



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**“ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ”
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2008**

**ΓΙΟΥΒΑΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

ΒΟΛΟΣ 2009

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**“ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ
ΓΕΩΡΓΙΑ”
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2008**

**ΓΙΟΥΒΑΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Μ.,
ΔΗΜΗΡΚΟΥ Α.,
ΒΑΡΔΑΒΑΚΗΣ Ε.,**

**Καθηγήτρια Π.Θ.
Αναπλ. Καθηγήτρια Π.Θ.
Λέκτορας Π.Θ.**

Στην Οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Το θέμα της πτυχιακής μου διατριβής δόθηκε από την Καθηγήτρια του τμήματος, κυρία Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, την οποία ευχαριστώ ιδιαίτερα 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 κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Επίσης, την κυρία Δημήκου Ανθούλα Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και τον κύριο Βαρδαβάκη Μανόλη Λέκτορα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις υποδείξεις τους, που συνέβαλλαν ουσιαστικά στη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσαν και την εποικοδομητική κριτική που άσκησαν ως μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον, κ. Παπανίκο Νικόλαο, μέλος Ε.Ε.Δ.Ι.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια του κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος καθώς και στον κ. Παπανικολάου Χρήστο, υποψήφιο Διδάκτορα στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του οποίου η συμβολή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, στην πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας ήταν καθοριστική

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

Να ευχαριστήσω επίσης, τον προπτυχιακό φοιτητή της Γεωπονικής Σχολής, Εξίογλου Λάμπρο για τη βοήθειά του στις δειγματοληψίες - κοπές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την ηθική τους συμπαράσταση, και όχι μόνο, σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	
1.1.Γενικά	14
1.2.Χαρακτηριστικά των υγρών αστικών αποβλήτων	15
1.3.Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	16
1.4 Λόγοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων	20
1.5 Μέθοδοι επεξεργασίας	20
1.5.1 Συμβατική επεξεργασία	21
1.5.2 Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας	24
1.6 Κριτήρια του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας	25
1.7 Το Νομικό Πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο	27
1.8 Χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων	28
1.8.1. Ανάγκη χρήσης	28
1.8.2 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	29
1.8.2.1 Αξιολόγηση της ποιότητας των υγρών αστικών αποβλήτων	
1.9 Καταλληλότητα των υγρών αποβλήτων για άρδευση	30
1.9.1 Χημική ανάλυση	32
1.9.1.1 Αλατότητα	32
1.9.1.2 Διηθητικότητα	34
1.9.1.3 Τοξικότητα ιόντων	35
1.9.1.4 Θρεπτικά στοιχεία	36
1.9.2 Διάφορα προβλήματα	36
	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

2.1 Γενικά	39
2.2. Επιλογή μεθόδου άρδευσης	39
2.3 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α)	42
2.3.1 Γενικά	42
2.3.2 Περιγραφή του συστήματος	44
2.3.3 Αποδοτικότητα του συστήματος	45
2.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	46
2.3.5.Μειονεκτήματα της μεθόδου	47
2.4 Η πρακτική της άρδευσης	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

3.1 Γενικά	49
3.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών	51
3.3 Υγρά βιοκαύσιμα	54
3.4 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΟΡΓΟ

4.1 Γενικά	62
4.2 Βοτανική ταξινόμηση	63
4.3 Βοτανικά γνωρίσματα	64
4.4 Οικολογικές απαιτήσεις	66
4.4.1 Κλίμα	66
4.4.2 Έδαφος	67
4.5 Καλλιέργεια	68
4.5.1 Αμεμψισπορά	68
4.5.2 Κατεργασία του εδάφους	68
4.5.3 Λίπανση	68
4.5.4 Σπορά	69
4.5.5 Άρδευση	70
4.5.6 Αραίωμα	70
4.5.7 Αντιμετώπιση ζιζανίων	70
4.5.8 Συγκομιδή	71
4.6 Αποθήκευση	71

4.7 Εχθροί και Ασθένειες	71
4.8 Προϊόντα	72
4.9 Σύγκριση σόργου – καλαμποκιού	73
4.10 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια	74
4.10.1 Ινώδες σόργο (fiber sorghum)	74
4.10.2 Γλυκό σόργο (Sweet sorghum)	75
4.11 Παραγωγή βιοενέργειας	76
4.12 Βελτίωση	77
4.12.1 Μέθοδοι	78
4.12.2 Γνωρίσματα για βελτίωση	79
4.13 Σημασία του σόργου για την Ελλάδα	81
4.14 Ινώδες Σόργο και Ενέργεια	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Γενικά	85
5.2 Κλιματικά δεδομένα	85
5.3 Εδαφολογικά δεδομένα	85
5.4 Χάραξη πειραματικού αγρού	86
5.5 Εγκατάσταση της καλλιέργειας	88
Υλικά άρδευσης	93
5.7 Εξατμισόμετρο τύπου A	96
5.8 Αισθητήρας Μέτρησης της Εδαφικής Υγρασίας Sentek Envirosmart	98
5.9 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας	
5.10 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	100
5.11 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου	102
5.11.1 Μετρήσεις ύψους φυτών	104
5.11.2 Μετρήσεις χλωρής – ξηρής βιομάζας φυτών	104
5.12 Μετεωρολογικά δεδομένα	105
5.13 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης	106
5.14 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	108
	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κλιματικά δεδομένα	118
6.1.1 Θερμοκρασία -Βροχόπτωση	118
Εξατμισοδιαπνοή	119
6.2 Υγρασία Εδάφους	120
6.3 Εξοικονόμηση νερού	122
6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου	123
6.4.1 Ύψος φυτών	123
6.4.2 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)	127
6.4.3 Χλωρή – ξηρή βιομάζα	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
--------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139
---------------------------	-----

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	142
-------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	148
-------------	-----

Στατιστική ανάλυση	149
--------------------	-----

Φωτογραφίες Πειράματος	156
------------------------	-----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

Ερευνήθηκε η επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας ινώδους σόργου (*fiber sorghum*), ως ενεργειακού φυτού, και συνεπώς η αξιολόγηση και η εξοικονόμηση νερού άρδευσης. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε έρευνα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου το έτος 2008, το οποίο περιελάμβανε ένα πλήρες τυχαιοποιημένο σχέδιο με 2 μεταχειρίσεις (καθαρό και απόβλητο νερό) σε 4 επαναλήψεις.

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

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός ανάπτυξης (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας) και η τελική απόδοση σε χλωρή και ξηρή βιομάζα δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($P > 0,05$) στις δυο μεταχειρίσεις ενώ παράλληλα με τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, καθιστώντας φανερό τη δυναμική της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στο ινώδες σόργο ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας, σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις για εφαρμογή της γεωργίας χαμηλών εισροών.

ABSTRACT

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

The effects of treated urban wastewater, by using subsurface drip irrigation, on yield and growth of the energy plant sorghum was studied as well as the fresh water saving. For this purpose, in 2008, a field experiment was conducted in the farm of the University of Thessaly in Velestino area, consisting of a fully randomized block with two treatments (fresh water (FW 100ET) and wastewater (WW 100ET)) in four replications.

The wastewater was coming from the Municipal Water Supply and Sewerage Company of Volos and had undergone second-degree processing with substantial nitrogen and phosphorus removal. There was also close monitoring of the waste quality by measuring their physical-chemical parameters. The amount of the supplied water was determined by an A Class Evaporation Pan, for watching the 100% of daily evaporation needs. The measurements taking place pertained to the height of the plants, the leaf area index and soil moisture content, as well as the fresh and dry biomass. Furthermore, measurements of the meteorological data (rainfall, air temperature etc.) were recorder in an automatic weather station, which was placed in the farm.

The results showed that the rate of growth (height of plants, leaf area index) and the final yield in fresh and dry biomass differed but not significantly ($P>0.05$) in both treatments. However through the use of processed urban wastewater, a significant saving in fresh irrigation water was achieved. Irrigating fiber sorghum with treated wastewater seems to be a quite promising method to produce energy from biomass.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

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

ύδρευση ή/και άρδευση, τη διάδοση ασθενειών και τη δημιουργία δυσάρεστων καταστάσεων για τους ανθρώπους που διαβιούν κοντά ή συνδέονται κατά κάποιο τρόπο με τους υδάτινους αυτούς αποδέκτες.

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

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

Σήμερα αποτελεί κοινή διαπίστωση, ότι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων, έχει τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Για το λόγο αυτό, βρίσκονται σε εξέλιξη πολυάριθμα έργα άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών με τέτοιες εκροές σε διάφορες χώρες, όπως στις Νοτιοδυτικές περιοχές των ΗΠΑ, 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 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 επίσης, ότι είναι σε εξέλιξη έργα για έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού, από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που δείχνουν το υψηλό επίπεδο της υφιστάμενης τεχνογνωσίας.

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

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

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

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 (Curt et al. 1995, Dalianis 1996, Chatziathanassiou et al. 1998, Sakellariou - Makrantonaki et al. 2001).

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

1.1 Γενικά

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

Αστικά λύματα, είναι τα υγρά απόβλητα που δημιουργούνται κατά τις διαδικασίες καθαριότητας (χώροι υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια, κλπ.) σε μια κατοικημένη περιοχή (κατοικίες, γραφεία, ιδρύματα, βιομηχανίες, κλπ.). Κύριο συστατικό τους είναι το νερό με ορισμένες ξένες προσμίξεις, που το καθιστούν αρχικά ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και επηρεάζουν δυσμενώς τους διάφορους αποδέκτες (Μαρκαντωνάτος, 1990). Σύμφωνα με τους Πανώρα και Ηλία (1999), τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9 % από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων στερεών.

Τα υγρά απόβλητα είναι πραγματικά μια πολύτιμη πηγή θρεπτικών ουσιών και νερού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες (Al-Jamal M.S. et al., 2002). Σε πολλές περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση καλλιεργειών, δασών, πάρκων αναψυχής, γηπέδων γκολφ, κ.α. όπως στην περίπτωση των δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών, που χρησιμοποιήθηκαν δημοτικά υγρά απόβλητα για το σκοπό αυτό (Sopper and Kardos, 1973; Sopper et al., 1982; Bastian and Ryan, 1986; Luecke and De la Parra, 1994). Διάφοροι ερευνητές, έχουν κάνει μελέτες σχετικά με την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων σε άρδευση φυτειών δασικών δένδρων, που προορίζονται για υλοτομία (Bastian et al., 1982; Cole et al, 1986).

1.2 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 1.1

Πίνακας 1.1. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (Asano, T., 1994).

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
Χλωρίοντα	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,	-	-	-	22*10 ⁶

MPN/100 ml				
Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης MPN/100 ml	-	-	-	$8 \cdot 10^6$
Ιοί, PFU/100 ml	-	-	-	3.6

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.

1.3 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία

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

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

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

Πίνακας 1.2 Συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων που πρέπει να ελέγχονται

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

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

Πηγή: Pettygrove and Asamo (1985)

Πίνακας 1.3 Εργαστηριακές αναλύσεις για την εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών.

Παράμετρος του νερού	Σύμβολο	Μονάδες	Συνήθεις τιμές στο αρδευτικό	Ενδεικτικές τιμές στο νερό της Μονάδας Βιολογικού
Φυσικές Ιδιότητες				

Περιεγόμενα άλατα				
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	EC _w	mmhos/cm ή dS/m ^α	0-3	1,7
Ολικά διαλυμένα	T.D.S.	mg/l	0-2000	
Θερμοκρασία	T	°C		
Χρώμα-Θολότητα		NTU/JTU ^β		
Σκληρότητα		mg/l eq.		
Ιζήματα		g/l		
Χημικές Ιδιότητες				
Κατιόντα και ανιόντα				
Ασβέστιο	Ca ⁺⁺	mg/l	0-400	96,0
Μαγνήσιο	Mg ⁺⁺	mg/l	0-60	32,4
Νάτριο	Na ⁺	mg/l	0-900	186,3
Ανθρακικά	CO ₃ ⁻	mg/l	0-3	0,0
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	mg/l	0-600	622,2
Χλωριούχα	Cl ⁻	mg/l	0-1100	278,0
Θειικά	SO ₄ ⁻	mg/l	0-1000	
Διάφορα				
Βόριο	B	mg/l	0-2	
Οξύτητα/Αλκαλικότητα			6,5-8,5	7,98
% προσρόφησης Na	SAR	(me/l) ^{1/2}	0-15	4,2
Ιγνοστοιχεία		mg/l		
Βαρέα μέταλλα				
Κάδμιο	Cd	mg/l		<0,01
Χαλκός	Cu	mg/l		<0,03
Σίδηρος	Fe	mg/l		0,16
Μόλυβδος	Pb	mg/l		<0,01
Μαγγάνιο	Mn	mg/l		<0,05
Νικέλιο	Ni	mg/l		<0,02
Ψευδάργυρος	Zn	mg/l		0,11
Θρεπτικά				
Νιτρικό N	NO ₃ -N	mg/l	0-10	1,96
Αμμωνιακό N	NH ₄ -N	mg/l		31,5
Φωσφορικός P	PO ₄ -P	mg/l	0-2	3,52
Κάλιο	K	mg/l	0-2	19,5

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

α. dS/m = deciSiemen/m = mmho/cm

β. NTU/JTU = Nephelometric Turbidity Units / Jackson Turbidity Units

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

για το λόγο αυτό πρέπει η επεξεργασία, η μεταφορά και η χρησιμοποίησή τους να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

Περιορισμένος αριθμός χωρών και πολιτειών των Η.Π.Α. έχουν θεσπίσει κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης των αστικών αποβλήτων ανά χρήση. Αυτή τη δεκαετία με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων, παρατηρείται μια έντονη δραστηριότητα ανάπτυξης και θέσπισης τέτοιων κριτηρίων. Επίσης, σε άλλες χώρες εκσυγχρονίζονται και αναπροσαρμόζονται οι ισχύοντες κανονισμοί. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή χρήση των αποβλήτων από τους Έλληνες αγρότες είναι η σύνταξη κριτηρίων μικροβιακής ποιότητας. Μέχρι τότε όμως μπορούν να υιοθετηθούν κριτήρια άλλων χωρών που επί σειρά ετών χρησιμοποιούν τα απόβλητα στην άρδευση των καλλιεργειών.

1.4 Λόγοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Ο κύριος όγκος των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στα ανθρώπινα εκκρίματα υπάρχουν και στα απόβλητα, με συνέπεια την πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών. Ο αριθμός των 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. Ωστόσο, 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.

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).

1.5 Μέθοδοι επεξεργασίας

Τα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία για να αποφευχθούν

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

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

1.5.1 Συμβατική επεξεργασία

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

- α) προκαταρκτική επεξεργασία (preliminary treatment ή pretreatment)**
- β) πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment)**

- γ) δευτεροβάθμια επεξεργασία (secondary treatment)
- δ) τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (tertiary treatment)
- ε) απολύμανση (disinfection)
- ζ) αποθήκευση (effluent storage)

Προκαταρκτική επεξεργασία. Περιλαμβάνει διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που συνήθως βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση αυτή είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των υπόλοιπων διεργασιών και περιλαμβάνει εσχάρωση και απλή καθίζηση.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία. Συνίσταται στην απομάκρυνση των οργανικών και ανόργανων στερεών που καθιζάνουν με κάποια διαδικασία καθίζησης καθώς και στην απομάκρυνση των συστατικών που επιπλέουν με ξάφρισμα των υγρών αποβλήτων. Περίπου το 25 με 50% της αρχικής βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου, το 35 με 50% της χημικής απαίτησης οξυγόνου (COD), το 50 με 70% των ολικών αιωρούμενων στερεών και το 65% των ελαίων και λιπών, απομακρύνονται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, ενώ μένουν ανέπαφα τα διαλυμένα στερεά και κολλοειδή. Επίσης, ένα μέρος του οργανικού αζώτου, του οργανικού φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά, απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία εφαρμόζεται με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση των χαρακτηριστικών του νερού που προκύπτει από την πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά. Στις περισσότερες περιπτώσεις η δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθεί την πρωτοβάθμια και περιλαμβάνει την απομάκρυνση της βιοδιασπώμενης, διαλυμένης και κολλοειδούς οργανικής ύλης με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με δευτεροβάθμια καθίζηση.

Οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται και διαδικασίες υψηλού ρυθμού. Οι πιο συνηθισμένες υψηλού ρυθμού βιολογικές διαδικασίες είναι αυτές που γίνονται με την ενεργό ιλύ, τα σταλάζοντα φίλτρα ή βιοφίλτρα και με τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες.

Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία. Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται για την απομάκρυνση συγκεκριμένων συστατικών που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας, όπως: α) άζωτο και φώσφορος, β) μη διασπώμενες οργανικές ουσίες, γ) απολυμαντικά, απορρυπαντικά, αποσκλήρυντικά νερού, δ) βαρέα

μέταλλα, ε)διαλυμένα στερεά, αλλά επίσης και για περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών.

Πρέπει να τονισθεί ότι το άζωτο και ο φώσφορος απομακρύνονται για να μειωθούν οι κίνδυνοι ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες, όπου πιθανώς καταλήγουν τα υγρά απόβλητα, ενώ στην περίπτωση που αυτά χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς η ύπαρξη αυτών των στοιχείων, αποτελεί κατά κανόνα πλεονέκτημα.

Απολύμανση. Η απολύμανση είναι συνήθως το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και το μοναδικό με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας. Η απολύμανση μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως με έγχυση αερίου χλωρίου, υποχλωριώδους νατρίου (ή ασβεστίου), όζοντος, ή με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Επειδή η χρήση του χλωρίου δημιουργεί ανησυχίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, οι υπόλοιποι τρόποι απολύμανσης αρχίζουν να συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ερευνητών, χωρίς όμως να βρίσκουν μέχρι στιγμής μεγάλη εφαρμογή στην πράξη.

Αποθήκευση. Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων παρόλο που δεν θεωρείται ως στάδιο επεξεργασίας, αποτελεί ένα σημαντικό ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ της εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και της χρήσης τους για αρδευτικούς σκοπούς (Asano et al, 1987). Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για τους εξής λόγους:

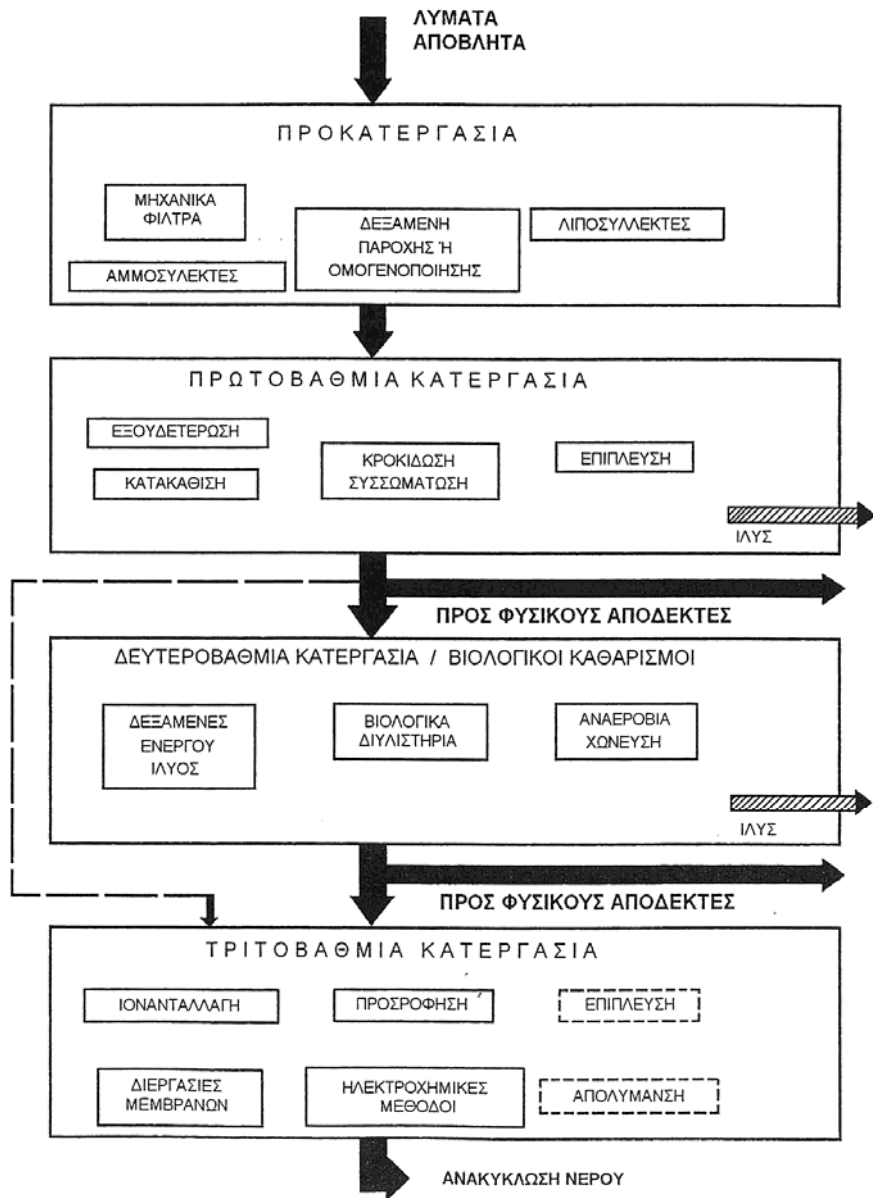
α) Επιτυγχάνεται εξισορρόπηση στη διακύμανση της ροής κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης του νερού όταν η ζήτηση είναι μειωμένη, όπως κατά την περίοδο του χειμώνα.

β) Ικανοποιούνται οι ανάγκες άρδευσης κατά την περίοδο αιχμής, όταν η ζήτηση ξεπερνά τη μέση παραγόμενη παροχή αποβλήτων από τη μονάδα επεξεργασίας.

γ) Μειώνονται τα προβλήματα που προκύπτουν από τις δυσλειτουργίες της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και από πιθανή αδυναμία να χρησιμοποιηθεί το νερό στην άρδευση (βλάβη δικτύου κλπ). Με την αποθήκευση και ανάμειξη του νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με την αποθηκευτικότητα της δεξαμενής, αποφεύγεται η παροχέτευση μη κατάλληλου ποιοτικά νερού στο δίκτυο άρδευσης.

δ) Επιτυγχάνεται μία επιπλέον επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μειώνονται κατά το χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Στο σχήμα 1.1 απεικονίζονται διαγραμματικά τα διάφορα στάδια κατεργασίας και οι διάφοροι μέθοδοι και τεχνικές που περιλαμβάνονται σε καθένα από αυτά.



Σχήμα 1.1

1.5.2 Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας

Είναι προφανές ότι κατά την επιλογή του συστήματος επεξεργασίας πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, την ασφαλέστερη χρήση των

αποβλήτων, τόσο κατά την επεξεργασία όσο και κατά την επαναχρησιμοποίησή τους και την οικονομικότητα του συστήματος.

1.6 Κριτήρια του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας

Το 1989 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εξέδωσε την Τεχνική Αναφορά Νο 778 (W.H.O., 1989) τα μικροβιακά κριτήρια της οποίας καθώς και ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας για την επίτευξη των συνιστώμενων ορίων δίνονται στον Πίνακα 1.4 (W.H.O., 1989).

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

Στον πίνακα 1.4 φαίνονται τα βιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, που συνιστώνται για άρδευση από τον W.H.O.

Πίνακας 1.4 Βιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων, που συνιστώνται για άρδευση από τον W.H.O.^a

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις ^β (αριθ. μέσος αρ. αυγών/L) ^γ	Κολοβακτηρίδια Εντερικής προέλευσης	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
A	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γήπεδα αθλοπαιδιών και πάρκων αναψυχής ^δ	Αγρότες Καταναλωτές κοινό	≤ 1	≤ 1000	Μια σειρά δεξαμεμών σταθεροποίησης σχεδιασμένων για να πετυχαίνουν την επιθυμητή μικροβιολογική

					ποιότητα. ή ισοδύναμη μεταχείριση.
B	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών φυτών, βοσκών και δένδρων ^ε	Αγρότες	≤ 1	Δε συνιστάται κάποιο όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες. ή ισοδύναμη απομάκρυνση ελμίνθων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας Β. όταν δε συμβαίνει έκθεση αγροτών και κοινού	Καμία	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης. αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

Πηγή: W.H.O. (1989).

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

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

^γ Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

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

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

Οι οδηγίες του Πίνακα 1.3 του πρέπει να ερμηνεύονται και να τροποποιούνται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις όπου ευαίσθητες σε μολύνσεις ομάδες πληθυσμού έρχονται σε επαφή με απόβλητα. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις επιτρέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα. Έτσι, σε περιοχές όπου οι ελμινθικές μολύνσεις δεν είναι ενδημικές, η επιδίωξη απομάκρυνσής τους κατά 99% δεν είναι απαραίτητη. Επίσης, εδώδιμα προϊόντα όπως τομάτες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, φυστίκια που πρόκειται να ψηθούν πριν καταναλωθούν ή γήπεδα που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αρκετές εβδομάδες μετά την άρδυσή τους με απόβλητα μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν ανήκουν στην κατηγορία Β του Πίνακα 1.4.

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

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

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

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

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

1.7 Το Νομικό Πλαίσιο στον Ευρωπαϊκό χώρο

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποσότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Μια γενική αναφορά στο θέμα γίνεται στην Οδηγία 91/271 της ΕΕ, όπου αναφέρεται ότι: «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο...». Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση

των λυμάτων. Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Αντρεαδάκης κ.α. 2003), έτσι θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ότι ισχύουν οι όχι και τόσο αυστηρές προδιαγραφές που έχει εκδόσει ο Π.Ο.Υ. Πιστεύετε, πάντως, ότι σύντομα θα καλυφθεί το νομοθετικό κενό είτε με κρατική, είτε με Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία (στην περίπτωση που η ΕΕ αποφασίσει να θεσπίσει ενιαία κριτήρια).

1.8 Χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων

1.8.1. Ανάγκη χρήσης

Τα υγρά απόβλητα έχουν σοβαρές επιδράσεις στο περιβάλλον, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- ⇒ Ρύπανση ακτών και θαλασσών
- ⇒ Μολύνσεις με μεταφορά διαφόρων παθογόνων
- ⇒ Υποβάθμιση αστικών κυρίως περιοχών
- ⇒ Δημιουργία αισθητικών και άλλων προβλημάτων

Επιβάλλεται, λοιπόν, η λήψη δραστικών διαχειριστικών μέτρων, με σκοπό τον περιορισμό του κινδύνου των δυσμενών επιπτώσεών τους. Με τον όρο διαχείριση υγρών αποβλήτων, ορίζεται κάθε ανθρώπινη επέμβαση με σκοπό:

- ⇒ Τον περιορισμό μέχρι και την πλήρη εξάλειψη της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων, ώστε οι ανεπιθύμητες επιδράσεις τους στο περιβάλλον να περιορίζονται ή να εξαλείφονται εντελώς.
- ⇒ Την εξοικονόμηση πηγών ύδατος, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες χρήσεις.
- ⇒ Το οικονομικό όφελος, που προκύπτει από τον εφοδιασμό με νερό και θρεπτικά στοιχεία, των φυτών ή των δέντρων στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις ή την ανάπτυξη χώρων πρασίνου (Αγγελάκης, 1994).
- ⇒ Διεθνώς οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με τη σειρά όγκου του χρησιμοποιούμενου νερού είναι η άρδευση γεωργικών εκτάσεων, η βιομηχανική χρήση, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και διάφορες άλλες (Αγγελάκης και Tsobanoglous 1995).

1.8.2 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

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

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

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

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

Πίνακας 1.5 Χρήσεις προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη γεωργία και δυνατοί περιορισμοί

	Χρήσεις	Περιορισμοί
1	Άρδευση γεωργικών εκτάσεων α) Αροτριαίες καλλιέργειες β) Δενδροκομικές και Λαχανοκομικές	- Ποιότητα νερού (κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και φυτά) - Προστασία δημόσιας υγείας (κυρίως σε σχέση με παθογόνα, όπως παράσιτα, βακτήρια και ιοί).
2	Άρδευση κοινοχρήστων - αναψυχής χώρων α) πάρκα	- Μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν

β) σχολικοί χώροι γ) εθνικοί δρόμοι δ) ιππόδρομοι ε) νεκροταφεία στ) ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι ζ) περιφερειακές ζώνες πρασίνου	υφίσταται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης. – Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγομένων προϊόντων.
--	---

Πηγή: Asano, 1991 και Αγγελάκης, 1994

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

Οι εργαστηριακές αναλύσεις που είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση των αστικών αποβλήτων δίνονται στον Πίνακα 1.3. Στον ίδιο Πίνακα δίνεται το σύνηθες εύρος ορισμένων παραμέτρων στα νερά άρδευσης και κάποιες ενδεικτικές τιμές των ιδίων παραμέτρων για τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της μονάδας βιολογικού καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (Μ.Β.Κ.Θ.). Τα επεξεργασμένα απόβλητα της Μ.Β.Κ.Θ. χλωριώνονται στην έξοδό τους από την εγκατάσταση επεξεργασίας και είναι απαλλαγμένα, σε σημαντικό βαθμό, από παθογενείς οργανισμούς. Σε ότι αφορά τις βιολογικές παραμέτρους, έγινε αναφορά σε προηγούμενη ενότητα. Πολλές φορές, εκτός από τις αναλύσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 1.3 απαιτούνται και συμπληρωματικές αναλύσεις που περιλαμβάνουν επιπλέον πληροφορίες για το άζωτο, το υπολειμματικό χλώριο και τα ιχνοστοιχεία, για την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση (Pettygrove and Asano, 1985). Η ανάλυση για τα θρεπτικά στοιχεία συνιστάται να γίνεται τουλάχιστον σε ετήσια βάση.

1.8.2.1 Αξιολόγηση της ποιότητας των υγρών αστικών αποβλήτων

Πολλές ποιοτικές κατατάξεις του νερού άρδευσης έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς (U.S.S.L. 1954, Doneen 1954, Christiansen et al. 1977, Ayers and Westcot 1985). Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση των καλλιεργειών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από

τις κλιματικές συνθήκες, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, την αντοχή των καλλιεργειών στην αλατότητα και στην τοξική δράση ορισμένων στοιχείων καθώς και τις πρακτικές διαχείρισης.

