α) Το pH παρέμεινε αμετάβλητο και στις δύο μεταχειρίσεις.
 β) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξήθηκε κατά την άρδευση με απόβλητα. Αντίθετα στη μεταχείριση του καθαρού νερού παρέμεινε στα ίδια επίπεδα. Με βάση τους πίνακες των Maas και Hoffman (1977) και του Maas (1984), οι οποίοι αναφέρονται στην αντοχή των φυτών και στη μείωση της απόδοσης τους σε σχέση με την αλατότητα του νερού άρδευσης (EC_{iw}) και τη μέση αλατότητα του εδάφους (EC_e) που μπορεί να ανεχθεί το φυτό, το σόργο είναι 100 % αποδοτικό σε τιμές $EQ_{iw} = 4,5$ mS/cm και σε τιμές $EC_e = 6,8$ mS/cm. Μείωση της απόδοσης σε ποσοστό 50 % παρατηρείται σε τιμές $EQ_{iw} = 6,7$ mS/cm και $EC_e = 9,9$ mS/cm, οι οποίες θεωρούνται εξαιρετικά υψηλές.
 γ) Κατά την άρδευση με καθαρό νερό η οργανική ουσία δεν μεταβλήθηκε ενώ κατά την άρδευση με απόβλητα παρατηρήθηκε αύξηση με αποτέλεσμα το έδαφος να μπορεί να χαρακτηριστεί μετρίως εφοδιασμένο σε οργανική ουσία, δ) Όσον αφορά τα στοιχεία N, P, K και Zn δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική αλλαγή στις τιμές τους ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις. Μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση του N και μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του K στη μεταχείριση του λύματος.
 ε) Ο Cu βρίσκεται σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μετά την άρδευση με λύμα.
 στ) Και τέλος, η περιεκτικότητα του εδάφους σε $CaCO_3$ και στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπέστη καμία σημαντική μεταβολή.

Σκόπιμο θα ήταν σε μελλοντικές έρευνες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών, να περιλαμβάνουν στην εδαφολογική τους ανάλυση και τα ιχνοστοιχεία As, Cd, Pb, Co, Ni, οι συγκεντρώσεις των οποίων, μετά από μακροχρόνια χρήση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση, αυξάνονται σταδιακά.

	pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	CaCO ₃ %	Οργανική ουσία %	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Μηχανική σύσταση
«Καθαρό νερό»	7,5	1255	10,3	0,97	74	7	180	1,04	2,3	Sandy Clay Loam
«Λύμα»	7,8	1470	11,2	1,13	78	8	190	1,15	3,5	Sandy Clay Loam

Πίνακας 5.6.γ. Εδαφολογική ανάλυση κατά μέσο όρο των μεταχειρίσεων μετά το τέλος των αρδεύσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη και σύγκριση των αποτελεσμάτων, για τις δύο μεταχειρίσεις του γλυκού σόργου, οδηγούμαστε στη διεξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

1. Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος της έρευνας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο μεταχειρίσεις σε όλες σχεδόν τις παραμέτρους που μετρήθηκαν (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας) 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. Επίσης, από την εδαφολογική ανάλυση που διεξήχθη στη 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 το σόργο, με άριστα αποτελέσματα εφόσον ακολουθείται ένα πρόγραμμα εναλλαγής καθαρού νερού και λυμάτων.
2. Οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση) που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια του θέρους του 2006 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 η καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.
3. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα είναι ικανά να αποτελέσουν μια ελπιδοφόρα λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού και να χρησιμοποιηθούν για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών στο άμεσο μέλλον, όπως είναι το σόργο, με την προϋπόθεση του ελέγχου των χημικών τους συστατικών και του μικροβιακού τους φορτίου. Αναλόγως την κατάσταση των αποβλήτων σε σχέση με τις προαναφερθέντες παραμέτρους θα επιλεχθεί η εκάστοτε καλλιέργεια αλλά και η μέθοδος άρδευσης της.
4. Προϋπόθεση είναι να ελέγχονται τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα σε σχέση με τις χημικές ιδιότητες και το μικροβιακό φορτίο.

Οι χημικές ιδιότητες αποσκοπούν στην επιλογή της καλλιέργειας, ενώ το μικροβιακό φορτίο στην επιλογή της μεθόδου άρδευσης, για την αποφυγή υγειονομικών κινδύνων.