Σε ότι αφορά την εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για την άρδευση των καλλιεργειών, συνιστάται η χρήση της ποιοτικής κατάταξης, των Ayers and Westcot (1985), η οποία είναι η πλέον περιεκτική και πρόσφατη. Οι Ayers and Westcot (1985) κατέταξαν το νερό άρδευσης σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα προβλήματα που είναι δυνατό να προκύψουν όπως, αλάτωση του εδάφους, μείωση διηθητικότητας του εδάφους, τοξικές επιδράσεις στα φυτά και διάφοροι άλλοι κίνδυνοι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6 Κριτήρια ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού

Ενδεχόμενο	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) ^α				
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)^{β,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	8ΑΠή adj. SAR	<3	3-9	>9
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<69	>69	
Χλώριο (Cl)^{β,γ}				
Επιφανειακή άρδευση	me/L	<4	4-10	>10
	mg/L	<142	142-355	>355
Καταιονισμός	me/L	<3	>3	
	mg/L	<106	>106	
Βόριο (B)	mg/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Διάφορες επιδράσεις (Αφορούν κυρίως ευπαθή φυτά)				
Άζωτο (Ολικό-N)^δ	mg/L	<5	5-30	>30
Όξινα ανθρακικά (HCO₃) (Μόνο για τον καταιονισμό)	me/L	<1.5	1.5-8.5	>8.5
	mg/L	<90	90-520	>520
Υπολειμματικό χλώριο	mg/L	<1	1-5	>5
pH	Σύνηθες εύρος 6,5-8,5			

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

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

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

^γ Όταν η άρδευση γίνεται με καταιγισμό σε χαμηλή σχετική υγρασία (<30%) και οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου είναι μεγαλύτερες από 70 και 100mg/L

αντίστοιχα. προκαλείται μεγάλη απορρόφηση αυτών από τα φύλλα των φυτών, με αποτέλεσμα τα ευαίσθητα φυτά να υφίστανται σημαντικές βλάβες.

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

1.9 Καταλληλότητα των υγρών αποβλήτων για άρδευση

Η απάντηση που δίνεται σε κάθε ενδιαφερόμενο σχετικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς είναι κατά κανόνα θετική. Υπάρχουν όμως ορισμένες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να τηρηθούν για να μην παρατηρηθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος, τα φυτά, το αρδευτικό σύστημα, τα ζώα και τον άνθρωπο. Τονίζεται ότι πριν από κάθε σχεδιασμό για άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα πρέπει να συλλέγουν ορισμένες πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα και την ποιότητα των αποβλήτων τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

1.9.1 Χημική ανάλυση

Κύριος στόχος των αναλύσεων του νερού που προορίζεται για άρδευση είναι η απόκτηση πληροφοριών για πιθανά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν στα φυτά, το έδαφος, το σύστημα άρδευσης και τον άνθρωπο, καθώς και η γνώση της περιεκτικότητας των νερών σε θρεπτικά στοιχεία. Με βάση τις πληροφορίες αυτές μπορούν να ληφθούν αποφάσεις και μέτρα για την ασφαλή διαχείριση του νερού. Πρέπει λοιπόν να επιλέγονται οι πλέον κατάλληλες και οικονομικά προσιτές μέθοδοι χημικής ανάλυσης, καθώς επίσης και ο απαραίτητος αριθμός δειγμάτων που θα αναλυθούν. Οι εργαστηριακοί προσδιορισμοί που είναι απαραίτητοι για την αξιολόγηση του αρδευτικού νερού δίνονται στον Πίνακα 1.7.

Στον ίδιο πίνακα 1.7, δίνονται και οι συνήθεις συγκεντρώσεις των παραμέτρων αυτών στα νερά άρδευσης.

Η αλατότητα αναφέρεται στην ποσότητα και το είδος των διαλυμένων αλάτων στο νερό άρδευσης. Κατά κανόνα εκτιμάται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού (EC_w) που γίνεται εύκολα με ειδικά όργανα τόσο στο πεδίο όσο και στο εργαστήριο.

Πίνακας 1.7 Εργαστηριακές αναλύσεις για την εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών.

Παράμετρος του νερού	Σύμβολο	Μονάδες	Συνήθεις τιμές στο αρδευτικό	Ενδεικτικές τιμές στο νερό της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού της Θεσσαλονίκης (1997)
<u>Φυσικές Ιδιότητες</u>				
Περιεχόμενα άλατα				
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	EC _w	mmhos/cm ή dS/m ^a	0-3	1,7
Ολικά διαλυμένα στερεά	T.D.S.	mg/L	0-2000	
Θερμοκρασία	T	°C		
Χρώμα-Θολότητα		NTU/JTU ^b		
Σκληρότητα		mg/L eq. CaCO ₃ /L		
Ιζήματα		g/L		
<u>Χημικές Ιδιότητες</u>				
Κατιόντα και ανιόντα				
Ασβέστιο	Ca ⁺⁺	mg/L	0-400	96,0
Μαγνήσιο	Mg ⁺⁺	mg/L	0-60	32,4
Νάτριο	Na ⁺	mg/L	0-900	186,3
Ανθρακικά	CO ₃ ⁻	mg/L	0-3	0,0
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	mg/L	0-600	622,2
Χλωριούχα	Cl ⁻	mg/L	0-1100	278,0
Θειικά	SO ₄ ⁻	mg/L	0-1000	
<u>Διάφορα</u>				
Βόριο	B	mg/L	0-2	
Οξύτητα/Αλκαλικότητα			6,5-8,5	7,98
% προσρόφησης Na	SAR	(me/L) ^{1/2}	0-15	4,2
Ιχνοστοιχεία		mg/L		
Βαρέα μέταλλα		mg/L		
Κάδμιο	Cd	mg/L		<0,01
Χαλκός	Cu	mg/L		<0,03
Σίδηρος	Fe	mg/L		0,16
Μόλυβδος	Pb	mg/L		<0,01
Μαγγάνιο	Mn	mg/L		<0,05
Νικέλιο	Ni	mg/L		<0,02
Ψευδάργυρος	Zn	mg/L		0,11
<u>Θρεπτικά</u>				
Νιτρικό N	NO ₃ -N	mg/L	0-10	1,96

Αμμωνιακό N	NH ₄ -N	mg/L		31,5
Φωσφορικός P	PO ₄ -P	mg/L	0-2	3,52
Κάλιο	K	mg/L	0-2	19,5

Πηγή: Ayers and Westcot (1985), Kandiah (1990α).

^α dS/m=deciSiemen/m=mmho/cm

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

1.9.1.1 Αλατότητα

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

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

Η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών στα άλατα, οι συχνότερες αρδεύσεις με μικρές αρδευτικές δόσεις, η αύξηση του κλάσματος έκπλυσης και η άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ορισμένες από τις σημαντικότερες πρακτικές που πρέπει να εφαρμόζονται όταν η άρδευση γίνεται με νερά υψηλής αλατότητας. Καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα, θα παρουσιάσουν δραστικές μειώσεις στην παραγωγή όταν αρδεύονται με νερά που έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3 dS/m, ακόμα και κάτω από άριστες συνθήκες διαχείρισης.

Σε περιοχές με ανεπαρκή στράγγιση, η υψηλή υπόγεια στάθμη μπορεί να αποτελέσει ένα επιπρόσθετο παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στη συσσώρευση αλάτων στο έδαφος (υπόγεια στάθμη σε βάθος μικρότερο από 1 έως 2m).

Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται τριχοειδώς μέχρι το ριζόστρωμα και το εφοδιάζει συνεχώς με άλατα καθώς το νερό διαπνέεται από το φυτό ή εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Ο ρυθμός αλάτωσης του εδάφους εξαρτάται από τη μέθοδο άρδευσης, τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό, το βάθος της στάθμης, τον τύπο του εδάφους και το κλίμα. Η μακροχρόνια χρήση των αποβλήτων για άρδευση δεν είναι δυνατή χωρίς επαρκή στράγγιση. Σε πολλές περιοχές οι εδαφικές συνθήκες είναι τέτοιες, ώστε η άρδευση με σημαντικά περισσότερο νερό από αυτό που μπορεί να καταναλώσει η καλλιέργεια, προκαλεί άνοδο της υπόγειας στάθμης.

1.9.1.2 Διηθητικότητα

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορεί να επιδράσουν και στην εδαφική δομή μειώνοντας τόσο το ρυθμό με τον οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα εφαρμόζεται συχνά σε ήδη υποβαθμισμένα εδάφη, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα ακόμη μεγαλύτερο. Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR.

Κατά κανόνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν πολλά άλατα και άφθονο ασβέστιο, οπότε δεν αναμένεται διαλυτοποίηση και έκπλυση του ασβεστίου του επιφανειακού εδάφους. Επειδή όμως τα νερά αυτά ενδέχεται να είναι πλούσια σε νάτριο, η πιθανή υψηλή τιμή

του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Το SAR είναι μια παράμετρος, η οποία εκφράζει τον κίνδυνο να προκληθεί αλκαλίωση στο έδαφος από την ύπαρξη Νατρίου στο νερό άρδευσης. Δίνεται από τη σχέση: $SAR=[Na]/[Ca+Mg/2]^{0.5}$.

1.9.1.3 Τοξικότητα ιόντων

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στο φυτό και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας κάνοντας τα πιο πολύπλοκα, παρόλο που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα είναι το βόριο, το νάτριο και το χλώριο. Η συγκέντρωση των δύο τελευταίων είναι αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά νερού.

Γενικά είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων στις ευαίσθητες καλλιέργειες, χωρίς αλλαγή νερού άρδευσης, αρδευτικού συστήματος, καλλιέργειας ή συνδυασμό αυτών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές, ενώ το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στα θερμά κλίματα.

1.9.1.4 Θρεπτικά στοιχεία

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελεί η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά στοιχεία. Έτσι λοιπόν, επιτυγχάνεται και οικονομία καθώς μειώνεται η ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων. Πολλές φορές όμως, προκαλούνται προβλήματα σε ορισμένες καλλιέργειες από περίσσεια θρεπτικών στοιχείων και έτσι έχουμε την εμφάνιση φαινομένων τοξικότητας. Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχουν τα υγρά απόβλητα είναι κυρίως άζωτο, φώσφορος και μερικές φορές κάλιο, ψευδάργυρος, βόριο και θείο. Το πιο ωφέλιμο, αλλά και το στοιχείο που περιέχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό, είναι το άζωτο.

Το άζωτο περιέχεται στις εκροές των αστικών αποβλήτων σε συνολική ποσότητα από 20 έως 60 mg/L, ποσότητα ικανή να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα χημικού λιπάσματος στην αρχική και ενδιάμεση φάση ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στην τελευταία φάση

της καλλιέργειας των φυτών, η μεγάλη συγκέντρωση αζώτου δημιουργεί κάποια προβλήματα, όπως καθυστέρηση ωρίμανσης ή ποιοτική υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων. Για τη διόρθωση του προβλήματος αυτού γίνεται αλλαγή, όταν είναι δυνατή, του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή ανάμειξη του με άλλο αρδευτικό νερό.

Ο φώσφορος περιέχεται επίσης σε μια ποσότητα αρκετά μεγάλη (6-15mg/L). Η συνεχής άρδευση με απόβλητα αυξάνει χρόνο με το χρόνο τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος, μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ανάγκη για πιθανή μελλοντική λίπανση. Περίσσεια φωσφόρου δεν αποτελεί πρόβλημα, όμως η παρουσία του στα απόβλητα και στο έδαφος καλό είναι να παρακολουθείται.

Το κάλιο κυμαίνεται σε ποσότητες από 10 έως 30 mg/L.

Σημειώνεται ότι σχεδόν όλα τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιέχουν και ψευδάργυρο. Οι ποσότητες του περιεχόμενου ψευδαργύρου είναι ικανές να διορθώσουν τις ελλείψεις των εδαφών σε 1 έως 3 έτη.

1.9.2 Διάφορα προβλήματα

Κατά την άρδευση με αστικά απόβλητα μπορεί να εμφανιστούν διάφορα προβλήματα, όπως ανωμαλίες στο pH, διάβρωση αγωγών και εξοπλισμού, απόφραξη συστημάτων άρδευσης, υψηλό υπολειμματικό χλώριο κ.ά. Τα προβλήματα αυτά, όταν παρουσιάζονται, πρέπει να εκτιμώνται και να αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση.

Το pH του νερού σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμή του pH έξω από τα συνηθισμένα όρια (6.5-8.5) αποτελεί ένδειξη ότι το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμή του pH εκτός των παραπάνω ορίων πρέπει να αποτελεί προειδοποίηση και να οδηγεί σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητα του νερού.

Άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η έμφραξη συστημάτων άρδευσης καταιονισμού ή στάγδην. Η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις εξόδους των ακροφυσίων και των σταλακτήρων ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, προκαλούν εμφράξεις (Meyer, 1985, Nakayama and Bucks, 1985, Padmakumari and Sivanappan, 1985), όπως επίσης και οι μεγάλες συγκεντρώσεις φυκιών (English, 1985) και αιωρούμενων στερεών (Bucks et al. 1982). Τα πλέον συχνά παρατηρούμενα προβλήματα εντοπίζονται στα συστήματα στάγδην άρδευσης.

Το σύστημα άρδευσης στο οποίο παρουσιάζονται τα περισσότερα προβλήματα είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Τα δίκτυα με στάγδην άρδευση είναι πιο επιδεκτικά στα προβλήματα που σχετίζονται με

αποφράξεις, ιδιαίτερα στους μηχανισμούς εφαρμογής του αρδευτικού νερού (σταλακτήρες). Οι λόγοι εμφάνισης των προβλημάτων αυτών είναι η ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων στα απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες. Προβλήματα τέτοιου τύπου ξεπερνιούνται με τη χρήση χαλκικόφιλτρου, φίλτρου σίτας, έγχυσης χλωρίου στο σύστημα άρδευσης καθώς και με συχνό καθάρισμά των σταλακτάρων με άφθονο καθαρό νερό. Αντίθετα όμως, τα συστήματα αυτά θεωρούνται ιδανικά από άποψη προστασίας της δημόσιας υγείας, επειδή είναι πλήρως κλειστά και περιορίζουν ή ελαχιστοποιούν την καταίωση και την έκθεση στην εφαρμοζόμενη εκροή.

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

Οι Παπαγιαννοπούλου et al. (1998) σε πείραμα μελέτης των χαρακτηριστικών 3 τύπων σταλακτάρων ύστερα από άρδευση με καθαρό νερό και απόβλητα, διαπίστωσαν την καλή λειτουργία των σταλακτάρων και με τα 2 ποιότητες νερών άρδευσης.

Οι Al-Lahham et al. (2003) σε πείραμα άρδευσης τομάτας με απόβλητα και καθαρό νερό επισήμαναν ότι το pH των καρπών της τομάτας που αρδεύτηκαν με απόβλητα δεν μεταβλήθηκε, ενώ παρατηρήθηκε μια μικρή συσσώρευση μικροβιακού φορτίου στην επιδερμίδα των καρπών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

2.1 Γενικά

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

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

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

Για να είναι επιτυχής μία άρδευση πρέπει:

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

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

2.2. Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της μεθόδου άρδευσης, είναι η παροχή και η ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος της καλλιέργειας, το κόστος της μεθόδου και η ικανότητα του καλλιεργητή να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Στην περίπτωση άρδευσης με επεξεργασμένα απόβλητα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, με περισσότερο

καθοριστικούς εκείνους που ελαχιστοποιούν τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Η μέθοδος άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, ο βαθμός επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων και ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης, αποτελούν ένα αλληλοεξαρτώμενο σύστημα, όπου κάθε παράμετρος επηρεάζει τις υπόλοιπες και επηρεάζεται από αυτές. Έτσι, ένα ήδη υφιστάμενο σύστημα άρδευσης, καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων, το βαθμό ελέγχου της ανθρώπινης έκθεσης και την επιλογή των καλλιεργειών. Αντίθετα, οι δυνατότητες για την επιλογή ενός συστήματος άρδευσης, περιορίζονται όταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δεδομένη

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3 Η υπόγεια στάγδην άρδευση (Υ.Σ.Α)

2.3.1 Γενικά

Μια παραλλαγή της επιφανειακής άρδευσης με σταγόνα είναι αυτή της υπόγειας 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 εφαρμογής 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 δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υλικών Ρ.Ε. και ΡVС.

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 υπόγειας 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 εως 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 υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού διαπίστωσαν ότι η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι μεγαλύτερη στην υπόγεια στάγδην άρδευση λόγω της μικρότερης ισαποχής των σταλακτηφόρων αγωγών. Επίσης, η εφαρμογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορεί να

βελτιώσει την αποδοτικότητα του νερού κατά 20% σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο. Ακόμη, η υπόγεια στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε αργιλώδη εδάφη, τα οποία συνήθως παρουσιάζουν μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

Οι Hanson et al. (1997) σε πείραμα σύγκρισης επιφανειακής στάγδην άρδευσης, Υπόγεια Στάγδην Άρδευσης και άρδευσης με αυλάκια σε καλλιέργεια μαρουλιού, διαπίστωσαν παρόμοια απόδοση της καλλιέργειας όσον αφορά την Υπόγεια Στάγδην Άρδευση και τα αυλάκια, ενώ η επιφανειακή στάγδην άρδευση έδωσε μικρότερη απόδοση. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού για τις μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης κυμάνθηκε από 43 % έως 74 % της ποσότητας που χορηγήθηκε με τη μέθοδο των αυλακίων. 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.

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

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

Οι Sakellariou et al. (2002) σε πείραμα σύγκρισης της επιφανειακής στάγδην άρδευσης και της υπόγειας στάγδην άρδευσης, διαπίστωσαν ότι η περιεχόμενη υγρασία στα τεμάχια εδάφους που αρδεύονται με Υ.Σ.Α. αυξάνει με το βάθος. Η υγρασία στα τεμάχια που αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση ήταν υψηλή στο βάθος 0-30 εκ.. μειώθηκε στο βάθος 30-60 εκ. και παρέμεινε σταθερή στο βάθος κάτω των 60 εκ. Όσον αφορά την απόδοση η υπόγεια άρδευση υπερτερεί της επιφανειακής σε βάρος ριζών και ζαχαρικό τίτλο.

2.3.2 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 ή δευτερεύοντες 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 τυρβώδης ροής, ενώ ταυτόχρονα είναι αυτορρυθμιζόμενοι και αυτοκαθοριζόμενοι, δηλαδή μπορούν να διατηρήσουν την παροχή σταθερή ανεξάρτητα από το φορτίο. Η παροχή στους σταλακτήρες δεν μπορεί να μεταβληθεί από την θερμοκρασία, επειδή χρησιμοποιούνται οι σταλακτήρες με τυρβώδη ροή, αλλά και το ότι οι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος τέτοιο που δεν επηρεάζεται εύκολα (Klocke et al.,1995). Οι σταλακτήρες τοποθετούνται πάνω στους αγωγούς εφαρμογής.

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 με το μέγεθος τους τα φερτά υλικά, μπορεί να μειώσουν σημαντικά την παροχή. Τα φίλτρα χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες ανάλογα του μεγέθους των υλικών : α) φίλτρα σίτας, β) υδροκυκλώνες και γ) φίλτρα χαλικιών ή 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 - 20 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 φαινομένου της αναρρόφησης.

* προγραμματιστής

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

2.3.3 Αποδοτικότητα του συστήματος

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

$$E_f = TR * E_U$$

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

2.3.4 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

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

- Ο παραγωγός έχει πλήρη έλεγχο της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται κάθε στιγμή στα φυτά.
- Υπάρχει δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης, με τη χρήση μιας βαλβίδας, που ελέγχει μεγάλη έκταση.
- Ο διαβρεχόμενος όγκος είναι μεγαλύτερος και σφαιρικός σε σύγκριση με τον αντίστοιχο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης.
- Ο μεγαλύτερος όγκος του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος, έτσι το ριζικό σύστημα συνήθως λειτουργεί σε περιβάλλον με σταθερή και χαμηλή θερμοκρασία.
- Οι ανάγκες σε πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες της τάξης 15-20 PSI (Gushiken, E., 1993).
- Μειώνεται η απορροή από το άκρο του χωραφιού, καθώς και η εδαφολογική διάβρωση.
- Μείωση της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους.
- Η φθορά των υλικών άρδευσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέρχειας πανίδας, είναι μικρότερη.
- Αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού.
- Είναι δυνατή η χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα και η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων ως το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (Devitt, D. et al., 1988).
- Μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας.
- Μείωση της έκπλυσης του νερού στη ζώνη του ριζώματος.
- Η μεταφορά των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος είναι καλύτερη κι επίσης παρατηρείται αποδοτικότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων όπως ο φώσφορος, το κάλιο και των απαραίτητων για τα φυτά ιχνοστοιχείων (Solomon, K., 1993).
- Η άρδευση δεν επηρεάζεται από τον άνεμο .
- Χαμηλό εργατικό κόστος καθώς δεν γίνεται εγκατάσταση και απεγκατάσταση του συστήματος σε κάθε καλλιεργητική περίοδο, αφού γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση κάτω από το βάθος άροσης.
- Τα γεωργικά μηχανήματα διευκολύνονται για τις εργασίες τους, γιατί ευνοούνται από την ξηρότητα της επιφανείας του εδάφους (Αλεξίου κ.α., 2003).

- Είναι δυνατή η εξάλειψη της ανάπτυξης των ζιζανίων (διατήρηση στεγνής εδαφικής επιφάνειας), των ασθενειών και του σαπίσματος της ρίζας σε συνδυασμό με τον καλύτερο αερισμό, την αποφυγή σχηματισμού επιφανειακής κρούστας και τη καλύτερη διήθηση του νερού της βροχής (Phene et al, 1983).
- Δυνατότητα εφαρμογής νερού βιολογικού καθαρισμού με μικροβιακό φορτίο.
- Αυξημένη ομοιομορφία κατανομής του νερού στο χωράφι.
- Θεωρείται η πλέον αποδεκτή μέθοδος διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων για γεωργική χρήση με τη ταυτόχρονη μείωση των οσμών και χωρίς την ανάγκη τριτογενούς επεξεργασίας.
- Επιτυγχάνεται αύξηση του οικονομικού οφέλους μακροπρόθεσμα από τη χρήση της μεθόδου και το μειωμένο κόστος συντήρησης.

2.3.5 Μειονεκτήματα της μεθόδου

Τα συνήθη προβλήματα είναι:

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

2.4 Η πρακτική της άρδευσης

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

- (i) Εφαρμόζονται αυστηρά οι υπάρχοντες σχετικοί νόμοι και ελέγχεται η εφαρμογή τους.
- (ii) Υπάρχει ειδική κρατική υπηρεσία που ελέγχει τη διακίνηση των επεξεργασμένων αποβλήτων.
- (iii) Υπάρχει κεντρική διαχείριση και έλεγχος του έργου άρδευσης.
- (iv) Υπάρχει μεγάλη οικονομική απόδοση (έντονη ζήτηση και υψηλή τιμή πώλησης) των προϊόντων των περιορισμένων καλλιεργειών.
- (v) Δεν υπάρχουν εναλλακτικές καλλιέργειες απεριόριστης άρδευσης με σχετικά σημαντική οικονομική απόδοση.

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

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

3.1 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 συμβάλει 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.

Όσον αφορά το θέμα των καλλιεργειών, η αλλαγή στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της παγκόσμιας κοινότητας πάνω σε θέματα περιβάλλοντος έκανε επιτακτική την ανάγκη διερεύνησης μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον αλλά και των υλικών που σκοπό έχουν την μεγιστοποίηση των εισροών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα, με την ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών ενεργειακών καυσίμων καθώς και των ρυπογόνων αποτελεσμάτων από τη χρήση τους. Ειδικότερα την τελευταία δεκαετία μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών όπως η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος, το σόργο κ.α. με σκοπό την παραγωγή βιοκαυσίμων (Σούλη Αικ., 2007).

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζεται κάθε υλικό που προέρχεται από ζώντες ή πρόσφατα αποθανόντες φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς (Biomass Energy Center, 2007). Τα υπολείμματα της καύσης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας είναι βιοαποικοδομήσιμα και άρα λιγότερο ρυπογόνα από τα αντίστοιχα των ορυκτών καυσίμων. Κατά την καύση της βιομάζας παράγονται και εκπέμπονται χαμηλές ή και μηδενικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Δημιουργούνται προϋποθέσεις οικονομικής ανάπτυξης της υπαίθρου και δίνονται ευκαιρίες για αναδιάρθρωση των καλλιεργειών με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ταυτόχρονη μείωση της ανεργίας (Ageridis et al., 2006). Η βιομάζα από φυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου, βιοντιζελ, αιθανόλης, μεθανόλης, πετρελαίου, βενζίνης και υδρογόνου (El Bassam, 1998). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για απευθείας καύση και παραγωγή θερμότητας για θέρμανση κτηρίων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

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 κύριες ενεργειακές καλλιέργειες καθώς και οι διεργασίες μετατροπής τους σε βιοκαύσιμα φαίνονται στο σχήμα 3.1 (GreenDream 2009) .

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.

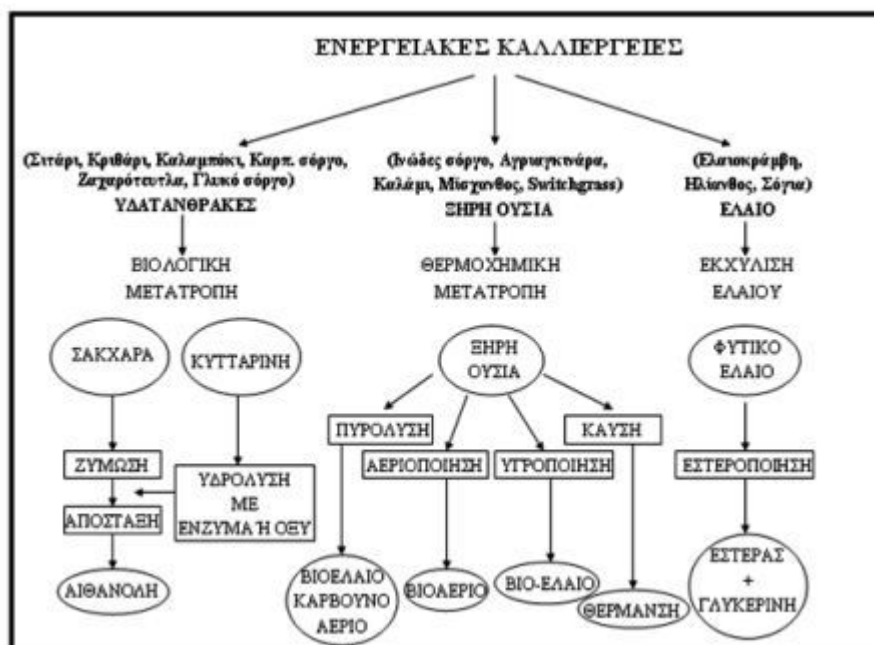
Γιατί λοιπόν να παράγουμε υγρά καύσιμα από βιομάζα; Γιατί:

1) Συνεισφέρουν στους στόχους της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. **2)** Εξασφαλίζουν ενέργεια από τοπικές καλλιέργειες. **3)** Μειώνουν τις εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. **4)** Μειώνουν την εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές καυσίμων π.χ. πετρέλαιο. **5)** Οδηγούν στην ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας, τα φυτικά και ζωικά υπολείμματα και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι πολύ σημαντικές επειδή μπορούν να αναπτύσσονται έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς. Γι' 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 ο καιρός. Οι πολυετείς καλλιέργειες προτιμούνται επειδή απαιτούν μικρότερες

ποσότητες αγροχημικών προϊόντων σε σύγκριση με τις ετήσιες κάτι που αυξάνει το τελικό ισοζύγιο ενέργειας.

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 παραγωγοί. 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 (Scherpernzeel, J. Agenda 2000).



Σχήμα 3.1: Κύριες ενεργειακές καλλιέργειες, διεργασίες μετατροπής και βιοκαύσιμα

3.2 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 παράγονται 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 αυτές 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 CO₂ στην ατμόσφαιρα. Από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βιομάζα είναι η μόνη ανακυκλώσιμη πηγή άνθρακα, ικανή να μετατραπεί σε κάθε μορφή αερίου, υγρού ή στερεού καυσίμου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα είτε έμμεσα.

Οι εκπομπές της καύσης της βιομάζας, περιέχουν σχεδόν μηδενική 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 παρουσιάζουν τα φυτά C₄ γιατί αναπτύσσονται ταχύτερα 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 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. Et al, 2000).

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 αξιοποίηση τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

(Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989).

3.3 Υγρά βιοκαύσιμα

Υπάρχουν δύο τύποι υγρών βιοκαυσίμων. Ο ένας τύπος έχει ως πηγή προέλευσης τα φυτικά έλαια και το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται **βιοντίζελ** και ο άλλος τις αλκοόλες και το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται **βιοαιθανόλη**.

Βιοντίζελ είναι το προϊόν της μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων με κατάλληλη αλκοόλη παρουσία καταλυτών. Βιοαιθανόλη είναι το προϊόν της ζύμωσης των αμυλούχων, σακχαρούχων και κυτταρινούχων συστατικών των φυτών έπειτα από απόσταξη (Κ.Α.Π.Ε.).

Το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους πετρελαιοκινητήρες (κύκλος DIESEL) σε ανάμειξη με πετρέλαιο ή καθαρό (100 %) ενώ η βιοαιθανόλη στους βενζινοκινητήρες (κύκλος ΟΤΤΟ) πάντα σε ανάμειξη με βενζίνη.

Όσον αφορά τις μεθόδους παραγωγής σε βιομηχανικό επίπεδο το βιοντίζελ παράγεται με την παρακάτω αντίδραση:



Τα τριγλυκερίδια είναι τριεστέρες της γλυκερόλης δηλαδή της 1, 2, 3 - προπανοτριόλης με λιπαρά οξέα (το κύριο συστατικό (98%) φυτικών ελαίων).

Σαν αλκοόλη χρησιμοποιούμε την μεθανόλη οπότε και το βιοντίζελ είναι μεθυλεστέρας. Η γλυκερίνη θεωρείται παραπροϊόν. Ως καταλύτες εστεροποίησης χρησιμοποιούνται οι NaOH, KOH και το πυκνό H₂SO₄.

Υπάρχουν τρεις τύποι παραγόμενου καυσίμου οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

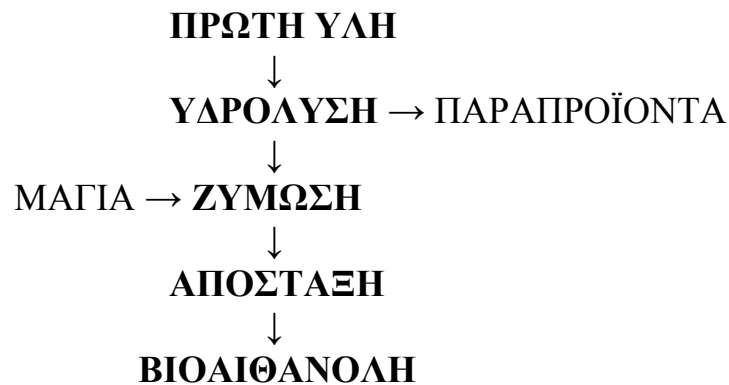
Πίνακας 3.1 Τύποι παραγόμενου καυσίμου (βιοντίζελ).

ΤΥΠΟΣ	ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
B5	5%	95%
B30	30%	70%
B100	100%	0%

Ιδανικές καλλιέργειες για την Ελλάδα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ είναι:

- √ Ηλίανθος 35 – 40% απόδοση
- √ Ελαιοκράμβη 30 – 50% απόδοση
- √ Βαμβάκι 15-20% απόδοση
- √ Σόγια 15 – 20% απόδοση (Κ.Α.Π.Ε.)

Η βιοαιθανόλη παράγεται βιομηχανικά ακολουθώντας την παρακάτω αντίδραση:



Υπάρχουν δύο τύποι παραγόμενου καυσίμου οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2 Τύποι παραγόμενου καυσίμου (βιοαιθανόλη).

ΤΥΠΟΣ	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	BENZINΗ
E5	5%	95%
E85	85%	15%

Ιδανικές καλλιέργειες για την Ελλάδα για παραγωγή σακχαρούχων, κυτταρινούχων αμυλούχων πρώτων υλών για παραγωγή βιοαιθανόλης είναι:

- √ Ζαχαρότευτλα
- √ Σιτάρι
- √ Αραβόσιτος
- √ Πατάτα
- √ Σόργο
- √ Κριθάρι

3.4 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 ΜΤΠΠ το χρόνο, ποσότητα που ισοδυναμεί με το 10% της προβλεπόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πίνακας 3.3)

Πίνακας 3.3 Προβλεπόμενη συνεισφορά διαφόρων ΑΠΕ στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο το έτος 2000 (Πρόταση Εθνικής Πολιτικής, 1989)

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

* ΜΤΠΠ : εκατ. τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου

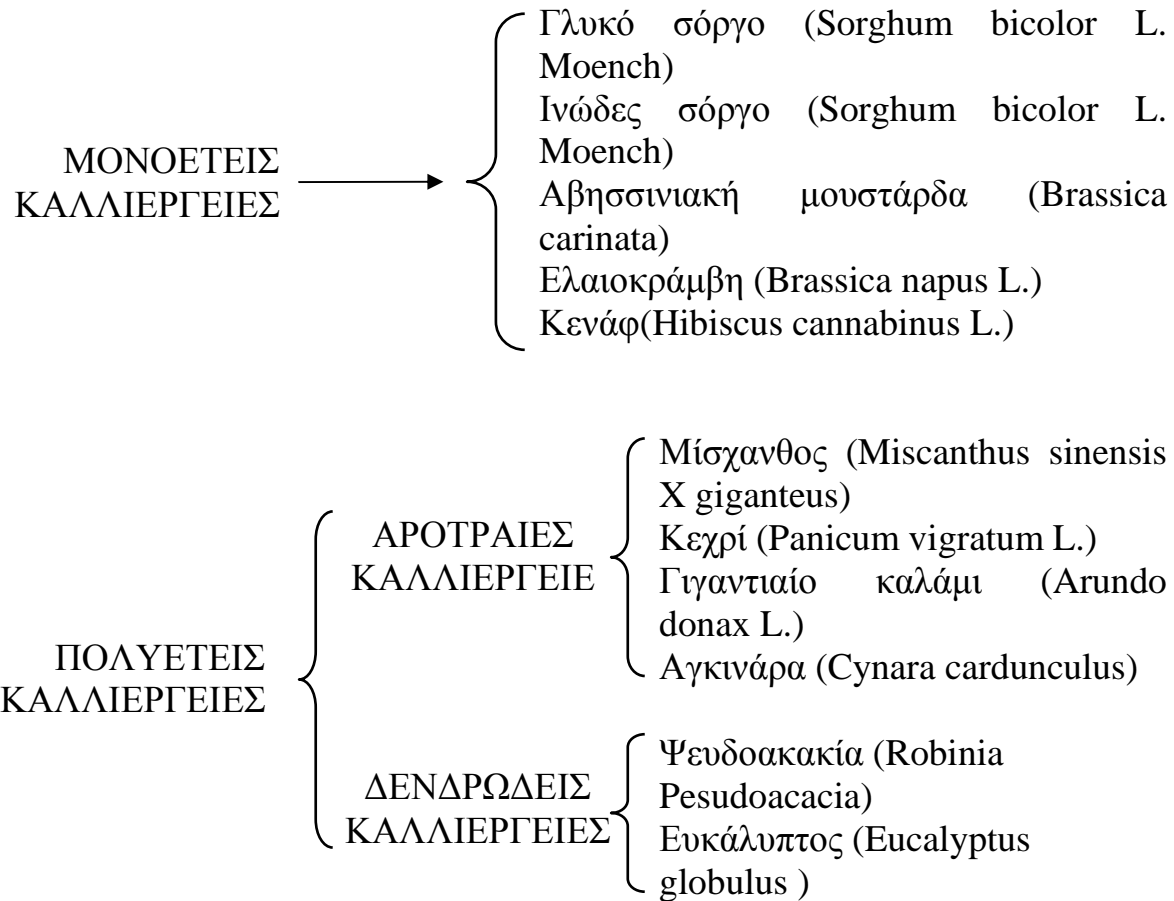
Δυστυχώς όμως, μέχρι και σήμερα, η συνεισφορά της βιομάζας των ενεργειακών φυτών στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας παραμένει χαμηλή, εξ' αιτίας:

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

Ελλάδα συνέβαλε στις υψηλές αποδόσεις των περισσότερων ενεργειακών καλλιεργειών.

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



Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα από τα πειράματα, πραγματοποιήθηκαν σε μικρές εκτάσεις (μέχρι 3 στρέμματα) και μόνο το γλυκό σόργο έγινε σε μεγαλύτερες εκτάσεις. Πρόσφατα η βιομάζα που παράχθηκε από τα φυτά, πέρασε από δοκιμασίες αεριοποίησης και πυρόλυσης.

Παρόλο που τα πειράματα είναι ενθαρρυντικά και η Ελλάδα συμμετέχει σε δράσεις της Ε.Ε, όπως αναφέρθηκε, η ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στη χώρα μας είναι πολύ περιορισμένη (Panoutsou 2000).

Βάση της ΚΥΑ του ΥΠΑΑΤ υπάρχουν 23 επιδοτούμενα ενεργειακά φυτά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμου. Αυτά είναι: το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριοαγκινάρα, το κεχρί, το κενάφ, το γλυκό σόργο, το κυτταρινούχο σόργο, η ελαιοκράμβη, το σκληρό σιτάρι, το μαλακό σιτάρι, το κριθάρι, η βρώμη, η σίκαλη, το τριτικάλε, το καλαμπόκι, το ρύζι, ο ηλίανθος, η

σόγια, ο ευκάλυπτος, η ψευδακακία, το πικρό λούπινο, η πατάτα, το αμπέλι /βαμβάκι, τεύτλα).

Στον Πίνακα 3.4 που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό αντικατάστασης συμβατικών καυσίμων για κάθε έτος από το 2006 έως το 2010 σύμφωνα με την υποχρεωτική οδηγία της Ε.Ε. 2003/30/ΕΚ.

Πίνακας 3.4 Έτος και ποσοστό αντικατάστασης συμβατικών καυσίμων σύμφωνα με την οδηγία 2003/30/ΕΚ της Ε.Ε.

ΕΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
2006	2,75%
2007	3,5%
2008	4,25%
2009	5%
2010	5,75%

Στον Πίνακα 3.5 φαίνονται η απόδοση σε προϊόν και η απόδοση σε βιοκαύσιμο ορισμένων φυτών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμου (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη).

Πίνακας 3.5 Απόδοση σε προϊόν και βιοκαύσιμο φυτών - πρώτων υλών για παραγωγή βιοκαυσίμου.

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

Πηγή: Κ.Α.Π.Ε.

Πίνακας 3.6 Έκταση σε στρέμματα που πρέπει να καλλιεργηθεί και η αντίστοιχη καλλιέργεια προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος για το 2010.

ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	2.400.000	ΗΛΙΑΝΘΟΣ
	2.000.000	ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ
	2.000.000	ΣΟΓΙΑ
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	560.000	ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ
	2.000.000	ΣΙΤΗΡΑ
	1.200.000	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
	843.000	ΤΕΥΤΛΑ

Πηγή: ΥΠΑΑΤ.

Το 2010 η Ελλάδα πρέπει να παράγει 160000 τόνους βιοντίζελ και 400000 τόνους βιοαιθανόλη (ΥΠΑΑΤ). Η έκταση σε στρέμματα που πρέπει να καλλιεργηθεί για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός απεικονίζεται στον Πίνακα 3.6.

Στη συνέχεια δίνονται μερικά στοιχεία για ορισμένα φυτά βιοενέργειας τα οποία, με βάση τα μέχρι σήμερα στοιχεία, προσαρμόζονται στην Ελλάδα και μπορούν να διαδραματίσουν σοβαρό ρόλο στην ελληνική γεωργία.

Σημαντική είναι η συμβολή 17 ινστιτούτων των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), τα οποία, σε συνεργασία με τα αντίστοιχα της Ελλάδας, συμμετέχουν σε δράση με το όνομα FAIR1 CT95 0512, που έχει ως σκοπό:

- 1) τη βελτίωση στις υπάρχουσες πληροφορίες στην παραγωγή, διαδικασία και χρησιμοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών,
- 2) την ολοκλήρωση της έρευνας, ανάπτυξης και υλοποίηση δράσεων στις ενεργειακές καλλιέργειες μέσω :
 - Της αναγνώρισης των σύγχρονων και πρακτικών επιτευγμάτων στις καλλιέργειες.
 - Της αναγνώρισης των ομοιοτήτων και διαφορών (αγροτικές, τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές) των διαφόρων καλλιεργειών.
 - Της ίδρυσης ενός Ευρωπαϊκού δικτύου που ανταλλάσσει και διαδίδει πληροφορίες για τις ενεργειακές καλλιέργειες.
 - Της αναγνώρισης των δομών και των ειδικών δυσκολιών της κάθε χώρας χωριστά (Stassen, H. Fair1-CT95-OS12)

Η ΕΟΚ παρέχει επίσης οικονομική υποστήριξη για την προώθηση των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα και της εξοικονόμησης ενέργειας με τη μορφή επιχορηγήσεων και δανείων με αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια. Οι επιχορηγήσεις προέρχονται από το Πρόγραμμα Έρευνας και Ανάπτυξης, το Επιδεικτικό Πρόγραμμα και το ΕΤΠΑ (μεμονωμένα έργα, Προγράμματα εκτός ποσόστωσης, VALOREN, ΜΟΠ). Τα δάνεια προέρχονται από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕ) και το Νέο Κοινοτικό Όργανο (ΝΚΟ) που απευθύνεται ειδικά στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Πρόσφατα υπεβλήθη από την Επιτροπή στο Συμβούλιο η νέα πρόταση της, με το όνομα THERMIE, για την επέκταση του Επιδεικτικού Προγράμματος.

Θετικά αποτελέσματα αναμένεται να δώσουν οι οδηγίες 2003/30/ΕΚ και 2003/96/ΕΚ της Ε.Ε. για τα βιοκαύσιμα. Το 2003 το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, ενέκριναν δύο οδηγίες που αφορούσαν εναλλακτικές ενεργειακές πηγές και μείωση των αερίων του θερμοκηπίου: Την οδηγία 2003/30/ΕΚ, η οποία προωθεί τα βιοκαύσιμα, θέτοντας σταδιακούς στόχους για την κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών και την οδηγία 2003/96/ΕΚ η οποία αφορά την αποφορολόγηση. Αυτή επιτρέπει στα κράτη-μέλη να ορίσουν ολική ή μερική αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων. Η οδηγία 30 του 2003, ορίζει ως Εθνικούς ενδεικτικούς στόχους για τη χρήση των βιοκαυσίμων, το 2% του συνόλου των μεταφορών για το 2005, το οποίο σταδιακά θα ανέλθει στο 5,75% το έτος 2010. Ως βιοκαύσιμα ορίζει μια σειρά προϊόντων όπως: βιοαιθανόλη, βιοντίζελ, βιοαέριο, βιομεθανόλη κ.ά.

Συνολικά και με βάση συντηρητικές εκτιμήσεις για την εξέλιξη των τεχνικο-οικονομικών παραμέτρων, το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών ανέρχεται σε 5,7 εκατ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΜΤΠΠ) περίπου το χρόνο που μπορεί να υποκαταστήσει μελλοντικά το ένα πέμπτο της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας.

Η επιμέρους συνεισφορά αναμένεται να αποτελέσει το 19% της πρωτογενούς ενέργειας με πιθανότητα να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Πάντως, εκτιμάται ότι το συνολικό αποτέλεσμα δεν θα μειωθεί, ενώ είναι αρκετά πιθανό να αυξηθεί.

Επισημαίνεται επίσης ότι το παραπάνω δυναμικό είναι δυνατό να αξιοποιηθεί σταδιακά και με χρονικό ορίζοντα προσέγγισης του τις πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα, σε συνάρτηση πάντοτε με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των τιμών των καυσίμων. Οι προηγούμενοι αριθμοί πρέπει λοιπόν να θεωρούνται ως ένδειξη των μακροπρόθεσμων δυνατοτήτων των ενεργειακών καλλιεργειών και όχι ως στόχοι πολιτικής με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα (Panoutsou, Κ.)

Σημαντικό είναι επίσης το δυναμικό της εξοικονόμησης ενέργειας, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι ελάχιστες προσπάθειες έχουν γίνει μέχρι σήμερα στη χώρα μας προς αυτή την κατεύθυνση. Σε μακροπρόθεσμη

προοπτική θα πρέπει η ενεργειακή ένταση, δηλαδή η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα βιομάζας, να προσεγγίσει τα επίπεδα των άλλων ανεπτυγμένων χωρών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΟΡΓΟ

4.1 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. Το 90% της παγκοσμίου παραγωγής προέρχονται από την Κίνα, Ινδία, Μαντζουρία και δυτική Αφρική. Σημαντικές εκτάσεις καταλαμβάνει η καλλιέργεια αυτή στις Ηνωμένες Πολιτείες, Ιράν, Τουρκεστάν, Πακιστάν, Κορέα, Αυστραλία, κεντρική και νότιο Αμερική. Η Ευρώπη δεν παράγει αξιόλογες ποσότητες σόργου (Φασούλας, Κ., Φωτιάδης, Α., 1984).

Καλλιεργείται για τον καρπό, με μέση παγκόσμια απόδοση περίπου 150 kg/στρ., για 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 πολλού 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 καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (λιγότερα από 100.000 στρ.), κυρίως στη Θράκη, για κατασκευή σαρώθρων. Περιορισμένο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τελευταία και για καλλιέργεια χορτοδοτικών υβριδίων (χόρτο του Σουδάν) ύστερα από προσπάθειες του Ινστιτούτου Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών της Λάρισας (Γαλανοπούλου, 2003).

Από πρόσφατες έρευνες στον Ελλαδικό χώρο, η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μια εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα όσο και σε υποτροπικά κλίματα (Dalianis, C, 1996).

Κατά το 1962 η καλλιέργειά 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 πως το σόργο υπό άρδευση μπορεί να καλλιεργηθεί και στον τόπο μας με επιτυχία (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

Η μέση παγκόσμια παραγωγή καρποδοτικού σόργου την τριετία 1970 -72 ήταν 75 εκ. τόνοι, που προήλθε από έκταση 580 εκ. στρέμματα. Οι κυριότερες χώρες καλλιέργειας του σόργου είναι οι ΗΠΑ, Ινδία, Νιγηρία, Αργεντινή, Μεξικό και Σουδάν. Η μέση απόδοση στις ΗΠΑ ήταν 345 kg/στρ. πολύ ανώτερη από τη μέση παγκόσμια που ήταν 130 kg/στρ. (Σφήκας, 1991).

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 (Σφήκας, 1991). Υπό ευνοϊκές συνθήκες δίνει μικρότερες αποδόσεις από τον αραβόσιτο, παρουσιάζει συχνότερα αποτυχία στο φύτευμα, 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 (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

4.2 Βοτανική ταξινόμηση

Το σόργο ανήκει στην υποοικογένεια *Andropogoneae* της οικογένειας των αγροστωδών (*Gramineae*), με καλλιεργούμενο το γένος *Sorghum* (Διαμαντής, Κ. 1983).

Υπάρχουν πολλοί τύποι σόργου, για τους οποίους έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ταξινομήσεως.

Το καλλιεργούμενο είδος σόργου είναι το *Sorghum bicolor* με $2n=20$ χρωμοσώματα, του οποίου η παλαιότερη ονομασία ήταν *S. Vulgare*. Οι καλλιεργούμενοι τύποι κατατάσσονται σε υποείδη όπως *dura*, *sudanense* κλπ.

Άγρια είδη σόργου είναι τα: **α)** *S. versicolor* με $2n=10$ χρωμοσώματα που αυτοφύεται στην Αφρική, **β)** *S. halepense* με $2n=40$ χρωμοσώματα που είναι κοινώς γνωστό ως βέλιουρας και είναι πολυετής ζιζάνιο, αυτοφύες στην Ελλάδα και **γ)** *S. virgatum* που είναι συγγενικό υποείδος του *sudanense*.

Οι καλλιεργούμενοι τύποι του *S. bicolor* ταξινομούνται γεωργικώς στους εξής τύπους ποικιλιών:

α) Καρποδοτικές (Αγγλ. grain sorghum). Βάρος 1000 κόκκων 25 - 40 g. Περιλαμβάνει διάφορες ποικιλίες χονδροστέλεχες, χαμηλόσωμες

(τύπος Kafir), μετρίου ύψους (τύπος Dura) και υψηλόσωμες (τύπος Milo). Οι μετρίου ύψους και υψηλόσωμες είναι οψιμότερες από τις χαμηλόσωμες αλλά έχουν πιο ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα.

β) Χορτοδοτικές (Αγγλ. grass sorghum). Τύπος Sudanense, το ονομαζόμενο σόργο του Σουδάν. Βάρος 1000 κόκκων 8 - 9 g. Ποικιλίες λεπτοστέλεχες, ύψους ως 2,5 m, με πολλά αδέρφια και πλούσιο φύλλωμα, χωρίς (ή με ίχνη) υδροκυανίου και συνεπώς κατάλληλες για χλωρή ζωοτροφή ή ενσίρωση. Στις καλλιεργητικές φροντίδες, η παραγωγικότητα και χρησιμοποίηση θεωρείται ανάμεσα στα αγροστώδη όπως η μηδική στα ψυχανθή. Γι' αυτό και δικαιολογημένα θεωρείται η μηδική των αγροστωδών (παράγει χλωρομάζα κατώτερης όμως ποιότητας). Θερίζεται 2 - 4 φορές το έτος (κόβεται όταν αποκτά ύψος περίπου 1 m), αρδεύεται και λιπαίνεται ισχυρά (απαιτητικό σε N, σε αντίθεση προς τη μηδική) και παράγει μεγάλη ποσότητα χόρτου εύπεπτου και πλούσιου σε υδατάνθρακες (Σφήκας, 19-91). Ελληνική συνθετική ποικιλία του Ι.Κ.Φ. και Β., με το όνομα Κρόκιο αποδίδει περίπου 8,5 t χλωρό χόρτο ή 1,8 t ξηρό χόρτο (Γαλανοπούλου, 2003).

γ) Σακχαροφόρες (Αγγλ. sorgho). Βάρος 1000 κόκκων 15-23 g. Στην εντεριόνη του στελέχους τους περιέχουν χυμό με σακχαρώδεις ουσίες (13 - 17% και πλέον). Είναι τύποι χονδροστέλεχοι, υψηλόσωμοι, όψιμοι και καλλιεργούνται για την εξαγωγή σακχαρώδους χυμού ή για παραγωγή χλωράς νομής για ενσίρωση.

δ) Σκούπα (Αγγλ. broom corn). Βάρος 1000 κόκκων 15 - 20 g. Στην Ελλάδα καλλιεργείται για καρπό και για την παραγωγή σαρώθρων, ιδίως στο νομό Έβρου. Χαρακτηριστική είναι η πολύ μακριά ταξιανθία του (έως 60 cm) που χρησιμοποιείται για κατασκευή σαρώθρων.

4.3 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 καρύωση 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 ή δευτερογενές. Το εμβρυακό σύστημα αποτελείται μόνο από μία ρίζα, σε αντίθεση με το καλαμπόκι το οποίο έχει περισσότερες από τρεις, και η οποία μπορεί να φθάσει σε βάθος 1 - 1,5 m. Η ρίζα 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 (Σφήκας, 1984).

Το εκτεταμένο ριζικό σύστημα του σόργου σε συνδυασμό με μία υψηλή πυκνότητα σποράς θα μπορούσε να προφυλάξει πολλές λοφώδεις περιοχές της Μεσογείου από τον κίνδυνο της εδαφολογικής διάβρωσης. Άλλωστε δύο είναι οι κυριότερες βιο-καλλιεργητικές τεχνικές με τη χρήση ετήσιων καλλιεργειών, που συμβάλλουν σημαντικά στην αυξημένη προστασία των εδαφών από την εδαφολογική διάβρωση, αφ' ενός μεν η μέγιστη κάλυψη του εδάφους στο χώρο και το χρόνο και αφετέρου δε η διατήρηση και αύξηση των αποθεμάτων οργανικής ουσίας στο έδαφος (Βάλμης, 1990).

Η καλλιέργεια του σόργου διαθέτει και τις δύο αυτές ιδιότητες καθώς πρώτον δεν αποτελεί σκαλιστική καλλιέργεια, δεύτερον μπορεί ως δημητριακό να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα σε προγράμματα αμειψισποράς και τρίτον δύναται να διαθέσει υψηλές ποσότητες χλωρής βιομάζας ως οργανική ύλη στο έδαφος.

4.4 Οικολογικές απαιτήσεις

4.4.1 Κλίμα

Το σόργο είναι φυτό κατ' εξοχήν θερμών και ξηρών περιοχών. 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. (Σφήκας, 1991).

Το σόργο έχει μεγάλες απαιτήσεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και μπορεί να υποστεί υψηλές θερμοκρασίες με λιγότερη ζημία περισσότερο από κάθε άλλη καλλιέργεια. Η ιδανική 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 πρώιμων 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.

Το σόργο έχει μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και στην ξηρασία. Είναι το μόνο καλλιεργούμενο φυτό που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ξηρόφυτο. Μπορεί να υποστεί υψηλές θερμοκρασίες με λιγότερη ζημία από κάθε άλλη καλλιέργεια. Η αντοχή του αυτή φαίνεται να οφείλεται στο πλούσιο ριζικό σύστημα, τη μικρή φυλλική επιφάνεια με κατάλληλη ανατομική κατασκευή (π.χ. παχιά αδιαπέραστη εφυμενίδα των φύλλων και του βλαστού), στο μικρό δείκτη διαπνοής και στο γεγονός ότι παραμένει σε κατάσταση λήθαργου όταν επικρατεί ξηρασία και αναλαμβάνει, μόλις εξασφαλιστεί υγρασία στο έδαφος καθώς και στην ικανότητα του να αναβλαστάνει και όταν ακόμη ξεραθεί το κεντρικό στέλεχος. Αντίθετα, ξηρασία κατά την κριτική περίοδο εκμηδενίζει την παραγωγή του αραβόσιτου. Η επιτυχία του σόργου στις πολύ ξηροθερμικές συνθήκες του έδωσε το χαρακτηρισμό της

«καμήλας» ανάμεσα στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας (Γαλανοπούλου, 2003).

Παρ' όλα αυτά καλή απόδοση μπορεί να δώσει μόνο με άρδευση ή με ικανοποιητική θερινή βροχόπτωση και συνολικό ετήσιο ύψος βροχής 350 - 650mm (Σφήκας, 1991). Οι περιοχές των Η.Π.Α. όπου καλλιεργείται το σόργο έχουν ετήσια βροχόπτωση τουλάχιστον 375 - 425mm με το μεγαλύτερο μέρος της βροχής κατά τη βλαστική περίοδο. Στις πολύ ξηρές δυτικές πολιτείες (Καλιφόρνια, Αριζόνα), όπου η καλοκαιρινή βροχόπτωση είναι μηδαμινή, το σόργο δεν καλλιεργείται παρά μόνο με άρδευση, στην οποία και αντιδρά καλά. Στην Ελλάδα η κατανομή της βροχοπτώσεως (πέφτει κυρίως το φθινόπωρο και το χειμώνα) εξυπηρετεί μόνο τα χειμερινά σιτηρά. Επομένως, τα χειμερινά σιτηρά βρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι του σόργου, όταν αυτό δεν αρδεύεται (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Με άρδευση και χωράφια γόνιμα πλεονεκτεί ο αραβόσιτος έναντι του σόργου γιατί δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις. Οπότε το σόργο θα υποκαθιστά τον αραβόσιτο σε πτωχά ή μέτριας γονιμότητας εδάφη με περιορισμένες δυνατότητες αρδεύσεως ή με ανεπαρκή βροχόπτωση. Επίσης, η επίσπορος καλλιέργεια του σόργου ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες της εποχής, οι οποίες είναι οριακές για τον αραβόσιτο. Στην περίπτωση αυτή, αν πρόκειται για καρποδοτικό σόργο, θα πρέπει να σπαρθούν πρώιμα υβρίδια.

4.4.2 Έδαφος

Το σόργο δεν είναι πολύ απαιτητικό ως προς τον τύπο του εδάφους. Μπορεί να δώσει ικανοποιητική απόδοση σε όλους τους τύπους, ενώ το πλεονέκτημά του έναντι του αραβόσιτου φαίνεται στα πτωχά εδάφη. Στις βροχερές χρονιές συνήθως αποδίδει πιο πολύ στα βαριά χωράφια, ενώ στις ξηρές στα ελαφρά. Επίσης το σόργο ανέχεται τα ελαφρώς αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη (Σφήκας, 1991). Αν προσθέσει κανείς και την αντοχή του στα έντομα το σόργο αποτελεί υποκατάστατο του αραβόσιτου για πολλές αντίξοες συνθήκες, αλλά, όπως έχει αναφερθεί, μειονεκτεί σοβαρά γιατί υφίσταται ζημιές από τα πτηνά, φυτρώνει δυσκολότερα, ο σπόρος συντηρείται δυσκολότερα και έχει μικρότερη θρεπτική αξία. Γενικώς όμως φαίνεται να πλεονεκτεί στα πλαίσια της LISA και γι' αυτό ίσως πρέπει να προσεχθεί ειδικότερα ως φυτό βιοενέργειας (Γαλανοπούλου, 2003).

4.5 Καλλιέργεια

4.5.1 Αμειψισπορά

Το σόργο μπορεί να ακολουθήσει σε πρόγραμμα αμειψισποράς οποιοδήποτε φυτό, αλλά καλό είναι να προηγούνται ψυχανθή, καθώς έχουν παρατηρηθεί μειωμένες αποδόσεις όταν μετά το σόργο ακολουθούν χειμερινά σιτηρά, διότι το πληθωρικό ριζικό σύστημα του φυτού εξαντλεί τη διαθέσιμη υγρασία και τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Επίσης σημαντικά προβλήματα παρουσιάστηκαν με την ανάπτυξη και παραγωγικότητα διαφόρων εαρινών καλλιεργειών όπως το βαμβάκι και ο αραβόσιτος, διότι η υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα των ριζικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας του σόργου οδηγεί στην ανάπτυξη μικροοργανισμών οι οποίοι ανταγωνίζονται τα φυτά σε άζωτο και θρεπτικά στοιχεία κατά την φάση της αποσυνθέσεως τους.

4.5.2 Κατεργασία του εδάφους

Γίνεται η ίδια όπως στον αραβόσιτο με τη διαφορά ότι το σόργο είναι πιο απαιτητικό στην προπαρασκευή της σποροκλίνης. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μέγεθος του σπόρου και στη βραδύτερη ανάπτυξη του σόργου κατά τη νεαρή ηλικία. Γι' αυτό η αποτυχία του φυτρώματος είναι συχνότερη στο σόργο παρά στον αραβόσιτο (Σφήκας, 1991). Συνιστάται ένα θερινό ή φθινοπωρινό όργωμα και σβανίσματα λίγο πριν τη σπορά αλλά καλά αποτελέσματα δίνει και η περιορισμένη κατεργασία (μείωση κόστους), ίσως και μόνο στη λωρίδα σποράς.

4.5.3 Λίπανση

Εφαρμόζεται η λίπανση όμοια με αυτή στα διπλά υβρίδια αραβόσιτου. 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 NO₃ αλλά και NH₄⁺. Μεγαλύτερες αποδόσεις αζώτου αυξάνουν και τον άριστο πλυθησμό φυτών.

Ο φώσφορος συντελεί στο ταχύτερο φύτρωμα, στην ανάπτυξη της ρίζας, στην πρωίμιση, 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 άνθηση. 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.

4.5.4 Σπορά

Για να πετύχει το φύτευμα του σόργου απαιτείται καλή προετοιμασία της σποροκλίνης, επαρκής υγρασία και θερμοκρασία άνω των 7 -10 °C . Με απολυμασμένο σπόρο ξεπερνά ευκολότερα τους κινδύνους από μη ευνοϊκές συνθήκες σποράς και μπορεί να σπέρνεται λίγο νωρίτερα. Γενικά η εποχή σποράς του αρχίζει 1 - 2 εβδομάδες μετά την έναρξη σποράς του αραβόσιτου και η επιτυχία του φυτώματος είναι συγκριτικά δυσκολότερη.

Οι σανοδοτικές ποικιλίες σπέρνονται σε αποστάσεις γραμμών 35-40cm, ενώ οι καρποδοτικές σε αποστάσεις 60 - 80cm αν αρδεύονται ή 80 -

100cm σε ξηρική καλλιέργεια. Έτσι το ποσό του σπόρου ανά στρέμμα κυμαίνεται στις σανοδοτικές ποικιλίες από 3 - 4kg και 2 - 2,5kg στις καρποδοτικές.