5. Στη παρούσα εργασία τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου ήταν σχετικά ισοροπημένα σε θρεπτικά συστατικά, περιείχαν όμως μεγάλες ποσότητες χλωρίου γι' αυτό και η άρδευση γινόταν με αναλλαγή καθαρού νερού - λύματος. Λόγω της υπόγειας στάγδην άρδευσης δεν υπήρξε κανένας υγειονομικός κίνδυνος και δεν τίθεται θέμα ορίου μικροβιολογικών χαρακτηριστικών, αφού τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα δεν έρχονται σε επαφή με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο (Bahri, A., Brissaud, F., 1988). Κατά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για την άρδευση καλλιέργειας σόργου δεν τίθεται θέμα κινδύνου για τους καταναλωτές αφού το σόργο στις αναπτυγμένες χώρες δεν χρησιμοποιείται στη διατροφή του ανθρώπου αλλά μόνο για παραγωγή ενέργειας.

6. Οι τιμές υγρασίας του εδάφους στη περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών (30 - 60 cm) έδειξαν μία ποιοτική υπεροχή της υπόγειας άρδευσης έναντι των υπολοίπων μεθόδων, εξαιτίας της διατήρησης των τιμών υγρασίας πλησίον της υδατοϊκανότητας με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω επιφανειακής εξάτμισης.

7. Κρίνεται αναγκαία η χορήγηση αρδευτικού νερού συμπληρωματικά ακόμα και στις χαμηλών απαιτήσεων καλλιέργειες για την κάλυψη των αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή και την επίτευξη υψηλής ανάπτυξης και παραγωγικότητας.

8. Η μη ύπαρξη υπολειμματικής δράσης από την προηγούμενη χρονιά (2005) και το γεγονός ότι και τη δεύτερη χρονιά του πειράματος (2006) δεν πραγματοποιήθηκε καμία λιπαντική αγωγή αναδεικνύουν ακόμη ένα πλεονέκτημα της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση γεωργικών εκτάσεων τροφοδοτεί τα φυτά και το έδαφος με λιπαντικά στοιχεία έτσι ώστε να μην χρειάζεται να επέμβουμε με λιπάνσεις την ίδια ή και τις επόμενες χρονιές, όφελος και για τον αγρότη (οικονομικό) αλλά και για το περιβάλλον.

9. Συνολικά η Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. σε όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου μας εφοδίασε με 11.500 λίτρα λύμα. Επιτεύχθηκε έτσι, μια εξοικονόμηση της τάξης του 26 % σε καθαρό αρδευτικό νερό. Οι αποδόσεις των φυτών σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, δίνει πολλές ελπίδες για μελλοντική χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση τόσο σε χώρους πρασίνου εντός πόλης (πάρκα) όσο και σε καλλιέργειες

ενεργειακών φυτών, όπως το σόργο, αφού δεν παρατηρείται καμία υστέρηση στην εμφάνιση των πειραματικών που αρδεύτηκαν με λύμα.

10. Οι μεγάλες αποδόσεις της καλλιέργειας, σε βιομάζα των μεταχειρίσεων σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού από τον συνδυασμό υπόγειας στάγδην άρδευσης και επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων καθιστούν φανερή τη δυναμική του γλυκού σόργου ως εναλλακτικής καλλιέργειας για την παραγωγή βιομάζας και ενέργειας, ενθαρρύνοντας έτσι την εισαγωγή της σε μελλοντικές αμειψισπορές, στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών, προσδίδοντας ένα επιπλέον στρατηγικό πλεονέκτημα στην οικοδόμηση μίας σύγχρονης και συνεχώς εξελισσόμενης Ελληνικής γεωργίας σε Ευρωπαϊκά πλαίσια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης, Α., 2000. Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία, Τεύχος 1(14) Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2000. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
2. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ. 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σβλ. 199-206. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
3. Ανδρεαδάκης, Α., Προϋποθέσεις επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση, Πρακτικά Πρώτης Διεθνούς Έκθεσης και Συνεδρίου για την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος, Heleco, Αθήνα, σελ. 351-371, 1993.
4. Βασιλάκος, Ν., Κυρίτσης, Σ., Στελακάτος, Κ., Αλαφοδήμος, Κ., Παπακωνσταντίνου, Δ., Τασίου, Ρ., Χατζηβασιλειάδης, Ι., Γαβριηλίδης, Π., Νταούτη, Ε., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, Απρίλιος 1989, Αθήνα.
5. Βουρδουμπάς, Ι., 2000. Άρδευση Δασικής Φυτείας με επεξεργασμένα αστικά λύματα. Γεωργία-Κτηνοτροφία 6, 2000. σελ. 64-68. Αθήνα.
6. Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ., 2001, Ειδική Γεωργία Ι, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
7. Δημοπούλου, Κ., 2005. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επίδραση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τεύτλων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
8. Διαμάνης, Κ., 1983. Ανοιξιάτικα Σιτηρά. Αθήνα.
9. Καββάδας, Δ. Σ., 1956. Εικονογραφημένο Βοτανικό Φυτολογικό Λεξικό, Αθήνα.