Η σπορά γίνεται με κοινή σπαρτική σίτου που τοποθετεί το σπόρο σε βάθος 3 - 4cm. Αν η υγρασία δεν είναι αρκετή, συνιστάται να γίνει κυλίνδρισμα μετά τη σπορά, οπότε πετυχαίνεται καλύτερο φύτρωμα.

4.5.5 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% (Σακελλάριου - 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.

4.5.6 Αραίωμα

Προκειμένου για καλλιέργειες που προορίζονται για καρπό ταυτοχρόνως με το σκάλισμα γίνεται αραίωμα ούτως ώστε ο αριθμός των φυτών κατά στρέμμα να κυμαίνεται μεταξύ 2500 στις ξηρικές και 5000 στις αρδευόμενες καλλιέργειες.

4.5.7 Αντιμετώπιση ζιζανίων

Η ζιζανιοκτονία είναι παρόμοια με του καλαμποκιού. Γίνεται με μηχανικά μέσα και ζιζανιοκτόνα. Αποτελεσματική αποδεικνύεται η χρήση των προφυτρωτικών προπαζίνη ή και CDAΑ σε δόσεις 150-250 g

στο στρέμμα. Είναι ευπαθές στο 2,4D και θεωρείται πτωχός ανταγωνιστής στο νεαρό στάδιο, ιδιαίτερα το καρποδοτικό, αλλά αργότερα γίνεται ισχυρός ανταγωνιστής (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003). Προσθήκη Atrazine μετασπαρτικά και προφυτρωτικά με δόση 150–200 ml/στρ.

4.5.8 Συγκομιδή

Το χορτοδοτικό σόργο συγκομίζεται με χορτοκοπτική μηχανή όταν εμφανίζεται η ταξιανθία και τα φυτά έχουν ύψος 1 μέτρο περίπου. Συνήθως γίνονται 3-4 κοπές αναλόγως των συνθηκών των καλλιεργειών. Στην περίπτωση που η καλλιέργεια είναι καρποδοτική τότε κρίνεται σκόπιμο να γίνει σε μία συγκομιδή, όταν οι εμφανιστεί η μαύρη κηλίδα στον ποδίσκο του καρπού. Συνήθως η συγκομιδή του καρπού γίνεται 7-10 ημέρες αργότερα όταν η υγρασία πέσει στο 15-20%, με θεριζοαλωνιστική μηχανή. Η συγκομιδή της σκούπας γίνεται όταν οι σπόροι βρίσκονται στο γάλα και ακολουθεί ξήρανση. Ο σπόρος χωρίζεται πριν (καλύτερες σκούπες) ή μετά την ξήρανση (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, Σ., 2003). Τέλος η καλλιέργεια μπορεί να ενσιρωθεί σαν ζωοτροφή. Αυτή η ζωοτροφή είναι πιο εύγεστη και είναι απαλλαγμένη από το γλυκοζίδιο ντουρίνη το οποίο είναι τοξικό για τα ζώα.

4.6 Αποθήκευση

Επιβάλλεται αποξήρανση του σπόρου προκειμένου να αποθηκευτεί με υγρασία μικρότερη από 14%. Χρησιμοποιούνται ειδικά αποξηραντήρια και διοχετεύεται αέρας με θερμοκρασία αναλόγως της υγρασίας και τον προορισμό του σπόρου. Η αποθήκευση γίνεται κυρίως σε μεταλλικά σιλό με συνθήκες υγρασίας μικρότερες από 13,5% και θερμοκρασία περίπου 0 βαθμούς Κελσίου, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για σπόρο σποράς.

4.7 Εχθροί και Ασθένειες

Το σόργο ζημιώνεται από τις ίδιες ασθένειες και έντομα που προσβάλλουν τον αραβόσιτο, με τη διαφορά ότι το σόργο παθαίνει λιγότερες ζημιές από τις αγρότιδες και τους μύκητες στη νεαρή ηλικία (Σφήκας, 1991). Οι πιο συνηθισμένοι εχθροί είναι οι σιδηροσκώληκες (*Agriotes* sp.), το πράσινο σκουλήκι (*Heliothis armigera*), το οποίο τρώει

τα φύλλα και τους σχηματιζόμενους καρπούς. Σημαντικοί εχθροί είναι επίσης, η μύγα του σόργου του οποίου η προνύμφη διεισδύει μέσα στο στέλεχος του φυτού και δημιουργεί στοές. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η σεσάμια (*Sesamia nonagrioides*), της οποίας η προνύμφη κάνει παρόμοιες προσβολές με το προηγούμενο.

Ο σοβαρότερος εχθρός του καρποδοτικού σόργου είναι τα πουλιά, για τα οποία δεν υπάρχει τρόπος για αποτελεσματική αντιμετώπιση.

Οι σπουδαιότερες ασθένειες είναι οι τήξεις φυταρίων, οι οποίες είναι πολύ έντονες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πρέπει να αναφερθούν και οι σηψιρριζίες που προκαλούν νανισμό και θάνατο των φυτών, οι σήψεις που προκαλούν πλάγιασμα και πρόωμη ωρίμανση και οι σκωριάσεις. Επίσης, ο άνθρακας και το ελμινθοσπόριο προσβάλλουν συχνά το σόργο. Συνιστώνται τα ίδια μέτρα όπως και στον αραβόσιτο. Το ίδιο ισχύει και για τις προσβολές του καρπού κατά την αποθήκευση. Συνήθως αντιμετωπίζονται με τη χρήση κατάλληλων μυκητοκτόνων, με τη χρήση υγιούς απολυμασμένου σπόρου, με τη χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών, με αμειψισπορά και με καταστροφή των προσβεβλημένων ταξιανθιών (Σφήκας, 1984).

4.8 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 μύρα 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).

4.9 Σύγκριση σόργου – καλαμποκιού

Το σόργο και το καλαμπόκι μοιάζουν ως προς τον τρόπο της αναπτύξεως τους, έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος και εμφάνιση και καλλιεργούνται σε παρόμοια περιβάλλοντα. Η βασική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι το καλαμπόκι έχει μια χαρακτηριστική κριτική περίοδο. Έλλειψη υγρασίας κατά την περίοδο αυτή ελαττώνει μέχρι εκμηδενισμού την απόδοση. Αντίθετα, το σόργο μπορεί να υπομείνει μια περίοδο ξηρασίας και να συνεχίσει την ανάπτυξη του μόλις ξαναβρεί νερό. Έτσι το σόργο μπορεί να αποδώσει έστω και μια μέτρια παραγωγή εκεί που το

καλαμπόκι θα αποτύγχανε λόγω ανεπάρκειας νερού. Μια άλλη σπουδαία διαφορά είναι ότι το σόργο αντέχει πολύ περισσότερο από το καλαμπόκι στην υψηλή θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες του ύψους των 27°C θέτουν όρια στην επωφελή καλλιέργεια του καλαμποκιού. Για το σόργο οι θερμοκρασίες αυτές είναι ιδεώδεις. Με λίγα λόγια το σόργο είναι μια καλλιέργεια κατάλληλη για περιοχές περισσότερο θερμές και λιγότερο υγρές από ότι χρειάζεται το καλαμπόκι για την κανονική ανάπτυξη του. Το σόργο αντέχει επίσης περισσότερο από το καλαμπόκι στις προσβολές εντόμων, όπως οι ακρίδες και η *Pyrausta nubilalis*, καθώς και τα αλκάλια και τα άλατα.

Ωστόσο το σόργο παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα. Αφήνει το χωράφι όπου καλλιεργήθηκε εξαντλημένο από απόψεως υγρασίας και αζώτου. Οι καλλιέργειες που το ακολουθούν αποδίδουν μειωμένη παραγωγή, ιδίως όταν αυτές είναι φθινοπωρινές που σπέρνονται αμέσως μετά τη συγκομιδή του σόργου. Δυσχέρειες επίσης παρουσιάζει το σόργο στο φύτεμά του. Η θρεπτική του αξία είναι μικρότερη από αυτή του καλαμποκιού, και η τιμή του στο εμπόριο πιο χαμηλή. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι ότι παθαίνει μεγάλες ζημιές από τα πουλιά, ιδίως όταν καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (Φασούλας, Κ., Φωτιάδης, Α., 1984).

4.10 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια

4.10.1 Ινώδες σόργο (fiber sorghum)

Ανάλογα με την ενεργειακή χρήση του σόργου διακρίνουμε δύο ποικιλίες, το γλυκό σόργο (sweet sorghum) για την παραγωγή βιοαιθανόλης, και το ινώδες σόργο (fiber sorghum) για την παραγωγή βιομάζας.

Το ινώδες σόργο αποτελεί υβρίδιο του καρποδοτικού σόργου και του σόργου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκούπας. Ως ενεργειακό φυτό, το ινώδες σόργο καλλιεργείται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στο εξωτερικό. Παρόλο που έχει τροπική προέλευση, από πρόσφατες έρευνες (Dalianis 1996, Chatziathanassiou et al. 1998) η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μία εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα όσο και σε υποτροπικά κλίματα. Κάποια υβρίδια παρουσίασαν μεγάλη απόδοση και σε μεσογειακές συνθήκες. Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μεγάλη παραγωγή σε βιομάζα, με 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 τόνους/στρέμμα) που περιέχει. Το ριζικό

σύστημα είναι πολύ ανεπτυγμένο με πολλές πλάγιες ρίζες, κάτι που κάνει το φυτό πολύ ανθεκτικό σε συνθήκες ξηρασίας και ικανό να κινητοποιεί το φυσικό άζωτο και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Επίσης, το εκτεταμένο ριζικό σύστημα σε συνδυασμό με τους πυκνούς πληθυσμούς μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους σε λοφώδεις περιοχές ή πλαγιές.

Το ινώδες σόργο μπορεί να φυτρώσει σε μεγάλο εύρος εδαφών με pH 5 -8 και σε εδάφη με μεγάλη αλατότητα ή αλκαλικότητα. Εδάφη όξινα και βαριά θα πρέπει να αποφεύγονται.

Σπέρνεται την άνοιξη, όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι περίπου 15°C. Οι αποστάσεις των σειρών είναι 70 cm, ενώ τα φυτά σπέρνονται ανά 10 – 20cm επί της σειράς. Με τις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται 300 - 700mm άρδευση, ανάλογα φυσικά και με την περιοχή στην οποία καλλιεργείται. Οι απαιτήσεις σε λίπανση είναι μικρές και συνήθως παρέχονται 5 μονάδες N. Η απόδοση σε χλωρό βάρος φθάνει τους 9 τόνους/στρέμμα, ενώ σε ξηρό τους 3 τόνους/στρέμμα. Γνωστές ποικιλίες ινώδους σόργου είναι η ABF 306, η NK 506, η H 132 και η FS 5 (Panoutsou 2000).

4.10.2 Γλυκό σόργο (Sweet sorghum)

Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα και υψηλή απόδοση βιομάζας. Η απόδοση του χλωρού βάρους είναι περίπου 9 τον/στρ. και του ξηρού βάρους 2 τον./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. (Nikolaou, N. 2000).

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

4.11 Παραγωγή βιοενέργειας

Ένας τρόπος παραγωγής βιοενέργειας είναι και η εκμετάλλευση της βιομάζας του σόργου το οποίο καλλιεργήθηκε για την αξιοποίηση των μη διατροφικών ή των δευτερεύουσας οικονομικής σημασίας προϊόντων του, όπως σπόροι, βλαστοί κ.α.

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος στις μεγάλες πόλεις είναι τα κυριότερα γνωστά προβλήματα που δημιουργούνται από τις εκπομπές ρύπων (SO₂, NO₂, CO₂, σωματίδια) και τις θερμικές εκπομπές στον κύκλο αξιοποίησης των συμβατικών ενεργειακών καυσίμων (βενζίνη, diesel). Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η παραγωγή οξυγονωμένων καυσίμων με μείγμα αιθανόλης (USDA, 1990).

Ήδη η Ευρώπη και Αμερική έχουν προχωρήσει στη χρηματοδότηση των επιχειρήσεων που παράγουν και τροφοδοτούν την αγορά με βιοκαύσιμα. Επίσης, οι ΗΠΑ θεσμοθετούν ειδικές φοροαπαλλαγές στους χρήστες αυτοκινήτων που θα επιλέξουν ως καύσιμη ύλη τα βιολογικά καύσιμα. Με τα παραπάνω κίνητρα σε ισχύ για άλλα τέσσερα έτη η παραγωγική ικανότητα της αιθανόλης αναμένεται να τριπλασιαστεί μέχρι το έτος 2010 (Dinnen, R., 1991). Σημειώνεται επίσης ότι τα τελευταία χρόνια στη Βραζιλία πάνω από τέσσερα εκατομμύρια οχήματα κινούνται με καθαρή αιθανόλη που παράγεται από τα φυτά (Aronson, J., 2006).

Η απόδοση σε χλωρό βάρος του γλυκού σόργου κυμαίνεται από 80-100 t/ha στη Γερμανία, σε 92 t/ha στην Ισπανία (Curt et al, 1995) και υπολογίζεται να ανέλθει στους 141 t/ha στην Ελλάδα (Dalianis, C., 1996). Αντίστοιχα η παραγωγή του ινώδους σόργου σε χλωρή βιομάζα έφτασε τους 90 t/ha σε συγκομιδές στις αρχές του Φθινοπώρου στην Ελλάδα (Panoutsou, C., 1999).

Στα συμπεράσματα πειράματος που πραγματοποιήθηκε στη νότια Ρουμανία, αναφέρεται ότι η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού σόργου έφτασε τους 2,8 t/στρ. , χωρίς περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης (κάλυψη των αναγκών στο 100% της εξατμισοδιαπνοής) (Roman et al., 1999).

Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα περαμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία, όσον αφορά τη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου, εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά επίπεδα λιπαντικής αγωγής (0, 60, 120 kg N/ha). Έτσι η ποικιλία γλυκού σόργου Keller έφτασε τους 2,8 t/στρ. και η ποικιλία του ινώδους σόργου H-128 τους 2,6 t/στρ. σε παραγωγή ξηρής βιομάζας (Curt, D., 1998).

Δεν παρατηρήθηκαν επίσης σημαντικές διαφορές σε παραγωγή ξηρής βιομάζας σε πείραμα που διεξήχθη στην Ιταλία. Εφαρμόζοντας

τρία διαφορετικά προγράμματα λίπανσης (0, 100, 200 KG N/ha), οι μέγιστες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκαν στα επίπεδα των 2,1 με 2,4 t/στρ. και μάλιστα στις επαναλήψεις στις οποίες εφαρμόστηκε η μέγιστη δόση αζωτούχας λίπανσης (Venturi, P., 1999).

Σημαντικά υψηλές παραγωγές σε χλωρή και ξηρή βιομάζα παρατηρήθηκαν σε πείραμα που έγινε στην Κεντρική Ελλάδα με διαφορετικές μεθοδολογίες άρδευσης και μάλιστα απουσία λιπαντικής αγωγής. Έτσι, στα πειραματικά τεμάχια που αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας άγγιξε τους 1,3 t/ha και ακολούθησε η άρδευση με κανόνι βροχής με 1,2 t/ha ξηρής βιομάζας (Sakellaeriu – Makradoanki et al., 2001).

Βάση πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτει επίσης, ότι η πλέον παραγωγική ποικιλία για τα Ελληνικά δεδομένα σακχαρούχου σόργου είναι η Keller (3,8 t/στρ. ξηρής βιομάζας) και ακολουθούν, η Tracy και το υβρίδιο H132 (3,7 t/στρ. ξηρής βιομάζας)(Νικολάου και συνεργάτες, 2000).

Βέβαια σημαντικό ρόλο στην παραγωγικότητα του φυτού παίζουν, πέραν των κλιματολογικών δεδομένων, η γονιμότητα του εδάφους και η καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζεται. Αντίθετα σε κλιματολογικές ζώνες όπου η έλλειψη νερού είναι σημαντική ο κυριότερος παράγοντας μεγιστοποίησης της παραγωγής είναι το διαθέσιμο νερό άρδευσης. Στην περίπτωση που η καλλιέργεια αρδεύεται είναι πολλά υποσχόμενη, έτσι ώστε με μέτρια ποσά άρδευσης να σημειώνονται υψηλές παραγωγικότητες.

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν φάνηκε ότι με μέτρια ποσά άρδευσης της τάξης των 250-300 mm/year έχουν σημειωθεί παραγωγικότητες που υπερβαίνουν τους 3,5 t/στρ. σε ξηρή ουσία ή τους 1,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Dercas et al., 1995).

Αρχικά θα πρέπει να βελτιωθεί η αλυσίδα παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο με μείωση του κόστους παραγωγής, συγκομιδής, αποθήκευσης, μεταφοράς και επεξεργασίας. Τέλος θα πρέπει να αυξηθεί η συνολικά παραγόμενη ποσότητα του βιομάζας από το φυτό του σόργου. Θα πρέπει δηλαδή να γίνει σωστή ενημέρωση των παραγωγών και να θεσπιστούν φοροαπαλλαγές για αυτούς που ασχολούνται αποκλειστικά με την καλλιέργεια του σόργου. Επιπλέον, θα πρέπει να δίνονται σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια επιδοτήσεις για την αγορά γεωργικών μηχανημάτων σπόρου, αγροχημικών κ.α.

4.12 Βελτίωση

Το σόργο έχει μελετηθεί επισταμένως από γενετιστές και βελτιωτές φυτών. Ο χρωματισμός του καρπού, η περιεκτικότητα του στελέχους σε

σακχαρώδεις ουσίες, η αντοχή στις ασθένειες και άλλα γνωρίσματα έτυχαν ιδιαίτερης προσοχής από τους βελτιωτές. Ιδιαίτερα στις χώρες του Τρίτου Κόσμου γίνεται σοβαρή προσπάθεια να βελτιωθεί η θρεπτική αξία του καρποδοτικού σόργου στη χρήση του για τον άνθρωπο. Όλες οι νέες τεχνικές της βελτιώσεως (πολυπλοειδία, μεταλλαγές, διασταυρώσεις μεταξύ ειδών) χρησιμοποιήθηκαν στη βελτίωσή του. Η κατάληξη είναι τα νέα παραγωγικά υβρίδια σόργου, που διαδίδονται όλο και περισσότερο, τόσο στους καρποδοτικούς όσο και στους σανοδοτικούς τύπους. Πρέπει με την ευκαιρία να τονισθεί ότι οι σανοδοτικοί τύποι σόργου είναι τελείως διαφορετικοί από τους καρποδοτικούς, πράγμα που δεν συμβαίνει στον αραβόσιτο. Η στρεμματική απόδοση του καρποδοτικού σόργου στις Η.Π.Α. τριπλασιάστηκε μεταξύ 1940 και 1970.

4.12.1 Μέθοδοι

Το σόργο είναι φυτό συχνά διασταυρούμενο, με έντονα ετερωτικά φαινόμενα. Η δυσκολία στην παραγωγή των υβριδίων, λόγω ερμαφρόδιτων ανθέων, ανάγκασε τους παλαιότερους βελτιωτές να εφαρμόζουν τις μεθόδους βελτιώσεως των αυτογονιμοποιούμενων φυτών για τη δημιουργία νέων ποικιλιών σόργου. Η δυσκολία αυτή παρακάμφθηκε τελευταία με την απόκτηση (γονιδιακής και κυττοπλασματικής) αρρενοστεριότητας. Διασταύρωση μπορεί να γίνει και με άλλα είδη του γένους *Sorghum*. Έτσι βρέθηκε στην Αργεντινή υβρίδιο πολυετές από φυσική διασταύρωση μεταξύ σόργου και βέλιουρα που ονομάστηκε *Sorghum almum* και το οποίο καλλιεργείται ως χορτοδοτικό στις Η.Π.Α. και άλλες χώρες. Επειδή είναι πολυετές και επίσης τινάζει τον σπόρο του, υπάρχει φόβος να καταστεί ζιζάνιο στις χώρες αυτές.

Σήμερα παράγονται υβρίδια εντός του είδους που υπερέχουν στην απόδοση κατά 25 - 40 % συγκριτικά με τις συνηθισμένες ποικιλίες σόργου. Σημειώνουμε εδώ πως στο σόργο δεν παρουσιάζεται η έντονη μείωση της παραγωγικότητας που είναι χαρακτηριστική στις καθарές σειρές του καλαμποκιού.

Στη δημιουργία υβριδίων χρησιμοποιούνται δύο πηγές αρρενοστεριότητας:

1. Ποικιλία Day. Τα αρρενόστειρα φυτά της ποικιλίας αυτής, δίνουν με ορισμένες ποικιλίες πάλι αρρενόστειρα, ενώ με άλλες γόνιμα υβρίδια. Για την παραγωγή των υβριδίων χρησιμοποιούνται τρεις σειρές (A, B, C) και δύο αγροί διασταυρώσεων κατά το κατωτέρω σχήμα:

α) Σειρά A. Καλλιεργείται σε απομονωμένο χωράφι όπου δίνει φυτά κατά 50 % αρρενόστειρα. Από τα αρρενόστειρα, συλλέγεται

σπόρος, ο οποίος παρήχθηκε από γύρη των γόνιμων φυτών της ίδιας ποικιλίας, και σπέρνεται στον αγρό διασταυρώσεων 1. Τα φυτά ελέγχονται πριν την άνθηση και όσα είναι γόνιμα απομακρύνονται.

β) Σειρά Β. Είναι γόνιμη, χωρίς γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας και αναπαράγεται σε απομονωμένο χωράφι. Χρησιμοποιείται ως επικονιαστής της Α στον αγρό 1.

γ) Το προϊόν της διασταυρώσεως ΑxΒ του αγρού 1 σπέρνεται σε γραμμές στον αγρό διασταυρώσεων 2. Ως επικονιαστής χρησιμοποιείται η σειρά C, η οποία είναι γόνιμη και συγχρόνως έχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας.

δ) Το προϊόν του αγρού 2 (ΑxΒxС) συγκομίζεται και δίνεται στους παραγωγούς για καλλιέργεια (Γαλανοπούλου, 2003).

2. Κυττοπλασματική αρρενοστεριότητα. Σ' αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η ακόλουθη τακτική για την παραγωγή των υβριδίων:

α) Σειρά Α. Είναι αρρενόστερη και αναπαράγεται σε απομονωμένο αγρό από την αντίστοιχη γόνιμη σειρά Α', που διαφέρει μόνο ως προς το κυτόπλασμα.

β) Η σειρά Α διασταυρώνεται με τη σειρά R, που περιέχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας.

γ) Το προϊόν της απλής διασταυρώσεως ΑxR αποτελεί το σπόρο του υβριδίου που διατίθεται στους παραγωγούς (Γαλανοπούλου, 2003).

4.12.2 Γνωρίσματα για βελτίωση

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από το είδος του προϊόντος για το οποίο καλλιεργείται το σόργο. Το σόργο καλλιεργείται για καρπό, σανό, ενσίρωση, βοσκή, παραγωγή σιροπιού, κατασκευή σαρώθρων, ως φυτό βιοενέργειας κλπ. Έτσι, ανάλογα είναι και τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον βελτιωτή, τα κυριότερα από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

Απόδοση. Αποτελεί την κυριότερη επιδίωξη του βελτιωτή. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που ανάλογα με τον προορισμό του προϊόντος, επηρεάζουν την παραγωγικότητα του σόργου. Τέτοιοι παράγοντες είναι η πρωιμότητα, το ύψος των φυτών, η φωτοπερίοδος κ.ά., ανάλογα και με το περιβάλλον καλλιέργειάς του (Σφήκας, 1991). Γενικά οι καρποδοτικές ποικιλίες είναι βραχύσωμες (κάτω του 1m), ενώ οι χορτοδοτικές πρέπει να είναι υψηλόσωμες για μεγάλη απόδοση φυτομάζας (Γαλανοπούλου, 2003).

Πρωιμότητα. Η επιθυμητή πρωιμότητα σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τη βλαστική περίοδο της περιοχής. Η χρησιμοποίηση του σόργου για σανό ή καρπό, η σπορά του σαν κανονική ή επίσπορη καλλιέργεια

(δεύτερη καλλιέργεια μετά από χειμερινό σιτηρό) κ.λ.π. λαμβάνονται υπόψη.

Αντοχή σε εχθρούς και ασθένειες. Στο σημείο αυτό έγινε σημαντική πρόοδος, ιδίως για αντοχή στις ασθένειες. Ως προς τα έντομα, οι πρώιμες ποικιλίες αποφεύγουν αρκετές προσβολές.

Αντοχή στο τίναγμα. Με τη γενίκευση της μηχανικής συγκομιδής, η αντοχή στο τίναγμα παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Για να εργαστεί η θερίζοαλωνιστική πρέπει ο σπόρος να μην έχει πολλή υγρασία. Γι' αυτό καθυστερεί η συγκομιδή, οπότε ο κίνδυνος τινάγματος του σπόρου και ζημιών από πουλιά είναι μεγαλύτερος.

Ζημιές από πουλιά. Το καρποδοτικό σόργο συχνά υφίσταται ζημιές από τα πουλιά. Για την προστασία από τα πτηνά έχουν δημιουργηθεί στο Ισραήλ, ορισμένα υβρίδια με δυσάρεστη γεύση που την αντιπαθούν τα πουλιά. Μετά την ωρίμανση η γεύση αυτή εξαφανίζεται και συνεπώς ο καρπός είναι εξίσου καλός, όπως στα συνηθισμένα υβρίδια.

Αντοχή στο πλάγιασμα. Αφορά κυρίως τις καρποδοτικές ποικιλίες. Έτσι οι χαμηλόσωμες ποικιλίες και ποικιλίες που αντέχουν στις ασθένειες και τα έντομα έχουν καλύτερη αντοχή στο πλάγιασμα.

Προσαρμογή στη μηχανική συγκομιδή. Οι χαμηλόσωμες ποικιλίες είναι πιο κατάλληλες για μηχανική συγκομιδή, και ευτυχώς είναι και πιο παραγωγικές. Ποικιλίες που δεν πλαγιάζουν και δεν τινάζουν ταιριάζουν επίσης στη μηχανική συλλογή του καρποδοτικού σόργου.

Η μηχανική συγκομιδή των σανοδοτικών ποικιλιών συνήθως δεν παρουσιάζει προβλήματα.

Ποιότητα. Τα προϊόντα του σόργου έχουν πολλές χρήσεις. Ανάλογη είναι και η προσπάθεια βελτιώσεως των ποικιλιών.

α) Καρποδοτικό σόργο. Ενδιαφέρει η χημική σύσταση του καρπού (ποσοστό πρωτεϊνών και αμύλου). Για την παραγωγή αμύλου είναι ανεπιθύμητες οι χρωστικές του καρπού, γιατί απορροφούνται κατά την εξαγωγή του αμύλου και το χρωματίζουν. Από την άλλη πλευρά όμως, το κίτρινο ενδοσπέρμιο, που οφείλεται στις καροτίνες και τις ξανθοφύλλες, είναι θρεπτικότερο.

β) Χορτοδοτικό σόργο. Ενδιαφέρει εκτός από το ποσό της χλωρομάζας, η πεπτικότητα και η χημική σύσταση. Είναι επιθυμητή η υψηλή περιεκτικότητα σε σακχαρούχο χυμό, ο οποίος κυμαίνεται από 17 - 48 %. Αντίθετα η περιεκτικότητα σε πρωσσικό οξύ είναι ανεπιθύμητη και πρέπει να κρατείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο ποσοστό (Σφήκας, 1991).

γ) Ζαχαρούχο σόργο. Ενδιαφέρει η περιεκτικότητα σε ζαχαρούχο χυμό (Γαλανοπούλου, 2003).

Παραγωγή ξηρής βιομάζας. Αποτελεί την κύρια επιδίωξη του βελτιωτή όταν το σόργο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή βιοενέργειας. Στόχος των βελτιωτών είναι η δημιουργία ποικιλιών οι οποίες σε συνδυασμό με την εφαρμογή σύγχρονων καλλιεργητικών τεχνικών θα αποδίδουν ικανοποιητική παραγωγή ξηρής βιομάζας.

4.13 Σημασία του σόργου για την Ελλάδα

Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα όσα ήδη αναφέρθηκαν για το σόργο είναι ότι το φυτό αυτό προσαρμόζεται σε περιβάλλοντα με καλοκαιρινή βροχόπτωση, τα οποία όμως έχουν ύψος βροχής μικρότερο απ' ό τι χρειάζεται το καλαμπόκι η έχουν θερμοκρασία υψηλότερη από αυτή που είναι ευνοϊκή γι' αυτό. Στις περιοχές όπου ή βροχόπτωση και η 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 γονιμότητος 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, η θερμοκρασία κατά το θέρος στην Ελλάδα, ενώ είναι οριακή για το καλαμπόκι, για το σόργο είναι ευνοϊκή. Έκτος αυτού, το σόργο παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι ανθεκτικότερο στην ξηρασία, σε ορισμένα έντομα, στα άλατα και αλκάλια, και να συγκομίζεται με τις θεριζοαλωνιστικές που 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 στην χώρα μας με επιτυχία.

4.14 Ινώδες Σόργο και Ενέργεια

Από το ινώδες σόργο και πιο συγκεκριμένα από την ξηρή παραγόμενη βιομάζα του παράγονται τα στερεά μορφοποιημένα βιοκαύσιμα ή πελλέτες (pellets) τα οποία είναι μία άριστη και φθηνή λύση για αντικατάσταση του πετρελαίου θέρμανσης. Τα pellets είναι συμπιεσμένη βιομάζα δηλαδή ανανεώσιμο - ανεξάντλητο καύσιμο που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

Φυσικά στην Ελλάδα είναι άγνωστο καύσιμο, ενώ στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη η αγορά πελλέτας γνωρίζει μεγάλη άνθηση (pellet boom). Στις ευρωπαϊκές χώρες τα pellets χρησιμοποιούνται ευρέως εδώ και 2 δεκαετίες αντικαθιστώντας το πετρέλαιο θέρμανσης και το φυσικό αέριο, με σοβαρά θετικά αποτελέσματα για την οικονομία τους και το περιβάλλον.

Η πρώτη ύλη των πελλετών είναι βιομάζα που μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές υπολειμμάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω: υπολείμματα βιομηχανίας κατεργασίας ξύλου (πχ πριονίδια), υπολείμματα των καλλιιεργειών (άχυρα, στελέχη βαμβακιού, κλαδέματα), δασική βιομάζα (διαχείριση δασών), αυτοφυής βιομάζα (πχ καλάμια).

Επίσης η βιομάζα μπορεί να είναι καλλιεργούμενη, κάτι που βοηθά στον προγραμματισμό και τη συνεχή παροχή πρώτης ύλης στη βιομηχανία πελλέτας. Ενδεικτικά αναφέρονται ως τέτοιες καλλιέργειες (ενεργειακές) οι εξής: **Ινώδες σόργο**, Αγριαγκινάρα, Μίσχανθος, Κενάφ, Καλάμι, Switchgrass (είδος κεχριού). Επίσης μπορούν να καλλιεργηθούν και δασικά είδη όπως Ευκάλυπτος, Ψευδακακία, Ιτιά, Λεύκα, Ήμερη κάνναβη κ.α

Η παραγωγή των πελλετών (pellets) γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας. Οι πελλέτες (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας (από διάφορες καλλιέργειες, δασική βιομάζα, υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου πχ πριονίδια κτλ) διαφόρων μεγεθών (π.χ. διαμέτρου 6 mm και μήκους 30 mm). Οι πελλέτες έχουν υγρασία 8-10 % (ειδικό βάρος περί τα 650 κιλά ανά κυβικό μέτρο) και θερμική αξία περί τα 17-21 MJ/kg (ανάλογα με το είδος της βιομάζας), δηλαδή 2 κιλά πελλέτας ισοδυναμούν λίγο λιγότερο από 1 λίτρο πετρελαίου (GreenDream 2009).

Η συμπιεσμένη βιομάζα σε μορφή πελλέτας επιτρέπει διανομή και αποθήκευση των στερεών καυσίμων παρόμοια με αυτή των υγρών καυσίμων και καθιστά δυνατή τη χρήση για οικιακή θέρμανση ή θέρμανση κτιρίων και άλλων εγκαταστάσεων όπως για παράδειγμα βιομηχανικών μονάδων.

Σημειώνεται ότι υπάρχουν έτοιμες λύσεις για τους μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανίες, ξενοδοχεία κτλ) όπου έτοιμα κοντέινερ (όπως

φαίνεται και στις φωτογραφίες) με πλήρες εξοπλισμό (καυστήρες, αποθήκη-σιλό κτλ) ενσωματώνονται στο υπάρχον δίκτυο θέρμανσης (με απλό by pass). Οι καυστήρες πετρελαίου ή αερίου παραμένουν ως εφεδρικοί. Η εξέλιξη στο εξωτερικό είναι τέτοια, που η προμήθεια καυσίμου πελλέτας (ανεφοδιασμός) στους μεγάλους καταναλωτές γίνεται πλέον αυτόματα: ένας αισθητήρας υπάρχει στη δεξαμενή αποθήκευσης, και λίγο πριν αδειάσει η αποθήκη ειδοποιείται αυτόματα ο προμηθευτής πελλέτας με sms.

Εκτός από την απλή θέρμανση κτιρίων και κατοικιών υπάρχουν και άλλες χρήσεις των pellets. Για παράδειγμα, κεντρικές εγκαταστάσεις συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης ή μόνο θέρμανσης με δίκτυα τηλεθέρμανσης οικισμών, είναι εφαρμογές που σύντομα θα δούμε και στην Ελλάδα.

Λόγω της ραγδαίας αύξησης της αγοράς πελλέτας για θέρμανση στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη, η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, παρόμοια πλέον (ή και μεγαλύτερη) με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%). Επίσης η τροφοδοσία του καυσίμου (pellets) στον καυστήρα από το χώρο αποθήκευσης είναι αυτόματη, με μηχανικό ή πνευματικό σύστημα.

Η λιανική τιμή της πελλέτας στη χώρα μας, στην παρούσα φάση, είναι περί τα 180-200 ευρώ/τόνο. Όπως προαναφέρθηκε, 2 κιλά πελλέτας ισοδυναμούν περίπου με 1 λίτρο πετρελαίου. Βάσει των παραπάνω, είναι ξεκάθαρο ότι ο καταναλωτής που θα επιλέξει τη θέρμανση με πελλέτα, θα έχει κόστος θέρμανσης περί τα 0,4 ευρώ (40 λεπτά) ανά λίτρο ισοδύναμου πετρελαίου. Δεδομένου του γεγονότος ότι πλέον το πετρέλαιο θέρμανσης κυμαίνεται στα 0,7 ευρώ (70 λεπτά) το λίτρο, προκύπτει ότι η θέρμανση με στερεό καύσιμο παρέχει μείωση του κόστους θέρμανσης περίπου κατά 40% σε σχέση με το πετρέλαιο θέρμανσης (GreenDream 2009).

Το οικονομικό όφελος από τη μείωση του κόστους θέρμανσης, γίνεται πολλαπλάσιο στην περίπτωση των μεγάλων κτιρίων (σχολεία, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κτλ) ή των βιομηχανικών & θερμοκηπιακών μονάδων, ενώ μεγάλες είναι και οι προοπτικές για τη χρήση της πελλέτας στην τηλεθέρμανση οικισμών.

Για τους μεγάλους καταναλωτές οι τιμές συνήθως διαμορφώνονται στα 130-150 ευρώ/τόνο (δηλ. τιμή ισοδύναμου πετρελαίου 26-30 λεπτά/λίτρο), οπότε στην περίπτωση αυτή ο καταναλωτής πελλέτας εξοικονομεί πάνω από το 50% των συνολικών εξόδων για θέρμανση (σε σχέση με το πετρέλαιο).

Βεβαίως τα παραπάνω νούμερα είναι ενδεικτικά για τον καταναλωτή και το όφελος μπορεί να είναι μικρότερο λόγω αύξησης

τιμών στην αγορά πελλέτας (κερδοσκοπία), ως συνέπεια της αύξησης του πετρελαίου. Εδώ πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι το κόστος παραγωγής πελλέτας (σε αντίθεση με άλλα καύσιμα) μειώνεται συνεχώς λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης και της βελτιστοποίησης όλων των κρίκων της παραγωγικής αλυσίδας (GreenDream 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Γενικά

Το πείραμα διεξήχθη στο Αγρόκτημα του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην ευρύτερη περιοχή του Βελεστίνου (Ν. Μαγνησίας) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2008.

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

5.2 Κλιματικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση, υγρασία ατμόσφαιρας, ηλιοφάνεια, ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους) 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).

5.3 Εδαφολογικά δεδομένα

Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι: Υψόμετρο 70 m, Γεωγραφικό πλάτος 39°23' Βόρειο, Γεωγραφικό μήκος 22°45' Ανατολικό. Το έδαφος στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα είναι καλά αποστράγγιζαμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδους υφής που ανήκει στην ομάδα των Inceptisols και υπό-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1990). Το έδαφος αυτό έχει κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη. Ο βαθμός οξύτητας του βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (pH 7,9-8,2) χωρίς ακόμα να είναι προβληματικός. Έχει πολύ καλά αναπτυγμένο πορώδες αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους. Η οργανική ουσία του είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα αλλά είναι επαρκής και μέχρι το βάθος των 60 εκ. (Μήτσιος, κ.α., 2000).

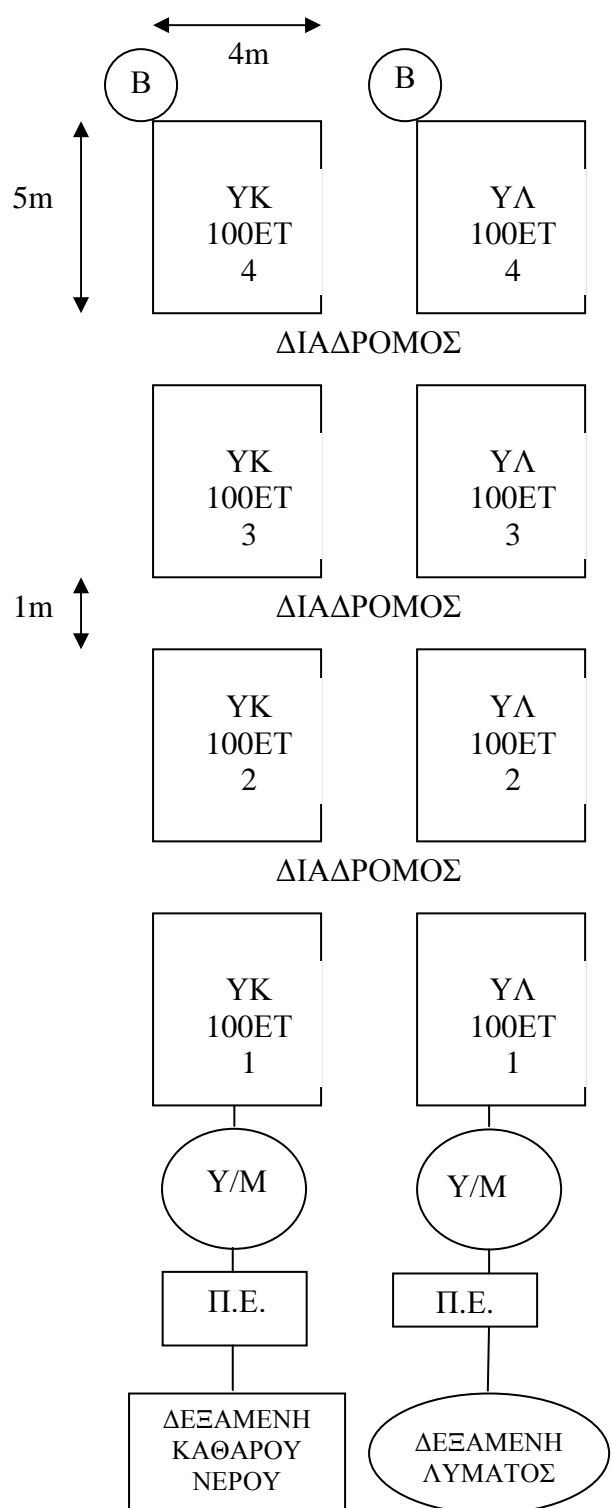
Στη περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας xeric και εδαφικής θερμοκρασίας thermic. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Na, Mg, K και η C.E.C. γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, ενώ η διαθεσιμότητα

των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με το Cu (Μήτσιος κ.α., 2000).

5.4 Χάραξη πειραματικού αγρού

Το πείραμα διεξήχθη με την εφαρμογή ενός πλήρους τυχαιοποιημένου σχεδίου (τροποποιημένο) το οποίο περιλάμβανε 2 μεταχειρίσεις (άρδευση με καθαρό νερό (ΥΚ 100ΕΤ) και άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (ΥΛ 100ΕΤ)) 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 (Σχήμα 5.1). 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 Α.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

YK 100ET: Σόργο αρδευόμενο με καθαρό νερό με υπόγεια στάγδην άρδευση.

YΛ 100ET: 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 σταλακτιήρων 0,6m
- Απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς 0.8m

Σχήμα 5.1. Απεικόνιση πειραματικού αγρού

5.5. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

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

Το δεύτερο φρεζάρισμα έγινε λίγο πριν την άνοιξη και το τρίτο (2-3 περάσματα) έγινε πριν τη σπορά.

Οι καλλιεργητικές εργασίες του πειραματικού αγρού ακολούθησαν την συνήθη πρακτική που εφαρμόζεται στην περιοχή για την καλλιέργεια του καλαμποκιού. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 14 Μαΐου του 2008, με σπαρτική μηχανή 6 σειρών, ενώ η ποικιλία σόργου που χρησιμοποιείται είναι η H132, σε ποσότητα 0,65Kg/στρέμμα. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική ή άλλη χημική επέμβαση. Ο μέσος αριθμός φυτών ήταν 10φυτά /m. Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε βάθος 2cm και σε αποστάσεις 80cm μεταξύ των γραμμών και 12cm επί της γραμμής. Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε πότισμα με τη μέθοδο του καταιονισμού και το φύτευμα της καλλιέργειας ολοκληρώθηκε περίπου στις 25 Μαΐου.



Εικόνα 5.1 Πειραματικός αγρός πριν τη σπορά.



Εικόνα 5.2 Πειραματικός αγρός μετά τη σπορά 14/5/2008.



Εικόνα 5.3 Πειραματικός αγρός στις 16/6/2008.



Εικόνα 5.4 Πειραματικός αγρός στις 1/7/2008.



Εικόνα 5.5 Πειραματικός αγρός στις 10/7/2008.



Εικόνα 5.6 Πειραματικός αγρός στις 8/8/2008.



Εικόνα 5.7 Φυτό σόργου του πειραματικού αγρού στις 8/8/2008



Εικόνα 5.8 Πειραματικός αγρός στις 1/9/2008



Εικόνα 5.9 Πειραματικός αγρός στις 15/9/2008.

5.6 Υλικά άρδευσης

Για την άρδευση του πειραματικού αγρού, επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Το έτος 2006, πραγματοποιήθηκε στον ίδιο αγρό το ίδιο πείραμα και εγκαταστάθηκε διπλό δίκτυο μεταφοράς του νερού 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 κατά το έτος 2008 που επαναλαμβάνεται το πείραμα.

Η τοποθέτηση του υπογείου δικτύου άρδευσης έγινε σε βάθος 45cm με τη βοήθεια υπεδαφοθέτη. Οι αγωγοί μεταφοράς του αρδευτικού νερού ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 32 mm και πίεση λειτουργίας στις 6 atm. Στα πειραματικά τεμάχια υπήρχε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους αγωγούς εφαρμογής οι οποίοι ήταν επίσης κατασκευασμένοι από PE αλλά είχαν διατομή 20 mm. Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1,60 m και η τοποθέτηση τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας. Έτσι, ανάμεσα σε δύο σταλακτηφόρους αγωγούς παρεμβάλλονταν δύο σειρές φυτών.

Οι υπογειαί σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής $3,6 \text{ l h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 3,5 atm και ωριαίου ύψους βροχής $3,75 \text{ mm h}^{-1}$ και η ισαποχή τους επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6 m.

Επίσης έγινε τοποθέτηση ειδικών βαλβίδων εκτόνωσης της πίεσης για να αποφεύγεται η αναρρόφηση νερού και συνεπώς το φράξιμο των σταλακτιήρων 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 σταλακτιών από την είσοδο των ριζών.

Για την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν 2 ηλεκτροβάνες (μια για κάθε μεταχείριση) τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9-40V (Εικόνα 5.9). 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 5.10



Εικόνα 5.9



Εικόνα 5.10 Υδρόμετρο

Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή Miracle DC της εταιρίας Motorola (Εικόνα 11).



Εικόνα 5.11 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 5.12).



Εικόνα 5.12 Τσιμεντένια δεξαμενή

Η πλήρωση της δεξαμενής γινόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60 - 80 m³/h με άξονα και σωλήνα 3").

Για την υποδοχή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων της πόλεως του Βόλου και του καθαρού νερού της γεώτρησης υπήρχε δεξαμενή (Εικόνα 5.13). 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.



Εικόνα 5.13 Δεξαμενή PVC

Τοποθετήθηκαν επίσης, η αντλία προώθησης του νερού στα δίκτυα, η κεντρική ηλεκτροβάννα, 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 5.14).



Εικόνα 5.14 Μηχανολογικός εξοπλισμός φυλασσόμενος σε ειδικά διαμορφωμένο κουτί

5.7 Εξατμισίμετρο τύπου A

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 5.15. Εξατμισόμετρο τύπου Α

Το Εξατμισόμετρο Τύπου Α (Εικόνα 5.15) 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. 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: $E_{T_r} = K_p * E_{pan}$. Όπου E_{pan} είναι η μέση εξάτμιση του 24ώρου από το εξατμισόμετρο σε mm/ημέρα και K_p είναι ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου. Ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου λήφθηκε ίσος με 0,77.

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

5.8 Αισθητήρας Μέτρησης της Εδαφικής Υγρασίας Sentek EnviroSMART

Για την εύρεση του χρόνου και της δόσης άρδευσης κρίνεται αναγκαία να προσδιορίζεται η υγρασία του εδάφους. Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στο συγκεκριμένο πείραμα έγινε με τη βοήθεια του αισθητήρα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας Sentek EnviroSMART η οποία είναι γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους (Εικόνα 5.16).

Το συγκεκριμένο σύστημα διαφοροποιείται από άλλα υπάρχοντα συστήματα ως προς το γεγονός ότι μπορεί να συνδεθεί με επιπλέον τεχνολογικό εξοπλισμό σε επίπεδο αγρού.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από έξι λειτουργικά μέρη. Το κύριο μέρος αποτελεί ο επεξεργαστής (EnviroSmart και EasyAG) και τα 3 ηλεκτρόδια παραγωγής ηλεκτρικού πεδίου, τα οποία είναι προσαρμοσμένα πάνω σε κυματοδηγό. Το δευτερεύον μέρος αποτελεί ο data logger, ο σωλήνας εισόδου του αισθητήρα στο έδαφος το προστατευτικό κάλυμμα και το καλώδιο τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος. Η γενική αρχή λειτουργίας του συστήματος έγκειται στην παραγωγή ηλεκτρικού πεδίου γύρω από το καθένα από τα τρία ηλεκτρόδια (αισθητήρες) το οποίο διαχέεται έξω από το σωλήνα εξόδου και ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία έχει διαφορετική τιμή ηλεκτρικού δυναμικού. Η τιμή αυτή μετατρέπεται σε % κ.ο. υγρασία εδάφους μέσω συγκεκριμένης μαθηματικής εξίσωσης. Το σύστημα EnviroSmart και EasyAG είναι ένας αισθητήρας ηλεκτρικού δυναμικού που μετατρέπει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα σε % κ.ο. υγρασία εδάφους. Έχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από ένα αισθητήρα ή από περισσότερους επιλεγμένους αισθητήρες αποδίδοντας μία τιμή που προκύπτει από το σύνολο των μετρήσεων κάθε αισθητήρα. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται μία σάρωση όλων των αισθητήρων οι τιμές που συλλέγονται μετατρέπονται σε pins και αποθηκεύονται έως ότου πραγματοποιηθεί νέα σάρωση. Η σάρωση αρχίζει αμέσως μετά την τροφοδοσία του αισθητήρα με ηλεκτρική ενέργεια και η καταγραφή γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, το εύρος των οποίων επιλέγεται από το χρήστη, και για όσο υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για τη λειτουργία του. Έχει τη δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας είτε διακοπτόμενης. Στη πρώτη περίπτωση ο αισθητήρας είναι σε λειτουργία συνεχώς καταγράφοντας δεδομένα και διατηρώντας στη μνήμη του μόνο αυτά που καταγράφονται στο χρόνο που έχει προεπιλεγεί ενώ στη δεύτερη αμέσως μετά την καταγραφή των δεδομένων και την αποθήκευσή τους τίθεται εκτός λειτουργίας και επαναλειτουργεί όταν ο data logger τον τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ικανή για την επανέναρξη της

λειτουργίας του. Η δεύτερη περίπτωση προϋποθέτει την σύνδεση του αισθητήρα με data logger. Το λογισμικό που διαθέτει του δίνει τη δυνατότητα να συνδέει το ηλεκτρικό δυναμικό με το βάθος, τις κανονικοποιημένες τιμές υγρασίας και περιεχόμενου όγκου αέρα στο έδαφος καθώς και άλλων πληροφοριών (ημερομηνία, εύρος μέτρησης και ηλεκτρικό δυναμικό εξόδου), οι οποίες καθορίζουν το ποσοστό % κ.ο. της περιεχόμενης στο έδαφος υγρασίας. Ο αισθητήρας είναι εφοδιασμένος με πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας όπου αποθηκεύεται ενέργεια ικανή να διατηρήσει σε λειτουργία τον αισθητήρα για ακριβώς 2 εβδομάδες από τη στιγμή που διακοπεί κάθε είδους παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τροφοδοσία του συστήματος EnviroSCAN γινόταν από το δίκτυο της ΔΕΗ και επικουρικά υποστηρίζονταν από χημική πηγή ενέργειας (μπαταρία) 9V. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει έως 8 αισθητήρες από τους οποίους οι 4 μπορούν να καταγράφουν δεδομένα και αυτά να μετατρέπονται σε κατάλληλα pins εξόδου. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις ανεξάρτητοι αισθητήρες των οποίων τα δεδομένα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μια έξοδο.



Εικόνα 5.16 Αισθητήρας Μέτρησης της Εδαφικής Υγρασίας Sentek EnviroSMART

Από τεχνολογικής πλευράς, το σύστημα EnviroSCAN και EasyAG παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Δεν απαιτεί βαθμονόμηση και το σφάλμα στις μετρήσεις κυμαίνεται σε ποσοστό -6% - +6% ενώ όταν γίνεται βαθμονόμηση με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο χρησιμοποιείται το σφάλμα περιορίζεται μόνο κατά 50% (-3% - +3%). Παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης με μετεωρολογικούς σταθμούς, προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs), διαφόρων τύπων data loggers ενώ μπορεί να δεχθεί κάθε εξοπλισμό τηλεμετρίας.

Εξίσου σημαντικές με τα τεχνολογικά πλεονεκτήματα είναι και οι πρακτικές ωφέλειες από την εφαρμογή αυτού του συστήματος.

Αναλυτικά:

- αυξάνεται το κέρδος του παραγωγού λόγω αύξησης της παραγωγής και βελτίωσης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων ,
- μειώνεται το κόστος γιατί δεν απαιτείται επιπλέον άχρηστος εξοπλισμός (όπως επιπλέον data loggers),
- αξιοποιεί τον εξοπλισμό που ήδη διαθέτει ο παραγωγός (εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σύστημα άρδευσης κ.α.) για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, ενέργειας και χημικών,
- αποτελεί ένα ευέλικτο σύστημα καταγραφής υγρασίας εδάφους ικανό να συνδυαστεί με τον ιδιαίτερο εξοπλισμό που διαθέτει ο κάθε παραγωγός,
- είναι αξιόπιστο και ακριβές σύστημα σύγχρονης τεχνολογίας ικανό να χρησιμοποιηθεί σε πάνω από 100 διαφορετικές καλλιέργειες,
- μειώνει τις απώλειες νερού άρδευσης λόγω βαθιάς διήθησης και την έκπλυση θρεπτικών ουσιών και
- μεγιστοποιεί τις επιστροφές χρημάτων.

5.9 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 5.17).



Εικόνα 5.17 Συσκευή μέτρησης L.A.I.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας θεωρείται μέτρο έκφρασης της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας κι αυτό έγκειται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός του ποσοστού αφομοίωσης για ένα φύλλο απαιτεί την ακριβή μέτρηση της περιοχής επιφάνειας του.

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

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

Οι μετρήσεις γίνονται με τον προσδιορισμό θέσης του οπτικού αισθητήρα και την πίεση ενός 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 14 μετρήσεις, στο διάστημα από 7 Ιουλίου έως 6 Οκτωβρίου. Γινόταν μετρήσεις σε προεπιλεγμένο σημείο (μήκος 2m περίπου) της κάθε επανάληψης όπου η ανάπτυξη των φυτών ήταν αντιπροσωπευτική της καλλιέργειας και επαναλαμβανόταν κάθε φορά στο ίδιο σημείο. 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.

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 7/7/2008 και οι επόμενες στις 14/7/2008, 21/7/2008, 28/7/2008, 4/8/2008, 11/8/2008, 18/8/2008, 25/8/2008, 1/9/2008, 8/9/2008, 15/9/2008, 22/9/2008, 29/9/2008 και στις 6/10/2008.

5.10 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

Στις 2/7/2008 πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλεως του Βόλου. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλεως του Βόλου. Η μονάδα εξυπηρετεί τους Δήμους Βόλου, Ν. Ιωνίας, Αισωνίας και τη Βιομηχανική περιοχή του Βόλου, συνολικού πληθυσμού 200.000 κατοίκων. Δέχεται 22.000 m³ αποβλήτων/ημέρα και διαθέτει τριτοβάθμιο σύστημα επεξεργασίας. Τα απόβλητα δέχονταν τριτοβάθμια επεξεργασία και ως εκ τούτου, δεν περιείχαν σε μεγάλες ποσότητες τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως Ν, Ρ, Κ. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, γινόταν μία άρδευση με απόβλητα στη μεταχείριση του «Λύματος», και ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό της γεώτρησης του αγροκτήματος.

Η σχέση που δίνει την αναλογία των όγκων νερού είναι η εξής (Πανώρας και Ηλίας, 1999) : $C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) = C_{τελ}$.

Όπου

C_a = η συγκέντρωση χλωρίου (CT) της μιας ποιότητας νερού (καθαρό νερό)

C_b = η συγκέντρωση χλωρίου της δεύτερης ποιότητας νερού (CT, mg/L) (λύμα)

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

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

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

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις

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

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

Επίσης ότι

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

Και $C_{τελ} = 500 \text{ mg/L Cl}^-$

Προέκυψε ότι

$22 \text{ mg/L } Q_a + 1400 \text{ mg/L} * (1 - Q_a) = 500 \text{ mg/L} \Rightarrow$

$1378 * Q_a = 900 \text{ mg/L} \Rightarrow$

$Q_a = 0,65 \text{ L}$

Επομένως απαιτούνται δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό και μία με λύμα.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν στην πλαστική δεξαμενή. Μετά την άρδευση με απόβλητα, η δεξαμενή ξεπλένονταν με καθαρό νερό. Συνολικά διενεργήθηκαν 12 αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά αστικά

απόβλητα στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ με την τελευταία άρδευση να πραγματοποιείται στις 17/9/2008.

Για την εύρεση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων, διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στα απόβλητα, στις εγκαταστάσεις του Βιολογικού Καθαρισμού. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στον Βιολογικό καθαρισμό ήταν : pH, C.O.D., Cl^- , Ολικός P, NH_3-N , NO_3-N , S.S. (Αιωρούμενα στερεά). Στον Πίνακα 5.1, φαίνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής των επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των αποβλήτων (Πίνακας 5.1), διαπιστώνουμε ότι πιο επικίνδυνη παράμετρος για την καλλιέργεια θεωρείται η συγκέντρωση των ιόντων Cl^- . Ως ελάχιστο όριο ασφαλείας θεωρούνται τα 355 mg Cl^-/l , ενώ για τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί το όριο των 710 mg Cl^-/l . Από τις άλλες παραμέτρους η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν παραπάνω από το όριο των 3 dS/m, που όμως με την εναλλαγή των αρδεύσεων με καθαρό νερό θεωρείται ότι μειώνεται σημαντικά η επίδραση της. Άλλωστε το σόργο είναι φυτό σχετικά ανθεκτικό στην αλατότητα (Maas, V., 1985).

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Παράμετρος μέτρησης:	pH	Cl^- (mg/l)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	$N-NH_3$ (mg/l)	$N-NO_3$ (mg/l)	Ρολ (mg/l)	Αγωγιμότητα (dS/m)
Ημερομηνία:								
2/7/2008	7,83	2.470	35	66,4	3,0	-	1,8	-
9/7/2008	7,93	3.053	28	51	1,4	-	1,7	-
16/7/2008	7,92	2.783	20	52,4	2,7	-	1,5	-
23/7/2008	7,98	3.068	32	68,8	4,3	6,21	1,6	-
30/7/2008	7,88	2.982	20	60,6	6,7	6,21	1,4	-
6/8/2008	7,96	3.138	34	55,6	3,8	-	1,5	-
13/8/2008	7,96	3.152	16	51,2	6,8	-	1,3	-
20/8/2008	8,08	4.317	22	59	22,5	-	1,4	-
27/8/2008	7,94	3.380	20	57	15	-	1,4	-
3/9/2008	7,88	3.223	12	66	15,8	-	1	11
10/9/2008	8,13	3.550	26	61,6	15,2	4,18	1,5	11,8
17/9/2008	8,14	3.834	16	44,8	7,4	-	1	-
Όρια ασφαλείας:	6,5 - 8,5	0-700	0-15	0-40	0-30	0-10	0-15	0-3 dS/m

Γενικά η τιμή του pH βρισκόταν πάντα μέσα στα αποδεκτά όρια ασφαλείας σε αντίθεση όμως με την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα των

“Λυμάτων” που κυμαινόταν σε πολύ υψηλά επίπεδα λόγω της περιεκτικότητας του σε άλατα.

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

Αναφέρεται ότι μία αντιπροσωπευτική καλλιέργεια σόργου με απόδοση σε σπόρο 494 kg/στρέμμα απομακρύνει 19,1 kg/t προϊόντος N και 3,0 kg/t προϊόντος P ενώ με 445 kg/στρέμμα απόδοση σε καλαμιά (υπέργεια βιομάζα μετά τη συγκομιδή του σπόρου) απομακρύνει 9,5 kg/t προϊόντος N και 1,5 kg/t προϊόντος P (Broadbent, et al., 1985).

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

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

Τέλος, ο Ρ_{ολ} χαρακτηρίζεται από μικρές συγκεντρώσεις σε σχέση πάντα με τα επιτρεπόμενα όρια.

5.11 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου

5.11.1 Μετρήσεις ύψους φυτών

Με σκοπό να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του σόργου, διενεργήθηκαν δειγματοληπτικά 9 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.

Στην πρώτη μέτρηση του ύψους επιλέχθηκαν τυχαία 10 φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο στα οποία μετρήθηκε το ύψος. Την ίδια ημέρα, τα φυτά αυτά σημάνθηκαν κατάλληλα, έτσι ώστε στις επόμενες

μετρήσεις να παρακολουθείται η εξέλιξη του ύψους από τα ίδια κάθε φορά φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 9/6/2008 και οι επόμενες στις 23/6/2008, 7/7/2008, 21/7/2008, 1/8/2008, 18/8/2008, 4/9/2008, 15/9/2008 και 29/9/2008.

5.11.2 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 5.18), με μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος ζύγισης τα 100 kg.



Εικόνα 5.18

Το κόψιμο των φυτών γινόταν περίπου 10cm 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).

Στη συνέχεια, κάθε φυτό ζυγίζονταν με ζυγαριά ακριβείας έτσι ώστε να προσδιοριστεί με ακρίβεια το χλωρό του βάρος (φύλλα και στέλεχος

μαζί). Τα φυτά είχαν προηγουμένως κοπεί στη μέση ή σε μικρότερα τμήματα (ίσα μεταξύ τους), τα οποία δεματοποιούνταν και επισημαίνονταν κατάλληλα (Εικόνα 5.18).

Δηλαδή, σε κάθε μια από τις 4 επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης (ΥΚ 100ΕΤ, ΥΛ 100ΕΤ) το ζύγισμα της νωπής βιομάζας των φυτών γινόταν χωριστά.

Έπειτα, τα φύλλα και τα στελέχη του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετούνταν σε σακούλες και μεταφερόταν για ξήρανση σε ειδικό φούρνο (στους 105°C) 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.