10. Κατσίρη, Α., Μέθοδοι βελτίωσης ποιότητας πόσιμου νερού, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1992.
11. Μακραντωνάτος, Π. Γ., 1990, Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, Β΄ Έκδοση, Αθήνα.
12. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς, Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή τον Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
13. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1985. Κίνδυνοι υποβάθμισης εδαφών - Βελτίωση νατρωμένων εδαφών. Θεσσαλονίκη.
14. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991. Προβληματικά εδάφη. Μελέτη, Πρόληψη, Βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, σελ. 178. Θεσσαλονίκη.
15. Μιχελάκης, Ν., 1998. Συστήματα αυτόματης άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Εκδοτική Αγροτεχνική Α.Ε., σελ. 319.
16. Νικολάου, Α., Νάματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ. και Δαναλάτος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων Σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ 197-204.
17. Πανώρας, Α.Γ. και Ηλίας, Α.Κ., 1997. Υγρά αστικά απόβλητα: Μια νέα πηγή νερού για τους Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων. Γεωπονικά, τεύχος 369, σελ. 73-85. Έκδοση Γεωπονικού Συλλόγου Μακεδονίας - Θράκης. Θεσσαλονίκη.
18. Πανώρας, Α., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισσόπουλος, Γ., Πατέρας, Δ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Ζδράγκας, Α., Αναγνωστόπουλος Κ., 1998. Άρδευση Ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου: Ανάκτηση Αστικών Υγρών Αποβλήτων με χρήση Φυσικών Συστημάτων και Επαναχρησιμοποίηση τους για άρδευση και ανάπλαση Υγροτόπων. Πρακτικά Ημερίδας, Αίθουσα Εκδηλώσεων Δήμου Σίνδου, 29 Σεπτεμβρίου 1998.

19. Πανώρας, Α. και Ηλίας Α., 1999. Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
20. Πανώρας, Α., Καλαφατέλη, Δ., Ρέρη, Ε., 1999. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 1-Σειρά Ι. Αρ. 1-1999. ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Θεσσαλονίκη.
21. Παπαζαφειρίου, Ζ., και Αντωνόπουλος, Β., 1991. Υδραυλική περιβάλλοντος. Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. σελ. 484. Θεσσαλονίκη.
22. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Σελ. 347. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
23. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 1990. Επίδραση της υστέρησης στην εξομοίωση του προβλήματος της διήθησης του νερού σε εδαφικό δείγμα. 4^ο πανελλήνιο συνέδριο Ε.Υ.Ε. Κρήτης.
24. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρούδης, Ι., Μανούδης, Ν. και Πογιαρίδης, Θ., 1996. Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισας. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με θέμα «Εγχειοβελτιωτικά έργα - Διαχείριση υδατικών πόρων - Εκμηχάνιση Γεωργίας» σελ.155-173.
25. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναλάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π., Νάκος, Ν., 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.
26. 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.

27. Στάμου, Ι.Α., 1995. Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων. Αθήνα.
28. Σφήκας, Α. Γ., 1984. Ειδική Γεωργία. Πανεπιστημιακές παραδόσεις.
29. Σφήκας, Α. Γ., 1988. Ειδική Γεωργία ΙΙ. Βιομηχανικά φυτά. Θεσσαλονίκη.
30. Τσακίρης, Γ., Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1986.
31. Φασούλας, Α.Κ. και Φωτιάδης, Ν. Α., 1984. Αρχές της επιστήμης των καλλιεργούμενων φυτών, σελ. 209-213. Θεσσαλονίκη.

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alexopoulou, E., and Chatziathanassiou, A. Description of growing experience on sweet sorghum in Greece.
2. 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.
3. 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.
4. Ayers, R. S. and Westcot, D. W. . Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 1985.
5. Ayers, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E., 103 (1) : 135-154.
6. Bahri, A., 1988. Present and future state of treated wastewaters and sewage sludge in Tunisia. Proceedings of Wastewater Reclamation and Reuse, Cairo, Egypt, December 1988, 11-16.
7. 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.
8. Bower, H. and Chase, W. L. g Water reuse in Phoenix Arizona, Future of water reuse, Water Reuse Symposium III, Vol. 1, 337, AWWA Research Foundation, Denver, Co. 1985.
9. 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.
10. Broadbent, F.E., and Reisenauer, H.M., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater: Nitrogen and phosphorus. In:

Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.

11. Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E., Zafiridis, C., 1998. Biomass and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In : Chartier et al. (Ed.), Proceedings of the 10 European Conference. C.A.R.M.E.N. Press, Germany, p. 209-212.
12. Christou, M., Panoutsou, K., and Alexopoulou, E. Promising agricultural Perennial Energy Crops in Greece.
13. Cook, J., and Beyea, J. An analysis of the environmental impacts of energy crops in the USA: methodologies, conclusions and recommendations.
14. Curt, M.D., 1998. Environmental studies on sweet and fiber sorghum sustainable crops for biomass production and energy. Project FAIR CT3-CT96 1913. Spanish contribution. In: BioBase.
15. Dalianis, C, 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. Proceeding of the First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, held in France, 1-3 April, p. 15-25.
16. Dercas, N., Panoutsou, C, and Sooter, C, 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).-Response to four irrigation and two fertilization rates, In: Chartier et al. (Ed.), Biomass for Energy, Environment, Agriculture. Proceedings of the 8th E.C. Conference Vol. 1, Pergamon Press, U.K., 629-639.
17. Devitt, D. and Miller, W., 1988. Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline water. Applied Agricultural Res. Vol. 3, No 3, p. 133-143.
18. Dinnen, R., 1991. Congress acts to increase the production of ethanol. *Biologue* (1):p.11-14.
19. Dolcioti, I., Mambelli, S., Grandi, S., and Venturi, G., 1996. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products*, 7:265-272.

20. Dryden, F. D., Chen, C. L and Selna, M. W. . Virus removal in advanced wastewater treatment systems, J. of WPCF, Vol.51, No.8, L979.
21. FAO, 1998. Irrigation and Drainage. Paper No 24.
22. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelich, H., and Mara, D.D., 1980. Appropriate technology for water supply and sanitation. Vol 3: Health aspects of excreta and sludge management. The World Bank, Washington D.C.
23. Greer, D.y2005. Creating Cellulosic Ethanol: Spinning Straw into Fuel, in BioCycle, May 2005 eNews Bulletin.
24. Greene, N.^2004. Growing Energy: How Biofuels Can Help End America's Oil Dependence. New York: National Resources Defense Council, www.nrdc.org/air/energy/biofuels/biofuels.pdf (PDF /1.2 M).
25. Gushiken, E., 1993. EfQuent Disposal Through Subsurface Drip Irrigation Systems. Hawaii Water Pollution Control Ass. Proceedings of the 15th Annual Conf. Honolulu. Hawaii.
26. Hall, K.,2001. Oilseed rape (*Brassica napus* spp. *oleifera*). <http://www.nf-2000.org/secure/-crops/F590.htm>.
27. Hanson B.R7schwankl 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. Jelte van Andel and Anderson, J., 2003. *Restoration Ecology*. Blachwell Publishing.
29. Klocke, N.9 Hubbard, K., Kranz, W., Watts, D. Evapotranspiration (ET) or Crop water use.
30. Kott, Y. H., Ben-Ari and Betzer, N. : Laggoned secondary effluents as water source for extended agricultural purposes, *J. of Water Research*, Vol.12, No. 12, pp.1101-1106, 1978.
31. 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.
32. Maas, E.V., and Hoffman, G.J., 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *J. irrigation and drainage division, ASCE* 103 (IRZ), 115-134. Proceeding paper 12993.
 33. Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. In: *The handbook of plant Science in agriculture*. B.R. Cristie (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., 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agriculture Research* 1, 12-26.
 36. Maas, E.V., 1990. Crop salt tolerance. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., 103 : 115-134.
 37. Mara, D., and Cairncross, S., 1989. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture : Measures for public health protection. UN Environmental Program/WHO, Geneva.
 38. Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G., Steduto, P., 1995. Sweet sorghum in 'Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products* 3, 253-260.
 39. McLaughlin, S., J. Bouton, D. Bransby, B. Conger, W. Ocumpaugh, D. Parrish, C. Taliaferro, K. Vogel, and S. Wullschleger. 1999. Developing Switchgrass as a Bioenergy Crop, in *Perspectives on new crops and new uses*. J. Janick (ed.), Alexandria, VA: ASHS Press.
 40. Metcalf and Eddy : *Wastewater Engineering, Treatment-Disposal-Reuse*, McGraw-Hill International Editions, 1991.
 41. *Methods of Soil Analysis*, 1982. Part 2, p. 199-200.
 42. National Academy of Engineer . *Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee Water Quality Criteria*, pp.232-353, EPA-R3-73-033, EPA, Washington, D.C., 1973.