Η μέση παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα κάθε μεταχείρισης σε κάθε κοπή προκύπτει μετά από μετρήσεις σε αριθμό φυτών που αντιστοιχούν σε 4 m² σε κάθε μεταχείριση (1 m² σε κάθε επανάληψη, 4 επαναλήψεις). Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνονταν σε κάθε κοπή. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 κοπές κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι κοπές έγιναν περίπου 70, 85, 110, 125, 150 και 170 ημέρες από τη σπορά, μέχρι που σταθεροποιήθηκε το ξηρό βάρος. Η πρώτη κοπή έγινε στις 25/7/2008 και οι επόμενες στις 8/8/2008, 29/8/2008, 19/9/2008, 10/10/2008 και στις 31/10/2008.

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

5.12 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 5.19).



Εικόνα 5.19 Μετεωρολογικός σταθμός του Αγροκτήματος

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα υγρό και ξηρό θερμόμετρο, βροχόμετρο (Εικόνα 5.20), πυρανόμετρο και ανεμόμετρο.



Εικόνα 5.20 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.

5.13 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 0,77 (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 εφαρμοζόμενη 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 $0,8 B$ (Μιχελάκης, Ν., 1998).

Στο εξατμισόμετρο τύπου Α 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).

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I_n), η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_C) με βάση την ημερήσια ένδειξη εξάτμισης (E_{pan}) τού εξατμισιμέτρου τύπου A καθώς επίσης οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων των μεταχειρίσεων.

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

$$I_t = I_{da}/I_{dh}, \text{ σε h (4)}$$

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

Το ωριαίο ύψος βροχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_{dh} = (q * n) / (St * Sr), \text{ σε mm/h (5)}$$

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

$n = St / (2 * Se)$ είναι ο αριθμός σταλακτῆρων ανά φυτό,

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

Sr είναι η ισαποχή των γραμμών σποράς σε m και,

Se είναι η ισαποχή των σταλακτῆρων επί του αγωγού σε m

(Δημοπούλου, 2005).

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης καθώς και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων για κάθε μεταχείριση.

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ 2008

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 14/5/08	Πλήρωση Εξατμ/τρου mm	Ημερήσια ένδειξη mm	Διαφορά ημέρας Epan mm	Βροχή B mm	Ωφέλιμη βροχή ΩB=0,8*B mm 0,8*(7)	Εξατμ/πνοή αναφοράς Eo=kr*Epan mm 0,77*(6)	kc	Εξατμ/πνοή Καλλιέργειας In=ETc - ΩB mm (11)-(8)	Καθαρές ανάγκες Ida=Eo*kc/0,95 =ETc =100% (9)*(10) mm	Σταλάκτες ανά φυτό n=St/2*Se	Ωριαίο ύψος βροχής Idh=(q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης 100% It=Ida(100%)/Idh	Διάρκεια άρδευσης (h)
14/5/2008	132	0	0		9,00		0	6,93	0,35	2,43	2,55	0,12	3,75	0,68	0h 41'
15/5/2008	133	1		9,00	7,00	0,50	0,4	5,39	0,35	1,49	1,56	0,12	3,75	0,42	0h 25'
16/5/2008	134	2		16,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
17/5/2008	135	3		23,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27	0,12	3,75	0,61	0h 37'
18/5/2008	136	4		31,00	9,00		0	6,93	0,35	2,43	2,55	0,12	3,75	0,68	0h 41'
19/5/2008	137	5		40,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
20/5/2008	138	6		47,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27	0,12	3,75	0,61	0h 37'
21/5/2008	139	7	0	56,00	6,00		0	4,62	0,35	1,62	1,70	0,12	3,75	0,45	0h 27'
22/5/2008	140	8		6,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
23/5/2008	141	9		13,00	5,00		0	3,85	0,35	1,35	1,42	0,12	3,75	0,38	0h 23'
24/5/2008	142	10		18,00	6,00	0,50	0	4,62	0,35	1,62	1,70	0,12	3,75	0,45	0h 27'
25/5/2008	143	11		24,00	5,00		0,4	3,85	0,35	0,95	1,00	0,12	3,75	0,27	0h 16'
26/5/2008	144	12		29,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
27/5/2008	145	13		36,00	6,00		0	4,62	0,35	1,62	1,70	0,12	3,75	0,45	0h 27'
28/5/2008	146	14	0	42,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
29/5/2008	147	15		7,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27	0,12	3,75	0,61	0h 37'
30/5/2008	148	16		15,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27	0,12	3,75	0,61	0h 37'
31/5/2008	149	17		24,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
1/6/2008	150	18		31,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
2/6/2008	151	19		38,00	7,00		0	5,39	0,35	1,89	1,99	0,12	3,75	0,53	0h 32'
3/6/2008	152	20		45,00	6,00		0	4,62	0,37	1,71	1,80	0,12	3,75	0,48	0h 29'
4/6/2008	153	21	AE	51,00	5,00		0	3,85	0,39	1,50	1,58	0,12	3,75	0,42	0h 25'

5/6/2008	154	22	0	56,00	5,00	0	3,85	0,41	1,58	1,66	0,12	3,75	0,44	0h 26'
6/6/2008	155	23		5,00	2,00	0	1,54	0,44	0,68	0,71	0,12	3,75	0,19	0h 11'
7/6/2008	156	24		7,00	3,00	0	2,31	0,46	1,06	1,12	0,12	3,75	0,30	0h 18'
8/6/2008	157	25		10,00	4,00	0	3,08	0,48	1,48	1,56	0,12	3,75	0,41	0h 25'
9/6/2008	158	26		14,00	3,00	9,00	2,31	0,51	-6,02	-6,34	0,12	3,75	-1,69	0h 00'
10/6/2008	159	27		17,00	6,00	0	4,62	0,53	2,45	2,58	0,12	3,75	0,69	0h 41'
11/6/2008	160	28		23,00	7,00	0	5,39	0,55	2,96	3,12	0,12	3,75	0,83	1h 50'
12/6/2008	161	29		30,00	7,00	0	5,39	0,57	3,07	3,23	0,12	3,75	0,86	0h 52'
13/6/2008	162	30	AE	37,00	8,00	0	6,16	0,59	3,63	3,83	0,12	3,75	1,02	1h 01'
14/6/2008	163	31		45,00	8,00	0	6,16	0,62	3,82	4,02	0,12	3,75	1,07	1h 04'
15/6/2008	164	32	0	53,00	8,00	0	6,16	0,65	4,00	4,21	0,12	3,75	1,12	1h 07'
16/6/2008	165	33		8,00	8,00	0	6,16	0,67	4,13	4,34	0,12	3,75	1,16	1h 10'
17/6/2008	166	34	AE	18,00	10,00	0	7,70	0,69	5,31	5,59	0,12	3,75	1,49	1h 29'
18/6/2008	167	35		27,00	9,00	0	6,93	0,71	4,92	5,18	0,12	3,75	1,38	1h 23'
19/6/2008	168	36		36,00	12,00	0	9,24	0,73	6,75	7,10	0,12	3,75	1,89	1h 53'
20/6/2008	169	37		48,00	10,00	0	7,70	0,75	5,78	6,08	0,12	3,75	1,62	3h 37'
21/6/2008	170	38	AE	58,00	11,00	0	8,47	0,78	6,61	6,95	0,12	3,75	1,85	1h 51'
22/6/2008	171	39		11,00	10,00	0	7,70	0,80	6,16	6,48	0,12	3,75	1,73	1h 44'
23/6/2008	172	40		21,00	11,00	0	8,47	0,82	6,95	7,31	0,12	3,75	1,95	1h 57'
24/6/2008	173	41		33,00	12,00	0	9,24	0,84	7,76	8,17	0,12	3,75	2,18	2h 11'
25/6/2008	174	42	AE	45,00	10,00	0	7,70	0,86	6,62	6,97	0,12	3,75	1,86	1h 52'
26/6/2008	175	43		55,00	10,00	0	7,70	0,88	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'
27/6/2008	176	44	AE	10,00	10,00	0	7,70	0,91	7,01	7,38	0,12	3,75	1,97	1h 58'
28/6/2008	177	45		20,00	10,00	0	7,70	0,93	7,16	7,54	0,12	3,75	2,01	2h 01'
29/6/2008	178	46		30,00	8,00	0	6,16	0,95	5,85	6,16	0,12	3,75	1,64	1h 38'
30/6/2008	179	47	AE	38,00	10,00	0	7,70	0,98	7,55	7,94	0,12	3,75	2,12	2h 07'
1/7/2008	180	48		48,00	8,00	0	6,16	1,00	6,16	6,48	0,12	3,75	1,73	1h 44'
2/7/2008	181	49	AA	56,00	8,00	0	6,16	1,02	6,28	6,61	0,12	3,75	1,76	1h 46'
3/7/2008	182	50		8,00	12,00	0	9,24	1,04	9,61	10,12	0,12	3,75	2,70	2h 42'
4/7/2008	183	51	AK	20,00	8,00	0	6,16	1,06	6,53	6,87	0,12	3,75	1,83	1h 50'
5/7/2008	184	52		28,00	13,00	0	10,01	1,08	10,81	11,38	0,12	3,75	3,03	3h 02'
6/7/2008	185	53		41,00	13,00	0	10,01	1,10	11,01	11,59	0,12	3,75	3,09	3h 05'

7/7/2008	186	54	AK	O	54,00	13,00	0	10,01	1,10	11,01	11,59	0,12	3,75	3,09	3h 05'	
8/7/2008	187	55			13,00	12,00	0	9,24	1,10	10,16	10,70	0,12	3,75	2,85	2h 51'	
9/7/2008	188	56	AA		25,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
10/7/2008	189	57			34,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
11/7/2008	190	58	AK		42,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
12/7/2008	191	59		O	50,00	12,00	0	9,24	1,10	10,16	10,70	0,12	3,75	2,85	2h 51'	
13/7/2008	192	60			12,00	13,00	0	10,01	1,10	11,01	11,59	0,12	3,75	3,09	3h 05'	
14/7/2008	193	61	AK		25,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
15/7/2008	194	62			35,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
16/7/2008	195	63	AA		44,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
17/7/2008	196	64		O	53,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
18/7/2008	197	65	AK		9,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
19/7/2008	198	66			19,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
20/7/2008	199	67			29,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
21/7/2008	200	68	AK		38,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
22/7/2008	201	69			48,00	11,00	0	8,47	1,10	9,32	9,81	0,12	3,75	2,62	2h 37'	
23/7/2008	202	70	AA	O	59,00	12,00	0	9,24	1,10	10,16	10,70	0,12	3,75	2,85	2h 51'	
24/7/2008	203	71			12,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
25/7/2008	204	72	AK		21,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
26/7/2008	205	73			29,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
27/7/2008	206	74			38,00	7,00	12,50	10	5,39	1,10	-4,07	-4,29	0,12	3,75	-1,14	0h 00'
28/7/2008	207	75	AK		45,00	7,00	0	5,39	1,10	5,93	6,24	0,12	3,75	1,66	1h 40'	
29/7/2008	208	76			7,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
30/7/2008	209	77	AA		15,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
31/7/2008	210	78			24,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
1/8/2008	211	79	AK		33,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
2/8/2008	212	80			42,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
3/8/2008	213	81		O	50,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
4/8/2008	214	82	AK		10,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
5/8/2008	215	83			19,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
6/8/2008	216	84	AA		28,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
7/8/2008	217	85			37,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	

8/8/2008	218	86	AK	45,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
9/8/2008	219	87	0	54,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
10/8/2008	220	88		9,00	5,00	10,00	8	3,85	1,10	-3,77	-3,96	0,12	3,75	-1,06	0h 00'
11/8/2008	221	89	AK	14,00	6,00	0	4,62	1,10	5,08	5,35	0,12	3,75	1,43	1h 26'	
12/8/2008	222	90		20,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
13/8/2008	223	91	AA	28,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
14/8/2008	224	92		36,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
15/8/2008	225	93	AK	44,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
16/8/2008	226	94	0	53,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
17/8/2008	227	95		8,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
18/8/2008	228	96	AK	17,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
19/8/2008	229	97		27,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
20/8/2008	230	98	AA	37,00	8,00	0	6,16	1,10	6,78	7,13	0,12	3,75	1,90	1h 54'	
21/8/2008	231	99		45,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
22/8/2008	232	100	AK 0	54,00	9,00	0	6,93	1,10	7,62	8,02	0,12	3,75	2,14	2h 08'	
23/8/2008	233	101		9,00	10,00	0	7,70	1,10	8,47	8,92	0,12	3,75	2,38	2h 23'	
24/8/2008	234	102		19,00	9,00	0	6,93	1,08	7,48	7,88	0,12	3,75	2,10	2h 06'	
25/8/2008	235	103	AK	28,00	9,00	0	6,93	1,06	7,35	7,73	0,12	3,75	2,06	2h 04'	
26/8/2008	236	104		37,00	8,00	0	6,16	1,04	6,41	6,74	0,12	3,75	1,80	1h 48'	
27/8/2008	237	105	AA	45,00	9,00	0	6,93	1,02	7,07	7,44	0,12	3,75	1,98	1h 59'	
28/8/2008	238	106	0	53,00	9,00	0	6,93	1,00	6,93	7,29	0,12	3,75	1,95	1h 57'	
29/8/2008	239	107	AK	9,00	9,00	0	6,93	0,98	6,79	7,15	0,12	3,75	1,91	1h 54'	
30/8/2008	240	108		18,00	5,00	0	3,85	0,96	3,70	3,89	0,12	3,75	1,04	1h 02'	
31/8/2008	241	109		23,00	2,00	12,00	9,6	1,54	0,94	-8,15	-8,58	0,12	3,75	-2,29	0h 00'
1/9/2008	242	110	AK	25,00	4,50	0	3,47	0,92	3,19	3,36	0,12	3,75	0,89	0h 53'	
2/9/2008	243	111		29,50	4,50	0	3,47	0,90	3,12	3,28	0,12	3,75	0,88	0h 52'	
3/9/2008	244	112	AA	34,00	4,50	0	3,47	0,88	3,05	3,21	0,12	3,75	0,86	0h51'	
4/9/2008	245	113		38,50	4,50	0	3,47	0,86	2,98	3,14	0,12	3,75	0,84	0h 50'	
5/9/2008	246	114	AK	43,00	5,00	0	3,85	0,84	3,23	3,40	0,12	3,75	0,91	0h 55'	
6/9/2008	247	115		48,00	6,00	0	4,62	0,82	3,79	3,99	0,12	3,75	1,06	1h 04'	
7/9/2008	248	116	0	54,00	6,00	0	4,62	0,80	3,70	3,89	0,12	3,75	1,04	1h 02'	

8/9/2008	249	117	AK	6,00	6,00	0	4,62	0,78	3,60	3,79	0,12	3,75	1,01	1h 01'	
9/9/2008	250	118		12,00	7,00	0	5,39	0,76	4,10	4,31	0,12	3,75	1,15	1h 09'	
10/9/2008	251	119	ΑΛ	19,00	6,00	0	4,62	0,74	3,42	3,60	0,12	3,75	0,96	0h 58'	
11/9/2008	252	120		25,00	6,00	0	4,62	0,72	3,33	3,50	0,12	3,75	0,93	0h 56'	
12/9/2008	253	121	AK	31,00	7,00	0	5,39	0,70	3,77	3,97	0,12	3,75	1,06	1h 04'	
13/9/2008	254	122		38,00	7,00	0	5,39	0,68	3,67	3,86	0,12	3,75	1,03	1h 02'	
14/9/2008	255	123		45,00	7,00	0	5,39	0,66	3,56	3,74	0,12	3,75	1,00	1h 00'	
15/9/2008	256	124	AK	52,00	6,00	0	4,62	0,64	2,96	3,11	0,12	3,75	0,83	0h 50'	
16/9/2008	257	125		6,00	7,00	5,30	4,24	5,39	0,62	-0,90	-0,95	0,12	3,75	-0,25	0h 00'
17/9/2008	258	126	ΑΛ	13,00	7,00	0	5,39	0,60	3,23	3,40	0,12	3,75	0,91	0h 55'	
ΣΥΝΟΛΟ							49,80	39,84		649,59	683,93				

ΑΕ: Άρδευση Επιφανειακή

AK: Άρδευση με Καθαρό Νερό

ΑΛ: Άρδευση με Λύματα

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

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

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

Ισαποχή σειρών φυτών: $Sr = 0,80 \text{ m}$

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

- Άρδευση με Καθαρό νερό
- Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα

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 5.3

Στον ίδιο Πίνακα 5.3 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 αρδευτικούς μήνες.

Πίνακας 5.3. Τιμές δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης.

	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

Με βάση τα δεδομένα αυτά η διαδικασία υπολογισμού της πρακτικής δόσης άρδευσης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.4) 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.

Πίνακας 5.4 Θεωρητικός τρόπος υπολογισμού της δόσης, του εύρους και της διάρκειας άρδευσης (Σακελλαρίου, Μ., 1993).

	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	50,5	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 γραμμής σποράς: $St = 0,14 \text{ m}$

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

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

Από τον Πίνακα 5.4 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 34 αρδεύσεις στο διάστημα από 2/7/2008 έως 17/9/2008. Και οι δύο μεταχειρίσεις (Καθαρό, Λύμα) έλαβαν την ίδια ποσότητα νερού η οποία καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου A. 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 ΥΛ 100ΕΤ κάποια ποσότητα από τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκε με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

5.14 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v. 14.0. Έγινε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με one-way ANOVA 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 και της χλωρής και ξηρής βιομάζας τόσο ανά ημερομηνία μέτρησης, όσο και συνολικά.

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

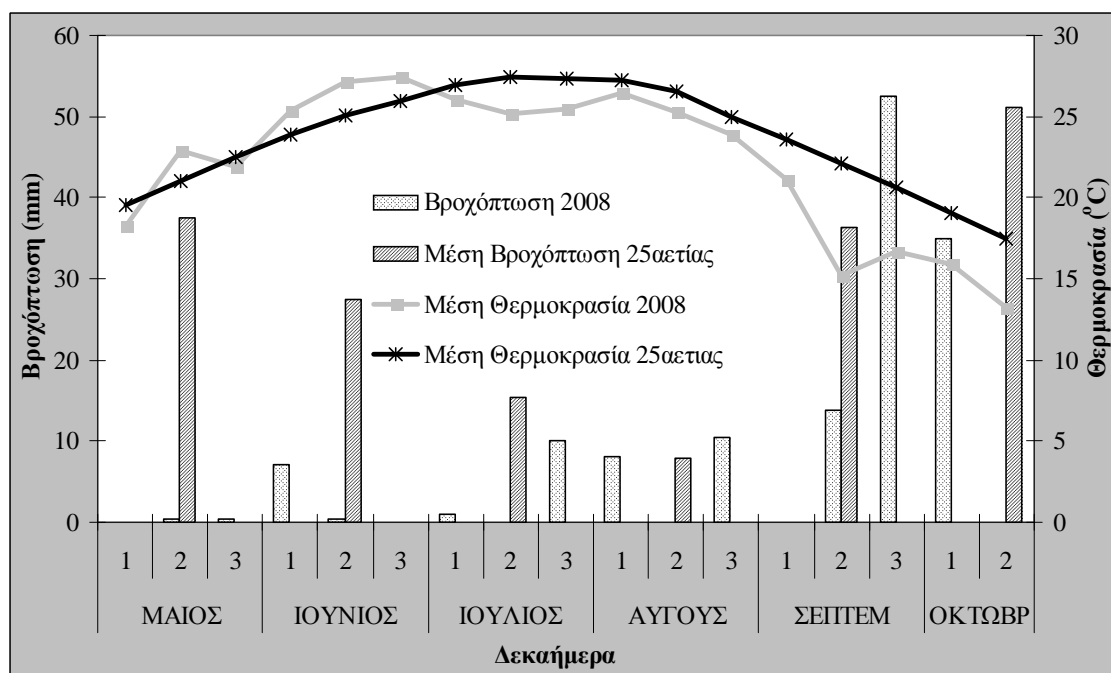
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Κλιματικά δεδομένα

6.1.1 Θερμοκρασία -Βροχόπτωση

Στο Σχήμα 6.1 φαίνονται η μέση θερμοκρασία και η ωφέλιμη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2008 καθώς και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων της τελευταίας 25αετίας.



Σχήμα 6.1: Μέσοι όροι θερμοκρασίας και βροχόπτωσης Μαΐου-Οκτωβρίου 2008 και των τελευταίων 25 ετών (ανά 10ήμερο).

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 6.1 οι βροχοπτώσεις από το 3^ο δεκαήμερο του Μαΐου έως το 2^ο δεκαήμερο του Ιουνίου αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος. Από τη σπορά (14/5/2008) έως και την έναρξη της άρδευσης (2/7/2008) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 10,00 mm. Συγκεκριμένα στις 9/6/2008 σημειώθηκε η βροχόπτωση με τη μεγαλύτερη ένταση (9,00mm)

Από την έναρξη (2/7/2008) μέχρι και τη λήξη των αρδεύσεων (17/9/2008) το ύψος της βροχόπτωσης ήταν συνολικά 37,80 mm.

Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος -Σεπτέμβριος), συνέβησαν πέντε βροχοπτώσεις αλλά σε κανένα το ύψος βροχής δεν ήταν μεγάλο. Μάλιστα, τα περισσότερα από αυτά το ύψος βροχής ήταν κάτω από 15 mm. Μεγαλύτερης έντασης βροχόπτωση ήταν εκείνη που σημειώθηκε στις 27/07/2008 (12,50 mm).

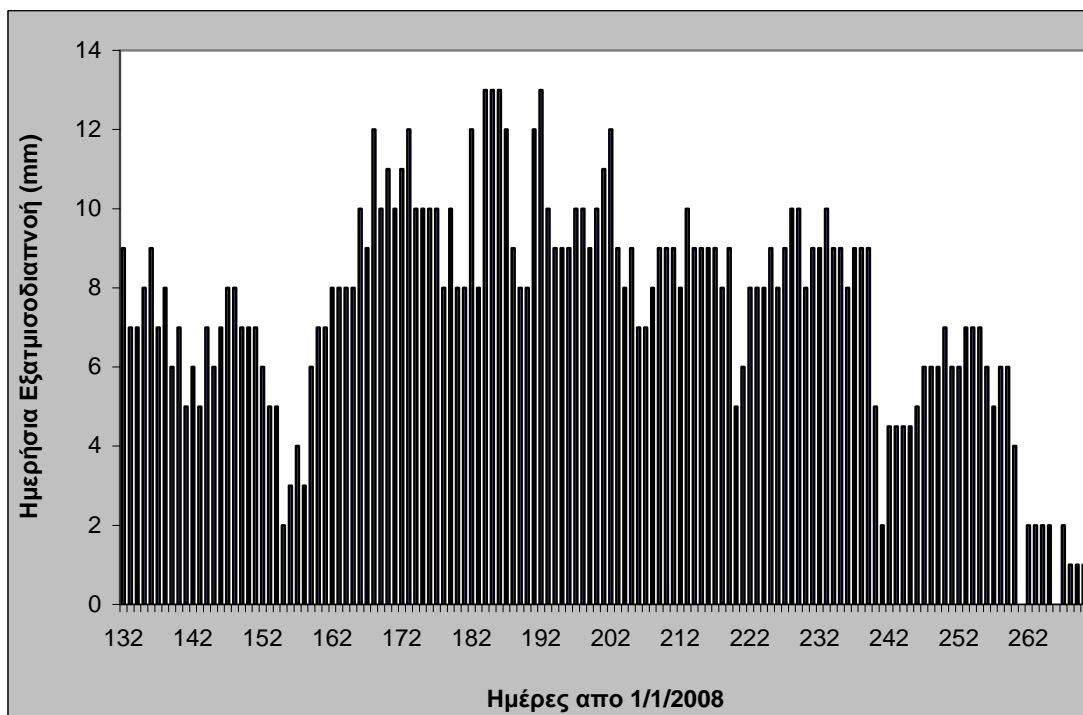
Από τη λήξη των αρδεύσεων (17/9/2008) μέχρι και την τελευταία κοπή (31/10/2008) για τον προσδιορισμό της βιομάζας η βροχόπτωση ήταν συνολικά 176,70mm, με μεγαλύτερης έντασης εκείνη που σημειώθηκε στις 19/09/2008 (52,40 mm).

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.

6.1.2 Εξατμισοδιαπνοή

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα με μέσες θερμοκρασίες 24ωρου που ξεπερνούσαν τους 25 °C (Σχήμα 6.1). Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν έντονη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2 Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή τις καλλιέργειας

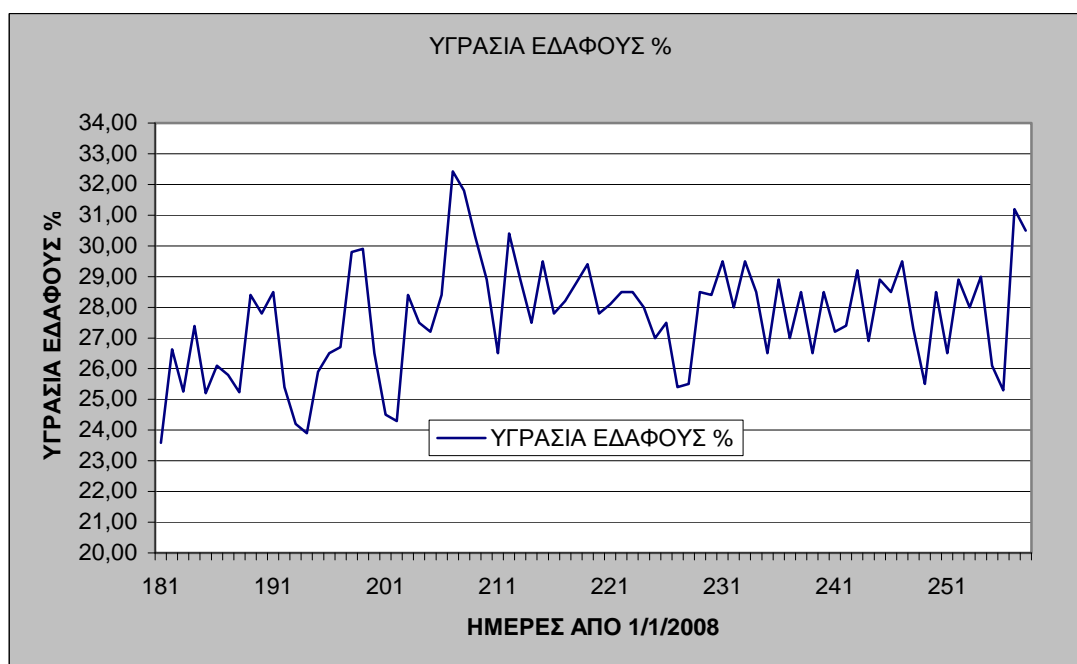
Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 13,00 mm στις 6/7/2008 (185 ημέρες από 01/01/2008), χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης καθόλου ή μικρή βροχόπτωση. Από τις 30/8/2008 (240 ημέρες από 01/01/2008) και μετά η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σταδιακά μειωνόταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της εποχής.

6.2 Υγρασία Εδάφους

Ο κατάλληλος συγχρονισμός της άρδευσης και η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού μπορεί να μεγιστοποιήσει την παραγωγή των καλλιεργειών ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους ασθενειών, τη χρήση λιπασμάτων και τη χρήση νερού.

Το σόργο έχει ένα βαθύ ριζικό σύστημα που μπορεί να απορροφήσει αποτελεσματικά το νερό από αρκετά μεγάλο βάθος, εφόσον δεν υπάρχουν αδιαπέρατοι ορίζοντες στο εδαφικό προφίλ. Συνεπώς η άρδευση μπορεί να είναι ελάχιστη, αν το νερό είναι επαρκώς διαθέσιμο κοντά στη ζώνη του ριζοστρώματος.

Η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας επί της εκατό, κατά μέσο όρο στο σύνολο του εδαφικού προφίλ και των δύο μεταχειρίσεων, για τις ημερομηνίες που εφαρμόστηκε Υ.Σ.Α. φαίνεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3 Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στο σύνολο του εδαφικού προφίλ και των δύο μεταχειρίσεων

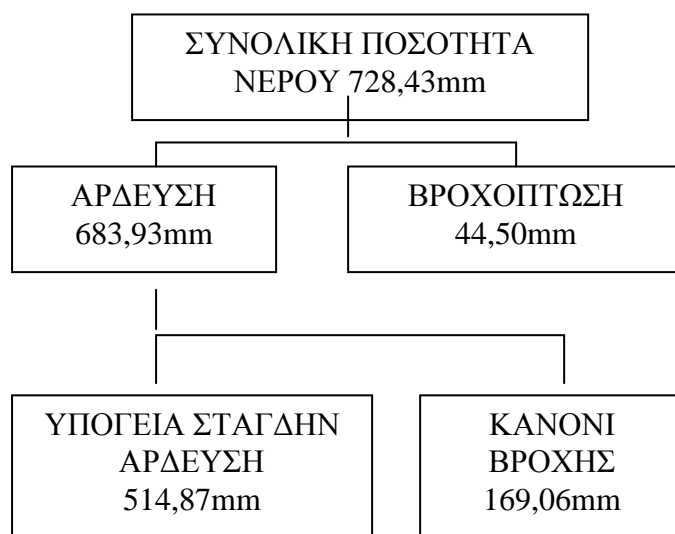
Η διατήρηση των τιμών της εδαφικής υγρασίας πλησίον της τιμής της υδατοικανότητας, παράλληλα με την ικανοποίηση μέρους των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και σε συνδυασμό και με της υψηλές τιμές παραγωγικότητας, επιβεβαιώνει τον κανόνα της ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονομήσεις αρδευτικού νερού με τη χρήση υπόγειας στάγδην άρδευσης και επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση.

Ενδιαφέρον επίσης, παρουσιάζουν και οι παρατηρήσεις που έγιναν στο αγρό, σχετικά με την παρουσία ζιζανίων στα πειραματικά τεμάχια και των δύο μεταχειρίσεων και επίσης με το γεγονός ότι δεν σημειώθηκε καμία σημαντική προσβολή από ασθένειες. Στα αποτελέσματα αυτά προφανώς συντέλεσε το γεγονός ότι λόγω της υπόγειας στάγδην άρδευσης, τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους παρέμεναν ξηρά. Αν ληφθεί υπόψη ότι η ζιζανιοκτονία και οι εφαρμογές φυτοπροστατευτικών ουσιών, κατέχουν ένα μεγάλο ποσοστό στο κόστος οποιασδήποτε καλλιέργειας, για ακόμη μία φορά αναδεικνύεται η υπεροχή της

Υ.Σ.Α. έναντι όλων των άλλων παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης.

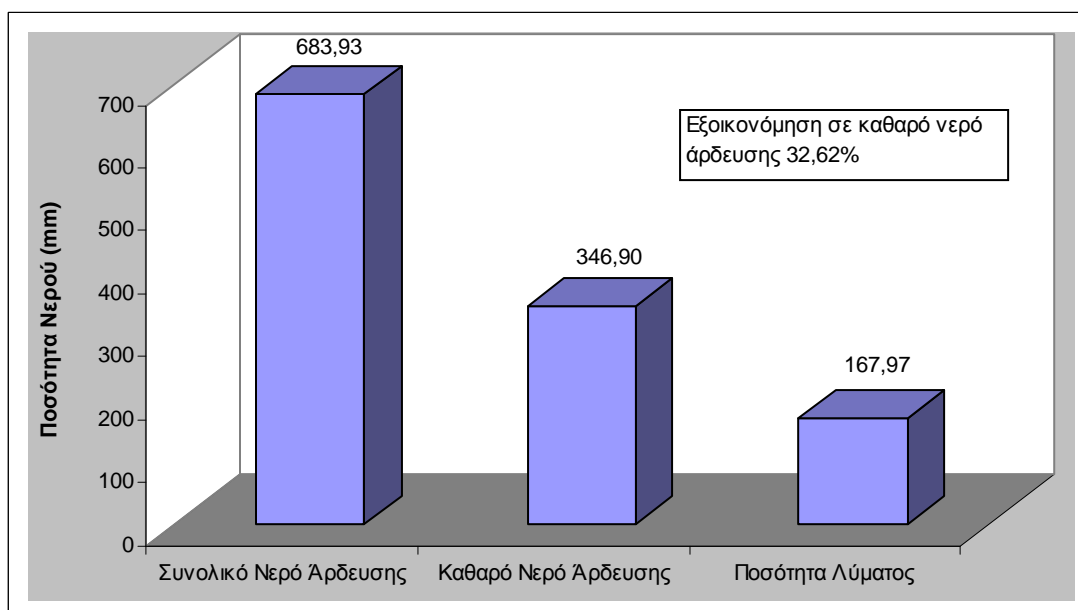
6.3 Εξοικονόμηση νερού

Η συνολική ποσότητα νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, κατά την αρδευτική περίοδο, καθώς και οι μέθοδοι με τους οποίους δόθηκε αυτό συνοψίζονται στο Σχήμα 6.4



Σχήμα 6.4 Συνολικό νερό που δέχθηκε η καλλιέργεια και τρόποι λήψης του.

Η συνολική ποσότητα νερού που χορηγήθηκε από την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις οι οποίες δέχτηκαν το 100% των υπολογιζόμενων καθαρών αναγκών σε νερό είναι 683,93 mm. Από αυτά, τα 514,87 mm χορηγήθηκαν από το σύστημα της υπόγειας στάγδην άρδευσης κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου 2/7 έως 17/9 ενώ τα υπόλοιπα 169,06 mm νερού χορηγήθηκαν με καταιονισμό για το φύτρωμα της καλλιέργειας.



Σχήμα 6.5 Συνολικό νερό που εφαρμόστηκε με άρδευση, καθαρό αρδευτικό νερό με ΥΣΑ και ποσότητα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με ΥΣΑ.

Η ημέρα με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας ήταν η 13^η Ιουλίου κατά την οποία χορηγήθηκε νερό 11,59 mm. Η ποσότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που χορηγήθηκε συνολικά στη μεταχείριση του "λύματος" ήταν ίση με 167,97 mm. Έτσι επιτεύχθηκε μια εξοικονόμηση της τάξεως του 32,62% σε καθαρό αρδευτικό νερό (Σχήμα 6.5).

Η αποδοτικότητα άρδευσης, όσον αφορά στην ξηρή βιομάζα που παράχθηκε, για την μεταχείριση ΥΚ 100ΕΤ ήταν 5,32 kg/στρ./mm ή 0.18 mm/kg/στρ. ενώ για την μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ ήταν 5,34 kg/στρ./mm ή 0.19 mm/kg/στρ. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι πάρα πολύ μικρή, που σημαίνει ότι τόσο η μεταχείριση που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό όσο και η μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, αξιοποίησαν σχεδόν το ίδιο αποδοτικά το νερό που τους χορηγήθηκε.

6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου

6.4.1 Ύψος φυτών

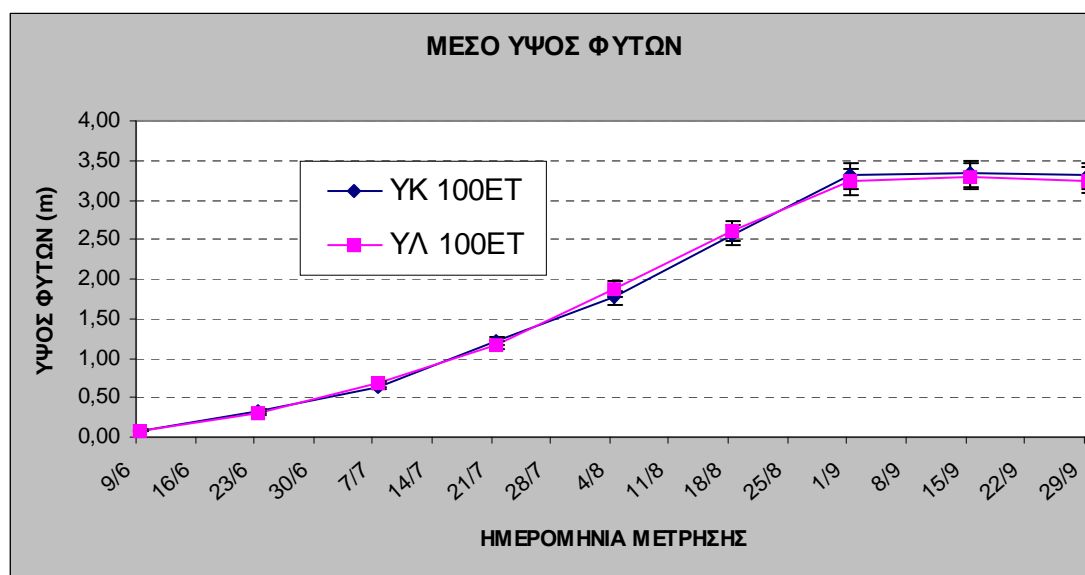
Οι μετρήσεις του ύψους των φυτών πραγματοποιήθηκαν από τις 9/6/2008 μέχρι τις 29/9/2008. Στο Σχήμα 6.6 και 6.7 φαίνεται ότι, το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδεύονταν μόνο με καθαρό

νερό έφτασε τα 3,34m ενώ το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδεύονταν με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έφτασε τα 3,25m.

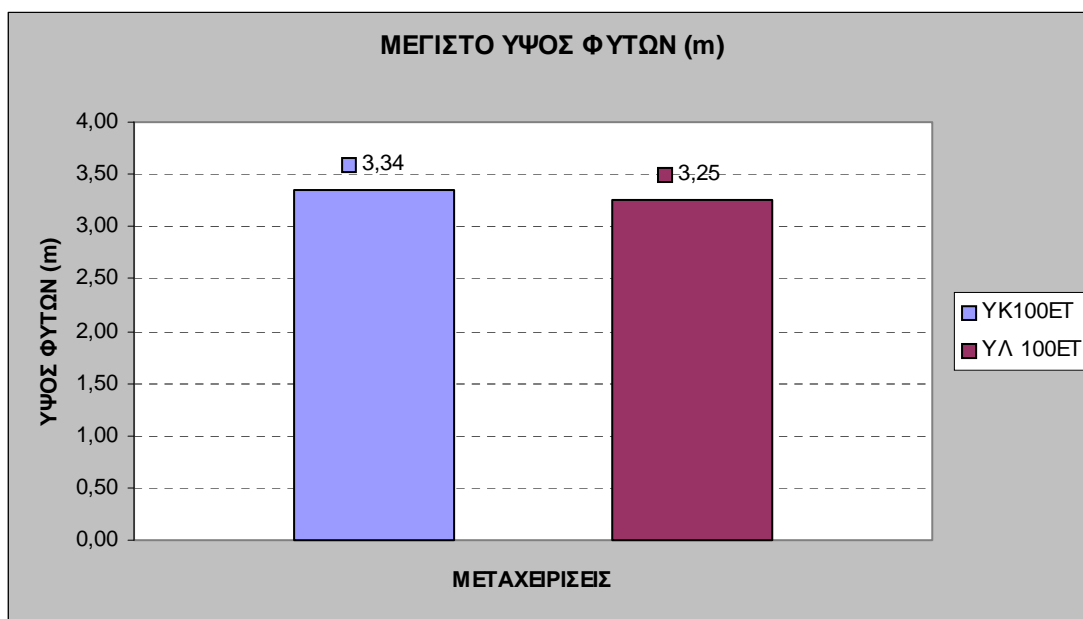
Από τις 9/6/2008 έως και τις 14/7/2008 η μεταβολή του ύψους στις δυο μεταχειρίσεις ήταν παρόμοια λόγω της ομοιόμορφης άρδευσης με καταιονισμό και της ομοιόμορφης σποράς.

Όμως, από τις 21/7/2008 έως και τις 18/8/2008 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 26/8/2008 έως τις 29/9/2008 η μεταχείριση που αρδεύονταν μόνο με καθαρό νερό υπερέιχε 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 6.6 Μέσο ύψος φυτών σόργου και στις δύο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 6.7 Μέγιστο ύψος φυτών σόργου και στις δύο μεταχειρίσεις.

Κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου, 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.

Τελικά, από τους Πίνακες 6.1, 6.2 και 6.3 όπως και από το σχήμα 6.6 βλέπουμε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο του 0,05 για το ύψος των φυτών ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις τόσο μεταξύ των μετρήσεων όσο και συνολικά, καθώς επίσης και των μέγιστων τιμών τους αντίστοιχα.

Πίνακας 6.1 Μέσος όρος (M.O.) και Σημαντικότητα (Significance) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του ύψους φυτών στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	SIGNIFICANCE
Ύψος φυτών (m)	1η μέτρηση			0,549
	9/6	YK 100ET	0,08	
		YΛ 100ET	0,09	
	2η μέτρηση			0,800
	23/6	YK 100ET	0,33	
		YΛ 100ET	0,31	
3η μέτρηση				0,368
7/7	YK 100ET	0,65		

	ΥΛ 100ET	0,68	
4η μέτρηση			0,332
21/7	ΥΚ 100ET	1,22	
	ΥΛ 100ET	1,17	
5η μέτρηση			0,540
4/8	ΥΚ 100ET	1,77	
	ΥΛ 100ET	1,88	
6η μέτρηση			0,430
18/8	ΥΚ 100ET	2,56	
	ΥΛ 100ET	2,60	
7η μέτρηση			0,099
1/9	ΥΚ 100ET	3,31	
	ΥΛ 100ET	3,18	
8η μέτρηση			0,058
15/9	ΥΚ 100ET	3,34	
	ΥΛ 100ET	3,24	
9η μέτρηση			0,060
29/9	ΥΚ 100ET	3,31	
	ΥΛ 100ET	3,25	

* Ημερομηνία μέτρησης

** Ημέρες από τη σπορά

Πίνακας 6.2 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) του ύψους φυτών (m) των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

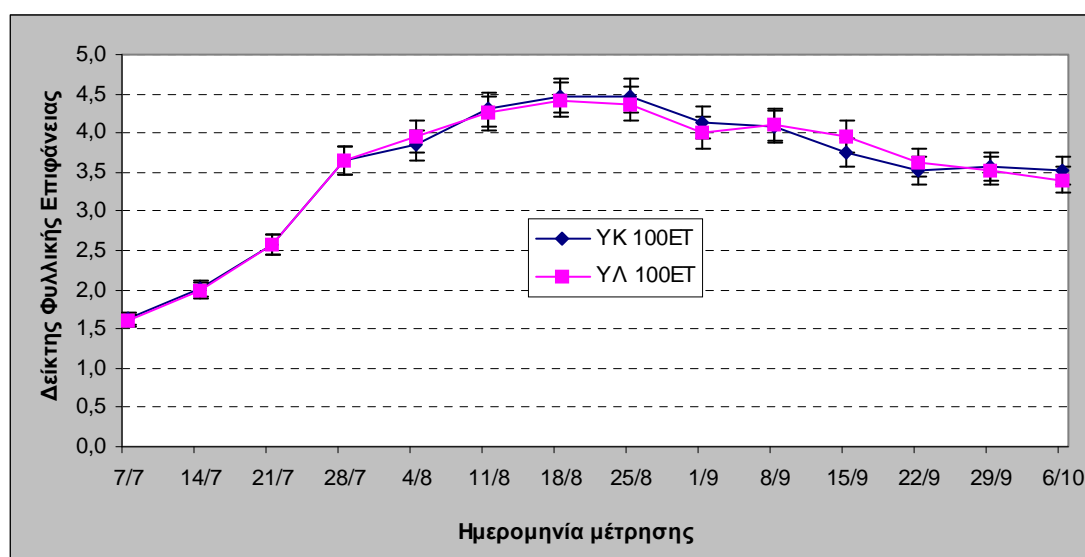
	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Ύψος φυτών (m)	ΥΚ 100ET	1,84	0,994
	ΥΛ 100ET	1,83	

Πίνακας 6.3 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) του μέγιστου ύψους φυτών (m) των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Μέγιστο ύψος φυτών (m)	ΥΚ 100ET	3,34	0,097
	ΥΛ 100ET	3,25	

6.4.2 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 6.8 οι μεταβολές στο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (ΔΦΕ), δίνουν υπεροχή πότε στη μία και πότε στην άλλη μεταχείριση. Στη μέτρηση της 28/7, 4/8, 8/9, 15/9 και 22/9 οι τιμές του ΔΦΕ (LAI) ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του λύματος ενώ στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 11/8, 18/8, 25/8, 1/9, 29/9 και 6/10 οι τιμές του ΔΦΕ ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του καθαρού νερού.



Σχήμα 6.8 Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Από το σύνολο 14 μετρήσεων διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη τιμή του ΔΦΕ για τη μεταχείριση του καθαρού νερού παρατηρείται στην 8^η μέτρηση (25/8/2008), ενώ η ελάχιστη στην 14^η μέτρηση (6/10/2008).

Για τη μεταχείριση του λύματος η μέγιστη τιμή του ΔΦΕ παρατηρείται στις 18/8/2008 και η ελάχιστη στις 6/10/2008.

Επίσης, οι μεταχειρίσεις έχουν τη μέγιστη φυλλική τους επιφάνεια περίπου την ίδια χρονική περίοδο. Ενώ μία κάμψη στην ανάπτυξη του ΔΦΕ παρουσιάζεται στην 5^η μέτρηση (4/8/2008) και στις δύο μεταχειρίσεις, που προφανώς οφείλεται στην επίδραση στο φύλλωμα των πολύ υψηλών θερμοκρασιών ημέρας που επικράτησαν εκείνη την περίοδο.

Από τις 25/8 και ως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου 6/10 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, για το σύνολο των μετρήσεων και της μέγιστης τιμής του δίνονται στους Πίνακες 6.4, 6.5 και 6.6 αντίστοιχα. Όπως προκύπτει και από το Σχήμα 6.8 δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας του 0,05 στο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (ΔΦΕ), στο σύνολο των 14 μετρήσεων.

Πίνακας 6.4 Μέσος όρος (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	SIGNIFICANCE
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	1η μέτρηση			0,780
	7/7*	ΥΚ 100ΕΤ	1,63	
	(54)**	ΥΛ 100ΕΤ	1,60	
	2η μέτρηση			0,816
	14/7	ΥΚ 100ΕΤ	2,03	
	(61)	ΥΛ 100ΕΤ	2,00	
	3η μέτρηση			1,000
	21/7	ΥΚ 100ΕΤ	2,58	
	(68)	ΥΛ 100ΕΤ	2,58	
	4η μέτρηση			1,000
	28/7	ΥΚ 100ΕΤ	3,65	
	(75)	ΥΛ 100ΕΤ	3,65	
	5η μέτρηση			0,315
	4/8	ΥΚ 100ΕΤ	3,85	
	(82)	ΥΛ 100ΕΤ	3,95	
	6η μέτρηση			0,537
	11/8	ΥΚ 100ΕΤ	4,30	
	(89)	ΥΛ 100ΕΤ	4,25	
	7η μέτρηση			0,722
	18/8	ΥΚ 100ΕΤ	4,48	
	(96)	ΥΛ 100ΕΤ	4,43	
8η μέτρηση			0,483	
25/8	ΥΚ 100ΕΤ	4,48		
(103)	ΥΛ 100ΕΤ	4,38		
9η μέτρηση			0,271	
1/9	ΥΚ 100ΕΤ	4,13		
(110)	ΥΛ 100ΕΤ	4,00		
10η μέτρηση			0,855	
8/9	ΥΚ 100ΕΤ	4,08		
(117)	ΥΛ 100ΕΤ	4,10		
11η μέτρηση			0,071	

15/9	ΥΚ 100ΕΤ	3,70	
(124)	ΥΛ 100ΕΤ	3,95	
12η μέτρηση			0,253
22/9	ΥΚ 100ΕΤ	3,53	
(131)	ΥΛ 100ΕΤ	3,63	
13η μέτρηση			0,390
29/9	ΥΚ 100ΕΤ	3,58	
(138)	ΥΛ 100ΕΤ	3,53	
14η μέτρηση			0,147
6/10	ΥΚ 100ΕΤ	3,53	
(145)	ΥΛ 100ΕΤ	3,35	

* Ημερομηνία μέτρησης

** Ημέρες από τη σπορά

Πίνακας 6.5 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)	ΥΚ 100ΕΤ	3,54	0,974
	ΥΛ 100ΕΤ	3,53	

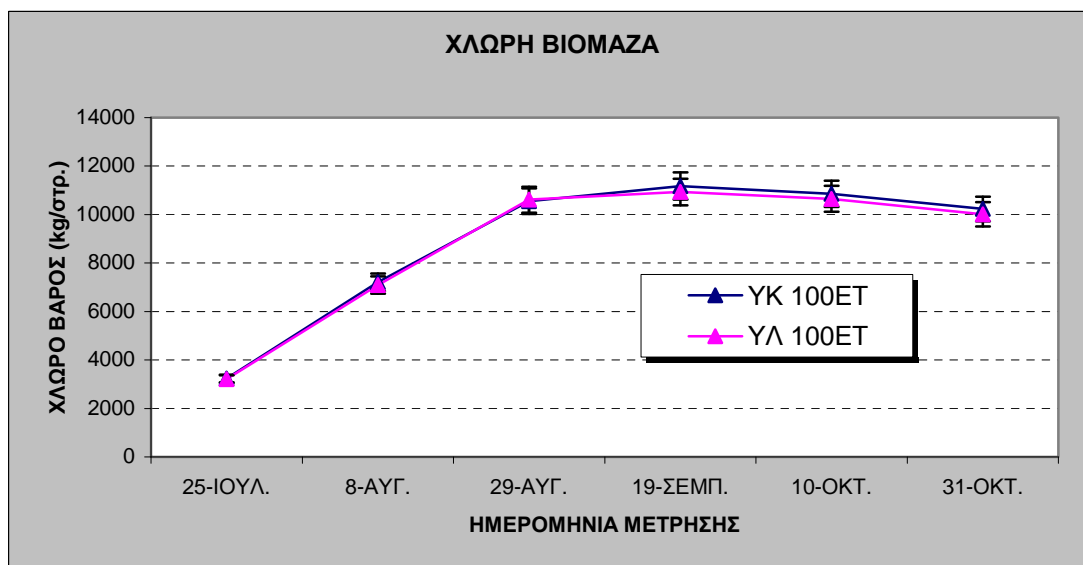
Πίνακας 6.6 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των δύο μεταχειρίσεων των μέγιστων τιμών τους.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Μέγιστος Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)	ΥΚ 100ΕΤ	4,48	0,722
	ΥΛ 100ΕΤ	4,43	

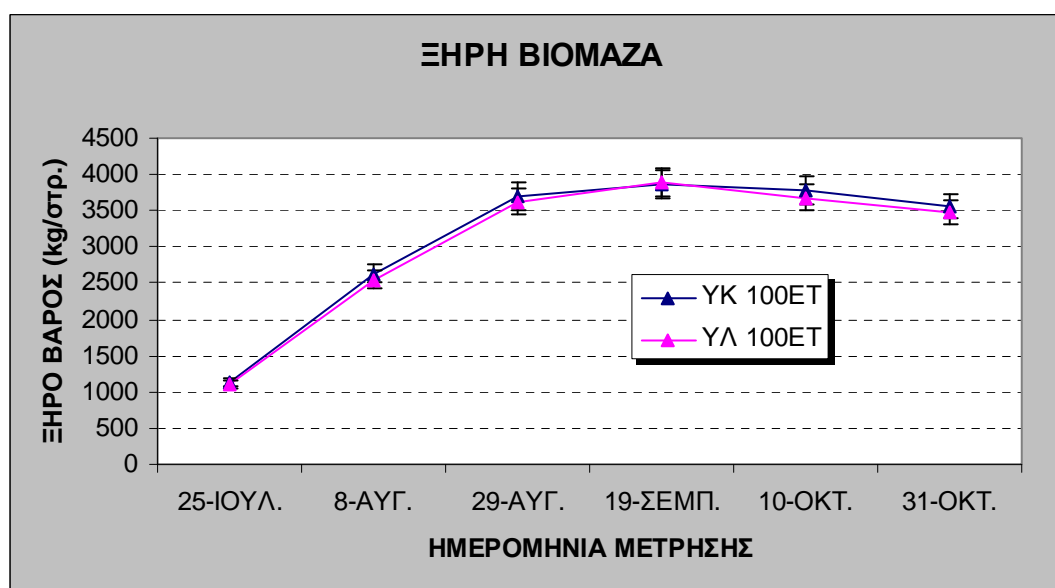
6.4.3 Χλωρή – ξηρή βιομάζα

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 6.9 και 6.10, για τις δύο μεταχειρίσεις, η χλωρή και ξηρή βιομάζα αυξάνεται από την 1η(25/7/2008) μέχρι και την 4η κοπή (19/9/2008) ενώ στην 5η κοπή (10/10/2008) παρατηρείται μείωση της παραγωγής τόσο σε χλωρή όσο και σε ξηρή βιομάζα. Πέραν αυτής της ημερομηνίας, κρίθηκε ως μη

απαραίτητη η διερεύνηση της εξέλιξης της χλωρής και ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.



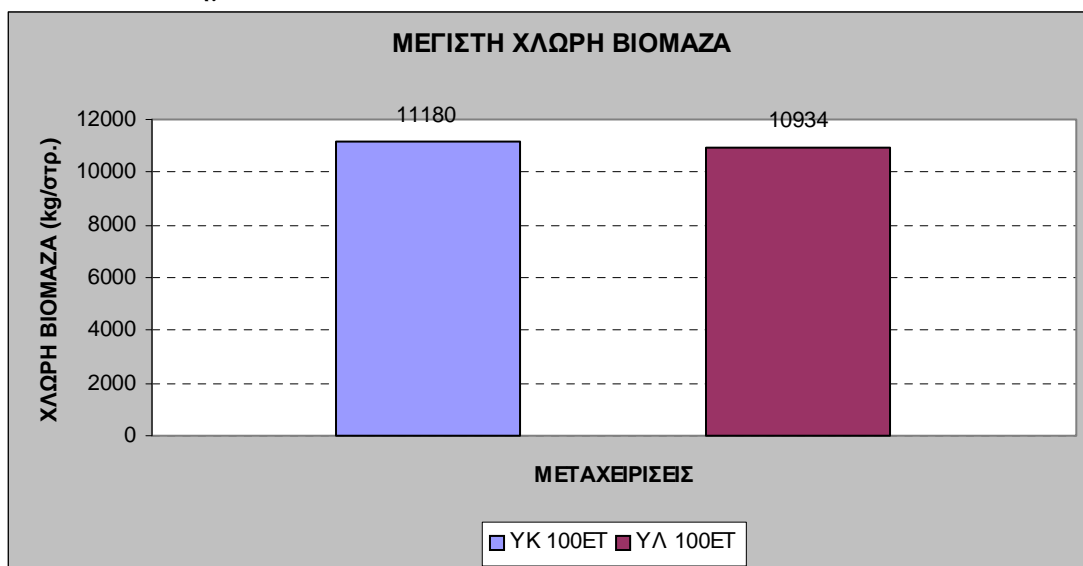
Σχήμα 6.9 Διακύμανση της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.



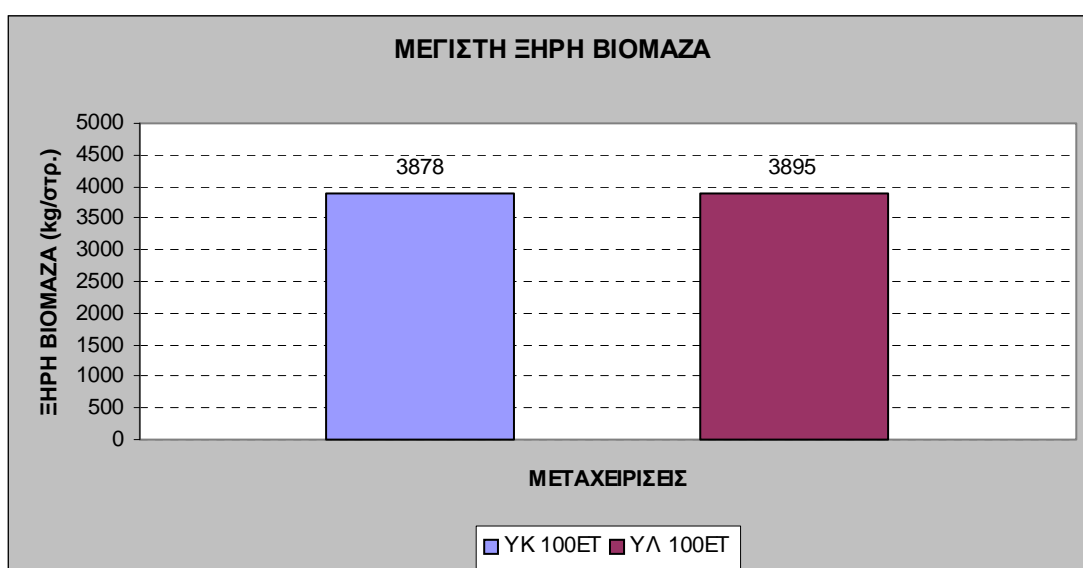
Σχήμα 6.10 Διακύμανση της ξηρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις που επιτεύχθηκαν στην κοπή της 19/9/2006 (4η κοπή), αντιστοιχούν σε 10,934 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,895 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση YΛ 100ET και 11,180 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,878 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση YK 100ET (Σχήμα 6.11 και 6.12). Το αξιοσημείωτο σε

αυτό το σημείο είναι η μεγαλύτερη μέγιστη ξηρή βιομάζα στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ από την ΥΚ 100ΕΤ, σε αντίθεση με τις μέγιστες αντίστοιχες τιμές τους σε χλωρή βιομάζα χωρίς βέβαια αυτή να διαφέρει στατιστικά σημαντικά στο επίπεδο του 0,05.



Σχήμα 6.11 Μέγιστη χλωρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις (19/9/2008)



Σχήμα 6.12 Μέγιστη ξηρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις (19/9/2008)

Γενικά, οι μέγιστες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, για το σύνολο των μεταχειρίσεων, επιτυγχάνονται περί τα μέσα με τέλη Σεπτεμβρίου ακολουθώντας τις αντίστοιχες μέγιστες αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα. Σημειώνεται ότι και στις δύο μεταχειρίσεις η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκε σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Η τελική παραγωγή ξηρής βιομάζας έπεσε στους 3,478 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και στους 3,563 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό (0,417 t/στρέμμα για τη μεταχείριση του λύματος και 0,315 t/στρέμμα για τη μεταχείριση του καθαρού νερού χαμηλότερα από τη μέγιστη τιμή τους που επιτεύχθηκε περίπου σαράντα ημέρες νωρίτερα). Αξιοσημείωτο πάντως είναι το γεγονός ότι η μείωση στην ΥΚ 100ΕΤ μεταχείριση είναι μικρότερη σε σχέση με τη μείωση στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ.

Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στο επίπεδο του 0,05 μεταξύ των ημερομηνιών κοπής, συνολικά και των μέγιστων τιμών τους τόσο στην χλωρή όσο και στην ξηρή βιομάζα τους (πίνακες 6.7, 6.8 και 6.9) και (πίνακες 6.10, 6.11 και 6.12) αντίστοιχα.

Πίνακας 6.7. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	SIGNIFICANCE
Χλωρή βιομάζα (kg/στρ.)	1η μέτρηση - κοπή			0,861
	25/7	ΥΚ 100ΕΤ	3235	
		ΥΛ 100ΕΤ	3205	
	2η μέτρηση - κοπή			0,069
	8/8	ΥΚ 100ΕΤ	7205	
		ΥΛ 100ΕΤ	7093	
	3η μέτρηση - κοπή			0,138
	29/8	ΥΚ 100ΕΤ	10553	
		ΥΛ 100ΕΤ	10613	
	4η μέτρηση - κοπή			0,110
	19/9	ΥΚ 100ΕΤ	11180	
		ΥΛ 100ΕΤ	10935	
	5η μέτρηση - κοπή			0,216
	10/10	ΥΚ 100ΕΤ	10861	
		ΥΛ 100ΕΤ	10650	
	6η μέτρηση - κοπή			0,426

	31/10	ΥΚ 100ΕΤ	10230
		ΥΛ 100ΕΤ	10010

* Ημερομηνία μέτρησης

** Ημέρες από τη σπορά

Πίνακας 6.8 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) της χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Χλωρή βιομάζα (kg/στρ.)	ΥΚ 100ΕΤ	8877	0,945
	ΥΛ 100ΕΤ	8751	

Πίνακας 6.9 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) της χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων των μέγιστων τιμών τους.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Μέγιστη Χλωρή βιομάζα (kg/στρ.)	ΥΚ 100ΕΤ	11180	0,110
	ΥΛ 100ΕΤ	10934	

Πίνακας 6.10 Μέσος όρος (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της ξηρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	SIGNIFICANCE
Ξηρή βιομάζα (kg/στρ.)	1η μέτρηση - κοπή			0,595
	10/7	ΥΚ 100ΕΤ	1133	
		ΥΛ 100ΕΤ	1100	
	2η μέτρηση - κοπή			0,079
	31/7	ΥΚ 100ΕΤ	2633	
		ΥΛ 100ΕΤ	2548	
	3η μέτρηση -κοπή			0,059
	18/8	ΥΚ 100ΕΤ	3700	
		ΥΛ 100ΕΤ	3625	
	4η μέτρηση - κοπή			0,652
	8/9	ΥΚ 100ΕΤ	3878	

	ΥΛ 100ΕΤ	3895	
5η μέτρηση - κοπή			0,122
26/9	ΥΚ 100ΕΤ	3780	
	ΥΛ 100ΕΤ	3685	
6η μέτρηση - κοπή			0,268
7/10	ΥΚ 100ΕΤ	3563	
	ΥΛ 100ΕΤ	3478	

Πίνακας 6.11 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) της ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Ξηρή βιομάζα (kg/στρ.)	ΥΚ 100ΕΤ	3114	0,925
	ΥΛ 100ΕΤ	3055	

Πίνακας 6.12 Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και Σημαντικότητα (Significance) της ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων των μέγιστων τιμών τους.