43. Oster, J.D. and Shroer, F.W., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43 444-447.
44. Page, A.L., and Chang, A.C., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater trace elements. In : *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual 2nd Edition*, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
45. Panoutsou, K. Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece.
46. Panoutsou, K. State of the art for energy crops in Greece.
47. Panoutsou, K., and Alexopoulou, E., Promising annual Energy Crops in Greece.
48. Papayiannopoulou, A., Parissopoulos G., Panoras, A., Kampel, S., Papadopoulos F., Papadopoulou, S/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.
49. Parrish, D.J. and J.H. Fike. 2005. The Biology and Agronomy of Switchgrass for Biofuels, in *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:423-459.
50. Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. *F.A.O. Irrigation and Drainage Paper* 47.
51. Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), 1985. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater-A guidance manual. 2nd Edition*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, ML.
52. 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*.
53. Roman, G., Hall, D., Gosse, G., Roman, A., Ion, V. and Alexe, A. 1998. Researches on Sweet - Sorghum Productivity in the South Romanian Plain. *Federation for Inf. Tec. in Agriculture. Agricultural Technology in Asia and Oceania*, 1998.

54. Sakellariou-Makradonaki, M., and Hajjiyiannakis 1991.
55. Sakellariou -Makradonaki, M., 1997. Water Drainage in layered soils
56. Sakellariou-Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., 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.
57. Scherpernzeel, J. Agenda 2000: consequences for energy crops.
58. Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In: Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and Application. Jorgensen, G.S. and K.N. Norum (Eds.). CATI Publication No 921001
59. Stamou, A. I., Andreadakis, A. and Christoulas, D.. Estimation of the cost for the additional treatment of biologically treated sewage prior to its reuse for irrigation in Greece, Second International Symposium on wastewater reclamation and reuse, Iraklion, Kriti, 1995
60. Stassen, H. FAIR1-CT95-0512. European energy crops processing and utilization in Europe.
61. State of California. Wastewater reclamation criteria, California Administrative Code, Title 22, Division 4, Environmental Health, Department of Health Services, Berkeley, Ca., 1978.
62. Teel, A. and S. Barnhart. 2003. Switchgrass Seeding Recommendations for the Production of Biomass Fuel in Southern Iowa (PDF /112 K). Iowa State University Extension.
63. Topp, G.C., .Davis, J.L., and Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water Resources Research. 16:574-587.
64. U.C.C.C. 1974. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Memo Report, 13 p.

65. U.S.D.A., 1990. USDA backgrounder. News division, Office of Public Affairs, Room 404-A, Washington, D.C.
66. U.S.E.P.A. 1973. Water quality criteria. Ecological Research Series, E.P.A. R 3-72-033, U.S.E.P.A., Washington D.C.
67. Venturi, P., 1999. Comparison between miscanthus, kenaf and sorghum with regards to water and N availability. Document ID B10545. In : BioBase.
68. WHO : Health aspects of treated sewage re-use, Report on a WHO Seminar, EURO Reports and Studies 42, Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark, 1980.
69. WHO : Reuse of effluent: Method of Wastewater Treatment and Health Safeguards, Technical Report Series No. 517, Geneva, Switzerland, 1983.
70. WHO : Health guidelines for the use of wastewater in agriculture, aquaculture, Technical Report Series No.778, Geneva, Switzerland, 1989.
71. WPCF : Water reuse, Manual of Practice SM-3, 2nd Edition, 1988.