	Μεταχείριση	Μέσος όρος	SIGNIFICANCE
Μέγιστη ξηρή βιομάζα (kg/στρ.)	ΥΚ 100ΕΤ	3878	0,652
	ΥΛ 100ΕΤ	3895	

Τελικά, με τη μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας με την μορφή ξηρού στερεού καυσίμου να αντιστοιχεί σε 0,45 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (θερμική αξία περί τα 19 MJ/kg), δηλαδή 2 κιλά πελλέτας ισοδυναμούν με λίγο λιγότερο από 1 λίτρο πετρελαίου (GreenDream 2009), η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση ΥΚ 100ΕΤ, είναι 3,878 t/στρέμμα, που αντιστοιχεί σε 1,745 ΤΙΠ ενώ η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ, είναι 3,895 t/στρέμμα, και αντιστοιχεί σε 1,752 ΤΙΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

1. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορεί να αποτελέσουν μια ελπιδοφόρα λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού σε περιοχές όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού, με τη χρησιμοποίησή τους για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, όπως είναι το σόργο αφού δεν επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη και παραγωγή του. Η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών έχει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (εξοικονόμηση νερού, λύση του προβλήματος διάθεσης των αποβλήτων κλπ). Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων λοιπόν, αποτελεί έναν τομέα στον οποίο θα πρέπει να δοθεί η ανάλογη προσοχή ενόψει των μεγάλων αλλαγών που συντελούνται τα τελευταία χρόνια γύρω από το θέμα της βιώσιμης διαχείρισης υδατικών πόρων.
2. Βασική προϋπόθεση είναι να γίνεται παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων καθώς και του μικροβιακού φορτίου των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με τις πλέον κατάλληλες και οικονομικά προσιτές μεθόδους χημικής ανάλυσης. Οι χημικές ιδιότητες αποσκοπούν στην επιλογή της μεθόδου άρδευσης, για την αποφυγή υγειονομικών κινδύνων.
3. 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 εναλλαγή 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., 2002). 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.
4. Οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση) που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια του θέρους του 2008 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.

5. 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 προαναφερθείσες παραμέτρους θα επιλεγεί η εκάστοτε καλλιέργεια αλλά και η μέθοδος άρδευσης της.
6. Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος της έρευνας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις σε όλες 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. 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 φρέσκου νερού και λυμάτων.
7. Η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι η πλέον επικρατέστερη μεταξύ των σύγχρονων και των παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων, και μάλιστα με την πιο ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού. Αυτό οφείλεται στην άμεση διοχέτευση του αρδευτικού νερού απευθείας στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω εξάτμισης, καθώς επίσης και στη διατήρηση ικανοποιητικών τιμών εδαφικής υγρασίας (πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας) μετά το πέρας της κάθε εφαρμογής και για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα.
8. Η χορήγηση αρδευτικού νερού συμπληρωματικά ακόμα και στις χαμηλών απαιτήσεων καλλιέργειες για την κάλυψη των αναγκών σε εξάτμισοδιαπνοή, κρίνεται αναγκαία για την επίτευξη υψηλής ανάπτυξης και παραγωγικότητας.
9. Ο σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων σε συνδυασμό με τις συνεχείς μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας καθώς και οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του θέρους δεν διέκοψαν την αναπτυξιακή διαδικασία της καλλιέργειας, αντίθετα

- επιτεύχθηκαν μέγιστοι ρυθμοί ανάπτυξης και υψηλές τιμές σε παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας.
10. Οι μεγάλες αποδόσεις της καλλιέργειας, σε βιομάζα 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 αιεφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών, προσδίδοντας ένα επιπλέον στρατηγικό πλεονέκτημα στην οικοδόμηση μιας σύγχρονης και συνεχώς εξελισσόμενης Ελληνικής γεωργίας σε Ευρωπαϊκά πλαίσια.
 11. Η ποσότητα των επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων που χορηγήθηκε συνολικά στη μεταχείριση ΥΛ 100ΕΤ ήταν ίση με 167,97mm. Επιτεύχθηκε έτσι, μια εξοικονόμηση της τάξης του 32,62% 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 στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων που μελετήθηκαν.
 12. Το κέρδος θα ήταν μεγαλύτερο, αν στην εξοικονόμηση λόγω της χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, συνυπολογιστεί και το 20 % της ποσότητας νερού που θα εξοικονομούνταν αν η δόση άρδευσης ήταν μειωμένη. Με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης, δύναται η δυνατότητα μείωσης της δόσης άρδευσης σε ποσοστό 20%, σε σχέση με άλλες μεθόδους άρδευσης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ελληνική γεωργία, λόγω της ελαχιστοποίησης των απωλειών από επιφανειακή εξάτμιση καθώς επίσης και λόγω της άμεσης διοχέτευσης του αρδευτικού νερού στο ενεργό τμήμα του ριζοστρώματος. Με τη μείωση της δόσης άρδευσης στην υπόγεια στάγδην άρδευση μπορούμε να κατανοήσουμε πόσο σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων θα μπορούσε να επιτύχει ένας παραγωγός όσον αφορά το κοστολόγιο νερού. Αντισταθμίζεται έτσι σε σημαντικό βαθμό και η διαφορά σε αξία αγοράς και τοποθέτησης των υλικών άρδευσης της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε σχέση με τις επιφανειακές.
 13. Η αποδοτικότητα άρδευσης για τη μεταχείριση του "καθαρού νερού" ήταν $5,32\text{kg στρ.}^{-1}\text{ mm}^{-1}$ ή $0,18\text{mm kg}^{-1}\text{ στρ.}^{-1}$ ενώ για τη μεταχείριση "του Λύματος" ήταν $5,34\text{kg στρ.}^{-1}\text{ mm}^{-1}$ ή $0,19\text{mm kg}^{-1}\text{ στρ.}^{-1}$. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι πάρα πολύ μικρή, που σημαίνει ότι τόσο η μεταχείριση που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό

όσο και η μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αξιοποίησαν σχεδόν το ίδιο αποδοτικά το νερό που τους χορηγήθηκε.

14. Ενθάρρυνση του συνδυασμού υπόγειας στάγδην άρδευσης και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντικές χρήσεις στη γεωργία λόγω της εξοικονόμησης καθαρού αρδευτικού νερού, της ελαχιστοποίησης ενεργειακών εισροών, της επίτευξης υψηλού βαθμού προστασίας τόσο για τους αγρότες όσο και για τους καταναλωτές σε συνδυασμό με την μη ύπαρξη ανάγκης για τριτοβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Αγγελάκης, Α., 2000.** Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία, Τεύχος 1(14) Ιούλιος - Σεπτέμβριος 2000. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
2. **Αγγελάκης, Α. Ν., 1994.** Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αστικών υγρών αποβλήτων στα πλαίσια ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. In: Επιστήμες και περιβάλλον στα τέλη του αιώνα: προβλήματα και προοπτικές, Δ. Ρόκος (Ed.), Εναλλακτικές Εκδόσεις, pp. 345-358.
3. **Αγγελάκης, Α. Ν., και Τσομπανόγλου, Γ., 1995.** Υγρά Απόβλητα: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο.
4. **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.
5. **Ανδρεαδάκης, Α. Δ., Ε. Γαβαλάκη, Δ. Μάμας, Κ. Νουτσόπουλος και Α. Τζήμας, 2003.** Πρόταση κατάρτισης Ποιοτικών Ορίων και Προδιαγραφών Επαναχρησιμοποίησης Λυμάτων στην Ελλάδα. Ανάκτηση και Επαναχρησιμοποίηση Λυμάτων. Θεσσαλονίκη.
6. **Βακάλης Π.Σ. και Τσαντήλας Χ.Δ., 2002.** Επίδραση άρδευσης βαμβακιού και καλαμποκιού με αστικά απόβλητα στο γεωργικό εισόδημα. Αγροτική Έρευνα. Επιστημονική επιθεώρηση του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Αθήνα. 25(1):13-20.
7. **Βάλμης, Σ., 1990.** Διαβρώσεις - συντήρηση εδαφών. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
8. **Γαλανοπούλου - Σενδουκά, Σ., 2001,** Ειδική Γεωργία Ι, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
9. **Γαλανοπούλου - Σενδουκά, Σ., 2003.** Ειδική Γεωργία Ι. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
10. **Διαμαντής, Κ., 1983.** Ανοιξιάτικα Σιτηρά, Αθήνα.
11. **Δημοπούλου, Κ., 2005.** Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επίδραση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τεύτλων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
12. **Μακρυντώντος, Π. Γ., 1990,** Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, Β΄ Έκδοση, Αθήνα.

13. **Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς, Σ., 2000.** Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή των Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
14. **Μισοπολινός, Ν.Α., 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 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ.197-204.
17. **Πανώρας, Α. Γ., Μαυρουδής Ι. Γ., Βαξεβάνη Χ. Η. και Χατζηγιαννάκης Σ. Α., 1992.** Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. Υδροτεχνικά, 2 (1): 5-13.
18. **Πανώρας, Α. Γ., Μαυρουδής, Ι. Γ. και Χατζηγιαννάκης Στ. Α., 1993.** Εφαρμογή της ισοπέδωσης με laser στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα, 4 (4): 14-19
19. **Πανώρας, Α. Γ. Χατζηαθανασιάδου, Α. Μ., και Τόπης, Χ. Γ., 1994.** Είδος φθορών και κόστος συντήρησης δικτύων άρδευσης με σταγόνες. Γεωπονικά, 35: 35-40.
20. **Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999.** Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
21. **Παπαδόπουλος Α., και Παρισόπουλος Γ., 2001.** Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. Γεωργική Έρευνα, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ιανουάριος - Μάρτιος 2001.
22. **Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1984.** Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ 484.
23. **Σακελλάριου - Μακραντωνάκη, Μ., 1993.** Άρδευση με σταγόνα. Άρδευση με αυλάκια. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
24. **Σακελλάριου - Μακραντωνάκη Μ., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν. 2000.** Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύλων. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 157-164. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
25. **Σακελλάριου - Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρούδης, Ι., Μανούδης, Ν. και Πογιαρίδης Θ., 1996.** Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισα. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου με θέμα «Εγγειοβελτιωτικά έργα - Διαχείριση υδατικών πόρων - Εκμηχάνιση Γεωργίας» σελ.155-173.

26. **Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ. Δαναλάτος, Ν, Βουλτσάνης, Π, Νάκος, Κ, 2003.** Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. Πρακτικά 9^ο Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 183-190.
27. **Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., 2003.** Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
28. **Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., Τέντας, Ι., Κολιού, Α., Καλφούντζος, Δ., Παπανίκος, Ν., 2003.** Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Πρακτικά 3^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου, σελ. 265-272.
29. **Σούλτη Αικ., 2007).** Υπόγεια άρδευση του ενεργειακού φυτού σόργου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.
30. **Σφήκας, Α.Γ., 1991.** Ειδική Γεωργία. Ι. Σιτηρά, ψυχανθή και χορτοδοτικά φυτά. Θεσσαλονίκη.
31. **Τερζίδης, Γ.Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1997.** Γεωργική υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
32. **Φασούλας, Α. Κ. και Φωτιάδης, Ν. Α., 1984.** Αρχές της επιστήμης των καλλιεργούμενων φυτών, σελ. 209-213. Θεσσαλονίκη.
33. **Χατζηγιαννάκης Στ. και Θεοδώρου, Ν., 1991.** Η χρήση των ακτινών laser στην ισοπέδωση των χωραφιών. Έκδοση Ι.Ε.Β., σελ. 13. Θεσσαλονίκη.

ΕΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Ageridis G. and Christou M. (2006)**, Biofuels and their developmental role to the industry and agriculture. In: two days gala. Thessaloniki 3-4 November, 1-6 pp.
2. **Al-Jamal, M. S-, Sammis, T. W., Mexal, J. G., Picchioni, G. A., Zachritz, W. H., 2002.** «A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production». *Agricultural Water Management* 56: 57-59).
3. **Al-Lahham O., El Assi N.M., Fayyad M., 2003.** Impact of treated wastewater irrigation on 2 quality attributes and contamination on tomato fruit. *Agricultural Water Management*, 61 (2003): 51-62. Elsevier Publication
4. **Angelaki, A., Sakellariou - Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C, 2002.** «Comparison of Green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure». 5th International Conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4-8 September 2002-oral presentation, proceedings, pp 172-183. Athens.
5. **Asano, T., 1991.** Planning and Implementation of water reuse projects, In: wastewater reclamation and reuse by R. Mujeriego and T. Asano (Eds.) IAWPRC, *Water Sci. and Techn.* Vol 24, no.9, Pergamon Press, NY.
6. **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.
7. **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, Petrygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
8. **Asano, T., and Tsobanoglous, G., 1987.** Municipal wastewater treatment and effluent utilization for irrigation. Land and Water Development Division, F.A.O., Rome.
9. **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.
10. **Ayers, R.S., 1977.** Quality of water for irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Division*, A.S.C.E., 103 (1) : 135-154.
11. **Ayers, R.S., and Westcot, D.W., 1985.** Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 29:99-104, Rev.1.
12. **Bahri, A., and Brissaud, F., 2002.** «Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries», World Health Organization,

- Regional Office for Europe, WHO/EURO Project Office, Mediterranean Action Plan.
13. Biomass Energy Centre (2007) URL: <http://www.biomassenergycentre.org.uk>
 14. **Blum, D, and Feachem., R.G., 1985.** Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part III: An epidemiological perspective. Dubendorf, International Reference Center for waste disposal, Report No. 05/85.
 15. **Bouwer, H., and Idelovitch, E., 1987.** Quality requirements for irrigation with sewage water. Water reuse for drip irrigation. Journal Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 113 (4): 516-535.
 16. **Broadbent F.E., and Reisenauer, H.M., 1985.** Fate of wastewater constituents in soil and groundwater: Nitrogen and phosphorus.
 17. **Bucks, D.A, Nakayama, F.S., and Warrick, A.W., 1982.** Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In: Advantages of Irrigation, 1:219-298.
 18. **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.
 19. **Christiansen, J.E., Olsen, E.C., and Williardson, L.S., 1977.** Irrigation Water quality evaluation. Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E., 103 (2): 155-169.
 20. **Cook, J., and Beyea, J.** An analysis of the environmental impacts of energy crops in the USA: methodologies, conclusions and recommendations.
 21. **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.
 22. **Curt, M.D., Fernandez, J., and Martinez, M., 1995.** Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in relation to water regime, Biomass and Bioenergy, p. 401-409.
 23. **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.
 24. **Dedrick, A. R., Erie, L. J and Clemmens, A. X, 1982.** Level basin irrigation. In: Advances in irrigation (edited by D. Hillel). Academic Press, N.Y., Vol. 1 05-145.
 25. **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.
26. **Devitt, D. and Miller, W., 1988.** Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline water. Applied Agricultural Res. Vol. 3, No 3, p. 133-143.
 27. **Dinnen, R., 1991.** Congress acts to increase the production of ethanol. Biologue (1):p.11-14.
 28. **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.
 29. **Doneen, L.D., 1954.** Salinization of soil by salts in the irrigation water. Transactions of American Geophysical Union, 35:943-950.
 30. **El Bassam, N. (1998)** Energy plant species: Their use and impact on environment and development. James & James Science Publishers, UK.
 31. **English S.D., 1985.** Filtration and water treatment for micro-irrigation. Proceedings of the 3rd International Drip /Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 50-57.
 32. **FAO, 1998,** Irrigation and Drainage. Paper No 24.
 33. **GreenDream Πράσινη Ενέργεια – Βιώσιμη Ανάπτυξη – Περιβάλλον (2009)** URL: <http://bioenergynews.blogspot.com>
 34. **Gushiken, E., 1993.** Efficient Disposal Through Subsurface Drip Irrigation Systems. Hawaii Water Pollution Control Ass. Proceedings of the 15th Annual Conf. Honolulu. Hawaii.
 35. **Hall, K., 2001.** Oilseed rape (Brassica napus spp. oleifera). <http://www.nf-2000.org/secure/-crops/F590.htm>.
 36. **Hanson B.R, Schwankl L.J., Schulbach K.F., Pettygrove G.S., 1997.** A comparison of furrow, surface drip and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water. Agricultural Water Management, 33 (1997): 139-157.
 37. **Hillel, D., 1987.** The efficient use of water in irrigation. World Bank Technical Paper No 64. The World Bank, Washington D.C.
 38. **I-Pai Wu, 1994.** Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc. Prepared by: Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
 39. **Kandiah, A., 1990a.** Water quality management for sustainable agricultural development. Natural Resources Forum, 14(1): 22-32.
 40. **Klocke, N, Hubbard, K., Kranz, W., Watts, D.** Evapotranspiration (ET) or Crop water use.
 41. **Maas, E.V., 1985.** Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and soil 89, 273-284.

42. **Massoud, T.A., Hills, D.J., and Tchobanoglous G., 1995.** Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 120 (4)Q 716-731.
43. **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.
44. **Meyer, J.L., 1985.** Cleaning drip irrigation systems. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California, 1:41-44.
45. **Nakayama F.S., and Bucks D.A., 1985.** Drip/Trickle Irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate logging on trickle emitters. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California USA, pp. 45-50.
46. **Nikolaou, N.** Sweet sorghum, a promising annual crop for Greece.
47. **Padmakumari, O., and Sivanappan, R.K., 1985.** Study on clogging of emitters in drip Systems. *Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress*, November 18-21, Fresno, California, 1:80-83.
48. **Panoras A., Kehagia O., Xanthopoulos F., Doitsinis A., Samaras I., 2001b.** The reuse of municipal wastewater in cotton irrigation, Inter-regional research network in cotton. F.A.O. - NAGREF. 27 September-1 October 2001, Chania. Greece.
49. **Panoutsou, K. 2000** Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece.
50. **Panoutsou, K.** State of the art for energy crops in Greece.
51. **Papayiannopoulou, A., Parissopoulos G., Panoras; A., Kampel S., Papadopoulos F., Papadopoulos A., Ilias A., 1998.** Emitter Performance in conditions of treated municipal wastewater. *Proc. Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Fiera Milano, 14-16 September 1998, p. 1011-1014.
52. **Pescod, M.B., 1992.** Wastewater treatment and use in agriculture. F.A.O. *Irrigation and Drainage Paper* 47.
53. **Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), 1985.** *Irrigation with reclaimed municipal wastewater-A guidance manual*. 2nd Edition, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, ML.
54. **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.
55. **Roman, G., Hall, D., Gosse, G., Roman, A., Ion, V. anTAlexe7a71998.** *Researches on Sweet - Sorghum Productivity in the South Romanian Plain*. Federation for Inf. Tec. in Agriculture. *Agricultural Technology in Asia and Oceania*, 1998.

56. **Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Vyrlas P. 2001.** Irrigation Water saving and Yield increase with Subsurface Drip Irrigation. Proc. of 7th International Conference on Environmental Science and Technology, pp. 466-473. Ermoupolis, Syros island, Greece-Sept. 2001.
57. **Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanios, B., 2002.** Water saving using modern irrigation methods. Hydorama 2002, EYDAP, Athens, Greece.
58. **Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Tentas I., Vyrlas P., 2003.** Subsurface Drip Irrigation with treated wastewater. XI World Water Congress. Water Resources Management in the 21st century. IWRA, Madrid, 5-9 October 2003.
59. **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.
60. **Shuval, H.I., Yekutieli, P., Fatal, B., 1985.** Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater. Jerusalem-A case study. Water Science and Technology, 17: 433-442.
61. **Schrpernzeel, J. Agenda 2000:** consequences for energy crops.
62. **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
63. **Stassen, H. FAIR1-CT95-0512.** European energy crops processing and utilization in Europe.
64. **Strauss, M., and Blumenthal, U.J., 1989.** Health aspects of human waste use in agriculture and aquaculture-utilization practices and health perspectives. IRCWD Report No 08/88. International Reference Centre for Waste Disposal, Dubendorf, Switzerland.
65. **U.C.C.C. 1974.** Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Memo Report, 13 p.
66. **U.S.D.A., 1990.** USDA backgrounder. News division, Office of Public Affairs, Room 404-A, Washington, D.C.
67. **U.S.D.A.,** Soil conservation service, 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.
68. **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.
69. **Venturi, P., 1999.** Comparison between miscanthus, kenaf and sorghum with regards to water and N availability. Document ID B10545. In: BioBase.

70. **Westocot, D. W., and Ayers R. S.,1985.** Irrigation water criteria. In: Irrigation with reclaimed municipal wastewater - A guidance manual. Third Edition, Pettygrove, G.S., and Asano T. (Eds), Lewis Publishers, In Chelsea, MI.
71. **WHO:** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture, aquaculture, Technical Report Series No.778, Geneva, Switzerland, 1989.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

(One Way Anova – SPSS vs 14)

Πίνακας 1. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του Δ.Φ.Ε. των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολό τους.

Oneway

ONEWAY LAI BY ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

ANOVA

LAI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,001	1	,001	,001	,974
Within Groups	19,944	26	,767		
Total	19,945	27			

Πίνακας 2. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του Δ.Φ.Ε. των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ONEWAY μετρηση1 μετρηση2 μετρηση3 μετρηση4 μετρηση5 μετρηση6 μετρηση7 μετρηση8 μετρηση9 μετρηση10 μετρηση11 μετρηση12 μετρηση13 μετρηση14 MAX BY μεταχειρισεις /MISSING ANALYSIS.

Oneway

[DataSet1] C:\Users\ΒΑΣΙΛΗΣ\Desktop\ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ\LAI.sav

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
μετρηση1	Between Groups	,001	1	,001	,086	,780
	Within Groups	,088	6	,015		
	Total	,089	7			
μετρηση2	Between Groups	,001	1	,001	,059	,816
	Within Groups	,127	6	,021		
	Total	,129	7			
μετρηση3	Between Groups	,000	1	,000	,000	1,000
	Within Groups	,135	6	,023		
	Total	,135	7			
μετρηση4	Between Groups	,000	1	,000	,000	1,000
	Within Groups	,160	6	,027		

	Total	,160	7			
μετρηση5	Between Groups	,020	1	,020	1,200	,315
	Within Groups	,100	6	,017		
	Total	,120	7			
μετρηση6	Between Groups	,005	1	,005	,429	,537
	Within Groups	,070	6	,012		
	Total	,075	7			
μετρηση7	Between Groups	,005	1	,005	,140	,722
	Within Groups	,215	6	,036		
	Total	,220	7			
μετρηση8	Between Groups	,020	1	,020	,558	,483
	Within Groups	,215	6	,036		
	Total	,235	7			
μετρηση9	Between Groups	,031	1	,031	1,471	,271
	Within Groups	,128	6	,021		
	Total	,159	7			
μετρηση10	Between Groups	,001	1	,001	,036	,855
	Within Groups	,208	6	,035		
	Total	,209	7			
μετρηση11	Between Groups	,080	1	,080	4,800	,071
	Within Groups	,100	6	,017		
	Total	,180	7			
μετρηση12	Between Groups	,020	1	,020	1,600	,253
	Within Groups	,075	6	,013		
	Total	,095	7			
μετρηση13	Between Groups	,005	1	,005	,857	,390
	Within Groups	,035	6	,006		
	Total	,040	7			
μετρηση14	Between Groups	,031	1	,031	2,778	,147
	Within Groups	,068	6	,011		
	Total	,099	7			
MAX	Between Groups	,005	1	,005	,140	,722
	Within Groups	,215	6	,036		
	Total	,220	7			

Πίνακας 3. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του ύψους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολό τους

Oneway

ANOVA

ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	1	,000	,000	,994
Within Groups	28,100	16	1,756		
Total	28,100	17			

Πίνακας 4. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του ύψους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ONEWAY ΜΕΤΡΗΣΗ1 ΜΕΤΡΗΣΗ2 ΜΕΤΡΗΣΗ3 ΜΕΤΡΗΣΗ4 ΜΕΤΡΗΣΗ5 ΜΕΤΡΗΣΗ6 ΜΕΤΡΗΣΗ7
ΜΕΤΡΗΣΗ8 ΜΕΤΡΗΣΗ9 MAX BY ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Oneway

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
ΜΕΤΡΗΣΗ1	Between Groups	,000	1	,000	,403	,549
	Within Groups	,002	6	,000		
	Total	,002	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ2	Between Groups	,001	1	,001	4,418	,080
	Within Groups	,001	6	,000		
	Total	,002	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ3	Between Groups	,002	1	,002	,885	,383
	Within Groups	,012	6	,002		
	Total	,014	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ4	Between Groups	,005	1	,005	1,113	,332
	Within Groups	,027	6	,004		
	Total	,032	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ5	Between Groups	,022	1	,022	5,727	,054

	Within Groups	,023	6	,004		
	Total	,045	7			
METPHΣH6	Between Groups	,004	1	,004	,717	,430
	Within Groups	,034	6	,006		
	Total	,038	7			
METPHΣH7	Between Groups	,010	1	,010	3,818	,099
	Within Groups	,015	6	,003		
	Total	,025	7			
METPHΣH8	Between Groups	,002	1	,002	5,444	,058
	Within Groups	,003	6	,000		
	Total	,005	7			
METPHΣH9	Between Groups	,009	1	,009	5,373	,060
	Within Groups	,010	6	,002		
	Total	,019	7			
MAX	Between Groups	,004	1	,004	3,857	,097
	Within Groups	,006	6	,001		
	Total	,010	7			

Πινακας 5. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του ξηρού βάρους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολό τους.

Oneway

ANOVA

ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10561,333	1	10561,333	,009	,925
Within Groups	1,141E7	10	1141337,233		
Total	1,142E7	11			

Πίνακας 6. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του ξηρού βάρους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ONEWAY MAX ΜΕΤΡΗΣΗ1 ΜΕΤΡΗΣΗ2 ΜΕΤΡΗΣΗ3 ΜΕΤΡΗΣΗ4 ΜΕΤΡΗΣΗ5 ΜΕΤΡΗΣΗ6 BY ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Oneway

[DataSet1] C:\Users\ΒΑΣΙΛΗΣ\Desktop\ΔΙΑΤΡΗΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ\ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ\ΕΗΡΟΒΑΡΟΣ.sav

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MAX	Between Groups	612,500	1	612,500	,224	,652
	Within Groups	16375,000	6	2729,167		
	Total	16987,500	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ1	Between Groups	2112,500	1	2112,500	,315	,595
	Within Groups	40275,000	6	6712,500		
	Total	42387,500	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ2	Between Groups	14450,000	1	14450,000	4,481	,079
	Within Groups	19350,000	6	3225,000		
	Total	33800,000	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ3	Between Groups	11250,000	1	11250,000	5,400	,059
	Within Groups	12500,000	6	2083,333		
	Total	23750,000	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ4	Between Groups	612,500	1	612,500	,224	,652
	Within Groups	16375,000	6	2729,167		
	Total	16987,500	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ5	Between Groups	18050,000	1	18050,000	3,233	,122
	Within Groups	33500,000	6	5583,333		
	Total	51550,000	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ6	Between Groups	14450,000	1	14450,000	1,491	,268
	Within Groups	58150,000	6	9691,667		
	Total	72600,000	7			

Πίνακας 7. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του χλωρού βάρους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολό τους.

Oneway

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	48006,750	1	48006,750	,005	,945
Within Groups	9,544E7	10	9543829,217		
Total	9,549E7	11			

Πίνακας 8. Στατιστική Επεξεργασία των τιμών του χλωρού βάρους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ONEWAY ΜΕΤΡΗΣΗ1 ΜΕΤΡΗΣΗ2 ΜΕΤΡΗΣΗ3 ΜΕΤΡΗΣΗ4 ΜΕΤΡΗΣΗ5 ΜΕΤΡΗΣΗ6 MAX BY ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ

Oneway

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ΜΕΤΡΗΣΗ1	Between Groups	1800,000	1	1800,000	,044	,841
	Within Groups	245053,500	6	40842,250		
	Total	246853,500	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ2	Between Groups	25312,500	1	25312,500	4,895	,069
	Within Groups	31025,000	6	5170,833		
	Total	56337,500	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ3	Between Groups	7200,000	1	7200,000	2,929	,138
	Within Groups	14750,000	6	2458,333		
	Total	21950,000	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ4	Between Groups	121278,125	1	121278,125	3,519	,110
	Within Groups	206768,750	6	34461,458		
	Total	328046,875	7			
ΜΕΤΡΗΣΗ5	Between Groups	89042,000	1	89042,000	1,913	,216
	Within Groups	279212,000	6	46535,333		

	Total	368254,000	7			
METPHΣH6	Between Groups	96800,000	1	96800,000	,730	,426
	Within Groups	795800,000	6	132633,333		
	Total	892600,000	7			
MAX	Between Groups	121278,125	1	121278,125	3,519	,110
	Within Groups	206768,750	6	34461,458		
	Total	328046,875	7			

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 1(α,β,γ,δ). Σπορά της καλλιέργειας (14/05/2008)



Εικόνα 2. Άρδευση μετά τη σπορά με καταιονισμό(20/05/2008).



**Εικόνα 3. Άρδευση με καταιονισμό – φύτρωμα της καλλιέργειας
(16/06/2008)**



**Εικόνα 4. Άρδευση με καταιονισμό – Ύψος φυτών περί τα 40cm
(01/07/2008)**



**Εικόνα 5. Άρδευση με Υ.Σ.Α. - Ύψος φυτών περί τα 60cm
(12/07/2008)**



**Εικόνα 6. Άρδευση με Υ.Σ.Α. - Ύψος φυτών περί τα 2 m
(08/08/2008)**



**Εικόνα 6. Άρδευση με Υ.Σ.Α. - Ύψος φυτών περί τα 3,2 m
(01/09/2008)**



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Εικόνα 7(α,β,γ,δ). Συγκομιδή της καλλιέργειας (τελευταία κοπή 31/10/2008)



Εικόνα 8(α,β,γ,δ). Συγκομιδή της καλλιέργειας (τελευταία κοπή 31/10/2008) – Μεταφορά και Ζύγιση των δειγμάτων.